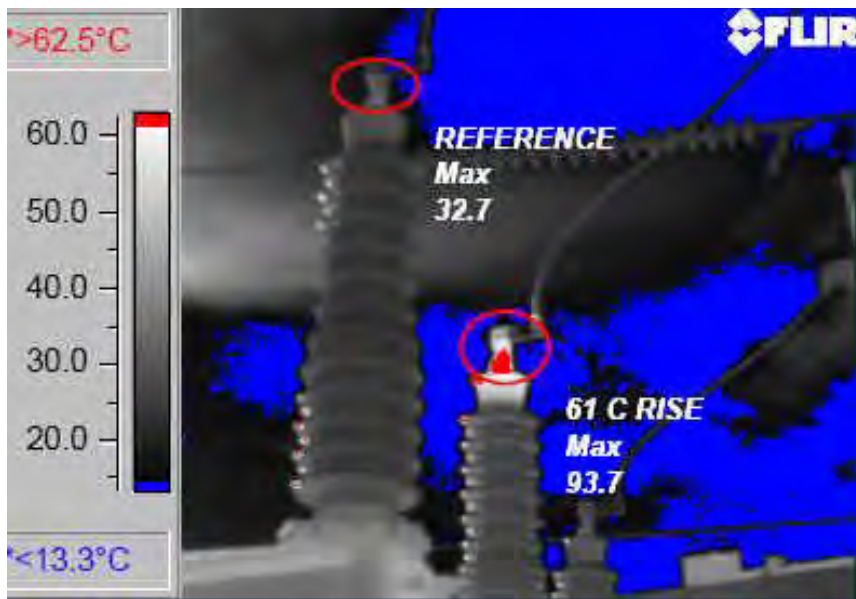


סיכוני אש ומניעתם

בשנאים (חלק ראשון)



תמונה 1: צילום תרמוגרפי לזיהוי חיבורים רופפים בקצה הבושינג (תותב). בתמונה נראה קצה הבושינג חם כאשר גוף הפורצלן מראה טמפרטורה נורמלית

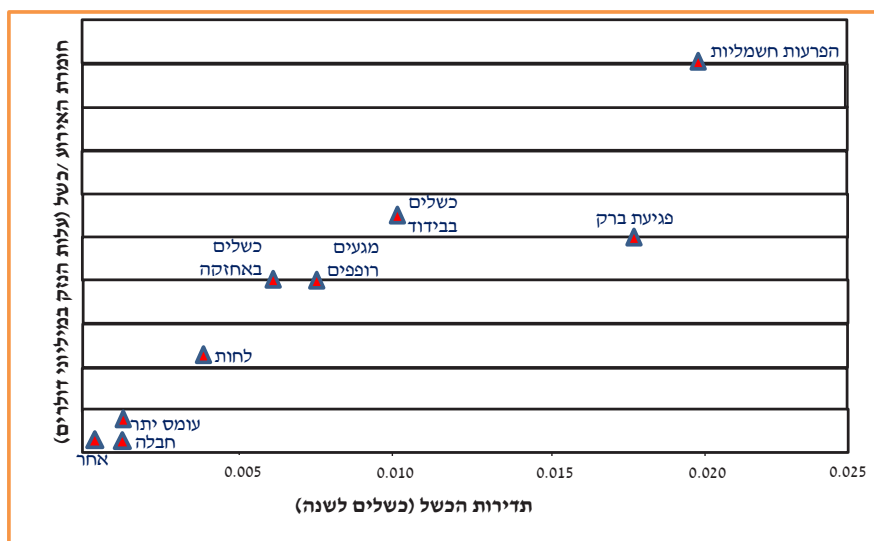
השנאי שנשרף גדול יותר (בעל הספק גבוה יותר), כך ההפרעה העסקית תהיה גבוהה יותר – הן מכיוון שאזורי ייצור נרחבים יותר יהיו ללא אספקת חשמל והן מכיוון שאמון ההחלפה של השנאי יהיה ארוך יותר. ג. נזק לשנאים סמוכים, לציוד בקרבת מקום או למבנה – מאחר ובכל אחד מהשנאים יש מאות ליטרים של שמן בידוד מינרלי, פיצוץ בשנאי (בד"כ פיצוץ של מיכל השמן) עלול לגרום להתזת שמן מינרלי למרחקים גדולים וכתוצאה מכך לשריפה באותם מקומות וגם לשריפה של שנאים אחרים או ציוד בקרבת מקום. ד. זיהום אוויר וזיהום נרחב של הקרקע באזור דליפת השמן מהשנאי (מאחר והשמן המינרלי הוא רעיל ואינו מתפרק).

