



תאריך: 17 בדצמבר 2008
 מאת : יוסף בן-חיים
 הנדסאי חשמל
 תרמוגראפר דרגה- 2
 סריקות תרמיות בחשמל
 מפעל לייצור רכיבי מחשב
 ישראל

מדוע צריך סריקות תרמיות במתקני חשמל ?

המדריך הטכני המקוצר לתרמוגראפר החשמל

בעבודתי היומיומית כתרמוגראפר חשמל (צלם תרמי), במכונות שונות, יוצא לי לגלות מדי פעם דברים חדשים תוך כדי הסריקה. לעיתים אני מאבחן מיידית את "הבעיה" על צג המצלמה, מכיוון שמניסיוני בעבר כבר "ראיתי" כמותה, וטיפולתי בה. לעתים ייקח קצת זמן, עד שתאבחן את הגורם האמיתי לבעיה, ורק אז תוכל לפתור אותה מעשית, עם הרגשה של ודאות. תפקידך השגרתי בעבודה, הוא ראשית כל לבצע את הסריקה התרמית למכונה (tool), ע"פ ההזמנה שבוצעה מראש, בד"כ על ידי הטכנאי או המהנדס שלה. כל מכונה במפעל חייבת לעבור תהליך זה בפעם הראשונה בעומס נומינלי (נקוב). זה קורה מיד לאחר ההתקנה הראשונה (install), כשמבצעים לראשונה את החיבור שלה לחשמל. למכונה בודדת יכולות להיות כמה סוגי מתחים, וכמה "הזנות" חשמליות שונות (מפסקי זרם שונים שמוזנים מלוחות חשמל, ומספקים את כל המתחים לכל חלקי המכונה). מטרת הסריקה הראשונה היא לבדוק את חיבורי המגעים, ושאר רכיבי החשמל השונים במכונה, שהגיעה לא מזמן מעבר לים (בד"כ מארה"ב או יפן). סביר להניח, שהמכונה עברה במסעה לא מעט טלטולים בזמן העמסתה, בשינועה ובהתקנה שלה. בשלב הבא, משהמכונה הותקנה, ומדי שנה בשנה, תתבצע סריקה תרמית למכונה בתאריך, שהוא ידוע פחות או יותר (PERIODIC I.R SCAN). הבדיקה השנתית מטרתה בעיקר, לשמר את תחזוקת המכונה, לצרכים של : מניעת עבודה מיותרת (בשל תקלות שעלולות לקרות או להתפתח), למניעת שריפות, לחיסכון בזמן ובתוצרים (בשל הפסקת ייצור לא מתוכננת = downtime), לחיסכון של שעות עבודת הטכנאים, ובשורה התחתונה גם לחיסכון כספי עתידי ניכר. בנוסף ליתרונות הללו, הרי שזו גם דרישה של חברות הביטוח, ויצרני המכונות, ע"פ הפרוצדורה שלהם, וגם של המפעל עצמו. יש לזכור שמכונות אלה נחשבות למאוד יקרות בעולם התעשייתי. עלותה של מכונה אחת בודדת היא לעתים, "רק" כמה עשרות מיליוני דולרים. התקלות האופייניות בתרמוגראפיית חשמל, ע"פ ניסיוני בעבודה עם המכונות הללו, ובמהלך עשר השנים האחרונות, נתונות להלן ע"פ הסדר של שכיחותם במציאות :

(1) חיבורים ומגעים חשמליים רופפים (במפסקי זרם, פסי צבירה, מגענים, שנאים, ספקים, תקעים, שקעים, מהדקים, ממסרים, אינטרלוקים ועוד). זוהי התקלה השכיחה ביותר, והיא נובעת מהרבה מאוד סיבות, שעיקרן : חיזוק חלש מדי, חיזוק יתר, ויברציה מקומית, חיזוק "שנשכח", קורוזיה במגע, הברגה שחוקה, אביזר חיבור מאיכות גרועה, חיזוק על בידוד הגיד, טעות במיקום החיבור (בין מגע האביזר למבודד), בורג שבור וכהנה. חיבורים רופפים בסופו של תהליך, גורמים לשריפות מגעים, וככל שהם בזרמים גבוהים יותר, זה אפילו מגביר את השפעת "הקשת החשמלית", עד למצב של נתק לפעמים. מצב של נתק בפאזה אחת או כמה, של מפסק ראשי או אחר, גורמות בד"כ לאפקט של "כדור שלג מתגלגל". לדוגמא, מכונה עלולה להיתקע באמצע תהליך (PROCESS), ופרוסות הסיליקון היקרות, הנמצאות באמצעו של תהליך מסוים, עלולות להתרסק לרסיסים, כתוצאה ממצב של "איבוד" וואקום במכונה. נזק ישיר ייגרם אז למכונה (הפסד כספי של תוצרים, בזבוז חומרים וכימיקלים, זמן מבזבז לאיתור "הכשל", שעות עבודת נוספות לטכנאים, זמן של כמה ימים לניקוי המכונה, בדיקות נוספות לפני שלב החזרה לעבודה וכו'). זהו רק תרחיש מציאותי אחד מני רבים (והיו כמותו), אך יש גם כאלה אחרים ושונים. תופעה זאת, למשל גורמת לניתוקים "רגעיים", כמו במגע של חיגור מכונה (אינטרלוק), שפועל במתח ישר של 24VDC (זרם של כ-1A). ניתוק רגעי נחשב לדבר "קטלני", היות והמיקרוסוויץ' הזעיר הזה "מפיל" את המפסק הראשי של המכונה, או את המגען הראשי שלה. תקלה זו גורמת לנזק כספי רב, במיוחד אם הייתה המכונה בשלב ייצור רכיבי המחשב (PRODUCTION). מקרה כזה

פנומנאלי ממש התרחש, במפעל אחר לפני כ-7 שנים. בניסיונו לאתר תקלה לא מובנת במכונה אחת באזור החדר הנקי (C4), מצאנו אינטרלוק צדדי, שאחד מחיבוריו (נעל הכבל של הגיד המזין אותו), היה מהודק בצורה חלשה מאוד, עד כדי כך, שהזרם "עבר" בין חריץ פסיעת הבורג של החיגור, לבין קצהו של נעל הכבל הרופף. במצב זה התגלתה טמפ' "מדהימה" (אפילו מבחינתנו התרמוגראפרים), של 100°C , על אותו המגע הסגור של האינטרלוק (N.C במצב לחוץ). כמובן שהניתוקים, שנגרמו למכונה במשך כמה שבועות עשו נזק כספי עצום, וגם הביאו לאיבוד שעות עבודה רבות לטכנאים שלה, בשל הניסיונות התכופים לאיתור התקלה הזאת המפתיעה הזאת (TROUBLE SHOOTING).

(2) וונטות לקירור "שנתקעות" או מפסיקות לעבוד (בעיקר בספקי כוח, בלוחות מקומיים, UPS, מחשבים, ממירים, ובכל סוגי המכשירים האלקטרוניים וכו'). הסיבה העיקרית לכך היא בעיה מכאנית, בשל כשל במיסבי המנוע, או הצטברות לכלוך רב ברוטור. ההשפעה הדי מיידית של כשל מעין זה במישרין, הוא בהעלאתה של הטמפ' הפנימית של הוונטה, ובעיקר חימום האביזר, או הלוח ואפילו לשריפת רכיבים פנימיים במכשירים למיניהם. מצב זה למשל בכרטיסים אלקטרוניים, גורם לחימום רב מאוד ברכיבים מסוימים, בעיקר בנגדים וטרנזיסטורי הספק. חוסר האיורור בכרטיס גורם לעתים להתכה של הלחמות הרכיבים (בעיקר כאלו שלא נעשו באיכות טובה במפעל ההרכבה), וגם לחימום יתר של ג'וקים (רכיבי מחשב). בסופו של תהליך מעין זה, כשאין הוצאת אוויר מהאזורים הללו, הרי שהאביזר גם עלול להישרף, ובכך גם להזיק לרכיביו השכנים. לעתים וונטה "תקועה" (רוטור המנוע תפוס), עלולה בגלל הזרם הגבוה שלה (זרם יתר), לפלוט ריח של שריפה או חריכה, ולעתים נדירות עשן, שמתפשט אפילו למרחקים גדולים מאוד. דבר זה נחשב לחמור מאוד באזורי הייצור, כמו החדר הנקי (CLEAN ROOM). אגב, אחת הסיבות, שוונטה תקועה מכאנית, ועדיין ממשיכה לעבוד "ולהתחמם", היא כי אין לה הגנה ליתרת זרם (O.L). היא למעשה "יושבת" תחת הזנה חשמלית, שהיא גבוהה מדי מבחינת סלקטיביות. במצב כזה המפסק המזין את הוונטה ועוד כמה עומסים נוספים, אינו יכול כלל להרגיש את עומס היתר שלה (כיוול נמוך מדי של הגנת זרם יתר). לכן לעולם לא תנתק הגנה כזאת את הוונטה, אלא אם ייווצר קודם מצב של קצר, ואז היא כמובן צריכה לנתק אותה.

