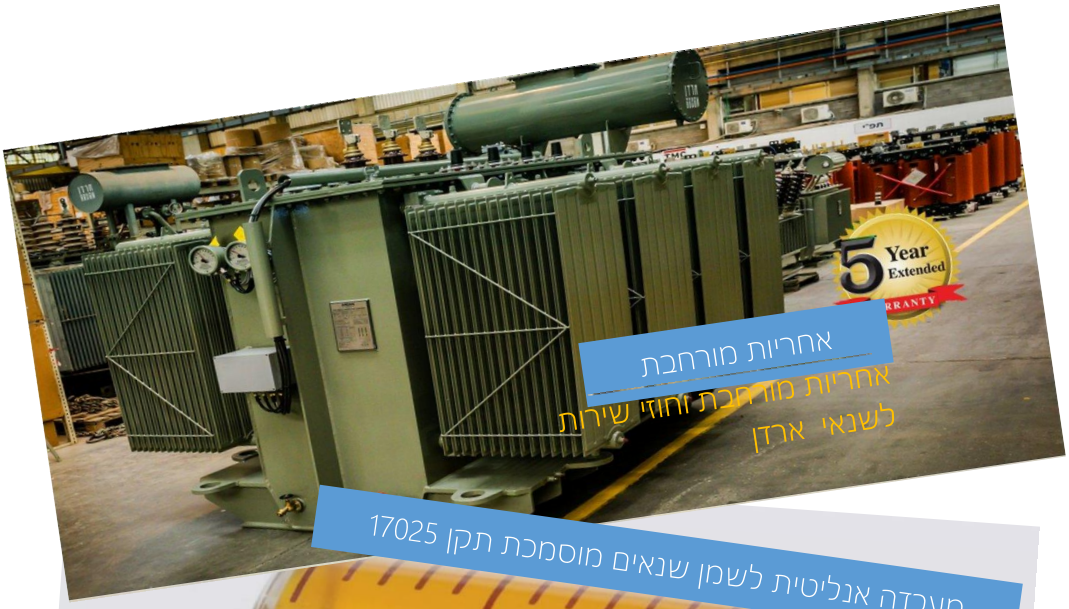
בדיקות וטיפולים לשנאים ומסדרי מ"ג/מ"נ

למהנדסים בודקים, אחראי תחום חשמל
וחשמלאי מ"ג

עידו בר-תנא - MVA
ido@mva.ltd

גרסה 1-2025

כמו שצריך!





מעבדה מתקדמת מוסמכת לאנליזות
שמן שנאים – היחידה המבצעת
בדיקות גזים מומסים בארץ





טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

MVA – פרופיל חברה

חברת MVA עוסקת בפתרונות טכנולוגיים מתקדמים למערכות מתח גבוה תוך התמחות בשנאי מתח גבוה. בתחום זה ל- MVA יכולות בכל ספקטרום חיי השנאי:

1. תכנון, ייצור והתקנת שנאים – מרכז תכנון ופיתוח

- תכנון שנאי הספק בהתאם לדרישות ותנאי העבודה הספציפיים של השנאי, ע"י מרכז התכנון והפיתוח של MVA.
- אספקה והתקנה של שנאי הספק ושנאים מיוחדים בכל גודל המיוצרים ע"י חברת BEST.
- בדיקות וטיפולים בהתקנת השנאי באמצעות צוות מקומי מקצועי הכולל את כל תהליך הרכבת השנאי, טיפול בשמן, בדיקות מסירה.

עוד פרטים

2. בדיקות שנאים בשטח, אנליזה ופתרון בעיות

- אנליזה ופתרון בעיות בשנאים גדולים ע"י צוות מומחים בראשות ד"ר אנטולי שקולניק
- מעבדת אנליזות שמן שנאים ישראלית עם זמן תגובה מהיר, המתקדמת בארץ מוסמכת ע"י הרשות הלאומית להסמכת מעבדות בתקן IEC/ISO 17025 כולל בדיקות מיוחדות: גזים מומסים ופוראנים
- טיפולים מיוחדים לשנאים כולל
  - טיפול במחליפי דרגות מקוונים (היחידים המורשים לטפל במחליפי דרגות מתוצרת HM ותואמי MR).
  - טיפול בשמן השנאי ע"י סינון במכונת סינון עד 6000 ל'/שעה, כולל חידוש שמן דרך קולונות ייעודיות והשלמת תכולת אינהיביטור לשמן השנאי. היחידים היכולים לטפל בשמן תחת מתח בשנאים קריטיים.
  - טיפולים בציוד תחמ"ש בכל גודל
  - איטום נזילות שמן בשיטה ייחודית שאינה מצריכה ריקון שמן/ריתוך או פירוק מבודדים.

עוד פרטים

3. תיקון שנאים במפעלנו בארדן שנאים ובמפעל BEST

- תיקון שנאים בהספק עד 20MVA במפעלנו בארדן כולל החלפת חלקים, ליפוף סלילים מחדש, כל בדיקות מעבדת מ"ג כולל Routine tests, Type tests .
- תיקון שנאים גדולים במפעל BEST.

עוד פרטים

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

4. יכולות נוספות

- אנו מרצים בכנסים מקצועיים, מכללות וקורסי הכשרה למהנדסי חשמל בתחום השנאים, אנליזות שמן ובדיקות מתקדמות.
- מחקר ופיתוח בתחום השנאים: פיתוח מערכות בקרה והגנה על שנאים ובדיקות חדשניות.

עוד פרטים

מפרט יכולות - תכנון, ייצור והתקנת שנאים

לחברתנו מרכז תכנון שנאים ישראלי המעסיק צוות תכנון ופיתוח שנאים גדולים ומונה מטובי המתכננים בתחום זה בארץ.

עוד באתר

בנוסף, בזכות שיתוף פעולה אסטרטגי עם חברת BEST – אחת מחברות השנאים הגדולות בטורקיה, אנו יכולים לתכנן שנאים בארץ ולייצר אותם בחברת BEST.

מהפרויקטים שתוכננו ובוצעו או בתהליך:

- תכנון, ייצור והחלפת שנאי ראשי 63MVA במתקן התפלה מהגדולים בארץ
- תכנון ייצור ואספקת שנאים בהספק 50MVA ו- 75MVA עבור חברת-החשמל
- תכנון ייצור ואספקת אוטו-שנאים בהספק 191.7MVA עבור חברת-החשמל
- תכנון ייצור ואספקת שנאים בהספק 45MVA עבור חברת מקורות.
- תכנון ייצור והחלפת שנאי ראשי 140MVA בתחנת כוח אורות יוסף
- תכנון ייצור ואספקת שני שנאים ראשיים לתחנת כוח אלון תבור
- תכנון ייצור ואספקת תחנות משנה ניידות בהספק 30MVA עבור חברת החשמל

עוד באתר



יתרוננו הוא ביכולת התכנון המקומית ומתן מענה מהיר ומקצועי

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd



מפרט יכולות - אנליזה ופתרון בעיות

5. לחברתנו צוות מומחים לאנליזות ופתרון בעיות בשנאים ומערכות מ"ג:

אלכס גראייפר:

- שלושים שנות נסיון בחברת Vonroll/ELCO/VRT כמהנדס הראשי בחברה.
- בעל נסיון עשיר בתכנון שנאים עד 560MVA עד מתחים של 400kV. אוטו-שנאים עד 650MVA לכלל החברות בארץ וחברות בצפון אמריקה.
- מוביל צוות מתכננים יוצאי VRT לתכנון ותמיכה בפרויקטים בארץ ובחו"ל

עוד באתר MVA

עידו בר-תנא:

- התמחות פורמאלית בשנאים ואנליזות שמן מתקדמות.
- הסמכה לבדיקה/טיפול במחליפי דרגות מקוונים מתוצרת HM, MR ותואמיהם בשנאים גדולים.
- הקמה ופיתוח מעבדת אנליזות שמן שנאים – המעבדה האנליטית המתקדמת בארץ, והיחידה העושה בארץ בדיקות מתקדמות כגון גזים מומסים ופוראנים.

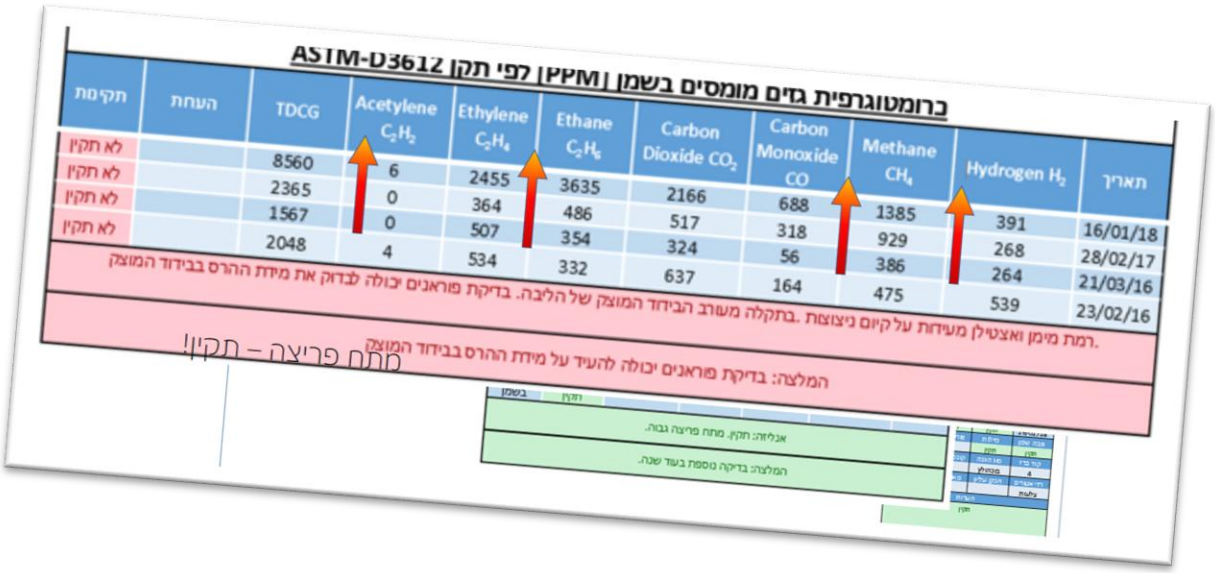
טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

- כתיבת המדריך המקיף ביותר הקיים בעברית בנושא אנליזות שמן שנאים, בדיקות וטיפולים מתקדמים לשמן שנאים.
- מרצה בטכניון, במכללות ובכנסים מקצועיים על אנליזות שמן, תחזוקת שנאי מ"ג ופתרונות מתקדמים לתקלות בשנאים.

<u>אנליזות ופתרון בעיות שמנעו או קיצרו משמעותית השבתת ייצור:</u>

- אנליזות שמן מתקדמות שחזו או מנעו השבתת ייצור:
  - מניעת תקלות משבירת-יצור במכון התפלה גדול בארץ: אפיון הבעיה ומניעתה ע"י אספקת שנאי רזרבי, איתור הבעיה במפעל ותיקון השנאי (2018)
  - חיזוי תקלה בתחנת כוח פרטית מהגדולות בארץ ועבודה על פתרון הבעיה במהלך תוך כדי עבודת השנאי (2018)
- .אנליזת עומסים, איתור תקלה ופתרון למפעל משבירת-יצור במפעלי ייצור בארץ ובחו"ל (2017)

יתרוננו הוא ברמת המומחיות מהגבוהות בארץ בתחום אנליזות ופתרון בעיות תוך יכולת רחבה לביצוע בדיקות חשמליות ובדיקות שמן מתקדמות

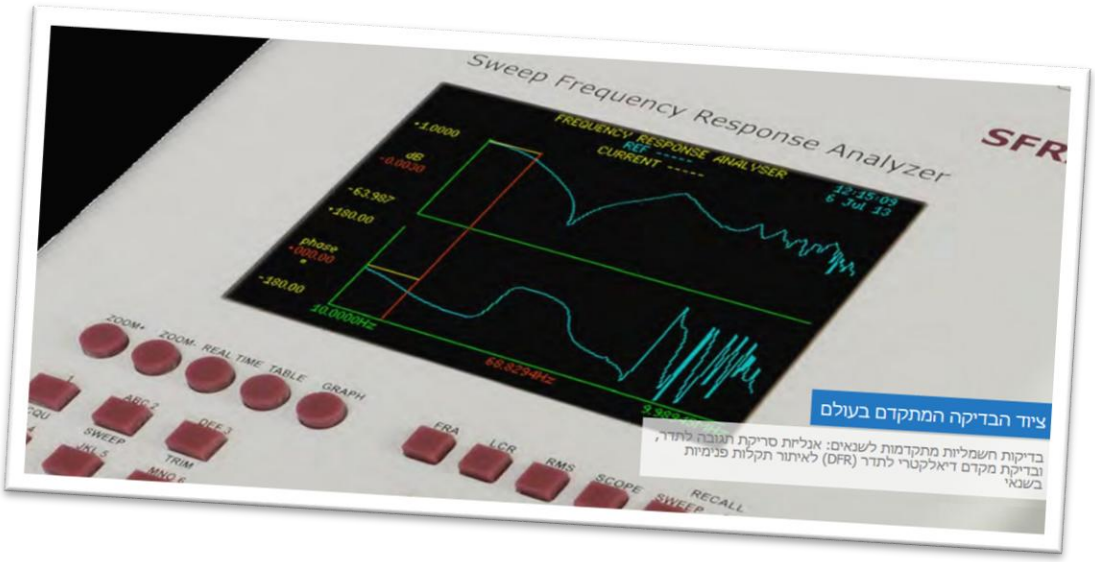


טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

מפרט יכולות - בדיקות וטיפולים לשנאים בשטח

6. לחברתנו מבדקות ייעודיות לשנאים המאפשרות את הבדיקות הבאות באתר השנאי:

- בדיקת יחסי השנאה לשנאי בכל מצב של מחליף הדרגות
- בדיקות התנגדות סלילים בכל פאזה ובכל מצב מחליף דרגות
- בדיקת אנליזת סריקת תגובה לתדר (SFRA)
- בדיקות בידוד:
  - טנגנס דלתא וקיבוליות בעזרת מבדקה ייעודית 10kV
  - התנגדות בידוד בעזרת מבדקה 10kV
- בדיקת הפסדים ואימפדס במתח נמוך במצב קצר באחד מצדדים של סלילים
- בדיקת הפסדים בריקם וזרם ריקם במתח נמוך
- בדיקות ייעודיות בהתקנת שנאים: נקודת טל, רמת וואקום, בדיקות מתח פריצה בשמן (בעת סחרור שמן)



7. לחברתנו מערכות שטח לטיפול בשנאים המאפשרות את הטיפולים הבאים באתר השנאי:

- **סינון שמן שנאים** תחת חום וואקום להוצאת לחות ע"י מכונת סינון מהגדולות בארץ – עד 6000 ליטר/שעה, כולל טיפול הלבנת שמן, השלמת רמת אינהיביטור ומבדקת שטח של מתח פריצה.
- **טיפול במחליפי דרגות מקוונים (OLTC)** כולל שליפת מסיט-הדרגות הפנימי, בדיקה חשמלית, החלפת מגעים. אנו החברה היחידה בישראל

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

המוסמכת ע"י HM ותואמי MR לטיפול במחליפי דרגות מסוגים אלה ומחזיקה במלאי חלפים עבור מחליפים אלו.

- **חומרי איטום לפתרון נזילות** שמן ממבודדים ורדיאטורים שאינם מצריכים ריקון שמן/פירוק מבודדים. מומחיות בלעדית בארץ של חברתנו.
- **החלפת חלקים פגומים בשנאי** – אנו מחזיקים מלאי חלפים לשנאי חלוקה כגון ממסרי הגנה, מבודדים, פורקי לחץ ויכולים לבצע טיפולי שטח ללא ניתוק השנאי והבאתו למפעל.
- **ביצוע תחזוקה שנתית** של שנאים, חדרי שנאים, מסדרים, מפסקים וארונות מתח-גבוה.

יתרוננו הוא ביכולת לבצע מגוון רחב של בדיקות וטיפולים באתר השנאי תוך **מתן מענה דחוף במקרה חירום או תחת חוזה שירות**



טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

לחברתנו מעבדת אנליזת שמן מוסמכת תקן מעבודת 17025 בארץ עם יכולת לקבלת תשובה מהירה (עד מספר שעות בחירום) ונסיון עשיר באנליזות שמן ואיבחון בעיות

בדיקות מתקדמות לשמן שנאים הינן כלי המאפשר לתת תחזית לזמן החיים הנותר ומיקוד תקלות בשנאי.

בדיקת מתח פריצה תקן IEC 60156
בדיקת גזים מומסים (DGA) תקן ASTM-D3612
דבדיקת תכולת אינהיביטור ASTM-D2688
בדיקת תכולת מים PPM (KF) תקן ASTM-D1533
בדיקת טנגנס דלתא (PF) תקן ASTM-D0974
בדיקת חומציות (מס' נייטרליות) תקן ASTM-D0924
בדיקת פוראנים תקן ASTM-D5837
בדיקות ויזואליות (עכירות משקעים) ASTM-D1524
בדיקת שמן קורוזיבי גופרית – IEC 62535
דיגום שמן – IEC 60475
פרשנות וחוות דעת

עוד באתר MVA





הרשות הלאומית להסמכת מעבדות
Israel Laboratory Accreditation Authority

ISO/IEC 17025:2017

מעבדות בדיקה

תעודת הסמכה מס' 512

מגוואט שנאים בע"מ

כתובת אתר ייחוס: יגאל אלון 31, קרית טבעון 3608322

בתוקף מיום: 23.01.2022 **עד יום:** 22.01.2024

הארגון נבדק ונבחן על ידי הרשות הלאומית להסמכת מעבדות (להלן הרשות) ונמצא ראוי להסמכה בהתאם לנספח פירוט היקף ההסמכה המצורף לתעודה זו, המהווה חלק בלתי נפרד ממנה ומספרו זהה למספר התעודה.

הסמכה מצביעה על כשירות מקצועית ותפעול מערכת ניהול איכות בעלת הכרה בינלאומית.

הארגון המוסמך על ידי הרשות, עומד בתקנים / דרישות המפורטים מעלה. דרישות התקנים הם לכשירות מקצועית ולמערכות ניהול, שהינן הכרחיות למתן תוצאות אמינות. הסמכה זו ניתנה בהתאם לכללי תקן ISO/IEC 17011:2017 לפיהם פועלת הרשות ובמסגרתם מקיימת פיקוח שוטף על הארגון לצורך בחינת תפקודו המתמשך בהתאם לדרישות ההסמכה.

ההסמכה תקפה כל עוד הארגון עונה לאמות המידה שנקבעו על ידי הרשות.

הרשות חתומה על הסכם הכרה דו צדדי (BLA) מול ארגון European co-operation for Accreditation (EA).

תעודה זו אינה מהווה אישור לפי סעיף 12 לחוק התקנים.

תאריך הסמכה ראשון: 23.01.2022

אתי פלר
מנכ"ל
הרשות הלאומית להסמכת מעבדות

Date of signature 25/01/2022

Page No. 1 of 4

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

מפרט יכולות - תיקון שנאים במפעל ארדן ומפעל BEST

לחברתנו יכולת תיקון שנאים במפעלנו בארדן יקנעם (עבור שנאים עד 20MVA) . יכולות אלו כוללות:

- יבוש וסינון שמן.
- יבוש ליבה בתנור וואקום.
- ליפוף סלילים מחדש, החלפת סלילים.
- תיקוני מחליף דרגות, תיקונים מכניים למכלולים והחלפת חלקים
- תיקונים במיכל השנאי ורדיאטורים, ניקוי בחול וצביעה בטבילה באמבט אפוקסי
- טיפול בשנאים יבשים
- מעבדת מתח גבוה עם כל בדיקות Type, Routine

באמצעות שיתוף פעולה אסטרטגי עם חברת BEST, לחברתנו יכולת תיקון שנאים גדולים במפעל BEST בטורקיה לשנאים בכל גודל. יכולות אלו כוללות תיקון שנאים גדולים עד 650MVA

מהפרויקטים שבוצעו עד כה או בתהליך:

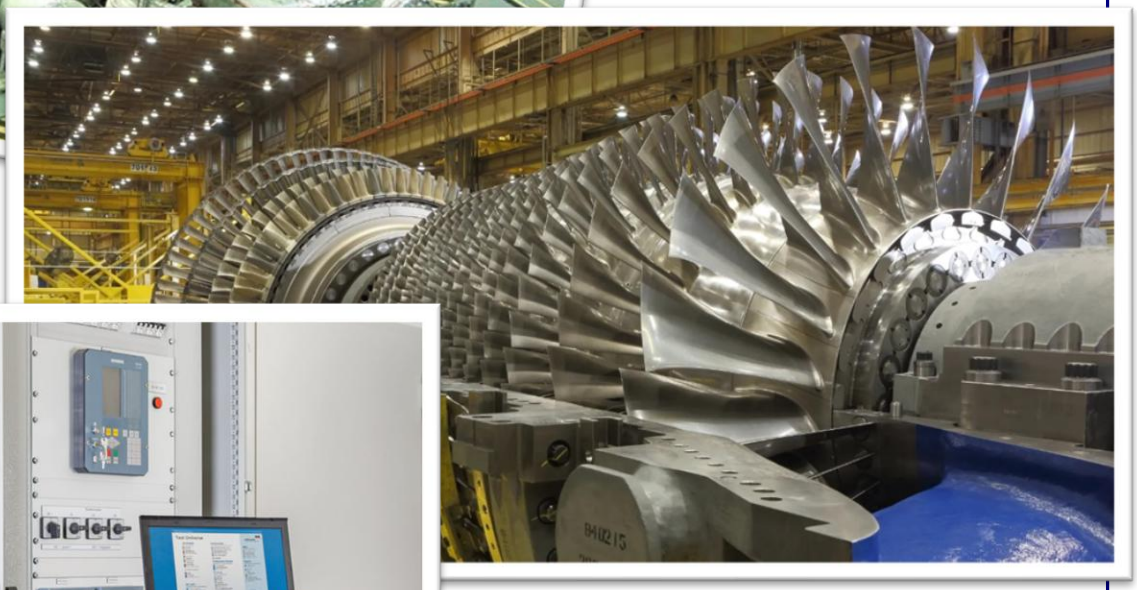
- תיקון שנאי תחנת כוח 175MVA
  - פיקוח בראשות ד"ר אנטולי שקולניק, צוות MVA וליווי של מומחים מ BEST לאיתור התקלה וניתוחה
  - פירוק ושילוח השנאי ותיקונו במפעל BEST (2020)
- תיקוני כל סוגי התקלות ומכל יצרני שנאי חלוקה הקיימים בארץ ושנאי ייצור במחלקה ייעודית במפעלנו בארדן שנאים יקנעם (2017-2020).
- תיקון מחליפי דרגות משביתי שנאי ראשי ברשות הפלסטינאית.

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

מפרט יכולות - בדיקות וטיפולים לממסרים, מערכות בקרה והגנה

- בדיקות ווסתי מתח אנלוגים ודיגיטליים
- בדיקות סלקטיביות בהגנות
- כיוונון הגנות
- בדיקות מערכות סינכרון הגנות וממסרי סינכרון
- בדיקות ווסתי מתח
- בדיקות גנרטורים ומערכות ניהול מתח
- אנליזות רשמי הפרעות







טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

מפרט יכולות - יכולות נוספות

- חוזי שירות במסגרת אחריות מורחבת לשנאים חדשים מתוצרת ארדן.
- מתן הרצאות והדרכות בנושא אנליזות שמן וטיפולים מתקדמים לשנאים ומערכות מתח גבוה בטכניון, במכללות ובכנסים מקצועיים.



טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

תוכן עניינים

חלק 1 – בדיקות שמן לאחזקה מונעת וחזויה לשנאי מתח גבוה..... 13
חלק 2 – בדיקות חשמליות מתקדמות לשנאים יבשים 69
חלק 3 – טיפולים ופתרון בעיות בשנאי מתח גבוה 78
חלק 4 – בדיקות מיוחדות לשנאים גדולים 85
חלק 5 – אחזקה מונעת למסדרי מ"נ ומ"ג..... 104
חלק 6 – שנאים חדשים: עקרונות בתכנון, בחירה והתקנה..... 114

חלק 1 – בדיקות שמן לאחזקה מונעת וחזויה לשנאי מתח גבוה



חלק זה מתאר שיטות מתקדמות לבדיקות שמן בשנאי מתח גבוה, שמטרתן הארכת חיי השנאי וחיזוי אורך החיים הנותר לו.

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

תוכן עניינים

1. הבידוד המוצק בשנאי - הנייר 18

שלושת תפקידי נייר הבידוד 19

לחות 20

חימצון יתר וחימום יתר מקצרים את חיי הצלולוזה 21

2. הבידוד הנוזלי בשנאי – השמן 23

תפקידי שמן השנאי 23

אויבי השמן: החימצון 23

מאיצי החימצון 24

3. לחות בשמן 25

מקורות הלחות בשמן 25

הבעיות הנוצרות כתוצאה מלחות בשמן 25

4. גורמי חימצון בשמן 26

תוצרי חימצון של השמן 26

יצירת הבוצה 28

פתרונות להורדת תוצרי החימצון שבשמן 28

שמירת רמת האינהיביטור בשמן לאורך חיי השנאי 30

5. בדיקות ואנליזה לשמן שנאים – סוגי הבדיקות ומטרתן 33

שלושת סוגי בדיקות השמן 34

בדיקות בסיסיות – האם יש בעיה בשנאי 35

בדיקת תכולת אינהיביטור 36

בדיקות מתקדמות – מה הבעיה בשנאי 44

בדיקות מיוחדות – עוזרות למקד את מקור התקלה 44

6. עקרונות בדיקת גזים מומסים 46

התקלות שניתן לאתר בעזרת ניתוח גזים מומסים: 49

7. שיטות אנליטיות איכותיות וכמותיות למיפוי תקלות מניתוח גזים מומסים 51

אנליזה איכותית 51

יחסי רוג'רס 52

אנליזת סך-כל גזים בעירים Total Dissolved Combustible Gas TDCG 52

אנליזת משולש דובל 53

אנליזת IEEE C57.104 55

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

8. בדיקות המשך לגזים מומסים: בדיקת פוראנים 58
9. תוכנית בדיקת שמן 64
10. דוח בדיקות וטיפולים 65

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

רשימת איורים

איור 1: הבידוד המוצק בליבת השנאי בנוי משכבות שכבות של נייר מיוחד המספק חוזק מכני גבוה לשנאי. הנייר יוצר גם מבודד דיאלקטרי בין החלקים המחושמלים בליבה 18
איור 2: הגרף מראה את האפקט של הלחות על חוזק המשיכה של נייר. ההשפעה הרסנית 20
איור 3: חימצון וטמפרטורה גבוהה מקצרים את חיי הבידוד המוצק בליבה 21
איור 4: השפעת טמפרטורה ולחות על אורך חיי השנאי 22
איור 5: מצב מתקדם של בוצה סביב סלילי נחושת 24
איור 6: הגרף מראה את ההשפעה של תוצרי החימצון על הצלולוזה – ההשפעה הרסנית 27
איור 7: צילום מיקרוסקופ אלקטרוני של הרס מצטבר של נייר (צלולוזה) כתוצאה מגורמי חימצון 28
איור 8: מבנה מולקולרי של DBPC - החלק המסומן באדום קושר חומרי חימצון 29
איור 9: אפקט הוספת אינהיביטור להורדת החימצון בשמן לאורך זמן 29
איור 10: מכשיר בדיקת מתח פריצה: מירווח קבוע בין האלקטרודות ובדיקת המתח בו השמן נפרץ 35
איור 11: מכשיר בדיקת לחות בשמן: ע"י סתירת המים באמצעות תמיסת יוד, נוצר זרם חשמלי בין האלקטרודות. מדידת המטען במהלך תהליך הסתירה נותנת אינדיקציה על כמות המים בשמן 36
איור 12 :ספקטרופוטומטר FTIR למדידת ריכוזי חומרים באמצעות ניתוח בליעת אור 37
איור 13: בליעה במספר גל 3650 שנקלטה בספקטרופוטומטר 38
איור 14: ריכוז אינהיביטור בשמן נקבע לפי שטח השיא בתחום תדרי הבליעה 38
איור 15: מכשיר ידני לבדיקת חומציות: מטפטפים בסיס לתוך השמן שעורבב עם אינדיקטור, עד שהצבע משתנה ולפי כמות הבסיס שהוסף מחשבים את חומציות השמן 39
איור 16: מבדקה אוטומטית במעבדת מגוואט שנאים לחומציות בשמן 40
איור 17: מכשיר לבדיקת מתח פנים. בעזרת קפיץ מודדים את הכוח הנדרש להתנתק מפני השמן ולפי זה מחשבים האם השמן התיישן. נחשבת בדיקה עקיפה ולא שימושית כ"כ 40
איור 18: ציוד מעבדה לבדיקת צפיפות יחסית 41
איור 19: בדיקת צבע לפי כרטיסית צבעים. נחשבת בדיקה משנית ועקיפה 42
איור 20: מכשיר לבדיקת טנגנס דלתא 43
איור 21: מזרק דגימות שמן לבדיקת גזים מומסים 44
איור 22: תהליך ייצור גזי תקלה בשמן שנאים 47
איור 23: ציוד כרומטוגרפיה ממוחשבת לבדיקת גזים מומסים 49
איור 24: משולש דובל 54
איור 25: מערכת HPLC לבדיקת פוראנים ב PPB 60
איור 26: מבנה מולקולרי של בידוד הצלולוזה 61
איור 27: שלבי יצירת הפוראנים בהתפרקות הבידוד המוצק 62
איור 28: : היחס בין חישוב ה DP לאחוז החיים הנותר בשנאי. לאחר כמה בדיקות לאורך זמן אפשר להסיק את קצב התפרקות הצלולוזה ומכאן את אורך חיי הבידוד הנותר בשנאי 62
איור 29: מימין: דיגום בתנאים קשים: לחות גבוהה, מתאם מיוחד לברז השנאי, וגישה לא נוחה. משמאל: ערכת דיגום 64
איור 30: מבדקת בידוד (מגר) 71
איור 31: מבדקת יחסי השנאה ומסך בדיקת מחליף דרגות 73
איור 32: השנאי כרשת מבוזרת של נגדים, סלילים וקבלים 74
איור 33: עקרון פעולת אנליזת סריקת תגובה לתדר 75

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

איור 34: מכשיר אנליזת סריקת תגובה לתדר..... 76
איור 35: גרף טיפוסי של אנליזת סריקת תגובה לתדר..... 77
איור36 : בעזרת מכונת סינון שמן שנאים יעודית ניתן להחזיר את השמן למצב כמו חדש עם מתח פריצה גבוה מ- kV65 וללא בועיות אוויר, גזים מומסים ומשקעים..... 81
איור 38: מודל בידוד. בדיאגרמת הוקטורים הנגד מייצג ענף זליגה (הפסדים) והקבל ענף מבודד אידאלי..... 87
איור 39: איזורי בדיקת בידוד טנגנס דלתא וקיבול בשנאי..... 89
איור 40: שני מצבי בדיקת קיבול וטנגנס דלתא:..... 90
איור 41 : הכנת שנאי תלת פאזי לבדיקת טנגנס דלתא וקיבוליות..... 91
איור 42: התפלגות תקלות בשנאי תחמ"ש - מבדדים אחראים ל-14%..... 92
איור 43: חלקי מחליף דרגות: משמאל, מערכת אגירת אנרגיה, מימין: מערכת שינוי מיתוג..... 98
איור 44: סוגי מחליפי דרגות..... 99
איור 45: טיפול במחליף דרגות באתר השנאי..... 100
איור 46: קורוזיה בארון חשמל..... 108
איור 47: עקרון פעולה של קרח יבש..... 109
איור 48 צילום תרמוגרפי של מגעים המצביע על נקודות חמות יחסית..... 111
איור 49: דו"ח בדיקות חדר חשמל..... 113

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

1. הבידוד המוצק בשנאי - הנייר

תקציר

חלק זה מתאר את חלקי הבידוד המוצק של ליבת השנאי ומתאר במיוחד את תפקידי הבידוד המוצק, החוזק והאויבים המאיימים על שלימות הבידוד המוצק, שהוא נייר הצלולוזה.

מבוא

על ליבת שנאי פועלים כוחות אלקטרומכניים גדולים הנובעים מעוצמת הזרמים בשנאי. לבידוד המוצק תפקיד מכריע בעמידת הליבה בכוחות האלקטרומכניים המופעלים עליה.



איור 1: הבידוד המוצק בליבת השנאי בנוי משכבות שכבות של נייר מיוחד המספק חוזק מכני גבוה לשנאי. הנייר יוצר גם מבודד דיאלקטרי בין החלקים המחושמלים בליבה

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

שלושת תפקידי נייר הבידוד

- בידוד דיאלקטרי פיסי – על ידי שמירת מרחק פיסי בין המוליכים
- בידוד דיאלקטרי חשמלי – על ידי התכונות הכימיות של הצלולוזה.
- חוזק מכני

תפקידים אלו הם מכריעים. התפוררות הבידוד המוצק, הנייר, בליבת השנאי תגרום לנזק בלתי הפיך לשנאי.

אורך חיי הבידוד המוצק בשנאי = אורך חיי השנאי.

הבידוד המוצק הוא החוליה החלשה בשנאי ולכן הבדיקה שלו והשמירה עליו היא מכרעת. זו המערכת החשובה ביותר לבדיקה וטיפול.

תקלה שמעורבת בה מערכת הבידוד המוצק = קיצור אורך חיי השנאי.

תכונות החוזק של מערכת הבידוד המוצק

החוזק המכני של הנייר נקבע ע"י עמידות הנייר בכוחות משיכה (tensile strength).

חיי הבידוד נמצאים ביחס ישר לעמידות בכוחות המשיכה.

כוחות המשיכה בנייר נמצאים ביחס ישר לרמת הפולימריזציה שלו (degree of polymerization – DP). הפולימריזציה = התפרקות הנייר.

בדיקת DP היא יחסית קלה.

