

## הנדסת חשמל – זרם חזק - תאורת פנים וחיוץ

### פקר 1: תאורה

#### 1.1 הקדמה

מחקרים מוכיחים כי מרבית בני האדם רוכשים פחות כאשר המוצרים מוארים באופן לקוי (או שחשוד יחסית או שהתאורה חזקה יתר על המידה). ניתן להסביר זאת פסיכולוגית בכך שתאורה חלשה נותנת ללקוח הרגשה כי המוצרים ישנים, בעוד שתאורה חזקה גורמת שלא להביט אל המוצרים וזאת בשל תחושת הסנוור המתקבלת בעיניו. בשטח המחסן תאורה לקויה עלולה לגרום לרמת ערנות נמוכה (בתאורה חלשה) ולאחוז גבוה של תאונות.

מלבד זאת יש לקחת בחשבון את העלויות השונות של מרכיב התאורה:

- ◆ עלויות התקנה – יש לבחור בגופי תאורה ומנורות זולים ככל האפשר.
- ◆ עלויות האחזקה – הקטנת עלויות אלו אפשרית כאשר אמינות התאורה גבוהה והאחזקה היא פשוטה וקלה כך שהצורך בבעלי מקצוע מיומנים יפחת.
- ◆ עלויות ההפעלה – התאורה בהיפר מופעלת במשך כל זמן פעילותו ולכן יש לבחור גופי תאורה ונורות בעלי נצילות גבוהה כך שיוקטנו הוצאות החשמל החודשיות.

כפי שניתן לראות קיימות סתירות בין הדרישות של העלויות השונות לדוגמא: בחירה בגופי תאורה זולים בדרי"כ פרושה אמינות נמוכה והוצאות חשמל גבוהות (בהשוואה ניתן לקחת בית נורת ליבון בתוספת נורה לעומת פס פלורסצנט בתוספת הפלורסצנט עצמו) כך שבעת תכנון התאורה יש לקחת בחשבון את כל המאפיינים הללו ולהגיע לעמק השווה.

סיבות אלו מבהירות את חשיבות התאורה הכלל ובתכנון ההיפר בפרט.

בחישובי התאורה יש להתייחס למאפיינים השונים הקובעים את איכות ויעילות התאורה לדוגמא: עוצמת הארה תקנית, שטף אור, סוגי מקורות אור ומיקומם, מקדמי החזרת האור, מידות השטח המואר וכו'.

התאורה בהיפר כוללת: **תאורה פנימית** – תאורת אולם המכירה, תאורת המחסן, תאורת חדרי הקירור וכן תאורת חדרי הנוחיות המטבח והמשרד.

**תאורה חיצונית** – תאורת שטח פריקת סחורה (בכניסה למחסן), תאורת הכניסה להיפר ותאורת שלטי פרסומת.

#### 1.2 מושגים בתאורה

##### 1.2.1 עוצמת הארה תקנית $E[Ix]$ :

הגדרת עוצמת הארה היא: שטף אור ליחידת שטח כלומר שטף אור הנופל על שטח כלשהו ומאיר אותו בצורה מסוימת. עוצמת הארה תקנית נקבעת על פי סוג העיסוק המבוצע במקום המואר תוך שימוש בטבלה המציגה את עוצמת ההארה התקנית. כאשר הנתונים בטבלה זו נקבעו באופן סטטיסטי.

### 1.2.2 שטף אור תקינית $\Phi[Im]$ :

כמות האור הנפלטת ממקור אור במשך שניה אחת מוגדרת כשטף אור. כלומר שטף אור היו "הספק האור" המתקבל ממקור האור.

### 1.2.3 זווית מרחבית $\omega[sterad]$ :

זווית מרחבית בה רואים ממרכז כדור שרדיוסו מטר אחד כיפה כדורית בעלת שטח של מטר מרובע הנמצא על הכדור מוגדרת כ-1 סטרדיאן.

### 1.2.4 עוצמת האור $I[Cd]$ :

צפיפות שטח האור בזווית מרחבית מוגדרת כעוצמת האור, כלומר עוצמת האור היא ביטוי למידת ריכוז קרני האור בזווית מרחבית. יחידה זו ניתנת להגדרה מדויקת בהתאם ל"מפרט של אטלון" שאושר על ידי "הועדה הכללית למשקולות ויחידות" ב-1948 כך שיחידה זו היא הבסיס לחישובי תאורה.

$$Lm$$

### 1.2.5 נצילות אורית $\left[ \frac{Lm}{W} \eta E \right]$ :

הנצילות האורית מוגדרת כיחס בין שטף האור של מקור האור ("ההספק במוצא") לבין ההספק בכניסת מקור האור (בדר"כ הספק חשמלי). על פי הנצילות האורית ניתן לקבוע מי מבין המקורות מבזבז פחות אנרגיה.

### 1.2.6 מקדמי החזרה $R_C, R_W[\%]$ :

כל חומר מתאפיין בכך שהוא מחזיר חלק מסוים מן האור המוקרן עליו. היחס בין האור המוחזר לאור המוקרן מוגדר מקדם החזרה של החומר. כך שקיימים מקדמי החזרה לקירות ( $R_W$ ), לתקרה ( $R_C$ ) לגוף התאורה ואף לרצפה אך מקדם זה בדר"כ זניח.

### 1.2.7 מקדם האולם $R_K$ :

מקדם זה נותן ביטוי ליחסי מידותיו של האולם המואר בתלות בסוג התאורה (ישירה ובלתי ישירה).

## 1.3 שיטות חישוב

לחישוב פריסת נקודות המאור ומספרן ישנן מספר שיטות אך אני אתמקד בשתיים מהן. האחת מתבססת בעיקר על חוק החשמל ומיועדת לשימוש בדירות מגורים וכן במקומות בהן אין צורך ברמת תאורה מיוחדת. השנייה לוקחת בחשבון את מקדמי החזרת האור מן הקירות והתקרה והיא מבוססת על פי נתונים סטטיסטיים שבאמצעותם נוצר תקן לרבת התאורה הנדרשת במתקן.

### 1.3.1 חישוב לפי חוק החשמל

לפי שיטת חישוב זו יש לקבוע את מספר נקודות המאור על פי שטח החדר. בשיטה זו יוצאים מתוך הנחה בסיסית כי התאורה מבוססת על נורות ליבון פשוטות כאשר מיקום הנקודות הוא סימטרי מחדר ככל האפשר. בשיטה זו אשתמש לחישובי התאורה בחדרים הקטנים: חדרי השרותים, המשרד, חדרי הקירור וכו'.

### 1.3.2 חישוב לפי מקדמי תאורה

החישוב לפי שיטת זו מצריך קביעת גובה השטח המואר גובה מקורות האור (יחסית לשטח המואר), סוגי מקורות האור, סוגי גופי התאורה מידות השטח המואר, רמת האבק באולם מקדמי החזרה ועוד.

כפי שניתן לראות חישוב זה מדויק ויתר משום שהוא לוקח בחשבון גורמים רבים. בשיטה זו אשתמש לחישובי התאורה באולם המכירה והמחסן.

#### 1.3.2.1 חישוב מקדם האולם $R_K$ :

$$R_K = \frac{2a + b}{6h'}$$

כאשר:  $a$  – רוחב האולם (במטרים).