הגורמים העיקריים להתפתחות פיצוצים ושריפות בשנאים

הגורמים העיקריים להתפתחות פיצוצים ושריפות בשנאים כפי שמשקף מתרשים מספר 1 הם:

א. כשלים והפרעות חשמליות (Electrical Disturbances) – הפרעות אלה כוללות עומס גבוה, נחשולי מתח גבוה (Overvoltage Surges) ושינויים קיצוניים במתח ובזרם. הם נגרמים לרוב כתוצאה מקצרים פנימיים (קשתות חשמליות) בשנאי

חשמל. לכן, שריפה ו/או פיצוץ של שנאי עלולים לגרום:
א. פגיעה בעובדים ואנשים הנמצאים בקרבת מקום;
ב. "הפרעה עסקית" (הפסקת ייצור מאולצת) עד להחלפת השנאי הפגוע בשנאי חדש. ככל



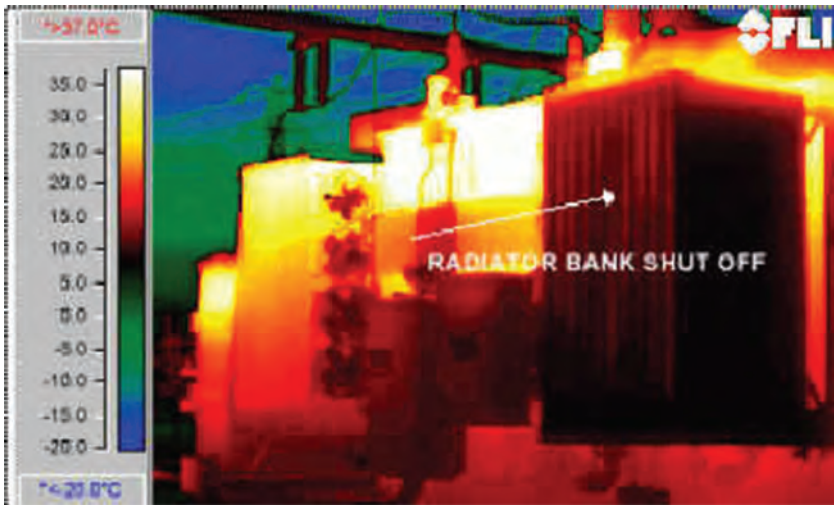
תרשים 1: סיכוני שנאים – תדירות כשלים אופייניים (מס' כשלים ממוצע לשנה חלקי מספר השנאים שנבדקו) לעומת עלות הנזק הממוצע. (מקור: Transformer Asset Management, W.H. Bartley, Hartford Steam Boiler, (Inspection & Insurance co)

מאת שי שגב MSc
בזן (בתי זיקוק לנפט, חיפה)

הכותב הוא מומחה לניתוח סיכונים תהליכיים וסיכוני אש
seshay@bazan.co.il

שנאים הם בדרך כלל מרכיב חיוני וקריטי של מערכת החשמל במפעל. לעיתים, כתוצאה מכשל, עלול להיווצר פיצוץ של מיכל השמן בשנאי ו/או התזה של שמן בוער מהתקן פריקת הלחץ בשנאי (ראו תרשים מספר 1). בשל כמויות השמן הגדולות הנמצאות בשנאים (מעל 20 מ"ק שמן בשנאים גדולים) השריפה שתיגרם כתוצאה מהפיצוץ או ההתזה תהייה בד"כ גדולה בהיקפה, ותגרום נזק כבד לשנאי, לציוד סמוך וכן עלולה לגרום לפגיעה גם בעובדים. לרוב השנאי אינו שמיש לאחר השריפה ויש צורך להחליפו או לחילופין לבצע בו שיפוץ מקיף וממושך.