תכונות שליליות של מערכת הבידוד המוצק

- סופח לחות מהר מאד
- סופח חומרים מקטבים (כגון לחות וחומרי חימצון בשמן)

יחסי הבידוד של הנייר לעומת השמן

- נייר: 40,000 וולט/מילימטר
- שמן שנאים: 15,000 וולט/מילימטר
- ביחד (נייר ספוג בשמן מבודד): 64,000 וולט למילימטר

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

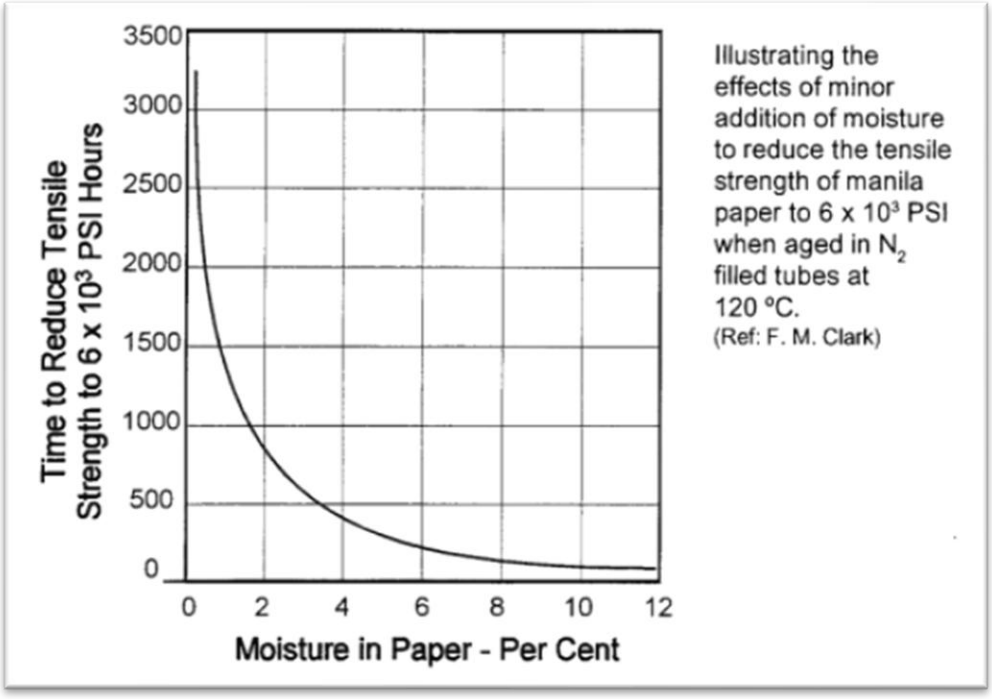
מסקנה: בצירוף שמן ונייר בידוד – מקבלים ~25% יותר בידוד מאשר בנפרד. השמן שומר על הנייר, ומגביר את כושר הבידוד המשותף לנייר ולשמן.

<u>אויבי הנייר – התנאים והחומרים הגורמים לדפולימריזציה (DP)</u>

- לחות
- חום
- חמצן
- תוצרי לוואי של שמן מחומצן

לחות

- לחות בצלולוזה גבוהה פי מאות מאשר הלחות בשמן.
- אפילו כמות קטנה של לחות בצלולוזה גורמת לקיצור משמעותי של חיי השנאי.
- לכן, אם נמצאת לחות בשמן, היא נמצאת הרבה יותר בצלולוזה והיא מקצרת משמעותית את חיי השנאי כפי שניתן לראות בגרף הבא

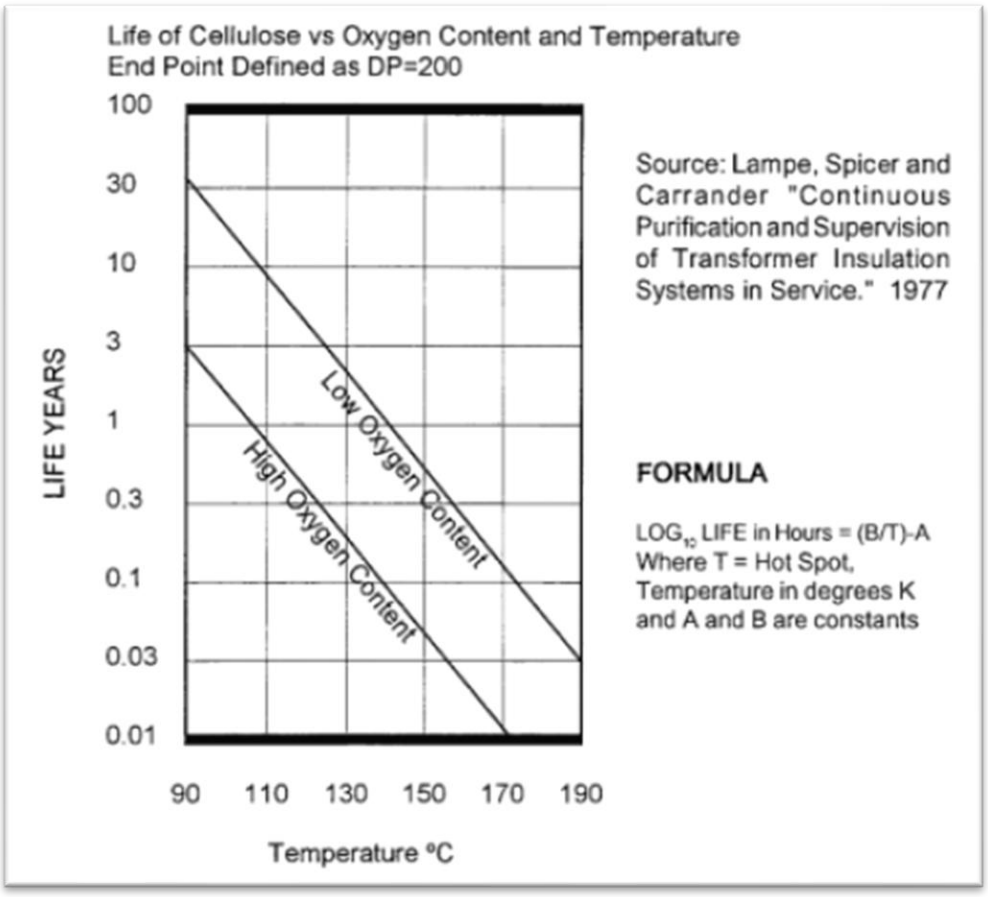


איור 2: הגרף מראה את האפקט של הלחות על חוזק המשיכה של נייר. ההשפעה הרסנית

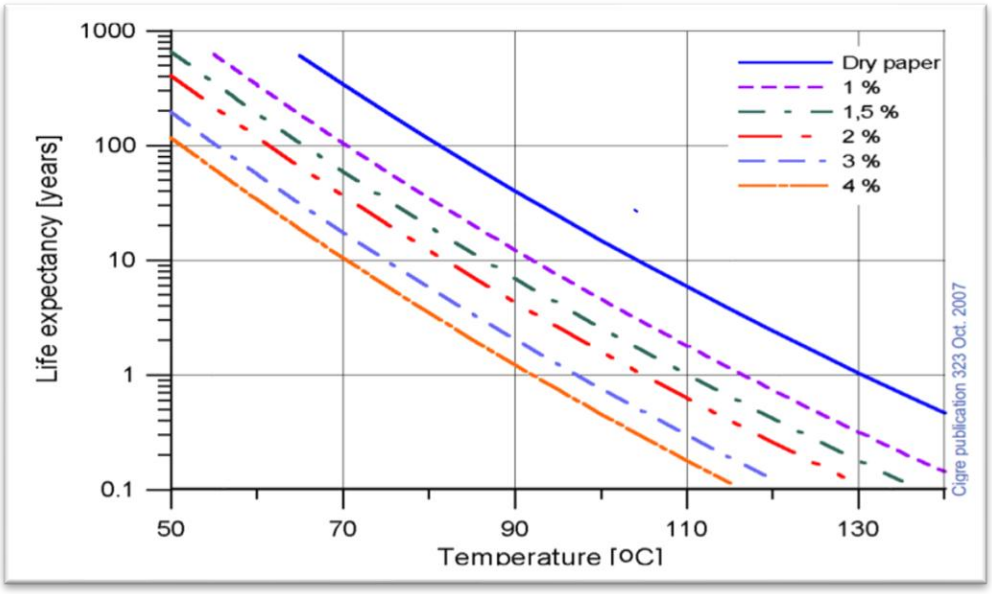
ניתן לפנות את הלחות בשמן באמצעות סינון השמן תחת חום וואקום. לא ניתן לפנות בצורה ישירה לחות מהנייר. לא ניתן לשחזר את כושר העמידות של הנייר לאחר שנפגע מלחות. תהליך זה נקרא דה-פולימריזציה, והינו חד-כיווני.

חימצון יתר וחימום יתר מקצרים את חיי הצלולוזה

- אורך חיי השנאי נמצא ביחס הפוך לרמת החימצון ולטמפרטורה
- ככל שרמת החימצון גבוהה יותר אורך חיי השנאי קצרים יותר כפי שניתן לראות בגרף



איור 3: חימצון וטמפרטורה גבוהה מקצרים את חיי הבידוד המוצק בליבה



איור 4: השפעת טמפרטורה ולחות על אורך חיי השנאי

הבידוד הנוזלי בשנאי – השמן

תקציר

חלק זה מתאר את הבידוד הנוזלי בשנאי – השמן. תפקידי השמן, תכונות השמן והגורמים להתדרדרות תכונות השמן.

תפקידי שמן השנאי

- להגן על בידוד הנייר - קריטי
- לספק חוזק דיאלקטרי
- לספק מעבר חום (קירור)
- משמש כאמצעי לבדיקה וניטור מצב השנאי

הפעולה החשובה ביותר של השמן - להגן על בידוד הנייר (הבידוד המוצק), כי בידוד הנייר = חיי השנאי.

- הפעולה השנייה- בידוד דיאלקטרי – בידוד חשמלי.

- הפעולה השלישית – צינון הליבה. השמן עובר בין ליפופי השנאים וסופח חום שנפלט במעבר דרך הרדיאטורים של השנאי שם הוא מתקרר.

- הפעולה הרביעית – משמש לבדיקת מצב השנאי דרך דגימות שמן שמנותחות במיכשור אנליטי יעודי. לקיחת הדגימה, העברתה למעבדה, ניתוח הדגימה והדיאגנוזה מהווים חלק קריטי במערך האחזקה המונעת של השנאים.

אויבי השמן: החימצון

חמצן מומס ביחד עם קרבוהידרטים יוצרים חומרי הרס לבידוד המוצק של השנאי. חומרים אלו מסיסים חלקית בשמן וחלקית במים ולכן הם יספחו אליהם עוד מים ולזה יש השפעה הרסנית על הבידוד המוצק.

כשהשמן מתחמצן, ההגנה שלו על הבידוד המוצק נפגמת, וזה תפקידו הראשון והחשוב ביותר.

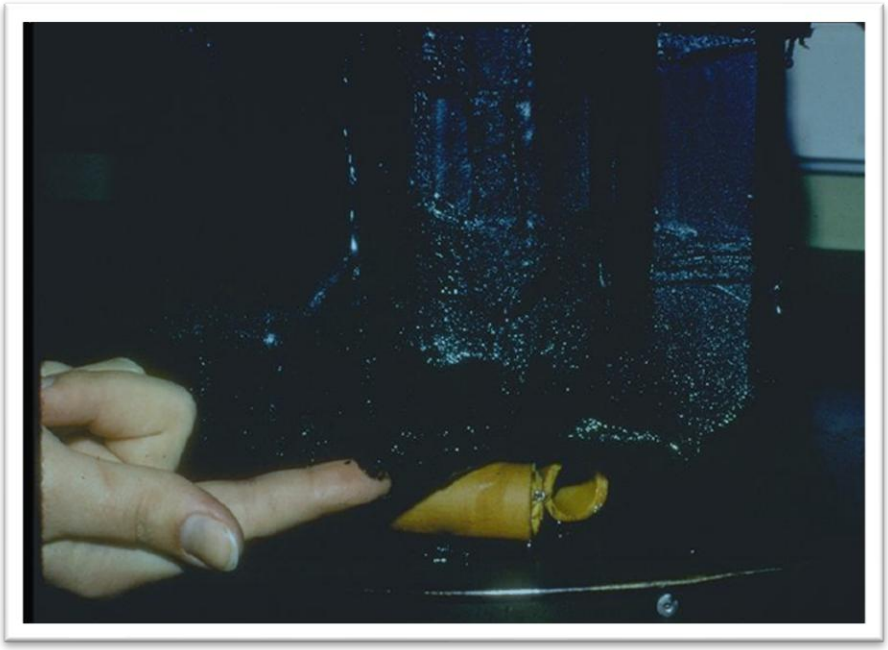
בהמשך, נוצרים תוצרי לוואי של החימצון שתוקפים את הבידוד המוצק כפי שראינו קודם.

אחזקה מונעת: הורדת הרכיבים בשמן היוצרים בעיות ומגבירים את תהליך החימצון –

שליטה במאיצי החימצון = שימור חיי השנאי.

מאיצי החימצון

- לחות = גורם ראשון במעלה לחימצון השמן.
- חום
- מאמצים אלקטרומכניים
- שאריות מתכות מאיצות חימצון המומסות בשמן (ברזל, נחושת, אלומיניום). חומרים אלו, בתנאי חום יכולים לאורך זמן לגרום לשכבות תחמוצת סביב הסלילים ולמעיין בוצה שחורה במצבים קיצוניים.



איור 5: מצב מתקדם של בוצה סביב סלילי נחושת

התוצאה של גורמים אלו, ובראשם הלחות, היא קיצור חיי שנאי.
שאריות מתכות יכולות בשלב מתקדם ליצור בוצה סביב הסלילים
המאיצות את התחממות והתבלות הסלילים

2. לחות בשמן

תקציר

חלק זה מתאר את הגורם המכריע להתדרדרות שמן השנאים – הלחות. הלחות גורמת לחימצון השמן ומשם להקטנת ההגנה על הבידוד המוצק.

1. מקורות הלחות בשמן

- שמן חדש מכיל לחות
- חוסר סינון/ייבוש השמן בהתקנה
- כתוצאה מחימצון השמן והבידוד המוצק
  - חימצון השמן יוצר מים
  - חום וחימצון מפרקים את בידוד הנייר ומשחררים מים
- כתוצאה מתקלה/חשיפת השמן לאוויר לח

2. הבעיות הנוצרות כתוצאה מלחות בשמן

- קיצור חיי השנאי
- תקלה חשמלית
- מקדמת חימצון במשוב חיובי וכך מאיצה את הזדקנות מערכת הבידוד המוצק

הלחות בשמן היא האויב מספר אחד של אורך חיי השנאי – היא מאיצה את חימצון השמן, שמצידו מאיץ את התפוררות הבידוד המוצק

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

ניתן לבדוק את כמות הלחות בשמן ע"י מספר רב של סוגי בדיקות –
כולן מיועדות לענות על אותה שאלה: האם יש בשמן לחות גבוהה?

3. גורמי חימצון בשמן

תקציר

חלק זה מתאר גורמים נוספים מעבר ללחות, המורידים את איכות ההגנה של השמן על הבידוד המוצק. גורמים אלו הן גורמי חימצון, מתכות מומסות (נחושת, ברזל ואלומיניום). מתוארת גם השיטה התקנית להורדת גורמי החימצון הללו.

תחת התיאור גורמי חימצון, עומדת שורה של חומרים שלכולם השפעה לרעה ובלתי הפיכה על הבידוד המוצק בשנאי. שמן השנאים מכיל מגוון עצום של חומרים (כשלושת אלפים תרכובות כימיות שונות) כשחלקם מסווגות כ"מחמצנות" – כלומר גורמות ע"י התרכבות כימית לתחמוצת. תחמוצת ברזל, למשל, היא החלודה המוכרת.

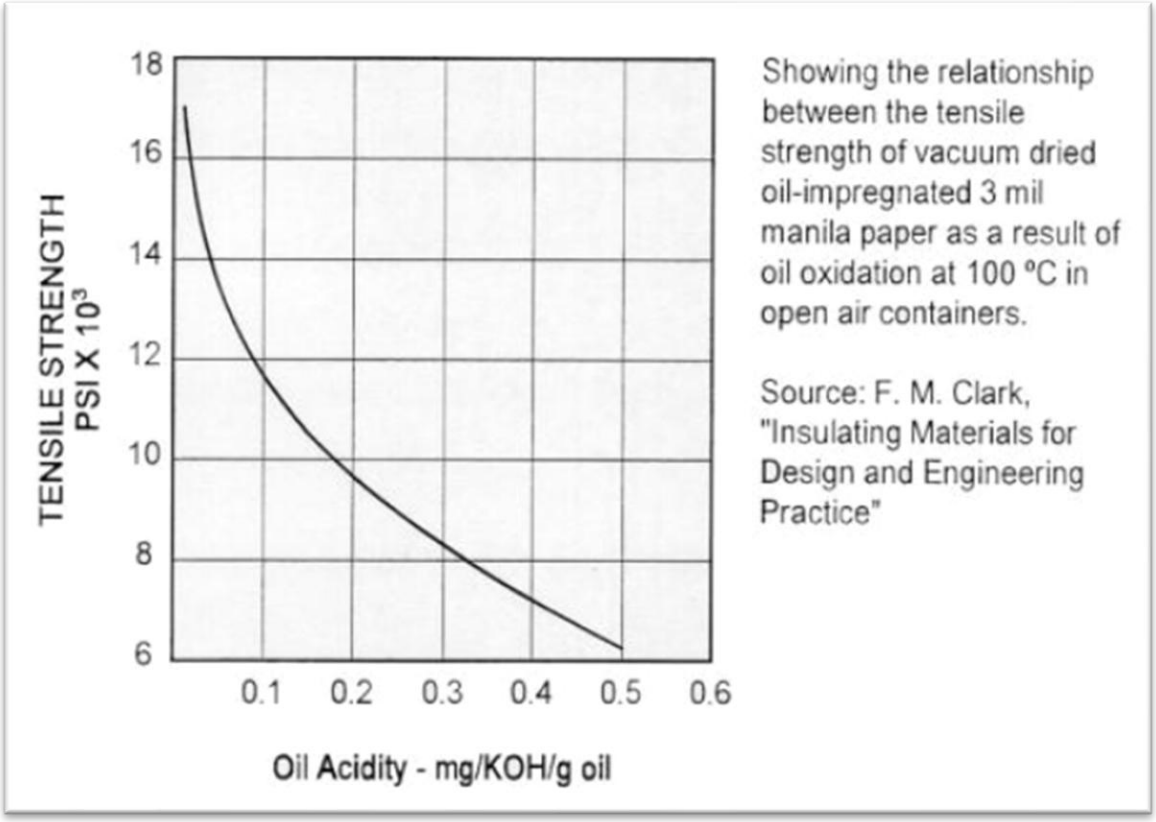
ההתחמצנות נוצרת ע"י קבוצה בתרכובת הכימית המכילה חמצן. הבעייה המרכזית בתרכובות אלו: הן נקשרות בקלות לנייר השנאי, והורסות אותו ע"י שבירת המולקולה הארוכה של הבידוד המוצק (הצלולוזה).

תוצרי החימצון מגוונים: אלכוהול, חומצות, אלדהידים, פרוקסידים ועוד מגוון חומרים. כולם תרכובות כימיות המכילות חמצן.

מנגנון ההרס בנוי כך: התרכובות האלו מכילות רכיבים שסופחים ומחזיקים בקלות מים מצד אחד, ונקשרים בקלות לנייר (הבידוד המוצק) מצד שני. בכך הם מאיצים את הנזק הנגרם לצלולוזה – ע"י קשירת מים לנייר.

1. תוצרי חימצון של השמן

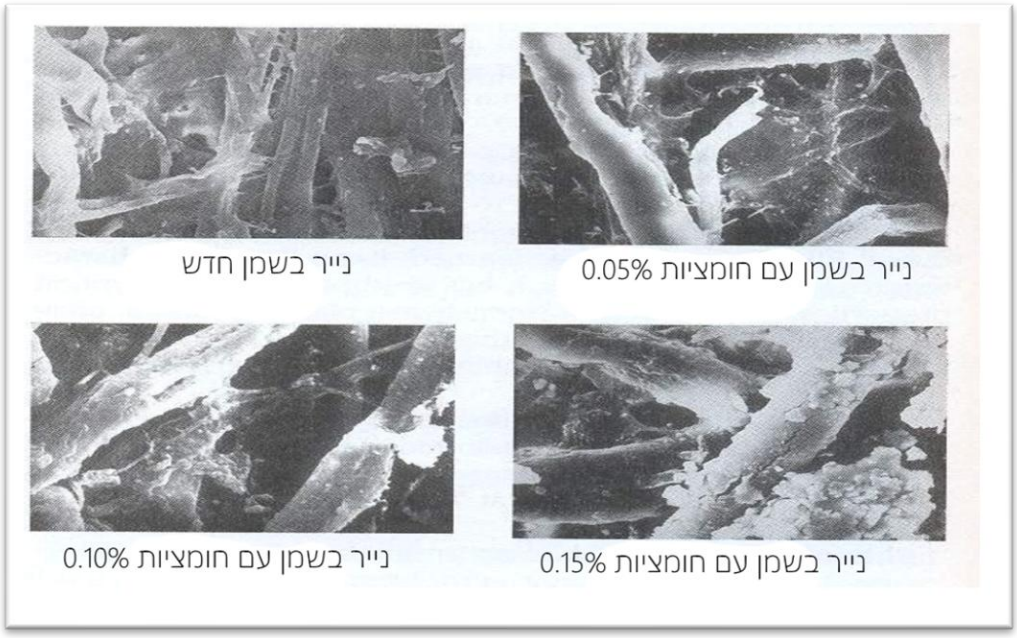
- תוצרי חימצון של השמן הם אגרסיביים מאד לנייר.
- כשהם באים במגע עם הנייר, הם גורמים להרס מהיר יחסית של הנייר, כפי שניתן לראות בגרף הבא



איור 6: הגרף מראה את ההשפעה של תוצרי החימצון על הצלולוזה – ההשפעה הרסנית

ההשפעה אינה דרמטית כמו השפעת הלחות ישירות על הבידוד המוצק, ראה איור 2 – אך היא עדיין הרסנית ותורמת להורדת איכות הבידוד בשמן ולקיצור חיי השנאי.

איור 7 מראה את הנזק המיקרוסקופי הנגרם למולקולת הצלולוזה (הבידוד המוצק בשנאי) כתוצאה מחומרי חימצון בשמן.



איור 7: צילום מיקרוסקופ אלקטרוני של הרס מצטבר של נייר (צלולוזה) כתוצאה מגורמי חימצון

2. יצירת הבוצה

מעבר להרס שתואר, תוצרי החימצון מתרכבים זה עם זה וגם עם השמן ויוצרים מולקולות גדולות יותר ויותר. לאורך זמן, מולקולות גדולות אלו שוקעות מהשמן ויוצרות את הבוצה המתוארת באיור 5 למעלה.

הבוצה נצברת על המוליכים ובתחתית השנאי ויש לה השפעות משנה שליליות:

- הבוצה יוצרת 'גשרי מוליכות' – איזורים בהם המוליכות בשמן גבוהה יותר (הבידוד נמוך יותר).
- הבוצה מפריעה למעבר חום – היא מבודדת טרמית – ובכך יוצרת נקודות חמות בשנאי

גורמי החימצון בשמן יוצרים לאורך זמן בוצה, שמצידה מעלה את המוליכות של השמן, פוגעת בבידוד ומפריעה למעבר החום בשנאי (יוצרת נקודות חמות).

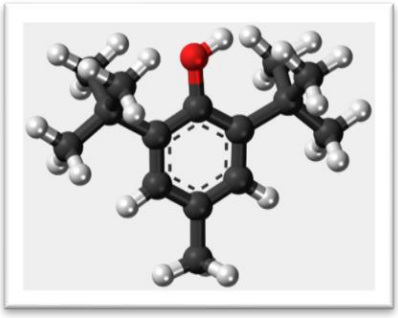
---

3. פתרונות להורדת תוצרי החימצון שבשמן

ניתן להוריד באופן ניכר את תוצרי החימצון בשמן ע"י הוספת חומרים נוגדי חימצון לשמן **הנקראים אינהיביטור (נוגדי חימצון)**.

אחד החומרים שהוכחו כיעילים פותח בשנות החמישים ונקרא DBPC (שם קצר לתרכובת ארוכה: 2,6-di-tertiary-butyl-paracresol. במרוצת השנים הוכחה יעילותו וכיום הוא משמש תוסף סטנדרטי לשמן.

יעילותו ואופן פעולתו נובעים מכך שהוא נקשר לחמצן בקלות רבה ובכך מונע מתוצרי החימצון להקשר לבידוד המוצק. הוא מהווה חומר 'קרבן' בשמן בכך שחומרי חימצון 'מעדיפים' להתחבר אליו מאשר לבידוד המוצק.
איור 8 מתאר את המבנה המולקולרי של החומר. החלק האדום, OH, הוא החלק הקושר את חומרי החימצון אליו ולא מאפשר להם להתחבר לנייר. חומר חימצון שנקשר למולקולה, מנטרל אותה והיא אינה יכולה לקשור מולקולה נוספת – ועל כן במרוצת הזמן, יש להוסיף אינהיביטור לשמן ע"מ לשמר את יכולת השמן להתמודד עם חומרי חימצון.

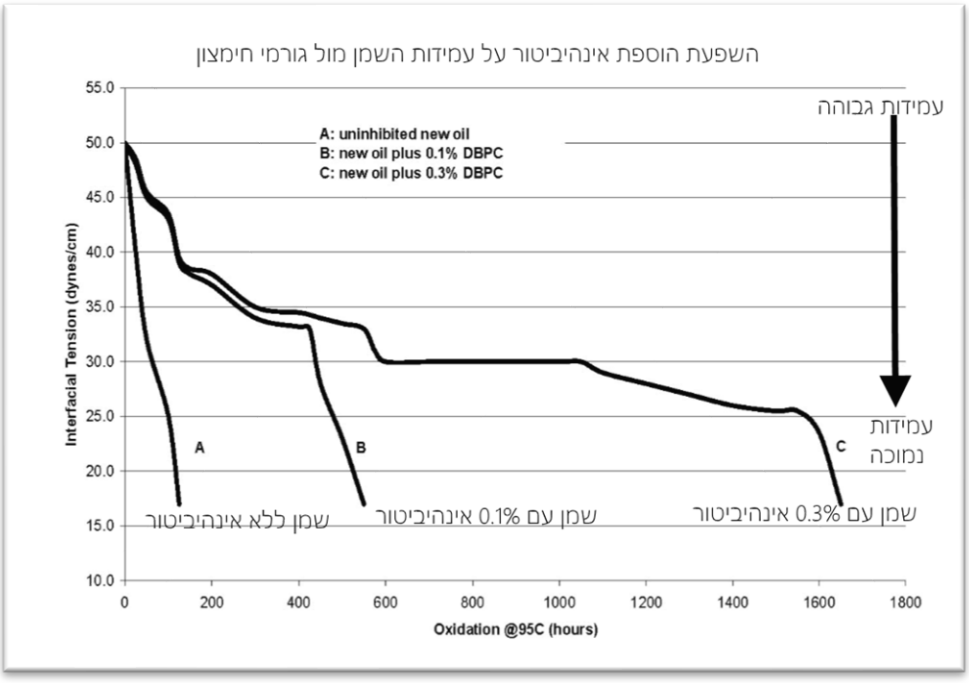


איור 8: מבנה מולקולרי של DBPC - החלק המסומן באדום קושר חומרי חימצון

הגרפים הבאים מתארים באופן ברור את יעילות החומר:

- בציר האנכי רמת החימצון (כפי שבאה לידי ביטוי במדידה שנקראת IFT – עליה יורחב בהמשך) – ככל שהערך נמוך יותר, השמן מחומצן יותר.
- בציר האופקי, זמן בשעות

ניתן לראות שהשמן עם תכולת אינהיביטור של 0.3% מתחמצן פי 10 יותר לאט מאשר שמן ללא אינהיביטור.



איור 9: אפקט הוספת אינהיביטור להורדת החימצון בשמן לאורך זמן

כיום, כמעט כל יצרני השמן מוסיפים חומר נוגד חימצון לשמן. בצפון אמריקה, ברוב אירופה ובישראל, הוספת אינהיביטור הינה חלק מהתקן לתחזוקת שנאי שמן – תקן IEC 60422

4. שמירת רמת האינהיביטור בשמן לאורך חיי השנאי

לאורך חיי השנאי, רמת האינהיביטור בשמן יורדת, בדומה לסופח לחות במנגנון שהוסבר לעיל. בשלב מסוים רמת האינהיביטור נמוכה ואינה יעילה יותר.

על כן, לאורך חיי השנאי, יש לבדוק את רמת האינהיביטור בשמן במסגרת בדיקות השמן השנתיות. בשנאי חדש, היצרן מוסיף כ- 0.4% אינהיביטור (לפי משקל, כלומר בשנאי עם 1000 ק"ג שמן, מוסיפים 4 ק"ג אינהיביטור).

באם מתגלה בבדיקה השגרתית רמת אינהיביטור נמוכה מ- 0.08% - יש להוסיף לשמן בסחרור תוספת אינהיביטור לפי חישוב שיחזיר את ריכוז האינהיביטור ל- 0.4%. בדרך כלל כדאי לשמור על רמת אינהיביטור מעל 0.25%.

הסבר מפורט על בדיקת תכולת האינהיביטור – בפרק הבא

הוספת אינהיביטור לשמן ושימור רמת האינהיביטור לאורך חיי השנאי מעלים את רמת הבידוד של השמן, מונעים בוצה ובכך מאריכים את אורך חיי השנאי

כמו שצריך!

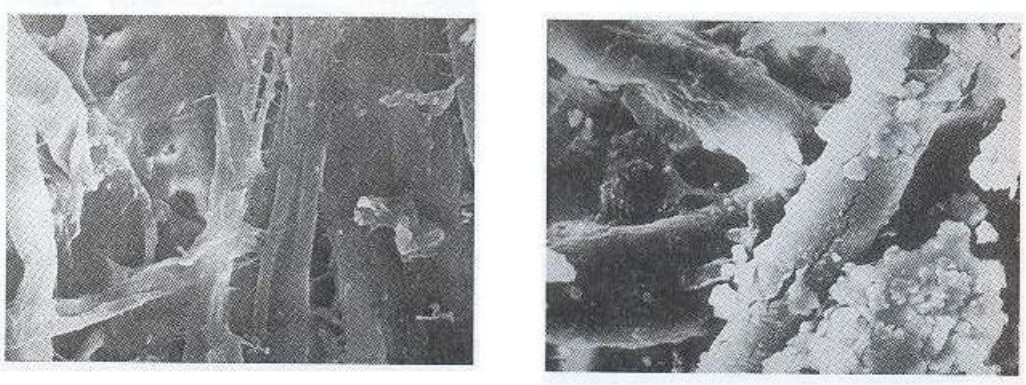
האנטי-אייג'ינג של שנאי השמן או: איך לשמור על שמן השנאי בכושר שיא

התפקיד המרכזי של השמן בשנאי הוא לשמור על הבידוד המוצק בשנאי – הוא נייר הבידוד. אורך חיי הבידוד המוצק שווה אורך חיי השנאי.

אורך חיי השנאי = אורך חיי הבידוד המוצק, הנייר.

לבידוד המוצק שני אויבים עיקריים: לחות וחומרי חימצון. בריכוזים גבוהים בשמן, שניהם תוקפים את הנייר, ומפרקים אותו. תהליכים אלו הם בלתי הפיכים והם מהגורמים הראשיים להזדקנות וקיצור חיי השנאי.

התפקיד העיקרי של השמן: לשמור על הבידוד המוצק



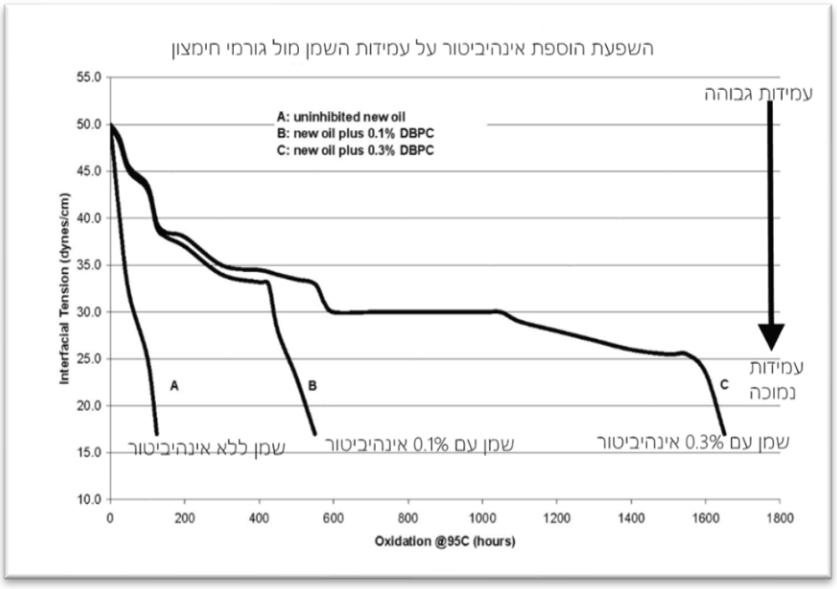
איור 10: צילום מיקרוסקופי: משמאל: בידוד במצב תקין, מימין: בידוד בלוי, במצב מחומצן

אחד הכלים החשובים להורדת ריכוז חומרי החימצון הוא תוסף ייעודי לשמן שנאים הנקרא אינהיביטור.

שמירה על ריכוז תקין של אינהיביטור בשמן מעלה את עמידות השמן בפני אויבי הבידוד המוצק

תכונתו המרכזית: הוא קושר אליו חומרי חימצון, ובכך מונע מהם להיקשר לבידוד המוצק ולפרק אותם – הוא מהווה חומר 'קרבן' בשמן בכך שחומרי חימצון 'מעדיפים' להתחבר אליו מאשר לבידוד המוצק.

הגרף הבא מראה את ההשפעה הדרמטית של ריכוז האינהיביטור על עמידות השמן למחמצנים: ריכוז תקין של אינהיביטור בשמן מעלה את עמידות השמן למחמצנים פי 20!



איור 11: עמידות השמן בפני חומרי חימצון לפי רמת האינהיביטור בשמן

ככל שהאינהיביטור 'עובד' יותר וקושר חומרי חימצון, רמת הריכוז שלו יורדת ויש להשלימה כך שלא תרד מתחת לסף הקריטי.

בדיקת תכולת אינהיביטור ושמירה על ריכוז תקין מאריכה את חיי השנאי

באתר שלנו ניתן למצוא אינפורמציה רבה על בדיקות השמן, כולל בדיקות מתקדמות – המסוגלות לבדוק את תכולת האינהיביטור בשמן לפני שזו יורדת לרמה קריטית שבה הבידוד המוצק חשוף לחומרי חימצון הרסניים. ניתן למצוא חומר נוסף על בדיקה זו גם **בחוברת בדיקות וטיפולים** שניתנת להורדה באתר.

