

# כבלים למתח נמוך



כתיבה ועריכה:

סגל אריאל ו- סניג'רי כבלים

# הגדרות

**תיל -**

רכיב מתכתי יחיד בעל חתך עגול.

**מוליך -**

תיל אחד או תילים אחדים שזורים יחד או לא שזורים, המהווים רכיב המיועד להעברת זרם חשמלי.

**מוליך חשוף -**

עשוי מנחושת, אלומיניום או סגסוגת אלומיניום חשופים ללא בידוד.

**מעטה בידוד -**

עטיפה רצופה המהווה בידוד חשמלי של המוליך.

**מוליך מבודד -**

מוליך בעל מעטה בידוד לכל אורכו.

**מעטה פנימי -**

עטיפה משותפת לגידים אחדים, המיועדת לאיגודם או להקניית צורת חתך מסוים.

# הגדרות

**כבל -**

מוליך יחיד שיוצר עם מעטה נוסף, או כמה מוליכים מבודדים שאוגדו בתהליך יצורם במעטה מבדד נוסף משותף. כבל עשוי בדרך"כ מספר שכבות: מוליך, בידוד ומעטה חיצוני. יכולים להיות מרכיבים נוספים כמו סיכוך, שריון ושכבות מוליך למחצה.

**גיד -**

מוליך מבודד, המהווה רכיב של כבל או של פתיל.

**כבל חד גידי -**

מוליך יחיד מבודד שיוצר עם מעטה נוסף

**כבל רב גידי -**

כבל המורכב מכמה מוליכים מבודדים שאוגדו בתהליך יצורם במעטה מבדד נוסף משותף.

**פתיל -**

כבל כפיף

# חומרים המשמשים לייצור מוליכים

**חומרים המשמשים לייצור כבלים:**

**מתכות ליצור המוליכים:**

**נחושת:**

משקל סגולי:  $8.9\text{gr/cm}^3$

התנגדות סגולית:  $1/58=0.0175\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

**אלומיניום:**

משקל סגולי:  $2.7\text{gr/cm}^3$

התנגדות סגולית:  $1/35=0.0285\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

$$\left. \begin{array}{l} \text{יחס שטחי חתך} \\ \frac{S_{AL}}{S_{Cu}} = 1.63 \end{array} \right\}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{יחס משקלים} \\ \frac{M_{AL}}{M_{Cu}} = 0.5 \end{array} \right\}$$

עבור התנגדות זהה:

# קוטר חיצוני של מוליכים והתנגדותם

שטח חתך [mm <sup>2</sup> ]	מספר המוליכים וקוטרם [mm]	קוטר מוליכים מקורב	קוטר חיצוני מקורב	התנגדות מרבית ב- 20°C [Ω/km]	
				נחושת	אלומיניום
1	7x 0.43	1.3	2.6	18.1	-
1.5	7x 0.53	1.6	2.9	12.1	-
2.5	7x 0.67	2.0	3.5	7.41	12.1
4	7x 0.85	2.6	4.2	4.61	7.41
6	7x 1.05	3.2	4.8	3.08	4.61
10	7x 1.35	4.1	6.3	1.83	3.08
16	7x 1.71	5.2	7.2	1.15	1.91
25	7 x 2.13	6.6	9.1	0.727	1.2
35	19x 1.53	7.0	10.5	0.524	0.868
50	19x 1.80	9.1	12.5	0.587	0.641
70	19x 2.17	10.9	14.5	0.268	0.443
95	37x 1.80	12.6	17.0	0.193	0.320
120	37x 2.03	14.2	18.5	0.153	0.253
150	37x 2.27	15.9	20.5	0.124	0.206
185	37x 2.52	17.7	23.0	0.0991	0.164
240	61x 2.24	20.2	26.0	0.0754	0.125
300	61x 2.52	22.6	28.5	0.0601	0.100
400	91x 2.36	26.0	31.4	0.0470	0.0778

# השוואת כבלים מנחושת ואלומיניום

משקל מוליך אלומיניום (תיאורטי) [kg/km]	חתך כבל מאלומיניום (בחישוב תיאורטי) לצורך הולכת זרם זוהה [mm <sup>2</sup> ]	משקל כבל מיוצר מנחושת [kg/km]	זרם נקוב [A]	סוג הכבל
190	70	450	197	N2XY 1*50
605	(224)	1350	420	N2XY 1*150
180	16	370	73	N2XY 4*10
770	70	1820	187	N2XY 4*50
2450	(224)	5460	390	N2XY 4*150

**הערה: מקובל לקחת לפחות 2 דרגות חתך בתוספת במעבר מנחושת לאלומיניום**

# השתנות מחירי הנחושת בשנים 2002-2011



# השתנות מחירי אלומיניום בשנים 2002-2011



- במרבית המקרים עשויים חומרי הבידוד והמעטה מפולימרים סינתטיים (Synthetic Polymers) המיוצרים מחומרים המופקים מנפט.
- פולימרים אלה ניחנים בתכונה הנקראת תרמופלסטיות (*Thermoplastic polymers*) כלומר חומרים שניתן לשנות את צורתם על ידי חימום (בעקבות החום מתרחשת המסה). תהליך זה הוא הפיך.
- בחימום מעל לטמפרטורה מסוימת הופכים החומרים לקשיחים (*Thermosetting polymers*) ללא אפשרות חזרה למצב קודם.

**סוגי בידוד**

- נייר רווי שמן
- חומרים פלסטיים כדוגמת פוליאטילן (PE), פוליאטילן מוצלב (XLPE) פולי ויניל כלוריד (PVC).
- גומי אתילן - פרופילן - ראבר (EPR).



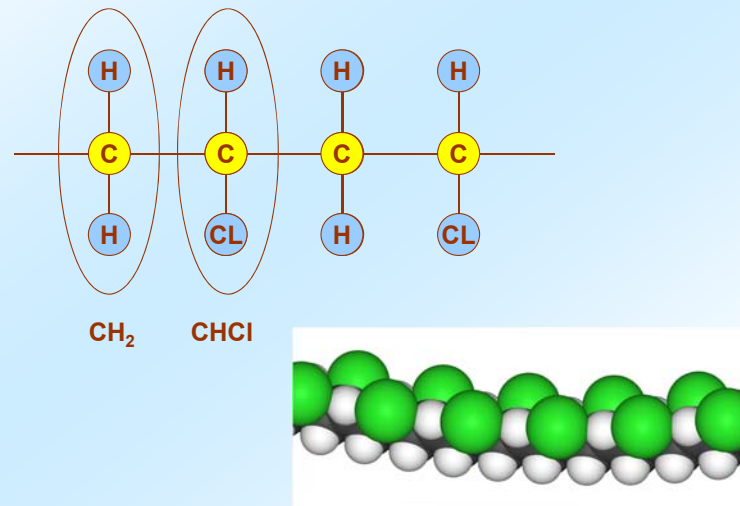
כבל סקטוריאלי למתח נמוך בידוד PVC



- Polyvinyl Chloride – P.V.C**
- P.V.C מתקבל לאחר פולימריזציה (\*) של מולקולות בסיסיות של  $CH_2-CHCl$ . מולקולה בסיסית זו מתקבלת כתוצאה של אלקטרוליזה של אטילן בנוכחות כלור.
  - את האטילן מפיקים מנפט.
  - את הכלור מפיקים ממלח ים.
- (\*)פולימריזציה – יצירה של מולקולות ענק (מקרו מולקולות) העשויות ממספר גדול של מרכיבים בסיסיים המכונים מונומרים

- כדי להקנות לפולימרים תכונות מתאימות לעיבוד (לשיחול EXTRUSION) ולתעשיית החשמל, מוסיפים להם תוספות שונות. החומרים הנוספים נקראים בשם חומרי מילוי - Fillers.
- חומרי המילוי הם חומרים מינרליים או אורגניים המשפרים את התכונות המכניות והחשמליות של בידוד המוליכים.
- חומרים מרככים – PLASTISIZERS לשיפור גמישות המוליכים.
  - חומרים להפחתת הבלאי.
  - חומרים מפחיתי חימצון - ANTI - OXIDANT.
  - חומרים להפחתת השפעת קרינת UV.
  - מייצבים (STABILIZERS)

# P.V.C – Polyvinyl Chloride



# סוגי בידוד

## Polyvinyl Chloride – P.V.C

### נקודות זכות:

- תכונות מכניות טובות מאוד (משקל נמוך, אורך חיים גבוה, רדיוס כיפוף קטן..).
- התנגדות חשמלית טובה בטמפרטורת סביבה.
- התנהגות טובה במים וסבירה בשמן (מתאים להתקנה תת מימית).
- גמישות (כיפוף וסיבוב ללא סדקים).
- חסינות אש והעברת להבה מועטה.
- עמידות טובה בקרינה אולטרה סגולה.
- עמידות מצויינת באוזון.
- יכולת מחזור.
- הפקה זולה.

# סוגי בידוד

## Polyvinyl Chloride – P.V.C

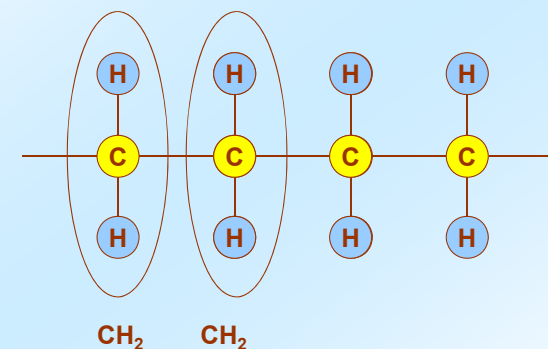
### נקודות חובה:

- תכונות חשמליות פחותות בטמפרטורה גבוהה.
- הפסדים חשמליים גבוהים יחסית.
- טמפ' עבודה מינימלית  $-25^{\circ}\text{C}$ .
- שבירות בטמפרטורות נמוכות (מתחת ל  $-5^{\circ}\text{C}$ ).
- איבוד התכונות המכניות בטמפרטורה של מעל  $140-150^{\circ}\text{C}$ .
- פליטת גזים רעילים בעת שריפה.
- העדר עמידות למכרסמים.

# סוגי בידוד

## Polyethylene – P.E

- פוליאטילן מתקבל על ידי פולימריזציה של אטילן  $\text{CH}_2\text{-CH}_2$ .



### Polyethylene – P.E

#### נקודות זכות:

- תכונות חשמליות מצוינות (התנגדות סגולית והפסדים חשמליים מינימאליים).
- תכונות מכניות מתקבלות על הדעת בטמפ' מתחת ל-  $100^{\circ}\text{C}$ .
- חלחלות נמוכה עובדה המכתיבה זרם קיבולי נמוך.
- חדירת מים וגזים נמוכה.
- תהליך יצור פשוט יחסית.

### Polyethylene – P.E

#### נקודות חובה:

- בעירה מהירה והעדר עמידות באש.
- העדר עמידות באוזון.
- עמידות נמוכה בשמנים.
- קשיחות גבוהה – לא ניתן להשתמש בכבלים גמישים.
- איבוד התכונות המכניות בטמפ' של מעל  $110^{\circ}\text{C}$ .
- העדר עמידות למכרסמים

## פוליאיתילן מוצלב - Crosslinked Polyethylene

לפוליאיתילן יש מספר תכונות המגבילות אותו מלהיות חומר מתאים לבידוד חשמלי, אחת מהן היא היותו חומר תרמופלסטי כלומר חומר שבחיומו ניתן לעצב את צורתו מחדש. טמפ' ההתרככות שלו היא  $105^{\circ}\text{C}$ - $110^{\circ}\text{C}$ . חיסרון נוסף היא נטייתו להיסדק במאמץ.

בתהליך כימי ניתן להצליב - Cross linked את מולקולת הפוליאיתילן, ולקבל פוליאיתילן מוצלב - XLPE. תהליך הצלבה משפר את התכונות התרמיות והמכניות של הפוליאיתילן. החומר המוצלב חדל מלהיות תרמופלסטי, אולם תכונותיו החשמליות כמעט אינן משתנות.

## פוליאיתילן מוצלב - Crosslinked Polyethylene

נקודת ההתרככות של פוליאיתילן מוצלב היא כמו של פוליאיתילן, אך בטמפרטורות גבוהות יותר ממשיך עדין החומר להיות גמיש וזאת עד טמפ' של  $300^{\circ}\text{C}$  בה הוא מתפחם.

הנטיה להיסדק במאמץ גם היא לא קיימת בפוליאיתילן המוצלב וכן עמידותו לאורך שנים טובה יותר גם במקרים שטמפ' הסביבה גבוהה.

השיטה ליצור פוליאיתילן מוצלב פותחה בארה"ב בשנות החמישים ומאז עוברת שיפורים. כיום קיימים כבלים המיועדים למתח עליון ומתח על עד כ-  $500\text{kV}$  בעלי בידוד XLPE.

## פוליאתילן מוצלב - Crosslinked Polyethylene

הפוליאתילן מורכב משרשראות מולקולריות ארוכות. ע"י הצלבה (Cross-Linking) של מולקולות החומר, מפיקים רשת קשרים חזקים בין המולקולות וכך הופך הפוליאתילן לפוליאתילן מוצלב. ניתן לבצע את תהליך ההצלבה בכמה שיטות. על פי רוב מבצעים זאת באמצעות תגובה כימית עם חומר הנקרא פראוקסיד.

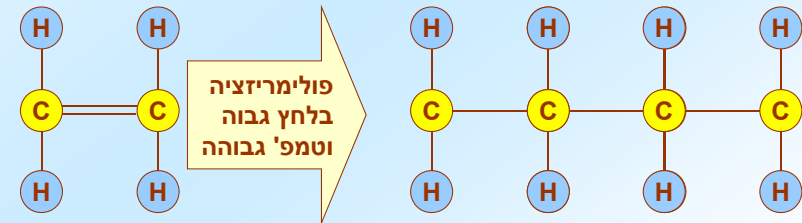
חומר הבסיס ליצירת פוליאתילן מוצלב הוא מולקולות של גז האתילן. בתהליך פולימריזציה, המתקיים בתנאי לחץ וטמפ' גבוהים, הופך האתילן לפוליאתילן – מתקבלת מולקולת ענק ישרה של פוליאתילן, שבה אטומי הפחמן קשורים זה לזה בקשר יחיד.

21

## פוליאתילן מוצלב - Crosslinked Polyethylene

השלב הבא ביצור פוליאתילן מוצלב הוא תהליך ההצלבה. בתהליך זה, נוצרים בכמה מקומות קשרים יחידים בין אטומי הפחמן של מולקולות פוליאתילן נפרדות באמצעות הוספת פראוקסיד בתנאי לחץ וטמפ' גבוהים או באמצעות קרינה בעלת הספק גבוה.

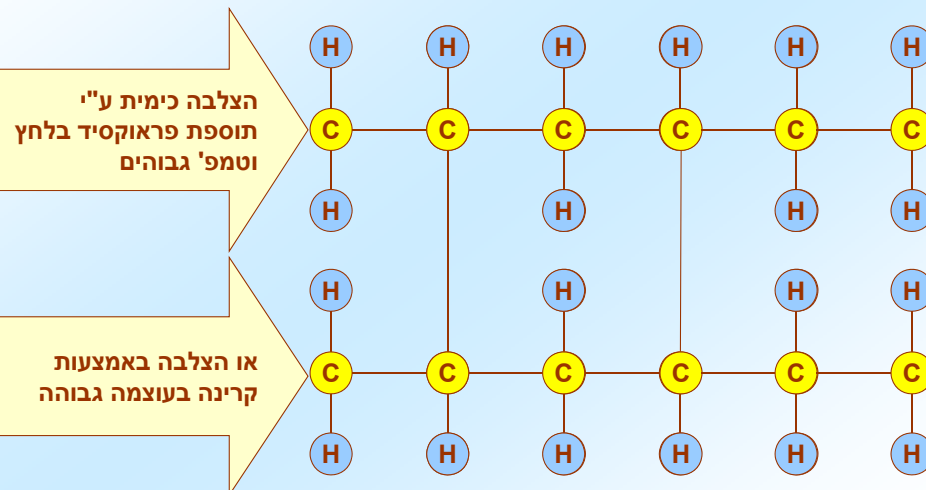
תהליך יצור של פוליאתילן ממולקולות של גז אתילן



22

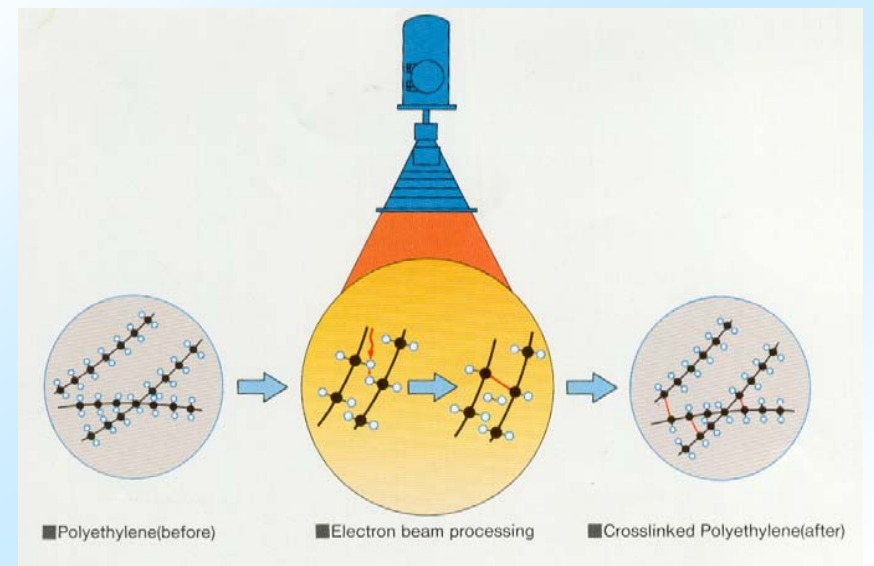
## פוליאתילן מוצלב - Crosslinked Polyethylene

הצלבת פוליאתילן לקבלת פוליאתילן מוצלב



23

## פוליאתילן מוצלב - Crosslinked Polyethylene



24

## Crosslinked Polyethylene – X.L.P.E

### נקודות זכות:

- תכונות חשמליות מצויינות (הפסדי בידוד ו- $\delta$  tg קטנים).
- טמפרטורת מוליך מותרת מרבית בזמן מעבר זרם קצר במשך שנייה אחת היא  $250^{\circ}\text{C}$  ובזרם נקוב טמפרטורת מוליך מרבית  $90^{\circ}\text{C}$  (לעומת  $70^{\circ}\text{C}$  ב-PVC וב-PE)
- איבוד התכונות המכניות בטמפ' של מעל  $250^{\circ}\text{C}$  טמפ' ריכוך של כ  $300^{\circ}\text{C}$ .
- עבודה עד  $-40^{\circ}\text{C}$
- בעת שריפה פולטים לסביבה  $\text{CO}_2$  ואדי מים ואינם גורמים לנזק סביבתי ובריאותי.
- תכונות מכניות מתקבלות על הדעת.
- בלאי נמוך.

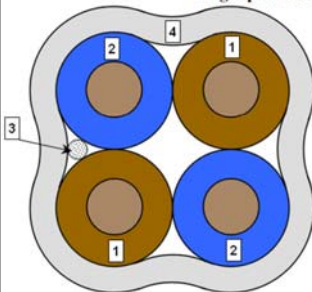
## Crosslinked Polyethylene – X.L.P.E

### נקודות חובה:

- בעירה מהירה (לא עמיד להתפשטות להבה).
- חדירת מים וגזים.
- עמידות נמוכה לשמנים.
- העדר עמידות לאוזון.
- קשיחות גבוהה – לא ניתן להשתמש בכבלים גמישים.

