

תחזוקת מתקני חשמל היבטים בטיחותיים ותפעוליים

תחזוקה נכונה מהווה אחד האמצעים החשובים בהבטחת תקינותו ובטיחותו של מתקן החשמל. את התחזוקה יש לבצע תוך הקפדה יתרה על הבטיחות והימנעות מירבית מפגיעה בתהליך הייצור של המפעל. מפעל המצוייד בתשתית תחזוקתית מתקדמת ובטיחותית, יצליח להתמודד בצורה טובה יותר בתחרות הקיימת בכל ענף ייצור, תוך שמירה על בטיחות העובדים, הגנה על סביבת העבודה והגנה על הציוד במפעל.

תעשיית המיקרו-אלקטרוניקה נמנית כיום עם התעשיות המובילות בעולם. תעשייה זו, המאופיינת בשינויים מהירים ובלתי פוסקים בטכנולוגיות הייצור, נדרשת לגידול מתמיד בקיבולת ובאיכות מערכות האספקה השונות שלה בכלל ושל מערכות אספקת החשמל במיוחד. ההתייחסות למושג תחזוקה בתעשיות המתקדמות, כולל הן את ההתייחסות לשימור הקיים ברמה איכותית ובטיחותית והן התייחסות להרחבת המערכות ולשיפורן.

כדי להגביר את זמינות המוצרים, מבוצעת העבודה במפעלים אלה "מסביב לשעון" - 365 ימים בשנה, 24 שעות ביממה. מסיבה זו צריך ביצוע עבודות התחזוקה לסוגיהן, להתבצע תוך שמירה על איכות ובטיחות, מבלי לפגוע במהלך התקין של תהליך הייצור. גורמי הסיכון השונים הקיימים בענף המיקרו-אלקטרוניקה, בנוסף לחשמל (כגון: כימיקלים, גזים, קרינה אלקטרומגנטית וכו'), מחייבים ידע מקצועי ברמה גבוהה וכן הקפדה יתרה על נושא הבטיחות, במהלך העבודה השוטפת במפעל וכן, כמובן, בביצוע עבודות התחזוקה לסוגיהן. תקן האיכות ת"י ISO 9000, המיושם בענף זה, כולל דרישות לקיום נוהלי בטיחות. מאמר זה מתמקד באמצעים הבטיחותיים והתפעוליים בתחום החשמל, הנהוגים כיום בתעשיות המיקרו-אלקטרוניקה. אמצעים אלה מבוססים על הנדרש מכוח חוק החשמל ותקנותיו ועל-פי תקנות הבטיחות בעבודה (חשמל), תוך התייחסות לשלוש המטרות המרכזיות של עבודה בטיחותית: שמירה על בטיחות העובדים, הגנה על סביבת העבודה והגנה על הציוד.

רגישות המוצר

ציוד הייצור של תעשיית המיקרו-אלקטרוניקה הינו רגיש ביותר לתנאי הסביבה שבה הוא נמצא, ובאופן מיוחד לאמינות אספקת החשמל. לפיכך, קיימת חשיבות מרובה להתקנה של מערכות חשמל אמינות ובטוחות במפעלים אלה. הדרישות הקיימות כיום במפעלים רגישים הן שעבודות התחזוקה לא יפריעו לתהליך הייצור הסדיר, כלומר לא יורגשו על-ידי קו הייצור של המפעל, ועם זאת תבוצענה עבודות התחזוקה ברמת בטיחות גבוהה, כלומר שלא ייגרם סיכון לעובדים, לסביבה ולציוד.

המשאבים הנדרשים

ביצוע עבודות תחזוקה במתקני חשמל דורש הקצאה של משאבים. כמות המשאבים ואופיים תלויים בסוג עבודת התחזוקה ובתשתית הבסיסית הדרושה לביצוע אותו סוג של תחזוקה. המשאבים הבסיסיים הינם השקעה בכוח אדם, ציוד ושטחים.



