

לקצר בלוח החשמל
עלולות להיות השלכות
הרסניות - מהשבתת
העבודה, נזקים לציוד ועד
לאובדן חיים.

את הנקודות החמות,
המצביעות על ליקוי
במערכת החשמל, ניתן
לזהות בקלות באמצעות
סריקה תרמוגרפית.
תיקון הליקויים מבעוד
מועד מונע תקלות
במערכת החשמל ומשפר
את בטיחות המיתקן

ב שיחות עם אנשי כיבוי אש נמשך
לי כי כשלים במערכות חשמל היו
הגורם לכ-30% מהדליקות
במבנים (מבני ציבור, בתי מגורים ומפעלים).
הסכנות הללו מוגברות במקומות שבהם
משתמשים בחומרים דליקים ונפיצים.
הסיכונים מקצר חשמלי עלולים להיות
חמורים יותר כאשר שוהים אנשים באותם
המבנים - במיוחד חולים ו/או קשישים
סיעודיים בבתי חולים ובמוסדות.
קצר במערכת החשמל איננו אירוע
פתאומי, בד"כ, אלא תהליך שתחילתו בליקוי
הגורם לעלייה בהתנגדות ולהתחממות,
וסופו - התרחשות התקלה. את הנקודות
החמות, המצביעות על קיום ליקוי, ניתן
לזהות באמצעות סריקה תרמוגרפית.

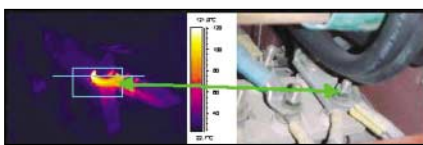
בארץ החלו לבצע סריקות תרמוגרפיות,
מחוץ למיתקני חברת החשמל, כבר בשנת
1988. בשנים הראשונות הזמינו את
הסריקה, באופן וולונטרי, מי ששוכנעו
ביתרונותיה. במשך השנים החלו חברות
הביטוח לבקש מלקוחות מסוימים לכלול
את הסריקה בהכנותיהם לקראת כניסה
למעגל הביטוח. הדרשה לביצוע הסריקה
התרחבה עם השנים לרוב המבוטחים. גם
אחראים על מניעת שריפות בתחנות כיבוי
האש החלו לדרוש את ביצוע הסריקה
(הדרשה בשני המקרים איננה מדיניות
כוללת ואחידה בכל הארץ).

הכותב הוא מייסד ומנכ"ל חברת
'אינפרא-רד טכנולוגיות'

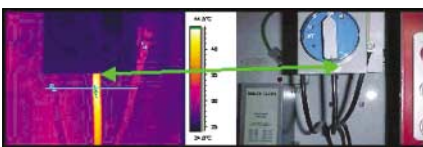
בדיקה תרמוגרפית למניע

מאת טובי

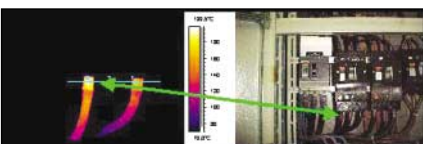
פיענוח נכון של התמונות, על ידי מומחה
בתרמוגרפיה, מאפשר איתור נקודות
לקויים, זיהוי הסיבה לליקוי ומידת
חומרתו. פלט הסריקה הממוחשב מאפשר
לבצע את התיקונים הנדרשים לפי סדר
קדימויות נכון, באופן הנכון, ובזמן השבתה
מיזערי של המיתקנים.



מגע רופף בחיבורי גנרטור המשמש לגיבוי
אספקת חשמל למערכות תומכות חיים
(הטמפ' - 124°C)



מגע רופף בלוח פיקוד של מתז לכיבוי אש
(ספרינקלר) בבית-אבות (הטמפ' - 40°C)



מגעים רופפים במערך פיקוד של מדחסי
אוויר במיתקן מסוכן (הטמפ' - 200°C)

מומלץ לבצע את הסריקה במערכות
חשמל כאשר העומס בהן הוא לפחות 60%
מהצריכה הרגילה במקום הנסרק.
המשקפת איננה מתייחסת למעגלי חשמל
שלא נמצאים תחת עומס בזמן הסריקה.
דו"ח הסריקה מהווה כלי ראשון במעלה
בידי החשמלאים לביצוע תיקונים ביעילות
ובעלות נמוכה.

