ISSN 0793-8152
פברואר • 2015

פאזה

מידען מקצועי לחשמל

איתך קצת יותר
חברת החשמל



מתחי יתר חולפים • מיזוג אוויר בטכנולוגיית VRF • החפתחויות בתחום מניית אנרגיה חשמלית • יישום של טורבינות רוח במדינת ישראל - תמ"א 12/ד/10 • עידכונים טכניים עיקריים בתקנות החשמל ומועד תחילתם • השוואת מחירי חימום חדרים באמצעות מכשירים ומיתקנים שונים • הנחיות מנהל ענייני החשמל לבניינים העוברים שינוי במסגרת תמ"א 38 • פינת "תמונה אחת שווה אלף מילים" • פינת "עושים חשבון" - חישובי העמסת כבלים • מערכת "מגדלור"

מה במידעון

3 מתחי יתר חולפים

6 מיזוג אוויר בטכנולוגיית VRF
Variable Refrigerant Flow

8 התפתחויות בתחום מניית אנרגיה חשמלית

11 יישום של טורבינות רוח במדינת ישראל – תמ"א 12/ד/10

14 עידכונים טכניים עיקריים בתקנות החשמל ומועד תחילתם

18 השוואת מחירי חימום חדרים באמצעות מכשירים ומיתקנים שונים

19 הנחיות מנהל ענייני החשמל לבניינים העוברים שינוי במסגרת תמ"א 38

20 "תמונה אחת שווה אלף מילים"

21 "עושים חשבון" – חישובי העמסת כבלים

23 מערכת "מגדלור"

דבר העורך



קוראים יקרים,

אנחנו שמחים להגיש לכם את גיליון פברואר 2015 של מידעון "פאזה אחרת", שבו מיגוון כתבות ועדכונים:

מזג האוויר הסוער אשר מלווה אותנו בחודשים אלה מזכיר לנו את התופעות הקשורות בשינויי מתח קיצוניים (מתחי יתר חולפים), ואת השפעתם על ציוד אלקטרוני רגיש. המאמר שבפתח הגיליון מתאר את הגורמים ליצירת מתחי יתר חולפים, את השפעתם, את הנזקים האפשריים לציוד אלקטרוני רגיש, ואת הדרכים המקובלות להתמודדות עם התופעה.

על אף ירידת מחירי הדלקים, וירידת מחירי החשמל כתוצאה מכך, יש צורך להמשיך בתהליכים של התייעלות אנרגטית ושימוש מושכל באנרגיה חשמלית. הדבר אמור הן במכשירים עצמם והן במישור התפעולי. בגיליון זה מוצגת אחת הטכנולוגיות המתקדמות במערכות מיזוג אוויר, טכנולוגיית VRF, שביכולתה לשלוט על כמות הקרר המסוחרר במערכת, להתאים את תפוקת המערכת לדרישת הקירור בפועל בחלקים השונים של המבנה הממוזג, ובכך להניב חיסכון משמעותי בצריכת החשמל למיזוג אוויר.

אם בהתייעלות אנרגטית עסקינן, מקובל שמודעות להיקף צריכת החשמל ולמאפייניה יכולה לסייע בהשגת התייעלות אנרגטית במערכות צורכות חשמל. במונה צריכת החשמל התחול מהפך טכנולוגי של ממש: לא עוד מונה אלקטרו-מכני, אלא מונה אלקטרוני המשדר ומקבל מידע בעת ובעונה אחת, ונותן כלים מעשיים לניהול האנרגיה. על כך מאמר בגיליון.

הרשות לשירותים ציבוריים – חשמל פרסמה הסדרות לייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות, ובשל כך גובר העניין בהקמת טורבינות רוח, בנוסף למערכות פוטו-וולטאיות הנפוצות יותר. לשם כך הוכנה תוכנית-אב ארצית (תמ"א), אשר נועדה לקבוע את ההנחיות לאישור הקמתן של טורבינות רוח. במאמר בגיליון מוצגים פרטי התוכנית, וכן היבטים של תקינה ודרישות להתחברות לרשת החשמל.

כמדי שנה אנו מפרסמים השוואת מחירי חימום חדרים באמצעות מכשירים ומיתקנים שונים (המופעלים בדלקים או בחשמל). מזגן האוויר במחזור חימום הוא המכשיר החסכוני ביותר מבין מכשירי החימום.

בגיליון קודם הצגנו את ההיבטים המעשיים ביישום תמ"א 38, שנועדה לחזק מבנים קיימים מפני רעידות אדמה. בגיליון זה אנחנו מפרסמים את הנחיות מנהל ענייני החשמל במשרד התשתיות הלאומית, האנרגיה והמים הנוגעות לבניינים שמבוצעים בהם שינויים במסגרת תמ"א 38.

עוד בגיליון, מידע על עדכונים בתקנות החשמל השונות, תוך ציון מועד תחילתן. הדבר משתלב עם פרסום הספר "חוק ותקנות בנושא חשמל" במהדורה מעודכנת.

כדי לגוון את תוכני המידעון אנו משיקים בגיליון זה שני מדורים חדשים לתועלת הקוראים. ב"עושים חשבון" יוצגו דוגמאות חישוביות מעשיות הנוגעות ליישום דרישות תקנות החשמל, וב"תמונה אחת שווה אלף מילים" נציג מיפגעים בטיחותיים, נתח אותם, ונמליץ על שיפורים. הקוראים מוזמנים להעביר לנו דוגמאות דומות, ואנו נשקול את פרסומן בגיליונות הבאים.

חותמת את הגיליון כתבה על מערכת שפותחה בחברת החשמל בשם "מגדלור", אשר איפשרה שליטה ובקרה לשם איתור תקלות במהלך הסערה האחרונה. מערכת זו מופעלת גם בימי שיגרה, ומאפשרת מתן תמונה בזמן אמת, הן לצוותי העבודה בשטח והן לדרג הניהול בחברת החשמל.

קריאה נעימה ומועילה.
העורך,
בנימין כהן

מ ע ר כ ת

עורך ראשי: בנימין כהן
עורך: שלומי לוי
מערכת: יצחק ברכה, נולדי גרינברג, אברהם יניב, אורי מאור, מני כהן, יפים רוזנפלד
מינהלה והוצאה לאור: יצחק עקיבא
הדפסה: כרכיית המאירי
איור שער האחורי: אנדי צ'אושו
תמונת השער: אתר background-kid.com
עיצוב גראפי והפקה: מרק בלייוויס, תקשורת שיווקית

כתובת המערכת:
מערכת "פאזה אחרת" חברת החשמל, ת"ד 10, חיפה 3100001
טל' 8182681-04. פקס: 8182687-04
e-mail: faza-aheret@iec.co.il
קוד זיהוי: "פאזה אחרת" פברואר 2015 - 081
פאזה אחרת באינטרנט: באתר חברת החשמל www.iec.co.il

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

סרקו את הקוד והכנסו לחוברות פאזה אחרת באתר חברת החשמל

>>> לאוניד ליפקין



מתחי יתר חולפים

מתחי יתר הם תופעות טבעיות הקיימות בכל רשתות החשמל ומיתקני החשמל, והם מתרחשים ברשת הציבורית או במיתקני לקוחות גם יחד. הם מתבטאים בעליות מתח שגורמות לעיתים נזק לציוד חשמלי המחובר לרשת. הגישה החדשה לנושא זה מבדילה בין מתחי יתר "חולפים" לבין מתחי יתר "בתדר הרשת". מאמר זה הוא ראשון מבין שני מאמרים, והוא דן במתחי היתר החולפים. המאמר הבא ידון ב"מתחי יתר בתדר הרשת".

התגובה הדינמית של רשת למיתוגי עומסים, הן מתוכננים והן לא מתוכננים (תקלות ברשת), היא צבירה ושחרור של אנרגיה חשמלית. מעברי אנרגיה אלה גורמים התפשטות של מתחי יתר ברשת.

מתחי יתר, כשמם כן הם, מתבטאים בעליות מתח. מסווגים אותם על-פי מקור ההפרעה ומשך הזמן בו מתרחשת התופעה. בניגוד לעבר, כיום מבחינה הגישה המקובלת בין מתחי יתר חולפים (נוהגים לכנותם "נחשולי מתח"), לבין מתחי יתר בתדר הרשת. שניהם מתבטאים בעליות במתח, אך יש שוני ביניהם בכל האמור במקור ההפרעה, בערכם (גודל), במשכם, ובשיטת ההתגוננות מפניהם.



סיווג מתחי יתר על-פי מקור ההפרעה

מתחי יתר חיצוניים נגרמים על-ידי אירועים שהם חיצוניים למיתקן, כגון פגיעות ברק או תקלות ברשתות הסמוכות ברמות מתח גבוהות. מתחי יתר אלה הם גלים רוכבים קצרים מאוד בעלי דעיכה משמעותית כתלות במרחק, כאשר חזית גל המתח הופכת תלולה פחות. בנוסף, קיימים מתחי יתר ארוכים יותר אשר נגרמים עקב ניתוק עומס, ניתוק אפס, תקלות בציוד בקרת מתח, והשפעה של גנרציה מבוזרת.

מתחי יתר פנימיים נגרמים כתוצאה מאירועים בתוך מיתקן הלקוח, כגון מיתוגים של עומסים לא לינאריים, קשת חשמלית, פעולת נתיך ועוד.

סיווג מתחי יתר על-פי משך ההפרעה

משך ההפרעה משליך באופן משמעותי על הנזק העלול להיגרם למיתקן כתוצאה ממתחי היתר. מסווגים את מתחי היתר על-פי משך ההפרעה לשלוש קבוצות: מתחי יתר קצרים מאוד או חולפים (Transient) – בהם נדון במאמר זה, וכן מתחי יתר בתדר הרשת (עליהם נדון במאמר הבא בהרחבה), אשר נחלקים למתחי יתר רגעיים (swells), ומתחי יתר ארוכים.

מתחי יתר זמניים בתדר הרשת הם הפרעות שנמשכות מ-20 מילישניות עד 10 דקות, ערכם גבוה מ-110% מהמתח הנומינלי, והם נגרמים לרוב עקב פעולות מיתוג וניתוק עומס.

מתחי יתר ארוכים בתדר הרשת הם הפרעות אשר משכן מעל 10 דקות, ערכן גבוה מ-110% מהמתח הנומינלי, והן נגרמות כתוצאה מניתוק אפס ברשת מתח נמוך, פעילות לא תקינה של מערכות ויסות מתח אוטומטיות, אי-איזון מתחים, וגנרציה מבוזרת ברשתות חלוקה.

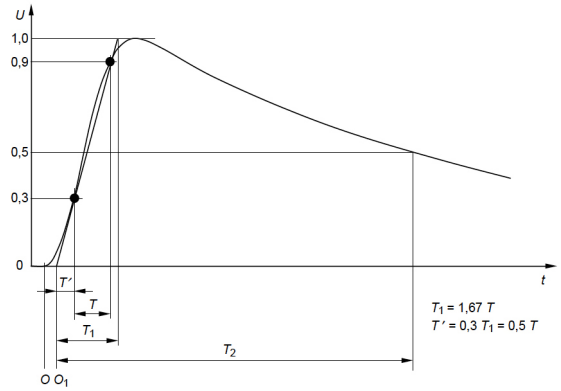
מתחי יתר חולפים (transients)

מתחי יתר חולפים הם נחשולי מתח שערכם עשרות ואף מאות קילו-וולט, משכם מיקרו-שניות, והם נגרמים לרוב עקב פעילות ברקים או מיתוג במערכת חשמל. משך עליית המתח של מתחי יתר חולפים הוא בין מספר מילישניות ומטה לבין חלקי מיקרו-שניה. מסיבות פיסיקליות מובנות, מתחי יתר חולפים שמשכם ארוך יותר הם בדרך כלל בעלי אמפליטודה נמוכה יותר.

תכולת אנרגיה של מתחי יתר חולפים שונה משמעותית כתלות במקור. מתחי יתר שנובעים מברקים הם בעלי אמפליטודה גבוהה יותר, אך בעלי תכולת אנרגיה נמוכה יותר, מזו של מתחי יתר שנובעים מפעולות מיתוג.

נהוג לסווג מתחי יתר חולפים בהתאם לגודל (אמפליטודה) ולמשך/תדר. בנוסף, ניתן להציג מאפיינים כדלקמן: תדר עיקרי של הגל, שיעור שינוי המתח (תלילות חזית גל המתח), ותכולת האנרגיה. שיטה מקובלת של הצגת צורת גל שלהם מוצגת באיור מס' 1.

איור 1: הצגה אופיינית של צורת הגל של מתחי יתר חולפים



מקור: תקן IEC TR 61000-2-14 Environment – Overvoltages on public electricity distribution networks

כמתואר באיור 1, הערכים החשובים הם זמן העלייה של חזית גל המתח – T_1, וזמן עד מחצית הערך – T_2. לדוגמא, ערכים אופייניים למתח יתר חולף שנגרם על-ידי ברקים הם 1.2 מיקרו-שניה לזמן העלייה ו-50 מיקרו-שניות עבור זמן עד מחצית ערך (צורת גל 1.2/50).

מתחי יתר חולפים עשויים להיות תנודתיים או לא תנודתיים,

לאוניד ליפקין - מהנדס חשמל, המחלקה לייעול הצריכה, אגף השיווק, חברת החשמל

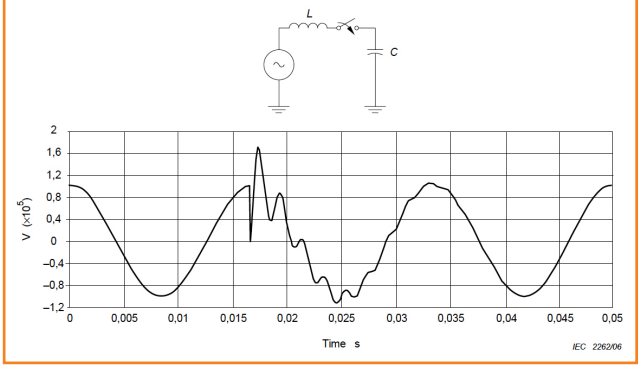
ובדרך כלל הם בעלי דעיכה מהירה, עם זמני עליית החזית הנמשכים בין פחות מ-1 מיקרו-שנייה לבין מספר מילישניות. הגודל, המשך, ותכולת האנרגיה של מתחי יתר חולפים משתנים כתלות במקור שלהם. בדרך כלל, לאלה שהם ממקור אטמוספרי יש אמפליטודה גבוהה יותר, ואלה שמקורם במיתוג הם ממושכים יותר ובעלי תכולת אנרגיה נמוכה יותר.

יתרה מזאת, מתחי יתר חולפים מתפשטים בצורה שונה בהתאם לשיעור העלייה (תלילות חזית) של צורת הגל. מתחי יתר קצרים ברשת חלוקה מתח נמוך בדרך כלל לא יהיו גבוהים מ-6 ק"ו ערך שיא, אך ערכים גבוהים יותר עלולים להתרחש באזורים מסוימים שבהם צפיפות הברקים גבוהה.

מקורות של מתחי יתר חולפים

מתחי יתר חולפים נגרמים על-ידי מספר גורמים, ובהם פגיעות של ברקים ישירות בהתקני הגנה חיצוניים (כולאי ברקים) הממוקמים על בניינים או על קווי הולכה; השראה חשמלית על מוליכים סמוכים שנגרמת על-ידי שדות אלקטרומגנטיים אשר נוצרו כתוצאה מפגיעות ברקים; או עקב מיתוגים של מיתקנים שונים ברשת, כגון שנאים, מנועים, עומסים השראתיים, וסוללות קבלים (לדוגמא, ראו איור 2).

איור 2: דוגמא אופיינית של מתחי יתר חולפים הנוצרים כתוצרה ממיתוג של סוללת קבלים



מקור: תקן IEC TR 61000-2-14 Environment – Overvoltages on public electricity distribution networks

נציין, שמתחי יתר חולפים נוצרים לא רק בקווי חלוקה לאספקת חשמל, אלא הם נפוצים בכל קו אשר עשוי ממוליכי מתכת, כמו קווי טלפון ותקשורת שונים, קווי פיקוד, וקווי העברת נתונים.

