

ISSN 0793-8152

אוגוסט • 2017

תוצרת

פאזה

מידעון מקצועי לחשמל



חברת החשמל



אומדן יכולת הייצור של מתקן סולארי • חיבור מערכות פוטו-וולטאיות (PV) בשיטת מונה נטו במתח נמוך •
כבלים "ירוקים" בעלי שדה מגנטי מופחת • תקני ניהול אנרגיה חדשים • ההיבט ההתנהגותי של ההתייעלות
האנרגטית • "תמונה אחת שווה אלף מילים"

דבר העורך



קוראים יקרים,

לאחרונה אנו עדים לפיתוח מוגבר של תחום האנרגיות הירוקות בכלל ותחום המתקנים הפוטו-וולטאיים בפרט. בגיליון זה אנו מביאים שתי כתבות הנוגעות לתחום זה:

- כתבה המציגה את האלטרנטיבות השונות בהגדרת יכולת הייצור של המיתקנים הפוטו-וולטאיים. עובדה המשפיעה על הגורמים המהווים בסיס לחישוב פרמטרים של רשת החלוקה, וכן על תוכניות הפיתוח של רשתות אלו.
- כתבה המציגה הנחיות תכנון בסיסיות לחיבור מערכות פוטו-וולטאיות בשיטת מונה נטו במתח נמוך. הכתבה מציגה בקווים כלליים את הדרישות הטכניות וההכנות הנדרשות עבור חיבורים אלו.

כמיטב המסורת, אנו ממשיכים להביא בפני הקוראים מידע בנושאי התייעלות אנרגטית. בגיליון זה שתי כתבות הנוגעות לתחום זה:

- כתבה המציגה שלושה תקני ניהול אנרגיה שאומצו לאחרונה על-ידי התקינה הישראלית.
- כתבה המציגה את הגורם ההתנהגותי כמשפיע על צריכת האנרגיה ועל פוטנציאל התייעלות האנרגטית במיתקנים השונים.

כידוע, שדות מגנטיים הם תופעה פיזיקאלית הנובעת ממעבר זרם חשמלי במוליך. בגיליון כתבה המציגה טכנולוגיה להגבלת השדה המגנטי הנוצר כתוצאה ממעבר זרם בכבל חשמלי.

את הגיליון חותמת כתבה במדור "תמונה אחת שווה אלף מילים", בה מובאות שתי דוגמאות של ליקויים בטיחותיים שניתן היה למנוע אותם אילו הייתה הקפדה על ביצוע מיתקני החשמל כהלכה. גם הפעם נותרנו פעורי פה אל מול רמת "היצירתיות" של המקרים המובאים בכתבה.

לסיום, אבקש לברך את קהל הקוראים בברכת שנה טובה.

קריאה נעימה ומועילה.

העורך,

שלומי לוי

מה במידעון

3 אומדן יכולת הייצור של מתקן סולארי

6 חיבור מערכות פוטו-וולטאיות (PV) בשיטת מונה נטו במתח נמוך

8 כבלים "ירוקים" בעלי שדה מגנטי מופחת

11 תקני ניהול אנרגיה חדשים

12 ההיבט ההתנהגותי של ההתייעלות האנרגטית

15 "תמונה אחת שווה אלף מילים"

המערכת



כתובת המערכת:

מערכת "פאזה אחרת" חברת החשמל, ת"ד 10, חיפה 3100001

טל' 076-8634626. פקס: 04-8182687

e-mail: faza-aheret@iec.co.il

קוד זיהוי: "פאזה אחרת" אוגוסט 2017 - 081

פאזה אחרת באינטרנט: באתר חברת החשמל

www.iec.co.il

סרקו את הקוד והכנסו לחוברות פאזה אחרת באתר חברת החשמל

כל הזכויות שמורות לחברת החשמל. אין לצטט קטעים מתוך כתב העת ללא אישור בכתב של מערכת "פאזה אחרת".

עורך: שלומי לוי
מינהלה והוצאה לאור: יצחק עקיבא
הדפסה: דפוס גסטליט
איור השער האחורי: אנדי צ'אושו
עיצוב גרפי והפקה: מרק בלייזיס, תקשורת שירותית
עריכה לשונית: בת שבע בנמו



אומדן יכולת הייצור של מתקן סולארי

הערכה מדויקת ועקבית של ביצועי המערכות הסולאריות חיונית מאוד לפיתוח תעשיית מערכות סולאריות בפרט, ולתחום אנרגיה ירוקה בכלל. מצד אחד, הביצועים של חוות סולאריות מהווים נקודות ציון לאיכות המוצרים של המתקנים הסולאריים. מצד שני, מדידת הביצועים יכולה להגדיר את הצרכים העתידיים של התעשייה שאותם יש לפתח על ידי קבוצות מחקר ופיתוח. מידע זה מהווה כלי בידי המתקנים בבואם לבחור את ציוד המערכות עבור הלקוחות הפוטנציאליים. מאמר זה מציג את האלטרנטיבות השונות בהגדרת יכולת הייצור של המיתקנים הסולאריים, דן בהן ומציג את היתרונות והחסרונות של כל אחת מהן

מבוא

עם התפתחות תחום האנרגיה הירוקה בכלל ותחום המתקנים הסולאריים בפרט, נוצר צורך דחוף בקביעת תקנים ותקנות המגדירים דרישות עבור מערכות סולאריות מצד אחד, ומראות דרך לביצוע חקר הביצועים של מערכות אלה מצד שני. קביעת התקנים היא חיונית, ונועדה ליצור אחידות מושגים בין הגורמים השונים בתעשייה.



להגדרת יכולת הייצור של מיתקן סולארי קיימות מספר גישות. חשוב לציין כי היסטורית, מדובר בחוסר בהירות וחוסר עקביות בתקנים ובתקנות שנועדו להגדיר את יכולת הייצור של המתקנים. במאמר זה יוצגו האלטרנטיבות השונות בהגדרת יכולת הייצור של המיתקנים, כמו גם היתרונות והחסרונות של כל אחת מהאלטרנטיבות. המאמר איננו קובע מהי השיטה הטובה ביותר להגדרת יכולת הייצור של החווה הסולארית; החלטה זו נתונה בידי הגורמים המקצועיים הרלוונטיים במשק האנרגיה. שתי האלטרנטיבות העיקריות שהיו בשימוש בעבר ונמצאות בשימוש כיום הן: הגדרת יכולת הייצור של מיתקן סולארי בהתאם לסך הכל הספק ה-DC המותקן של מודולים סולאריים הנמצאים בחווה סולארית, או הגדרת יכולת הייצור בהתאם לסך הכל הספק ה-AC המתוכנן להימסר לרשת.

נשאלת השאלה האם להגדיר את יכולת הייצור בהתאם להספק ה-DC או בהתאם להספק ה-AC המתוכנן להמסר לרשת

ואת האופן שעל פיהם יש לבצע את מדידות ההספק הנומינאלי של המודול הסולארי. כפי שנאמר קודם לכן, מדידת הספק המוצא של המודול הסולארי מתבצעת תוך שינוי העומס ההתנגדותי המחובר אליו, כאשר ערכי העומס נעים מההתנגדות הגבוהה ביותר – ריקם (open circuit), ועד להתנגדות הנמוכה ביותר – קצר (short circuit). ההספק הנומינאלי של המודול הסולארי מוגדר כערך

ההספק המקסימלי הנמדד במהלך הניסוי הזה. הספק זה יירשם כהספק הנומינאלי של המודול על גבי המדבקה שתוצמד אליו. (איור 1).

הספק ה-DC המותקן של מיתקן ייצור סולארי מוגדר כסכום ההספקים הנומינאליים של כל המודולים הסולאריים המותקנים בחווה סולארית של מיתקן ייצור. הסימון המוסכם בספרות המקצועית של הספק DC זה הנו MWp. בחירה של המודולים עם הספק נומינאלי מסוים, משפיעה על כל התכנון החשמלי של מיתקן הייצור הסולארי. זאת, בשל העובדה כי הערך של ההספק MWp משפיע על בחירות ההספק וכמות הממירים, שטחי החתך של

כבלי החשמל, כמות והספק השנאים וכדומה.

חשוב להבחין בין ההספק הנומינאלי של המודול הסולארי

הרשום על המדבקה שלו, לבין ההספק המיוצר על ידי בפועל

ברגע נתון. כפי שצויין לעיל, ההספק הנומינאלי הוא ההספק

המקסימלי המיוצר על ידי המודול, תחת התנאים המוגדרים

בתקנים רלוונטיים (לדוגמה, עוצמת האור חייבת להיות 1000W/

m², וטמפרטורת הסביבה חייבת להיות 25°C). ואולם, לרוב

תנאים אלה אינם מתקיימים, ולכן במציאות, ההספק המיוצר על

ידי המודול הסולארי יהיה קטן ב- 20%-15 מערכו של ההספק

הנומינאלי הרשום על המדבקה המוצמדת אליו. כידוע, המודול

הסולארי ממיר את אנרגיית אור השמש לאנרגיה חשמלית, ולכן

ההספק במוצא של מיתקן הייצור הסולארי משתנה בהתאם

לעוצמת האור והתנאים הנוספים השוררים במקום. ברור שככל

שעוצמת האור עולה, כך עולה ההספק שהמיתקן מייצר ומוסר

לרשת. במקרים מסוימים, ההספק שמיוצר על ידי המודול

הסולארי עשוי להיות גדול יותר מהערך הנומינאלי הרשום על

הגדרת יכולת הייצור על-פי הספק ה-DC

חשוב לתאר כיצד מודדים את הספקי ה-DC וה-AC של מיתקני הייצור הסולאריים שאליהם נתייחס בתוך המאמר. כיום, היצרנים השונים של המודולים הסולאריים מייצרים את המוצרים בהתאם לתקנים הבינלאומיים שאומצו ברוב המדינות שמפתחות את תחום האנרגיה הירוקה. התקנים הבינלאומיים החשובים המגדירים את דרישות המפרט של המודולים הסולאריים הינם IEC 61646, IEC 61215, IEC 60904-3. בהתאם לתקנים אלה, ההספק הנומינאלי של המודול הסולארי מוגדר על ידי ביצוע סדרת מדידות של זרם ומתח במוצא המודול, כאשר משנים בהדרגה את העומס המחובר למודול שאת הספקו מודדים. כמו כן, התקנים לעיל מפרטים את התנאים (Standard Test Conditions)



לממיר בצד ה-DC כמות מודולים סולאריים שסכום הספקם גדול מעט יותר מהספק ה-AC של הממיר עצמו.

