

# התקע המצדיע



עלון לחשמלאים

בהוצאת

חברת החשמל לישראל בע"מ



התקנת קן מלאכותי  
על עמודי מתח גבוה  
בנחל רפאים



3	.....	דבר העורך
4	.....	הכנס הארצי השנתי ה-5 לחשמלאים
4	.....	יום עיון – ניהול עומס החשמל מצד הביקוש DEMAND SIDE MANAGEMENT
4	.....	סדרה מס' 14 של מפגשי מועדון "התקע המצדיע" לחשמלאים באזורים
5	.....	רשימת חומר תחיקתי המתייחס למיתקני חשמל
6	.....	הבהרות לידיעת מתכנני מתקני חשמל – ד. קן-דרור
7	.....	השוואת מחירי הסקת חדרים באמצעות מכשירים ומתקנים שונים – ס. מרקו
8	.....	הודעת ארגון קבלני החשמל
9	.....	תקניותם של המרכיבים ושל האזורים במתקני החשמל – א. אנגל
		<b>תאונת חשמל ולקחה</b>
13	.....	חישמול קטלני אשר גרם למותו של שרברב בתל-אביב – א. ברזילי
14	.....	הפרעות ברשת אספקת החשמל – סיבות, תוצאות ואמצעים למניעתן – א. נאוטרה; י. רוזנקרנץ
18	.....	העידן החדש – מיקרופרוססור ברשתות חשמליות – ס. מנדלבאום; א. אושרוב
		<b>מדור שרות פרסומי</b>
23	.....	מערכות מיזוג אויר מרכזיות עם אגירת קור (COOL STORAGE) – ב. שוורץ; ב. כהן; ס. מרקו
29	.....	קריטריונים לבחירה נכונה של מוגענים – ג. מזור
32	.....	חידוש המנוי ל"התקע המצדיע" לשנים 1988, 1989
33	.....	מתקני חשמל לשירותים המשותפים במבנים רב-דירתיים – רבי קומות – ש. לוסיטג
34	.....	המדריך לחשמלאי – 1988
35	.....	כבלי חשמל חסיני אש וציוד כבה מאלוי – א. שטיינר; ד. ברנע
38	.....	מוליכות-על: על סף עידן חדש – מ. גיבלברג
41	.....	הכשרת חשמלאים צעירים בישראל – ר. ויילר

עורך:

**אורי לייטנר**

עורך משנה:

**אריה ונגרקו**

מערכת:

**יוסף בלבל, הירש גינדס, בן ציון גמליאלי, נתן זלצר, ליאון יבלונבסקי, 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: מנחתים מיוחדים לקינון ולמניעת התחשמלות של עופות דורסים וציפורים גדולות אחרות בקוי מתח גבוה.**

לאור מקרים חוזרים ונשנים של התחשמלות נשרים וציפורים גדולות אחרות ממכות חשמל המתרחשות בעיקר בקוי מתח גבוה, בהם המרחק בין תילי המופעים הוא לעתים קרובות קטן יותר מאשר מוטות הכנף של הנשרים או ציפורים גדולות אחרות, היה נגרם "קצר" בין 2 המופעים של קו המתח הגבוה.

כדי להקטין את מקרי ההתחשמלות של עופות אלה מחד גיסא ולמנוע יצירת קצרים והפרעות שונות באספקת החשמל מאידך גיסא – החלל שיתוף פעולה הדוק בין החברה להגנת הטבע, רשות שמורות הטבע וחברת החשמל במטרה למצוא פתרון לבעיה אקולוגית זו – הפוגעת גם בנוף הטבעי וגם באספקת החשמל הסדירה. הפתרון שנמצא ושאת יישומו אנו רואים בתמונת השער, הם מנחתים מיוחדים המאפשרים את נחיתתם של נשרים וציפורים גדולות אחרות עליהם.

מנחתים אלה שתוכננו ונבנו בחברת החשמל, מותקנים מעל לעמודים כך שנמנעת האפשרות של נגיעת כנפיהם של הציפורים בתילי המופעים של העמוד ובכך נמנעת כמובן התחשמלות הציפורים.

ראוי לציין שבתכנון ובבניית המנחתים נעשה שימוש במידע שהופק ממחקרים שנעשו בנושא זה בעיקר בארצות הברית ובדרום אפריקה שבדומה לנו – אולם בקנה מידה גדול בהרבה – מנסים להתמודד עם בעיה מטרידה זו ולמצוא לה פתרון הולם (תמונת השער צולמה על ידי **עפר בהט**, מדריך בכיר במרכז המידע לעופות דורסים של החברה להגנת הטבע אשר גם סייע לנו בהבאת דברים אלה).

**(אריה ונגרקו)**

# זכר העורך



## חשמלאי יקר,

חברת החשמל פועלת בקצב מוגבר ומשקיעה מאמצים רבים בתחום איכות האספקה, אמינותה וניהול עומס. יחד עם זאת עושה החברה רבות לשיפור איכות הסביבה והתנאים האקולוגיים.

אין ספק שתרומתה של חברת החשמל בחיזוקה הכלכלי והתעשייתי של המדינה הוא רב משקל, כאשר החברה עושה את מירב המאמצים שהדברים לא יפגעו באיכות הסביבה ובאיכות החיים של התושבים.

ביטוי סמלי לפעולתה של החברה בשיתוף עם גורמים נוספים-השמירה על איכות הסביבה, הנוף וכמובן איכות החיים הוא מענינם הקבוע — כמו החברה להגנת הטבע ורשות שמורות הטבע, ניתן לראות בתמונת השער של החוברת הנוכחית המציגה את התקנתו של מינחת קינון מיוחד לציפורים גדולות. המינחת ימנע את התחשמלותן של ציפורים אלה ויביא להקטנה במספר ההפרעות באספקת החשמל הסדירה הנובעות מהקצרים הנגרמים על-ידי ציפורים אלה.

החשיבות שמייחסת חברת החשמל לנושא השמירה על איכות הסביבה תואמת את גישתו של משרד האנרגיה והתשתית. גישת המשרד באה לביטוי בדבריו של שר האנרגיה והתשתית **מר משה שחל** בהרצאה בפני ראשי רשויות מקומיות באזור חיפה, בהם הוא עמד על הצורך והחובה להתייחסות מיוחדת להשלכות הסביבתיות הנובעות מהפעילויות האנרגטיות המוגברות המביאות לעליה בצריכת החשמל בכל המיגזרים.

בין יתר דבריו, עמד השר על הצעדים והפעולות שחברת החשמל נוקטת ותנקוט בעתיד בתחום חשוב זה של שיפור איכות הסביבה והנוף במדינה ושמירה על איכות החיים של תושביה. להלן קטעים מהרצאתו של מר שחל:

- אחד הצעדים הראשונים שיעשו על ידי חברת החשמל בתחנת הכח בחיפה יהיה התקנת ארובה חדשה בגובה של 250 מ' בהשקעה של 5.1 מיליון דולר. ארובה זו תבוא במקום שתי ארובות קיימות שגובה כל אחת מהן 80 מ' בלבד. הפרויקט נמצא בשלבי תכנון והגשת אישורים. הגבהת הארובות תאפשר את העלאת היעילות של פיזור גזי השריפה באטמוספירה ותעלה עקב כך את איכות האוויר בחיפה.
- כמות המזוט דל הגופרית שתישרף בתחנות הכח המוסקות במזוט תוכפל בשנה הבאה פי 4 לפחות, בעלות של 4.7 מיליון דולר במחירים של היום. מתוך זה תיטול תחנת הכח בחיפה כמיליון דולר.
- חברת החשמל משלימה בימים אלה את פרויקט החלפת פיות המבערים לשיפור השריפה והקטנת פליטת חלקיקים, בעיקר פיח, מהארובות בכל תחנות הכח המוסקות במזוט בארץ. כמו-כן, משקיעה חברת החשמל בתחזוקה ובתוספים כימיים לניטרול החומצה בגזי הפליטה סכומי כסף בהיקף שבין 2 ל-3 מיליון דולר בכל שנה.
- בתחנת הכח בחדרה הפועלת על פחם משקיעים בתוספים כימיים לשיפור יעילות המפריד האלקטרוסטטי, בהיקף של כחצי מיליון דולר לשנה.
- המחלקה לאיכות הסביבה של חברת החשמל עסקה במשך השנה האחרונה בהפרחת בלוניים עם ציוד מטאורולוגי לבדיקת התנהגות האטמוספירה מעל למפרץ חיפה ומעל הר הכרמל. היקף ההשקעה בציוד ובתיפעול היה קרוב ל-100 אלף דולר. המידע שהתקבל ישמש כרקע בתהליך קבלת ההחלטות למיקום יחידות הכח 3 ו-4.

בברכה,

אורי לייטר

## הכנס הארצי השנתי ה-5 לחשמלאים

ההשתתפות בכל קבוצת הרצאות תתבסס לכן בעיקר על נושאי ההתענינות של המשתתפים בנושא המסוים והאטרקטיביות של ההרצאות והמרצים. מתכונת זו, שאומצה כלקח מן הכנסים הקודמים — נועדה להביא לשיפורים הן בחלק התוכני והן בחלק האירגוני של הכנס — תאפשר לכל משתתף למצות בצורה המירבית את מיגוון ההרצאות העשיר.

### מושב ג' — המפגש המסכם

עיקרו של מפגש זה יהיה רבי-השיח. בצוות המשיבים ישתתפו מנהל אגף הצרכנות וסגנו וכן חברי מערכת "התקע המצדיע". יושבי הראש של קבוצות ההרצאות יציגו כל המשתתפים במפגש המסכם, סיכומים תמציתיים של ההרצאות והדינאים שהשתתפו בקבוצותיהם ולאחר מכן ניתן יהיה להציג שאלות ישירות, (מן האולם) לצוות המשיבים.

### הזמנות לכנס

הזמנות לכנס נשלחו לכל החשמלאים הנכללים בקהילת "התקע המצדיע", למשרדי ממשלה, למוסדות ציבור, לחברות ולמפעלים המעסיקים חשמלאים. בגלל מספר המקומות המוגבל ובכדי לאפשר קליטה מסודרת של משתתפי הכנס, תסתיים ההרשמה לכנס ב-25.12.87. לא תהיה אפשרות להרשם כמשתתף בכנס לאחר תאריך זה.

חשמלאים, שמסיבה כלשהי לא קיבלו עדיין הזמנה ומעוניינים להשתתף בכנס, מתבקשים לפנות בהקדם למשרדי מערכת "התקע המצדיע" בחיפה.

## יום עיון — ניהול עומס החשמל מצד הביקוש DEMAND SIDE MANAGEMENT

יום עיון זה היווה פתיחה לסדרת מפגשים מקצועיים נוספים בנושא זה שהתענינות בו הולכת וגוברת הן בחו"ל והן בארץ.

השתתפו ביום העיון מהנדסים יועצים בתחום החשמל ומיזוג האוויר, יזמים פוטנציאליים ומהנדסי הקמה של פרויקטים גדולים.

צוות המרצים כלל מומחים בנושא מחברת החשמל, וכן מהנדסים יועצים בתחום מיזוג האוויר ומרצים אורחים מחו"ל, ביניהם גם ד"ר ורוניקה א. רבל Dr. Veronika A. Rabl — EPRI — Electric Power Institute, U.S.A.

## סדרה מס' 14 של מפגשי מועדון "התקע המצדיע" לחשמלאים באזורים

ככל מפגש מתקיים, לאחר הגשת ההרצאה, רבי-שיח במיכלול הנושאים המשותפים לחשמלאים ולחברת החשמל בהשתתפות המרצים ונציגים מהמשרד הראשי וממחוזות חברת החשמל.

הזמנות נשלחות לכל החשמלאים הנכללים בקהילת "התקע המצדיע", בהתאם לאזור מגוריהם.

הכנס הארצי השנתי ה-5 יתקיים ביום רביעי, 13.1.88 במרכז הקונגרסים בתל-אביב. זאת לאור הנסיון המוצלח של 3 הכנסים האחרונים שנערכו שם (כנס מס' 2 — 15.1.85, כנס מס' 3 — 7.1.86, כנס מס' 4 — 14.1.87).

הכנס יכלול הפעם 3 מושבים (לעומת 2 מושבים שהיו בכנסים הקודמים):

- מפגש מרכזי פותח (בוקר — 9.30 — 12.30).
- קבוצות הרצאות (אחה"צ — 14.00 — 16.00).
- מפגש מסכם (ערב — 16.30 — 18.00).

### מושב א' — המפגש המרכזי הפותח

המפגש המרכזי הפותח יתקיים בהשתתפות כל באי הכנס ויכלול:

- דברי פתיחה — מר משה שחל — שר האנרגיה והתשתית.
- מר יצחק חופי — המנהל הכללי, חברת החשמל.
- טכס חלוקת הפרסים בתחרות "צרכן החשמל היעיל" והצגת העבודות הזוכות בתחרות. אינג' משה זיסמן — מנהל אגף הצרכנות, חברת החשמל.
- הרצאה: מקצוע החשמל, עבר הווה, עתיד, — פרופ' אריה בראונשטיין — אוניברסיטת תל-אביב.

### מושב ב' — קבוצות ההרצאות

במושב זה יתפצלו המשתתפים ל-6 קבוצות הרצאות כאשר בכל קבוצה תוגשנה 3 הרצאות בנושאים שונים. ההרצאות בקבוצות אינן מתייחסות לנושאי דיון ספציפיים — דבר שנועד למנוע יצירת מסגרות מחייבות לפי נושאים.

כדי להעמיק את המודעות של יזמים פוטנציאליים וכדי ללמוד יותר על הצדדים האיסטרטגיים של ניהול עומס החשמל בצד הביקוש בכלל והן כדי למדע את המשתתפים בטכנולוגיות חדישות לאגירת אנרגיה במתקני מיזוג אוויר ואגירת קור — אירגנה חברת החשמל יום עיון בנושא ניהול עומס החשמל מצד הביקוש. יום העיון התקיים ביום רביעי 25.11.87 במרכז הקונגרסים והאירועים, כפר המכביה, רמת-גן. מטרת הפעולות לניהול עומס החשמל מצד הביקוש היא להשפיע על פרופיל צריכת החשמל של צרכנים — כדי להביא לשינויים בעקומת העומס של מערכת החשמל הארצית אשר יהיו לתועלת ציבור הצרכנים וחברת החשמל כאחד.

תדירות המפגשים של סדרה מס' 14 הואטה בהשוואה לסדרות קודמות והם מתקיימים כעת בתדירות של פגישה אחת לחודש. נושא הסדרה הוא: "התקנת גנרטורים למתח נמוך, עם פרוסום התקנות החדשות" והיא תימשך עד חודש מאי 1988.

## רשימת חומר תחקיתי המתייחס למיתקני חשמל

מס' סד'	הנושא	מספר הפרסום בספר החוקים (ס"ח), בקובץ התקנות (ק"ת), בילקוט הפרסומים (י"פ)	תאריך הפרסום	הערות
<b>1</b>	<b>חוק החשמל התשי"ד-1954 ותקנותיו</b>			
	חוק החשמל	סי"ח 164	3.9.1954	
	רישוי מתקנים חשמליים	ק"ת 771	20.2.1958	(1) בא במקום התקנות מ-23.11.1950; (2) פורסמו תיקונים: ק"ת 2560 מ-1970; ק"ת 3631 מ-1976; ק"ת 4594 מ-1984
	התקנת מובילים	ק"ת 1809	17.12.1965	פורסם תיקון: ק"ת 3373 מ-1975
	כללים להתקנת לוחות במתח נמוך	ק"ת 3531	25.5.1976	(1) בא במקום התקנות מ-1957 (2) פורסם תיקון: ק"ת 4964 מ-1986
	התקנת מוליכים	ק"ת 2569	4.6.1970	פורסם תיקון: ק"ת 4151 מ-1980
	הארקות יסוד	ק"ת 4271	13.9.1981	בא במקום התקנות מ-1978
	מעגלים סופיים הניזונים במתח נמוך	ק"ת 4731	18.11.1984	(1) בא במקום התקנות מ-1979 (2) פורסם תיקון: ק"ת 4979 מ-1986
	העמסה והגנה של מוליכים במתח עד 1000 וולט	ק"ת 4350	16.5.1982	
	עבודה במתקנים חשמליים חיים	ק"ת 2034	28.4.1967	(1) בא במקום התקנות מ-1966 (2) פורסם תיקון: ק"ת 3410 מ-1975
	הארקות ושיטות הגנה בפני חישמול במתח עד 1000 וולט	ק"ת 4643	10.6.1984	(1) בא במקום התקנות מ-1962 (2) פורסם תיקון: ק"ת 4713 מ-1984
	התקנת כבלים	ק"ת 1949	28.10.1966	פורסם תיקון: ק"ת 4151 מ-1980
	רשיונות	ק"ת 4778	22.3.1985	בא במקום התקנות מ-1963 והתיקונים לתקנות אלה שפורסמו בקי"ת 2445 מ-1969; ק"ת 2601 מ-1970; ק"ת 2641 מ-1970; ק"ת 2755 מ-1971; ק"ת 2982 מ-1973; ק"ת 3686 מ-1977
	התקנת גנרטורים למתח נמוך	ק"ת 5000	26.1.1987	
	תקנות הבזק והחשמל התקרבויות והצטלבויות בין קווי בזק לבין קווי חשמל	ק"ת 4909	6.3.1986	
<b>2</b>	<b>הכללים לאספקת חשמל לצרכנים (בהתאם לאישור שר האנרגיה והתשתית מתאריך 5.11.1984 ובעקבות הודעתו של מנכ"ל חברת החשמל שפורסמה בילקוט הפרסומים 3143 בתאריך 31.12.84)</b>			
<b>3</b>	<b>תשלומים בעד חיבורים למערכת אספקת החשמל</b>			
		י"פ 2410	6.2.1978	
<b>4</b>	<b>חוק התכנון והבניה התשכ"א-1965 ותקנותיו</b>			
	הגבלת אספקת חשמל	סי"ח 1005	12.2.1981	
	הגדרות של "בנין גבוה", "בנין רב-קומות", "י"כניסה קובעת לבנין"	ק"ת 2581	8.7.1970	פורסם תיקון: ק"ת 4111 מ-1980
	גנרטור חשמלי	ק"ת 2581	8.7.1970	פורסם תיקון: ק"ת 4111 מ-1980
	התקנת מערכת הארקה וקולט ברקים	ק"ת 2581	8.7.1970	פורסמו תיקונים: ק"ת 3884 מ-1978; ק"ת 4464 מ-1983; ק"ת 4630 מ-1984
	התקנת מערכת חימום מים באמצעות אנרגיית שמש	ק"ת 4111	17.4.1980	פורסם תיקון: ק"ת 4470 מ-1983
	מניעת מכשולי טיסה מעל בנין (מנורות התראה)	ק"ת 2581	8.7.1980	פורסם תיקון: ק"ת 4111 מ-1980
	אספקת חשמל להנעת מעלית	ק"ת 2581	8.7.1980	
	תאורה בחדר מדרגות	ק"ת 2581	8.7.1980	פורסם תיקון: ק"ת 4111 מ-1980
<b>5</b>	<b>תקנות ההתגוננות האזרחית (מפרטים לבניית מקלטים)</b>			
		ק"ת 2692	9.5.1971	
<b>6</b>	<b>תקנות רשות לאומית לאנרגיה (פיקוח על יעילות צריכת אנרגיה במפעלים)</b>			
		ק"ת 4207	3.3.1981	
<b>7</b>	<b>תקנות רשות לאומית לאנרגיה (ביצוע סקר אנרגיה)</b>			
		ק"ת 4762	14.2.1985	
<b>8</b>	<b>תקנות הבטיחות בעבודה (חשמל)</b>			
		ק"ת 4940	17.6.1986	

# הבהרות לידיעת מתכנני מתקני חשמל

אינג' דורו קרדורו M.Sc.

ההבהרות המפורטות מטה באו בעקבות שאלות רבות שהופנו בנושאים אלו על ידי חשמלאים, מתכננים ויועצים ונעשו בתאום מלא והתייעצות עם הממונה על עניני החשמל במשרד האנרגיה והתשתית.

## 1. פס השוואת פוטנציאלים

על פי קובץ התקנות 4271 תקנות החשמל (הארקות יסוד) התשמ"א, תקנה 1 "הגדרות":  
**"פס השוואת פוטנציאלים"** – "פס שאליו מתחברים מוליכי הארקה ומוליכי חיבור, פס זה יכול לשמש גם כפס הארקה".  
כמו כן תקנה 8 – "חיבורים אל פס השוואת הפוטנציאלים" קובעת: "אל פס השוואת הפוטנציאלים יחוברו באמצעות מוליכי חיבור נפרדים, השורות המתכתיים הבאים הנמצאים בתוך המבנה:

1. אלקטרודות הארקות יסוד.
2. כניסה ראשית של צנרת מים קרים.
3. כניסה ראשית של צנרת ביוב.
4. צנרת ההסקה המרכזית והמים החמים.
5. כניסת צנרת גז מרכזית.
6. צנרת לאויר דחוס.
7. הארקה הגנה של גנרטור, שנאי או ממיר.
8. הארקה שיטה של גנרטור, שנאי או ממיר.
9. מסילות של מעליות.
10. תעלות מתכתיות של מיזוג אוויר מרכזי.
11. הארקות מתקן טלפון.
12. כל שירות מתכתי אחר במבנה".

על פי התקנה הנ"ל משתמע כי במפעלים המשתרעים על פני שטח גדול, בהם מותקנים שירותים מתכתיים בריכוזים מסויימים באותו מבנה, כמו צנרת לחץ שמן, צנרת לחץ אוויר, צנרת גז, תעלות מיזוג אוויר, מעליות וכו', מתחייב חיבור מוליך הארקה מכל מערכת של שירות מתכתי כזה אל פס השוואת הפוטנציאלים.

לעתים, פס השוואת הפוטנציאלים נמצא במקום מרוחק מאד מריכוזי השירותים המתכתיים והמתכנן נאלץ למשוך אליו מוליכים רבים וארוכים שיחברו את פס השוואת הפוטנציאלים עם השירותים המתכתיים (כל שירות מתכתי חייב בחיבור נפרד ממנו אל פס השוואת הפוטנציאלים).

חברת החשמל בדקה בעיה זו – בעיית אופן חיבור השירותים המתכתיים במפעל אל פס השוואת הפוטנציאלים, ומסקנות הבדיקה היו, כי יש מקום לפנות לוועדת הפירושים ולפרש את חוק החשמל במקרים דן כך שיהיה מותר להתקין פסי השוואת פוטנציאלים "משניים" (שכל אחד מהם עונה

ק"ת 4643.

ההדגשה של כותב ההבהרה.

אינג' ד. קרדורו M.Sc. – ראש מדור צרכנות טכנית, הרשת הרשת הארצית, אגף הצרכנות, חברת החשמל

לדרישות התקנות) קרוב לריכוזי השירותים המתכתיים – אליהם יתחברו כרגיל כל השירותים המתכתיים שבאותו אזור.

פסים אלה יחוברו אל פס השוואת הפוטנציאלים ה"ראשי" ("ראשי" – הכוונה שהאיפוס יבצע אך ורק בפס השוואת הפוטנציאלים הראשי) באמצעות מוליך מבודד בבידוד צהוב-ירוק שחתכו לא יפחת מ" 25 ממ"ר.

ואמנם, בוועדת הפירושים בישיבתה מיום 2.1.85 (נקבע):

"ועדת הפירושים קובעת שבתקנות "הארקות יסוד" – בכל מקום שמדובר בפס השוואת פוטנציאלים התקנות "הארקות יסוד" אינן אוסרות התקנת מספר פסי השוואת פוטנציאלים, בתנאי שכל אחד מהם עונה לדרישות המפורטות בתקנות.

**מותר** לחבר בין פסי השוואת פוטנציאלים כאלה באמצעות חוט מוליך מבודד בבידוד צהוב-ירוק, שחתכו לא יפחת מ" 25 ממ"ר המותקן בהתאם לתקנות מוליכים. (בכל מקרה חתך המוליך המחבר בין פסי השוואת הפוטנציאלים ייקבע בהתאם לחתך מוליכי המופעים ולתנאי התפתחות זרם הקצר הצפוי במקום). תנאי נוסף הוא שתקויים תקנת משנה 48 ד' של תקנות החשמל "הארקות ושיטות הגנה בפני חישמול" **האוסרות כל חיבור אחר בתוך המבנה בין מוליך האפס ובין מוליך הארקה** זולת החיבור אשר ייעשה בהתאם לתקנה 48 ג' של אותם התקנות".

## 2. חובת חיבור צנרת גז לפס השוואת הפוטנציאלים

בקובץ התקנות 4271 "תקנות החשמל (הארקות יסוד) התשמ"א 1981", תקנה 8 – "חיבורים אל פס השוואת הפוטנציאלים" תת-סעיף 5 נאמר: "כניסת צנרת גז מרכזית" תחובר אל פס השוואת הפוטנציאלים באמצעות מוליך חיבור נפרד".

כלומר, צויין במפורש צנרת גז מרכזית וכאן אין הכוונה לגבי בית בודד (דירה אחת) כאשר על קיר הבית מותקנים שני בלוני גז דירתיים וצינור נחושת המוביל את הגז ממיכלי הגז לכירה שבמטבח ו/או לתנור גז בסלון ו/או לשניהם יחד.

### חשמלאי

הבטח השתתפותך בכנס הארצי

השנתי ה-5 לחשמלאים.

(ראה פרטים בעמוד 4)

# השוואת מחירי הסקת חדרים באמצעות מכשירים ומתקנים שונים

(מחירי יחידת חום – 1000 קק"ל)

מטרת הנתונים המופיעים בטבלאות להלן, לאפשר חישוב הוצאות ההסקה בדירות מגורים (הוצאות שוטפות בלבד, לא כולל השקעה ברכישת המכשירים (המתקנים ותחזוקתם).  
כמו כן, מאפשרים הנתונים לערוך חישוב של ההוצאות לחימום דירה כאשר השקעת האנרגיה (בקילו קלוריות) הנדרשת בפועל לחימום הדירה, ידועה לעורך החישוב.

## טבלה 1.

מחיר יחידת חום (1000 קק"ל) לגבי מכשירי הסקה המקובלים לדירת מגורים בבית קיים

המחיר ל-1000 קק"ל ("נטו") באחוזים	המחיר ל-1000 קק"ל ("נטו") באגורות	מקדם התפוקה המשוער	המחיר ל-1000 קק"ל ("ברוטו") באגורות	סוג המכשיר/המתקן
5	4	3	2	1
100	13.33	0.95	12.66	תנור חשמל – קורן
100	13.33	0.95	12.66	תנור חשמל – מפזר חום עם מנוע
100	13.33	0.95	12.66	תנור חשמל – מוליד חום ("קונבטור")
106	14.07	0.90	12.66	תנור חשמל – רדיאטור שמן
49	6.49	1.95	12.66	משאבת חום (מזגן אויר)
95	12.67	0.85	10.77	תנור חשמל אוגר ("זרם לילה")
115	15.39	0.70	10.77	מתקן חשמל תת-רצפתי
72	9.64	0.70	6.75	תנור נפט (פיירסייד)
75	9.97	0.65	6.48	תנור נפט עם ארובה
71	9.40	0.65	6.11	תנור סולר עם ארובה
90	12.00	0.50	6.00	מתקן הסקה מרכזית (סולר)
65	8.69	0.90	7.82	תנור גז ללא ארובה (גז – במיכלים)
73	9.68	0.90	8.71	תנור גז ללא ארובה (גז – אספקה מרכזית)
84	11.17	0.70	7.82	תנור גז עם ארובה (גז – במיכלים)
93	12.44	0.70	8.71	תנור גז עם ארובה (גז – אספקה מרכזית)

**בטור הראשון** של טבלה 1 מפורטים 15 סוגים של מכשירי/מתקני חימום ביתיים מקובלים הניתנים ליישום בדירת מגורים בבתיים קיימים.

**בטור השני** של טבלה 1 מופיעים מחירים של יחידת חום (1000 קק"ל "ברוטו") המתקבלת ממקורות האנרגיה המקובלים להסקה ביתית. אנרגיה זו מושקעת בפועל להפעלת המכשיר/המתקן.  
מחירים אלה חושבו בהתאם לערך הקלורי של מקור האנרגיה והמחירים הרשמיים (כולל מע"מ), אשר בתוקף החל מ-27.5.87 – ראה טבלה 2 בהמשך.

**בטור השלישי** של טבלה 1 מופיעים ערכי מקדם התפוקה המשוערים של המכשירים/המתקנים.  
**מקדם התפוקה** מוגדר כיחס בין כמות האנרגיה המנוצלת בפועל להעלאת הטמפרטורה בחדר לבין כמות האנרגיה הנצרכת לשם הפעלת המכשיר/המתקן ואשר עבורה משלם הצרכן.

## טבלה 2.

נתונים לחישוב מחירי יחידת חום 1000 קק"ל המתקבלת ממקורות אנרגיה מקובלים להסקה ביתית

מקור האנרגיה	המחיר כולל מע"מ	ערך קלורי	הערות והארות
חשמל	10.76 אג"קוט"ש	860 קק"ל/קוט"ש	לא נכלל התשלום החודשי הקבוע החל על כל צרכן גם אם איננו משתמש בחשמל
	9.26 אג"קוט"ש	860 קק"ל/קוט"ש	
קרוסין (נפט)	56.00 אג"ליטר	8300 קק"ל/ליטר	מתייחס לקניה בתחנת דלק כולל הובלה ואספקה לתוך מיכל הלקוח בכמויות שבין 250 ליטר לבין 999 ליטר
	53.81 אג"ליטר	8300 קק"ל/ליטר	
סולר	51.9 אג"ליטר	8500 קק"ל/ליטר	כולל הובלה ואספקה לתוך מיכל הלקוח בכמויות שבין 250 ליטר לבין 999 ליטר
	50.98 אג"ליטר	8500 קק"ל/ליטר	כולל הובלה ואספקה לתוך מיכל הלקוח בכמויות שבין 2000 ליטר לבין 2999 ליטר
גז	86.02 אג"ק"יג	11000 קק"ל/ק"יג	כולל הובלה לבית הצרכן, התקנת מיכל ודמי שירות
	95.83 אג"ק"יג	11000 קק"ל/ק"יג	כני"ל, אך כשהאספקה היא באמצעות מונה (אספקה מרכזית)

הגורמים המשפיעים על ערכו של מקדם התפוקה הם כדלקמן:

- מידת ניצולו של הדלק שהוכנס למכשיר;
  - כמויות החום הנפלטות אל מחוץ לקטע המרחבי בחלל החדר, אשר בו נדרש החימום למעשה;
  - ניצולו בזמן הרצוי של החום המופק מן המכשיר/המתקן.
- מידת ניצולו של הדלק שהוכנס למכשיר תלויה, בין היתר, במידת השלמות של שריפת הדלק במכשיר/במתקן, רמת התקינות והתחזוקה של המכשיר/המתקן, רמת ההפסדים התרמיים בצנרת (במקרה של הסקה מרכזית למשל). כמויות החום הנפלטות אל מחוץ לקטע המרחבי בחלל החדר, אשר בו נדרש החימום למעשה, נובעות מהצורך לאוורר את החדר על מנת למנוע הצטברות של גזים רעילים הנפלטים בתהליך השריפה של דלקים נוזלים (סולר, קרוסין) וגז ולהגדיל את כמות החמצן באויר החדר.
- בטור הרביעי** של הטבלה מופיעים מחירים של יחידת חום (1000 קק"ל "נטו") המושקע בפועל בחימום החדר. מחירים אלה התקבלו מחילוק המחיר של 1000 קק"ל "ברוטו", המופיע בטור השני של הטבלה, במקדם התפוקה המשווער המופיע בטור השלישי של הטבלה.
- בטור החמישי** של הטבלה מופיעים המחירים של 1000 קק"ל "נטו" באחוזים, ביחס למחיר יחידת החום ("נטו") של שלושת הסוגים הראשונים של תנורי החשמל.

באם לגורם כלשהו המעוניין להשתמש בטבלה, יש נתונים של ערכי מקדם התפוקה השונים מאלה שמופיעים בטבלה 1, יש לעדכן את המחירים בהתאם. כמו כן, יש לעדכן את המחירים בכל מקרה של שינוי בתעריפים.

(אינג' סימינה מרק)

### האירגון הארצי לקבלני חשמל

ליד התאחדות בעלי מלאכה ותעשייה זעירה בישראל  
בשיתוף עם משרד העבודה והרווחה והמכון לפריון העבודה

#### אל ציבור החשמלאים/קבלני החשמל

במסגרת הפעילות של האירגון הארצי לקבלני חשמל בשנה האחרונה ובשיתוף גורמים נוספים הנוגעים לדבר ובסיועם האדיב של משרד העבודה והרווחה והמכון לפריון העבודה והייצור, אנו עומדים לפתוח בקרוב קורס מקוצר לקבלני חשמל.

#### בוגרי הקורס יוכשרו לקראת:

- קבלת רשיון חשמלאי ראשי (295 שעות לימוד).
  - רישום בפנקס הקבלנים כקבלן חשמל (165 שעות לימוד).
- לרישום ולקבלת פרטים נוספים: יש לפנות בהקדם למזכיר הארצי של קבלני החשמל לפי הכתובת: רח' המורים 8, פתח תקוה 49416, טלפון: 03-9231234/9222605.



# תקניותם של המרכיבים ושל האבזרים במתקני החשמל

אינג' אמיל אנגל

## החומר המובא במאמר זה מהווה:

- מידע לקידום הבטיחות בעבודה ובשימוש באנרגיה חשמלית.
- חוליה נוספת בסדרת המאמרים אשר פורסמו עד עתה בחוברות "התקע המצדיע".
- כל אחד מן הישוב בכלל והחשמלאי בפרט, חייבים:**
- להכיר את תכונותיה של האנרגיה החשמלית;
- לדעת איך להשתמש בה בצורה הבטוחה ובאופן הנכון.
- היות ואנרגיה חשמלית הינה נטולת ממדים, צבע, ריח, רעש או טעם, יש להשקיע תכנון וביצוע נאותים כך שמיתקן החשמל יהיה בטיחותי ככל האפשר.
- החוקים, התקנות וההוראות באים איפוא לסייע לבעלי המקצוע להפיק את מירב התועלת בעבודתו להקטין את סיכוניו למינימום האפשרי.

## חוק החשמל(1)

חוק החשמל והתקנות אשר הותקנו לפיו, באים להבטיח שמתקני החשמל למיניהם ייבנו כך שתובטח:

- בטיחות מירבית של המשתמשים
- שלמות המתקנים ופעולתם התקינה לאורך זמן.
- אחת הדרישות הבסיסיות בתקנות קובעת כי "ציוד החשמלי" במיתקן יתאים לדרישות התקן.
- הגדרת תקן היא** — תקן ישראלי שנקבע לפי חוק התקנים \* התשי"ג 1953 ובהעדר תקן כאמור — תקן אחר או מפרט כפי שהורה המנהל בכל מקרה או בסוג של מקרים.

## תקן מהו?

תקן למוצר הוא מסמך שמפורטות בו הדרישות הטכניות החלות על המוצר כדי שיתאים לייעודו; התקן דן בתכונות שונות כגון: חומר, מבנה תכונות, אורך חיים, סימון, אריזה וכיוצא באלה. רק מכון התקנים הישראלי (מתי"י), מוסמך להכין תקן ולפרסמו כתקן.

## לכּון התקנים מהו?

מכון התקנים הישראלי הינו תאגיד ממלכתי, הפועל מכח הסמכויות שמעניק לו "חוק התקנים" שנקבע בשנת 1953.

החוק מפרט את מטרותיו של מכון התקנים הישראלי, שעיקרו הכנת תקנים והבטחת איכותם של מוצרים, על-ידי הכנת תקנים, עריכת סקרים, ביצוע בדיקות ומחקרים הענקת תו-תקן וכדומה. מכון התקנים הישראלי פועל כגוף בלתי תלוי. אי-תלות זו באה לידי ביטוי בחוק ובתקנון המכון, הקובעים הן את המוסדות המנהלים אותו והן את הרכבם.

## מטרות התקינה

- להגן על הצרכן מפני מוצרים פגומים על-ידי קביעת דרישות איכות מינימליות.
- להבטיח את בריאות הציבור ואת בטיחותו על-ידי קביעת דרישות המתייחסות לבטיחות המוצרים.
- לקדם את היצוא ולנסות להתגבר על השוני שבדרישות התקנים הלאומיים השונים והבינלאומיים.

## כיצד נקבע תקן?

הכנת התקנים הישראליים נעשית בוועדות תקינה, שבהן לוקחים חלק כל הגורמים הנוגעים בדבר: יצרנים, אירגוני צרכנים, נציגי ממשלה, גופי מחקר ומדע וכו'. שיתוף כל הגורמים האלה נעשה כדי למצוא את האיזון הטוב ביותר בין בעלי ענין (אינטרסים) מנוגדים, לתועלת המשק כולו. ועדות התקינה הפועלות במסגרת המכון כפופות ל-15 ועדות מרכזיות ענפיות, המכוונות כל אחת בתחומה, את עבודתן של ועדות התקינה. ועדות התקינה מעבדות את נוסח הצעות התקן ומעבירות אותו לביקורת ציבורית. הוועדות המרכזיות מאשרות את הנוסח הסופי, ועם חתימת מנכ"ל מכון התקנים הישראלי על התקן, מקבל התקן מעמד של תקן ישראלי.