(3) כשלים פנימיים באביזרים (בעיקר במפסקי זרם, נתיכים, פחתים, מגענים, שנאים ועוד). בד"כ זה קורה באביזרי מיתוג כמו מפסקי זרם, ובעיקר במפסקים תלת-פאזיים. רוב הפעמים אנחנו מוצאים בעיות מכאניות, שנגרמות בשל קפיץ פנימי לקוי, של אחד ממגעי הזרם. זוהי תקלה, שאינה ויזואלית כמובן, ולכן בסריקה התרמית ניתן לאתר אותה ע"פ הנקודה החמה (hot spot), שנראית בציוד של המפסק. תופעה זאת גורמת במצב עבודה רגיל של מפסק, להתחממות המגע הפנימי, בשל מרחק מזערי, שבין המגע הנייד (שמחובר לקפיץ), לזה של המגע הנייח. למעשה במירווח אוויר זה נוצרת "קשת חשמלית", שחורכת בהתמדה את המגע, ולעתים רחוקות גם גורמת לשריפת המגע כולו. מצב זה הוא למעשה ניתוק של פאזה אחת מתוך שלושה. זהו סוג הכשל הקשה ביותר לחיזוי, ללא עזרה בשימוש של סריקה תרמית (I.R SCAN). כשלים פנימיים באביזרים, ניתן למצוא גם באביזרים מסוגים אחרים כמובן, וניתן לציין למשל מגענים (CONTACTORS), שלעתים סליל ההפעלה שלהם מתחמם עד לטמפ', אשר נחשבת קריטית, ולעתים הוא אפילו נשרף. דבר זה הוא חמור ביותר, היות ופעולת ניתוק הסליל, גורמת לניתוק של מגעי הכוח, ולהפסקת המתח, לחלק או לעתים לכל המכונה. בדומה לנאמר לעיל על מפסקים, כשלים פנימיים נפוצים מאוד גם בממסרי פחת (LEAKAGE RELAYS), וזהו דווקא מסוג הכשלים הפנימיים, שגם סריקה תרמית לא מגלה. דבר זה קורה בד"כ לאחר כמה שנים, שבהם לא הייתה זליגת זרם, או שהפחת לא שופעל (RESET), ע"פ ההמלצה, ולפי חוק החשמל (כבדיקה תקופתית). במצב כזה, שבו הפחת לא מגיב תקופה ממושכת ברציפות, יוצא אפוא מכך, שהוא לא הפעיל את האלקטרומגנט הפנימי שלו, ואז נוצרת ירידה משמעותית במגנטיות של האביזר. אז גם בהפעלה ידנית של לחצן הבדיקה, הפחת לא "יקפוץ". מקרה כזה הוא ללא ספק מצב מסוכן ביותר, היות וברגע ההתחשמלות (זרם זליגה לאדמה), הפחת לא ינתק את המעגל החשמלי, וזאת סכנה ממשית לאדם המתחשמל (כוויה, נפילה, הפרעות בקצב הלב, ואפילו מוות). כשל כזה מתגלה, אך ורק כשמבצעים בדיקה יזומה של האביזר. כשלים אחרים שכן מוצאים לעתים, כשיש אפשרות מעשית, היא בנתיכים מכל הסוגים, גם בזרמי DC וגם ב-AC. הנתיכים יכולים להיות מסוג זכוכית או חרסינה,

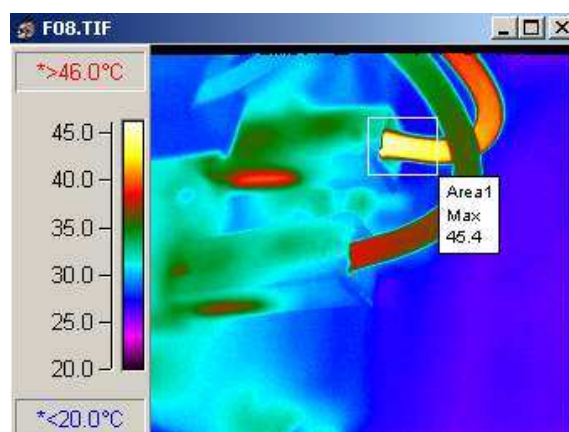
עבור זרמים נמוכים מאוד (mA), או לזרמים גבוהים (A), בכל מקרה ניתן לראות כשלים כאלה אך ורק בסריקה תרמית. גם פה חשיבות האיתור של נתיך פגום, העלול להישרף בעתיד, דומה מאוד למצב של נתיך במעגל חשמלי או במפסק זרם.

4) קצרים פנימיים באביזרי חשמל (בעיקר בשנאים, גופי חימום, כבלים רב גידיים, סלילים וכו'). זהו סוג של כשל שהוא בד"כ נדיר ביותר, היות ואביזרי החשמל נבדקים באופן מדגמי עוד במפעל הייצור שלהם. הקצרים לעומת זאת קורים במשך הזמן באותם האביזרים, ומקורם כמעט תמיד בשינויים הקורים בשטח. לדוגמא, כבל שהתכופף יתר על המידה, צמת חוטי חשמל שנשחקה, גיד פנימי שניתך, בידוד לקוי של גידי המוליכים, התחממות פנימית (שגרמה למגע בין מוליכים), וגם טעויות אנוש. האפקט המיידני, שגורם קצר פנימי באביזר חשמלי, הוא עלייה מיידית בזרם החשמל העובר דרכו (לפי חוק "אוהם" - הזרם נמצא ביחס הפוך להתנגדות המעגל החשמלי, $I = V/R$). כשל כזה, כאמור מקורו לעיתים, בגלל טעות של בן אדם. דוגמא לכך ניתן למצוא למשל, כשחשמלאי צריך לחוות את גופי החימום של תנור מסוים, אך הוא טועה בחיבורים הפנימיים. למעשה, שלא במודע הוא יוצר קצר פנימי הנמצא במקביל להתנגדות האוהמית, של אחד מגופי החימום. בהפעלה של התנור, ייווצר זרם יותר גבוה מהזרם הנקוב, היות והזרם לא יעבור בכלל באותו גוף החימום, אלא בגיד של "הקצר" עצמו (קצר = התנגדות אוהמית הקרובה ל-0Ω). הטמפ' של הגישור תעלה כמובן, כתוצאה מערך הזרם המוגדל, וזה עלול מאוד "להקפיץ" את ההגנה התרמית או המגנטית (בהתאם לזרם או לגודל עכבת המעגל), של מעגל התנור, ואפילו לשרוף אותו במקרים קיצוניים. דוגמא אחרת לנוכחות של קצרים פנימיים היא בכרטיסים אלקטרוניים, או בשקעי מכונה מיוחדים. קצר בכרטיס אלקטרוני יכול לחמם רכיבים כמו נגדים וטרנזיסטורים, בשל הזרם הישר הגבוה, שמתפתח באחד ממעגליו, ואף לשרוף אותו או את הצמה, שמזינה אותו וכו'.

דוגמא א' - השפעת אביזר חיבור מסוג גרוע על מפסק זרם (חיבורים רופפים)

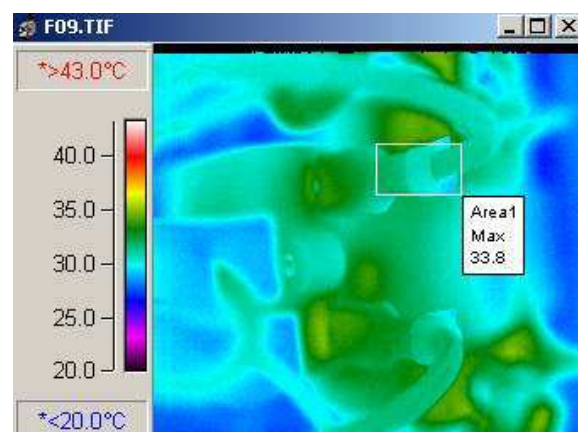
באמצע יוני 2005 הוזמנתי לסריקה של מכונה באזור מסוים (ETCH), בחדר הנקי כחלק מסריקה רגילה תקופתית. לאחר תיאום העבודה עם טכנאי המכונה (TOOL OWNER), הורדנו את המתחים למכונה, נעלנו את המפסקים הראשיים שלה, ולאחר וידוא של חוסר מתח, פתחנו את המכסים הפלאסטיים, שמכסים את אביזרי המכונה הפנימיים. מאחר ולא ניתן לעשות כלל וכלל סריקות תרמיות מבעד לחוצצים, מכסים, פלאסטיים או מתכתיים (לצערנו חומרים אלו אינם "שקופים" לקרינה אינפרא אדומה), הרי ששלב זה הוא ממש מחויב המציאות לפני כל סריקה. דבר זה נובע ראשית בשל העניין הבטיחותי (הסיכון הנובע מפתיחת המכסה של האביזר, בזמן שהוא מחושמל). שנית, כדי שתהיה לנו היכולת לסרוק את הרכיבים מכמה זוויות, דבר שיכול להיות מאוד נוח, וגם מאוד יעיל לחיפוש, ואיתור הממצאים (findings). מיד לאחר שליבי ההכנה הללו, מעלים מתחים למכונה, ומבקשים מהטכנאי שייתן "עומס מלא", דהיינו שיפעיל את המכונה, כך שתדמה מצב של ייצור (PRODUCTION). בשלב זה אנחנו ממתינים כמה דקות, שהם מאוד נחוצות לרכיבים צורכי הזרם, להתחמם בהדרגה, עד לטמפ' הנומינלית שלהם. עם תחילת הסריקה ניתן

תמונה 1 - פלאג חיבור למאמ"ת (לפני תיקון)



פלאג חיבור עליון (מקורי) בטמפ' 45.4°C

תמונה 2 - פלאג חיבור למאמ"ת (אחרי תיקון)