$b$  – אורך האולם (במטרים).

$h'$  – המרחק האנכי של גוף התאורה ממשטח העבודה (במטרים).

#### 1.3.2.2 חישוב שטף האור הכללי

$$E_{\theta} = \frac{E \cdot a \cdot b \cdot 100}{k \cdot \eta}$$

כאשר:  $k$  – מקדם ההפחתה מתקבל מטבלה 1.1.

$\eta$  – נצילות התאורה באחוזים מתקבלת מטבלה 1.2 בצרוף אינטרפולציה (במידת הצורך).

$E$  – עוצמת הארה דרושה משטח המואר.

#### 1.3.2.3 חישוב מספר הנורות

$$n = \frac{\sum \theta}{\theta_1}$$

כאשר  $\theta_1$  הוא שטף האור המופק מנורה בודדת.

#### 1.3.2.4 חישוב מרחק בין נורות

$$X = \sqrt{\frac{a \cdot b}{n}}$$

ניתן לבדוק את נכונות מרחק זה בעת חישוב המרחק המכסימלי ע"י הנוסחה הבאה:

$$X_{max} = 1.3 \cdot h'$$

המרחק בין הנורות יחשב למרחק בין מרכזי גופי התאורה במקרה של נורות פלורסצנטיות.

### טבלה 1.1 מקדם הפחתה $k$

תאורה פלורסצנטית		תאורת כספית		תאורת ליבון		סוג גוף התאורה
מרוכה	מועט	מרוכה	מועט	מרוכה	מועט	מצב האבק
0.55	0.75	0.6	0.8	0.6	0.85	תאורה ישירה
0.37	0.7	0.4	0.7	0.4	0.75	תאורה שווה
0.3	0.6	0.35	0.35	0.35	0.7	תאורה בלתי ישירה

### טבלה 1.2 נצילות התאורה באחוזים\*

30		50			75			מקדם החזרה מהתקרה	$R_K$
10	30	10	30	50	10	30	50	מקדם החזרה מהתקרה	
31	34	31	34	38	31	34	39	0.6	
30	42	41	43	46	42	44	47	0.8	
45	47	46	47	50	47	48	51	1.0	
51	52	52	53	56	52	55	58	1.5	
55	57	58	58	60	57	59	61	2.0	
61	62	62	63	66	62	65	68	3.0	
64	66	65	67	69	67	69	71	5.0	

\* בטבלה 1.2 כל המקדמים הם באחוזים והיא מתיחסת לשימוש בגופי תאורה ישירה בלבד (שבהם 80% מאור הנורה מוקרנים למשטח ו-0% לתקרה).

#### 1.4 חישוב תאורה באולם מכירה

בעת חישוב התאורה באולם המכירה יש לקחת בחשבון כי הקירות מכוסים במדפים אשר מכילים מוצרים במגוון צבעים אך הצבע השולט הוא בעל גוון שחור כך שקימת בליעה גבוהה מאד של האור במוקרן לקירות.

בין הקירות נמצאים מדפים נוספים הבולעים גם הם חלק ניקר מן האור המוקרן עליהם. עקב כך מקדם ההחזרה מהקירות הוא נמוך כ-30%.

גובה אולם המכירה הוא כ-7 מטרים. רצוי להקטין את גובה גופי התאורה ובכך להגדיל את נצילות התאורה.

הצרכנים אינם מסוגלים (ללא שימוש בעזרים) להגיע למוצרים שנמצאים בגובה של למעלה משני מטרים אך הגופים יונמכו לגובה של שלושה מטרים וזאת בכדי למנוע פגיעה מכנית בגופים דבר העלול להקטין את אמינות התאורה ואף לגרום להתחשמלות.

הגובה של המוצר הנמוך ביותר במדף הוא כשלושים סנטימטרים וזאת על מנת לאפשר גישה נוחה לניקוי וכן למנוע הינזקות המוצרים מרטיבות.

במרחק האנכי בין גוף התאורה למשטח העבודה הוא:  $h' = 4 - 0.3 = 3.7 \text{ m}$ .

הנמכת התקרה ע"י תקרה דקורטיבית אומנם תשפר את החזר האור מן התקרה היא כרוכה בהוצאה גבוהה. חסרון נוסף בתקרה שכזו הוא חוסר נוחיות באחזקת השירותים השונים הנמצאים בתוך התקרה כגון מיזוג, גילוי אש, חשמל, כיבוי אש כריזה, אזעקה וכו'. לפי האמור לעיל לא כדאי להנמיך את התקרה, עקב כך וייצר חלל כהה מעל גופי התאורה ובכך יוקטן מקדם ההחזרה מן התקרה לכ-30%.

מידות אולם המכירה הם:

$a =$  רוחב האולם – 20 מטר

$b =$  אורך האולם – 25 מטר

חישוב מקדם האולם :

$$R_k = \frac{2a + b}{6h'} = \frac{2 \cdot 20 + 25}{6 \cdot 3.7} = \frac{40 + 25}{22.2} = \frac{65}{22.2} = 2.927 \approx 3$$

על פי טבלה 1.2 (נצילות התאורה באחוזים) בשורה של מקדם אולם 3 ובעמודה של החזר מתקרה ומקירות 30% ניתן לקבל נצילות תאורה של  $\eta = 62\%$ .  
 כמות האבק במרכז קניות היא מועטה וזאת משום שהוא ממוזג במיזוג מרכזי המסנן את האוויר הנכנס אליו.

הגופים בהם אשתמש הם גופים לתאורה ישירה וזאת על מנת להגדיל את מקדם ההפחתה  $k$ .  
 לצורך תאורת שטח גדול שכזה מגווחך להשתמש בתאורת ליבון אשר נצילות האורית בנמוכה (ישנו בזבוז רב על חום ועל אור בלתי נראה) וגם אורך חייה קצר יחסית (כ- 1000 שעות). ניתן להשתמש בתאורת כספית אך מחיר ומחיר התקנתה גבוהה וכן בעת הפסקות חשמל קצרות דרוש לה זמן רב על מנת להידלק מחדש.

התאורה באולם המכירה תעשה באמצעות תאורה פלוסצנטית אשר בעלת נצילות אורית גבוהה, אורך חיים גבוה ומחיר זול עד בינוני (בהשוואה לסוגי התאורה הקודמים).

על פי טבלה 1.1 (מקדם הפחתה  $k$ ) בשורה של גופים לתאורה ישירה ובעמודה של תאורה פלוסצנטית במצב אבק מועט מתקבל מקדם הפחתה של  $k = 0.75$ .  
 על פי טבלה מס' 9 שבנספח ניתן לראות עוצמת הארה הנדרשת "במקומות מכירה לסחורה קטנה, צבעונית" היא בין 250 לוכס ל-500 לוכס.

משום שתנאי הראיה קשים (המוצר צבעוני, קיימים ניגודים בולטים וקימת אפשרות לסנוור) עדיף לקחת עוצמת הארה בדרגה B כלומר  $E = 500 \text{ Lux}$ .

$$\sum \theta = \frac{E \cdot a \cdot b \cdot 100}{k \cdot \eta} = \frac{500 \cdot 20 \cdot 25 \cdot 100}{0.75 \cdot 62} = \frac{25,000,000}{46.5} = 537634.4086 \text{ Lm}$$

על פי טבלה מס' 3 שבנספח אבחר בנורות בעלות הספק של 40 w מסוג "לבן חם" (White Warm) כאשר לנורה זו שטף אור של כ-2500 לומן.  
 נשתמש בגופי תאורה כפולים המכילים בתוכם שתי נורות של 40 וט הנורה.  
 כך שנקבל שטף אור של 5000 לומן.