למי נחוצה סריקה תרמוגרפית

תקנות החשמל (העמסה והגנה של
מוליכים מבודדים וכבלים במתח עד
1000 וולט), התשנ"ג-1992, קובעות
בתקנה 5(ב1):

במאמר שלפניכם נסקור את הסיבות
העיקריות להתחממות בלוחות חשמל ואת
הסיכונים הנובעים מכך במפעלים ובמבנים
שונים, נציג את שיטת "התחזוקה החזויה"
שבמסגרתה נכללת גם הסריקה
התרמוגרפית, כשיטה יעילה לצמצום
הסיכונים: תיקון הליקויים בזמן מונע תקלות
בחשמל ומשפר את הבטיחות במיתקן.

דוגמאות מהשטח

- באתר שבו נמצאו כמויות גדולות
במיוחד של חומרים דליקים התגלה
ליקוי בלוח החשמל, בחיבור נעל-כבל
שהטמפרטורה שלו עלתה ל-200°C;
 - בבית דפוס גדול שבו נעשה שימוש גם
בחומרים נפיצים, התגלה נתיך
בטמפרטורה של 180°C;
 - בבית אבות סיעודי זוהתה תקלה
בחיבורי גנרטור המשמש כגיבוי
למערכות תומכות חיים; באותו בית
אבות התגלה ליקוי חמור גם במפסק
ראשי של מערכת כיבוי האש.
- אלה הן רק דוגמאות ספורות לליקויים
במערכות חשמל שיש להם השלכות
חמורות על בטיחותם של השוהים
במיתקני החשמל ובסביבתם. כל התקלות
שמנינו אותן, מבעוד מועד, באמצעות
סריקה תרמוגרפית של לוחות החשמל
ותוקנו לפני שגרמו נזק.

הסריקה התרמוגרפית

בסריקה התרמוגרפית של מערכות
החשמל סוקרים את כל מערכת החשמל
באמצעות משקפת הרגישה לקרינה
אינפרא-אדומה (א"א) הנפלטת מכל גוף,
ביחס ישר לטמפרטורה שלו. קרינה א"א
איננה נראית לעין האדם. המשקפת
מתרגמת את הקרינה לתמונה הנראית
לעין, כאשר לכל טווח טמפרטורות ניתן
צבע שונה.

כאמור, הליקויים במערכות החשמל
מלווים בהתחממות. במערכות חשמל
פעילות - האזורים שיש בהם ליקויים
מתחממים ביחס ישר לחומרת הליקוי
ולעוצמת הזרם. ההתחממות גורמת
לפליטה מוגברת של קרינה א"א והמשקפת
הרגישה מציגה תמונה נראית לעין של
מוקדי החום.

ת תקלות בלוחות חשמל

ה ברגר

מאיצים את קצב הידרדרות המצב ומגבירים את הליקוי. קורוזיה יכולה להיווצר גם כאשר המגעים תקינים. במקרים אלה הקורוזיה היא הגורם להיווצרות הליקוי במגע.

מגע לקוי בנעל-כבל יכול להיווצר עקב הידוק לא מספיק או הידוק מופרז; הידוק נעל-הכבל על חלק מהבידוד; ביצוע ההידוק באמצעות מכשיר לא מתאים; שימוש בנעל-כבל לא תקינה/ לא מתאימה לכבל; שיכתת קורוזיה הנוצרת בין הכבל לנעל (בגלל אי התאמה בין 2 סוגי המתכות) ועוד.