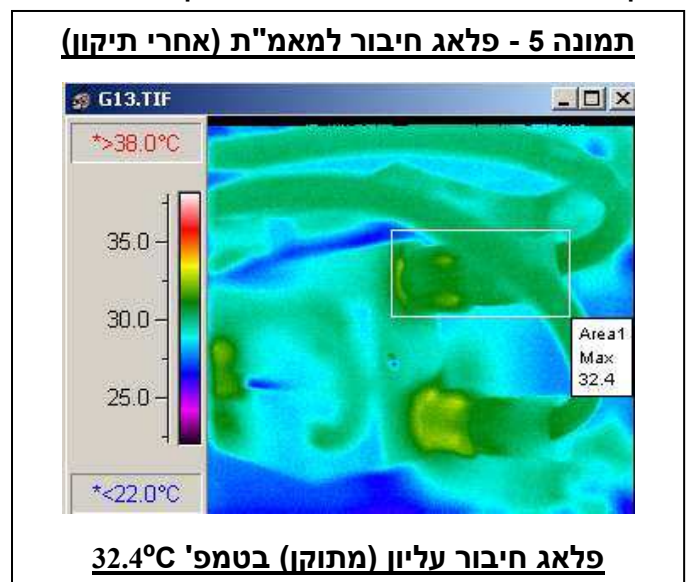
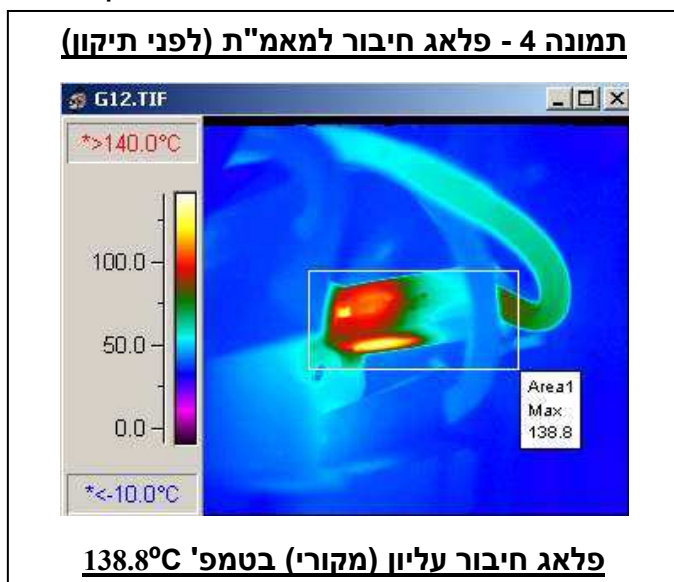
פלאג חיבור עליון (מתוקן) בטמפ' 33.8°C

היה לראות את החלק האחורי של מפסק הזרם "CB3" (120V), שנתוני הזרם שלו נבדקו ע"י אמפרמטר צבת, והראו שעובר במגעיו זרם של 12A. הטמפ' של הגיד העליון (תמונה 1 – פלאג מרובע), היא כמעט 46°C , לעומת הטמפ' שאמורה להיות (ע"פ הניסיון), דהיינו טמפ' "היחוס" שלו, שהיא צריכה להיות כ- 34°C (reference). הערך הנבדק, שהכי חשוב במקרה זה הוא כמובן הפרמטר ΔT (הפרש הטמפ'). הפרש זה של 12°C , לא נראה גבוה כל כך, אך הניסיון מלמד שאם לא מטפלים בפלאג זה, הטמפ' תמשיך לעלות, ובמשך הזמן הבעיה לבטח תחריף. מכיוון שכך, ביקשנו הורדת המכונה לצורך תיקון. מנסיוננו ידענו היטב, שהפלאגים המרובעים, שחוברו במפעל הם מאיכות גרועה, וגם החיזוק שלהם אל הגידים די חלש. דבר זה משפיע במידה רבה, כשיש זרם גבוה. במקרה כזה תמיד יש להחליף גם את הפלאג "הבעייתי", וגם את הפלאג השני (הייחוס), של אותו האביזר. הסיבה לכך היא, שאחרי התיקון במצב של "עומס חשמלי", הפלאג המתוקן יהיה במצב הרבה יותר טוב, מבין זוגו גם מבחינה גלונית, וגם מבחינה תרמית. במילים אחרות אנו מבצעים אמנם עבודה כפולה, אך זו אינה מטלה שלוקחת זמן רב. תיקון "כפול" כזה חוסך לנו בוודאות את התיקון העתידי של הפלאג השני, דהיינו בסריקה הבאה, שתהיה בעוד כשנה. התיקון באופן מעשי מתבצע ע"י חיתוך של 2 הפלאגים המקוריים, והחלפתם ב- 2 פלאגים תקינים. במקרה דנן אנחנו

נשתמש בפלאגים הכחולים, שמיועדים רק לגידי חשמל בחתך של 2.5 מ"מ"ר (תמונה 3). ההידוק של אביזרי החיבור הללו, יתבצע כמובן רק עם לוחץ תקני לנעלי כבל ופלאגים מבודדים. כל פלאג יילחץ פעמיים, כלומר ב- 2 נקודות סמוכות בתחתיתו הגלילית. דבר זה הוכח כחיוני ביותר, כי במקומות שבסריקה תרמית, התגלתה איזו בעיה, אחת מהסיבות



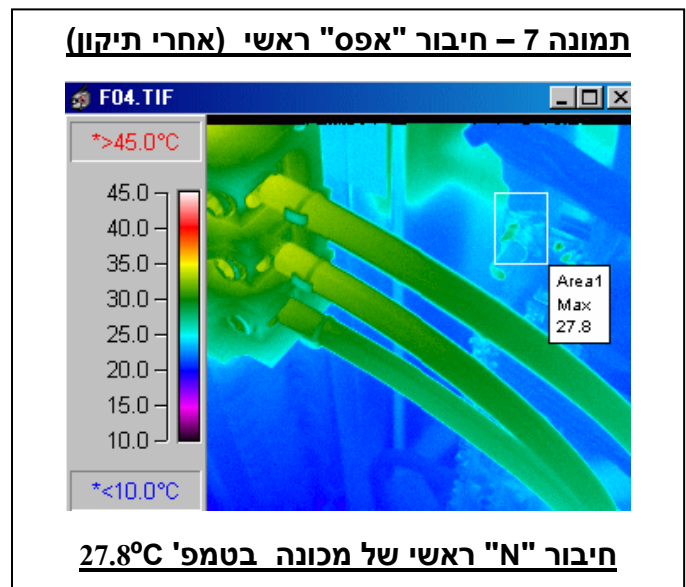
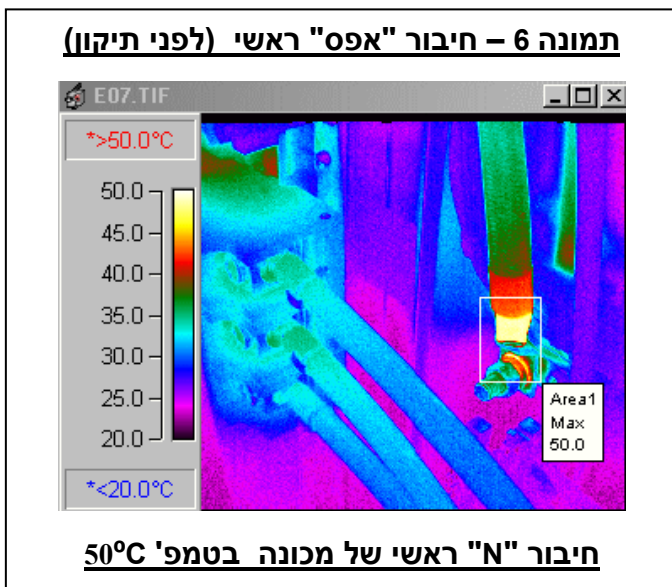
שגילינו, הייתה שהפלאג נלחץ רק פעם אחת, והחיבור היה עדיין לא במיטבו. לאחר הלחיצות כמובן, רצוי לבדוק אותם ע"י ניסיון למשיכת הפלאג מהחוט. פעולה פשוטה זאת נראית אולי מיותרת, אך היא תמיד נותנת אינדיקציה די טובה לחשמלאי לגבי החיזוק שבוצע. לבסוף מחזירים את 2 הפלאגים לחיבורים הזכריים השטוחים של המאמ"ת. בשלב הבא אנחנו מחזירים מתחים למכונה, ואז מפעילים אותה ורק לאחר כמה דקות, שוב מבצעים צילום סופי (final). הטמפ' של צמד המגעים ירדה, באופן כמעט אחיד וזהה ל- 34°C (תמונה 2). ניתן לומר אפוא, שהסריקה "אותתה" לנו, על תחילתו של כשל עתידי, שעלול להיווצר במגע של מפסק הזרם במכונה. בשלב זה של המאמר, אנשים רבים ודאי יתמהו, וישאלו עצמם עצמם. האים באמת היה צריך בכלל סריקה תרמית, ולבזבז זמן עבודה יקר, כשהמכונה מושבתת, וכל זה לשם ביצוע של חיבורים חדשים, כשבמבחן התוצאה הטמפ' ירדה רק ב- 12°C ? והתשובה תפתיע, והיא שבהחלט כדאי להשתמש בסריקה תרמית, והיא אפילו תמיד נחוצה. סיפורנו זה כאמור לא נגמר, היות שבסוף חודש יוני, כשבועיים לאחר מכן, הוזמנו לסריקה נוספת במכונה אחרת מאותו הסוג בדיוק.