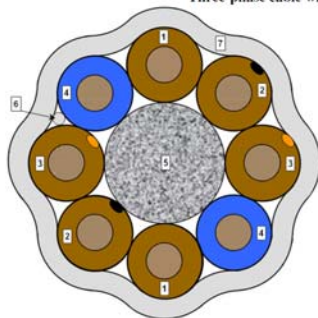
# כבלים מופחתי שדות ELF

Single-phase cable with NU core



- 1 – Phase insulated core
- 2 – Neutral insulated core (NU)
- 3 – Stripping wire
- 4 – Transparent outer tube

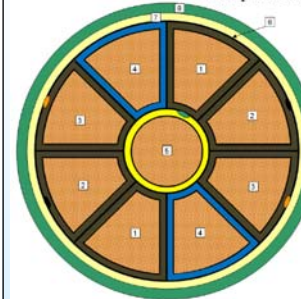
Three-phase cable with NU core



- 1 – Phase insulated core - A
- 2 – Phase insulated core - B
- 3 – Phase insulated core - C
- 4 – Neutral insulated core (NU)
- 5 – Filler
- 6 – Stripping wire
- 7 – Transparent outer tube

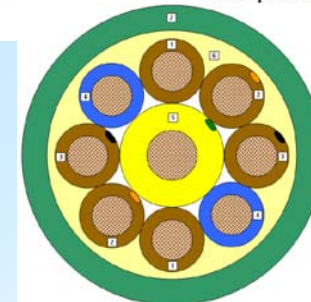
# כבלים מופחתי שדות ELF

Three-phase cable with PE and NU core



- 1 – Phase insulated core - A
- 2 – Phase insulated core - B
- 3 – Phase insulated core - C
- 4 – Neutral insulated core (NU)
- 5 – Earth insulated core (PE)
- 6 – Binder polyester tape
- 7 – Inner Covering
- 8 – Outer sheath

Three-phase cable with PE and NU core



- 1 – Phase insulated core - A
- 2 – Phase insulated core - B
- 3 – Phase insulated core - C
- 4 – Neutral insulated core (NU)
- 5 – Earth insulated core (PE)
- 6 – Filling extruded compound
- 7 – Outer sheath

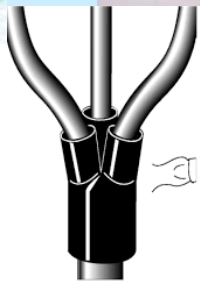
## העדר עמידות בקרינת UV



## מניעת פגיעת קרינת UV וחדירת מים



## מניעת פגיעת קרינת UV וחדירת מים



## סוגי בידוד

### Ethylene Propylene Rubber – E.P.R

• הגומי המכונה EPR או EPDM מיוצר בתהליך פולימריזציה של:



הערה: היסמון = מבטא קשר



## סוגי בידוד

### Ethylene Propylene Rubber – E.P.R

#### נקודות זכות:

- תכונות חשמליות מצויינות.
- התנהגות טובה בחום ובבליה.
- גמישות טובה (מאפשר שימוש בכבלים גמישים).
- עמידות טובה באוזון.
- בלאי נמוך.
- טמפ' עבודה גבוהה. (90°C לעומת 60°C בגומי טבעי)

#### נקודות חובה:

- תכונות מכניות חלשות.
- דליקות מהירה.
- העדר עמידות בשמנים.

## השוואת תכונות חשמליות של חומרי בידוד

מקדם דיאלקטרי $\epsilon_r$	הפסדים דיאלקטריים [tgδ]	התנגדות סגולית $\rho[\Omega \cdot Cm]$	חומר
8	0.05-0.09	$10^{13} - 10^{15}$	PVC
2.4	0.0005	$10^{17}$	PE
2.4	0.0005	$10^{17}$	XLPE
3-4	0.002	$10^{16}$	EPR
2.5-5	0.005-0.03	$10^{12}$	Natural Rubber

## השוואת סוגי בידוד

EPR	XLPE	PE	PVC	סוג חומר הבידוד
6	8	8	9	תכונות מכניות
10	10	10	8	התנגדות חשמלית סגולית
8	9	10	6	הפסדים חשמליים
8	8	6	10	התנהגות במזג אויר
0	4	0	8	עמידות להתפשטות להבה
8	4	4	10	עמידות לאוזון
9	9	8	8	התנהגות בבליה
90	90	70	70	טמפרטורת עבודה
4	6	6	8	עמידות בשמנים

הערה: המונח בליה מציין את השתנות תכונות החומר במשך השימוש והשנים

## השוואת סוגי בידוד

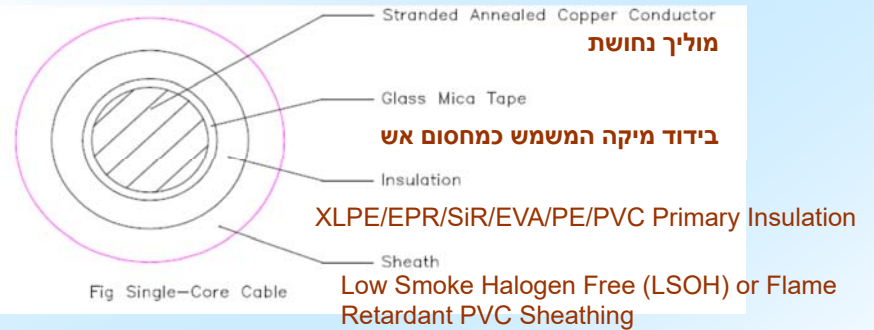
EPR	XLPE	PE	PVC	סוג חומר הבידוד
		✓	✓	התאמה כמעטה
✓	✓	✓	✓	התאמה כבידוד מתח נמוך
✓	✓			התאמה כבידוד מתח בינוני

## תכונות כבלים בעת שריפה

### תכונות אפשריות:

- עמידות בפני אש (המשך תפקוד הצרכנים בשריפה).
- השהית התלקחות הכבל באש (מעכב בעירה).
- השהית התפשטות האש באמצעות הכבל.
- פליטת עשן מוגבלת.
- הגבלת פליטת גזים רעילים.
- הגבלת פליטת גזים קורוסיביים.

## מבנה כבל חסין אש



## כבלים חסיני אש – עמידות בפני אש

**התקן הגרמני DIN 4102/12 מגדיר 3 קטגוריות של עמידות בשריפה (המשך תפקוד הכבל באש למשך הזמן שהוגדר):**

- E30 המשך פעולה של לפחות 30 דקות.
- E60 המשך פעולה של מעל ל-60 דקות.
- E90 המשך פעולה של מעל ל-90 דקות.

בנתוני הכבל מצוינים זמני שלמות הבידוד (ההתקנה) בעת שריפה ע"י FE ומשך זמן תפקוד הכבל בהעמסה בעת אש ע"י E. בבדיקה נבדקת עמידות הכבל בכל שיטות ההנחה (תעלות קירות, קיום חומרי הפרדה וכד')



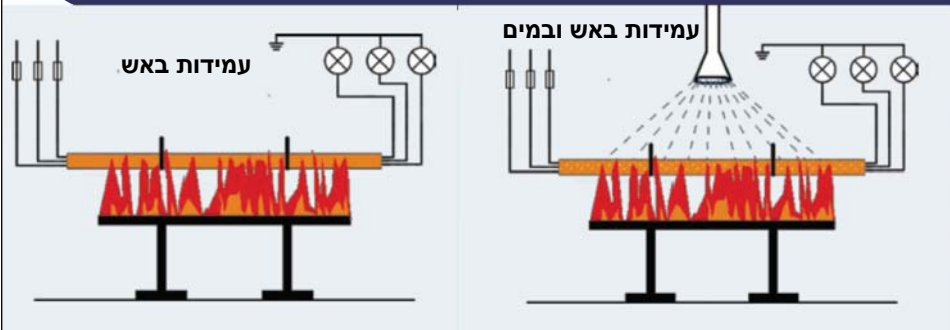
## סימון כבלים חסיני אש ע"פ BS 6387

Requirement	Symbol
(1) Resistance to fire alone	
650°C for 3 hours	A
750°C for 3 hours	B
950°C for 3 hours	C
950°C for 20 minutes (short duration)	S
(2) Resistance to fire with water	W
(3) Resistance to fire mechanical shock	
650°C	X
750°C	Y
950°C	Z



Fire Resistance BS6387 Categories: C, W & Z

## בדיקת המשך תפקוד הכבל בעת שריפה



עמידות באש ובהולם מכני



www.arielsegal.co.il אריאל סגל



כבלים

41

## כבלים מעכבי בעירה

לכבלים המוגדרים מעכבי בעירה יש שתי רמות עיכוב עקריות:

1. כבל בודד החשוף ללהבה ואינו מאפשר ללהבה להתפשט לאורכו.
  2. אגד כבלים החשופים יחדיו ללהבה אך עדיין אינם מאפשרים ללהבה להתפשט לאורכם.
- דרישות עיכוב הבעירה מאגד כבלים חמורות בהרבה מדרישות עיכוב הבעירה של כבל בודד.
  - יכולת עיכוב הבעירה ברמת הכבל הבודד נבדקת על פי התקן הבינלאומי IEC-60332-1 וחלקיו השונים.

### שיטת הבדיקה:

- כבל בודד בעל אורך נתון תפוס בשני קצותיו. לכבל מקורב מבער מוגדר בזווית של 45 מעלות לציר הכבל.
- המבער פועל לזמן קצוב ולאחר כיבוי על הלהבה לכבות מאליה מבלי שתתקדם מעל אורך מוגדר במעלה הכבל.
- כבלים העומדים בדרישה זו כוללים מעטה PVC או מעטה HFFR ברמה הבסיסית.

www.arielsegal.co.il אריאל סגל

כבלים

42

## שיטת בדיקה עיכוב בעירה לכבל בודד



www.arielsegal.co.il אריאל סגל

כבלים

43

## עיכוב בעירה של אגד כבלים

- עיכוב בעירה של אגד כבלים נבדק על פי התקן הבינלאומי IEC-60332-3 על חלקיו השונים.
- מספר כבלים נקשרים כאגד לסולם מתכת ונחשפים ללהבת מבער רחבה המוגדרת בתקן וזאת למשך זמן נקוב. בתום הזמן הזה, אסור ללהבה לעלות מעבר לגובה מוגדר במעלה הכבלים. תנאי הבדיקה מוגדרים באופן מדויק, אך הפרמטר העיקרי המבדיל בין רמות בדיקה שונות הוא נפח החומר הדליק באגד הכבלים. ככל שנפח החומר הדליק גדול יותר (מספר רב יותר של כבלים באגד, או כבלים גדולים יותר באגד) כך קשה יותר להבטיח כי הלהבה לא תתפשט מעבר לגובה המותר.

www.arielsegal.co.il אריאל סגל

כבלים

44

## בדיקת מניעת התלקחות והתפשטות האש בצרור כבלים ע"פ IEC 60332-3



## השוואה בין כבלים לאחר חשיפה ללהבות במשך 20 דקות



Burning PVC during combustion testing



Burning cable during combustion testing

## רמות הבדיקה של התלקחות והתפשטות האש בצרור כבלים ע"פ IEC 60332-3

תקן	קטגוריה	נפח חומר אורגני למטר אורך אגד (ליטר למטר)	זמן להבה (דקות)
IEC 60332-3-21	A F/R(*)	7	40
IEC 60332-3-22	A	7	40
IEC 60332-3-23	B	3.5	40
IEC 60332-3-24	C	1.5	20

\* כבלי כוח כבדים בלבד! שיטת התקנה מיוחדת על סולם

## חומרי מעטה נטולי הלוגנים

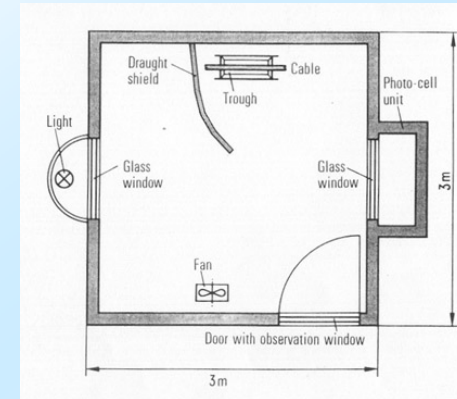
- מחקרים רבים מראים כי הסיבה העיקרית לפציעה קשה או מוות בתנאי שריפה היא מגזים רעילים ועשן הנפלט מחומרים פלאסטיים.
- PVC המשמש שנים כחומר מעכב בעירה יעיל ביותר, פולט עשן שחור וגזים רעילים מאד כאשר הוא נשרף. בעת השריפה משתחררים גזי כלור ומימן שבנוכחות לחות יוצרים חומצה הידרוכלורית. חומצה זו מסוכנת לבריאות וגורמת לקורוזיה מוגברת מאוד שנזקה כבד לעיתים מהנזק הנגרם בשל השריפה.
- בשנים האחרונות נפוץ השימוש בחומרי מעטה הפולטים כמות מזערית של עשן וגזים. חומרים אלה אינם מכילים כלור שהוא המרכיב הרעיל ב-PVC ויסודות דומים. קבוצת היסודות הזו נקראת הלוגנים ומכילה, בנוסף לכלור גם פלואור, ברום ובמידת סיכון פחותה יותר גם יוד. חומרים פלאסטיים שאינם מכילים הלוגנים נקראים בשמות שונים כמו: LS0H - Low-Smoke Zero Halogen HFFR - Halogen-Free flame Retardant ix

## כבלים נטולי הלוגנים

- כבלים נטולי הלוגנים פותחו להפחתת הסיכון לחיי אדם בשל רעילות הגזים וכן להפחתת הנזק במיוחד בבנינים בעלי תכולה יקרת ערך. כבלים אלה ניחנים בפליטת עשן מועטה, העדר פליטת גזים קורוזיביים ותרומה קטנה מאוד לבעירה.
- דרגת הסיכון לגוף האדם מחומרים פלאסטיים בעת שריפה נבחנת על פי שני מאפיינים:
  1. דרגת החומציות (קורוזיביות) של גזי השריפה (מדד לכמות החומצה המסוכנת HCL או כמות גזי ההלוגנים).
  2. כמות העשן הנפלטת בעת השריפה.

## פליטת גזים קורוזיביים ועשן

- מידת פליטת גזים קורוזיביים וחומציות גזי הפליטה נבדקת על פי תקן: IEC 60754-1.
- מידת פליטת העשן מהכבל בעת שריפה נבדקת על פי תקן IEC 61034.



תא לבדיקת צפיפות עשן  
בשיטה אופטית

## הגדרת מושגים הקשורים לבדיקות אש IEC695-4

- Fire integrity – יכולתו של מפריד הנמצא חשוף לאש מצד אחד, למנוע באופן מוחלט העברת להבות וגזים בתקופת זמן שנקבעה בתקן.
- Fire barrier – מרכיב המסוגל להקנות בו בזמן Fire integrity כלומר גם אטימות מפני אש וגם בידוד תרמי.
- Fire resistance – יכולת המרכיבים כקבוצה או כבודדים המסוגלים להקנות בו בזמן גם Fire integrity גם אטימות מפני אש וגם בידוד תרמי.
- Fire retardant – מרכיב שמוסיפים או טיפול שמתבצע על מנת להפחית או לדחות בעירה.

## הגדרת מושגים הקשורים לבדיקות אש IEC695-4

- Fire Stability – יכולתו של מרכיב בנין שלא להתפרק בנוכחות אש בפרק זמן שנקבע בתקן.
- Flame retardance – תכונתו של חומר או של טיפול לדחות או או להפחית התפשטותה של להבה.

## סוגי בידוד

### בתקן הישראלי מופיעות ההגדרות הבאות:

- כבל "מעכב להבה" או "כבה מאליו"
- כבל "מעכב אש"
- כבל "נטול הלוגן"
- כבל "חסין אש ונטול הלוגן"



מניעת התפשטות אש על ידי חומרי אטימה ובידוד

## סוג כבלים:

### יעוד -

- כבלי כוח, כבלי פיקוד, כבלי תקשורת, למטרות מיוחדות.

### סוגי זרם -

- כבלים לזרם חילופין וכבלים לזרם ישר.

### רמת מתח -

רמות מתח לכבלים- בארץ נעשה הסווג באופן הבא:

- כבלי מתח נמוך: למתח עד 1kV
- כבלי מתח גבוה: לתחום: 1kV – 30kV
- כבלי מתח עליון: לתחום: 30kV – 160kV
- בחו"ל מוגדרות רמות המתח לכבלים:
- כבלי מתח נמוך: למתח עד 1kV
- כבלי מתח בינוני: לתחום: 1kV – 30kV
- כבלי מתח גבוה: לתחום: 30kV – 110kV
- כבלי מתח עליון: לתחום: 110kV – 500kV

## סימולים ישראלים לכבלים

אותיות	תכונת המוליך/מרכיב
ח	מוליך אלומיניום (לנחושת אין אות)
ט	בידוד או מעטה חיצוני מפולי-ויניל-כלוריד (PVC)
2	בידוד מפוליאתילן (PE)
ב	מילוי ביטומן בין גידים מבודדים
מ	שיריון מתיילי פלדה מלבניים
נ	לולין שמונח בכוון הפוך לסרטי הפלדה
ש	שיריון מסרטי פלדה
ע	שיריון מסרטי פלדה עגולים
א	מקלעת מתיילי פלדה
ק	סיכוך או מוליך משותף ציר
קק	סיכוך על פני כל גיד

## סימולי כבלים לפי התקן הגרמני:

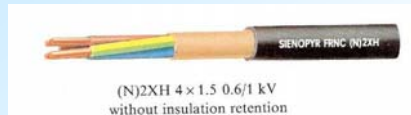
	אותיות סימון	שם התכונה/המרכיב
מוליכים	N	כבל לפי סימון תקן VDE
	ללא אות	מוליך מנחושת
	A	מוליך מאלומיניום
	H	מעטה חצי מוליך
סיכוך	Y	בידוד פולי-ויניל-כלוריד PVC
	2X	בידוד פוליאתילן מוצלב XLPE
	C	סיכוך רגיל קונצנטרי מסרט נחושת לולייני לכבלי מתח נמוך
	CW	סיכוך גלי קונצנטרי מנחושת גלית כבלי מתח נמוך
שיריון	CE	סיכוך רגיל קונצנטרי מסרט נחושת לולייני לכל גיד בכבל
	S	סיכוך מנחושת בכבלים מתח גבוה עם סיכוך משותף
	SE	סיכוך מנחושת בכבלים מתח גבוה סיכוך לכל גיד
	B	שיריון מסרט פלדה
מעטה חיצוני	F	שיריון מוליך פלדה מלבני מגולוון
	R	שיריון מוליך פלדה עגול מגולוון
	G	שיריון מסרט כריכה לולייני (עבור R-F)
	K	מעטה עופרת לכבלים חד גדיים או רב גדיים משותף
	Y	מעטה תרמופלסטי ומעטה הגנתי חיצוני מ-PVC
	2Y	מעטה תרמופלסטי ומעטה הגנתי חיצוני מפוליאתילן (PE)

# סימולי כבלים לפי התקן הגרמני:

אותיות סימון	שם התכונה/המרכיב
HX	מעטה הגנה חיצוני מ-XLPE נטול הלוגן
H	מעטה הגנה חיצוני מ-PE נטול הלוגן
FE	שלמות המעגל - הולכת זרם בתנאי אש 30 דק' לפחות
FE180	שלמות המעגל - הולכת זרם בתנאי אש 180 דק' לפחות



NHXHX 4 x 1.5 FE 0.6/1 kV



(N)2XH 4 x 1.5 0.6/1 kV  
without insulation retention

כבל בעל מעטה פנימי וחיצוני מ-XLPE נטול הלוגנים  
 כבל בעל מעטה פנימי ומעטה חיצוני  
 נטול הלוגנים

# סימולי מוליכים לפי התקן הגרמני:

אותיות סימון	צורת המוליך
R	מוליך עגול
S	מוליך סקטוריאלי
E	מוליך יחיד
M	מוליך שזור
V	מוליך שזור דחוס

## שילובי אותיות

אותיות סימון	צורת המוליך
RE	מוליך עגול יחיד
RM	מוליך עגול שזור
SE	מוליך סקטוריאלי יחיד
SM	מוליך סקטוריאלי שזור

## Code-Designation for Power Cables with PVC or XLPE

Design	Identification of Design	Explanations
Conductor	N	According to VDE Standard (No abbreviation for copper conductor)
	A	Aluminum conductors
	Y	Insulation of thermoplastic Polyvinyl chloride (PVC)
	2X	Insulation cross-linked Polyethylene (XLPE)
Concentric Conductor, Shielding	C	Concentric conductors of copper wires and copper tape, helically wound
	CW	Concentric conductors of copper wires in wave formation and copper tape, helically wound
Shielding	CE	Concentric conductors of copper wires and copper tape over each individual conductor, helically wound
	S	Shielding of copper wires and copper tape, helically wound
	SE	Shielding of copper wires and copper tape over each individual conductor, helically wound
Armor	(F)	Longitudinally water-proof shielding
	B	A armor of steel tape
	F	A armor of galvanized flat steel wires
Jacket	G	Counter helix of galvanized steel tape
	K	Lead jacket
Outer Jacket	Y	PVC jacket
	2Y	PE jacket
Cable for $U_0/U$ 0.6/1 kV are additionally designated with		
	-J	Cables with green-yellow (green-natural) conductor are marked with protective conductor
	-O	Cables without green-yellow (green-natural) conductor are marked without protective conductor

# מתחים נקובים של כבלים

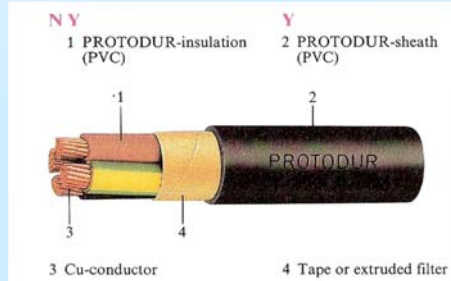
## מתחים נקובים של כבלים:

- המתחים בהם נועד הכבל לפעול ולעמוד בבדיקות מסומנים ע"י  $U_0/U$  כאשר:
- $U_0$  - מתח יעיל נקוב של הכבל בין כל מוליך לכיסוי מתכתי או אדמה.
  - $U$  - מתח יעיל נקוב של הכבל בין שני מוליכים במערכת תלת פאזית, או במערכת חד פאזית.
  - המתח המירבי במתקני זרם ישר אסור שיעלה על פי 1.5 ממתח הכבל

## דוגמאות לסימון כבלים

### דוגמאות לסימון כבלים:

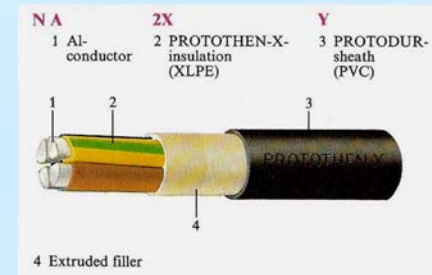
**NY 4\*50 0.6/1kV** – כבל נחושת בעל 4 גידים בחתך של 50 מ"מ, בעל בידוד פנימי וחיצוני PVC. מיועד למתח נומינלי 1 ק"ו בין פאזות (0.6kV בין פאזה לאדמה).