כאשר נוקטים בשיטת "התחזוקה המונעת" - נוהגים לסקור מדי שנה את כל המגעים בלוחות החשמל ולהדק את הברגים. הידוק הברגים פותר את הבעיות הנובעות ממגעים רופפים. לגבי שאר המקרים - להידוק אין כל השפעה, והוא אף עלול לייצר בעיות חדשות. בעבודתנו אנו מוצאים, לא פעם, מגע לקוי שנוצר עקב הידוק יתר של ברגים שגרם למערכת גידים או כבלים.

גם גופים זרים (לכלוך) המצטברים במקום החיבור עלולים לגרום לליקוי במגע. בסקר שערכנו נמצאו 273 מגעים לקויים, מתוכם: 144 כתוצאה מחיבור רופף, 43 ליקויים בנעלי-כבל, 9 מקרים של גידים וכבלים לא תקינים ושאר הליקויים - מסיבות אחרות, כנראה בהשפעת קורוזיה או עקב הידוק יתר של ברגים.

ליקוי פנימי בציוד

מהנתונים שבידינו - ליקויים פנימיים בציוד הם הסיבה השניה לליקויים בלוחות חשמל במיתקנים. למעשה, כל רכיב חשמלי של הלוח הוא מכלול של חלקים שונים המחברים ביניהם. ליקוי עלול להיווצר בכל אחד מהחלקים וגם בנקודת החיבור ביניהם. ליקוי פנימי בציוד יכול להיגרם מהסיבות הבאות: לכלוך בין המגעים; פגיעה פיזית במגעים; ריתוכים ליקויים בין הרכיבים; שחיקה של הפתיל הגמיש;

התוצאות שהתקבלו בסריקות תרמוגרפיות שנערכו ב-113 מיתקנים (אשר נבחרו באקראי מתוך סך כל המיתקנים שסרקה החברה בשנת 2002). מימצאי הסקר מובאים בטבלה 1.

- ב-113 המפעלים שנכללו בסקר נסרקו, בסך הכל, 3670 לוחות והתגלו 564 ליקויים (כלומר: תקלה אחת לכל 6-7 לוחות, בקירוב);
- ב-94 מיתקנים מתוך 113 המיתקנים שנכללו בסקר התגלה לפחות ליקוי אחד;
- בכל מפעל היו בין 2 ל-200 לוחות חשמל.

הסיבות להתחממות רכיבים

מגע רופף/ לקוי, ו/או חיבור לקוי

בעבר רווחה הדעה כי מגע "רופף" הוא הגורם הבלעדי לתקלות במערכות החשמל, ומכאן שהידוק המגעים הוא הפתרון לכל הבעיות הצפויות. אמנם, מגע רופף הוא גורם נפוץ להתחממות בלוחות החשמל, אך הוא איננו הגורם היחיד. ליקויים במגעי החשמל יכולים לנבוע גם מהסיבות הבאות: התקנה לקויה של בורג; ברגים שבורים או תברוגות שחוקות; שימוש בטבעות ("שייבות") לא מתאימות ועוד.

גורם נוסף, הקשור להיווצרותם של מגעים לקויים, הוא הקורוזיה. בלאי המתכות שבו מדובר כאן נגרם במגע הגלוי בין מתכות, השונות זו מזו בתכונותיהן. תהליכי קורוזיה, הנוצרים לעיתים בסביבתם של מגעים לקויים,

" הטמפרטורה המרבית המותרת בזרם I_z (הזרם המתמיד המרבי של המוליך*) היא - $70^{\circ}C$ כאשר הבידוד הוא פיו.וי.סי (PVC) רגיל או דומיין.

$90^{\circ}C$ כאשר הבידוד הוא פוליאיתילן מוצלב (XLPE) או סוגים מסויימים של בידוד נטול הלוגנים".

כך שבעצם כל מי שצורך חשמל צריך שתהינה בידיו תוצאות של סריקה תרמוגרפית.