לאחר אותם השלבים, שפורטו לעיל, ולאחר העמסת המכונה (ללא מכסים), שוב סרקנו את כל רכיביה הפנימיים של המכונה. במבט מהיר ניתן היה להבחין בהבלטה יתירה, כי במפסק "CB3", הפלאג העליון היה בטמפ' של כמעט - 139°C (תמונה 4). זאת בהחלט נחשבת כבר טמפ' קריטית, שעלולה כבר לשרוף את המגע של המפסק, ולנתק את המעגל הנ"ל. הדבר הזה מוכיח מעל לכל ספק, שכדאי לטפל בכשל, עוד כשהוא בשלב הראשוני שלו, אחרת הוא עלול להתדרדר למצב קריטי, כמו במקרה זה. ע"פ אחד מחוקי התרמודינאמיקה, ניתן לחשב את פליטת אנרגיית החום (INFRA-RED), שנוצרה במקרה הזה. לפי חוק "סטפאן-בולצמן" האנרגיה הכוללת בוואטים, שמוקרנת מגופים היא בחזקה הרביעית של הטמפ' במע' קלווין [$W = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4$]. הטמפ' של המגע במעלות קלווין עלתה פי 1.348 (מ- 32.4°C ל- 138.8°C , שזה שווה ערך מ- 305.55°K ל- 411.95°K). האנרגיה, שנפלטה מהמגע אם כך הייתה פי כמעט **3.3** פעמים, יחסית למצבו הנומינלי בעבודה רגילה (1.348^4).

דוגמא א'2 - חיבור לקוי בגיד אפס ראשי של מכונה (חיבורים רופפים)

בשבוע הראשון של דצמבר 2005, ביצענו סריקה במכונה, שנמצאת באזור של בדיקת הלחמות המוצרים. בזמן העמסה של המכונה, בלוח הראשי שלה ליד המפסק הראשי (3x160A/ 208VAC), התגלה גיד "אפס" ראשי בטמפ' של 50°C , באזור של נעל הכבל שלו (תמונה 6). הזרם שנמדד ב-N היה כ- 11.5A, והוא נבע כמובן מחוסר איזון בשלושת הפאזות הראשיות. ניכר היה שזאת לא הייתה הבעיה כלל וכלל. זה היה חיבור רופף במלוא מובן המילה, שסיבותיו היו: נעל כבל לחוץ לא בצורה מקצועית, וגם חיזוק חלש של החיבור הנ"ל. לאחר סיום הסריקה הראשונית כשעה מאוחר יותר, ביצעתי תיקון יזום, שכלל לחיצה של

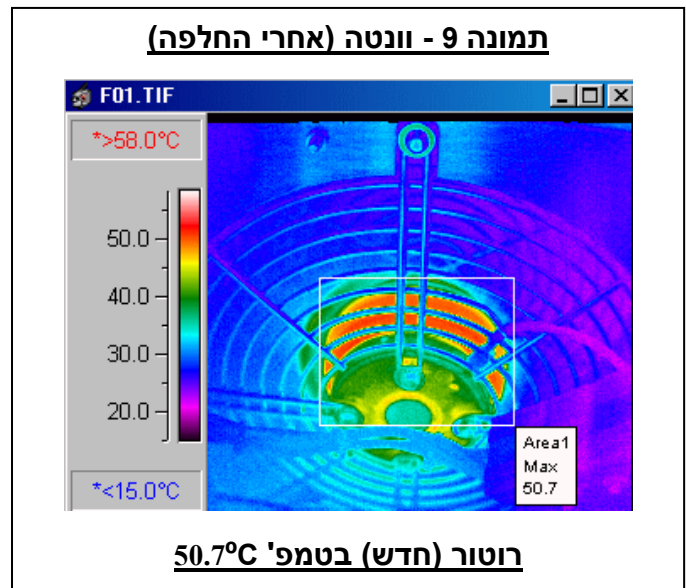
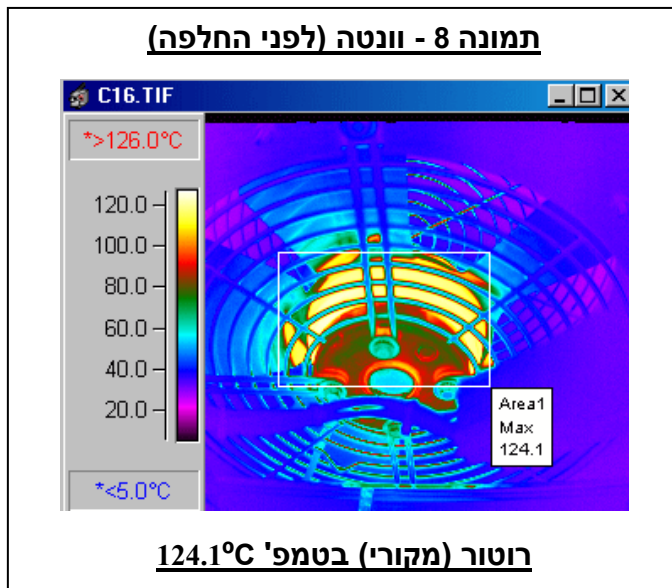


נעל הכבל הזה, ע"י לוחץ מיוחד לנעלי כבל לא מבודדות (לחיצה משושה). בסוף גם החיבור עבר חיזוק למהדק שלו, כולל הכנסת הדסקיות המתאימות. לאחר העלאת מתחים למכונה, והמתנה של כמה דקות, והעמסתה, צילמנו את גיד האפס בשנית (תמונה 7). הטמפ ירדה לערך של כ- 28°C בערך, והפרש הטמפ' (ΔT), אמנם עומד "רק" על 22°C , אך זה אינו העניין במצב מסוכן מעין זה. במידה וגיד האפס הראשי הנ"ל היה מתרופף, ואז מתנתק (או נשרף), הוא היה גורם להעלאת המתח פי-1.73 כמעט (מ- 120V ל- 208V), לכל הצרכנים החד-פאזיים, (שהיו עובדים באותו הזמן), ובסופו של דבר הם היו נשרפים. הנזק שנמנע במקרה זה הוא גדול למדי, ובמיוחד כשמדובר במכונה מאוד יקרה.

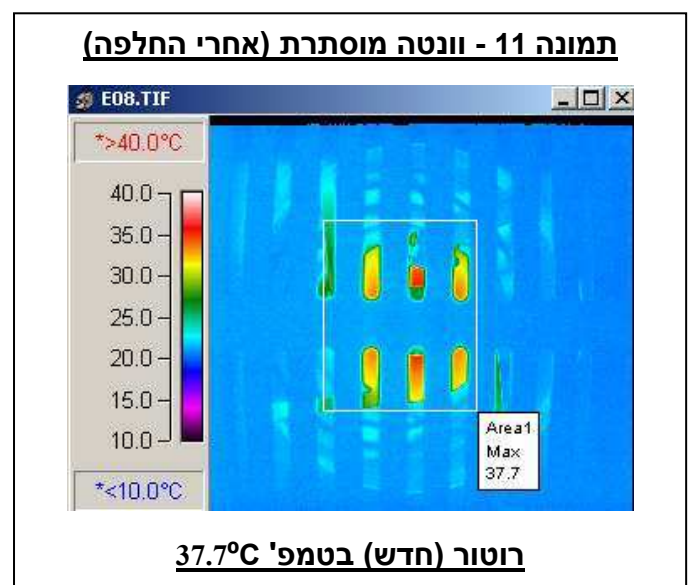
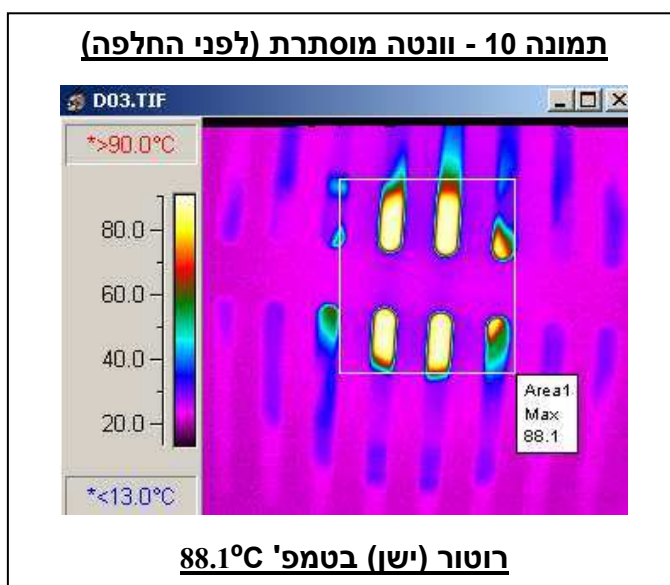
דוגמא ב'- השפעת רוטור "תפוס" של ונטה על הטמפ' שלה ושל סביבתה

בתחילת דצמבר 2005 הוזמנתי לסריקה של מכונה באזור מסוים (SORT). לאחר העמסת המכונה, כשהיא פתוחה ומגודרת, התחלנו בסריקה התרמית. מיד ניתן היה להבחין שאחת מהוונטות (מאווררים פנימיים) העליונות בגג הלוח "תקועה", במילים פשוטות, במצב של זרם יתר, אך לא מסתובבת. הטמפ' שלה הייתה כ- 124°C , אך עדיין סליל המנוע לא הספיק להישרף (תמונה 8). במצבים כאלה אנחנו מבקשים מטכנאי

המכונה עוד בו במקום, שיזמין וונטה מאותו הדגם, כך שהיא תוחלף בהקדם האפשרי. רק לאחר 3 ימים הוזמנו לסריקה סופית חוזרת (rescan), כמובן שלאחר החלפת הוונטה ע"י הטכנאי. בסריקה שלאחר ההחלפה, הטמפ' של רוטור הוונטה החדשה הייתה - 50.7°C (תמונה 9). הערך של פרמטר ה- ΔT , במצב