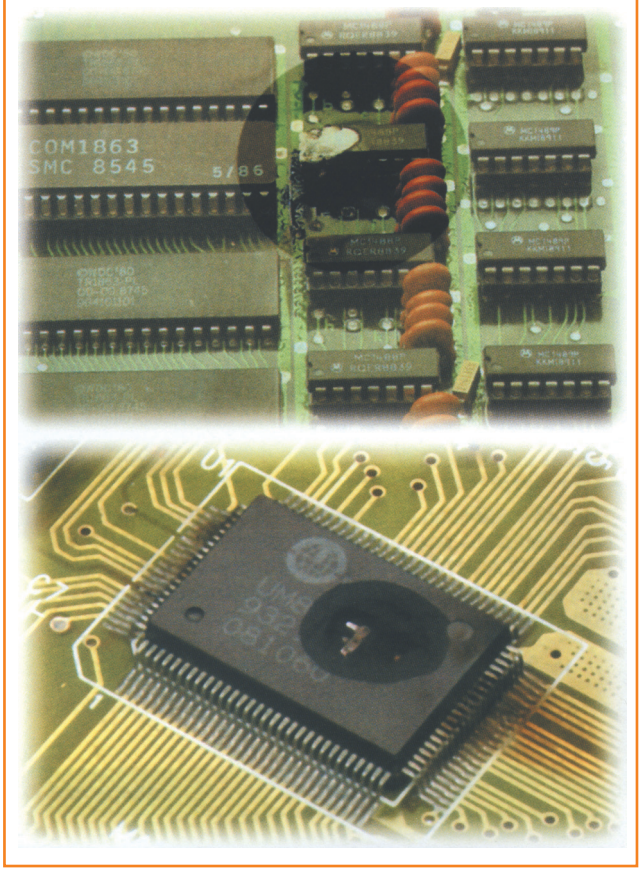
השפעות ונזקים עקב מתחי יתר חולפים

שימוש רחב בציוד תעשייתי בעל רכיבים אלקטרוניים הופך את סוגיית מתחי היתר לבעלת חשיבות מרובה במיתקני חשמל. יכולתם של רכיבים אלה לעמוד במתחי יתר לעיתים נמוכה מזו של ציוד רגיל, ולכן חשוב להגן עליהם מפניהם.

הנזק ממתחי יתר לציוד תלוי בגודל ובמשך של מתח יתר, ובחוסן של הציוד הספציפי. הנזק מתבטא, במקרים הקלים, בירידה בתפעול תקין של הציוד, ויכול להגיע, במקרים קיצוניים יותר, עד תקלה בציוד או אף יציאתו מכלל פעולה. במקרים מסוימים הציוד נהרס מייד, ובמקרים אחרים נפגע תיפקודו באופן הדרגתי, ואף מתקצר משך החיים שלו (ראו לדוגמא איור 3).

כיוון שמתחי יתר ברשתות אספקת חשמל נובעים במידה רבה מתופעות טבע חיצוניות או מהמאפיינים העצמיים של הרשת במצב תפעול רגיל שלה, יכולת המניעה של מתחי יתר במקור היא מוגבלת למדי. לכן, אפשר להשיג תאימות אלקטרומגנטית (EMC) בעיקר באמצעות החסינות של הציוד אשר נתון להשפעות

איור 3: דוגמא לפגיעות מנחשולי מתח בבידוד וברכיבים אלקטרוניים



של מתחי יתר: הציוד צריך להיות מיוצר כך שיהיה מסוגל לתפקד כמתוכנן למרות מתחי היתר, בין אם באמצעות התכנון הפנימי שלו, ובין בעזרת אמצעי מיגון המסופקים למיתקן שהציוד מהווה חלק ממנו. השפעה אפשרית של מתח יתר היא פגיעה בציוד או במרכיביו או הרס שלהם. עם זאת, חסינות הציוד מבחינת תאימות אלקטרומגנטית אמורה להבטיח תפעול תקין של הציוד, דבר שברוב המקרים ממילא ימנע גרימת נזק לציוד.

דרכי התמודדות עם מתחי יתר חולפים

בבואנו לבחון הגנה מפני מתחי יתר יש צורך להביא בחשבון את העובדה, שרשת חלוקת חשמל אינה הדרך היחידה שבאמצעותה יכולים מתחי יתר להגיע למיתקנים ולציוד המחוברים לרשתות אלה. ברק יכול להכות במיתקן עצמו ישירות, באדמה בסמוך למיתקן, או במיתקני תקשורת, מיתקני איתות, או מיתקנים אחרים המחוברים למיתקן או לציוד. יתר על כן, מתחי יתר עלולים להתרחש דרך אינטראקציות בין ממשקים של מערכות אלה, עקב שינוי גדול באחד מפוטנציאלי ייחוס של ההארקה במהלך זרימת נחשול זרם, ועל-ידי צימוד השראתי או קיבולי קרוב למקום פגיעת ברק עקב שדות אלקטרומגנטיים גבוהים הנוצרים בשל זרם של ברק.

ההגנה ברשתות מושגת באמצעות התקנה של מגיני קו במקביל בין הקו לאדמה: במקרה של מתח יתר חולף יפרוק המגן אנרגיה עודפת לאדמה, ובכך יגביל מתח שיא לערך מקובל עבור הציוד החשמלי המחובר לקו.

הגנה מפני נזקים של מתחי יתר חולפים הנגרמים כתוצאה מפעולות מיתוג מבוצעת לעיתים בנקודת המיתוג. לדוגמא, כדי למזער מתחי יתר חולפים במיתוג סוללות קבלים, סלילים, שנאים וקווי הולכה ארוכים, משתמשים בשיטות של מיתוג מבוקר.

כדי לעמוד במתחי יתר חולפים ברוב המוחלט של המקרים, צריכים מיתקני מתח נמוך ומכשירי חשמל להיות מתוכננים בהתאם לדרישות המופיעות בתקן הבינלאומי IEC 60664-1 (Insulation coordination for equipment within low-voltage systems - Part 1: Principles, requirements and tests).

התקני הגנה בפני נחשולי מתח (Surge Protective Devices)

התקנים אלו מיועדים להגביל מתחי יתר חולפים (נחשולי מתח) שמקורם באטמוספרה (ברקים). תפקידם להטות גלי זרם לאדמה, ובכך להגביל אמפליטודה של מתחי היתר לערכים שלא עשויים לגרום נזק למיתקן חשמלי וללוחות מיתוג ובקרה. הם מותקנים ברשתות אספקת חשמל, וכן ברשתות טלפון ותקשורת, פיקוד ובקרה, ומהווים אחד המרכיבים של מערכת הגנה של מיתקני חשמל.

למעשה, התקני הגנה בפני נחשולי מתח מותקנים בסמיכות לכניסה למיתקן חשמלי או בלוח הראשי של המיתקן. יחד עם זאת, עשויים להיות נחוצים התקני הגנה נוספים משניים - כדי להגן על ציוד רגיש, וכאשר המרחק בין התקן הגנה ראשי לבין לוח חלוקה משני עולה על 30 מטרים. התקני ההגנה המשניים צריכים להיות מותקנים בתיאום עם התקני ההגנה הראשיים, כפי שנקבע בתקנים הרלבנטיים המצוינים בהמשך.

תקן ישראלי ת"י 61643 חלק 11 - "התקני הגנה מפני נחשולי מתח וזרם המחוברים למערכות הספקת חשמל במתח נמוך: דרישות ביצועים ושיטות בדיקה" (המקביל והזהה לתקן IEC/EN 61643-11), הוא התקן שקובע אופייני ביצועים ושיטות תקניות לבדיקה ולדירוג של המגינים.

עקרונות ההתקנה של התקני הגנה בפני נחשולי מתח בבניינים נקבעו בתקנים הבאים:

IEC 60364-4-44 Electrical installations of buildings - Part 4-443 : Protection against over-voltages of atmospheric origin or due to switching

IEC 60364-5-53 Electrical installations of buildings - Part 5-534 : Devices for protection against over-voltages

קיימים שלושה סוגים של התקני הגנה בפני נחשולי מתח, המבחינים בין הגנה מפני פגיעת ברק ישירה ובין הגנה מפני פגיעת ברק לא ישירה, ואלה הם:

תקן	הגנה מפני פגיעת ברק ישירה	הגנה מפני פגיעת ברק לא ישירה	
IEC 61643-1	בדיקת Class I	בדיקת Class II	בדיקת Class III
EN/IEC 61643-11	Type 1	Type 2	Type 3
צורת גל בדיקה	10/350	8/20	8/20 + 1.2/50

Type 1: מיועד לבניינים ולמיתקנים אשר מוגנים במערכת הגנה מברקים. התקנים אלה מספקים הגנה מפגיעות ברקים ישירות.

מגן Type 1 מאופיין בצורת גל זרם 10/350 µs.

Type 2: סוג עיקרי של מגיני ברק המיועדים לכל מיתקני החשמל במתח נמוך. הם מותקנים בכל לוחות המיתוג, מונעים התפשטות מתחי יתר ממיתקני חשמל, ומגינים על העומסים.

מגן Type 2 מאופיין בצורת גל זרם 8/20 µs.

Type 3: למגינים אלה יכולת פריקה נמוכה. לכן, חובה להתקין אותם כמגינים משלימים להתקני הגנה מטיפוס 1 ו-2 ובסמוך לעומסים רגישים. מגן Type 3 מאופיין בשילוב צורות גל מתח 1.2/20 µs וגל זרם 8/20 µs.

כאשר בוחנים את התקני ההגנה, חשוב להכיר את המשתנים הבאים:

In - זרם פריקה נקוב: ערך שיא של זרם בצורת גל 8/20 µs שמגן מסוגל לפרוק 15 פעם.

Uc - מתח רציף תפעולי מרבי: מתח שמעליו מופעל המגן.

Up - רמת מתח הגנה (בזרם נקוב In): מתח מרבי בין הדקי המגן כשהוא פעיל וכשדרכו זורם זרם נקוב. רמת מתח הגנה נבחרת כך שהיא נמוכה מרמת עמידה במתחי יתר של המיתקן.

Iimp - זרם אימפולס: ערך שיא של זרם בצורת גל 10/350 µs שהמגן מסוגל לפרוק 5 פעמים (האופיין של מגנים Type 1).

Imax - זרם פריקה מרבי: ערך שיא של זרם בצורת גל 8/20 µs שהמגן מסוגל לפרוק פעם אחת (האופיין של מגנים Type 3).

Uoc - מתח מעגל פתוח המיושם תוך כדי בדיקות לפי Class III Type 3).

איור 4: דוגמא של התקן הגנה בפני נחשולי מתח מטיפוס Type 2



התמונה באדיבות חברת שלמה כהנא

דרישות אופייניות בתקינה הרלבנטית

זרם פריקה נקוב (In) צריך להיות לא פחות מ-5 ק"א לכל סוגי הגנה.

ערך Iimp צריך להיות לפחות 12.5 ק"א לכל רמת הגנה [IEC 60364-5-534].

רמת מתח הגנה של המגנים (Up) צריכה להיות נמוכה מרמת מתח יתר של 2.5 ק"ו { Category II IEC 60364-4-443}. במקרה של הגנה על רכיבים אלקטרוניים רגישים, רמת מתח הגנה של המגינים צריכה להיות נמוכה מ-1.5 ק"ו.

מתח רציף תפעולי מרבי (Uc) עבור רשת 230/400 וולט צריך להיות נמוך מ-340 וולט.

זמן תגובה של מגינים מסוג Type 1 צריך להיות נמוך ממיקרו-שנייה אחת, ועבור מגינים מסוג Type 2 - נמוך מ-25 ננו-שניות.

סיכום

במאמר זה הצגנו סוג אחד של מתחי יתר - מתחי יתר חולפים, אשר נגרמים לרוב כתוצאה מפגיעות ברקים ומפעולות מיתוג במערכת החשמל. כיום מבחינה הגישה המקובלת לנושא זה בין מתחי יתר חולפים לבין סוג נוסף של מתחי יתר - מתחי יתר בתדר הרשת (רגעיים וארוכים), אשר נגרמים בין היתר כתוצאה מאי-איזון ברשת, ניתוקי אפס ברשת מתח נמוך, ועוד. במאמר המשך, שיתפרסם בגיליון הבא, נתאר את מתחי היתר בתדר הרשת, מקורם, השפעותיהם, ודרכי ההתמודדות עימם.

>>> שלומי לוי



מיזוג אוויר בטכנולוגיית (VRF) Variable Refrigerant Flow

מערכות איקלום (מיזוג אוויר וחימום) צורכות כ-60% מצריכת החשמל במיגזר המסחרי והציבורי בישראל. בשנים האחרונות מושקעים מאמצים רבים, הן מצד יצרני ציוד והן מצד הרשויות ובעלי מיתקנים, להגדיל את היעילות האנרגטית של מיתקנים צורכי אנרגיה בכלל, ושל מערכות איקלום בפרט. מאמר זה מציג לקורא בתמציתיות את אחת הטכנולוגיות המתקדמות שהחלה להופיע בשנים האחרונות בהרחבה במיתקני מיזוג אוויר - טכנולוגיית VRF, אשר עשויה להניב חיסכון באנרגיה במבנים בתנאים ייעודיים.

מערכות VRF, שהופיעו ביפן כבר לפני למעלה מ-20 שנה ומותקנות ב-30%-50% לערך מהמבנים המסחריים ביפן, נעשות פופולריות בארצות רבות וכן בישראל, אך עדיין יחסית אינן מוכרות בקרב העוסקים בחשמל, אנשי אחזקה, ואנשי מקצוע רבים.

מערכות אלו אמנם פועלות על פי העיקרון של המזגן המפוצל (כפי שיתואר בהמשך המאמר), אך כוללות מספר יחידות פנימיות אשר מחוברות ליחידה חיצונית אחת או יותר, ואין בהן תעלות להולכת אוויר ממוזג. למעשה, בניגוד למערכות קונבנציונלית - אשר מעבירות ברחבי הבניין חום באמצעות סיחרור אוויר בתוך תעלות או באמצעות מים (כלומר, בטכנולוגיית מקררי מים - צ'ילרים) - במערכות VRF מועבר חום אל חלל או ממנו באמצעות קָרֵר מסוחרר בצנרת ייעודית אל יחידות פנימיות אשר ממוקמות בתוך החללים הממוזגים/מחוממים.



המושג VRF מתייחס ליכולת של המערכת לשלוט על כמות הקרר המסוחרר, ובכך ליישם מערכת רבת-מאיידים בתפוקות משתנות, עם יכולת חימום וקירור באזורים שונים של המיתקן בעת ובעונה אחת

האבולוציה של טכנולוגיית מערכות VRF

מערכות מיזוג אוויר "מפוצלות" (Split), שהופיעו לראשונה בשנות ה-50 של המאה הקודמת כמערכות בעלות יחידה חיצונית אחת ויחידה פנימית אחת, היו מערכות-חלוץ למערכות מיזוג אוויר מפוצלות "מרכזיות" (Multi-Split) ולמערכות VRF. למעשה, הן תוכננו כתחליף יעיל ושקט יותר למזגני החלון.

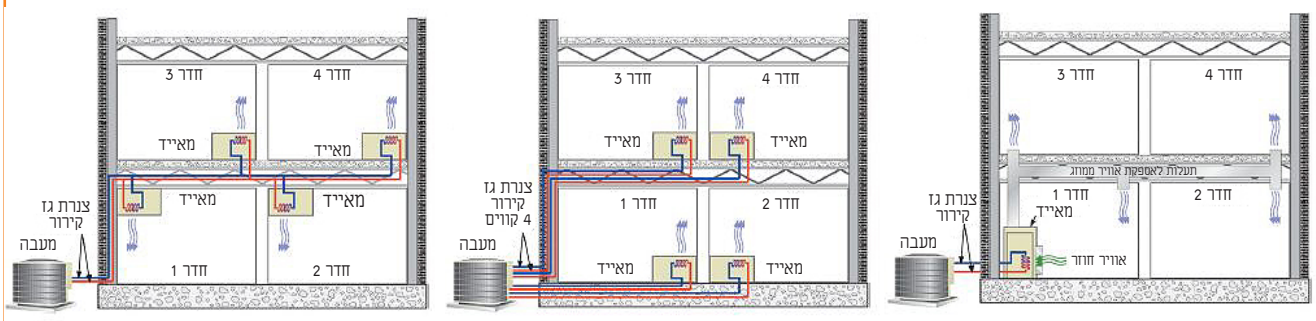
בהמשך, בסוף שנות ה-80, החלו להופיע מערכות הכוללות 4 עד 8 יחידות פנימיות, ובסוף שנות ה-90 של המאה ה-20 - עד 32 יחידות פנימיות. כיום מאפשרות מערכות VRF ליישם כ-60 יחידות פנימיות לעבודה עם יחידה חיצונית אחת או יותר.