במיגזרים השונים של המשק בישראל פועלים יועצים ו"סוקרי ביטוח" (אנשים המבצעים סקרי סיכונים כחלק מתהליך החיתום על פוליסות ביטוח לתעשייה), אשר מחייבים את המבוטחים לבצע סריקה תרמוגרפית בלוחות מעל לגודל מסוים, בדרך כלל מעל 100 אמפר. באופן מעשי, בנושא השריפות אין לגודל הלוח שום משמעות: לא מכבר נמנעה שריפה ודאית בלוח חשמל של 40 אמפר המכיל 5 מפסקים. וזה איננו המקרה היחיד.

סריקה תרמוגרפית יכולה להועיל למפעלים, מבני משרדים, בתי מלון, בתי-חולים, בתי-אבות, בתי-מלאכה ואף לבתי מגורים. הסריקה חשובה במיוחד דווקא במיתקנים קטנים, שבהם לא מועסקים אנשי תחזוקה צמודים. במקומות כאלה אין שום טיפול תקופתי בלוחות החשמל והחשמלאי נקרא למקום רק בזמן תקלה, ואז הוא מתבקש, בד"כ, לבצע את התיקון המינימלי הנדרש בעלות הנמוכה ביותר. לאש אין שום גבולות של בעלות, והיא גם איננה מכירה בחשיבותן של העלויות - כשהיא מתלקחת היא עוברת במהירות ממקום למקום וגורמת לנזקים כבדים בכל אשר תפנה.

סריקה תרמוגרפית היא כלי יעיל בידיו של הממונה על הבטיחות - לצמצום סיכוני השריפה; ובידיו של החשמלאי - לשיפור רמת אספקת החשמל במקום העבודה וגם לחיסכון בעלויות.

סקר ככלי לאיתור סיבות לכשלים

לצורך איתור הסיבות השכיחות להתחממות של מיתקני חשמל ניתחנו את

* תקנות החשמל (העמסה והגנה של מוליכים מבודדים וכבלים במתח עד 1000 וולט), התשנ"ג-1992 - תקנה 5(א)

* מימצאי הסקר הצביעו גם על בעיות בתכנון חלוקת העומס על 3 הפאזות, והנצילות (CosΦ).

טבלה 1. מימצאים עיקריים מתוך סקר תרמוגרפי במיתקני חשמל					
הנושא/ המימצא	בתי חולים/ בתי אבות	מבני משרד	תעשייה קלה	מפעלים	סה"כ
סה"כ מיתקנים	8	70	19	16	113
סה"כ לוחות	335	2317	296	722	3670
סה"כ ליקויים*	65	284	63	152	564
מגע רופף	17	66	19	42	144
מגע/חיבור לקוי	6	63	19	41	129
ליקוי פנימי	28	87	12	22	149
עומס יתר	11	57	10	39	117
עומס חום על הלוח	3	11	3	8	25

תכונות קפיציות נחותות של המגעים בציד המיתוג; הידבקות בין מגעים של ציד המיתוג (כתוצאה מריתוך בקשת חשמלית); סדקים במסגרת המפסק; מערכות שפורקו ולא הותקנו כהלכה ועוד.

בסקר שלנו מצאנו 149 ליקויים כאלה. בסריקה באחד המפעלים התגלה ליקוי פנימי שיש לו חשיבות מיוחדת לגבי בטיחות השימוש במיתוקן. מדובר בהידבקות מגעים במפסק ניתוק זרם. הידבקות בין המגעים במפסק כזה גורמת לפגיעה ביכולת הניתוק של המפסק, כך שבשעת הצורך הניתוק לא יתבצע ואספקת הזרם לא תנותק. המימצא חמור במיוחד כאשר נדרש ניתוק של הזרם מסיבות בטיחות בשעת חירום.

