

כללי עבודה נכונים ובטיחותיים במתקני חשמל

מאת: ד"ר אלכס טורצקי (לפי מהנדס חשמל יוסף שוירמן)

מתקן החשמל המודרני מורכב מרכיבים המיוצרים תוך מגמה להקל על התקנתם.

החשמלאי רוכש את מירב הרכיבים כשהם מוכנים ברובם להתקנה. מפסקים, בתי תקע, לוחות, צינורות, מוליכים, גופי תאורה ועוד, שמותקנים ללא צורך בטיפול מעבר להתקנה עצמה. קבלנים רבים מפעילים עובדים שאינם חשמלאים לביצוע התקנת הרכיבים.

ברור, שחפירת תעלה והכנסת כבלים יכולה להיעשות ע"י אנשים שאינם חשמלאים ובפיקוחו של חשמלאי. חציבות בקירות והתקנת צינורות ותיבות נכללים בסוג עבודות אלה. לוחות מוזמנים אצל יצרן לוחות או נרכשים כיחידות חרושתיות מעל למדף.

אם כן, מה תפקיד החשמלאי כבעל מקצוע במתקן: עיבוד קצוות המוליכים וביצוע החיבורים במתקן חשמלי, שבו יש לבצע מאות ואולי אף אלפי חיבורים; חיבורים בלוחות, במפסקים, בתיבות הסתעפות, בגופי תאורה ובכל אבזר ורכיב אליו מחוברים מוליכים.

בדירת מגורים אופיינית מבצעים כ- 300 – 800 חיבורים וכמובן שבמתקן חשמל תעשייתי מספר החיבורים גבוה לאין ערוך.

מבחינים בין חיבורים קבועים והניתנים לפירוק והתקנה. כחיבורים קבועים מוגדרים חיבורי ריתוך, הלחמה ולחיצה. חיבורים שניתנים לפירוק מבצעים על ידי מהדקים מתברגים, חיבורים לרכיבים בין שהם מתברגים או מוחדרים לתפס, חיבורים לפסי מהדקים ודומיהם.

חיבורים של מוליכים באמצעות מחברים ("נעלי כבל") (איור 1) הנם שילוב של השניים. המחבר המצוי מחובר למוליך בלחיצה באמצעות מכשיר מיוחד למטרה זו (איור 3,4,5).

המחבר שמתחבר לאבזר ע"י ברגים הניתנים לפירוק יתרונות רבים. בחיבור מתפרק ניתן לשנות בקלות כיוון הפאזות, לשנות חיבורי פיקוד ובקרה ואף לנתק בקלות חלקי מתקן חשמלי.

לעומת היתרונות של החיבור המתפרק יש לתת תשומת לב גם לחסרונות. חיבורים רופפים אשר יכולים להיגרם ע"י השפעות סביבה כגון רעידות ושינויי טמפרטורה יכולים להתפתח ולגרור לשריפות ולתאונות.

ניתוק בחיבור של מוליך יכול לגרום לחשמול ומגעים רופפים מהווים גורם להתחממות נקודות החיבור. חיבורים לקויים יכולים להגיע לטמפרטורות בסדר גודל של 200°C ויותר.

לפי סטטיסטיקה של ארגון חברות הביטוח האירופיות נגרמו בשנים החולפות כ- 12-15% מן השריפות בגלל ליקויים במערכות חשמל. בכל אבזר, רכיב, ציוד ומתקן חשמלי קיימים (כנאמר לעיל) מאות חיבורים. לחיבורים לקויים תרומה נכבדה להתהוות חום וכפועל יוצא פרוץ שריפות.

לחיבורים נאותים של המוליכים במתקן החשמלי חשיבות רבה למניעת שריפות.

להבטחת אמינות ותפקוד נאות של מערכות חשמל נדרשים חיבורים נאותים ואמינים של קצוות המוליכים.



איור מס' 1 נעלי כבלים

ננתח את הפעולות לביצוע חיבורי מוליכים נאותים.

1. חיתוך המוליך

המכשיר לחיתוך מוליך צריך להיות מתאים ליעודו ולהיות במצב תקין. מוליכים עד לסדר גודל של 16mm^2 אפשר לחתוך בעזרת קוצץ (Cutter) או פלייר. למוליכים בשטחי חתך מעל ל- 16mm^2 מומלץ להשתמש במכשיר חיתוך. שימוש במכשיר מסוג זה מבטיח חיתוך ישר וחלק. חיתוך ישר מאפשר הלבשת "נעלי כבל" בקלות.

לכבלים בשטחי חתך גדולים אפשר להשתמש במסור ידני או משור דיסק.

2. הסרת הבידוד ועיבוד קצה המוליך

הסרת הבידוד בצורה נאותה מהווה תנאי לעמידות וטיב החיבור. קיימת שיטה פשוטה ו"עממית" להסרת הבידוד ע"י קוצץ או ע"י סכין. יהיה החשמלאי בעל מיומנות גבוהה, תשארנה פגיעות של להבי הקוצץ או הסכין על המוליך. פגיעת הלהבים גורמת להיחלשות המוליך ולעיתים נשבר המוליך סמוך למקום אשר נפגע ע"י להבי קוצץ או סכין.