לעיתים, השנאים הגדולים במפעלים – שנאים שהספקם החשמלי נמדד ב-MVA (מגה וולט אמפר) – אינם "מוצרי מדף" ולכן החלפתם עלולה להימשך מספר חודשים. בנוסף לסיכונים הבטיחות הגלומים בפיצוץ ושריפת שנאי בעת תקלה, עלולה גם להשתבש אספקת החשמל ולגרום להפסקת ייצור ממושכת במיתקנים המוזנים על ידי אותו שנאי. השנאים הם מרכיב קריטי במערכות אספקת



תמונה 2: ניתן לראות העדר זרימה של שמן ברדיאטור. האזורים הצהובים מראים אזורים בהם ישנה זרימת שמן נורמלית בעוד שבאזור הכהה יש כשל בזרימת השמן

- פורק הלחץ - פריצה היא סימן לכך שהלחץ הפנימי בשנאי היה גבוה מדי. בדיקה זו צריכה להתבצע בהירות מכוון שבהרבה מקרים פורקי הלחץ ממוקמים בסמוך לבושינגים (bushings) של המתח הגבוה או המתח הנמוך.
- מדי טמפרטורה - יש לתעד את קריאות טמפרטורת השמן ולנתח תוך התייחסות לעומס בו נמצא השנאי. בשנאים גדולים קיימת בנוסף גם מדידה של טמפרטורת הסלילים Winding (temp) מאחר ובסלילים נמצאת הטמפרטורה הגבוהה ביותר בשנאי, והטמפרטורה שלהם עולה באופן מהיר יותר עם עליית העומס על השנאי (לכן טמפרטורת הסלילים צריכה להיות גבוהה יותר מטמפרטורת השמן). את האינדיקטורים לטמפרטורה הגבוהה ביותר שהיתה בשנאי (Peak Temperature Indicator) יש לאפס לאחר תיעוד ערכם.

בדיקת לחץ ואקום שבועית

- מדי לחץ ואקום - מד הלחץ צריך להראות תמיד לחץ חיובי, אחרת לחות ולכלוך עלולים לחדור לשמן. קריאת ערך של "אפס" על מד הלחץ/ואקום היא בד"כ סימן לדליפה במערכת.
- ידית שינוי המתח (Tap Changers) - חייבת להיות נעולה באופן קבוע. במקרה בו הידית אינה נמצאת במקומה והשנאי תחת מתח, עלול להיגרם נזק כבד לשנאי. יש להזיז את ידית שינוי המתח כאשר השנאי אינו תחת מתח על מנת למנוע הצטברות פחמן על מישטחי המגע (לפני ביצוע פעולה זו יש לוודא שאין כל מתח על השנאי ולבצע נעילה כפולה).
- בושינגים (Bushings) - אם קיימת זכוכית הצצה או מד גובה לבושינגים, יש לבדוק את מיפסל השמן מגובה הקרקע. יש לאסור התקרבות לבושינגים בכדי למדוד את המיפסל.
- מאוררי קירור - יש להפעיל את המאוררים באופן ידני בכדי לוודא שהם עובדים כשורה. אם קיימת לחות או חלודה בלוח הבקרה של המאוררים יש לוודא שנגדי

באטמים, בידוד סדוק וכד' (ככלל אם יש דליפה של שמן מהשנאי עלולה לחדור אליו לחות דרך אותו חור).

- ממקורות פנימיים - כתוצאה מתהליך הבלאי של נייר הבידוד והשמן (תהליך שהחל כתוצאה מחדירת לחות לשנאי).
- ו. רעידת אדמה: תזוזת השנאי במהלך רעידת אדמה עלולה לגרום לשריפה.



תמונה 3: תזוזת שנאי בתחנת הכוח ב-Port-au-Prince שבהאיטי, כתוצאה מרעידת אדמה בעוצמה 7 בסולם ריכטר שהתרחשה שם ב-2010

המלצות לצמצום ההסתברות לשריפות וכשלים בשנאים

על מנת למנוע שריפות וכשלים בשנאי מומלץ לבצע מספר בדיקות תקופתיות.

