

20 באוקטובר 2026

לכל מאן דבעי

הנדון: דרישה לכיסוי פרספקס/PVC לפסים ראשיים, פס אפס ופס הארקה בלוחות מערכת T4P

שלום רב,

לפי תקן ת"י IEC 61439-1 ו-IEC 61439-2 (מהדורת 2020), אין דרישה לכיסוי פנימי נוסף (פרספקס/PVC) לפסים בלוח שבו החלקים החיים נמצאים מאחורי פנלים מתכתיים שאפשר לפתוח רק עם כלי. ההגנה הנדרשת מושגת על ידי המעטפת עצמה. הדבר נכון לכל לוחות המערכת, בכל דרגות הזרם.

מחסומים ומעטפות – סעיף 8.4.2.3

כל המשטחים החיצוניים של הלוח צריכים לספק דרגת הגנה של **IPXXB לפחות** (Finger-proof). מותר להסיר מחסום או מעטפת אם מתקיים אחד התנאים, וביניהם **שימוש במפתח או בכלי**. הפנלים במערכת נסגרים בברגים ונפתחים רק עם כלי, ולכן עומדים בדרישה.

מכשירים שמופעלים על ידי אנשים לא מאומנים – סעיף 8.4.6.1

דרגת IPXXB נדרשת רק באזורים שאנשים לא מאומנים (ordinary persons) מגיעים אליהם בתפעול רגיל, כמו ידיות, מפסקים והחלפת נתיכים. לאזור הפסים אין לאדם לא מאומן גישה בשום שלב: הוא נמצא מאחורי פנלים שנפתחים רק עם כלי.

גישה של אנשים מאומנים ומורשים – סעיף 8.4.6.2

הדרישות לגישה של אנשים מאומנים ומורשים (skilled/instructed persons) לצורך בדיקה, תחזוקה או הרחבה תחת מתח נקבעות **בהסכמה בין המשתמש ליצרן**. הן אינן חובה בתקן, אלא אם הוגדרו מראש במפרט (1-61439, נספח C, User information template).

הפרדה פנימית – סעיף 8.101 ב-IEC 61439-2

מחיצות וכיסויים פנימיים בין הפסים לבין יחידות אחרות הם עניין של **צורת הפרדה (Form 1-4) שהלקוח צריך להגדיר מראש**. Form 1, ללא הפרדה פנימית, עומד בתקן במלואו.

הגבלת גישה – חדר חשמל ונעילה

התקן מבחין בין לוחות שמותקנים במקום נגיש לאנשים לא מאומנים לבין לוחות שמותקנים **במקום עם גישה מוגבלת לאנשים מאומנים ומורשים בלבד** (נספח C: סוג המיקום וסוג האנשים שיש להם גישה). לוחות ראשיים במערכת מותקנים בדרך כלל בחדר חשמל נעול, וההגנה מפני מגע בהם בנויה בשכבות:

- **חדר החשמל ננעל**, והגישה אליו מותרת לחשמלאים מאומנים ומורשים בלבד, בהתאם לנהלי הבטיחות באתר.
- **דלתות הלוח ננעלות** במנעול או במפתח ייעודי, עם אפשרות למנעול תלייה (Padlock).
- **פנלי הכיסוי הפנימיים** מעל הפסים נפתחים רק עם כלי.

מי שמגיע לאזור הפסים הוא אדם מאומן ומורשה, שעבר את כל שכבות ההגנה בכוונה ולצורך עבודה, תוך שימוש בצידוד מגן אישי ובנהלי עבודה בטוחה. לגבי אדם כזה התקן אינו דורש מחסום נוסף. כיסוי פרספקס אינו מוסיף הגנה ממשית, והוא מפריע לבדיקות תרמוגרפיות, להידוק ברגים ולתחזוקה.

סיכוני בטיחות מכיסויים פלסטיים (פרספקס/PVC) צמודים לפסים

כיסויים כאלה לא רק מיותרים לפי התקן. הם עלולים ליצור סיכונים שאינם קיימים בתצורה המאושרת.

זליגה על פני השטח (Tracking) – תהליך שמחמיר עם הזמן

בתצורה המאושרת, ההפרדה בין פסים בפאזות שונות, ובין פס לגוף הלוח, מבוססת על מרווח אוויר (Clearance) שאומת לפי סעיף 10.4. אוויר הוא מבודד שלא מצטבר עליו לכלוך. כיסוי פלסטי שנוגע בפסים או מגשר ביניהם יוצר **משטח זחילה (Creepage) חדש**, שלא תוכנן ולא אומת לפי דרגת הזיהום (Pollution degree) וקבוצת החומר (CTI) שהתקן מגדיר.