## תקן רשמי מהו?

כאשר שר המסחר והתעשייה משוכנע שהדבר דרוש לשמירה על בריאות הציבור, או על בטיחותו או להבטחת רמה נאותה לתוצרת הארץ, או לייעול המשק, או להגנת הצרכן, רשאי הוא להכריז על תקן מסויים כעל תקן ישראלי רשמי. משהוכרז תקן כתקן רשמי, אין לייצר את אותו המוצר ואין למכרו, ליבאו או להשתמש בו בכל עבודה שהיא, אלא אם הוא מתאים לתקן הרשמי.

אינג' א. אנגל — רכז תקינה ראשי של האגף לחשמל. באגף לתקינה של מכון התקנים הישראלי

(1) רשימת התקנות (חוק החשמל) והחומר התחיקתי המתייחס למתקני החשמל מפורסמת בחוברת "התקע המצדיע" הנוכחית (בעמ' 5).  
(2) ס"ח 164.

## תו תקן מהו?

תו תקן נקבע על פי החוק כסמל המציין את המוצרים העונים לכל דרישות התקנים הישראליים. כן קובע החוק שכאשר לא קיים תקן ישראלי, רשאי מכון התקנים הישראלי לקיים פיקוח על הייצור על פי מפרט שהוכן על ידו, במקרים כאלה מוענק ליצרן היתר לסמן את המוצרים בסימן השגחה.

## מבחינתו של הצרכן אין הבדל בין שני סמלים אלה.



סימן של תו-השגחה

סימן של תו-תקן

## תו תקן חובה!

בדרך כלל, יצרן הרוצה לסמן מוצריו בתו-תקן עושה זאת מרצונו החופשי. יחד עם זאת קיימים מוצרים שהתקנים שחלים עליהם הם תקנים רשמיים וביניהם רוב התקנים בענף החשמל, הקשורים במיוחד בביטוח ובבריאות הציבור. במקרים שכאלה, רשאי שר המסחר והתעשייה לפרסם צו האוסר ייצור המוצרים אלא אם הם מסומנים בתו-תקן.

## התקינה בהנדסת החשמל

קיימים למעלה מ-250 תקנים ישראליים, החלים הן על נושאים כלליים בהנדסת חשמל והן על דרישות בטיחות ודרישות איכות של מוצרי החשמל למיניהם. הרשימה שלהלן כוללת כ-176 תקנים ישראליים, החלים על מוצרי חשמל המיועדים להתקנה במתקני החשמל; רוב התקנים האלה הוכרוזו כתקנים רשמיים.

כדי להקל על הקורא, סודרה הרשימה לפי סדר המספרים של המיון העשרוני, כאשר **מפתח המיון בהנדסת חשמל מתואר להלן:**

מספר	הפרק
621.3	הנדסת חשמל.
621.313	מכונות חשמל, מנועים, גנרטורים.
621.314	שנאים (טרנספורמטורים).
621.315	קווי חשמל, כבלים והתקנה.
621.316	תקעים, מפסקים, נתיכים.
621.319.4	קבלים.
621.32	נורות חשמל.
621.35	מצברים וסוללות.
621.365	מכשירים חשמליים.
621.38/39	אלקטרוניקה וטלקומוניקציה.
628.9	הנדסת תאורה.

הרשימה כוללת גם את מפרטי-המכון — (מפמ"כ) בנושא, אולם איננה כוללת מפרטי אספקה (מפא"ס), מפרטי השגחה (מפה"ש) וכדומה.

## 621.3 הנדסת חשמל

ת"י — תקן ישראלי	
165 — שיטות בדיקה של מוצרי חשמל.	
206 — סימון מוצרי חשמל.	
422 — מרחקי זחילה, מרחקי אויר ומרווחים במוצרי חשמל.	
685 — זרמים נומינליים תקינים של מוצרי חשמל.	
734 — מיון ציוד חשמלי בהתאם להגנה מפני הלם חשמלי: הגדרות מונחים.	
758 — סמלים גרפיים לחשמל (התקן כולל 10 חלקים).	
981 — מיון דרגות ההגנה של מעטפות לציוד חשמלי.	
1005 — גלאי מתח:	
חלק 1: גלאים חד-קוטביים למתח עד 500 וולט.	
חלק 2: גלאים דו-קוטביים למתח עד 1000 וולט.	

## מפמ"כ — מפרט המכון

198 — קוצבי זמן לתאורת חדרי מדרגות.

## 621.314 שנאים (טרנספורמטורים)

ת"י — 899	שנאים קטנים למתח נמוך עד 500 וולט: דרישות כלליות.
899.1	שנאי בטיחות מבדל.
899.2	שנאים לפעמונים.
899.3	שנאים לצעצועים.
899.4	שנאי עצמי חד-ליפופי.
899.5	שנאים רגילים למתח בטיחות נמוך מאד.
899.6	שנאים מבדלים בעלי מתח מוצא נומינלי גדול מ-42 וולט.
899.7	שנאים למכונות גילוח.

## 621.315 — קווי חשמל, כבלים והתקנה

62	מהדקי תותב מבודדים למוליכי חשמל.
65	מוליכי חשמל עגולים מנחושת לכבלים, לפתילים ולמוליכים מבודדים.
108	הוראות למתקני חשמל: (רוב הפרקים למעט פרק 206, בוטלו ע"י חוק החשמל והתקנות שהותקנו לפיו):
	פרק 206: העמסת מוליכי אלומיניום מבודדי פוליוויניל כלורי.
145	תיבות חיבורים למתקני חשמל: תיבות פלסטיק, תיבות חיבורים למתקני חשמל: תיבות מתכת.
	חלק 1: תיבות פח-פלדה זק.
	חלק 2: תיבות פח-פלדה עבה וזיקת אלומיניום.
344	הדקים קבועים לחיבור מוליכי חשמל.
345	מבדדי חרסיה לקווים עיליים עד 1000 וולט דרישות טיב.
346	מבדדי חרסיה נשענים נ"י 80 נ"י 95 לקווים עיליים עד 1000 וולט.
347	מבד משוורת ש"י 92 מחרסיה לקווים עיליים עד 1000 וולט.
348	מבדדי עוגן ע"י 85 עד 100 מחרסיה לקווים עיליים עד 1000 וולט.
349	מבדדים נשענים נ"י 80 נ"י 95: מדידים לבחינת התברגים.
350	משענות למבדדי חרסיה לקווים עיליים עד 1000 וולט דרישות טיב.
351	משענת ישרה גלילית מ"ג 80 למבדדי חרסיה עד 1000 וולט.

מפמ"כ	ת"י
165 – תיבות ללוחות חיבורים למתקני חשמל: לוחות עשויים פלסטיק.	352 – משענות ישרות חרוטיות מ"ח למבדדי חרסינה עד 1000 וולט
175 – עמודי תאורה מבטון מזויין.	353 – משענות קרס מק"ע מק"ק למבדדי חרסינה עד 1000
<b>621.31 תקעים, מפסקים, נתיכים</b>	354 – פין למבדדי משוורת ש' 92 מחרסינה עד 1000 וולט
<b>ת"י</b>	355 – משענות למבדדים משענים: מדידים לבחינת התברייגים
32 – תקעים ובתי תקע לשימוש ביתי ולשימושים דומים:	444 – צינורות מגן משוריינים מתוברגים מפלדה ללא בידוד למתקני חשמל
<b>חלק 1:</b> תקעים ובתי תקע חד-מופעיים עד 16 אמפר.	473 – כבלים, פתילים ומוליכים מבדודים למתח נומינלי עד 1000 וולט:
<b>חלק 2:</b> תקעים ובתי תקע תלת-מופעיים עד 16 אמפר (בהכנה).	473.1 – מוליכים מבדודים פ.ו.י.סי – כינוי "ט".
33 – מפסקי קיר חשמליים לשימוש בבתי מגורים ובמקומות דומים.	473.2 – מוליכים מבדודים פ.ו.י.סי – כינוי "ט גמיש".
230 – נתיכים מתוברגים בעלי פקק: דרישות טיב כלליות.	473.3 – כבלים מבדודים פ.ו.י.סי – כינוי "טט".
231 – נתיכים מתוברגים בעלי פקק: בית נתיך של 25 ושל 63 אמפר לחיבור אחורי.	473.4 – כבלים מבדודים פ.ו.י.סי – כינוי "טטר".
232 – נתיכים מתוברגים בעלי פקק: בית נתיך של 100 ושל 200 אמפר לחיבור אחורי.	473.5 – כבלים מבדודים פ.ו.י.סי – כינוי "טנטי".
233 – נתיכים מתוברגים בעלי פקק: בית נתיך של 25 ושל 63 אמפר לחיבור קדמי, ברגי חיבור, דסקיות.	473.6 – פתילים מבדודים פ.ו.י.סי – כינוי "פט".
234 – נתיכים מתוברגים בעלי פקק: בית נתיך של 100 ושל 200 אמפר לחיבור קדמי ובורג חיבור.	473.7 – פתילים מבדודים פ.ו.י.סי דק – כינוי "פטטי".
235 – נתיכים מתוברגים בעלי פקק: ראשים של 25 ושל 63 אמפר פקקים וברגי התאמה.	473.8 – פתילים מבדודים פ.ו.י.סי עבה – כינוי "פטטכ".
236 – נתיכים מתוברגים של 100 ושל 200 אמפר בעלי פקק: ראשים, פקקים, נדני התאמה, מפסקים ומנתקים הפועלים באוויר ומופעלים ביד.	473.9 – פתילים מבדודים גומי דק – כינוי "פגני".
367 – מהדקי הארקה לצינורות ולמוטות.	473.10 – פתילים מבדודים גומי עבה – כינוי "פגנכי".
537 – נתיכים בעלי אלמנט ניתך חליף: אלמנט ניתך מנחשת.	473.11 – פתילים מבדודים גומי – כינוי "פתי".
548 – נתיכים בעלי אלמנט ניתך חליף.	473.12 – פתילי ריתוך מבדדי גומי – כינוי "רתי".
621 – מפסקים לפתילים להפעלה ביד.	474 – כבלים, פתילים ומוליכים מבדודים למתח נומינלי עד 1000 וולט: שיטות בדיקה.
644 – מעגונים (קונטקטורים).	519 – מוליכים מבדודים, בעלי מעטה מפוליוויניל כלורי, למתקנים במתח נמוך מאד בכלי רכב ממונעים.
740 – תרמילים לנתיכים זעירים.	544 – פתילים לחיבור מכשירי חשמל מיטלטלים: צבעי היכר של הגידים.
740.1 – תרמילים 5x20, מהיר פעולה, כושר ניתוק גדול.	547 – כבלים תת-קרקעיים מבדודים מפוליוויניל כלורי למתח עד 1000 וולט.
740.2 – תרמיל 5x20, מהיר פעולה, כושר ניתוק נמוך.	560 – כבלי הצתה למנועי שריפה פנימית.
740.3 – תרמיל 5x20, מושהה, כושר ניתוק נמוך.	618 – מוליכי חשמל עגולים מאלומיניום לכבלים ולמוליכים מבדודים.
740.4 – תרמיל 6.3x32, כושר ניתוק נמוך.	643 – מוליכי אלומיניום לקווים עיליים.
745 – מפסקים זעירים אוטומטיים.	728 – צינורות מחומרי פלסטי למתקני חשמל.
832 – מפסקי מגן לשימוש ביתי ולשימושים דומים, המופעלים בזרם דלף.	735 – כבלים מבדודים בחומר תרמופלסטי למתח גבוה:
1038 – מפסק מגן משולב הפועל בזרם דלף ובזרם יתר.	<b>חלק 1:</b> כבלים למתח בין המופיעים מ-1 עד 10 kw.
1070 – נתיכים מתוברגים בעלי פקק סידרה 00: מידות.	<b>חלק 2:</b> כבלים למתח בין המופיעים מ-10 ועד 35 kw (בהכנה).
1109 – תקעים ובתי-תקע לשימוש בתעשייה.	812 – עמודי תאורה עשויים מתכת.
1154 – תקעים ובתי תקע למכשירי טלפון.	840 – סרט דביק בלחיצה לבידוד חשמלי: סרט על בסיס פוליוויניל כלורי.
1173 – מערכות הגנה מפני פגיעות ברק למבנים ולמתקנים.	1007 – נחושת לייצור מוליכי חשמל.
1206 – ציוד מיתוג ובקרה למתח נמוך:	1057 – הדקי תחיבה.
<b>חלק 1:</b> מפסקים אוטומטיים.	1101 – מוליכי חשמל מאלומיניום מצופה נחושת למוליכים מבדודים.
1238 – מתנעים מנועים למתח נמוך:	1122 – עמודי תאורה עשויים פוליאסטר מזויין.
<b>חלק 1:</b> מתנעים להתנעה ישירה (מתנעי מקוון).	1155 – כבלים למתקני תקשורת: כבלים לתדר שמע, בעלי בידוד ומעטה עשויים פ.ו.י.סי.
<b>חלק 2:</b> מתנעי כוכב-משולש.	1280 – אבורי חיבור לצינורות למתקני חשמל: אבורי פלסטיק ואבורים משולבים.
<b>חלק 3:</b> מתנעים נגדים לחיבור למעגל הרוטור.	<b>מפא"ס – מפרט אספקה</b>
<b>חלק 4:</b> מתנעים להתנעה בשנאי עצמי בשתי דרגות.	63 – עמודי תאורה מתומנים.
1330 – מערכות מיטלטלות להגנה מפני זרם דלף.	64 – עמודי תאורה מצינורות פלדה.
1357 – בסיסים לתרמילים של נתיכים זעירים.	70 – עמודי תאורה מבטון מזויין.

**מפמ"כ**

1169 — אבזרי עזר לנורות פריקה: נטלים לנורות אדי נתון הפועלות בלחץ גבוה (בהכנה).

157 — לחצנים לפעמון לבית ולמקלט.  
158 — פעמון משוריין למקלטים.  
166 — מפסק קיר למחמם מים חשמלי.  
237 — פעמונים המופעלים חשמלית

**מפמ"כ**

6 — נורות ליבון בעלות מחזיר אור אינטגרלי.  
75 — מנורות לחדרי שירותים.  
159 — מנורות חשמל למקלטים.  
235 — אבזרי עזר לנורות פריקה: נטלים לנורות אדי נתון הפועלות בלחץ גבוה.  
286 — אבזרי עזר לנורות פלואורניות: נטלים אלקטרוניים.

**621.319.4 — קבלים**

**ת"י**

575 — קבלים למונעים.  
1058 — קבלי הספק.

**621.365 — מכשירים חשמליים**

ת"י  
69.1 — מחממי מים חשמליים בעלי וויסות תרמוסטטי ובידוד תרמי.  
69.2 — מחממי מים חשמליים בעלי וויסות תרמוסטטי ובידוד תרמי: מידות ומרחבי התקנה.  
457 — מחממים חשמליים לחימום מהיר של מים:  
**חלק 1:** מחממים ללא בידוד תרמי.  
**חלק 2:** מחממים בעלי בידוד תרמי עד 60 ליטר (בהכנה).  
483 — מאוררי תקרה חשמליים.  
494 — מאוררי תקרה חשמליים.  
757 — כלי עבודה חשמליים מיטלטלים המוחזקים ביד — דרישות בטיחות. (התקן כולל 15 חלקים).  
900 — כללי בטיחות למכשירי חשמל לשימוש ביתי ולשימושים דומים.  
962 — מחממי מים חשמליים מרכזיים.  
**חלק 1:** פרקים א' ו'ב': מחממי מים חשמליים מרכזיים.  
**חלק 2:** פרק ג': המיכל.  
994 — מזגני אוויר: **חלק 1:** מזגני אוויר לחדרים: דרישות בטיחות חשמליות.  
**חלק 2:** מזגני אוויר מפוצלים: דרישות בטיחות חשמליות.  
1191 — מחממי מים חשמליים מידיים.

**628.9 — הנדסת תאורה**

889 — מאור בבתי ספר.  
890 — מאור בספריות.  
933 — מאור במשרדים.

**מפמ"כ**

185 — עמודי תאורה מבטון מזויני.  
198 — קוצבי זמן לתאורת חדרי מדרגות.

**621.32 — נורות חשמל**

20 — מנורות חשמל.  
78 — בתי נורה:  
**חלק 1:** בתי נורה מתוברגים (טיפוס אדיסון).  
**חלק 2:** בתי נורה גליליים (טיפוס באיונט) (בהכנה).  
79 — תברגינים בעלי פרופיל עגול מטיפוס אדיסון.  
246 — נורות ליבון שיש להן תיל טונגסטן:  
246: דרישות טיב כלליות.  
246.1: דרישות מיוחדות לנורות למתח של 200-250 וולט.  
246.2: דרישות מיוחדות לנורות למתח של 100-150 וולט.  
246.3: דרישות מיוחדות לנורות למתח של 6-75 וולט.  
246.4: דרישות מיוחדות לנורות בעלות צורות דקורטיביות למתח של 200-250 וולט.  
247 — כיפות מתוברגות מטיפוס אדיסון וכיפות גליליות מטיפוס באיונט. דרישות כלליות:  
247.1: כיפות מתוברגות מטיפוס אדיסון E10, E5, E14, E14'. מידות.  
247.2: כיפות מתוברגות מטיפוס אדיסון E27, E40'. מידות.  
247.3: כיפות גליליות מטיפוס באיונט B15: מידות.  
247.4: כיפות גליליות מטיפוס באיונט B22: מידות.  
247.5: כיפות גליליות מטיפוס באיונט BA7: מידות.  
247.6: כיפות גליליות מטיפוס באיונט BA9: מידות.  
247.7: כיפות גליליות מטיפוס באיונט BA15: מידות.  
247.8: כיפות גליליות מטיפוס באיונט BA15Y: מידות.  
247.9: כיפות גליליות מטיפוס באיונט BA20: מידות.  
247.10: כיפות גליליות מטיפוס באיונט BA21-3: מידות.

396 — אבזרי עזר לשפופרות פלואורניות: בתי נורה ובתי מדלק.

397 — אבזרי עזר לשפופרות פלואורניות:

**חלק 1:** נטלים לא התנגדותיים.

**חלק 2:** נטלים טרנוסטרואיים.

**חלק 3:** נטלים אלקטרוניים (בהכנה).

398 — אבזרי עזר לנורות פריקה: קבלים.  
402 — אבזרי עזר לשפופרות פלואורניות: מדלקים מטיפוס להט.

520 — שפופרות פלואורסצנטיות לשימוש כללי.

582 — אבזרי עזר לנורות פריקה: נטלים לנורות אדי כספית, הפועלות בלחץ גבוה.

1164 — נורות פריקה: נורות אדי כספית, הפועלות בלחץ גבוה.

1165 — נורות פריקה: נורות אדי נתון, הפועלות בלחץ נמוך.

1166 — נורות פריקה: נורות אדי נתון, הפועלות בלחץ גבוה.

1168 — אבזרי עזר לנורות פריקה: נטלים לנורות אדי נתון הפועלות בלחץ נמוך.



החשמלאי בסבך התקנות

# תאינת השמל וליקהה



## חישמול קטלני אשר גרם למותו של שרברב בתל-אביב

מר אליהו ברזילי

באחד מערבי הקיץ השנה נתקבלה, בחברת החשמל, הודעה על חישמול קטלני באזור ת.יא. למקום נשלח בודק של חברת החשמל.

הבודק שביקר במקום, מצא כי "השרברב" אשר עסק בהחלפת קטעי צינורות מים פגומים מחוץ לבנין, ליד מד המים, קיבל תוך עבודתו חבטת חשמל ואיבד את הכרתו. פעולת ההחייאה של אנשי מגן דוד אדום במקום לא הועילו והוא נפטר. עובדי ההשגחה של חברת החשמל שהוזעקו למקום הפסיקו את אספקת החשמל לבנין על-ידי שליפת הנתיכים הראשיים של החברה.

## בבדיקה שערך הבודק נתגלו העובדות הבאות:

- א. חסרו קטעי צינורות מים בין צינור מים ראשי הטומן באדמה ובין מדי המים של דירות שונות בבנין (כולל דירה מס' 1 הנמצאת בקומה ב').
- ב. לאחר נקיטת אמצעי זהירות, חידש הבודק את אספקת החשמל למבנה ומדח מתח מלא (230 וולט) בין צינור מים ראשי לבין צינור המים המנותק של הדירה מס' 1 בקומה השניה.
- ג. בבדיקת מתקן הדירה נמצא מקרר חשמלי שקיים בו פסק בין פין האפס לתקע המקרר ובין מערכת החשמל של המקרר. כמו כן נמדדה התנגדות של 20 אוהם בין פין המופע בתקע המקרר ובין פין ההארקה ו/או גוף המכשיר.
- ד. מתקן החשמל בדירה הוגן על ידי מפסק תקין לזרם ד"ף  $2 \times 25$  אמפר ובעל רגישות של 0.03 אמפר אך נתון המעגל המזין את המקרר היה מחובר לפני הכניסה למפסק (במקום ביציאה ממנו) דהיינו, המעגל הגי"ל לא היה מוגן על ידי מפסק הד"ף.

## ניתוח התקלה

- \* יש להניח שבזמן מסויים חלה תקלה בבידוד המקרר והדבר גרם להפעלת המפסק לזרם דלף.
  - \* יש להניח כי "החשמלאי" אשר טיפל בתקלה ניתק את מעגל המקרר וחיברו לפני המפסק, במקום לתקן את התקלה במקרר. כך שהמקרר עבד ברציפות בין מופע להארקה.
- בזמן שנותק קטע הצינור, נותק המעגל וכאשר המקרר היה אמור לפעול, הופיע מתח של 230 וולט בצינור המים המתחבר לדירה.

מר א. ברזילי — סגן מנהל מחלקת הצרכנים הטכנית, מחוז דן, חברת החשמל

"השרברב" אשר ניתק את הצינור ללא התקנת "גשר" הארקה ובהיותו, לדברי השכנים, יחף, סגר את המעגל בגופו והתחשמל.

הבודק ניתק את אספקת החשמל לבנין על ידי שליפת נתיכי חברת החשמל, חיבר את המעגל של המקרר ביציאה של מפסק הדלף והפסיק את המקרר.

הדיירים נדרשו להשלים ולתקן את צנרת המים ובעל המקרר התבקש לדאוג לתיקון המקרר.

**פרטי האירוע** המתואר לעיל הועברו לידיעתו של הממונה על עניני החשמל במשרד האנרגיה והתשתית אינני **ויקטור זיס**, אשר בהסתמך על ממצאי הבדיקה קבע מפורשות את המסקנות הבאות:

1. המנוח פרק קטעי צנורות מים מבלי לגשר אותם קודם לכן וזאת בניגוד לתקנת משנה 17(ב) של תקנות החשמל (הארקות ושיטות הגנה בפני חישמול במתח עד 1000 וולט) קובץ התקנות 4643 מיום 10.6.84.
2. החשמלאי איפשר הפעלת מקרר חשמלי שמצב בידודו ירוד ביותר וזאת בניגוד לתקנת משנה 157(א)3 של תקנות החשמל (התקנת מוליכים) — קובץ התקנות 2569 מיום 4.6.70 וקובץ התקנות 4973 מיום 1.10.86.

## הלקח

תאונה קטלנית זו היתה נמנעת לו "החשמלאי" (או מי שטיפל בליקוי המקרר) היה פועל בהתאם לדרישות התקנות הרלבנטיות, כמפורט לעיל והשרברב המנוח היה מתקין גישור מתאים כמצויין לעיל לפני שפרק את קטעי הצינורות.

\* ראוי לציין שכבר ב"התקע המצדיע" מס' 2 מדצמבר 1966 התפרסמה כתבה בשם "מות השרברב" ובא תאור אירוע קטלני דומה מאד למה שהתרחש במקרה הנדון. המסקנה החד-משמעית היא, שיש להקפיד הקפדה רבה על ביצוע עבודות חשמל בהתאם לתקנות החשמל וכללי הבטיחות המתחייבים מהם וכך להתגבר על הסכנה האורבת מטיפול רשלני ובלתי מקצועי שתוצאותיה יכולים להיות לצערנו חמורים ביותר.

# הפרעות ברשת אספקת החשמל

## סיבות, תוצאות ואמצעים למניעתן

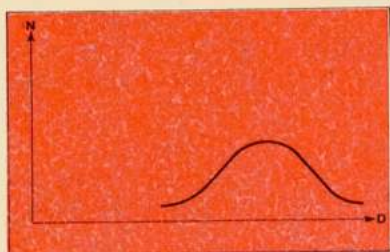
אינג' אלי נאוטרה, אינג' יוסף רוזנקרץ

רשת אספקת החשמל נתונה להפרעות חשמל ארעיות, המופיעות בקווי אספקה שונים, וגורמות לשיבושים בתיפקודו התקין של ציוד חשמלי מסוגים שונים.  
בנושא "זיהום רשתות על ידי צרכנים" פורסם כבר ב"התקע המצדיע" מס' 24 – ספטמבר 1980 מאמר מפרי עטו של אינג' נ. אליאש.  
מאמר זה מיועד לעדכן את המעוניינים בנושא הפרעות החשמל ולהביא הבטים אחדים ומעשיים בנדון.

### תאימות אלקטרומגנטית

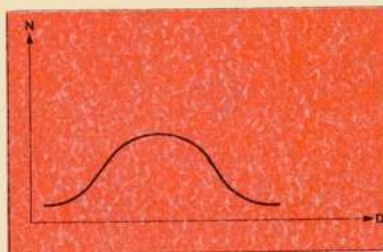
בהתאם לגישה המתגבשת כיום בנושא ההפרעות, העומדת למצוא את ביטויה בתקנים בינלאומיים כגון VDE, IEC וכו', מוגדר מונח המתייחס לכל סוגי ההפרעות, וקרוי "תאימות אלקטרומגנטית" (Electromagnetic Compatibility).  
כדי להבין את משמעות "התאימות האלקטרומגנטית" יש להתייחס למכלול ההפרעות המתרחשות ברשת החשמל כתופעה **אקראית**.  
בין ההפרעות ומספר ההתרחשויות קיים קשר הסתברותי המתבטא בעקומה שבאיור 1.

איור 2  
עקומת אי-הרגישות



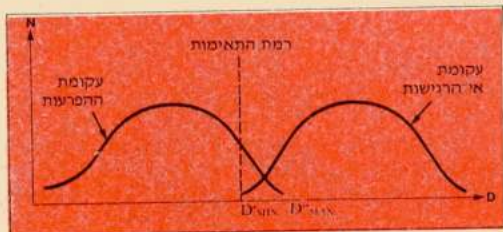
עקומת אי-הרגישות מבטאת את העובדה כי הפרעות ברמה שעורית גבוהה (לדוגמה קפיצות מתח או דעיכות מתח) אינן משבשות, כרגיל, את תיפקודו התקין של הציוד החשמלי, בתנאי שהן מתרחשות במספר מועט של מקרים; הפרעות בשעורים קטנים יותר, סבילות על ידי הציוד אפילו אם הן מתרחשות במספר גדול יותר של מקרים, אך מעבר לנקודת שבירה (שיא) מסוימת אפילו רמת ההפרעות תרד אך הן לדוגמה תמשכנה פרקי זמן גדולים הרי אז יסבול הציוד רק מספר מועט של הפרעות כאלה.  
אם נרכיב את שתי העקומות (2 – 1) על גרף אחד נקבל את התאור הבא (איור 3):

איור 1  
עקומת ההפרעות



N = הסתברות מספר ההפרעות  
D = רמת ההפרעות (מתח, תדר, הרמוניות וכו')

איור 3  
עקומת התאימות האלקטרומגנטית



העקומה שבאיור 1 מבטאת את העובדה כי הפרעות ברמה שעורית נמוכה מתרחשות גם בהסתברות נמוכה של מקרים; הפרעות בשעורים גדולים יותר עשויות להתרחש במספר גדול והולך של מקרים, עד לנקודת שבירה מסוימת (השיא) שלאחריה ככל שגדל ערך ההפרעות הן מתרחשות בהסתברות נמוכה יותר של מקרים.  
מאידך, הציוד החשמלי אשר מוזן מרשת החשמל ונתון להשפעת הפרעות אלו אינו רגיש **לכל** סוגי ההפרעות ועוצמת השפעתן עליו נושאת אף היא אופי הסתברותי כמתואר באיור 2:

אינג' א. נאוטרה – מנהל הרשת הארצית, אגף הצרכנות, חברת החשמל  
אינג' י. רוזנקרץ – מהנדס מומחה, הרשת הארצית, אגף הצרכנות, חברת החשמל

קיימת גם קבוצה נוספת של הפרעות, המופיעות ברשתות תלת-מופעיות, בצורת מתחים אסימטריים. אי-האיזון בין המתחים מתבטא בתקנים שונים לפי נוסחאות שונות. בתקן VDE, למשל, מתבטאת אסימטריות המתחים לפי היחס בין הרכיבים הסימטריים של המערכת התלת-מופעית: רכיב חיובי  $U_1$ , שלילי  $U_2$  ורכיב האפס  $U_0$ . בטבלה 1 ניתנת כדוגמה רמת התאימות של הפרעות אלה לפי תקן VDE העוסק בנושא התאימות האלקטרומגנטית.

### מקור הפרעות

- הפרעות החשמל מתחלקות על פי מקורן לקבוצות הבאות:
- הפרעות שמקורן בציוד חשמלי מסוגים שונים, כגון: מנועים גדולים בעלי התנעה ישירה, מיישרים מבוקרים, מכונות ריתוך גדולות, תנורי קשת וכו', אשר הפעלתם הטבעית "מזהמת" את הרשת.
  - הפרעות שמקורן בתופעות טבע כגון ברקים, רוחות חזקות וכו', המשפיעות ישירות על רשת החשמל, ביחוד על רשתות עיליות, וגורמות לקפיצות מתח, (Lightning Surges), קצרים חולפים, או הפסקות חשמל ממושכות.
  - הפרעות שמקורן בקצרים ברשת או בפעולות מיתוג, העשויות לגרום לדורבני מתח (Switching Surges).

נסקור בקצרה את ההפרעות הנגרמות על ידי ציוד חשמלי מסוגים שונים, והשפעתן על תיפקודו של ציוד חשמלי אחר, המוזן מרשת החשמל.

— **מנועים חשמליים** בעלי התנעה ישירה עשויים לגרום לדעיכות מתח ברשת, דבר העלול לשבש את פעולתם של מנועים אחרים ושל ציוד אלקטרוני רגיש כגון מיישרים מבוקרים, מחשבים וכיוצא באלה.

— **מיישרים מבוקרים** הכוללים תיריסטורים, עשויים לייצור הרמוניות בגדלים שונים העלולים לשבש את תיפקוד הציוד האלקטרוני; ולגרום גם לסטיות מתח.

— **מכונות ריתוך גדולות** ובמיוחד תנורי קשת, מהווים ציוד אשר מתנהג בצורה מובהקת כמחולל הפרעות בכמעט כל תחומי הפרעות כגון: תנודות מתח הגורמות להבהובי תאורה (פליקרים), הרמוניות, אי-איזון מתחים וכו'. בטבלה 2 מפורטות ההשפעות של הפרעות על מערכות וציוד חשמלי מסוגים שונים.

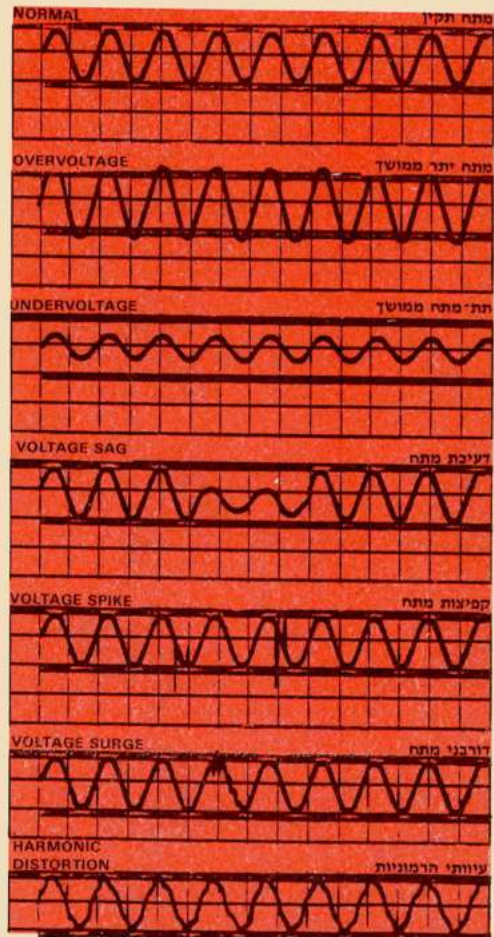
"רמת התאימות" (Compatibility Level) מוגדרת על פי איור 3 כרמת שיעור הפרעות הקרובה לרמה המירבית ( $D^{MAX}$ ) של ההפרעות העלולות להופיע ברשת, אך קטנה מהפרעות ( $D^{MIN}$ ) המיזעריות אשר עלולות לשבש את תיפקודו של הציוד.

- המונח "רמת התאימות" חשוב בשני מישורים:
- אם רמת ההפרעות ברשת מסויימת נמצאת מתחת לרמת התאימות, מבטיח הדבר שהציוד המחובר לרשת זו יתפקד בצורה תקינה.
  - ציוד חשמלי אשר הוא עצמו מהווה מחולל הפרעות יוגבל כך שתישמר רמת התאימות הכללית ברשת החשמל שאליה הוא מחובר.

### סוגי הפרעות

ההפרעות ברשת החשמל נושאות אופי שונה, לפעמים מורכב ביותר, אך למרות זאת ניתן לחלק אותן למספר קבוצות כמתואר ברישום גלי המתח באיור 4 דלקמן:

איור 4  
רישום גלי המתח



**טבלה מס' 1**  
**רמת התאימות של הפרעות המופיעות ברשתות תלת-מופעיות**

סוג הפרעה	משך ההפרעה	רמה מותרת
סטית מתח ממושכת	— —	$\Delta U \leq \pm 10\% U_N$
תנודות מתח מחזורית	עד 0.8 מחזורים לדקה מעל 0.8 מחזורים לדקה	$\Delta U \leq 3\% U_N$ הרמה יורדת בהתאם לתדר
קפיצות מתח חולפות	עד $50\mu s$ מעל $100\mu s$	$\Delta U \leq 2.5 U_N$ $\Delta U \leq 1.3 U_N$
דורבני מתח	עד 1.3ms מעל 10ms	$\Delta U \leq 1.3 U_N$ $\Delta U \leq 0.1 U_N$
דעיכות מתח	100ms - 500ms 100ms	התנעות מנועים: חבור שנאים: $\Delta U \leq 10\% U_N$ קצרים ברשת — אין הגבלה
אי איזון מתחים	מספר שניות > 10 min	$\frac{U_0}{U_1} \cdot 100 \leq 3\%$ & $\frac{U_0}{U_1} \cdot 100 \leq 2\%$ $\frac{U_2}{U_1} \cdot 100 \leq 2\%$ & $\frac{U_n}{U_1} \cdot 100 \leq 2\%$
גלים עליונים	גל בודד תכולת ההרמוניות	רמה בהתאם לתדר הגל $\sum_{n=2}^{\infty} n^2 U_n^2 \leq 0.5 U_1^2$
תדר	— —	$\Delta f \leq \pm 1\% f_N$

**טבלה 2**  
**השפעות אפשריות של ההפרעות על מערכות וציוד חשמלי**

סוגי ההפרעות				מערכות וציוד חשמלי
הפסקות חשמל	מתחים אסימטריים	תנודות מתח, שינוי זווית המופעים	סטיות מתח	
בעיות בהתנעה חוזרת	עומס יתר	שינוי המומנט	עומס יתר	מנועים
				קבלים
				מסננים
סטיות המדידות, פעולות בלתי רצויות				מערכות מדידה והגנה
			סיגנום לקוי	מערכות התראה (סיגנום)
ללא U.P.S. הפסקות	תיפקוד לקוי	תיפקוד לקוי הפסקות	תיפקוד לקוי	מחשבים
שיבושים והפסקות				ציוד אלקטרוני
<b>גרימת הפרעות ברשת</b>				מיישרים מבוקרים
	ירידות הספק, התהככויות	התהככויות	תיפקוד לקוי	
		היכהובים (פליקרים)	היכהובים (פליקרים)	נורות פריקה וליבון
			אותות משובשים	פיקוד אדוות
שיבושי התמונות				צגי טלוויזיה
נוקים			ליקויים ביצור	תהליכים תעשייתיים
בעיות בהחזרת המתח התקין			הגנת פחת לקויה פעולות הגנה בלתי רצויות	רשת החשמל



## האמצעים לצימצום ההפרעות

יצרני החשמל וצרכני החשמל, מודעים יחד לעובדה, כי למעשה לא ניתן למנוע לחלוטין את תופעת ההפרעות, אולם ניתן להקטין את השפעתן ולמנוע את התפשטותן ברשת, על ידי נקיטה באמצעים מיוחדים.