אפשרות נוספת להגדרת יכולת הייצור של מיתקן ייצור סולארי, היא סכום הספקים של השנאים המותקנים במיתקן, כמתואר

$$MW_{AC}^{(3)} = \sum_{i=1}^n p_{שנאי\ i\ כל\ השנאים\ המותקנים}$$

מה נכון - DC או AC?

נתבונן לדוגמה בחווה סולארית המתפרסת על פני מספר גגות הכוללים 2,091 מודולים סולאריים בהספק של 315 ואט כ"א, המזינים 12 ממירים בהספק של 49.9 קילוואט כל אחד. אזי, יכולת הייצור של חווה סולארית זו בהתאם להגדרה לפי האפשרות

$$MW_{AC}^{(1)} = 0.315 \times 2091 = 656 \text{ KW}$$

מצד שני, לפי ההגדרה השנייה יכולת הייצור של החווה הנ"ל היא

$$MW_{AC}^{(2)} = 12 \times 49.9 = 599 \text{ KW}$$

ואולם, במקרה שבעל המיתקן מעוניין לחבר את החווה הסולארית הנ"ל לרשת המתח הגבוה, אזי הספק השנאי שאליו תחובר המערכת הסולארית הוא 630KVA. לכן, בהתאם לאפשרות השלישית של הגדרת יכולת הייצור של תחנת הכוח הסולארית, ניתן לומר כי

$$MW_{AC}^{(3)} = 630 \text{ KW}$$

מכל האמור לעיל עולה השאלה הבאה: מהי ההגדרה המתאימה ביותר ליכולת הייצור של מיתקן ייצור סולארי?

ככלל, תכנון נכון של מיתקן ייצור סולארי לוקח בחשבון את הפסדי ההספק במהלך זרימת האנרגיה מהמודולים הסולאריים לתוך הרשת. לכן, בחוות סולאריות מתקיים אי שוויון $MW_{AC} \leq MW_p$, זאת אומרת סך הספק ה-DC המותקן גדול יותר מהספק ה-AC המוזרם לרשת. בספרות המקצועית מגדירים את היחס $\frac{MW_{AC}}{MW_p}$ שנקרא performance ratio (p.r) של מיתקן הייצור,

$$(p.r) = \frac{MW_{AC}}{MW_p} \leq 1$$

ולכן כפי שנאמר בתחילת המאמר, קיימות גישות שונות בהגדרת יכולת הייצור של מיתקן סולארי בין המדינות השונות. למשל, במדינות צפון אמריקה, קליפורניה, קנדה, יפן וספרד הרשויות (ולכן גם החברות הסולאריות) מגדירות את ה- MW_{AC} כיכולת הייצור. הדבר נובע מכך שהפסדי האנרגיה של כל שרשרת המרת

המדבקה המוצמדת אליו. הדבר עשוי להתרחש, למשל, כאשר עוצמת אור השמש גדולה מ- 1000 W/m^2 או כאשר עוצמת אור השמש מתקרבת לערך של 1000 W/m^2 בזמן שטמפרטורת הסביבה קטנה משמעותית מ- 25°C . ניתן לומר, כי במבט ראשון ההגדרה של ההספק המיוצר על ידי מיתקן סולארי חייבת להתבסס על הספק MWp. לדוגמה, רוב מדינות האיחוד האירופי מגדירות את ה-MWp כיכולת הייצור.

הגדרת יכולת הייצור על-פי הספק ה-AC

הספק ה-AC של מיתקן ייצור סולארי מסוים מוגדר כהספק שנמסר לרשת על ידי המיתקן כאשר מתקיימים התנאים (Standard Test Conditions) המוגדרים בתקנים בינלאומיים IEC 60904-3, IEC 61215, IEC 61646, UL1703. הסימון המוסכם בספרות המקצועית של הספק ה-AC הנמסר לרשת הינו MW_{AC} . גם במקרה זה קיים מספר רב של אפשרויות למשמעות המושג של ההספק הנמסר לרשת. לדוגמה, את ההספק MW_{AC} שנמסר לרשת על ידי מיתקן הייצור, ניתן להגדיר כהספק ה-DC המותקן פחות הפסדי ההספק בממיר, בחיטוט בצד ה-AC, בלוחות ובשנאים, כמתואר במשוואה הבאה (מדובר במקרה כללי שבו מיתקן ייצור מחובר לרשת מתח גבוה ולכן כולל שנאים):

$$MW_{AC}^{(1)} = MW_p - p_{losses\ inverter} - p_{losses\ AC\ cables} - p_{losses\ AC\ cabinets} - p_{losses\ transformers}$$

פיזיקלית, הפסדי האנרגיה הן בתחום ה-DC והן בתחום ה-AC הינם בלתי נמנעים. בדרך כלל, תכנון חשמלי נכון מבטיח הפסדי המרה זניחים (בדרך כלל פחות מ-5%) ביחס להספקי הייצור המותקנים, ולכן ניתן להניח כי

$$MW_{AC}^{(1)} \approx MW_p$$

אפשרות אחרת להגדרת הספק MW_{AC} של מיתקן ייצור סולארי היא סכום ההספקים הנומינליים של כל הממירים המותקנים במיתקן, כמתואר במשוואה הבאה:

$$MW_{AC}^{(2)} = \sum_{i=1}^n p_{ממיר\ i\ כל\ הממירים\ המותקנים}$$

לרוב, בהגדרה זו משתמשים מתכנני מערכות סולאריות השואפים להגיע לתכנון אופטימלי, הן מבחינה הנדסית והן מבחינה כלכלית. האופטימום במקרה זה הוא שמאלצים את הממיר לייצר במוצא את ההספק המקסימלי שאליו הוא מכויל, על ידי כך שמחברים

איור 1: תווית המצורפת למודול סולארי

PHOTOVOLTAIC MODULE	
Made in China	
Solar Module Type : JKM320PP-72	
Maximum Power	(Pmax) 320W
Power Tolerance	0~+5%
Maximum Power Voltage	(Vmp) 37.4V
Maximum Power Current	(Imp) 8.56A
Open Circuit Voltage	(Voc) 46.4V
Short Circuit Current	(Isc) 9.05A
Nominal Operating Cell Temp	(NOCT) 45±2°C
Maximum System Voltage	1000VDC
Maximum Series Fuse Rating	15A
Operating Temperature	-40°C~+85°C
Application Class	A
Fire Class	C
Weight	76.5kg
Dimension	1394*912*40(mm)
STC: 1000W/m², AM1.5, 25°C	
WARNING	
ONLY qualified personnel should install or perform maintenance work on these modules	
BE AWARE of dangerous high DC voltage when connecting modules	
DO NOT damage or scratch the rear surface of the module	
PV CYCLE CE	

איור 2: תווית של ממיר לדוגמא

Model		SB 5000TL-20
Serial No.		2100209007
V _{DC max}	550 V	
V _{DC MPP}	125 - 440 V	
I _{DC max}	2 x 15 A	
V _{AC nom}	230 V	
f _{AC nom}	50/60 Hz	
P _{AC nom}	4600/5000 W	
I _{AC nom}	20/22 A	
cos φ	1	
outdoor		
CE		
2100209007		

ההספק יאבד. איבוד גדול מדי של ההספק עלול לגרום לחימום יתר של הציוד ואף להפסד כלכלי, כיוון שבמקרה כזה חלק מהאנרגיה שמייצרים המודולים הולכת לאיבוד.

מתכנן מערכת סולארית נדרש לסוגיה של בחירה אופטימלית של

$$\text{array to inverter ratio} = \frac{MW_p}{MW_{AC}} \quad \text{ה-}$$

עבור המערכת כולה. אם נציב את הערכים שהופיעו בחישוב שהוצג לעיל אודות החווה הסולארית לדוגמה, ניתן לראות כי

$$\text{array to inverter ratio} = \frac{656}{599} \approx 1.1$$

במקרים מסוימים ולצורך שיפור הביצועים של המערכת הסולארית, המתכנן בוחר את הספק ה-AC של הממיר ואת סך הספק ה-DC המחובר אליו. כך, היחס $\text{array to inverter ratio}$ יהיה אופטימלי עבור כל ממיר בנפרד. בתחילת הדרך של המערכות הסולאריות ובשל העובדה כי מחיר המודולים הסולאריים היה גבוה בהרבה מזה של היום, ערכי היחס $\text{array to inverter ratio}$ היו בטווח של בין 1.1 לבין 1.25, כאשר הם תלויים בגורמים כגון: מיקום המערכת, תנאי התקנה, הפסדי אנרגיה צפויים וכדומה. בשנים האחרונות, עם ירידה במחירי המודולים הסולאריים, הערכים האופטימליים של $\text{array to inverter ratio}$ מתקרבים יותר לגבול התחתון.

סיכום

קיימות גישות ושיטות שונות להגדרת יכולת הייצור של מערכת סולארית. לא ניתן להחיל שיטה אחת מסוימת על כל היצרנים הסולאריים בכל מקום בעולם. בחירה של גישה מסוימת להגדרת יכולת הייצור של מיתקן סולארי, צריכה להתבסס על האפיונים הייחודיים של אותה מדינה בה מתבצעת הבחירה. הבחירה הנכונה תלויה באופן תפעול רשתות החלוקה, אופן מתן חיבורים ללקוחות וסטנדרטיזציה של החיבורים הנ"ל, אופן הפיתוח של רשתות החלוקה, וגורמים רבים נוספים מהווים בסיס לחישובים והשוואת הביצועים של רשתות החלוקה באותה מדינה. כמו כן, חשוב להתאים את הגדרת יכולת הייצור לשיטות שהיו נהוגות עד היום במדינה, כך שניתן יהיה לא ליצור בלבול וחוסר עקביות ברשומות של חברות החשמל הקיימות במדינה. גורם חשוב בקביעת השיטה להגדרת יכולת הייצור הוא קיום אפשרות אכיפה של יכולת ייצור זו כך שלא תהיה אפשרות ליצרן להגדיל את יכולת הייצור ללא ידיעת בעל רשת החלוקה.

