



"עושים חשבון"

בפינה חדשה זו נציג דוגמאות חישוב הנוגעות למיתקנים חשמליים. הדוגמאות הן תיאורטיות, ומציגות חישובים עקרוניים בלבד המבוססים על תקנות החשמל, לשם המחשת הנושאים השונים והגברת המודעות בקרב העוסקים בחשמל.

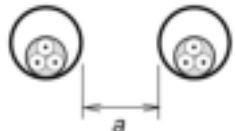
חישובי העמסת כבלים

ההתנגדות תרמית סגולית של הקרקע היא 2.5 קלווין*מטר לואט. לכן, המקדם $K_3=1$ לפי טבלה 3 שבתוספת הראשונה של התקנות. טבלאות 4, 5 ו-6 שבתוספת הראשונה של התקנות לעיל אינן רלבנטיות לשיטת התקנה זו (טבלה 4 דנה בכבלים שאינם מותקנים באדמה; טבלה 5 דנה בכבלים טמונים במישורין - ללא צינורות באדמה; ואילו טבלה 6 דנה בכבלים חד-גידיים המותקנים בתוך צינורות שטמונים באדמה). טבלה 7 שבתוספת זו לתקנות (איור 2) דנה בכבלים רב-גידיים המותקנים בתוך צינורות באדמה, וקובעת: עבור התקנה זו, שבה כל כבל מותקן בצינור נפרד, מקדם התיקון הנדרש לחישוב I_z עבור 4 כבלים עם מירווח של 25 סנטימטרים בין צינור לצינור (האות a באיור 2) הוא $K_7=0.8$.

איור 2: טבלה 7 בתוספת ראשונה לתקנות - מקדמי תיקון לחישוב I_z בעבור קבוצות של כבלים רב-גידיים בתוך צינורות המונחים ישירות באדמה - כל כבל בצינור נפרד

מרחק בין הקבוצות של הצינורות (a) בסנטימטרים	מספר קבוצות של צינורות
a = 100	a = 0 (צמודים)
0.95	0.85
0.95	0.75
0.90	0.70
0.90	0.65
0.90	0.60

כבלים רב-גידיים



לפי טבלה 90.6 שבתוספת השנייה המתאימה לתנאי ההתקנה שלעיל (איור 3), הזרם המתמיד המרבי עבור כבל בחתך 240 ממ"ר הוא $I_z=253$ אמפר לפני ההכפלה במקדמי התיקון הרלבנטיים.

איור 3: טבלה 90.6 שבתוספת השנייה לתקנות - זרם מתמיד מרבי בהתאם לשיטת התקנה

טבלה 90.6
שיטות התקנה ל', ל"א, י"ג
טמפרטורה אופפת של אדמה - 30°C, התנגדות תרמית סגולית של אדמה - 2.5 מעלות קלוין * מ' / וואט, בידוד 90°C

שטח חתך S [ממ²]	זרם מתמיד מרבי I _z [אמפר]			
	נחושת		אלומיניום	
	מעגל חר-מופעי	מעגל תלת-מופעי	מעגל חר-מופעי	מעגל תלת-מופעי
120	267	223	205	173
150	301	252	232	195
185	338	283	259	219
240	390	326	299	253
300	441	368	339	286

בדוגמא שלפנינו נציג מפעל תעשייתי המוזן באמצעות רשת מתח גבוה 33 ק"ו. המפעל כולל תחנת השנאה פנימית פרטית, המזינה לוח ראשי במתח של 0.4 ק"ו.



הלוח הראשי מוזן באמצעות 4 כבלים רב-גידיים העשויים אלומיניום עם בידוד 90 מעלות, המחוברים זה לזה במקביל. צריכת האנרגיה במפעל עומדת על 80% מהספק השנאי, עם אופציה להתרחבות עתידית. שטח החתך של מוליכי המופעים שבכל אחד מארבעת הכבלים הוא 240 ממ"ר מותקנים בתוך צנרת הטמונה בקרקע.