צרכנים אשר עומדים להתקין ציוד אלקטרוני רגיש (מחשבים) או צרכנים המחוברים לרשת אספקת החשמל ומגלים שיבושים בתיפקוד ציודם כתוצאה מהפרעות חשמל חייבים להכיר את חומרת ההפרעות ולשקול את צעדיהם להגנת הציוד בפני הפרעות אלה. חברת החשמל בודקת את מיתקני הצרכנים העשויים לחולל הפרעות ברשת החשמל ודורשת מהם, במידת הצורך, שיתקינו מכשירים לחסימת ההפרעות בפני חזירתן לרשת.

**האמצעים המוקבלים להגנת הציוד בפני הפרעות הם:** מסננים, מגיני מתח יתר, שנאים מבדלים, מייצבי מתח, צמדי מנוע-גנרטור, מערכות אל-פסק אלקטרוניות, וכו'.

— המסננים המותקנים בכניסה לציוד חשמלי רגיש, מסוגלים לסנן הרמוניות ורעשים בערוצי תדר שונים, אך הם אינם מגינים על הציוד בפני מתח יתר.

— "מגיני מתח יתר" מהווים אמצעים לא יקרים אשר הוכיחו את יעילותם כמעט בכל המקרים שבהם הציוד החשמלי סבל מסטיות מתח יתר חולפות (קפיצות מתח או דורבני מתח).

— שנאים מבדלים ומייצבי מתח, הם אמצעים יעילים להקטנת הרמוניות או ליצוב מתח הזינה של הציוד החשמלי, אך הם אינם חוסמים בצורה יעילה סטיות מתח חולפות או הרמוניות.

— אחד האמצעים היעילים ביותר לחסימת כל סוגי ההפרעות החשמליות הינו הזנת הציוד הרגיש באמצעות צמד מנוע-גנרטור.

— ציוד אחר המוקבל לזינת צרכנים חיוניים מאוד (במיוחד מחשבים), מהוות מערכות אל-פסק (U.P.S.); אולם יש לדעת כי גם למערכות U.P.S. מיגבלות מסוימות המתבטאות במחירן היקר, בנטל התחזוקתי שלהן ובעובדה שלפעמים הן עצמן מהוות מקור הגורם להפרעות.

בטבלה 3 מפורטים אמצעים אחרים לשיפור איכות החשמל אצל הצרכנים.

כל צרכן שברשותו נמצא ציוד חשמלי רגיש להפרעות, חייב להיות מודע לקיומם של האמצעים שפורטו לעיל ולנקוט בצעדים להקטנת השפעת ההפרעות על תיפקוד הציוד שהוא מפעיל.

חברת החשמל מצידה עוקבת בהתמדה אחרי מצב ההפרעות ברשת ונוקטת בכל האמצעים העומדים לרשותה כדי לצמצמן.

בין אמצעים אלה ניתן למנות:

- החיבור החוזר ברשתות מתח גבוה ועליון.
- שיפור ושיכלול מערכות ההגנה בתחנות המיתוג של החברה.
- שטיפת מבדדי רשתות מ.ג. ומ.ע., באמצעות מכונת שטיפה מיוחדת.
- סריקת קווים ותחנות בעזרת ציוד תרמוגרפי מיוחד לגלוי תקלות.

- שיפור בתחזוקה המונעת.
- פיתוח רשת החשמל התת-קרקעית.
- חברת החשמל עונה לפניית צרכנים המתלוננים על הפרעות חשמל ומשתדלת למצוא יחד אתם את הפתרונות המתאימים למניעת השיבושים בתיפקוד הציוד שברשותם.

### טבלה 3

אמצעים אחרים לשיפור איכות החשמל אצל צרכנים

שיפור השפעות ההפרעות			האמצעים לשיפור איכות החשמל אצל הצרכן
סטיות מתח	תנודות מתח	מתחים אסימטריים	
x	x	x	הגבלת הספק הציוד אשר מחולל הפרעות ברשת
x			שימוש במיישרים מבוקרים בעלי מספר דפקים (פולסים) גדול
x			הזזת זווית ההצתה של מיישרים מבוקרים המחוברים בטור
x			התקנת שנאים המצוידים במחליפי דרגות
	x		הגבלת זרמי ההתנעה של מנועים
	x		שימוש במנועים בעלי זרם התנעה נמוך
x	x	x	פיזור זמני ההפעלה של הציוד המחולל הפרעות ברשת החשמל
x	x	x	הקטנת מקדם הבור-זמניות על-ידי: — שילוב בהפעלה של מקורות זהום שונים
		x	חלוקת עומסים חד-מופיעים באופן שווה על שלושת המופעים
x	x	x	חבר עומסים חד-מופעים לרשת באמצעות שנאים המחלקים את העומס על שלושת המופעים או באמצעות מערכות מנוע גנרטור



# העידן החדש – מיקרופרוססור ברשתות חשמליות

אינג' סילביה מנדלבאום, מר אלישע אושרוב

מבוא

מציאות חיינו הנוכחית בעידן ההתפתחות הטכנולוגית המואצת שונה מכל מה שהכרנו בעבר הקרוב. שינוי מהפכני זה נובע בין השאר גם מההתפתחות הטכנולוגית הספרתית (דיגיטלית) – כולל פיתוח המיקרופרוססור והשימוש בתקשורת נתונים ספרתית. גם בתחום החשמל, כבתחומים אחרים, גרמה חזירת הטכנולוגיות החדשות מהפך ותפיסה חדשנית של מבנה הרשת החשמלית וההגנות החשמליות הכלולות בה. כידוע, עלולים להתהוות, עקב סיבות שונות, מפגעים חשמליים בכלל, וקצרים בפרט, ברשתות ובמתקנים חשמליים. השפעותיהם השליליות של מפגעים כאלה מתבטאות בנוזקים חומריים, פגיעות בציוד, השבתת מתקנים ותהליכי ייצור ובהכרח גם בהפסדים כספיים. ככל שיאותר וינותק מקום התקלה החשמלית ממקור הזנת המתח בזמן קצר יותר, ורק בקטע הלקוי המדויק, כך יקטנו הנוזקים וההפסדים הנובעים מהארוע. למטרה זו נרתמה הקידמה הטכנולוגית והגישה פתרונית מהפכניים ויעילים יותר בהשוואה לשיטות הקונבנציונליות הישנות, פתרונות אלו תורמים להקטנה, בצורה משמעותית של היקף ההפסדים והנוזקים הנגרמים מהתקלות החשמליות השונות. יתרה מכך, הקידמה בטכנולוגיה הספרתית הגישה לנו "מתנות" בצורת אפשרויות חדישות ואינדיקציות שונות, כדוגמת: איתור סוג התקלה, מיקומה, ערכי שיא ביקוש, צריכת זרם וכו'. עקב התקדמות חדישה זו נדרשת כיום תפיסה חדשה של מבנה הרשת החשמלית, משטר העבודה שלה ונוהל הפעלת ההגנות שבה. במאמר זה יפורטו המרכיבים החדשניים והמהפכניים שהביאה לנו הקידמה הטכנולוגית בשטח של הגנת ופיקוד רשתות, מערכות ומתקנים חשמליים, וכן את התפיסה הכללית החדשנית של השיטה החדשה ויתרונותיה על פני שיטות אחרות.

## יתרונות האספקה במתח גבוה

לצורך המחשה נביא כאן סיפור דמיוני על חבר קיבוץ, חשמלאי במקצועו, בשם מצליח. החבר מצליח נתמנה לתפקיד חשמלאי ראשי בקיבוץ, וזאת בשעה שהקיבוץ עמד בפני הרחבה שהתבטאה בבניית שכונת מגורים חדשה ובהקמת מפעל. החבר מצליח אשר גדל על ברכי הקידמה הטכנולוגית ופיתוח משק החשמל של ימינו, ביסס את שיקוליו בהתאם. הסיפור מתחיל בהרהוריו הראשוניים של החבר מצליח:

"א. ברור ומובן מאליו כי שכונת המגורים החדשה והמפעל יצרכו חשמל. כתוצאה מהרחבה יהיה הקיבוץ לצרכן חשמלי בעל חיבור העולה על 630kVA, וכפי שידוע – מחייבת חברת החשמל על פי כלליה לצריכה העולה על 1000-1260kVA, חיבור למתח גבוה".

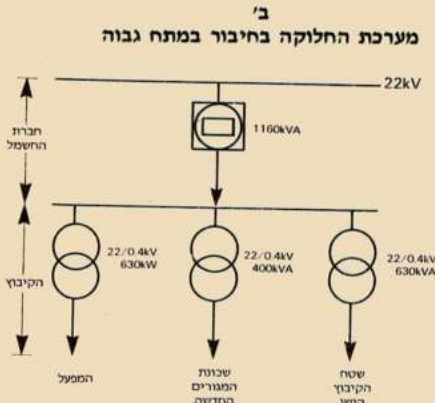
ב. אמנם נכון שחברת החשמל מחייבת אותי בחיבור למתח גבוה, אך לצד החיוב קיים גם פיצוי, שכן:

1. תעריף תעו"ז לצרכני מתח גבוה נמוך יותר מתעריף תעו"ז לצרכני מתח נמוך בכ-6% (מדובר על החיוב בגין צריכת החשמל (קוטי"ש)).

2. יתרה מכך, גם החיוב בעבור שיא הביקוש בחיבור במתח גבוה, יהיה נמוך יותר מאשר בחיבור במתח נמוך".  
מדוע, איפוא, החיוב בגין הביקוש בתעו"ז מתח גבוה יהיה נמוך יותר?  
**ובחישוב מפורט יותר:**  
על העומס הנוכחי, בקיבוץ המורחב יתווספו צרכנים חדשים; הצרכנים החדשים הם שכונת המגורים החדשה והמפעל.  
בתרשימים שבאיור 1 מתואר החיבור החשמלי העקרוני של הקיבוץ לאחר ההרחבה, בשני מקרים: כצרכן מתח נמוך (תרשים א') וכצרכן מתח גבוה (תרשים ב').

אם הזנת המתח לקיבוץ המורחב תהיה בתעו"ז, **מתח נמוך**, (איור א') יחויב הצרכן הקיבוצי עבור סה"כ שיאי הביקוש של כל שלושית הצרכנים יחדיו, זאת אומרת  $450 + 300 + 410 = 1160kW$ . חיוב זה נובע מכך שבכל אחד משלושת החיבורים נמדד שיא הביקוש כצרכן נפרד ומחייב בהתאם. **בתעו"ז מתח גבוה** יהיה הקיבוץ כולו צרכן יחיד ועל כן ימדוד מונה אחד בלבד את שיא הביקוש של כלל הצריכה (ראה איור ב'). במערך כזה, יהיה שיא הביקוש המצטבר נמוך יותר בגלל מקדם הפיזור והזמנים השונים של שיאי הצריכה של המיגזרים השונים.

אינג' ס.מ. מנדלבאום, מהנדסת יועצת } א.מ. הנדסת פרויקטים ומערכות בע"מ



**הזנת האנרגיה לגושים הראשיים במתח גבוה**

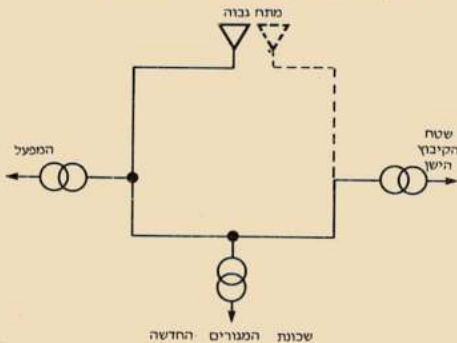
- החבר מצליח טען, ובצדק, "בנין איתן בנוי על יסודות טובים וחזקים". לפיכך, יש לייחס חשיבות רבה לתכנון מערכת החלוקה לגושים הראשיים. תכנון יעיל וטוב בקיבוץ חייב לעמוד בדרישות הבאות:
1. נצילות מירבית בחלוקה שלושת הגושים הראשיים, דהיינו – הפסדי תמסורת מזעריים.
  2. אמינות אספקה גבוהה לכל אחד מהגושים הראשיים.
  3. תפעול יעיל ונוח של מערכת ההזנה.
  4. יעילות ונוחות מירביות באיתור מפגעים חשמליים וטיפול בסילוקם.
  5. מדידת נתוני המערכת החשמליים במיכשור מדידה קומפקטי, אמין ומדויק.

**ניצוד מתכננים ובונים רשת כזאת!**

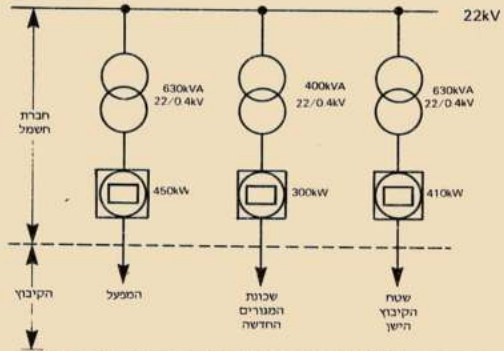
החבר מצליח – חשב ואמר: "נבנה את הרשת צעד אחר צעד על פי הדרישות". קודם כל נשיג נצילות מירבית של החלוקה וזאת על ידי הקטנת הפסדי החלוקה. לשם כך, בשל המבנה הטופוגרפי של הקיבוץ, נמקם את קו המתח הגבוה לאורך היקף הקיבוץ, וליד כל צרכן ראשי נסתעף לשנאי חלוקה (ראה איור 3).

איור 3

**חלוקת המתח הגבוה לגושים הראשיים**



**מערכת החלוקה בחיבור במתח נמוך**



הסבר זה נעוץ בעובדה כי במשך היום נמצאים רוב חברי הקיבוץ – מחוץ למגורים, בערב בשטחים הציבוריים. ובלילה – נמצאים רובם במגורים. בחיבור למתח גבוה שיא הביקוש נמדד כסכום ההספקים (חיבור ההספקים הרגעי) של שלושת השנאים, ותמיד יהיה סכום זה נמוך מ-1160kW. לאור מגמה זו ומקרים דומים, נובע שהחיוב בגין שיא הביקוש בתעריף מתח גבוה נמוך יותר מאשר החיוב בתעריף מתח נמוך.

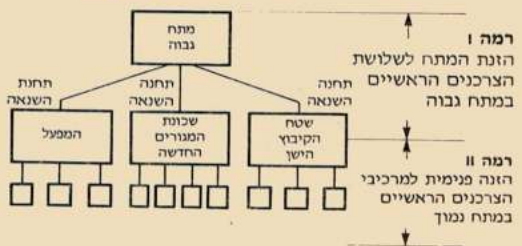
בין אם מכורה הנטיבות ובין אם משיקולים אחרים ניגש החבר מצליח לביצוע הצעד הראשון – העברת הקיבוץ מצריכה בתעריף מתח נמוך לצריכה בתעריף מתח גבוה – כאן למעשה מתחילה הבעיה האמיתית: איך לבנות מערך חדש של רשת חשמלית, שתענה על מירב הדרישות, ותנצל בצורה היעילה, החסכונית והכדאית ביותר את המעבר לתעריף מתח גבוה.

החבר מצליח, אשר כשמו כן הוא רצה, כמוכן, להצליח במשימה ושיקוליו היו: "התפיסה החדשנית של הרשת החשמלית מחלקת את מערך רשת החשמל בקיבוץ לשתי רמות:

1. הזנת האנרגיה לשלושת הגושים הראשיים: שטח הקיבוץ הישן, שכונת המגורים החדשה והמפעל – במתח גבוה.
2. חלוקת האנרגיה למרכיבים הפנימיים בכל אחד משלושת הגושים הללו – במתח נמוך". (ראה איור 2)

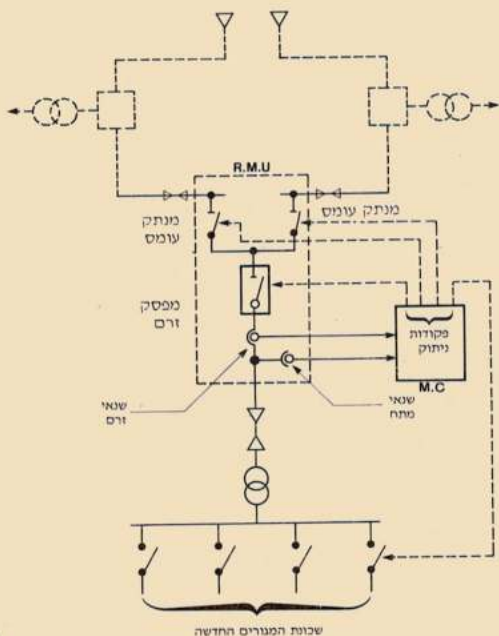
איור 2

**חלוקת הזנת האנרגיה לצרכנים בקיבוץ**



- על ידי תכנות יחידת ה-M.C. ניתן לקבוע את כל משתני ההגנת הקונבנציונליות בצורה מדויקת ביותר. לדוגמה:
- ניתן לקבוע אם אופיין זרם היתר כתלות בזמן התגובה של ההגנה.
  - ניתן לקבוע אם ההגנה תהיה כיוונית.
  - ניתן לקבוע את ההגנה כך שיתבצע חיבור חוזר אוטומטי (RECLOSER).
  - ניתן לקבוע את ההגנה כהגנת מרחק (DISTANCE PROTECTION).
  - מדידת כל הערכים המשתנים במיכשור קומפקטי ומדויק.

איור 5  
תחנה בודדת הכוללת R.M.U. ו-M.C.



כל הנתונים האלה יבוצעו באמצעות תוכנות יחידת ה-M.C. יחידת ה-M.C. תדאג באופן אוטומטי למיתוג המפסק על-ידי פקודה להפסקה או לחיבור. יתרה מכך, היות ויחידת ה-M.C. ניזונה ממידע של זרם ומתח בקו, יש באפשרותה להציג את הערכים הנמדדים; בכך מושגת גם המטרה החמישית – מדידה במיכשור קומפקטי ומדויק. החבר מצליח מגדיר זאת, "כל המדידות בקופסה אחת", ומה מאפשרת לנו יחידת ה-M.C. למדוד? – למעשה את הכל: זרם, מתח, הספק צריכה, אנרגיה היגבית (kVArh), מקדם הספק (Cosφ), וה"הסוכריה" הכמעט אחרונה, שמציעה לנו יחידת ה-M.C. היא בקר קטן הבנוי בתוכה, שבו ניתן לתכנת את משטר העבודה של הרשת והמתקן (יחידת ה-M.C. יכולה לשלוט גם על מנתקי העומס ביחידת ה-R.M.U.).

## מה נשיג בתכנון כזה?

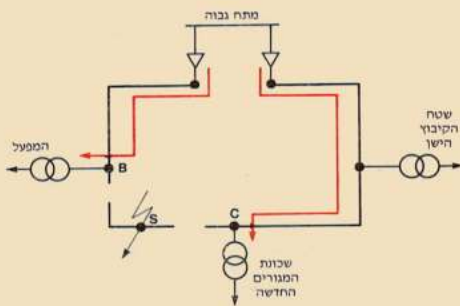
- הזרמים בצד המתח הגבוה של השנאים הם נמוכים מהזרמים שווי הערך במתח נמוך, כך שהפסדי החלוקה נמוכים יותר.
- הקווים המותקנים בין הגושים הם בעלי שטח חתך קטן, שכן הם מיועדים להעברת זרמים נמוכים במתח הגבוה.
- מטרה שנייה, שקבע לעצמו החבר מצליח, היא הגברת אמינות האספקה. למימוש מטרה זו השתמש החבר מצליח בנוסחת "אמינות האספקה" הקובעת:

**אמינות האספקה לצרכן שווה למספר קווי ההזנה אליו (n-1) כחות 1.**

כאשר: אמינות האספקה =  $n-1$ .

**לדוגמה:** אם צרכן מסוים ניזון משני כיוונים וקו הזנה אחד נפגע, יוזן הצרכן מהקו השני. כדי ליצור, בכל אחד מהגושים הראשיים בקיבוץ, שני כיווני הזנה, "נסגור" פשוט את קו המתח הגבוה בחזרה לנקודת המוצא, כלומר ניצור רשת טבעתית (ראה איור 4).

איור 4  
רשת טבעתית עם קטע קו פגוע



על פי הדוגמה באיור 4, אם קטע הקו BC ייפגע בנקודה S ניתן לנתקו משני צידי ולהמשיך באספקה לשלושת השנאים.

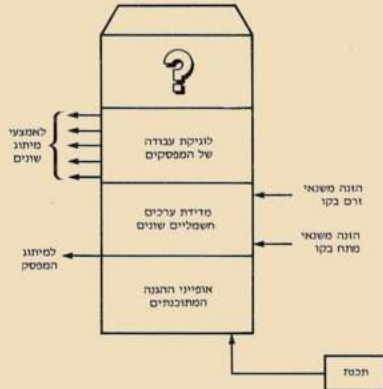
נשאלת השאלה – מה ואיך ינתק את השנאי או את הקו הפגוע ברשת הטבעתית? כמענה לשאלה זו מביאה לנו הקידמה הטכנולוגית את המכללים המכונים R.M.U. – Ring Main Unit (Micro Processor Control) – M.C. באיור 5 מתוארת תחנת שכונת המגורים החדשה, המצוידת ב-R.M.U. וב-M.C.

## התנהגות המכללים R.M.C. ו-M.C. בתחנה הבודדת

יחידת ה-R.M.U. כוללת שני מנתקי עומס ומפסק זרם המצויד בשנאי זרם ושנאי מתח. נתוני הזרם והמתח מוזנים ליחידת ה-M.C. באמצעות מערכת הפיקוד והבקרה של יחידת ה-M.C. פועלת יחידת ה-R.M.U. בצורה אוטומטית וממוחשבת. נסביר זאת:

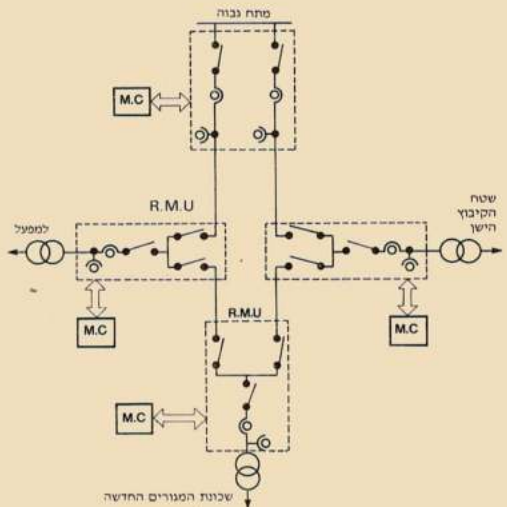
**לדוגמה:** במקרה שיחידת ה-M.C. איבחנה עומס יתר בתחנת שכונת המגורים, היא תגרום לניתוק צרכנים לא חיוניים בצד המתח הנמוך (ולאחר זמן קבוע, תחברם מחדש) – אין בעיה, יש רק לתכנת פעולה זו והדבר מתבצע). באיור 6 מתוארת יחידת ה-M.C. על מירב מרכיביה, כפי שהזכרנו עד עתה, פרט למרכיב אחד, שעליו נדון בהמשך.

**איור 6**  
**יחידת M.C. על מרכיביה**



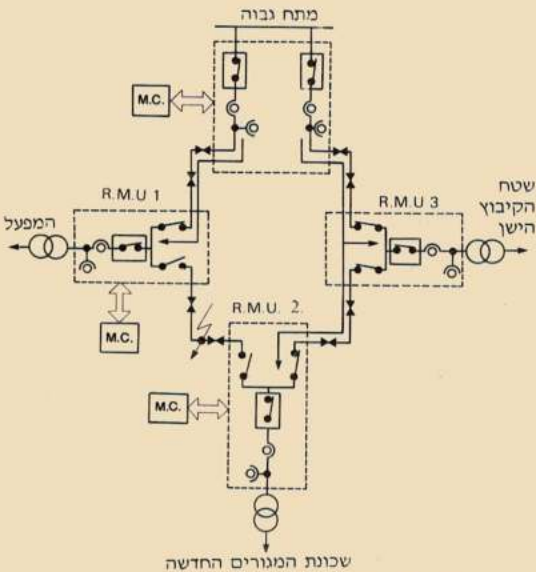
לאחר שהכרנו את שני המכללים, ה-R.M.U. וה-M.C., בתחנה הבודדת, נראה כיצד ניתן לשלב מכללים אלו ברשת החשמל השלמה. לשם כך נמקם מערכת R.M.U. ו-M.C. בכל אחת משלוש תחנות הקיבוץ, המערכת תראה כמתואר באיור 7.

**איור 7**  
**מבנה הרשת בתוספת יחידות R.M.U. ו-M.C.**



בדוגמה הקודמת, שבה תוארה התנהגות מכללי ה-M.C. וה-R.M.U. בתחנת הההגנה הבודדת, נוכחנו לדעת שבעת תקלה חשמלית בתחנה עצמה ובשנאי תגרום יחידת ה-M.C. להפסקת המפסק, ואולי ליותר מכך, בהתאם לתיכונות לוגיקת העבודה של היחידה. אך מה קורה בעת תקלה בקו מתח גבוה שבין התחנות? – גם לבעיה זו קיים פתרון יעיל ברשת המתוארת לעיל. לצורך הסבר נסתמך על איור 8 בו מתוארת הרשת במצב עבודה כאשר נוצר קצר בנקודה S.

**איור 8**  
**רשת החשמל בעת תקלה חשמלית בקו**



באיור 8 ניתן לראות שבעת תקלה חשמלית בנקודה S ידאגו שתי היחידות ה-R.M.U. (1 ו-2) לפתוח את שני המנתקים בקצותיו של הקו הפגוע ובכך לנתקו מהרשת. כאן טמון היתרון העצום במבנה כזה של הרשת; למרות שהקו הפגוע נותק, האספקה נמשכת, שכן אף אחד משלושת הגושים אינו מנותק מהזינה. "הבעיה" המתעוררת כעת היא איך "יידעו" אותם שני מנתקים, הממתגים את הקו הפגוע, שהם אלה שצריכים להינתק וכל זאת במצב שהקו, נמצא זמנית, ללא מתח (כיוון שמנתק העומס אינו מיועד לפתיחת קו בזמן קצר).

החבר מצליח מגדיר את הפתרון, ובצדק, כך: "המטרה הבסיסית היא לנתק את מקום התקלה היות ויחידת ה-M.C. ניתנת לתיכונות, וכוללת אפשרויות לוגיות רבות, קיים שפע של פתרונות". לפיכך, לפי מבנה הרשת והצרכנים המזונים ממנה תיבחר הלוגיקה המתאימה. "יתרה מכך", טוען החבר מצליח, "יחידות ה-M.C. הינן יחידות אלקטרוניות הפועלות במהירות רבה ובאמצעותן תאובחן ותנותק התקלה החשמלית במהירות המירבית.

קרוב לודאי כי במקרה של תקלה ירד המתח במיתקן (או יעלם לחלוטין) ולכן יש להבטיח למערכת הפיקוד והבקרה – וכן למפסקים ולמנתקים – מקור אנרגיה חלופית. ללא מקור אנרגיה חלופית כזו ספק אם ניתן יהיה לבצע את הנדרש.

ה. הצגה חזותית של כל המידע הנ"ל על גבי צג ו/או מדפסת ו/או רשום קווי.

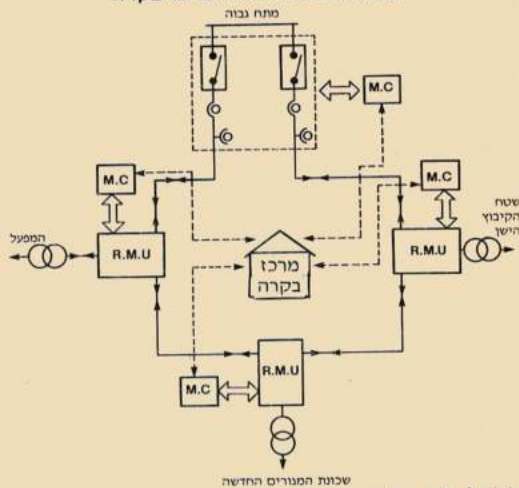
- ו. שמירת הנתונים במאגר זיכרון.
- ז. תחשיב ההוצאות, לדוגמה, עלות הצריכה על פי התעריפים השונים בזמנים השונים ועוד.

עד כאן המערכת, המושלמת בצד המתח הגבוה בעיני רוחו של החבר מצליח. ומה קורה בצד המתח הנמוך.

התיישב החבר מצליח ונשם לרווחה, אך עצם הישיבה הזכירה לו, שבכל מקרה יהיה עליו לסייר בקיץ ובחורף, ביום ובלילה, מ"תחנה" ל"תחנה" בכל עת שירצה לקבל נתונים מ"תחנה" מסוימת או להפעיל בה ציוד כלשהו. אך מיד הוא נזכר ביתרון הטכנולוגי של תקשורת הנתונים הספרתית ונרגע.

כפי שתוארו קודם יחידת ה-M.C. מסוגלת לפלוט ולקלוט את המידע שלה באמצעות תקשורת נתונים טורית. אם החבר מצליח ירכז את המידע (הנתונים) המגיע, הוא יועבר למרכז אחד באמצעות תקשורת זו עובדה זו מאפשרת לחבר מצליח להמצא בחדר ממוזג עם כוס שתיה, ולראות ולשלוט על כל הנעשה בתחנות השונות. חדר זה נקרא בשפה המקצועית "חדר בקרה". מבנה עקרוני של מערכת מבוקרת כזו ניתן לראות באיור 9.

איור 9  
מבנה הרשת המוללת מרכז בקרה



### חלוקת ההספק במתח הנמוך

גם כאן קיימות אפשרויות רבות אך כולן מתבססות על המיקרופרוססור ותקשורת הנתונים שלו. דוגמה לאחת האפשרויות – אם ניקח תחנת השנאה מסוימת בקיבוץ, ונתקין בה מתכנת, שישלוט ויפקח על אמצעי המיתוג במתח נמוך בלוגיקת עבודה מסוימת, הרי שקיבלנו אוטומטיזציה מלאה של התחנה, היות והבקר המתוכנת הינו יחידה המבוססת על מיקרופרוססור, אפשר להשתמש בו לקליטה ופליטה של נתונים והערות. במרכז הבקרה ניתן להציב מחשב הנקרא "ראשי" שינהל את משטר העבודה של כל רשת החשמל בקיבוץ, וזאת תוך כדי קבלת נתוני עבודה מיחידת M.C. ובקרים מתוכנתים בשטח, שיכוונו "משניים" (SLAVE). לתפיסה כזו של רשת חשמלית מבוקרת שואף החבר מצליח, אך בפניו עומדת בעיית הבעיות, המייצגת את מירב האוכלוסיה – **התקציב; ומקורות המימון** להשקעה במערכת אידאולוגית כזאת. הפתרון לכך הוא "בשיטת הבניה המודולרית" המאפשרת בניית מערכת כזאת בהדרגה ולשלב בה, כל פעם, אלמנטים נוספים.

### סיכום

במאמר זה הוצג סיפורו "הדימויני" של איש קיבוץ, "הסיפור" משקף את המגמה החדשנית בהקמת רשתות חשמל, תוך ניצול טכנולוגיות חדישות. מציאות זו נראתה כדמיון עד לפני זמן לא רב. אך כיום לאור מרחב האפשרויות העצום, אין כמעט, כל מיגבלות טכנולוגיות בבעיה זו, של הגברת אמינות האספקה על כל השלכותיה, נתקלים מרבית צרכני החשמל, כמובן לא רק בקיבוצים אלא בכל תחומי החשמל במגזר הציבורי והתעשייתי. תפיסה חדשנית ונכונה של המציאות הטכנולוגית ומשק החשמל תביא לידי גישה יעילה, חסכונית ונוחה בתכנון רשתות חשמל. וכפי שהחבר מצליח טוען, "רומא לא נבנתה ביום אחד", כך נבנה את הגישה המתאימה, בשלבים נכונים ומתוכננים מראש עד שנגיע למצב שבו "כל הדרכים מובילות לרומא", אבל בצורה היעילה, החסכונית והנוחה ביותר.

### מרכז הבקרה

#### מרכז הבקרה מאפשר:

- א. הצגת הנתונים החשמליים השונים של כל תחנה ותחנה, כפי היא מוצגת בכל יחידת M.C.
  - ב. הצגה חזותית של כל התחנות, מה מחובר ומה מנותק.
  - ג. פיקוד על אמצעי מיתוג שונים בתחנות, בהתאם ללוגיקה שנקבעה.
  - ד. הצגת אירועים חריגים (כדוגמת קצר) – מה ומתי ארע הקצר, באיזו תחנה או קו הוא התרחש, כמה זמן נמשך, מה קדם לאירוע (עד לפרק זמן של 60 מילישניות לפני האירוע), גודל זרם הקצר, מיקום הקצר ועוד.
- (למעשה משיג כאן החבר מצליח את מטרותו הרביעית – יעילות ומהירות באיבחון התקלה). פעולה מתוכנמת כזו חייבת לפעול בסדר הבא:
1. קביעת הקטע בו ארעה התקלה – גם כאשר הרשת מוגנת בשיטת סלילי כיבוי.
  2. הבאת המפסק הראשי למצב "מנותק".
  3. פתיחת שני מנתקי העומס משני צידי הקטע בו ארעה התקלה.
  4. חיבור חוזר של המפסק הראשי.

# מדור שרות פרסומי לקוראים

"התקע המצדיע" מס' 40



למעונינים 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: .....

מספר

רחוב/שכונה

ישוב: .....


מיקוד: .....

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

40/11	40/10	40/9	40/8	40/7	40/6	40/5	40/4	40/3	40/2	40/1
40/22	40/21	40/20	40/19	40/18	40/17	40/16	40/15	40/14	40/13	40/12
			40/30	40/29	40/28	40/27	40/26	40/25	40/24	40/23

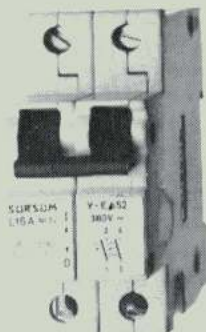
הודעה למערכת: .....

התלוש למידע נוסף יענה עד יום 31.12.87 לאחר תאריך זה יש להפנות את בקשות המידע ישירות לחברות המפרסמות.

גזור ושלח ! 



# אסטרגל בע"מ מוצרים חדשים

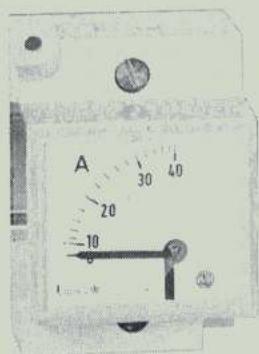
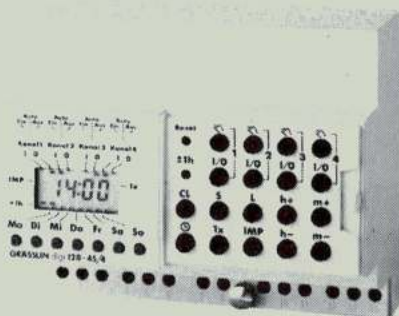


## SURSUM מנתקי מעגל זעירים עד 63A

- ★ הגנה על המגעים מפני מגע מקרי.
- ★ הדפסת ערך המאמ"ט בצבע, ללא מדבקה כבעבר.
- ★ מגעי עזר מודולריים 0.5 - 0.8 כגודל חצי יחידה.
- ★ סליל הפסקה מודולרי במתחים 12-380V AC/DC.
- ★ ניתן להשיג את כל הדגמים גם עם ניתוק 0.
- ★ סדרה חדשה של מפסקים ומנורות סימון מודולריים.

## שעונים דיגיטליים GRÄSSLIN

- ★ DIGI-128 - שעון פיקוד ל-4 ערוצים, 128 תוכניות, להתקנה לפס ח"א.
- ★ DIGI-56 - שעון פיקוד לערוץ 1 או 2, 56 תוכניות. ניתן לקבל גם לפס ח"א וגם להתקנה לדלת.
- ★ v86/1 - שעון פיקוד לערוץ 1, 12 תוכניות. להתקנה לפס ח"א.



## SACI

## מכשירי מדידה ללוח

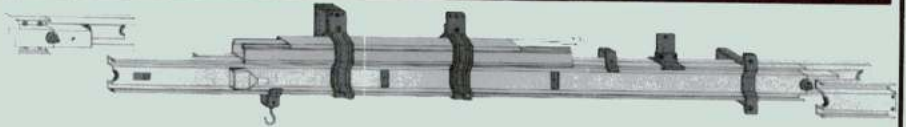
- ★ מכשירי מדידה ללוח בגודל 96 x 96
- ★ מכשירי מדידה ללוח בגודל 72 x 72
- ★ מכשירי מדידה להתקנה מודולרית לפס ח"א
- ★ משני זרם מסידרת טד עם אפשרות להתקנה על פס ח"א.

