



מסמך עקרונות הנדסיים בנושא:

מתקני חשמל

במתח גבוה

מהדורה ראשונה

יוני 2020

הקדמה

מסמך זה דן בעקרונות הנדסיים לתכנון, הקמה, תפעול ואחזקה של מתקני מתח גבוה. המסמך מציג את אופן היישום של העקרונות הנ"ל בהתאם לנאמר בתקן של הנציבות הבינלאומית לאלקטרו טכניקה "Power installation exceeding 1 kV a.c." : IEC 61936-1 .

אופן יישום זה מותאם לנדרש על פי תקנות חוק החשמל, אמות המידה של רשות החשמל, נהלים של חברת החשמל וכללי המקצוע המקובלים בארץ בנושא זה.

המסמך מורכב מעשרה פרקים שנכתבו על יד מומחים בנושא שנדון בכל פרק ספציפי.

המסמך נדון ואושר בוועדה טכנית למתקני חשמל בהתאגדות.

רשימת הכותבים	
<u>פרק 2:</u> דרישות בסיסיות	בוריס שוורץ
<u>פרק 3:</u> בידוד חשמלי	גיא רט
<u>פרק 4:</u> ציוד חשמלי	בוריס בן דור
<u>פרק 5:</u> הקמת המתקן	אברהם לברן
<u>פרק 6:</u> אמצעי בטיחות	ד"ר משה אייל, חיים קראוסהר
<u>פרק 7:</u> מערכות בקרה והתרעה	ד"ר משה אייל
<u>פרק 8:</u> מערך הארקות	רועי אפללו, גיא רט
<u>פרק 9:</u> בדיקות	יוסף בלבל
<u>פרק 10:</u> ספר הפעלה ואחזקה של המתקן	שי הרפז, דן שרון
עריכה: בוריס שוורץ	

תוכן העניינים

עמוד

הקדמה

רשימת הכותבים

פרק ראשון: הגדרות

פרק שני: דרישות בסיסיות

2.1 כללי

2.2 דרישות חשמליות

2.3 דרישות מכניות

2.4 דרישות אקלימיות וסביבתיות

2.5 דרישות מיוחדות

פרק שלישי: בידוד חשמלי

3.1 כללי

3.2 בחירה של רמת הבידוד

3.3 בחינת ההתאמה לרמות הנדרשות

3.4 מרווחים מזעריים בין חלקים חיים

3.5 מרווחים מזעריים בין חלקי הצידוד במצבים מיוחדים

3.6 נתוני מרווחים של צידוד שעבר בדיקות דגם (TYPE TESTED)

פרק רביעי: צידוד חשמלי

4.1 דרישות כלליות

4.2 דרישות ייעודיות

פרק חמישי: הקמת המתקן

5.1 דרישות כלליות

5.2 מתקנים פנימיים

5.3 התקנת לוחות חשמל מתועשים

5.4 דרישות למרכזיות חשמל ולחדרי חשמל

5.5 תחנות השנאה מתועשות מתח גבוה/מתח נמוך

5.6 התקנה על גבי מגדלים, עמודים, תרנים

פרק שישי: אמצעי בטיחות

6.1 כללי

6.2 הגנה בפני מגע ישיר

6.3 אמצעי הגנה בפני חישמול במקרה של מגע בלתי ישיר

6.4	אמצעי הגנה על העובדים במתקן או בקרבתו
6.5	הגנה בפני קשת חשמלית
6.6	הגנה בפני פגיעה ישירה של ברק
6.7	הגנה בפני אש
6.8	הגנה בפני דליפה של נוזל בידוד או גז מבדד SF_6
6.9	לוחית זיהוי וסימון

פרק שביעי: מערכות הגנה, בקרה והתרעה

7.1	מערכות ניטור ובקרה
7.2	מקורות מתח פיקוד AC, DC
7.3	כללים בסיסים לתאימות אלקטרומגנטית של מערכות פיקוד ובקרה

פרק שמיני: מערך הארקות

8.1	כללי
8.2	דרישות בסיסיות
8.3	תכנון מערך ההארקה
8.4	הקמה של מערך ההארקה
8.5	בחירת העמידה של מערך ההארקה שהוקמה בדרישות התכנון
8.6	אחזקה שוטפת של מערך ההארקה

פרק תשיעי: ביקורת ובדיקות

9.1	כללי
9.2	וידוא ההתאמה לתכנון
9.3	בדיקות במהלך הקמת המתקן ובדיקות קבלה

פרק עשירי: ספר הפעלה ואחזקה של המתקן

פרק ראשון: הגדרות

1.1

הגדרות לפרק שני: "דרישות בסיסיות"