## דוגמאות לסימון כבלים

### דוגמאות לסימון כבלים:

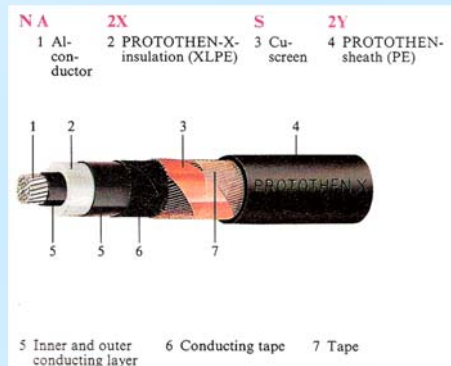
**NA2XY 4\*50 0.6/1kV** – כבל אלומיניום ארבעה גידים בחתך של 50 מ"מ, בעל בידוד XLPE, מעטה חיצוני מ-PVC. מיועד למתח נומינלי 1 ק"ו בין פאזות (0.6kV בין פאזה לאדמה).



## דוגמאות לסימון כבלים

### דוגמאות לסימון כבלים:

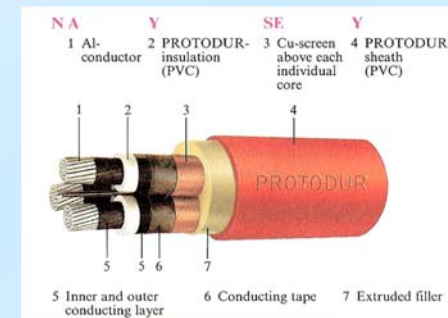
**NA2XS2Y 1\*300/25 12/20kV** – כבל מתח גבוה מאלומיניום, מסוכם חד גידי בשטח חתך של 300 מ"מ, שטח חתך הסיכוך 25 מ"מ. בעל בידוד XLPE ומעטה חיצוני PE. הכבל מיועד למתח פאזי של עד 12kV.



## דוגמאות לסימון כבלים

### דוגמאות לסימון כבלים:

**NAYSEY 3\*180 6/10kV** – כבל מתח גבוה תלת גידי מאלומיניום, עם סיכוך מנחושת לכל גיד. שטח חתך של 180 מ"מ לכל גיד, בעל בידוד PVC ומעטה חיצוני PVC. הכבל מיועד למתח פאזי של עד 6kV.

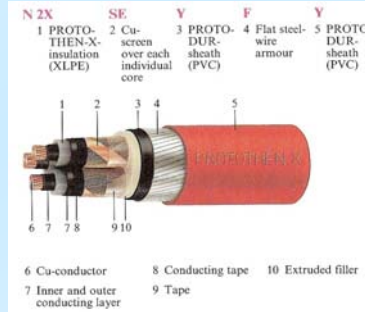




## דוגמאות לסימון כבלים

### דוגמאות לסימון כבלים:

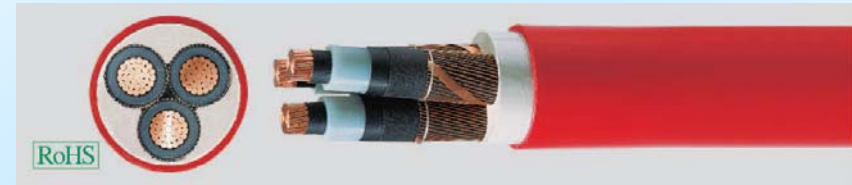
**N2XSEYFY 3\*180 6/10kV** – כבל מתח גבוה תלת גידי מנחושת, עם סיכוך מנחושת לכל גיד, עם שריון מתכת מפלדה מגלוונת, בעלת פרופיל מלבני. שטח חתך של 180 ממ"ר לכל גיד, בעל בידוד פנימי XLPE ומעטה חיצוני PVC. הכבל מיועד למתח פאזי של עד 6kV.



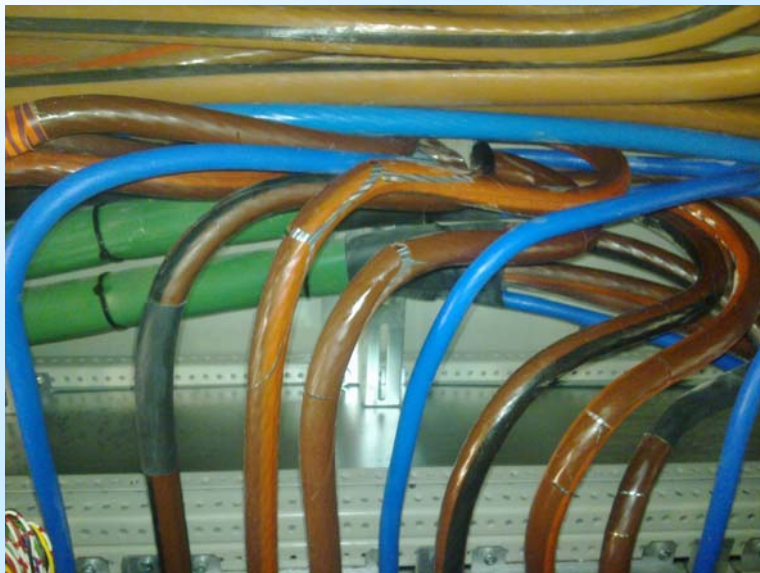
## דוגמאות לסימון כבלים

### דוגמאות לסימון כבלים:

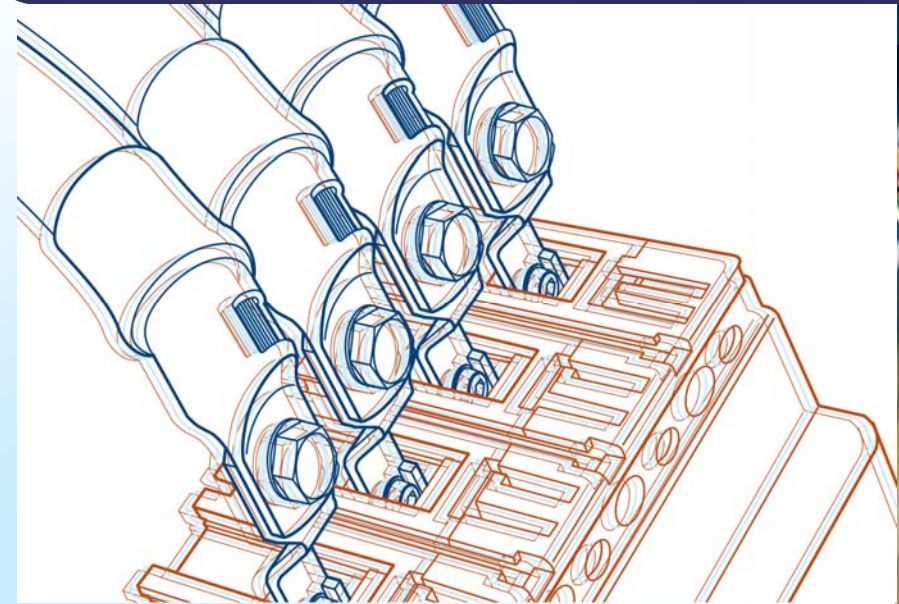
**N2XSEY 3X300 rm/25 6/10kV** - כבל מתח גבוה מנחושת, מסוכך חד גידי בשטח חתך של 300 ממ"ר, שטח חתך הסיכוך 25 ממ"ר. בעל בידוד XLPE ומעטה חיצוני PE. הכבל מיועד למתח פאזי של עד 6kV.



## כבלים ללא תקינה



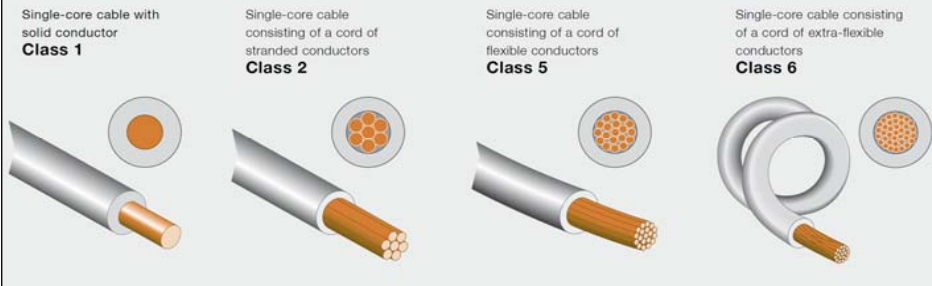
## חיבורי כבלים



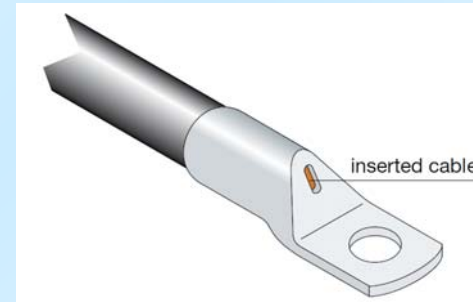
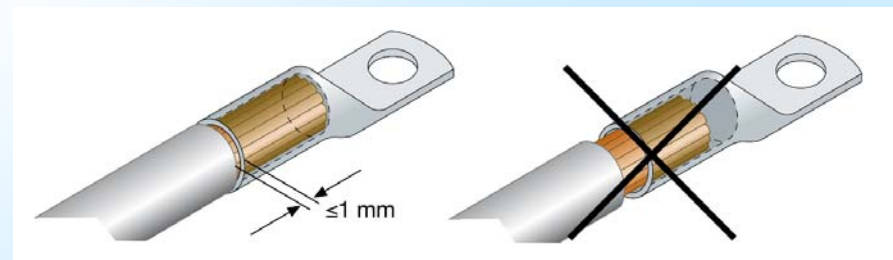
## סיווג מוליכים

על פי תקן IEC60228 מסווגים את המוליכים ל-4 סוגים:

- Class 1 – מוליכים קשיחים.  
 Class 2 – מוליכים סטנדרטיים.  
 Class 5 – מוליכים גמישים.  
 Class 6 – מוליכים גמישים במיוחד.
- הנפוצים ביותר {

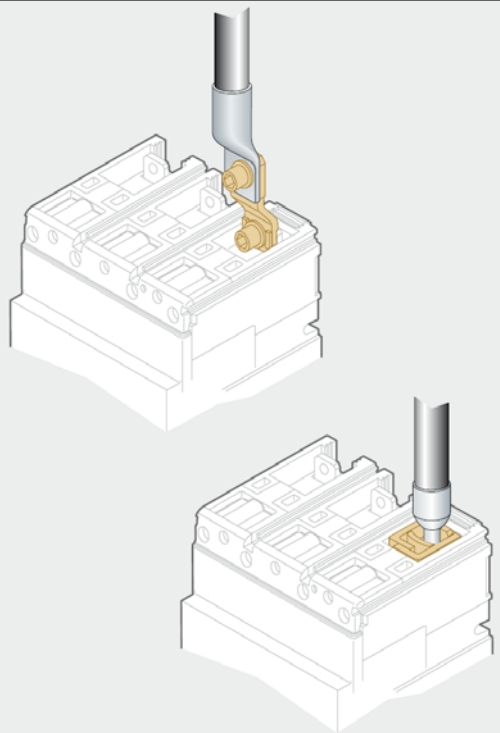


## נעלי כבל



מומלץ להשתמש  
בנעלי כבל על  
חריר בדיקה

## חיבור למפסק



## חיבורי אלומיניום

### חמצון אלומיניום

- מרבית המתכות (מלבד כמה יוצאות מהכלל כמו זהב ופלטינה) מתחמצנות כשהן נחשפות לאוויר. חמצון ובמיוחד במקרה של אלומיניום גורם להיווצרות שכבה קשה ומבודדת המפחיתה את זרימת האלקטרונים ומקשה עליה.
- כדי להקטין את השפעת החמצון משתמשים בנעלי כבל המצופות בבדיל המונע חמצון ובנוסף מלאות בחומר מעכב חמצון. חומר זה מפחית את החמצון בעת הזרמת זרם במוליך המחובר לנעל הכבל. חיבור רופף יגדיל את התנגדות המגע, את החום והחמצון.
- יש להבריש את מוליכי האלומיניום ולצפותם בחומר מעכב תחמוצת בעת כל חיבור מוליך חדש.
- בעיה נוספת המאפיינת מוליכי אלומיניום מתרחשת בעת מחזורי חימום קירור הופך מוליך האלומיניום לאליוסי (בניגוד לנחושת השומרת על צורתה) והמגע עם הברגים נחלש.

## חיבורי נחושת

- גם נחושת מתחמצנת כשהיא במגע עם אוויר, אולם תחמוצת הנחושת הינה רכה ומוליכה (אם כי לא ברמה של נחושת נקיה) בניגוד לתחמוצת האלומיניום שהיא קשה ומבודדת.
- לכן אין צורך להקפיד על הברשת קצות המוליכים בעת חיבורם, אין צורך בחומר מעכב חמצון בנעלי הכבל או בחיבורים ולא כל המחברים מצופים בדיל מעכב חמצון.

נעל כבל מנחושת מצופה בדיל



נעל כבל מנחושת ללא ציפוי בדיל



## חיבור נחושת אלומיניום

- כשמוליכי נחושת ואלומיניום מובאים למגע ישיר בנוכחות לחות וחום, נוצרת תגובה גלוונית חזקה בשל תכונותיהן הכימיות השונות של החומרים.
- מסיבה זו לא משתמשים במחברי אלומיניום לחיבור מוליכי נחושת אלא בנוכחות חומר תווך כמו בדיל.
- גם בדיל נפגע מחמצון ולכן בהחלט עלולה להגרם ירידה בביצועי המגע עם הזמן.
- ההפרש בתכונות הנחושת והאלומיניום עשוי לגרום הבדל גדול בביצועי המוליכים לאורך שירות רב שנים.

## חיבור נחושת אלומיניום

חומר המחבר

חומר המוליך

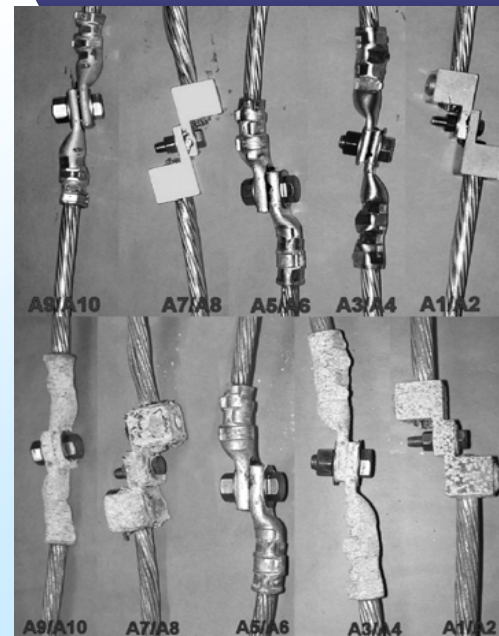
Sample Nos.	Connector Material	Conductor Material	Connector Information			
			Type <sup>a</sup>	Manufacturer	Size (AWG or MCM)	Plating
A1, A2	Al	Al	Mech.	A	#6-250	Tin
A3, A4	Al	Al	Comp.	A	4/0	Tin
A5, A6	Al	Al	Comp.	B	4/0	Tin
A7, A8	Al	Al	Mech.	C	#6-250	Tin
A9, A10	Al	Al	Comp.	D	4/0	Tin
B1, B2	Al	Cu	Comp.	D	2/0	Tin
B3, B4	Al	Cu	Comp.	C	2/0	Tin
B5, B6	Al	Cu	Comp.	A	2/0	Tin
B7, B8	Al	Cu	Mech.	C	#6-250	Tin
B9, B10	Al	Cu	Mech.	A	#6-250	Tin
C1, C2	Cu	Cu	Comp.	D	2/0	Tin
C3, C4	Cu	Cu	Comp.	C	2/0	Tin
C5, C6	Cu	Cu	Comp.	A	2/0	Tin
C7, C8	Cu	Cu	Mech.	C	#6-250	None
C9, C10	Cu	Cu	Mech.	A	#2-4/0	None

ניסוי לבחינת חיבורים.  
כל מחברי האלומיניום מצופים  
בבדיל ומלאים בחומר מעכב  
חמצון.



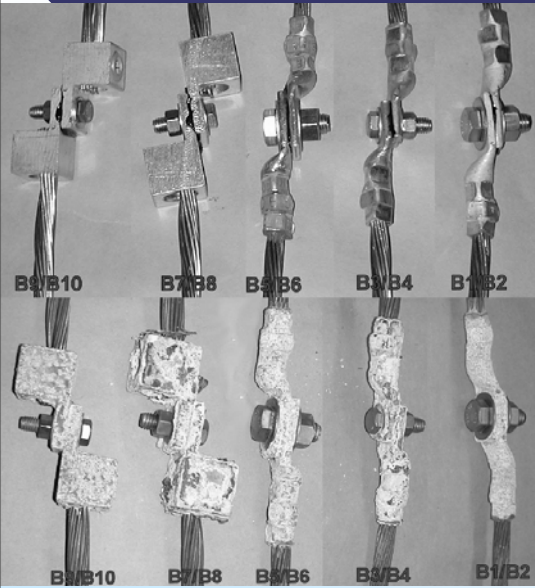
## חיבור נחושת אלומיניום

בניסוי חוברו מוליכים אלומיניום  
באמצעות מחבר אלומיניום.  
משך זמן פעולה 2000 שעות.



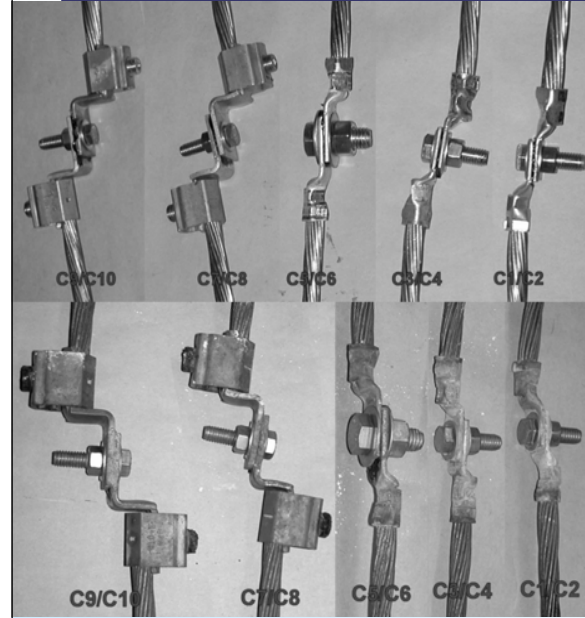
## חיבורי נחושת לאלומיניום

בניסוי חוברו מוליכי אלומיניום למוליכי נחושת באמצעות מחבר אלומיניום. משך זמן פעולה 2000 שעות.