נתקלנו גם בליקוי פנימי בשנאי שמן: בבדיקה התרמוגרפית התגלו נקודות חמות על פני מעטפת השנאי. לאחר פתיחת השנאי התברר כי היו בו 2 מגעים לקויים. לליקוי כזה יש משמעות בנוגע לבטיחות השימוש ולתיפקודו התקין של השנאי.

עומס יתר

עומס יתר נגרם, בד"כ, עקב חיבור של צרכנים רבים מדי על קו הספקה מסוים (נושא נוסף בעל משמעות הוא עומס כתוצאה מ"הרמוניות". במסגרת המאמר לא נרחיב בנושא זה, אך - אחת התוצאות של "הרמוניות" היא עומס על המוליכים). הכבל המוליך מתחמם מעל למותר עקב עוצמת הזרם (גדולה מהמתוכנן) העובר דרכו, לעתים - מעבר לכושר העמידות של חומרי הבידוד המצפים את הגידים. הקפדה על התקנה מקצועית של לוח החשמל ושל רשת המוליכים עשויה לצמצם מצבים של עומס יתר. לעומת זאת - אילתורים והוספת צרכנים על הקו, מעבר למותר, גורמים לסיכוי התחממות כנ"ל. בסקר נמצאו 117 נקודות חמות כתוצאה מעומס יתר.

השפעות סביבתיות - עומס חום

חשיפה לתנאי סביבה חמה במיוחד יכולה להאיץ את תהליך ההתחממות בלוחות חשמל שבהם קיימים כבר ליקויים, ואף לגרום לליקויים חדשים. היעדר איזורור בלוח או איזורור לא מספיק (בגלל מסננים סתומים, לדוגמה) יכול לגרום לעליית הטמפרטורה של כל הרכיבים בלוח, ולעליית הטמפרטורה, הגבוהה ממילא, של רכיבים לקויים. העלייה הנוספת בטמפרטורה הופכת כל ליקוי לגורם בעל פוטנציאל גבוה לגרימת נזק. העלייה בטמפרטורת הרכיבים בלוח יכולה לנבוע גם מצפיפות יתר בין רכיבים שונים.

תקנות החשמל (העמסה והגנה של מוליכים מבודדים וכבלים במתח עד 1000 וולט), התשנ"ג-1992, קובעות

בתקנה 5(ב)2) דרישות לטמפ' אופפת מירבית: 35°C ו- 30°C באוויר ובאדמה, בהתאמה למסלול המוליכים.

בסקר התגלו 21 מקרים של טמפרטורות גבוהות שמקורן בחוסר איזורור, ו-4 מקרים של חום שנבע מהתקנה צפופה מדי של רכיבים.

בעיה מיוחדת מתעוררת בארונות חשמל בהספק של 100 אמפר ומעלה, שבהם קיימת דרישה של התקן להתקין מערכת לגילוי אש המשולבת עם מערכת כיבוי אוטומטי בגז (לפי ת"י 1220 חלק 3). הגז לכיבוי הוא מיצרך יקר יחסית, ולכן מחשבים את כמות הגז הדרושה במצב של לוח חשמל סגור. סגירת הלוח מפריעה לאיזורור. כך יוצא שכדי לאפשר כיבוי שריפות בלוחות חשמל, באמצעות גז - מסכנים את הלוח בעליית הטמפרטורות בו (עקב סגירתו) ובכך מגבירים את הסיכון להתלקחות אש!

הסיכונים

את הסיכונים הנובעים מהליקויים שתוארו חילקנו ל-6 קבוצות, לפי חומרתן:

1. אש

אש היא הסכנה החמורה ביותר. התחממות המוליכים גורמת לחומרי הבידוד לאבד את תכונות הבידוד שלהם, להתפורר וכד'. השלב הבא הוא קצר חשמלי ושריפה (התלקחות לוח החשמל ו/או סביבתו).