יש לקחת בחשבון כי מספר נורות תישרפנה וזאת מבלי שעוצמת התאורה תפחת באופן משמעותי, כך ניתן יהיה להחליף נורות בתכיפות נמוכה יותר.  
 לשם כך אקח מקדם בלאי לנורות של 1.25.  
 לכן מספר גופי התאורה הוא :

$$n = \frac{\sum \theta \cdot 1.25}{\theta_l} = \frac{537,634.4086 \cdot 1.25}{5'000} = \frac{672043.01}{5'000} = 134.4 \approx 134$$

ניתן היה לבחור בנורות פלורסצנטיות בעלות הספק גבוה יותר (ולכן בעלות שטף אור גדול יותר) אך בחרתי בנורות מסוג זה בשל תפוצתן הרבה ומחירן הזול יחסית. סיבה נוספת לבחירה הנ"ל היא שימוש בנורות מסוג זהה בשטחים נוספים במרכז הקניות כך שמלאי הנורות החלופיות (רזרבה לצורכי אחזקה שוטפת) יהיה אחיד כך שימנע בלבול בעתיד. המרחק בין גופי התאורה יהיה:

$$X = \sqrt{\frac{20 \cdot 20}{134}} = \sqrt{\frac{400}{134}} = \sqrt{3.7313} = 1.931m$$

לצורך בדיקת נכונות המרחק אחשב את המרחק המכסימלי בין גופי התאורה

$$X_{max} = 1.3 \cdot h' = 1.3 \cdot 3.7 = 4.81 m$$

כפי שניתן לראות מרחק זה קטן מהמרחק המכסימלי.

משום שנורות פלורסצנט אינן מפזרות את האור באופן זהה לכל הכיוונים ניתן להגדיל את המרחק בין שורות הפסים אך יש להקטין את המרחק בין כל פס ופס השורות תהינה כלפי האורך (שהוא ארוך יותר מן הרוחב) כך שבכל שורה יהיו כ-19 גופי תאורה.

אורך כל גוף תאורה הוא 1.3 מטר לכן אורך כל הגופים הוא  $19 \cdot 1.3 = 24.7$  מטר. אורך כל שורה כמעט זהה לרוחב האולם כך שגופי התאורה בשורה

יורכבו ברצף.

משום שישנם 19 גופי תאורה בכל שורה, מספר השורות הוא  $7 \cong 7.05 =$  צורכי סימטרייה אוריד גוף תאורה אחד כך שמספר השורות יהיה שבע.

$$\text{המרחק בין שורה לשורה יהיה} = \frac{20}{7+1} = 2.5 \text{ מטר}$$

כל שור תוזן מכבל תלת מופעי כאשר כל גוף תאורה יקבל מופע שונה מזה שקיבלו גופי התאורה הכולאים אותו, בכדי ליצור חלוקה מאוזנת בין המופעים וגם בכדי למנוע את תופעת הסטרובוסקופיות.

אומנם בהיפר אין חלקים נעים או מסתובבים אך התאורה תוכל לשמש את המתקן גם כאשר ישונה ייעודו בעתיד.

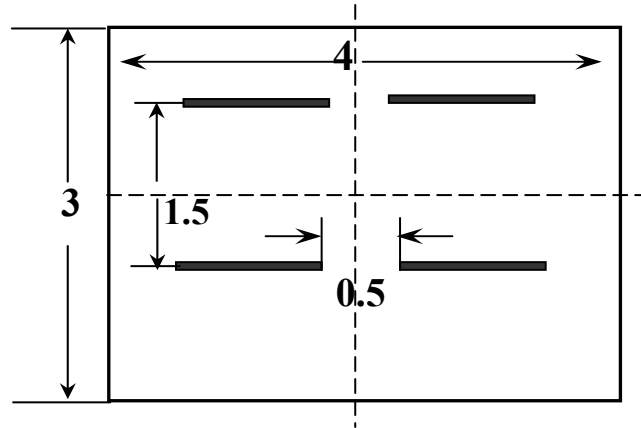
יתרון נוסף המושג בשיטה זו הוא המשך תאורה ברמה סבירה בכל רחבי האולם גם בעת של נפילה של חלק מן המופעים.

### חישוב תאורה בחדרי קירור

מידות כל חדר קירור הן: רוחב שלוש מטרים, אורך ארבע מטרים וגובהו של כל חדר הוא שני מטרים וחצי.

לצורך חישוב התאורה בחדרי הקירור אין צורך בחישוב מדויק וניתן להסתפק בארבע גופי תאורה של 40 וואט.

האחד שיסודרו בשתי שורות, שני גופי תאורה בכל שורה ברווח של כחצי מטר אחד מן השני. שתי השורות תהינה ברווח של מטר וחצי אחת מן השניה. השימוש בתאורה זו נובע מן העובדה שתאורה זו אינה מתחממת כפי שנורות ליבון או כספית מתחממות, ובכך מוקטנת השפעת התאורה על הקירור בחדרי הקירור. בשל הלחות השוררת בחדרי הקירור גופי התאורה יהיו עמידים במים. עקב המיקום הנמוך יש לבחור גופי תאורה צרים ככל האפשר ובעלי עמידות בפגיעות מכאניות.



שרטוט 1.5 פריסת תאורה בחדרי קירור (דוגמא לחדר אחד)

### 1.6 חישוב תאורה במחסן

על מנת לנצל את נפח המחסן בצורה אופטימלית יש ליצור קומת גלריה אשר תפצל את המחסן לשתי קומות. גובה הקומה התחתונה הוא 3 מטר וגובה הקומה העליונה הוא 3.5 מטר כאשר כחצי מטר מבוזבז על רצפת הקומה העליונה. המעבר בין קומה לקומה מבוצע באמצעות מעלית משא.

#### 1.6.1 חישוב תאורה במחסן עליון

אורך הקומה העליונה הוא 25 מטר ורוחבה הוא כ-12 מטרים.

על מנת לנצל את שטח הקומה יש למקם את גופי התאורה גבוה ככל האפשר כלומר על התקרה. גם כאן המוצר הנמוך ביותר הוא בגובה של כ-40 סנטימטרים מן הרצפה לכן המרחק האנכי בין גוף התאורה למשטח העבודה הוא

$$h' = 3.5 - 0.4 = 3.1m$$

חישוב מקדם האולם:

$$R_k = \frac{2a + b}{6h'} = \frac{2 \cdot 12 + 25}{6 \cdot 3.1} = \frac{24 + 25}{18.6} = \frac{49}{18.6} = 2.634 \approx 2.6$$

המקרה זה ההחזרה מהתקרה היא טובה כ-75% וזאת משום שגופי התאורה ממוקמים על התקרה כך שהמרחק בין הנורות לתקרה הוא אפסי.

מקדם ההחזרה מן הקירות הוא נמוך כ-10% וזאת בשל הגוונים הכהים של המוצרים.