באיור 1 מוצגות שלוש סקיצות עקרוניות המתארות מערכת מיזוג מפוצלת, מערכת מיזוג מפוצלת מרכזית "רב-מאייד" (Multi-Split), ומערכת מיזוג VRF.

כמתואר בסקיצה הימנית של איור 1, במערכת המפוצלת "הפשוטה" קיימת יחידה חיצונית אחת, וכן יחידה פנימית אחת, המשולבת בתעלת לאספקת אוויר ממוזג לחדרים. בסקיצה האמצעית שבאיור 1 מוצגת מערכת "רב-מאייד" (Multi-Split), שאינה כוללת תעלות לאוויר הממוזג, אך כוללת מספר יחידות פנימיות המוזנות בצנרת גז (קרר) נפרדת עבור כל יחידה ויחידה. לעומתן, במערכת VRF המוצגת בסקיצה השמאלית שבאיור 1, היחידות הפנימיות מוזנות במקביל מקו צנרת גז יחיד.

חשוב לא להתבלבל, ולא לשייך את מערכת VRF למערכת מיזוג מרכזית הפועלת בטכנולוגיית Variable Air Volume (VAV), אשר פועלת באמצעות שליטה על כמות האוויר המסופק לחלל הממוזג.

איור 1: מערכת מיזוג מפוצלת, מערכת מפוצלת מטיפוס "רב-מאייד", ומערכת VRF



מקור: 2008 ACEEE summer study on Energy Efficiency in Buildings- Electric power Research Institute, Energy Utilization Consultant

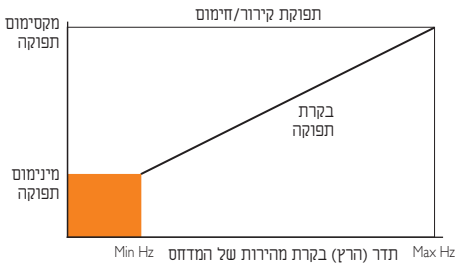
עקרון הפעולה הבסיסי של מערכת VRF

מערכות אלו דומות באופן תרמודינמי למערכות יחידתיות (מזגנים מפוצלים) הפועלות על-פי העיקרון של התפשטות ישירה (DX). הן מוליכות חום מיחידת העיבוי החיצונית לרשת של יחידות פנימיות באמצעות סיחרור של קרר בצנרת הפזורה ברחבי הבניין. למעשה, מה שמבדיל אותן מהמזגנים המפוצלים הוא הריבוי של היחידות הפנימיות אשר מחוברות ליחידה חיצונית אחת. אשר למזגנים מיני-מרכזיים, מהם הן נבדלות, בראש ובראשונה, בכך שאין בהן תעלות להולכת האוויר הממוזג.

המושג Variable Refrigerant Flow - VRF מתייחס ליכולת של המערכת לשלוט על כמות הקרר המסוחרר לכל אחד מהמאיידים שבמיתקן, ובכך למעשה ליישם מערכת מרובת-מאיידים בעלי תפוקות וקונפיגורציות שונות, עם בקרת נוחות תֶרמית אינדיבידואלית לכל מאייד, ואף להשגת יכולת בלעדית לחימום וקירור אזורים שונים של המיתקן בעת ובעונה אחת.

בהרבה מערכות VRF משתמשים במדחסים בעלי מהירות משתנה, דבר המאפשר ויסות של פעולת המדחס לרמה הנחוצה כתלות בתנאֵי הנוחות התֶרמית הנדרשים במיתקן הממוזג,

איור 2: בקרת תפוקה של מדחס מווסת-מהירות



מקור: *2012 ASHRAE Handbook- Heating,Ventilating and Air Conditioning Systems and Equipment*

כמתואר באיור 2. למעשה, שימוש במדחס מווסת-מהירות מאפשר לשלוט על זרימת הקרר למאיידים, ובכך לווסת את תפוקת המערכת כתלות בעומס, ואף להניב חיסכון אנרגטי, כפי שיתואר בהמשך.

השימוש במדחסים מווסתי-מהירות, וכן השיטה המודולרית שעל-פיה בנויה המערכת, מאפשרים התאמת התפוקות לעומס משתנה

שילוב אוויר צח

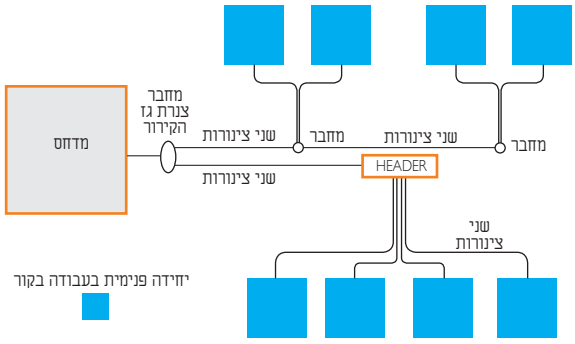
אחד האתגרים החשובים בתחום היישום של מערכות VRF הוא הכנסת אוויר צח למבנה. מערכת VRF אינה מספקת אוויר צח למבנה הממוזג/מחומם, ולכן נדרש לשלב בה אספקה של אוויר צח, אם באמצעות תכנון של מערכת VRF ייעודית בעלת קונפיגורציה של תעלות לאספקת אוויר צח, ואם באמצעות תכנון של מערכת נפרדת מקבילה לצורכי אספקת אוויר צח. כמובן, יש לטפל באוויר הצח המסופק לחללים ממוזגים - להפחית לחות, לקרר, לחמם.

סוגים של מערכות VRF

קיימים שלושה סוגים בסיסיים של מערכות VRF: "קירור בלבד" - Cooling only (איור 3), "משאבת חום" - Heat Pump (איור 3), ו"השבת חום" - Heat Recovery (איור 4).

מערכת VRF מסוג משאבת חום היא מערכת מיזוג אוויר אשר מסוגלת להפוך את כיוונו של מעגל הקירור לצורכי חימום או קירור (בדומה למזגן מפוצל רגיל). כל היחידות הפנימיות של המערכת הן בעלות שליטה עצמאית ובקרת נוחות תֶרמית

איור 3: מערכת VRF מסוג קירור בלבד או משאבת חום

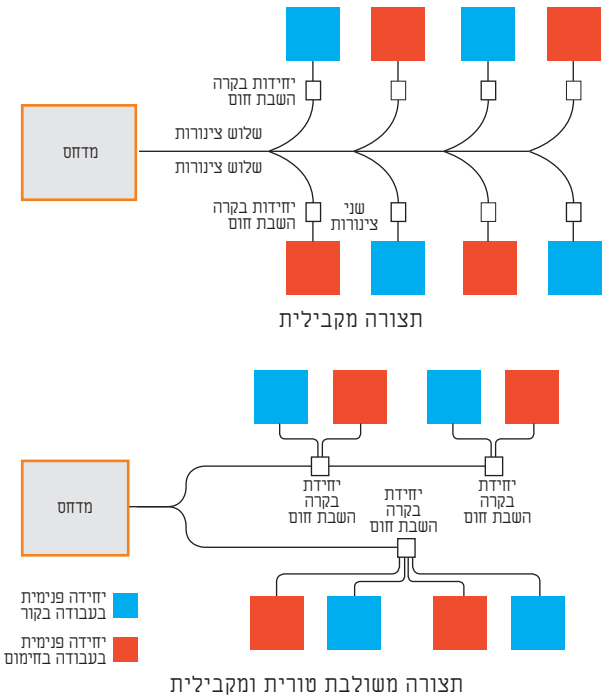


מקור: *2012 ASHRAE Handbook- Heating,Ventilating and Air Conditioning Systems and Equipment*

עצמאית, אך כולן יכולות לעבוד באותו mode - כלומר, חימום בכולן או קירור בכולן.

מנגד, גם במערכת VRF מסוג השבת חום, כל היחידות הפנימיות הן בעלות שליטה עצמאית ובקרת נוחות עצמאית, אולם הן יכולות לעבוד במצב עבודה שונה זו מזו, אם בחימום ואם בקירור - בכל זמן נתון ובמקביל זו לזו. למעשה, הדבר מתאפשר באמצעות העברת חום בין הצינורות שמספקים את הקרר

איור 4: מערכת VRF מסוג השבת חום



מקור: *2012 ASHRAE Handbook- Heating,Ventilating and Air Conditioning Systems and Equipment*

ליחידות החימום וליחידות הקירור. אחת הדרכים לכך היא שימוש במחליפי חום להוצאת חום עודף מושב מיחידות אשר עובדות במצב עבודה של קירור, והעברתו אל הקרר הנכנס ליחידות אשר עובדות במצב עבודה של חימום.

יעילות אנרגטית

אם כן, למערכת VRF יעילות אנרגטית גבוהה. מאחר שבדרך כלל מערכות מיזוג אוויר עובדות בהעמסה חלקית (בין 50%

המשך בעמוד 10

>>> יצחק מרגלית



התפתחויות בתחום מניית אנרגיה חשמלית

מניית אנרגיה חשמלית הופיעה לראשונה בסוף המאה ה-19, וקרוב למאה שנה התבססה על מונים אלקטרומכניים. בראשית שנות ה-90 של המאה ה-20 הופיעו המונים האלקטרוניים, ומאז הם הולכים ומחליפים כמעט לחלוטין את המונים האלקטרומכניים. מאמר זה סוקר בקצרה את ההתפתחויות שחלו בתחום המנייה האלקטרונית, החל מראשית דרכה ועד היום.

עקרון הפעולה של מונה אלקטרומכני

המונה האלקטרומכני הוא מנוע בעל מומנט יחסי להספק העובר דרכו, ובעל מעצור מגנטי המשמש לבלימת מהירותו, כך שהבלימה יחסית למהירות. מניית האנרגיה מתבצעת באמצעות ספירה של מספר סיבובי המנוע.

מבנה עקרוני של מונה זה כולל סטטור שבו מלופפים שני סלילים - סליל מתח וסליל זרם. סליל המתח הוא בעל חתך קטן ומספר רב של ליפופים, וסליל הזרם הוא בעל חתך גדול ומספר ליפופים נמוך. הליפופים מותקנים בצדדים מנוגדים זה לזה, והם בעלי כיוון ליפוף מנוגד האחד לשני. בחלל שבין סלילי המתח והזרם נמצאת דיסקה המחוברת במרכזה לציר אנכי שבקצותיו מיסבים (איור 1).



איור 1: מונה אלקטרומכני



למעשה, בעת חיבור המונה למתח, זרם סליל המתח מפגר אחרי זרם סליל הזרם, והשטפים המגנטיים שנוצרים נמצאים בהעתקה. כתוצאה מכך נוצר מומנט על הדיסקה, שגורם לסיבובה. אחד המשתנים החשובים במונה הוא "קבוע המונה", שהוא למעשה מספר הוואט-שעה המיוצג על-ידי כל סיבוב של הדיסקה. לרוב, ניתן לכייל במונה זה 3 כיולים בסיסיים: לעומס גדול, לעומס קטן, למקדם הספק.

עקרון הפעולה של מונה אלקטרוני

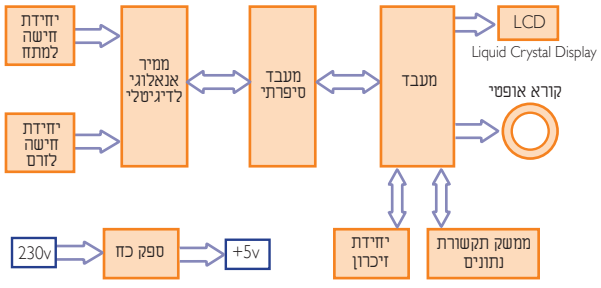
כאמור, בתחילת שנות ה-90 של המאה ה-20 החלו להופיע המונים האלקטרוניים, אשר פעלו בטכנולוגיה אחרת וללא חלקים נעים. באיור 2 מתוארת סכימת מלבנים הממחישה את עקרון הפעולה של המונה האלקטרוני.

כפי שניתן לראות באיור 2, למונה זה כניסות של מתח וזרם הצרכן, הנדגמות בעזרת יחידות חישה (SENSORS). חישת זרם מתבצעת באמצעות נגד מיצד (Shunt Resistor) או באמצעות שנאי זרם. האותות מתורגמים לערכים דיגיטליים באמצעות ממירים אנלוגיים לדיגיטליים (A/D).

בהמשך התהליך מועברים האותות למעבד סיפרתי (DSP - digital signal processor), אשר ממיר אותם לערכי זרם ומתח אפקטיביים (ערכי Vrms, Irms), על מנת לקבל ערכים של הספק אקטיבי (P), הספק ריאקטיבי (Q), והספק מדומה (S). המעבד (Micro Processor) מבצע חישוב אנרגיה על-ידי אינטגרציה של ההספקים בזמן. יחידת LCD מאפשרת תרגום של הערכים משפת מחשב לערכים שניתן לקרוא בתצוגה דיגיטלית.

למונה האלקטרוני יציאות נוספות, כגון יציאה לקורא אופטי (עינית המשמשת מסופונים של קוראי מונים), יציאה לתקשורת נתונים (communication w) - לדוגמא, לצורך חיבור למודם, וכן יציאות

איור 2: מבנה עקרוני של מונה אלקטרוני



לממסרים שבהם ניתן לעשות שימוש נוסף לצרכים כגון בקרת תהליכים, ועוד.
יתרה מזאת: קיימת במונה יחידת זיכרון (MEMORY) לשם שמירת נתונים כמו טבלאות מיקבצי שעות תעו"ז, דו"חות אירועים, קריאות עצמיות, ועוד.

שלבים בהתפתחות המנייה האלקטרונית

המונים האלקטרוניים הראשונים נקראו מוני PSI (הם היו מתוצרת חברת PROCESS SYSTEM). הם היו בעלי תצוגה אנלוגית (מחוגים)

וגם בעלי תצוגה דיגיטלית (איור 3). נתוני הצריכה לפי מיקבצי שעות ביקוש (מש"בים) ונתוני הצריכה הכוללת הוצגו על גבי הצג הדיגיטלי, הם התחלפו באופן מחזורי כל כמה שניות, ואילו על גבי תצוגת המחוגים האנלוגית הוצגו נתוני הצריכה הכוללת בלבד.

מאוחר יותר הופיעו אוגרים אלקטרוניים לנתוני צריכה, שחוברו למונים אלקטרוניים בעלי משדרי פולסים. האוגרים איפשרו

איור 3: מונה אלקטרוני מדגם ישן עם תצוגה כפולה – דיגיטלית ואנלוגית



הוצאת נתונים למסופון אלקטרוני (דרך קורא אופטי), וגם יישום קריאות מרחוק באמצעות קו טלפון. באוגרים אלה גם הותקנו יציאות לממסרים של הלקוח - כגון אותות המבטאים את מיקבצי שעות הביקוש (מש"בים), אותות קריאה רבע-שעתיים ועוד - על מנת שיוכל לבקר ולנהל את צריכתו. באוגרים תוכנתו המש"בים של תעריף התעו"ז, והם צוידו גם בסוללות לגיבוי נתונים. למשל, חברת "מקורות" השתמשה בממסרים הללו לצורכי הפעלה וניתוק של מיתקני שאיבה בהתאם למיקבצי השעות של תעריף התעו"ז - במטרה להקטין את עלויות השימוש בחשמל.

תצורה קלאסית של מערכת מנייה כללה בדרך כלל מונה ראשי עם משדר פולסים ואוגר המותקן עליו, ובנוסף, מונה ביקורת ומונה ריאקטיבי, שגם הם כללו יציאות פולסים. כל היציאות חוברו לאותו אוגר במונה הראשי. האוגר רשם את כל הנתונים מכל שלושת המונים, ואיפשר עיבוד הנתונים; למשל, הערכת השוואת קריאות המדידה, איתור תקלות (כמו חוסר פאזה או במערכת המדידה או בהזנה לצרכן), חישוב מקדם ההספק וכו'. התפתחות זו גם איפשרה העברת נתונים של כל המערכת ביעילות, במהירות ובדיוק שאינם תלויים בקורא מונים (כלומר, היא תרמה לצמצום טעויות אנוש).

בהמשך, בערך באמצע שנות ה-90 של המאה הקודמת, הופיעו מונים אלקטרוניים חדשים שאיפשרו מניית אנרגיה אקטיבית וגם ריאקטיבית באמצעות מונה אחד. באיור 4 מתואר ארון מערכת מנייה למיתקני מתח נמוך (לחיבורים בגודל 100 אמפר ומעלה), שבו מותקנים מונה ראשי אלקטרוני לרישום של אנרגיה אקטיבית ואנרגיה ריאקטיבית, ומונה אלקטרוני נוסף לאנרגיה אקטיבית המשמש כמונה ביקורת. המונים מוזנים דרך משנה זרם, ולא ישירות מקו ההזנה.
עם זאת מן הראוי לציין, כי מונים אלקטרוניים מיושמים גם במערכות מנייה במתח גבוה ומתח עליון.