- 1.1.1** "גודל חיבור" – הספק ביחידות קילו-וולט-אמפר המגדיר את זרם החשמל שניתן לצרוך מהרשת או לספק לרשת בנקודה שבה מותקן המונה;
- 1.1.2** "זרם קצר" (short circuit current) – זרם יתר המופיע כתוצאה מקצר;
- 1.1.3** "חדר מיתוג" – חדר הכולל אמצעי מיתוג של רשת מתח גבוה;
- 1.1.4** "חיבור" – קישור בין מיתקן חשמלי לבין רשת חשמל לצורך העברת אנרגיה; החיבור יכול מוליכי חשמל עיליים או תת-קרקעיים, מכשירים ואבזרים אחרים לחלוקה של חשמל מרשת החשמל עד למונה;
- 1.1.5** "מתח גבוה" – כל אחד מאלה:
- (1) בזרם חילופין – מתח בין מוליכי מופע העולה על 1,000 וולט ואינו עולה על 52 קילוולט;
- (2) בזרם ישר – מתח בין שני מוליכים העולה על 1,500 וולט ואינו עולה על 74 קילוולט;
- 1.1.6** "מתח נמוך" – כל אחד מאלה:
- (1) בזרם חילופין – מתח בין מוליכי מופע העולה על 50 וולט ואינו עולה על 1,000 וולט;
- (2) בזרם ישר – מתח בין שני מוליכים העולה על 120 וולט ואינו עולה על 1,500 וולט;
- 1.1.7** "מתח עליון" – כל אחד מאלה:
- (1) בזרם חילופין – מתח בין מוליכי מופע העולה על 52 קילוולט ואינו עולה על 250 קילוולט;
- (2) בזרם ישר – מתח בין שני מוליכים העולה על 74 קילוולט ואינו עולה על 300 קילוולט;
- 1.1.8** "מתקן חשמלי" – מתקן המשמש ליצור חשמל, הולכתו, הפצתו, צריכתו, צבירתו או שינויו (טרנספורמציה), לרבות מבנים, מכונות, מכשירים, מצברים, מוליכים, אביזרים וציוד חשמלי קבוע או מיטלטל, הקשורים במתקן;
- 1.1.9** "מתקן חשמל במתח גבוה" (להלן: "מתקן החשמל") – מתקן חשמלי במתח מעל 1kV עד 35 kV;
- 1.1.10** "מתקן חשמל של ספק שירות חיוני" – מתקן חשמל שבבעלות ספק שירות חיוני, עד הדקי היציאה של המונה;
- 1.1.11** "מתקן חשמל פרטי" – מתקן חשמל שאחרי הדקי היציאה ממונה של ספק השירות החיוני;
- 1.1.12** "מתח נומינלי (nominal voltage) של מערכת" – ערך מקורב של מתח המשמש לאפיון וזיהוי מערכת חשמל;
- 1.1.13** "מתח מירבי של המתקן" – ערך אפקטיבי (r.m.s) מירבי של מתח בין מוליכי המופע, שעבורו תוכנן המתקן בהתייחס לרמת הבידוד של מרכיביו השונים;
- 1.1.14** "ספק שירות חיוני (סש"ח)" – בעל רשיון לניהול המערכת, להולכה או לחלוקה של חשמל כפי שנקבע בחוק משק החשמל, תשנ"ו-1996;
- 1.1.15** "ערך נומינלי (nominal value)" – ערך כמותי המשמש לאפיון וזיהוי של אבזר, התקן, ציוד או מערכת;
- 1.1.16** "ערך נקוב (rated value)" – ערך כמותי המשמש למטרות אפיון של מכלול נתונים טכניים של אבזר, התקן, ציוד או מערכת בתנאי עבודה שעבורם הם תוכננו;

- 1.1.17 **"רשת מתח גבוה" (להלן: "רשת" או "הרשת")** – מוליכי חשמל עיליים או תת-קרקעיים, שנאים, מבנים, מיתקנים, מכשירים, ואבזרים אחרים המשמשים לחלוקת חשמל במתח העולה על 400 וולט ונמוך מ- 33 קילוולט (מידות נומינליות);
- 1.1.18 **"רשת חלוקה במתח גבוה" (להלן: "רשת חלוקה")** – רשת מתח גבוה של בעל רישיון חלוקה כפי שנקבע בחוק משק החשמל, תשנ"ו-1996, המהווה חלק מרשת החשמל המקשרת בין תחנות המשנה לצרכנים;
- 1.1.19 **"קצר" (short circuit)** – חיבור בעל עכבה נמוכה יחסית, הנגרם עקב תקלה בין שתי נקודות או יותר, שקיים ביניהן הפרש פוטנציאלים במצב תקין;
- 1.9 **הגדרות לפרק תשיעי: "ביקורת ובדיקות"**
- "תעודת בדיקת דגם (type test) של ציוד"** – מסמך של יצרן הציוד המעיד על כך שדגם נתון של הציוד המיוצר בצורה סידרתית, עבר בהצלחה את בדיקות ההתאמה לכל הדרישות של התקנים הבינלאומיים והישראליים החלים על ציוד זה;
- 1.9.1 **"תעודת בדיקה שגרתית (routine test) של ציוד"** – מסמך של יצרן הציוד המעיד על כך שפריט ספציפי של הציוד מדגם מוגדר (שיש לגביו תעודת בדיקת דגם) מתוך ייצור סידרתי נבדק ונמצא תקין ;
- 1.9.2

פרק שני: דרישות בסיסיות

נערך על ידי: מהנדס בוריס שוורץ

תוכן הפרק:

עמוד

2.1 כללי	
2.1.1 דרישות כלליות	
2.1.2 דרישות על פי אמות מידה של רשות החשמל	
2.2 דרישות חשמליות	
2.2.1 שיטות הטיפול בנקודת האפס של מקור הזינה בתחנת משנה	
2.2.2 הגדרת רמת המתח והזרם שבהם צריך לעמוד הציוד במתקן המתוכנן;	
2.2.3 התייחסות לזרם הקצר הצפוי במתקן	
2.2.4 הגנה בפני מתח יתר והתייחסות לתופעת הרמוניות	
2.3 דרישות מכניות	
2.3.1 דרישות כלליות לתכנון הקונסטרוקציות במתקן	
2.3.2 בחינת העמידות במאמצים מכניים	
2.4 תנאים אקלימיים וסביבתיים	
2.4.1 כללי	
2.4.2 תנאי אקלים והסביבה תכנוניים רגילים למתקן פנימי (Indoor installation)	
2.4.3 תנאי אקלים והסביבה תכנוניים רגילים למתקן חיצוני (Outdoor installation)	