## חיבור נחושת

בניסוי חוברו מוליכים מנחושת באמצעות מחבר נחושת. משך זמן פעולה 2000 שעות.



## תוצאות מסכמות של הניסוי

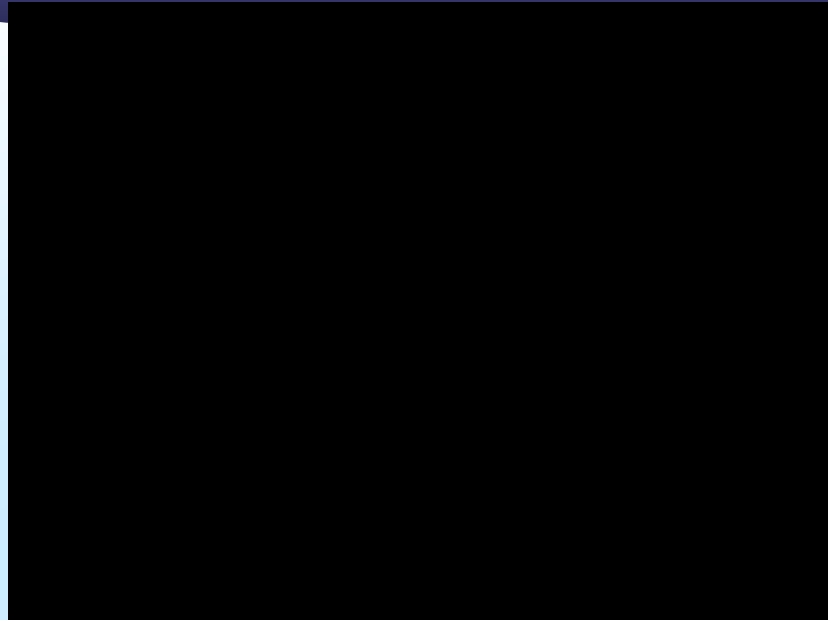
שינוי בהתנגדות המגע.

Connector Type	Conductor Type	Overall resistance change compared to starting resistance:				
		-5% to 0%	0% to +1%	+1 to +5%	+5% to +10%	>+10%
Al	Al	3	0	2	1	4
Al	Cu	0	3	3	4	0
Cu	Cu	3	7	0	0	0

## חיבורי אלומיניום/נחושת



## נעלי כבל



כבלים

81

## תנאי התקנת כבל ומבנה

### (2) התקנת כבל

- א- כבל יותקן בהתאם להוראות תקנות אלה.
- ב- התקנת כבל המהווה חלק של מתקן חשמלי, חיבורי החשמליים, בדיקתו ותיחזוקו יבוצעו בידי חשמלאי בלבד.
- ג- על אף האמור בתקנה משנה (ב) רשאי אדם שאינו חשמלאי לבצע עבודות מכניות כגון חפירה והנחה של כבל ובלבד שהוא פועל לפי הוראותיו של חשמלאי ובפיקוחו הצמוד.

www.arielsegal.co.il אריאל סגל

כבלים

82

## תנאי התקנת כבל ומבנה

### (3) התאמת כבל למקום ולמתקן

- א- כבל ואבזריו יהיו בהתאם לתקנים החלים עליהם.
- ב- כבל בעל בידוד ומעטה מחומר פיו.וי.סי (PVC) עשוי בהתאם לתקן ישראלי ת"י 473: "כבלים, פתילים ומוליכים מבודדים חשמליים למתח נומינלי עד 1000 וולט" חייב לעמוד גם בבדיקה לפי סעיף 205.9 "הצתה" של התקן האמור.
- ג- כבל יתאים לתנאי מקום התקנתו ולדרישות החשמליות והמכניות של המיתקן החשמלי בו הוא מותקן.

www.arielsegal.co.il אריאל סגל

כבלים

83

## תנאי התקנת כבל ומבנה

### (4) התקנתו ותפקודו של כבל

- א- המתקין כבל יתקינו באופן שיבטיח את שלמות תפקודו התקין לאורך זמן ויקפיד על סידורי הגנה נאותים לכבל.
- ב- כבל יותקן באופן שלא ישבש את תפקודו של שירות אחר כמפורט בתקנות 38 עד 40 ותפקודו לא ישובש על ידם.
- ג- בקצות כבל יותקנו סימונים עמידים שיאפשרו לזהותו באופן חד משמעי.

### (5) הארכת שריון או סיכוך

בכבל משוריין ובכבל מסוכך יהיה השריון או הסיכוך רציף לכל אורכו מבחינה גלונית, וכן יוארק; כאשר השריון או הסיכוך מוארקים בקצה אחד בלבד, קצהו השני יבודד .

www.arielsegal.co.il אריאל סגל

כבלים

84

## תנאי התקנת כבל ומבנהו

### 7) צבעי זיהוי של מוליכים בכבל וסימונם:

- א- בידוד כל מוליך בכבל יהיה בעל צבע מיוחד המתאים ל ייעודו: הצבע יהיה בר קיימא ונוח לזיהוי.
- ב- הבידוד יהיה כמפורט להלן:
  - א- לזרם חילופין –
    - א- מוליך מופע בכבל חד מופעי – חום
    - ב- מופעים בכבל תלת מופעי – חום עם סימון זיהוי בר קיימא לכל האורך של שניים מהם לפחות, הסימון יאפשר זיהוי חד משמעי של כל מופע.
    - ג- מוליך אפס (N) כחול.
    - ד- מוליך PEN – כחול, עם סימון באמצעות שרוול או כיוצא בזה, שילוב צבעים צהוב/ ירוק בכל קצה.
    - ה- מוליך הארקה (PE) - שילוב הצבעים צהוב / ירוק.

## תנאי התקנת כבל ומבנהו

### 6) מניעת סגירת מעגל מגנטי

- א- כבל בעל שריון פרומגנטי כמו פלדה המשמש מעגל לזרם חילופין יכול לזרם בשריון המשותף את כל מוליכי המעגל, לרבות מוליך הארקה (PE) אם קיים.
- ב- מובל או אביזר פרומגנטי לא ישמשו להתקנת כבל חד גידי בודד למעגל של זרם חילופין.

## צבעי הכר של הגידים בישראל



## סימון צבעי מוליכים / כבלים

### שיטות צבעי בידוד מוליכים וסימונים במתח נמוך במערכות זרם חילופין

שיטה חדשה	שיטה ישנה	שיטה ישנה 2 קודמת	שיטה ישנה 1 קודמת
מופע	חום	אדום	אדום
מופע	חום עם פס כתום	צהוב	צהוב
מופע	חום עם פס שחור	כחול	כחול
אפס	כחול	שחור	ירוק
הארקה	שילוב צהוב-ירוק	לבן	לבן

• PEN מוליך כחול עם סימון נוסף באמצעות סימון מאושר, בשילוב צבעים צהוב-ירוק בכל קצה.

# תנאי התקנת כבל ומבנה

## ב- לזרם ישר -
















- 1) מוליכי הקטבים- מכל צבע למעט צהוב, ירוק ושילוב של שניהם:
- 2) מוליך הארקה (PE) – שילוב צבעים צהוב/ירוק.

## ג- לכבל בעל 6 גידים או יותר, לרבות כבל לפיקוד ולבקרה -


















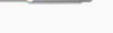
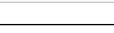


- 1) כבל שאינו כולל מוליך הארקה (PE) כל צבע למעט שילוב הצבעים צהוב/ירוק.
- 2) כבל הכולל מוליך הארקה (PE) – שילוב הצבעים צהוב / ירוק בעבור מוליך הארקה בלבד, ולמוליכים האחרים – כל צבע למעט צהוב / ירוק.
- 3) בלוח מוחלף יהיו צבעי הזיהוי של בידוד המוליכים נדרש בתקנת משנה (ב), ואולם ניתן להמשיך להשתמש בכבל קיים שצבעי הזיהוי של בידוד מוליכיו אינם בהתאם לתקנת משנה (ב), ובלבד שיסומנו בסימוני זיהוי, כגון שרוולים, בצבעים כאמור.

# צבעי מוליכים בפתילים בעולם

Standard wire colours for flexible cable  
(e.g. Extension cords, power (line) cords and lamp cords)

Region or Country	Phases	Neutral	Protective earth/ground
European Union (EU), Argentina, Australia, South Africa (IEC 60446)			
Australia, New Zealand (AS/NZS 3000:2007 3.8.3)	 	 	
Brazil	 		
United States, Canada	 (brass)	 (silver)	 (green)











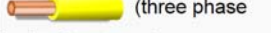
# צבעי מוליכים בכבלים

Australia, New Zealand (AS/NZS 3000:2007 clause 3.8.1, table 3.4)	Any colours other than  	 (since about 1980)
	Recommended for single phase:  	or  
Brazil	Recommended for multiphase:   	 
South Africa	  or     	  bare conductor, sleeved at terminations (formerly)

# צבעי מוליכים בכבלים

Brazil	   	 
South Africa	  or  	  bare conductor, sleeved at terminations
India, Pakistan	  	 
United States	 (brass)  (120/208/240 V)    (277/480 V)	 (120/208/240 V) (silver)  bare conductor  (277/480 V)  (ground or isolated ground)

## צבעי מוליכים בכבלים

Canada			
	(120/208/240 V)		(green)
			
	(600/347 V)	(120/208/240 V)	bare conductor
			
	(single phase isolated systems)	(600/347 V)	(isolated ground)
			
			
(three phase isolated systems)			

Notes: Parenthesized colours in *italics* are used on metallic terminals. "Green/yellow" means green with yellow stripe. See illustrations nearby.  
 The colours in this table represent the most common and preferred standard colours for wiring; however others may be in use, especially in older installations.  
 Australian and New Zealand wiring standards allow both European and Australian colour codes. Australian-standard phase colours conflict with IEC 60446 colours, where IEC-60446 supported *neutral* colour (blue) is an allowed *phase* colour in the Australia/New Zealand standard. Care must be taken when determining system used in existing wiring.  
 Canadian and American wiring practices are very similar, with ongoing harmonization efforts.

## תנאי התקנת כבל ומבנה

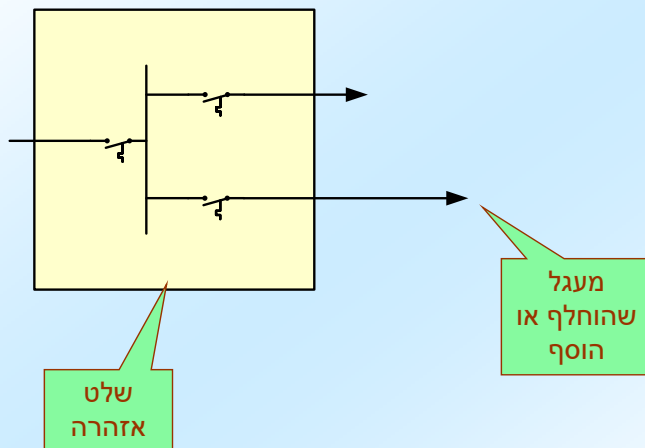
ד- כאשר נוסף כבל חדש ללוח קיים, יהיו צבעי הזיהוי של בידוד המוליכים כאמור בתקנת משנה (ב).

ה- נוסף כבל חדש בלוח קיים, כאמור בתקנת משנה (ד) או הוחלף לוח בלוח חדש, כאמור בתקנת משנה (ג) יותקן בלוח האמור וכן בלוח הראשי המזין אותו בכל לוח משנה במוזן ממנו, שלט בנוסח:

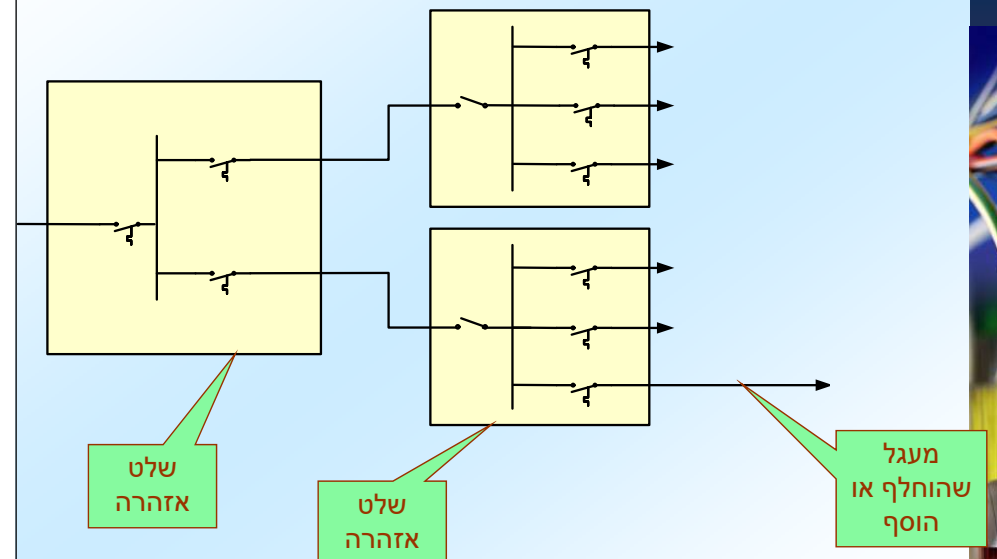
**זהירות - הצבע הכחול יכול שמסמן מוליך אפס (N) או מוליך מופע.**

## החלפה או תוספת של מעגל חדש שניזון מלוח ראשי

לוח ראשי



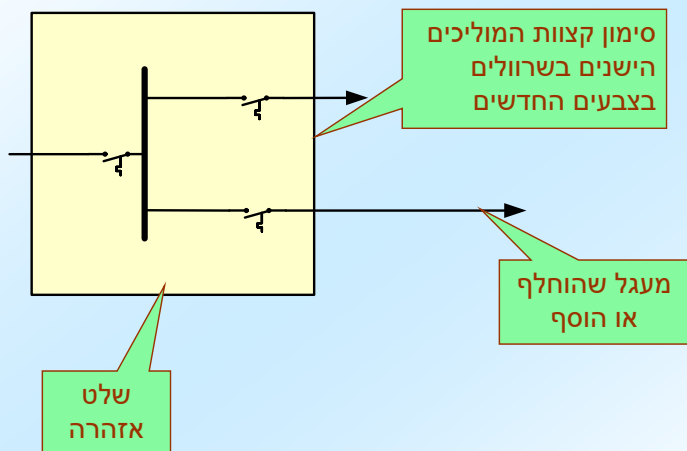
## החלפה או תוספת של מעגל חדש שניזון מלוח משנה



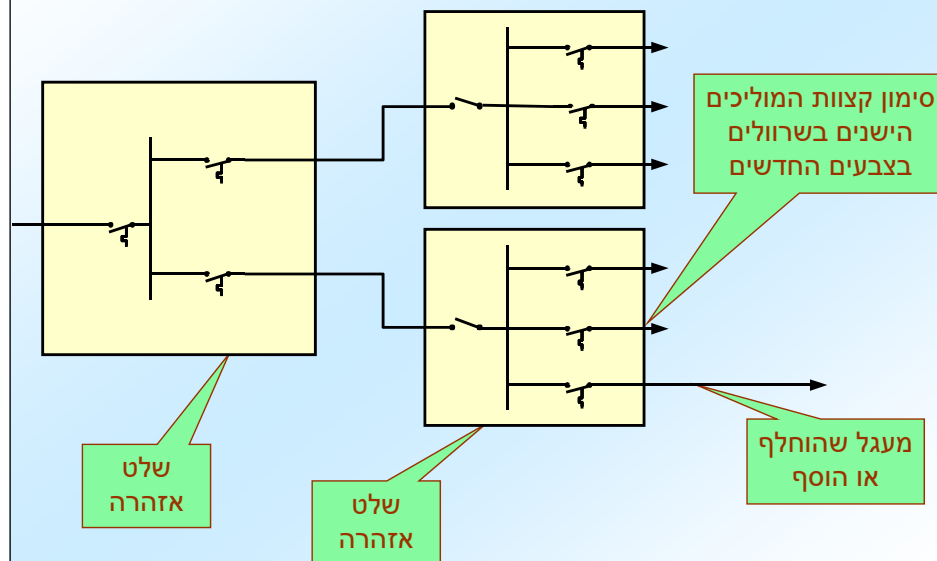


## החלפה או תוספת של מעגל חדש בלוח שהוחלף

### לוח שהוחלף



## החלפה או תוספת של מעגל חדש שניזון מלוח משנה שהוחלף



## תנאי התקנת כבל ומבנהו

### 8) חתך מזערי של מוליך בכבל

חתך מזערי של מוליך בכבל יהיה בהתאם לתקנות החשמל (העמסה והגנה של מוליכים מבודדים וכבלים במתח עד 1000 וולט), התשנ"ג – 1992: (להלן – תקנות העמסת מוליכים) אולם, כבל עילי יהיה בעל מוליכים בחתך מזערי של:

- 1) 4 מ"ר למוליך נחוש:
- 2) 16 מ"ר למוליך מאלומיניום.

## תנאי התקנת כבל ומבנהו

### 9) כיפוף כבל

כיפוף כבל ייעשה בהתאם להוראות היצרן ובאופן שלא ייגרם לו נזק: בהיעדר הוראות יצרן כאמור יהיה הרדיוס הפנימי המזערי של כיפוף כבל, ביחס לקוטרו החיצוני, כמפורט להלן:

- 1) כבל ללא שריון – פי 12 מהקוטרו החיצוני של הכבל.
- 2) כבל עם שריון – פי 15 מהקוטרו החיצוני של הכבל.

## תנאי התקנת כבל ומבנהו

- ד- צינור ישמש כבל רב גידי אחד או שלושה כבלים חד גידיים המשמשים אותו קו או מעגל.
- ה- על אף האמור בתקנת משנה (ד) רשאי המתקין-
  - 1) להעביר באותו צינור כבלים המשמשים אותה מערכת ומשולבים בפעולתה.
  - 2) להוסיף לכבל קיים בצינור קיים כבל אחד נוסף, זולת אם אין דרך אחרת להתקנתו, ובלבד שלא ייגרם נזק לשני הכבלים בעת ההשחלה או עקב צפיפות בצינור.
- ו- לא יותקנו בצינור משותף כבל ומוליך מבודד, למעט מוליך הארקה (PE) ולא יותקנו בו שירותים אחרים.
- ז- נוסף על האמור בתקנה 4(ג) יסומן כבל גם בשני קצותיו של הצינור.

## תנאי התקנת כבל ומבנהו

### 10) מובל משותף

- א- הותקנו במובל משותף, שאינו צינור, כבלים המשמשים קווים או מעגלים סופיים שונים, יסומנו הכבלים באופן שיאפשר שיוך קו או מעגל סופי של כל כבל: הסימון יהיה לפחות אחת ל- 50 מטרים לאורך הכבל, ובכל אחד מקצותיו ויהיה ברור ובר קיימא.
- ב- משמש מובל כאמור בתקנת משנה (א) להתקנת כבלים במתח שאינו עולה על מתח נמוך, וכן לכבלים במתח גבוה יותקנו הכבלים בקבוצות נפרדות בהתאם למתחיהם ותיעשה ביניהם הפרדה נאותה.
- ג- במובל המשמש להתקנת כבלים, רשאי מתקין להתקין מוליכים מבודדים בתוך צינור עשוי חומר מבודד או בתוך צינור מתכתי מוארק נוסף על הכבלים: מוליך הארקה (PE) מבודד או לא מבודד יכול שיותקן בלי צינור.

## תנאי התקנת כבל ומבנהו

### 13) הגנה מפני שריפה

- א- אין להתקין כבל בארובה או בתעלה המשמשת למעבר של עשן או אש.
- ב- הותקן כבל בהתקנה גלויה או חשיפה במקומות בהם קיימת סכנה של שריפה או של התפשטות אש, יתאים הכבל -
  1. לדרישות תקן IEC 332-3 כאמור בפרט (1) בתוספת הראשונה.
  2. לתקנות החלות על האתר שבו מותקן הכבל, לפי העניין.
- ג- במובל העלול לשמש נתיב אש, יותקנו בתוך המובל מחסומי אש, וכן יותקנו מחסומי אש בכל מעבר מובל דרך קיר, רצפה או תקרה.
- ד- במעבר כבל כאמור בתקנה 11(ב) יותקן מחסום אש עמיד לאותו פרק זמן לפחות כמו חלק המבנה אותו הוא חוצה.