במהלך השנים חלו שיפורים טכנולוגיים נוספים במונים האלקטרוניים. מיפרטיהם התרחבו, וכמות הנתונים שניתן היה לקבל מהם הלכה וגדלה. בנוסף לנתוני הצריכה בתעו"ז ניתן היה לקבל דו"חות צריכת אנרגיה כתלות בזמן (רישום רציף), דו"חות

איור 4: ארון מערכת מנייה למיתקני מתח נמוך



אירועי חשמל (EVENT LOG) ועוד. לדוגמא, אחד השימושים כתוצאה מהמעבר למנייה אלקטרונית הוא הפעלת מערכת בקרת אנרגיה במיתקנים גדולים בהם מותקנים עשרות מוני-משנה אלקטרוניים על גבי צרכני אנרגיה שונים (לוחות משנה, מערכות הנעה, מערכות מיזוג מרכזיות, מבנים, ועוד). המערכת כוללת מונים אלקטרוניים, מחשב ותוכנה ייעודית, מתאם תקשורת ויחידות קצה, וכן קוראים אופטיים. במיתקנים אלו ניתן ליישם מערכת בקרת אנרגיה בקרב צרכני המשנה על-פי משטרי הפעלה מסוימים, קריאת נתונים, הפקת דו"חות ביחס לצרכנים השונים ועוד.

בעתיד תשמש המנייה ככלי רב-תחומי, ולא רק לשם חיוב עבור צריכת החשמל: המונה מהווה יחידת בקרה לכל דבר, הוא מאפשר ניטור איכות החשמל, ויכול גם לשמש כבקר מיתוג לשליטה על תהליכים

איור 5: מונה תשלום מראש (מת"מ)



התפתחות נוספת בתחום המנייה האלקטרונית הייתה בדמות מוני תשלום מראש (מת"מ). מונה זה מאפשר שליטה מראש בצריכת החשמל של הלקוח באמצעות הקצאת סכום כסף ייעודי לשימוש בחשמל (למעשה, הצרכן קונה כמות חשמל לשימוש עתידי). מונים אלו מופעלים באמצעות קוד ותשלום טלפוני (איור 5).

המנייה במבט לעתיד

בעתיד תשמש המנייה ככלי רב-תחומי, ולא רק לצורכי חיוב (BILLING) עבור צריכת החשמל. המנייה הכרחית לשם הסדרת יחסים תיפעוליים ומסחריים בין ספקים לבין לקוחות, והיא מספקת להם מידע רב, ומאפשרת לשלוט במסלול הפיתוח של מערכות חשמל, ליישר את עקומת הצריכה, וכן לנהל בצורה יעילה את משק החשמל באמצעות מדידות תקופתיות.

המשך בעמוד הבא

מנייה חכמה מחייבת גם שינוי בתפיסה הרווחת כיום, הגורסת כי מונים הם התקן למניית אנרגיה בלבד. ברוח זו, על מהנדס החשמל לשמש כמהנדס אינטגרציה, שכן המונה הוא יחידת בקרה לכל דבר, הוא מאפשר ניטור איכות החשמל, ויכול לשמש גם כבקר מיתוג לשם שליטה על תהליכים. נוסף על כל אלו, המונה החכם מתקשר עם הסביבה בכמה דרכים: חיבור אופטי, מודם קווי, מודם סלולרי GPRS, חיבור קווי ישיר RS-232 ועוד. זאת ועוד: המונים החכמים יצוידו בתוכנות ניהול שיאפשרו איסוף נתונים, אבטחת מידע, יכולת ממשק טבלאית וגראפית, ואף יכולות חישוב של משתני איכות החשמל.

המונים החכמים המשתלבים ברשת החכמה כוללים נתונים טכניים, כמו מדידת אנרגיה אקטיבית וריאקטיבית דו-כיוונית, רישום שיא ביקוש, רישום הפסקות חשמל, רישום ניתוק פאזות, רישום רציף של אנרגיות והספקים, רישום רמות מתחים, בקרה על ביצוע הסכמים מיוחדים, וכן נתונים מסחריים לצורך הפקת חשבון ללקוח רגיל או ללקוח המשלם על-פי תעו"ז.

חשוב לציין, שיישום נרחב של המנייה החכמה מצריך היערכות בתחום ריכוז הנתונים. כאשר מדובר בפריסה של אלפי מונים כאלה, נדרש מערך של מאגר נתונים המבוסס על רכזות נתונים במבנה היררכי מתאים.

תקינה בתחום המנייה

קיימים כמה תקנים רלבנטיים לתחום המנייה.

תקן ישראלי ת"י 1055 – "מוני אנרגיה פעילה (ואט-שעה) לזרם חילופין שדרגתם 1, 2 – 0.5". התקן עוסק בדרישות מכאניות וחשמליות, לרבות הבדיקות הנדרשות למונה, סימונו, רמת הדיוק בתנאי ייחוס, גורמי ההשפעה על הדיוק, כיוונון, סמלים גראפיים ועוד.

תקן של הנציבות הבינלאומית לאלקטרוטכניקה – IEC60521 Class 0.5, 1 and 2 alternating - current watt-hour meters.

תקן ISO17025 של הארגון הבינלאומי להסמכת מעבדות (ISO) דן בדרישות הכלליות לכשירות מעבדות בדיקה וכיול, והוא זהה לתקן הבינלאומי IEC 17025 של הנציבות הבינלאומית לאלקטרוטכניקה מאוקטובר 2006. התקן דן בין היתר בנושאים הבאים: דרישות כלליות לכשירות מעבדות בדיקה וכיול, דרישות ניהול מערכת הניהול, בקרת מסמכים, סקר בקשות להצעת מחיר, מכרזים וחוזים, קבלנות משנה של בדיקות וכיולים, רכש שירותים וטובין, שירות ללקוח, בקרת עבודות בדיקה/כיול, פעולות מונעות ומתקנות, בקרת רשומות, מבדקים פנימיים, סקרי הנהלה, דרישות טכניות, עובדים, תנאי סביבה, שיטות בדיקה, בקרת נתונים וציוד, דגימה, שינוע, אבטחת איכות, דיווח, ותעודות.

בהקשר זה חשוב לציין, כי יחידת מונים ארצי של חברת החשמל הוסמכה – בידי הרשות להסמכת מעבדות בדיקה (לפי תקן ISO17025) – כמעבדת כיול ובדיקה למונים.

סיכום

ההתפתחויות הטכנולוגיות רבות-המשמעות שחלו בתחום המונים האלקטרוניים עשויות להפוך את המונה האלקטרוני לכלי רב-תחומי, שישמש לא רק לצורכי חיוב עבור צריכת החשמל. המונה יהיה יחידת בקרה לכל דבר, ויאפשר ניטור איכות החשמל, ואף ביצוע פעולות מיתוג לשליטה על תהליכים.

המשך מעמוד 7

מיזוג אוויר בטכנולוגיית VRF

ל-80% לערך), השימוש במדחסים מווסתי-מהירות, וכן השיטה המודולרית שעל-פיה בנויה המערכת, מאפשרים התאמת התפוקות לעומס משתנה. גישה זו מניבה חיסכון אנרגטי לא מבוטל.

יתרה מזאת, יש הטוענים שעבור מבנים שבהם נדרש קירור וחימום בעת ובעונה אחת, מערכת VRF מסוג השבת חום מניבה חיסכון אנרגטי גבוה במיוחד. לדוגמא: כאשר 50% מהעומס הנדרש הוא לחימום ו-50% מהעומס הנדרש הוא לקירור, המדחס של מערכת VRF יועמס ב-50% לערך בלבד.

יתרונות וחסרונות של מערכת VRF

היתרונות הגלומים ביישום מערכות VRF מתבטאים בהיבטים של חיסכון אנרגטי, גמישות תכנונית, נוחות בהתקנה, והשגת נוחות תֶרמית גבוהה. בו בזמן, חסרונותיהן של מערכות אלו מתבטאים יותר בהיבטי תחזוקה ותפעול. בטבלה 1 מתוארים בתמציתיות חלק מהיתרונות והחסרונות של מערכת VRF.

טבלה 1: יתרונות וחסרונות של מערכת VRF

יתרונות	חסרונות
• יעילות אנרגטית גבוהה בעבודה תחת העמסה חלקית • בקרה אזורית מבוזרת ואינדיבידואלית • אפשרות לחימום ומיזוג בעת ובעונה אחת באזורים שונים • מודולריות מאפשרת גמישות תכנונית • מערכת שקטה • התקנה מודולרית מהירה ונוחה • יחידות קטנות ממדים באופן יחסי למערכות מיזוג מרכזיות גדולות • מהימנות גבוהה עקב המודולריות של המערכת	• נדרשת מערכת אספקת אוויר צח נפרדת • נדרשת נקודת ניקוז עבור כל יחידה פנימית של המערכת • ריבוי של יחידות פנימיות מחייב צנרת גז מסועפת המגבירה את הסיכוי לדליפות; מצריך גישה לצורכי תחזוקה • עלות ראשונית גבוהה בהשוואה למערכות קונבנציונליות • מחסור באנשי מקצוע מנוסים בתחום ההתקנה והתחזוקה של מערכות אלו

יישומים

מערכות VRF מתאימות ליישום בבניינים בעלי אזורים מרובים ומגוונים שהם בעלי דרישות תֶרמיות אינדיבידואליות, כגון משרדים, בתי חולים, מלונות וכדומה. יישומן של מערכות אלו בבתי חולים ובמרפאות מסייע מעט גם בהיבט הבריאותי, בכך שנוצרת "הפרדה" בין האזורים השונים, ונמנע עירבוב של אוויר מאזורים שונים.

סיכום

מערכות VRF משמשות חלופה ריאלית ליישום במבנים מסחריים וציבוריים בהשוואה למערכות מיזוג האוויר הקונבנציונליות. האפשרות ליישם בקרת נוחות תֶרמית אינדיבידואלית לכל איזור ואיזור בבניין, היכולת לעבוד בתפוקות משתנות ואף ביעילות גבוהה גם בהעמסה נמוכה, וכן האפשרות ליישם חימום וקירור סימולטנית באזורים שונים בבניין – כל אלו ועוד הופכים את מערכות VRF לכאלו שיש להביא בחשבון בשיקולי תכנון של מיתקני מיזוג אוויר.

>>> אריאל גוטקינד



יישום של טורבינות רוח במדינת ישראל – תמ"א 12/ד/10

על מנת לקדם את השימוש במיתקני אנרגיית רוח התורמים לייצור חשמל "נקי" וידידותי לסביבה, החלו מדינות רבות, ובהן גם ישראל, לגבש תוכניות הסדרה לשילובן במשק החשמל. מאמר זה מציג בקצרה את ההיבטים הסטטוטוריים של הקמת מיתקנים אלו.

על-פי החלטת הממשלה מיום 29.1.09 (החלטה מס' 4450) נקבע, שעד שנת 2020 יהיו כ-10% מייצור האנרגיה בישראל ממקורות מתחדשים, לרבות רוח, מקורות תרמו-סולריים, פוטו-וולטאיים, ביו-גז וביו-מסה. בהתאם להחלטה זו קבע משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים את יעדי ההספק המותקן עד שנת 2020 באנרגיות מתחדשות, כאשר היעד לייצור חשמל באנרגיית רוח נקבע ל-800 מגוואט.

לטורבינות רוח יש יתרונות בייצור חשמל, כגון: הקטנת התלות בדלקים מחצביים, שיפור הביטחון האנרגטי, גיוון מקורות הייצור, עלות נמוכה של הפקת אנרגיית רוח בהשוואה לאנרגיות חלופיות אחרות, ייצור חשמל ללא כל זיהום וצריכת מים, וכן תפיסת שטח קטנה המאפשרת שימוש כפול בקרקע.

בעקבות החלטת הממשלה הוכנה תוכנית מיתאר ארצית לטורבינות רוח – תמ"א 12/ד/10, שמטרתה לקבוע את הכלים ואת ההנחיות לאישור הקמתן של טורבינות רוח.

תוכנית מיתאר ארצית לטורבינות רוח – תמ"א 12/ד/10

בחודש אוגוסט 2014 החליטה המועצה הארצית, בראשות שר הפנים ובתוקף סמכות הממשלה לפי סעיף 53 לחוק התכנון והבנייה, התשכ"ה-1965, לאשר את תמ"א 12/ד/10 – תוכנית מיתאר ארצית לטורבינות רוח.

תחום התוכנית ומטרתה

התוכנית תחול על כל השטח היבשתי של המדינה, ומטרתה לקבוע הנחיות להכנת תוכניות ולמתן היתרים להקמת טורבינות רוח, על מנת לעודד את ניצול אנרגיית הרוח כמקור של אנרגיה מתחדשת לצורך ייצור חשמל. זאת, תוך מיזעור הפגיעה בשטחים הפתוחים, באיכות הסביבה, בנוף, באקולוגיה ובמורשת, ובמגמה לפשט ולייעל את תהליכי התכנון. התוכנית מאזנת בין היתרונות להפקת חשמל מרוח והצורך לגוון את משק האנרגיה, מצד אחד, לבין הצורך להתמודד עם ההשפעות של טורבינות רוח במרחב הבנוי והפתוח כאחד, מצד אחר.

התוכנית קובעת מערכת כללים שתחול על טורבינות רוח, במטרה להשיג שתי מטרות: להקנות למוסד התכנון כלים לבחינת התכנון המוצע, ולהקטין את חוסר הוודאות של היזמים.



סיווג טורבינות הרוח

התוכנית מחלקת את טורבינות הרוח ל-4 סוגים:

א. טורבינת רוח זעירה – טורבינת רוח שגובהה אינו עולה על 4 מטרים, ושטח הפנים של הלהבים הוא עד 4 מ"ר. הספקה נע בדרך כלל בין 0.5 קילוואט ל-5 קילוואט. טורבינה זו מיועדת בדרך כלל לשימוש עצמי בלבד, ואינה מחוברת לרשת החשמל.

ב. טורבינת רוח קטנה – טורבינת רוח שגובהה אינו עולה על 18 מטרים, ושטח הפנים של הלהבים הוא עד 29 מ"ר. הספקה נע בדרך כלל בין 5 ל-10 קילוואט. בטורבינה זו ניתן להשתמש הן לשימוש עצמי והן למכירת אנרגיה לחברת החשמל.

ג. טורבינת רוח בינונית – טורבינת רוח שגובהה אינו עולה על 40 מטרים, ושטח הפנים של הלהבים הוא עד 350 מ"ר. הספקה הוא מעל 10 קילוואט, לרוב, טורבינה זו מחוברת לרשת החשמל.

ד. טורבינת רוח גדולה – טורבינת רוח שגובהה מעל 40 מטרים, ושטח הפנים של הלהבים הוא מעל 200 מ"ר. הספקה גדול מ-50 קילוואט, ומגיע עד כמה מגוואטים בכל טורבינה.

הערה: חשוב לציין, שהגדרת הטורבינה לפי הספקה נעשית לפי הנחיות הרשות לשירותים ציבוריים – חשמל במהירות רוח של 9m/s (מטר לשנייה).

נציין, שהתוכנית חלה רק על חוות טורבינות רוח שבתחומן עד 25 טורבינות רוח גדולות, או שילוב של עד 50 טורבינות רוח בינוניות וגדולות. תוכנית להקמת חוות טורבינות שבתחומה יותר מ-25 טורבינות רוח גדולות או חווה משולבת שבתחומה יותר מ-50 טורבינות רוח בינוניות וגדולות תאושר בידי המועצה הארצית לתכנון ולבנייה, או בידי הוועדה לתשתיות לאומיות, והיא אינה כפופה לתמ"א זו.

מסלולי יישום

התוכנית מאפשרת הקמתן של טורבינות רוח ואישורן בשני מסלולים – מסלול של היתרים, שאינו כרוך בשינוי ייעוד הקרקע, ומסלול של תוכניות, כמפורט להלן. סיווג הטורבינות לפי גודלן מאפשר לקבוע מהו מסלול היישום הנדרש עבורן, וכן מגדיר את ייעודי הקרקעות המתאימים להן.