כח אדם

- מהנדסי חשמל מפעליים, המודעים לדרישות התחזוקה ולדרכי הביצוע.
- בעלי מקצוע ברמה גבוהה, העובדים במפעלים ומיועדים לבצע עבודות תחזוקה, תוך התמודדות עם המערכות המורכבות והמתוחכמות שבמפעל.
- יועצים ומתכננים חיצוניים, אשר מסייעים בתכנון התשתיות לביצוע תחזוקה, כנדרש, ומייעצים לגבי אופן ביצוע התחזוקה.

ציוד

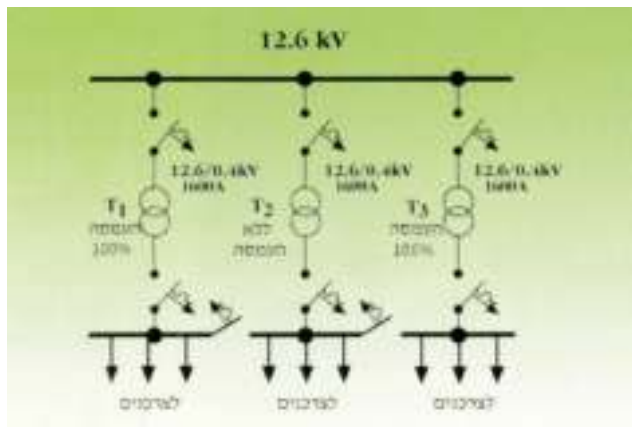
מערכות אספקת החשמל במפעלים העוסקים במיקרו-אלקטרוניקה יקרות בכ-40% ממערכות אספקת החשמל המותקנות במפעלים אחרים בהם נדרש הספק זהה, זאת עקב התשתיות הנדרשות לצורך ביצוע תחזוקה בטיחותית, מבלי לפגוע בתהליך הייצור.

שטחים

חלק מהתשתיות המאפשרות ביצוע תחזוקה בטיחותית, דורשות הקצאת שטחים. לדוגמה: מערכות הזנה כפולות, מערכות אל-פסק וכו'.

מבנה מערכות הבטיחות

את נושא הבטיחות במהלך ביצוע עבודות התחזוקה במתקני חשמל ניתן לחלק לארבעה תחומים: תכנון בהיבט בטיחותי, בטיחות על-ידי ניהול, בטיחות על-ידי אמצעים, בטיחות על-ידי הדרכה.



איור 2: מערכת יתירות לשנאים.

הזנת ציוד ממקורות שונים

קיימים מתקנים ומכונות ייצור, אשר ניזונים משלושה מקורות אספקה שונים, כאשר המתקן עצמו מפוצל בשלושה מקומות. ההזנות הן: **הזנת אל-פסק**: למערכות הבקרה והשליטה של המתקן. **הזנת גנרטור**: לחלק המתקן אשר הפסקת חשמל ארוכה בו עלולה לגרום לנזק בלתי הפיך. **הזנה רגילה**: הזנה לחלק המתקן אשר מכיל צרכנים כבדים, כגון גופי חימום.

בעת התכנון וההתקנה יש להקפיד על קיום הדרישות הבאות:

- התקנת מנתקים משותפים לסוגי המקורות השונים, ככל שהדבר ניתן.
- שילוט ברור ומאיר עיניים על כל מקורות המתח. איור 3 מראה דוגמה של שילוט אזהרה מסוג זה.



איור 3: דוגמה לשילוט אזהרה על ציוד המזון משלושה מקורות.

- מערכת הפסקת חירום משותפת (Emergency Machine) - EMO (Off), המנתקת את כל המכונה.
- מערכת הבקרה המשותפת שבין חלקי המתקן השונים תהיה במתח נמוך מאוד (מתח שאינו עולה על 50 וולט).

עקיפת מערכות אל פסק סטטיות

מכיוון שסוגים רבים של הציוד והתהליכים מופעלים או מבוקרים על-ידי מחשבים, הרגישים להפרעות באספקת המתח, קיים שימוש נרחב באספקת אל-פסק. ב"אינטל" 7% מהספק המפעל הינו באספקת אל-פסק (800 kVA מתוך 11,000 kVA). כדי להבטיח את בטיחות המשתמשים ואת בטיחות התחזוקה של מתקני חשמל בהם מותקנות מערכות אל-פסק סטטיות, יש להתקין מערכות אלה בהתאם לנדרש בתקנות החשמל (התקנת מערכות אל-פסק סטטיות במתח נמוך).