הזה, היה קרוב ל- 73°C , והוא משויך לקטגוריה- 3 ($\Delta T > 15^{\circ}\text{C}$), שהיא החמורה מבין שלושת הקטגוריות של תחום התרמוגרפיה בחשמל. הטמפ' של הוונטה החדשה, אפוא סבירה למדי, ודי מתאימה לסוג הזה של הוונטות. חשוב לציין, שישנם מצבים לגבי וונטות, שבהם אנו מגיעים לסריקה תרמית, והם כבר הספיקו להישרף. דבר זה כבר יוצר התחממות בתוך הלוח, שמורגשת מיידית, בשל האוויר החם העומד בסביבה זו. תופעה זאת יוצרת ללא ספק, לחוסר באוורור לרכיבי המכונה השונים, שמתחממים ממילא בשל מעבר הזרם דרכם. ישנם מצבים קיצוניים, שהם מאוד נדירים, בהם הוונטה נתקעת מכאנית (סעיף 2, עמ' 2), ואז הטמפ' שלה כל כך גבוהה, עד שהיא פולטת ריח "שרוף" חזק למדי, ושבעטיה יוצא, שהאיוורור המסיבי, שבתוך החדר, רק מפזר עוד יותר את הריח המעושן לכל עבר. ישנם גם מקרים בהם הוונטות נמצאות במקומות סגורים, או שיש עליהם כיסוי רשת (filter), או שאין אפילו גישה ישירה אליהם. במצבים הללו הגענו תמיד למסקנה, שרצוי להתאמץ קצת יותר על מנת לסרוק אותן, אפילו דרך החורים של הכיסוי, או אפילו דרך רשת המסנן המכסה אותן. המקרה הבא אירע באמצע נובמבר 2005, כשהוזמנו לסריקה של מכונת בדיקות, באזור מיון הפרוסות (SORT). במהלך הסריקה הגענו לצד התחתון של הלוח שלה, שם היה כסוי מתכתי עם חריצים מאורכים על גבי הוונטה, עבור זרימת האוויר שלה. רק בהתקרבות של המצלמה למרחק של כ-10 ס"מ מהכסוי הנ"ל, ניתן היה לראות בבירור את הרוטור העגול של הוונטה (תמונה 10). אפשר היה להבחין שהוונטה הייתה "תפוסה" מכאנית, והטמפ' שלה הגיעה ל- 88°C .



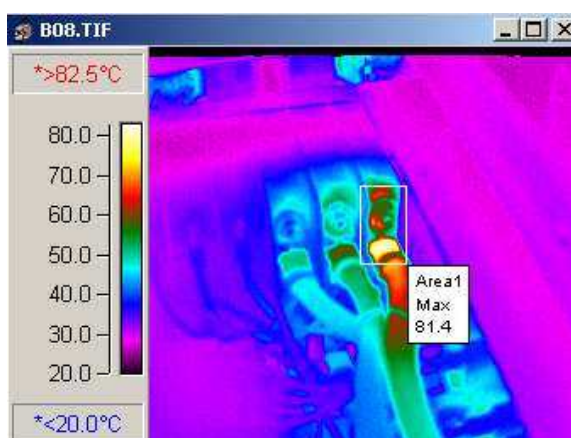
ברור שכל האזור הפנימי במצב מעין זה, נשאר ללא שום איורור, וזה השפיע על כל הרכיבים הפנימיים האלקטרוניים. כבר למחרת הוונדור (טכנאי של יצרן המכונה), החליף את הוונטה הפגומה באחת אחרת חדשה. בסריקה השנייה כבר היה ניתן להרגיש באוויר היוצא מחריצי הכיסוי, והטמפ' של הרוטור שלה בעבודה כבר ירדה ל- 38°C (תמונה 11).

לסיכום נושא הוונטות ייאמר, שאיורור במקומות סגורים, בהם יש יחידות חשמליות או ספקים למיניהם, הוא עניין חשוב מאין כמותו, ורצוי לא לזלזל בו. מעצם העובדה, שמתכנני הספקים או המכשירים חשבו לנכון לבנות מאורר פנימי, להרחקת האוויר החם מהרכיבים מלמדת בוודאי, שהייתה לכך סיבה טובה וחשובה. הסיבה כאמור היא, מניעת שריפה של : נגדים, סלילים, מגענים, טרנזיסטורים, מכשירים, ושאר רכיבים, שבאופיים להתחמם, כשהם בהשפעת זרם חשמלי או שדה חשמלי.

דוגמא ג' - השפעת "כשלים פנימיים" על מפסקים תלת פאזיים, שקעי כוח ונתיכים

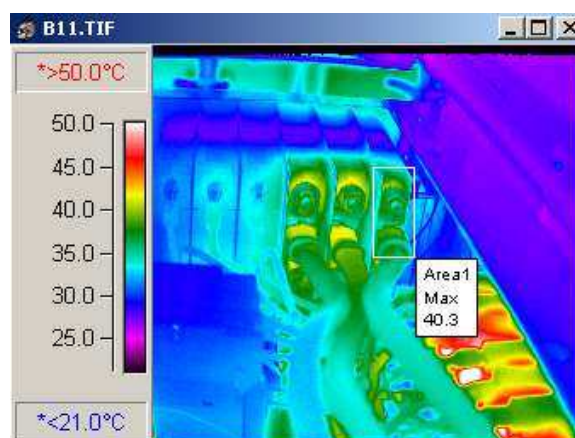
באמצע יולי 2005 הוזמנתי לסריקה של מכונה באזור מסוים (THINFILM). כרגיל לאחר העמסתה של המכונה, כשהיא פתוחה ומגודרת, התחלנו בסריקה התרמית. היה צורך בהמתנה של כ-10 דקות, היות ולמכונה יש שלוש עמודות (A, B, C RACKS), ולוקח זמן עד שהמפסקים, ושאר הרכיבים מגיעים אל הטמפ' הנומינלית שלהם. בכל עמודה (RACK), יש מגירות נשלפות, וגם מגירה תחתונה קבועה, שאליה מגיעה אספקת המתח הראשית. מניסיונו ידענו, שסוג המפסקים התלת פאזיים הללו די "בעייתי" (עוד משלב ההרכבה במפעל), ולכן לא אחת מצאנו שם כשלים. בזמן סריקת המגירה הקבועה של עמודה #A, ניתן היה להבחין בחיבור רופף בפאזה R, של המפסק התלת-פאזי ($3 \times 100\text{A} / 208\text{VAC}$). הטמפ' של החיבור הייתה - 81.4°C (תמונה 12), כאשר בד"כ במצב תקין היא צריכה להיות בין 40°C ל- 45°C (הזרם הממוצע בשלושת הפאזות כ-80A). לאחר סיום הסריקה, והורדת המתחים היה עלינו לתקן את הבעיה במפסק. זו הייתה בעיה כבר די אופיינית, וידענו כבר את הגורם שלה, ואת סוג הפתרון הנכון לה. במפסקים הנ"ל היו ברגים ארוכים, שיוצאים מתוך המפסק בכל ששת נקודות החיבור הפאזי, היות והם מיועדים לצורך חיבורם של כמה נעלי כבל. הפגם בחיבורים הללו היה, שהאום הפנימי המחזיק את הבורג, לא היה סגור כהלכה מלכתחילה. מסיבה זו האום החיצוני של החיבור (שמהדק את נעלי הכבל), גם אם הוא יהיה מאוד מהודק, הרי שזה עדיין ייחשב כחיבור רופף. בתיקון מסוג זה, ראשית כל צריך לפתוח את כל החיבורים של הפאזות, לסגור היטב את כל האומים הפנימיים, לשים את הדסקיות האחוריות, ואז להשחיל את כל נעלי הכבל לתוך ברגי המפסק. בסוף שמים דסקיות קדמיות, וסוגרים היטב את כל האומים החיצוניים. פעולה קצרה זו, שבמקרה הנ"ל לוקחת די הרבה זמן (כשעה שלמה, בגלל חוסר גישה אל המפסק המצוי בתחתית המגירה), פותרת כמעט תמיד כשל פנימי כזה. לאחר התיקון המעיק הזה, במצב עבודה החיבור

תמונה 12 - פאזה R במפסק זרם (לפני תיקון)



חיבור פאזה R עליונה בטמפ' 81.4°C

תמונה 13 - פאזה R במפסק זרם (אחרי תיקון)

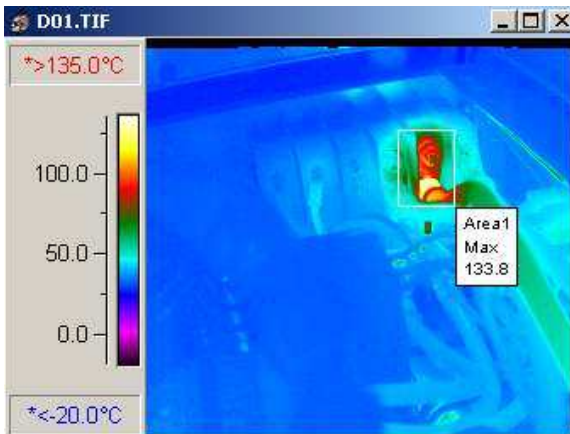


חיבור פאזה R עליונה בטמפ' 40.3°C

"החם", ירד לטמפ' של 40.3°C (תמונה 13), בעצם הפעולה היזומה הזאת מנענו מהחיבור, מצב שבו הוא היה יכול להישרף בתוך המפסק הראשי, ולנתק פאזה אחת. גם במקרה זה פרמטר ה- ΔT , משויך כמובן