2.1 כללי

2.1.1 דרישות כלליות

- (א) הדרישות בעניין הגורם המבצע של עבודות חשמל ברשת החשמל במתח גבוה:
- (1) מתקן החשמל במתח גבוה יתוכנן על ידי בעל רישיון "חשמלאי- מהנדס".
על אף האמור לעיל יכול הנדסאי חשמל או מהנדס חשמל הרשום במדור חשמל בפנקס המהנדסים שאינו בעל רישיון "חשמלאי-מהנדס" לתכנן רשת, ובלבד שהוא בעל רישיון "חשמלאי ראשי" לפחות או "חשמלאי מסויג מורשה לפי תחום עיסוק", הפועל לפי הוראותיו בכתב ובפיקוחו של בעל רישיון "חשמלאי- מהנדס" שגם יאשר את התוכניות בחתימתו;
 - (2) מתקן החשמל יוקם בידי צוות עובדים (אחד או יותר) אשר הוכשר לכך ושיש בידיהם רישיון חשמלאי מתאים;
למרות האמור לעיל, עבודות הבניה של יסודות לצידוד, התקנת מובלים לכבלים, חפירת תעלות ופריסת מוליכים וכבלים יכול שתבוצענה על ידי מי שאינו חשמלאי, בכפוף להוראותיו של בעל רישיון "חשמלאי-מהנדס" ובפיקוחו של בעל רישיון של "חשמלאי- טכנאי" לפחות, שעבר הכשרה כנדרש בתקנות החשמל (רישיונות), תשמ"ה-1985;
 - (3) פעולות תפעוליות במתקן מתח גבוה תבוצענה בהתאם להוראות של בעל רישיון "חשמלאי מהנדס", בידי עובדים אשר הוכשרו לכך ושיש בידיהם רישיון חשמלאי מתאים;
 - (4) רשת חלוקה או רשת פרטית תתוחזק בידי עובדים אשר הוכשרו לכך ושיש בידיהם רישיון חשמלאי מתאים;
 - (5) עבודות חשמל ברשת חיה או בקרבתה, תבוצענה על ידי בעל רישיון חשמלאי מתאים כמוגדר בתקנות החשמל (עבודה במיתקן חי או בקרבתו), התשע"ד-2014;
- (ב) בעל המתקן צריך להגדיר את דרישותיו לגבי:
- (1) רמת האמינות של אספקת החשמל הנדרשת מהמתקן, שממנה תיגזר רמת ההפרדה בין לוחות מתח גבוה וציוד המיתוג המותקן בלוחות, כדי לצמצם למינימום את משך הפסקות החשמל בחלקים שונים של המתקן במקרה של תקלה בציוד או ביצוע פעולות אחזקה;
 - (2) אחזקת המתקן;
- (ג) התאמת המתקן והציוד המותקן בו למאפיינים של מערכת החשמל המזינה אותם ולתנאים השוררים במקום התקנתם:
- (1) תכנון, ביצוע, תפעול ותחזוקת רשת יתאימו למאפיינים הסביבתיים והאקלימיים במקום בו מוקם המתקן: עוצמת הרוח, ברקים, קרבה לים, טמפרטורה אופפת, זיהום, משקעים, ציפורים וכו';
 - (2) בנוסף לאמור לעיל יילקחו בחשבון תנאי האקלים והסתברות הופעת האירועים האקלימיים ביחד ולחוד המשפיעים על הקו, בהתאם לאורך חייו המתוכנן ורמת האמינות הנדרשים ממנו;
- (ד) תכנון המתקן צריך להתחשב ב:
- (1) ייעוד המתקן;
 - (2) דרישות בעל המתקן בעניין אמינות ואיכות אספקת החשמל לציוד הניזון מהמתקן, יכולת המתקן לעמוד בהפרעות חולפות מצד מערכת אספקת החשמל למתקן ומצד הציוד המופעל במתקן, כגון זרמי התנעה של מנועים גדולים;
 - (3) בטיחות מפעילי המתקן, העובדים והציבור הרחב (במקרים שהמתקן נגיש לציבור הרחב);
 - (4) השפעות על הסביבה (רעש, קרינה בלתי מייננת);
 - (5) אפשרויות להרחבת המתקן (אם תידרש בעתיד), תחזוקה;
- (ה) תצורת ההתחברות של המתקן למערכת אספקת החשמל של ספק שירות חיוני צריכה להתאים לדרישות אמינות אספקת החשמל הנדרשת במתקן וממנה תיגזר, בין היתר:

- (1) הזמנת החיבור מקו מתח גבוה אחד בהסתעפות או בקו בלעדי, הזמנת חיבור נוסף מקו גיבוי ועוד;
- (2) חיבור גנרטורים לגיבוי;
- (3) חיבור אמצעים לייצור עצמי;

2.1.2 דרישות על פי אמות מידה של רשות החשמל

- (א) ההגדרה של מתקן מתח גבוה על פי גודל החיבור לרשת החשמל:
 - (1) מתקן חשמלי שהספקו בין 630 קו"א לבין 8 מו"א יחובר לרשת מתח גבוה;
 - (2) למרות האמור לעיל יאפשר בעל רשת החלוקה חיבור במתח גבוה של מתקן בגודל העולה על 8 מו"א בהתקיים כל אלה:
 - גודל החיבור למתקן חדש או הגדלת החיבור למתקן הקיים לא יעלו על 16 מו"א;
 - החיבור המבוקש בגודל הנ"ל ניתן לביצוע מבחינה טכנית.
- (ב) בעל מתקן מתח גבוה או מי מטעמו המעוניינים בקבלת פרטים על חיבור אפשרי לרשת, יפנה לבעל הרשת במתח גבוה עם הפרטים הידועים לו בנושאים כדלהלן:
 - (1) מספרי גוש וחלקה שבהם יוקם מתקן החשמל;
 - (2) גודל החיבור המבוקש בקו"א;
 - (3) נקודת ההתחברות המבוקשת של המתקן לרשת;
 - (4) העומס הצפוי במתקן עם חיבורו לרשת והצפי להתפתחותו בעתיד;
 - (5) לוח זמנים משוער להקמת המתקן;
 - (6) מאפייני עומסים שיופעלו במתקן לרבות השתנות העומס המופעל הכולל על פני היממה;
 - (7) שיטת ההתנעה של מנועים, אם יותקנו במתקן;
 - (8) מאפייני הייצור העצמי, אם יוקם במתקן;
 - (9) מאפייני עומסים ייחודיים כגון: תנורי קשת, מיישרים, עומסים לא סימטריים;
 - (10) נחיצות קו גיבו;
- (ג) בהמשך להזמנת החיבור של המתקן לרשת יקיימו בעל הרשת ומבקש החיבור הליך של תיאום טכני שבו יידונו בין היתר:
 - (1) מיקום נקודת החיבור של המתקן לרשת;
 - (2) פירוט הצידוד שיתקין בעל הרשת שתזין את המתקן, בחדר המיתוג;
 - (3) מאפייני מתקן החשמל הפרטי;
 - (4) מדדי אמינות אספקה ברשת המזינה את המתקן כמפורט להלן:
 - מדד דקות אי אספקה בממוצע שנתי;
 - מדד תדירות הפרעות;
 - מדד משך השיקום של הרשת;
 - (5) מדדי איכות אספקת החשמל ברשת המזינה את המתקן כמפורט להלן:
 - הפרעות חולפות;
 - מספר אירועי דיפים (אם יש נתונים מסוג זה לבעל הרשת);
 - ניתוח הרמוניות ברשת המזינה (אם יש נתונים מסוג זה לבעל הרשת);