לא ניתן לקבוע מידית מהי הנצילות התאורה על פי טבלה 1.2 לכן יש צורך להשתמש בשיטת האינטרפולציה. על פי הטבלה מקדם אולם של 2 נותן נצילות תאורה של 57% ומקדם אולם של 3 נותן

נצילות תאורה של 62% לכן נצילות הקומה העליונה היא:

$$\eta = R_k \cdot m + n \quad m = \frac{62 - 57}{3 - 2} = \frac{5}{1} = 5 \quad n = 62 - 3 \cdot m = 62 - 3 \cdot 5 = 47$$

$$\eta = R_k \cdot 5 + 47 = 2.6 \cdot 5 + 47 = 60\%$$

+ רמת האבק במחסן היא יחסית גבוהה וזאת משום שחלק מן המוצרים המאופסנים מלכלכים את המחסן.

גם כאן עדיף לבחור בגופי תאורה שיספקו תאורה ישירה וזאת בשל ההחזר הנמוך מן הקירות.

לכן על פי טבלה 1.1 מקדם ההפחתה הוא  $k = 0.55$ .

רמת ההארה הדרושה כאן נמוכה יותר מרמת ההארה הדרושה בחנות וזאת משום המוצרים ארוזים בחבילות גדולות יותר לכן ניתן להסתפק בעוצמת הארה של כ-400 לוקס.

$$\sum \theta = \frac{E \cdot a \cdot b \cdot 100}{k \cdot \eta} = \frac{400 \cdot 12 \cdot 25 \cdot 100}{0.55 \cdot 60} = \frac{12,000,000}{33} = 363,636.36 \text{ Lm}$$

גם כאן אשתמש בנורות פלונסצנט בעלות הספק של 40 W כל נורה.

לנורה זו שטף אור של כ-2500 לומן.

נשתמש בגופי תאורה כפולים המכילים בתוכם שתי נורות כך שנקבל שטף אור של 5000 לומן. מקדם הבלאי לנורות הוא 1.25.

לכן מספר גופי התאורה הוא:

$$n = \frac{\sum \theta \cdot 1.25}{\theta_1} = \frac{363,636.363 \cdot 1.25}{5,000} = \frac{672043.01}{5,000} = 90.9 \approx 91$$

כל שורת נורות תכיל כ-18 גופי תאורה כך שהמרחק בין כל גוף תאורה הוא כעשרה סנטימטרים.

$$\text{מספק השורות יהיה } 5 \approx 5.05 = \frac{91}{18} \text{ והמרחק בין שורה לשורה יהיה } 2.4 \text{ מטר} = \frac{12}{5}$$

### 1.6.2 חישוב תאורה במחסן קרקע

שטח המחסן שבקומת הקרקע דומה לשטח המחסן העליון אך קימת גריעה של שטח חדרי הקירור, שטח חדרי הנוחיות, שטח המשרד ושטח המטבח.

לכן ניתן לגרוע את גופי התאורה שמעליהם ולהסתמך על החישובים במחסן העליון.

עם זאת באמצעות אותו מעגל סופי, וזאת על נמת לאפשר תאורה לעובדים גם כאשר אין צורך לגשת למדפי המחסן.

גובה קומת הקרקע של המחסן קטן מגובה המחסן העליון ולכן אפשר להקטין את מספר גופי התאורה בשטח המחסן.

### 1.6.3 חישוב תאורה בחדרי נוחיות

אין צורך לחשב רמת הארה מיוחדת עבור חדרי הנוחיות משום שישנן המלצות בחוק החשמל ולפין ניתן להספק בנקודת מאור אחת.

בשל ההדלקות החוזרות ונשנות בחדרים אלו דבר שמקצר משמעותית את אורך חיי הנורות והרי נורת ליבון היא הנפוצה והפשוטה ביותר להחלפה.



עוצמת נורת הליבון יכולה להיות 60 וט משום שהעובדים אינם אמורים לקרוא בנוחיות במהלך העבודה.

### 1.7 חישוב תאורה במטבח

רוחבו ואורכו של המטבח הוא 3 מטרים וגם כאן מיותר לחשב רמת הארה מיוחדת. ניתן למקם גוף תאורה אחד במרכז החדר אך דרישה רמת הארה גבוהה יותר מן השירותים לכן תותקן תאורת פלורסצנט שתכלול גוף תאורה כפול בהספק של 40 וט לנורה, וזאת בשל האחידות במלאי הנורות החלופיות.

#### 1.7.1 חישוב תאורה במשרד

מידותיו זהות למידות המטבח, אך אופי העבודה בו מצריך עוצמת הארה גבוהה יותר ולכן יותקנו בו שני גופי פלורסצנט כפולים בהספק של 40 וט הנורה כאשר הגופים יורכבו בשורה אחת במרכז החדר. התאורה במשרד, בחדרי השירותים, בחדרי הקירור ובמטבח תזון ממעגל סופי שמספרו 113.

#### 1.8 חישוב תאורה בשטח פריקת סחורה.

אורך השטח הוא 13 מטר ורוחבו הוא 5 הגובה של התקרה זהה לגובה ההיפר כלומר 7 מטר. בשל העובדה ששטח זה פתוח לא תותקן בו תאורה פלורסצנטית וזאת בשל אופי העבודה הגסה המבוצעת במקום, סיבה נוספת היא הגובה הרב והעובדה כי השטח פתוח לרוחות דבר שאינו מאפשר הנמכת גופי התאורה.

בשטח זה תותקן תאורה ישירה מסוג כספית אשר מפיקה עוצמת הארה גבוהה והיא בעלת נצילות טובה.

רמת ההארה הדרושה על פי טבלה 9 שבנספח ל"מחסנים, מקומות מכירה לסחורה גדולה" היא בין 120 ל-250 לוקס. במקרה הנוכחי ניתן להסתפק ב-120 לוקס.

בשל העובדה כי השטח פתוח כמות האבק רבה. החזרה מהתקרה בינונית, כ-50% וזאת בשל העובדה שאין טורחים לצבוע אותה לעיתים תכופות. החזרה מהקירות היא כ-50%. מקדם האולם הוא:

$$R_k = \frac{2a + b}{6h'} = \frac{2 \cdot 5 + 13}{6 \cdot 7} = \frac{10 + 13}{42} = \frac{23}{42} = 0.547 \cong 0.6$$

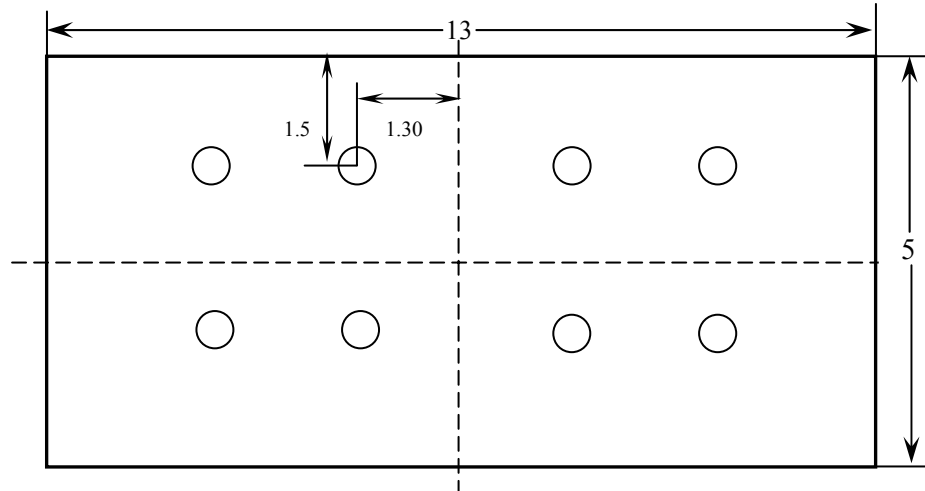
על פי טבלה 1.2 הנצילות התאורה היא 38% ולפי טבלה 1.1 מקדם ההפחתה הוא 0.6.