אריאל גוטקינד – מהנדס חשמל, המחלקה לייעול הצריכה, אגף השיווק, חברת החשמל

מסלול ההיתרים

מסלול זה מאפשר הקמת טורבינות רוח בהליך של היתר, כאשר במקום המוצע חלה תוכנית בניין עיר מפורטת, אף אם היא אינה כוללת שימוש של טורבינות רוח. למעשה, התמ"א מוסיפה באורח גורף וכלל-ארצי שימוש של טורבינות רוח בכל תוכנית בניין עיר מפורטת.

הליכי ההיתר מוגבלים לשטח המוגדר בתוכנית זו כ"שטח מאושר לבנייה". מבקש ההיתר יידרש לנקוט הליך של יידוע הציבור בשטח שבו חלה תוכנית מפורטת.

במסלול זה לא ניתן היתר להקים טורבינות רוח גדולות, אלא רק טורבינות זעירות, קטנות ובינוניות.
במקרים שלהלן לא יינתן אישור להקמת טורבינות רוח:
א. בסביבה החופית (טורבינות רוח זעירות - בשטח שאסור לבנות בו בסביבה החופית).
ב. במקום בו הותרו בתי צמיחה או קירוי צמחי.
ג. באתר לשימור, אתר מורשת, אתר היסטורי או אתר לאומי.
בטבלה 1 מוצגים ייעודי הקרקעות המתאימים לסוגים השונים של הטורבינות, במסלול יישום של היתרים.

טבלה 1: ייעודי הקרקעות המתאימים לסוגים השונים של הטורבינות, במסלול יישום של היתרים

סוג המיתקן/טורבינה	ייעוד הקרקע	מגבלות
תורן זמני למדידת רוח	בכל מקום, למעט סביבה חופית, ובשטח המיועד לשמורת טבע, שמורת נוף, או גן לאומי	
טורבינות רוח זעירות	שטח מאושר לבנייה.	
טורבינות רוח קטנות	שטח מאושר לבנייה.	א. אסור לאשר במקום בו קיימת תוכנית מאושרת לבינוי ששטחה עד 10 דונם, והיא מוקפת ברובה בשטח פתוח. ב. מגבלת כפל גובה בשטח מאושר לבנייה, למעט בשטח המיועד לתעשייה, לאחסנה, או למיתקנים הנדסיים.
טורבינות רוח בינוניות	בשטח מאושר לבנייה, המיועד לתעשייה, לאחסנה, למיתקנים הנדסיים, לתעשייה עתירת ידע, למשרדים או למבני משק.	א. אסור לאשר במקום בו קיימת תוכנית מאושרת לבינוי ששטחה עד 10 דונם, והיא מוקפת ברובה בשטח פתוח. ב. מגבלת כפל גובה בשטח המיועד לתעשייה עתירת ידע, למשרדים או למבני משק. ג. בשטח המיועד לתעשייה, לאחסנה או למיתקנים הנדסיים - בתנאי שמותרת בו בנייה בגובה של שתי קומות לפחות.
טורבינות לצורכי מחקר ופיתוח	א. בשטח המיועד לתעשייה, למלאכה ולתעסוקה. ב. בשטח המיועד למיתקן הנדסי צמוד דופן ליישוב.	

התנאים והמגבלות להקמת טורבינות רוח במסלול ההיתרים הם:
א. על השטח המבוקש חלה תוכנית בניין עיר מפורטת.
ב. התוכנית המפורטת אינה אוסרת הקמת טורבינות רוח.
ג. הבקשה להיתר תואמת את כל המגבלות הכלולות בתוכנית.
ד. קיים אישור של רשות התעופה האזרחית ומשרד הביטחון לעניין בטיחות טיסה, ואישור כללי של משרד הביטחון.
ה. לטורבינות רוח בינוניות נקבעה גם מגבלה של הקמת טורבינת רוח אחת בגובה 40 מטרים לכל 10 דונם. יחס זה יורד בהתאם לגובה טורבינת הרוח על פי הנוסחה הבאה, המשקפת את השטח הברוטו (בדונמים) הדרוש לכל טורבינה:

$$A = \frac{h^2 \times 6}{1000}$$

A - שטח ברוטו (בדונמים) הדרוש לכל טורבינה
h - גובה תורן הטורבינה (במטרים)

בטבלה 2 מוצגות דוגמאות של השטח הדרוש עבור טורבינות בגבהים שונים

טבלה 2: דוגמאות של השטח הנדרש עבור טורבינות בגבהים שונים

מגבלת השטח לכל טורבינה (מעוגל לדונם שלם)	גובה מקסימלי של הטורבינה (במטרים)
2	20
4	25
5	30
7	35
10	40

ו. יצוין, שטורבינת רוח בהיתר אינה דורשת אחוזי בנייה, מאחר שתקנות התכנון והבנייה

(חישוב שטחים ואחוזי בנייה בתוכניות ובהיתרים) תוקנו כך שטורבינות רוח אינן נחשבות כשטח מקורה, ואינן באות במניין השטח המותר לבנייה.

מסלול תוכניות

במסלול זה נדרש להגיש למוסד תכנון תוכנית מיתאר מקומית או מפורטת להקמת טורבינות רוח. בניגוד למסלול ההיתרים, מאפשר מסלול התוכניות להקים טורבינות רוח גדולות, אך ניתן להקים את סוגי הטורבינות הקטנות יותר גם במקומות שבהם לא ניתן להקימן בהיתר (לדוגמא, כאשר על השטח לא חלה תוכנית בניין עיר מפורטת).

התנאים לאישור תוכנית מפורטת לטורבינות רוח הם:

א. קבלת אישור בטיחות טיסה מרשות התעופה האזרחית וממשרד הביטחון.
ב. קבלת אישור כללי ממשרד הביטחון.

מרכיבי תוכנית לטורבינות רוח הם:

ג. שטח מיתקני טורבינות הרוח
ד. תחום מגבלות בנייה על שימושים מאושרים טרם אישור התוכנית לטורבינות רוח
ה. גישה עד בסיסי הטורבינות
ו. תרני מדידה, אם נדרשים
ז. אתרי התארגנות
ח. פתרון לשינוע הציוד לאתר
ט. אופן החיבור לרשת החשמל
י. תשתיות, לרבות קווי החשמל המחברים בין טורבינות הרוח
יא. מבנים תפעוליים ככל שיידרשו
יב. הוראות לפירוק, פינוי ושיקום השטח לאחר הפסקת הפעילות, לרבות כתב התחייבות למימושם.

בטבלה 3 מתוארים התנאים והמגבלות לקידום תוכניות להקמת טורבינות רוח בהתאם לסוג המקום המיועד להתקנה.

טבלה 3: התנאים והמגבלות לקידום תוכניות להקמת טורבינות רוח בהתאם לסוג המקום המיועד להתקנה

סוג המיתקן/ טורבינה	ניתן לקדם תוכנית במקומות הבאים:	לא ניתן לקדם תוכנית במקומות הבאים:
טורבינות רוח זעירות	בכל מקום, בכפוף להוראות הגמישות של תמ"אות.	בשטח פתוח שאינו מופר במחוזות תל אביב והמרכז.
טורבינות רוח קטנות	בכל מקום, בכפוף להוראות הגמישות של תמ"אות.	בשטח פתוח שאינו מופר במחוזות תל אביב והמרכז
טורבינות רוח בינוניות	בכל מקום, בכפוף להוראות הגמישות של תמ"אות.	א. בשטח פתוח שאינו מופר במחוזות תל אביב והמרכז. ב. בשטח הכולל מגורים, מוסדות ומבני ציבור, למעט בתוכנית המשלבת את הטורבינות במבנה או במבנים.
טורבינות רוח גדולות	בכל מקום, בכפוף להוראות הגמישות של תמ"אות.	ג. בשטח פתוח שאינו מופר במחוזות תל אביב והמרכז. ד. בשטח הכולל מגורים, מוסדות ומבני ציבור, למעט בתוכנית המשלבת את הטורבינות במבנה או במבנים.

חיבור בין טורבינות הרוח לרשת החשמל

קווי החשמל המחברים בין טורבינות הרוח יוטמנו בקרקע, אלא אם כן השתכנע מוסד תכנון כי בשל שיקולים הנדסיים, בטיחותיים, סביבתיים או אחרים לא ניתן להטמינם. מוסד תכנון יבחן את המשמעויות הנגזרות מאופן חיבור טורבינות הרוח לרשת החשמל, כפי שנקבע בסקר ההיתכנות לחיבור טורבינות הרוח מסָפָּק שירות חיוני.

בדיון בהפקדת תוכנית להקמת טורבינות רוח אשר תכלול חיבור במתח עליון, תוצג התייחסות משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים לאופן החיבור, לפוטנציאל הרוח, ולקביעת המרחקים ביחס לטורבינות רוח אחרות, קיימות או מאושרות, למניעת הפרעה הדדית.

לאחר שקילת ההתייחסות של משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים לאופן החיבור, יקבע מוסד תכנון את אופן החיבור הישיר שיוטמע בתוכנית. היה ויקודמו מספר תוכניות להקמת טורבינות רוח באזורים סמוכים, מוסד תכנון יהיה רשאי להחליט באיזו תוכנית יוטמעו הרצועות והמיתקנים המשותפים לתוכניות אלה, תוך עיגון תכנוני מתאים לתרחיש שאחת או יותר מהתוכניות לא תאושר.

הערה: על אף האמור לעיל, מוסד תכנון רשאי לאשר תוכנית להקמת טורבינות רוח ללא חיבור לרשת החשמל, אם הן נועדו לאספקה עצמית של חשמל ונקבעו הוראות אשר יבטיחו כי לא ניתן יהיה לחבר את טורבינות הרוח לרשת החשמל.

תקינה רלבנטית

קיימים 5 תקנים (שבשלב זה אינם תקנים רשמיים) בנושא טורבינות רוח, כדלקמן:

- ת"י 61400 חלק 1 – טורבינות רוח: דרישות תכן, מאוגוסט 2011;
- ת"י 61400 חלק 2 – טורבינות רוח: טורבינות רוח קטנות, אוקטובר 2014;
- ת"י 61400 חלק 11 – טורבינות רוח: שיטות למדידת רעש אקוסטי, אוקטובר 2013;
- ת"י 61400 חלק 12.1 – טורבינות רוח: מדידת ביצועי הספק של טורבינות רוח לייצור חשמל, מינואר 2011;
- ת"י 61400 חלק 21 – טורבינות רוח: מדידה והערכה של מאפייני איכות החשמל המיוצר על-ידי טורבינות רוח המחוברות לרשת חשמל ציבורית, מאוגוסט 2011.

המידע המופיע במאמר זה הוא אינפורמטיבי בלבד, ואינו משמש כמסמך הנחיות מפורטות ליישום טורבינת רוח. למידע מפורט ועדכני יש לעיין בהנחיות הרשות לשירותים ציבוריים – חשמל והגורמים הסטטוטוריים הנלווים.

מערכת התכנון

מערכת התכנון בישראל היא מערכת ארגונית, שעיקר עיסוקה מתמקד בקביעת שימושֵי הקרקע במדינה. בתוך כך, לדוגמה, נדרשת המערכת להכריע הן בסוגיות תכנון עקרוניות, הנוגעות להקמת יישובים או להרחבתם, לתשתיות (כבישים, מסילות ברזל, תחנות כוח וכיוצא באלו), לשטחי שימור (שטחים חקלאיים, יערות, שמורות, שטחי פנאי ונופש וכדומה) ועוד, והן בסוגיות תכנוניות נקודתיות, דוגמת היקף הבינוי במגרש ספציפי במקום מסוים, גובה הבינוי ועוד.

הבסיס לפעילותם של מוסדות התכנון בדרג הארצי והמחוזי הוא חוק התכנון והבנייה תשכ"ה–1965, על תיקוניו. החוק מגדיר את מוסדות התכנון, את סוגי התוכניות השונות (תוכנית מיתאר ארצית – תמ"א, תוכנית מיתאר מחוזית – תמ"מ, תוכנית מיתאר מקומית, ותוכנית מפורטת), ואת ההיררכיה ביניהן. כמו כן קובע החוק את תהליך הטיפול בתוכניות השונות ואישורן, כולל תהליכי ההתנגדות והעררים על החלטותיהם של מוסדות התכנון, קוצב לוחות זמנים ועוד.

חוק התכנון והבנייה, תשכ"ה–1965, מגדיר דרגים שונים של תוכניות מיתאר בישראל – תוכניות מיתאר ארציות, תוכניות תשתית לאומית, תוכניות מיתאר מחוזיות, ותוכניות מיתאר מקומיות/מפורטות.

תוכניות מיתאר ארציות מתחלקות לתוכניות נושאיות – ייעודיות לתחום מסוים (למשל, תחבורה), ותוכניות משולבות – אשר עוסקות במספר תחומים (למשל, תמ"א 35 עוסקת בפיתוח ושימור).

>>> משה שפיגל



עידכונים טכניים עיקריים בתקנות החשמל ומועד תחילתם

תקנות חשמל חדשות וכן עידכונים לתקנות חשמל מפורסמים בקובץ התקנות. במרבית תקנות החשמל נקבע תאריך התחילה, כלומר התאריך שהחל ממנו חובה לפעול בהתאם לנדרש בהן. מאמר זה מציג טבלה שבה מרוכזים השינויים הטכניים העיקריים אשר בוצעו בתקנות החשמל במהלך השנים. הטבלה מאפשרת לדעת ממתי נכנסו לתוקף הדרישות השונות לגבי מיתקני חשמל.

לדוגמא, תקנות החשמל (עבודה במיתקן חי או בקרבתו), פורסמו ב-4.3.2014 בקובץ תקנות מס' 7341. בתקנה 19 של תקנות אלו נקבע: "תחילתן של תקנות אלה שישה חודשים מיום פרסומן (להלן – יום התחילה), ואולם מותר לעבוד לפיהן מיום פרסומן".
על פי הפירוש המוצג במסגרת שלהלן, אם ביצועו של מיתקן זה החל אחרי 4.9.2014, יכול חשמלאי בעל רישיון חשמלאי מוסמך לפחות, או חשמלאי מסויג, לבצע עבודת מדידה במיתקנים חיים במתח נמוך, ואין צורך בחשמלאי בעל רשיון מתאים לגודל המיתקן, כפי שנדרש בתקנות הקודמות.

לדוגמא, תקנות החשמל (התקנת לוחות במתח עד 1000 וולט) פורסמו ב-1.8.1991 בקובץ תקנות מס' 5375. בתקנה 36 של תקנות אלו נקבע: "(א) תחילתן של תקנות אלה למעט תקנה 27(ב) שישה חודשים מיום פרסומן. (ב) תחילתה של תקנה 27(ב) שנתיים מיום פרסום תקנות אלו". כלומר תחילתן ב-1.2.1992, למעט תקנה 27(ב) שתחילתה ב-1.8.1993.
על פי הפירוש המוצג במסגרת שלהלן, אם ביצועו של מיתקן זה החל אחרי 1.8.1993, חלה חובה שהלוח הדירתי, לרבות המעטה שלו, יהיו מחומר פלסטי כבה מאליו, וכן שהלוח יהיה בתוך הדירה, כנדרש בתקנה 27(ב).

תוקפן של תקנות

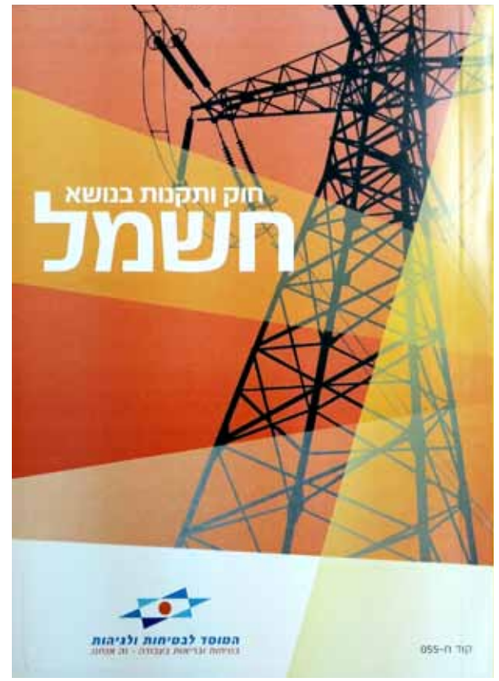
תקנות החשמל חלות על כל המיתקנים שביצועם נעשה החל מהתאריך שצוין בהן כמועד התחילה, או החל בתאריך הפרסום בקובץ התקנות – כשאין ציון מפורש של תאריך תחילה.
נשאלת השאלה: כאשר מצוין מועד התחילה של תקנות חשמל, או של תיקונים לתקנות, האם תאריך זה מתייחס ל:
– מועד בדיקת המיתקן.
– מועד ביצוע המיתקן.
– מועד הגשת התוכניות של המיתקן לחברת החשמל.
ועדת הפירושים התייחסה לסוגיה זו בפירוש 15–40 שפורסם ב"התקע המצדיע" מס' 65, בסתיו 1996:
"המועד הקובע מבחינת התאמת המיתקן לתקנות הקיימות הוא מועד ביצועו. במועד זה המיתקן צריך להתאים לכל התקנות הקיימות באותה עת.
אם חל שינוי בתקנות בין מועד התכנון לבין מועד הביצוע (והדבר בהחלט אפשרי, משום שמיתקנים גדולים רבים מגיעים לשלב הביצוע זמן רב לאחר תכנונם), הרי שיש לשנות את התכנון כדי להתאימו לשינויים שחלו בתקנות.
מאידך, אם המיתקן כבר בוצע וחל שינוי בתקנות לפני מסירתו לבדיקה ולהפעלה, הרי שאין חובה לשנות את מה שכבר נעשה, כי לגביו חלות התקנות כפי שהיו בתוקף בעת ביצועו".