הספק ה-DC להספק ה-AC לא עולה על 5%. ואולם, יש מדינות שמגדירות במפורש את ערך ההפסדים המותר. לדוגמה, בקליפורניה, שבה יכולת הייצור של מיתקן סולארי מוגדרת כ- MW_{AC} , הערך המותר של הפסדי המרה מ-DC ל-AC הינו עד 15%. זו הסיבה לכך שבקליפורניה, הערך של MW_p יכול להיות גדול ב-15% מערך של ה- MW_{AC} . הסיבה הנוספת לכך שהרבה מדינות משתמשות בערך MW_{AC} היא העובדה כי בכל התקנות הקיימות הקשורות למערכות ייצור (לאו דווקא אלה הקשורות לתחנות סולאריות) באותן המדינות, נעשה שימוש בערכי הספק ה-AC בלבד.

העמסת יתר של הממיר (Oversizing)

ממירים של מיתקני ייצור סולאריים מכילים כך שהספק ה-AC במוצא הממיר לא יעבור את ההספק המקסימלי שאליו הוא תוכנן ונבנה. הספק מקסימלי זה רשום על השלט המוצמד לממיר עצמו (ראה איור מס' 2). המושג העמסת יתר של הממיר מתאר מצב שבו מחברים לממיר בצד ה-DC הספק גדול יותר מאשר הספק ה-AC המקסימלי שאליו מכיל הממיר. כך, הממיר יעבוד בהספק מקסימלי אפילו כאשר עוצמת אור השמש קטנה מזו המבטיחה ביצועים מקסימליים של המודול הסולארי עצמו. חשוב להבין, ה-oversizing היא איננה דרישה של יצרן הממיר ולא של יצרן המודולים הסולאריים, אלא שיטת תכנון של מערכות סולאריות המאפשרת למתכנן להגיע לנצילות הגבוהה של כל המערכת הסולארית, ואף להביא את השיקול הכלכלי למיצוי (לפחות למיצוי חלקי). אם נסמן ב- $P_{AC,max}$ את ההספק המקסימלי שהממיר יכול לספק (זהו ההספק שהממיר כויל אליו), וב- $P_{DC,(STG)}$ את סכום הספקים הנומינליים של כל המודולים הסולאריים המחוברים לאותו ממיר, אזי בשיטת ה-oversizing מתקיים

$$P_{AC,max} \leq P_{DC,(STG)}$$

מצד שני, תכנון לא נכון של העמסת יתר של הממיר עלולה להביא לקיצור אורך חייו או להקטנת הספק המוצא של הממיר. ברור כי עבודת הממיר בהספקו המקסימלי באופן רציף, גורמת לחימום הממיר ולחימום סביבתו (לדוגמה, כאשר הממיר מותקן בבמת ממירים סגורה). כמו כן, חיבור הספק DC גדול מדי לממיר יגרום לכך שהממיר יגביל את ההספק במוצאו ל- $P_{AC,max}$ ושאר



חיבור מערכות פוטו-וולטאיות (PV) בשיטת מונה נטו במתח נמוך

מתקן פוטו-וולטאי עבור לקוח המוזן בחיבור ישיר - עד 3x100A סוגי ההתקנה

- מונה הצריכה של המתקן הפוטו-וולטאי יותקן בנקודה בה מותקן מונה הצריכה הקיים של הלקוח ובמקומו (מונה אלקטרו-מכני יוחלף במונה אלקטרוני).
- מונה הייצור יותקן בהתאם לשתי החלופות שלהלן:
 - בנקודה הקרובה ככל הניתן לנקודה בה מותקן מונה הצריכה, שתאפשר לספק השירות החיוני גישה סבירה לקרוא, לתפעל ולתחזק את המונה.
 - במקרים בהם קיימת מניעה טכנית להתקין את מונה הייצור בנקודה האמורה או לפי בקשת הלקוח, יותקן מונה הייצור במקום המוצע על-ידו, ובלבד שידאג הלקוח להתקנת קו תקשורת שיאפשר לספק השירות החיוני להתקין מודם לקריאה מרחוק ליד מונה הייצור, בנקודה המתאימה ללקוח.

דרישות טכניות בנוגע להתקנת מונה הייצור:

התקנת מונה הייצור בפילר/ארון מונים (בנקודה הקרובה ביותר למונה הצריכה) באחת משתי האפשרויות הבאות:

פילר מונים:

- במידה והלקוח מוזן מארון מונים, תידרש מהלקוח, במסגרת התיאום הטכני, התקנת ארון בגומחה - על ידי פילר המונים או בצד האחורי של הגומחה, עם גישה של אנשי ח"י לארון הנ"ל.
- הארון יותקן על ידי הלקוח ועל חשבונו, ולפי הדרישות הבאות:
 - מידות 600*400*250 מ"מ - מידות פנימיות מינימאליות.
 - אטימות IP 44 לפחות לפי תקן IEC 60529.
 - עשוי מחומר פלסטי כבה מאליו - עמידה בחוט להט 650°C.
 - עמיד בפני קרינת UV.
 - בעל מנגנון לסגירת הדלת.
 - לוח המונה של ח"י יותקן על גב העשוי מחומר פלסטי כבה מאליו.
 - לוח המונה שיוותקן יהיה לוח מונה מחומר פלסטי, אשר יסופק ללקוח במשרדי ח"י.

ארון בני בכניסה למבנה:

במידה והלקוח מוזן מארון מונים המותקן בכניסה למבנה, תידרש ממנו התאמת הארון להתקנת שני מונים, בהתאם לתיאום ודרישות מתכנן חברת החשמל.

במידה והלקוח יבקש העתקת החיבור לפילר מונים, מונה הצריכה יותקן בפילר מונה של ח"י ומונה הייצור יותקן בארון שיסופק על ידי הלקוח.

להלן מספר דגשים בנוגע לכלל החיבור שיוותקן בין מתקן ה-PV לבין מונה הייצור:

- הכבל יסופק ויוותקן על ידי הלקוח.
- הכבל יהיה תלת-גידי (פאזת כניסה, פאזת יציאה ואפס) עבור חיבור חד פאזי, ושבע גידי לחיבור תלת פאזי.
- חתך הכבל יתאים לגודל החיבור של מתקן ה-PV.
- הכבל יותקן לכל אורך התוואי בתוך צינור פלסטי בקוטר מינימאלי של 29 מ"מ, אשר יותקן ויסופק על ידי הלקוח.
- הכניסה למונה תחובר מכון היצרן.

מדובר בהסדר לייצור חשמל מבוזר לצריכה עצמית, והעברת עודפים לרשת באמצעות מערכות אנרגיה מתחדשת בשיטת מונה נטו.

ההסדר מיועד ללקוחות בעלי מונה תע"ז בכל המתחים, שברשותם מתקני ייצור באנרגיה מתחדשת בהספק של עד 5 מגוואט.

הצטרפות להסדר כרוכה בהרשמה באתר האינטרנט של חברת החשמל ובתיאום טכני והמצאת המסמכים הנדרשים (לרבות היתרים נדרשים בהתאם לקבוצה באמות המידה).

מאמר זה מציג בקווים כלליים את הדרישות הטכניות, הנחיות התכנון וההכנות הנדרשות עבור החיבור של מתקנים אלה.

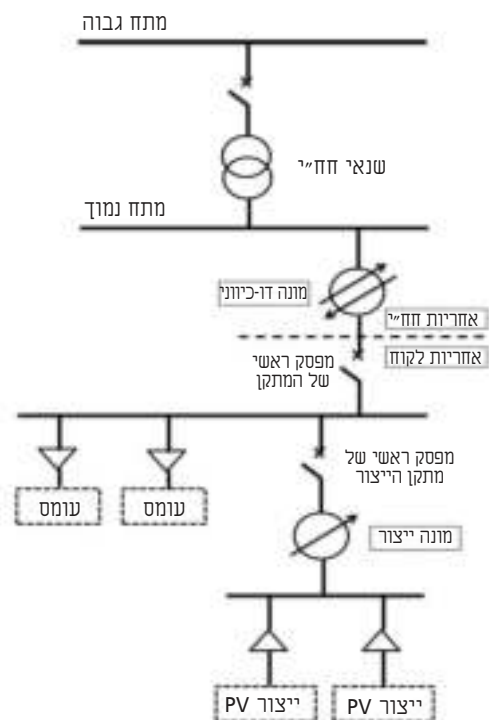
ההנחיות המופיעות במאמר זה מיועדות לשמש כקווים מנחים, וזאת לצורך תכנון ראשוני בלבד. לקוח המבקש להצטרף להסדר, חייב לתאם את כל פרטי החיבור עם מתכנן חברת החשמל, ולקבל את האישורים המתאימים לכך.

את התייחסותנו נסווג לשני סוגי מתקנים:

- מתקן פוטו-וולטאי עבור לקוחות המחוברים בחיבור של עד 3x100A במתח נמוך;
- מתקן פוטו-וולטאי עבור לקוחות המחוברים בחיבור העולה על 3x100A במתח נמוך;

באיור 1 מוצגת סכמה חד-קוית עקרונית של חיבור מערכת פוטו-וולטאית מרוכזת בחצר לקוח מתח נמוך.