## תנאי התקנת כבל ומבנהו

### 11) הגנה מפני מפגעים

- א- המתקין כבל במקום הוא עלול להיפגע מכרסום, איכול, רטיבות, קרינה, חום או פגיעות מכניות, יוודא שהכבל עמיד לסכנות אלה או מוגן מפניהם.
- ב- כבל העובר דרך קירות, תקרות, מחיצות, וחלקי מבנה אחרים, (להלן -מעבר כבל) יוגן במקום המעבר בפני שחיקה ונזקים מכניים.

### 12) חימום יתר

- מקום התקנתו של כבל ותנאי העמסתו החשמלית לא ייגרמו לעליית טמפרטורה של בידוד הכבל מעל לערכים הקבועים בתקנות העמסת מוליכים.

## תנאי התקנת כבל ומבנהו

(14) בוטל.

(15) תפקוד כבל בעת שריפה.

כבל המזין מתקן חרום שהמשך תיפקודו הנאות חיוני גם בזמן שריפה, כגון משאבת כיבוי אש, מעלית חרום ותאורת חרום, יבטיחו הכבל, המובל וחלקי התקנתם, וכן אופן ביצוע ההתקנה, את פעולתו התקינה של מיתקן החירום לפרק הזמן הנדרש ויעמדו בדרישות תקן DIN/VDE 4102/12, כאמור בפרט (4) בתוספת הראשונה.

105

## עיבוד קצות כבל וחיבורם

(16) חיבור קצה מוליך של כבל

(א) קצה של מוליך יחובר רק באבזר תקני המיועד לכך והמתאים לצורת המוליך, לחתכו ולחומר שממנו הוא עשוי: לעניין זה אבזר תקני הוא –

(1) נעל כבל:

(2) תרמיל:

(3) הדק.

(ב) אין לחבר קצה מוליך כבל באמצעות הלחמת בדיל.

106

## עיבוד קצות כבל וחיבורם



107

## עיבוד קצות כבל וחיבורם

(17) בידוד ואטימת החיבור

(א) הוסר בידוד ממוליך כבל לפני חיבורו, יבודד מוליך הכבל מיד לאחר חיבורו באופן שרמת הבידוד החדשה לא תיפול מהמקורית.

(ב) נוסף על האמור בתקנת משנה (א), במקום החיבור יוגנו מוליכי הכבל ומעטי הכיסויים בפני אדים, רטיבות, קרינת שמש ושאר סכנות בהתאם למבנה הכבל ומקום התקנתו.

(18) חיבור כבל במקום סכנה מוגברת

חיבור, הסתעפות, או סיומת של כבל במקום שבו קיימת סכנת התפוצצות או שריפה יעשה כאמור בתקן החל על מקום ההתקנה, כגון תקן ישראלי ת"י 786: "ציוד חשמלי לשימוש באטמוספרות נפיצות של גזים", או תקן IEC 1241, כאמור בפרט (2) בתוספת הראשונה.

108

## התקנה גלויה של כבל

התקנה גלויה – התקנה הנראית לעין, של כבל, על פני מבנה.



## התקנה גלויה של כבל



## התקנה גלויה של כבל

### 19) התקנה וחיזוק של כבל

- א- התקנת כבל בהתקנה גלויה על פני קיר תעשה בצורה אופקית או אנכית, אלא אם מקום ההתקנה מחייב התקנה אחרת.
- ב- כבל יחזק למבנה בחבקים מתאימים בלבד התואמים את הקוטר החיצוני של הכבל, סוגו ומקום התקנתו: החיזוק יהיה בר קיימא, לא יגרום נזק למעטה הכבל וימנע את החלקתו.
- ג- כבל יחזק למבנה יציב בלבד.
- ד- על אף האמור בתקנת משנה (ג), רשאי מתקין לחזק כבל למבנה ארעי או מיטלטל ובלבד שיזין רק את המבנה האמור.

## התקנה גלויה של כבל

### 20) מרחקים מרביים בין חבקים ומיקומם

- א- מרחק מרבי בין חבקים סמוכים לאורך כבל המותקן אופקית לא יעלה על 80 ס"מ ויהיה כמפורט להלן:
  1. כבל ללא שריון – פי 20 מהקוטר החיצוני של הכבל.
  2. כבל משוריין – פי 30 מהקוטר החיצוני של הכבל.
- ב- המרחק המרבי בין חבקים סמוכים לאורך כבל המותקן אנכית יהיה בהתאם לקוטר הכבל ומשקלו לא יעלה על 150 ס"מ.
- ג- כשמחוזקים מספר כבלים יחדיו הקוטר הקובע יהיה סכום הקטרים של כל הכבלים המחוזקים כאמור.
- ד- נוסף לאמור בתקנת משנה (א) יותקנו חבקים גם במקומות אלה:
  1. ליד כניסת כבל לתיבה, לאבזר או למכשיר, במרחק שאינו עולה על מחצית המרחק כאמור בתקנת משנה (א).
  2. משני צידי כיפוף הכבל וקרוב ככל הניתן לאמצע הכיפוף.

## התקנה גלויה של כבל

### 22) הגנה בפני מפגעים מכניים

- (א) כבל החייב בהגנה מכנית יוגן באמצעות
1. צינור מתכת, ובלבד שיעמוד בהוראות תקנה 6.
  2. צינור פלסטיק קשיח.
  3. כיסוי מגן קשיח אחר.
- (ב) הגנה כאמור תתאים לתנאי המקום ותוצב בגובה 1.80 מטרים לפחות מפני הקרקע או הרצפה: כאשר ההגנה עשויה חומר פלסטיק החומר יהיה עמיד לקרינה אולטרה סגולית.
- (ג) קוטר צינור לשם הגנה על כבל, יאפשר השחלת הכבל ושליפתו בקלות: קצות הצינור יעובדו, יעוגלו או יצוידו בתרמילים מתאימים, שימנעו נזק לכבל בעת השחלתו ובעת הטיפול בו ויאפשרו את פעולתו התקינה לאורך זמן.

## התקנה גלויה של כבל

### 21) התקנת כבל בלי חבקים

- (א) על אף האמור בתקנה 20, רשאי מתקין כבל להתקינו בלי חבקים כאשר:
1. הכבל מותקן על משטח אופקי, בתוך חלל ריצפה כפולה, בעליית גג ובכל מקום אחר שהגישה אליו קשה: כבל בלי חבקים כאמור יהיה שלם, בלי חיבורים או הסתעפויות לאורכו.
  2. הכבל מותקן אנכית במקום שהגישה אליו קשה, ובלבד שחלקו העליון של הכבל יעוגן באמצעות התקן מתאים או שהכבל ייתלה על גבי תמיכה מכנית מעוגלת בעלת רדיוס כאמור בתקנה 9: משקלו של כבל התלוי בלי חיזוק כאמור לא יפעיל כוח משיכה מעל למותר לפי הוראות היצרן על חלקו העליון.
- (ב) על אף האמור בתקנת משנה (א) (1) כבל בעליית גג המשמשת מקום אחסון או שברצפתה בליטות העלולות לגרום נזק – יוגן כאמור בתקנה 22.

## התקנה גלויה של כבל

### 24) הנחת כבל במובל שאינו צינור

- א. כבל במובל שאינו צינור יונח על כנות או מדפים, המחוזקים לקירות: מדפים כאמור יהיו בעלי נקבים לאורור: בתעלה בנויה, שאינה מיועדת להליכה בה, רשאי המתקין להניח את הכבל על קרקעית התעלה.
- ב. כבלים יונחו בקבוצות בהתאם לשיעורי המתח להם נועדו, בהתאם למעגלים אותם הם משמשים ובצורה המאפשרת גישה נוחה לטיפול בהם.
- ג. כבל יסומן, בקצוותיו לפחות בסימן ברור ובר קיימא לשם זיהוי המעגל אותו הוא משמש ומתח הנומינלי של המעגל.
- ד. מרחק מזערי בין כבלים יהיה כאמור בתקנה 30.

## התקנה גלויה של כבל

### 23) הרחקת כבל ממבנה בהתקנה אופקית

כבל המותקן על קיר חיצוני או על מבנה בצורה אופקית, במקום שבו הוא עלול להרטב או במקום שבו הוא עלול לבוא במגע עם אבק דליק או חומר נפיץ, יחוזק באמצעות חבקים המרחיקים אותו מהקיר ומתאימים לסוג הכבל: המרווח בין הכבל לבין המבנה הנושא יהיה 10 מ"מ לפחות.

## כבל בהתקנה חשיפה

### (26) תעלת כבלים או תעלת שירות

א- תעלת כבלים או תעלת שירות מחומר פלסטיק תעמוד בדרישות תקן ישראלי ת"י 1381- "מובילי פלסטיק למתקני חשמל, טלקומוניקציה ואלקטרוניקה" ותתאים לתנאי מקום התקנתה לעניין טמפרטורה, קרינה אולטרה-סגולית, רטיבות, אבק וכיוצא בזה.

ב- תעלת כבלים או תעלת שירות יכול שתהיה מחומר מבדד או ממתכת מוגנת בפני שיתוך ובפני חשמול בהתאם לתקנות החשמל (הארקות ואמצעי הגנה בפני חשמול במתח עד 1000 וולט), התשנ"א - 1991

ג- במעבר תעלה דרך קיר, תקרה או רצפה, שהותקן בו מכסה לא יבלוט המכסה יותר מאשר 3 ס"מ משני צידי המעבר.

## התקנה גלויה של כבל

### (25) מובל שאינו צינור המשמש שירות אחר

א. אין להתקין במובל שאינו צינור, המיועד להנחה אופקית של כבלים לאספקת חשמל, מערכת של שירות אחר, אלא אם כן מתקיימים כל התנאים שלהלן:

1. הכבלים המיועדים להולכת אנרגיה חשמלית יותקנו בצד אחד של המובל האמור והכבלים המיועדים למתקני טלקומוניקציה, איתות, הגנה קתודית וכדומה יותקנו, במידת האפשר, בצידו הנגדי: בין השירותים השונים אפשר שיהיו הצטלבויות.

2. צנרת לאספקת מים תונח מתחת לכבלים: צנרת למים חמים או לקיטור תונח בתחתית המובל ותהיה מבודדת מבחינה תרמית.

3. המובל לא ישמש שירותים אחרים המכילים חומרים מאכלים, רעילים, מתלקחים או נפיצים.

ב. במובל המיועד להנחה שהיא בעיקרה אנכית לא תותקן מערכת של מים, ביוב, גז וכדומה, אלא אם כן הותקנה בינה לבין הכבל מחיצה אטומה מחומר בניה שאינו דליק.

## הפרדה בין כבלים בתעלה חשיפה

### (27) הפרדה בין כבלים

א- בתעלת כבלים או בתעלת שירות חייבת להיות הפרדה פיזית מלאה, לכל אורך התעלה, בין כבלים המשמשים להולכת אנרגיה חשמלית לבין כבלים המשמשים שירותים אחרים כגון תקשורת, איתות, פיקוד ובקרה, לרבות סיבים אופטיים, אולם מותרת הצטלבות בין כבל המשמש את מיתקן החשמל לבין כבל המשמש שירות אחר לצרכי יציאה מהתעלה.

ב- התקנת מספר כבלים במתחים שונים, בלי הפרדה פיזית ביניהם, אפשרית אם בידודם מתאים למתח הגבוה ביותר.

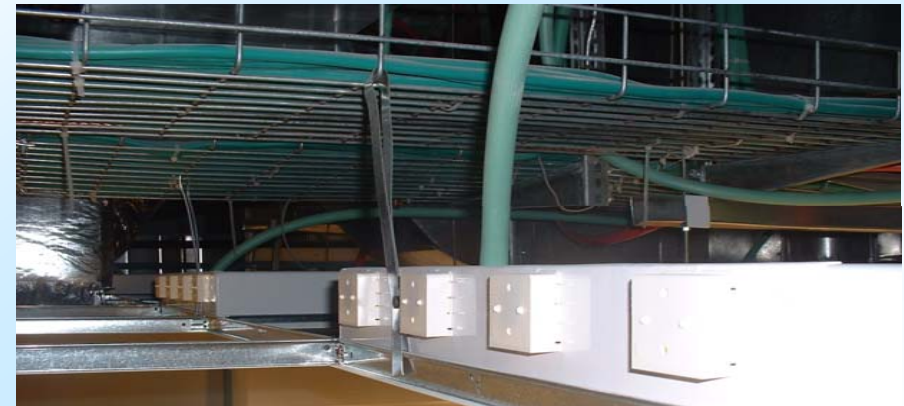
### (28) חיבורים ואבזרים בתעלת שירות

חיבורים והסתעפויות בתעלת שירות יעשו בתוך תיבות שאינן מאפשרות מגע בחלק חי: התיבות יחוזקו לתעלה ולא למכסה: אבזרי חשמל, לרבות נורות סימון, ניתן להתקין על מכסה הניתן להסרה, ובלבד שלא תהיה אפשרות של מגע מקרי בחלק חי לאחר הסרת המכסה.



## כבל בהתקנה חשיפה

**התקנה חשיפה** – התקנה סמויה של כבל, העשויה להיות חשופה באמצעות פתיחת פתחים, הורדת מכסים או סילוק מחיצות.



## כבל בהתקנה חשיפה

**29 הנחת כבל בתעלה בנויה עם מכסים**  
כבל בהתקנה חשיפה בתעלה בנויה עם מכסים יונח בתחתית התעלה או על כנים או מדפים המחוזקים לדפנות התעלה או אל דפנות התעלה.

**30 מרחקים בין כבלים בתעלה בנויה**  
המרחק המזערי בין מעטי כבלים בתעלה בנויה יהיה:  
1. אין הגבלה על המרחק בין כבלים למתח נמוך  
2. בין כבל למתח נמוך לבין כבל למתח גבוה או למתח נמוך מאוד כגון תקשורת – 10 ס"מ, או שתותקן בין הכבלים מחיצה.  
3. אין הגבלה על המרחק בין כבלי פיקוד.

## כבל באדמה

**33 כבל באדמה**  
כבל המיועד להתקנה בתעלה חפורה באדמה יתאים למקום התקנתו ויוגן כאמור בתקנה 11.

**34 עומק הטמנה של כבל באדמה**  
העומק המזערי של הנקודה העליונה של כבל הטמון באדמה יהיה:

1. בקרקע סלעית – 60 ס"מ:
2. באדמה או בחול – 80 ס"מ.
3. לאורך מסלול של כביש או מתחת למשטח המיועד לנסיעה – 100 ס"מ.

**35 תחתית תעלה חפורה עבור כבל**  
תחתית תעלה חפורה אשר יונח בה כבל תהיה נקיה מאבנים וגופים חדים אחרים ומרופדת בשכבות חול בעובי של 5 ס"מ לפחות.

## כבל בהתקנה סמויה במבנה

**31 מרחקים בין כנים או מדפים**  
המרחק האנכי המזערי בין כנים או מדפים המחוזקים לקיר תעלה יהיה 20 ס"מ

**32 צורת התקנה**  
א- כבל בהתקנה סמויה בקיר, בתקרה או ברצפה יותקן במובל בלבד.  
ב- מובל כאמור יותקן אופקית או אנכית ככל האפשר, יתאים לתנאי מקום התקנתו ויהיה עשוי צינור, תעלה או חלל קבוע המיועד לכך.

## כבל בהתקנה סמויה - באדמה

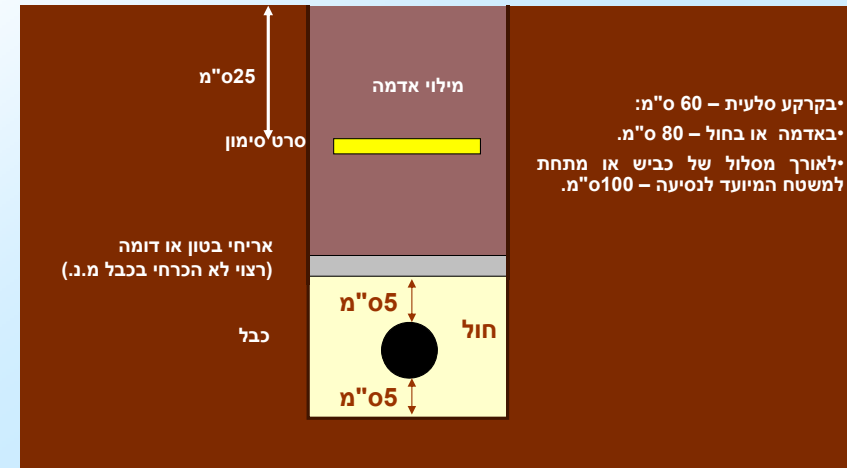
### (36) הנחת כבל בתעלה חפורה

א- כשמניחים כבל על שכבת חול, כאמור בתקנה 35 אין להפעיל עליו, בעת ההנחה, כוח רב מהמותר לפי הוראות היצרן: בתום ההנחה יש לכסות את הכבל בשכבת חול נוספת בעובי של 5 ס"מ לפחות: ומעל שכבת החול יש למלא את התעלה באדמה עד לפני הקרקע.

ב- בתוך שכבת האדמה, כאמור בתקנת משנה (א), יש להניח, לכל אורך הכבל, בעומק של 25 ס"מ לפחות מתחת לפני הקרקע, סרט אזהרה כמפורט להלן: בתעלה שרוחבה עולה על 40 ס"מ יונח סרט אזהרה נוסף לכל 40 ס"מ נוספים או חלק מהם.

ג- נוסף לסרט האזהרה כאמור בתקנת משנה (ב) רשאי המתקין להתקין מעל לכבל הגנה מכנית באמצעים כגון חלקי צינור, אריחי בטון או לבנים.

## התקנת כבל מתח נמוך באדמה



## כבל באדמה

• התקנה סמויה – התקנה של כבל, שאינה נראית לעין, בתוך אדמה, קיר, תקרה, רצפה או מחיצה.



## כבל בהתקנה סמויה במבנה

### (37) הנחת כבל בכניסה למבנה או צמוד לו

ניתן להתקין כבל בעומק קטן מן האמור בתקנה 34 (בהתקנת כבל בכניסה למבנה או בצמוד לו) אם תנאי המקום מאפשרים זאת והכבל מוגן באמצעות שרזול מחומר קשיח לכל אורך המבנה, במעבר דרך יסוד המבנה ובקרבתו: את מעבר הכבל יש לאטום למניעת חדירת מים למבנה.



## כבל בהתקנה סמויה במבנה

### 39) התקנת כבל בכביש

- א- התקנת כבל, בתוך קווי גבול מוכרז של כביש לפי סעיפים 3 ו- 11 לפקודת הדרכים ומסילות הברזל (הגנה ופיקוח), 1943 תיעשה בתיאום עם האחראי על סלילתו ותחזוקתו של הכביש.
- ב- הצטלבות כבל עם כביש תיעשה כשהכבל מושחל במובל המותאם לתנאי המקום ועמיד בפני המאמצים המכניים המתהווים בו: המובל יבלוט 30 ס"מ לפחות משני צידי הכביש.
- ג- יישמר מרווח אנכי של 80 ס"מ לפחות בין המפלס העליון של מובל הכבל לבין מפלס כביש או החלק התחתון של תעלת ניקוז הצמודה לכביש.
- ד- כשלא ניתן לעמוד בדרישות המפורטות בתקנות משנה (ב) ו- (ד) מפאת תנאי המקום – רשאי המתקין לשנותו, ובלבד שבין הכבל לבין הכביש תותקן הגנה נאותה ובת קיימא וההתקנה תבוצע תוך תיאום עם האחראי כאמור.

## כבל בהתקנה סמויה במבנה

### 38) מרווחים בין כבלים המונחים באדמה

- א- המרווח המזערי בין מעטים של כבלים באדמה יהיה-
1. בין כבלים למתח נמוך – כלשהו.
  2. בין כבל מתח נמוך לבין כבל למתח גבוה – 20 ס"מ:
  3. בין כבל למתח נמוך מאוד לבין כבל למתח נמוך או כבל למתח גבוה – 20 ס"מ.
  4. בין כבל למתח נמוך לבין כבל לתקשורת – כאמור בתקנות הבזק והחשמל (התקרבויות והצטלבויות בין קווי בזק לבין קווי חשמל) התשמ"ז – 1986.
- ב- כשלא ניתן לבצע את האמור בתקנת משנה (א) מפאת תנאי המקום, רשאי המתקין להקטין את המרווחים שבין מעטי הכבלים, אם תותקן ביניהן הגנה נאותה ועמידה והעבודה תבוצע תוך תיאום עם בעל הכבל האחר.