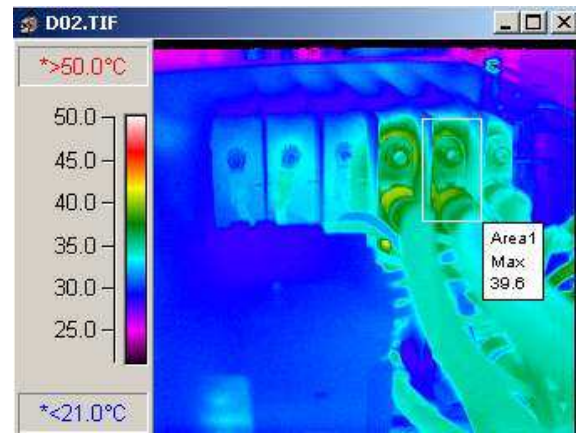
לקטגוריה- 3 ($\Delta T > 15^{\circ}\text{C}$), וערכו $\Delta T = 41.1^{\circ}\text{C}$. מקרים כאלה היו די אופייניים בעבודתנו, ולעיתים הגענו אליהם בשלבים ממש קריטיים, דהיינו בטרם התרחשה שריפה פנימית במפסק הזרם. בתמונות 14 ו- 15 ניתן לראות מקרה דומה, שקרה לנו באותו החודש, אבל במכונה אחרת מאותו הסוג בדיוק. כאן נצפתה הבעיה הפנימית מיידית, אך בפאזה-S האמצעית, במפסק הראשי של המגירה האמצעית (עמודה B#). בשונה מן המקרה הקודם, הטמפ' בחיבור ליד האום הפנימי, כבר הייתה כ- 134°C . לאחר התיקון של כל שלושת

תמונה 14 - פאזה S במפסק זרם (לפני תיקון)



חיבור פאזה S עליונה בטמפ' 133.8°C

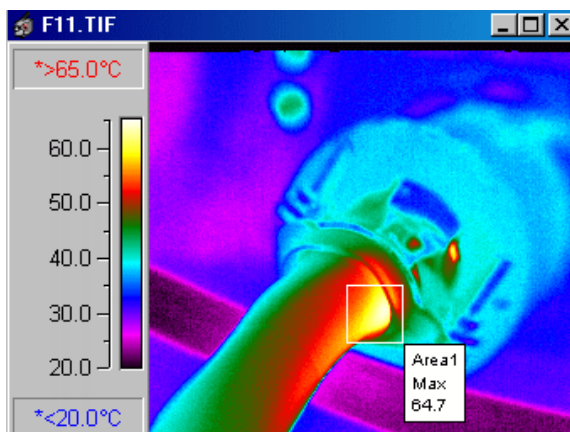
תמונה 15 - פאזה S במפסק זרם (אחרי תיקון)



חיבור פאזה S עליונה בטמפ' 39.6°C

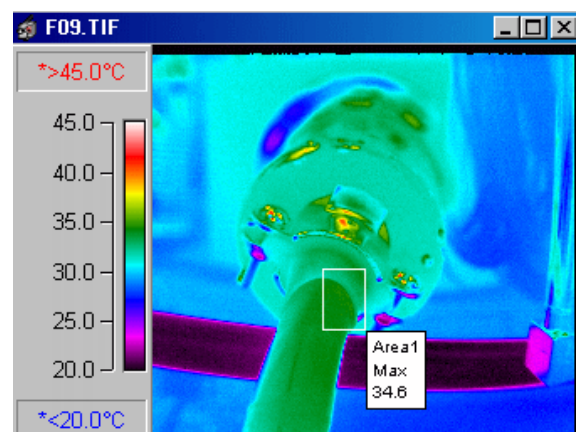
החיבורים העליונים (וגם התחתונים) במפסק, הטמפי ירדה לערך של 39.6°C , שהוא קרוב לממוצע, ואף נמוך מעט ממנו (בהעמסת זרם של 80%). מקרה זה ממחיש לכל ספקן, שכאשר מזלזלים בערך כלשהו של ΔT במהלך הסריקה השנתית, עם הזמן זה רק מחמיר. במקרה השני הנ"ל כבר עלתה הטמפ', בשל חיבור פנימי רופף ב- 94.2°C . בסיטואציה זאת הגיוני בהחלט לחשוב, שהנזק של אי תיקון המפסק היה בהכרח גורם לנזק מאוד משמעותי. הנזק כאן היה מסתכם בבזבז של: כסף רב, חומרים, זמן בדיקות לא מבוטל של טכנאים, זמן תיקון הכשל, בדיקות טרום-ייצור וכו', וכל זאת במידה והייתה המכונה בשלב של "הרצה" של פרוסות ייצור. ישנם מקרים בתרמוגרפיית חשמל במכונות, שבהם ניתן "לנחש" בצורה די מושכלת, על קיומן של בעיות פנימיות באביזר החשמלי הנבדק (סעיף 3, עמ' 2), אך ורק ע"י סריקות תרמיות חיצוניות של כבל ההזנה המזין אותו. עניין זה שייך בסופו של דבר לנושא הכללי של חיבורים רופפים (סעיף 1, עמ' 1). להלן מקרה כזה, שהיה אחד ממקרים חוזרים ונשנים, במכונות מסוג מסוים. בסוף שנת 2005 הוזמנו לסריקה תרמית במכונה בחדר הנקי (THINFILM). למכונה זו יש 4 תאים סגורים, ובכל תא כזה (CHAMBER), היו מנורות רבות בהספק כולל גדול (2.7KW), שדולקות יחד, וגורמות בתהליך הייצור לחום גבוה בתא. מכיוון שכל תא היה עובד בזמן אחר, היינו בודקים לפני כל סריקה, ע"י אמפרמטר-צבת,

תמונה 16 - כבל הזנה למנורות (לפני תיקון)



כבל בקרבת התקע בטמפ' 64.7°C

תמונה 17 - כבל הזנה למנורות (אחרי תיקון)



כבל בקרבת התקע בטמפ' 34.6°C

את הזרם באותו התא הנסרק. בזמן שנמדד זרם של 13A במפסק ההזנה לתא, היינו אז מתחילים לסרוק רק את הרכיבים של אותו התא, וזה כולל את המפסק הראשי שלו, וגם את קצה הכבל שמתחבר אל שקע המנורות. הסיבה לסריקת הכבל במקרה זה הייתה, בשל חוסר האפשרות לפתיחת השקע הראשי, וחוסר גישה לאותו השקע (היה מצוי מעבר לצמות כבלים, וצינורות רבים). למזלנו ידענו מניסיון מתמשך, שע"פ טמפ' הכבל נוכל לשער פחות או יותר, את מצבם של החיבורים הפנימיים (בין התקע התלת פאזי, והשקע הראשי שלו). לאחר העמסה של כמה דקות הבחנו כי בקצה כבל המנורות של תא #8, הייתה נקודה חמה בצד הימני של הכבל, בצמידות לתקע (תמונה 16). הטמפ' הייתה כ-30°C מעל הממוצע לכבל "עובד".

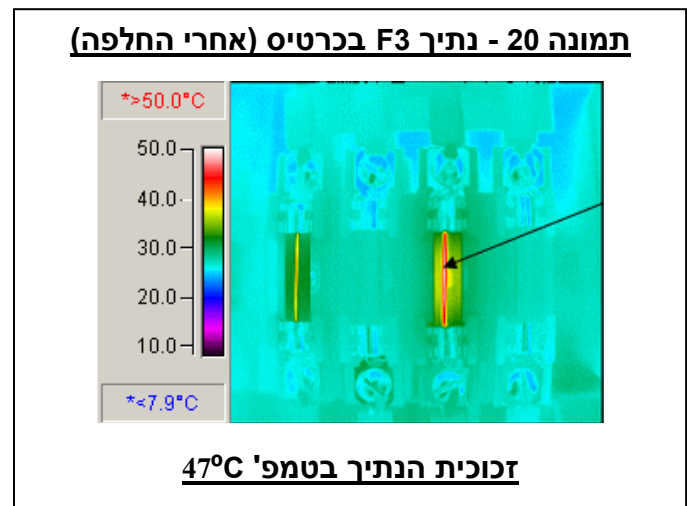
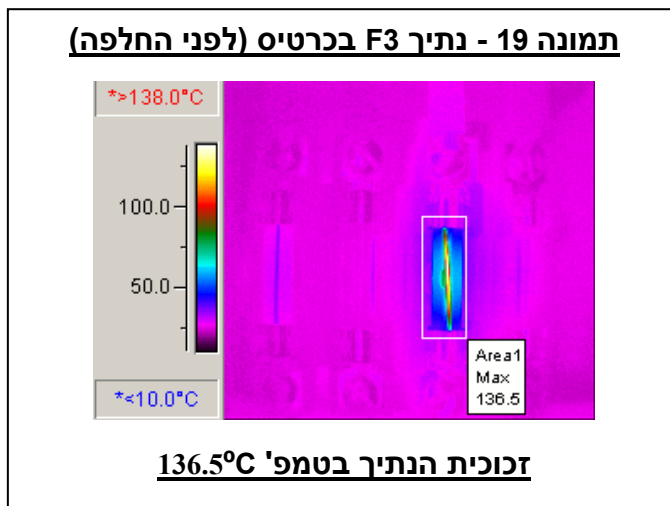
לאחר צילום ראשוני שבוצע, הפסקת תהליך העבודה במכונה, והורדת המתחים לאותו התא, ניגשנו לטפל בצמד השקע-תקע. לרוב הבעיה הייתה, בשל חיבורים רופפים, אך גם בשל העדר סופיות חוט על קצותיהן של גידי הפאזות בתקע. חשוב לציין, שכשאין סופיות חוט, "השערות" הפנימיות של הגיד נחתכות בחלקן, בשל הידוק בורג החיבור. חלק אחר נדחק למרווחים, שבצידי המגע, ולמעשה הן רק נוגעות חלקית במגע.



