

תאורה ומקורות אור מלאכותי

דף מידע מאת: ד"ר אלכס טורצקי

תאורה, על כל יתרונותיה, מהווה סיכון בטיחותי וגיהותי. לסיכוני הבטיחות אפשר לייחס סיכוני חישמול, פגיעות, כוויות ושריפות כתוצאה מהתחממות אביזרים שונים של מערכות התאורה. חלקים שונים נופלים או מתפוצצים, מוכרות שריפות במשרדים, מפעלים, שריפות בבתי מגורים ואחרים. כתוצאה מתקלות בתאורה פלואורנית והלוגן נופלים פריטים שונים שגורמים לפגיעות וכוויות. ידועים במקרי התחשמלות מתאורת ליבון ואחרות כתוצאה מהחלפות לא מקצועיות או נגיעה מקרית, נורות שבורות. לא נתייחס לסיכוני גיהות בכתבה זו.

בחירת סוג התאורה צריכה להתבצע לפי היבטים גיהותיים, ובמקביל - בטיחותיים ואסתטיים.

דף מידע זה מתייחס לבחירת סוגי תאורה לפי תכונותיה. הבחירה תענה לדרישות שונות הכוללות סוג עבודה, תנאי סביבה, רקע וצבעים קיימים, ארגונומיה וכד'.

חלק חשוב לבחירת סוגי תאורה הוא הגורם הכלכלי, כגון: עלות, צריכת החשמל, אורך החיים, תחזוקה, ניצולת, מרחקים וכו'. מומלץ ניצול מרבי של אור היום, בשילוב נכון עם התאורה החשמלית.

בדף המידע לא נתייחס לתאורת חירום, התמצאות, תאורה מקומית, מיוחדת, תאורה באזורים נפיצים ומוקפים.

נגדיר דרישות להארה ונתייחס לנתוני סוגים שונים של תאורה כללית.

מונחים עיקריים וסמלים של תאורה

(כל ההגדרות והדרישות – מופיעות בת"י 8995, "תאורה למקומות עבודה שבתוך המבנים", (מאי 2002).

F - שטף אור, יחידות – לומן (Lm). לאור מונוכרומתי עם הספק 1 ווט, שטף אור = 683 לומן בתנאי ראייה מלאים.

I - עוצמת האור, יחידות – נר או קנדל (cd).

L - בהיקות האור – אינה תלויה בהסתגלות העין, יחידות – ניט, nit, (נר/מ"ר).

LE - יעילות אורית (נצילות האור), יחידות – לומן/ווט (שטף אור/הספק), קיים גם מושג – נצילות גוף תאורה LOR (לומן מקורי/לומן נוכחי). יעילות אורית מרבית לגל 555 ננומטר מגיע ל- 620 לומן/ווט וממוצה לכל תחומי הגלים הנראים לעין ל- 370 לומן/ווט. נצילות תאורה פלורוסצנטית לא תהיה נמוכה מ- 80 לומן/ווט ולשאר בהתאם לת"י 5288. נצילות גופי תאורה ונצילות הכוללת המזערית של מנורות תהיה 60%.

E - עוצמת הארה, הצפיפות של שטף האור, יחידות – לוקס (שטף אור/יחידת שטח).

Em - עוצמת הארה מתוחזקת (הערך של עוצמת ההארה הממוצעת על המישור הנתון, שאין לרדת ממנו). במקורות שונים כמו מאור בתי ספר ומשרדים מגדירים מונח זה כעוצמת הארה מינימלית, ובתקן הקודם, ת"י 1529 (1992), משמשים במונח "עוצמת הארה שימושית".

UGR - דירוג אחיד של הסינוור המטריד (discomfort glare), תלוי בבהיקות, ניגודיות, רקע, זווית ראייה, ומשתנה מ 13 עד 28 יחידות.