2.2 דרישות חשמליות

2.2.1 שיטות הטיפול בנקודת האפס של מקור הזינה בתחנת משנה

(א) שיטת הטיפול בנקודת האפס של מקור הזינה בצד המתח הגבוה בתחנת משנה, משפיעה באופן ניכר על רמה ומשך זרמי קצר ברשת החלוקה הניזונה מתחנת המשנה. השיטה הנבחרת אמורה לתת פתרון טכנו-כלכלי אופטימלי להשגת המטרות הבאות:

(1) אמינות אספקת החשמל הנדרשת מרשת החלוקה;

(2) צמצום הנזקים הנגרמים לציוד כתוצאה מקצרים לאדמה;

(3) חיפוש מיקום ההפרעות ברשת;

(4) מתחי מגע ומתחי צעד כתוצאה מקצרים ברשת;

(5) היבטי עלות של השקעה ראשונית ועלויות תפעול ותחזוקה;

(ב) שיטת הטיפול בנקודת האפס של מקור הזינה בתחנת משנה, שאליה מחוברת מערכת החלוקה, שמזינה מתקני מתח גבוה, משפיעה במישורין במתקנים אלה על:

(1) הגדרת רמת הבידוד הנדרשת של הציוד החשמלי במתקן;

(2) הגדרת המאפיינים הדרושים מאמצעים להגנה בפני מתחי יתר;

(3) בחירת מערכות הגנה בפני תקלות במתקן;

(4) תכנון מערכות הארקה;

(ג) נקודת האפס של מקור זינה בתחנת משנה מחוברת לאדמה באחת השיטות הבאות:

(1) חיבור לאדמה דרך סליל כיבוי קשת חשמלית (סליל פטרסן);

(2) חיבור ישיר לאדמה או דרך נגד בעל התנגדות נמוכה;

(3) חיבור לאדמה דרך נגד בעל התנגדות גבוהה;

(4) חיבור לאדמה דרך סליל (ריאקטור);

(ד) כאשר הצד המשני של השנאי בתחנת משנה מחובר במשולש, ניתן להתקין שנאי הארקה מיוחד ולהאריק את נקודת האפס שלו באחת השיטות כמפורט בסעיף משנה (ג) לעיל;

(ה) על אף האמור בסעיף משנה (ג) יכול שנקודת האפס של המקור תהיה מבודדת כלפי המסה הכללית של האדמה בכפוף למילוי התנאים הבאים:

(1) המערכת המוזנת ממקור זינה כאמור תהיה מצוידת באמצעים למתן התראה על ירידת רמת הבידוד או קצר חד-מופעי. ההתראה תמשך עד לבידוד וסילוק של הקצר וטיפול בתקלה;

(2) קיימים אמצעים להפסקה מיידית של מתח הזינה בעת הופעת קצר חד-מופעי ביותר מנקודה אחת במופעים שונים;

(ו) במתקן מתח גבוה שבו קיימת אפשרות של הזנה ממקור חלופי, כאשר שיטת הארקה של נקודת האפס בשני המקורות שונה, תותאם רמת הבידוד של הציוד האמור לרמת המתח הגבוהה מבין אלה המתחייבות מהשיטות האמורות;

(ז) במתקן המחובר לרשת חלוקה, כאשר במתקן קיים מקור זינה פנימי שעשוי במצבים תפעוליים מוגדרים להתחבר במקביל לרשת חלוקה, תתואם שיטת הטיפול בנקודת האפס של מקור הזינה הפנימי עם בעל רשת החלוקה;

2.2.2 הגדרת רמת המתח והזרם שבהם צריך לעמוד הציוד במתקן המתוכנן;

(א) המתקן המתוכנן צריך להתאים לנתוני המתח הנומינלי ולמתח התפעולי המירבי המותר של המערכת המזינה את המתקן;

(ב) בהתבסס על נתוני המתח המוזכרים בסעיף משנה (א) לעיל, יש להגדיר את ערך המתח המירבי הצפוי במתקן המתוכנן (U_m). ערך זה ישמש לבחירת מאפייני הבידוד החשמלי הנדרש מהמרכיבים השונים של המתקן המתוכנן, כפי שמפורט בטבלה 1 בפרק הבא.

- (ג) הציוד בכל חלקי המתקן המתוכנן ואופן התקנתו צריכים לאפשר עמידות בכל ערכי הזרם והמתח העשויים להיווצר במצבים תפעוליים צפויים בשגרה (עבודה שוטפת, פעולות מיתוג, עמידות בזרמי התנעה ועוד);

2.2.3 התייחסות לזרם הקצר הצפוי במתקן

- (א) תכנון המתקן, בחירת הציוד ואופן התקנתו במתקן צריכים להבטיח עמידות של המתקן המתוכנן במאמצים תרמיים ומכניים, הנובעים מההיווצרות זרמי קצר מסוגים הבאים:
- (1) תלת-מופעי;
 - (2) דו-מופעי;
 - (3) חד-מופעי לאדמה;
 - (4) דו-מופעי לאדמה;
- (ב) המתקן חייב להיות מוגן באמצעים מתאימים לניתוק אוטומטי של זרמי קצר תלת-מופעיים ודו-מופעיים;
- (ג) בנוסף לאמור לעיל בסעיף משנה (ב) המתקן חייב להיות מוגן במערכת לניתוק אוטומטי של זרמי קצר לאדמה או להתרעה על הופעת זרמי קצר אלה. סוג מערכת ההגנה או ההתרעה כאמור נקבע בהתאם לשיטת הטיפול בנקודת האפס של מקור הזינה למתקן;
- (ד) משך הזמן המקובל של הופעת זרמי הקצר, שיש לקחת בחשבון בעת תכנון המתקן ובחירת הציוד כאמור בסעיף משנה (א) לעיל, הוא 1 שניה. כתלות באורך הזמן עד לניתוק אוטומטי של זרם הקצר באמצעות מערכות ההגנה יכול נתון זה להשתנות בהתאם לערכים מקובלים הבאים: 0.5 שניה, 2 שניות, 3 שניות;