דברים אלה בסופו של דבר גורמים לירידה באיכות החיבור הגלווני של המוליך. (לצערנו חלק לא מבוטל מציבור החשמלאים ממש מתעלם מעובדה פשוטה זו, דבר שמנציח יותר את המושג הרווח - חשמלאי חאפר). על כל פנים, לאחר גילוייה של בעיה מסוג זה, "הנראית" על קצה הכבל, אנחנו תמיד נבחר באופציה של תיקון יזום, ולא בהחלפתו של

סט כבל-תקע המוכן להחלפה (רק בשל הידיעה, שאין בסט זה סופיות פנימיות). בפעולה היזומה אנחנו מקלפים שוב את קצות גידי התקע התלת פאזי (3 פאזות, אפס והארקה), ומתקינים את סופיות הנחושת בהתאם לחתך של החוט. לוחצים את הסופיות אל הגידים, עם לוחץ תקני (תמונה 18), על פי שן ההידוק המתאימה, ב-2 נקודות סמוכות, ומחזירים את החוטים למיקומם בתקע לצורך ההידוקים הסופיים. פעולה זו תגרום לחיבורים להיות איכותיים וברי קיימא, ותקטין את הצורך המיותר בעתיד, לבזבז זמן רב לצרכי תיקונים. לאחר החזרת מתח לתא #8, והעמסה שלו כמה דקות ברציפות, עד שהכבל מגיע לטמפ' השוויון שלו (equilibrium), ואין עוד תוספת עלייה בטמפ', צילמנו את התרמוגרמה הסופית (תמונה תרמית), של פני הכבל לאחר התיקון. האזור שהיה "חם", כעת נמצא בטמפ' של כ-35°C (תמונה 17). גם בדו"ח הסופי הזה של המכונה, הקטגוריה התרמית היא - 3 ($\Delta T = 30.1^\circ C > 15^\circ C$). מבחינה סטטיסטית, חסכנו בפעולת התיקון המקצועית הנ"ל בשקע המנורות, סכום תיאורטי של כ-36,000\$, וזה ע"פ הסטנדרט העולמי הנהוג במדידות I.R, במפעלי הייצור של החברה (לכל חברה בעולם, שיש לה סטנדרט כלשהו של סריקות I.R. שנתיות, הסכומים אלה משתנים ע"פ הקטגוריות, בהתאם לתוצרים, ולזמן הפסקת הייצור התיאורטי).

ישנם מקרים נדירים בהם אנו מוצאים כשלים פנימיים בתוך רכיבים קטנטנים, המוסתרים בתוך קופסאות של ספקים וכו'. דוגמא אופיינית לכך נלקחה מחודש פברואר של שנת 2004, במסגרתה של סריקה תרמית למכונה מסוימת בחדר הנקי (THINFILM). למכונה זו יש הרבה יחידות (components) חשמליות, כך שחוץ מלוח מקומי, תאי תהליך, שקעים, וסרגלי מהדקים, ישנם גם כמה ספקי כוח סגורים, וקופסאות לכרטיסים אלקטרוניים. אנחנו היינו פותחים במסגרת הטרם-סריקה את המכסים של כל היחידות, אך לא את אלה של הספקים. עם הזמן במכונות מהסוג הנ"ל, גילינו מטכנאי המכונה, שנשרפים נתיכים באחת הקופסאות, אך הסיבה לא הייתה ידועה, וזה גם קרה כמה פעמים. בשל הצורך לאתר בעיה זו, התחלנו לסרוק גם את היחידות הנ"ל, כתוספת לעבודה הרגילה. בסריקה התרמית במכונה הזאת, מייד הבחנו בנקודה מאוד חמה על גבי הזכוכית של נתיך (F3), שבתוך קופסת הכרטיסים האלקטרוניים. הטמפ' על גבי הנתיך הזה הייתה קרוב ל-137°C (תמונה 19), ולעתים היינו מוצאים אפילו את אותו הנתיך, במכונות אחרות מאותו דגם, גם בטמפ' שמעל 150°C. כמובן שהבנו שישנה בעיה עם הנתיך המהיר הזה (0.1A/fast blow), ואע"פ שצריכת הזרם היא מאוד מינורית, ומסתכמת בכמה עשרות מיליאמפר (0.06A = 60mA). זאת הייתה בעיה פנימית "למהדרין", והגורם שלה נעוץ כנראה בסליל מוליך פנימי ישן בפיוז. בבדיקה של ערך ההתנגדות החשמלית, שביצענו על הדקי הנתיך עם אוהמטר, הנתיך הראה ערכים טובים דווקא, כמו נתיך חדש זהה.



קרוב לוודאי, שבשל עבודה רבת שנים בהעמסה של 60%, החומר של המוליך הפנימי בנתיך די נחלש למעבר של זרם. כשהחלפנו אותו בנתיך חדש, החום ירד בצורה די דרסטית. בצילום הסופי נראה הנתיך בטמפ' של 47°C (תמונה 20). מסתבר אפוא, שפעולה פשוטה ביותר שכללה החלפת פיזז, היא שהורידה באופן משמעותי את הטמפ' ב- 90°C. החלפת הנתיך במקרה זה באמת מנעה תקלה אמיתית בעתיד, ובזבוז זמן על איתור הסיבה לכך, ולא ברמה התיאורטית בלבד. לסיכומו של נושא זה, נאמר שכשלים פנימיים באביזרי חשמל, על פי רוב לא ניתן לתקנם, ובד"כ כשיש חשש לכך, ימליץ התרמוגרפר תמיד להחליף את האביזר הפגום. אבל כאמור ישנם מצבים מיוחדים, כפי שראינו בחלק מהדוגמאות הללו, שסריקה תרמית אחת במצב "העמסה", המתבצעת ע"י תרמוגרפר "המכיר" את המכונה, עשויה לתת פתרון מהיר זול ויעיל.

דוגמא ד'- השפעת "קצר פנימי" בשקע של כרטיס אלקטרוני על רכיביו האלקטרוניים

הערה: דוגמא זו נלקחה ממאמר אחר שכתבתי (באתר החשמלאים - electricil.com).

בסוף אוקטובר 2008 הוזמנתי לסריקה של מכונה באזור מסוים בחדר הנקי (DIFFUSION). מכונה זו בנויה בעיקרון מ- 2 תנורים גליליים שהטמפ' שלהם בעבודה מגיעה ל- 400°C לערך. בטרם סורקים את חבורי גופי החימום, ושאר הרכיבים שבחדר הנקי, אנו אמורים לסרוק את לוח השנאים, שמזין את שני התנורים הנ"ל. בבואנו ללוח זה, הנמצא קומה אחת מתחת למכונה הזו, הטכנאים כבר הם הסירו את כל המכסים שעל, פסי הצבירה, השנאים, הכרטיסים האלקטרוניים וכו'. פעולה זו נדרשת על ידם, במצב של נעילת שני המפסקים הראשיים ללוח זה. לבקשתנו, הטכנאי בחדר הנקי הפעיל את המכונה בעומס "מלא" (זרם של כ- 135A, במתח של 208V). במצב זה ממתינים כ- 10 דקות, כך שכל המפסקים והשנאים, וגם שאר רכיבי החשמל יגיעו אל הטמפ' הנומינלית שלהם. רק אז מתחילים לסרוק את חלקי המכונה, כאשר הדגש בד"כ הוא על יחידות חשמליות צורכות זרם. (שנאי ריאקטורים, מפסקי זרם, מאמ"תים, מגענים וכו'). כמובן שגם את הרכיבים האלקטרוניים, שעל הכרטיסים, אנו סורקים באותו הזמן. במקרה הנ"ל, לאחר סריקת סליל הריאקטור השמאלי (#1), שמנו לב שבאחד הכרטיסים האלקטרוניים שסימונו 18E2, ישנה נקודה חמה בנגד R1 (תמונה 21). הטמפ' שהתפתחה על הנגד הנ"ל הייתה כ- 356°C. מניסיוננו ידענו שהטמפ' על כל ארבעת הנגדים בכרטיס הזה אמורה להיות בטווח שבין 100°C ל- 110°C. עד כמה שזה יישמע מוזר, מדי פעם אנחנו מקשרים קטעי אינפורמציה, "ששמענו" באותו הקשר, ואז הדברים קצת נראים לנו טיפה יותר ברורים. למעשה נזכרתי ש- 3 חודשים לפני כן במכונה זהה לזו היה "אירוע", שבו נשרף כרטיס זהה לזה. הכרטיס באותו אירוע, נחרך במידה רבה, ואף העלה עשן תוך כדי עבודה. עם ההבנה המלומדת הזאת, בסיומה של הסריקה כולה, כולל בחדר הנקי, ביקשנו מהוונדור של המכונה להפסיק את המתחים ללוח המכונה. ביקשנו ממנו לבדוק את ההלחמות בכרטיס, וגם את הכבל שמתחבר אליו מהמכונה (שבחדר הנקי), ועד לאזור הכרטיס שבלוח הנבדק. באותו היום הספקנו ליצור את הדו"ח הראשוני, שהכיל את התמונה הראשונית, עם כל הפרטים הרלבנטיים עבורה. דו"ח זה נשלח אל מהנדס המכונה כדי ליידע אותו על הממצא החמור במכונה שלו, וכדי שיהיה לו זמן להיערך להמשך הטיפול. לאחר כשבועיים מיום