איור 1: סכמה חד-קוית עקרונית של חיבור מערכת פוטו-וולטאית מרוכזת בחצר לקוח מתח נמוך



- כמתואר באיור 2, על הלקוח להתקין את כבלי ההזנה ממערכת הייצור (מכיוון מערכת ה-PV) ואת כבלי היציאה ללוח הפרטי באופן הבא:

- ממערכת הייצור: כבלי ההזנה ממערכת ה-PV יחוברו לאמצעי ניתוק (מנתק/מפסק) שיוותקן משמאל לארון המנייה. כמו כן, אל אמצעי ניתוק זה יחוברו מכיוון הארון יציאות כבלי חח"י מפסי הצבירה שבצד שמאל של הארון (צד P1 של משני הזרם כמתואר באיור 2).
- היציאה מארון המנייה ללוח הפרטי של הלקוח תחובר לפסי הצבירה בצד ימין של הארון (צד P2 של משני הזרם, כמתואר באיור 2), אל אמצעי ניתוק שיוותקן מצד ימין של הארון. כבלי החיבור של הלקוח ללוח הפרטי יחוברו לאמצעי ניתוק זה.
- התקנת הכבלים מתא המנייה ל-2 אמצעי הניתוק תבוצע על ידי חח"י, והתקנת הכבלים מאמצעי הניתוק אל מערכת ה-PV ואל הלוח הפרטי תבוצע על ידי הלקוח.
- על הלקוח לספק מקור הארקה ליד תא המנייה - לצורך הארקה משני הזרם.

כמתואר באיור 3, מונה הייצור (ומונה מבקר עבורו) מותקן בחלק העליון של תא המנייה.

איור 3: התקנת מונה ייצור של מתקן פוטו-וולטאי בתא מנייה דו-קומתי



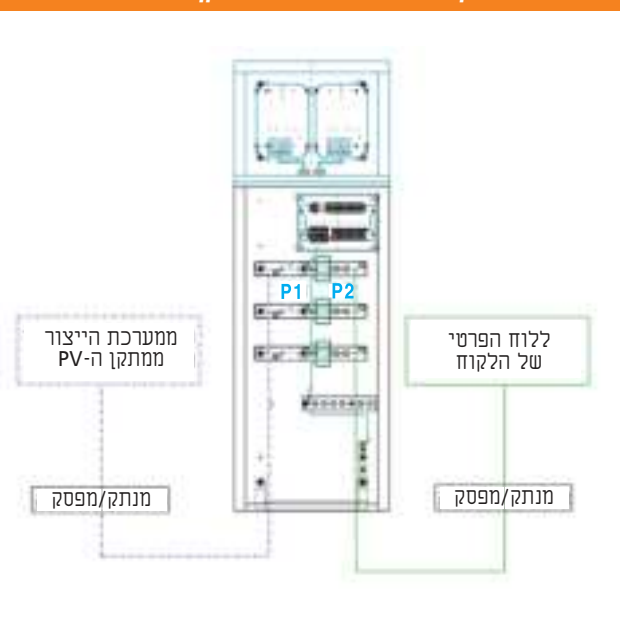
התקנת מונה הייצור בתוך הבית, עם הכנות עבור מודם תקשורת לקריאה מרחוק:

- לוח המונה יותקן בבית הלקוח.
- עבור התקנת המונה נדרשות ההכנות והאביזרים הבאים:
 - גומחה/מקום על הקיר במידות 500x250x250 מ"מ.
 - במידה שהלקוח לא יכול להקצות מקום על הקיר או בגומחה, הלקוח יתקין ארון במידות 600x400x250 מ"מ בעל גב מחומר מבודד, כבה מאליו ויאפשר התקנת הלוח באמצעות ברגי פח.
 - במידה והארון לא יותקן בתוך הבית, הוא יהיה מוגן מים בדרגה מינימאלית של IP44.
 - על הלקוח להכין צנרת וכבילה לחיבור המונה, וזאת בתיאום עם נציג חח"י המבצע בירור מוקדם בשטח.
 - הלקוח יתקין שקע שירות עבור מודם חח"י בקרבת מיקום התקנת המודם.
 - חתך המוליכים אשר יסופקו על ידי הלקוח בכניסה וביציאה למונה: 10 ממ"ר שזור עד לעומס 40 אמפר, 25 ממ"ר גמיש עד עומס 80 אמפר ו-35 ממ"ר גמיש עד לעומס 100 אמפר. בכל מקרה, הדבר יתואם עם מתכנן חח"י.
 - הלוח שיוותקן יהיה לוח מונה מחומר פלסטי, אשר יימסר ללקוח במשרדי חח"י.

מתקן פוטו-וולטאי עבור לקוח, המוזן בחיבור במתח נמוך העולה על 3x100A:

- עבור מדידת האנרגיה ממערכת הייצור, יותקן תא מנייה מתח נמוך מדגם 3x630 אמפר (דו-קומתי) של חח"י (איורים 2,3). בתא לא יותקנו סרגלי נתיכים.
- חיבור תא המנייה למנתקים בכניסה וביציאה ממערכת הייצור (אשר יותקנו בסמוך לתא המנייה) יהיה באמצעות כבלי נחושת חד גדיים כדלקמן:
 - 50x1 ממ"ר - לחיבורים 125x3 אמפר, 160x3 אמפר.
 - 150x1 ממ"ר - לחיבורים 200x3 אמפר עד 910x3 אמפר. (מספר הכבלים בהתאם לגודל החיבור).

איור 2: סקיצה של תא מנייה דו קומתי במתח נמוך, המשמש להתקנת מונה הייצור של המתקן הפוטו-וולטאי





כבלים "ירוקים" בעלי שדה מגנטי מופחת



הכבל, וזאת בניגוד לשיטות של "חסימה" או "הטיה" של קווי השדה אשר מיושמות בכבלים משוריינים או בפלטות פרו-מגנטיות.

יישום זה מושג באמצעות מבנה שונה של הכבל, כדלקמן:

כל אחד ממוליכי הפאזה מחולק לשני גידים (או יותר) בעלי שטח חתך קטן מזה של הגיד המקורי. הגידים החדשים מונחים באופן סימטרי סביב גיד האפס (בכבל

תלת פאזי), כפי שניתן לראות לדוגמא באיור 1 - כל פאזה מורכבת מ-2 גידים המותקנים זה מול זה, ובמרכז הכבל מותקן מוליך האפס.

כיוון שהנחתת השדה תלויה באופן הדוק במבנה הסימטרי המדויק של הכבל, קל יותר להשיג את התוצאה בכבלים שאינם כוללים את כבל ההארקה בתוכם.

בכבלים חד-מופעים נעשה שימוש ב-2 מוליכים עבור מוליך המופע, וב-2 מוליכים עבור מוליך האפס - כמתואר

הטכנולוגיה המיושמת בכבלים מפחיתי שדה, מבוססת על עקרון "ביטול ווקטורי" של השדה המגנטי בכל נקודה במרחב סביב הכבל

שדות מגנטיים הם תופעה פיזיקאלית הנובעת ממעבר זרם חשמלי במוליך.

שדות מגנטיים אופפים אותנו מכל עבר. הם חלק בלתי נפרד מהחיים המודרניים, ומצויים דרך קבע בתוך בתי מגורים ומבנים מאוכלסים. השימוש הנרחב במכשירי חשמל בעבודה ובבית כרוך באופן אינהרנטי בשדות מגנטיים, בין אם מרשת החשמל ובין אם ממכשירי חשמל ביתיים בעוצמות שונות.

רמת השדה המגנטי מושפעת מעוצמת הזרם במוליכים, מהסידור המרחבי שלהם ומהמרחק ביניהם.

מאמר זה מציג טכנולוגיה להגבלת השדה המגנטי הנוצר כתוצאה ממעבר זרם בכבל חשמלי.

קצת היסטוריה - פטנט נולד

כאשר המציאו הפרופסורים מיכאל ארליצקי (ז"ל) ויוסף גראץ' את הטכנולוגיה להגבלת הקרינה מכבלי חשמל ורשמו את הפטנט הראשון, הם היו ממוקדים בנושא השדה המגנטי שנוצר סביב כל כבל נושא זרם. פרופ' ארליצקי אף חזר באוזניו על אמונתו כי מדובר בטכנולוגיה פורצת דרך "... שתשנה את הדרך שבה מועבר כוח חשמלי בעולם".

פרופ' מ. ארליצקי, ניצול מחנה אושוויץ, נולד בעיר לודז' בפולין בשנת 1924. הוא סיים את לימודיו בפקולטה להנדסת חשמל, ואת לימודי הדוקטורט באוניברסיטה הטכנולוגית של לודז'. ארליצקי עלה לארץ עם משפחתו ב-1957, החל לעבוד בטכניון בחיפה ולימים כיהן כדיקן של הפקולטה להנדסת חשמל. פרופ' ארליצקי נפטר ב-14/09/2011 ולאחר מותו הועברו זכויותיו בפטנט לשני ילדיו.

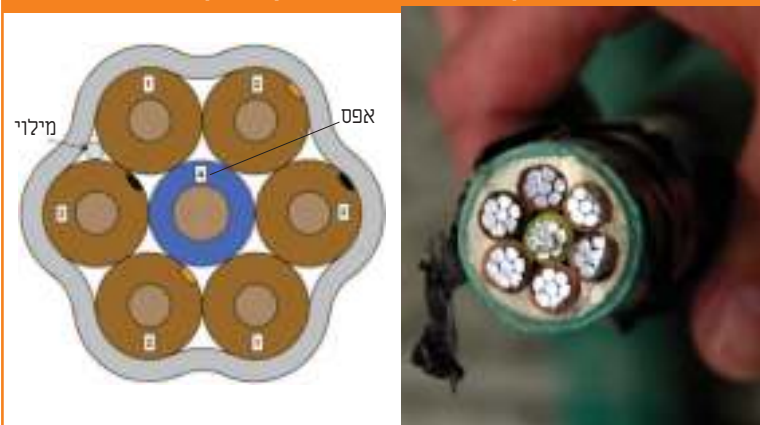
פרופ' יוסף גראץ' נולד בעיר אסטרחן בבריה"מ בשנת 1941, סיים את לימודי הדוקטורט בפקולטה לפיזיקה, ואת לימודי החשמל בטכניון המדעי בלנינגרד. פרופ' גראץ' עלה לארץ עם משפחתו בשנת 1990 והחל את דרכו בחברת אלסינט, ולאחר מכן החל לעבוד במעבדה בחברת החשמל.