2.2.4 הגנה בפני מתח יתר והתייחסות לתופעת הרמוניות

- (א) הציוד במתקן חייב להיות מוגן בפני מתחי יתר שערכם עולה על זה הנדרש בתקנים הרלוונטיים החלים על בידוד הציוד במתקן, אשר נובעים מ:
- (1) פעולות מיתוג ברשת המזינה את המתקן ובמתקן המתוכנן עצמו;
 - (2) ברקים;
- (ב) בעת תכנון מתקן החשמל יש להתחשב בהשפעה אפשרית של הרמוניות זרם והרמוניות מתח. ניתוח הרמוניות (אם צפויות כאלה בהתאם למאפייני הציוד שיופעל במתקן) נדרש לקביעת אמצעים הנחוצים לתפעול תקין של המתקן;

2.3 דרישות מכניות

2.3.1 דרישות כלליות לתכנון הקונסטרוקציות במתקן

- (א) תכנון הקונסטרוקציות להצבת הציוד ואביזרים במתקן יהיה על פי העקרונות הבאים:
- (1) קביעת התצורה בהתאם למידות הציוד והמרחקים הנדרשים מחלקים אחרים של המתקן;
 - (2) חישוב הכוחות והמאמצים המופעלים על הקונסטרוקציה הנתונה;
 - (3) בחירת החומרים שבהם תבנה הקונסטרוקציה בהתחשב בתנאי התקנה, קורוזיה ועוד;
 - (4) חישוב החוזק המכני של הקונסטרוקציה;
- (ב) חישוב הכוחות והמאמצים המופעלים על קונסטרוקציה יעשה תוך התחשבות בתנאי הסביבה שבה נמצא המתקן. החישוב ייעשה בשילובים של כוחות המפורטים בהמשך בתנאי מזג אוויר קיצוניים;

2.3.2 בחינת העמידות במאמצים מכניים

- (א) ציוד והקונסטרוקציות כולל יסודות במתקן, שעליהן מותקן הציוד, חייבים לעמוד במאמצים מכניים צפויים. חישוב המאמצים הצפויים מכוחות מכניים צריך להתייחס לשני מקרים – רגיל

וחרג. בכל אחד ממקרים אלה יש לבחון מספר צירופים הכי קשים של כוחות והמאמצים הנובעים מהם, המופעלים על הציוד והקונסטרוקציות;

(ב) בחינת המאמצים עבור המקרה הרגיל צריכה להתייחס לכוחות מכניים הבאים:

- (1) כוחות הנובעים ממשקל עצמי של הקונסטרוקציה וממשקל הציוד המותקן עליה;
 - (2) כוחות מתיחה (למשל, מתיחת המוליך ברשת עילית מתח גבוה);
 - (3) מאמצים ולחצים הנוצרים במהלך ההרכבה וההקמה;
 - (4) כוחות הרוח המופעלים על הקונסטרוקציה ועל הציוד המותקן עליה, והתלויים במהירות הרוח באזור שבו מוקם המתקן – ראה **איור 2.1**;
 - (5) מאמצים הנובעים מהצטברות קרח (למתקנים המוקמים באזורים הגבוהים מעל פני הים);
- (ג) חישוב המאמצים עבור מצב חריג צריך להתייחס להפעלה בו-זמנית של הכוחות המפורטים לעיל בסעיף משנה (ב), עם הכוח הגדול ביותר מאלה המפורטים להלן:
- (1) כוחות הנוצרים בעת הפעלת אמצעי מיתוג;
 - (2) כוחות הנוצרים כתוצאה מקצר;
 - (3) עובדן מתיחה של מוליך (למשל, כתוצאה מקריעת מוליך ברשת עילית);
 - (4) כוחות סיסמיים על פי דרישות התקן הישראלי ת"י 413;