במקרה של ירידה ברמת האינהיביטור, יש להחדיר אינהיביטור חדש לשמן בעזרת מערכת סיחרור יעודית שבנוסף להחדרת האינהיביטור לשמן השנאי, מוציאה מהשמן גם לחות וגזים מומסים אחרים.

לסיכום

בעת הבדיקות השנתיות של השנאי – רצוי לבדוק את ריכוז האינהיביטור בשמן. זו בדיקה פשוטה ומהירה.

שמירה על רמת אינהיביטור בשמן תבטיח את עמידותו בפני חומרי חימצון ומכאן – מאריכה את חיי השנאי.

4. בדיקות ואנליזה לשמן שנאים – סוגי הבדיקות ומטרתן

תקציר

חלק זה מתאר את בדיקות השמן החשובות להערכת תיפקוד השנאי ומצב הבידוד שלו: מתי עושים בדיקות שמן, מהן הבדיקות החשובות, ופירוט של כל בדיקה ובדיקה.

בדיקות השמן נותנות מידע (עקיף) על מצב השנאי, סוג התקלה ואורך החיים הנותר לבידוד המוצק של השנאי

1. מתי עושים בדיקות שמן

- כאשר מכניסים שמן חדש
  - בדיקות איכות לספקים
  - קנית כמות גדולה של שמן, או שמן מיוחד, או לשנאי קריטי
  - בדיקות קבלה
- כאשר מתקינים שנאי חדש – לבדיקות קו בסיס
- בדיקות במהלך חיי השנאי:
  - בדיקות שגרתיות ולא שגרתיות,
  - ניטור מצב השנאי
  - דיאגנוזה של תקלות

הבדיקות החשובות נעשות במהלך חיי השנאי על-מנת לבדוק את תקינות פעולתו ולשמר את חיי השנאי

שנאי שנבדק ונשמר בקפידה יכול לפעול כמאה שנים! Century Transformer

2. שלושת סוגי בדיקות השמן

1. בדיקות איכות השמן: **האם יש בעיה בשנאי (כן/לא)**
   - בדיקות לחות
     - בדיקת מתח פריצה
     - בדיקת תכולת מים KF
     - בדיקת מתח פנים
   - בדיקת אינהיביטור
   - בדיקות איכות שמן כללית
     - בדיקת צבע השמן
     - בדיקת משקעים בשמן (ויזואלית)
     - בדיקת חומציות השמן
     - בדיקת טנגנס דלתא (power factor)
     - בדיקת צפיפות יחסית

2. בדיקות מתקדמות של השמן: **מה הבעיה בשנאי (סוג התקלה)**
   - **בדיקת גזים מומסים – הבדיקה החשובה ביותר לשנאי שמן**

3. בדיקות מיוחדות: לאיתור תקלות ממוקד או בדיקות המשך לגזים מומסים
   - בדיקות פוראנים – **מידת ה-DP ניתן לאורך זמן לדעת את זמן החיים הנותר לשנאי!**
   - בדיקת גופרית – בדיקה ספציפית למצב המגעים הפנימיים
   - בדיקת PCB – בדיקה לאיכות הסביבה – PCB הוא חומר מסוכן לסביבה.

הבדיקה החשובה ביותר היא בדיקת גזים מומסים, שמעידה לא רק על הימצאות תקלה, אלא ממקדת את סוג התקלה, כפי שנראה בהמשך

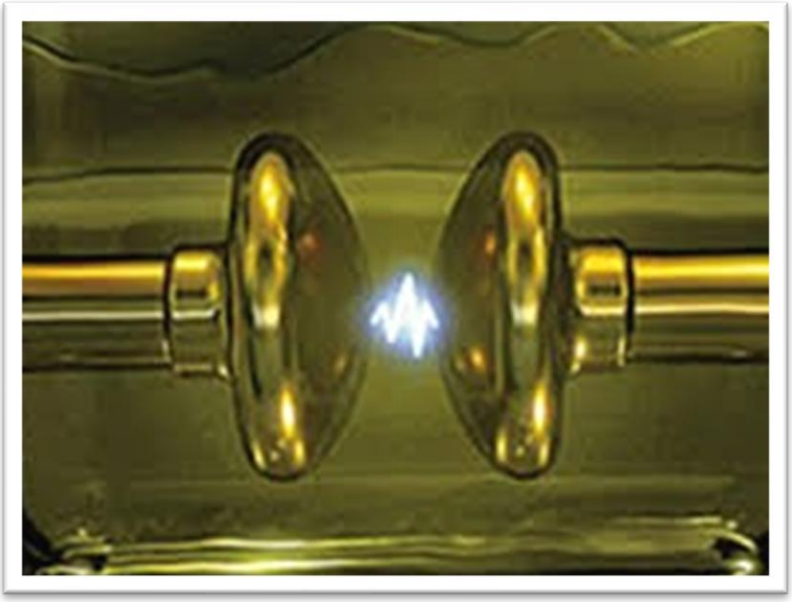
הבדיקה הבסיסית ביותר היא בדיקת מתח פריצה המעידה על קיום לחות בשמן

בדיקת תכולת אינהיביטור בשמן חשובה על מנת לשמור את רמת האינהיביטור תקינה ולהאריך את חיי השנאי

3. בדיקות בסיסיות – האם יש בעיה בשנאי

- מתח פריצה – dielectric test - בדיקה המעידה על כושר הבידוד הדיאלקטרי של השמן ומצביעה באופן גס האם יש בעיה בשנאי כתוצאה מלחות/ חומרי חימצון.

מתח ראשוני	תקין	גבולי	לא תקין
שנאי חלוקה – עד 70 ק"וו	>40kV	בין 35 ק"וו ל 40 ק"וו	קטן מ 35 ק"וו
שנאים גדולים ומיוחדים, מעל 70 ק"ו ועד 230 ק"וו	>50kV	בין 40 ק"וו ל 50 ק"וו	קטן מ 40 ק"וו
שנאים ראשיים מעל 230 ק"וו	>55kV	בין 50 ק"וו ל 55 ק"וו	קטן מ 50 ק"וו



איור 12: מכשיר בדיקת מתח פריצה: מירווח קבוע בין האלקטרודות ובדיקת המתח בו השמן נפרץ

- בדיקת לחות בשמן באמצעות טירציה (קרל פישר): בדיקה בסיסית הבודקת באמצעות סתירת המים (טיטרציה) את תכולת המים בשמן, בערכים של PPM. הבדיקה תלויה בטמפרטורה וישנה התאמה (אמפירית) בין תכולת המים בשמן, לטמפרטורה, ולתכולת המים בנייר, כמתואר בטבלה מטה.

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

מתח ראשוני	מקסימום תכולת מים בשמן ב- PPM			תכולת מים בנייר
	50°C	60°C	70°C	
עד ל- 70kV	27	35	55	3%
מעל 70kV ועד 230kV	12	20	30	2%
מעל 230kV	10	12	15	1.25%



איור 13: מכשיר בדיקת לחות בשמן: ע"י סתירת המים באמצעות תמיסת יוד, נוצר זרם חשמלי בין האלקטרודות. מדידת המטען במהלך תהליך הסתירה נותנת אינדיקציה על כמות המים בשמן.

4. בדיקת תכולת אינהיביטור

כפי שתואר בפרק 4, בדיקת תכולת אינהיביטור היא חשובה ע"מ לשמור על רמת גורמי חימצון נמוכה בשמן, ובכך להאריך את חיי השנאי.

הבדיקה נעשית לפי תקן ASTM-D2668 האמריקאי (או מקבילו האירופאי) בשיטה שנקראת ספקטרוסקופיה אינפרא-אדום. ספקטרופוטומטר כזה מופיע באיור 14.

מכשיר הספקטרופוטומטר מבוסס על זיהוי רמת ריכוז חומרים ע"י מדידה של רמת הבליעה האופטית שלהם. חומרים שונים בולעים אור בתדרים שונים, וע"י זיהוי איזור התדרים ורמת

בליעת האור בתדרים אלו, ניתן לקבוע את ריכוז החומר – במקרה שלנו, ריכוז DBPC בשמן שנאים.



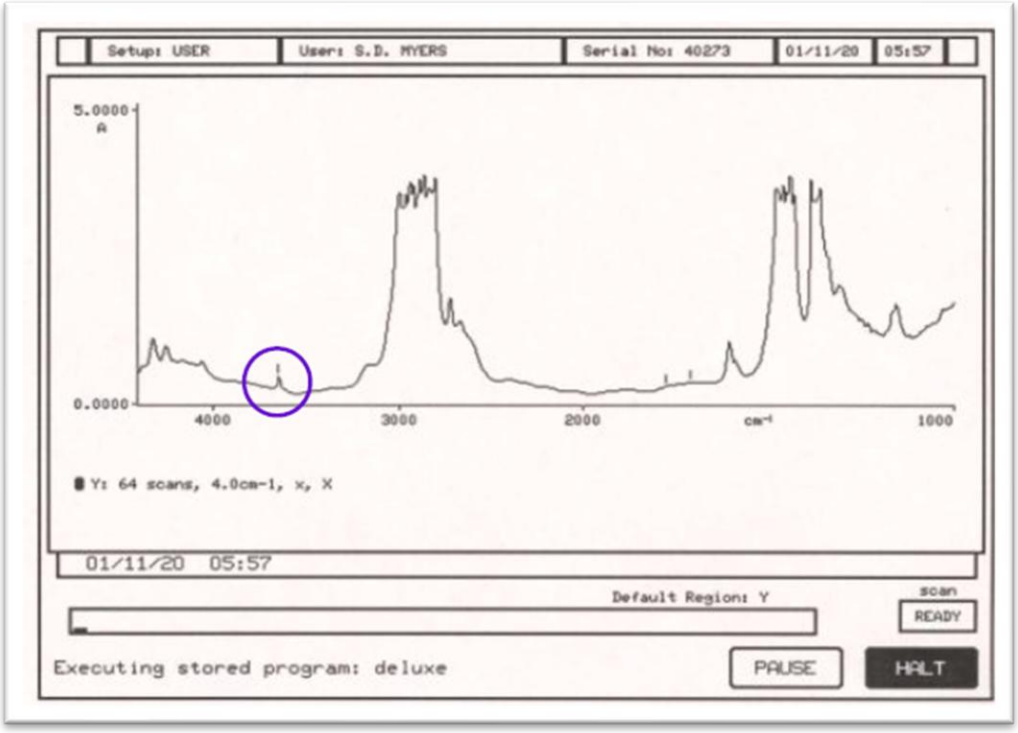
איור 14 :ספקטרופוטומטר FTIR למדידת ריכוזי חומרים באמצעות ניתוח בליעת אור

לחומר DBPC ישנו ספקטרום בליעה בסביבות מספר גל של 3650 ננומטר, כפי שמופיע באיור 15. השיא המופיע בעיגול נובע מריכוז DBPC בשמן, והשטח שמתחת לשיא נמצא ביחס ישר לריכוז האינהיביטור בשמן. לאחר כיול, הספקטרופוטומטר נותן על-כן מדידה מדויקת של ריכוז האינהיביטור DBPC בשמן, ע"י מדידה ממוחשבת של השטח שמתחת לשיא.

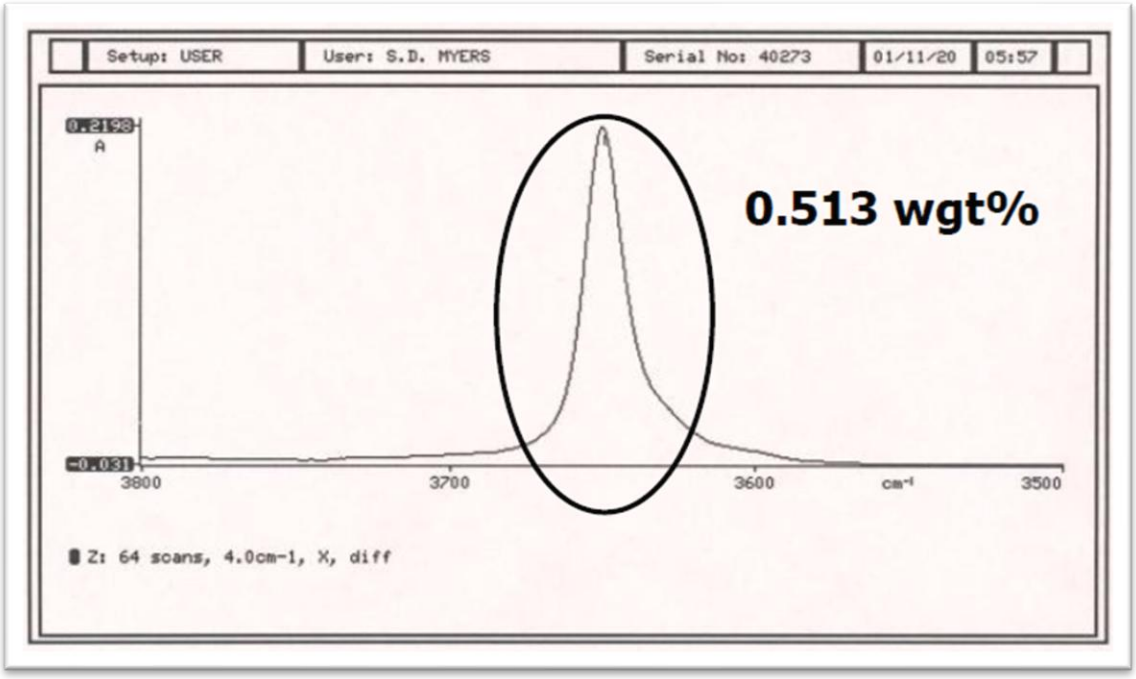
ערכים טיפוסיים לרמת האינהיביטור

חדש	גבולי	נמוך
0.4%	0.1% - 0.25%	<0.1%

באופן כללי, מומלץ לשמור על רמת אינהיביטור מעל 0.25%



איור 15: בליעה במספר גל 3650 שנקלטה בספקטרופוטומטר



איור 16: ריכוז אינהיביטור בשמן נקבע לפי שטח השיא בתחום תדרי הבליעה

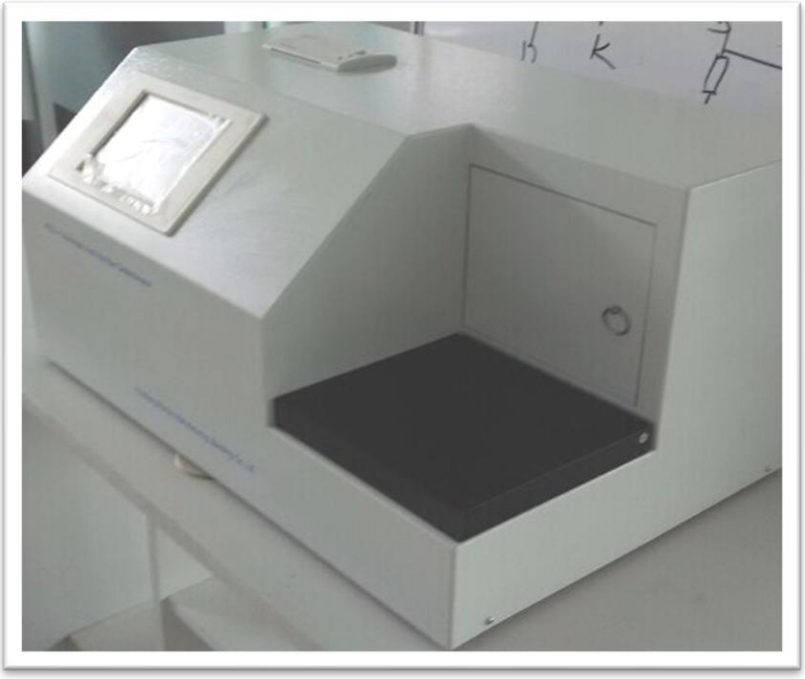
5. בדיקת חומציות – acidity/neut test

- התחממות מע' הבידוד פולטת חומרים המשנים חומציות השמן – בעייתית מבחינה סטטיסטית ולעיתים סותרת תוצאות אחרות.

תקין	גבולי	לא תקין
0.05mg KOH/g	בין 0.05mg KOH /g ל 0.1mg KOH /g	מעל ל 0.1mg KOH /g



איור 17: מכשיר ידני לבדיקת חומציות: מטפטפים בסיס לתוך השמן שעורבב עם אינדיקטור, עד שהצבע משתנה ולפי כמות הבסיס שהוסף מחשבים את חומציות השמן



איור 18: מבדקה אוטומטית במעבדת מגוואט שנאים לחומציות בשמן

6. מתח פנים – Interfacial Tension

- שינויים בהרכב השמן משנים את מתח הפנים שלו.



איור 19: מכשיר לבדיקת מתח פנים. בעזרת קפיץ מודדים את הכוח הנדרש להתנתק מפני השמן ולפי זה מחשבים האם השמן התיישן. נחשבת בדיקה עקיפה ולא שימושית כ"כ.

תקין	גבולי	לא תקין
גבוה מ 32dynes/cm	בין 28 dynes/cm ל 32 dynes/cm	מתחת ל 28 dynes/cm

7. צפיפות יחסית specific gravity–

- שינויים בהרכב השמן משנים את הצפיפות שלו. שינויים מצביעים על זיהום השמן



איור 20: ציוד מעבדה לבדיקת צפיפות יחסית

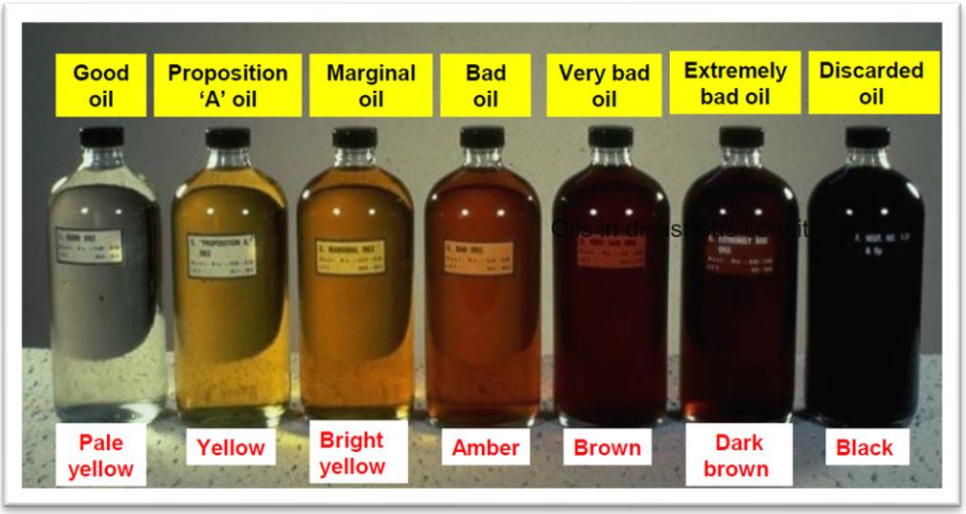
8. משקעים – sediment -ובדיקות ויזואליות

- בעיות מסוימות יוצרות משקעים בשמן (למשל מעל כמות מסוימת של מים) ובדיקת צבע - שמן שהתחמם/התיישן משנה צבע. ויזואלית – visual test – בדיקה כללית. בדרך כלל מסתכלים על הצבע והמשקעים או אם יש משהו

שנראה מוזר בשמן.



איור 21: בדיקת צבע לפי כרטיסית צבעים. נחשבת בדיקה משנית ועקיפה



9. טנגנס דלתא- Liquid Power Factor

ערכים גבוהים יכולים להצביע על לחות, תוצרי חימצון ומזהמים. נדרשת דגימה ב 25 מעלות ו 100 מעלות. הבדלים בין הדגימה ב 25 מעלות ל 100 מעלות צלסיוס יכולים לתת אינדיקציה מה קורה. לחות משפיעה בעיקר על הדגימה ב 25 מעלות. שמן שהתיישן וחימצון משפיעה על שתי הערכים. הבדיקה בעייתית מבחינת הדיגום מכיוון שהיא רגישה

לטמפרטורה.



איור 22: מכשיר לבדיקת טנגנס דלתא

תקין	גבולי	לא תקין
25C – <0.10% 100C – <3.00%	25C – 0.10-0.30% 100C – 3.00-4.00%	25C – >0.30% max 100C – >4.00% max

בדיקות מתקדמות – מה הבעיה בשנאי

10. בדיקות גזים מומסים – Dissolved gas analysis-

- נחשבת הבדיקה החשובה ביותר לשמן שנאים:
ניתוח של גזים מומסים בשנאי יכול להצביע על אחת או יותר מהבעיות הבאות:
  - התחממות בטמפ' נמוכה (פחות מ 300 מעלות)
  - התחממות בטמפ' גבוהה (מעל 700 מעלות רגעי)
  - ניצוצות
  - קשתות,
  - פריקה חלקית
  - והאם הבידוד המוצק של הליבה מעורב בתקלה.
  - הניתוח מתבסס על כמות ויחסים בין שישה גזים מומסים בשמן: H_2, CO, CO_2 CH_4, C_2H_6, C_2H_4, C_2H_2

בדיקת גזים מומסים נחשבת כיום לבדיקה המשמעותית ביותר לשנאי שמן, ולכן נפרט עליה יותר בפרק הבא



איור 23: מזרק דגימות שמן לבדיקת גזים מומסים

11. בדיקות מיוחדות – עוזרות למקד את מקור התקלה

- בדיקת פוראנים – furans test -במקרים מסוימים, בדיקת פוראנים עוזרת לבדיקת גזים מומסים בניתוח המצב של הליבה, ויכולה להצביע על משך החיים הנותר בשנאי.
- בדיקת תכולת אינהיביטור – inhibitor/passivator content - נדרשת רק לגבי שנאים שבהם השמן מכיל אינהיביטור (נוגד חימצון) ומצביעה האם יש לסחרר לשמן אינהיביטור נוסף. מיותרת לשמן מינרלי שלא הוסף לו אינהיביטור ע"י היצרן.

- בדיקת גפרית – sulfur test – בדיקה מיוחדת אם חושדים שיש בעיה בעיקר במגעים הפנימיים.
- בדיקות PCB– בדיקה מיושנת לחומר מסוכן שבשנות השישים היה קיים כתוסף לשמן בעיקר בארה"ב – לא משתמשים בזה כיום

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

5. עקרונות בדיקת גזים מומסים

תקציר

בדיקת גזים מומסים חשובה ביותר לשמן שנאים כי היא כוללת לא רק אינדיקציה על האם יש בעיה בשנאי אלא גם מיקוד על מה הבעיה בשנאי. חלק זה נותן פירוט על בדיקה זו: מהי, מדוע להריץ אותה, השיטות לבדיקה, גזי התקלה ואופן האנליזה.

בדיקת לחות בשנאים = בדיקת חום בבן-אדם (האם יש בעיה).

בדיקת גזים מומסים בשנאים = בדיקת דם בבן-אדם (מה הבעיה).

---

1. תהליך ייצור גזים מומסים בשנאי

שני הגורמים העיקריים להיווצרות הגז בתוך השנאי הם:

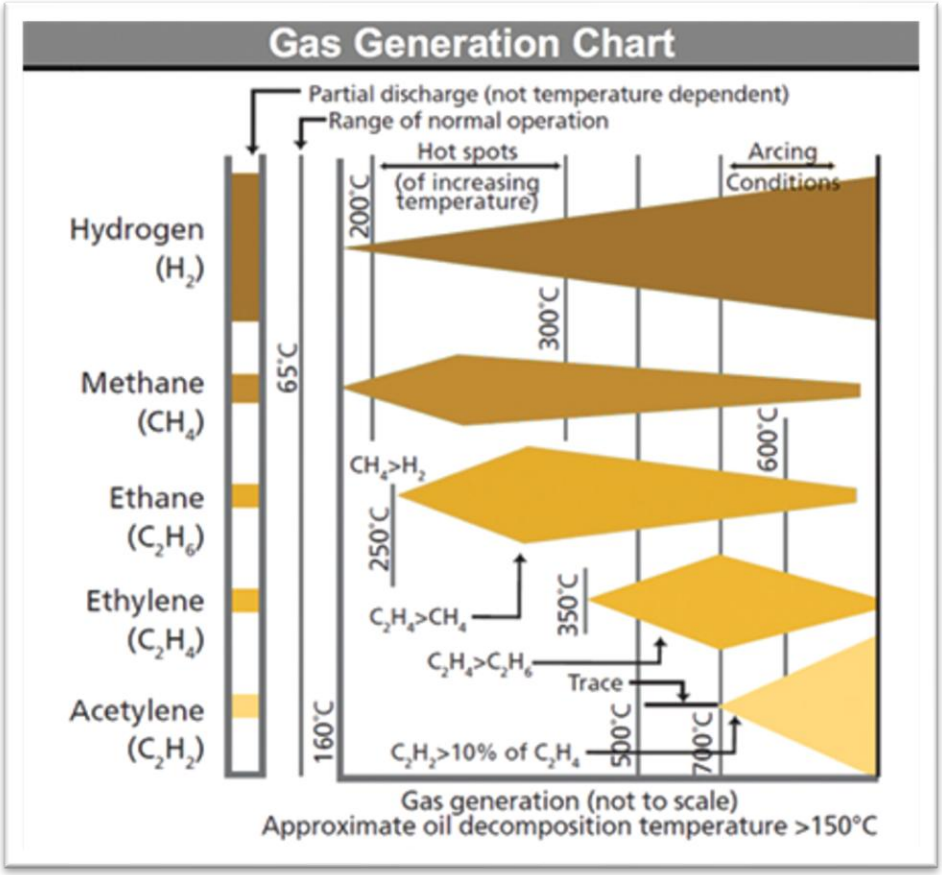
1. טמפרטורה גבוהה (כללית או מקומית – 'נקודה חמה')
2. הפרעות חשמליות: קשתות, ניצוצות, קורונה

תחת שתי השפעות אלו, סוגי הגזים המופיעים בשנאי הם:

- מימן - H_2
- חד תחמוצת הפחמן - CO
- דו תחמוצת הפחמן - CO_2
- מתן - CH_4
- אתן - C_2H_6
- אתילן - C_2H_4
- אצטילן - C_2H_2

גזים אלו מתחילים להיווצר בטמפרטורות מסוימות ומתמוססים בתוך שמן הבידוד, כמתואר באיור מטה.

כאשר פעולת השנאי אינה תקינה, נפלטים לשמן גזי התקלה, וכמותם ביחד עם היחסים ביניהם מצביעים על סוג התקלה



איור 24: תהליך ייצור גזי תקלה בשמן שנאים

- מימן ומתאן מתחילים להיווצר בכמויות קטנות בסביבות ה- 150°C
- הייצור של מימן ממשיך לעלות ככל שהטמפרטורה עולה.
- הייצור של אתאן מתחיל בסביבות ה- 250°C
- הייצור של אתילן מתחיל בסביבות ה- 350°C
- לאחר שגזים מתאן, אתאן ואתילן מגיעים לנקודת הטמפרטורה המקסימלית שלהם, הייצור שלהם יורד ככל שהטמפרטורה עולה
- ייצור אצטילן מתחיל בין 500 ל-700 מעלות צלזיוס. תקלה תרמית (נקודה חמה) של 500 מעלות צלזיוס יכולה לייצר כמויות זעירות של אצטילן (כמה PPM). כמויות גדולות יותר של אצטילן יכולות להיווצר רק מעל 700 מעלות צלזיוס על ידי קשת פנימית.
- בין 200°C ל-300 °C, הייצור של מתאן עולה על זה של המימן. החל מ-275°C ומעלה, הייצור של אתאן עולה על זה של המתאן. בסביבות 450°C, ייצור המימן עולה על כל הגזים אחרים עד בין 750 °C ל-800 °C בערך, כשבנקודה מסוימת כמות גדולה יותר של אצטילן מיוצרת. פירוק תרמי של חומרי הצלולוזה יתחיל גם לייצר פחמן חד-חמצני (CO), פחמן דו-חמצני (CO_2), מימן (H_2) , מתאן (CH_4), וחמצן (O_2) בסביבות ה-100 מעלות צלזיוס.

2. מהי בדיקת גזים מומסים?

- אנליזה של 6 או יותר גזים המומסים בשמן השנאי (גזי התקלה), בעזרת כרומטוגרפיה של גזים.
- דיאגנוזה של היחסים והכמויות בין הגזים האלו נעשית גם בצורה כמותית (אלגוריתם) וגם איכותית (נסיון המהנדס המנתח, בדיקות קודמות, תמונת העומס על השנאי והסטוריה של תקלות)

3. מדוע להריץ בדיקת גזים מומסים?

- יכולה לתת התראה מוקדמת להתפתחות תקלות
- היחידה שמצביעה על תקלות חמורות כגון קשתות, ניצוצות, קורונה
- מבדילה בין התחממות השמן כתוצאה מנקודות חמות, התחממות כללית או שילוב
- מצביעה האם בידוד הליבה (הנייר) מעורב בתקלה ובשילוב בדיקת פוראנים יכולה לתת כימות של אורך חיים הנותר של השנאי, כפי שיוסבר בהמשך.

4. שיטות הבדיקה לגזים מומסים

- דגימת השמן נלקחת במזרק זכוכית מיוחד בשיטה שמוציאה את השמן כך שהוא אינו נחשף לסביבה אלא מוזרם ישירות מהשנאי למזרק.
- במעבדה מוצאים הגזים המומסים מתוך השמן ומוזרקים לתוך גז כרומטוגרף.
- הגזים הנמדדים בגז כרומטוגרף הם בסדר גודל של PPM בודדים ועד אלפי PPM.

5. איזה גזים קיימים בשמן?

- שמן חדש מכיל 10-12% אויר לפי נפח
- האויר מכיל:
  - חנקן- 69% - אינו מהווה בעיה לשנאי
  - חמצן – 30% - מהווה בעיה: חימצון השמן – ניתן להוציאו ע"י סינון השמן בחום וואקום
  - גזים אחרים, בעיקר דו-תחמוצת הפחמן – 1%
  - C_2H_2 -

6. מתי גזי התקלה מהווים בעיה?

- מפתח האיבחון מורכב מ:
  - איזה גזים
  - באיזו כמות
  - באילו יחסים

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd



איור 25: ציוד כרומטוגרפיה ממוחשבת לבדיקת גזים מומסים

7. התקלות שניתן לאתר בעזרת ניתוח גזים מומסים:

1. קורונה – עומס חשמלי הנוצר ממתח גבוה (מעל 10000 וולט) סביב נקודה חדה יוצר הילה כתוצאה מיינון.

   קורונה יוצרת מימן בלבד. לכן אם גז התקלה היחיד המשמעותי הוא מימן – ישנה קורונה. גז נוסף המופיע בכמות מופחתת הוא מתן - CH_4 -
2. ניצוץ – קצר הנמשך פחות ממיקרושניה.
   ניצוץ יוצר בעיקר אצטילן אך גם מימן ומתן. לכן אם ישנה כמות ברורה של אצטילן בשילוב מימן – יש לנו ניצוץ
3. קשת – קצר ממושך של פריקה חשמלית היוצר קשת חשמלית בהירה, בניגוד לקורונה היוצרת אור עמום.
   בדומה לניצוץ אך בכמויות משמעותיות יותר.
4. נקודה חמה: חימום יתר מקומי היכול להגיע למעל 500 מעלות ללא חום המספיק לגרום לפיוח של הבידוד המוצק
   הגז המרכזי בהתחממות יתר הוא אתילן, עם גזי משנה אתן ומתן. אתילן מופיע ב 300 מעלות
5. חימום כללי: חימום ללא נקודות חמות המשויך לעומס או טמפ' סביבה גבוהה.
6. התפרקות חלקית – נוצרת כתוצאה מקיום בועיות אויר זעירות הלכודות בין סלילי מ"ג. כתוצאה מכך נוצרת התפרקות דרך האויר מכיון שהוא מבודד טוב פחות מהשמן.
7. מעורבות הליבה בחימום – חימום יתר של הליבה
   גז התקלה המרכזי בחימום יתר של הליבה הוא CO. כאשר הוא דומיננטי –

בתקלה מעורב גם הבידוד המוצק ויש לבצע בדיקת פוראנים ע"מ לבדוק את מידת הנזק. גז תקלה משני הוא CO_2 .

אבחון התקלות מצריך מקצועיות ונסיון מצד מנתח התוצאות, בדומה לאיבחון בדיקת דם באדם!

8. מקורות לתקלות מנותחות

1. תקלות שתוקנו אך לא בוצע סינון להוצאת הגזים המומסים.
2. זיהום מאויר המכיל לחות – חשיפת השמן לאויר לח.
3. עומס יתר על השנאי.
4. תקלות בייצור.

9. שיטות ניתוח גזים מומסים בשמן שנאים

ניתוח גזים מומסים הוא תהליך מורכב הדורש נסיון, ידע ומקצוענות מהסיבות הבאות:

- ישנן שיטות רבות למיפוי התקלה. לעיתים לא כולן מצביעות על אותו כיוון
- לשנאים יש לעיתים 'טביעת אצבע' של גזים שייחודית להם שאינה מצביעה בהכרח על תקלה בשנאי מסוים אך יכולה להצביע על תקלה אילו היתה מופיעה בשנאי אחר
- נסיון המנתח יכול לשנות את הכיוון
- בדיקות קודמות הם קריטיות בניתוח התוצאות, ויכולות לשנות את האנליזה

6. שיטות אנליטיות איכותיות וכמותיות למיפוי תקלות מניתוח גזים מומסים

תקציר

פרק זה סוקר מספר שיטות לניתוח תוצאות גזים מומסים, בחמש שיטות שונות:

1. אנליזה איכותית
2. אנליזת יחסי רוג'רס (Rogers Ratio)
3. אנליזת סך כל גזים מתלקחים Total Combustible Dissolved Gas
4. אנליזת משולשי דובל Duval's Triangle תרשים למיקוד התקלה
5. אנליזת IEEE C57.104 אלגוריתם למיקוד התקלה – השיטה בה משתמשים רוב המעבדות האוטומטיות.

חשוב לזכור כי השיטות אינן עומדות כל אחת בפני עצמה, לעיתים סותרות זו את זו וחלקם אינן מתחשבות בהסטוריה של השנאי. לכן הנסיון והמקצועיות של המנתח חשובות ביותר.