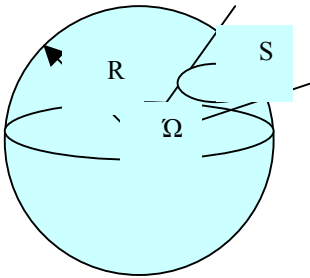
Ra - מקדם מסירת הצבע (נאמנות צבעים), מגדיר איכות הצבע הנמסר ממקורות אור שונים, כמו משטחים, ממיין כושר להאיר משטחים צבעוניים, תלוי בהסתגלות העין וניתן לקבוע רק בתנאי מעבדה, נמצא בקטלוגים למתכנני תאורה ומשתנה מ 20 עד 90.

$$\frac{\text{לומן}}{\text{ווט}} = LE$$

$$\frac{\text{ג"ר}}{\Omega 1^*} = \text{לומן}$$

$$\frac{\text{לומן}}{\text{מ"ר}} = \text{לוקס}$$

$$\frac{F}{4\pi} = I$$



איור 1

$\Omega 1^*$ - זווית מרחבית - סטראדיאן (Ω), ראה איור 1 - שטח מעטפת הכדור (S) שרדיוסו R. $S = \Omega = 4\pi$, $S = 4\pi R^2$, כאשר הרדיוס הוא $R = 1$.

טבלה 1. דוגמאות של דרישות לעוצמת ההארה (פרוט מלא ראה בת"י 8995)

ללא נתוני UGR המגדירים דירוג של הסנזור המטריד וללא מקדם מסירת צבע - Ra.

| תאור המקום ומשימות | דרישות לגבי עוצמת הארה מתוחזקת Em, לוקס |
|---|---|
| עבודות בבתי אריזה | 200 |
| תעשייה כימיה, פלסטיקה, גומי. מהפעלה והזנת ציוד, החסנה ועד בדיקות מוצרים | מ 300 עד 1000 |
| תעשיית מזון | מ 200 עד 500 |
| תעשיית אלקטרוניקה. הרכבה ובקרה | 1500 |
| תעשיית מתכת. ייצור פריטים גדולים ועד קטנים | מ 200 עד 300 |
| תעשיית מתכת. בקרה ותהליכים עדינים | מ 500 עד 1000 |
| עבודות משרד | מ 300 עד 750 |

טבלה 2. נתוני סוגי תאורה שונים*

| נצילות אורית (לומן/וט) | שטף אור (לומן) | הספק (וט) | אורך החיים (שעות) | סוג |
|------------------------|----------------|-----------|-------------------|----------------------------|
| 8 | 325 | 40 | 1000 - 750 | ליבון |
| 11 | 1100 | 100 | | |
| 13 | 4000 | 300 | | |
| 21 | 10500 | 500 | 2000 - 1000 | טונגסטן - הלוגן |
| 25 | 25000 | 1000 | | |
| 80 | 3000 | 40 | 10000 - 6000 | פלואורנית |
| 90 | 9400 | 105 | | |
| 17 | 2700 | 160 | 7500 - 6000 | כספית ללא נטל** |
| 19 | 4800 | 250 | | |
| 84 | 21000 | 250 | 6000 | כספית עם נטל שקופה |
| 86 | 38000 | 440 | | |
| 44 | 550 | 125 | 6000 | כספית עם נטל, מצופה |
| 48 | 12000 | 250 | | |
| 54 | 21500 | 400 | | |
| 68 | 27000 | 400 | 7500 | כספית עם נטל, עם הלידים*** |
| 85 | 85000 | ****1000 | | |
| 136 | 12250 | 90 | 4000 | נתרן לחץ נמוך |
| 157 | 21200 | 135 | | |
| 175 | 31500 | 180 | | |
| 84 | 21000 | 250 | 4000 | נתרן לחץ גבוה |
| 95 | 38000 | 400 | | |

* לפי אינג' דוניבסקי ובנו, "מדריך לחשמלאי"

** נטל – (choke), (משנק) – בהדלקה הוא מספק מכת מתח, בגלל ההשראה העצמית שלו, ולאחר זאת שומר הנטל כמשנק (ballast), על מתח העבודה של הנורה, לפי ת"י 397 חלק 1.01, רשמי, "נטלים לשפופרות פלואורניות, דרישות פעולה", 1.01.96. (רשמי).

*** לידים – מתכת בתוך שפופרת קוורץ, הלידים גורמים לצבע אור לבן.

**** בנורה זו משתמשים במגרשי ספורט, צילומי טלוויזיה בצבע.

התקנה ותחזוקת התאורה

- יש לטפל בתקלות בציווד העזר ובמנורות בהתאם לתוכנית התחזוקה, כדי למנוע ירידה ביעילות המתקן ובבטיחות.
- יש לתכנן תדירות בדיקה ותחלופת המנורות.
- יש לתכנן תדירות ניקוי גופי תאורה ומנורות.
- מראה הצבע של נורות מסוג אחד יהיה אחיד לכל הבניין עבור אותן פעולות.
- במקומות ואזורים שקיים חשש להתחממות הציווד, יש להבטיח אוורור למנורות.
- גובה ההתקנה של מנורות לא תהיה יותר מ 5.0 מטר מעל משטח העבודה, אולם כאשר החלל גבוהה מ- 5.0 מטר, יש להתקין מנורות עם אלומת אור צרה.