פרופ' גראץ' ופרופ' ארליצקי שיתפו פעולה בחיפוש אחר פתרון טכנו-כלכלי להפחתת שדות מגנטיים. המחקר שבוצע על-ידם הוביל לפיתוח כבלים בעלי שדה מגנטי חלש מאוד (ה-ELMF), שהם נשואי מאמר זה.

עקרון הפעולה

הטכנולוגיה המיושמת בכבלים אלה מבוססת על עיקרון של "ביטול ווקטורי" של השדה המגנטי בכל נקודה במרחב סביב

איור 1: מבנה כבל "ירוק" תלת מופעי (ללא מוליך הארקה)

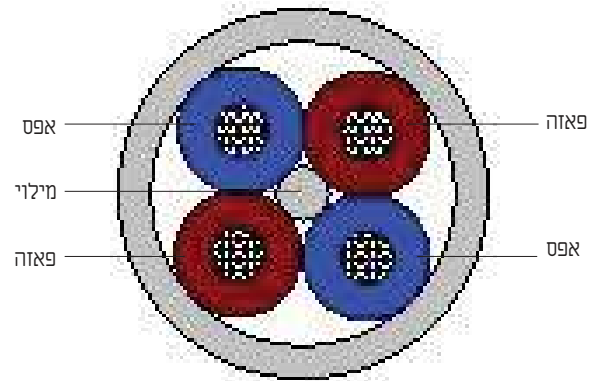


באיורים 2 ו-3 אשר מציגים בהתאמה סקיצות של מבנה כבל חד מופעי ללא מוליך הארקה, וכבל חד מופעי שהוא בעל מוליך הארקה.

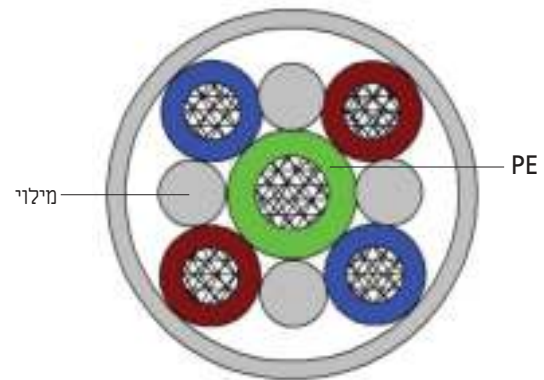
בדיקה השוואתית של השדה המגנטי הנוצר בכבל ירוק מול כבל מקביל רגיל

כידוע בספרות המקצועית, השדה הנוצר בגיד בודד, דועך לינארית עם המרחק מהגיד ($1/r$), ואילו השדה מכבל כוח רגיל (חד פאזי ותלת פאזי) דועך עם ריבוע המרחק מהכבל ($1/r^2$), כמתואר במשוואה הבאה:

איור 2: מבנה כבל "ירוק" חד מופעי ללא מוליך הארקה



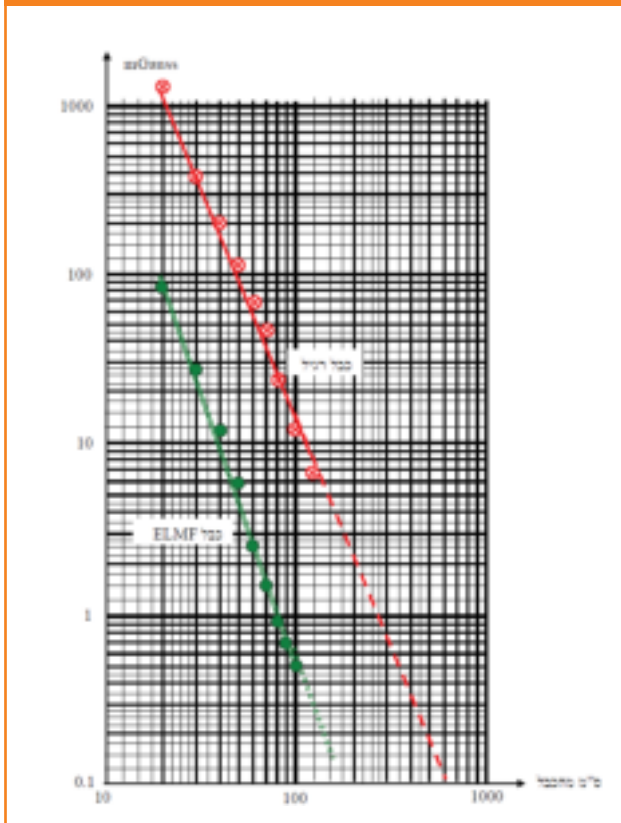
איור 3: מבנה כבל "ירוק" חד מופעי הכולל מוליך הארקה



טבלה 1: דעיכת השדה המגנטי כתלות במרחק מהכבל - תוצאות ניסוי על גבי כבל "ירוק" בהשוואה לכבל "רגיל"

צפיפות השטף המגנטי התלת צירי mGauss		מרחק מהכבל מ"מ
כבל רגיל	כבל ELMF	
1100	85	20
390	28	30
200	11	40
105	5	50
62	2.5	60
36	1.4	70
21	0.9	80
13	0.7	90
6	0.5	100
2.8	רקע	110
0.9		120
רקע		150

איור 4: דעיכת השדה המגנטי כתלות במרחק מהכבל - תוצאות ניסוי על גבי כבל "ירוק" בהשוואה לכבל "רגיל"



- השראה עצמית נמוכה ב-50% בהשוואה לכבלים רגילים בעלי חתך זהה.
- בטבלה 2 מוצגות תוצאות ניסוי שנערך למדידת השראות של כבל מפחית שדה בהשוואה לכבל רגיל.
- השראות נמוכה גורמת להקטנת מפל המתח ליחידת אורך, ויש לכך יתרון רב כאשר מדובר בקווי תשתית ארוכים.
- טמפרטורת העבודה במצב שיווי משקל נמוכה יותר.

כאשר $B \approx \frac{\mu_0 I r_0}{\pi r^2}$ מרחק המדידה מהכבל גדול בהרבה מרדיוס הכבל
 μ_0 - מקדם פרמביליות של ריק
 r_0 - רדיוס הכבל
 r - המרחק מהכבל
 I - הזרם בכבל

לעומתם, השדה מהכבל הירוק דועך ביחס לחזקה השלישית של המרחק מהכבל ($1/r^3$), כמתואר במשוואה הבאה:

$$B \approx \frac{\mu_0 I r_0^2}{\pi r^3} \quad \text{כאשר הרדיוס של כבל ירוק שווה ל-} r_0/\sqrt{2}$$

לאחרונה נערך ניסוי שמטרתו למדוד את עוצמת השדה המגנטי וקצב דעיכתו, תוך השוואה בין כבל ירוק לכבל רגיל. בטבלה 1 ובגרף שמוצג באיור 4 מתואר השינוי בעוצמת השדה המגנטי כתלות בשינוי המרחק מהכבלים (רגיל וירוק), כפי שנמדד בניסוי עבור חיבור משולש בזרם 800 אמפר מאוזן. ניתן להבחין, לדוגמה, שבמרחק של 20 ס"מ מהכבלים, נמדדה עוצמת שדה מגנטי של כ-1100 מיליגאוס מהכבל הרגיל וכ-85 מיליגאוס מהכבל הירוק. למעשה, בהתבסס על המשוואות התיאורטיות, התרחקות של פי 5 מהכבל (מרחק מטר) אמורה להפחית את השדה פי 25 בכבל הרגיל (לערך של 44 מיליגאוס) ופי 125 (5) בחזקה שלישית) בכבל הירוק (לערך של 0.68 מיליגאוס). בפועל אף נמדדו ערכים מעט נמוכים יותר - במרחק של מטר מהכבלים נמדדה עוצמת שדה מגנטי של כ-6 מיליגאוס מהכבל הרגיל, וכ-0.5 מיליגאוס מהכבל הירוק.

(נציין שבניסוי זה נעשה שימוש בכבלים בעלי מוליכי אלומיניום וכן בכבל "ירוק" שאינו כולל גיד הארקה).

יתרונות נוספים של השימוש בכבל הירוק

בנוסף להפחתת השדה המגנטי, לכבלים אלה מספר יתרונות נוספים בהשוואה לכבלים "רגילים":

איור 5: דוגמה - אביזרים ייעודיים לחיבור 2 גידים



איור 6: דוגמה - חיבור לפס צבירה



טבלה 2: תוצאות ניסוי למדידת השראות בכבל מפחית שדה בהשוואה לכבל "רגיל"

	כבל "ירוק" תלת מופעי 6*2.5 mm ² + 1*6 mm ²	כבל "רגיל" תלת מופעי 4*6 mm ²
L12 in mH/km	0,324	0,626
L23 in mH/km	0,330	0,620
L13 in mH/km	0,324	0,630

בטבלה 3 מוצגות תוצאות של ניסוי שנערך למדידת טמפרטורת העבודה של כבל מפחית שדה בהשוואה לכבל "רגיל". בניסוי הושוּו 2 כבלים תלת פאזיים (בעלי גידים מנחושת), הרגיל בעל 4 גידים בחתך 6 ממ"ר כ"א והמקביל לו כבל "ירוק" הבנוי מ-6 גידים בני חתך 2.5 ממ"ר סביב גיד אפס בחתך 4 ממ"ר.

טבלה 3: תוצאות ניסוי למדידת טמפרטורת העבודה של כבל מפחית שדה בהשוואה לכבל "רגיל"

	כבל רגיל	"כבל ירוק"
	4 x 6mm ²	6 x 2.5 + 1 x 4mm ²
זרם	49A	49A
טמפ' סביבה	20°C	20°C
טמפ' במצב מתמיד	54°C	53°C
שינוי טמפ'	34°C	33°C

כמתואר בטבלה, על אף ההורדה בדרגת שטח החתך ב-17% (זוג גידים בחתך 2.5 ממ"ר כ"א לכל פאזה), כלומר חתך של 5 ממ"ר במקום 6 ממ"ר, נשמרת אותה טמפרטורת עבודה.