1. אנליזה איכותית

שיטה זו אינה בודקת כמויות/ריכוזי הגזים אלא מתחשבת באופן כללי בהמצאות גזים מומסים בשנאי וממפה תקלות על פי הטבלה הבאה:

אנליזה איכותית

אנליזה	ממצא
קורונה	H_2 בלבד
קשתות	$H_2 + C_2H_2$
חימום יתר	$C_2H_4+CH_4+C_2H_6$
חימום יתר של הצלולוזה	CO

השיטה נחשבת כללית ביותר ומהווה כלל אצבע בלבד באנליזת גזים מומסים

2. יחסי רוג'רס

שיטת יחסי רוג'רס בודקת רק שלושה יחסים בין גזי התקלה מימן, אצטילן, מתן ואתילן. על פי יחסים אלו ממפה את התקלה בשנאי. היחסים נקראים R1, R2, R5 ומיפוי התקלה מתואר בטבלה מטה. השיטה פשוטה מאד לחישוב אך מתחשבת רק בחלק מהגזים המומסים ושיטות אחרות נותנות מספר סוגי תקלות רב יותר ומתחשבות בריכוז הגזים המומסים ולא רק ביחסים ביניהם. שיטת יחסי רוג'רס לעיתים נותנת תוצאות הסותרות תוצאות שיטות אחרות. לא מקובל להשתמש בשיטה זו בלבד בגלל סיבות אלו

מקרה	R2: C_2H_2/C_2H_4	R1: CH_4/H_2	R5: C_2H_4/C_2H_6	תקלה
0	<0.1	0.1 – 1.0	<1.0	שנאי תקין
1	<0.1	<0.1	<1.0	קשתות בעוצמה נמוכה. פריקה חלקית (קורונה)
2	0.1 – 0.3	0.1 – 1.0	3.0<	קשתות בעוצמת פריקה גבוהה.
3	<0.1	0.1 – 1.0	1.0 – 3.0	התחממות כללית בטמפ' נמוכה
4	<0.1	<1.0	1.0 – 3.0	התחממות בטמפ' מתחת 700 מעלות
5	<0.1	<1.0	3.0<	התחממות בטמפ' מעל 700 מעלות

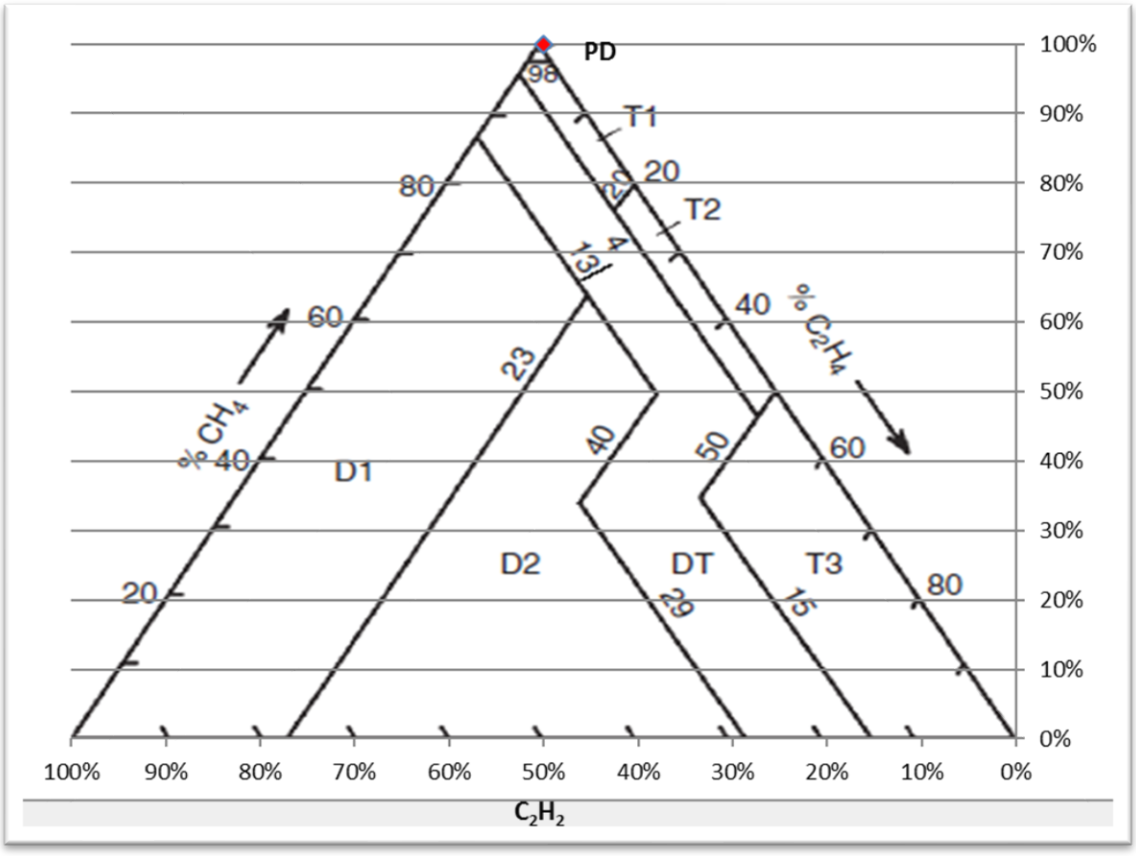
3. אנליזת סך-כל גזים בעירים Total Dissolved Combustible Gas TDCG

אנליזה זו בודקת את סך כל ריכוז הגזים הבעירים בשמן: מימן, מתן, פחמן חד-חמצני, אתילן, אתן ואצטילן. אנליזה זו מתייחסת גם לשינוי לאורך זמן של סך זה וממפה את חומרת התקלה בשנאי על פי הריכוז הכולל והשינוי בריכוז לאורך זמן: תוספת הריכוז בכל יום. קצב ההתפרקות קובע את מרווח הבדיקה המומלץ ואת מצב השנאי ומתואר בטבלה הבאה:

מצב	רמת TDCG (ppm)	שינוי TDCG (ppm/day)	מרווח בדיקה מומלץ	מצב
מצב 1	≤720	<10	שנתי	תקין
		10-30	רבעוני	משנה זהירות. בדוק גזים פרטנית. בדוק תלות העומס
		30<	חודשי	התדרדרות מהירה. תכנן להוציא השנאי משימוש. בדוק גזים פרטנית.
מצב 2	721-1920	<10	רבעוני	משנה זהירות, התדרדרות מהירה. בדוק גזים פרטנית לפי מרווח בדיקה מומלץ. תכנן להוציא השנאי משימוש
		10-30	חודשי	
		30<	חודשי	
מצב 3	1921-4630	<10	חודשי	משנה זהירות, התדרדרות מהירה. בדוק גזים פרטנית לפי מרווח בדיקה מומלץ. תכנן להוציא השנאי משימוש
		10-30	שבועי	
		30<	שבועי	
מצב 4	4630<	<10	שבועי	משנה זהירות, התדרדרות מהירה. בדוק גזים פרטנית לפי מרווח בדיקה מומלץ. תכנן להוציא השנאי משימוש
		10<	יומי	הבידוד המוצק על סף קריסה. תכנן להוציא השנאי משימוש

4. אנליזת משולש דובל

אנליזת משולש דובל משתמשת בשלושה גזי תקלה: אתן, אתילן ואצטילן. היא בודקת על סרגל משולש את היחס של ריכוז כל גז מסך כל הריכוז של כל הגזים האלו, באחוזים. נתוני האחוז בכל סקלה מצטלבים לנקודה אחת על גבי משולש הנקרא משולש דובל:



איור 26: משולש דובל

נקודת הצטלבות זו נופלת על אחד האיזורים המסומנים במשולש, ולפי זה האנליזה ממפה את התקלה בשנאי, כמופיע בטבלה הבאה:

סימון במשולש	שם התקלה	סימפטום ומהות התקלה
PD	Partial Discharge – פריקה חלקית	פריקה של פלזמה קרה (קורונה) בבועיות אוויר בשמן או במרווחי אוויר.
D1	פריקה באנרגיה נמוכה	פריקה חלקית מסוג ניצוצות, מייצרת פחמן בנייר. קשתות באנרגיה נמוכה יוצרות פחמן בשמן.
D2	פריקה באנרגיה גבוהה	פריקה בנייר הבידוד או בשמן, מלווה באנרגיה גבוהה היוצרת נזק משמעותי לנייר הבידוד או יצירת חלקי פחמן בשמן, ריתוך מתכת והפעלת ממסר גזים.
DT	תקלת חום וחשמל	עירוב של תקלה הנובעת מחום ותקלה הנובעת מתקלה חשמלית
T1	תקלת חום T<300°C	נייר הבידוד משחים (>200°C) או מתפחם .(>300°C)
T2	תקלת חום 300°<T<700°	התפחמות נייר הבידוד, הופעת פחמן בשמן.
T3	תקלת חום T>700°C	התפחמות משמעותית של נייר הבידוד, הופעת פחמן בשמן, צבע ממתכת (800°C)או ריתוך מתכת (>1000°C).

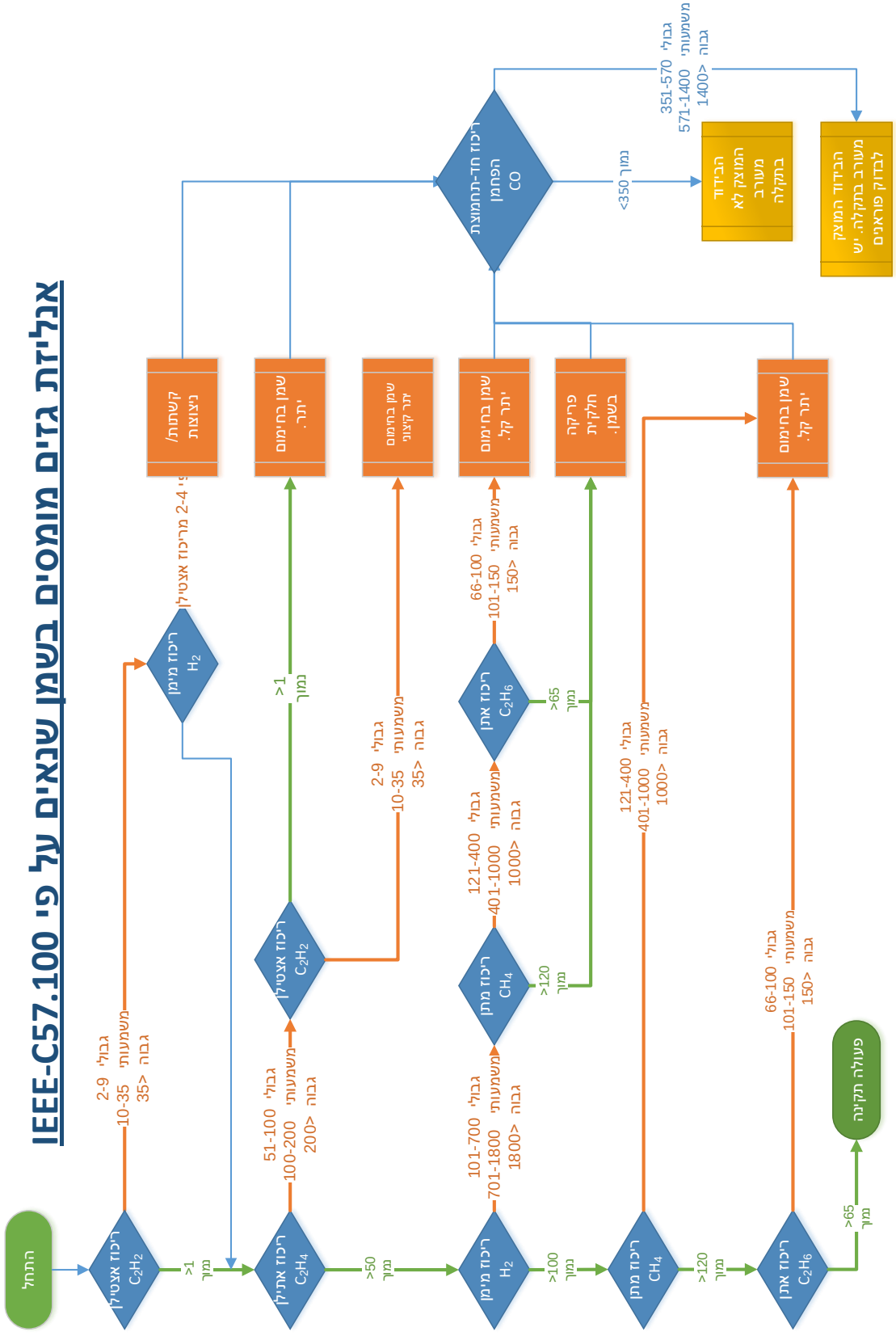
5. אנליזת IEEE C57.104

אנליזה זו משתמשת בארבע קטגוריות עבור כל גז תקלה בנפרד, כאשר קטגוריה 1 היא ריכוז נמוך, בסדר עולה עד קטגוריה 4. המעבר מקטגוריה לקטגוריה עבור כל גז מוגדר בטבלה הבאה:

ריכוז גזי תקלה בשמן (PPM) עבור כל קטגוריה							
Acetylene C_2H_2	Ethylene C_2H_4	Ethane C_2H_6	Carbon Dioxide CO_2	Carbon Monoxide CO	Methane CH_4	Hydrogen H_2	קטגוריה
0	0	0	0	0	0	0	1
1	50	65	2500	350	120	100	2
9	100	100	4000	570	400	700	3
35	150	150	10000	1400	1000	1800	4

בשלב הבא, מנתחים את הריכוזים של גזי התקלה השונים ואת היחסים ביניהם על פי האלגוריתם המתואר. האנליזה נותנת שיקול דעת למנתח בהתאם לריכוז גז מסוים ומיקום הריכוז בתוך קטגוריה (קרוב לסף העליון או התחתון וכו'). כמו כן ניתן בקלות לשלב בשיטה זו היסטוריה של בדיקות כך שניתן לנתח שינויים לאורך זמן בריכוזים השונים ולראות האם תקלה מסוימת מתפתחת או מתייצבת וכן האם הבידוד המוצק של הליבה מעורב בתקלה.

במקרה של ניתוח שנאי קריטי או במקרה ומתגלה תקלה, על המנתח להצליב מסקנות משיטות הבדיקה השונות, לצרף לשיקלול תוצאות בדיקות קודמות ואת נסיונו ההנדסי ולהגיע למסקנה לגבי מצב השנאי וצפי לאחזקה חזויה שלו.



טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

- ידיעון -

כמו שצריך!

חשיבות אנליזת גזים מומסים בשמן שנאים, או איך מנענו הפסקת ייצור באחד ממתקני ההתפלה הגדולים בארץ

המעבדה האנליטית של MVA מבצעת בדיקות שמן שנאים למגוון רחב של מפעלי תעשייה ומערכות תשתית. המקרה שאתאר התרחש ב-2018 וממחיש את חשיבות המענה המהיר והמקצועי לאנליזת שמן שנאים.

מתקני ההתפלה מהווים כיום תשתית קריטית למדינת ישראל ואנו גאים להיות אחראים על אנליזות וטיפולים במתקני ההתפלה הגדולים בארץ.

1. אנליזת גזים מומסים בשמן שנאים – הבדיקה החשובה ביותר למצב השנאי!

באתר שלנו יש המון אינפורמציה על בדיקות השמן ומשמעותן, כולל בדיקות מתקדמות – המסוגלות לחזות התפתחות תקלה לפני שהיא מגיעה לכדי מצב קריטי. כזו היא בדיקת גזים מומסים.



בבדיקה שנתית למתקן התפלה גדול, מצאנו ממצאים באחד השנאים שחזו תקלה מתפתחת. אף בדיקה אחרת לא הראתה כל ממצא חריג. מיד הרמתי טלפון למהנדס החשמל.

תיאמנו הגעת שנאי רזרבי והחלפת השנאי עם הממצא החריג בעת הדממה שגרתית. כשהגיע השנאי עם הממצא החריג למפעל ארדן, הרמנו את הליבה והתקלה אותרה מיד – התמונה משמאל מתארת את מה שראינו לאחר פתיחתו:

2. אנליזה ודיאגנוזה

אנליזת גזים מומסים בשמן מאפשרת לא רק זיהוי של קיום תקלה – אלא זיהוי של **מהות התקלה ומידת חומרתה.** במקרה הזה, היה ברור מהאנליזה כי התקלה יוצרת נקודה חמה מעל 300 מעלות. מערך הבדיקות התבסס על הסטורית בדיקות כך שנראתה בבירור תקלה שמתפתחת. הדיאגנוזה שערכנו איפשרה זיהוי מוקדם של התקלה, לפני שהפכה להיות קריטית לכדי השבתת ייצור והמשתמע מכך – הפסד רווח וקנסות.

מיד עם סיום האנליזה, היה ברור שיש תקלה מתפתחת בשנאי קריטי לייצור. הרמנו מיד טלפון למהנדס החשמל במתקן ההתפלה

חיבור פנימי שהתרופף במחליף הדרגות גרם לנקודה חמה מעל 300 מעלות, להתפחמות וסכנה לתקלה קריטית.

התפחמות מאסיבית באחד מחיבורי מחליף הדרגות גרמה ליצירת גזי תקלה שהתגלו רק באנליזת גזים מומסים.

- ידיעון -

	3. לסיכום בעת הבדיקות השנתיות של השנאי - אל תוותרו על בדיקת גזים מומסים בשמן – היא יכולה להתריע על תקלה מתפתחת הרבה לפני שזו תיהפך להפסקת השנאי וכל העומס המחובר אליו עם כל הנזק שעלול להיגרם מכך.

7. בדיקות המשך לגזים מומסים: בדיקת פוראנים

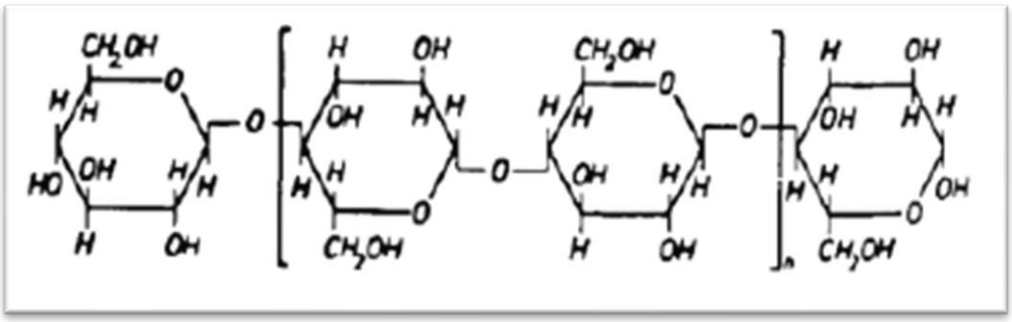
- בדיקת פוראנים בודקת 2-Furaldehyde ברמה נמוכה מאד PPB – חלקי ביליון.
- **אם פגענו בשמן ותיקנו את התקלה – לא נגרם נזק בלתי הפיך. אם פגענו בבידוד הנייר ותיקנו את התקלה – נגרם נזק בלתי הפיך**
- רמות גבוהות של פוראנים מצביעים על התדרדרות בידוד הנייר בליבת השנאי.
- אין מקור אחר לפוראנים חוץ מבידוד הנייר המוצק

בדיקת פוראנים בשילוב עם בדיקת גזים מומסים יכולה לתת הערכה על משך הזמן הנותר לחיי הבידוד המוצק בשנאי = משך הזמן הנותר לחיי השנאי



איור 27: מערכת HPLC לבדיקת פוראנים ב PPB

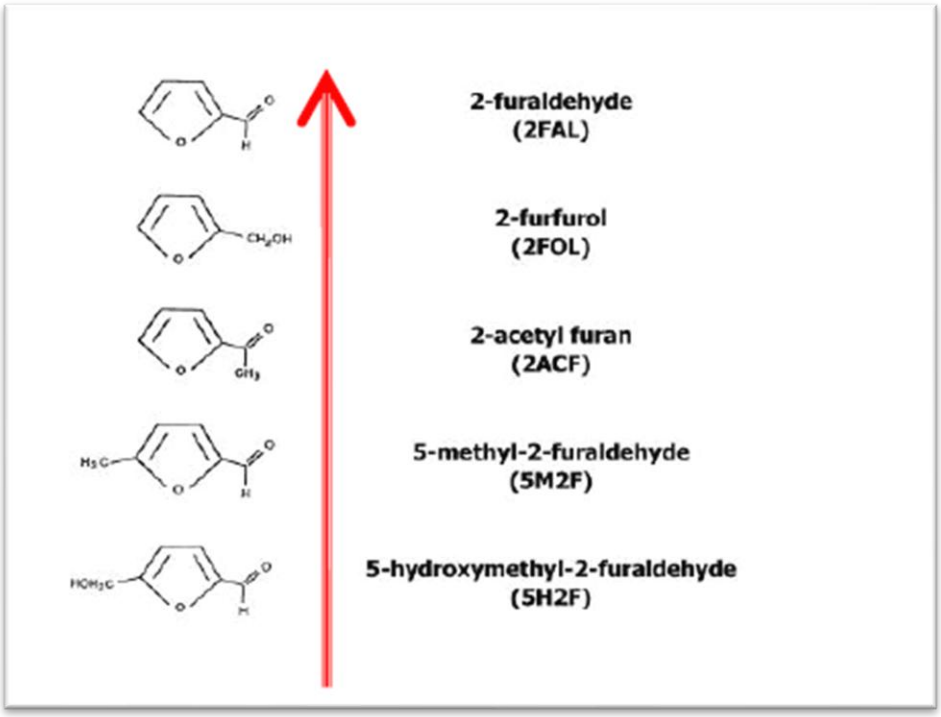
- הצלולוזה בנויה מטבעות



איור 28: מבנה מולקולרי של בידוד הצלולוזה

- תהליך הפירוק של הצלולוזה, דיפולמריזציה, משתחררים מים ופוראנים.
- התהליך גורם להרס הצלולוזה וירידת חוזק המשיכה של הנייר= קיצור חיי השנאי
- הבדיקה בודקת חמישה סוגים שונים של פוראנים:
    - 5H2F - נובע בעיקר מחימצון
    - 2FOL – נובע מלחות גבוהה
    - 2FAL – נובע מחימום יתר
    - 2ACF – נדיר – ברקים
    - 5M2F - חימום מקומי קיצוני

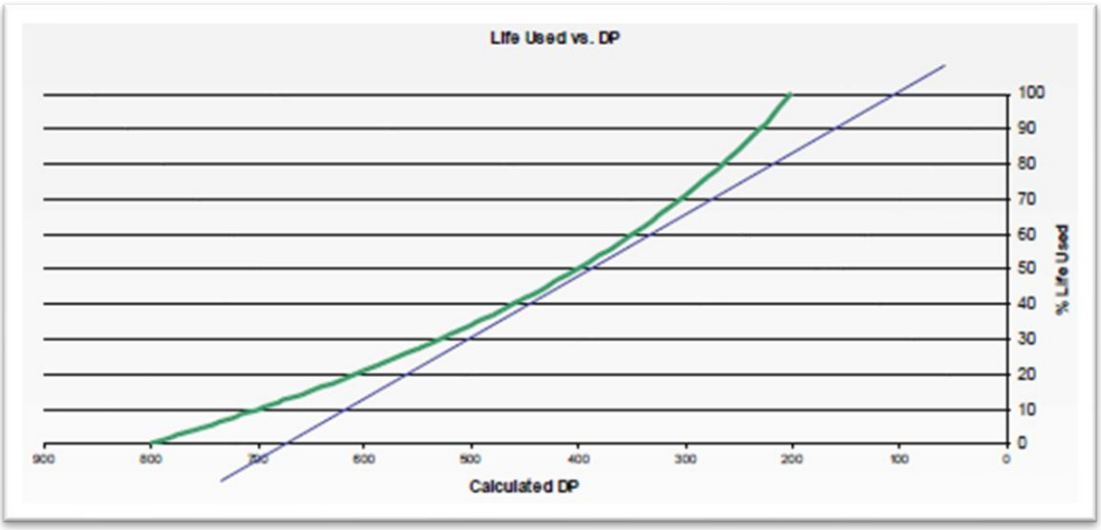
- בהתאם לתנאים הפוראנים עוברים ממצב למצב:



איור 29: שלבי יצירת הפוראנים בהתפרקות הבידוד המוצק

- האנליזה טובה הרבה יותר לאור היסטוריה ובדיקת כיוון – התדרדרות או התייצבות ומאפשרת להעריך את אורך הזמן הנותר לחיי השנאי!

- DP משמש לבדיקה זו, למרות שהיחס אינו לינארי:



איור 30: : היחס בין חישוב ה DP לאחוז החיים הנותר בשנאי. לאחר כמה בדיקות לאורך זמן אפשר להסיק את קצב התפרקות הצלולוזה ומכאן את אורך חיי הבידוד הנותר בשנאי

טווח ערכי ה-DP	הערות
פחות מ– 200	הבדיקה מעידה על פירוק נרחב מעבר לנקודה הקריטית. מומלץ שהשנאי יופסק לאלתר ויילקח לבדיקה ויזואלית ומחקרית.
250 – 200	נייר הבידוד קרוב לנקודה הקריטית, מומלץ שהשנאי יופסק ויילקח לבדיקה. דגימות הנייר יכולות להילקח ישירות מבדיקת ה-DP
350 – 260	נייר הבידוד מתקרב לנקודה הקריטית, מומלץ שייבדק באופן קבוע או שידגם מחדש בתוך שנה לצורך הערכת מצב
450 – 360	נייר הבידוד מתחיל להתקרב לנקודה הקריטית, מומלץ להילקח לדגימות מחדש כל שנה-שנתיים
600 – 460	ישנה התדרדרות משמעותית בנייר הבידוד אך עדיין רחוק מהנקודה הקריטית
900 – 619	נייר הבידוד מזדקן באופן מזערי עד מתון
900 – 1200	לא ניתן לגלות התדרדרות בנייר הבידוד

בדיקה בסיסית ללחות (מתח פריצה) ובדיקה מתקדמת לשמן (גזים מומסים) הנעשות בצורה רציפה כחלק מהבדיקות והטיפולים התקופתיים מאפשרות לחזות תקלות רבות ואף חיזוי חיי השנאי!

8. תוכנית בדיקת שמן וחשיבות מעבדה מקומית מוסמכת

תקציר

תוכנית בדיקת שמן טובה היא שילוב של דגימות נכונות, במיכל מתאים ודו"ח שאתה כאחראי תחום חשמל מבין היטב.





איור 31: מימין: דיגום בתנאים קשים: לחות גבוהה, מתאם מיוחד לברז השנאי, וגישה לא נוחה. משמאל: ערכת דיגום

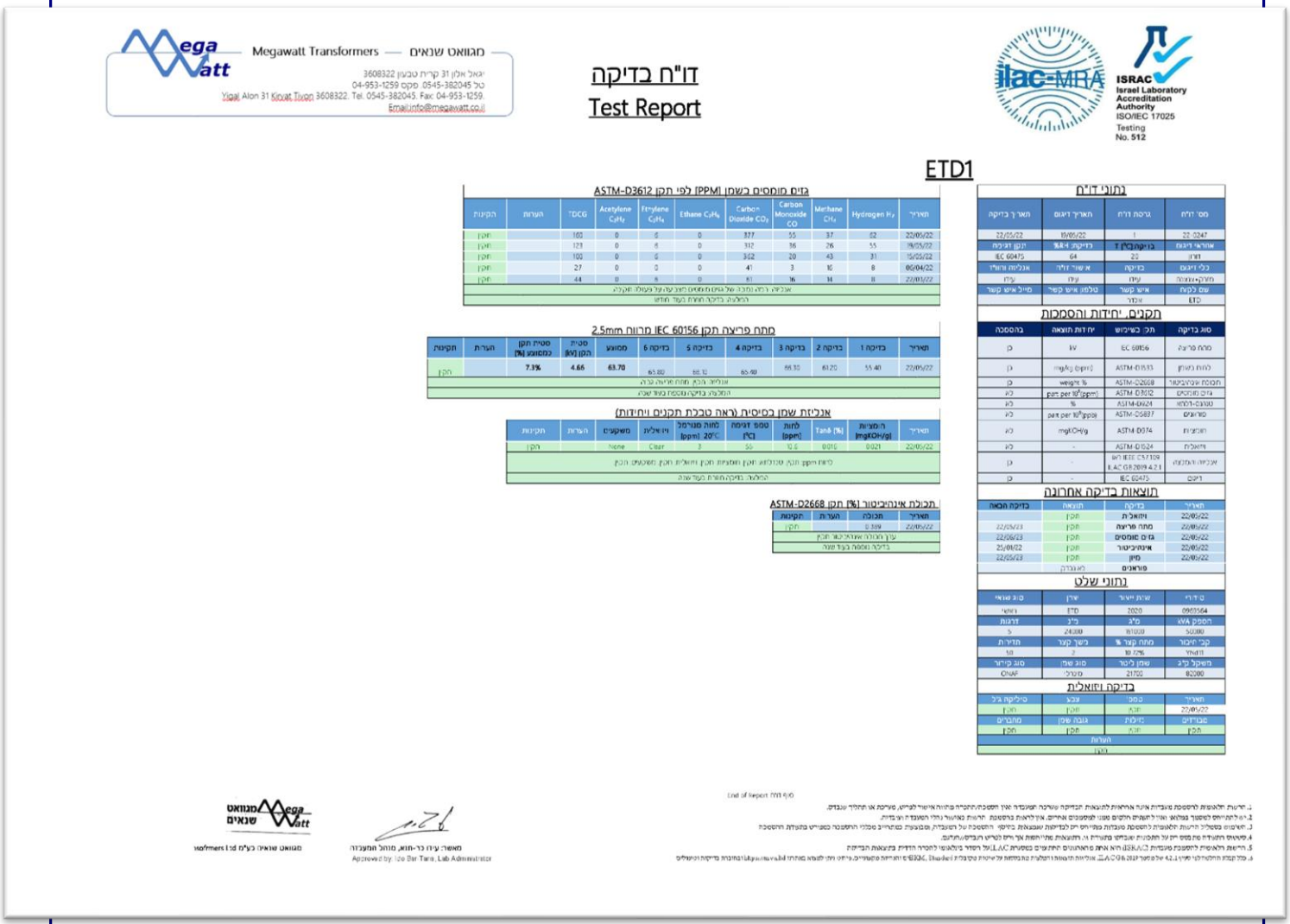
- האדם שדוגם את השנאי צריך להיות מוכשר לכך כך שהדגימה לא תזדהם מלחות באויר או זיהום באיזור הדגימה והברז וכן ע"מ שהבדיקה תתבצע בבטיחות וללא נזק לסביבה.
- מיכל הדגימה חייב להיות מותאם לבדיקת שמן שנאים: במקרה של דגימת מתח פריצה – על המיכל להיות יבש לחלוטין. במקרה של דגימת שמן לגזים מומסים ופוראנים – מזרק מיוחד.
- על המעבדה להיות אמינה (ראה ידיעון מטה) ונגישה לשאלות. מעבדה מקומית מאפשרת קבלת תשובה מהירה יחסית (בחירום תוך שעות ספורות).

- על האנליזה והדיאגנוזה להיות מבוצעת ע"י איש מקצוע מיומן
- על הדו"ח להיות ברור ונגיש ומגובה באיש קשר שיוכל לענות על שאלות הנובעות מהאנליזה.

9. דוח בדיקות וטיפולים

דוגמא לדו"ח מקיף לשנאי– דו"ח מקיף לשנאי שנבדק וטופל ע"י MVA:

- לדו"ח קוד צבע ע"פ התקינות
- כל בדיקה מופיעה בנפרד ובאופן ברור.
- הדו"ח כולל את כל הנדרש בתקן מעבדות מוסמכות ISO/IEC 17025.



דו"ח בדיקה
Test Report

Megawatt Transformers — מגוואט שנאים

ETD1

תמונה 9-1: דו"ח לדוגמא של שנאי במעקב



מעבדת 'מגוואט שנאים' לאנליזות שמן שנאים קיבלה הסמכה בינלאומית לתקן ISO/IEC 17025!



תקן ISO/IEC 17025 הינו התקן היחיד והחשוב ביותר למעבדות בדיקה.

מעבדה מוסמכת לתקן זה הוכיחה יכולת טכנית ומקצועית לבצע בדיקות מדויקות המבוססות על נהלים, שיטות ומכשירי בדיקה ברמה בינלאומית.

4.

שבע יתרונות חשובים של מעבדה מקומית המוסמכת לתקן ISO/IEC 17025



1. **מעבדה מקומית=מענה זמין ומהיר**
   רק מעבדה מקומית מוסמכת יכולה לתת מענה מספק לבדיקות דחופות (למשל בעקבות תקלה בשנאי). מעבדה מקומית מאפשרת גם חסכון בעלויות וזמן שילוח. בחלק מהבדיקות, דרישות תקן הבדיקה אף מגדיר זמן קצוב של 48 שעות מדיגום עד בדיקה.

2. **גישת עבודה מקצועית ברמה בינלאומית**



יישום תקן ISO/IEC 17025 מחייב את כלל המעבדה,: החל מעובדיה, דרך נהלים ושיטות ועד אחרון מכשירי המעבדה. כל הבדיקות הנעשות תחת ההסמכה כוללות התאמה מלאה לתקני הבדיקות, עבודה פנים מעבדתית הכוללת ניהול מקצועי על פי שיטות בדוקות ומוכרות ברמה בינלאומית, ומערכת מפוקחת של מעקב וכיולים.

תקן ISO/IEC 17025 הוא התקן הבינלאומי החשוב ביותר למעבדות בדיקה, ומפוקח בישראל ע"י הרשות הלאומית להסמכת מעבדות



רק מעבדה מקומית יכולה לתת מענה מספק לבדיקות דחופות.

מעבדתנו הינה המעבדה היחידה בישראל המוסמכת לבדיקות שמן שנאים



3. יחסי 'מעבדה-לקוח' אמינים

מעבדה מוסמכת תקן ISO/IEC 17025 מחויבת ליחסי לקוח הכוללים מענה על כל שאלה שעולה הקשורה לבדיקה. המעבדה מחויבת לעבוד בשקיפות מלאה מול הלקוח, ללא ניגוד עניינים וללא משוא פנים. ללקוח שמורה, כחלק מנהלי המעבדה, יכולת לבקר את תוצאות הבדיקות, להביע דעה ולהתייעץ. המעבדה מצידה מחויבת לתת מענה מספק הכולל חקירה ושיתוף הלקוח בתוצאותיה. כל אלו מהווים בסיס מוצק לאמון במעבדה..



4. יכולות מקצועיות מוכחות

עמידה בתקן ISO/IEC 17025 מבטיחה כי רק אנשי מקצוע מיומנים, בעלי כישורים המתאימים מאושרים לפעול במעבדה. על מנת להוכיח זאת, על צוות המעבדה לעבור מבחנים תקופתיים מפוקחים הנערכים במעבדה ע"י מומחים חיצוניים. צוות המעבדה חייב להוכיח יכולת ביצוע כל הנהלים והשיטות המוגדרים בהסמכה הפרטנית למעבדה, ויכולת להתמודד עם כל בעיה שעלולה לצוץ במהלך הפעילות. כל אלו מעלים את אמינות תוצאות הבדיקות.