איור 2
תחזוקת התאורה

תאורה פלואורנית

נורות פלואורניות, הן הוותיקות בין נורות הפריקה ומתאימות בעיקר לתאורת פנים. עד היום קיים שימוש רב בתאורה זו לצורך תאורה כללית ומקומית. מומלץ להתקין תאורה פלואורנית באזורים של הארה ממושכת, לא מומלצות להדלקות קצרות בגלל קפיצת אנרגיה בהדלקה.

מרכיבים ותהליך הדלקה תאורה פלואורנית

תהליך הדלקת אור בשפופרת נוצר מפריקת חשמל דרך גז ואבקה הממלא אותה. תהליך ההארה נפסק מיד אחרי הפסקת חשמל, והוא נקרה פלואורסנציה, לעומת פוספואורוסנציה, שמאירה גם אחרי הפסקת אנרגיה, המפעילה אותה.

יתרון של תאורה פלואורנית - נצילות ואורך חיים גבוהים, יחסית, ועלות נמוכה. חסרון של תאורה פלואורנית - בעיה חמורה של הבחנת צבעים. משטחים, בעלי צבע זהה, אם יוארו אל ידי נורות פלואורניות שונות, ייראו כאילו הצבע שלהם שונה. ההבדל תלוי במיני הנורות הנבדקות.

הנורה בנויה שפופרת המצופה בפנים בשכבת אבקה פלואורנית. לתוך הנורה מכניסים טיפת כספית וממלאים אותה בגז אציל, כמו קסנון, ארגון וכד'. קיימות נורות המפיקות אור בגוונים שונים, כמו "אור יום - D", "לבן קר - CW", אור "לבן חם - WW", צבעים שונים המשתמשים לייצוב, שילוט פרסום וכד'.



איור 3
חיבור נורה פלואורנית
עם מדלק (starter)

כפי שרואים באיור 3, נורה פלואורנית מצריכה להפעלתה מדלק (starter), ראה איור 3, ונטל (choke). תפקיד הנטל הוא כפול: בעת ההדלקה הוא מספק "מכת מתח" גבוה להדלקת הנורה, בגלל ההשראה עצמית שלו, ולאחר זאת שומר הנטל, כמשנן (ballast), על מתח העבודה של הנורה, שהוא נמוך ממתח הרשת. לכן גם משתמשים לעיתים במונח "משנן" במקום "נטל".

קיימות שתי שיטות עיקריות להדלקת נורות פלואורניות: שיטת הדלקה ושיטת "רפיד - סטרט" ללא מדלק.

פעולת המדלק: מדלק (איור 5) בנוי בצורת נורה קטנה ממולאת גז אציל, הכוללת מפסק דו - מתכתי (bimetal) וקבל נגד הפרעות ברדיו. המפסק הדו - מתכתי מחובר בטור עם הקתודות של נורה פלואורנית. עם החיבור של הנורה למתח, מופיע במדלק פריקת גז. פריקה זאת מחממת את המפסק הדו - מתכתי ומתהווה בו מגע, הסוגר את מעגל הקטודות של הנורה. הקתודות מחממות את הנורה; טיפת הכספית שבתוך הנורה מתאדה ואדי הכספית ממלאים את השפופרת. בו בזמן מתקרר המפסק הדו - מתכתי במדלק והמגע בו ניתק. בגלל ההשראה העצמית של הנטל מקבלת הנורה, ברגע שנותק המעגל, "מכת מתח" גבוה בין הקתודות ומתהווה פריקה חשמלית ביניהם באדי כספית. גלי אור אולטרה-סגולים, הנוצרים תוך כדי פריקה זו, פוגעים בשכבה הפלואורנית של הנורה, המתחילה להפיק אור לבן, הנורה נדלקה. (לפי אינג' דוניבסקי ובנו, "מדריך לחשמלאי").