## אסטרגל בע"מ

תל אביב, רח' החשמל 4 - 66187, טל. 623421, ת.ד. 906 תל אביב 61008  
טלפקס: 341292 ASTR IL, פקס: 03-614331

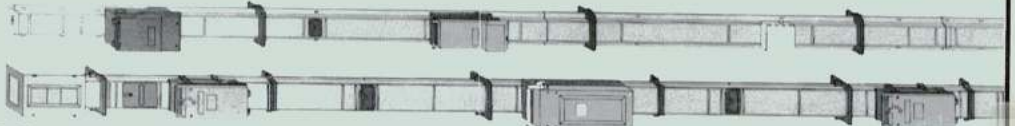


# ZUGGHINI פסי צבירה לתעשייה



**ML**

★ פס צבירה למאור וכוח חד פזי ותלת פזי 20A-63A אפשרות להתחברות ישירה של גופי תאורה וירידה למכונות.

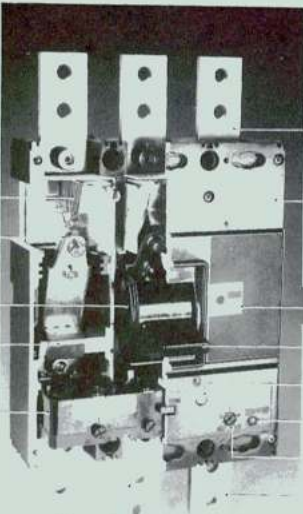


**MS**

**SB**

★ פס צבירה 100A-900A, 4 קטבים ו-5 קטבים.

## 16 → 3200A מנתקי הספק אוטומטיים



**TERASAKI**

★ הגנה מגנטית וטרמית קבועה או מתכווננת.

★ כושר ניתוק גבוה.

★ אביזרי עזר: מגע עזר, סליל עבודה, ידית מצמד, מנוע, חגור מכני ועוד.

★ מנתקים אוטומ' באוויר 250-6300A כושר ניתוק

50-120 K A rms כולל מערי הגנה

וכוונונים אלקטרוניים.

Contact Eye



RED for ON  
GREEN for OFF or TRIPPED

★ CONTACT EYE לבקרה על מצב מכני אמיתי של המגעים OFF-ON.

שלמה כהנא סוכנות בע"מ

סוכנויות יבוא ושיווק לציוד חשמלי ואלקטרוני

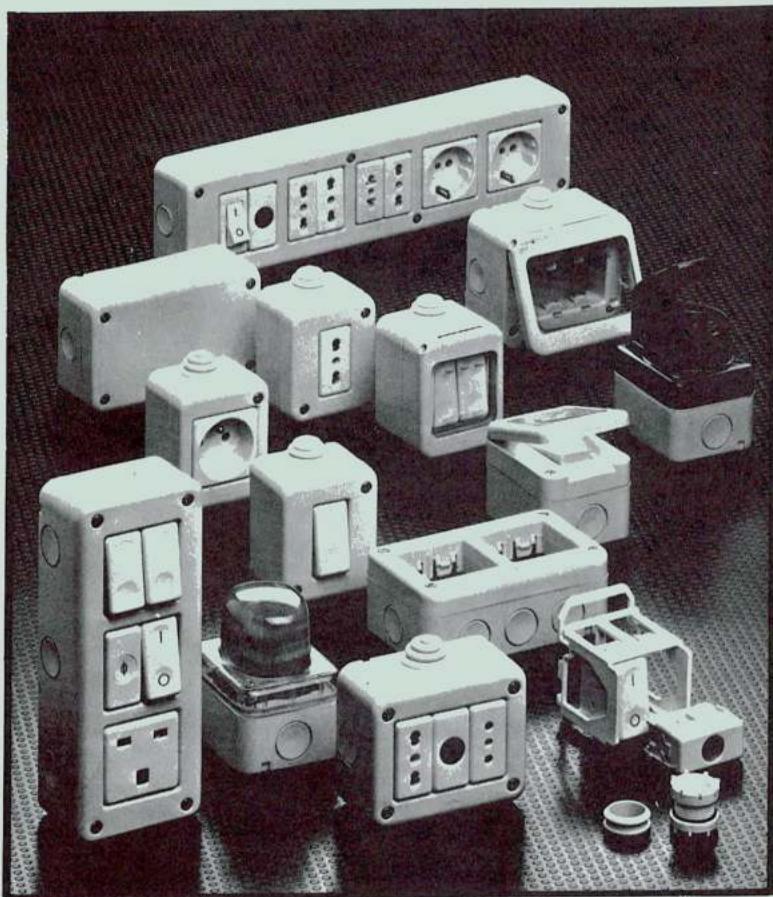
נחלת בנימין 70-72 תל אביב טלפון: 03-660747



# 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'

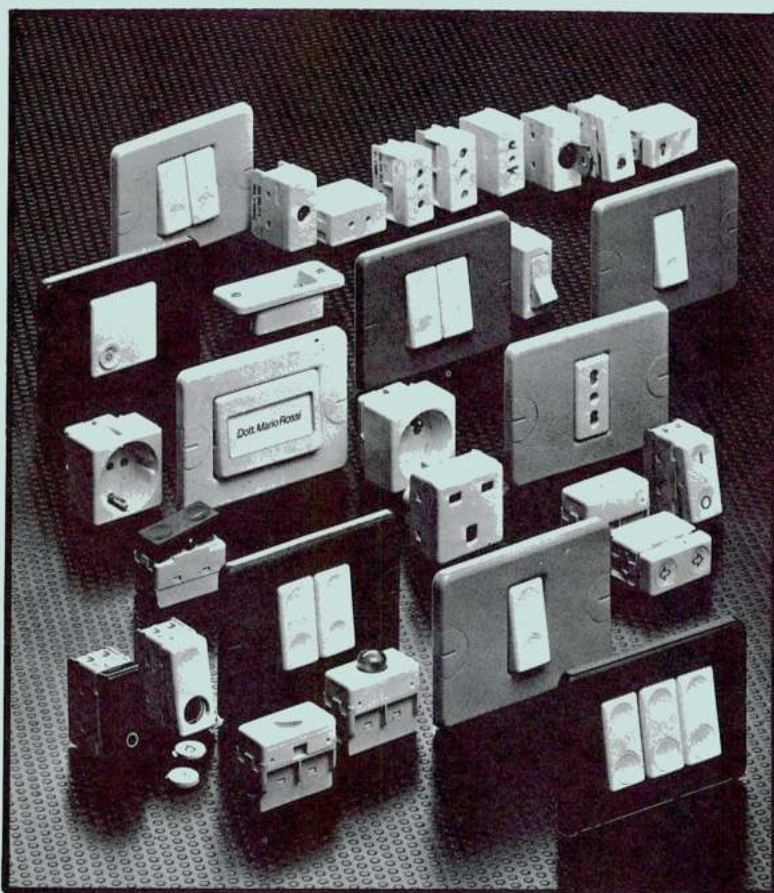
**חברת זאב שמעון בע"מ**

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

# המודולרים 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**

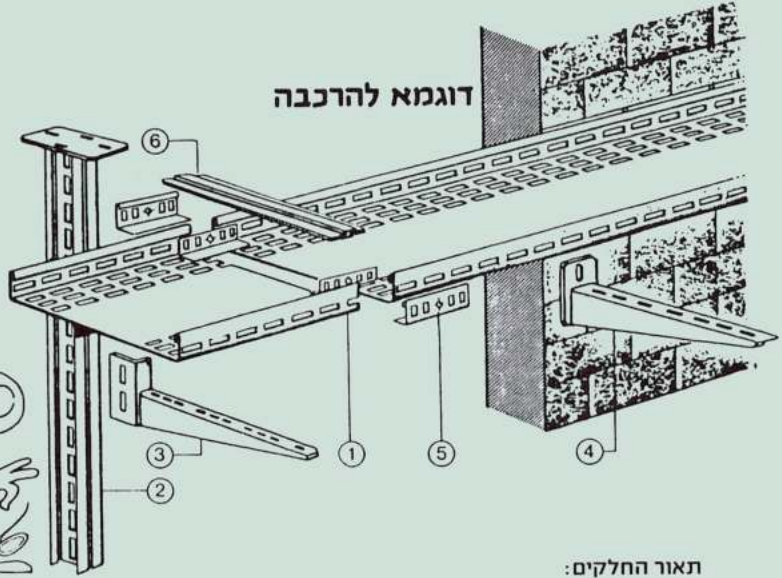
שד' ושינגטון 18 ת"א, 66086. טל': 03-834111

# 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

קיים במלאי.

# אינטר אלקטריק

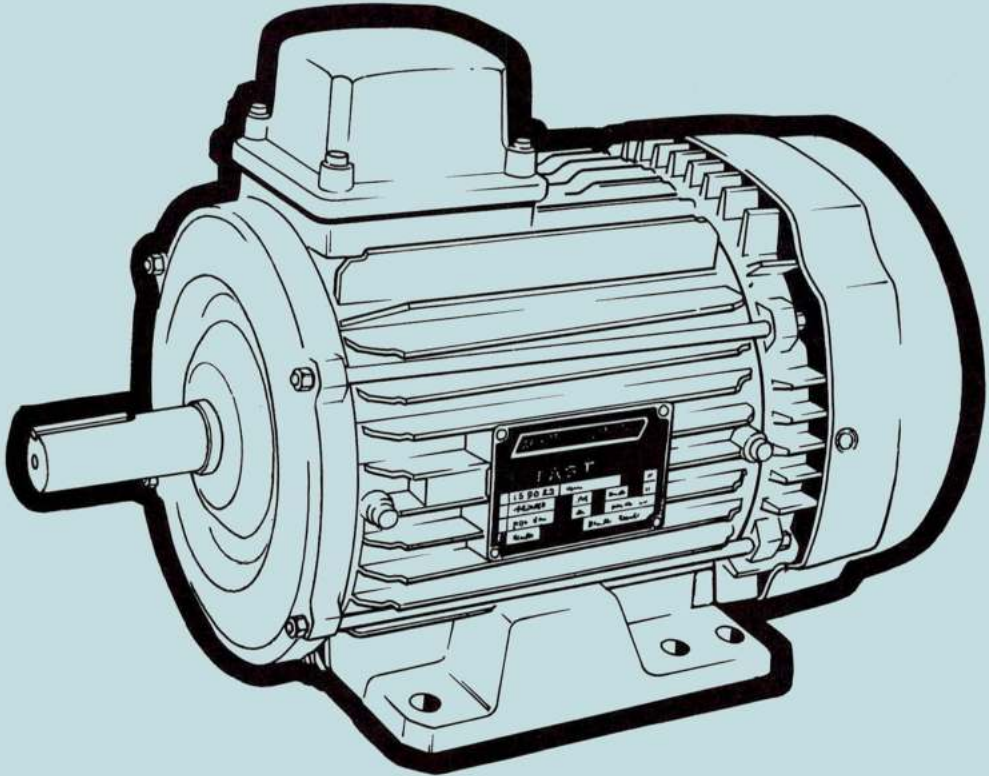
שרות וביצוע  
עבודות חשמל בע"מ  
ביצוע עבודות חשמל בתעשייה  
בתי קרור, מכוני תערובת, בתי אריזה



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

פרסום אלו בע"מ - חיפה

# 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 בתעשייה ועירוני 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' חלק 10 (גשר פז) חיפה  
 ת.ד. 2636 חיפה, טל. 04-644238



פרסום א"י בע"מ - חיפה

# ברק כ"ח בע"מ

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

- ★ שנאים (טרנספורמטורים) חד פאזי ותלת פאזי להרכבה בלוחות חשמל ומתקני חשמל.
- ★ שנאי אוטורפרו 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

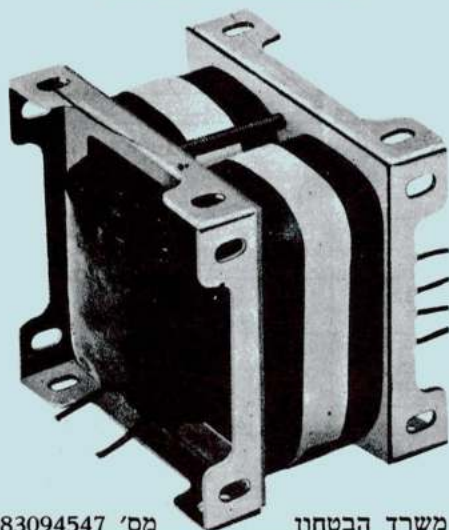
## ברק כ"ח

ייצור טרנספורמטורים (שנאים)

רח' רוזגו 8, פינת שד' הר ציון 91

תל-אביב

או בחנויות חומרי חשמל



ספק משרד הבטחון מס' 0083094547

שד' הר ציון 91 (סמטת רוזגו 8)

**טל: 03-377692 ת"א**

# "אוריון" RION

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 06-721662

למידע נוסף סמך 40/7

# בדקן כבל



**בדיקת כבלים  
קביעת מקומם בשטח  
אתור מקום התקלה**

מרקו אלקלעי - מהנדס חשמל

ת.ד. 27154, יפו 61271

טלפון: 821661

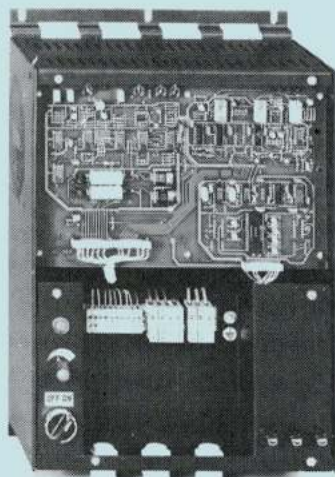


# הנדסת הספק ( 1980 ) בע"מ

מקבוצת כלל תעשיות פ

## פיתוח וייצור

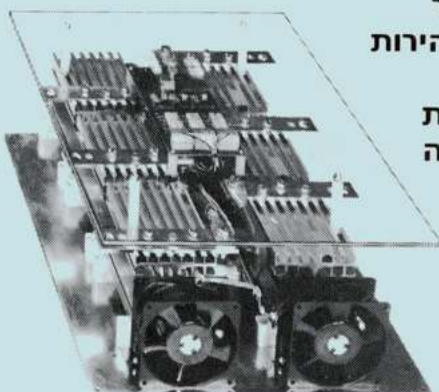
- בקרי מהירות זרם חילופין
- מתנעים אלקטרוניים רכים
- ווסתי טמפרטורה
- ווסתי מתח



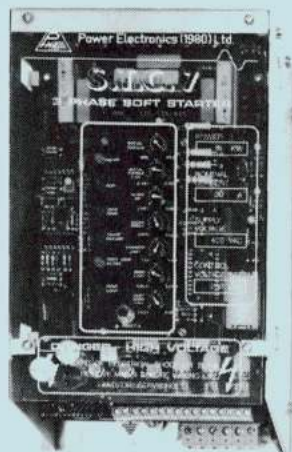
**משנה  
מהירות  
(p.e.d.)  
תלת פאזי**

**S.T.C.7**

**S.O.F.**



לנו נסיון של שנים  
בפיתוח וייצור  
מתנעים ובקרי מהירות  
אלקטרוניים  
אחריות ושירות  
מלאי לאספקה  
מיידית



מתנע רך ללא הגנות  
עם כרטיס אלקטרוני אחד  
בלבד המתאים לכל ההספקים.

מתנע רך כולל כל ההגנות,  
עם כרטיס אלקטרוני אחד  
בלבד המתאים לכל ההספקים.

**מתנעים להתנעה רכה תלת פאזי בהספקים 500 – 5 כ"ס**

**הנדסת הספק ( 1980 ) בע"מ**

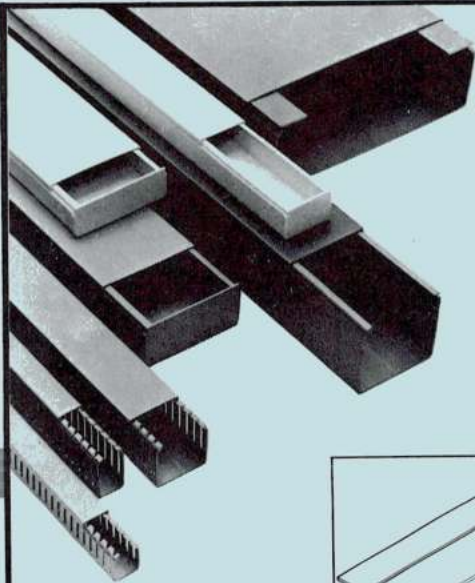
רח' החרושת 24, אור יהודה – 60 200

ת.ד. 255 אור יהודה, טל. 344484/5, 345520/1

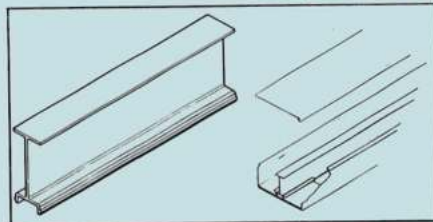


**פלגל  
תעשיות מוצרים  
פלסטיים**

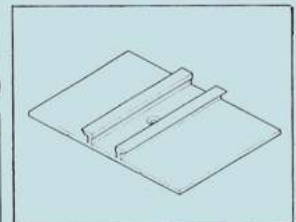
חפצי בה  
ד.נ. גלבוע 19135  
טלפון: 065 31094-5  
טלקס: 46381  
משרד תל אביב  
טלפון: 03 253405-6



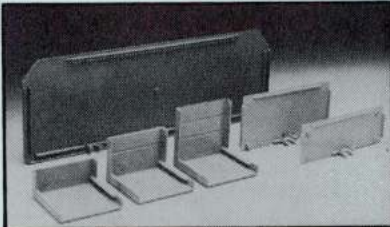
**מחיצה לתעלות**



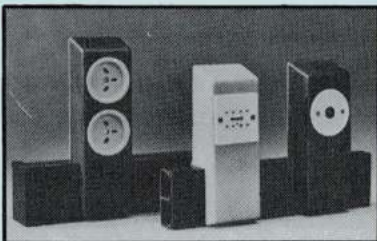
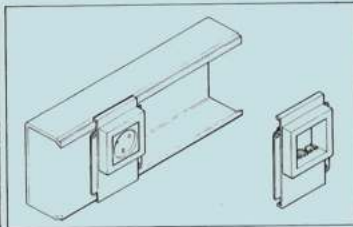
**בסיס למחיצה ולציוד**



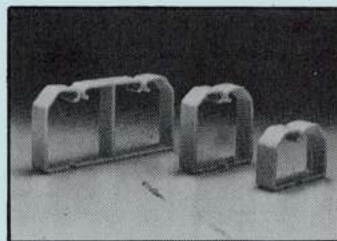
**סופיות לתעלות**



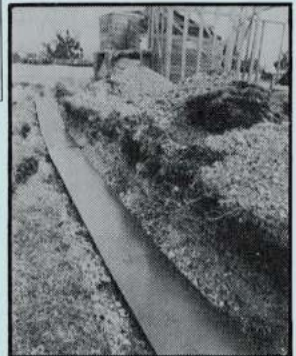
**מתאם לשקעים וציוד עזר**



**תעלות פלסטיות לחשמל,  
תקשורת ומחשבים**



**מחזיק כבלים**



**מגן לכבלים  
תת קרקעיים**

# תעלות ופרופילים

חשמל • בקרה • תקשורת • מחשבים

פרסום אילי בע"מ - חיפה



# סילבאן סחר בע"מ. SILVAN TRADING LTD.

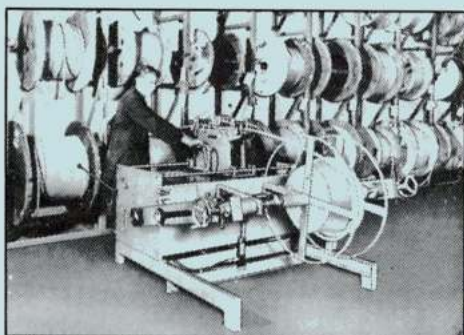
## כל סוגי הכבלים

יבוא, ייעוץ, שיווק והפצת כבלים, חוטים וציוד לתעשייה.



נציגים בלעדיים:

— **HELUKABEL** — כבלים גמישים, ממוספרים, צבעוניים, אלקטרוניקה, חשמל, מחשבים, פקוד, בקרה, חוטים. ▲



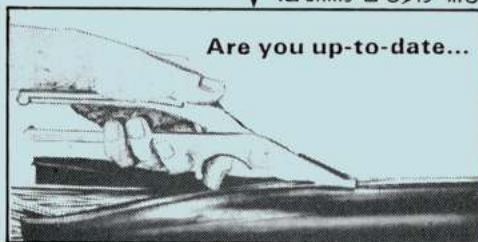
בהנהלת סילביה בירנבוים

— מכונות לחיתוך גלילה ומדידה לכבלים. ◀



**Zipper-Technik ZT**®

פתרונות לבעיות בכבלים, שרזול נרכס וסוגי מעטים מגוונים. ▼



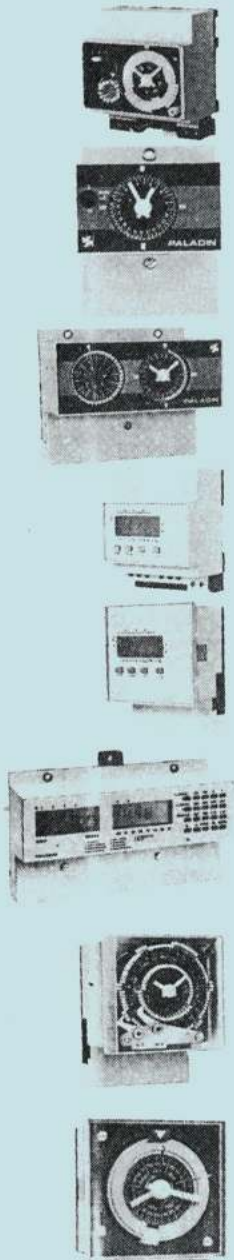
סילבאן סחר בע"מ • SILVAN TRADING LTD.

רח' מלבי"ם 4 (פינת שד' הר ציון 73) תל-אביב, מיקוד 61351, ת.ד. 35201

טל. 03-381859, 382419

FAX: 03-236926 ATT: SILVATRAD. TLX. 341667 IL ATT: SILVATRAD





מחיר	reserve > 100 h		דגם	אפשרויות מיתונ	תכנית השעון
	עם רזרבה	ללא רזרבה			
		181 100		כל 15 דקות	תכנית יומית
		181 400		כל 30 דקות	תכנית שבועית
	184 100		Quarz	כל 15 דקות	תכנית יומית
	184 400		Quarz	כל 30 דקות	תכנית שבועית
	144 200		Quarz		2 תכניות יומיות
	144 500		Quarz		תכנית שבועית ותכנית יומית
		141 700			תכנית יומית ותכנית לשעה
	175 410		digital	חלבני	תכנית שבועית
	175 420		digital	חלבני	2 תכניות שבועית
	176 410		digital	חרוצע	תכנית שבועית
	176 420		digital	חרוצע	2 תכניות שבועית
		121 700			תכנית יומית ותכנית לשעה
		121 800			תכנית שבועית ותכנית לשעתיים
		121 900			תכנית לשעה
		161 100		כל 15 דקות	תכנית יומית
	164 100		Quarz	כל 15 דקות	תכנית יומית
	164 400		Quarz	כל 30 דקות	תכנית שבועית
		120 004			סדור לחווק על מסיה סטנדרטית
		160 001			סדור לתפיסה על פנל קדמי
		284 110	elektronisch		ממסר חדר מדרגות

תחונות  
בקר



# Series One™ Junior

- 15 כניסות/9 יציאות
- הרחבה עד I/O 96
- מונה פולסים 2 KHz
- זכרון 700 מילים
- 20 קוצבי זמן ומונים
- SHIFT REGISTER - 155 צעדים
- RS232/RS422
- הדפסת תוכניות בדיאגרמות טולם

## במהלוקת בקרים מתוכנתים תקבל:

- יעוץ טכני ליישומי המזמין.
- אספקה ממלאי.
- הדגמה והדרכה.
- שירות מהיר ואמין.

לכל יישום בפיקוד ובקרה, בקרי GE הם הבחירה!



אמיץ  
גמיש  
קטן ותחם  
נוח לשימוש  
עלות נמוכה

גנרל מהנדסים בע"מ  
אזור התעשייה, הרצליה ב. 46105 . ת.ד. 557 . טלפון 052-5522233 . טלפקס 341908

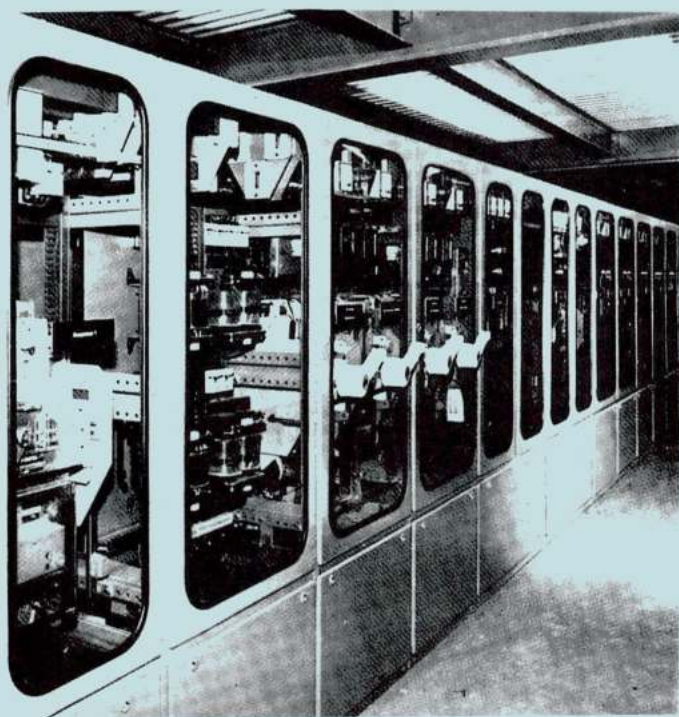




# קבוצת קצנשטיין אדלר

## עוד צעד

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



אפ

נית

קצנשטיין אדלר תעש  
 קצנשטיין אדלר ושוה  
 א. הנדל-קצנשטיין א  
 הנדסה אלקטרומכני  
 ה.א.מ. שיווק בע"מ  
 לוחות והנדסת חשמל

קבוצת קצנשטיין אדלר  
 אנו תמיד קרובים אליך:



מלאי חלפים

בקרת איכות

שרות

ייצור

תכנון

אמינות

אחריות

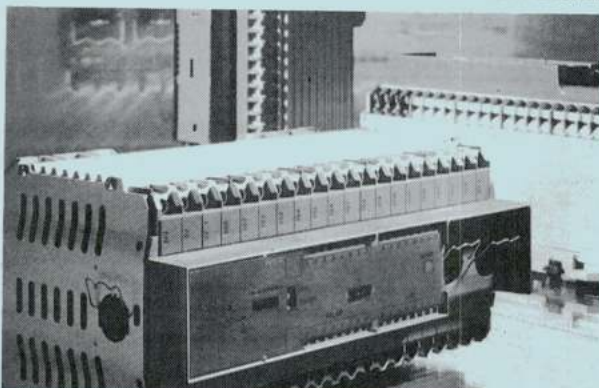
איכות

# קדימה... בקרים מתוכנתים PS3

קטי הכולל בתוכו את מירב האפשרויות הטכנולוגיות החדשות  
 יות, בתים ומילים  
 ת אנלוגיות  
 גבוהה 10KHZ  
 עם לוח שנה

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

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



## ייזוק הקלוקר מלד ר תמיד לסמוך

לשם קבלת מידע נוסף  
 לפנות למשרדינו הטכניים

051-26719 טל. אשקלון  
 02-536332 טל. ירושלים  
 057-35916 טל. באר-שבע  
 03-622341 טל. תל-אביב  
 03-614668 טל. תל-אביב  
 03-623421 טל. תל-אביב

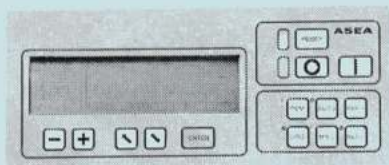
קצנשטיין אדלר תעשיות (סניף אשקלון)  
 ק.מ.ק. הנדסת חשמל בע"מ  
 ק.א. אלקטרומכניקה באר-שבע בע"מ  
 טקסל אלקטרוניקה בע"מ  
 סולקון תעשיות בע"מ  
 אסטרגל בע"מ

03-614668 טל. תל-אביב  
 03-614668 טל. תל-אביב  
 03-614776 טל. תל-אביב  
 04-727174 טל. חיפה  
 04-727174 טל. חיפה  
 052-24003 טל. כפר-סבא

יוזוק (1975) בע"מ  
 י. בע"מ  
 אדלר בע"מ (התקנות)  
 ת. חיפה בע"מ  
 כפר-סבא בע"מ

# ממירי - תדר לויסות מהירות

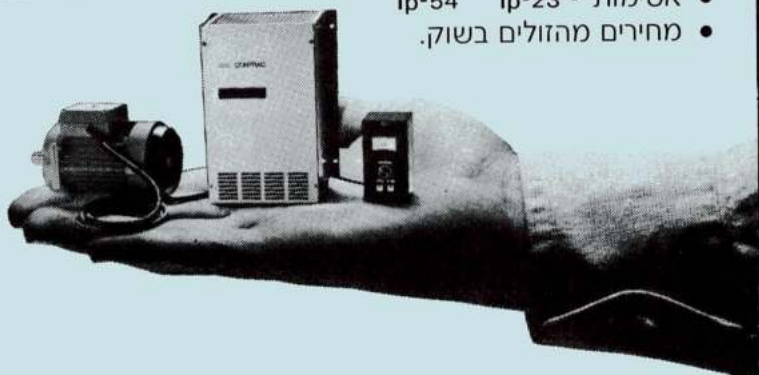
## ASEA STROMBERG DRIVES



צג-הפעלה דיגיטלי

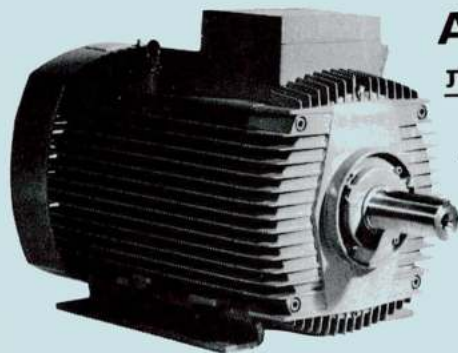
- מערכות הנע של שתי החברות מהגדולות באירופה המתמחות בויסות מהירות מנועים. ממירי תדר: למתחים החל מ-380V עד 3300V. בהספקים החל מ-2Kw עד 6300Kw. ממלאי בארץ: ממירי תדר עד 40/58A כ"ס במחירים זולים במיוחד. בזמני אספקה קצרים: ממירי תדר מ-90 עד 860 אמפר.

- אטימות - Ip-23 Ip-54
- מחירים מהזולים בשוק.



## מנועי חשמל - ASEA

### מכל המסוגים והדגמים לאספקה מיידית



- מנוע כלוב רגילים (פתוחים - וסגורים) ASEA
- למהירות אחת - ו-2 מהירויות.
- מוגני התפוצצות Ex "E"
- מנועי זרם ישר + מיישרים לויסות מהירות
- מנועי מעצור
- מנועים עם טבעות החלקה + מתנעים
- מנועי "קומטטור" - תלת פזים לשנוי מהירות.

יעוץ - הדגמה במפעלכם - ללא התחייבות מצדכם.

הנדסת חשמל בע"מ-ASEA



ביאליק 129 - ת.ד. 8229 רמת גן 52523 (ליד גשר ההלכה)  
טלפון חדש: 03-7519146, טלקס לועזי 32154 פקסימיליה: 03-7519151 מפה



# טל סאט הנדסה בע"מ

ENGINEERING LTD.

המפעל: עקיבא 27, חולון 58827,

טל. 806694

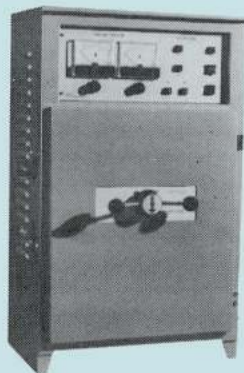
מען למכתבים:

ת.ד. 37796 ת"א 61376

**.4** מתקני טעינה-פריקה לתעשיית המצברים עד 1000A.

**.1** ייצור ספקי כח מעבדתיים עד 100A, ייצור ספקי כח תעשייתיים ומישרי זרם עד 1000A.

**.5** מטען/ספק 15A - 24V - 25A מטען/ספק 12V מיוחד לציוד קשר.



**.6** ליפוף שנאים חד ותלת פאזיים עד 200KVA.

**.2** מטעני מצברים מיוחדים להתקנה בלוחות חשמל.



**.7** בקרי חוסר / סדר פאזות.



**.3** מטעני מצברים אוטומטיים מיוצבים לפי DIN 41773

**.8** יבוא ושיווק מדי מתח זרם DC 2.5%, 1%.

**.9** יבוא ושיווק של שנאים מבדילים מסוככים עד 100KVA.

קיבול צימוד נמוך מ-0.005 pF דיכוי רעשים עד ל-140dB.





# "אופיר שי"

ייצור שיווק ואספקה

חומרי חשמל לתעשייה, בנין, רשת, אחזקה ותאורה

## רשת סניפים בכל הארץ

★ מפצים בלעדיים של ציוד מוגן התפוצצות "לאפקו".

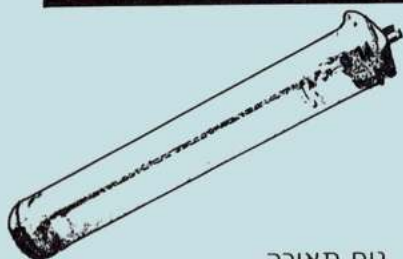
★ כל כבלי כח ופקוד - במלאי שוטף.

★ כבלים מיוחדים מתוצרת LAPP.

★ יעוץ תאורה ואספקת גופי תאורה,

לתאורת מחסנים, ספורט ורחובות.

★ ציוד פיקוד, מיתוג ובקרה מכל הסוגים.



גוף תאורה  
עשוי מצינור פוליקרבונט  
מוגן התפוצצות.



גופי תאורה  
עשויים  
מפלסטיק  
משוריין  
בסיבי זכוכית  
מוגן התפוצצות

רח' עמל 37, קרית אריה, טל. 03-9230855 (7 קווים)  
פקסימיליה: 03-9233192.

רח' סוקולוב 60, טל. 052-540746, 540784  
דרך בריהודה 195, תל חנן, טל. 04-212277-82-88  
פקסימיליה: 04-235537.

רח' החרושת 10, אזור התעשייה, טל. 052-453888  
(3 קווים), 052-910588 (4 קווים).

פקסימיליה: 052-910926  
רח' קורדוברו 28, גבעת שמואל ב',  
טל. 02-533013, 534356

**משרד ומחסן ראשי:**

**סניף הרצליה:**

**סניף חיפה:**

**סניף רעננה:**

**סניף ירושלים:**



# לבקרים מתוכנתים!!

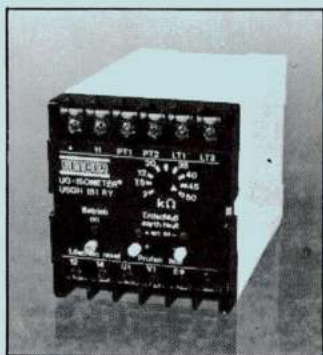
גם הבקר המשוכלל ביותר לא "יתקן" אותות מבוא שגויים. אלו נובעים לרוב מליקויי בידודידי בזליגה של 3-12 mA כדי שהבקר "יזהה" אות סרק ויוציא פקודה העלולה לגרום נזק רב.

## הפתרון היעיל: מתח פיקוד בלתי מאורק

עם **ISOMETER** של **BENDER**

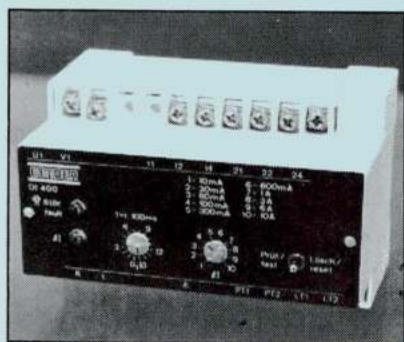
דגם **USGH 151 RY** פותח במיוחד למטרה זו:

- \* **סף התראה גבוה** – מאפשר אתור מוקדם של ליקויי בידוד, בכך ימנעו מהבקר אותות מבוא שגויים.
- \* כל ליקוי ראשון, לרבות קצר מלא לגוף מאורק, לא יגרום לאות כלשהו.
- \* התנגדות פנימית גבוהה
- \* תצוגה נפרדת לפגם במוליך ה"++" ולפגם ב"-" – מאפשר איתור ליקוי גם במעגל "פתוח"
- \* לרשתות זרם ישר 24 VDC בלתי מאורקות
- \* הזנת העזר מהרשת 230VAC או ממתח הפיקוד עצמו.



## ממסר זליגה – DI400 ממסר זרם דיפרנציאלי

- \* סף התראה רחב ביותר 10 mA... 10 A
- \* לרשתות חד – ותלת מופעיות, מאורקות ובלתי מאורקות, עד 660VAC
- \* משנה זרם ב"5 גדלים: מ"23 ועד 200 מ"מ – קוטר פנימי.
- \* **תקינות החיבור למשנה הזרם נבחנת כל הזמן.**
- \* השגיית ההתראה ב"0.02...1.5 שניות.
- \* כוון הרגישות וההשהייה ע"י מתג (לא פוטנציומטר)
- \* נעילת ההתראה **או** רסט אוטומטי בעולם התקלה.
- \* מגע מחליף, נוריות התראה, לחצני ניסוי ורסט.
- \* הזנת העזר בתחום רחב ביותר.