כדוגמה נוספת ניקח את תקנות החשמל (מיתקני חשמל בבריכה במתח שאינו עולה על מתח נמוך). התקנות פורסמו ב-12.2.2003 בקובץ תקנות מס' 6226. בתקנה 16 של תקנות אלו נקבע: "תחילתן של תקנות אלה שישה חודשים מיום פרסומן, אך מותר לפעול לפיהן מיום פרסומן"; כלומר, תחילתן ב-12.8.2003.

תקנות החשמל	פרסום בק"ת	תאריך פרסום	תאריך תחילה	עידכונים עיקריים/הערות	תקנה
(הארקות או הגנות אחרות)*	1325	25.6.1962	25.6.1964	תקנה חדשה	
(הארקות ושיטות הגנה בפני חשמול במתח עד 1000 וולט)*	4643	10.6.1984	10.12.1984	שימוש בצנרת מים כאלקטרודה מותרת בהיתר הרשות לאספקת מים ובהשגחת חשמלאי על הרציפות החשמלית	14(א)
הארקות ואמצעי הגנה בפני חשמול במתח עד 1000 וולט	5375	1.8.1991	1.2.1992	רוויזיה לתקנה	
	5656	26.1.1995	26.7.1996	מוליך PEN כחול עם שרוולים בקצוות צהוב/ירוק. חתך כמוליך האפס הגדול ביותר היוצא מפס האפסים	40
	5656	26.1.1995	26.7.1996	בדיקת מערכת הארקה במתקן לייצור וחלוקת חשמל – אחת ל-6 שנים (במקום 5)	77
	6211	28.11.2002	28.12.2002	הוראת שעה – בדיקת הארקת ואמצעי הגנה בפני חישמול אחת ל-5/10 שנים. בתוקף עד 28.11.2003	78
	6211	28.11.2002	28.12.2002	בדיקה תקופתית ראשונה עד 31.3.2003	78
	6238	11.5.2003	31.3.2003	בדיקה תקופתית ראשונה עד 28.11.2003. תאריך התוקף פג = הוראת השעה בטלה	78
הארקות יסוד	3854	30.5.1978	30.11.1978	תקנה חדשה – חובת הארקת יסוד	2(ב)
	4271	13.9.1981	13.3.1982	רביזיה לתקנה	
	5474	5.10.1992	5.4.1993	במבנה בן 4 קומות ומעלה – מוליך הארקה במקביל, חיבור ביניהם כל קומה רביעית ובקומה העליונה	5
	5656	26.1.1995	26.7.1995	מוליך חיבור יהיה בחתך של 10 ממ"ר לפחות, חשוף או עם בידוד בצבע צהוב/ירוק	9
(כללים להתקנת לוחות)*	668	18.1.1957	18.4.1957	חובת התקנת מבטח ראשי ומפסק ראשי לכל סוג אספקה (כשמספר המעגלים הוא 4 ומעלה)	31
				מכשירים על לוח יותקנו בגובה של 0.5 עד 2.4 מ' מעל לריצפה	22
(כללים להתקנת לוחות במתח נמוך)*	3531	25.5.1976	25.5.1977	לא יותקנו מבטחים או מפסקים על לוח עץ	19
				גובה אמצעי הפעלה ידניים בלוח לא יעלה על 2.0 מ' מעל לריצפה	25(ד)
	4964	4.9.1986	4.3.1987	בלוח ביתי – איסור שימוש בנתיכים בעלי אלמנט ניתך חליף עד 63 אמפר (נתיכים אנגליים)	33(ב)
				בלוח ביתי – חובת שימוש במא"ז או במפסק אוטומטי (עד 50 אמפר)	33(ג)
התקנת לוחות במתח עד 1000 וולט	5375	1.8.1991	1.2.1992	איסור התקנת לוח במקלחת, באמבטיה או במרפסת	27(א)
				הכנסת הלוח לתוך דירת מגורים	27(ב)
				הלוח הדירתי לרבות המעטה שלו יהיו מחומר פלסטי כבה מאליו	27(ב)
				תקנה 27(ב) לא תחול על החלפת לוחות קיימים	34
				תחילתה של תקנה 27(ב) שנתיים מהפרסום	36
	5619	23.8.1994	23.8.1995	לוח דירתי יצוייד במפסק מגן אחד או יותר להגנת כל המעגלים הסופיים	29(ד)
	5998	10.9.1999	10.3.2000	לוח דירתי בעל מפסק ראשי בגודל 100x3 אמפר או יותר מותר שיהיה ממתכת	27(ב)
		10.9.1999	10.3.2000	הגדרת הדרישות לגבי לוח דירתי מתכתי	27(ב)
	6676	29.5.2008	29.6.2008	תיקון לתקנה	
(מעגלים סופיים הניזונים במתח נמוך)*	4036	21.10.79	21.4.80	תקנה חדשה – מותר להתקין בית תקע דו-קוטבי באמבטיה עם שנאי מבדל שהספקו אינו עולה על 25 וולטאמפר	19(ב)
				נקודות מאור ובתי תקע יצויידו במוליך הארקה, אלא אם...	12
מעגלים סופיים הניזונים במתח עד 1000 וולט	4731	18.11.1984	18.2.1985	נוסף פרק התקנת דוד שמש	
	4979	9.11.1986	9.11.1986	מותר בית תקע דו-קוטבי באמבטיה עם שנאי מבדל לפי ת"י 899.7	19(ב)
	5474	5.10.1992	5.10.1992	מפל מתח מרבי: במעגלי תאורה ובתי תקע – 1.5%, מנועים או גופי חימום – 3%	2
		5.10.1992		באמבטיה, גובה אזורים 1,2,3: עד גובה 2.25 מ'	1
				בתי תקע, מפסקים ולחיצים יחוזקו לתיבה גלילית באמצעות ברגים	5
	5619	23.8.1994	23.8.1995	מפל מתח מרבי במעגלים – 3%	2(ה)
	5708	5.10.1995	5.10.1996	באמבטיה, הרחבת גובה אזור 1 עד לתקרה	1
	5783	12.9.1996	12.9.1997	במוסדות ילדים: בית תקע מוגן (תריסי מגן פנימיים) – בגובה 1 מ' לפחות, בית תקע לא מוגן – בגובה 1.8 מ' לפחות	18
התקנת מוליכים	2569	4.6.1970	4.8.1970	תקנה חדשה. צבעי מוליכים: (מופע – חום, אפס – שחור, הארקה – צהוב/ירוק)	11
		4.6.1970	4.8.1970	ניתן להשתמש בצבע לבן במקום צהוב/ירוק במשך שנתיים מהפרסום	65
	4151	5.8.1980	5.2.1981	שינוי צבעי בידוד המוליכים: (מופע – חום, כחול או סגול, אפס – שחור, הארקה – צהוב/ירוק)	11
	4973	1.10.1986	1.10.1986	נמחקה דרישה שהתנגדות הבידוד בין מוליכים הכלולים במכשיר לבין גופו המתכתי לא תפחת מ-0.5 מגאום	57
	5162	27.1.1989	27.1.1989	הפרדת חיבור המשותף לצרכנים אחדים, ומוגן באמצעות נתיך משותף	13
	5656	26.1.1995	26.1.1996	שינוי צבעי בידוד המוליכים (מופע – חום, אפס – כחול, הארקה – צהוב/ירוק)	11
	5725	28.12.1995	28.12.1995	תחילתן של תקנות אלה 18 חודש מהפרסום	65
	6131	6.11.2001	6.6.2003	היתר שימוש במוליך חשוף ברשת עילית	

בתקנות החשמל (מיתקני חשמל בבריכה במתח שאינו עולה על מתח נמוך) קיימת דרישה תקדימית להחיל את הנדרש בתקנות רטרואקטיבית, וזאת באמצעות הוראת מעבר. בתקנה 18 (הוראת מעבר) נקבע: "מיתקן הקיים בבריכה ערב תחילתן של תקנות אלה יותאם לדרישות התקנות בתוך חמש שנים מיום תחילתן". כלומר, לגבי מיתקן החשמל בבריכה שהיה קיים ב-12.8.2003 ניתנה תקופת מעבר של 5 שנים לשם התאמתו לדרישות תקנות אלו, ואפשר היה לבצע התאמה זו עד 12.8.2008.

מתוך הטבלה ניתן לראות את השינויים שבוצעו במהלך השנים בצבעי בידוד המוליכים. בתקנות החשמל (התקנת מוליכים), שנכנסו לתוקף ב-4.8.1970, היו צבעי בידוד מוליכים שנקבעו: מופע - חום, אפס - שחור, הארקה - צהוב/ירוק. היות שצבע בידוד מוליך ההארקה לפני פרסום תקנות אלה היה לבן, ניתן היתר להשתמש בצבע לבן במקום צהוב/ירוק במשך שנתיים מהפרסום.
בתקנות שנכנסו לתוקף ב-5.2.81 יכול היה צבע בידוד מוליך המופע להיות חום, כחול או סגול (מוליכים בעלי בידוד בצבע כחול או סגול שימשו לפאזה חוזרת).
אך ב-26.1.1996 נכנס לתוקף שינוי של צבעי בידוד מוליכי המופעים לחום בלבד, וצבע בידוד מוליך האפס שונָה לכחול. צבע בידוד ההארקה נשאר צהוב/ירוק. לאור זאת, במיתקנים ישנים שבוצעו בצבעים הישנים, ונוספו בהם חלקים בצבעים החדשים, קיימת דרישה לשילוט לוחות הזינה בנוסח: "זהירות - הצבע הכחול של בידוד מוליך במיתקן יכול שיסמן מוליך אפס (N) או מוליך מופע". מיום הפרסום הוקצו 18 חודשים עד כניסתם של השינויים לתוקף.



לידיעת ציבור העוסקים בחשמל, פורסמה מהדורת 2015 של הספר "חוק ותקנות בנושא חשמל". המעוניינים לרכוש את הספר יפנו אל המוסד לבטיחות ולגיהות, מחלקת ההפצה.

תקנות החשמל	פרסום בק"ת	תאריך פרסום	תאריך תחילה	עידכונים עיקריים/הערות	תקנה
(התקנת כבלים)*	1949	28.10.1966	28.1.1967	תקנה חדשה. צבעי מוליכים: (מופע - כחול, אפס - שחור, הארקה - צהוב/ירוק)	7
	4166	18.9.1980	18.3.1981	שינוי צבעי בידוד המוליכים: (מופע - חום, כחול או סגול, אפס - שחור, הארקה - צהוב/ירוק)	7
	5111	9.6.1988	9.12.1988	הגדרת הגובה המזערי של כבל עילי מעל פני הקרקע	101
	5656	26.1.1995	26.1.1997	שינוי צבעי בידוד המוליכים בכבל (מופע - חום, אפס - כחול, הארקה - צהוב/ירוק)	7
התקנת כבלים במתח שאינו עולה על מתח נמוך	6048	9.8.2000	9.8.2001 9.8.2002	כבל בהתקנה סמויה בקיר, בתקרה או ברצפה יותקן במובל בלבד	32
				שרוולים לסימון קצוות מוליכים בכבל קיים שחובר ללוח חדש או מוחלף	7
	6118	7.8.2001	31.12.2001	דחיית תחילת התקנה ל-31.12.2001	55
	6144	7.1.2002	31.12.2001	אפיון שרוולים לסימון קצוות מוליכים של כבל בעל מוליכים שבידודם בצבעים ישנים	7
התקנת כבלי חשמל במתח גבוה	6138	13.12.2001	13.2.2002	תקנה חדשה	
	7105	2.4.2012	2.5.2012	כבל ישירות בתעלה יכוסה בחול - לפחות 10 ס"מ, הגנה מכנית כגון אריחי בטון, ומעליו שכבת אדמה	
(התקנת מובלים)*	1809	17.12.1965	17.6.1966	תקנה חדשה	
	3373	24.7.1975	24.1.1976	עידכון סוגי הצינורות	
התקנת מובלים והתיול שבהם במתח שאינו עולה על מתח נמוך	6210	26.11.2002	26.5.2003	רביזיה לתקנה	
	6676	29.5.2008	29.6.2008	תיקון לתקנה	
תקנות הבזק והחשמל (התקרבויות והצטלבויות בין קווי בזק וקווי חשמל)	4909	6.3.1986	6.9.1986	תקנה חדשה - בתיבה: הפרדה בין מתקני החשמל למתקני הבזק באמצעים עמידים מבחינה חשמלית ומכנית	17
התקנת רשתות חשמל עיליות במתח שאינו עולה על 1000 וולט	5158	10.1.1989	10.1.1990	תקנה חדשה	
	5656	26.1.1995	26.7.1995	רביזיה לתקנה	
התקנת גנרטורים למתח נמוך	5000	26.1.1987	26.7.1987	תקנה חדשה	
	5163	27.1.1989	27.7.1989	הוספת איורים לדוגמא של חיבור גנרטור ארעי	14
התקנת מערכות אל-פסק סטטיות במתח נמוך	5512	30.3.1993	30.9.1993	תקנה חדשה	
העמסה והגנה של מוליכים מבודדים וכבלים במתח עד 1000 וולט	5482	26.11.1992	26.5.1993	תקנה חדשה	
	7349	4.3.2014	4.9.2014	רביזיה לתקנה	
מתקני חשמל באתרים חקלאיים במתח עד 1000 וולט	5375	1.8.1991	1.8.1992	תקנה חדשה	
מתקני חשמל באתרים רפואיים במתח עד 1000 וולט	5629	6.10.1994	6.10.1995	תקנה חדשה	
	5740	21.3.1996	21.3.1997	רביזיה לתקנה, למתקנים קיימים תקנות 13-16 ו-21-23 יחולו תוך 3 שנים מיום פרסומן (21.3.1999)	44
	7132	25.6.2012	25.12.2012	רביזיה לתקנה	44
	7166	27.9.2012	27.3.2013	תיקון טעויות	44
מתקני חשמל לתמרורי הוריה (רמזורים) במתח שאינו עולה על מתח נמוך	6086	13.2.2001	13.2.2002	תקנה חדשה	
מיתקן חשמלי ארעי באתר בניה במתח שאינו עולה על מתח נמוך	6210	26.11.2002	26.5.2003	תקנה חדשה	
מתקן חשמלי ציבורי בבניין רב-קומות	6226	12.2.2003	12.2.2004	תקנה חדשה	
מתקני חשמל בבריכה במתח שאינו עולה על מתח נמוך	6226	12.2.2003	12.8.2003	תקנה חדשה, מתקני חשמל קיימים יותאמו לדרישות שבתקנות תוך חמש שנים מיום תחילתן (עד 12.8.08)	18
(עבודה במתקנים חשמליים חיים במתח נמוך)*	1949	28.10.1966	28.10.1966	תקנה חדשה	
(עבודה במתקנים חשמליים חיים)*	2034	28.4.1967	28.4.1967	רביזיה לתקנה	
עבודה במתקן חי או בקרבתו	6724	27.11.2008	27.5.2009	רביזיה לתקנה	
	7349	4.3.2014	4.9.2014	מדידה, בדיקה תרמוגרפית וניקוי בהתזה אינם מוגדרים כעבודה במתקן חי	1,14,15,16
				עבודה במיתקן חי במתח נמוך - שני חשמלאים לפחות, במתח גבוה - שלושה חשמלאים לפחות	4(ב)
				החלפה, ניתוק חיבור ובדיקת מכשיר למניית אנרגיה - חשמלאי יחיד	4(ד)
תקנות החשמל (רשיונות)		1955		תקנה חדשה	
	6146	16.1.2002	1.2.2002	יותר מ-20 פרסומי עידכונים	
***הערה: כאשר שם של תקנה מופיע בסוגריים, זהו שמה הישן של התקנה.**					



השוואת מחירי חימום חדרים באמצעות מכשירים ומיתקנים שונים

לנוחות הקוראים מובאת כאן טבלה מעודכנת הכוללת מחירי חימום חדרים באמצעים שונים – חשמליים ואחרים. נתוני הטבלה יסייעו לחשב את הוצאות החימום בדירות מגורים. מדובר בהוצאות שוטפות בלבד, ללא חישוב עלויות ההשקעה ברכישה, בהתקנה ובתחזוקה.