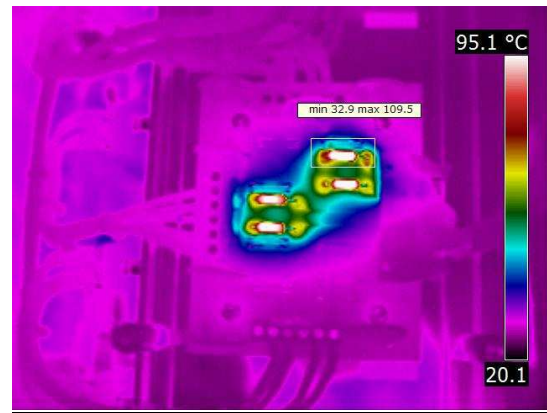
הסריקה הוזמנו שוב לסריקה חוזרת (rescan), וכמובן שזה היה בתיאום עם טכנאי המכונה, וגם עם אותו הוונדור שאיבחן את "הבעיה". תוך כדי ההכנה לפני הסריקה השנייה תחקרתי את הוונדור לגבי כל אותן

תמונה 21 - נגד R1 בכרטיס 18E2 (בזמן הקצר)



(נגד R1 בטמפ' 356°C)

תמונה 22 - נגד R1 בכרטיס 18E2 (אחרי תיקון)



(נגד R1 בטמפ' 109°C)

הפעולות, שביצע לאחר התקלה שגילינו בסריקה, ולגבי התיקון שלו בפועל. מסתבר שהיה "קצר פנימי" בשקע הרב פיני (25 PINS), שסימונו 18E9, בין שני גידים דקיקים בחיבור לשקע (הממוקם בגג הפנימי של הלוח). קצר זה היה בסה"כ במרחק של כ-1 מטר מעל הכרטיס, ולמרות שאנחנו סורקים גם את הכבלים, הצמות והגידים למיניהם, לא "ראינו" שום סימן לפליטת חום באותו השקע במסגרת הסריקה הראשונית. מה שכנראה קרה הוא, שהקצר בשקע "ניטרל" חלק מההתנגדויות הטוריות של הנגד R1, שנמצאות על אותו המעגל החשמלי שלו (loop). במצב כזה ערכה של ההתנגדות החשמלית האומית (Ω) הכולל ירד די הרבה. כאשר ההתנגדות יורדת במעגל חשמלי הרי, שהזרם עולה באותו היחס, וזה דבר ידוע על פי חוק-אווהם. אם כך נהיר לנו, שקצר זה במעלה הכרטיס הגדיל את הזרם החשמלי בנגד הנ"ל, פי כמה מהזרם הנקוב שלו. דבר זה הוא, שגרם להגדלת הטמפרטורה עליו ועל מוליכיו. מסתבר למזלנו אפוא, כי בסריקה הנ"ל הספקנו "לראות" את הנגד הזה, בטרם הוא הספיק לחמם את מוליכי הכרטיס, ורכיביו הסמוכים לו. למעשה בשורה התחתונה, בסריקה חמור. בסריקה החוזרת, ולאחר החלפת השקע הרב פיני, רואים בבירור את כל ארבעת הנגדים בטמפ' אחידה של כ-110°C (תמונה 22). ע"פ אחד מחוקי התרמודינאמיקה, חישוב פליטת אנרגיית החום שנוצרה (INFRA-RED), במקרה זה יתבצע לפי נוסחת "סטפאן-בולצמן". החוק הזה אומר בפשטות כי, האנרגיה הכוללת, שמוקרנת מגופים היא ביחס ישר לחזקה הרביעית, של ערך הטמפ' במעלות קלווין ($^{\circ}\text{K}$), ונתונה ע"פ הנוסחה :

$$W = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

W = האנרגיה הכוללת המוקרנת מהגוף בוואטים (w)

ϵ = היחס שבין כמות האנרגיה התרמית הנפלטת מחומר, יחסית לגוף

שחור (BLACKBODY), באותה הטמפ' ובאותו התדר. ($0 < \epsilon < 1$)

σ = קבוע בולצמן $5.67 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2 \text{K}^4$

T = טמפ' במעלות קלווין ($^{\circ}\text{K}$)

לסיום האיבחון של מקרה זה ניתן לראות, שהטמפ' של הנגד R1, בכרטיסנו האלקטרוני בשל מצב הקצר הפנימי, עלתה פי 1.642 (מ-109°C לטמפ' של 356°C, שזה שווה ערך לעלייה מ-383°K ל-629°K). האנרגיה האינפרא אדומה, שנפלטה מהנגד אם כך הייתה פי כמעט 7.3 פעמים, יחסית למצבו הנומינלי בעבודה רגילה (1.642^4). ערך ה- ΔT במקרה זה הוא 247°C, וכמובן משויך לקטגוריה -3, שמשמעו גם כאן חיסכון ניכר של כ-36,000\$ ע"פ סטטיסטיקה תיאורטית (מעשית בסיטואציה זו זה יכול להיות הרבה יותר). לסיכום, בשל התנהגות גופים בטבע, ע"פ חוק זה של סטפאן-בולצמן, מתאפשר למזלנו הרב למצוא אפילו שינויים מזעריים בסריקה תרמית, כך שהם יראו בהבלטה יתירה במצלמת I.R, כפולטי אנרגיית חום גבוהה (רק בשל העובדה המפליאה, שהאנרגיה הנפלטת היא בחזקה רביעית של הטמפ').

נתוני המצלמה התרמית



דגם : THERMACAM E320 (חב' FLIR)

סוג עדשה : 41°

מסך : LCD 2.5"

סוג חיישן : FPA uncooled microbolometer
320x240 PIXELS

תחום אורכי הגל : 7.5-13 μm

תחומי טמפ' : (80 ÷ 500°C), (-20 ÷ 120°C)

משקל : 800 גרם

דרגת אטימות : IP54

מתח : 12VDC

מסקנות וסיכום שיטת הסריקה התרמית

סריקה תרמוגרפית היא שיטה מצוינת לתחזוקת מערכות חשמל. ראשית, היא מפחיתה את הסיכונים העתידיים העלולים להתרחש במכונות מייצרות, בלוחות, מכשירים, ובשאר מערכות החשמל, ושנית היא שומרת על בטיחות המתקן החשמלי. ניתן לומר שיש לה יתרונות חשובים ביותר, ועיקרן מובאים להלן :

- (1) מניעת שריפות בשל כשלים חשמליים (בגלל חיזוקים רופפים, אביזרים לקויים, העמסת יתר וכו')
- (2) מניעת קצרים למיניהם (בשל חשיפת חוטי חשמל סמוכים מחימום, שנגרם מכשל וכדומה)
- (3) מניעת ניתוקי מתח לא יזומים (כמו מפסקים עם בעיה פנימית שמתנתקים לפתע)
- (4) מניעת התחשמלות (בשל חוטי חשמל שנחשפו)
- (5) מניעת זמן השבתת ייצור (לאחר "נפילת מתח" קבועה או רגעית, התוצרים עלולים להינזק)
- (6) חסכון בחומרים (בשל תהליך המבוסס על מערכת חשמל מבוקרת, בעלת מינימום תקלות)
- (7) חסכון בזמן הדממה ובזמן עבודה (חוסר הצורך בהבאת אנשי מקצוע לצרכי תחזוקה מונעת)
- (8) חיסכון בכסף (כפועל יוצא מכל היתרונות הנ"ל)

הסריקות התרמיות, כפי שראינו בחלק מהדוגמאות המעשיות הללו, אינן מיועדות אך ורק לצרכני זרם גדולים בלבד כמו, שרבים בתחום החשמל נוטים לחשוב, אלא גם לצרכנים מינוריים במתח נמוך, ואפילו בזרמים מזעריים. יעילות הסריקה בעיקר, מתקיימת כשהיא נעשית בעומס חשמלי מלא (FULL LOAD), אז ניתן "לתפוס" את התקלה עוד בטרם התהוותה. סריקות תרמוגרפיות, כיום הן גם חלק מהדרישות של חברות הביטוח, אשר מבטחות את הציוד היקר של לקוחותיה, בתנאי של ביצוע בקרה זו. כמוכן יש גם מפעלים, ומקומות עבודה, שבדיקה זו הפכה להיות חלק מהנהל אצלם, וזה כבר נחשב לחלק בלתי נפרד מהפרוצדורה השנתית שלהם. השיטה הזאת מוכיחה, שאין לזלזל באביזרי חשמל, וונטות ואפילו ברכיב אלקטרוני זעיר (כמו נגד המולחם איפשהו בכרטיס אלקטרוני).

סריקות תרמיות יכולות לאתר גם בעיות אחרות פרט לאלה, שפירטתי בארבעת הסעיפים (עמ' 1,2,3). בין היתר סריקה תרמית יכולה גם לגלות בעיות חשמליות, שנובעות מבעיית "הרמוניות" במכשירים וגם בשלל ציודים (ממירים, משני מהירות, מערכות מיחשוב וכו'), בשל רכיבים העובדים בזרם ישר, ללא סינון מתאים. בין היתר סריקה יכולה לאתר בעיות, שנובעות מטעות בתכנון של מתקן המתקן או המכונה (כמו מאמ"ת הצורך מעל 100%, מהזרם שלו בזמנים מסוימים, שלא נלקחו בחשבון וכו'). כמו כן סריקה יכולה לגלות טעויות אנוש, שעלולות לשבש את מערכת החשמל (כמו כיול נמוך של S.L, כבל שחתך מוליכיו קטנים מדי, חיבור לא בטוח או נכון וכו'). לסיים, בשורה התחתונה ניתן לומר מעל לכל ספק, שתחזוקת החשמל של המכונה או המתקן, מתחילה בתרמוגרפיה החשמל, וגם מסתיימת איתו באותו הזמן, באופן יעיל בטוח ומקצועי.