השאלות:

האם מספר הכבלים שבקו ההזנה ללוח הראשי מתאים לצריכת האנרגיה של המפעל?
האם מספר הכבלים שבקו ההזנה ללוח הראשי מתאים בעת העמסה מלאה של השנאי?

פתרון:

שלב א' - איסוף הנתונים

השנאי מועמס ב-80% מהספקו.
לוח ראשי מוזן מכבלי אלומיניום רב-גידיים עם בידוד 90 מעלות. שטח החתך של מוליכי המופעים הוא 240 ממ"ר.
שיטת ההתקנה בצנרת בקרקע - שיטת התקנה ל' (ראו איור 1), לפי תקנות החשמל "העמסה והגנה על מוליכים וכבלים במתח נמוך" (עדכון 2014).
הטמפרטורה האופפת של הקרקע היא 30 מעלות צלזיוס.

איור 1: שיטת התקנה ל' - כבלים בתוך צנרת באדמה

ל'	כבלים חר-גידיים או רב-גידיים בצינור או בתעלה בנויה בתוך האדמה	70.6 90.6

שלב ב' - התאמה לתקנות והנחות יסוד

הטמפרטורה האופפת של הקרקע היא 30 מעלות צלזיוס. לפיכך, בטבלה 2 שבתוספת הראשונה של התקנות לעיל - $K_2=1$.

מכאן, ש-4 כבלים יספיקו להזנת הלוח הראשי בהעמסה זו.
בהעמסה מלאה של השנאי, הזרם הנומינלי המחושב הוא:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{630kVA}{\sqrt{3} \cdot 400} = 910A$$

בחישוב הקודם ראינו, שלפי שיטת ההתקנה הקיימת ניתן להעמיס את ארבעת הכבלים בזרם עד 809.6 אמפר לכל היותר. לפיכך, נדרש לבדוק כמה כבלים יש להוסיף על מנת להעביר 910 אמפר. גם כאן עלינו לנהוג משנה זהירות, מכיוון שבהוספת כבלים בתעלה, בהנחה שהמרחקים ביניהם נשמרים, יכולים להשתנות גם מקדמי התיקון.

במקרה שלפנינו, גם לאחר הוספת כבל חמישי (ראו איור 2) נשאר המקדם $K_7=0.8$. לפיכך, יכולת ההעמסה של כל כבל תישאר $I'z=202.4A$.

$$I'z = 202.4 \cdot 5 = 1012A$$

מכאן, שבאמצעות 5 כבלים ניתן להעביר 1,012 אמפר. מסקנה: 4 כבלים אינם מספיקים להוצאת כל ההספק מהשנאי, ולפיכך נבחר מערכת עם 5 כבלים, שתתאים להעמסה מרבית של השנאי. חשוב לציין, כי עבור סיטואציה שונה, בה מקדם התיקון משתנה לאחר שינוי מספר הכבלים, יש לחשב את יכולת העמסת הכבלים מחדש, הן עבור העמסה חלקית (80% בדוגמה לעיל) והן עבור העמסה מלאה של השנאי.

שלב ג' - החישוב

כעת, כשבידנו כל הנתונים המתייחסים להעמסת הכבל והתקנתו, נוכל לדעת מהי יכולת העמסת הכבל הנכונה באמצעות הכפלת הזרם המתמיד המרבי במקדמי התיקון כדלקמן:

$$I'z = I_z \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_7$$

לפיכך:

$$I'z = 253 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.8 = 202.4A$$

העומס במפעל מהווה 80% מהספק השנאי, ולכן:

$$S_{load} = S_n \cdot 0.8 = 630kVA \cdot 0.8 = 504kVA$$

לפיכך, זרם העמסה של המפעל הוא:

$$I_{load} = \frac{S_{load}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{504kVA}{\sqrt{3} \cdot 400} = 727.46A$$

מכאן, שחייבים לדאוג שגודל העומס באמפרים יהיה קטן מיכולת העמסת הכבלים לאחר התיקון, או שווה לה.

$$I_{load} \leq I'z \cdot n$$

n - מספר הכבלים.

$$727.46 \leq 202.4 \cdot 4$$

$$727.46A \leq 809.6A$$

ואכן,