אופן החיבור למערכות ומתקני חשמל

כמתואר לעיל, כבל מפחית שדות הוא כבל מרובה גידים, ולכן חשוב ונדרש להשתמש גם באביזרים ייעודיים המתאימים לחיבורם. קיימים מחברים ייעודיים לחיבור 2 גידים באותו מופע, כגון מהדקי לחיצה המתאימים ל-2 גידים בחתכים ייעודיים, מהדקים כפולים (איור 5) ועוד. באיור 6 מוצג לדוגמה חיבור גידי המופע של כבל "ירוק" לפסי צבירה, כך ששני גידים מחוברים יחדיו באמצעות נעל כבל משני הצדדים של פס הצבירה. לעניין זה חשוב להבהיר, שחיבור גידי אפס משני צדי פס אפס (כפי שמוצג באיור 6 עבור גידי מופע) אסור, מאחר ועל-פי תקנת משנה 24 (ג) בתקנות החשמל (התקנת לוחות במתח עד 1,000 וולט), נקבע: "בלוח עם גישה מהחזית בלבד, יימצאו הפס או הדקי האפס בחזית....."



תקני ניהול אנרגיה חדשים

האנרגיה), מניעת מדידה או חישוב כפול ומוטעה של החיסכון, ועוד.

תקן ישראלי ת"י 17741 "כללים טכניים כלליים למדידה, לחישוב ולאומות של חיסכון באנרגיה בפרויקטים"

תקן זה מאמץ את התקן הבינלאומי ISO 17741 General technical rules for measurement, calculation and verification of energy savings of projects ומפרט את ההליך הבסיסי למדידה ואומות של נתונים (Verification).

בין היתר מגדיר התקן 3 שיטות חישוב של החיסכון האנרגטי:

- "השוואה ישירה" (Direct comparison): משמשת לקביעת החיסכון האנרגטי כאשר מדובר במערכות שלא מושפעות ממשנתנים כמו שעות הזריחה והשקיעה, טמפרטורת סביבה, מזג אוויר וכדומה – לדוגמה, מערכות תאורת פנים מלאכותית. כמו כן היא ישימה רק כאשר ניתן "להפעיל" או "להפסיק" פעולות לחיסכון אנרגטי בכל עת ללא



השפעה על צריכת האנרגיה של מערכות אחרות. לדוגמה, כאשר השאירו את הצידוד הישן כגיבוי וניתן להפרידו מהצידוד החדש, ניתן להפעילו באופן נפרד מהצידוד החדש וכך למדוד את ההשפעה של החדש ביחס לישן.

- "חישוב מותאם" (Adjusted calculation): שיטה זו ישימה למרבית הפרויקטים של שיפוץ ושיפור צידוד (retrofit). השיטה מבוססת על השוואת נתוני קו הבסיס של צריכת האנרגיה בתקופה שקודמת לפעילות לצורכי חיסכון אנרגטי, בהשוואה לצריכת האנרגיה בתקופה המקבילה לאחר נקיטת צעדים לחיסכון, תוך נירמול והתאמת התוצאות לשינויים של משתנים כגון: מזג אוויר, שינויים מבניים ותהליכיים במיתקן, שינויים במשטרי הפעלה, וכדומה.
- "סימולציה של מדידה" (Calibrated simulation): שיטה זו ישימה במקומות שבהם לא קיימים נתוני צריכה של קו הבסיס וכן, כאשר אין אפשרות לקבל נתונים אנרגטיים עכשוויים.

תקן ישראלי ת"י 17743 "חיסכון באנרגיה – הגדרת מסגרת מתודולוגית ישימה לחישוב ולדיווח של חיסכון באנרגיה"

תקן זה מאמץ את התקן הבינלאומי ISO 17743 Energy savings – Definition of a methodological framework applicable to calculation and reporting on energy savings ומסגרת מתודולוגית הישימה לחישוב ולדיווח של חיסכון אנרגטי.

גם תקן זה נותן דגש לחשיבות קביעת קו הבסיס של צריכת האנרגיה וההשוואה אליו, עם החשיבות שיש לתת לעדכון וכיוון התוצאות שמתקבלות בעקבות שינויים של משתנים כגון מזג אוויר, שינויים במשטרי הפעלה, שינויים בתפוקות של תהליכי ייצור וכדומה, בהשוואה בין שתי תקופות המדידה. התקן מציג מספר סקיצות להמחשת חשיבות השינויים הללו, כפי שמתואר באיור 1 לדוגמה. ההשפעה של השינויים הללו יכולה להיות חיובית או שלילית על ערכי החיסכון האנרגטי המושג.

בהמשך למאמר "תקני ניהול אנרגיה" שכתב המהנדס ראפת חג'אזי ופורסם בגיליון אוגוסט 2015 של המידעון, אבקש להציג בפני קהל הקוראים 3 תקני ניהול אנרגיה נוספים, שאומצו לאחרונה על-ידי התקינה הישראלית.

כפי שאנו חוזרים ומדגישים מזה שנים רבות, התייעלות אנרגטית נכונה היא דרך חיים של ארגון ולא פעילות חד פעמית. משמעות הדבר היא הצורך ליישם מדידה נכונה ובקרה נכונה של הפעילות, אשר עשויות להניב חיסכון בלתי מבוטל לאורך חיי המיתקן. לשם כך מומלץ לעבוד בהתאם לשיטות וכלים של מדידה ואומות נתונים, ועל-פי מתודולוגיות חישוב ודיווח של החיסכון האנרגטי. כל אלו ועוד מוגדרים בתקנים.

במאמר זה מוצגים בקצרה 3 תקנים שאומצו לאחרונה על-ידי התקינה הישראלית, המבטאים הלכה למעשה שיטות וכלים לחישוב, מדידה ואומות של חיסכון אנרגטי.

תקן ישראלי ת"י 50047 – "חיסכון באנרגיה – קביעה בארגונים"

תקן זה, המבוסס על מסמך של ארגון התקינה הבינלאומי ISO 50047 Energy saving – Determination of energy saving in organizations, ומתאר גישות לקביעת חיסכון באנרגיה בארגונים. התקן דן בין היתר בנושאים הבאים:

הגדרת תנאים מוקדמים

על הארגון לקבוע מהי מטרת הפעילות. לדוגמה, האם מתבצעת מתקף חובה בלבד? האם למטרת דיווח שנתי? האם כחלק ממערכת ניהול אנרגיה על בסיס תקן 50001? האם במטרה ליישם פעולות לחיסכון אנרגטי על בסיס קריטריונים כלכליים, וכדומה.

הגדרת גישות לקביעת החיסכון האנרגטי

התקן מגדיר 2 גישות: הגישה הראשונה מבטאת את סה"כ השינוי בצריכת האנרגיה של הארגון.

הגישה השנייה שמוצגת בתקן מבטאת את החיסכון האנרגטי המצטבר כתוצאה מיישום פעולות ליעול הצריכה.

"חשבוונאות אנרגיה"

מלבד שיעורי החיסכון, חשיבות רבה למדידת וחשיוב צריכת האנרגיה תוך הבחנה בין האנרגיה הראשונית והאנרגיה המסופקת, וקביעת יחס ההמרה בין שתיהן.

הגדרת נתונים לקביעת החיסכון האנרגטי

הגדרת משך התקופה הנבחנת, קביעת קו הבסיס למדידה (Energy Baseline) ונירמול של צריכת האנרגיה בהתאם למשתנים אשר משפיעים על צריכת האנרגיה (כגון שינויי טמפרטורה, שינויים במבנה המיתקן הנמדד, שינויים בתוצרי ייצור במפעלי ייצור לדוגמה, ועוד).

חישוב החיסכון האנרגטי ודיווח על החיסכון

עקרונות לחישוב נכון ודיווח של החיסכון האנרגטי תוך התייחסות להשפעות עקיפות של יישום צעדים לחיסכון במערכת מסוימת על מערכות אחרות (השפעות לטובה או לרעה על צריכת



ההיבט ההתנהגותי של ההתייעלות האנרגטית

ההתייעלות אנרגטית היא כלי חשוב ליישום מדיניות שמטרתה צמצום צריכת האנרגיה ופליטות גזי חממה ומזהמים, במקביל לצמיחה כלכלית של המשק. המודעות הגוברת להגנה על הסביבה ואף הצורך להקטין את התלות בדלקים מתכלים כמשאב אנרגיה, הובילו מדינות רבות לפעול ליישום מדיניות של התייעלות אנרגטית. הפעם, כהשלמה למאמרים קודמים שפירסמנו בנושאי טכנולוגיות לקידום התייעלות אנרגטית, נציג את הגורם ההתנהגותי אשר משפיע על צריכת האנרגיה ועל פוטנציאל ההתייעלות



החשמל שלהם גבוהה, יש צורך לבצע שינויים פסיים בסביבת העבודה - לסגור תריסים, להפעיל מאווררים, להשתמש במנורות שולחן במקום בתאורת תקרה, ואף להתקין חיישני נוכחות אוטומטיים; לשנות הרגלים - להתאים את הלבוש לטמפרטורה האמיתית; ולסגל שינוי פסיכולוגי פנימי - בניסיון להתעלם מאי-הנוחות, הנגרמת עקב הצורך לוותר על הרגלים שתוצאתם הייתה נעימה יותר, אך בעייתית מבחינה אנרגטית. בהקשר זה חשוב לציין, כי חלק בלתי נפרד מהנוחות של סביבת העבודה טמון בנוחות הקרמית (הקשורה למיזוג אוויר ולחימום), ובהיבט זה יש הבדל בין נשים לגברים, כפי שיתואר בהמשך המאמר.