**ETC**

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



החברה הראשונה בעולם הנותנת



5 שנות אחריות

(דור שלישי)

לואסטי מהירות **COMMANDER**

למנועים AC בהספקים 0.75-75KW

טכנולוגיה מיוחדת בבקרת צורת הגל

**ULTRA FAST** - הגנות זרם ומתח

מומנט הנעה - בקרה אוטומטית עד 175%

**Economy mode** לחסכון באנרגיה

תדר יציאה 100hz - 1

בקרת מהירות 0-10V, 4-20, 0-3/6KHz

כמו כן החברות מספקות:

**PUMA** - ווסטי מהירות D.C 0.37KW

**CHEETAH II** - ווסטי מהירות D.C 0.37-1.5KW

**LYNX** - ווסטי מהירות D.C (פיקוד מבודד)

8,16,30A

**4Q2** - ווסטי מהירות D.C 4Q 4.0/7.5KW

**MENTOR** - ווסטי מהירות D.C 10, 4Q 3.75/750KW

מערכת הנעה מתוחכמת ממוחשבת

המהווה פריצת דרך בתחום הנע זרם ישר

הספקת מנועי זרם ישר עם וללא גיר בכל גודל



**ג'י.אס.אם.** הנדסה ושיווק (1985) בע"מ

דרך השרון 101, הוד השרון

מכתבים: ת.ד. 1235 הוד-השרון 45111

טל: 052-455335

טל: 052-916197

פקס' 052-916177

# חשמל ללא כבלים

## מבנים מבודדים

אספקת חשמל  
סולרי במבנים  
מבודדים, בשדות  
מטעים, בנקודות  
שרות, להפעלת  
כלים ומקררים,  
ונקודות תאורה.



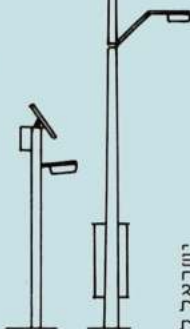
## טעינת מצברים

קולטים סולריים  
קטנים חסכוניים  
לטעינת מצברי חרום  
ורכב.



## עמודי תאורה

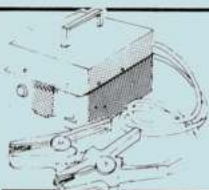
עמודי התאורה מצוידים  
במודולים (קולטי שמש)  
המספקים אנרגיה סולרית  
הטוענת מצברים סולריים.  
העמודים מצוידים ב-  
טיימרים ותא פוטואלקטרי  
המאפשרים הדלקה  
וכיבוי אוטומטיים.  
מ-6 ועד 70 וואט.



ישראל קור

## ממירים

ממירים ל-220 וולט  
למערכות סולריות ומצברי  
רכב קונבנציונליים.  
דגמים הכוללים מטען  
למערכות גבוי וחרום.



**ממיר נייד במשקל 5 ק"ג  
לעבודות בשטח**

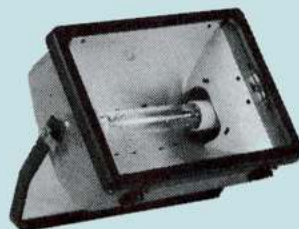
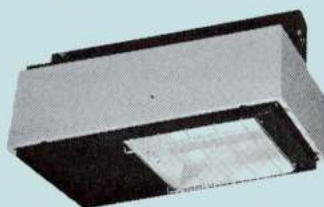
**אינטרדן בע"מ**

מערכות חשמל עצמאיות

בית סטרקו, ככר סטלה מאריס חיפה, טל. 04-337997



טכנולוגיות מתקדמות  
ומיוחדות בייצור גופי תאורה  
באיכות וביעילות  
גבוהים ביותר



- תאורת רחובות
- תאורת ספורט ושטח
- תאורת אולמות ואולמות ספורט
- תאורה מיוחדת לחדרי מחשב
- תאורה תעשייתית
- תאורה תת מימית
- תאורת גנים וסביבה
- תאורת בתי חולים + ציוד
- תאורת פנים
- תאורת שדות תעופה

**ג'י.אס.אם** הנדסה ושווק (1985) בע"מ

דרך השרון 101, הוד השרון

מכתבים:

ת.ד. 1235 הוד השרון 45111

טל. 052-455335, 916197

פקס. 052-916177



מהמובילות בעולם בכבלי - PYRO

Dätwyler

# כבלים pyrofil לבטיחות ומניעת נזקים



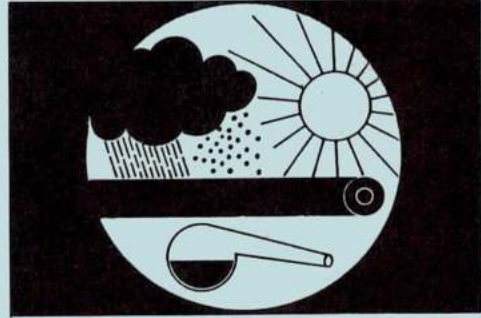
מניעת התפשטות האש.



בטיחות חשמלית.



אין גזים קורוזיים.



עמידות בפני השפעות סביבתיות.



המשך תיפקוד בשלבים הראשונים של אש.



כמות עשן מזערית במקרה של שריפה.

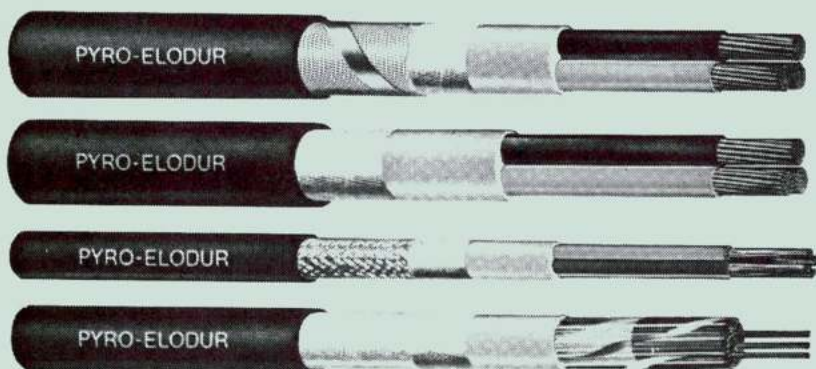
## ! קשטן חומרי חשמל בט"ח

אלנבי 121, ת"א, 61007, ת.ד. 802

מח' מכירות: קיבוץ גלויות 24, טל. 810958, 829469, 810919

טלקס: 341292 ASTR. IL, פקסימיליה: 835025 FAX:

# למה להלחם באנ אם אפשר למנוע אותה עם כבלי בטחון **PYRO-ELODUR EHLERSKABEL**



## יתרונות כבלי בטחון **PYRO**

- ★ כבלי בטחון - PYRO חופשיים מהלוגן ורעלים: מניעת קורוזיה של מכשירים וציוד יקר.
- ★ כבלי בטחון - PYRO ממשיכים לתפקד עד 3 שעות במקרה של חשיפה ישירה לאש של 1000°C. לכן כל ציוד הנחוץ לכיבוי האש ימשיך לתפקד.
- ★ היווצרות עשן קטנה באופן משמעותי לעומת כבלים רגילים.

- ★ הקטנת להבות אש למינימום בכבלי בטחון - PYRO מונעות התלקחות עצמית, "לא מהווים מקור לאש".
- ★ במקרה של שריפה ממקור אחר, הלהבות לא תתפשטנה לאורך כבלי בטחון - PYRO.

**! קשטן חומרי השמל בט"ח**

אלנבי 121, ת"א, 61007, ת.ד. 802.

מח' מכירות: קיבוץ גלילות 24, ת"א, טל. 810958, 829469, 810919

טלקס: 341292 ASTR. IL, פקסימיליה: 835025 FAX.



# עוז-און



## אנל-טנד

### מייצרת ומשווקת:

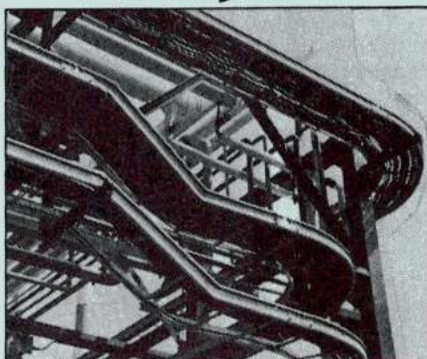
- \* מתנעים ישר לקו
- \* מתנעים כוכב משולש
- \* מתנעים אוטורנספורמטור
- \* מנתקי מעגל אוטומטיים Condor
- \* ממסרי פיקוד
- \* מגענים 4 קטביים קומפקטיים
- \* לחצנים לפיקוד ומנורות סימון
- \* מפסקי גבול
- \* גששי קירבה
- \* מפסקי דוֹושה
- \* יחידות התנעה והגנה למזגנים
- \* רבי שקעים מוגנים למערכות מחשב
- \* ממסרים לבקרת מתח וזרם
- \* ממסרים לבקרת גובה נוזלים
- \* ממסרים חוסר פזה
- \* ממסרי השהיה אלקטרוניים
- \* בודקי רציפות
- \* לוחות בקרה ופיקוד
- \* תאי מתכת וארונות פח
- \* ארונות תקשורת
- \* ציוד הקפי למחשבים

רח' הנפח 10 חולון

ת.ד. 2664 מיקוד 58817

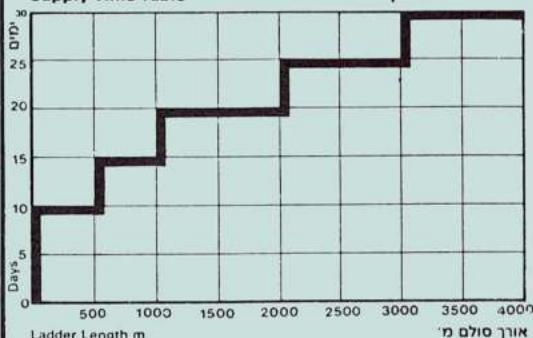
טל' 03-800117-8

# יצור אספקה והתקנה של סולמות כבלים מודולריים לתעשייה



Supply Time Table

לוח זמנים לאספקה



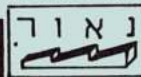
### אנו מציעים:

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 והזמנת קטלוג נא לפנות למשרדינו:



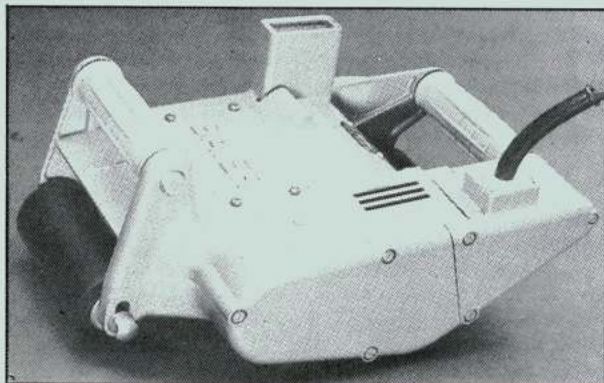
## נאור בע"מ קבלני חשמל לתעשייה

מפרץ חיפה, רח' חלוצי התעשייה 79, ת.ד. 10256

טל. 724834, 04-724528

# BAIER

## כלי עבודה לחשמלאי



**מחרצה MF500**

מבצעת חריץ בבלוק רגיל, בלוק לחץ ואיטונג.



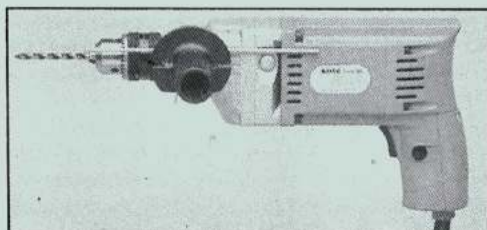
**פטישון רוטט BBH320**

קצר, קל לנשיאה עם מצמד בטחון.



**פטיש חציבה BBH290**

קודח וחוצב בבטון.



**מקדחה קומבי 330**

חודרת בבטון ובפלדה.

**VECO**  
דיבל נחושת לבטון

סוכני באייר בישראל - יעקב נויברג בע"מ

רח' פרץ 10, ת"א 66853, טל. 03-382979, 370291

**ספקי VECO**



כלי עבודה בעלי בידוד מושלם לעבודה תחת מתח עד 1000 וולט, עשויים מפלדת  
כלים מיוחדת וחזקה.

מומלצים במיוחד לעבודות תחזוקה במפעלים ולעבודה על רשת חיה.  
כל הכלים מתוצרת KNIPEX. זהירו מחיקויים ללא תקן.

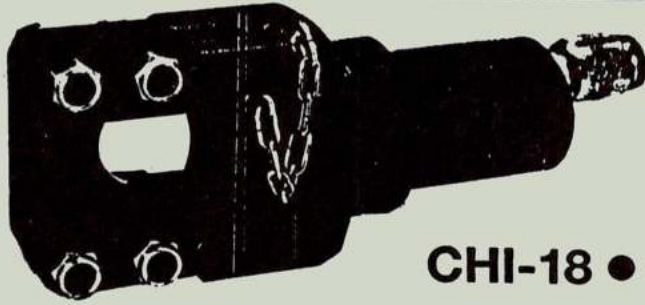
**מפיצים בלעדיים בישראל:**

**יוליאן משה**

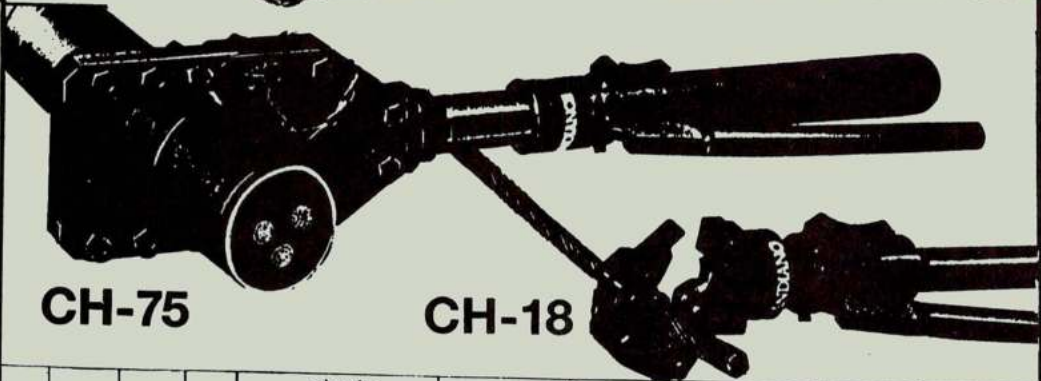
סוכנויות יבוא ושיווק

ירושלים, רח' יותם 7, טלפון 532776 – 02-664646





CHI-18 • CHI-35



CH-75

CH-18

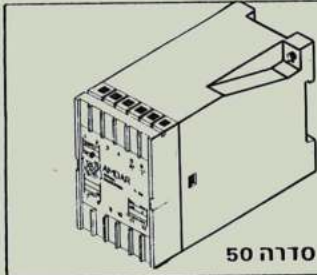
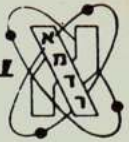
דגם Type	כח Capacity	אורך Length	משקל Weight	כבל-פלדה Wire rope			כבלים Cable			חוזק סירבי 180 ק"ג/מ"ר Maximum hardness 180 kg/mm <sup>2</sup>	סוגות Bar		
				סולניכים Conductors			כבל טלפון Telephone	כבל מסורין Lead shielded	כבל תת-קרקעי under ground		כדזל Steel	נחושת Copper Copper Alloyed Alloy	אלומיניום Aluminum Aluminum Alloy
				אלום' נחושת Aluminum Copper	אלום' כב פלדה Aluminum steel reinforced	כבל פלדה Steel wire							
מ"מ mm	מ"מ mm	מ"מ mm	מ"מ mm	מ"מ mm	מ"מ mm	מ"מ mm	מ"מ mm	מ"מ mm	מ"מ mm	מ"מ mm	מ"מ mm		
CH-18	5	370	3,00	18	18	18	•	18	18	18	12	15	75
CHI-18	5	140	2,00	18	18	18	•	18	18	18	12	15	15
CH-35	11	470	6,80	35	35	35	•	35	35	32	20	30	30
CHI-35	11	220	4,80	35	35	35	•	35	35	32	20	30	30
CH-75	4	650	7,80	24	•	•	75	75	75	•	•	•	•
CHI-75	4	395	4,80	24	•	•	75	75	75	•	•	•	•
CH-90	14	480	8,20	35	•	•	90	90	90	•	•	•	•
CH-120	14	580	10,80	35	•	•	120	120	120	•	•	•	•
CHM-35	14	475	12,20	32	•	•	•	32	32	32	20	32	32

היחיד לא מיועד לחתוך סידה זאת או סוג זה של חומר. כל ניסיון לעשות זאת עלול לגרום נזק לכלי ולגרום לנפול בתב  
החומר. לחץ המבנה: 700 ק"ג/מ"ר.

Unit is not designed to cut this size or type of material. Any attempt to do so may result in personal injury or damage to the unit and will void the warranty. Operating pressure 700 kg/mm<sup>2</sup>.

מפיצים בלעדיים בישראל:  
**יוליאן משה** יבוא ושיווק  
 ירושלים, רח' יותם 7, טלפון 532776 - 02-664646

# אמדר" אלקטרוניקה ובקרה בע"מ



סדרה 50

מתמרי זרם מתח ותדירות



דגם 307

בקר מקדם הספק

ממסר מקדם הספק  
לבקר מתוכנת דגם

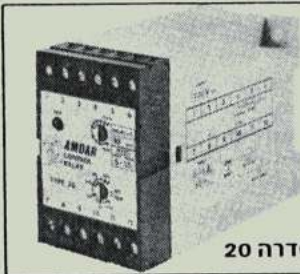
309

$\cos \phi$



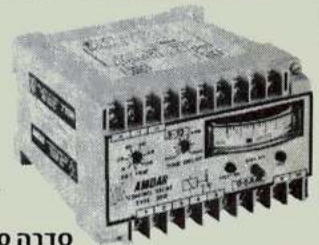
דגם 31

יחידת התרעה  
למקדם הספק

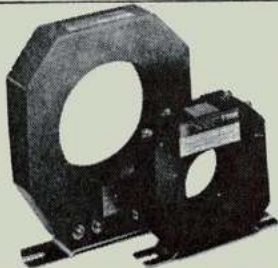


סדרה 20

ממסרי בקרה  
לזרם ומתח



סדרה 200



ממסר זליגה  
לתעשייה

דגם C.T.55

דגם C.T.110



דגם 250

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

# מערכות מיזוג אויר מרכזיות עם אגירת קור (COOL STORAGE)

אינג' בוריס שוורץ, אינג' בנימין כהן, אינג' סימינה מרקו

מאמר זה הוא ראשון בסדרת מאמרים אשר ידונו בשיטות ובאמצעים טכניים המקובלים לשיפור פרופיל הצריכה של מערכות מיזוג אויר מרכזיות. השגת השיפור האמור הכרחית הן מהיבט הצרכן (לשם הקטנת התשלומים בעד צריכת החשמל) והן מהיבט חברת החשמל (לשם ניהול עומס החשמל בצד הביקוש במערכת החשמל הארצית).  
בחירת הנושא למאמר הראשון בסדרה נובעת מכך שהאמצעים והשיטות הנדונים במאמר הם חדשניים, יחסית.

## מבוא

מאמר זה ומאמרים נוספים בסדרה שיפורסמו בהמשך, מתבססים על עבודה שנערכה בחברת החשמל במסגרת **מחקר להערכת פוטנציאל שיפור פרופיל הצריכה** – העברת הצריכה משעות הפסגה לשעות השפל, הקטנת הביקוש המירבי וחיסכון בצריכה – של **מערכות מיזוג אויר מרכזיות** (ראה עלון "התקע המצדיע" מס' 38). מחקר זה מהווה חלק מפעולות החברה לניהול עומס בצד הביקוש. הפעולות לניהול עומס בצד הביקוש נעשות במטרה להשפיע על פרופיל צריכת החשמל של הצרכנים, בדרכים אשר תהיינה כדאיות הן לצרכנים והן לחברת החשמל, כדי להביא לשינוי בעקומת העומס של המערכת הארצית.

אחת הדרכים לשיפור פרופיל הצריכה של מערכות מיזוג אויר מההיבט של ניהול עומס בצד הביקוש היא אגירת אנרגיה למיזוג אויר (קור או חום) על ידי הפעלת המערכות בשעות השפל וניצול האנרגיה האגורה בשעות הפיסגה.

עיקרון זה מעורר עניין הן אצל החברות לאספקת חשמל בעולם והן אצל הצרכנים ובמיוחד אצל אלה שהחייב בעד צריכת החשמל במתקניהם הוא על בסיס מחירים המשתנים לפי שעות היממה (כדוגמת המחירים לפי תעריף בארץ). מנקודת הראות של החברות לאספקת חשמל, יש ביישום השיטה פוטנציאל לשיטוח עקום העומס היומי והקלה באספקת הביקושים לצרכנים בעיקר בשעות זקריטיות של היממה. בטווח הרחוק יותר יוכל להביא יישום השיטה בקנה מידה גדול לרחיית הצורך בהתקנת יחידות ייצור חשמל חדשות. מנקודת הראות של הצרכנים, יישום השיטה יוכל להביא להקטנת התשלומים עבור הצריכה (בגלל מחיר הקוטי"ש הנמוך יותר בשעות השפל) ועבור הביקוש המירבי (בגלל שהוא נמדד, בדרך כלל, בשעות הפיסגה ולא בשעות השפל) **נדגיש כאן שהשימוש באגירת אנרגיה איננו מנטיח בהכרח חיסכון בצריכת חשמל לצרכני מיזוג אויר אך יש בו, כאמור לעיל, פוטנציאל לחיסכון בתשלומים בעד צריכת החשמל.**

**אגירת חום להסקה (Heat Storage)** במערכות מיזוג אויר מרכזיות איננה נפוצה עדיין מהסיבה שהמערכות אינן בנויות, ברוב המקרים, מראש לפעולה במחזור החימום כמשאבת חום, אלא, החימום מתבצע לרוב על ידי שריפת דלקים. עם ריבוי

מערכות מיזוג אויר המותאמות לפעולה הן במחזור קירור והן במחזור חימום, סביר להניח שתגבר ההתעניינות באגירת חום. לעומת זאת, בשנים האחרונות גוברת ההתעניינות באגירת קור (Cool Storage) ומתרבים היישומים הקשורים בה לצרכי מיזוג אויר. יישום כל אחת מבין השיטות המקובלות לאגירת קור מלווה עדיין בבעיות טכנולוגיות ולבטים לגבי הכדאיות הכלכלית ולכן תמיד דרוש ניתוח מעמיק של היבטים אלה לפני קבלת החלטה בדבר היישום.

במאמר זה, נפרט את השיטות המקובלות לאגירת קור ונעמוד על הקריטריונים ליישומן.

## מיון מערכות עם אגירת קור

מקובל למיין את המערכות עם אגירת קור לפי סוג התנוד (Medium) האוגר את אנרגיית הקירור ולפי אופן פעולתן.

מיון המערכות לפי תווך האגירה  
(STORAGE MEDIA)

### א. מערכות עם אגירת מים מקוררים (CHILLED WATER STORAGE)

מערכות אלה מנצלות את קיבול החום של המים במצבם הנוזלי.

כמות אנרגיית הקור שניתן לאגור במיכל אגירה המכיל מים במסה  $m$  היא:

$$Q_s = mc \Delta T \quad (1)$$

כאשר:

$Q_s$  = כמות האנרגיה אותה אנחנו מעוניינים לאגור [kcal]

$c$  = החום הסגולי של המים ( $c = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ )

$\Delta T$  = הפרש בין טמפרטורת המים בתחילת מחזור האגירה –  $T_r$  לבין טמפרטורת המים בסוף המחזור –  $T_s$  [°C].

בדרך כלל:  $T_r = 10^\circ\text{C} - 12^\circ\text{C}$

$T_s = 3^\circ\text{C} - 4^\circ\text{C}$

$m$  = מסת המים הנדרשת לאגירת אנרגיה [kg].

### ב. מערכות עם אגירת קרח (ICE STORAGE)

במערכות אלה מנצלים את קיבול הקור של המים במצב מוצק (קרח).

מערכות עם אגירת קרח יכולות לאגור כמות אנרגיית קירור ליחידת נפח הגדולה בהרבה מאשר ניתן לאגור במערכות עם מים מקוררים. הדבר נובע, בעיקר, מכך ששינוי מצב הצבירה של המים במצב

אינג' ב. שוורץ  
אינג' ב. כהן  
אינג' ס. מרקו

– המחלקה ליעול הצריכה, אגף הצרכנות, חברת החשמל

נוזלי בטמפרטורה של  $0^{\circ}\text{C}$  לקרח בטמפרטורה של  $0^{\circ}\text{C}$  מלווה בהקטנת האנרגיה הפנימית של המים בשיעור של 80 קילו-קלוריות לליטר מים. יתר על כן, מקובל לקרר את הטמפרטורה של  $3^{\circ}\text{C}$  מתחת לאפס והדבר מגדיל את יכולת אגירת הקור של המערכת. פעול יוצא מכה, הוא שניתן להסתפק בנפח אגירה קטן יותר מאשר במערכות עם אגירת מים מקוררים. באופן תאורטי נפח האגירה הנדרש באגירת קרח הוא כעשירית מנפח האגירה הנדרש באגירת מים מקוררים. למעשה, היחס הוא  $5:1$  מפני שנפח האגירה מורכב מחציתו קרח ומחציתו מים. כמות אנרגיית הקור שניתן לאגור במערכת עם אגירת קרח היא בקירוב:

$$Q_s = mc_1 \Delta T + \frac{m}{\rho} \ell + \frac{m}{\rho} c_2 \Delta T_2 \quad (2)$$

**כאשר:**

$Q_s$  = כמות האנרגיה אותה אנו מעוניינים לאגור, [kcal]

$c_1$  = החום הסגולי של המים,  $(c_1 = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}})$

$\ell$  = חום ההיתוך של הקרח,  $(\ell = 80 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}})$

$c_2$  = החום הסגולי של הקרח  $(c_2 = \frac{0.26 \text{ kcal}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}})$

$m$  = מסת המים ההתחלתית באוגר, [kg]

$\Delta T_1$  = הפרש בין טמפרטורת המים בתחילת מחזור האגירה -  $T_r$  לבין טמפרטורת המים בגמר מחזור האגירה -  $T_s$

בדרך כלל:  $T_r = 10^{\circ}\text{C} - 12^{\circ}\text{C}$   
 $T_s = 0^{\circ}\text{C} - 1^{\circ}\text{C}$

$\Delta T_2$  = הפרש בין טמפרטורת הקרח ב- $0^{\circ}\text{C}$  לבין טמפרטורת הקרח בגמר מחזור האגירה  $(-3^{\circ}\text{C}, -3^{\circ}\text{C})$ . כ- $3^{\circ}\text{C}$ .  $(\Delta T_2 = 3^{\circ}\text{C})$ .

ליד היתרון של הקטנת הנפח במערכות עם אגירת קרח, קיים חיסרון הנובע מהצורך להפעיל מדחסים בטמפרטורות אידוי נמוכה מאד בהשוואה לטמפרטורות האידוי הנדרשת במערכות עם אגירת מים מקוררים: ככל שטמפרטורת האידוי נמוכה יותר, כך יורדת היעילות של המדחסים וכתוצאה מכך נדרשת אנרגיה חשמלית רבה יותר.

### ג. מערכות עם אגירת קור במלח ניתך (EUTECTIC SALT)

אחת התכונות של המלח הניתך היא שינוי מצב הצבירה שלו ממוצק לנוזל בטמפרטורה של  $32.2^{\circ}\text{C}$ . תוך ספיגת חום מהסביבה בשיעור של כ- $23$  קק"ל לק"ג מלח. על-ידי הוספת מלחים מסויימים ניתן להוריד את טמפרטורת ההיתוך של החומר ל- $12.8^{\circ}\text{C}$  ולהעלות את חום ההיתוך ל- $27.7$  קק"ל/ק"ג. הדבר מאפשר להגדיל את כמות האנרגיה שניתן לאגור בחומר. המלח מוכנס בתוך לבנים או כדורים מחומר פלסטי קשיח הטבולים בתוך המים שבמיכל האגירה. חישוב כמות אנרגיית הקירור שניתן לאגור במערכת מסוג זה דומה לחישוב של מערכת עם אגירת קרח.

השימוש במלח ניתך כתוך לאגירת קור מאפשר, לדברי היצרנים, לשלב את יתרונות אגירת הקור במים קרים ובקרח, תוך צמצום החסרונות שלהם כפי

### מיון מערכות עם אגירת קור לפי אופן פעולתן

מבחינים בין מערכות המיועדות לפעול במשטר עם אגירת מלאה של אנרגיה או במשטר עם אגירה חלקית. אופן הפעולה הנדרש ממערכת לאגירת אנרגיה מכתוב הן את ההספק החשמלי של מערכת קירור והן את נפח האגירה הנחוץ.

#### א. מערכות עם אגירה מלאה

במערכות עם אגירה מלאה של אנרגיה קיים נפח אגירה המאפשר לספק את הדרישה הכוללת המירבית היומית של מיזוג אויר בשעות השיא ללא צורך בהפעלת מערכות קירור נוספות כלשהן. באיור 1א' מתואר פרופיל העומס היומי לפי שעות היממה, של מתקן בו מופעלת מערכת מיזוג אויר ללא אגירת קור. באיור, הופרדו מהלך העומס הנובע מהפעלת מערכות הקירור במתקן ומהלך העומס הנובע מיתר העומסים החשמליים במתקן (משאבות סחרור, מפוחים, תאורה, מעליית ומכשירים שונים). במקרה המתואר, הדרישה למיזוג אויר קיימת בין השעות 06.00-18.00.

באיור 1ב', מתואר פרופיל העומס היומי של אותו מתקן עם מערכת לאגירה מלאה של קור. במצב זה, מערכות הקירור המופעלות בשעות השפל בלבד למטרת אגירת קור (באיור - בין 08.00-23.00). יתר העומסים החשמליים מופעלים כרגיל במשך כל שעות היממה. כתוצאה מכך, הביקוש המירבי קטן בשיעור השווה להספק הכולל של מערכות הקירור והצריכה היומית מתחלקת בצורה אחידה יותר במשך שעות היממה, כתוצאה מהסתת הצריכה הנובעת מהפעלת יחידות הקירור לשעות השפל.

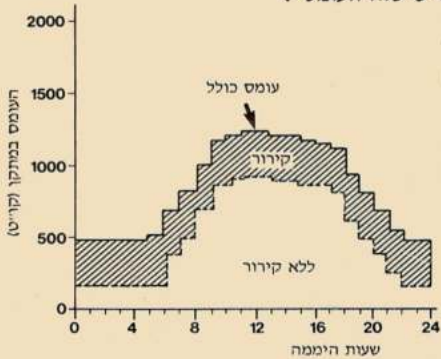
מערכות מיזוג אויר עם אגירה מלאה של אנרגיה יישומות בעיקר באותם מתקנים שבהם הדרישה למיזוג אויר קיימת רק בחלק משעות היממה ומשך העדר הביקוש לקירור המבנה, בעיקר בשעות השפל, מאפשר אגירת כמות מספקת של אנרגיה. יישום מערכות עם אגירה מלאה של אנרגיה איננו תורם תמיד להקטנת ההספק החשמלי של המדחסים במערכות הקירור בהשוואה למערכות מיזוג אויר קונבנציונליות. הדבר נובע מכך שמערכות הקירור צריכות להיות מסוגלות לספק במשך מספר שעות מוגבל את כמות האנרגיה המדרשת למערכת האגירה.

#### ב. מערכות עם אגירה חלקית

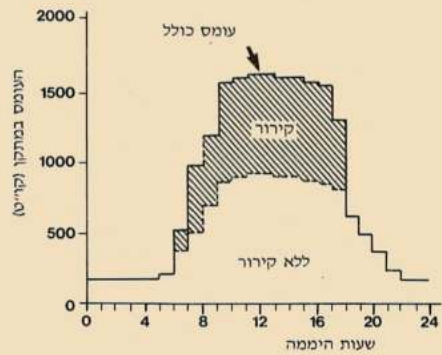
מערכת עם אגירה חלקית מופעלת במשך מספר שעות גדול בהרבה מזה של מערכת עם אגירה מלאה. כתוצאה מכך הירידה בביקוש המירבי היא קטנה יותר. יחד עם זאת, מערכת עם אגירה חלקית דורשת יחידות קירור בהספק נמוך יותר ונפח אגירה קטן יותר מאשר מערכת עם אגירה מלאה. דבר המוזיל בצורה משמעותית את עלותה. קיימים שני משטרי עבודה במערכות עם אגירה חלקית כמתואר להלן:

**איור 1**  
**עקומת העומס היומי האופייני של מתקן הכולל מיזוג אויר**

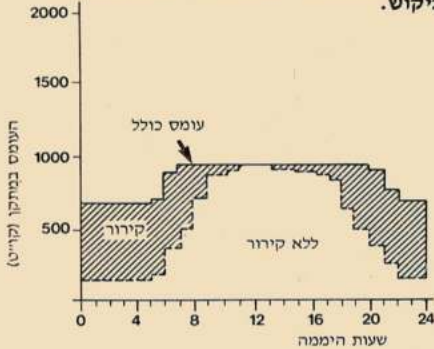
**ג' מערכת מיזוג אויר עם אגירת חלקית ל"שיטוח העומס".**



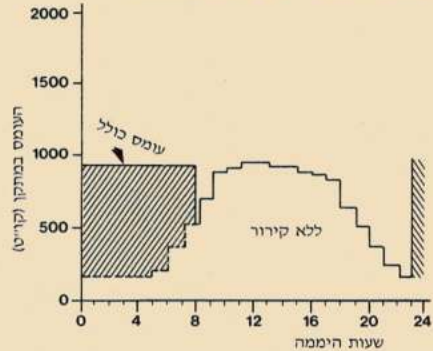
**א' מערכת מיזוג אויר רגילה.**



**ד' מערכת מיזוג אויר עם אגירה חלקית להגבלת הביקוש.**



**ב' מערכת מיזוג אויר עם אגירת מלאה.**



"שיטוח העומס" המתואר לעיל. נפח האגירה הנדרש אף הוא גדול יותר זאת בשל העובדה שהמערכת צריכה לאגור אותה כמות אנרגיה בפרק זמן קצר יותר בהשוואה למערכות ל"שיטוח העומס".

**מבנה ועיקרון הפעולה של מערכות עם אגירת קור**

מערכת עם אגירת מים מקוררים

באיור 2 מובא תאור סכמטי של מבנה מערכת עם אגירת מים מקוררים.

המערכת כוללת, באופן בסיסי, יחידת מיזוג אויר קונבנציונלית על כל מרכיביה בתוספת מיכל אגירה שהוא בעל רמת בידוד תרמי גבוהה לאגירת מים קרים. באיור 2' מובא תאור עקרוני של פעולת המערכת במחזור ה"טעינה", כלומר תהליך אגירת הקור. המים נשאבים מחלקו העליון של מיכל האגירה ומסוחררים באמצעות משאבת שחרור דרך מחלף חום בצד המאדה (evaporator) של יחידת הקירור (chiller). המים המקוררים מוחזרים לחלק התחתון של מיכל האגירה וחוזר חלילה עד שכל כמות המים הנשמרת במיכל האגירה מגיעה לטמפרטורה של  $C^{\circ} - 4$  עד  $C^{\circ} - 3$ .

**\* משטר עבודה לשם "שיטוח" עקומת העומס**

(Load-Levelling Operating Mode)

באיור 1' מובאת עקומת העומס של אותו מתקן ובו מערכת עם אגירה חלקית של אנרגיה לשם שיטוח עקום העומס (Load-Levelling). מהלך העומסים החשמליים, פרט ליחידות הקירור הוא ללא שינוי. יחידות הקירור מופעלות במשך כל שעות היממה הן לאגירה והן להשלמת דרישה הקירור במתקן בשעות הפיסגה. במשטר פעולה זה ניתן להסתפק ביחידות קירור בעלות הספק מבוא של 50% מהספק המבוא הנדרש באגירה מלאה. ניתן אף להסתפק בנפח אגירה קטן יותר.