מצב זה מחמיר ככל שהמוליך מורכב מגידים רבים כמו למשל במוליכים גמישים. כאשר מסירים את הבידוד ממוליך המורכב מסיבים רבים כגון פתיל גמיש ומשתמשים להסרת הבידוד בסכין נפגעים סיבים בהיקף המוליך ונתלשים.

בעבר הייתה שיטה שכיחה לגימור קצוות פתילים גמישים ע"י הלחמה בבדיל. עד היום דוגלים חשמלאים ותיקים בשיטה זו. אך אם ננתח את שיטת עיבוד קצוות גידים בהלחמת בדיל נראה ששיטה זו לוקה בחסר ואף גורמת להתרופפות חיבורים ותקלות. טמפרטורת ההתכה של בדיל להלחמה הינה בין 200°C לבין 300°C בהתאם להרכב החומר. על מנת ליצור חיבור הלחמה סביר יש לחמם את קצה המוליך לטמפרטורה זו. מאידך טמפרטורת הנזילה של PVC היא כ- 120°C . זאת אומרת שאם נחמם את קצה המוליך לטמפרטורת הנזילות של

הבדיל, נגרם לנזילה והתרככות הבידוד. אם לא חמם את קצה החוט במידה מספיקה תהיה הלחמה "קרה".

חיבור מוליך כאשר הגימור עשוי בהלחמה לא יהיה אמין. החוזק המכני של הבדיל חלש יחסית לבורג ותוך זמן קצר מתחיל תהליך של התרככות והמגע מתרופף.

בעבר היה גם מקובל להשתמש בנעלי כבל המחברים למוליך בהלחמה. גם נוהג זה פסול ובעיקר בגלל הסיכון של התרככות הבדיל בזרמי קצר.

לגימור נכון ותקני של קצוות מוליכים גמישים יש להשתמש במכשיר ייעודי לקילוף הבידוד והתקנת שרוול לחיצה לאיחוד הסיבים ויצירת קצה קשיח.

לעיבוד קצוות של מוליכים קשיחים יש להשתמש במכשיר לקילוף הבידוד ומאחר שהמוליך קשיח אין כמובן צורך בטיפול נוסף. יש תמיד לזכור את התאמת עומק חדירת החיתוך של המקלף על מנת לא לפגוע במוליך.

3. חיבורים של כבלים

ככול ששטח החתך של המוליכים גדול יותר וקבוצות של מוליכים מאוגדים בכבל נדרשת מיומנות יותר גבוהה בעיבוד הקצוות.

ככלל יש להקפיד על קילוף שכבות הבידוד של הכבל/המוליך מבלי לפגוע בשכבה שמתחתיה. כל שמץ של פגיעה ע"י סכין או גורם אחר מהווה סיבה לליקוי אשר עלול להופיע במועד מאוחר. סיכון זה חמור במיוחד כאשר מבצעים "מופה" להתקנה תת קרקעית. מוקדם או מאוחר תחדור לחות וכל חריר וחריר מזערי בבידוד יכול בקלות להוות גורם לנזק.

האבזר הידוע כ"נעל כבל" הינו חוליה קריטית בשרשרת מערכת חיבורי החשמל. יש לתת תשומת לב רבה בבחירת "נעל הכבל" ולהתאימה הן לקצה המוליך וכן למקום החיבור כגון פסי צבירה או חיבור למפסק.

כיום משתמשים בשיטת הלחיצה של נעלי הכבל. נעל הכבל עשויה מחומרים אשר מאפשרים שינוי צורה – לחיצה – ושמירת המצב הלחוצי.

הקשר בין קוטר הגיד לקוטר הפנימי של נעל הכבל ולאבזר הלחיצה הוא המפתח ליצירת חיבור אמין אשר יהיה עמיד לאורך פרקי זמן ארוכים.

אין לנו עדיין בישראל תקן לנעלי כבל ולאמצעי הלחיצה. תקנים כאלה קיימים בעולם ומאחר ואנו משתמשים להגדרת שטח החתך של המוליכים בשיטה המטרית. מעודפים נעלי כבל ומכשירי לחיצה לפי תקנים אירופיים.

לפי התקנים האירופיים מוטלת האחריות לטיב החיבור של נעל הכבל למוליך על יצרן הנעל. היצרן מעביר נעלי כבל עם קצוות של מוליכים לבדיקה במכונה בדיקה מוכרים לאישור טיב החיבורים.

התנאי המפורש לשמירה על רמת חיבור נאות בשטח הוא שימוש בנעלי כבל תקינים וביצוע הלחיצה במכשור תקני ובטבעיים (dies) מתאימים.

על נעלי הכבל התקניים ועל הטבעות מוטעות ספרות היכר ויש לשים לב שספרת ההיכר על האחד תהיה תואמת את השני.