5. תהליך שיפור מתמיד

עמידה בתקן ISO/IEC 17025 כוללת נהלים ושיטות לשיפור מתמיד של עבודת מעבדה ספציפית בתחומים של שיפור האיכות, פישוט תהליכים, שיפור מיומנויות עובדים. תהליכים אלו ממזערים טעויות ומשפיעים גם הם על אמינות תוצאות הבדיקות.



6. נכונות דוחו"ת הבדיקה

מעבדה מוסמכת מגישה את דו"ח הבדיקה ללקוח ודו"ח זה משמש כבסיס להחלטה היכולה להיות מהותית ביותר לגבי השנאי ממנו נדגם השמן. מכיוון שישנה שונות טבעית מובנית כתוצאה מאופי הבדיקה, ישנם בתקן ISO/IEC 17025 מנגנונים לבקרה על נכונות התוצאה. מדידת אי-הוודאות משוקפת ללקוח ומציגה תוצאה בעל אמינות גבוהה. אנו המעבדה היחידה בארץ המוסמכת לתת גם חוות דעת ופרשנות לכל תוצאות הבדיקה.



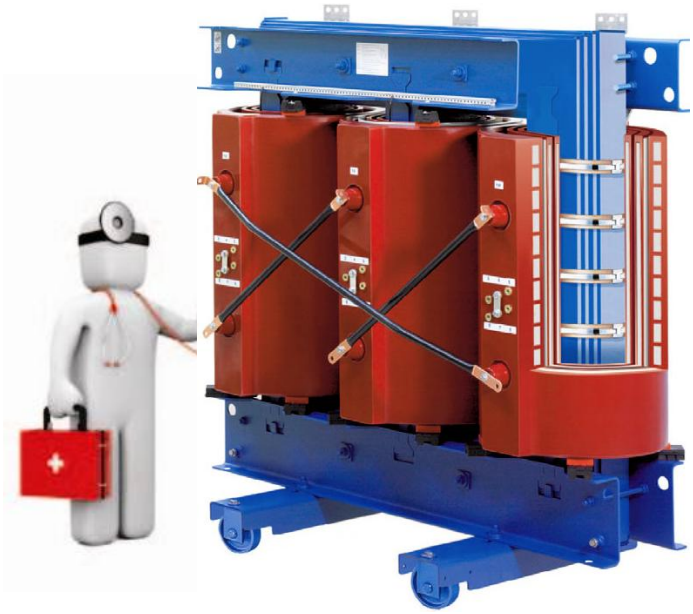
7. תאימות עם בדיקות בינלאומיות

מעבדה המוסמכת לתקן ISO/IEC 17025 עוקבות אחר שינויים בתקן זה. שינויים אלו כוללים שיפורים ותיקונים כתוצאה מקבוצות עבודה בינלאומיות העוסקות בחקירת שיטות בדיקה מתקדמות. מעבדה מוסמכת אף מחויבת להשתתף באופן פעיל בסבבי בדיקות בינלאומיות. באופן זה, המעבדה יכולה להציע שיפורים בבדיקות, באופני השירות ובהתמחויות השונות במקצועות הרלוונטיים

5. ההסמכות שלנו (נכון לעכשיו)

	• הסמכה **לדיגום שמן שנאים**, לפי תקן IEC 60475 • הסמכה **לבדיקת מתח פריצה** לפי תקן IEC60156 • הסמכה **לבדיקת לחות בשמן** לפי תקן ASTM-D1553 • הסמכה **לבדיקת תכולת אינהיביטור** בשמן לפי תקן ASTM-D2668 • הסמכה **לאנליזה ומתן פרשנות וחוות דעת** לכל הבדיקות, לפי תקני BKM, בין היתר IEEE-C57.109 6. <u>בנוסף אנו מבצעים את הבדיקות הבאות במעבדתנו (ומתכננים להסמיכן בהמשך):</u> • בדיקת גזים מומסים בשמן לפי תקן ASTM-D3612 • בדיקת טנגנס דלתא וקיבוליות לשמן לפי תקן IEC 60247 • בדיקת מספר נטרליות לפי תקן IEC 62021-2 • בדיקה ויזואלית לפי תקן ASTM-D1524 • בדיקת פוראנים לפי תקן IEC 61198

חלק 2 – בדיקות חשמליות מתקדמות לשנאים יבשים



חלק זה מתאר שיטות מתקדמות לבדיקות שנאים יבשים (יצוקים) בהם לא ניתן להשתמש בשמן כאינדיקטור לתקלות

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

תוכן עניינים

1. בדיקה בסיסית: בדיקת התנגדות בידוד (בזרם ישר) ע"י מד התנגדות בידוד 71
2. בדיקת סימטריית שטף לסלילי מ"נ וסלילי מ"ג 72
3. בדיקה מתקדמת לסלילי הליבה – יחסי השנאה ובדיקת מחליף דרגות 73
4. בדיקה חשמלית מתקדמת – אנליזת תגובה לתדר 74
   - 4.1 עקרונות אנליזת תגובה לתדר 74
   - 4.2 תקלות שניתן לאתר באמצעות אנליזת תגובה לתדר 75

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

1. בדיקה בסיסית: בדיקת התנגדות בידוד (בזרם ישר) ע"י מד התנגדות בידוד

הבדיקה החשמלית הבסיסית ביותר היא בדיקת בידוד, הנעשית ע"י מד התנגדות המודד התנגדויות גבוהות מאד (עד מאות גיגה-אום). הבדיקה נעשית בין רכיבים מבודדים בשנאי: בין פאזות מ"ג להארקה, בין פאזות מ"ג למ"נ, בין מ"נ לאדמה

מד ההתנגדות מכיל מעגל המעלה את המתח בין ההדקים לאלפי וולטים (עד 10,000 וולט) ומודד זרם רגיש (של מיליאמפר) והחלוקה ביניהם היא התנגדות הבידוד.

בדיקה נגזרת היא בדיקה הנקראת אינדקס פולריזציה (Polarization Index – PI) – הבדיקה היא בדיקת התנגדות לאורך זמן ובודקת את 'אלסטיות הבידוד' – חזרת הבידוד לערך גבוה יותר לאורך זמן. לצורך זה בודקים התנגדות פעמיים, כשהבדיקה השניה נעשית 10 דקות לאחר הראשונה. חלוקת ההתנגדויות היא אינדקס הפולריזציה.

התיאוריה מאחורי בדיקת PI היא כי המתח הגבוה גורם לקיטוב החומר לאורך מסלול הבדיקה, במיוחד אם החומר מכיל לחות, מים או מזהמים שהם מקטבים. בדיקת בידוד לאחר דקה ולאחר 10 דקות תבדלנה בינהן ע"י כמות המקטבים שיסתדרו בין שתי האלקטרודות. החלוקה בין התוצאות היא אינדקס הפורלריזציה, וככל שהיא גבוהה יותר, כך החומר מבודד טוב יותר.

אינקדס פולריזציה גבוה מ-2 נחשב טוב. נמוך מ 1.5 נחשב גבולי ופחות מ 1 - לא תקין.



איור 32: מבדקת בידוד (מגר)

חסרונות בדיקת הבידוד:

- בדיקה רגישה מאד לטמפרטורה, ויש לכייל התוצאות לפי טמפרטורה, כאשר זו האחרונה אינה ידועה במדויק במרבית המקרים.
- הבדיקה מוגבלת למעגל החשמלי שבין הדקי המבדקה, ומוגבלת לבידוד בלבד. אי לכך מנעד התקלות מוגבל – למשל תקלות במחליף דרגות, או תקלות מסוימות בכריכות לא יתגלו.
- מנעד גדול בתוצאות גורם לקושי רב בבדיקות חוזרות ואין אפשרות על כן לגלות את חומרת התקלה.

- בדרך כלל תקלות בידוד יגרמו מיד לנפילת מע' ההגנות, (הגנות עומס, הגנות דיפרנציאליות) – ולכן הבדיקה תראה תקלה בדיעבד – אין לה כושר חיזוי כלל וכלל.

לאור החסרונות הרבים, נחשבת לבדיקה בסיסית ולכן פחות אמינה.

2. בדיקת סימטריית שטף לסלילי מ"נ וסלילי מ"ג

בדיקה זו נותנת אינדיקציה בסיסית לתקינות סלילי השנאי. סליל מקוצר, תקול או מנותק ישפיע מיידית על בדיקה זו. בדיקת סימטריה נעשית בנפרד לסלילי מ"נ וסלילי מ"ג. לבדיקה נדרש וריאק קטן (220 וולט 5 אמפר) ומולטיטסטר פשוט המכיל צבת זרם ומד מתח, וכן מוליך מקצר

א. בדיקה למתח נמוך, כאשר מ"נ הינו בקונפיגורצית Y עם נקודת אפס n: בעזרת הוריאק מייצרים מתח X כלשהו (נניח בדוגמה זו 50 וולט) בין פאזה b לפאזה n. מתח זה יוצר שטף בגרעין השנאי שמתרגם לזרם סימטרי (בשנאי תקין) המתחלק לחצי בסליל פאזה a וחצי בסליל פאזה c.

מודדים בעזרת מד מתח את המתח בין c ל n. הוא צריך להיות בסביבות x/2 (סביבות 25 וולט בדוגמא שלנו). מודדים גם את המתח בין a ל n – גם שם צריך להיות x/2 . שוני בין היחסים, למשל 10 ו 40 וולט – מצביע על בעיה בסלילי מ"נ.

בשנאי תקין, $I_{BA}=I_{BC}$ ובערך פי שתיים מ I_{AC}

ב. בדיקה למתח גבוה כאשר מ"ג הינו בקונפיגורצית D ללא נקודת אפס: בדיקה זו דורשת גם חוט מקצר וכן וריאק חזק, ומעט מסובכת יותר מבדיקת מ"נ. כמו כן, הבדיקה במ"נ מספקת בדר"כ שכן ההשראה בין מ"נ למ"ג תשקף תקלה בסלילי מ"ג לבדיקת סלילי מ"נ:
- מציבים מתח בין פאזה A לפאזה B וקצר בין פאזה B לפאזה C. זרם זורם בפאזות A ו- C. רושמים זרם זה = I_{AC}
- מציבים מתח בין פאזה B לפאזה C וקצר בין פאזה C לפאזה A. זרם זורם בפאזות B ו- A. רושמים זרם זה = I_{BA}
- מציבים מתח בין פאזה C לפאזה A וקצר בין פאזה A לפאזה B. זרם זורם בפאזות C ו- B. רושמים זרם זה = I_{BC}

3. בדיקה מתקדמת לסלילי הליבה – יחסי השנאה ובדיקת מחליף דרגות

בדיקת יחסי השנאה בודקת את היחס בין המתח הראשוני למתח המשני, ומשווה את התוצאה לערכים הנומליים של השנאי כפי שמופיעים על שלט השנאי. הבדיקה נעשית עבור כל פאזה בנפרד והיא יכולה לבדוק את כל התקלות הבאות, גם לפני שהן באות לידי ביטוי בתפקוד השנאי:

- קצר בתוך כל סליל – יופיע כסטייה מיחס השנאה נומינלי וכחום בבדיקת שמן, או קשתות/ניצוצות בבדיקת שמן.
- קצר בין סליל ראשוני לסליל משני – יופיע כסטייה גדולה מיחסי השנאה.
- בעיית בידוד – חלק מהזרם זולג דרך הבידוד – סטיה מיחסי השנאה.

בדיקת יחסי השנאה דורשת ניתוק של השנאי מהעומס וממתח כניסה, וחיבורו למבדקה חשמלית מיוחדת. מכניסים למבדקה את המתחים הראשוני והמשני הצפויים עבור כל מצב במחליף הדרגות.

המבדקה מזריקה לשנאי מתחים – מ 500 ועד 3000 וולט בראשוני, ומודדת את המתח המתקבל במשני. מחלוקה ביניהם מתקבל יחס ההשנאה, והסטיה מהיחס הנומינלי.

החסרון בבדיקת יחסי השנאה הוא שהתקלה חייבת להיות משוקפת ליחס השנאה. תקלות כגון עיוות מכני בסלילים, מחברים רופפים ואחרים לא יופיעו כתקלה ביחסי השנאה.

עדיין, בדיקה זו מתקדמת הרבה יותר מבדיקת הבידוד בכך שהיא מודדת ישירות (בצורה בלתי אמצעית) את הסלילים, שלא כמו בדיקת בידוד.



איור 33: מבדקת יחסי השנאה ומסך בדיקת מחליף דרגות

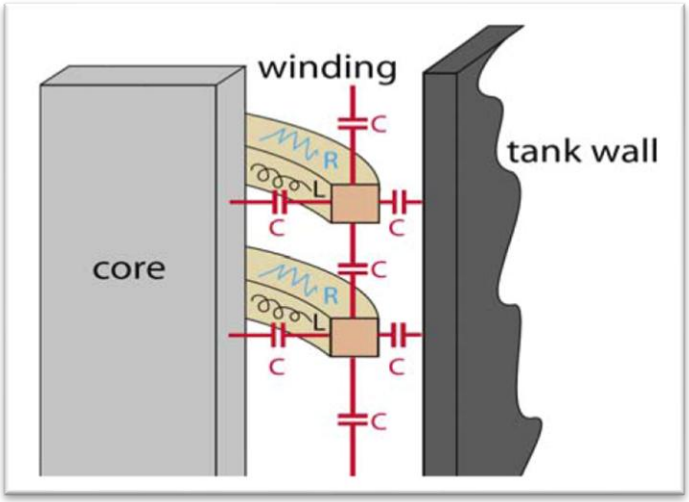
4. בדיקה חשמלית מתקדמת – אנליזת תגובה לתדר

בדיקת אנליזת תגובה לתדר היא הבדיקה החשמלית המתקדמת ביותר הקיימת היום לאחזקה מונעת, היכולה לאתר מגוון תקלות בשנאים (שמן **ויבשים**) כמו גם במכונות חשמל אחרות, והיא אחד הנושאים החמים ביותר בתחום אנליזת תקלות במכונות חשמל כיום.

הבדיקה כל-כך חדשנית, שעדיין נכתבים לה שיטות והתקנים מתעדכנים בהתאם. לפיכך, נתאר בפירוט את הבדיקה הזו, את מכלול התקלות שניתן לאתר בעזרתה ואת התקנים הקיימים כיום.

4.1.עקרונות אנליזת תגובה לתדר

ניתן לתאר את השנאי (או כל מכשיר חשמלי אחר לצורך העניין) כרשת מבוזרת של נגדים, סלילים וקבלים



איור 34: השנאי כרשת מבוזרת של נגדים, סלילים וקבלים

כך, לדוגמה, ישנה מערכת מבוזרת של קיבולים בין הסלילים לליבה, בין הסלילים למיכל דרך השמן או הבידוד היצוק. ישנן כמובן השראות מבוזרת סביב הסלילים, התנגדות מבוזרת בסלילים ובמחברים וכו'. השמן או יציקת האפוקסי מהווים קבל מבוזר

לכל מערכת מורכבת כזו, המכונה מעגל RLC, ישנה תגובה לתדר. כלומר, אם נזריק מתח חילופין בתדר מסוים, חלק אחר של המערכת יגיב לתדר הזה על-פי העכבה (ההתנגדות לתדר), מי יותר ומי פחות.

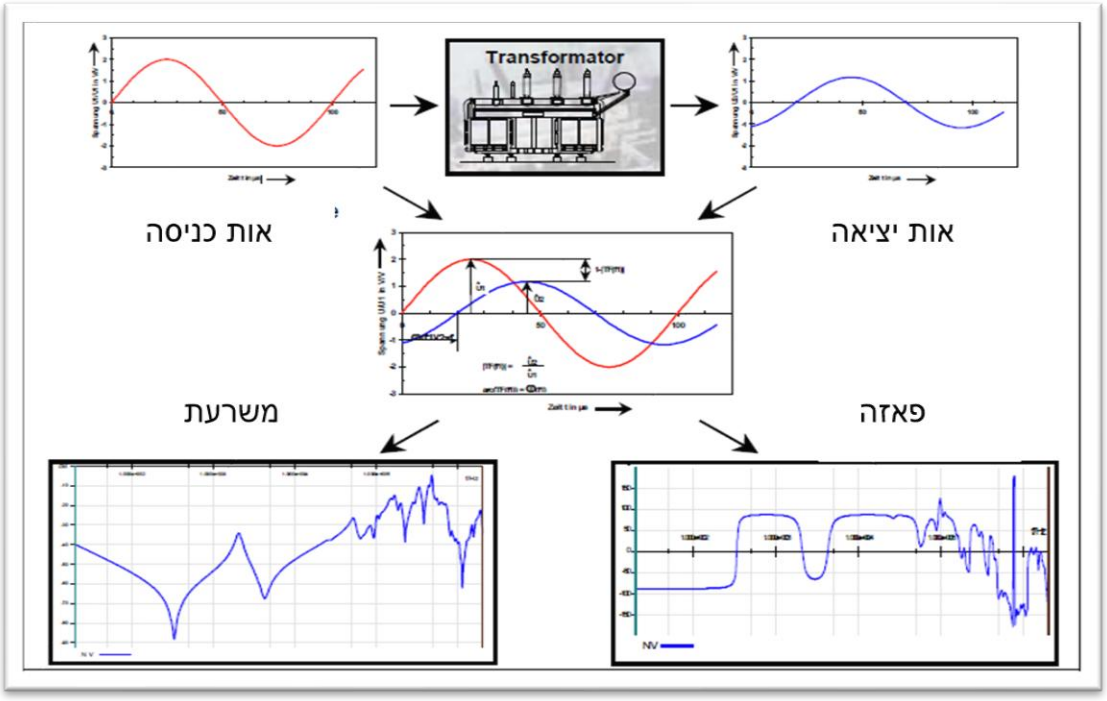
אם נמדוד את המתח בהדק שני ואת הפאזה, על פני משרעת רחבה של תדרים, נקבל גרף הנקרא גרף התגובה לתדר (גרף הגבר וגרף שינוי פאזה)

גרף התגובה לתדר הוא ייחודי למערכת מסוימת ועל כן ניתן להתייחס אליו כאל טביעת אצבע של המערכת.

כל שינוי מכני או חשמלי כתוצאה מתקלה בשנאי, ישנה את ערכי הקיבול/התנגדות/השראות של לפחות חלק מהמערכת, והיא תגיב אחרת בתחום תדרים מסוים. עוצמת השינוי תצביע על עוצמת התקלה.

ניתוח גרף התגובה לתדר יכול להצביע על שינויים במערכת, ולמפות את השינוי לחלק מסוים בשנאי ולתקלה מסוימת

ניתוח זה נקרא Sweep Frequency Response Analysis – SFRA



איור 35: עקרון פעולת אנליזת סריקת תגובה לתדר

4.2. תקלות שניתן לאתר באמצעות אנליזת תגובה לתדר

אנליזת תגובה לתדר יכולה לאתר מגוון גדול של תקלות. האנליזה מתבססת על לקיחת 'טביעת אצבע' של השנאי והשוואתה לבדיקה נוספת. ניתן על כן לגלות שינויים בכמה מישורים:

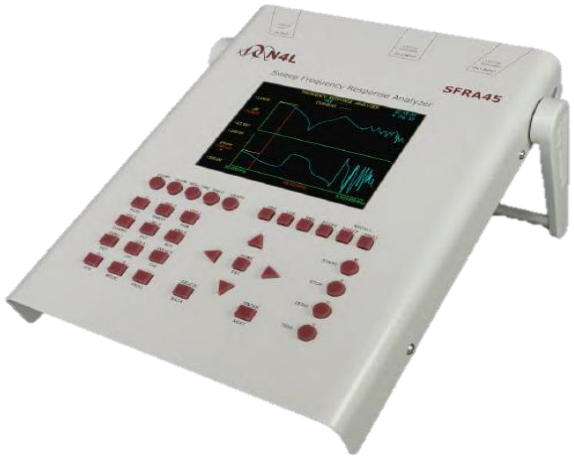
- מישור הזמן: ניתן למשל לקחת טביעת אצבע של השנאי בתאריך מסוים, ולבדוק את האנליזה לאחר שנה על מנת לגלות שינויים לאורך זמן.
- בין שני שנאים: ניתן להשוות שני שנאים, אחד הידוע כתקין, לשנאי זהה לו בנתונים ומאותו סדרת יצור.

- בין שני מקומות גיאוגרפיים: ניתן לקחת 'טביעת אצבע' של השנאי מיד לאחר סיום הייצור, ולבדוק אותו לפני ההתקנה באתר הפעולה וכך לבדוק שהשנאי לא ניזוק בצורה כלשהי בהובלה.

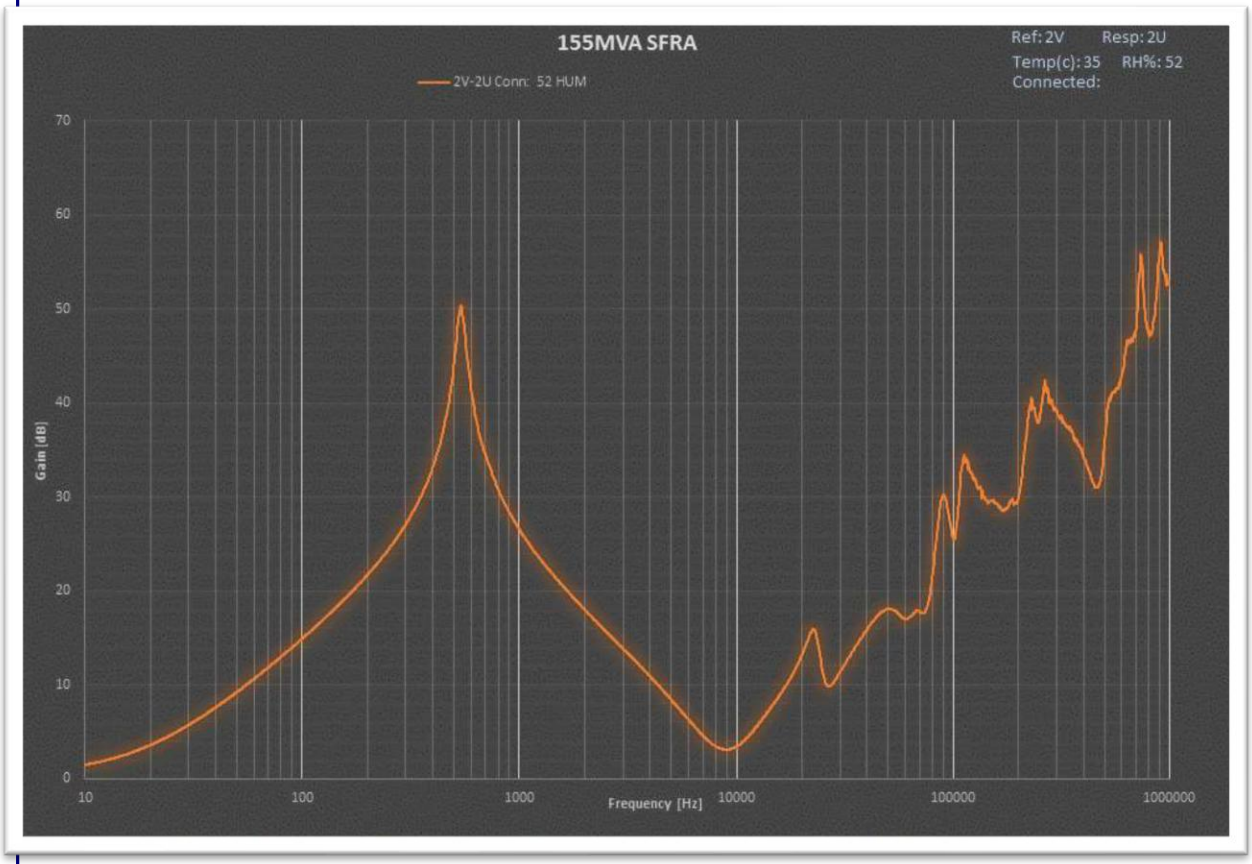
בדיקת אנליזת תגובה לתדר נחשבת לבדיקה המקיפה ביותר הקיימת כיום לשנאים, והיחידה שנותנת איתור תקלות ואחזקה מונעת לשנאים יבשים.

מגוון התקלות שניתן לגלות באמצעות SFRA הוא עצום:

- תקלות מכניות:
  - תזוזה טלסקופית של הסלילים (חלק מהסליל עולה למעלה) – כתוצאה מכוחות אלקטרומכניים חריגים.
  - תזוזה פנימה של הסלילים (Hoop Buckling) כתוצאה מחיזוקי כריכות שהתרופפו.
  - תזוזה של כל הליבה כיחידה אחת
  - תזוזות זוויתיות של המוליכים עצמם (סלילי מתח נמוך בדרך כלל).
- תקלות חשמליות:
  - קצרים בין הכריכות במוליכים
  - קצרים בין הכריכות לליבה (למינציה)
  - נתקים בכריכות (פאזה לא פעילה)
- בעיות בליבה:
  - הפרדה בלמינציות כתוצאה מעיגון שהתרופף.
  - קצר בלמינציות היוצר זרמי מערבולת ומעלה את ההפסדים בשנאי.
- בעיות מגעים:
  - מגעים רופפים.
  - הארקה פנימית בשנאי רופפת או מנותקת
- בעיות בידוד:
  - בידוד שנחלש (גם בידוד שמן וגם בידוד אפוקסי)
  - קצרים ופריקות בבידוד



איור 36: מכשיר אנליזת סריקת תגובה לתדר



איור 37: גרף טיפוסי של אנליזת סריקת תגובה לתדר

חלק 3 – טיפולים ופתרון בעיות בשנאי מתח גבוה



חלק זה מתאר שיטות לטיפולים ופתרון בעיות בשנאי מתח גבוה, שמטרתן הארכת חיי השנאי.

טלפון: 0733-777-888.
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

תוכן עניינים

1. פתרונות מתקדמים לבעיות בשנאים 80
1. פתרון לבעיות בשמן 80
2. מה כולל טיפול בשמן 80
3. תוצאות הטיפול בשמן 80
2. טיפולים נוספים לבעיות בשנאים: איטום נזילות 82
1. יתרונות איטום נזילות בשיטות מתקדמות 82
2. סט חומרים ייעודי לאיטום נזילות בשנאים 82
3. יישום מקצועי ואחריות 82

טלפון: 0733-777-888.
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

1. פתרונות מתקדמים לבעיות בשנאים

תקציר

בחלק זה נתאר את מגוון הפתרונות לטיפול בבעיות המתגלות בבדיקות.

1. פתרון לבעיות בשמן

- סינון השמן תחת חום וואקום להוצאת הלחות, מאיצי החימצון, הורדת החומציות והוצאת בועיות אויר הגורמות לפריקה חלקית.

טיפול בשמן עוזר לשימור והארכת חיי השנאי ע"י הוצאת גורמי החימצון של הבידוד המוצק

---

2. מה כולל טיפול בשמן

- סינון השמן תחת חום וואקום להוצאת המים
- סינון השמן דרך פילטר מגנטי להוצאת חלקיקי מתכת מומסים
- סינון השמן דרך פילטר 5 מיקרון לסינון משקעים
- ניתן להחדיר אינהיביטור לשמן, המשמש כנוגד חימצון.
- ניתן להעביר את השמן דרך קולונות המנקות את השמן (מבהירות אותו), בתהליך הנקרא oil reclamation

3. תוצאות הטיפול בשמן

- הוצאת הלחות מהשמן כך שמתח הפריצה עולה למעל 65 ק"וו.
- הוצאת החמצן ובועיות האויר מהשמן.
- הורדת החומציות בשמן ע"י ניטרול גורמי החימצון.
- ניקוי השמן ממשקעים.

טלפון: 0733-777-888.
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd





איור38 : בעזרת מכונת סינון שמן שנאים יעודית ניתן להחזיר את השמן למצב כמו חדש עם מתח פריצה גבוה מ- kV65 וללא בועיות אוויר, גזים מומסים ומשקעים

טלפון: 0733-777-888.
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

2. טיפולים נוספים לבעיות בשנאים: איטום נזילות

אחת הבעיות הגדולות בשנאים, במיוחד אטומים בעלי דופן רדיאטור דק היא נזילות שמן.

נזילות שמן יכולות להיות קריטיות אם הן לא מטופלות בזמן.

ניתן היום לאטום שנאים גם ללא פירוק הרדיאטורים, או המבודדים – בעזרת חומרי אטימה מתקדמים המיועדים במיוחד לשנאי מתח-גבוה ועמידים בשמן שנאים, בשינויי טמפרטורה התכווצות/התרחבות ולחות.

איטום שנאים בעזרת חומרים מתקדמים מהווה פתרון מהיר ויעיל לבעיה ישנה וכואבת

---

1. יתרונות איטום נזילות בשיטות מתקדמות

- זמן קצר הרבה יותר לתיקון התקלה = זמן קצר יותר להשבתה.
- הטיפול אינו חושף את השמן לאויר הלח כתוצאה מפירוק המבודדים.
- האיטום מקטין בהרבה את הסיכון לפגיעה במבודדי החרסינה כתוצאה מפירוקם והרכבתם מחדש.
- ברדיאטורים דקים, לעיתים קרובות זו השיטה היחידה לאיטום השנאי.

2. סט חומרים ייעודי לאיטום נזילות בשנאים

תהליך האיטום הכימי משתמש בסט המורכב משני חומרים אפוקסיים:

- בשלב הראשון מאתרים את אזור הנזילה ומנקים את איזור הנזילה משאריות לכלוך.
- החומר ראשון הינו חומר דביק, עמיד בשמן שנאים שאותו דוחסים בכוח לסדק הנזילה, (גם תוך כדי הנזילה האקטיבית) ותוך דקות הוא מתחמם, מתפשט, אוטם את הנזילה ונדבק בחוזקה למתכת שמתחתיו בתוך כעשרים דקות.
- החומר השני הינו משחה דביקה, שאותה מורחים מעל החומר הראשון והיא נותנת הגנת UV ולחות.

3. יישום מקצועי ואחריות

אנו בעלי נסיון של כחמש שנים במגוון של עבודות איטום שנאים, החל בשנאי חלוקה ועד שנאים ראשיים ואנו נותנים אחריות לשלמות האיטום הזהה לאחריות הניתנת להחלפת אטמים לאחר פירוק והרכבה

טלפון: 0733-777-888.
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd



צילום 1: איטום נזילות במבודדי מ"נ בשנאי חלוקה ללא צורך בהורדת שמן



צילום 2: איטום נזילה במבודד שנאי ראשי 80MVA

טלפון: 0733-777-888.
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd



צילום 3: איטום נזילות ברדיאטורים בשנאי עמוד

טלפון: 0733-777-888.
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

חלק 4 – בדיקות מיוחדות לשנאים גדולים



חלק זה מתאר מספר בדיקות מיוחדות לשנאים גדולים, כגון שנאי גנרציה, שנאי תחמ"ש או שנאי ייצור קריטיים.

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

תוכן עניינים

1. בדיקת טנגנס דלתא וקיבוליות חשמלית לשנאים ומבודדים 87
   1. מבוא 87
   2. חסרונות בדיקת טנגנס דלתא 88
   3. יתרונות בדיקת טנגנס דלתא 88
   4. מדידת טנגנס דלתא וקיבול למבדדי מתח גבוה 91
   5. ערכים אופייניים לטנגנס דלתא וקיבול למבדדי מתח גבוה 92
2. בדיקות תרמוגרפיה למחברי השנאי (באדיבות מהנדס חשמל פז רוט) 94
3. בדיקות למחליפי דרגות מקוונים (OLTC) 97
4. טיפולים לשנאי תחמ"ש 101

בדיקות לשנאי תחמ"ש 101

1. מפסקי זרם: 101
2. טיפולים: 102
3. תיעוד: 103

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

1. בדיקת טנגנס דלתא וקיבוליות חשמלית לשנאים ומבודדים

1. מבוא

ככל שהמתח בשנאי גבוה יותר, נדרשת רמת בידוד טובה יותר בין חלקי השנאי הנמצאים ברמות מתחים שונות. רמת בידוד זו מתבטאת ברמת הבידוד בין החלקים הבאים בשנאי:

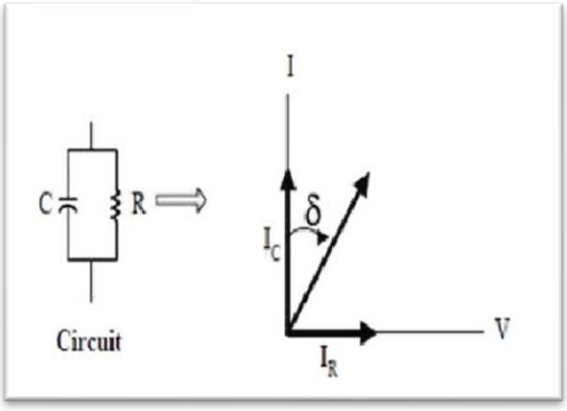
1. בין סלילי המתח הגבוה למתח הנמוך, HV-LV
2. בין סלילי המתח הגבוה למיכל (המוארק), HV-Tank
3. בין סלילי המתח הנמוך למיכל (המוארק), LV-Tank
4. בין כל אחד ממחברי מתח גבוה למיכל (מבדדים, bushings).

איכות הבידוד נמדדת בין היתר באמצעות שני פרמטרים:

1. קיבול
2. טנגנס דלתא (Tan δ נקרא גם Cos φ, Dielectric Dissipation Factor, Power factor, PF)

טנגנס דלתא הוא פרמטר התלוי בזווית הנוצרת בין וקטור הזרם הכללי לווקטור הזרם הקיבולי כמתואר מטה.

באיור 30 מטה מתואר מודל בידוד פשוט. בבידוד אידאלי, נוצרת זווית ישרה של 90 מעלות בין וקטור הזרם לווקטור המתח (התנגדות הבידוד לזרם ישר, R, אינסופית).



איור 39: מודל בידוד. בדיאגרמת הוקטורים הנגד מייצג ענף זליגה (הפסדים) והקבל ענף מבודד אידאלי

בכל בידוד ריאלי, הזווית δ אינה אפס שכן ישנה זליגה מסוימת של זרם דרך הבידוד , המיוצגת בסכימה ע"י נגד אידאלי.

טנגנס דלתא מבטא במספר יחיד את הפסדי המערכת יחסית לגודלה. הוא מתאר את כמות אנרגית ההפסדים בבידוד של המערכת יחסית לסך כל האנרגיה המועברת בה

טנגנס הזווית הזו (באחוזים) נותנת אינדיקציה טובה לאיכות הבידוד.