ברור שזוהי חלוקה שרירותית, שכן במציאות קיימים חפיפה ושילוב בין המרכיבים האמורים.

תכנון בהיבט בטיחותי

המטרה ב"תכנון הבטיחותי" הינה לתכנן את מתקן החשמל באופן שיענה על דרישות הצרכן, הן בהיבט הבטיחותי והן בהיבט התפעולי. השגת הדבר תלויה בכך שהמתכנן מכיר ויודע את כל הדרישות הקיימות במתקנים אותם הוא מתכנן.

להלן נביא מספר דוגמאות לדרישות ולאופן בניית מתקנים במפעלים.

מערכות הזנה כפולות

מערכת ההזנה הראשית - במתח גבוה - של המפעלים, הינה מערכת הזנה כפולה:

- במפעלים הישנים, מערכת אחת פעילה ואילו השניה משמשת כ"גיבוי חם".
 - במפעלים החדשים, גם מערכות המתח הנמוך - 400 וולט - מפוצלות לאורך כל המפעל, עד הצרכנים הסופיים.
- מערכות האספקה המכניות, כגון: מדחסי הקירור, משאבות המים, מדחסי אוויר וכל ציוד הייצור, הינן מערכות כפולות וכל חלק של המערכת מוזן ממקור חשמלי אחר.

באיור 1 נראית מערכת משאבות כפולה: משאבה בעבודה ומשאבה לצורך גיבוי.



איור 1: מערכת משאבות כפולה.

באופן זה מקבלים שני יתרונות עיקריים:

- חלופיות (Alternate) - הציוד מותקן באופן שמאפשר לו להיות מוזן דרך ההזנה הראשית או דרך מקור הזנה חלופי (כגון: לוח אחר, גנרטור וכו').
- יתירות (Redundancy) - התקנה בה למערכות יש גיבוי של מקור האספקה. תכונה זו נמדדת באחוזים מכלל ההספק הנקוב של המתקן. לדוגמה: מערכות אל-פסק המגובות על-ידי יחידות נוספות בהיקף של 50% או 100% מכלל ההספק של מערכת האל-פסק.

התכונות הללו מאפשרות החלפה בין מערכות ההזנה בעת תקלה בלתי צפויה וביצוע עבודות תחזוקה במערכות, ללא הפרעה למשתמשים. הדבר גם מאפשר לחברת החשמל לבצע עבודות בתחנת המשנה, מבלי לגרום להפרעות בפעילות הסדירה של המפעל.

באיור 2 מתוארת מערכת יתירות לשנאים, בגיבוי של 50%. במצב עבודה רגיל שנאים T1 ו-T3 מועמסים כל אחד ב-100% ושנאי T2 אינו מועמס. במקרה של תקלה באחד מהשנאים - T1 או T3 - ניתן להעביר את כל העומס שלו לשנאי T2. את ההעברה ניתן לבצע באופן ידני או באופן אוטומטי.

לצורך ביצוע עבודות תחזוקה ביחידות האל-פסק, יש להתקין מערכות עקיפה חיצוניות ליחידות (Maintenance by-pass) באופן שניתן יהיה לבצע את העברת הצרכנים בשיטה של "חיבור לפני ניתוק". על-ידי כך ניתן לבדוד את יחידת האל-פסק מהצרכנים ללא הפרעה.

מעקף לתחזוקה

התקן של מפסקים אלקטרו-מכניים, אשר מאפשר את זינת העומס ישירות מרשת הזינה, לצורכי תחזוקה וכיוצא בזה.

הערה: גם במצב של זינת העומס ישירות מהרשת, יכול שיהיה מתח חילופין במוצא הממיר של מערכת האל-פסק ומתח ישר במבוא, וזאת מן המצברים של מערכת האל-פסק.

מתקן הניתן לשינוי ללא צורך בהפסקה

בכדי לאפשר שינויים או הרחבה של המערכת, ובה בעת להמנע מהצורך להפסיק את אספקת החשמל, ניתן להשתמש בשיטות הבאות:

- **ציוד נשלף:** ציוד שניתן להחלפה על-ידי שליפתו מהמתקן החשמלי.
- שיטה נוחה ביותר הינה השימוש בפסי צבירה עם התקנים לשליפה: דוגמה לציוד כזה מובאת באיור 4.