$$\sum \phi = \frac{E \cdot a \cdot b \cdot 100}{k \cdot \eta} = \frac{120 \cdot 5 \cdot 13 \cdot 100}{0.6 \cdot 38} = \frac{780,000}{22.8} = 34,210.52 \text{ Lm}$$

נורת כספית בעלת הספק של 125w מפיקה 6250 לומן לכן כמות הנורות הדרושה היא:

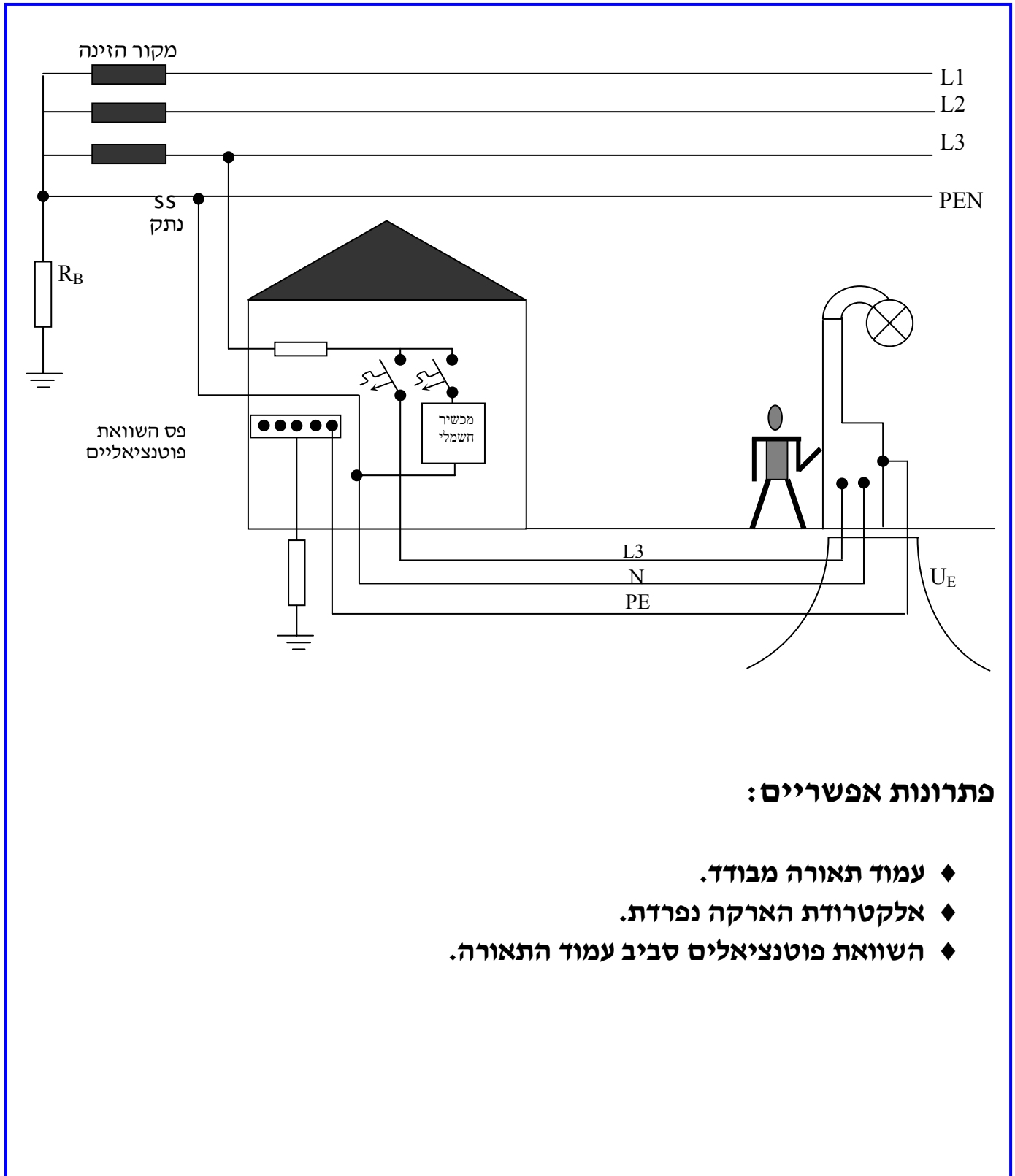
$$n = \frac{\sum \phi \cdot 1.25}{\phi_1} = \frac{34,210.52 \cdot 1.25}{5,000} = \frac{42,763.15}{5,000} = 6.84 \cong 7$$

לצורך סימטרייה נשתמש ב-8 נורות.  
סידור הנורות יהיה בשתי שורות כאשר כל שורה תכיל 4 נורות.



שרטוט 1.7 פריסת תאורה במשטח פריקה – מבט על

## הבעייתיות של חיבור גוף תאורה מחוץ למבנה המוגן בשיטת האיפוס



### פתרונות אפשריים:

- ◆ עמוד תאורה מבודד.
- ◆ אלקטרודת הארקה נפרדת.
- ◆ השוואת פוטנציאלים סביב עמוד התאורה.

טבלת חישוב כללית שיפור כופל ההספק

$Q$ (Var)	$P$ (W)	$COS$ ( $\theta$ )	נצילות %	הספק ליח'	כמות	מס' מעגל	תאור
3670	5921	0.85	87%	1hp	7	-201	סרט נע
1075	1540	0.82	86%	1.8hp	1	210	דלת חשמלית
384	750	0.89	---	750w	1	208	מע' כריזה
58	115	0.89	---	115w	1	206	קשר פנים
1239	2000	0.85	---	2000w	1	209	שונות
4573	6097	0.8	82%	5kw	1	300	אל – פסק
647	1520	0.92	---	1520w	7	-101	מאור אולם
1937	4000	0.9	---	4000w	1	-126	מאור שילוט
511	1200	0.92	---	1200w	1	108	מאור מחסן
1329	3120	0.92	---	1040	3	-109	מאור מחסן
681	1600	0.92	---	1600w	1	112	מאור מחסן
3067	7200	0.92	--	1440w	5	-121	מאור מחסן
2958	9000	0.95	---	4500 w	2	-401	תנורי מאפה
1937	3000	0.84	---	1500 w	2	-403	קירור מאפה
4153	7000	0.86	---	3500 w	2	-410	חדרי קירור
16779	25976	0.84	85%	30hp	1	450	מע' מיזוג
2613	4842	0.88	76%	5hp	1	460	דוחס אשפה
2019	3942	0.89	84%	4.5hp	1	470	מעלית משא
18512	31200	0.86	---	5200 w	6	-501	מקררי אמבט
3346	5400	0.85	---	2700 w	2	-507	מקררי אמבט
2842	4400	0.84	---	2200 w	2	-510	מקררי דלת
30844	45900	0.83	---	5100 w	9	-520	מקררי מדף
468	826	0.87	89%	1hp	1	550	מקרר מטבח
0	2000	1	---	2000 w	1	551	קומקום
0	1500	1	---	1500 w	1	552	תנור
0	800	1	---	800 w	1	553	מצנם
1732	1000	0.5	---	1000 w	1	130	מאור כספית
245	620	0.93	---	620 w	1	113	תאורת חדרים
107.619	182.469	0.861			סה"כ		