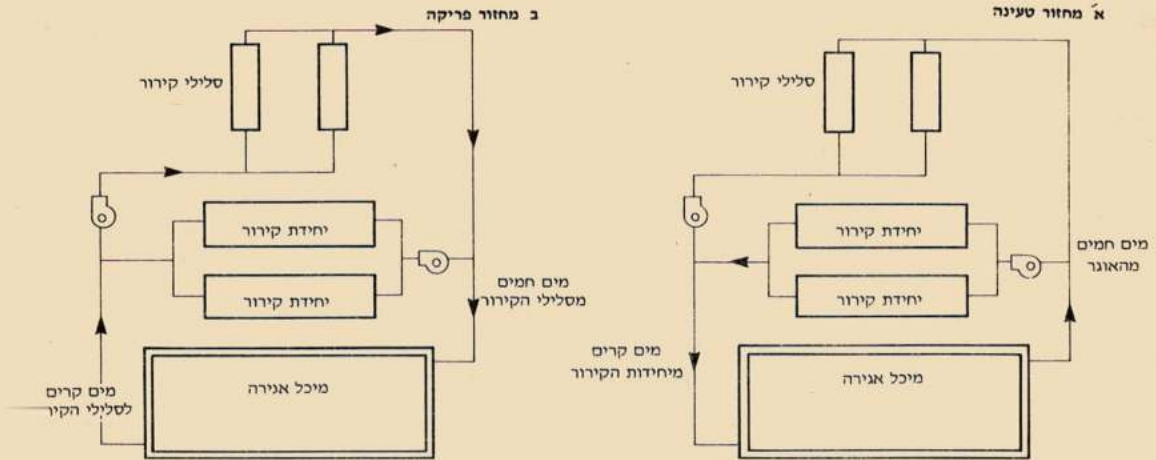
**\* משטר עבודה עם הגבלת הביקוש**

(Demand-Limited Operating Mode)

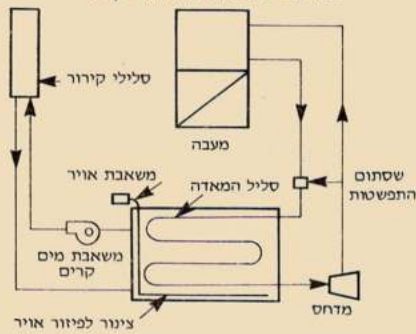
באיור 1' מובאת עקומת העומס של אותו מתקן ובו מערכת עם אגירה חלקית של אנרגיה להגבלת הביקוש. במקרה זה הביקוש המירבי המותר נקבע על ידי צירוף העומסים אשר איננו כולל את יחידות הקירור.

יחידות הקירור מופעלות במשך רוב שעות היממה ומופסקות כאשר הביקוש המירבי מגיע לרמה המותרת. במשטר עבודה כזה, ההספק החשמלי של יחידות הקירור גדול יותר מאשר במשטר של

תאור סכימתי של מחזורי העבודה של מערכת עם אגירת מים מקוררים



איור 3 מערכת סטטית לאגירת קרח



הטמפרטורה בשכבות השונות במיכל האגירה הן בטעינה, והן בפריקה, מופעל מתקן המעביל את המים בתוך מיכל האגירה. הדבר מאפשר גם בניית קרח אחידה סביב המאדה בטעינה והפשרתו בצורה הדרגתית ואחידה בפריקה. הקרח נבנה סביב הצינורות של המאדה עד לעובי מירבי של 5 עד 5.5 ס"מ לשם מניעת חסימת זרימת המים ממכל האגירה ואליו. כמו כן עלולה שכבת קרח עבה מדי להפוך לשכבה מבודדת מבחינה תרמית בין המאדה לבין המים שאותם אנו רוצים לקרר. בגמר מחזור הטעינה, כחציית מנפח מיכל האגירה תפוסה במים מקוררים, והמחצית השניה תפוסה על ידי קרח וצינורות המאדה. במחזור הפריקה, נשאבים מים קרים מהחלק העליון של מיכל האגירה אל סלילי הקירור באזורים השונים. המים החוזרים מוכנסים לחלק התחתון של מיכל האגירה בו הם באים במגע עם הקרח המכסה את המאדה ומתקררים וחוזר חלילה עד לגמר מחזור הפריקה.

ב. מערכות דינמיות

מערכות דינמיות מייצרות קרח בצורת גושים, לוחות, שלג או פתיתי קרח המועברים אל מיכלי האגירה.

החום ה"נשאב" מהמים החמים מסולק דרך המעבה (condenser) של יחידת הקירור על ידי מפוח חימוני. במערכות גדולות, המעבה מקורר במים במגדל קירור (cooling tower). בדרך כלל, במצב של טעינה/אגירת הקור, אין הזרמת מים קרים לסלילי הקירור (cooling coils) במתקן. החיצים באיור מראים את כיוון זרימת המים במערכת.

באיור 2ב מובא תאור עקרוני של מחזור פריקת אנרגיית הקור מהמים הקרים שבמיכל האגירה לשם קירור אזורים שונים במתקן. המים הקרים נשאבים מתחתית מיכל האגירה ומסוחררים דרך סלילי הקירור לאזורים השונים של הבנין. המים קולטים חום מהאוויר באזורים הממוזגים ומוחזרים אל חלקו העליון של מיכל האגירה וחוזר חלילה.

בעיה אקוטית במערכת עם אגירת מים קרים קשורה בעירבוב המים החוזרים מהמתקן במחזור הפריקה עם המים המקוררים המצויים במיכל האגירה. עירבוב המים גורם לעליה מהירה של טמפרטורת המים במיכל האגירה ובסופו של דבר לביטול כושר הקירור של המים ולביזבז חלק מהאנרגיה שהושקעה לשם קירור המים. על מנת לפתור בעיה זו קיימות מספר טכניקות שעיקר מטרתן בלום ולהשהות את עירבוב המים.

מערכות עם אגירת קרח

מבחינים בין מערכות לאגירת קרח "סטטיות" או "דינמיות". באופן כללי מערכות "סטטיות" הן בעלות מבנה פשוט יותר, יעילות יותר, זולות יותר ולכן גם נפוצות יותר. החיסרון שלהן הוא בכך שהן מוגבלות ביכולת האגירה שלהן.

א. מערכות סטטיות

באיור 3 מתוארת מערכת סטטית טיפוסית לייצור קרח.

המרכיבים העיקריים של המערכת דומים לאלה של מערכת קירור מכנית רגילה בהבדל אחד: המאדה טבול בתוך מיכל האגירה עם מים. בזמן הטעינה נבנה קרח סביב המאדה. לשם שמירת אחידות

ניגשים לניתוח עקומות העומס הכולל הצפוי במתקן. ניתוח זה צריך להיעשות בהתחשב במבנה התעריף הרלבנטי ובעלויות מערכות החשמל וציוד הקירור הנדרשים.

לפני שקובעים את גודל המערכת לאגירת קור יש לבחור במשטר הפעולה הרצוי. לעיתים קרובות יש צורך בניתוח מספר משטרי פעולה אפשריים לפני להביא בחשבון בבחירת משטר הפעולה הם מועד תחילת מחזור הפריקה, קצב הפריקה במשך תקופות שונות של היום וקצב הפריקה המירבי הנדרש. כמו כן יש לבדוק את האיפיונים של מחזור הטעינה.

בהתבסס על משטר הפעולה שנבחר, נחשב את תפוקת הקירור המירבית הנדרשת מציוד הקירור. החישוב נעשה על ידי חלוקת ערך אנרגיית הקירור היומית המירבית שדרושה צפויה בבנין (טק"ש) במספר השעות המחושב שבהן יופעל ציוד הקירור בתפוקה מלאה: (3)

$\frac{\text{תפוקת הקירור המירבית (טק"ש)}}{\text{זמן הפעלה מחושב (שעות)}} = \text{המרחב הפנימי של המדחסים (ט"ק)}$
---

לשם הבהרת המושג "זמן הפעלה מחושב" של המדחסים בעומס מלא, נביא כאן חישוב לדוגמה. אם ציוד הקירור מתוכנן לפעול במשך 14 שעות בעומס מלא ו-10 שעות במחצית התפוקה, אזי זמן הפעולה המחושב יהיה:  $19 = (10 \times 0.5) + (14 \times 1.0)$  שעות של פעולה בתפוקה מלאה. ערך התפוקה המירבית המחושב מגדיר למעשה את התפוקה הנומינלית של המדחסים שיותקנו. קביעת משטר ההפעלה מאפשרת גם לחשב את נפח האגירה הנדרש עבור התווך שנבחר.

#### ה. עלות ראשונית של הציוד

יש לערוך השוואה בין עלות ראשונית (עלות הרכישה/התקנה) של מערכת מיזוג אויר ללא אגירה, לבין זו של מערכת עם אגירה חלקית או מלאה.

#### 1. חישוב צריכת החשמל והביקוש המירבי

יש צורך בחישוב צריכת החשמל והביקוש הנובעים מהפעלת מערכות הקירור ושל כל העומסים פרט למיזוג אויר. ניתן לערוך את החישובים האנרגטיים הנ"ל הן ידנית והן על ידי שימוש בתוכניות מחשב אשר כבר פותחו למטרה זו.

חישובי הצריכה והביקוש החזויים מאפשרים לערוך השוואות בין מערכות מיזוג אויר רגילות ומערכות לאגירת קור במשטרי הפעלה שונים.

כל הנתונים הללו יאפשרו לצרכן לחשב את עלות צריכת החשמל במשטרי פעולה שונים לאור מציאות תעריפית נתונה ואת החיסכון שניתן להשיג מיישום אחת מהשיטות לאגירת קור בהשוואה למערכת מיזוג אויר רגילה.

#### 2. עריכת ניתוח כלכלי

ניתן לומר ששלב זה הוא השלב המכריע שעל פיו תיפול ההחלטה האם ליישם מערכת לאגירת קור. נציין כאן, רק שתי טכניקות בסיסיות להערכת הכדאיות הכלכלית של היישום:

#### \* זמן החזר ההשקעה

זהו פרק הזמן שבתומו, ערך החיסכון המושג על

במערכות דינמיות ניתן לאגור כמות גדולה יותר של קרח מפני שכל נפח מיכל האגירה מיועד לקרח והבעיות שהוזכרו לעיל לגבי מערכות סטטיות מצאו את פתרונן על ידי יצירת קרח מחוץ למיכל האגירה. במיכל האגירה קיימת תמיסה של מים וגליקול (Glycol) אשר מונע קפיאת המים למרות הטמפרטורה הנמוכה. התמיסה מסוחררת בין מיכל האגירה לבין סלילי הקירור באזורים השונים במחזור הפריקה.

### שלבים בקבלת החלטה

#### על יישום מערכות מיזוג אויר

#### מרכזיות עם אגירת אנרגיה

כפי שכבר ציינו קודם, יישום מערכות מיזוג אויר מרכזיות עם אגירת אנרגיה, תורם לשיפור פרופיל הצריכה שלהן. יחד עם זאת, היישום מורכב למדי ומצריך בדיקה יבטיים טכניים וכלכליים רבים לפני קבלת החלטה מתאימה. תאור הצעדים העיקרים שיש לנקוט לשם בדיקת נושא מובא בהמשך.

#### א. ניתוח דרישות הקירור בבנין

ידיעת דרישות הקירור בבנין נחוצה לשם קביעת דרישת הקירור המירבית השנתית (טון קירור - ט"ק או קו"ט תרמי) ואנרגיית הקירור המירבית היומית (טק"ש - טון קירור שעה או קוט"ש תרמי). ידיעת ערכים אלה חשובה לניתוח השוואתי של מערכת מיזוג אויר קונבנציונלית ומערכת עם אגירת קור.

#### ב. המרחב הפנימי להעמדת מיכלי אגירה

גודל המרחב הפנימי (על פני השטח או תת-קרקע) לשם העמדת מיכלי האגירה משפיע הן על קביעות סוג תווך האגירה, כפי שיוסבר בהמשך, והן על קביעת היקף האגירה (מלאה או חלקית).

#### ג. קביעת תווך האגירה

בחירת תווך האגירה (מים קרים, קרח או סוג אחר) תלויה בגורמים העיקריים הבאים:

#### \* המרחב הפנימי שניתן להקצות למיכלי האגירה

- באם לא קיימת מיגבלה של מקום, ניתן להשתמש בכל אחד מסוגי התווך שהוזכרו קודם;

- באם קיימת מיגבלה של מרחב, השימוש בקרח כתווך אגירה עשוי להוות פתרון;

(נפח האגירה לקרח מהווה כחמישית מנפח האגירה למים מקוררים).

#### \* עלות הציוד ועלות האחזקה

יש צורך לערוך השוואת עלות המרכיבים של שני סוגי המערכות ועלות האחזקה הצפויה. בדרך כלל, מערכות עם אגירת קרח הן זולות יותר בגלל נפח האגירה הקטן יותר הנדרש בהשוואה למערכת עם אגירת מים מקוררים. בנוסף לכך, עלות האחזקה של מערכת עם אגירת קרח, היא בדרך כלל נמוכה יותר ממערכת עם אגירת מים מקוררים המורכבת יותר מבחינת אבזרי בקרה ופיקוד, מגופי ויסות וכו'.

#### ד. ניתוח עקומות העומס הכולל הצפוי במתקן לשם

#### בחירת משטר הפעולה וגודל הציוד

לאחר שהוגדרו דרישות הקירור ובהנחה שמשטרי ההפעלה של המערכות האחרות במבנה ידועים,

ידי השימוש במערכת לאגירת קור משתווה לערך  
ההשקעה הנדרשת ליישום מערכת כזו:

(4)

$$\text{זמן החזר (ההשקעה בשנים)} = \frac{\text{עלות מערכת האגירה} - \text{חיסכון בעלות ציוד הקירור}}{\text{ערך החיסכון השנתי בהוצאות חשמל}}$$

על פי קריטריון זה, ככל שזמן החזר ההשקעה קצר יותר, כך עולה כדאיות היישום. מדד זה הוא פשוטני מאד אך הוא נותן כלי ראשוני בסיסי לצרכן לשם השוואה בין השקעות שונות. יחד אם זאת, מדד זה איננו מספיק לצורך קבלת החלטה על כדאיות ההשקעה. המדד איננו לוקח בחשבון את השפעת האינפלציה, בעת עלות החסך וכ"ו.

★ **ערך נוכחי נקי (Net Present Value - N.P.V.)**  
קריטריון מדוייק יותר להערכת כדאיות ההשקעה הוא "הערך הנקי הנוכחי" של ההשקעה. נתון זה משקף את הערך הנקי העתידי של ההשקעה תוך התחשבות באורך החיים של המערכת (L) והריבית הבנקאית הנהוגה בעת עריכת החישוב (R) בהפחתת ערך ההשקעה הראשונית במערכת.

(5)

$$N.P.V. = \sum_{N=1}^L \frac{\text{ערך החיסכון השנתי} - \text{אחת משנתי חיי המערכת}}{(1+R)^N} - \text{עלות השקעה ראשונית}$$

על-ידי הצבת פרמטרים שונים של עלות השקעה, חיסכון שנתי, אורך חיים וריבית בנקאית ניתן להגיע למסקנה על כדאיות היישום ועל האלטרנטיבה הטובה ביותר לצרכן. ככלל, הבחירה תיפול על אותה מערכת אשר תבטיח בתנאים מסויימים את "הערך הנקי הנוכחי" החיובי הגדול ביותר.

### יישום מערכות עם אגירת קור בחו"ל – תמונת מצב ותחזיות לעתיד

יישום מערכות מיזוג אויר עם אגירת קור מתרחב והולך הודות לפוטנציאל הסטת הביקוש, הצריכה והחיסכון בהוצאות לחשמל הטמון בה מהיבט הצרכן. בהמשך נביא מידע על הניסיון שנצבר בארה"ב בנושא כפי שהוא עולה מדי"חות מקצועיים ומתוך מאמרים שפורסמו בכתבי עת מקצועיים. תחילה נציין שהעומס הנובע מהפעלת מערכות מיזוג אויר בבניינים מסחרים תורם 25% עד 40% לעקומת העומס בקיץ בארה"ב.

במסגרת סקר שנערך על ידי מכון EPRI – Electric Power Research Institute נבדקו תמונת המצב והיקף היישום של מערכות לאגירת קור וכן

המגמות המסתמנות לגבי המשך היישום. להלן מספר ממצאים של הסקר שפורסמו ב-1985:

א. הסקר מצביע על כך שנכון ל-1985 פעלו בארה"ב קרוב ל-100 מערכות לאגירת קור מסוגים שונים והיו בתכנון כ-100 מערכות נוספות.

ב. יכולת אגירת האנרגיה של המערכות השונות משתנה בתחום רחב: בין 40 טון קירור שעה (140 קוטי"ש תרמי) לבין 14,750 טון קירור שעה (51,865 קוטי"ש תרמי).

ג. הספק המבוא של יחידות הקירור משתנה אף הוא בתחום רחב: בין 4 קו"ט לבין 2,000 קו"ט.

ד. זמן החזר ההשקעה הנוספת לשם יישום אגירת קור נע בין שנתיים לבין 13 שנים.

ה. **הירידה הכוללת בביקוש המירבי שהושגה כתוצאה מיישום כ-100 מערכות עם אגירת קור היא כ-20 מו"ט.**

ו. מספר חברות חשמל פרטיות המתמודדות עם בעיות ניהול עומס קשות, ממלאות תפקיד חשוב בעידוד יישום השיטה על-ידי מימון חלק מההשקעות. המימון הוא בסדר גודל של 150 עד 200 דולרים עבור כל קו"ט של ביקוש מוסט.

ז. קיים סיוע הנדסי/טכני וכלכלי של מספר חברות חשמל לשם עידוד צרכנים ליישם את השיטה. הדבר מתבטא בהסברה, סיוע בתכנון והקלות בתעריפים.

ח. גרעין אנשי המקצוע המתמחים באגירת קור הולך ומתרחב ומספר הצרכנים המוכנים ליישם את השיטה גדל גם הוא בשל הכדאיות הכלכלית של היישום.

ט. סביר להניח שעם השיפורים הטכנולוגיים שיבואו בהמשך הודות למחקרים הנערכים בתחום זה ועם הוזלת עלות ציוד הקירור וציוד האגירה, תעלה הכדאיות הכלכלית של יישום השיטה.

מאמר שפורסם ב-Ashrae Journal במאי 1987 עולה שמספר המערכות עם אגירת קור הפועלות בארה"ב מתקרב ל-1,000. קצב הגידול של מספר המערכות הוא אמנם מהיר אך עדיין קיימות מגבלות טכניות-הנדסיות המונעות יישום נרחב יותר של השיטה.

א. המערכות לאגירת קור עדיין מורכבות מבחינת התכנון, ההתקנה והפעלה והאחזקה.

ב. טרם הושגה רמת אמינות מספקת של המערכות.

ג. העלות הראשונית הגבוהה של המערכות מהווה מכשול להרחבת היישום. עם זאת נעשים מאמצים בתחום המחקר לשם הקטנת העלויות.

### סיכום

שיטת אגירת קור היא הדומיננטית מבין השיטות המאפשרות להסיט את הביקוש ואת הצריכה משעות הפסגה לשעות השפל. מכאן יתרונה הבולט מהיבט ניהול עומס. יחד עם זאת, יישומה איננו תמיד כדאי מהיבט הצרכן, למרות החיסכון בהוצאות לחשמל הנובע מיישומה, בעיקר בשל העלות הגבוהה של המערכת. גם בארה"ב שהיא החלוצה בתחום זה, הופעלו עד כה כ-1000 מערכות בלבד.

בישראל נמצא יישום השיטה רק בראשית דרכו, ועד כה נעשו נסיונות בודדים ליישם את השיטה במתקנים שונים



# קריטריונים לבחירה נכונה של מגענים

גבי מזור – הנדסאי חשמל

מאמר זה נכתב על מנת לסייע לחשמלאים ולאנשי אחזקה במפעלים ובקיבוצים, בבחירת מגענים (קונטקטורים) המתאימים למתקניהם, בהתאם ליישומים ולדרישות השונות. מגוון הנתונים הנדרשים לבחירת מגען מתאים, הוא רב ויש לכן לקחת בחשבון את כל הנתונים בזמן בחירתו.

## הגדרת מושגים תיקניים

(לפי התקן הבינלאומי IEC)

**"משטר עבודה"**: סוג העומס ותנאי עבודתו של עומס זה.

**"זרם עבודה"**: (I<sub>e</sub>) – הוא הזרם האמיתי של המגען במתח ובטמפרטורת הסביבה המתאימים.

**"זרם תרמי"**: (I<sub>th</sub>) – הוא זרם העבודה הרציף של המגען, לאורך זמן של לפחות 8 שעות כאשר מגעיו סגורים.

**"זרם לזמן קצוב"**: (Short Time Rating) – זהו הזרם המירבי שניתן להעביר דרך מגען שמגעיו סגורים, מבלי לפגוע במגעיים ולחמם אותם יתר על המידה, בפרק זמן קצוב.

**"אורך חיים חשמלי"**: הוא מספר הפעולות, תחת עומס, שמסוגל המגען לבצע. מספר הפעולות מותנה במשטר עבודה ובטמפרטורת הסביבה.

**"אורך חיים מכני"**: הוא מספר הפעולות, ללא עומס, שמסוגל המגען לבצע ללא כל תקלה.

**"מקדם עומס"**: זהו היחס בין הזמן שבו המגען מוליך זרם ובין אורך המחזור הכללי (הזמן בהולכת זרם והזמן במנוחה).

**"כושר ניתוק"**: הוא הערך הממוצע (RMS) של הזרם שמגען מסוגל לנתק, ללא פגיעה במגעיו. (על פי התקן הבינלאומי IEC 158-1) ערך זה עולה ככל שמתח העבודה יורד.

**"כושר חיבור"**: זהו הערך הממוצע (RMS) של הזרם שמגען מסוגל לחבר (על פי התקן הבינלאומי IEC 158-1) בפועל, אין קשר בין כושר החיבור למתח העבודה.

**"הספק נקוב"**: מבוטא בקילו וואט (kW) או כוח סוס (HP). זהו ההספק של מנוע רוטור כלוב תיקני (על פי תקנים בינלאומיים מקובלים למנועים) שאותו אמור המגען להפעיל.

**"זמן התגובה"**: (מבוטא במילי שניות). (א) "זמן חיבור": הוא פער הזמן בין קבלת מתח פיקוד על הדק הסליל במגען לבין הזמן שבו מגיע המגען התחברו. (ב) "זמן ניתוק": זהו פער הזמן בין ניתוק מתח הפיקוד לסליל המגען לבין ניתוק מגעיו המגען.

**"מתח עבודה נקוב"**: זהו המתח, שבהתאמה עם זרם העבודה ומשטר העבודה קובע את אופן עבודת המגען.

**"מתח בידוד נקוב"**: הוא המתח המירבי לבדיקה, המחובר בין הדקי המגען מבלי שתיגרם פריצה או פגיעה בבידוד.

לבדיקה זו ישנם שני תקנים סטנדרטיים האחיד בינלאומי IEC 158-1 והשני גרמני VDE 0660.

## הגדרת משטרי עבודה

בזמן בחירה נכונה של מערכות הנע חשמליות יש לקחת בחשבון את משטר העבודה של המערכת אותה אנו רוצים להניע/להפעיל.

ג. מזור – הנדסאי חשמל בכיר, חברת "טילישקו" בע"מ

משטר העבודה נקבע על ידי סוג העומס אותו אנו רוצים לחבר, כגון מנוע החלקה, גופי תאורה, חלוקה וכד' וכן תנאי העבודה בהם עובד העומס כגון: מספר התנעות ליחידת זמן, מנועים עם היפוך כיוון, מנועים העובדים בהפעלות רבות (כמו בעגורנים) וכד'.

## להלן הגדרות משטרי העבודה הסטנדרטיים

(בהתאם לתקן הבינלאומי IEC)

**AC 1** מתייחס לכל העומסים בזרם חילופין בעלי מקדם הספק של 0.95 לפחות. (COSφ ≥ 0.95) לדוגמא: גופי חימום, קוי חלוקה, תאורת ליבון וכד'.

**AC 2** מתייחס לכל העומסים בזרם חילופין בהם זרם ההתנעה של המנוע אינו עולה על 2.5 פעמים מהזרם הנקוב של המנוע (I<sub>st</sub> ≤ 2.5 I<sub>n</sub>).

**AC 3** מתייחס למנועי כלוב. (מנועים אסינכרוניים רגילים). במנועים אלה מחבר המגען זרם הגדול בין 5 ל-7 פעמים מהזרם הנקוב – I<sub>st</sub> ≥ 5.7 I<sub>n</sub>. לדוגמא: מעלות, מסועים, מדחסים, משאבות, מאוררים, מטחנות, מערבלים, מזגנים, מקררים וברזים חשמליים.

**AC 4** מתייחס להתנעת מנועים בעלי התנעות רבות בפרקי זמן קצרים. זרם ההתנעה המקובל הוא בין פי 5 עד פי 7 מן הזרם הנקוב אך מספר ההתנעות במשטר עבודה זה, בפרק זמן קצר, הוא רב. לדוגמא: מכונות הדפסה, מכונות כלים, עגורנים, מנופים וכד'.

## השלבים המומלצים לבחירת מגען

### שלב ראשון: קבלת נתוני עומס

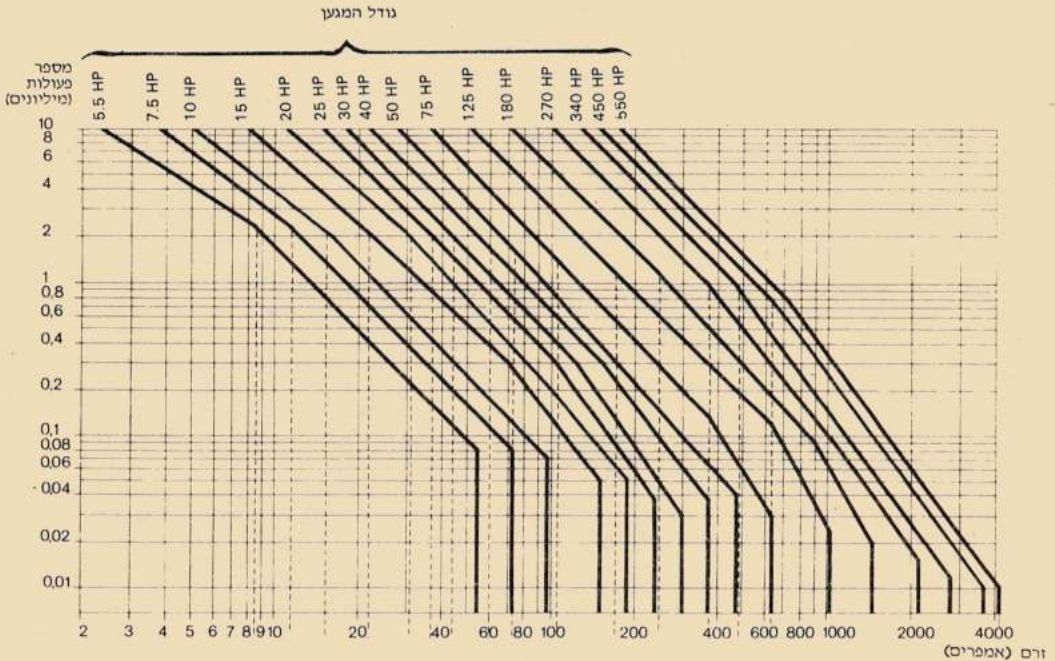
יש לקבל, נתונים מדוייקים על המנוע או המערכת אותה אנו מעוניינים לחבר בעזרת המגען הנדרש. נתוני מנוע מקובלים ניתנים בכוחות סוס (כ"ס – HP) או בקילוואטים (kW).

בעולם מקובלים גדלים תיקניים של מנועים ועל פי גדלים אלה מיוצרים המגענים ברוב החברות המייצרות אותם. הגדלים הם (במתח 380V):  
בכ"ס – 5.5, 7.5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50.  
בק"ט – 4, 5.5, 7.5, 11, 15, 18.5, 22, 30, 37.

### שלב שני: בדיקת אורך חיים

יש לחשב את מספר הפעולות שהמגען יידרש לפעול בזמן נתון. יש להכפיל את מספר הפעולות בשעה שהמגען אמור לבצע במספר שעות העבודה ביממה או במספר ימי העבודה בחודש, כל זאת במספר חודשי העבודה בשנה. כמו כן עלינו לחשב מהו מספר השנים שאנו מעוניינים לעבוד עם המגען הזה לפני שנבצע החלפה או פעולות אחזקה אחרות.

דוגמא: במכונה מסויימת, המנוע הראשי מותנע 60 פעם בשעה. המכונה עובדת 3 משמרות ביממה (24 ש"ע) במשך 1 שנה. אנו מצפים שהמגען "יעבוד" חמש שנים עד החלפתו הראשונה.



**שלב חמישי – התאמת מתח הפיקוד**

מתח הרשת המקובל בארץ הוא 400VAC (שלוב), 230VAC (מופעי)

יש לבדוק בקטלוג החברה המייצרת את המגען אם תחום הפעולה של הסליל, בתחום המתחים של הרשת מתאים למתח באזור ההתקנה.

**לדוגמא:** תחום העבודה של סליל 220VAC הוא מ-204V עד 230V, כך שאם מתח הרשת הוא 240 VAC הסליל עלול להפגע. מתח כזה יכול להופיע במקרה והרשת לא תהיה מועמסת. בתנאים אלה יש לבחור בסליל שמתח הפעולה הנקוב שלו הוא 240 VAC, ותחום העבודה שלו הוא בין AC/230 ל-251 VAC.

**הערה:** התקן האירופאי מחייב יצרני מגענים שתחום עבודת הסלילים יהיה בין MIN – 0.85U – MAX ל-1.1 U אבל אסור לקחת נתון זה בחשבון בזמן בחירת הסליל, אלא כמקדם ביטחון בלבד.

**שלב שישי – בחירת סוג הקטבים ומגעי הפיקוד**

כאשר מבקשים לחבר ולהפעיל, בעזרת המגען עומס כל שהוא, יש לבדוק ראשית מהו מעגל הפיקוד המחובר למגען. קיימים שני מעגלי פיקוד בסיסיים שיש לקחת בחשבון בעת בחירת המגען:

1. הפעלת מגען בעזרת לחצן משולב הפעל/הפסק (START/STOP)

במקרה שבחרנו בפיקוד כזה, אנו זקוקים למגע עזר פנימי (אינטגרלי) "רגיל פתוח" (NORMALLY OPEN) על מנת לבצע את ההחזקה העצמית של המגען. (ראה תכנית חשמלית – איור 2).

**מספר הפעולות הנדרשות**

כלומר מספר הפעולות הנדרשות ממגען במשטר העבודה הני"ל הוא 2,160,000 בהתאם לעקומת הפעולות החשמליות כפי המופיעות באיור 1 נבדוק האם המגען שבחרנו מתאים למספר הפעולות הנדרש. (ראה איור 1).

**שלב שלישי – התאמה לטמפרטורת הסביבה**

יש לבדוק מהי הטמפרטורה האופפת, שבה אמור המגען לעבוד ואם אין צורך בהפחתת זרם העבודה של המגען עקב טמפרטורה אופפת גבוהה יותר מהנתון בתקן. כלומר, הזרם התרמי הנקוב של כל המגענים מחושב לטמפרטורת סביבה של 40°C. כאשר טמפרטורת הסביבה עולה ל-55°C, הזרם התרמי של המגען יורד ב-20% (להכפיל ב-0.8) כאשר טמפרטורת הסביבה עולה ל-70°C, הזרם התרמי של המגען יורד ב-30% (להכפיל ב-0.7).

**שלב רביעי – בדיקת עבודה**

לאחר בחירת המגען המתאים הן מבחינת מספר הפעולות הנדרש והן מבחינת העבודה בטמפרטורת הסביבה הקיימת יש לבדוק מהו משטר העבודה שבו יעבוד המגען ובאיזה זרמי התנעה הוא אמור לעמוד. לכל מנוע נקבל זרם ההתנעה שלו. (בדרך כלל כמכפלה של הזרם הנקוב). יש לבדוק מה הם זרמי ההתנעה בהם עובד המנוע והאם "כושר החיבור" של המגען שבחרנו עומד בזרמי ההתנעה הצפויים.

## איור 2 תכנית לחצן הפעלה/הפסק עם החזקה עצמית

בשוק קיימים "בלוקי מגעי עזר" לסוגים שונים של מגענים כאשר בנוסף לכינוי הקטלוגי של המגען או הבלוק, מופיע תמיד גם סדר המגענים על פי הרישימה כדלקמן:

- 11 : 1 מגע פתוח, 1 מגע סגור
- 20 : 2 מגענים פתוחים, 0 מגענים סגורים
- 02 : 2 מגענים סגורים, 0 מגענים פתוחים
- 22 : 2 מגענים פתוחים + 2 מגענים סגורים
- 13 : 1 מגע פתוח + 3 מגענים סגורים
- 31 : 3 מגענים פתוחים + 1 מגע סגור
- 40 : 4 מגענים פתוחים, 0 מגענים סגורים
- 04 : 4 מגענים סגורים, 0 מגענים פתוחים

כמו כן ניתן לקבל אצל מספר חברות אבזרים "נתקעים" נוספים כגון:

- א. ממסרי השהייה פנאומטיים – בחיבור או בניתוק, לפרקי זמן שונים.
- ב. ממסרי נעילה מכניים וחשמליים – הנועלים את המגען בזמן קבלת מתח הפיקוד ומשחררים אותו, רק כאשר מוזן מתח למסר הנעילה.
- ג. בלוק מגענים בעל השהיית בניתוק לפני חיבור (BREAK BEFORE MAKE).
- ד. ממסרי השהייה פנאומטיים, מיוחדים למערכות "כוכב-משולש" בהם ישנה השהייה נוספת המבטיחה את כבוי הקשת במגען "הכוכב" לפני המעבר ל"משולש".

חשוב לבדוק מהו הזרם המותר להעברה במגעי הפיקוד של היחידה "הנתקעת" לפני בחירתו כחלק אינטגרלי של המעגל (שהיה לפחות 10A) וכן האם מגעי הפיקוד הם בעלי תכונת יוקי עצמי (הפעלת החלקה בזמן סגירה ופתיחה לשם הרחקת גורמי לכלוך העלולים לפגוע ביעילות המגע החשמלי.

### שלב שביעי – הפעלה במשטר עבודה AC 1

כאשר המגען הנדרש, אמור לתפקד במערכת משטר עבודה AC 1 (דהיינו: עומסים אוהמיים טהורים או מעגלי חלוקה במספר פעולות נמוך מאד) יש לקחת בחשבון כי הגורם הדומיננטי ביותר במעגל כזה הוא התחממות המגענים.

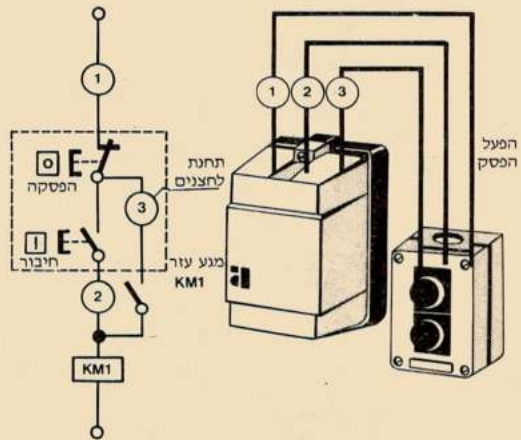
במקרה כזה, אנו בודקים את נתוני הזרם התרמי הצפוי במערכת ומשווים אותו לזרם התרמי הנקוב של המגען. כאן יש לקחת בחשבון את נתוני טמפרטורת הסביבה והשפעתם על הזרם שהמגען מסוגל להעביר, מאחר ומגען סגור בעל זרם מתמיד מתחמם מעצמו ועלול להגיע לטמפרטורות גבוהות מן המותר. בנוסף לכך ראוי להתחשב בעובדה כי התקנת המגען בתוך ארגז פלסטיק סגור נטול אוורור מתאים, או בארון פח הנמצא בשמש – עלול להעלות את טמפרטורת הסביבה של המגען ל-70°C ומעלה, דבר שיכול לגרום נזק חמור למגען.

### שלב שמיני – הפעלה במשטר עבודה AC 4

כאשר המכונה המופעלת על ידי המגען הנבחר, עובדת בתדירויות הפעלה גבוהות (INCHING) יש לבדוק את גודל ההתנעה הנדרש למנוע, ובהתאם לגודל זה יש לבחור את המגען, כאילו זרם זה הוא הזרם הנומינלי של המנוע.

### לסיכום

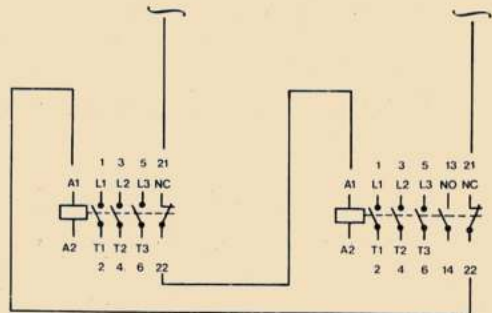
בחירת מגען מחייבת התחשבות בנתונים ובגורמים רבים. ריכוז השלבים הרצויים בבחירת מגען מופיעים בדיאגרמת הזרימה באיורים 4 ו-5. הנתונים שנמסרו במאמר זה הם נתונים סטנדרטיים המופיעים בקטלוגים של חברות המיצרות מגענים, וראוי להתחשב בהם בעת בחירת מגען למתקן כל שהוא. ההתייחסות חייבת להיות למכלול נתונים ולא לנתון בודד בלבד. חשוב לדעת שעם בחירת המגען המתאים נמנע מעצמנו ומן המתקן החשמלי תקלות והפרעות בעתיד ונאפשר בכך את פעולתו הסדירה.