איור 4: ציוד נשלף המותקן על פסי צבירה.

- ציוד שבו יחידת הזרם מותקנת בנפרד מהמתקן, כך שניתן להחליף את יחידת הזרם ללא צורך בהפסקת המתח למתקן, כאשר את המוליכים מתקינים על-פי הזרם המירבי של המפסק.
- שימוש בלוחות בעלי תאים נשלפים. קיימים כיום גם לוחות חלוקה וגם לוחות מתנעים אשר מותקנים בהם תאים, בכל גודל רצוי, הניתנים להכנסה ולשליפה תחת מתח.
- חיבור כבלים באמצעות מהדקים מבודדים, המאפשרים החלפת הכבלים ללא הפסקת מתח. דוגמה לכך מתוארת באיור 5.



איור 5: חיבור כבלים עם מהדקים מבודדים.

לוחות "סופרמרקט"

בניית לוחות חלוקה עם מיגוון של יציאות, כך שתמיד ניתן יהיה למצוא יציאה מתאימה.

חלוקה פנימית של הלוחות

חלוקה של הלוחות לסקטורים פנימיים, בדרך כלל על-ידי חיבורים (לינקים), כך שניתן לבצע שינויים כאשר רק חלק מן הלוח מושבת, ולכן ההפרעה מינימלית.

כניסות מתחתית הלוח

למרות שמרבית הכבלים המגיעים אל לוחות החשמל מלמעלה, הכניסה של הכבלים הינה מתחתית הלוח. לעובדה זו שתי סיבות:

- תעשיית המיקרו-אלקטרוניקה עתירה בצינורות לנוזלים כגון מי קירור, מי תהליך, שפכים וכימיקלים המשמשים בתהליך. יש להקפיד שהלוחות יהיו אטומים בחלקם העליון, כדי למנוע חדירת נוזלים לתוך הלוחות, במקרה של נזילות בצנרת.
- באיור 6 מוצגת דוגמה של התקנה לקויה - כניסה מלמעלה לציוד המותקן על פס צבירה הממוקם מתחת לצנרת נוזלים.
- עקב השינויים הרבים, נדרשות פעולות רבות של חיבור וניתוק צרכנים. הימצאותו של תא הכניסה בתחתית הלוח מאפשר גישה נוחה ובטוחה. בתכנון המקורי ניתן להתקין את הלוחות על מערכת של תעלות וצנרת כניסה תת-קרקעית.



איור 6: דוגמה של התקנה לקויה.

בטיחות על-ידי ניהול

לאופן הניהול הכללי של המפעל ולאופן הניהול הפרטני של עבודות התחזוקה ברמת השטח, יש השפעה רבה על נושא הבטיחות. הדברים באים לידי ביטוי באמצעים הבאים:

ניהול ברמה המפעלית

- התחייבות ההנהלה על-ידי מתן הכרזה ניהולית על מקום עבודה בטוח.
- סיורי בטיחות של מנהלים.
- ביצוע תחקיר לאחר כל ארוע בטיחותי למטרות:
- גילוי הגורמים לארוע - כשל ציוד או טעות אנוש.
- איתור מקור הבעיה והוצאת הוראות לשיפור ולמניעת ארוע דומה בעתיד.
- הסקת מסקנות אישיות אם נדרשות כאלה (ענישה).

ניהול עבודת התחזוקה

- תכנון עבודת התחזוקה באופן שישתלב בשאר הפעילויות של המפעל.
- הקפדה, ללא פשרות, על עבודה לפי חוק החשמל, תקנות החשמל המעודכנות וההוראות והנהלים הפנימיים של המפעל.
- ביצוע הערכת סיכונים: כאשר יש כוונה לבצע עבודה שמוערכת כבעלת סיכון גבוה מההיבט הבטיחותי או התפעולי, יש למלא טופס של "הערכת סיכונים".