בטור הראשון של הטבלה מפורטים 14 סוגי מכשירי חימום ומיתקני חימום ביתיים מקובלים בדירות מגורים. 6 מהם מופעלים בחשמל, והאחרים בנפט (קרוסין), בסולר או בגז.

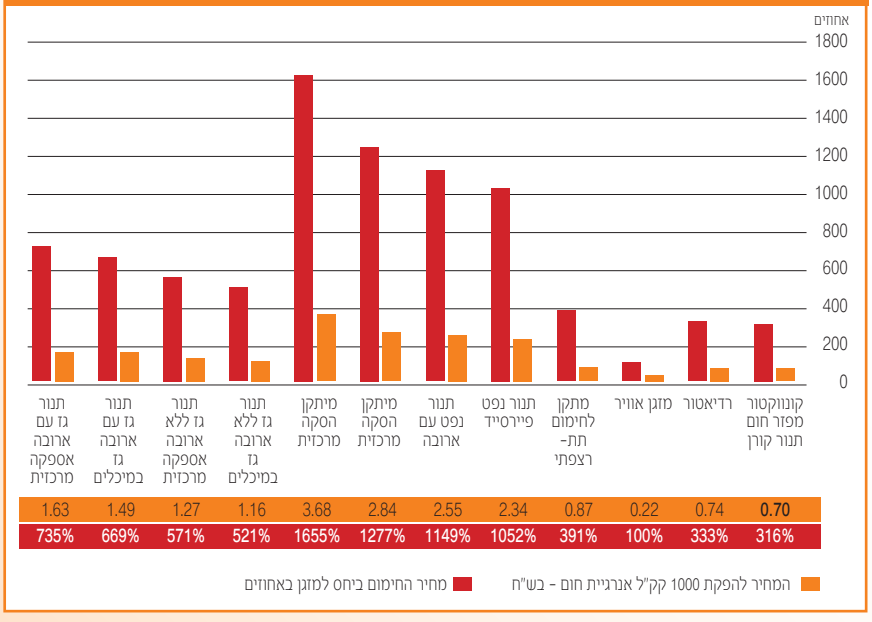
בטור השני של הטבלה מוצגים המחירים של יחידת חום (1,000 קק"ל "ברוטו") המתקבלת ממקורות אנרגיה מקובלים לחימום חדרים. אנרגיה זו מושקעת בפועל לשם הפעלת המכשיר או המיתקן. מחירים אלה חושבו בהתאם לערך הקלורי של מקור האנרגיה, לפי תעריף החשמל שבתוקף מ-1.2.2015, ובהתאם למחירי הדלקים (כולל מע"מ) שבתוקף בחודשים נובמבר ודצמבר 2014.
יצוין, כי אין אפשרות לבצע השוואת מחירים מדויקת לגבי חימום בגז, מפני שחברות הגז אינן מוכנות למסור את מלוא טווח המחירים שבהם הוא נמכר לצרכנים, ועקב כך חסרים נתונים ברורים לגבי מחירי הגז. לאור זאת, הערכים בטבלה מבוססים על ממוצע של המחיר הגבוה ביותר והנמוך ביותר שהתקבל.

בטור השלישי של הטבלה מוצג מקדם התפוקה המשוער של מכשירים ומיתקנים אלה. מקדם התפוקה מוגדר כיחס בין כמות האנרגיה המנוצלת בפועל להעלאת הטמפרטורה בחדר לבין כמות האנרגיה הנצרכת לשם הפעלת המכשיר או המיתקן, ואשר עבורה משלם הצרכן.
בהשוואה למכשיר חימום חשמלי (למשל, קונווקטור – מסיע חום), מקדם יעילות החימום של מכשירי חימום שמופעלים בגז **נמוך ב-5%–25%**, ומקדם יעילות החימום של מכשירים שמופעלים בסולר **נמוך ב-30%–45%**. מקדם היעילות הנמוך יחסית נובע משלוש סיבות עיקריות, הקשורות בעיקר למאפיינים הספציפיים של הדלקים ולתהליך הפיכתם לאנרגיית חום.

איור 1: מחיר ממוצע ליחידת חום (1,000 קק"ל) במכשירים ובמיתקני חימום מקובלים בדירת מגורים

סוג המכשיר/ המיתקן ומקור האנרגיה		מחיר ממוצע ל-1,000 קק"ל "ברוטו" (באגורות)	מקדם תפוקה משוער	מחיר ממוצע ל-1,000 קק"ל "נטו" בהשוואה למזגן אוויר (באגורות)	(באחוזים)
תנור קורן	חשמל	67	0.95	70	316
מפזר חום עם מנוע					
מסיע חום ("קונווקטור")					
רדיאטור שמן			0.90	74	333
מזגן אוויר (משאבת חום)			3	22	100
מיתקן לחימום תת-רצפתי			0.85–0.70	95–78	429–353
תנור "פיירסייד" – ללא ארובה	נפט	164	0.70	234	1052
תנור עם ארובה		166	0.65	255	1149
תנור עם ארובה	סולר	185	0.65	284	1277
מיתקן הסקה מרכזית			0.50	368	1655
תנור ללא ארובה	גז במכלים	104	0.90	116	521
תנור עם ארובה			0.70	149	669
תנור ללא ארובה	גז באספקה מרכזית	114	0.90	127	571
תנור גז עם ארובה			0.70	163	735

השוואת מחירי חימום חדרים באמצעות מכשירים ומיתקנים שונים חורף 2014/5



הגורמים המשפיעים על ערכו של מקדם התפוקה הם:

*** מידת ניצולו של הדלק שהוכנס למכשיר**, אשר תלויה, בין הייתר, במידת שלמות שריפת הדלק במכשיר או במיתקן, ברמת התקינות והתחזוקה של המכשיר או המיתקן,

המשך בעמוד 22

מדינת ישראל
משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים. מינהל החשמל

הנחיות מנהל ענייני החשמל לבניינים העוברים שינוי במסגרת תמ"א 38

תמ"א 38 היא תוכנית ארצית לחיזוק מבנים קיימים בפני רעידות אדמה. מטרת התמ"א הינה חיזוקם של בניינים קיימים (אשר ההיתר לבנייתם הוצא לפני 1.1.1980) באמצעות הקניית זכויות בנייה נוספות, תוך התניית התוספת בחיזוק המבנה כולו. בכל אחד מתסריטי הבנייה, לפי תמ"א 38, הבניין עובר שינויים יסודיים. לפיכך, מתקן החשמל בדירות מגורים או מתקנים ביתיים אחרים ובעיקר במתקן הציבורי (מתקן זה הינו מתקן המשותף לכלל הדיירים כגון אולם כניסה, מרתף, חדר מדרגות, מעלית וכדומה; להלן "המתקן הציבורי") מחייבים בחינה של מכלול הסוגיות הקשורות במתן חיבורי חשמל חדשים, הגדלת חיבורים קיימים, מתן חיבורים זמניים לבניה, בדיקת מתקן החשמל במבנה שעבר שינויים ועוד.

להלן הנחיות מנהל ענייני החשמל בנושא זה:

1 תכנון, התקנה, בדיקה ותחזוקה של מתקן החשמל חייבים לעמוד בהוראות חוק החשמל ותקנותיו, בהנחיות אלו, בתקנים הרלוונטיים וכן בכללים המקובלים;

2 במסגרת תמ"א 38, יעברו, לכל הפחות, מתקן החשמל הציבורי ומתקני החשמל הדירתיים את ההתאמות כמפורט בהמשך. השינויים הנדרשים במתקני ספק השירותים החיוניים יהיו על חשבון היזם/הקבלן.

3 התנאי לבדיקה וחיבור של מתקנים דירתיים לחשמל לאחר גמר הליכי הבנייה הינו בדיקה וחיבור המתקן הציבורי לחשמל. דירה שלא עברה שינוי במתקן החשמל ואשר עדיין מחוברת לחשמל, אין צורך לבדוק אותה.

4 הארקה

4.1 מקור ההארקה יכלול את יסודות המבנה החדשים שישמשו כאלקטרודת הארקה ואת מקור ההארקה הקיים. אלו יחוברו לפס הארקות חדש. אל פס זה יחוברו מוליכי ההארקה של השירותים השונים.

4.2 האמור בסעיף 4.1 יבוצע בכל אחת מהכניסות שבבניין.

5 לוחות/ארונות חשמל

5.1 בבניינים בהם לוחות החשמל הממוקמים בשטח הציבורי ונמצאים בתוך ארונות עשויים מעץ או חומר דליק אחר, יש לנקוט באחת מהפעולות הבאות:

5.1.1 יש לוודא שכל לוחות החשמל יהיו מחומר בלתי דליק לרבות דופן האחורי שלהם. לוח חשמל שאינו כזה, יוחלף;

5.1.2 הארונות יוחלפו לארונות מחומר בלתי דליק (כאשר הכוונה היא לארונות מחומר דליק שבתוכם נמצאים לוחות החשמל).

5.1.3 תותקן מחיצה מחומר בלתי דליק בין לוחות החשמל לבין דופן הארון, וכן בצד הפנימי של דלתות הארונות. יאטמו כל המעברים אל ומתוך הארון.

5.2 לוח/ות לחיבור ארעי לצורכי הבנייה יימצא/ו בתוך אזור העבודה. הלוח יעמוד בדרישות תקנות החשמל (מתקן חשמלי ארעי באתר בנייה במתח שאינו עולה על מתח נמוך), התשס"ג-2002;

5.3 בכל לוח חשמל של דירה קיימת ודירה חדשה יותקן מפסק ראשי ומפסק מגן בפני זרם דלף;

5.4 בכל לוח חשמל של המשרדים/החנויות הקיימים יותקן מפסק ראשי.

6 שינוי יסודי

כל שינוי יסודי במתקן החשמל הקיים (כגון החלפת לוח, הוספת מעגל, הגדלת החיבור) ייבדק על ידי בעל רישיון חשמלאי בודק המתאים לגודל המתקן.

6.1 אם השינוי היחידי הוא התקנת מפסק ראשי ו/או מפסק מגן, הבדיקה תכלול את הפרטים הבאים:

6.1.1 בדיקת הלוח וציודו;

6.1.2 בדיקת בידוד של הלוח, של הקווים והמעגלים הסופיים;

6.1.3 בדיקה ויזואלית על שלמות רכיבי ההארקה;

6.1.4 מדידת ערך עכבת לולאת התקלה;

החשמלאי שטיפל במתקן ובעל המתקן ימסרו לבודק תצהיר, חתום על ידם, שלא בוצע כל שינוי אחר במתקן החשמל.

6.2 אם השינוי היחידי הוא שינוי במקור ההארקה, ייבדק מקור ההארקה ויימדד ערך עכבת לולאת התקלה. החשמלאי שטיפל במתקן ובעל המתקן ימסרו לבודק תצהיר, חתום על ידם, שלא בוצע כל שינוי אחר במתקן החשמל.

6.3 בכל מקרה אחר של שינוי יסודי, תבוצע בדיקת מתקן מלאה, לפי שיקול המקצועי (דרושה, למשל, בדיקה לאחר הגדלת חיבור ל- 1x40A) בהתאם לתקנות החשמל.

6.4 לאף האמור בסעיפים הנ"ל החלטה הסופית לגבי טיב בדיקת המתקן מוטלת על חשמלאי בודק.

7 העתקת המונה של ספק השירות החיוני ללא שינוי במתקן החשמל הביתי

כאשר מבוצעת העתקת מונה ללא שינוי במתקן הדירתי, היקף הבדיקה יהיה:

7.1 בדיקת קו הזנה מהמונה ללוח החשמל הראשי, כולל רמת הבידוד;

7.2 ביקורת חזותית של לוח החשמל הראשי, כולל מפסק הראשי (ומפסק מגן במידה שנדרש, על פי תקנות החשמל);

7.3 מדידת ערך עכבת לולאת התקלה.

החשמלאי שטיפל במתקן ובעל המתקן ימסרו לבודק תצהיר, חתום על ידם, שלא בוצע כל שינוי אחר במתקן החשמל.

8 סירוב בעל המתקן לשתף פעולה

8.1 אם בעל מתקן דירתי מסרב לשתף פעולה עם בודק של ספק שירות חיוני, המתקן הדירתי עבר שינוי יסודי במסגרת תמ"א 38, התצהיר המופיע בסעיפים 7 ו-8 לעיל ייחתם על ידי החשמלאי שטיפל במתקן הדירתי והיזם/קבלן. במידה וחייבת להיות בדיקה ובעל המתקן לא נותן לביצועה אין לחבר את המתקן הדירתי לחשמל או, לחילופין, לנתק את המתקן הדירתי מההזנה.

המשך בעמוד 22

>>> שלומי לוי, גבי שליצקי







"תמונה אחת שווה אלף מילים"

בפינה חדשה זו נציג תמונות של התקנות חשמליות שגויות ומיפגעים חשמליים, תוך התייחסות לתקנות החשמל הרלבנטיות והצגת הסכנות הבטיחותיות אשר עלולות להיווצר בעקבותיהם. קהל הקוראים מוזמן לשלוח תמונות דומות למערכת "פאזה אחרת". המערכת שומרת לעצמה את הזכות לבחור בתמונה המתאימה, ואינה מתחייבת לפרסם כל תמונה שתגיע למערכת.

ארון החשמל שהפך לחלון



צילום: גיל גולן - מחלקת בקרת חשבונות, מחוז חיפה חברת החשמל

התמונה שלפניכם צולמה במיתקן קיים, שבו מתבצע שיפוץ. חיבור החשמל של המיתקן לא נותק - והוא מחובר למתח. אין ספק שהתמונה מדברת בעד עצמה, אולם נציג בפניכם את הבעיות המהותיות במקרה זה.

ראשית, בכל הנוגע לחיבור חברת החשמל, אסור לגעת בו, ורק עובדי חברת החשמל המוסמכים לכך רשאים לטפל בו.

הסוגיה הראשונה הבולטת לעין היא פירוק הקיר התומך של ארון החשמל ותליית המסד באופן לא קבוע ויציב, וזאת בניגוד לתקנה 7 בתקנות החשמל (התקנת לוחות במתח עד 1,000 וולט) אשר קובעת, בין השאר:

"(א) לוח ייקבע על משטח או מבנה יציב בלבד.

(ב) קביעת לוח תהיה יציבה ופירוקו יתאפשר באמצעות כלים בלבד".

נוסף על כך, בולט אי-הסדר המוחלט של המוליכים, אשר "זרוקים" על גבי המסד.

ניתן לראות בבירור רב, שמוליך ההארקה המחובר לפס ההארקה בלוח (אם בכלל אפשר להגדיר התקן שכזה כ"לוח"), תלוי באוויר וחתוך, ללא כל חיבור למקור ההארקה של המיתקן (אלקטרודה, יציאה מהארקת יסוד וכדומה).

ובכלל, האם לא צריך להתייחס לאתר שכזה כאל אתר בנייה? לשון החוק ברורה למדי בהקשר זה. תקנה 1 שבתקנות החשמל (מיתקן חשמל ארעי באתר בנייה במתח שאינו עולה על מתח נמוך) כוללת, בין הייתר, את ההגדרות הבאות:

"אתר בנייה - אתר שבו מתקיימות עבודות בנייה, תיקון, שיפוץ או הרחבה והריסה של מבנה, או שמבצעים בו עבודות עפר".

"מיתקן חשמל ארעי - מיתקן חשמלי המוקם לתקופה קצובה ולמטרה מוגדרת, המורכב בעיקרו מציוד מיטלטל והמפורק עם סיום העבודה באתר בנייה".