2.4 תנאים אקלימיים וסביבתיים

2.4.1 כללי

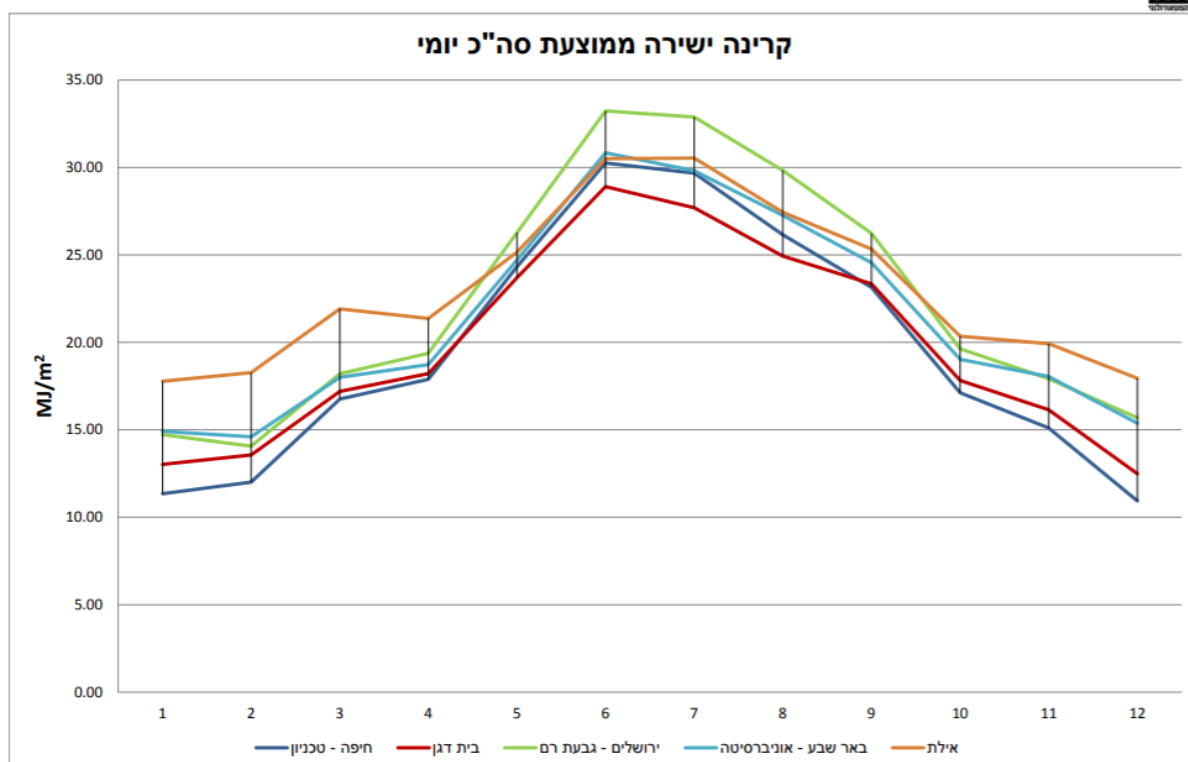
- (א) תכנון מתקן החשמל, בחירת הציוד שיוותקן בו ואופן התקנתו יתאימו להפעלת הציוד בתנאים אקלימיים וסביבתיים שיפורטו בהמשך;
- (ב) יש להתחשב בהופעת טל, משקעים, זיהומים, אבק, חומרים קורוזיביים באופן שיאפשר בחירה מתאימה של הציוד החשמלי למתקן המתוכנן בהתאם לסיווג של סדרת תקנים של הנציבות הבינלאומית לאלקטרו טכניקה IEC 60721. ציוד המיועד להתקנה בסביבה נפיצה של אבק וגזים צריך להיבחר בהתאם לסיווג המוגדר בתקן ישראלי ת"י 60079;
- (ג) במיתקן הנתון להשפעות גורמים סביבתיים מיוחדים, כגון, ציפורים, מכרסמים, טרמיטים, ינקטו אמצעי הגנה הולמים בהתאם לתקן IEC 60721-2-7.

2.4.2 תנאי אקלים והסביבה תכנוניים רגילים למתקן פנימי (Indoor installation)

- (א) נתוני הטמפרטורה האופפת באוויר:
- (1) הטמפרטורה המקסימלית: 40°C . הטמפרטורה הממוצעת שנמדדה לאורך היממה: עד 35°C ;
 - (2) הטמפרטורה המינימלית: 5°C (הציוד המתאים הוא מסוג "5 indoor");
- (ב) השפעת קרינת השמש היא זניחה;
- (ג) המתקן נמצא בגובה שאינו עולה על 1000 מטר מעל פני הים;
- (ד) הסביבה איננה מזוהמת בצורה חריגה באבק, עשן, בגזים קורוזיביים או דליקים ובאדי מים או מלח;
- (ה) ערך ממוצע של הלחות היחסית שנמדד במשך יממה, לא עולה על 95%;
- (ו) תנודות שמקורן מחוץ לציוד ותנודות הקרקע הן זניחות;
- (ז) יש להתחשב בהפרעות אלקטרומגנטיות כמתואר במסמך הנציבות הבינלאומית לאלקטרו טכניקה IEC Guide 107;

2.4.3 תנאי אקלים והסביבה תכנוניים רגילים למתקן חיצוני (Outdoor installation)

- (א) נתוני הטמפרטורה האופפת באוויר:
- (1) הטמפרטורה המקסימלית: 40°C . הטמפרטורה הממוצעת שנמדדה לאורך היממה: עד 35°C ;
 - (2) הטמפרטורה המינימלית: 10°C - (הציוד המתאים הוא מסוג "10 outdoor");
 - (3) ציוד משני כגון ממסרי פיקוד ובקרה, מגענים (קונטקטורים) וכד', שנועד לעבוד מתחת לטמפרטורה 5°C -, מצריך התייחסות מיוחדת ותאום עם יצרן הציוד;
- (ב) עוצמת קרינת השמש עד לרמה של 1000 W/m^2 (ביום בהיר בשעות הצהריים). **באיור 2.2** מוצגים נתונים של אנרגיית הקרינה הישירה הממוצעת בחודשים השונים של השנה. אם עליית הטמפרטורה המחושבת של הציוד כתוצאה מחשיפתו לקרינה ישירה במתקן המתוכנן עולה בצורה ניכרת על זו שבתנאים הרגילים, יש לתכנן אמצעים מתאימים להקטנה של עליית הטמפרטורה (למשל, התקנה של אמצעי הצללה);
- (ג) המתקן נמצא בגובה שאינו עולה על 1000 מטר מעל פני הים;
 - (ד) הסביבה איננה מזוהמת בצורה חריגה באבק, עשן, בגזים קורוזיביים או דליקים ובאדי מים או מלח;
 - (ה) במתקנים המוקמים באזורים הגבוהים מעל פני הים, שבהם תתכן היווצרות קרח, יש להתחשב בהשפעתו של הקרח (בנוסף למאמצים מכניים) על הקשחת המוליכים ופסי צבירה;
 - (ו) מהירות הרוח היא עד 34 m/s . במתקן שיוקם באזור עם רוחות חזקות יותר **(ראה איור 2.1)** יש לבחון את השפעתן בהתאם;
 - (ז) במסגרת תכנון המתקן יש להתחשב בהיווצרות מי טל על הציוד ובחשיפה לגשם וערפל;
 - (ח) תנודות שמקורן מחוץ לציוד ותנודות הקרקע הן זניחות;
 - (ט) יש להתחשב בהפרעות אלקטרומגנטיות כמתואר מסמך הנציבות הבינלאומית לאלקטרו טכניקה IEC Guide 107;



איור 2.2 : סה"כ אנרגיית הקרינה הממוצעת ביום בחודשים השונים של השנה על פי הנתונים של השירות המטאורולוגי הישראלי.