## 2. הפעלת זוג מגענים בשולב חשמלי (ELECTRICAL INTERLOCK)

במקרים אלה כאשר מחוברים 2 מגענים לאותה מערכת (במתנע כוכב משולש, מתנע 2 מהירויות וכד') אנו מחברים את מעגל הפיקוד של כל מגען עם מגען "רגיל סגור" (NORMALLY CLOSED) של המגען השני, לצורך אבטחת אי חיבור מגען אחד בעת שהשני מחובר (איור 3).

## איור 3 תכנית חיבור חשמלי של שני מגענים



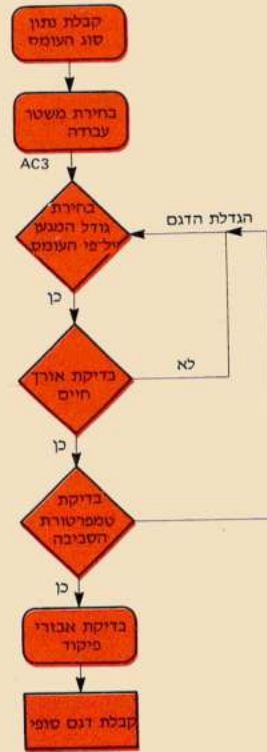
כאשר אנו עובדים במצב של שולב בין שני מגענים, רצוי גם להשתמש במנגנון של שולב מכני הממוקם בין שני המגענים ומחובר מכנית למערכת המגענים. שולב כזה מונע אפשרות תנועה של מגען אחד כאשר השני מחובר.

3. לאחר השימוש במגע הפיקוד האינטגרלי של המגען, יש לבדוק לכמה מגעי פיקוד נוספים אנו זקוקים. לצורך זה יש לבדוק בסכימת הפיקוד של המכונה כמה מגעי פיקוד של המגען "משותפים" במערכת הפיקוד. יש לספור את המגענים "הרגיל פתוח" ומספר המגענים "הרגיל סגור" הנדרשים ובהתאם למספר זה להזמין את "בלוק מגעי העזר" המורכב על גבי המגען ומגדיל את מספר מגעי העזר שלו.

איור 5  
דיאגרמת זרימה של השלבים המומלצים בבחירת מגען לעבודה "בחלוקה" (במשטרי עבודה AC1, AC2)



איור 4  
דיאגרמת זרימה של השלבים המומלצים לבחירת מגען לעבודה עם מנוע (במשטרי עבודה, AC3, AC4)



## חידוש המנוי ל"התקע המצדיע" לשנים 1988; 1989

- חוברת זו (מספר 40) היא האחרונה בסדרה הנוכחית (38-40).
- הסדרה החדשה תכלול 4 חוברות שייצאו לאור בשנים 1988, 1989 (2 חוברות בכל שנה – 41; 42; 43; 44). החל מחוברת 41 יחול שינוי במתכונת החוברת.
- לקראת חידוש המנוי לסדרה החדשה יישלחו בימים הקרובים כרטיסי מנוי לכל החשמלאים חברי קהילת "התקע המצדיע" המופיעים ברישומי המערכת.
- חשמלאים שלא יקבלו עד סוף חודש ינואר 1988 את שוברי התשלום לחידוש המנוי ומעוניינים להכלל ברשימת המנויים, מתבקשים לפנות בכתב למערכת, לפי הכתובת:  
חברת החשמל לישראל/מערכת "התקע המצדיע", ת.ד. 8810, חיפה 31086.

# מתקני חשמל לשירותים המשותפים במבנים רב-דירתיים – רבי קומות

אינג' שמחה לוסיגי

יא. מעליות.  
יב. מיזוג אוויר.

את נושא המאמר ניתן לחלק לארבעה פרקים:

**קביעת גודל חיבור החשמל הציבורי**  
לפי סטנדרט הבנין, קובעים את העומסים של הצרכנים הציבוריים השונים הנ"ל וזאת בעזרת יועצים מומחים לסוגי המתקנים השונים (מדובר על קביעת העומסים של חדרי מכוונות, מעליות וכו').

## בשלב זה עלינו להגדיר את:

- מקדמי העומס.
  - מקדם הברזמנית (מקדם הפיזור).
  - חלוקת העומס: לחיוני/בלתי חיוני.
- אשר למקדמי העומס – בדרך כלל מביאים בחשבון את עומס התאורה הכללי, כולל תאורת החניון ותאורת חוף. לגבי עומס המנועים – משאבות, הסקה – מקדם העומס יהיה כ-80%. לגבי עומס המעליות – עבור מעלית אחת או שתיים: – מקדם העומס יהיה – 100%, עבור שלוש מעליות: 90%.
- מקדם הברזמנית של תאורת מדרגות ופרוזדורים הוא 66% (כ-2/3).
- יתר העומס ייקבע לפי הנחיות היועצים המיוחדים; בדרך כלל הוא מוערך בכ-80% מהעומס המחובר.

כאשר יש בידינו כל הנתונים הנ"ל, קובעים את גודל העומס. בדרך כלל, בבניינים רבי קומות, העומס הוא לפחות  $80 \times 3$  א' ומגיע ל- $200 \times 3$  א' (ללא מיזוג אוויר).

בשלב זה ניתן לפנות לחברת החשמל לשם תאום צורת החיבור, מקום החיבור (אפשרי חדר חשמל) התקנה לחיבור ציבורי וקביעת צורת הזינה מרשת חברת החשמל (לפעמים החיבור הוא מחדר שנאי פנימי שבבנין). קביעת הגודל הפיזי של ארון המבטחים של חברת החשמל וכן מיקומו ותכנונו של הלוח הציבורי של הבנין.

כאן המקום להעיר שבכל החיבורים הנ"ל יותקנו גם מונים ריאקטיביים, כלומר יהיה, כנראה, צורך לטפל בשיפור מקדם ההספק (Cosφ).

## קביעת ההספק של גנרטור החרום

בבחירת הגנרטור לשעת חרום (קביעת ההספק הנדרש ממנו – kVA), חייבים לדעת מי הם הצרכנים שצריכים לקבל אספקת חשמל מהגנרטור בשעת חרום.

קביעת העומסים החיוניים המחייבים אספקה גם מהגנרטור נובעת מדרישות החוק והרשויות כתנאי הכרחי ובנוסף לכך, בהתאם לדרישות הזים.

\* תאורת חדרי מדרגות, מיקלטים, פרוזדורים ציבוריים, תאורת אזהרה, משאבות מים, מעלית אחת לפחות ומשאבת ביוב – כל אלה כוללים בדרישות המינימום.

- איפיון המבנה.
- הצרכנים המשותפים (ציבוריים) במבנה.
- קביעת גודל חיבור החשמל הציבורי.
- קביעת נתוני ערכת-הגנרטור לשעת חרום.

## איפיון המבנה

כאשר ניגשים לתיכנון מבנה רב-קומות רב-דירתי, יש לקבל ראשית כל את איפיון הזים בקשר לדרישות המבנה (הסטנדרט שלה) ובמקביל יש להתייחס לדרישות; חוק התכנון והבניה, דרישות הרשויות השונות וכו'.

- יש להניח שדרישות הזים תהיינה שונות בהתאם למקרים השונים. נבחין בין המקרים הבאים:
- מבנה לפי תקן (סטנדרט) משרד הבינוי והשיכון.
  - מבנה בפרויקט שיקום השכונות.
  - בנייה בסטנדרט גבוה (עבור תושבי חוף, למשל).
  - מיקום הבנין כפועל יוצא של דרישות הזים.
- חוק התכנון והבניה ותקנותיו ודרישות הרשויות קובעים לעומת זאת, מסגרת קשיחה וממוסדת. נכון להיום מחייבות הדרישות הכלולות בקובץ התקנות 2581 – התש"ל-1970.

לפי התקנות מוגדר בנין רב-קומות

"בנין רב-קומות – בנין אשר גובה המפלס של רצפת קומתו העליונה מעל מפלס הכניסה הקובע לבנין, עולה על 27.0 מטר".

בין הדרישות העיקריות החלות על בנין רב קומות יש לציין את הדרשה להתקנת גנרטור לשעת חרום.

## הצרכנים המשותפים (ציבוריים)

- תאורת פרוזדורים.
- תאורת חדרי מדרגות (שניים לפחות בבנין רב-קומתי).
- תאורת אזהרה לכלי טיס (בהתאם לתנאים הטופוגרפיים).
- תקשורת פנים (אינטרקום).
- מתקן טלביזיה מרכזית.
- מיקלט.
- חניון – מחסנים ציבוריים.
- תאורת חוף (+ מספר בית מואר).
- חדרי מכוונות – משאבות כיבוי אש, משאבת מים ומשאבת ביוב.
- הסקה מרכזית (מיזוג אוויר מרכזי).

בתקנות החשמל (התקנת גנרטורים לפתח נמוך) התשמ"ז-1987 (קובץ התקנות מס' 5000 מיום 26 בינואר 1987), מוגדר: "ערכת-גנרטור" או "גנרטור" – הרכב הכולל גנרטור, מנוע ראשוני והציוד הנלווה אליהם כגון מערכת פיקוד ובקרה, מיכל דלק ומצבר להתנעה.

אינג' ש. לוסיגי – מהנדס יועץ

יש לקחת בחשבון את קיומם של מרכיבי העומס כדלקמן:

1. עומס תאורה (מדרגות, חניון, כניסות, מערכת תקשורת פנים, מתקן טלביזיה מרכזית וכ"ו) — 25 קו"ט.
2. הסקה מרכזית — 8 קו"ט.
3. משאבת כיבוי אש גדולה — 10 קו"ט.
4. משאבת כיבוי אש (על הגג) — 4 קו"ט.
5. משאבת ביוב — 1 קו"ט.
6. מעלית — 10 קו"ט.

### משטר התנעות

1. כאן אנו צריכים לבדוק באופן טכני אם קיימת אפשרות של חיבור מדורג של עומסים. אם התשובה היא חיובית — נוכל לחסוך בגודל הגנרטור. בדיקה זו צריכה להתבצע בשיתוף פעולה עם גורמים אחרים, האחראים על מערכות: כיבוי אש, הסקה, מעליות ועוד.
2. במקרה שלנו נקבע שצרכנים מס' 1, 3, 4, 5, חייבים להתחבר מיידית לאספקה החיונית וצרכן מס' 2 יתחבר 15 שניות לאחר חיבורם של יתר הצרכנים.

### סיכום

לסיכום, ראוי לציין את החשיבות הרבה של קביעת מקדמי העומס ומקדם הבו-זמניות, וקביעת משטר העבודה ושיטת ההתנעה של עומסים חיוביים. גורמים אלו קובעים את גודל החיבור מצד חברת החשמל וגודל הגנרטור לשעות החרום.

★ בניינים רבי קומות יחובר, בדרך כלל, כל העומס הציבורי לאספקה החיונית, פרט לחניונים, תאורת חוץ, להסקה ולמיזוג אוויר.

★ בניינים בעלי סטנדרט גבוה יותר, יחובר כל העומס הציבורי, בדרך כלל, (פרט למיזוג אוויר וההסקה) לאספקה החיונית.

בכדי לקבוע את גודל העומס חייבים לדעת את הנתונים הבאים של הצרכנים:

- א. הספק של כל עומס.
- ב. פרק הזמן עד לחיבור לרשת החיונית.
- ג. זרם ההתנעה למנועים, התלוי באופן התנעתם:
  1. התנעה ישירה (חיבור ישיר לרשת).
  2. התנעת כוכב/משולש.
  3. התנעה בעזרת התנגדויות.
  4. התנעה בעזרת שני-פז (אוטוטרנספורמטור).
- ד. מקדם ההספק בזמן ההתנעה.
- ה. הצריכה בעבודה רגילה:
  1. הספק פעיל (אקטיבי) (kW).
  2. הספק היגבי (ריאקטיבי) (kVAr).

את הספק הגנרטור ניתן לקבוע רק לאחר שנעשו כל החישובים בהתאם לסיכום המידע הנ"ל.

### המרכיבים העיקריים שיש לקחת בחשבון בעת חישוב ההספק (kVA) הנדרש מגנרטור:

בחישוב גודל הגנרטור עבור בנין רב-קומות (20 קומות טיפוסיות) הכולל 76 דירות + 2 דירות-גג (פנטהאוזים) + חניון ושטחים ציבוריים כגון: מחסנים, מיקלט, גינה וכ"ו.

## המדריך לחשמלאי — 1988

המהדורה הראשונה פורסמה בשנת 1953 (ראה צילום הכריכה) ומאז ועד היום יצאה ברציפות. כל שנתיים לערך, מהדורה מעודכנת ומורחבת של המדריך.

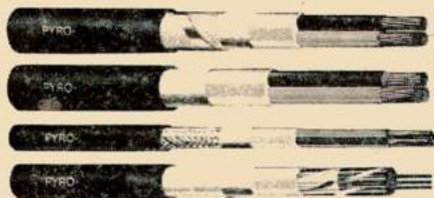
מערכת "החקע המצדיע" מברכת את אינג' דוניבסקי, המחבר והעורך של המדריך כל השנים, על פועלו רב החשיבות בקרב ציבור החשמלאים ומאחלת לו עוד שנים רבות של עשייה פורה. מחיר המדריך 18 ש"ח כולל מע"מ. מגויי "החקע המצדיע" יכולים להזמין את המדריך בדואר אצל המחבר, לפי הכתובת: רח' דישראלי 19, חיפה 34333, המזמינים במסגרת זו לא יידרשו לשלם תוספת עבור המישלוח ויוכלו לשלוח את התמורה לאחר קבלת הספר.

בימים אלה הופיעה מהדורת 1988 של המדריך לחשמלאי בעריכת אינג' ז. דוניבסקי.

בין הנושאים אשר נוספו למהדורה החדשה נמצאים: הוראות למיתקני חשמל בהתאם לחוק התכנון והבניה. הוראות למיתקני חשמל בהתאם לתקנות הבטיחות בעבודה של משרד העבודה והרווחה, התקרות בין קווי בוק לבין רשת למתח עד 1000 וולט לפי תקנות הבזק והחשמל, תאור כבלים שונים ואופן השימוש בהם, התקנות לרישוי חשמלאים, ועוד.

בנוסף, עודכנו, לפי הצורך, פרקים שונים מהמהדורה הקודמת והורחב הפרק על התקנת כבלים.

עם הופעת מהדורה זו מציין אינג' דוניבסקי מלאות יובל של 35 שנים להופעת המדריך.



# כבלי חשמל חסיני אש וציוד כבה מאליו

איג'י אנדרי שטיינר, הנדסאי דני ברנע

שריפות שארעו בבתי רבי קומות, בבתי חולים או במקומות בעלי צפיפות אוכלוסין גדולה, מעלות את נושא התפשטות האש באמצעות כבלים לראש סולם העדיפויות של המטפלים בנושא ולדרישה לפתרון הבעיה.

השריפות במקומות אלה גורמות לאבדות בנפש וכן לנזקים ברכוש וכבר בעבר היו ניסיונות לפתור את בעיית התפשטות האש באמצעות כבלים.

במסגרת מאמר זה לא נתייחס לשאר הבעיות הנובעות משריפות.

## גורמים להתפשטות האש

הפ.י.וי.סי. משמש כיום כחומר הנפוץ ביותר לבידוד של מוליכים וכבלים למתח נמוך.

לפ.י.וי.סי. יש הרבה תכונות חיוביות שגרמו למצב זה אך, במקביל, אין להתעלם מתכונותיו השליליות, אשר בדרך כלל אין ציבור משתמשי הכבלים מודע להן. תכונות שליליות אלה, הקשורות בצורה זו או אחרת לשריפה של פ.י.וי.סי. הן:

- התפשטות האש באמצעות פ.י.וי.סי.
- יצירת גז קורוזיבי מאד בזמן השריפה.
- היווצרות כמות עשן גדולה בזמן שריפה.
- רמת הבידוד החשמלי של פ.י.וי.סי. בזמן שריפה (גם ללא נזק הנראה לעין) יורדת בהרבה.

אמנם קיימת אפשרות להקטין את השפעת האש על פ.י.וי.סי. על ידי תוספות שונות אך, בסיכומו של דבר, כל תרכובות הפ.י.וי.סי. שייכות לקבוצת החומרים ההולוגניים (חומרים כגון: פלואור; כלור; ברום וכו').

בזמן שריפה מייצרים חומרים אלה גזים שהשפעתם על הסביבה קשה ביותר. גזים אלה, שבואם במגע עם הלחות שבאוויר או עם המים בהם משתמשים לכיבוי השריפה, יוצרים תרכובות חומציות, הגורמות לשיתוך (קורוזיה) מסיבות אלה אפשר להגדיר את חומר הפ.י.וי.סי. כגורם בטיחותי שלילי וזה משתי סיבות:

א. בזמן קצר במערכת החשמל מתלקח הפ.י.וי.סי. ולא כבה מאליו ומהווה בכך מקור ראשוני לאש.

ב. מוליכים וכבלים מבודדים בפ.י.וי.סי. הנמצאים בתהליך שריפה מהווים מוליך אש מדרגה ראשונה, ובאמצעותם מועברת האש ממקום למקום, מאגף לאגף, מקומה לקומה וכו'.

במקומות בהם מותקנים כבלים בצורה אנכית, מתפשטת האש בצורה מהירה יותר (וזאת אם לא דואגים מראש למנוע את התפשטות האש באמצעות מחיצות מתאימות וכו'). בנוסף לכך קיימת סכנה בגלל העשן הנפלט מהפ.י.וי.סי. בכמויות משמעותיות, ומהווה סיכון בטיחותי לכבאים ולאנשים הנמצאים באזור הדליקה (במיוחד במקומות סגורים).

סיבות אלה הביאו את יצרני הכבלים בכל העולם, להתחשב בכל התכונות השליליות של פ.י.וי.סי. ולזוּם פעולות ונסיונות שנועדו להקטין את הנזקים או, לחילופין, להכניס לשימוש חומרים אחרים שאינם כוללים הלוגנים.

איג'י א. שטיינר - הרשת הארצית, אגף הצרכנות, חברת החשמל מר.ד. ברנע - מנהל שיווק כבלים, חברת י. קשטן בע"מ

## נזקים לאחר הדליקה

לאחר שריפה במתקן או במבנה ניתן להבחין בשני סוגי נזקים:

### א. נזקים ישירים

נזקים ישירים הם נזקים הנגרמים למוליכים או כבלים מבודדים בפ.י.וי.סי. עקב היפגעותם מהאש. בדרך כלל יש צורך בהחלפת המוליכים או הכבלים לאחר השריפה. כל זאת בנוסף לנזקים אחרים במבנה.

### ב. נזקים בלתי ישירים

הנזקים הבלתי ישירים הם, בדרך כלל גדולים הרבה יותר מאשר הנזקים הישירים. במסגרת נזקים אלה נכללים תהליכי השיקום של המפעל, בנין המגורים, בית החולים או מתקן אחר ששורפו. תיקון זה הוא ממושך, מסובך ויקר.

אחד מהנזקים הבלתי ישירים בזמן שריפה של פ.י.וי.סי. נובע מפליטת כמות גדולה של גז כלור הגורם לשיתוך (קורוזיה) מואץ בכל סוגי המתכות שהיו במגע עם הגז בזמן הדליקה.

## חומרים פלסטיים בטכנולוגיה של כבלים

בבחינת חומרים פלסטיים לייצור כבלים, יש להתחשב במאפיינים שלהם, כגון: התכונות המכניות, התרמיות, החשמליות וכו'. רק לאחר בדיקה מקיפה ניתן לבחור את החומר המתאים ביותר לשימוש כבידוד של מוליכים וכבלים.

### • חומרים תרמופלסטיים

אחת התכונות של חומרים תרמופלסטיים (לקבוצת חומרים זו שייכים החומרים: פ.י.וי.סי.; פוליאטילן; פלויפרופילן; פוליאורטן; פוליאסטר; פוליאמיד; פוליקרבונט וכו'), מאפשרת את שינוי צורתם בעודם חמים. צורה זאת נשמרת גם לאחר הקירור אך חימום נוסף מאפשר לשנות את צורתם שנית וכך הלאה.

לתכונה זו גם יתרונות וגם חסרונות. היתרון הוא באפשרות של עיבוד צורת החומר בזמן הייצור או בזמן ההתקנה והחסרון הוא בכך שלא ניתן להשתמש בחומרים אלה בטמפרטורות העולות על  $70^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$ . חלק ניכר מהחומרים הנ"ל הוא הלוגני וכך אינו מתאים לשימוש באזורים בהם נדרשת הגנה בפני האש או התפשטותה.

### • חומרים אלסטומריים

חומרים אלסטומריים הם חומרים אשר בנוסף לעיבוד הבסיסי בזמן הייצור, עברו תהליך נוסף של תוספת אנרגיה

ראה המאמרים: "מערכות כבלים וסכנת התפשטות שריפה" - איג'י נ. פלג, "התקע המצדיע" 38 - נובמבר 1986. "לחקי השריפה במבנה רב הקומות גבעתיים" - איג'י ו. זיס, "התקע המצדיע" 39 - מרץ 1987.

### טבלה 1

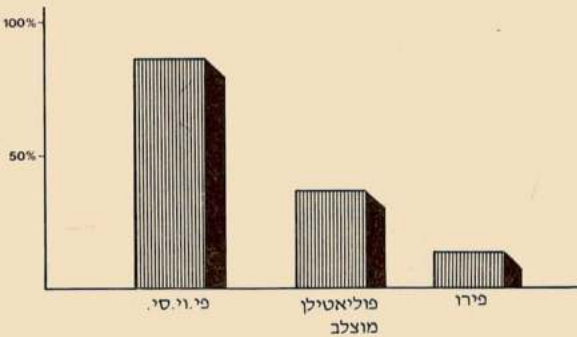
סוג החומר	כמות/חומרים / הלוגניים (%)
פי.וי.סי.	27
פוליאטילן מוצלב	3
פירו	0

### יצירת עשן

בבעירת כבלי פי.וי.סי. נפלטות כמויות גדולות של עשן שמיד, שחור ורעיל. בבעירת כבלי פירו אין כמעט עשן מלבד אדי מים הנפלטים מהחומר.

כמות העשן הנפלטת בזמן השריפה ניתנת לבדיקה לפי התקן האמריקני ASTM D 2843, ומוצגת בדיאגרמה שבאיור 2.

איור 2  
כמות העשן הנפלטת בזמן שריפה של סוגי בידוד שונים



### התיישנות החומר

טמפרטורות גבוהות, ביחוד כאלה המתרחשות ליד כבלים (גם אם הכבלים עצמם לא נמצאים בתוך האש), גורמות לבלאי מואץ של הבידוד. בלאי זה מתבטא, בין היתר, בירידה בכושר ההתארכות וקריעת החומר. לפי תכונה זו ניתן לבדוק את התיישנות החומר. בדיקה זו ניתן לבצע לפי התקן הבינלאומי IEC 540 או לפי התקן הגרמני VDE 0472.

לפי תוצאות הבדיקה המוצגת בטבלה 2 ניתן לראות כי פי.וי.סי. מתיישן בצורה קיצונית ביותר בהשוואה לחומרים אחרים.

### טבלה 2

התארכות החומר לפני ואחרי חימום

סוג החומר	התארכות	
	לפני שריפה (%)	אחרי שריפה (%)
פי.וי.סי.	30	6
פוליאטילן מוצלב	95	71
"פירו"	82	61

בצורת לחץ, הקרנה או חום. עיבוד זה נקרא הצלבה. תכונה זו מאפשרת את שינוי צורתם רק בטמפרטורות הגבוהות בהרבה מטמפרטורת העיבוד של החומרים התרמו-פלסטיים. חומרים כאלה מאפשרים התקנה בטמפרטורות אופפות של 90°C ועד 200°C.

קבוצה זו כוללת את החומרים הבאים: פוליאטילן מוצלב XLPE; אתילן פרופילן EPDM; גומי (קאוצ'וק) אקרילי EAR; ויניל אצטאט אקרילי EVA, וגומי סיליקוני SIR. חומרים אלה או תרכובותיהם מתאימים לשימוש באזורים בהם קיימת סכנת אש.

### השוואת בין סוגים שונים של כבלים

לצורך השוואה בין סוגים שונים של כבלים, נתייחס לסוגים שונים של חומרי בידוד הם: פי.וי.סי. פוליאטילן מוצלב ובידוד מיוחד עמיד בפני אש בשם "פירו".

### עמידות בפני באש

קיימים תקנים שונים לקביעת העמידות באש של חומרים שונים. בדיקת העמידות באש של כבלים מתבצעת, בדרך כלל, על דוגמאות של כבלים באורך 3,5 מ' המותקנים אנכית. על הכבל מופעלת להבה ישירה בעוצמה מסויימת ממרחק של 60 ס"מ בטמפרטורה של 800°C, במשך 20 דקות.

את צורת הבדיקה ניתן לראות בתמונות הבאות (תמונה 1).

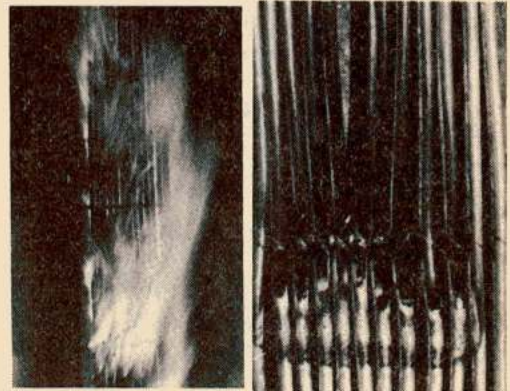
### תמונה 1

#### בדיקת העמידות באש לפי תקן

Part 804C; IEC332.3; DIN/VDE 0472

כבלים מבודדי פי.וי.סי.  
לאחר 4 דקות באש

כבלי בטיחות  
לאחר 20 דקות באש



### ריכוז חומרים קורוזיביים רגישים לשיתוך (קורוזיה)

אחת הבעיות הנובעות משריפת פי.וי.סי. (חומרים דומים) היא הריכוזיות הגבוהה של חומרים הלוגניים המשתחררים בשריפה בצורת גז גורמים לפליטת חומצות. בעיה זו חמורה במיוחד במפעלים הכוללים מיכשור עדין או מתכות עדינות, שבהם גורמת החומציות לחלודה ולנזקים אחרים.

במיוחד רגישים לחומציות מחשבים וציוד אלקטרוני. חדירת חומציות למעגלים מודפסים או זכרונות אלקטרוניים גורם להריסתם. את כמות החומרים ההולוגניים ניתן לבדוק לפי התקן הגרמני VDE 0472 התוצאות ניתנות בטבלה 1.



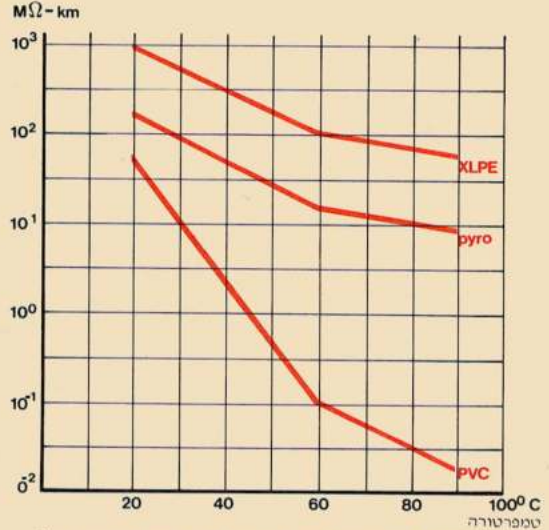
## רמת הבידוד של החומר

השפעת הטמפרטורה הגבוהה על חומרי הבידוד כוללת גם ירידה ברמת הבידוד. ניתן לבצע בדיקה של רמת הבידוד לפי התקן הבינלאומי IEC 540 או לפי התקן הגרמני VDE 0472.

תוצאות הבדיקה מתוארות בתרשים שבאיור 3.

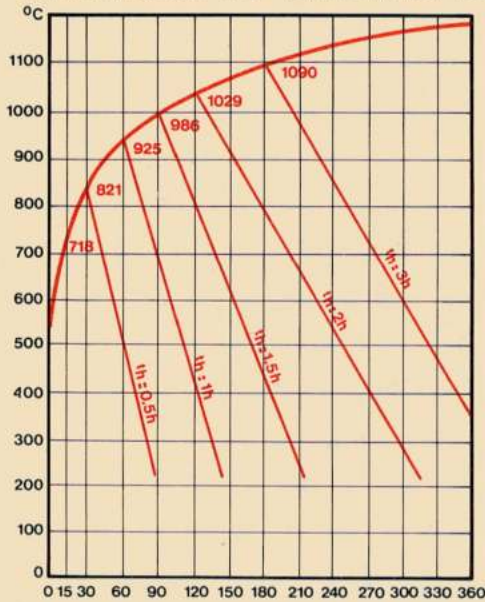
## איור 3

ירידת רמת הבידוד כתלות בטמפרטורה



## איור 4

כושר העמידות של כבלי "פירו" בטמפרטורות גבוהות



רבות ובהצלחה רבה, אך במקביל פיתחו יצרני הכבלים חומרים שונים בעלי תכונות משופרות. את היתרונות של חומרי "פירו" אפשר לסווג לשלוש קבוצות.

### יתרונות טכניים

כבלים בעלי בידוד "פירו" ניתנים לשימוש בטמפרטורות גבוהות ביותר, כולל באזורים בהן קיימת סכנת אש. בזמן השריפה אין חומרים אלה מייצרים עשן וכן אינם פולטים רעלים וחומצות. תכונה זו מאפשרת גם העמסת זרם גבוהה יותר על כבלי "פירו" בהשוואה ל"פ.ו.י.סי". הבידוד של כבלי "פירו" אינו מתקשה או מתפורר במשך הזמן ושומר טוב יותר על רמת הבידוד שלו.

### יתרונות בטיחותיים

מאחר שכבלי "פירו" אינם פולטים עשן, חומרים רעילים או קורוזיביים והם עמידים בפני אש, ניתן להשתמש בהם באזורים בעייתיים כגון בתי חולים, מפעלים כימיים, מפעלים פטרוכימיים, יצור חומרי נפץ, מכרות, תחנות כח, בתים רבי קומות, מבנים תת-קרקעיים וכו'. בכל המקרים הללו דרוש משוב מאזור האסון, משך ומהירות משוב זה הם קריטיים. שימוש בכבלי "פירו" נותן את הזמן הקריטי הדרוש בזמן שריפה.

### יתרונות כלכליים

קיימת סברה שכבלי "פירו" יקרים יותר מאשר כבלי פ.ו.י.סי., אך תחשיב נכון יראה כי אין אמת בסברה זו. כאשר נחשב את מחיר הכבלים לפי יחידות של כושר העברת הזרם מתברר, שכבלי "פירו" בחתכים גדולים זולים יותר מאשר כבלי פ.ו.י.סי. הסיבה לכך היא האפשרות של שימוש בכבלי "פירו" בטמפרטורות גבוהות יותר ולכן, בחתך זהה עם כבל פ.ו.י.סי., ניתן להעביר בכבל "פירו" יותר אמפרים.

הרווח הכלכלי של כבלי "פירו" אינו רק במחיר הבסיסי של הכבל אלא בעובדה שלאחר השריפה ניתן לתפעל מחדש את מתקן החשמל תוך זמן קצר והנזקים העקיפים כגון נזק משיתוך (קורוזיה) והצורך בהחלפת מערכות כבלים הם מזעריים.

מתוצאות הבדיקות ניתן להסיק כי רמת הבידוד של פ.ו.י.סי. יורדת באופן משמעותי גם בטמפרטורות נמוכות יחסית. ברור מכאן כי כבלים בעלי בידוד פ.ו.י.סי., הממוקמים בטמפרטורה אופת גבוהה, עלולים להיפרץ כתוצאה מירידה ברמת הבידוד שלהם.

### עמידה של כבלי "פירו" בתנאי חום קשים

כבלי "פירו" העומדים בדרישות התקנים הבינלאומיים IEC 331 ו-IEC 332 מתאימים, בדרך כלל, לשימוש בתחום של עד 800°C. קיימים מקרים מיוחדים בהם הטמפרטורה בזמן השריפה עולה על 800°C ומגיעה ל-1000°C ויותר. במקרים אלה דרושים כבלים בעלי כושר עמידות גבוה יותר לחום.

למטרה זו קיים תקן מיוחד לתנאי עבודה קשים בטמפרטורות גבוהות. תקן זה הוא התקן הגרמני VDE 4102 בו נדרשת עמידות בטמפרטורה של עד 1030°C. תכונה זו ניתן להשיג על ידי הוספת סרט הגנה מיוחד העשוי מיקה בין בידוד הכבל ובין המעטה החיצוני שלו. בתרשים באיור 4 ניתן לראות עקומות של כושר העמידות של כבלי "פירו" בטמפרטורות גבוהות.

### אביזרים לכבלים

על מנת להבטיח תיפקוד תקין של מערכת החשמל בכללותה באזורים בהם קיימת סכנת שריפה לא מספיק שהכבלים יהיו חסיני אש בלבד. הדרישה לעמידה בטמפרטורות גבוהות חייבת לחול גם על החיבורים בין הכבלים (מופות) וגם על הסופיות.

### סיכום

מטרת מאמר זה היא להביא לידיעת ציבור המשתמשים בכבלים את ההתפתחויות בנושא של כבלי מתח נמוך. כבלים בעלי בידוד פ.ו.י.סי. היו בשימוש נרחב שנים

# מוליכות-על: על סף עידן חדש

אינג' מירון גיבלברג, M.Sc.

מוליכות-על (SUPERCONDUCTIVITY) היא תופעה של מעבר זרם חשמלי בחומר ללא כל אובדן אנרגיה בדרך. תופעה זו, הידועה מזה למעלה מ-75 שנים היתה, עד לאחרונה, נחלתם של חוג מצומצם של מדענים ומסודות מחקר בעולם וזכתה לשמוש מעשי מוגבל בלבד. הסיבות לכך היו: – קשיים ביצירת התנאים הפיזיקליים להתהוות התופעה – במיוחד הטמפרטורה הנמוכה ביותר (קרוב לאפס מוחלט  $-273^{\circ}\text{C}$ ) הדרושה לכך; – חומרים, אותם ניתן להפוך למוליכי-על בטמפרטורות קצת יותר גבוהות היו מעטים ונדירים, יחסית בטבע.

התפתחות מהפכנית חלה בתחום זה בשנתיים האחרונות. בתקופה זו נתגלו מספר רב של תרכובות וחומרים חדשים ההופכים למוליכי-על בטמפרטורות הרבה יותר גבוהות, אליהן ניתן להגיע בקלות יחסית.

גלויים אלו פותחים אפיקים חדשים לשמוש במוליכות העל בשטחי המדע והטכנולוגיה השונים. לדעת מדענים רבים יבואו בעקבות גלויים אלו, תגליות נוספות תוך זמן קצר אשר יביאו בסופו של דבר, למהפכה תעשיתית שלמה אשר תיגע בכל תחומי חיינו ותשנה אותם ללא הכר. במאמר זה ניתן הסבר בסיסי של מוליכות-על, ומידע אודות חקר תופעה זו – במיוחד על הגלויים האחרונים.

כמו כן מובאות התחזיות בדבר שימוש עתידי במוליכי-על.

## מבוא

מצב זה ניתן להשיג על ידי טבילת המתכת בהליום נוזלי – גז ההופך בטמפרטורה של 4.2 מעלות קלוין לנוזל. תהליך זה מורכב ויקר מאוד ומשום כך הוגבל, עד-כֹּה, השימוש המעשי במוליכי-על למספר מצומצם של מתקנים כגון מאיצי חלקיקים, רכבת מרחפת נסיונית, מכשירי הדמיה רפואיים וכו'.

במתקנים האלו משמשים מוליכי-על באלקטרו-מגנטים ליצירת שדות מגנטיים חזקים במיוחד. מוליכי העל הראשונים (כגון: עופרת, כספית) היו מוגבלים במעבר זרם כלומר היו חוזרים למצב של מוליך רגיל בזרמים גבוהים. בשנות ה-60' וה-70' נתגלו חומרים נוספים – טיטניום, ניוביאום ועוד, אשר החלו להתנהג כמוליכי-על בטמפרטורות נמוכות קצת פחות (23K) וגם עמדו בשדות מגנטיים חזקים יותר. פריצת דרך אמיתית התרחשה רק בשנתיים האחרונות כאשר אחד אחר השני נתגלו עשרות מוליכי-על חדשים השומרים על תכונתם זו בטמפרטורות הרבה יותר גבוהות.

המפנה ארע כאשר חוקרים בשווייץ, ארה"ב ויפן החלו לבדוק סוג חדש של חומרים – תרכובות מתכות דמויות קרמיקה. אחדים מחומרים אלו הופכים למוליכי על כבר ב- $195^{\circ}\text{C}$  – טמפרטורה של חנקן נוזלי (חומר המיוצר בשפע על ידי התעשייה ומחירו כמחירי החלב) מדענים רבים סבורים כי לא רחוק היום ויהיו בידינו מוליכי על אשר אינם זקוקים כלל לקרור ויכולים לתפקד בטמפרטורות סביבה רגילות.