כל ה"פנטים" של התאמת נעלי כבל למוליכים ע"י הוספת גידים או שילוב של מוליכים בנעל כבל אחת פסולים בתכלית. כל סטייה מן הנוהג המתואר לעיל מהווה גורם לתקלות וסכנה לשריפות.

לדוגמא דיווח על מקרה שקרה. במפעל גדול הוחלפו כבלי אספקה בין שנאי ללוח ראשי. הכבלים בשטח חתך $3 \times 240/120 \text{mm}^2$ והמוליכים מאלומיניום.

כחודש לאחר השלמת החלפת הכבלים כאשר הגיע העומס החשמלי לכ- 80% מן העומס התקני של הכבלים, הבחין החשמלי בחום גבוה אשר נפלט מאזור החיבורים של הכבלים ללוח הראשי.

נערכה בדיקה טרמוגרפית ונצפתה טמפרטורה של 150°C בעלי הכבל. המתקן נותק ובדיקת החיבורים העלתה שנעלי הכבל לא היו לחוצים כראוי. בחקירה מעמיקה התברר שהיה שימוש במכשיר לחיצה מתוצרת ארה"ב אשר לא היה תואם את נעלי הכבל האירופיים.

קצוות המוליכים נחתכו, הותקנו נעלי כבל תקניים והלחיצה בוצעה במכשיר תואם. לאחר חיבור המערכת והעמסתה במשך 6 שעות נמדדה טמפרטורה של 70°C באותן הנקודות בהן נמדדה קודם טמפרטורה של 150°C .

המקרה הנ"ל מוכיח מעל לכל ספק עד כמה חשובה תאימות נכונה בין המוליך, נעל הכבל ומכשיר הלחיצה.

4. ברגים, דסקיות וחיזוקים

בורגי החיבור של מוליכים לרכיבים כגון פסי צבירה ומפסקים מהווים חוליה נוספת בשרשרת חיבורי החשמל. מומלץ להשתמש בברגים בעלי הברגה מילימטרית. כמו כן יהיו הברגים בעלי כרכוב מעובד על מנת ליצור מגע היקפי חזק ושווה עם נעלי הכבל. רצוי להשתמש בדסקיות קעורות וקפיציות המיועדות לחיבורי חשמל, איור 2. לדסקיות אלה תכונות המתאימות עצמן לטמפרטורה של החיבור.



איור מס' 2 דסקית (שייבה) קפיצית קעורה

לא מומלץ להשתמש בדסקיות קפיץ רגילות או דסקיות כוכב. ידועים מקרים שדסקיות קפיץ איבדו את תכונותיהן הקפיציות ונוצר מגע רופף עם כל המשתמע מכך.

את הברגים יש לחזק במפתח מומנט בלבד! להלן טבלה של ערכי חיזוק מומלצים למערכות חשמל.

מומנט חיזוק ב – Nm	קוטר הבורג
1,5	M 4
2,5	M 5
4,5	M 6
10	M 8
20	M 10
40	M 12
80	M 16

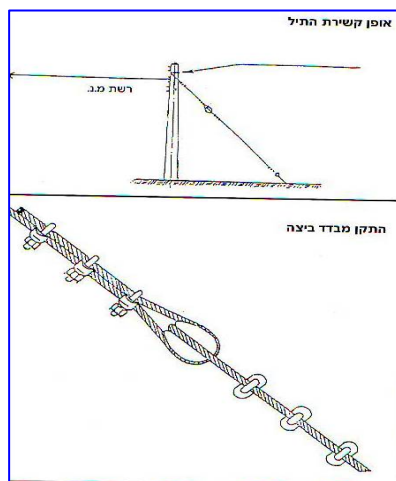
נתונים אלה מתוך תקן DIN 43 673



איור מס' 3 לחצנים ידניים לנעלי כבלים



איור מס' 4 לוחץ חשמלי לנעלי כבלים



איור מס' 5 חיבור תיל קשירה במערכת החשמל ואביזריהם

לפי תקנות החשמל (התקנה רשתות חשמל עיליות במתח עד 100 וולט), התשנ"ה – 1995

5. סיכום

החיבורים הן החוליה המקשרת בין האבזרים והרכיבים של מתקן החשמל. בגלל ריבוי החיבורים במתקן החשמלי מוטלת אחריות כבדה על החשמלאי המבצע את החיבוקים.

מומלץ לציבור החשמלאים להקפיד על ביצוע חיבורי החשמל ברמה גבוהה תוך שימוש בכלים מתאימים ובמיוחד באבזרים מתואמים כגון שרוולים ונעלי כבל. אל תתפתו לחסכונות! זכרו את המקרה של התחממות נעלי הכבל שעלולה להסתיים בשריפה ובנזק חמור.

- הדאגה לתקינות הכלים לעיבוד קצוות המוליכים צריכה להיות קבועה ועל החשמלאי לוודא את תקינות סיכני החיתוך וכיוון עומק החדירה. כמו כן יש לבדוק תקופתית את תקינות מכשירי הלחיצה ובמיוחד יש לבדוק אם נוצר בלאי בטבעים.