ההדרכה כוללת:

- כתיבת מפרטי עבודה ונוהלי עבודה של המפעל. אלה מותאמים לאופי המפעל, לצידוד במפעל ולמתקן החשמל בו.
- הדרכת בטיחות כללית - לכלל אוכלוסיית העובדים במפעל (המוגדרים כ"משתמשים קלים" בצידוד חשמל).
- הדרכה לעובדים המבצעים עבודות חשמל כמשמעותה בחוק החשמל.
- כל החשמלאים עוברים קורס חיצוני בנושא מתח גבוה.
- קורס חיצוני לצורך קבלת רשיון "חשמלאי מסוג" - לכל הטכנאים העוסקים באחזקת ציוד הייצור (לבעלי תואר טכני/הנדסאי אלקטרוניקה).

עבודת תחזוקה במתקן חשמלי חי

ככלל, חל איסור על ביצוע עבודות תחזוקה שיגרניות במתקן חשמלי חי. יחד עם זאת, אסור לגרום להפרעות או להפסקות באספקת החשמל הסדירה, לפעילות החיונית במפעל.

במקרים מיוחדים, בהם נאלצים לבצע עבודות תחזוקה במתקני חשמל חיים, יש לבצע את העבודות תוך הקפדה יתרה על נושא הבטיחות ובהתאם לנדרש בתקנות החשמל (עבודה במתקנים חשמליים חיים), התשכ"ז.

תקנות החשמל מאפשרות לבצע עבודה במתקן חי במתח נמוך במספר מקרים. אחד ממקרים אלה הוא כאשר יש צורך לבצע עבודה במתקן, בו הפסקת הזינה למתקן עלולה לגרום להפרעה בתהליכי ייצור המחייבים אספקת חשמל רצופה. תקנות החשמל קובעות שעבודה במתקן חי תבוצע בהתאם להוראותיו של חשמלאי בעל רשיון מסוג חשמלאי מהנדס, אשר ייתנו בכתב ויחולו על מתקן חי מסוים או על סוג של מתקנים חיים.

בכדי להגביר את הבטיחות בעת ביצוע עבודות במתקנים חיים, מומלץ להכין במפעל טפסים מתאימים המקלים על כל הנדרש לצורך ביצוע העבודה בצורה איכותית ובטיחותית.

להלן דוגמה של הדרישות שכדאי לכלול בטופס האישור לביצוע עבודה במתח חי:

מבוא - כולל תאריך ביצוע העבודה, שעות הביצוע, אזור הביצוע, סוג הציוד עליו עובדים, המתחים באזור בו עובדים ותיאור העבודה אותה יש לבצע.

התחייבות העובד - העובד שאמור לבצע את העבודה מתחייב על כך שהוא מוסמך לבצע את העבודה, מבין את נהלי הבטיחות הדרושים לצורך ביצוע העבודה ומתחייב לנהוג בהתאם לנהלי הבטיחות.

התחייבות המפקח - המפקח שאמור לפקח על ביצוע העבודה, בודק את קיומן של הדרישות העקרוניות לביצוע העבודה בהתאם לרשימת ביקורת:

- אימות הנחיות לביצוע העבודה תחת מתח חי.
- קיום הוראות בכתב ממהנדס חשמל לביצוע העבודה.
- קיום טופס הערכת הסיכונים מלא וחתום.
- אימות יכולת הצוות לבצע עבודות תחת מתח באופן בטיחותי.
- החשמלאי המשגיח יודע שאסור לו לבצע עבודה כלשהי מעבר לצפייה בעבודת החשמלאי המבצע.
- ציוד העבודה, הכלים ומכשירי המדידה נבדקו ונמצאו תקינים.
- ציוד הבטיחות מתפקד ונבדקו אמינותו ותפקודו.
- קיום קשר ישיר עם המרפאה (הודעה מראש, מכשיר קשר).
- מיקום מנתק מתח ראשי.
- מיקום ותפקוד ציוד חירום.
- מספר טלפון חירום.

רק לאחר שהמפקח וידא את קיום כל התנאים שברשימה, הוא מצהיר שניתן לבצע את העבודה.

אישור הסמכות הבריאותית - רופא או אחות המפעל מאשרים שהם מודעים לעבודה שעומדת להתבצע.