מומלץ שבדיקות השנאים תתבצע אחת לחודש ותכלול את האלמנטים הבאים:

- מצב כללי של השנאי לדוגמה:
 - סימני קורוזיה (במקרה ומתגלה חלודה יש לנקות ולצבוע בצבע מתאים לצביעה על חלודה);
 - סימני דליפת שמן (מצביעה על בעיות באטמים);
 - מיפסל השמן: ניתן לבדוק את המיפסל בעזרת זכוכית הצצה או בעזרת מדידים. יש לשים לב שמיפסל השמן עולה עם עליית הטמפרטורה, ולכן יש לשים לב לטמפרטורה בעת בדיקת מיפסל השמן;
 - נשם (Breather) יש לבדוק האם צבע הסיליקה גיל השתנה לצבע ורוד (שינוי הצבע מצביע על לחות גבוהה).

היווצרות של קשתות חשמליות פנימיות בתוך השנאי, עלולה לגרום להצטברות של גזים במיכל השמן וכתוצאה מכך לפיצוץ ולשריפת השנאי. לחץ בשנאי עלול להתפתח גם כתוצאה ממשל חשמלי חיצוני או כתוצאה מכשל פנימי אחר. אם קצב עליית הלחץ במיכל השמן מהיר יותר מקצב שחרור הלחץ דרך פורק הלחץ, מיכל השמן של השנאי עלול להתבקע תוך שחרור כמויות גדולות של שמן. במקרים רבים מתרחשת שריפה של השנאי כתוצאה משפך השמן.

ב. כשלים בבידוד (Insulation Issues) - באזורים בהם הבידוד חלש עלולה להיווצר פריקה חלקית / קורונה. כשלים בבידוד יכולים להיגרם בין היתר:

- כתוצאה מגיל השנאי. גיל השנאי משפיע בין היתר גם על החוזק המכני של נייר הבידוד (נייר המשמש לבידוד חשמלי הודות לתכונות הבידוד החשמלי של הצלולוז שהוא אחד המרכיבים המרכזיים של הנייר). משך החיים הממוצע של שנאי הוא כ-30 עד 40 שנה. לכן ההסתברות לכשל של שנאים ישנים גבוה יחסית.

- כתוצאה מעבודה ממושכת תחת עומס חשמלי גבוה מדי, עם קירור חלקי, בטמפרטורה סביבית גבוהה וכד'.
- כתוצאה מחדירת לחות לשמן (ראו הסבר בהמשך המאמר).
- כתוצאה מכשל תכנוני או ייצור לקוי של השנאי.

ג. פגיעת ברק (Lightning) - פגיעת ברק בשנאי או בקרבתו גורמת במקרים רבים לשריפתו. בכדי למנוע את פוטנציאל הפגיעה בשנאי כתוצאה מפגיעת ברק מומלץ להתקין כליא ברק (אמצעי למניעת נזק כתוצאה מפגיעת ברק בשנאים או בקרבתם).

ד. מגעים רופפים (Loose Connection) - במגעים ובחיבורים רופפים בשנאי עלול להתפתח חום שיגרום לשריפה. על מנת לצמצם את ההסתברות לכשלים אלה מומלץ לבצע בדיקות תרמוגרפיה (צילום אינפרה-אדום - IR) פעמיים בשנה עבור כל אחד מהשנאים.

בדיקות תרמוגרפיות מסוגלות לזהות גם כשלים נוספים בשנאים (כגון כשל במערכת הקירור כפי שניתן לראות בתמונה 2).

ה. לחות (Moisture) - לחות (מים בכמויות זעירות) גורמת נזק לשנאים מאחר והיא נמשכת לאזורים בהם קיים העומס החשמלי הגבוה ביותר. הלחות גורמת לבלאי הן של שמן הבידוד והן של נייר הבידוד תוך כדי שחרור מים נוספים בתהליך. כאשר נוצר נזק לנייר הבידוד (הצלולוז), לא ניתן להחזירו למצבו המקורי וקשה מאוד להפסיק את התפתחות הכשל בו (מאחר ונוצרים מים בתהליך).

לחות יכולה לחדור לשנאי:

- ממקור אטמוספירי - דרך נשם הסיליקה גיל (סיליקה גיל יבש הוא תמיד בצבע כחול), או דרך דליפות בשנאי כתוצאה מכשל

במהירות, לפרוק דרך פרוק הלחץ ולהישפך החוצה, תוך כדי הצתתו, דבר העלול לגרום להצתה של השנאי ושל ציוד קרוב שאינו מוגן.