ההספק הנצרך ע"י ההיפר הוא 182469 (בהנחה של מקדם ביקוש 1).  
 כמו כן לאחר שיפור כופל ההספק התקבל כופל הספק של 0.92.  
 לא סביר שכל הצרכנים בהיפר יופעלו באותו זמן אך יש לקחת בחשבון כי צריכת החשמל בהיפר תעלה וזאת בשל הוספת צרכנים בעתיד.  
 לכן ניתן להניח כי ההספק הנצרך ע"י ההיפר הוא ההספק במקדם ביקוש 1.  
 ההספק המדומה הנצרך ע"י ההיפר הוא :

$$S = \frac{P}{\cos\theta} = \frac{182,469}{0.92} = 198,335 \text{KVA}$$

השנאי העונה על הספק זה הוא שנאי 250KVA (רצ"ב דף נתונים בנספח).  
 הזרם הנצרך ע"י ההיפר הוא :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\theta} = \frac{182,469 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = 286 \text{A}$$

הכבל מותקן בתוך תעלת רשת (שיטת התקנה י"א) ולפי טבלה 90.3 כבל בעל גידים בשטח חתך של 120 ממ"ר מתאים להזרמת זרם של 313 אמפר עונה על הדרישות.  
 ביציאה מהשנאי לקו יותקנו נתיכי H.R.C לזרם של 350 אמפר.  
 ובלוח יותקן מפסק ראשי מסוג NZM9 (בעל כושר ניתוק של 35KA) לזרם של עד 315 אמפר המנתק התרמי יכוון לזרם של 290 אמפר והמנתק המגנטי יכוון לזרם של 2000 אמפר (המינימום הקיים במפסק).

ניתן להניח כי עכבת הרשת המזינה את השנאי היא זניחה ושואפת ל-0.

$$E_{TR\%} = 1.332\% \quad | \quad E_{TX\%} = 4.194\%$$

לכן התנגדות הקצר של השנאי היא :

$$R_T = \frac{E_{TR\%} \cdot U_{2n}^2}{100 \cdot S_{Tn}} = \frac{1.332 \cdot 400^2}{100 \cdot 250 \cdot 10^3} = 8.5248 \text{m}\Omega$$

לכן התנגדות הקצר של השנאי היא :

$$X_T = \frac{E_{TX\%} \cdot U_{2n}^2}{100 \cdot S_{Tn}} = \frac{4.194 \cdot 400^2}{100 \cdot 250 \cdot 10^3} = 26.8416 \text{m}\Omega$$

המרחק בין מוצא השנאי ללוח הראשי הוא כ-35 מטר.

$$\rho = \frac{1 \quad \Omega \cdot \text{mm}^2}{57 \quad \text{m}}$$

ההתנגדות הסגולית של הכבל היא :

$$R_{LI} = \rho \cdot \frac{L}{A} = \frac{1}{57} \cdot \frac{35}{120} = 5.117 \text{m}\Omega$$

לכן התנגדות הכבל היא :

$$X_0 = 0.07 \frac{\Omega}{Km}$$

ההיגב של הכבל לקילומטר הוא :

לכן היגב הכבל הוא :

$$X_{LI} = X_0 \cdot L_I = 0.07 \cdot \frac{35}{1000} = 2.45 \text{ m}\Omega$$

ההתנגדות השקולה שרואה פס הצבירה שבלוח הראשי היא :

$$R_{T \rightarrow LI} = R_T + R_{LI} = 8.5248 + 5.117 = 13.6418 \text{ m}\Omega$$

וההיגב השקול עד לפס הצבירה שבלוח הראשי הוא :

$$X_{T \rightarrow LI} = X_T + X_{LI} = 26.8416 + 2.45 = 29.2916 \text{ m}\Omega$$

העכבה השקולה בפסי הצבירה שבלוח הראשי היא :

$$Z_{T \rightarrow LI} = \sqrt{R_{T \rightarrow LI}^2 + X_{T \rightarrow LI}^2} = \sqrt{13.6418^2 + 29.2916^2} = 32.312 \text{ m}\Omega$$

זרם הקצר הצפוי במקרה של קצר תלת מופעי בפסי הצבירה שבלוח הראשי הוא :

$$I_{KLI} = \frac{1.1 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_{T \rightarrow LI}} = \frac{1.1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 32.312 \cdot 10^{-3}} = 7861.79 \text{ A}$$

כפי שניתן לראות המפסק הראשי מסוגל לעמוד בזרם קצר זה כך שבמקרה של קצר המנגנון המגנטי יופעלו וינתק את הזינה.

על פי טבלה "זרם בפסי צבירה שטוחים מנחשת" פס צבירה 30x3 (מ"מ) מסוגל לעמוד בזרם של 310 אמפר כך שהוא מתאים לצורכי הלוח.

מומנט ההתנגדות הוא :

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6}$$

בהנחה כי המרחק בין כל פס הוא 5 ס"מ הכוח הפועל על פס באורך מטר הוא :

$$F = 1.76 \cdot \frac{I_k^2}{d} = 1.76 \cdot \frac{7.86179^2}{5} = 21.756325 \frac{kg}{m}$$

הכוח הפועל על פס בין שני מבודדים הוא :

L L

$$\rho = F \cdot \frac{\text{---}}{100} = 21.756325 \cdot \frac{\text{---}}{100} = 0.217563 \cdot L \text{ kg}$$

מאמץ הכפיפה הוא :

$$G = \frac{\rho \cdot L}{12 \cdot W} = \frac{0.217563 \cdot L \cdot L}{12 \cdot 0.45} = 0.0402894 \cdot L^2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

נניח מאמץ  
כפיפה של :

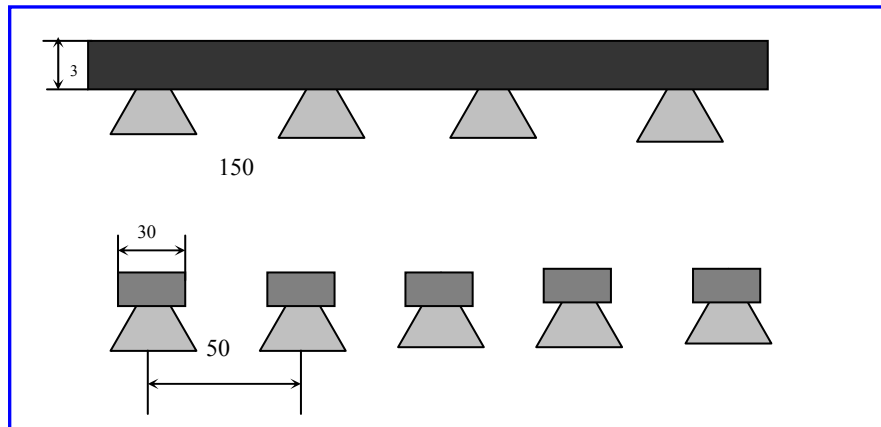
(מותר בין 1200 ל-1400 ק"ג לס"מ)  $G = 1.300 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

לכן המרחק בין המבודדים הוא :

$$L = \sqrt{\frac{1300}{0.0402894}} = 179 \text{ cm}$$

לצורך האחידות ניתן להקטין את המרחק ל-150 ס"מ.