בסריקה שביצענו במחסן של בית דפוס, השוכן במבנה של בתי מלאכה ומחסנים, מצאנו מוליך בטמפרטורה של 125°C שציפוי הבידוד שלו חרוך ומקולף לכל אורכו. הסכנה להתלקחות אש ולשריפה היתה מיידית (הליקוי תוקן באותו היום). במיתקנים אחרים שבדקנו גילינו 4 מגעים עם גידים חרוכים סביבם.

קיימים מצבים שבהם אזור הליקוי מתחמם עד לטמפרטורת ההתלקחות של חומרים דליקים הנמצאים בקירבת מקום.

כאמצעי הגנה, למניעת דליקות בלוח החשמל, מתקנים מערכות לכיבוי אש הנשלטות ע"י פיקוד חשמלי. באחת הסריקות שביצענו במערכת החשמל של בית אבות סיעודי מפואר התגלה ליקוי במפסק ראשי של מערכת כזאת לכיבוי אש. הליקוי אותר בלוח הפיקוד של משאבת המים לספרינקלרים. אילו פרצה שריפה באותו מיתקן - יתכן מאוד שהליקוי היה מונע את הפעלתה של מערכת המתאים.

2. סכנת התחשמלות

התחממות יתר פוגעת בכושר הבידוד של חומרים מבודדים ולהתפרקות שיכתב הבידוד. מגע בגידים החשופים עלול לגרום להתחשמלות. בדוגמה שהבאנו, בנוגע

למחסן בית הדפוס - נגיעה אקראית בגידים הגלויים היתה עלולה לגרום להתחשמלות.

3. הפסקת חשמל

ליקוי עלול להוביל לניתוק מגעים במערכת החשמל ולהפסקת חשמל חלקית, או מלאה, במיתקן כולו או בחלקו, בהתאם למיקומו של הנתק.

מערכות גיבוי - כגון מערכות אל-פסק (U.P.S.) או גנרטורים, אם קיימות, מספקות את זרם החשמל, במקרים רבים, דרך רשת ההולכה הראשית. כלומר: דרך אותם לוחות לקויים. ולכן, כאשר קיים ליקוי בלוח - מערכות הגיבוי לא תבאנה שום תועלת. אך גם כאשר מערכות הגיבוי מחוברות דרך רשת נפרדת - יש לקחת בחשבון שליקוי ברשת הגיבוי יפריע להספקת החשמל בשעת חירום. לפיכך, יש לבצע בדיקות גם ברשתות הגיבוי. לדוגמה: באחד מבתי האבות שנסקרו התגלה ליקוי חמור בחיבור של כבל היציאה מהגנרטור. הליקוי אותר כעבור 4 דקות של פעילות. אילו היה הגנרטור נדרש לפעולה לפרק זמן ממושך - הוא היה קורס. באותו מקום התגלו גם ליקויים במפסקים הקובעים את מקור הזנת הזרם (מרשת החשמל החיצונית או מהגנרטור). תקלה במפסקים האלה תימנע כל אפשרות לאספקת חשמל.

4. הפרעות במתח

ליקויים במערכת החשמל עלולים לגרום לירידה במתח - ירידה קבועה, או ירידות ועליות בלתי סדירות. הפרעות במתח משבשות את פעילותם התקינה של כל צרכני החשמל הקשורים לרשת ובעיקר של מערכות אלקטרוניות. הפרעות במתח עלולות לגרום לנזקים ממשיים (פיזיים), לעלייה בעוצמת זרמי החשמל; להתחממות נוספת של המוליכים; לפעילות לא תקינה של ציוד אלקטרוני, כגון מערכות בקרה או מחשבים; להרס מנועי חשמל ועוד.

5. הפרעות בתיפקוד הרכיבים שעל לוח החשמל

מגעים שנדבקו בגלל חימום יתר לא יתנתקו בשעת הצורך - המפסקים האוטומטיים מתוכננים לנתק את הזרם במקרי חירום, כמו עומס יתר או בשעת שריפה. הידבקות המגעים לא תאפשר את ניתוק הזרם.