בבדיקת power factor נבדקת איכות מערכת הבידוד בשנאים גדולים (מעל 5 MVA) ובבושינגים שלהם. בבדיקה זו נחשבת לאחת הבדיקות האמינות ביותר ונמצאת בשימוש בתעשייה כבר קרוב ל-100 שנה.

עיקרון הפעולה: כאשר בידוד נטען בזרם חילופין, נוצרים שני סוגי זרם: זרם קיבולי (capacitive current) וזרם התנגדותי (resistive current). הזרם הקיבולי מקדים את מתח הבדיקה ב-90°, ואילו הזרם ההתנגדותי הוא באותה הפאזה של מתח הבדיקה. שינויים בזרם הקיבולי מצביעים על בלאי בבידוד (לדוגמה: רטיבות, שינויים בגיאומטריה וכד'). הזרם ההתנגדותי מספק את האנרגיה שאבדה כתוצאה מאובדנים בבידוד (אובדנים דיאלקטריים).

מאחר והטמפרטורה משפיעה על תוצאות הבדיקה, יש צורך בביצוע התאמות בכדי שניתן יהיה להשוות את תוצאות הבדיקה במהלך השנים. בכדי לבצע את הבדיקה הזאת יש לנתק את השנאי מהרשת. תדירות הבדיקה המומלצת היא כל 3-5 שנים. ■

בשנאי ואשר גרמו לנזקים בהיקף כספי של כ-492 מיליון דולר. המחקר מצא בין היתר כי ניתן היה לזהות מבעוד מועד לפחות 75% משריפות אלה. באמצעות בדיקות תקופתיות של גזים מומסים בשמן (Dissolved Gas in Oil Analysis) וע"י כך למנוע אותן.

בדיקות נוספות

● בבדיקת נוכחות תרכובות פוראן (Furan Analysis) - שיטה חדשה יחסית המשלימה את תוצאות בדיקות הגזים המומסים בשמן. בדיקה זו משמשת להערכת אורך החיים הנותר של מערכת הבידוד של השנאי, מאחר וזיהוי תרכובות פוראן-שמן היא אינדיקציה לבלאי של הצלולוז (נייר הבידוד בשנאי).

● בבדיקת Power factor עבור השנאים והבושינגים: כשל של שנאים נגרם לעיתים קרובות בשל בלאי של הבידוד. בדיקת הבידוד נחלש בגלל זרם חשמלי רגעי גבוה (Electrical surge) שנגרם כתוצאה מפגיעת ברק או כתוצאה מבלאי שהתפתח במשך השנים. כשל בבידוד עלול לגרום לקשת חשמלית ולנזק לצמיתות של השנאי. במהלך התרחשות הקשת החשמלית, עולה טמפרטורת שמן הקירור של השנאי. השמן יכול להתאייד

החיימום עובדים כשורה. כל האטמים מסביב ללוח הבקרה של המאווררים צריכים להיות במקומם ובמצב תקין.

בדיקת גזים מומסים בשמן (Dissolved Gas in Oil Analysis)

בדיקת גזים מומסים בשמן נחשבת לשיטה הרגישה, האמינה והנפוצה ביותר לזיהוי מוקדם של כשלים בשנאי ע"י זיהוי פחמימנים מומסים בשמן, CO, CO₂ ומים. במקרים של עומסים חשמליים או תרמיים, שמן הבידוד יתפרק כתוצאה מהטמפרטורה הגבוהה ומקשתות חשמליות, תוך יצירת סוגים שונים של גזים מומסים בשמן. עלייה בכמות של גז ספציפי שמומס בשמן היא סימן מוקדם לכשלים פנימיים בשנאי. כאשר קצב יצירת הגזים גדל, ההסתברות לכשל גדלה אף היא, לדוגמה: עלייה בריכוז גז האצטילן המומס בשמן היא אינדיקציה לקשתות חשמליות פנימיות. כאשר ריכוז האצטילן עולה מעל ערך סף מסוים, ההסתברות לפיצוץ של מיכל השמן הופכת להיות גבוהה ויש להוציאו מעבודה באופן מידי. בהרבה מקרים, עלולה שלא להיות שום אינדיקציה אחרת לבעיה עם השנאי. את הבדיקה של ריכוז הגזים בשמן הבידוד מומלץ לבצע לפחות פעם בשנה, כאשר הפרקטיקה המקובלת היא להגדיל את תדירות ביצוע הבדיקות עבור שנאים ישנים וכן עם העלייה בריכוז הגזים (מקובל לשרטט את הטרנד של הריכוזים ובמקרה ומתקבלת עלייה, להוציא את השנאי לתיקון או להגדיל את תדירות הבדיקה).