## מהי מוליכות-על

תכונת המוליכות היא יכולת המוליך להעביר זרם חשמלי תוך איבוד מינימלי של אנרגיה. בהתאם להגדרה זאת המוליכות היא ההפך מהתנגדות חשמלית. בכדי להבין את מנגנון העברת הזרם במוליכים מתכתיים יש להתבונן במבנה הפנימי של המוליך ברמה של מולקולות, אטומים ואלקטרונים. (ראה איור 1).

כל אטום מורכב, כידוע, מגרעין ואלקטרונים זמסודרים סביבו במספר שכבות ובכל שכבה מספר

העברת זרם חשמלי במוליך כרוכה, כידוע, באיבוד אנרגיה חשמלית, כאשר חלק ממנה הופך לאנרגיה תרמית, הגורמת להתחממות המוליך. ההספק ההופך לחום נמצא ביחס ישר להתנגדות החשמלית של המוליך כמתואר בנוסחה הבאה:

$$P = i^2 R$$

## כאשר:

P – הספק

I – זרם

R – התנגדות

תופעה זו מנוצלת היטב במכשירי חימום למיניהם המשמשים לתועלת האדם, אך לא תמיד היא מועילה ורצויה.

הפסדי חום גורמים לאובדן של עד כ-30% אנרגיה בקווי האספקה, ההעברה ובמתקנים וכן לבעיות רבות עקב התחממות הציוד החשמלי, דבר המתבטא בבזבוז ענקי של משאבים אנרגטיים וכלכליים בקנה-מידה עולמי.

ניתן היה לחסוך כל זאת וגם לפתור בעיות רבות נוספות לו יכלו בעת הצורך, להשתמש במוליכים בעלי התנגדות חשמלית  $R=0$ .

מוליכים כאלו אכן נתגלו בתחילת המאה, אך עד כה לא זכו ליישום מעשי. עקב המורכבות הטכנולוגית וההוצאות הגדולות הכרוכות בשימוש בהם.

גלויים של חומרים חדשים בעת האחרונה נותנים תקווה כי מצב זה ישתנה בעתיד ויחוללו תמורות רבות בכל תחומי הטכנולוגיה.

## רקע היסטורי

בשנת 1911 גילה פיסיקאי הולנדי בשם **ה. קמרלינג-אונס**, (Hike Kamerlingh-Onnes) כי מתכות מסויימות, כאשר מקררים אותן לטמפרטורה הקרובה לאפס המוחלט מאבדות לחלוטין את התנגדותן החשמלית.

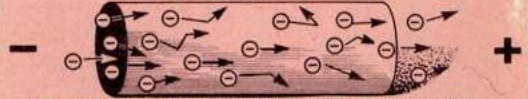
אינג' מ. גיבלברג – מנהל מעבדת חשמל למחקר ופיתוח, יחידת מעבדות ובקרת איכות, חברת חשמל

## איור 1 זרם חשמלי והתנגדות

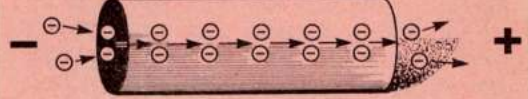
**מבד:** בחומרים בעלי התנגדות גבוהה, כגון גומי או זכוכית, האלקטרונים "קשורים" לאטומים שלהם באופן צמוד ואינם ניתנים לתזוזה כך שאין אפשרות למעבר זרם.



**מוליך:** בחומרים בעלי התנגדות נמוכה "קשורים", חלק מהאלקטרונים, לאטומים שלהם באופן רופף ומאפשרים זרימת אלקטרונים כאשר מפעילים מתח בין הקצוות. ההתנגדות היא הביטוי לאיבודי האנרגיה (בצורת חום) הנובעים מהתנגשויות בין אלקטרונים.



**מוליך-על:** כאשר חומר הופך למוליך-על, נעלמת ההתנגדות מאחר והאלקטרונים "מסתדרים" בגוונת הנעים במקביל ללא התנגשות ביניהם. הזרם זורם ללא איבודי אנרגיה.



מוגדר של אלקטרונים. כוח המשיכה בין הגרעין והאלקטרון הולך ונחלש ככל שזה האחרון נמצא בשכבה חיצונית יותר, זאת בדומה למצב במערכת השמש.

מוליכים מתכתיים מתאפיינים בכך ששכבת האלקטרונים החיצונית ביותר שלהם אינה "מלאה", כלומר יש בה מקומות פנויים.

הודות לתכונות אלו יכולים האלקטרונים בשכבות החיצוניות "להפרד" מהאטומים שלהם וגם לעבור לאטומים אחרים. כתוצאה מכך נוצר מעין ענן של אלקטרונים חופשיים במתכת.

זרם חשמלי במתכת, הוא למעשה תנועת אלקטרונים חופשיים אלו, בהשפעת השדה החשמלי ואילו ההתנגדות החשמלית היא בטווח לאבדן אנרגיה כתוצאה מהתנגשויות בין האלקטרונים הללו תוך כדי תנועתם.

קיימת תאוריה המסבירה מוליכות-על בטמפרטורות נמוכות בכך שבטמפרטורות אלו ההתנגשויות בין האלקטרונים נפסקות לחלוטין.

לפי הפיזיקאים ברדין, קופר ושרייפר – (J. Bardeen, L. Cooper, R. Schreiffer) בעלי תאוריה זו (אשר קיבלו עליה פרס נובל ב-1972) – מתאפשר הדבר עקב מעבר האלקטרונים החופשיים למצב חדש בו הם מתחברים לזוגות ונעים במסלולים מקבילים ללא כל התנגשויות. תאוריה זו נבדקה נסיונות והוכיחה את עצמה בטמפרטורות שהגיעו עד 40K אך אינה מסוגלת להסביר מוליכות על בטמפרטורות גבוהות יותר.

כעת יידרש מנגנון חדש להסבר תאורטי של הגילויים האחרונים.

### מימוש טכנולוגי של מוליכי-על – מיכשולים והישגים

כדאי לציין כי עד ליישום תעשייתי רחב של מוליכי על אשר נתגלו בתקופה האחרונה, הדרך עדיין קשה ורצופה מכשולים. להלן העיקריים שבהם:

• האיור ההסברים נלקחו מתוך השבועון TIME מסי' 19 מ' 5.1987.

– מוליכי העל החדשים בנויים על בסיס תרכובות קרמיות אשר כידוע, שבירות מאוד וחסרות כל גמישות. גם החוזק המכני של החומרים החדשים עדיין נמוך מאוד ועובדה זו מקשה על ייצור חוטים, תילים וכבלים שבלעדיהם לא יתכן שימוש רחב במוליכי-על;

– כושר העברת הזרם של החומרים החדשים עדיין מוגבל והוא קטן עשרות מונים יותר מאשר אצל מוליכי העל ה"קונבנציונליים";

יתרה מכך, בגבישים החדשים קיימת אסימטריה גדולה של תכונת המוליכות – דהיינו כושר הולכת הזרם של הגביש משתנה בהרבה בהתאם לכיוון הזרם.

לדברי המדענים דרושה פריצת דרך נוספת כדי להתגבר על בעיות אלו ולאפשר בכך את יציאת מוליכי-העל למרחב שימושיים רבים ומגוונים.

התפתחויות בשנה האחרונה נותנות יסוד לתקווה כי דבר זה יקרה מהר יותר מכפי שציפו קודם. לתחום זה על ידי מדינות מפותחות רבות – במיוחד ארה"ב ויפן. גויסו מדענים מעולים רבים והוקמו גופי מחקר חדשים, כל זאת במטרה להגביר את קצב המחקר תוך תחרות קשה בין מדינות אלו. מאמץ זה החל לתת את פירותיו בחודשים האחרונים:

– במרס השנה הודיעה חבי IBM כי היא הצליחה לייצר סרטים דקים וגמישים יחסית ממוליכי-על חדשים, כמו-כן היא פיתחה תהליך יצירת שכבות ציפוי דקות על-מוליכות;

– נתגלו עשרות חומרים המפתחים מוליכות-על בטמפרטורות גבוהות בהרבה מזו של חנקן נוזלי ובחודש אפריל הודיעו על חומרים כאלו בטמפרטורות של 80°-70°;

– בחודש מאי הודיעה חבי IBM על פיתוח מוליך-על חדש מסוגל לשאת זרם בצפיפות שמעל 100000A/cm<sup>2</sup>, פי-100 מאשר היה ידוע קודם לכן.

רשימה קצרה זו ממחישה את קצב המרוץ במחקר ופתוח מוליכי-העל.

יש לצפות כי בתקופה הקרובה יהיה הדגש על יישום מעשי של הישגים טכנולוגיים אלו.

### תחזיות לעתיד

הפוטנציאל הטמון במוליכי העל החדשים משמש יסוד לתחזיות המדענים, הנראות בשלב זה, דמיוניות לחלוטין. על פי תחזיות אלו שימוש במוליכי על יביא למהפכה תעשייתית אשר במסגרתה יחולו שינויים מפליגים בכל תחומי חיינו: חסכון אדיר באנרגיה, עליה דרסטית בעוצמת המחשבים, התקדמות רצינית בתחומי מדע ורפואה רבים – כל אלה ישנו ללא הכר את פני המשק והחברה. לאור קצב הארועים הנוכחי סבורים אותם מדענים כי המהפכה תתרחש בטווח של מספר עשרות שנים ואולי אף מהר יותר.

יש לציין כי בשלב זה, כאשר כל הנושא עדיין בחיתולים, לא ניתן כלל לחזות את כל השלכותיו ולפיכך נתעכב כאן על כמה תחומים בהם אפשר להצביע על מגמות הפיתוח.

### • משק האנרגיה

אמצעים לאגירת אנרגיה חשמלית הקיימים כיום (כגון: מצברים) מוגבלים מאוד בקיבולת שלהם, אינם

יעילים וגם אורך חייהם קצר יחסית. מעגל סגור של מוליך-על בו זרם זרם ללא כל הפסדים יהיה אמצעי אידיאלי לאגירת אנרגיה. קיבולת "מצברים" כאלה עשויה להיות אלפי מונים גדולה מזו של הקיימים. דבר זה ימנע במידה רבה צורך בהעברת אנרגיה לצרכנים באמצעות רשת החשמל, ניתן יהיה לספק להם "מצברים" אשר נטענו בתחנות הכוח. כמו-כן ניתן יהיה לייצר ולאגור אנרגיה חשמלית בכל כמות דרושה על מנת להשתמש בה בשעת הצורך.

גנרטורים ומנועים חשמליים, פעולתם מבוססת כידוע, על ניצול השפעה הדדית (Interaction) בין זרם ושדה מגנטי.

שימוש במוליך-על יאפשר להשיג זרמים ושדות מגנטיים בעוצמה גבוהה הרבה יותר ובכך להגדיל בצורה משמעותית את הספקם של מכונות אלה ובו בזמן גם להקטין את מידותיהן.

### • תחבורה

מצברים ומנועים העשויים ממוליך-על יביאו למהפכה בתחום התחבורה. רוב אמצעי התחבורה בים באוויר וביבשה ייהפכו לחשמליים וכמעט ולא יהיה צורך בשימוש בדלק בהם. כמו כן יופיעו אמצעי תחבורה חדשים. אחד, הרעיונות המבטיחים בתחום זה הוא רכבת "מרחפת". פעולתה של רכבת זו מבוססת על עקרון השפעה הדדית בין שדות מגנטיים: אלקטרומגנטיים סופר-מוליכים הבנויים בתוך המסילה ובתוך קרונית הרכבת יוצרים שדות מגנטיים

הגורמים לרכבת להתרומם מעל המסילה בעוד שאלקטרומגנטיים אחרים יוצרים שדה המניע את הרכבת בכיוון הרצוי. העדר היכוך בריחוף כזה מאפשר להגיע ליעילות ולמהירויות הגבוהות בהרבה מזו של רכבות קונבנציונליות. כך, למשל בפרויקט נסיוני של רכבת מרחפת ביפן הושגה מהירות שיא של כ-500 קמ"ש. תפעול רכבת זו עדיין יקר ביותר בגלל שימוש באלקטרומגנטיים סופר-מוליכים המקוררים באמצעות הליום נוזלי. שמוש במוליך-העל החדשים יהפוך אמצעי תחבורה זה לכלכלי ויאפשר שימוש נרחב בו.

### • מחשבים

האלמנט העיקרי ממנו מורכבים המחשבים המודרניים הוא כידוע מעבד זעיר (Microprocessor) הבנוי על שבב (CHIP) ככל שנוכל לחדוס יותר מוליכים ותאי זכרון בתוך השבב כך נוכל להעלות יותר את עוצמת המחשב. אלא שאם נתקלים המדענים והמהנדסים בקושי עקרוני - לא ניתן להגדיל צפיפות השבב ללא גבול בגלל החום הנוצר בו עקב זרימת הזרם. חום זה רועש אלקטרוני הכרוך בו, משבשים לגמרי את עבודת השבב כשהם עוברים על סף מסויים.

שימוש במוליך-על במעבדים זעירים ימנע, במידה רבה, בעיות אלו ויאפשר להגדיל פי 100 ויותר את מהירות עבודתם וקיבולת הזכרון שלהם ובהתאם לכך תגדל גם עוצמת המחשבים הבנויים מאלמנטים אלו.

### • מדע ורפואה

שדות מגנטיים חזקים ביותר דרושים למחקר בסיסי בפיסיקה וכן לבניית מיכשור רפואי מודרני. יצירת שדות כאלו (בהשקעה נמוכה יחסית) באמצעות אלקטרומגנטיים הבנויים ממוליך-העל החדשים תאפשר מימוש פרויקטים רבים הנמצאים עדיין

"במגירות" אצל המדענים, להלן דוגמאות אחדות מתחומים שונים:

— **מאיצי חלקיקים** — מתקנים אלו משמשים לחקר המבנה הבסיסי של החומר ברמה של חלקיקים אלמנטריים וזקוקים לאנרגיה אלקטרומגנטית גבוהה ביותר לשם כך ניתן יהיה לבנות מאיצי חלקיקים בעלי עוצמה גדולה יותר וזולים הרבה מאלו הקיימים כיום:

— **מיוזג גרעיני** (Thermo Nuclear Synthesis Fusion) (תהליך זה מתרחש למשל בתוך השמש ובעת פיצוץ פצצת מימן) עשוי להיות מקור אנרגיה בלתי נדלה עבור האנושות, זאת, אם יצליחו להופכו מפיצוץ לתהליך איטי ומבוקר. לשם כך דרושים בין השאר שדות מגנטיים בעלי עוצמה וריכוז אדירים אשר לא ניתנים להשגה כיום. גם כאן קיימת תקווה כי מוליך-העל יתרמו תרומה משמעותית לקידום המחקר בשטח זה;

— **מערכות הדמיה רפואיות** — מערכות אלו, אשר סורקות את רקמות הגוף ומאבחנות על ידי כך מחלות שונות בשלבים מוקדמים, משמשות כבר עתה במגנטים סופר-מוליכים. שימוש במוליך-העל החדשים יזייל ב-30,000 דולר בשנה הפעלת מערכת כזאת וגם ישפר בהרבה את איכות התמונה המתקבלת על הנעשה בתוך הגוף.

### לסיכום

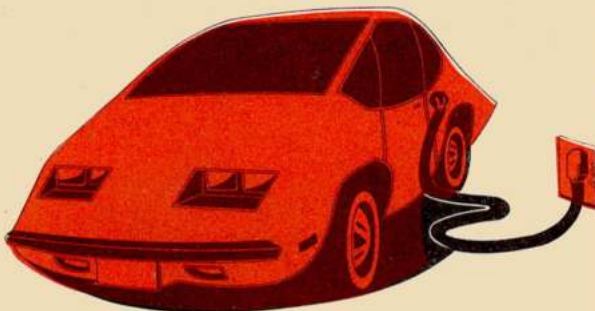
הגילויים וההתפתחויות של השנים האחרונות בשטח מוליכות-העל, מובילים למסקנה כי אנו נמצאים על סף עידן טכנולוגי חדש אשר במהלכו ישתנו רוב תחומי חיינו.

הספקנים שביננו יטענו כי תאורים ותמונות העתיד אשר הובאו כאן אינם אלא חלומות חסרי כל בסיס מציאותי ושאינם למדע הבדיוני.

כנגד טענה זו ראוי לציין כי כל התחזיות הללו נחזו על ידי מדענים מובילים בשטח מוליכות-העל, אנשים רציניים ללא נטיה לחלום בהקיץ.

אין ספק שהדרך עדיין ארוכה מאוד, ומלאה קשיים ויעברו עוד שנים רבות עד למימוש המלא של הפוטנציאל הטמון במוליך-העל החדשים. אולם, המאמץ העצום המושקע במחקר ופיתוח, בקצב ההולך וגובר וכן הגילויים וההישגים בשטח זה - כל אלה נותנים יסוד לתקווה כי עוד בדורנו נהיה עדים להגשמת תחזיות הנועזות ביותר.

בקרוב ! - ...



# הכשרת חשמלאים צעירים בישראל

אינג' רם ויילר

ברצוני להציג במסגרת מאמר זה, את הדמות של חשמלאי צעיר העוזב היום את כתלי בית הספר. בהסבר זה אביא דוגמאות אחדות מהנעשה בבסמ"ת – בית ספר להנדסאים ולטכנאים מוסמכים שליד הטכניון (חיפה).

## מסלול הלימוד המקצועי תיכוני (מסמ"ת)

האנשים הם כפי שהיו פעם? האם כל המושגים הם כמו שהיו פעם? האם המקצוע הוא כמו שהיה פעם? נדמה לי שהתשובות לשאלות אלה הן די ברורות; גם המחלקה לחשמל השתנתה במקביל במידה רבה. נכון שכיום בוגר המחלקה אינו יודע ללפף מנוע והוא גם לא חצב אף פעם בקיר כדי להניח צינור של אינסטלציה חשמלית. כל זה נכון. לעומת זאת הוא יודע לתפעל בקרים מתוכנתים, וכן הוא יודע לתכנן ולבנות מערכת הכוללת מיקרופרוססורים. הוא יודע לעבוד עם מחשב ועוד הרבה דברים אחרים.

האם מול עובדות אלה ניתן לאמר כי מה שהיה בעבר היה טוב יותר? לכל תקופה יש מטלות משלה והצעידה עם הזמן הוא הקובעת את ההתקדמות.

כמובן שאין זה נכון להגיד שכל אותם הדברים שהיו פעם חלק מהכשרת החשמלאי ונעלמו היום הם מיותרים ואין בהם יותר צורך. גם היום צריך מישהו לבצעם. מקומם הוא בתוכניות הלימודים לבתי הספר המקיימים מסלולים עם בגרות חלקית בלבד – מסלול מקצועי רגיל (מסמ"ר) ומסלול מקצועי מעשי (מסמ"מ). באותם המסלולים הדגש הוא על העבודה המעשית. כמו כן קיימים גם קורסים מקצועיים של משרד העבודה ברמות שונות. כאן הגיע הזמן לגלות עוד קטן. בעצם אין בכלל מחלקה לחשמל בבתי ספר רבים. הכיצד? במקום מגמת חשמל נוצרה מגמה חדשה ששמה "מערכות פיקוד ובקרה – מחשבים". כמובן שאין זה שינוי שם בלבד. במשך השנים האחרונות השתנו התכנים עד שהגיע גם הזמן להתאים את שם המגמה למציאות החדשה. כאן צריך לציין שנושאי חשמל זוכים לטיפול במספר מחלקות נוספות: אלקטרוניקה-מחשבים, מיחשוב ובקרה ועוד. קיימים בתי-ספר בהם תלמיד חדש המעוניין ללמוד את מקצועות החשמל אינו מגיע ישירות למחלקה המבוקשת אלא נקלט במאגר חשמל כללי של כיתות י". כל הכיתות לומדות בהתאם לתוכנית זהה ורק בשלב מאוחר יותר מתחלקים התלמידים בין המחלקות הספציפיות בהתאם לרצונם והישגיהם.

בטבלה 1 להלן מוצגת השוואה שנערכה במשך 10 השנים האחרונות במסלול מסמ"ת בין תוכניות לימודים או, יותר מדוייק, בין מערכות השעות השבועיות במחלקה לחשמל בעבר ובמגמה למערכות פיקוד ובקרה – מחשבים כיום.



ברוב בתי הספר המקצועיים קיימות מספר מחלקות טכניות שונות בהתאם לגודל המוסד. אינני נכנס כאן לפרוט כל המחלקות הללו מאחר וברצוני להתרכז בנושא החשמל בלבד. כאן אולי המקום להדגיש דבר אשר כבר שנים רבות אינו בגדר סוד ובכל זאת עד היום אני שומע את השאלה: חינוך טכנולוגי – טוב, מקצוע – טוב מאד, אבל מה עם תעודת הבגרות? התשובה לכך היא פשוטה: בתי ספר המקיימים מסלול מקצועי תיכוני (מסמ"ת), מקנים, בנוסף להכשרה מקצועית, תעודת בגרות מלאה וכשרה. כמובן שישנם הבדלים בין בתי ספר שונים והרכב תעודת בגרות יכול גם הוא להיות שונה בין תלמיד לתלמיד באותו מוסד. מי שמעוניין (ומסוגל), יכול ללמוד מתמטיקה ופיזיקה ברמות גבוהות – 5 יחידות לימוד. דבר זה אינו שמור לתלמידי תיכון כללי בלבד. (ברור שפרטים מדוייקים על האפשרויות והמסלולים הקיימים בכל בית ספר צריך לקבל בהנהלת אותו בית ספר). מי שרוצה לרכוש מקצוע מסויים אינו צריך לחשוש שאם בעתיד ישנה את דעתו יהיו לו בעיות ברכישת תעודת בגרות. לחיזוק דברי אביא דוגמה מעניינת. בין המורים לאלקטרוניקה בבסמ"ת נמצא רופא. מורו? כלל לא. בעבר סיים המורה את חוק לימודיו בבית הספר להנדסאים ולאחר מכן גילה שהוא נמשך יותר למקצוע הרפואה. יחד עם זאת לא נפסק הקשר בינו לבין מקצועו הקודם וכך נוצר שילוב מעניין זה.

בבתי ספר המקיימים מסלול מסמ"ת (מסלול של טכנאים ושל הנדסאים) ניתן לסיים את הלימודים בשלוש הרמות הבאות:

1. **בגרות טכנית** (כולל בגרות מלאה). למסיימי כיתה י"ב ובנוסף לכך זכאות לקבלת רשיון עבודה מסוג "**חשמלאי עזר**".
2. תעודה של **טכנאי מוסמך** למסיימי כיתה י"ג ובנוסף לכך זכאות לקבלת רשיון עבודה מסוג "**חשמלאי מעשי**".
3. תעודת **הנדסאי מוסמך** למסיימי כיתה י"ד ובנוסף לכך זכאות לקבלת רשיון עבודה מסוג "**חשמלאי מוסמך**".

## המסלול המקצועי

כאן המקום לפרט יותר את החלק המקצועי בכל אחת מהרמות הנ"ל. בשיחות רבות שניהלתי עם אנשים מחוץ לבית הספר מועלה הטיעון כי: "ביה"ס של היום זה לא מה שהיה פעם". האם זה נכון? כמובן שכן. **האם כל המדינה היא כפי שהיתה פעם? האם כל**

אינג' ר. ויילר – עוזר לנהל מחלקת החשמל בבסמ"ת, ביה"ס להנדסאים ולטכנאים מוסמכים שליד הטכניון, חיפה

1988			1978			המקצוע
י"ב	י"א	י	י"ב	י"א	י	
—	3	4	—	5	4	תורת החשמל
4	—	—	2	3	1	מתקני חשמל/מערכות הספק
—	—	2	—	—	3	שרטוט טכני
—	—	—	2	—	—	מדידות חשמל
3	2	—	2	3	—	מכונות חשמל/הינע חשמלי
2	2	—	1	—	3	מערכות אלקטרוניות
—	—	—	2	—	—	פיקוד ובקרה
—	3	2	—	1	—	מחשבים ומיקרופרוססורים
—	—	3	—	—	—	מיתוג ומערכות ספרתיות
2	—	—	—	—	—	טכניקות לפיקוד ובקרה
7	7	5	12	8	9	מעבדות ועבודה מעשית



**מרכז הכובד הוזז מתחום "זרם חזק" לתחום של "זרם חלש"**

מטבלה 1 ניתן להגיע למספר מסקנות. כפי שאפשר היה לצפות מדברי הקודמים, הוזז מרכז הכובד מהתחום של "זרם חזק" לתחום של "זרם חלש". נושאי האלקטרוניקה, מיקרופרוססורים ומחשבים באים עם הזמן לידי ביטוי יותר ויותר. לא ניתן כיום, לבנות מערכת בקרה של מנוע המניע מתקן מסובך ללא שליטה ברמה גבוהה באלקטרוניקה, בקרים מתוכנתים, מיקרופרוססורים ועוד. נשאלת כאן השאלה: היכן, בעצם, הגבול? האם מקצוע החשמל, במובן המקובל היום אינו עומד להעלם? התשובה איננה פשוטה ובודאי לא חד משמעית. יתכן ויש צורך בהרחבת הבסיס המשותף בין המחלקות השייכות משותפים עוד בתיכון ולהגיע זאת יש לקיים לימודים משותפים עוד בתיכון ולהגיע לחלוקה למגמות רק לקראת כיתות י"ג-י"ד (טכנאים, הנדסאים). כמו לכל רעיון חדשני, הרי גם לרעיון זה יש הרבה תומכים - ולא פחות מתנגדים. ההצעה נמצאת בבדיקה מתמדת ויש להניח שתילקח בחשבון בזמן עריכת תוכניות הלימודים החדשות.

מכאן ברור באיזו נקודה מתחילים בקיצוצים. לבעיה זו נוספת בעיה קשה ורצינית ביותר - הצטיידות בציוד מודרני. כולם מסכימים שאי אפשר ללמד מקצועות טכניים באופן תיאורטי בלבד, ללא התנסות מעשית במעבדות. כולם מסכימים גם שאין ערך משמעותי למעבדה שבה נמצא ציוד מיושן אשר מתאים למוזיאון של הטכניקה. לכן, נראה לי שיהי זה כורח המציאות לבחון דרכים לשיפור המצב בעתיד.

**מחשבים**

נושא לימוד המחשבים, הוא בין הנושאים החשובים ביותר ברוב בתי-הספר. פרט ללימודי המחשב בכל המגמות, קיימים גם בתי-ספר שבהם קיימות מגמת מערכות ענ"א (עיבוד נתונים אוטו-מטי). תלמידי מחלקה זו מקבלים הכשרה גם בתחום תוכנה ומה שאולי יותר חשוב - בתחום החומרה. שילוב זה הוא המבוקש ביותר בשוק. בשנה הקרובה (תשמ"ח) יהיה בית ספר נוסף - בסמ"ת, שיפתח מסלול של טכנאים במגמה זו. באותה הזדמנות יופעל במוסד זה מרכז מחשבים חדש אשר לפי מיטב ידיעתי, יהיה בין הטובים בארץ. המרכז יכלול 2 מעבדות מסופים היכולות לשרת 40

**מעבדות ועבודה מעשית**

עובדה מצערת במיוחד הכוללת בטבלה 1 היא הירידה המתמדת בשעות מעבדה ועבודה מעשית. אין צורך להיות מדען או כלכלן גדול על מנת לגלות את הגורם לכך. אין זה סוד שהחינוך הטכנולוגי הוא יקר. יש צורך בציוד, חומרים ומורים. במעבדה לא ניתן להכניס 40 תלמידים בו זמנית ולכן יש לחלק כל כיתת לימודים למספר קבוצות עבודה. היות וכל קבוצה מחייבת מורה צמוד, הרי שעלות של כל שעת מעבדה גדלה עם מספר הקבוצות.

תלמידים, 2 מעבדות למיקרופרוססורים, מעבדת פיתוח ומעבדת מחשבים אישיים – (P.C.) המרכז מיועד לתלמידי כל המחלקות. נושאי המרכז נלמדים בכל המגמות (בהיקף ורמה שונים). לימודי המחשב אינם מטרה בפני עצמה מאחר והמחשב משמש כלי עזר חשוב לפתרון בעיות טכניות ולכן הדרכה בסיסית בשפות התיכנות מתחייבת בכל המקצועות. התלמיד נדרש, בין היתר, לתכנת מחשב בשפת BASIC או PASCAL לפתרון בעיה נתונה.

### האפשרויות העומדות בפני המסיים

כפי שנאמר קודם, הרי תעודת הבגרות מהווה את השלב הראשון שבו ניתן לסיים את הלימודים בבית הספר. תלמידים המבקשים לרכוש מקצוע מוכר, ממשיכים בלימודיהם עוד שנה עד לקבלת תואר **טכנאי מוסמך**, או שנתיים לשם קבלת תואר **הנדסאי מוסמך**. בפני כל תלמיד המסיים כיתה י"ב עומדות שלוש אפשרויות:

- גיוס לצה"ל
  - המשך הלימודים בבית הספר בכיתות י"ג – י"ד
  - לימודים במוסדות להשכלה גבוהה.
- השיקולים להחלטה הם רבים ולא כאן המקום לפרטם. נכון להיום – רוב התלמידים במחלקה לחשמל בוחרים בהמשך הלימודים בבית הספר. לדוגמה, מתוך 39 תלמידים שלמדו בשנת תשמ"ז בכיתה י"ב בבסמ"ת, נרשמו 28 להמשך לימודיהם בשנת תשמ"ח. כמובן, גם בכיתות הגבוהות אין תוכניות הלימודים סטטיות ועוברות עידכון מתמיד. בטבלה 2 מוצגים השינויים שחלו בתוכנית הלימודים (שעות שבועיות) בכיתות טכנאים ב-10 השנים האחרונות:

טבלה 2

המקצוע	1977	1987
אנגלית טכנית	1	–
מכוונת חשמל והמרת אנרגיה	3	2
הינע חשמלי	3	3
מערכות חשמל (מתקנים)	4	5
תכנון רשתות ולוחות חשמל	2	–
תקינה, גהות ובטיחות בחשמל	2	–
אלקטרוניקה	3	4
פיקוד ומעגלים לוגיים	3	–
מערכות בקרה	3	3
תורת החשמל ומדידות	–	2
תכנון לוגי ומערכות מיתוג	–	2
מערכות פיקוד ממוחשבות	–	2
מעבדות ועבודות גמר	14	16

מהטבלה ניכרת מגמת שינויים די ברורה – הדגש עובר יותר ויותר למקצועות השייכים לתחום האלקטרוניקה. אין צורך לפרט כאן את המקצועות הנלמדים בכיתה י"ד. מדובר בהמשך של אותם המקצועות הנלמדים בכיתה י"ג (כמובן – ברמה גבוהה יותר ובפרוט רב יותר).

### פרויקט הגמר

דגש מיוחד הוא נושא עבודת הגמר בכיתה י"ג או

פרויקט הגמר בכיתה י"ד שהם למעשה, גולת הכותרת של הלימודים. בעבודה הזו משלב התלמיד את הידע שלו במיגוון רחב של מקצועות. בתחילת שנת הלימודים בוחר התלמיד את הנושא שבו הוא רוצה להתעמק ובמרוצת השנה עליו לתכנן את המתקן הנדרש על פרטיו וגם לבנות אותו. אין זו משימה קלה. הנייר הוא, כידוע, סובלני ומקבל הכל. לעומת זאת חוקי הפיסיקה וכללי הטכנולוגיה אינם גמישים והבעיות מתעוררות בצורה חריפה עם הרכבת המתקן והפעלתו. כל מי שהתנסה בסוג עבודה זה יודע עד כמה גדול המרחק בין הרעיון ועד למימושו בפועל. בנוסף לכך חייב התלמיד להכין חוברת (בדרך כלל עבת כרס) המייצגת את עבודתו.



התלמיד מקבל הנחיות מהמורים, אנשי תעשייה, מדענים מהטכניון וכו', אך את העבודה המעשית עליו לבצע בכוחות עצמו. לבסוף נשאר עוד "צימוק" אחד – הגנת הפרויקט! הגנת הפרויקט מהווה בחינה בפני ועדה מיוחדת שמשתתפים בה גורמים מחוץ לבית הספר והיא פומבית ופתוחה לכל. אין הרבה דברים במשך הלימודים הדורשים כל כך הרבה מאמץ כמו פרויקט הגמר ובאותה מידה גם אין הרבה דברים המביאים כל כך הרבה סיפוק כמו הצלחה בפרויקט. אין זה סוד שרבים מבוגרי בתי הספר המקצועיים מגיעים, ששלב זה או אחר, לטכניון. קיים תקנון שלם המטפל בנוהלי קבלה לטכניון ולא כאן המקום לפרטם, אציין רק שתי נקודות:

1. תעודת בגרות טובה מקנה יתרון בולט.
2. בנוסף לכך מעריך הטכניון את התואר "הנדסאי מצטיין" ופרק שלם בתקנון תנאי הקבלה מטפל בתואר זה ומסביר את ההקלות שבעל התואר זכאי להן.

### סיכום

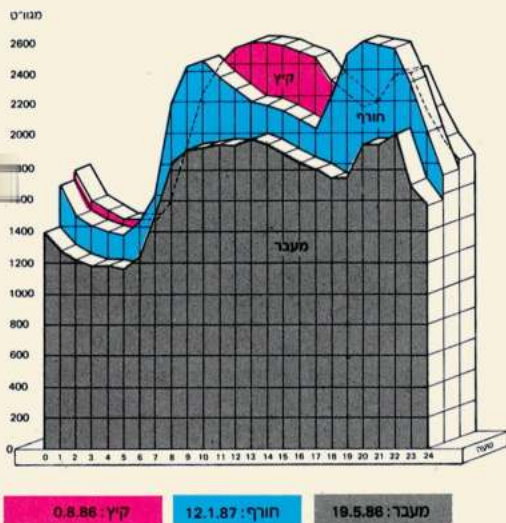
לבסוף, ברצוני לציין בעיה כאובה מאד והיא – האמצעים הכספיים. ידוע לכל שלא ניתן לקיים חינוך טכנולוגי הראוי לשמו מבלי להשקיע בצידוד, או לקיים רמת הוראה נאותה, ללא מורים טובים בעלי ידע עדכני. לדעתי, מעט מדי גורמים מחוץ למערכת החינוך הטכנולוגי מוכנים לתרום למאמץ כספי זה. במסגרת מאמר זה ניסיתי להציג בקצרה את דמותו של החשמלאי בעתיד הרוכש את השכלתו המקצועית כיום.

החשמלאי בעתיד אמור לשלב בידיעותיו רקע תיאורטי נרחב שנלמד בהתמדה במשך מספר שנים, דבר שימשם בסיס טוב לביצוע המעשי בשטח.

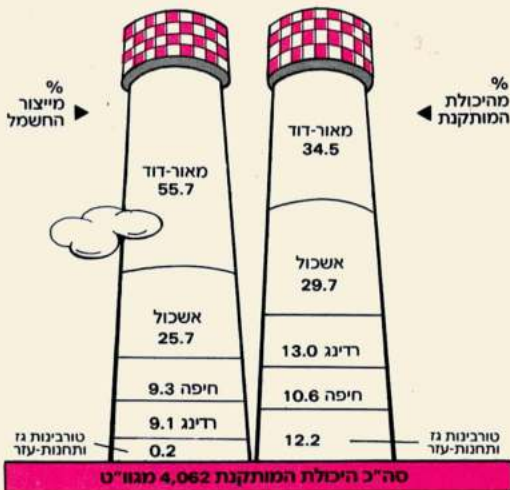


**עקומת עומס אופיינית:  
קיץ, חורף ועונות המעבר 1986/87**

עקומת העומס האופיינית משקפות את אופי הביקוש לחשמל בשעות היממה ובתקופות השנה השונות.

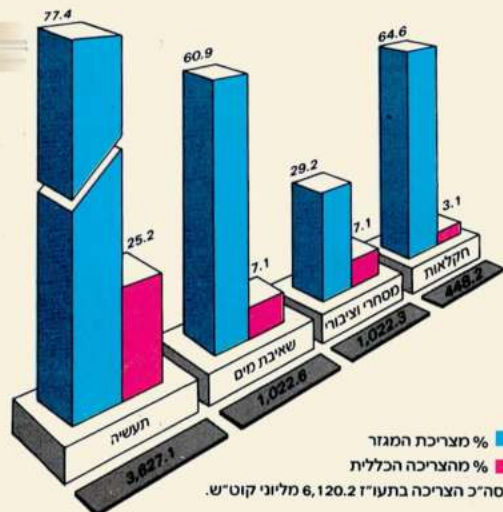


**היכולת המותקנת של תחנות הכוח  
וחלקן בייצור החשמל (ב-%)\***



\* בסוף 1986/87 הסתכמה יכולת היחידות הקיטוריות (ולא טורבינות גז) ל-3,567 מגו"ט

**התפלגות צריכת החשמל בתעריף לפי עומס זמן  
(תעו"ז) לצרכני החשמל הגדולים (מיליוני קוט"ש)**



**התפלגות הצרכנים וצריכת החשמל  
לפי שמושים (ב-%)**