ככל שהפרש המתחים בשנאי גבוה יותר, נדרשת איכות בידוד גבוהה יותר המתבטאת בערכים נמוכים יותר של טנגנס דלתא. הערך באחוזים מבטא מערכת מבודדת מושלם (אפס) למערכת מוליכה מושלם (100).

ערכים אלו מושפעים מטמפרטורה, מתדר הבדיקה וניקיון המגעים והמבדדים ולכן חשוב לרשום את הטמפרטורה של השמן והסביבה, את תנאי הבדיקה (תדר, מתח בדיקה, תאריך וכו') ולבצע ניקוי מגעים ומבדדים לפני הבדיקה.

2. חסרונות בדיקת טנגנס דלתא

- בדיקה ממצעת: הבדיקה ממצעת את הבידוד בין שני הדקי המבדקה, ולכן מקשה לראות בעיה ספציפית או לתת אינדיקציה על מיקומה. כאשר מתגלה תוצאה בעייתית, לא ניתן לדעת מה הבעיה, מה אופייה, מה מקור הבעיה.
- לא מאפשרת להבדיל בין בעיה מקומית הדורשת התערבות מיידית לבין התדרדרות כללית הדורשת מעקב קבוע.
- לא רגישה לבעיות בתדר הקו וחשופה לרעשים בתדר הקו.
- תלות גדולה בטמפרטורה, ללא שיטה אוניברסלית לנורמליזציה ל-20°C. תקן IEEE C57.12.90-2015 קבע כי הניסיון הראה כי התלות בטמפרטורה גדולה מאד ומשתנה כל כך עד שלא ניתן לספק גרף תיקון לטמפרטורה שיתאים לכל מצב (הערה 3 בתקן).

3. יתרונות בדיקת טנגנס דלתא

למרות חסרונות אלו, הבדיקה היא הבדיקה הנפוצה ביותר למדידת איכות הבידוד החשמלי בשנאים (וכן במכונות חשמל אחרות כגון מנועים, גנרטורים וגם כבלים). ניתן בעזרתה:

- לנטר לאורך זמן התדרדרות כללית באיכות הבידוד על ידי השוואה לבדיקות קודמות שנעשו בתנאים דומים.
- על ידי בדיקה בין מספר נקודות בשנאי, ניתן בתנאים מסוימים להגביל את אזור הבעיה בבידוד כפי שיוסבר בהמשך. בשנאים קריטיים מוסיפים לעיתים מוליכים ייעודיים מנקודות חשובות בשנאי החוצה על-מנת שתתאפשר בדיקת בידוד דרך נקודות אלו.

- מכיוון שזו בדיקה וותיקה ונפוצה, קיימת אוכלוסייה גדולה של שנאים ונתונים שהופקו מהם שעל פיהם ניתן לקבל אינדיקציה סבירה למצב הבידוד.

- תוצאות בדיקת טנגנס דלתא נלקחות כחלק מאיבחון כולל של מצב בידוד השנאי. לקבלת תמונה שלמה נעזרים גם באנליזת בדיקות שמן, תוצאות בדיקות התנגדות הבידוד ומקדם קיטוב, תוצאות בתדר שונה, ותוצאות בדיקות של התפרקויות חלקיות.

טנגנס דלתא היא בדיקה ממצעת היכולה לתת אינדיקציה לאיכות בידוד כללית בין שני הדקי המבדקה. השוואה לבדיקות קודמות עוזרת מאד בניתוח מצב הבידוד (יציב או מתדרדר)

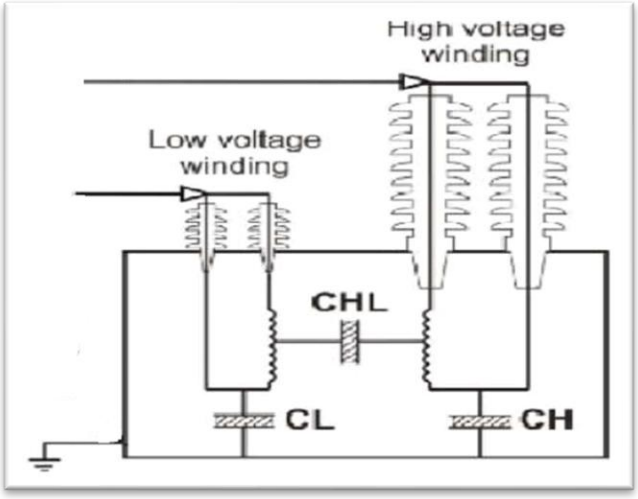
לאור כל האמור, על מנת לקבל בדיקה אמינה המשקפת את מצב הבידוד יש לבצע את השלבים הבאים לפני חיבור המבדקה:

1. לבודד את השנאי ע"י ניתוק כל כבלי המתח הנמוך והגבוה.
2. לבצע ניקיון של המגעים והמבדדים.
3. לרשום את טמפרטורת השמן, ושאר תנאי הבדיקה.
4. לוודא כי המיכל מוארק כראוי (רציפות הארקה).

הבדיקה מבוצעת ע"י קיצור חשמלי בין כל הדקי המתח הגבוה (HV) והדקי המתח הנמוך (LV). סכימת בדיקה לשנאי חד פאזי מתוארת באיור 40 ותלת פאזי באיור 42 .

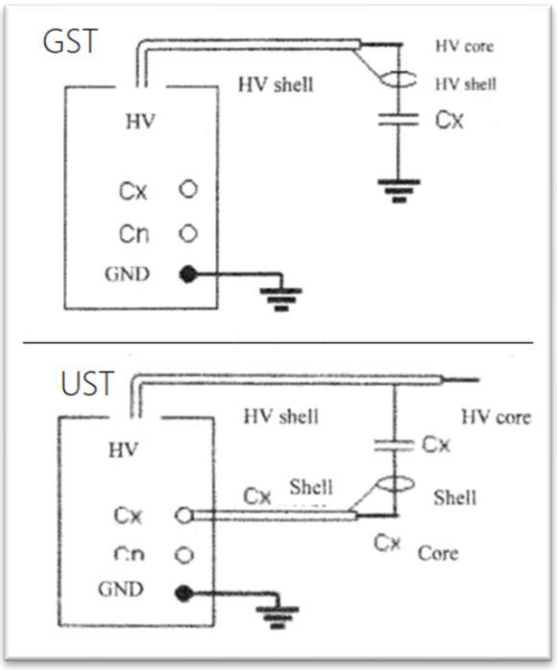
טבלה 1 מתארת את סט הבדיקות עבור כל אזור בשנאי כאשר:

- C_H – האזור בין סלילי מתח גבוה למיכל
- C_L – האזור בין סלילי מתח נמוך למיכל
- C_{HL} – האזור בין סלילי מתח גבוה למתח נמוך.



איור 40: איזורי בדיקת בידוד טנגנס דלתא וקיבול בשנאי

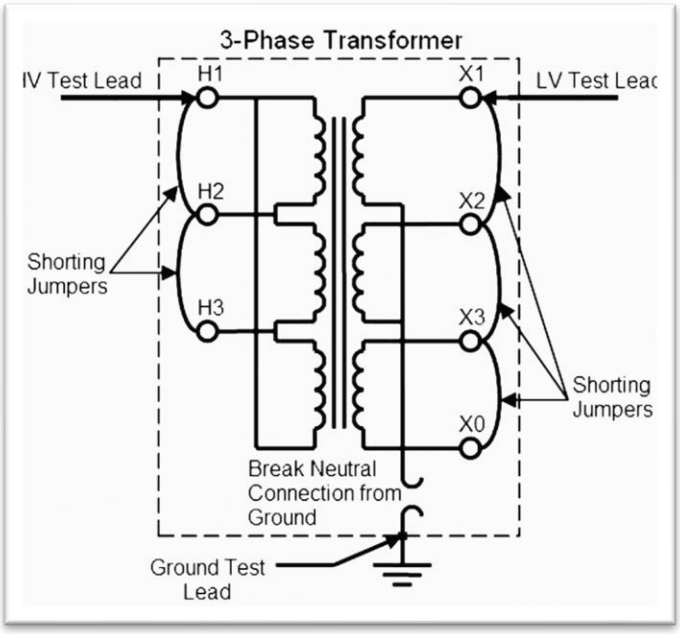
- מצב GST/UST הינו אופן הבדיקה במבדקת טנגנס דלתא ומתואר באיור 41.
  - GST-Ground Specimen Test – בדיקה בין הדק מתח גבוה להארקה.
  - UST-Ungrounded Specimen Test- הבדיקה בין שני הדקי הקיבול הנמדד



איור 41: שני מצבי בדיקת קיבול וטנגנס דלתא:

על-ידי מספר מדידות ניתן לחשב את הקיבול וערכי טנגנס דלתא עבור כל אזור. עבור קיבול החישוב הוא אריתמטי, עבור טנגנס דלתא החישוב הוא וקטורי.

על מנת לקבל תוצאות איכותיות, יש לנרמל את הערכים ל-20 מעלות על פי גרף התאמה, אם קיים או להשוות לתוצאות קודמות עבור אותו שנאי (למשל תוצאות שנקבעו בהתקנה או במפעל הייצור) או עבור ערכים מקובלים לשנאים מאוכלוסיה דומה. כאמור יש להצליב מידע מבדיקה זו עם בדיקות בידוד אחרות בשנאי.



איור 42 : הכנת שנאי תלת פאזי לבדיקת טנגנס דלתא וקיבוליות

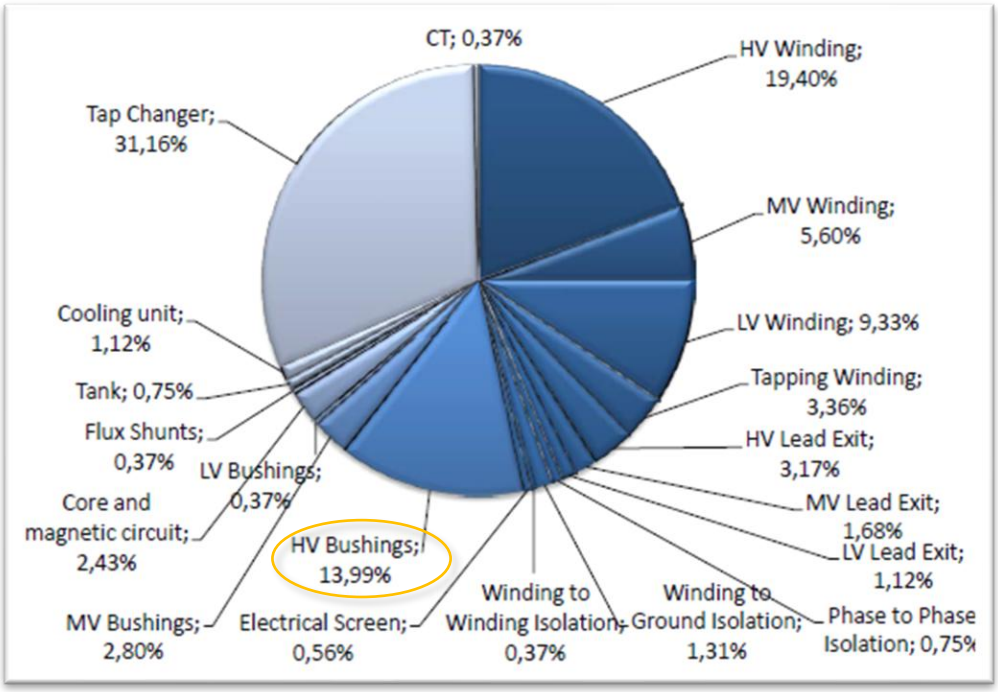
טבלה 1: סט בדיקות טנגנס דלתא וקיבוליות לשנאי

Zones	Shorted Terminals	Gnd	Cx	HV	U, kV	Mode	N
C_H+C_{HL}	HV,LV	LV		HV	10	GST	1
C_{HL}	HV,LV	Tank	LV	HV	10	UST	2
C_H+C_L	HV+LV	Tank		HV	10	GST	3
C_L+C_{HL}	HV.LV	HV		LV	10	GST	4

4. מדידת טנגנס דלתא וקיבול למבדדי מתח גבוה

תקלות במבדדי מתח גבוה (HV Bushings) אחראיות לאחוזים נכבדים (כ-14%) מתוך סך כל התקלות בשנאי, כמתואר באיור 43 והנזק העלול להיגרם מתקלות אלו הוא עצום: אחוז זה עולה ל-30% מסך התקלות החמורות שגרמו לשריפה או פיצוץ בשנאי.

מכאן חשיבות בדיקת וניטור איכות הבידוד במבדדי מתח גבוה.



איור 43: התפלגות תקלות בשנאי תחמ"ש - מבדדים אחראים ל-14%

בדיקות בידוד למבדדי מתח גבוה נעשות בין המגעים למחבר המדידה במבדד (Tap). הבדיקה מבוצעת בין מגע מתח גבוה לבין מחבר המדידה ובין המחבר המדידה למיכל המוארק לפי המתואר בטבלה 2.

טבלה 2: סט בדיקות טנגנס דלתא וקיבוליות למבדדי מתח גבוה

Zones	Shorted Terminals	Gnd	Cx	HV	U, kV	Mode	N
C_1U			Tap	HV	10	UST	5
C_1V			**Tap**	**HV**	**10**	**UST**	**6**
C_1W			Tap	HV	10	UST	7
C_1N			**Tap**	**HV**	**10**	**UST**	**8**
C_2U	HV+Gnd	Tank		Tap	1	GST	9
C_2V	**HV+Gnd**	**Tank**		**Tap**	**1**	**GST**	**10**
C_2W	HV+Gnd	Tank		Tap	1	GST	11
C_2N	**HV+Gnd**	**Tank**		**Tap**	**1**	**GST**	**12**

5. ערכים אופייניים לטנגנס דלתא וקיבול למבדדי מתח גבוה

בטבלה 3 מצוינים ערכים אופייניים למבדדי מתח גבוה. כאמור, ערכים אלו יכולים להשתנות, לעיתים בצורה מהותית ביותר. רצוי הרבה יותר להשוות תוצאות לתוצאות קודמות או לנתוני היצרן על מנת לקבוע האם מצב הבידוד יציב או מתדרדר.

טבלה 3: ערכים ממוצעים למבדדי מתח גבוה

מתח נקוב [kV]	קיבול [pF]	טנגנס דלתא [%]
400	460-480	0.3-0.6
220	380-400	0.3-0.6
132	350-380	0.3-0.6
66	225-250	0.2-0.4
36	260-280	0.1-0.4

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

2. בדיקות תרמוגרפיה למחברי השנאי (באדיבות מהנדס חשמל פז רוט)

מבוא

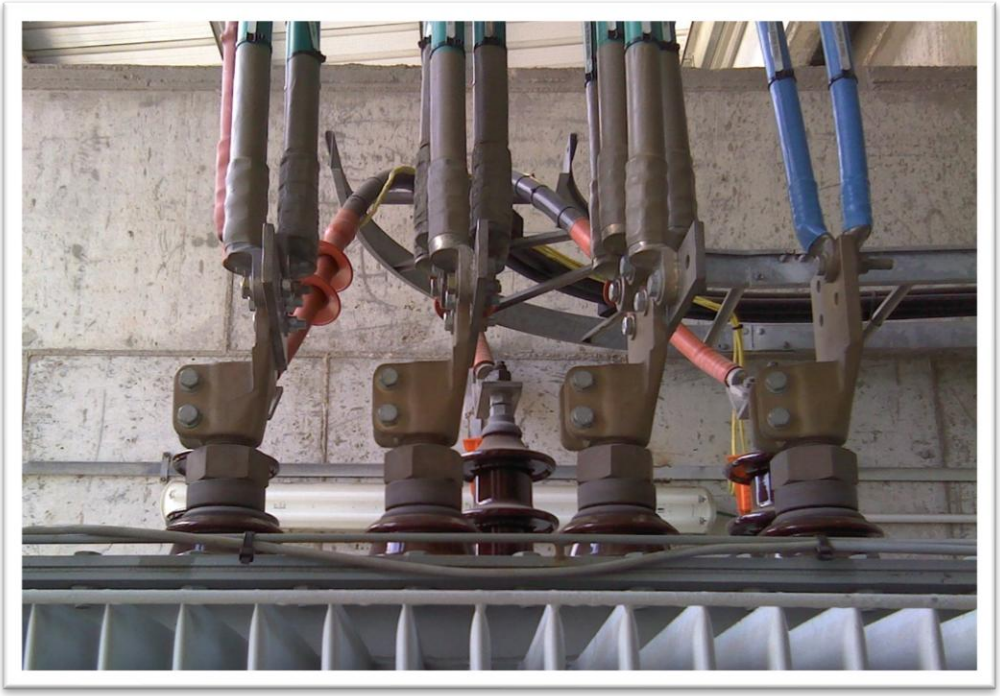
סריקה תרמוגרפית היא בדיקה היכולה לאתר תקלות הקשורות להתחממות מחברי הכבלים כתוצאה מבידוד רופף או קיום נקודה חמה משמעותית בסלילי השנאי. לצורך הבדיקה נדרשת מצלמה יעודית הממפה בעזרת רגש אינפא-אדום את קרינת החום לצבע המייצג טמפרטורה. פענוח הסריקה נעשה לאור נתוני הסביבה של השנאי והעומס המופעל עליו על-מנת להגיע להמלצה נכונה לטיפול.

אחת הבעיות הנפוצות בשנאים הקשורה להתחממות חיצוהית נמצאת במגעי המתח הנמוך. מגעים אלו מעבירים זרם רב ועל כן כל הצרה בשטח החתך של המגע יוצרת נקודה חמה מקומית, מיקרו-קשתות עד כדי התפחמות. באיזורים אלו נמצאים גם אטמי מבודדי המתח הנמוך, ובטמפרטורות גבוהות אטמים אלו מתקשים ואיכות האיטום לשמן נפגמת. כתוצאה מכך עלולות להיווצר גם נזילות שמן מאטמי המתח הנמוך.

מנסיוננו, יש שכיחות גבוהה לנזילות הנוצרות בשנאי מאיזורים אלו, ועל כן בדיקה תרמוגרפית של מגעי המתח הנמוך יכולה לאתר תקלה לפני שהיא מתפתחת לידי נזילת שמן.

בדיקה תרמוגרפית ואופן פתרון בעיות נקודות חמות במחברים

בצילום 4 מופיעים מחברי מתח נמוך בשנאי בצילום אופטי רגיל:



צילום 4: מחברי שנאי ייצור בצילום רגיל

אך בצילום תרמוגרפי המופיע בצילום 5, מתגלה כי המחברים חמים מאד – כמעט 90 מעלות

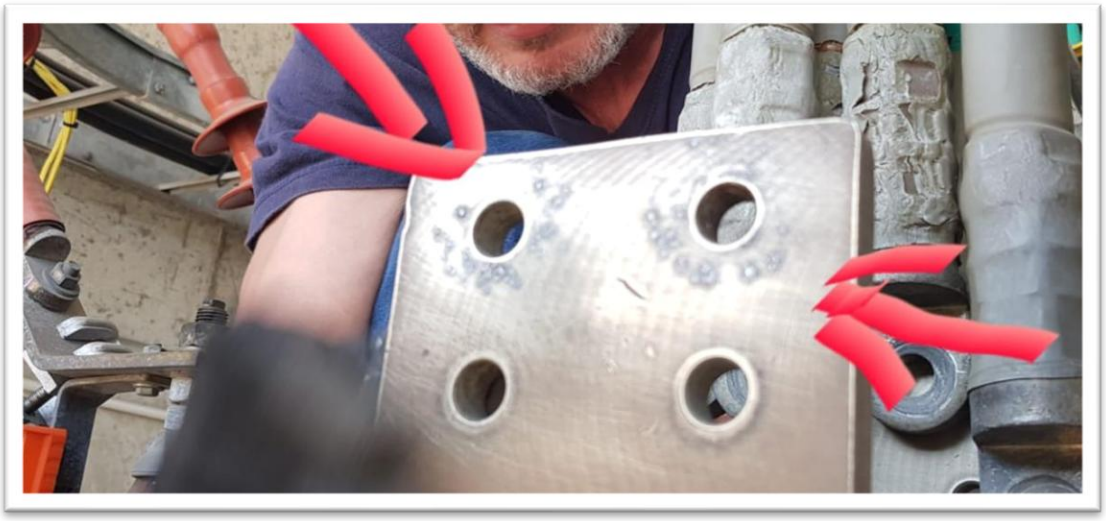


-

צילום 5: צילום תרמוגרפי של מחברי מתח נמוך

בצילום נראה סולם אינדקס טמפרטורה מצד ימין. ערך הטמפרטורה המופיע למעלה משמאל: 88.9 מעלות מצביע על הטמפרטורה המקסימלית בצילום – במיקום הצלב. שימו לב כי מחבר האפס, המוליך מעט מאד זרם, מצד ימין, קריר לחלוטין ואילו מחברי הפאזות המוליכים ערכי זרם גבוהים – חמים מאד. מאחור ניתן לראות גם את מחברי מתח גבוה, שגם הם מוליכים זרם נמוך כמובן, ועל-כן חמים הרבה פחות.

בפתיחת מחברי המתח הנמוך החמים, התגלתה בעית השורש ותוצאותיה: חיבורי השנאי היו מחוספסים, וכתוצאה מכך נוצרו מיקרו-קשתות שגרמו לחום ולהתפחמויות כפי שמופיע בצילום 5

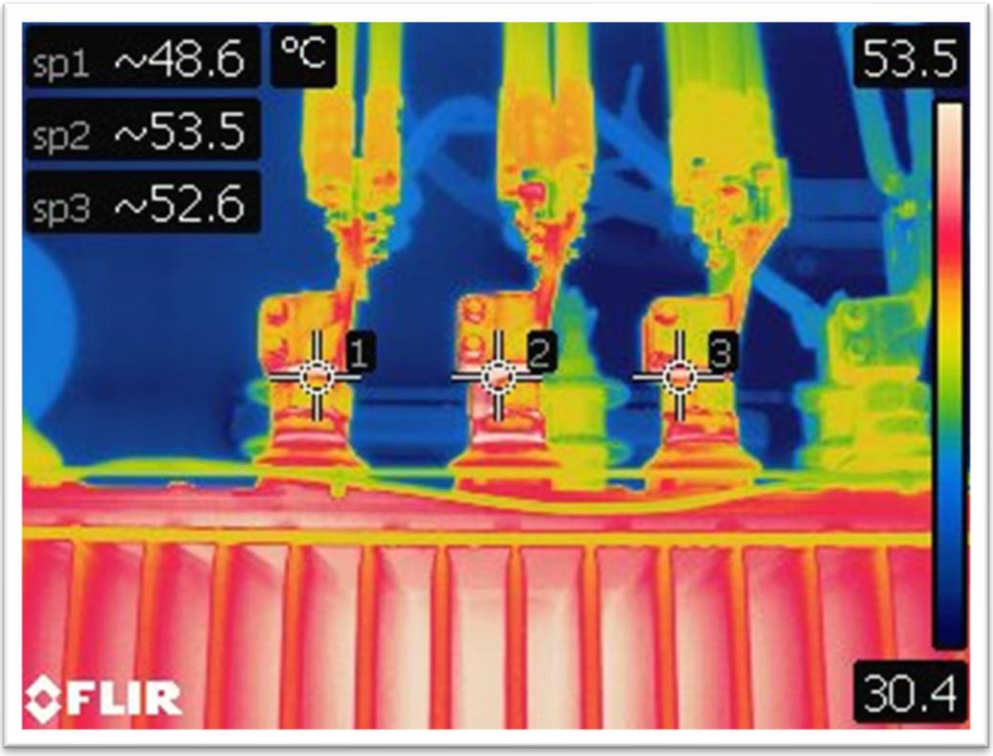


צילום 6: נקודות התפחמות כתוצאה מחימום יתר

טיפול בנקודות חמות על מחברי השנאי

אחד הטיפולים הפשוטים היא ליטוש שני המשטחים הרלוונטיים במחבר (מצד השנאי ומצד הכבל) ומריחת שכבה דקה של גריז תרמי בין שני המשטחים המלוטשים.

לאחר סגירת המחברים, הידוק הברגים לפי מומנט והפעלת השנאי, נבדקו המחברים שוב בתצלום תרמוגרפי, תחת אותם תנאי עומס – ההבדל בטמפרטורת עצום: כ-35 מעלות צלסיוס כפי שמופיע בצילום 7



צילום 7: צילום תרמוגרפי לאחר טיפול

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

3. בדיקות למחליפי דרגות מקוונים (OLTC)

מבוא

בשנאים גדולים או שנאי ייצור מיוחדים, קיים מחליף דרגות מקוון המאפשר שינוי יחסי השנאה תוך כדי פעולת השנאי. בשנאי תחנת משנה המחליף מאפשר להתאים את יחס ההשנאה כדי לפצות על שינויים בעומס. בשנאי תהליך משתמשים לעיתים במחליף דרגות מקוון על מנת לשנות את הטמפרטורה בתנור או ברכיב עומס אחר.

מחליף-דרגות מקוון (OLTC-On Line Tap Changer) הינו חלק קריטי בשנאים בהם הוא קיים – הוא החלק היחיד בשנאי המכיל חלקים נעים. במחליף דרגות מקוון מעל 300 רכיבים. הטיפול בו דורש מקצועיות ייעודית והסמכה.

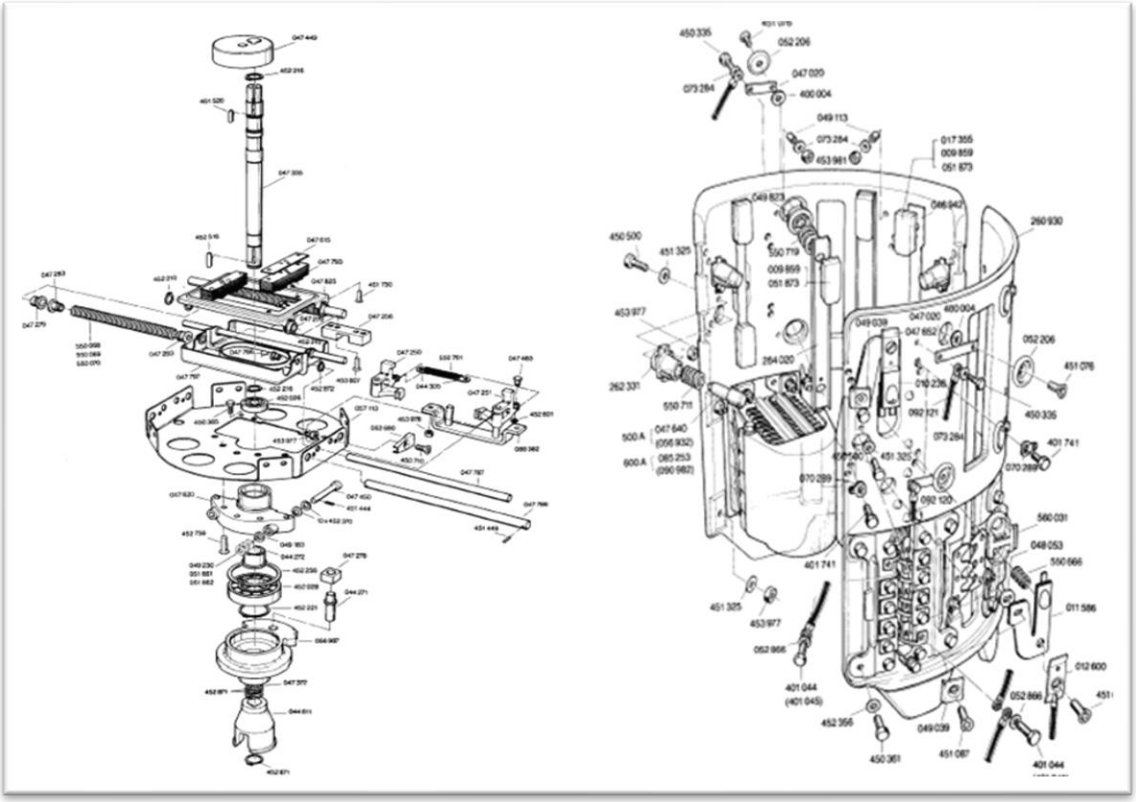
למחליף דרגות מקוון שלושה חלקים עיקריים, שכל אחד מהם מכיל רכיבים רבים:

- מתג הסחה (Diverter Switch): חלק זה מכיל סט מגעים נעים בתוך מיכל שמן. כל תנועה שלהם מחברת ומנתקת סט סנפים היוצאים מהשנאי ובכך משנה את יחסי ההשנאה בשנאי. פעולה זו מורכבת מאד שכן היא מתבצעת תחת מתח ועל כן ישנה מערכת שלמה של מזעור הקשת וכיבויה במהלך פעולת המיתוג.
- מערכת הסנפים – מערכת סטטית הנמצאת מתחת למתג ההסחה.
- מערכת מנוע מבוקר (MCU-Motor Control Unit) – מנוע מניע את מתג ההסחה. מערכת בקרה מונה את מספר הפעולות ומאפשרת מעבר חשמלי או ידני של מחליף הדרגות.

מחליף דרגות מקוון מאפשר שינוי יחסי השנאה תחת מתח. רכיב זה הינו קריטי בפעולת השנאי והיחיד בשנאי המכיל חלקים נעים.

סיבוכיות מחליף הדרגות המקוון תורמת ישירות לכך שהוא הרכיב האחראי למירב התקלות בשנאים גדולים (ראה איור 43), כ-30%. מכאן נובעות מספר הנחיות יצרן לגבי המעקב והטיפול בו. בין היתר: מספר הפעולות בין טיפול לטיפול, בדיקה תקופתית של איכות הבידוד של שמן תא מחליף הדרגות, ומערכות הגנה ייעודיות למערכת זו כגון ממסר גזים נפרד ומערכת בקרה אלקטרונית.

אחוז התקלות הנובעות ממחליף דרגות בשנאים גדולים הוא הגבוה ביותר, כ-30% - על כן חשוב מאד לעקוב ולטפל ברכיב זה.



איור 44: חלקי מחליף דרגות: משמאל, מערכת אגירת אנרגיה, מימין: מערכת שינוי מיתוג

סוגי מחליפי דרגות

מחליפי הדרגות מתחלקים לשני סוגים עיקריים:

- מחליפי דרגות בשמן, כיבוי הקשת נעשה בשמן שנאים. כתוצאה מכך, השמן סופג את הקשתות הנוצרות במהלך המיתוג וחשיבות איכות הבידוד שלו גבוהה.

- מחליפי דרגות בוואקום -כיבוי הקשת נעשה בתא וואקום. כיבוי הקשת בוואקום יעיל בהרבה מאשר במחליף דרגות בשמן. כתוצאה מכך, אורך החיים של מחליפי דרגות בוואקום הינו יותר מכפול מזה של מחליפי דרגות בשמן, והמגמה העולמית היא לעבור למחליף דרגות בוואקום.

גם מרווח הטיפולים במחליף דרגות בוואקום הינו כפול מזה של מחליף דרגות בשמן.

מחליפי דרגות בוואקום הינם תואמים פיזית במדויק למחליפי דרגות בשמן, כך שהמעבר בין מחליף דרגות בשמן למחליף דרגות בוואקום מצריך פעולה פשוטה יחסית של שליפת המחליף הקיים והכנסת מחליף דרגות בוואקום.

ישנם גם מחליפי דרגות מיוחדים לשנאים יבשים אך הם נדירים יותר בארץ.



איור 45: סוגי מחליפי דרגות

הבדיקות והטיפולים במחליפי דרגות כוללים:

- ריקון השמן (והחלפתו), שליפת מחליף הדרגות באמצעות ציוד הרמה ייעודי והורדתו לעמדת טיפול ייעודית.
- בדיקת מערכת טעינת האנרגיה, מערכת ההעברה ומערכת החיבור והניתוק, והחלפת חלקים שחוקים לפי הצורך. ניקיון יסודי כללי של כל מערכת ובדיקה ויזואלית יסודית לגילוי חלקים בלויים.
- בדיקת איכות המגעים (במחליפי דרגות בשמן) והחלפתם לפי הצורך.
- בדיקה חשמלית סטטית של מוליכות המגעים ונגדי ההעברה.
- בדיקה חשמלית דינמית של רציפות ההעברה.
- ניקיון יסודי של מיכל המחליף, מגעים, ממסרים מכניים, מפרקים וזרועות.
- בדיקות לאחר התקנה חזרה של התנגדות סלילים, MCU, פיקוד ובקרה ועוד.

בדיקה וטיפול במחליף דרגות דורשת מקצועיות, מיומנות וניסיון. מחליף הדרגות הינו חלק קריטי בשנאי ועל כן קיים סט הוראות יצרן ייעודיות לו.

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd



איור 46: טיפול במחליף דרגות באתר השנאי

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

4. טיפולים לשנאי תחמ"ש

שנאי תחנות משנה (תחמ"ש), הם שנאים קריטיים בהגדרתם, והטיפול בהם ובציוד ההקפי בתחנות אלו (מפסקים, מנתקים, כבלים וכו') חשובים מאד. ריכזנו כאן רשימת בדיקות וטיפולים **מינימלית** לטיפול בשנאי תחמ"ש

בדיקות לשנאי תחמ"ש

בדיקות ויזואליות:

- סימני בלאי: מכות ברדיאטורים, שלמות חרסינות
- נזילות.
- נקודות חלודה, פגמים בצבע.
- טיב חיבורים בשנאי
- בדיקה ויזואלית של בוכהולץ, מדי גובה שמן ומדי טמפרטורה.
- מצב בידוד כבלים וראשי כבל.

דגום ובדיקות שמן (במידה ולא בוצע):

- בדיקת מתח פריצה לפי תקן ASTM-D1816 לבדיקת לחות בשמן במיכל ראשי ומיכל מחליף דרגות
- בדיקת גזים מומסים בשמן לפי תקן ASTM-D3612 לאיתור תקלות בשנאי במיכל ראשי
- לפי הצורך: בדיקת פוראנים בשמן לפי תקן ASTM-D5853 לבדיקת מידת ההרס בבידוד המוצק.
- דיגום באתר השנאי, אנליזה, המלצה ושמירת דוחו"ת באתר מאובטח.