הפסים יותקנו בצורה הבאה :



#### פרק 4: שיפור כופל ההספק

המתקן המוזן מרשת של זרם חילופין, קיים לרוב הפרש מופע בין הזרם והמתח כלומר פסגת הזרם אינה מופיעה באותו רגע בו מופיעה פסגת המתח. תופעה זו נוצרת עקב האופי החשמלי של הצרכנים במעגל כלומר הם יכולים להיות בעלי אופי אומי טהור, אופי השראתי ואופי קיבולי. צרכנים כגון נורות ליבון, נורות הלוגן ואף גופי חימום הם בעלי אופי אומי טהור שבו לא קיים הפרש מופע בין המתח לזרם. בצרכנים כגון שנאים ומנועים מפגר הזרם אחרי המתח שהם מכילים היגב השראתי ולכן הם בעלי אופי השראתי. בצרכנים כגון מנועים סינכרוניים (בעירור יתר) וקבלים הזרם מקדים את המתח ולכן הם בעלי אופי קיבולי.

#### 4.1 השלכות כופל ההספק

ערכי כופל ההספק נעים בין 0 ל-1 (כפי שפונקציית הקוסינוס בערך מוחלט) כאשר 1 משקף צרכן אומי טהור (ללא היגב כלשהו) | – 0 מצביע על צרכן היגבי (קיבולי או השראתי) טהור (ללא התנגדות אומית כלשהי).

כופל הספק נמוך משפיע בצורה חריפה על מספר גורמים :

- ◆ כאשר כופל ההספק נמוך הזרם בקו גדל ומצריך הגדלת חיבור מחברת חשמל.
- ◆ עקב עליית הזרם קיימת דרישה להגדיל את שטחי החתך של המוליכים.
- ◆ הגדלת שטח חתך המוליכים מצריכה שינוי מכאני בעמודים, תומכים ותעלות על מנת שיוכלו לשאת את משקל המוליכים.
- ◆ הגדלת בזבז ההספק המתפתח על המוליכים.

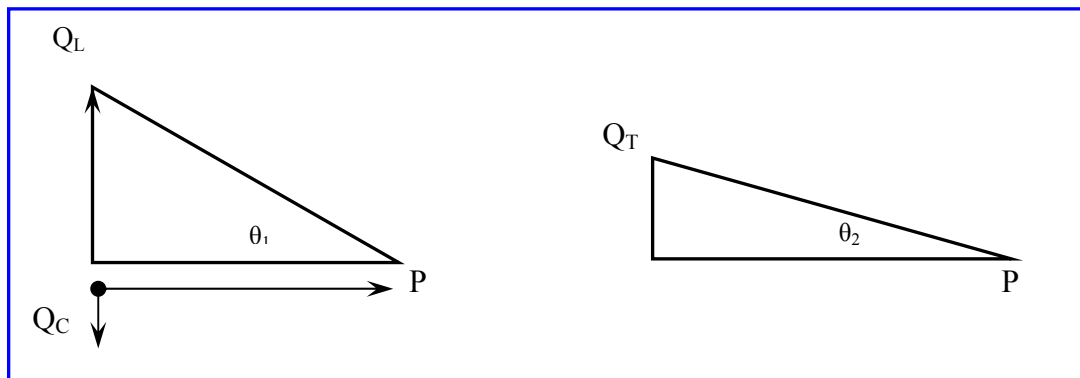
חברת החשמל גובה תשלום רק עבור ההספק האקטיבי (שנוצר עקב עומסים התנגדתיים) אך נאלצת לספק אנרגיה גם עבור ההספק היגבי דבר שמאלץ אותה להגדיל את ההספק המיוצר ולשפר את התשתית על מנת שתוכל לעמוד בביקוש. לכן קבעה חברת החשמל סף עבור כופל ההספק והוא עומד היום על 0.92 (בעבר הוא עמד על 0.85) כאשר צרכן אינו עומד בסף הנ"ל הוא ניקנס בהתאם למידת החרیגה.

#### 4.2 שיטות לשיפור כופל ההספק

לרוב כופל ההספק הוא היגבי ולכן השיטות פשוטות השונות לשיפורו התבססות על קיום היגב השראתי.

קיימות מספר שיטות לשיפור כופל ההספק להלן חלק מהן :

הוספת קבלים – ע"י הוספת קבלים נוסף היגב קיבולי ההפוך ב-180 מעלות מן ההיגב השראתי כך שהוא מחובר ממנו. הקטנת ההיגב השקול מקטינה את הפרש המופע בין הזרם למתח, וכן מוגדל כופל ההספק.



שימוש במנועים סינכרוניים במצב עבודה שלעירור יתר כך שהם יקבלו אופי קיבולי. שיטה זו מצריכה החלפת מנועים קיימים לרוב בעלי הספקים גדולים והיא מתאימה בעיקר למפעלים. הגדלת מקדם העומס של מנועים ע"י החלפת המנועים במנועים בעלי הספק קטן יותר (היכן שניתן). קיצור זמן העבודה של מנועי השראה ללא עומס.

#### 4.3 שיפור גורם ההספק בהיפר נטו

כפי שנתן להיווכח כופל ההספק השקול של המיתקן הוא 0.861 והוא נמוך מדרישת חברת החשמל



(0.92). על מנת להימנע מקנסות, משימוש במוליכים בעלי שטח חתך גדול, מהגדלת בזבז הספק במוליכים ומצורך בחיבור חברת החשמל לזרם גבוה יותר יש צורך לשפר את כופל ההספק. השיטה שבה אשתמש היא הוספת קבלים וזאת משום ששיטה זו היא המעשית ביותר להיפר. ההספק הנצרך ע"י ההיפר משתנה במהלך כל שעות היממה בהתאם לפעילות בהיפר, חיבור קבוע של כל סוללות הקבלים עלול להביא למצב שבו במקום להביא לשיפור כופל ההספק נגרום ל"קילקולי" כופל ההספק. עקב כך יש לשלוט על כמות סוללות הקבלים שתחוברנה בהתאם לכופל ההספק הקיים ברגע נתון.

ע"י שימוש בבקר כופל הספק ניתן להשיג ערך מסוים של כופל הספק על אף שינויים מתמידים בעומסים.

ההספק הנצרך ע"י ההיפר נטו הוא  $182,469W$  (בהנחה שמקדם הביקוש הוא 1). לצורך הכתבה המקצועית ערכנו אותה בהיפר באזור המרכז – ככתבה סטטיסטית.

כופל ההספק הנוכחי (טרם השיפור) הוא  $\cos\theta_1 = 0.861$ .