6. בזבז חשמל

החום הנוצר במגעים לקויים הוא ביטוי לחשמל מבזבז. מוליכי החשמל החמים פועלים במקרה זה כתנורי חימום, והופכים אנרגיה חשמלית לחום. לצינון אזורי החום שנוצר (שלא לצורך) נדרשת גם אנרגיה רבה של מיתקני מיזוג-אוויר.

שיטות תחזוקה

ניתן לאפיין 3 שיטות נפוצות לתחזוקה:

תחזוקת שבר

ידועה גם בכינוי "כיבוי שריפות" (תרתני משמע). במקומות הפועלים בשיטה זו עלולים הליקויים להתפתח עד לאירוע "שבר". המקרה הקיצוני של תקלת שבר, מנקודת המבט של מאמר זה, הוא שריפה. אך גם כל הסיכונים האחרים שתוארו למעלה באים בחשבון. חיסרון נוסף של שיטת התחזוקה הזאת הוא שאין לדעת מתי יתרחש אירוע השבר. לפי "חוקי מרפי" – אירוע השבר יתרחש דווקא כאשר הנזק שעלול להיגרם יהיה מירבי, ו/או כאשר צוות התחזוקה נמצא בדרכו הביתה.

תחזוקה מונעת

בשיטה זו מבצעים בדיקות, באופן תקופתי, של כל מערכות החשמל. בבדיקות האלה, בד"כ, רק מהדקים ברגים רופפים (וגם זאת – בהצלחה חלקית) ומאתרים ליקויים אחרים ע"י צפייה בשינוי צבע של הרכיבים (שינויי הצבע נגרמים כתוצאה מהתחמצנות בחום גבוה). לשיטת התחזוקה המונעת מספר חסרונות בולטים:

קצר חשמלי לא נגרם בגלל "כוח עליון" ובמרבית המקרים ניתן למנוע אותו

- נדרשת השבתה של המיתקן;
- ניתן טיפול אחיד לרכיב תקין ולרכיב לקוי;
- לא ניתן לזהות בעיות נסתרות;
- במקרים מסוימים יוצרים ליקויים חדשים, נוספים, ע"י הידוק יתר של ברגים.

תחזוקה חזויה

העיקרון העומד בבסיס שיטת התחזוקה החזויה הוא שימוש בבדיקות מתוחכמות, המאפשרות לקבל תמונה מלאה על מצבה של המערכת הנבדקת, ומצביעות על מיקומם המדויק של הליקויים, אם קיימים. זוהי גישה כוללת לתחזוקה

ובמסגרתה כלולות בדיקות רבות, כגון: בדיקת ויברציות בציוד טובב; בדיקת שמנים במנועים, משאבות, תיבות הילוכים ושנאים. אחת מהבדיקות היא הסריקה התרמוגרפית, המיועדת לאתר ליקויים בלוחות חשמל, שבה אנו עוסקים במאמר. ביצוע סריקה תרמוגרפית במסגרת התחזוקה החזויה מצמצם את הסיכונים במערכות החשמל שתיארנו כמעט עד לאפס, וחוסך בעלויות התחזוקה (בסקר השוואת עלויות בין שיטות תחזוקה, שנערך בתחנות כוח בארה"ב, התברר כי עלויות התחזוקה לכל כוח-סוס מיוצר הן – בשיטת תחזוקת שבר: כ-17-18 דולרים לשנה; בתחזוקה מונעת: כ-12-13\$ לשנה ובשיטת התחזוקה החזויה העלות היא רק 6-7\$ לשנה).

סיכום

קיימות סיבות רבות לליקויים במערכות החשמל, אך הביטוי החיצוני למירב הליקויים הוא דומה: התחממות. זיהוי מבעוד מועד של הנקודות החמות במערכת וטיפול נכון, בזמן הנכון, עשוי למנוע סיכונים מיותרים בקלות, ביעילות ובעלויות נמוכות יחסית. ■