## מרחקים בין כבלים בחפירה אחת

מרחק מהכבל (ס"מ)		סוג השרות
כבלים מתח גבוה	כבלים מתח נמוך	
50	50	צינור למים קרים, ניקוז או ביוב
150	150	צינור גז או חומר דליק אחר
100	100	צינור מים חמים או קיטור
30	30	כבל קשר או מתח נמוך מאוד
250	120	ציר מסילת ברזל
50	50	מבנה שהכבל עובר לידו

הקטנת המרחקים בין כבלים לשירותים אחרים מותרת, רק במידה ולא ניתן לשמור על המרחקים המפורטים בטבלה שלעיל, כגון: כניסות למבנים, מדרכות וכד'. הנחת הכבלים בהצטלבות עם שירותים אחרים תבוצע בכל מקרה בהפרדה מלאה בין הכבלים לשירותים הנ"ל. הדבר יעשה בתנאי שהכבלים יוגנו מבחינה חשמלית, מכנית ותרמית על ידי אמצעים נאותים ובני-קיימא. תוך תאום עם בעל השרות האחר.

## כבל בהתקנה סמויה במבנה

### 40) התקרבות או הצטלבות בין כבל לבין שירות אחר או מבנה

- א- המרחק המזערי האופקי, שלא בהצטלבות, בין כבל הטמון באדמה לבין שירות אחר יהיה מפורט להלן:
1. לצינור מים קרים, לביוב או לניקוז 50 ס"מ.
  2. לצינור מים חמים או לצינור קיטור – 100 ס"מ.
  3. לצינור לגז או לחומר דליק אחר – 150 ס"מ.
- ב- המרחק המזערי האנכי בין כבל הטמון באדמה לבין שירות אחר, בהצטלבות ביניהם, יהיה כמפורט בתקנת משנה (א).
- ג- המרחק בין כבל לבין מבנה כשהכבל עובר לאורך המבנה יהיה – 50 ס"מ לפחות.
- ד- כשלא ניתן להשיג את המרחקים המפורטים בתקנות משנה (א) ו- (ב) מפאת תנאי המקום, רשאי המתקין לצמצמן ובלבד שבין הכבל לבין השירות האחר תותקן הגנה נאותה ובת קיימא והעבודה תבוצע תוך תיאום עם בעל השירות האחר.

## מרחק בין צינור להשחלת כבלים באדמה לשרות אחר

צינור יוטמן באדמה במרחק של 25 ס"מ לפחות משרות אחר הטמון באדמה. המרחק האופקי של צינור חשמל ממבנים או חלקי מבנה יהיה 25 ס"מ לפחות. אם מפאת תנאי המקום לא ניתן לשמור על המרחקים המפורטים בטבלה שלעיל, מותר להטמין את הצינורות במרחק קטן מהאמור לעיל ובלבד שהעבודה תבוצע תוך תאום עם בעל השרות האחר.

מרחק מהכבל (ס"מ)		סוג השרות
כבלים מתח גבוה	כבלים מתח נמוך	
50	50	צינור למים קרים, ניקוז או ביוב
150	150	צינור גז או חומר דליק אחר
100	100	צינור מים חמים או קיטור
30	30	כבל קשר או מתח נמוך מאוד

## מידות מינימליות לחפירה - כבלים מתח נמוך

### עומק התעלה

- א- בקרקע סלעית - 75 ס"מ.
- ב- באדמה או בחול - 95 ס"מ.
- ג- לאורך כביש או מתחת למשטח המיועד לנסיעה - 115 ס"מ.

### רוחב התעלה

רוחב התעלה להנחת כבל בודד או שני כבלים יהיה - 40 ס"מ (כאשר המרחק בין שני דפנות הכבלים במקרה של שני כבלים יהיה לפחות 10 ס"מ).  
רוחב התעלה להנחת שלושה כבלים ויותר, יתבסס על החישוב שהמרחק בין דפנות הכבלים יהיה 7 ס"מ לפחות ומרחק דופן קצה כבל קיצוני לקיר התעלה יהיה 7 ס"מ לפחות.

## כבל בהתקנה סמויה במבנה

### 41 הגנה על כבל וסימונו

כבל יוגן באופן יעיל ובר קיימא בפני פגיעות מכניות במקום יציאתו מהקרקע כאמור בתקנות 6 ו- 11 החל מעומק 20 ס"מ מתחת לפני הקרקע עד 180 ס"מ מעל פני הקרקע: הכבל יסומן כאמור בתקנה 4(ג).

### 42 תכנית התקנת כבל

א- הטמנת כבל בקרקע תבוצע בהתאם לתכנית חשמלאי.  
ב- התוואי הסופי של כבל הטמון בקרקע, לרבות ציון מיקום חיבורים, הסתעפויות וכדומה, יסומן בתכנית ויאפשר איתור התוואי בעתיד.

## התקנת כבל עילי

### 43 תליית כבל עילי

- תליית כבל עילי תיעשה באחת הצורות הבאות :
1. על גבי תיל נושא באמצעות חבקים מתאימים או התקני תליה נאותים אחרים: המרחק המרבי בין אמצעי התלייה יהיה 50 ס"מ.
  2. באמצעות תיל נושא הכלול במבנה הכבל:
  3. כשמבנה הכבל מותאם לשאת את עצמו.

### 44 חבק לתליית כבל

חבק או התקן תלייה אחר יהיה עשוי חומר עמיד המתאים למקום התקנתו, מוגן בפני איכול או מצופה חומר מגן: חבק יהיה מותאם בצורתו לכבל ולתיל הנושא באופן שלא ייגרם להם נזק.

## התקנת כבל עילי

### (46) החוזק המכני של תיל נושא

תיל נושא המשמש לתליית כבל עילי יתאים לנתונים הטכניים המבוססים על החישובים להלן:

1. מאמץ קריעה של תיל נושא יחושב לפי משקל התיל, הכבל והחבקים, בהתאם לאורך התיל בין שתי נקודות חיזוק.
2. מותקן כבל עילי במקום פתוח ייוסף לחישוב גם כוח הלחץ של הרוח בניוטונים לכל מטר רבוע של שטח ההיטל של הכבל, התיל הנושא והחבקים כדלהלן:  
א- גובה מעל פני הים עד 600 מטרים או מרחק מעל 3 קילומטרים משפת הים – 740 ניוטונים לכל מטר רבוע של שטח ההיטל של הכבל.

## התקנת כבל עילי

### (45) תיל נושא

חוזקו המזערי של תיל נושא יהיה 4000 ניוטון והוא יהיה עשוי אחד מאלה:

1. פלדה מגולוונת;
2. מתכת אחרת, העשויה חומר מונע איכול או המצופה חומר מגן;
3. סיבים סינטטיים.

## התקנת כבל עילי

### (47) חיזוק תיל נושא

תיל נושא יעוגן למבנה או יחוזק לסמך באופן איתן ובר קיימא, מבלי שייגרם נזק למבנה או לסמך.

### (48) תכונות סמך

סמך, שתיל נושא מחוזק אליו, יעמוד בהוראות תקנות החשמל (התקנת רשתות חשמל עיליות במתח עד 1000 וולט), התשנ"ה-1995.

### (49) הגנה בפני חשמול

תיל נושא מתכתי יוגן בפני חשמול כאמור בתקנות הארקות.

## התקנת כבל עילי

ב- גובה מעל פני הים מעל 600 מטרים או מרחק עד 3 קילומטרים משפת הים 950 ניוטונים לכל מטר רבוע של שטח ההיטל של הכבל.

3. בגובה העולה על 900 מטרים מעל פני הים יש להביא בחשבון גם שכבת קרח בעובי של 15 מילימטרים לפחות.
4. מקדם הביטחון בחישוב חוזק תיל נושא לא יפחת מ- 2 כשחישוב כאמור מבוסס על חוזק התיל לקריעה;
5. תיל המיועד לשאת למאמץ נוסף כהשענת סולם או תליית משטחי עבודה וציוד אחר, ייעשה החישוב שבהפסקה (1) במאמץ נוסף של 1000 ניוטון לפחות.

### (51) בדיקת הפעלה של כבל

- א- כבל ואבזריו ייבדקו אחרי התקנתם ולפני הפעלתו הראשונה של המיתקן החשמלי
- ב- בדיקה כאמור תוודא כי ההתקנה תואמת את תכנית ההתקנה ועומדת בדרישות תקנות, לרבות סימון הכבל ושילוטו הנאות: כן ייבדקו רמת הבידוד והרציפות החשמלית של המוליכים.
- ג- תוצאות בדיקה של כבל ותכנית התוואי של כבל תת קרקעי כאמור בתקנה 42, יימסרו לחשמלאי ולבעל המיתקן או מחזיקו לפי העניין, ויישמרו בידי.

### (50) מיתלה כבל עילי

- א- הגודל המרבי של מיתלה והמרחק המזערי בין כבל עילי לבין מבנה, שירות אחר או רשת עילית אחרת יהיה בהתאם לתקנות התקנת רשתות.
- ב- בשעת התקנת כבל עילי יקבע המיתלה בהתאם לטמפרטורה האופפת את הכבל בזמן ההתקנה.

### (57) שיעורי התנגדות בידוד המוליכים במיתקן מתח נמוך

- א- שיעור התנגדות הבידוד שבין שני מוליכים במעגל חשמלי אחד במתח נמוך שמתחם לאדמה אינו עולה על 250 וולט, ובין מוליך המעגל לבין גוף מוארק לא יפחת מהנתונים הבאים לפי סוג הבדיקה.
- מ- 1.50 מגאום, כאשר הבדיקה היא בדיקת הפעלה:
  - מ- 0.25 מגאום, כאשר הבדיקה היא תקופתית:
  - שיעור התנגדות הבידוד בין המוליכים הכוללים במכשיר יהיה בהתאם לתקן של המכשיר האמור.
- ב- בדיקת שיעור התנגדות של הבידוד תיעשה במכשיר מדידה שמתחו הנומינלי אינו עולה על 500 וולט בזרם ישר.

### (53) תחולה

- א- תקנות אלה יחולו על כבלים המיועדים להולכת אנרגיה חשמלית, איתות, פיקוד, בקרה וכיוצא כאלה שהותקנו לאחר תחילתן של תקנות אלה, הן במיתקן קיים והן במיתקן חדש.
- ב- הוראות תקנות אלה לא יחולו על כבל המהווה חלק בלתי נפרד מצידוד, אשר הותקן בו במהלך ייצור הצידוד.

### (54) ביטול

תקנות החשמל (התקנת כבלים), התשכ"ז-1966 בטלות.

### (55) תחילה והוראות מעבר

תחילתן של תקנות אלה ביום ה' בטבת התשס"ב (31 בדצמבר 2001), אך מותר לפעול לפי תקנות אלה בלבד מיום פרסומן.

### 59) בדיקת הפעלה של מיתקן חשמלי

א- לאחר בדיקת המיתקן כאמור בתקנה 58 (א) ולפני הפעלת המיתקן החשמלי, יבדקו המוליכים, התיבות והאבזרים והתאמת התקנתם לתכנית הטכנית של המיתקן החשמלי, על ידי חשמלאי בעל רישיון חשמלאי בודק או על ידי מפקח.

ב- תוצאות בדיקת הבידוד, רציפות המעגלים, ההארקות או ההגנות האחרות, אופן ההתקנה ואמצעי ההגנה הדרושים לפי תקנות אלה, יירשמו על ידי חשמלאי בעל רישיון חשמלאי – בודק או על ידי מפקח, הכל לפי העניין, בתעודת הבדיקה של המיתקן החשמלי, וישמרו בידי החשמלאי הבודק או המפקח וכן בידי בעל המיתקן החשמלי או מחזיקו, הכל לפי העניין.

ג- תעודת הבדיקה וכן התכנית הטכנית של המיתקן, תאושר על ידי החשמלאי הבודק או המפקח ועותק מהן יומצא לבעל המיתקן החשמלי או למחזיק בו, הכל לפי העניין, על פי דרישתם.

### 58) בדיקת מוליכים במיתקן

א- מוליכים, תיבות ואבזרים המותקנים במיתקן חשמלי יבדקו אחרי השלמת המיתקן החשמלי, על ידי חשמלאי בעל רישיון מתאים לביצוע סוג עבודת החשמל שבעדה הותקנו המוליכים והאבזרים.

ב- לאחר בדיקת המיתקן כאמור בתקנת משנה (א) ולפני הפעלת המיתקן, יזמין החשמלאי בדיקת הפעלה ותצורף להזמנה תכנית המיתקן והצהרתו בכתב שהמיתקן נבדק על ידיו ושהוא תואם את הוראות חוק החשמל והתקנות על פיו.

### תחזוקת הכבל

א. כבל ואבזריו יתוחזקו וישמרו במצב תקין.

ב. התגלה ליקוי או פגם בכבל או באבזר, יתוקן הליקוי או הפגם, בהקדם האפשרי. כשהליקוי או הפגם מהווים סיכון לנפש או רכוש, יש לנתק את הכבל מיידית ממתח ולא לחברו שנית עד לתיקון הליקוי או הפגם ושהכל נבדק ונמצא כשיר לפעולה.

### 60) הפעלת מיתקן חשמלי

לא יופעל מיתקן חשמלי או חלק ממנו אלא לאחר שנבדק כאמור בתקנות 58 ו- 59 והבדיקה הוכיחה כי ההתקנה מתאימה לתכנית הטכנית של המיתקן החשמלי ונעשתה על פי דין.

## סרט אזהרה לכבל תת קרקעי

- סרט אזהרה לכבל תת-קרקעי יעמוד בתנאים שלהלן:
- (1) חומר הסרט יהיה פוליאתילן בהתאם לתקן הגרמני DIN 53370,
  - (2) רוחב הסרט יהיה 160 מ"מ באפיצות של 1 מ"מ;
  - (3) חוזק בעת מתיחה והתארכות יהיה בהתאם לתקן הגרמני DIN 53455.
  - (4) הסרט יהיה בצבע צהוב; הצבע יהיה עמיד ובר-קיימא לשפשוף, למחיקה ולנזק כתוצאה מנוזלים למיניהם ויעמוד בדרישות התקן הגרמני DIN 53378.
  - (5) הסרט יכלול הדפסה בצבע שחור בהתאם לאיור שלהלן; ההדפסה תעמוד בבדיקות לפי התקן הגרמני DIN 53378.
  - (6) ההדפסה תהיה באורך של 40 עד 50 סנטימטרים, המרחק עד לתחילת ההדפסה הבאה לא יעלה על 100 סנטימטרים והיא תעשה לפי הדוגמא שלהלן:



## התקנת כבלים בצינורות בקרקע



## התקנת כבלים בצינורות בקרקע



## התקנת כבלים בצינורות בקרקע



## מידות חפירה להתקנת צנרת לכבלים מ"נ

עומק החפירה (ס"מ)						קוטר הצינור (מ"מ)
מתחת לכבישים או בהצטלבות עם מסילת ברזל		אדמה או חול		קרקע סלעית		
מומלץ		מומלץ		מומלץ		
	101		101		61	110
105	105	105	105	65	65	160
110	110	110	110	70	70	200
115	113	115	113	75	73	225

## התקנת כבלי חשמל במתח גבוה

### עומק הטמנה של כבל באדמה

העומק המזערי של הנקודה העליונה של כבל הטמון באדמה ישירות או בצינור יהיה:

1. כאשר פני האדמה מכוסים באריחים, מרצפות, אבנים שטוחות וכד' 70 ס"מ
2. כשפני הקרקע בלתי מכוסים 90 ס"מ.
3. מתחת לכביש או מתחת למשטח המיועד לנסיעה – 100 ס"מ.

### תחתית תעלה חפורה עבור כבל

תחתית תעלה חפורה עבור אשר יונח בה כבל תהיה נקיה מאבנים וגופים חדים אחרים ומרופדת בשכבות חול בעובי של 10 ס"מ לפחות.

## התקנת כבלי חשמל במתח גבוה

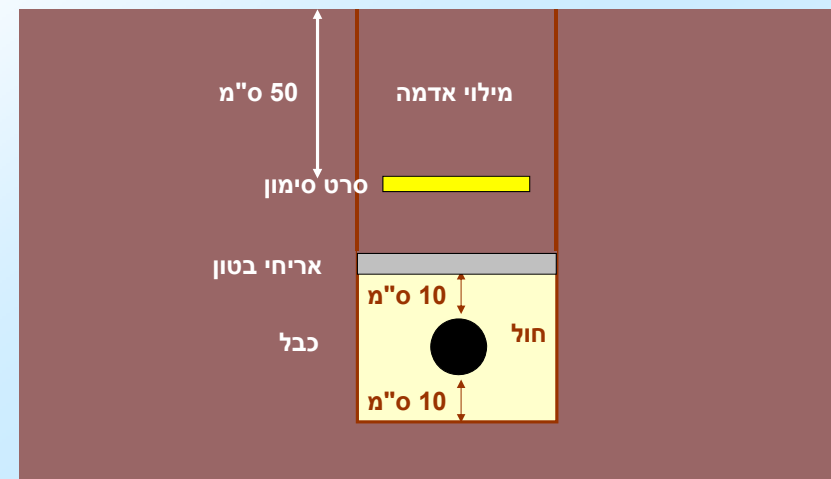
### הנחת כבל בתעלה חפורה

א- כשמניחים כבל על שכבת חול, אין להפעיל עליו, בעת ההנחה, כוח רב מהמותר לפי הוראות היצרן: בתום ההנחה יש לכסות את הכבל בשכבת חול נוספת בעובי של 10 ס"מ לפחות מעל הכבל או הצינור: ומעל שכבת החול יש למלא את התעלה באדמה עד לפני הקרקע ולהדקה.

ב- בתוך שכבת האדמה, יש להניח, לכל אורך הכבל, בעומק של 50 ס"מ לפחות מתחת לפני הקרקע, סרט אזהרה כמפורט להלן: בתעלה שרוחבה עולה על 40 ס"מ יונח סרט אזהרה נוסף לכל 40 ס"מ נוספים או חלק מהם.

ג- מעל שכבת החול המכסה כבל טמון ישירות באדמה, יש להתקין הגנה מכנית באמצעים כגון חלקי צינור, אריחי בטון או לבנים וכדומה.

## הנחת כבל מתח גבוה בתעלה חפורה



## מרחקים בין כבלים בחפירה אחת

- המרחק בין שני כבלים בחפירה אחת הוא המרחק בין הדפנות של הכבלים (מרחק נקי).
- המרחק המזערי בין דפנות כבלים מתח נמוך - אין הגבלת מרחק.
- המרחק המזערי בין דפנות מעגלי כבלים מ"ג הוא 10 ס"מ.
- המרחק המזערי בין כבל מתח נמוך לכבל מתח גבוה הוא 20 ס"מ.
- במקרים מיוחדים, כגון בסיבובים ובכניסה למעברים או כתוצאה מהיתקלות במכשולים ובמתקנים שונים מותר להקטין את המרחקים בין הכבלים.

## מידות מינימליות לחפירה - כבלים מתח גבוה

### עומק התעלה

- א- כאשר פני האדמה מכוסים באריחים, מרצפות אבנים שטוחות וכד' - 90 ס"מ.
- ב- כאשר פני האדמה בלתי מכוסים - 110 ס"מ.
- ג- מתחת למשטח המיועד לנסיעה - 120 ס"מ.

### רוחב התעלה

- א- רוחב התעלה להנחה של מעגל בודד יהיה 40 ס"מ לפחות.
- ב- רוחב התעלה לשני מעגלים יהיה 60 ס"מ לפחות.
- ג- רוחב התעלה להנחת שלושה מעגלים ומעלה, יתבסס על החישוב שהמרחק בין דפנות הכבלים של המעגלים הקרובים יהיה 10 ס"מ לפחות והמרחק של דופן הכבל הקיצוני (התחתון) של המעגל הקרוב לקיר התעלה, מקיר התעלה, יהיה 7 ס"מ לפחות.