הטרמפיסט (The Free Rider)

החסמים בפני התייעלות אנרגטית הם למעשה כל הגורמים אשר עלולים להפריע או לעכב יישום של טכנולוגיות או תהליכים למטרת התייעלות אנרגטית. בין החסמים הבולטים ניתן למנות חוסר במידע או אי-מודעות של הצרכנים בנוגע לשימוש יעיל וחסכוני באנרגיה, ואף לשימוש ובחירה נכונים בטכנולוגיות המתאימות לחיסכון באנרגיה; העדר מימון ותמריצים מספיקים; אי-ודאות ביחס לחיסכון ולהחזר ההשקעה; אי-ודאות בנוגע למחירי האנרגיה, ועוד.

אחד החסמים ההתנהגותיים הבולטים בהקשר זה הוא תופעת ה"טרמפיסט" - אדם הצורך מוצר מבלי לשלם תמורתו. אם נחזור לדוגמת המשרד, ה"טרמפיסטים"

כאן הם העובדים השכירים - הם אינם נדרשים לשלם עבור הוצאות האנרגיה/החשמל של סביבת עבודתם, ולכן לכאורה אין להם כל אינטרס להשתמש בחשמל/באנרגיה באופן יעיל.

על-מנת להתגבר על חסמים אלו נדרש לנקוט צעדים שונים, כגון שיפור זרימת המידע לקהל פוטנציאלי, ומעקב מתמיד אחר צריכת האנרגיה באמצעות עריכת סקרי אנרגיה של כל מיגזר. לאחר ניתוח הסקרים והסקת מסקנות ניתן לתת הנחיות למשתמשי הקצה, כל אחד בתחומו. נוסף על כך, מערכת הסברה היא אמצעי טוב להעברת מסר למשתמשים, אם באמצעי התקשורת ואם באמצעות חלוקת חוברות הדרכה ושיחות מקוונות.

ההתנהגות של דיירי מבנה משפיעה על צריכת האנרגיה בו באותה מידה שמשפיעה היעילות האנרגטית של הציוד צורך האנרגיה המותקן בו

ההתייעלות אנרגטית היא פרי יישום של אמצעים טכנולוגיים, התנהגות בני האדם, ושינויים בהרגלי החיים. סוכנות האנרגיה הבינלאומית (IEA) קבעה זה מכבר, כי התייעלות אנרגטית היא כלי רב-עוצמה ויעיל להשגת חיסכון באנרגיה ולצמצום פליטת פחמן דו-חמצני. לטענת הסוכנות, עד שנת 2030 יופחתו יותר פליטות פחמן דו-חמצני באמצעות התייעלות אנרגטית ושינוי התנהגותי, מאשר באמצעות כל אמצעי ייצור האנרגיה המתחדשת - רוח, סולאר וכדומה - גם יחד. שימוש באמצעים טכנולוגיים ליעול צריכת האנרגיה אינו הפתרון היחיד, שכן אופי צריכת האנרגיה הוא תוצאה של שוני בהתנהגותם של בני אדם. נוסף על כך, שינוי הרגלי שימוש נעשה חשוב במיוחד כאשר אנשים כבר אימצו אמצעים טכנולוגיים ליעול הצריכה, אך הם אינם משתמשים בהם בצורה נכונה. לדוגמה, כיוון לא נכון של טמפרטורת המיזוג, פתיחת חלון או דלת של חדרים ממוזגים וכדומה, הם היבטים התנהגותיים אשר משפיעים על צריכת האנרגיה.

המועצה העולמית לעסקים למטרת פיתוח בר-קיימא (WBCSD) הדגישה את המשקל הרב שיש להתנהגותם של בני אדם בצריכת האנרגיה, וקבעה עוד בשנת 2007 שההתנהגות של דיירי המבנה משפיעה על צריכת האנרגיה בו באותה המידה שמשפיעה היעילות האנרגטית של הציוד צורך האנרגיה המותקן בו.

נטיות התנהגותיות (כגון נטייה לדחות דברים או לסטות מהנושא ולהסיט את תשומת הלב) משפיעות באופן תת-הכרתי על התפיסה ועל קבלת ההחלטות של אנשים, ויכולות להעיב גם על יישום של התייעלות אנרגטית. לדוגמה, אנשים נוטים להתנגד לעיתים קרובות לביצוע פעולות המניבות רווחים לטווח ארוך אם הן "אינן נעימות" בטווח הקצר. כשמדובר בחיסכון באנרגיה הדבר מתבטא, הלכה למעשה, בכך שהם מעדיפים שלא לאמץ טכנולוגיות קיימות. אמנם, לעיתים הסיבה לכך היא כלכלית, אך לא פעם מדובר במחסומים התנהגותיים.

הקושי העיקרי במובן זה הוא הצורך להתגבר על אי-הנוחות שעלולה לגרום התייעלות אנרגטית בסביבת העבודה או המגורים של צרכן האנרגיה. כך, למשל, על מנת להתמודד עם צמצום השימוש באמצעי קירור, חימום, תאורה מקומיים שצריכת

נוחות תרמית - הבחנה בין מגדרים

כאמור, יש הבדל בין נוחות תרמית של גברים לבין זו של נשים, והוא משפיע על הרגלי צריכת האנרגיה שלהם. נוחות תרמית מוגדרת כתחושה סובייקטיבית של גוף האדם בתנאים תרמיים מסוימים, כגון לחות, תנועת אוויר, טמפרטורה, מאמץ גופני, ומידת הבידוד של הבגד. הבדלים במובנים אלו קיימים בין כל בני האדם, ולמעשה, אף סביבה תרמית אינה יכולה לספק את דרישות כולם. עם זאת, קיים תחום ממוצע אשר נחשב כתחום הנוחות התרמית.

כדי לקדם את נושא ההתייעלות האנרגטית בסביבת עבודה יש לתת את הדעת על היבט זה, ועל ההבדלים בין נשים לגברים. מחקרים בנושא זה מלמדים, שבסביבות תרמיות יומיומיות (בתים, משרדים וכדומה) נשים פחות מרוצות מטמפרטורת החדר מאשר גברים: הן מעדיפות טמפרטורת חדר גבוהה יותר מאשר גברים, וחשות אי-נוחות במצב של קור ובמצב של חום גם יחד לעיתים קרובות יותר מאשר גברים. יחד עם זאת, על אף שנשים ביקורתיות יותר לגבי הסביבה התרמית שלהן, גברים משתמשים בווסת הטמפרטורה יותר פעמים מאשר נשים.

למעשה, אי-נוחות תרמית, עדיין נפוצה ומהווה בעיה גדולה ואתגר למתכנני בניין. תכנון שלא מביא בחשבון את הסוגיות הנ"ל מוביל לכשלים אנרגטיים המתבטאים לדוגמה בשימוש בתנור חימום או במפזר חום מקומי המוצבים בסמוך לשולחן העבודה שלו או שלה.

מכאן ואילך נמחיש באמצעות כמה דוגמאות כיצד משפיעה התנהגותם של בני האדם על היקפי צריכת האנרגיה.

דוגמאות של השפעת הגורם האנושי על צריכת האנרגיה

פתיחת חלונות במבנה ממוזג

כאשר אנו ממזגים את החלל שבו אנו שוהים, אנו מסלקים חום ממנו. למעשה, כאשר נוסף מקורות חום לחלל הממוזג (כגון עקב פתיחת חלון), נצטרך להשקיע יותר אנרגיה כדי לקרר אותו. באיור 1 מוצג לדוגמה צילום תרמי חיצוני של מבנה משרדים שבו נפתחו חלק מהחלונות, דבר המשקף בזכז בצריכת האנרגיה של מערכת המיזוג בבניין. לעיתים הדבר נובע מכשל התנהגותי עקב חוסר ההבנה של משמעות פתיחת החלונות, או בשל חוסר ידע על תפקוד המערכות בבניין. הטענה שפתיחת החלונות נועדה להכניס אוויר צח החסר במבנה לרוב אינה מבוססת, היות שבבניינים רבים קיימות מערכות להכנסת אוויר צח באופן מאולץ, כך שפתיחת החלון מיותרת.

איור 1: פתיחת חלונות במבנה ממוזג - השפעה על צריכת האנרגיה למיזוג אוויר



מקור: The Big Switch, Energy Efficiency and Behavioural Change - www.thisis.eu

הפעלת תאורה מלאכותית לשווא

ישראל היא מדינה שטופת אור. ניצול התאורה הטבעית ושימוש יעיל באור יום כמקור אור ראשוני לחלל המואר (תוך מניעת כניסת חום באמצעות קרני שמש ישירות) עשוי להניב חיסכון משמעותי בצריכת החשמל לתאורה מלאכותית, כפי שמתואר בדוגמה שבאיור 2. אך נוסף על השימוש בחלונות הגג היעודיים לשם הכנסת אור טבעי למבנה, איור 2 מציג גם כשל התנהגותי לא מבוטל - בחלל זה, השטוף אור טבעי, מופעלת תאורה מלאכותית ללא כל צורך. זהו בזבז אנרגיה מובהק.

איור 2: הפעלת תאורה מלאכותית ללא צורך



מקור: The Big Switch, Energy Efficiency and Behavioural Change - www.thisis.eu

ה"טרמפיסט" הקלאסי

התכנון כעת באיור 3, ושימו לב לוילון המשמש כמסך אוויר. וילון זה נועד למנוע "ברירת" אוויר מהחלל הממוזג, או למנוע כניסה של אוויר חיצוני חם או קר לחלל ממוזג או מחומם. אולם, כפי שנראה היטב בתמונה, על מנת לאפשר תנועה חופשית של עוברים ושבים נקשרו שני חלקי הווילון לצדדי הדלת, כך שנוצר פתח גדול המנטרל את תפקודו ופוגע ביעילותו באופן משמעותי.