בדיקות חשמליות:

- בדיקת יחסי השנאה עבור כל מצב מחליף דרגות (לפי הצורך) או בדיקת התנגדות סלילים
- בדיקת טנגנס דלתא
- בדיקת הגנות שנאי: בוכהולץ, התראות והגנות טמפ'

1. מפסקי זרם:

1.1. בדיקות ויזואליות:

- שלמות מפסק ואביזריו, העדר דליפות שמן, גז וחנקן
- בדיקת רמת שמן

1.2. בדיקות :

- בדיקת לחץ גז במנומטר
- בדיקת רמת שמן
- בדיקת פעולת גופי חימום בארון בקרה
- בדיקת לחץ איתחול של החנקן
- בדיקת לחץ שמן ע"י קריאת מנומטר
- בדיקת פעולת משאבת שמן
- בדיקת העדר חלודה על כל מרכיבי המפסק
- בדיקת העדר חלודה על גליל אגירה הידראולי (במידה ורלוונטי)
- בדיקת חופשים בסליל חיבור וניתוק
- בדיקת לחץ פתיחה וסגירה של שסתום בטחון

- בדיקת התנגדות מגעים ראשיים
- בדיקת איכות גז (נקודת טל, ריכוז אויר, תוצרי לוואי)
- בדיקת מגעי עזר ונקיונם

1.3. טיפולים במפסק

- ניקוי מאבק ולכלוך של מבודדים
- הידוק ברגי בסיס מפסק
- ניקוי ארון בקרה

2. טיפולים:

2.1. חיזוק מומנט:

- חיזוק ברגים וגירוז על כל מחברי הכבלים בצד KV161 לפי טבלת מומנטים. דגש מיוחד על חיזוקי כבלי הרשת.
- חיזוק ברגים לפי מומנט וגירוז של חיבורים לשנאי
- חיזוק ברגים לפי מומנט וגירוז לפי הצורך בשנאי צד מתח נמוך.
- חיזוק לפי מומנט, ניקוי וגירוז הארקות בכל התחנה כולל גדרות סובבות.

2.2. טיפול בלוחות מקומיים:

- חיזוק של כל ברגיי האביזרים החשמליים בלוחות המקומיים.
- ניקוי פנימי וחיצוני של הלוחות המקומיים.
- ניקוי שנאי, ניקוי קורוזיה ותיקוני צבע בהתזה לפי הצורך.
- קשירת כבלים לפי הצורך.

2.3. החלפת סיליקה ג'ל בנשם לפי הצורך.

2.4. טיפול במפסקי מתח עליון כולל:

- טיפול במפסקים כולל: פתיחה וסגירה של המפסק מלוח מקומי ודרך המערכת המרוחקת לבצע שלושה מחזורים מכל סוג עבור כל מפסק.
- הפעלה של מנתקים כולל: פתיחה וסגירה של המנתק מלוח מקומי ודרך המערכת המרוחקת לבצע שלושה מחזורים מכל סוג עבור כל מנתק.
- הפעלה של מקצרי הארקה אוטומטיים כולל: פתיחה וסגירה של מקצרי ההארקה מלוח מקומי ודרך המערכת המרוחקת לבצע שלושה מחזורים מכל סוג עבור כל מקצר.
- חיזוק ברגיי מבנה ומגעים: הידוק ברגים לפי מומנט, ניקוי קורוזיה וצביעה, ניקיון מלא למבודדים. עבור מבודדים יש להשתמש במים בלבד.
- טיפול בלוחות מקומיים של מפסקים כולל: הידוק ברגים לפי מומנט, ניקוי הלוח פנימי וחיצוני, ניקוי קורוזיה וצבע, בדיקת מגעי עזר.

2.5. טיפול במשני זרם 161 ק"ו כולל:

- חיזוק ברגים לפי מומנט בלוחות המדידה.
- הידוק ברגים לפי מומנט, ניקוי קורוזיה וצביעה, ניקיון מלא למבודדים .
- בדיקת תקינות יחס השנאה

2.6. טיפול במשני מתח 161 ק"ו כולל:

- חיזוק ברגים לפי מומנט בלוחות המדידה.
- הידוק ברגים לפי מומנט, ניקוי קורוזיה וצביעה, ניקיון מלא למבודדים .

2.7. טיפול במוטות הארקה כולל:

- בדיקה וגירוז מגעים

2.8. טיפול במנתקים כולל:

- בדיקה וגירוז מגעים

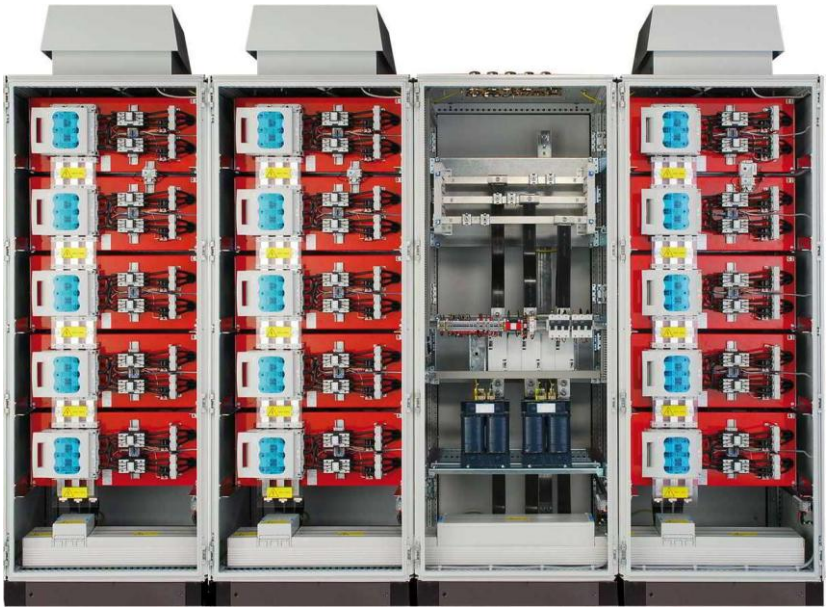
2.9. **כללי:**

- נקיון התחנה
- תיקוני צבע לפי הצורך
- קטילת עשבים שוטים עם חומר כולל פינוי
- ניקוי וציפוי הארקות מחדש לפי הצורך
- בדיקת תאורה כולל הפעלה מקומית והפעלה אוטומטית אם קיימת

3. תיעוד:

- רישום/צילום שלט השנאי + סימון לקוח.
- רישום מצב החלפות במחליף דרגות.
- תיעוד תקלות, אנליזה והמלצה.
- הפקת דוחו"ת חתומים כולל שמירה באתר מאובטח.

חלק 5 – אחזקה מונעת למסדרי מ"נ ומ"ג



טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

תוכן עניינים

1. הבידוד בארונות מתח גבוה ומתח נמוך 106
2. הגורמים המרכזיים לקריסת הבידוד בארונות: 106
3. חום יתר בארונות חשמל 107
4. שיטת הטיפול בלוחות חשמל ושנאים בעזרת CO_2 109

מהו ניקוי CO_2 (קרח יבש) 109

יתרונות ניקוי ב- CO_2 לשנאים 109

יתרונות ניקוי ב- CO_2 ללוחות חשמל 110

חשיבות המיומנות והמקצועיות בניקוי בעזרת לחץ קרח יבש 110

5. בדיקות תרמוגרפיות לאיתור נקודות חמות בארונות 111
6. בדיקות לחדרי חשמל ומסדרים 112

רשימת איורים

איור 46: קורוזיה בארון חשמל 108
איור 47: עקרון פעולה של קרח יבש 109
איור 48 צילום תרמוגרפי של מגעים המצביע על נקודות חמות יחסית 111
איור 49: דו"ח בדיקות חדר חשמל 113

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

1. הבידוד בארונות מתח גבוה ומתח נמוך

תקציר

חלק זה מתאר את מרכיבי הבידוד במעגלי החשמל בארונות החשמל, ואת הגורמים המשפיעים על קריסת הבידוד בארונות

במוליכי החשמל בארונות מתח נמוך קיימים זרמים גבוהים (אלפי אמפר) המצריכים מוליכים בעלי חתך רחב.
במוליכי החשמל בארונות מתח גבוה קיימים מתחים גבוהים (עשרות אלפי וולט) המצריכים איכות בידוד גבוהה.

בתוך הארונות נמצאים מספר סוגי בידוד:

- **מוליכים מבודדים**: ציפוי של המוליך בחומר מבודד – בדרך כלל סוגי פלסטיק שונים.
- **מוליכים לא מבודדים**: מרחק פיזי בין המוליכים, כאשר האוויר משמש כמבודד.
- **בתוך מפסקים**: שימוש בשיטות מיוחדות לבידוד כגון וואקום או גז מיוחד (SF6) היוצרים בידוד טוב יותר מאוויר בנוסף לכיבוי הקשת הנוצרת בין מגעי המפסק בעת המיתוג.

לכן:

האויב הגדול של מעגלי החשמל בארונות הוא **קריסת הבידוד בין המוליכים (קצר חשמלי)**

קריסת הבידוד בארונות החשמל היא **הגורם מספר אחד לשריפות ותקלות בארונות**

הבידוד בארונות הוא **החוליה החלשה**, **ולכן שמירה על הבידוד היא הפעולה החשובה ביותר בטיפול בארונות חשמל**

---

2. הגורמים המרכזיים לקריסת הבידוד בארונות:

- **חדירת בעלי חיים לארונות**: מטבע הקיום והפעולה של ארונות חשמל, הם חמימים, יבשים וסגורים מהסביבה. על כן הם מהווים מקום מסתור אידאלי לבעלי חיים.

לכן, נחשים, ציפורים, מכרסמים וכדומה **נמשכים לארונות חשמל שאינם אטומים**, ומכאן מהווים גורם סכנה גדול ליצירת קצר חשמלי (קריסת הבידוד).

חברות הביטוח לא מכסות נזקים הנגרמים כתוצאה מארונות חשמל שאינם אטומים לכניסת בעלי חיים



תמונה 2: קריסת בידוד בארון חשמל לא אטום כתוצאה מחדירת נחש

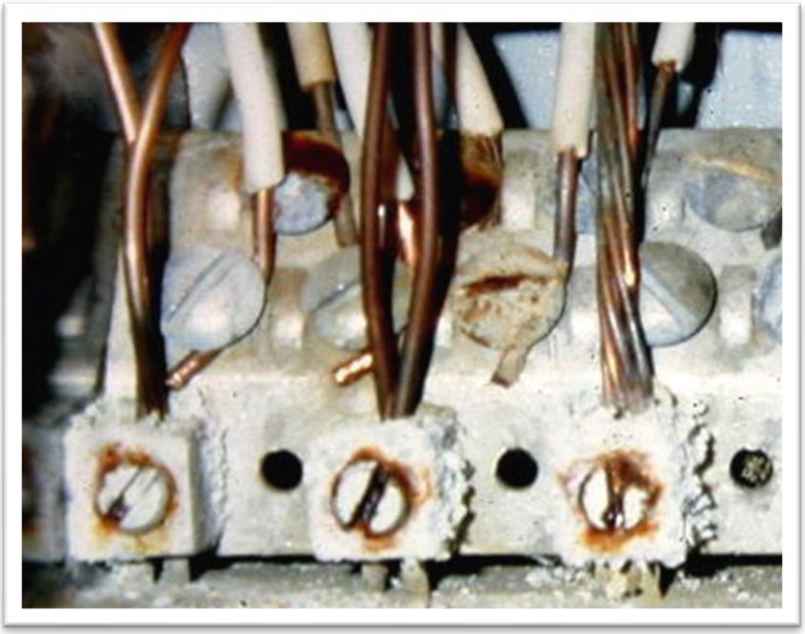
אטימת ארונות חשמל בצורה מיטבית המונעת כניסת בעלי חיים עשויה מעלה במידה רבה את הבטחון מיצירת קצר רב עוצמה ומהווה תנאי יסוד בפוליסת ביטוח נזקי שריפות כתוצאה מקצר חשמלי.

טיפ: בכל ארון חשמל, כדאי לשים רעל נגד מכרסמים, שיהיה מגן אחרון נגד קריסת הבידוד מבעלי חיים

3. חום יתר בארונות חשמל

מעבר לקריסת הבידוד כתוצאה מקצר חשמלי, שריפות בארונות חשמל יכולות להיגרם כתוצאה מנקודות חמות. הסיבות לנקודות חמות במוליכי החשמל בארונות יכולות להיות:

- **קשתות/ניצוצות**: מחברים/ברגים רופפים במתח גבוה עלולים ליצור ניצוצות רגעיים או קשתות שמצידם יוצרות חום רב מאד שעלול להתיך את המוליך ולהעלות באש את הארון.
- **אבק/ ליכלוך**: אבק ולכלוך מוליכים טוב יותר מאויר והמצאותם בין מוליכי מתח גבוה מורידה את רמת הבידוד ומעלה את החום בארון כתוצאה מיצירת שמיכה מבודדת סביב המוליך.
- **לחות ואוקסידציה (חימצון)**: לחות בארונות כתוצאה מקרבה לים או בסביבה קורוזיבית כתוצאה מהמצאות כימיכלים תוקפים באויר במפעל, עלולה לפגוע במוליך, להוריד משטח החתך האפקטיבי שלו ומכאן להעלות את ההתנגדות של המוליך ולכן את הטמפרטורה שלו.



איור 47: קורוזיה בארון חשמל

קשתות הנוצרות כתוצאה ממחברים רופפים או קורוזיה שחדרה אליהם מורידים את חתך המוליך, גורמים להתחממותו ועשויים לגרום לשריפה.

4. שיטת הטיפול בלוחות חשמל ושנאים בעזרת CO_2

תקציר

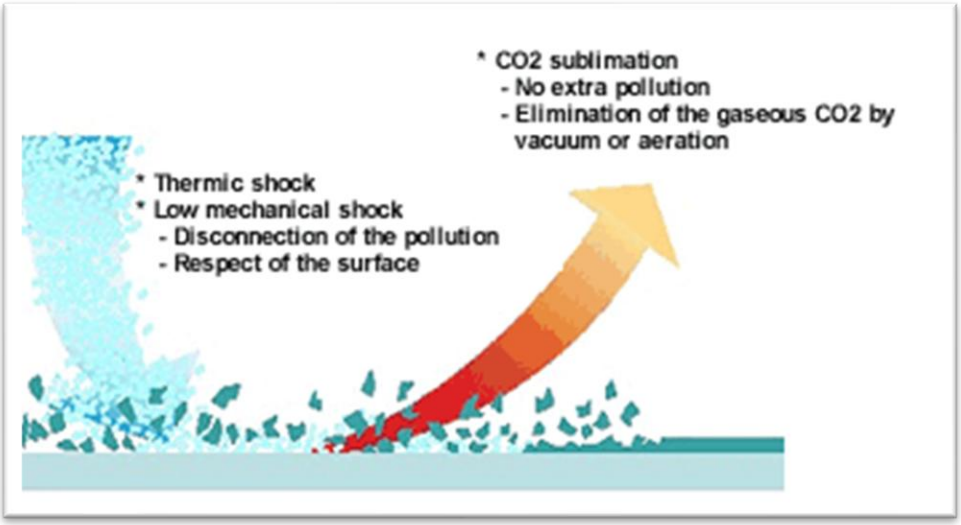
בחלק זה נתאר את שיטת הפעולה של ניקוי בעזרת קרח יבש ויתרונותיה על פני שיטות אחרות.

5. מהו ניקוי CO2 (קרח יבש)

- התזה של חלקיקי קרח יבש (pellets) בלחץ רב על האיזור המטופל.
- הקרח היבש יוצר קור רגעי קיצוני על המשטח המטופל.
- כתוצאה מכך נוצר **גל-הלם תרמי** ללא הפעלת כח מכני, הגורם לשיחרור והתפוררות מיידית של המזהמים מפני המשטח.
- לחץ האויר הנלווה מפנה את המזהמים מהמשטח המטופל תוך כדי כך שהמשטח לא עובר כל זעזוע מכני.

התוצאה – ניתן לנקות ביעילות גם מתקנים שאי אפשר לגשת אליהם עם סמרטוט וביעילות גבוהה בהרבה מזו של אויר דחוס בלבד.

גל הלם תרמי ללא כוח מכני משחרר במהירות וביסודיות את המזהם מעל המשטח המטופל



איור 48: עקרון פעולה של קרח יבש

6. יתרונות ניקוי ב- CO2 לשנאים

- ניקוי יסודי של כל חלקי השנאי מעלה את כושר הקירור של הצלעות.

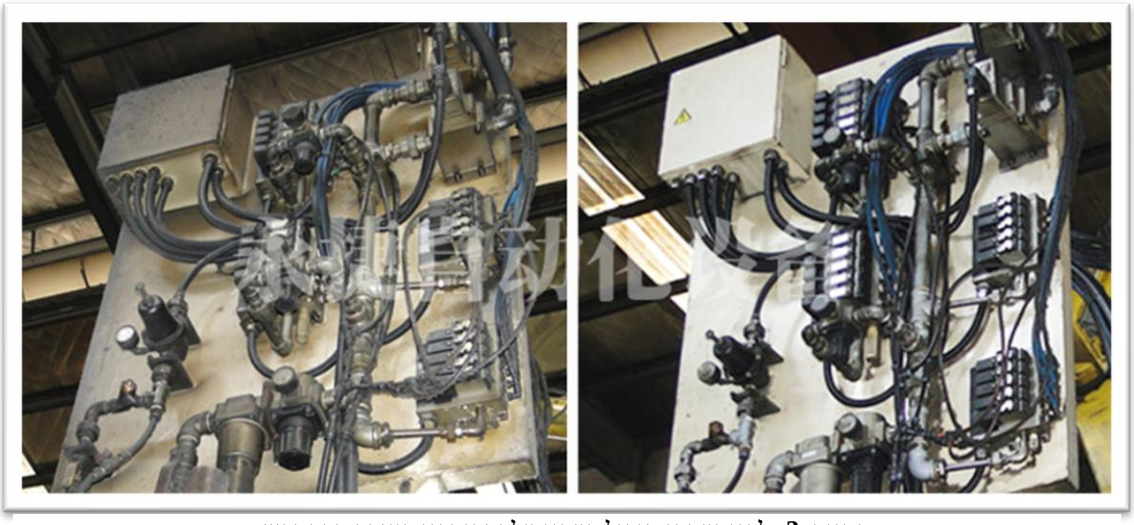
- מסיר נקודות חלודה וצבע מתקלף ביעילות.
- אינו פוגע באטמים.
- מאפשר איתור נזילות יעיל ומהיר.

מקטין משמעותית את זמן הורדת המתח בשנאי ומכאן את זמן השהיית העבודה.

7. יתרונות ניקוי ב- CO2 ללוחות חשמל

- ניתן לנקות לוחות מ"נ גם תחת מתח.
- ניקוי יסודי ברמה שאינה אפשרית בדרך אחרת (קומפרסור וסמטוטי ניקוי)
- הליך יבש ללא חומרים כימיים.
- הטיפול כולל הוצאת מזיקים מלוחות החשמל (שאריות פגרים).
- מאריך את אורך חיי הלוחות, מקטין טמפ' עבודה של הלוחות ומקל על איתור תקלות.

ניקוי בקרח יבש – השיטה המהירה והיסודית ביותר לטיפול בלוחות חשמל וניקוי של שנאי מתח גבוה **והיחידה שניתן להשתמש בה גם תחת מתח בלוחות מ"נ**



תמונה 3: לפני ואחרי טיפול בארון אלקטרומכני בעזרת קרח יבש

8. חשיבות המיומנות והמקצועיות בניקוי בעזרת לחץ קרח יבש

ניקוי בקרח יבש מצריך מיומנות ומקצועיות בתפעול הלחץ בארונות חשמל ובשנאי שמן אטומים:

- חלקי האלקטרוניקה והחיווט הדק יכולים להנזק בקלות אם הלחץ גדול מדי. יש לווסת את הלחץ ולבחור פיה מתאימה על פי אופי המשטח המטופל.
- בשנאים אטומים בעלי רדיאטורים מתרחבים צלעות הקירור עשויות מפח דק במיוחד. במקרה ובצלעות הקירור קיימת חלודה, גם כאן הניקוי דורש מיומנות ומקצועיות על מנת למנוע מהלחץ הרב לפרוץ את החלודה ולייצר נזילה אקטיבית.

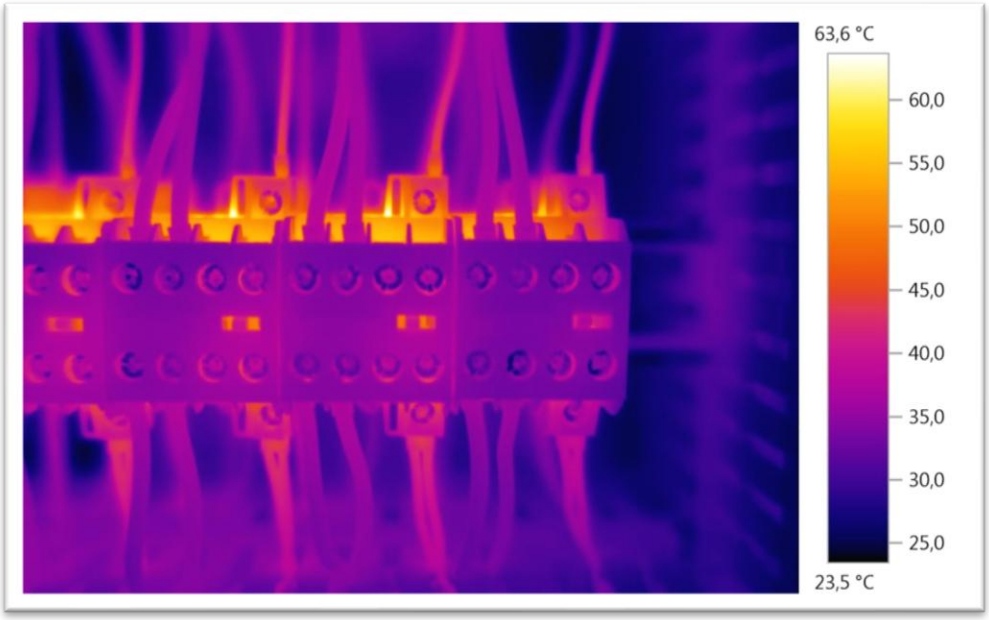
חשוב על כן כי הטיפול יעשה על ידי מקצוען מיומן, שכן הנזק יכול להיות רב מהתועלת במקרה ורכיבים אלו יינזקו כתוצאה מעודף לחץ אוויר.

ניקוי ב- CO_2 בתוך ארונות המכילים אלקטרוניקה וחיווט עדין וכן ניקוי של שנאים בעלי רדיאטורים מתרחבים דורש מיומנות ומקצועיות בוויסות הלחץ ובחירת הפיה על מנת למנוע נזק לחלקים עדינים אלו

---

9. בדיקות תרמוגרפיות לאיתור נקודות חמות בארונות

בעזרת מצלמות רגישות לאינפרא-אדום ניתן לצלם את הלוחות **כאשר הם פועלים**, ולאתר מיידית נקודות חמות המופיעות כאיזורים בהירים בצילומים התרמוגרפיים. מצלמות מתקדמות מראות על גבי המסך את הטמפרטורה הנרשמת בנקודה מסוימת.



איור 49 צילום תרמוגרפי של מגעים המצביע על נקודות חמות יחסית

10. בדיקות לחדרי חשמל ומסדרים

זמינות חדרי חשמל לאנשי התחזוקה והסכנה הנשקפת מקרבת האדם לחשמל הנמצא בחדר מחייבת על פי חוק החשמל קיום ובדיקה של מערכות ההגנה הבאות בחדר החשמל ובלוחות:

- מערכת הארקות למבנה וללוחות.
- בטיחות אש חדר החשמל והלוחות.
- קירור ואוורור חדר חשמל.
- בדיקות תקינות כבלים, נעלי כבלים ומעברי הכבלים.
- סימונים ושילוט לחדר החשמל וללוחות.
- בדיקות הפעלה לתאים ומפסקים.
- בדיקות התנגדות ללוחות.
- אטימות לבעלי חיים וניקיון חדר ולוח.

מדובר בעשרות בדיקות פרטניות המקובצות בחוק החשמל, והנעשות ע"י מהנדס בודק.

בדיקה כזו צריכה לכלול דו"ח הכולל:

- סטטוס כל בדיקה (תקין/לא תקין/ לא רלוונטי).
- ממצאים עיקריים הדורשים התייחסות מיידית.

בדיקת תקינות חדר חשמל ומסדרים כוללת עשרות בדיקות בטיחות ומטרתה לאתר ליקויים העלולים לפגוע באדם ובציוד החשמל

באיור הבא מובא חלק מדו"ח בדיקה לחדר חשמל הכולל מעל 60 בדיקות הנעשות כחלק מתוכנית הטיפולים הקבועה.

כמו שצריך!

תחנה י"ט

תאריך בדיקה: 6/12/2018
שם המבנה/מס' לוח: תחנה י"ט
שנאי מזין:
גודל חיבור:
כבל הזנה:
מספר תאים: 1
מקור הזנה:
הארקת יסוד: מבנה
מיקום פחפ: אחרי

ממצאים עיקריים:
בוצע חיתוך דופן הסולם כבלים ע"מ שיהיה אפשר לדגום שמן

סיווג	בדיקה	תקינות	הערות
סכימת חשמל	התאמה לוח לסכימה	תקין	
	תעודת בדיקת יצרן	תקין	
הארקות חדר חשמל	טבעת הארקות היקפית	תקין	
	חיבורי הארקות לכל הדלתות והארונות	תקין	
	חיבור הארקת דלת כניסה	תקין	
	חיבורים לטבעת הארקות היקפית בחדר	תקין	
	רציפות הארקות בין לוחות	תקין	
	חיבור הארקות לכל גוף מתכתי בחדר	תקין	
	הארקת סולמות	תקין	
	הארקת דלתות ציוד מ"נ במוליך 16 ממ"ר	תקין	
	הארקות מכסי מעברים	תקין	
	פס השוואת פוטנציאלים	תקין	
הארקות לוח חשמל	בורג נפרד לכל מוליך הארקה	תקין	
	הארקת מגיני מתח יתר	תקין	
	שטח חתך פס הארקה ראשי בלוח (120 ממ"ר)	תקין	
	הארקת שנאי זרם	תקין	
	מוליך הארקה חוצה שנאי זרם פעמיים	תקין	
	הארקת שנאי מתח	תקין	
	הארקת סיכוכי כבלים	תקין	
	הארקת מסד לוח	תקין	
בטיחות ואש חדר חשמל	המצאות ציוד חירום כפפות/טסטר/מוט חילוץ/מקצרים מטלטלים/שטיח בידוד	תקין	
	תאריך תפוגת ציוד בטיחות	תקין	
	לחצן חירום חיצוני למפסק ראשי	תקין	
	מע' גילוי אש בחדר	תקין	
	העדר חומרים דליקים בחדר	תקין	
	בידוד אש - עמידות חומרי בידוד באש	תקין	
	דלתות נפתחות החוצה ללא צורך במפתח מבפנים	תקין	
	לוח על משטח יציב, ומרחק מרווח לקיר מולו	תקין	
	אטימות החדר למים	תקין	
	תקינות שקעי שירות בחדר	תקין	
	תאורת חירום	תקין	
בטיחות ואש לוח חשמל	איטום לוח למניעת התפשטות אש	תקין	
	כיסוים למניעת נגיעה בחלקים חשופים	תקין	
	גילוי אש במסד הכבלים	תקין	
קירור ואיוורור חדר חשמל	פעולת מזגן/מאווררים	תקין	
	פתחי איוורור לא חסומים	תקין	
	גישה ללוח, אור ומיקום	תקין	
	מצב רפרפות בדלתות	תקין	
לוח: כבלים	היזוק חיבורי כבלים ומוליכים	תקין	
	זוויות קהה בכיפוף כבלים	תקין	
	כבלים על סולמות במסד הלוח	תקין	
	שלמות חיבורי כבלים/נעלי כבל	תקין	
	כניסת כבלים מוגנת	תקין	
סימון ושילוט חדר חשמל	שלט יציאה	תקין	
	שלטי אזהרה שילוט דלתות אזהרה	תקין	
	שילוט מוליכי הארקה	תקין	
סימון ושילוט לוח חשמל	שילוט מקורות הזנה	תקין	
	שילוט תאים	תקין	
	שילוט כבלים	תקין	
	שלוט אזהרה בהתאם לדרישות ותוכנית	תקין	
	נורות קיום מתח	תקין	
	שילוט בחריטה וקיבוע שילוט במסמרות/ברגים	תקין	
	שילוט מקור הזנה	תקין	
עמידות לבעלי חיים ונקיון חדר ולוח	איטום לבע"ח קיום מלכודות בחדר חשמל	תקין	
	איטום פתחים ודלתות לבע"ח	תקין	
	העדר גלגלי בע"ח	תקין	
	נקיון כללי מאבק ולכלוך בחדר חשמל	תקין	
	העדר ציוד לא רלוונטי לחדר חשמל	תקין	
	העדר חלודה, נקיון כללי מאבק/פיח/שיירי בע"ח בלוח	תקין	
פעולות תאים ומפסקים	פעולת שולבים	תקין	
	הפעלה מכנית של מפסקים ומנתקים	תקין	
	נעילת תאים	תקין	
	הזנת חירום למסרי הגנה	תקין	
	גובה אמצעי הפעלה	תקין	
	לחץ גז		
	התאמה לזרם קצר (כושר ניתוק)	תקין	

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

חלק 6 – שנאים חדשים: עקרונות בתכנון, בחירה והתקנה



חלק זה מתאר קווים מנחים ושיקולים בבחירת שנאי חדש או בהחלפת שנאי ישן בחדש.

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

תוכן עניינים

1. שיקולים תכנוניים בבחירת שנאים חדשים 116

חשיבות תכנון שנאי הספק מותאם במדויק לפרופיל העבודה, או איך חסכנו מאות אלפי דולרים ללקוח 118

איך תרמנו להעלאת אמינות אספקת מים מותפלים בישראל ע"י החלפת שנאי ראשי 63MVA "בחינם" 120

2. רמות הפסדים בשנאי חלוקה ותקן ישראלי להפסדי שנאי 50588..... 123

3. התקנת שנאי חלוקה חדשים 124.....

עשרת הדיברות בהתקנת שנאי שמן – או, איך לוודא ששנאי השמן שלכם יתחיל את חייו ברגל ימין 125

4. התקנת שנאי חלוקה יצוקים חדשים..... 128

4.1. הזזת השנאי 128

4.2. הרמת השנאי..... 128

4.3. אחסנה..... 128

4.4 בדיקות התקנת השנאי לפני הפעלתו 128

4.5 חשמול השנאי..... 129

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

1. שיקולים תכנוניים בבחירת שנאים חדשים

תקציר

חלק זה מתאר מספר שיקולים תכנוניים שעשויים לשפר מאד את ההתכנות הכלכלית של פרויקט בו כלול רכישת שנאים

רכישת שנאים חדשים הינה תהליך המכיל בתוכו לבד מהוצאה כספית גם שיקולים תכנוניים. הנדסיים. מכיוון ששנאי, בין אם שנאי הספק ובין אם שנאי חלוקה, הינו רכיב קריטי במערכת החשמל – שיקולים כלכליים חייבים להיות מלווים בשיקולים הנדסיים שכן אלו יכולים להשפיע מאד בהמשך הדרך על תקלות, יעילות אנרגטית ועוד.

כלל השיקולים בבחירת שנאי רחבים מדי על-מנת לסקור בפרק אחד, אך נסתפק כאן במספר שיקולים עקרוניים, ונחלקם לסוגי השנאים: שנאי חלוקה ושנאי הספק:

1. שנאי הספק

- **יעילות אנרגטית** – הינה גורם ראשוני בבחירת שנאי. במקרים מסוימים ניתן להחזיר את כל הפרש המחיר בין שנאי יעיל אנרגטית לעומת שנאי שאינו כזה. שנאים צורכים הספק מעבר למה שהם מספקים, ובזבוזי האנרגיה שלהם לאורך זמן יכולים להתרגם לסכומים גדולים מאד. שילוב חישוב יעילות אנרגטית ביחד עם היוון ריבית לאורך חיי השנאי יכולים להצביע על נקודה אופטימלית ברכישת שנאי (ראה ידיעון בהמשך).
- **התאמה לשנאי קיים** – ניתן היום, בעזרת תכנון ייעודי, להחליף שנאי הספק ישן בשנאי חדש שמתוכנן כך שיתאים במדויק בצורה שכל החיבורים וכל המערכות ההיקפיות ישמשו את השנאי החדש ללא שינוי ובכך לחסוך עלויות החלפת תשתיות אזרחיות ותשתיות חשמל
- **התאמה לרגולציה** – במסגרת הרפורמה במשק החשמל, הקימה רשות החשמל ב 2020 גוף רגולציה חדש, **נוגה**, המגדיר סט מפרטים ובדיקות לכל יצרן/פרויקט המעוניין להתחבר לרשת מתח-עליון בישראל. מפרטים ובדיקות אלו הולכים ונעשים מפורטים ונוקשים יותר עם הזמן ויש לוודא ע"י תכנון הנדסי מפורט כי השנאי המיועד עומד בדרישות אלו. לעיתים דרישות אלו שונות מדרישות במדינות אחרות ועל-כן חשוב לוודא כי מפרט הדרישות של השנאי וכן סט בדיקות קבלת השנאי באתר תואמים את דרישות הרגולטור
- **רמת רעש** – בשנאים גדולים, רמת הרעש יכולה להיות משמעותית מאד (ישנה התאמה מסוימת בין רמת הרעש ליעילות אנרגטית).

2. שנאי חלוקה

- **שנאי יצוק (נקרא גם שנאי יבש) או שנאי שמן** – שנאי שמן הינם בעלי יתרונות מובהקים לעומת שנאים יצוקים בתחום האמינות, עמידות בתנאים חיצוניים (לחות, אבק, טמפ') יכולת הבדיקה, ואפשרויות תיקון בשטח. יש להם חסרון אחד בולט – על-

פי רגולצית כיבוי אש בישראל, לא ניתן להתקין שנאי שמן בתוך מבנה. לכן, ככל שמתאפשר, כדאי לבחור בשנאי שמן על-פני שנאי יצוק.

- **יעילות אנרגטית** – גם כאן, בדומה לשנאי הספק, יעילות אנרגטית צריכה להיות עקרון ראשוני בהחלטה על בחירת שנאי חדש, ובהקשר זה על השנאי לעמוד ביעילות האנרגטית הנדרשת ע"י הרגולטור (ראה בהמשך)
- **תמונת העומס והספק עתידי** – יש להתחשב באופי העומס (כאחוז מההספק הנומינלי, האם נכללות התנעות רבות, האם על השנאי לעמוד בהרמוניות ועוד) וכן צפי לגדילת המערכת. לעיתים כדאי כלכלית לרכוש שנאי גדול יותר ובכך למנוע צורך בטווח הבינוני להחליף או להוסיף שנאי. כמו כן, שנאים המשמשים שדות סולאריים נדרשים למפרט אחר מאשר שנאים דומים המשמשים לחלוקה.