אישור מהנדס החשמל - מהנדס החשמל המפעלי מאשר את העבודה לביצוע. ■

על-ידי מילוי הטופס משיגים את המטרות הבאות:

- הטופס עובר "עיניים מקצועיות נוספות", אשר יכולות לתת משוב על נחיצות העבודה, מהותה ואופן ביצועה ועל-ידי כך להבטיח שהיא מבוצעת בצורה הנכונה.
- אם כתוצאה מביצוע העבודה מתרחש "ארוע בלתי צפוי", הוא אינו "נופל" כהפתעה על הגורמים האמורים לטפל בו, מאחר שהם אמורים להיערך מבעוד מועד, בהתאם לרשום בטופס.

בטיחות על-ידי אמצעים

גורם חשוב בתחום הבטיחות הוא אספקת אמצעים מתאימים לביצוע העבודה. גם בסעיף זה יוזכרו אמצעים נוספים לאמצעים הרגילים כגון:

שילוט לוחות וציוד חשמלי

חשיבות מרובה יש לאופן בו משולטים הלוחות, וזאת על מנת לתת אפשרות לאיתור מהיר ונכון של מקור הזינה ושל הצרכנים המוזנים מהלוח וכן למתן הוראות הפעלה נוספות.

מערכת ממוחשבת לזיהוי מקורות ההזנה

מערכת ממוחשבת המאפשרת לזהות את מקורות ההזנה של כל פריט ציוד חשמלי, על-ידי הקלדת שם הפריט.

מטרת המערכת הינה לאפשר ניתוק של הציוד מהאספקה, גם כאשר מסיבות בטיחותיות (כגון: אש, גזים, כימיקלים וכדומה), לא ניתן להגיע אל השלט הנמצא על הציוד והמראה את מקור ההזנה.

ביצוע תחזוקה חזויה (Predictive Maintenance)

בדיקות של התחממות הציוד החשמלי (בדיקות תרמוגרפיות) באמצעות מערכת לגילוי קרינה אינפרא אדומה.

בדיקת העמסה

בדיקת העמסה של לוחות ושל מתקנים, במטרה להבטיח שההעמסה לא תעלה על ערך נתון. הבדיקה מבוצעת באופן ידני וכן באמצעות מערכות איסוף נתונים ממוחשבות (Data Logging system).

מערכות לגילוי אש/עשן

מומלץ להתקין מערכות משוכללות לגילוי אש/עשן בחדרי החשמל וללוחות החשמל, במטרה לצמצם את הנזקים ואת הסיכונים במקרה שתתרחש שריפה.

התקנת מפסקי מגן (ממסרי פחת)

קיימים סוגים שונים של מתקני חשמל (לדוגמה: משרדים) בהם מומלץ להתקין מפסקי מגן, למרות שאין חובה לעשות זאת.

התקנת מפסקי מגן במשרדים מעלה את רמת הבטיחות, אולם יש לזכור ש"נפילת" מפסק המגן תגרום להפסקת הזינה לכל הציוד המחובר אליו. כאשר מדובר במחשבים ללא גיבוי של מערכת אל-פסק סטטית, עלולים להיגרם נזקים. אחת הדרכים להתמודד עם הבעיה הינה על-ידי התקנת מספר מפסקי מגן, אשר לכל אחד מהם מחובר מספר מוגבל של צרכנים.

ביצוע עבודות חשמל בהתאם לחוק החשמל

יש לבצע עבודות חשמל בהתאם לנדרש בחוק החשמל ובתקנותיו המעודכנות, תוך שימוש בציוד תקני ובהתאם לדרישות הקבועות בתקנות הבטיחות בעבודה (חשמל). לנושא זה גם היבט "בטיחותי", הקיים על-פי דרישות חברות הביטוח.

בטיחות על-ידי הדרכה

ההדרכה הינה מרכיב חשוב ביותר במערכת הבטיחות. בכדי לאפשר לעובדים בתעשייה המיקרו-אלקטרונית המורכבת להכיר את המערכות בהן הם עוסקים, משקיעים כיום במפעלי ה-Hi-Tec, כ-5% מזמן העובדים בפעילות ההדרכה.