לפיכך, אין ספק שבאתר זה מבוצעות עבודות שיפוץ, ויש להתייחס אליו כאל אתר בנייה, בוודאי ובוודאי אל המיתקן החשמלי שבו, אשר מותקן באופן ארעי ולא קבוע. ואם כך הדבר, בתקנות החשמל (מיתקן חשמל ארעי באתר בנייה במתח שאינו עולה על מתח נמוך) מפורטות דרישות רבות ביחס ללוחות חשמל של אתרי בנייה. למשל, יש לעמוד בדרישות התאמה של הלוח לתקן ישראלי ת"י 1419 חלק 4 "לוחות מיתוג ובקרה למתח נמוך: דרישות מיוחדות ללוחות לאתרי בנייה"; יש לבצע יציאות מהלוח באמצעות בתי-תקע אשר מתאימים לתקן הישראלי ת"י 1109 "תקעים בתי-תקע ומערכות חיבור לשימוש בתעשייה"; יש לחבר את כל המעגלים והקווים באמצעות פתילים בלבד (כהגדרתם בתקנות), ועוד.

הסוגיה הראשונה הבולטת לעין היא פירוק הקיר התומך של ארון החשמל ותליית המסד באופן לא קבוע ויציב, וזאת בניגוד לתקנות החשמל

שלומי לוי - מהנדס חשמל, המחלקה לייעול הצריכה, אגף השיווק, חברת החשמל
גבי שליצקי - ראש מדור בודקים, מחלקת לקוחות טכניים, מחוז חיפה, חברת החשמל

>>> אריאל גוטקינד





"עושים חשבון"

בפינה חדשה זו נציג דוגמאות חישוב הנוגעות למיתקנים חשמליים. הדוגמאות הן תיאורטיות, ומציגות חישובים עקרוניים בלבד המבוססים על תקנות החשמל, לשם המחשת הנושאים השונים והגברת המודעות בקֶרֶב העוסקים בחשמל.

חישובי העמסת כבלים

בדוגמא שלפנינו נציג מפעל תעשייתי המוזן באמצעות רשת מתח גבוה 33 ק"ו. המפעל כולל תחנת השנאה פנימית פרטית, המזינה לוח ראשי במתח של 0.4 ק"ו.



הלוח הראשי מוזן באמצעות 4 כבלים רב-גידיים העשויים אלומיניום עם בידוד 90 מעלות, המחוברים זה לזה במקביל. צריכת האנרגיה במפעל עומדת על 80% מהספק השנאי, עם אופציה להתרחבות עתידית.
שטח החתך של מוליכי המופעים שבכל אחד מארבעת הכבלים הוא 240 ממ"ר מותקנים בתוך צנרת הטמונה בקרקע.

השאלות:

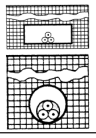
האם מספר הכבלים שבקו ההזנה ללוח הראשי מתאים לצריכת האנרגיה של המפעל?
האם מספר הכבלים שבקו ההזנה ללוח הראשי מתאים בעת העמסה מלאה של השנאי?

פתרון:

שלב א' – איסוף הנתונים

השנאי מועמס ב-80% מהספקו.
לוח ראשי מוזן מכבלי אלומיניום רב-גידיים עם בידוד 90 מעלות.
שטח החתך של מוליכי המופעים הוא 240 ממ"ר.
שיטת ההתקנה בצנרת בקרקע – שיטת התקנה ל' (ראו איור 1), לפי תקנות החשמל "העמסה והגנה על מוליכים וכבלים במתח נמוך" (עדכון 2014).
הטמפרטורה האופפת של הקרקע היא 30 מעלות צלזיוס.

איור 1: שיטת התקנה ל' – כבלים בתוך צנרת באדמה

ל'		כבלים חד-גידיים או רב-גידיים בצינור או בתעלה בנויה בתוך האדמה	70.6 90.6

שלב ב' – התאמה לתקנות והנחות יסוד

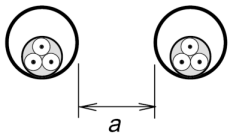
הטמפרטורה האופפת של הקרקע היא 30 מעלות צלזיוס. לפיכך, בטבלה 2 שבתוספת הראשונה של התקנות לעיל – K_2= 1.

ההתנגדות תֶרמית סגולית של הקרקע היא 2.5 קלווין*מטר לואט. לכן, המקדם K_3=1 לפי טבלה 3 שבתוספת הראשונה של התקנות. טבלאות 4, 5 ו-6 שבתוספת הראשונה של התקנות לעיל אינן רלבנטיות לשיטת התקנה זו (טבלה 4 דנה בכבלים שאינם מותקנים באדמה; טבלה 5 דנה בכבלים טמונים במישרין – ללא צינורות באדמה; ואילו טבלה 6 דנה בכבלים חד-גידיים המותקנים בתוך צינורות שטמונים באדמה).
טבלה 7 שבתוספת זו לתקנות (איור 2) דנה בכבלים רב-גידיים המותקנים בתוך צינורות באדמה, וקובעת: עבור התקנה זו, שבה כל כבל מותקן בצינור נפרד, מקדם התיקון הנדרש לחישוב I'z עבור 4 כבלים עם מירווח של 25 סנטימטרים בין צינור לצינור (האות a באיור 2) הוא K_7=0.8.

איור 2: טבלה 7 בתוספת ראשונה לתקנות – מקדמי תיקון לחישוב I'z בעבור קבוצות של כבלים רב-גידיים בתוך צינורות המונחים ישירות באדמה – כל כבל בצינור נפרד

מספר קבוצות של צינורות	מרחק בין הקבוצות של הצינורות (a) בסנטימטרים			
	a = 0 (צמודים)	a = 25	a = 50	a = 100
2	0.85	0.90	0.95	0.95
3	0.75	0.85	0.90	0.95
4	0.70	0.80	0.85	0.90
5	0.65	0.80	0.85	0.90
6	0.60	0.80	0.80	0.90

כבלים רב-גידיים



לפי טבלה 90.6 שבתוספת השנייה המתאימה לתנאי ההתקנה שלעיל (איור 3), הזרם המתמיד המרבי עבור כבל בחתך 240 ממ"ר הוא 253 אמפר=Iz **לפני** ההכפלה במקדמי התיקון הרלבנטיים.

איור 3: טבלה 90.6 שבתוספת השנייה לתקנות – זרם מתמיד מרבי בהתאם לשיטת התקנה

טבלה 90.6
שיטות התקנה ל', ל"א, י"ג
טמפרטורה אופפת של אדמה – 30°C, התנגדות תרמית סגולית של אדמה – 2.5 מעלות קלוין * מ' / וואט, בידוד 90°C

שטח חתך S [ממ"ר]	זרם מתמיד מרבי Iz [אמפר]			
	נחושת		אלומיניום	
	מעגל חד-מופעי	מעגל תלת-מופעי	מעגל חד-מופעי	מעגל תלת-מופעי
120	267	223	205	173
150	301	252	232	195
185	338	283	259	219
240	390	326	299	253
300	441	368	339	286

המשך בעמוד הבא

אריאל גוטקינד – מהנדס חשמל, המחלקה לייעול הצריכה, אגף השיווק, חברת החשמל

שלב ג' – החישוב

כעת, כשבידנו כל הנתונים המתייחסים להעמסת הכבל והתקנתו, נוכל לדעת מהי יכולת העמסת הכבל הנכונה באמצעות הכפלת הזרם המתמיד המרבי במקדמי התיקון כדלקמן:

$$I'z = Iz * k_2 * k_3 * k_7$$

לפיכך:

$$I'z = 253 * 1 * 1 * 0.8 = 202.4A$$

העומס במפעל מהווה 80% מהספק השנאי, ולכן:

$$Sload = Sn * 0.8 = 630kVA * 0.8 = 504kVA$$

לפיכך, זרם העמסה של המפעל הוא:

$$Iload = \frac{Sload}{\sqrt{3}*Un} = \frac{504kVA}{\sqrt{3}*400} = 727.46A$$

מכאן, שחייבים לדאוג שגודל העומס באמפרים יהיה קטן מיכולת העמסת הכבלים לאחר התיקון, או שווה לה.

$$Iload \leq I'z * n$$

n – מספר הכבלים.

$$727.46 \leq 202.4 * 4$$

ואכן, $727.46A \leq 809.6A$

מכאן, ש-4 כבלים יספיקו להזנת הלוח הראשי בהעמסה זו.
בהעמסה מלאה של השנאי, הזרם הנומינלי המחושב הוא:

$$In = \frac{Sn}{\sqrt{3}*Un} = \frac{630kVA}{\sqrt{3}*400} = 910A$$

בחישוב הקודם ראינו, שלפי שיטת ההתקנה הקיימת ניתן להעמיס את ארבעת הכבלים בזרם עד 809.6 אמפר לכל היותר. לפיכך, נדרש לבדוק כמה כבלים יש להוסיף על מנת להעביר 910 אמפר. גם כאן עלינו לנהוג משנה זהירות, מכיוון שבהוספת כבלים בתעלה, בהנחה שהמרחקים ביניהם נשמרים, יכולים להשתנות גם מקדמי התיקון.
במקרה שלפנינו, גם לאחר הוספת כבל חמישי (ראו איור 2) נשאר המקדם $K_7=0.8$.לפיכך, יכולת ההעמסה של כל כבל תישאר $I'z=202.4A$.

$$I'z = 202.4 * 5 = 1012A$$

מכאן, שבאמצעות 5 כבלים ניתן להעביר 1,012 אמפר.
מסקנה: 4 כבלים אינם מספיקים להוצאת כל ההספק מהשנאי, ולפיכך נבחר מערכת עם 5 כבלים, שתתאים להעמסה מָרַבִּית של השנאי. חשוב לציין, כי עבור סיטואציה שונה, בה מקדם התיקון משתנה לאחר שינוי מספר הכבלים, יש לחשב את יכולת העמסת הכבלים מחדש, הן עבור העמסה חלקית (80% בדוגמה לעיל) והן עבור העמסה מלאה של השנאי.

המשך מעמוד 18

השוואת מחירי חימום חדרים באמצעות מכשירים ומיתקנים שונים

ובמרת ההפסדים התֶרמיים בצנרת (למשל, במקרה של הסקת מרכזית).

*** כמות החום הנפלט אל מחוץ לחדר** אשר בו נדרש החימום, עקב הצורך לאוורר את החדר ולחדש את כמות החמצן באוויר החדר, המנוצל בתהליך השריפה של דלקים נוזליים (סולר, נפט) וגז.

*** ניצול של החום המופק מן המכשיר או מן המיתקן תוך זמן מוגדר**. גורם זה נעשה משמעותי בעיקר כאשר מחממים באמצעות מכשירים ו/או מיתקנים שחולף פרק זמן מסוים מרגע הפעלתם ועד שהחום שמפיק המכשיר מורגש בפועל בחדר.

בטור הרביעי של הטבלה מופיעים מחירים ממוצעים של יחידת החום (1,000 קק"ל "נטו") המושקעת בפועל בחימום החדר. מחירים אלה הם היחס שבין מחיר/תחום המחירים של 1,000 קק"ל "ברוטו" (המוצג בטור השני) לבין מקדם התפוקה המשוער (המוצג בטור השלישי של הטבלה).

בטור החמישי של הטבלה מוצגים המחירים של 1,000 קק"ל "נטו", באחוזים, ביחס למחיר יחידת החום ("נטו") של מזגן אוויר.

אם בידי גורם כלשהו קיימים נתונים שונים מאלה המופיעים בטבלה, עליו לעדכן את המחירים בהתאם.
כמו כן, יש לעדכן את המחירים בכל מקרה של שינוי בתעריפים.

המשך מעמוד 19

הנחיות מנהל ענייני החשמל לבניינים העוברים שינוי במסגרת תמ"א 38

8.2 אם הלוח מותקן בתוך הדירה ולא עבר שינוי כלשהו במסגרת תמ"א 38, ובעל המתקן הדירתי מסרב לשתף פעולה עם בודק המתקן הדירתי מטעם הספק השירות החיוני, אין צורך לבצע את הנדרש בסעיף 8 לעיל.

9 מקרים חריגים

9.1 במתקן החשמל הציבורי שהשינוי בו הושלם, וכן הוזמנה ושולמה בדיקת המתקן ע"י בודק מטעם הספק השירות החיוני, אך עדיין לא הומצא טופס 4, תיערך בדיקת מתקן החשמל הציבורי ללא המתנה לטופס 4.

9.2 במתקני החשמל בדירות הקיימות שהשינוי בהם הושלם, ובדירות בהן נעשתה תוספת בנייה, אך עדיין לא הומצא טופס 4, ואשר עבורן הוזמנה ושולמה בדיקת מתקן ע"י בודק מטעם הספק השירות החיוני, תבוצע בדיקה מלאה, ללא המתנה לטופס 4.

10 ההחלטה להתקנת ארונות ריכוז מונים או לפזר את המונים בקומות שייכת לספק שירות חיוני. אין לערב בין שתי השיטות הנ"ל.

אלברטו ברנשטיין
מנהל ענייני החשמל, מינהל החשמל
משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים

מערכת "מגדלור"

שליטה ובקרה מתקדמת לניהול טיפול בתקלות ברשת החשמל

בימי הסערה עבדו צוותי חברת החשמל לראשונה עם מערכת שליטה ובקרה מתוחכמת לאיתור תקלות במהלך הסערה.
מערכת "מגדלור" פותחה כחלק מחיזוק מערך השיגרה והחירום של חברת החשמל, והיא מאפשרת מתן תמונה רחבה בזמן אמת בין צוותי העבודה בשטח לדרג הניהולי.

אם באחד מימי הסערה של ראשית ינואר נתקלתם במקרה בעובד חברת החשמל במעיל גשם צהוב, אוחז בידו מכשיר טאבלט ומצלם או מקליד דבר מה בעיצומו של גשם סוחף – הוא ככל הנראה השתמש במערכת החדשה "מגדלור" שהוטמעה לאחרונה בחברת החשמל, ומאפשרת מתן טיפול יעיל ומהיר ללקוחות החברה.
חברת החשמל הקימה, באמצעות חברת TSG, מערכת שליטה ובקרה מתוחכמת לניהול צוותי משימה שונים בכלל וצוותי תיקון תקלות ברשת החשמל בפרט – מערכת "מגדלור". המערכת פותחה כחלק מחיזוק מערך השיגרה והחירום של חברת החשמל, היערכותה למצבי קיצון, ויישום הפקת הלקחים של אירועי סערת דצמבר 2013.
מערכת "מגדלור" היא מערכת שליטה ובקרה תקשורתית, שמטרתה לשפר את השירות הניתן ללקוחות חברת החשמל. המערכת מאפשרת הפעלה ומתן תמונה רחבה בזמן אמת בין צוותי העבודה בשטח לדרג הניהולי. היא מבוססת על מכשירים ניידים מתוחכמים טכנולוגית, מוקשחים ומאפשרים עבודה בתנאי שטח שונים ומאתגרים. עמדות העבודה הניידות משדרות נתונים מהצוותים בשטח למרכזי שירות הלקוחות – 103, ולדרג הניהולי, וקולטות הנחיות מדרג הניהול להפעלת הצוותים.

המערכת משפרת את יכולות השליטה

מערכת "מגדלור" מאפשרת להציג תמונת מצב רחבה, אינטגרטיבית ומשותפת הכוללת: תקלות ברשת החשמל בחירום ובשיגרה בגיזרה נתונה, פריסת צוותים וסטאטוס המשימות, גורמים תומכים וכיו"ב. כמו כן, היא מאפשרת למקבלי ההחלטות בארגון לקבוע סדרי עדיפויות בהתאם לתמונת המצב הנכונה בזמן אמת: תקלות, צוותי עבודה ולוחות זמנים.



המערכת משפרת את יכולות השליטה, ומאפשרת למצות את התפוקה של צוותי העבודה בשטח בצורה האפקטיבית ביותר. באמצעותה ניתן להעביר מידע ונתונים מדויקים על התקלות בין המטה לצוותי העבודה, ובכך לייעל באופן משמעותי את הטיפול בתקלות ברשת החשמל.
מערכת "מגדלור" תומכת במחזור החיים של המשימות, כולל תכנון, הנחיה, ביצוע, בקרה ותיחקור, תוך שיפור יכולת התיחקור בזמן אמת On-Line או בסמוך לו, מאפשרת שיתוף פעולה יעיל עם ארגונים נוספים, כגון פיקוד העורף והמשטרה, ועבודה אוטונומית בכל רמה בנפילת רשתות תקשורת, אשר הכרחית בזמני חירום.

צילומים: דוברות חברת החשמל



הקריצה של אנדי
חורף ירושלמי