לכן:

תכנון ספציפי של מפרט השנאי הכולל בתוכו את ייעודו הספציפי של השנאי כולל עומס, יעילות אנרגטית, רמת רעש ודרישות רגולטוריות – הינם חלק הכרחי בתהליך רכישת שנאי.

חשיבות של תכנון ספציפי של מפרט השנאי ודוגמא מצוינת לתכנון כזה מוצגים בשני הידיעונים הבאים:



חשיבות תכנון שנאי הספק מותאם במדויק לפרופיל העבודה, או איך חסכנו מאות אלפי דולרים ללקוח

שנאים גדולים, מ- 50MVA ומעלה, הם מכונות יקרות, עם תג מחיר שבין חצי מיליון יורו ועד למיליוני ועשרות מיליוני יורו.

במבט ראשון, הספק השנאי קובע את מחירו – אך כשיורדים לפרטים החשובים שנסקור כאן, ניתן לתכנן שנאי שיחזיר את **כל עלותו ויותר** לאורך חייו, בזכות תכנון מותאם במדויק לפרופיל העבודה המוביל לחסכון עצום בחשמל.

איפה הכסף?

מהרגע ששנאי מחובר לרשת, ועוד לפני שהוא מחובר לעומס, נוצרים בו הפסדים פנימיים הנובעים מהמעברים בין אנרגית שדה חשמלי בצד הראשוני של השנאי, לאנרגית שדה מגנטי בגרעין השנאי, וחזרה לאנרגית שדה חשמלי בצד המשני של השנאי.

הפסדים אלו, הנקראים הפסדי גרעין, (או הפסדי ליבה) באים לידי ביטוי בחום ורעש האופייני לשנאי פועל.

סוג שני של הפסדים נוצר כאשר מחברים את השנאי לעומס וסלילי השנאי מזרימים את זרם העומס. הפסדי הסלילים נובעים ממעבר הזרם דרך סלילי הנחושת, וחימומם. הפסדים אלו עולים ככל שהעומס על השנאי עולה, ובאים לידי ביטוי בחום שלעיתים הוא רב כ"כ שנדרשות מערכות קירור משוכללות על מנת לפנות אותו, שמציון דורשות חשמל נוסף.

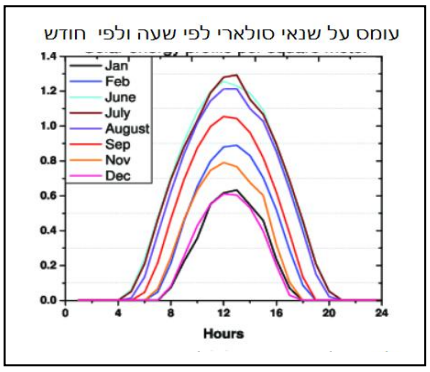
שנאי מבזבז כסף גם כאשר משתמשים בו (בחיבור לעומס) וגם כאשר הוא פועל בריקם, במנותק מהעומס

הפסדי ליבה הם קבועים, ללא תלות בשימוש בשנאי

הפסדי סלילים תלויים ישירות ברמת העומס על

שנאי מתוכנן אופטימלית לפרופיל העבודה = חיסכון עצום בחשמל

7. שנאי הספק גדולים יכולים לעבוד תחת פרופילי עבודה שונים מאד: למשל, בתחנות כוח מופעלות בגז או מתקני ייצור קריטיים, שנאי ההספק עובדים 24/7 קרוב מאד להספק המקסימלי שלהם, בעומס גבוה וקבוע.



לעומת זאת, בשנאים העובדים בתחנות כוח של אנרגיה מתחדשת כמו סולארי או רוח, העומס משתנה מנמוך עד אפסי (בלילה למשל) ועד מקסימלי, כמופיע בגרף משמאל לשנאי סולארי ראשי.

מכאן, שפרופיל העבודה משתנה משנאי לשנאי: שנאי מועמס בעומס גבוה גורם בעיקר להפסדי סלילים. שנאי מועמס בעומס נמוך גורם בעיקר להפסדי גרעין.

בעת תכנון השנאי חשוב על-כן להתחשב בפרופיל העבודה המדויק של השנאי ולמזער את הפסדי השנאי בהתאם לפרופיל זה

בשנאי הצפוי לעבוד בעומס גבוה קבוע – מעלים את חתך חוטי הנחושת (ישנם אופטימיזציות רבות נוספות).

בשנאי הצפוי לעבוד בהספק נמוך – מורידים את הפסדי הגרעין ע"י שימוש בחומרי גרעין דקים יותר, סגסוגות משוכללות של פלדת סיליקון וחריטה בלייזר.

בנוסף, כשאנו מתכננים שנאי לפי פרופיל עבודה, אנו מתחשבים גם בכל הפרמטרים הכלכליים הבאים: עלות לקוט"ש, ריבית היוון שנתית, עומס ממוצע, שעות הפסדי גרעין ושעות הפסדי נחושת, וכן מקדמי היוון ריבית.

לדוגמא: חיסכון אנרגטי של קוט"ש בודד לעומת תכנון גנרי בעלות של, למשל 45 אג' לקוט"ש מתורגם לכסף על פני אורך חיי השנאי של 30 שנים ל:

0.45 x 24 x 365 x 30 = 118,000 ₪

התוצאה של תכנון שנאי מבוסס פרופיל עבודה: יעילות אנרגטית המביאה לחסכון עצום בעלויות תפעול לאורך חיי השנאי, חסכון שיכול להיות גבוה אף מעלות השנאי הראשונית!

לסיכום

אל תסתפקו ברכישת שנאי על סמך העומס המקסימלי שלו בלבד! ניתן לחסוך כסף רב ואף לכסות על כל עלות השנאי, ע"י תכנון אנרגטי אופטימלי.



איך תרמנו להעלאת אמינות אספקת מים מותפלים בישראל ע"י החלפת שנאי ראשי 63MVA "בחינם"

מתקני התפלת מי-ים בישראל מהווים תשתית קריטית לחיינו כאן. הרי מעולם לא חיו בין הירדן לים שמונה מליון נפשות. כיום אין ספק שמקורות המים הטבעיים רחוקים מאד מלמלא את הנדרש, ורבות דובר על כך.

איך מבטיחים אמינות אספקת מים מותפלים?

קיומם הכלכלי של מתקני ההתפלה מתאפשר תודות לתגליות הגז מול חופי ישראל, שכן תהליך ההתפלה הינו עתיר אנרגיה, ומבוסס על דחיסת מים בלחץ גבוה דרך ממברנות המסננות את המלח. לאור זאת, הוחלט לאחר סקר סיכונים מקיף במתקן התפלה גדול, להציב שנאי ראשי רזרבי (לא מחובר קבוע) לצורך העלאת אמינות האספקה. על הפרק היו שתי אפשרויות:

רכישת שנאי זול והצבתו כשנאי רזרבי.

אנו ב-MVA הצענו הצעה מורכבת יותר אך לדעתנו נכונה יותר:
רכישת שנאי יקר יותר, סופר-דל-הפסדים, הוצאת השנאי הראשי הישן והצבת השנאי החדש במקומו (השנאי הישן יהיה הרזרבי). לאורך זמן, היעילות האנרגטית הגבוהה של השנאי החדש תחזיר את כל עלותו ויותר!

לאחר ניתוח כלכלי-הנדסי, שחלק משיקוליו מתוארים מטה, (וחלקם תוארו בידיעון קודם) הוחלט לבצע את האופציה השניה. החודש, תחת גשם שוטף של ינואר 2020, סיימנו את החלפת השנאים והשנאי החדש מתוצרת BEST הוכנס לפעולה בהצלחה!

אתגרי תכנון ויתרונות ביצועיים בשנאי החדש

הפרויקט, בניצוחו של **מהנדס חשמלאי פז רוט**, כלל מספר אתגרים הנדסיים:

- למרות היות השנאי החדש כבד ביותר משמונה טון מהשנאי הישן (בעיקר בגלל תוספת של נחושת לסלילים ע"מ להוריד את התנגדותם) – על השנאי החדש היה להיות מתאים בדיוק לגודל הפלטפורמה הקיימת, ומיקום המבודדים היה חייב להיות מותאם במדויק למיקום המבודדים הקיימים על מנת שנוכל להשתמש בחיבורי המתח העליון והמתח הגבוה הקיימים.
- מערכת הבקרה המורכבת של השנאי (שמכילה למעלה מ-280 אותות וחיווטים, על פני שישה טרמינלים) היתה חייבת להיות מותאמת בדיוק לזו של השנאי הישן אחד לאחד על מנת להבטיח ניטור ושליטה מכל האביזרים,

מעולם לא חיו בין הים לנהר שמונה מליון נפשות. מקורות המים הטבעיים רחוקים מאד מלמלא את הנדרש לחיים כאן

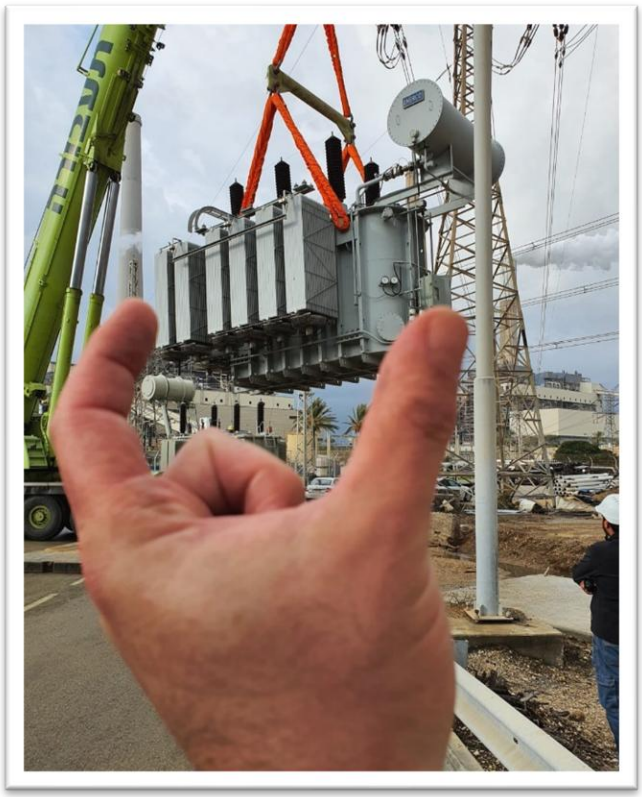
חשיבה מחוץ-לקופסה הובילה לפתרון יצירתי שכלל העלאת אמינות מתקן ההתפלה בעלות שתחזיר עצמה ויותר

ההגנות וההפעלות מלוח הבקרה בחדר המתח-הגבוה, בתאימות מושלמת לשנאי הישן.

- הנפת השנאי הישן והצבת השנאי החדש במקומו כללה אתגר מכני הנדסי שבוצע ע"י חברת תעבורה. (תמונות וסרטונים מיום ההחלפה - בעמוד באתרנו)

<u>יתרונות השנאי החדש:</u>

- יעילות אנרגטית – בראש ובראשונה, השנאי החדש מחזיר את כל עלותו ויותר ע"י חסכון עצום בחשמל הבא לידי ביטוי בעשרות אלפי דולרים בכל שנה, כך שעל פני תקופת זכיון הפעלת המתקן, בהשוואה למחיר השנאי – הוא מחזיר את כל עלותו ויותר!



בתמונה: מהנדס חשמלאי פז רוט 'מודד' את השנאי הישן בעת ההנפה. ברקע ניתן לראות את השנאי החדש ומיכל הקונסרבטור המוגבה מעל מבודדי מתח-עליון, בניגוד לשנאי הישן.

- אמינות - מיכל קונסרבטור מוגבה מעל גובה מבודדי מתח-עליון ומבטיח שמן במבודדים (העלאת אמינות בידוד) גם במקרה של דליפת שמן מהם. תקלות במבודדי מתח עליון הינן קריטיות ופתרון פשוט זה מעלה את אמינות מבודדים אלו.
- אמינות - ברז אוטומטי לנטרול מעבר שמן ממיכל הקונסרבטור במקרה של שריפה/תקלה (שמן מהקונסרבטור לא יכול להזין את השריפה).
- אמינות - מבודדי המתח העליון, רכיב קריטי בכל שנאי, שזמן האספקה שלו מהיצרן ארוך מאוד, נבחרו בהתאם לסוג הקיים במלאי רזרבי בארץ, למקרה של צורך בהחלפה דחופה.
- אמינות – רכיבי בקרה ומיתוג בלוח הבקרה בשנאי הם מהאיכותיים ביותר, והלוח מכיל מספר גדול של רכיבים רזרביים למקרה הצורך.

בשנאי מתקן ההתפלה, הובלנו אופטימיזציה אנרגטית שהביאה לחסכון חשמלי הגבוה ב-$50,000 מערך השנאי!

- **אמינות** – יציאות חיווט נוספות מתוך גרעין השנאי מאפשרות מדידות מדויקות של איכות הבידוד בשנאי והתראה מוקדמת של ירידה באיכות הבידוד.
- **אמינות** – ברז דיגום/ריקון שמן נמצא מתחת לתחתית רצפת השנאי, ומנקז אליו לחות ביעילות רבה יותר. הוא מאפשר מדידה אמיתית יותר של לחות מקסימלית בשמן השנאי.
- **אמינות** – מערכת הצבע של השנאי היא המתקדמת ביותר ומתאימה לתנאי ים (CM5).
- **בטיחות** – לשנאי תוספת ייעודית לחיבור סולם חיצוני הכוללת מחבר ומעקות בטיחות.

לסיכום

השנאי החדש במתקן ההתפלה הינו, למיטב ידיעתי, הדוגמא הראשונה בארץ להוכחת כדאיות כלכלית הנדסית של החלפת שנאי ראשי, תוך שיתוף פעולה יצירתי בין מהנדס חשמלאי פז רוט מחברת אומיס, חברת MVA וחברת BEST.

2. רמות הפסדים בשנאי חלוקה ותקן ישראלי להפסדי שנאי 50588

שנאי חלוקה הינם השנאים הקטנים ביותר במערכת המתח של חלוקת החשמל הארצית ומהם יוצאים יציאות המתח הנמוך. לכן, מספרם ברשת החשמל הוא עצום: בכל רחוב ישנם מספר שנאים כאלו, בכל בנין מגורים גדול, קניון, מבנה או בניין משרדים קיימים שנאים כאלו ועל כן ההפסדים של שנאים אלו מוכפלים במספר גבוה מאד:

בישראל יש כמאה-אלף שנאי חלוקה.

מכאן, שרמות ההפסדים של שנאי החלוקה משפיעים באופן רב על היעילות האנרגטית של מערכת החשמל הארצית כולה, ועלות ההפסדים של שנאי אחד, גם אם קטנה יחסית, מוכפלת במספר גדול מאד ומגיעה להפסד גבוה ויקר.

ע"מ להקטין את רמות ההפסדים, מופעלת רגולציה ותקנים הולכים ומחמירים על יצרני ויבואני השנאים הדורשים הפסדים נמוכים. הפסדי השנאי מתחלקים באופן גורף לשניים:

- **הפסדי גרעין או הפסדי ריקם:** הפסד קבוע לכל שנאי הנגרם כתוצאה מחוסר יעילות אנרגטית של גרעין השנאי ואינם תלויים בעומס בו נתון השנאי. הפסדים אלו, הנמדדים בהספק (וואט), P, מסומנים כ- P_0. הפסד זה בא לידי ביטוי בחימום הגרעין ורעש מהשנאי.
- **הפסדי סלילים או הפסדי עומס:** הפסדים התלויים בעומס בו נתון השנאי, ועולים ככל שעומס זה עולה. הפסדים אלו מסומנים כ – P_k. הפסד זה בא לידי ביטוי בהתחממות הסלילים ומחברי השנאי.

דוגמא: שנאי טיפוסי, של 1250kVA מכיל הפסדים קבועים של כ 2000 וואט, שווה ערך להספק מקסימלי של תנור אפיה ביתי.

התקן הישראלי הנוגע להפסדים בשנאי חלוקה הינו **ת"י 50588** שפורסם לא מזמן (נובמבר 2021) הקובע רמת הפסדי ריקם אחת, המסומנת ב **A_0-10%** ושתי רמות הפסדי עומס המסומנות ב **A_k** ו- **B_k**. התקן מחליף את התקן הקודם, **ת"י 50541** שבוטל בפברואר 2022 והגדיר רמות הפסדים מותרות גבוהות יותר מהקיים. לכל הספק שנאי, התקן מגדיר את רמת ההפסדים המקסימלית המותרת. הטבלה הבאה מתארת את רמות ההפסדים המותרות ע"פ תקן **ת"י 50588**:

<u>שנאי שמן</u>

הספק השנאי [kVA]	הפסד ריקם A_0-10% [w]	הפסד עומס A_k [w]
50	81	750
100	131	1250
160	189	1750
250	270	2350
315	324	2800
400	387	3250

טלפון: 0733-777-888
דוא"ל: info@mva.ltd אתר: www.mva.ltd

3900	459	500
4500	540	630
6000	585	800
7600	693	1000
8500	855	1250
12000	1080	1600
15000	1305	2000
18500	1575	2500

שנאים יצוקים

הספק השנאי [kVA]	הפסד ריקם A_0-10% [w]	הפסד עומס A_k [w]
100	252	1800
160	360	2600
250	468	3400
400	675	4500
630	990	7100
800	1170	8000
1000	1395	9000
1250	1620	11000
1600	1980	13000
2000	2340	16000
2500	2790	19000
3150	3420	22000

3. התקנת שנאי חלוקה חדשים

פעמים לא מעטות אנו נתקלים בשנאים חדשים לגמרי, שהתקנתם נעשתה בניגוד להוראות היצרן, וכתוצאה מכך נגרם נזק המופיע או מיד עם הפעלת השנאי (קצר) או לאחר מספר שבועות/חודשים (נזילות שמן).

חלק זה מכיל הוראות התקנת שנאי, לשנאי שמן (בפורמט ידיעון) ולשנאים יצוקים מתוך חוברת התקנה לשנאים יצוקים שנכתבו ע"י ארדן שנאים.

כמו שצריך!

התקנה לא נכונה של שנאי שמן יכולה לגרום לתקלות כבר בתחילת חייו של השנאי.

גם אם אינך המתקין, אלא רק הלקוח – ידיעון זה מסביר מה צריך לבדוק במהלך ההתקנה

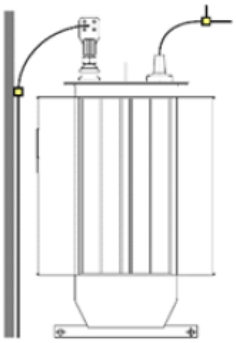
עשרת הדיברות בהתקנת שנאי שמן – או, איך לוודא ששנאי השמן שלכם יתחיל את חייו ברגל ימין

לעיתים אנו נקראים לתקן שנאי שמן הנמצאים עדיין תחת אחריות, רק כדי לגלות שהתקנתם בוצעה בצורה לא אופטימלית וכתוצאה מכך ישנם נזילות שמן ממבודדים, חוסר שמן בממסר הגנה או אפילו נזק פנימי בשנאי – הכל בשנאים שרק התחילו את חייהם!

גם אם אין אתם מתקינים את השנאים בעצמכם, תוכלו לוודא בעזרת כמה בדיקות פשוטות במהלך התקנת השנאי שהשנאי מותקן נכון, ולמנוע בעיות ראשוניות בתחילת חיי השנאי.

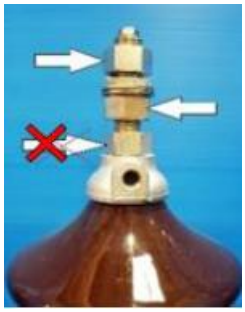
עשרת הדיברות כאן מופיעות לפי סדר שכיחות התקלות, על-פי נסיוננו.

1. תמיכות כבלים למניעת נזילות



כבלי השנאי, במיוחד בצד מ"נ, הינם כבדים ולא גמישים במיוחד. ללא תמיכות נכונות, הם יוצרים מומנט על מחברי השנאי. מומנט זה מופעל על המבודדים והאטמים והתוצאה: נזילות שמן בגלל לחץ לא אחיד על אטמי המבודד. **וודאו כי הכבלים מונחים על גבי תמיכה ואינם יוצרים מומנט על המבודדים.** בדיקה: בפירוק ברגי המחברים, ניתן להרגיש בקלות אם ראשי הכבלים 'מושכים' לצד מסוים.

2. יש אומים ויש אומים



בחיבור נעלי הכבל למבודד מתח-גבוה יש להשתמש בשני האומים העליונים בלבד ובשום מקרה אין לגעת/לחזק את האום התחתון. חיזוק יתר שלו עלול לגרום בקלות לשבירת מבודד החרסינה. **יש לוודא כי משתמשים בשני מפתחות לחיזוק האומים העליונים.**



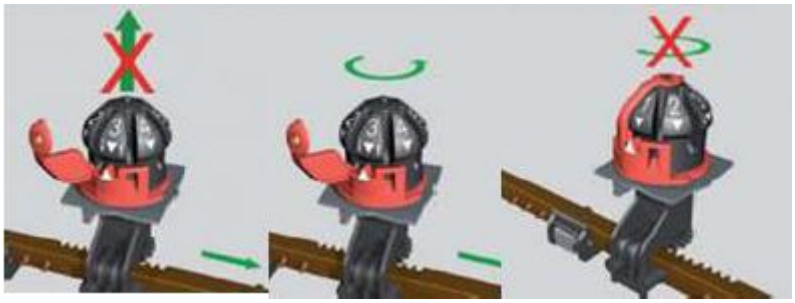
3. הגנו על ממסר ההגנה

ממסר ההגנה מכיל ברז ניקוז אויר, שיוצא מהמפעל סגור ועם חבק נעילה. **אל תפתחו ברז ניקוז אויר זה. ישנם ממסרי הגנה שבהם ידית ברז הניקוז 'הפוכה' – כלומר הברז סגור כאשר הידית במקביל לברז.** אין לבצע שינוי בכיוון ממסר ההגנה ולסובב אותו ע"י פתיחת האומים בתחתיתו – יגרמו נזילות שמן מיידיות. ממסרים מתוצרת RIS הינם בעלי גוף פלסטיק שביר.

במעמד הזמנת השנאי ציינו את כיוון חזית ממסר ההגנה כך שיותקן כלפי דלת חדר השנאי במסגרת התקנתו במפעל.

4. ודאו: ידית מחליף דרגות נעולה במקומה!

נזק עצום יגרם לסלילי השנאי אם יופעל כאשר ידית מחליף הדרגות אינה נעולה במקומה: סביר כי כל שלושת סלילי המתח הגבוה ינזקו סופנית. לכן, יש חשיבות לוודא היטב כי ידית מחליף הדרגות נמצאת בדרגה הנכונה **והיא נעולה בדרגה זו.**



'דברות' 1-5 הינן השכיחות ביותר בתקלות התקנה שאנו נתקלים בהם

5. שמרו על צלעות הקירור מפני מלגזות, מנופים וטפסנים



צלעות הקירור עשויות פח דק ובולטות ממיכל השנאי – שילוב שמזמין נזק גדול אם לא שומרים עליהם בעת ההתקנה. בשימוש במלגזה או מנוף, ודאו כי צלעות הקירור מוגנות בעת הזזת השנאי, וכן כמובן שאין להרים את השנאי מצלעות הקירור ואין לדרוך עליהם.



6. וודאו כיול נכון של הגנות השנאי בלוח מתח גבוה

הגנות השנאי בלוח מ"ג הינן קריטיות בשמירה על השנאי בעת תקלה, וכיול מדויק שלהם הינו חלק חשוב בהתקנת השנאי.



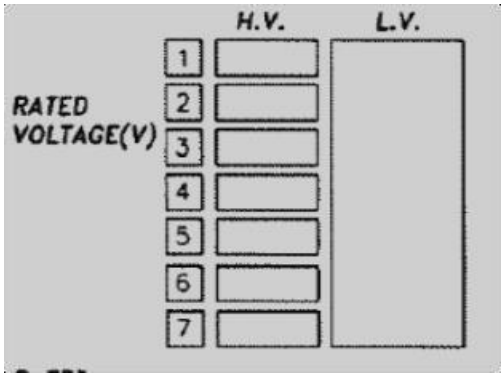
7. בדקו את הגנות ממסרי ההגנה מקצה לקצה

ודאו כי טמפ' התראה וטמפ' הפלה מכוונות כראוי. בדר"כ טמפ' התראה מכוונת ל 90 מעלות, והפלה ל 110 מעלות. ודאו כי לוח ההתראות מגיב לממסר ההגנה ע"י הורדת המצוף באמצעות מגנט, שינוי גלגלי הטמפרטורות. אפסו את מחוג טמפ' מקסימלית האדום.



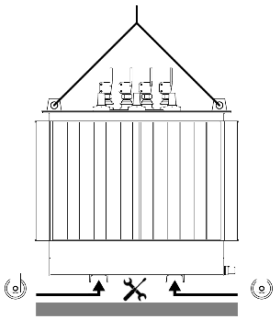
8. שינוע השנאי – במאוזן, לאט וללא טלטולים ומכות

המנעו מקפיצות, שיפועים חדים וטלטולים – כל אלה עלולים לגרום לתזוזות הסלילים בשנאי, נזילות שמן ונזקים פנימיים



9. ודאו שהמתחים תואמים

לפני הכל, וודאו שהשנאי שהמתח הראשוני (מתח גבוה) תואם את המתח המופיע על שלט השנאי. כמו כן, שנאי מ"ג אינם מיועדים להפסקות והפעלות תכופות. אלו יוצרים זרמי יתר בתהליך ההפעלה, וע"כ רצוי להמנע מכך.



10.התקינו אביזרים שפורקו בזהירות

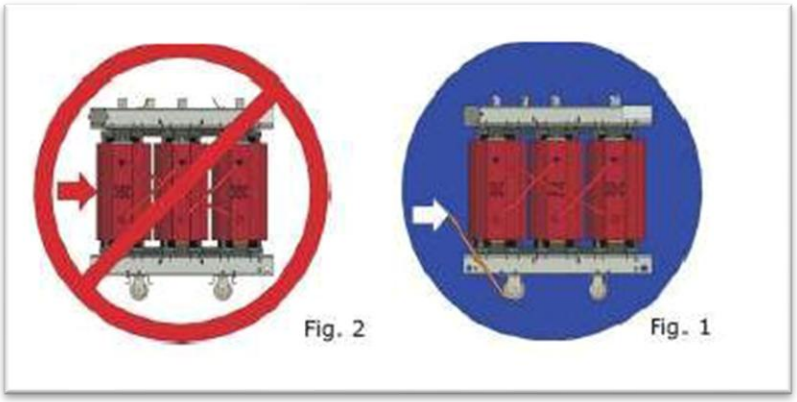
גלגלים בעיקר, נשלחים בנפרד מהשנאי, ויש להרכיבם בעת התקנת השנאי, תוך מניעת טלטול השנאי או הטייתו בעת ההתקנה.

"עשרת הדיברות בהתקנת שנאי שמן" – באדיבות ארדן שנאים

4. התקנת שנאי חלוקה יצוקים חדשים

4.1. הזזת השנאי

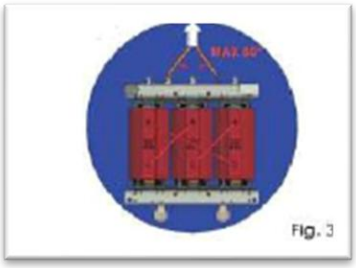
במהלך הזזת השנאי, אין להפעיל לחץ על הסלילים או המחברים. הזזה ידנית צריכה להיעשות ע"י שימוש במגבה מתחת לקורת המתכת התחתונה הנושאת את השנאי. כל דחיפה/הגבהה של השנאי דרך הסלילים עלולה לשנות את מירכוז הסלילים ולגרום קצר מיידי בהפעלתו.



איור 51: עשה ואל תעשה בהזזת שנאי

4.2.הרמת השנאי

הרמת השנאי – בעזרת טבעות ההרמה הייעודיות וכבלים ארוכים מספיק כך שהזוית המקסימלית בינהם הינה 60 מעלות,



איור 52 :הרמת שנאי

4.3.אחסנה

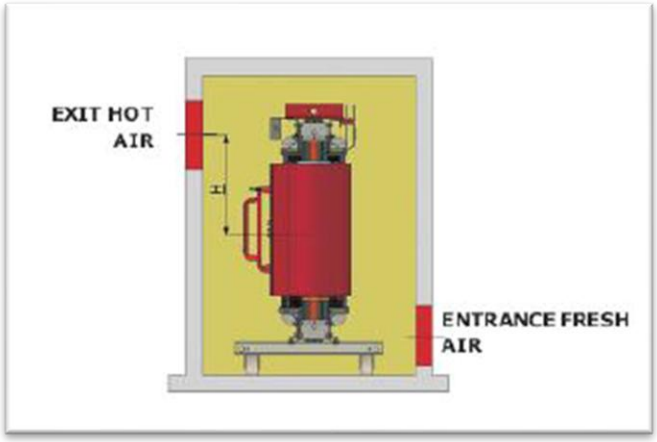
אם השנאי אינו מיועד לשימוש מיידי או שהוא הוצא משימוש ומאוכסן, כדאי לעטפו בניילון נצמד ולשמרו בחדר יבש ונקי. האויבים הגדולים של שנאי יצוק הינם לחות חיצונית ואבק. שמירה על השנאי בחדר נקי ויבש תבטיח את עמידותו לאורך זמן.

4.4.בדיקות התקנת השנאי לפני הפעלתו

בעת התקנת השנאי ולפני הפעלתו וודא כי:

- כל תעלות הפח מחוזקות היטב לשנאי, אחרת הם ירעדו ויגרמו לרעש בעת הפעלת השנאי.

- כבלי החיבור נתמכים ואינם יוצרים לחץ פיתול על חיבורי הכבלים בשנאי
- השנאי מעוגן היטב לרצפת החדר.
- השנאי מוארק מנקודות ההארקה המסומנות שלו להארקת המבנה
- אין פגם ויזואלי חיצוני בסלילים: הסלילים ממורכזים ותמיכותיהם במקומם
- מערכת ניטור טמפ' ומערכת האיוורור האקטיבי עובדות. ניתן לבדוק זאת ע"י חימום רגשי הטמפרטורה (PT100) המותקנים בשנאי בעזרת אקדח חום/מייבש שיער, ווידוא שהמאווררים מופעלים ע"פ ההמלצות (ראה בהמשך)
- וודא לא נשארו על השנאי כלים/שאריות מעבודת ההתקנה
- על השנאי להיות מותקן במרחק מהקירות של לפחות 32 ס"מ בין הסלילים/מחברים לקיר החדר.
- על חדר השנאי להיות מאוורר בין אם באוורור מאולץ או באוורור טבעי. החדר חייב להיות מתוכנן עם פתחי איוורור לכניסה ויציאה כך שחום השנאי המפוזר לחלל החדר יפונה בצורה יעילה. אם החדר אטום, פתח כניסת האוויר צריך להיות בגובה נמוך ופתח יציאת האוויר בגובה גבוה, כמתואר באיור



איור 53 :פתחי איוורור חדר שנאי

- בחדר קטן, מומלץ להזמין עם השנאי סט מאווררים אופקיים יעודיים, הדוחפים אוויר מתחתית השנאי במעלה הסלילים – אלו יעילים מאד בקירור השנאי ובלבד שישנו פתח יציאת אוויר חם בחלק העליון של החדר.
- כיול ממסר ההגנה המומלץ תלוי במספר גורמים כגון טמפ' הסביבה אך באופן כללי אנו ממליצים על הערכים הבאים:
  - הפעלת מאווררים 60°C
  - התראת חום יתר – 90-95 °C
  - הפסקת השנאי (TRIP) - 120°C

4.5.חשמול השנאי

אנו ממליצים לחשמל את השנאי לראשונה לפי סדר הפעולות הבא:

1. לפני הפעלת השנאי, יש לבדוק איכות בידוד בעזרת מד התנגדות בידוד DC עבור הערכים הבאים (H=HighV, L=LowV, G=Ground):
   H-L – מתח בדיקה: 10kV ערך אופייני – מאות MΩ
   H-G – מתח בדיקה 10kV. ערך אופייני - עשרות GΩ
   L-G - מתח בדיקה 500v -ערך אופייני – עשרות MΩ.
   אין להפעיל את השנאי באם קיים חשש לבידוד לא תקין מבדיקות אלו.

בנוסף, מומלץ לבצע בדיקת סימטריה (ראה פרק בדיקות חשמליות) למתח נמוך ומתח גבוה.
שתי בדיקות אלו מספקות סבירות גבוהה כי השנאי כשיר חשמלית.

2. נתק מחברי מ"נ לחלוטין מהשנאי והשאר רק את מחברי מ"ג מחוברים לרשת החשמל. בצורה זו מובטח כי כל תקלה הקיימת במורד הזרם (כגון מפסק תקול, קצר, גנרטור שפועל במקביל וכו') יבודדו בהפעלת השנאי הראשונית.
3. חשמל את השנאי בריקם כמתואר. בדוק שהרעש אינו חריג, בדוק שממסר ההגנות מראה טמפ' צפויה ושהשנאי אינו מתחמם בצורה חריגה כלשהי. כל תקלה בשלב זה היא או תקלת התקנה או תקלת ייצור. אנו ממליצים להשאיר את השנאי פועל בריקם לפחות מספר שעות.
4. כאשר הכל כשורה, הפסק וקצר את השנאי, התקן את מחברי מתח נמוך, בדוק הידוק מחברים, נתק מקצרים והפעל את השנאי לפי פקמ"ק (פקודות מיתוג וקיצור) של מהנדס ההתקנה.
5. בדוק את המתח המתקבל בעומס השנאי. באם הוא שונה מהמתח הנדרש, ניתן לכוון את מחליף הדרגות של השנאי, ע"מ לשנות את יחסי ההשנאה כך שהערך יתקרב למתח הנדרש בעומס, ויתגבר על נפילת המתח הנובעת מהמרחק בין השנאי לעומס. כיוון מחליף הדרגות בשנאי יצוק נעשה ע"י ניתוק וחיבור לוחיות כמופיע על שלט השנאי על מנת לקבוע את יחסי ההשנאה

להבדיל משנאי שמן, בשנאי יצוק משני הדרגות הן נפרדים עבור כל פאזה, ועקרונית ניתן לכוון את יחסי ההשנאה לכל פאזה בנפרד, אם כי הדבר נחוץ לעיתים נדירות – הכל בהתאם לשיקול דעתו של מהנדס החשמל הבודק האחראי על אישור המתקן.



איור 54: לוחיות משנה דרגות בפאזות שנאי יבש