על משטח כזה מתפתח עם הזמן תהליך הדרגתי:

1. **אבק ולכלוך מצטברים** על פני הפלסטיק. משטח פלסטי, ובמיוחד פרספקס, נוטה למשוך אבק בגלל מטען סטטי.
 2. **לחות מעיבוי**, מאוורור או משינויי טמפרטורה בין יום ללילה הופכת את שכבת הלכלוך לשכבה מוליכה.
 3. **זרמי זליגה קטנים** עוברים על פני המשטח ומחממים אותו נקודתית. החום מייבש את השכבה באזורים מסוימים ויוצר ניצוצות קטנים (Dry-band arcing).
 4. **פיחום מצטבר**: כל ניצוץ כזה מפחם את פני הפלסטיק ויוצר מסלול מוליך קבוע (Carbon track), שהולך ומתארך.
 5. **פריצה וקשת חשמלית**: כשהמסלול המפוחם מגשר בין פאזות, או בין פאזה לאדמה, נוצרת קשת חשמלית מלאה.
- זה תהליך שקט ואיטי. הוא לא נראה בבדיקה ויזואלית רגילה, וקשה לזהות אותו מראש. כלומר, הכיסוי שנועד "להגן" הופך לאורך שנות ההפעלה למקור תקלה פוטנציאלי. בלוח ללא כיסוי, האבק מצטבר על הפסים ועל המבודדים המקוריים, שאומתו לתנאים האלה, ונבדקים בתחזוקה שגרתית.

פגיעה תרמית בחומר

פסים בעומס עובדים בטמפרטורות שמותרות לפי התקן. חומרים כמו PVC ופרספקס (PMMA) מתרככים ומתעוותים בטמפרטורות כאלה לאורך זמן. חומר שהתעוות, נסדק או התפחם מאבד את תכונות הבידוד שלו ועלול להגביר את סכנת הזליגה והפריצה.

התנהגות בזמן תקלת קשת

בתקלת קשת, החומר הפלסטי נשרף ומתפרק. גזי הבעירה שלו מוסיפים חומר מיון (מוליך) לסביבת הקשת, ועלולים להקל על התפשטות הקשת לאורך הפסים ולתאים סמוכים. בנוסף, בעירת PVC משחררת עשן סמיך וגזים רעילים וקורוזיביים (HCl), שמסכנים את האנשים בחדר החשמל ופוגעים בצידוד.

פגיעה בתחזוקה ובבדיקות

פרספקס אינו שקוף לקרינה תרמית, ולכן **בדיקה תרמוגרפית דרכו אינה אפשרית**. זו הבדיקה העיקרית לאיתור חיבורים רופפים ונקודות חמות, שהם גורם מרכזי לתקלות קשת. כדי לבדוק, צריך להסיר את הכיסוי קרוב לפסים חיים, וזו עבודה שמגדילה את חשיפת העובד לסכנת התחשמלות.

תחושת ביטחון כוזבת

כיסוי שנשדק, שהותקן מחדש לא כראוי או שלא הוחזר אחרי תחזוקה עלול להטעות את העובד לחשוב שהוא מוגן. ההגנה האמיתית מבוססת על נעילת החדר, נעילת הלוח, פנלים שנפתחים עם כלי, ניתוק מתח ונהלי עבודה בטוחה. כיסוי פלסטי אינו חלק מההגנה הזו.

השפעה על התצורה המאומתת (Design Verification)

לוחות המערכת אומתו בתצורה המאושרת. אם מוסיפים כיסויים פלסטיים צמודים לפסים, התצורה המאומתת משתנה, ובפרט:

- סעיף 10.10, עליית טמפרטורה: הכיסויים מגבילים את פיזור החום מהפסים.
- סעיף 10.2.3, עמידות החומר בחום ובאש: צריך להוכיח אותה לכל חומר מבודד שמוסיפים.
- סעיף 10.4: מרווחי אוויר ומרחקי זחילה.

לכן הוספת כיסוי כזה ללא אימות מחדש עלולה **לפגוע** בהתאמה לתקן, ולא לשפר אותה.

סיכום

לוחות המערכת, בתצורתם המאושרת ובהתקנה בחדר חשמל עם גישה מוגבלת, עומדים בדרישות ההגנה מפני חשמול לפי ת"י/IEC 61439. כיסוי פרספקס/PVC לפסים אינו דרישת תקן. בנוסף, הוא משנה את התצורה המאומתת ועלול להגביר את סכנת הזליגה, הפריצה והקשת החשמלית ולפגוע ביכולת התחזוקה. אם לקוח עומד על דרישה כזו, זו דרישה חוזית נוספת, ונבחן אותה כשינוי תצורה שדורש אימות.

בברכה,

סרגיי פרידמן

מנהל מ"פ

054-2209732

תמחש בע"מ – קבוצת TGI תשתיות בע"מ