## התקנה מעורבת של כבלים מ"נ ומ"ג באותה תעלה

### עומק התעלה

- א- כאשר פני האדמה מכוסים באריחים, מרצפות אבנים שטוחות וכד' - 90 ס"מ.
- ב- כאשר פני האדמה בלתי מכוסים - 110 ס"מ.
- ג- מתחת למשטח המיועד לנסיעה - 120 ס"מ.

### רוחב התעלה

- א- רוחב התעלה להנחה של מעגל בודד יהיה 40 ס"מ לפחות.
- ב- רוחב התעלה לשני מעגלים יהיה 60 ס"מ לפחות.
- ג- רוחב התעלה להנחת שלושה מעגלים ומעלה, יתבסס על החישוב שהמרחק בין דפנות הכבלים של המעגלים הקרובים יהיה 10 ס"מ לפחות והמרחק של דופן הכבל הקיצוני (התחתון) של המעגל הקרוב לקיר התעלה, מקיר התעלה, יהיה 7 ס"מ לפחות.

## מידות חפירה להתקנת צנרת לכבלים מ"ג

עומק החפירה (ס"מ)						קוטר הצנור (מ"מ)
מתחת לכבישים		קרקע מכוסה או אדמה לא מכוסה		קרקע סלעית או אריחים מרצפות או אבנים שטוחות		
מומלץ		מומלץ		מומלץ		
	126		126		91	160
130	130	130	130	95	91	200
135	133	135	133		93	225

### מרווחים בין צנורות מ"נ ומ"ג בהטמנה בקרקע

המרווחים בין דפנות של צנרת כבלים מ"נ או מ"ג יהיה בין 5+4 ס"מ.



## כבל באדמה/בצינור

### תשובת הוועדה !

בתקנה 35 בתקנות החשמל (התקנת כבלים במתח שאינו עולה על מתח נמוך), העוסקת ב"תחתית תעלה חפורה בעבור כבל", נקבע:

"תחתית תעלה חפורה אשר בה יונח כבל תהיה נקייה מאבנים וגופים חדים אחרים ומרופדת בשכבת חול בעובי של 5 ס"מ לפחות".

לעומת זאת, בנוסח הישן של תקנה 25 בתקנות החשמל (התקנת כבלי חשמל במתח גבוה), העוסקת ב"תחתית תעלה חפורה בעבור כבל או צנרת כבלים", נקבע:

"תחתית תעלה חפורה אשר בה יונח כבל, תהיה נקייה מאבנים וגופים חדים אחרים ומרופדת בשכבת חול בעובי של 10 ס"מ לפחות".

כאן המקום לציין, שלגבי כבלי מתח גבוה תוקנה תקנה 25 בתקנות החשמל (התקנת כבלי חשמל במתח גבוה). התיקון התפרסם בק"ת 7105 ביום 2.4.12. בהתאם לנוסח המעודכן, תקנה 25 עוסקת ב"תחתית תעלה חפורה", וכעת נוספה הוא:

"(א) תחתית תעלה חפורה אשר יונח בה כבל תהיה נקייה מגופים חדים.

(ב) תחתית תעלה חפורה אשר יונח בה כבל שאינו מותקן בצינור תרופד בשכבת חול בעובי 10 סנטימטר לפחות..."

## כבל באדמה/בצינור

### התקנת כבלים במתח שאינו עולה על מתח נמוך

06-1-07

#### הנחת כבל מתח נמוך בצינור טמון באדמה

בנוסח הקודם של תקנה 25 בתקנות החשמל (התקנת כבלי חשמל במתח גבוה), העוסקת ב"תחתית תעלה חפורה בעבור כבלים או צנרת כבלים", נקבע שיש לרפד בשכבת חול של 10 ס"מ את התחתית של תעלה חפורה בה מונח כבל מתח גבוה.

ביום 2.4.12 התפרסם בקובץ תקנות 7105 תיקון לתקנות החשמל (התקנת כבלי חשמל במתח גבוה). במסגרת תיקון זה נקבע, שלא נדרש ריפוד תחתית התעלה בשכבת חול כאשר כבל המתח הגבוה מושחל בצינור.

המצב פחות ברור לגבי התקנת כבל מתח נמוך המושחל בצינור וטמון באדמה. בתקנה 35 בתקנות החשמל (התקנת כבלים במתח שאינו עולה על מתח נמוך), העוסקת ב"תחתית תעלה חפורה בעבור כבל", נקבע שתחתית תעלה חפורה בה יונח כבל תהיה מרופדת בשכבת חול בעובי של 5 ס"מ לפחות. תקנה זו אינה מתייחסת למצב בו הכבל מותקן בתוך צינור.

האם הכוונה בתקנה 35 היא שחובת הריפוד בשכבת חול בעובי של 5 ס"מ לפחות חלה רק על כבל במתח נמוך הטמון ישירות באדמה, או שהיא חלה גם על כבל מתח נמוך המותקן בתוך צינור באדמה?

## התקנת כבלים במתקן פוטו וולטאי

לאור האמור לעיל:

הדרישה המופיעה בתקנה 35 בתקנות החשמל (התקנת כבלים במתח שאינו עולה על מתח נמוך) מתייחסת לתחתית תעלה חפורה בה מותקן כבל, ואינה מתייחסת לתחתית תעלה חפורה בה מותקן צינור שבתוכו מותקן כבל.



# יצור כבלים



# פרמטרים של כבלים – התנגדות פעילה

## DC התנגדות

התנגדותו של כבל או תיל תלויה בטמפרטורה.  
התנגדותו של מוליך נתונה על ידי הקשר:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} [\Omega]$$

$\rho$  - התנגדות סגולית התלויה בסוג החומר ובטמפרטורה.

$$\rho_{CU 20^{\circ}C} = 18m\Omega \cdot mm^2 / m \quad \alpha_{CU 20^{\circ}C} = 0.0039 \frac{1}{^{\circ}C}$$

$$\rho_{AL 20^{\circ}C} = 28m\Omega \cdot mm^2 / m \quad \alpha_{AL 20^{\circ}C} = 0.0040 \frac{1}{^{\circ}C}$$

# פרמטרים של כבלים – התנגדות פעילה

## AC התנגדות

בזרם ניכר במוליך הזרם אינו מתחלק באופן אחיד בכל שטח החתך בשל 2 אפקטים: אפקט קרום ואפקט קירבה (proximity). 2 אפקטים אלה גורמים להגדלת התנגדות המוליך בזרם חילופין.

**אפקט קרום:** במוליך העשוי מגידים רבים, יתפתח שטף מגנטי בעוצמה גדולה יותר על המוליכים שבמרכז ביחס לאלה שבהיקף. עובדה זו גורמת לצפיפות זרם קטנה יותר במרכז המוליך מאשר בהיקפו. אפקט זה נקרא אפקט קרום והוא גורם לעליית הערך של ההתנגדות הפעילה של המוליך. אפקט הקרום תלוי בתדר הזרם, בשטח חתך המוליך ובעוצמת הזרם.

**אפקט קירבה:** כששני מוליכים קרובים הנושאים זרם באותה מגמה, מחצית המוליכים הקרובה מושפעת מיותר קוי שטף מגנטי מאשר המחצית הרחוקה. כתוצאה מכך, חלוקת הזרם אינה אחידה לכל שטח החתך כשבחלק המרוחק זרם חלק גדול יותר (בזרמים במגמות הפוכות, צפיפות הזרם במחציות הקרובות גדולה יותר). ב-2 המקרים מגדילה תופעה זו את התנגדות המוליכים.

אפקטים אלה ניתנים להזנחה במוליכים בעלי שטח חתך קטן וזרמים קטנים. במוליכים בעלי שטח חתך ניכר וזרמים גדולים משתמשים במבנה מיליקן.

### Power Cables

Table 5.1.1b  
PROTODUR cables (PVC insulation) with copper conductor  
NYN 1x... 0.6/1 kV (U<sub>m</sub>=1.2 kV)

Three-phase operation at 50 Hz

Design		mm <sup>2</sup>	4	6	10	16	25
			RE	RE	RE	RE	RM
2	Nom. cross-sectional area of conductor						
3	Shape and type of conductor						
9	Thickness of insulation	mm	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2
16	Thickness of outer sheath	mm	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
17	Overall diameter of cable	mm	9	9	10	11	13
19	Weight of cable	kg/km	125	155	200	265	395
20	Minimum bending radius	mm	135	135	150	165	195
21	Perm. pulling force with cable grip	N	200	300	500	800	1250
22	Perm. pulling force with pulling head	N	200	300	500	800	1250
23	d.c. resistance/unit length at 70 °C	Ω/km	5.52	3.69	2.19	1.38	0.870
24	d.c. resistance/unit length at 20 °C	Ω/km	4.61	3.08	1.83	1.15	0.727
31	Reference diameter of cable	mm	7.85	8.36	9.15	10.1	11.9
32	Current-carrying capacity	A	59	73	97	125	161
34	Eff. a.c. resistance/unit length at 70 °C	Ω/km	5.52	3.69	2.19	1.38	0.870
38	Ohmic losses per cable	kW/km	19.2	19.6	20.6	21.5	22.6
39	Fict. thermal resist. of cable for ohmic losses	Km/W	1.193	1.058	0.904	0.772	0.670
41	Fict. thermal resist. of soil for ohmic losses	Km/W	3.428	3.398	3.354	3.305	3.222
44	Inductance/unit length per conductor	mH/km	0.944	0.904	0.856	0.811	0.761
32	Current-carrying capacity	A	45	56	77	102	137
34	Eff. a.c. resistance/unit length at 70 °C	Ω/km	5.52	3.69	2.19	1.38	0.870
38	Ohmic losses per cable	kW/km	11.2	11.6	13.0	14.3	16.3
39	Fict. thermal resist. of cable for ohmic losses	Km/W	1.193	1.058	0.904	0.772	0.670
43	Thermal resistance of the air	Km/W	2.467	2.347	2.186	2.022	1.784
44	Inductance/unit length per conductor	mH/km	0.623	0.595	0.563	0.535	0.514
48	Minimum time value	s	51	74	109	159	215
49	Rated short-time current of conductor (1s)	kA	0.460	0.690	1.15	1.84	2.87

DC התנגדות

AC התנגדות

	35 RM	50 RM	70 RM	95 RM	120 RM	150 RM	185 RM	240 RM	300 RM	400 RM	500 RM
	1.2	1.4	1.4	1.6	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8
	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	2.0	2.1
	14	16	17	19	21	23	25	28	30	34	38
	495	650	850	1150	1400	1700	2050	2650	3300	4150	5250
	210	240	255	285	315	345	375	420	450	510	570
	1750	2500	3500	4750	6000	7500	9250	12000	15000	20000	25000
	1750	2500	3500	4750	6000	7500	9250	12000	15000	20000	25000
	0.627	0.463	0.321	0.231	0.183	0.148	0.119	0.0902	0.0719	0.0562	0.0438
	0.524	0.387	0.268	0.193	0.153	0.124	0.0991	0.0754	0.0601	0.0470	0.0366
	13.0	14.6	16.3	18.3	19.8	21.7	23.7	26.6	29.2	33.0	36.4
	192	227	278	332	377	423	478	555	626	716	813
	0.627	0.463	0.321	0.231	0.184	0.149	0.119	0.0912	0.0732	0.0579	0.0461
	23.1	23.9	24.8	25.5	26.1	26.7	27.3	28.1	28.7	29.7	30.5
	0.592	0.551	0.476	0.443	0.402	0.385	0.369	0.342	0.333	0.312	0.299
	3.176	3.115	3.055	2.991	2.946	2.893	2.841	2.771	2.713	2.635	2.570
	0.729	0.702	0.668	0.643	0.621	0.604	0.587	0.564	0.549	0.528	0.512
	168	204	258	318	370	424	489	584	672	789	916
	0.627	0.463	0.321	0.231	0.184	0.149	0.120	0.0916	0.0736	0.0584	0.0465
	17.7	19.3	21.4	23.4	25.2	26.8	28.6	31.2	33.2	36.4	39.0
	0.592	0.551	0.476	0.443	0.402	0.385	0.369	0.342	0.333	0.312	0.299
	1.662	1.519	1.389	1.268	1.189	1.105	1.030	0.938	0.870	0.788	0.727
	0.497	0.489	0.473	0.466	0.458	0.454	0.451	0.445	0.443	0.439	0.436
	280	388	475	576	679	808	924	1091	1287	1660	1924
	4.02	5.75	8.05	10.9	13.8	17.2	21.3	27.6	34.5	41.2	51.5

התנגדות DC

התנגדות AC

## פרמטרים של כבלים – השראות

ההשראות L של כל גיד בכבל תלת גידי או חד גידי במעגל תלת פאזי מורכבת מהשפעתם של 2 גורמים: השראות עצמית והשראות הדדית.

ההשראות נתונה על ידי הקשר:

$$L = K + 0.2 \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot r}{d}\right) [mH / km]$$

K = קבוע התלוי במספר המוליכים ומבניהם (נתון בטבלה בעמוד הבא)

r – מרווח צירי בין מוליכים בכבל (במ"מ) או מרווח בין מוליכים במעגל תלת פאזי במבנה תלתן או 1.26 כפול המרווח בין המוליכים במעגל תלת מופעי במבנה שטוח.

d – קוטר המוליך במ"מ (או קוטר אפקטיבי).

## פרמטרים של כבלים – השראות

רכיבים אופייניים של המקדם K עבור מספר שונה של מוליכים במעגל בתדר 50HZ

מקדם K	מספר המוליכים במעגל
0.0778	3
0.0642	7
0.0554	19
0.0528	37
0.0514	61 ומעלה
0.0500	חד גידי
0.0383	מוליך חלול

## פרמטרים של כבלים – השראות

דוגמא: חשב את השראותו של כבל חד גידי במעגל תלת מופעי במבנה שטוח. בכל מופע תיל בודד בשטח חתך 500 מ"מ<sup>2</sup>. קוטר חיצוני של כל גיד 38 מ"מ, המרחק בין המוליכים שווה לקוטר החיצוני של הכבל.



# פרמטרים של כבלים – השראות

פתרון:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\Pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 500}{\Pi}} = 25.23 \text{ mm}$$

$$L = 0.0778 + 0.2 \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot 2 \cdot 38}{25.23}\right) = 0.437 \text{ [mH / km]}$$

ניתן להוכיח מהטבלה בהמשך עד כמה קרובה התוצאה למציאות!!!

## Power Cables

Table 5.1.1b PROTODUR cables (PVC insulation) with copper conductor		NYN 1x... 0.6/1 kV (U <sub>m</sub> =1.2 kV)					
Three-phase operation at 50 Hz							
Design	2 Nom. cross-sectional area of conductor	mm <sup>2</sup>	4	6	10	16	25
	3 Shape and type of conductor		RE	RE	RE	RE	RM
Mechanical properties	9 Thickness of insulation	mm	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2
	16 Thickness of outer sheath	mm	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
	17 Overall diameter of cable	mm	9	9	10	11	13
	19 Weight of cable	kg/km	125	155	200	265	395
Electrical properties	20 Minimum bending radius	mm	135	135	150	165	195
	21 Perm. pulling force with cable grip	N	200	300	500	800	1250
Laying direct in ground	22 Perm. pulling force with pulling head	N	200	300	500	800	1250
	23 d.c. resistance/unit length at 70 °C	Ω/km	5.52	3.69	2.19	1.38	0.870
Installation in free air	24 d.c. resistance/unit length at 20 °C	Ω/km	4.61	3.08	1.83	1.15	0.727
	31 Reference diameter of cable	mm	7.85	8.36	9.15	10.1	11.9
Short-circuit	32 Current-carrying capacity	A	59	73	97	125	161
	34 Eff. a.c. resistance/unit length at 70 °C	Ω/km	5.52	3.69	2.19	1.38	0.870
	38 Ohmic losses per cable	kW/km	19.2	19.6	20.6	21.5	22.6
	39 Fict. thermal resist. of cable for ohmic losses	Km/W	1.193	1.058	0.904	0.772	0.670
Short-circuit	41 Fict. thermal resist. of soil for ohmic losses	Km/W	3.428	3.398	3.354	3.305	3.222
	44 Inductance/unit length per conductor	mH/km	0.944	0.904	0.856	0.811	0.761
Short-circuit	32 Current-carrying capacity	A	45	56	77	102	137
	34 Eff. a.c. resistance/unit length at 70 °C	Ω/km	5.52	3.69	2.19	1.38	0.870
Short-circuit	38 Ohmic losses per cable	kW/km	11.2	11.6	13.0	14.3	16.3
	39 Fict. thermal resist. of cable for ohmic losses	Km/W	1.193	1.058	0.904	0.772	0.670
Short-circuit	43 Thermal resistance of the air	Km/W	2.467	2.347	2.186	2.022	1.784
	44 Inductance/unit length per conductor	mH/km	0.623	0.595	0.563	0.535	0.514
Short-circuit	48 Minimum time value	s	51	74	109	159	215
	49 Rated short-time current of conductor (1s)	kA	0.460	0.690	1.15	1.84	2.87

השראות L

# פרמטרים של כבלים – היגב השראי ועכבה

ההיגב השראי לכל פאזה בכבל יחושב על ידי:

$$X_L = 2 \cdot \Pi \cdot f \cdot L \cdot 10^{-3} \quad [\Omega / km]$$

כאשר:  
L – השראות הכבל ב- mHy/km.  
f – תדר הרשת.

$$Z = \sqrt{(R^2 + X_L^2)} \quad [\Omega / km]$$

PROTODUR Cables (PVC Insulation)											
NYN 1x... 0.6/1 kV (U <sub>m</sub> =1.2 kV)											
	35 RM	50 RM	70 RM	95 RM	120 RM	150 RM	185 RM	240 RM	300 RM	400 RM	500 RM
	1.2	1.4	1.4	1.6	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8
	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	2.0	2.1
	14	16	17	19	21	23	25	28	30	34	38
	495	650	850	1150	1400	1700	2050	2650	3300	4150	5250
	210	240	255	285	315	345	375	420	450	510	570
	1750	2500	3500	4750	6000	7500	9250	12000	15000	20000	25000
	1750	2500	3500	4750	6000	7500	9250	12000	15000	20000	25000
	0.627	0.463	0.321	0.231	0.183	0.148	0.119	0.0902	0.0719	0.0562	0.0438
	0.524	0.387	0.268	0.193	0.153	0.124	0.0991	0.0754	0.0601	0.0470	0.0366
	13.0	14.6	16.3	18.3	19.8	21.7	23.7	26.6	29.2	33.0	36.4
	192	227	278	332	377	423	478	555	626	716	813
	0.627	0.463	0.321	0.231	0.184	0.149	0.119	0.0912	0.0732	0.0579	0.0461
	23.1	23.9	24.8	25.5	26.1	26.7	27.3	28.1	28.7	29.7	30.5
	0.592	0.551	0.476	0.443	0.402	0.385	0.369	0.342	0.333	0.312	0.299
	3.176	3.115	3.055	2.991	2.946	2.893	2.841	2.771	2.713	2.635	2.570
	0.729	0.702	0.668	0.643	0.621	0.604	0.587	0.564	0.549	0.528	0.512
	168	204	258	318	370	424	489	584	672	789	916
	0.627	0.463	0.321	0.231	0.184	0.149	0.120	0.0916	0.0736	0.0584	0.0465
	17.7	19.3	21.4	23.4	25.2	26.8	28.6	31.2	33.2	36.4	39.0
	0.592	0.551	0.476	0.443	0.402	0.385	0.369	0.342	0.333	0.312	0.299
	1.662	1.519	1.389	1.268	1.189	1.105	1.030	0.938	0.870	0.788	0.727
	0.497	0.489	0.473	0.466	0.458	0.454	0.451	0.445	0.443	0.439	0.436
	280	388	475	576	679	808	924	1091	1287	1660	1924
	402	575	805	109	138	17.2	21.3	27.6	34.5	41.2	51.5

השראות L

## פרמטרים של כבלים – קיבוליות

כבלים למתח גבוה ולמתח עליון הם על פי רוב חד גידיים ומאופיינים בשיכבה מתכתית מוארקת (סיכוך) סביב לגיד. בכבלים תלת גידיים קיים על פי רוב סיכוך סביב כל גיד. ב-2 המקרים השדה החשמלי כלוא בתוך המעטה והוא רדיאלי.