ההדלקה ללא מדלק: שיטת הדלקה מהירה (רפיד - סטרט) של נורה פלואורנית פועלת בעזרת שנאי מיוחד אשר מספק לקטודה מתח נמוך כ- 10 וולט, לשם חימום.

איור 4

סוגי נורות פלואורניות. מימין לשמאל: נורת שפופרת ומשנק, נורה ספירלה, נורה זעירה. שני סוגי הנורות האחרונות כוללות בתוכן משנק ומערך הדלקה, וכך הן מתאימות לכל בתי נורה רגילות.

**אפקט סטרובוסקופי**

בנורות פלואורניות הפועלות בזרם חילופין קיים היבוב האור 100 הרץ (פעם לשניה), בגלל מחזוריות של מתח חילופין ברשת. הבהוב זה אינו מורגש בעין, אולם הוא יכול לגרום לראייה לא נכונה של גופים סימטריים מסתובבים.

תופעה זו, הנקראת "אפקט סטרובוסקופי", עלולה לגרום לסכנה של תאונת עבודה. כאשר גוף מסתובב במהירות – ייראה כמסתובב לאט, במנוחה, או אף מסתובב בכיוון הפוך. ניתן למנוע זאת על ידי חיבור נורות למופעים שונים במתקן תלת – מופעי. במתקן חד – מופעי ניתן לחבר זוג נורות באמצעות משנק מיוחד, "משנק תאומים", היוצר הפרש בזווית של 120 מעלות בזינת שתי הנורות.

איור 5

מימין לשמאל: מדלק (starter), נטלים (choke)



נטלים מסוגים שונים (אלקטרוני, ומגנטי)

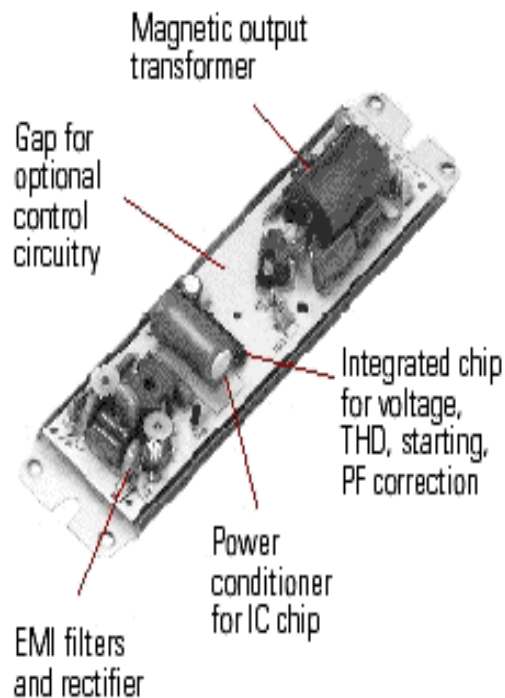
נטלים אלקטרוניים יותר יעילים מנטלים מגנטיים בגלל שהם פועלים בתדרים גבוהים. הם גם מתחממים פחות ולא גורמים לשריפות.

איור 6

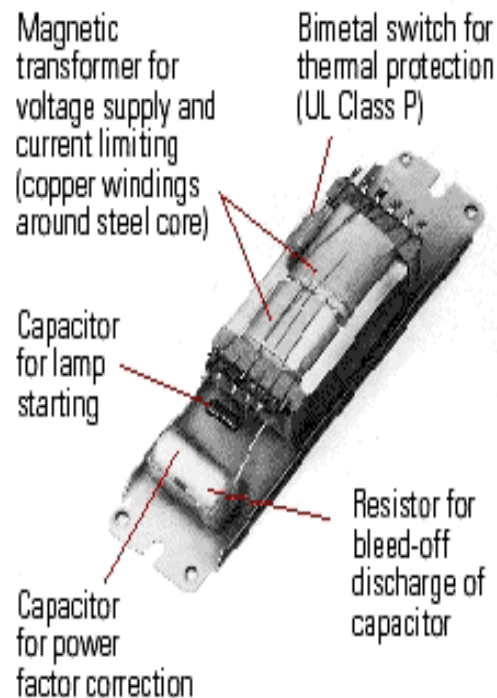
Figure 1: What's in a ballast?

Electronic ballasts (left) are more efficient than magnetic ballasts (right) because they operate at very high frequencies.

Integrated circuit electronic ballast



Standard magnetic ballast



Source: E SOURCE