להלן הגזים המרכזיים הנבדקים בבדיקה זו:

הגז הנבדק	הכשל עליו מצביע ערך הגבוה מערך הסף
אצטילן	קשתות חשמליות פנימיות
אתילן	חימום יתר נקודתי של השמן
פחמן חד חמצני	חימום יתר של הצלולוז
אתאן	חימום יתר כללי של השמן
מתאן	חימום יתר או פעילות קורונה
מימן	קורונה או פריקה חלקית

הבדיקה צריכה להתבצע בהתאם להנחיות נתקן IEC 60599 (dissolved gas analysis). יש חשיבות לאיסוף נכון של השמן ולניתוח נכון של התוצאות המתקבלות ב-Gas Chromatograph.

בעבודת מחקר וניתוח שבוצעו ע"י חברת הביטוח הבינלאומית EM Global נבדקו כ-1000 שריפות שנגרמו כתוצאה מליקוי

קורסים יומי עיון במחוז המרכז

לחודשים ספטמבר, אוקטובר, נובמבר, דצמבר 2013

הקורסים יומי העיון יתקיימו במגדלי הים התיכון בבת-ים

ספטמבר	אוקטובר	נובמבר	דצמבר
קורס נאמני בטיחות (בטיסי). 3 מפגשים רצופים	קורס נאמני בטיחות (בטיסי). 3 מפגשים רצופים	קורס נאמני בטיחות (בטיסי). 3 מפגשים רצופים	קורס נאמני בטיחות (בטיסי). 3 מפגשים רצופים
קורס נאמני בטיחות (בטיסי). 5 מפגשים במתכונת יום בשבוע.	קורס נאמני בטיחות (בטיסי). 5 מפגשים במתכונת יום בשבוע.	קורס נאמני בטיחות (בטיסי). 5 מפגשים במתכונת יום בשבוע.	קורס נאמני בטיחות (בטיסי). 5 מפגשים במתכונת יום בשבוע.
קורס נאמני בטיחות (בטיסי). 3 מפגשים רצופים	קורס נאמני בטיחות (בטיסי). 3 מפגשים רצופים	קורס נאמני בטיחות (בטיסי). 3 מפגשים רצופים	קורס נאמני בטיחות (בטיסי). 3 מפגשים רצופים

קורסים יומי עיון שאין לגביהם מועד מדויק

בטיחות אש - מניעה וכיבוי ■ רענון בטיחות למנהלי עבודה בכייה ■ מעבדה להתנסות ברעש ומניעתו ■ בטיחות בתעשיית המתכת ■ בטיחות בצביעה ■ בטיחות בתעשיית המזון ■ בטיחות בכתי דפוס ■ בטיחות בענף האלקטרוניקה ■ בטיחות במחסנים ■ בטיחות בעבודות גינון ■ בטיחות בעבודות ביוב ומכונני שאיבה ■ בטיחות בריתוך ■ מנהלי עבודה בתעשייה ■ גיהות תעסוקתית ■ הגורם האנושי לתאונות עבודה ■ תפקיד נאמן הבטיחות ■ איתור סיכונים במקומות העבודה ■ בטיחות לעובדי מעבדות ■ חקירת תאונות עבודה ■ הרמה נכונה, כאבי גב וארגונומיה ■ רענון למפעילי כלי הרמה מוסמכים ■

לפרטים נוספים: מחוז המרכז

טל': 5266465, 03-5266471, פקס: 03-6208596
דוא"ל: tel-aviv@osh.org.il