ולכן  $\tan\theta_1 = 0.59$

כופל ההספק הרצוי (לאחר השיפור) הוא  $\cos\theta_2 = 0.92$

ולכן  $\tan\theta_2 = 0.42$

הספק סוללות הקבלים יהיה:

$$Q_c = P_T \cdot (\tan\theta_1 - \tan\theta_2) = 182,469 \cdot (0.59 - 0.42) = 182,469 \cdot 0.17 = 31,019 \text{Var}$$

על מנת לאפשר לבקר לשמור על כופל הספק רצוי יש צורך לתת לו את האפשרות להפעיל רק חלק מסוללות הקבלים. כך שבמקרה שבו אין עומס מלא הוא יוכל לנתק חלק מן הסוללות.

בעתיד הקרוב יתכן גידול בצריכה במיתקן ולכן ניצור סוללת קבלים בהספק נפוץ של  $35KVA_r$ .

נשתמש בבקר הנותן אפשרות לחבר סוללות במבנה  $1:2:2:2\dots$  כך תתאפשר השגת דיוק ע"י הבקר.

הסוללות תורכבנה מסוללה אחת בהספק של  $5KVA_r$  (1) ומשלוש סוללות בהספק של  $10KVA_r$  לסוללה (2).

בקר כופל ההספק צריך לכלול לפחות 4 יציאות ממסר להפעלת הסוללות אך רצוי לבחור בבקר יציאות נוספות וזאת בכדי לאפשר תוספת של סוללות קבלים בעתיד (בהתאם לצורך) מבלי להחליף את הבקר.

קיימים בקרי כופל הספק המספקים יציאות ממסר נוספת המאפשר חיבור של נורה הוא צופר המתריעים על תקלה בפעולת הבקר (לדוגמא: כאשר סוללת קבלים שהוכנסה לפעולה אינה מניבה את מקדם ההספק הצפוי עקב קפיצת מאמ"ת וכו').

עדיף להשתמש בבקר כזה על אף היותו יקר יותר וזאת משום שגילוי מוקדם של התקלה יאפשר את תיקונה בהקדם לפני קבלת קנס בגין מקדם הספק ירוד מחברת החשמל.

הבקר בו בחרתי הוא מתוצרת חברת LIFASA הספרדית מדגם MCR-6N.

בקר זה מאפשר חיבור של 6 קבלים וכן צופר או נורת התרעת תקלה.

על פי חוק החשמל (תשמ"א 1984 פרק חמישי) יש לצייד את סוללות הקבלים באמצעי פריקה שיחברו אוטומטית ברגע של ניתוק המתח ויאפשרו את הורדת המתח שעל פני הקבלים למתח בטיחותי (50 וולט) תוך דקה.

אמצעי הפריקה המקובלים הם נגדים כאשר לכאורה לכל סוללה דרושים כשלושה נגדי פריקה אך למעשה ניתן להסתפק בשני נגדי פריקה ובכך גם לחסוך מגען.

בחישוב התנגדות הנגדים יש לקחת בחשבון את המתח התנגדותי שבו טעונים הקבלים, זמן הפריקה המותר הוא דקה אחת (60 שניות), מתח הקבלים בתום זמן הפריקה הוא 50 וולט וכי קיימים שני קבועי זמן האחד בגין נגד אחד והשני בגין שני נגדים בטור.

המתח המרבי שבו טעונים הקבלים הוא מתח ישר השווה לשיא המתח החילופי.

$$U_{max} = \sqrt{2} \cdot U_L = \sqrt{2} \cdot 400 = 565.68 \text{ ע}$$

לצורך החישוב ניתן לקחת בחשבון רק את קבוע הזמן הגדול יותר (המורכב משני נגדים בטור). קבוע הזמן הוא:

$$\tau = \frac{-t}{\ln\left(\frac{u(t)}{U_0}\right)} = \frac{-60}{\ln\left(\frac{50}{565.68}\right)} = \frac{-60}{\ln(0.0883)} = 24.73 \text{ sec}$$

### חישוב נגדי הפריקה לסוללת 5KVAr

$$C = \frac{Q_T}{3 \cdot U^2 \cdot \omega} = \frac{5000}{3 \cdot 400^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{5000}{3 \cdot 400^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50} = 33.157 \mu F \quad \text{קיבול כל קבל הוא}$$

$$R = \frac{\tau}{2 \cdot C} = \frac{24.73}{2 \cdot 33.157 \cdot 10^{-6}} = \frac{24.73}{66.31 \cdot 10^{-6}} = 372 K\Omega \quad \text{לכן התנגדות כל נגד היא}$$

$$P = \frac{U_0^2}{R} = \frac{565.68^2}{372.000} = 0.86 \text{ w} \quad \text{בהספק}$$

### חישוב נגדי הפריקה לסוללת 10KVAr

$$C = \frac{Q_T}{3 \cdot U^2 \cdot \omega} = \frac{10.000}{3 \cdot 400^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{10.000}{3 \cdot 400^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50} = 66.31 \mu F \quad \text{קיבול כל קבל הוא}$$

$$R = \frac{\tau}{2 \cdot C} = \frac{24.73}{2 \cdot 66.33 \cdot 10^{-6}} = \frac{24.73}{132.62 \cdot 10^{-6}} = 186 K\Omega \quad \text{לכן התנגדות כל נגד היא}$$

$$P = \frac{U_0^2}{R} = \frac{565.68^2}{186.000} = 1.72 \text{ w} \quad \text{בהספק}$$

ניתן להשתמש בנגדים בעלי התנגדות נמוכה יותר ובכך לקצר את זמן פריקת הקבלים אך יש להשתמש בנגדים בהספק גדול יותר. הזרם הנצרך ע"י סוללת הקבלים הוא:

$$I = \frac{Q_T}{3 \cdot U} = \frac{5.000}{3 \cdot 400} = 4.16A \quad \text{לסוללת 5KVAr}$$

$$I = \frac{Q_T}{3 \cdot U_T} = \frac{10.000}{3 \cdot 400} = 8.33A \quad \text{לסוללת 10KVAr}$$

אולם יש לקחת בחשבון כי ברגע חיבור סוללת הקבלים הזרם גדול פי 1.43 והזרם הנקוב ולכן המאמ"ת שיגן על סוללת הקבלים יהיה לזרם גבוה מהתוצאה.

$$I \cdot 1.43 = 4.16 \cdot 1.43 = 5.95A \quad \text{בסוללת 5KVAr}$$

$$I \cdot 1.43 = 8.33 \cdot 1.43 = 11.91A \quad \text{לסוללת 10KVAr}$$

המאמ"ת שיגן על סוללת 5KVAr יעמוד בזרם של 10 אמפר ואילו המאמ"ת שיגן על סוללת 10KVAr יעמוד בזרם של 16 אמפר.

הבקר מודד את זווית המופע ע"י דגימת המתח והזרם. מתח ההזנה לבקר הוא גם המתח הנמדד ואילו הזרם נמדד באמצעות שנאי זרם הממיר את הזרם באחד המופעים לזרם מכסימלי של 5 אמפר.

הכתבה המקצועית סטטיסטית, נערכה לצורך העשרה מקצועית, להנדסאי ומהנדסי חשמל, ומכללות להנדסת חשמל וגבוי לתכנון ובדיקת מתקנים למתח נמוך וגבוה, מתקני פיקוד ובקרה.