פרק תשיעי: ביקורת ובדיקות

נערך על ידי: מהנדס יוסף בלבל

תוכן הפרק:

עמוד

9.1	כללי
9.2	המרכיבים העיקריים של בדיקת מתקן מתח גבוה
9.3	ביקורת ויזואלית
9.3.1	ביקורת מסמכים טכניים שהוגשו במסגרת הזמנה של בדיקת המתקן
9.3.2	ביקורת ויזואלית של המתקן
9.4	מדידות
9.5	בדיקות פונקציונליות
9.6	בדיקות במהלך ההקמה של המתקן
9.7	בדיקות הרצה ניסיונית של המתקן והמערכות הניזונות ממנו

9.1 כללי

- (א) בדיקת המתקן החשמלי נועדה לבחון התאמת המתקן לתכנון ולדרישות תקנות חוק החשמל וחוקים רלוונטיים אחרים, לאמות מידה של רשות החשמל, להנחיות מנהל מינהל החשמל ולנהלים של ספק שירות חיוני (למתקנים הניזונים ממערכת חלוקה של ס"ח);
- (ב) בדיקת מתקן חשמלי במתח גבוה כוללת בדיקה של צד המתח הגבוה וצד המתח הנמוך. תוצאות הבדיקה חייבות להיות מתועדות בפרוטוקול הבדיקה בחתימת הבודק. דוגמה של פרוטוקול הבדיקה אפשר לראות באתר התאגדות מהנדסי החשמל (מחיצה "ועדה טכנית למתקני חשמל" - "מסמכים עקרוניים שהוכנו בוועדה").
- אנו נתייחס בהמשך רק לעקרונות הישום של בדיקת המרכיבי המתקן הניזונים במתח גבוה בהתאם לפרק 11 של תקן IEC 61936-1.

9.2 המרכיבים העיקריים של בדיקת מתקן מתח גבוה

- (א) בחינת ההתאמה של המתקן (Verification) לנדרש צריכה לכלול:
- (1) ביקורת ויזואלית;
 - (2) מדידות;
 - (3) בדיקה פונקציונלית;
- (ב) בהתאם לסיכום עם המזמין ביקורת ובדיקות כמפורט בסעיף משנה (א) לעיל יכולות להתבצע בחלקים שונים של המתקן לאחר הגעתו של הציוד הנכלל בו לשטח או לאחר השלמת התקנתו;

9.3 ביקורת ויזואלית

9.3.1 ביקורת מסמכים טכניים שהוגשו במסגרת הזמנה של בדיקת המתקן

- (א) תהליך תקין של הבדיקה מחייב שבעת הזמנת הבדיקה יוגשו לבודק המסמכים הטכניים המפורטים להלן, שייבדקו על ידו כתנאי לעריכת הבדיקה של המתקן:
- (1) תוכניות חד-קוויות ותוכניות פריסת הציוד (תוכניות עדות - AS MADE);
 - (2) מפרט לביצוע עבודות חשמל במתקן הכולל מפרטים של הציוד לצורך בדיקת ההתאמה של הציוד המותקן בשטח לזה הנדרש על פי מפרט המתקן;
 - (3) תכנית הארקות;
 - (4) תוכניות תוואי הרשת (עילית ותת-קרקעית) להזנת לוחות משנה ותחנות השנאה;
 - (5) תוכנית העמדת בחדר החשמל;
 - (6) תעודות בדיקת דגם (type test) ובדיקה שגרתית (routine test) של יצרן הציוד לגבי כל פרטי ציוד המתח הגבוה שבמתקן;
 - (7) חישובי סלקטיביות בין הגנות מתח גבוה במתקן לבין בתחמ"ש;
 - (8) תעודת מקים המתקן המאשרת שהציוד לאחר התקנתו, עבר בהצלחה בדיקה של כושר עמידה במתח יתר בשיעור של 80% מהמתח המופיע בתעודת הבדיקה השגרתית של ציוד זה (rated power frequency voltage) בתדירות 50 הרץ למשך דקה אחת;
 - (9) הצהרת חשמלאי המבצע תוך ציון מס' הרישיון וסוגו, המאשרת שהמתקן בוצע בהתאם לתקנות החשמל ועל פי התוכניות;
- (ב) בנוסף למסמכים המפורטים בסעיף משנה (א) לעיל, כאשר המתקן ניזון מרשת ספק שירות חיוני, נדרש לצרף אישור של ס"ח המאשר את התאמת הציוד לדרישותיו;
- 9.3.2 ביקורת ויזואלית של המתקן:

- (א) בחינת ההתאמה של מרחבי גישה לתפעול ואחזקה של הציוד החשמלי במתקן הנבדק;
- (ב) בחינת ההתאמה של חתך המוליכים והכבלים לתכנון ולזרם הנקוב והכיוון של הגנות בפני זרם יתר;
- (ג) התאמה של סוג הציוד שהותקן לתנאי הסביבה השוררים במקום התקנתו;
- (ד) ווידוא התקנת מגיני מתח יתר לפי התכנון;
- (ה) ווידוא הימצאות אמצעי תאורה ואוורור כנדרש על-ידי המתכנן;
- (ו) ווידוא הימצאות שלטי אזהרה והכוונה כנדרש;
- (ז) ווידוא הימצאות אמצעי נעילה נאותים לחדרים עם ציוד מתח גבוה (חדרי חשמל, חדרי מיתוג, חדרי טרנספורמציה וכד');;
- (ח) ביקורת מערכת הארקה;
- (1) ווידוא הימצאות פס השוואת פוטנציאלים (פה"פ) נפרד או משותף עם פה"פ במתח נמוך. במקרה של פסים נפרדים:
- פה"פ מתח גבוה צריך להימצא בחדר החשמל עם לוח ראשי במתח גבוה;
- צריך להימצא גישור בחתך מתאים בין פסי השוואת פוטנציאלים השונים;
- (2) ווידוא הימצאות החיבור של גוף השנאי לפה"פ במתח גבוה;
- (3) ווידוא הימצאות הארקה של כל החלקים המתכתיים (חלונות, דלתות, סולמות כבלים וכו') בחללים שבהם מותקן ציוד מתח גבוה;
- (ט) ווידוא הימצאות אמצעי נעילה למפסקים, מנתקים ומנתקי נתיכים במצב "מופסק";
- (י) בדיקת ההתאמה של המרווחים המינימליים בין חלקים חיים ובין חלקים חיים לבין האדמה, בהתאם לנדרש לעיל בפרק 3 "בידוד חשמלי";
- (יא) בדיקת ההתאמה של הכבלים וסופיות הכבלים לרמת מתח הבידוד בהתאם לנדרש לעיל בפרק 3 "בידוד חשמלי";
- (יב) ווידוא הימצאות מחיצות הגנה בפני מגע מיקרי בחלקים חיים או התקרבות לחלקים חשופים;
- (יג) ווידוא שהמחיצות המבודדות בין החלקים החיים מתאימות לרמות המתח של המתקן ושהם עברו בדיקה מתועדת במתח המתאים (10 kV/mm לפחות);
- (יד) ווידוא הימצאות של חיזוק הכבלים בכניסה לתאי הלוח, לרבות המרחק בין החיזוקים (100 מ"מ לפחות);
- (טו) ווידוא שרמת העמידות באש של חדרי החשמל, שבהם מותקן ציוד מתח גבוה מתאימה לנדרש ומתוארת בהתאם בתעודה שחתומה על ידי מהנדס בניין;
- (טז) ווידוא הימצאות יציאות חירום מחדרי החשמל ומהמבנה ושארך מסלול היציאה לא עולה על 12 מטר;
- (זז) ווידוא שדלתות ביציאות חירום, דלתות כניסה לחדרי חשמל ודלתות הכנסת ציוד נפתחות כלפי חוץ;
- (יח) ווידוא שמידות מזעריות של הפתחים יהיו כדלהלן:
- (1) פתח כניסה לחשמלאי: גובה 1900 מ"מ, רוחב 600 מ"מ;
- (2) פתח להכנסת הציוד: גובה 1900 מ"מ, רוחב מירבי של הציוד ועוד 200 מ"מ מכל צד;
- (יט) ווידוא הימצאות ציוד בטיחות בחדרים עם ציוד מתח גבוה;

9.4 מדידות

כל המדידות המפורטות להלן תבוצענה באמצעות מכשירי מדידה מתאימים שעברו בדיקת כיוול כנדרש. המדידות העיקריות שיש לבצע בבדיקה ראשונית של המתקן הן:

- (א) בדיקת הרציפות של מוליכי הארקה המחוברים לפס השוואת הפוטנציאלים הראשי ולפסים משניים;
- (ב) בדיקת התנגדות הבידוד תבוצע במתח 5000 וולט כאשר:
 - (1) ההזנה למתקן מנותקת;
 - (2) קיימים במתקן מגני מתח יתר או ציוד אחר העלול להשפיע על תוצאות המדידה או להינזק כתוצאה ממנה, ציוד זה ינותק לפני ביצוע המדידה;
- (ג) בבדיקה של התנגדות הבידוד כמפורט בסעיף משנה (ב) לעיל ייבדקו:
 - (1) התנגדות הבידוד בין מוליכי המופע ובין מוליכי המופע לבין האדמה;
 - (2) התנגדות הבידוד בין סלילי מתח גבוה של שנאי לבין גוף השנאי;
 - (3) התנגדות הבידוד בין סלילי מתח גבוה לבין הסלילים המשניים המחוברים של שנאי;
- (ד) בדיקת התנגדות אלקטרודות הארקה למסה הכללית של האדמה;

9.5 בדיקות פונקציונליות

- (א) בדיקה של תקינות פעולת החיבור/הניתוק של המפסקים והמנתקים;
- (ב) בדיקת התפקוד של שילובים (אינטרלוקים) חשמליים ומכניים המיועדים למנוע סדר פעולות שגוי בלוח לפי IEC 62271/200 Routine-test;
- (ג) בדיקת קיום ותקינות נורות סימון, התראה והזהרה;
- (ד) בדיקת הפעולה של אמצעי מדידה, התרעה ומשגוחים;

9.6 בדיקות במהלך ההקמה של המתקן

- (א) בעל המתקן או מקים המתקן יכולים להחליט על ביצוע בדיקות במהלך ההקמה של המתקן כדי לוודא שהציוד תקין, הותקן כהלכה ופועל כנדרש, וזאת בנוסף לבדיקת המתקן לאחר השלמתו ולפני חיבורו למתח;
- (ב) מזמין הבדיקה והבודק יסכמו ביניהם את מפרט הביצוע והעיתוי של הבדיקות במהלך ההתקנה של הציוד;
- (ג) הבדיקות במהלך ההקמה עשויים לכלול בדיקות פונקציונליות לבחינת ההתאמה של הציוד שהותקן לדרישות תפעוליות כגון הפעלה והפסקה אוטומטית של המתקן או של חלקים ממנו;

9.7 בדיקות הרצה ניסיונית של המתקן והמערכות הניזונות ממנו

- (א) בעל המתקן יכול להחליט על ביצוע בדיקות במהלך הרצה ניסיונית של המתקן והמערכות הניזונות ממנו (מערכות מיזוג אוויר, מעליות, פסי ייצור וכו') כדי לוודא שהמתקן החשמלי מתפקד כנדרש, וזאת בנוסף לבדיקת המתקן לאחר השלמתו ולפני חיבורו למתח או אחריו;
- (ב) במסגרת ההזמנה של בדיקת ההרצה יסוכמו בין המזמין לבין הבודק:
 - (1) משטרי ההפעלה של המערכות הניזונות מהמתקן החשמלי הנבדק;
 - (2) הנסיבות שבגללן תופסק ההרצה הניסיונית כתוצאה מכשל בפעולת אחד ממרכיבי המתקן החשמלי;
 - (3) קריטריונים לחידוש אספקת החשמל אחרי ניתוקה (למשל בעקבות משטר הפעלה חריג של המערכות הניזונות מהמתקן) – השיהוי הנדרש, בדיקה ויזואלית של הציוד וכד';
 - (4) התנאים שיש לעמוד בהם לסיום מוצלח של ההרצה הניסיונית;