נניח כבל חד גידי בעל רדיוס  $r$  במטרים ורדיוס סיכוך  $R$  במטרים. נבחר מקרה בו המוליך מוביל מטען  $q$ . השטף החשמלי הבוקע מהמוליך בצורה רדיאלית, מפיק צפיפות שטף ברדיוס  $X$  ממרכז המוליך של:

$$D_x = \frac{q}{2 \cdot \Pi \cdot x} \quad [Cb/m^2]$$

עצמת השדה החשמלי במרחק שרדיוסו  $X$  ממרכז המוליך:

$$E_x = \frac{D_x}{\xi_0 \cdot \xi_r} = \frac{q}{2 \cdot \Pi \cdot x \cdot \xi_0 \cdot \xi_r} \quad [V/m] \quad \xi_0 = \frac{1}{36 \cdot \Pi} \cdot 10^{-9} \quad [F/m]$$

## פרמטרים של כבלים – קיבוליות

העבודה המתבצעת להעביר מטען יחידה חיובי מרחק של  $dx$  בשדה חשמלי בעל עוצמת שדה  $E$  נתונה על ידי:

$$dW = -q \cdot E \cdot dx = -E \cdot dx [Joul]$$

שינוי הפוטנציאל לאורך  $dx$  נתון על ידי:

$$dU = -E \cdot dx \quad [V]$$

לפיכך העבודה להעביר מטען יחידה מהמוליך לסיכוך שבהיקף מתוארת על ידי:

$$U = \int_R^r -E \cdot dx = -\frac{q}{2 \cdot \Pi \cdot \xi_0 \cdot \xi_r} \int_R^r \frac{dx}{x} = \frac{q}{2 \cdot \Pi \cdot \xi_0 \cdot \xi_r} \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right)$$

## פרמטרים של כבלים – קיבוליות

הקיבוליות של כבל לכל מטר אורך נתונה על ידי:

$$C = \frac{q}{U} \quad [F/m]$$

נציב את המתח בביטוי הקיבוליות ונקבל:

$$C = \frac{2 \cdot \Pi \cdot \xi_0 \cdot \xi_r}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)} = \frac{2 \cdot \Pi \cdot \xi_r \cdot 10^{-9}}{36 \cdot \Pi \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right)} = \frac{\xi_r}{18 \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right)} \quad \left[ \frac{\mu F}{km} \right]$$

נוסחה זו משמשת גם לחישוב קיבוליות של כבלים במתח נמוך ללא סיכוך

## פרמטרים של כבלים – קיבוליות

מקדם דיאלקטרי יחסי של סוגי בידוד שונים בכבלים

מקדם דיאלקטרי יחסי	חומר הבידוד
6-7	PVC
3.5	EPR
2.4	XLPE
3.6	שמן

## פרמטרים של כבלים – קיבוליות

- **דוגמא:** חשב את קיבוליותו של כבל חד גידי אופייני במתח 26/45kV. כל מופע בנוי מכבל בודד בשטח חתך נחושת 500 ממ"ר. קוטר הסיכוך 44 מ"מ, בידוד הכבל עשוי מפוליטילן מוצלב XLPE.

181

## פרמטרים של כבלים – קיבוליות

פתרון:

נתונים:  
R=22mm  
 $\epsilon_r=2.4$   
S=500mm<sup>2</sup>

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 500}{\pi}} = 25.23 \text{ mm} \Rightarrow r = 12.615 \text{ mm}$$

$$C = \frac{\xi_r}{18 \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right)} = \frac{2.4}{18 \cdot \ln\left(\frac{22}{12.615}\right)} = 0.239 [\mu F / km]$$

תוצאה זו זהה לערך המצוין בקטלוג היצרן של כבלים מסוג זה. הכבל מתוצרת סינרג'י סופריוור לשעבר.

182

## דף נתונים של כבל אופייני במתח 26/45kV

Catalog Number	No., Nominal cross sectional area of conductors & screen	Minimum No. of wires in conductor	Nominal insulation thickness	Nominal sheath thickness	Approximate outer diameter	Approximate cable weight	Minimum bending radius	Max. conductor DC resistance at 20°C	Short Circuit rating conductor (1 sec) (1)	Current Rating (2)		Reactance @50Hz (5)	Capacitance	Standard supply lengths
										In air (3)	Buried (4)			
	No. x mm <sup>2</sup> /mm <sup>2</sup>		mm	mm	mm	kg/km	mm	Ω/km	kA	A	A	Ω/km	μF/km	m
<b>COPPER CONDUCTOR</b>														
168092	1x95/16	15	10.5	2.3	42	2170	629	0.193	13.6	377	324	0.140	0.139	1000
168131	1x120/16	18	10.5	2.4	44	2470	654	0.153	17.2	433	367	0.135	0.150	1000
168147	1x150/25	18	10.5	2.4	45	2860	674	0.124	21.5	489	409	0.131	0.158	1000
168191	1x185/25	30	10.5	2.5	47	3280	704	0.0991	26.5	560	461	0.127	0.170	1000
168239	1x240/25	34	10.5	2.5	49	3890	738	0.0754	34.3	659	532	0.121	0.186	1000
168312	1x300/25	34	10.5	2.6	52	4560	776	0.0601	42.9	754	598	0.117	0.201	500
168414	1x400/35	53	10.5	2.7	55	5540	823	0.0470	57.2	867	673	0.113	0.219	500
168491	1x500/35	53	10.5	2.8	58	6660	873	0.0366	71.5	997	759	0.109	0.239	500
168627	1x630/50	53	10.5	3.0	63	8340	948	0.0283	90.1	1140	841	0.105	0.267	250

183

## מוליכים מבודדים וכבלים גמישים - מבנה

**חומרי בודד**  
**PVC**

מטרת כללית  
מטרת שדרשות גמישות  
להתקנה בטמפרטורה נמוכה  
מטרת עבודה 70°C  
מטרת עבודה 90°C  
עמיד בחום

**גומי**

גומי סיליקון  
גומי EPR-  
גומי סינתטי מגופר  
מטרת עבודה 180°C  
מטרת עבודה 90°C  
מטרת עבודה 80°C

184

## מוליכים מבודדים וכבלים גמישים - מבנה

### חומרי מלוי ומעטה פנימי

- תערובות גומי מגופר או לא מגופר
- חוטי טקסטיל
- נייר

### חומרי מקלעת

- חוטים על בסיס חומרים טבעיים
  - ◆ כותנה
  - ◆ משי
- חוטים על בסיס חומרים סינתטיים
  - ◆ rayon
  - ◆ nylon
- חוטי זכוכית מטופלים נגד שחיקה

## מוליכים מבודדים וכבלים גמישים - מבנה

### חומרי מעטה

- PVC - למטרות כלליות טמפרטורת עבודה עד 60°C
- Elastomer - למטרות כלליות טמפרטורת עבודה עד 60°C
- Elastic polymer - למטרות כלליות, עמיד בשמנים וחסין אש לטמפרטורת עבודה עד 60°C
- Cross linked - למטרות כלליות, עמיד בשמנים וחסין אש לטמפרטורת עבודה עד 85°C

## מוליכים מבודדים וכבלים גמישים - שיקולי בחירה

### שיקולי בחירת הכבל הנכון מתבססים על בטיחות:

- שימוש בכבל לא יהווה סכנה לחיי אדם
- הכבל לא ישמש למטרה אחרת מאשר הולכת אנרגיה וחלוקת אנרגיה

### בחירת הכבל הנכון מתבססת על:

- הכרת תנאי העבודה
- הכרת ההשפעות החיצוניות
- סוג ותנאי ההתקנה:
  - התקנה קבועה
  - חיבור לצידוד נייד או מיטלטל
- הכרת תנאי תפקוד
- מגבלות מכניות שונות

## מוליכים מבודדים וכבלים גמישים - שיקולי בחירה

### השפעות חיצוניות

- טמפרטורת סביבה.
- נוכחות של גשם, אדים, קיטור או מים.
- פגיעות מכניות שעלולות להיגרם על ידי חפצים מתכתיים שונים.
- בעלי חיים.
- צמחייה.
- קרינה.

### תנאי עבודה

- מתח נומינלי.
- סוגי עומסים.
- ציוד/מכשור הגנה.
- סמיכות לכבלים.
- שיטות ההתקנה.
- נגישות.

## מוליכים מבודדים וכבלים גמישים - שיקולי בחירה

### סוג החיבור ותנאי ההתקנה

- לא להתקין במגע עם שטחים חמים.
- לא להתקין באדמה.
- המסלול יבחר כך שלא יהיו פגיעות מכניות
- אין למתוח בכוח
- אין להשתמש במהדקים שעלולים לפגוע.
- אין להניח מתחת לשטיחים או רהיטים

## מוליכים מבודדים וכבלים גמישים - שיקולי בחירה

### תנאי תפקוד

- תנאים קלים מאוד - מכונות גילוח, שעונים
- תנאים קלים - מייבש שער, מנורת שולחן.
- תנאים רגילים - טוסטר, מכונות כביסה, מקררים, מכונות תפירה.
- תנאים קשים - מתקנים גדולים לחימום, ציוד להרמה.

## חשוב לזכור

- אין להעמיס את המוליכים בזרמים שעלולים ליצור טמפרטורה גבוהה מטמפרטורת העבודה המיועדת עבור אותו סוג של חומר בידוד.
- אין להתקין כבלים חשופים לקרני השמש ללא הוספת חומרים שמונעים את הבליה המואצת.
- התכונה "בליה", מתייחסת לשינויים המופיעים בתכונות המכניות והחשמליות של חומרים מסוימים לאורך הזמן.
- בחירת מעטה החיצוני של הכבל היא פועל יוצא מהכרת מקום ההנחה של הכבל.

## מעבר לכבלי אלומיניום בחח"י

במטרה להוזיל את עבודות רשת וחל"ב (עפ"י המלצת חברת הייעוץ הבינלאומית-מקנזי), החליטה חברת החשמל לעבור לשימוש בכבלי אלומיניום במקום בכבלי נחושת במתח נמוך ובמתח גבוה.

גם באירופה, ארה"ב, קנדה, יפן, קוריאה אוסטרליה וכד' עברו לשימוש בכבלי אלומיניום במתח נמוך וגבוה.

בחל"ב משתמשים עדיין בכבלי נחושת בחתכים קטנים



## השוואת תכונות

סוג הרשת	שטח חתך נחושת [ממ"ר]	שטח חתך אלומיניום [ממ"ר]	יחס משקל בין כבל נחושת לכבל אלומיניום	
			מתח גבוה	מתח נמוך
22 kV	150	240	2.06	מתח גבוה
33 kV	95	150	2.09	
33 kV	240	300	2.64	מתח נמוך
	150	240	2.06	
	50	95	1.73	

כבלים

194

## שינויים שבוצעו

- ברשת מתח נמוך מעבר לשימוש בכבלי אלומיניום במקום בכבלי נחושת
- ברשת מתח גבוה מעבר לשימוש בכבלים בעלי רמת בידוד נמוכה יותר:
- ברשתות 12.6 ו- 22 ק"ו – שימוש בכבלים בעלי בידוד 12/20 ק"ו במקום 18/30 ק"ו
- ברשת 33 ק"ו - שימוש בכבלים בעלי בידוד 18/30 ק"ו במקום 26/45 ק"ו

www.arielsegal.co.il אריאל סגל

כבלים

193

## חיבור לבנייני מגורים

מספר דירות	שטח חתך כבל [ממ"ר]	חומר המוליכים
1-3	4x10	נחושת-אין שינוי
4-15	4x95	אלומיניום
16-36	4x240	אלומיניום

כבלים

196

## כבלים תחליפיים

כבלי מ"נ	
כבל מחליף מאלומיניום	כבל נחושת
כבל אלומיניום 1x95 ממ"ר עם בידוד XLPE, 0.6/1 ק"ו	כבל נחושת 1x50 ממ"ר עם בידוד XLPE, 0.6/1 ק"ו
כבל אלומיניום 1x240 ממ"ר עם בידוד XLPE, 0.6/1 ק"ו	כבל נחושת 1x150 ממ"ר עם בידוד XLPE, 0.6/1 ק"ו
כבל נחושת 4x10 ממ"ר עם בידוד XLPE, 0.6/1 ק"ו	כבל נחושת 4x10 ממ"ר עם בידוד XLPE, 0.6/1 ק"ו
כבל נחושת 4x25 ממ"ר עם בידוד XLPE, 0.6/1 ק"ו	כבל נחושת 4x25 ממ"ר עם בידוד XLPE, 0.6/1 ק"ו
כבל אלומיניום 4x95 ממ"ר עם בידוד XLPE, 0.6/1 ק"ו	כבל נחושת 4x50 ממ"ר עם בידוד XLPE, 0.6/1 ק"ו
כבל אלומיניום 4x240 ממ"ר עם בידוד XLPE, 0.6/1 ק"ו	כבל נחושת 4x150 ממ"ר עם בידוד XLPE, 0.6/1 ק"ו

הערה: כבלים בשטחי חתך: 4\*10, 4\*16, 4\*25 ממ"ר לא הוחלפו מחוסר כדאיות

כבלים

195

## חיבור לקוחות מסחריים

כבל בשימוש [ממ"ר]	סוג חיבור	
	עד זרם [A]	מזרם [A]
4×95 אלומיניום	3×125	3×80
4×240 אלומיניום	3×315	3×160
2×(4×240) אלומיניום	3×500	3×400
3×(4×240) אלומיניום		3×630
4×(4×240) אלומיניום	3×910	3×800

כבלים

197

## חיבור הזנה במבנים

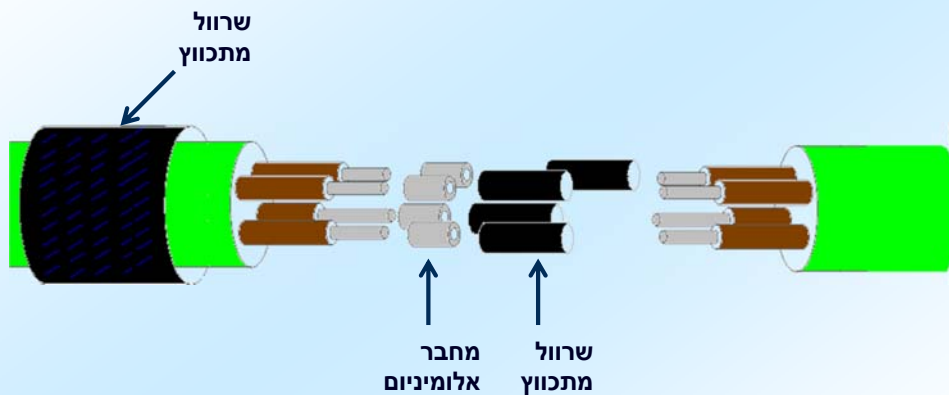
סוג הכבל	שטח חתך כבל [ממ"ר]	מספר דירות
נחושת	4×16	1-3
נחושת	4×35	4-9
נחושת	4×(1×50)	10-18
נחושת	4×(1×150)	19-36

שיקולים: התאמת אביזרי החיבור.

כבלים

198

## תיבת חיבור לכבל מתח נמוך



כבלים

199

## התקנת נעלי כבל



כבל

מפזרת (כפפה)

שרוול מתכווץ בחום  
להגנה מפני U.V

נעלי כבל

כבלים

200

## אביזרי כבל מתח נמוך



כבלים

## חיבור לוחות חלוקה ואבטחה במ.ג.

סרגלי כניסה/יציאה יחוברו באמצעות נעלי כבל מתאימות ולא באמצעות מהדקים.



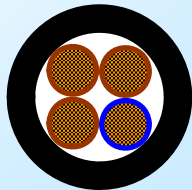
- חיבור הכניסות והיציאות דרך הסרגלים התבצע באמצעות מהדקים.
- החיבור לפס האפס התבצע כדלקמן:
  - כבל נחושת 150 מ"ר - באמצעות מהדקים
  - כבל נחושת 50 מ"ר - באמצעות נעל כבל
- כיום מתבצע חיבור הכניסות והיציאות באמצעות נעלי כבל.
- החיבור לפס האפס יתבצע כדלקמן:
  - כבל אלומיניום 240 מ"ר - באמצעות מהדקים
  - כבל אלומיניום 95 מ"ר - באמצעות נעל כבל

כבלים

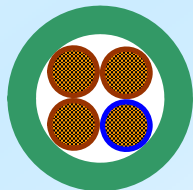
202

## צבעי המעטים בישראל

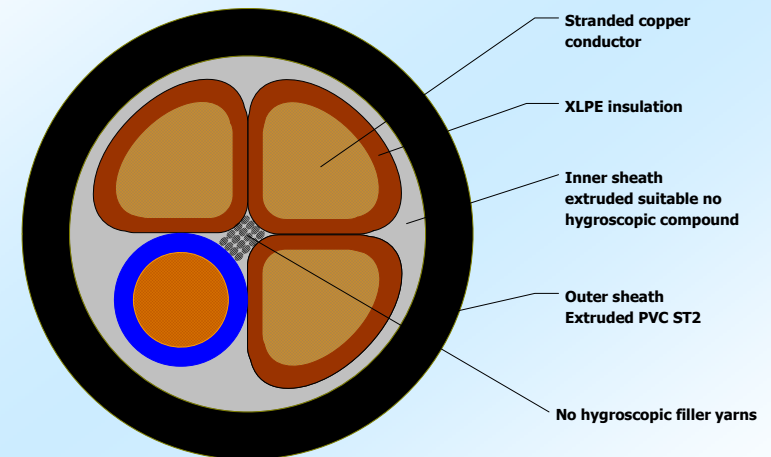
כבלים למתח 0.6/1 ק"ו עם בדוד PVC - מעטה שחור  
טמפרטורת עבודה 70°C



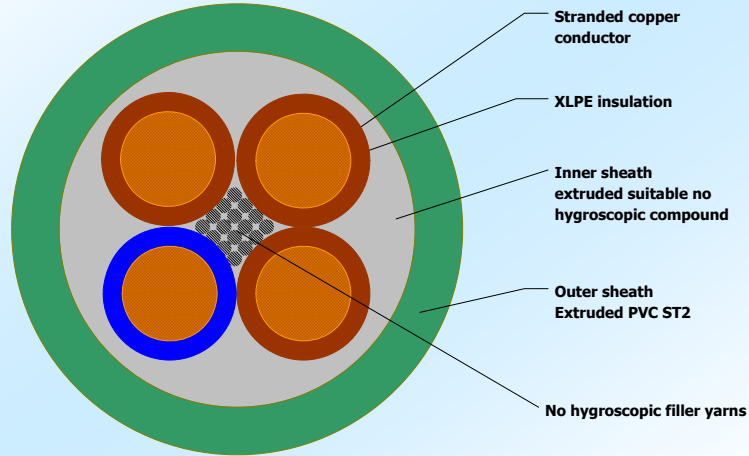
כבלים למתח 0.6/1 ק"ו עם בדוד XLPE - מעטה ירוק  
טמפרטורת עבודה 90°C



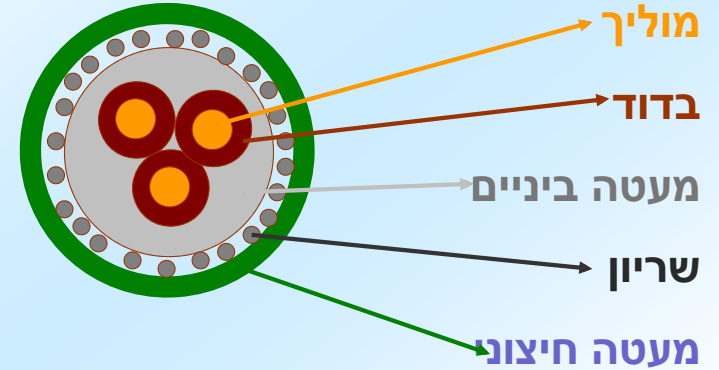
## מבנה אפייני של כבל מתח נמוך סקטוריאלי



## מבנה אפייני של כבל מתח נמוך



## מבנה אפייני של כבל מתח נמוך משורין



## פרטים שיש להגדיר להצעת מחיר או עבור הזמנה

1. שם ומספר התקן שלפיו יש לתכנן את הכבל.
2. אורך הכבל.
3. קוטר ורוחב מרבי של התוף.
4. מתח נומינלי.
5. מספר הגידים.
6. חתך גידי הפזה.
7. חומר המוליך.
8. מבנה המוליך.
9. חומר הבידוד.
10. חתך וחומר של הסכוך.
11. סוג וחומר של השריון.
12. חומר מעטה החיצוני.
13. תנאים מיוחדים להנחת הכבל.
14. טמפרטורה נמוכה.
15. מגע עם מים ו/או חומרים מיוחדים.