איור 3: "עושים את החיים קלים יותר" למרות הפגיעה בצריכת האנרגיה



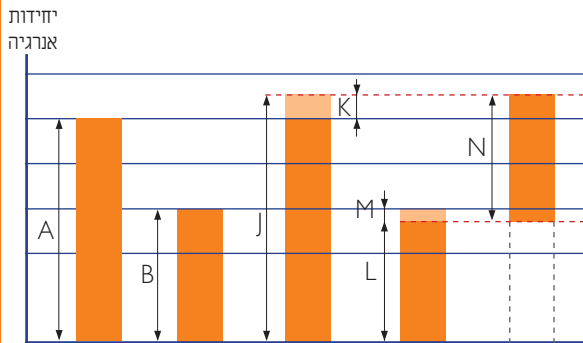
מקור: The Big Switch, Energy Efficiency and Behavioural Change - www.thisis.eu

כיוון שגוי של תרמוסטט

באיור 4 מוצג צילום של צג בקרה של יחידת מיזוג אוויר. ניתן להבחין שמערכת המיזוג עובדת במצב "חימום", אך התרמוסטט מכוון ל-30 מעלות צלזיוס. בספרות המקצועית מומלץ לחמם לטמפרטורה של 20-18 מעלות על מנת לשמור על נוחות תרמית נאותה ולחסוך בצריכת החשמל למיזוג. לפיכך, כיוון התרמוסטט כפי שמוצג באיור 4 יגרום לכך שמערכת המיזוג תעבוד הרבה מעבר לנדרש, והדבר יתבטא בהוצאות חשמל מיותרות.

המשך מעמוד 11

איור 1: קביעת ערך החיסכון האנרגטי על-בסיס כיוון של נתוני הצריכה בעקבות שינויים של משתנים כגון מזג אוויר, משטר עבודה וכדומה



מקרא

- A - צריכת אנרגיה בקו הבסיס (קו הייחוס)
 - B - צריכת אנרגיה בתקופת המדידה ("תקופת הדיווח") לאחר יישום פעילות של חיסכון אנרגטי
 - K - כיוון נתוני צריכת האנרגיה בקו הבסיס - נירמול לתקופת הדיווח (יכול להיות חיובי או שלילי)
 - J - צריכת האנרגיה בקו הבסיס לאחר כיוון (A+K)
 - M - כיוון נתוני צריכת האנרגיה בתקופת הדיווח (יכול להיות חיובי או שלילי)
 - L - צריכת האנרגיה בתקופת הדיווח לאחר כיוון (B+M)
 - N - חיסכון אנרגטי מכוון (J-L)
- כמתואר באיור 1 לדוגמא. החיסכון האנרגטי המכוון N שונה מהחסכון האנרגטי הנוצר בהשוואה בין A ל-B, וזאת בעקבות כיוון הנתונים בהתאם לשינויים השונים, כפי שתואר לעיל.

איור 4: כיוון שגוי של וסת הטמפרטורה (תרמוסטט)



The Big Switch, Energy Efficiency and Behavioural Change - www.thisis.eu

הכוונה, תזכורת ושינוע

איור 4 ממחיש כי לעיתים אנו צריכים שיזכירו לנו, יכוונו אותנו, או אף יותר מכך - ישכנעו אותנו לכבות מכשירים צורכי חשמל בסיום יום העבודה, או כאשר איננו זקוקים להם. אין ספק ששילוט

איור 5: הצורך בהכוונה, בתזכורת ובשינוע



זה צמח על רקע אותם כשלים התנהגותיים בכל הנוגע לצריכת אנרגיה.

לסיכום

מומלץ להשקיע בחינוך ובהסברה, ולשלב תמריצים לארגונים ולעובדים אשר יפגינו שינויים חיוביים בהרגלי הצריכה, על מנת להתגבר על תופעת "הטרמפיסט" הרווחת, ככל הנראה, במקומות עבודה. יתרה מזאת, על מנת לצמצם כשלים התנהגותיים בצריכת אנרגיה אשר נובעים מבעיות בנוחות סביבת העבודה, מומלץ לתכנן מערכות מיזוג אוויר בעלות גמישות תפעולית רבה ככל האפשר על מנת להתאימה, ככל שניתן, לנוחות התרמית השונה של אנשים שונים, והכל במטרה למנוע איבודי אנרגיה מיותרים. ולסיום, אי-אפשר לשלול פתרונות טכנולוגיים אשר עשויים לסייע להתגבר על הכשלים ההתנהגותיים.



"תמונה אחת שווה אלף מילים"

לוח "שירותי אורחים"

"(א) מוליכים וכבלים יותקנו בלוח בדרך נאותה למניעת נזק עקב הצטלבות, צפיפות ולחץ; מוליכים או כבל של מעגל אחד יהיו ניתנים לזיהוי ולהפרדה ממוליך ומכבל של מעגל אחר."

קשה שלא להבחין באי-הסדר של המוליכים המותקנים בלוח שבתמונה, דבר הנוגד בבירור את הנדרש בתקנה הנ"ל.

לסיום ההתייחסות לתמונה הראשונה, מדובר, כאמור, במיתקן חשמל דירתי. לכך מוקדשת כמוכן התייחסות מיוחדת בפרק ה' שבתקנות הנ"ל. במבט מעמיק בתמונה נבחין שלא מותקן בלוח מפסק מגן, אשר מיועד לנתק באופן אוטומטי מיתקן המוגן על-ידו ממקור הזינה במקרה של הופעת זרם דלף לאדמה, כפי שנדרש בתקנת משנה 29(ד) אשר קובעת:

"(ד) לוח במיתקן דירתי יצויד במפסק מגן, אחד או יותר, כך שכל מעגל סופי במיתקן יוגן בפני זרם דלף העולה על 0.030 אמפר; מפסק המגן האמור יותקן בין המפסק הראשי לבין מבטחי המעגלים הסופיים, אך יכול שהוא יהיה יחידה משולבת עם המפסק הראשי."

אשר לתמונה השנייה המוצגת בפניכם, בה רואים התקנת מבטח ראשי של מתקן חשמלי: אין ספק שיצירתיות ההתקנה המופיעה בתמונה עולה על כל דמיון. השימוש בקופסה המשמשת לאחסון מזון כ"מסד" להתקנת "מבטח ראשי" בדומה להתקנה בקופסת CI - פסול מעיקרו.

בתקנה 1 "הגדרות" בתקנות החשמל (התקנת לוחות במתח עד 1,000 וולט) נקבע:

"מסד - מבנה שעליו מורכב הציוד של הלוח".
בתקנה 4 "תכונות המסד" בתקנות הנ"ל נקבע: "מסד הלוח יהיה בעל תכונות כמפורטות להלן:

- החוזק המכני יבטיח את נשיאת הציוד החשמלי באופן יציב בכל תנאי העבודה במקום התקנתו, לרבות עמידה בכוחות הנוצרים בזרם הקצר הצפוי;

- חומר המסד יהיה בלתי דליק או כבה מאליו;

- מסד שחלק חי חשוף בא במגע איתו יהיה מחומר מבדד."

אין בידינו נתוני מעבדה אודות המאפיינים המכאניים והתרמיים של קופסת המזון שבה הותקן המבטח שבתמונה, אך ברור לכל שייעודה אינו לשמש כמסד של לוח. ברור שהיא אינה מיועדת לעמוד בפני מאמצים וכוחות אלקטרו-דינמיים, עמידותה בפני אש מוטלת בספק וכן ברור שהיא אינה מוגנת בפני מים ואבק כנדרש להתקנה חיצונית זו.

אין ספק שזו התקנה לא ראויה המבטאת זילות כלפי המקצוע שבו אנו עוסקים.



בתמונות שלפניכם סיטואציות חשמליות "יצירתיות".

הכותרת הצינית שבחרנו להעניק לפינה מבטאת את תדהמתנו בכל פעם מחדש, מהמקרים שאנו מציגים בפניכם.

תחילה נדון בתמונה הראשונה המוצגת לפניכם. נציין שמדובר במיתקן חשמל דירתי.

אנו משערים שלקופסת הנתיכים, למונה החשמל וללוח החשמל (אם ניתן לכנותו כך בכלל) המופיעים בתמונה, "זכות ראשונים" על המקום בו הם מותקנים. ככל הנראה, השירותים נבנו מאוחר יותר אולם אין זה גורע מהסיטואציה הבעייתית שנוצרה.

בתקנה 1 "הגדרות" בתקנות החשמל (התקנת לוחות במתח עד 1,000 וולט) נקבע:

"לוח - מסד והציוד החשמלי המורכב עליו להבטחה של מיתקן חשמל, לפיקוד ולפיקוח;....."

האובייקט המופיע בתמונה אכן עונה להגדרה זו, אך נשאלת השאלה האם הוא עונה לדרישות אחרות של התקנות.

בתקנה 6 "תכנון ומיקום לוח" בתקנות החשמל (התקנת לוחות במתח עד 1,000 וולט) נקבע:

(א) לוח יתוכנן, ייבנה וימוקם כך, שתתאפשר גישה נוחה לכל חלק מחלקיו למטרות תפעול ותחזוקה; מקום התקנתו יהיה מואר ומאוורר בצורה נאותה.

(ב) לוח יתוכנן וימוקם כך שהטמפרטורה המרבית של כל חלק מחלקיו, לרבות המסד, לא תעלה על המותר לגביו.

(ג) לוח לא יותקן בחדר מקלחת או בחדר אמבטיה."

ברור מעל לכל ספק כי התקנה זו לא מאפשרת גישה נוחה למטרות תפעול ותחזוקה. נוסף על כך, אנו לא בטוחים שהמקום מואר ומאוורר בצורה נאותה, כנדרש בתקנה זו.

אשר לעניין ההתקנה בחדר שירותים, בתקנת משנה 6(ג) נאסר להתקין לוח בחדר מקלחת או אמבטיה ולא מוזכר חדר שירותים. על כך ניתן לומר בבדיחות: "כשר אבל מסריח".

יתירה מזאת, אמצעי ההפעלה שבלוח מותקנים בגובה העולה על 2 מטרים, וזאת בניגוד לנדרש בתקנת משנה 16(ב) בתקנות הנ"ל, האוסרת על התקנה בגובה מעל 2 מטרים (האיסור לא חל על מבטחים של חברת החשמל).

בתקנת משנה 20(א) "התקנת מוליך או כבל" בתקנות החשמל (התקנת לוחות במתח עד 1,000 וולט) נקבע:

תשע"ח

שנה טובה
ומבורכת
לכל העוסקים
בחשמל!

