

מדריך לחיסכון באנרגיה בתאורת כבישים ורחובות

הוצג במסגרת כנס לקידום ת"י 13201 – תקן להתייעלות אנרגטית ותאורת דרכים

יוני 2013

תוכן עניינים

פרק 1 רקע

3

פרק 2 מבוא לתכנון תאורת חוץ

4

פרק 3 מתקן תאורה, גופי תאורה ומרכיביהם

6

גופי תאורה

6

נורות נל"ג טיפוסיות לתאורת כבישים

7

גופי תאורה מבוססי טכנולוגיית LED

9

מקדם ההספק של מתקן התאורה

12

תחזוקה וניקוי גופי התאורה

12

פרק 4 תאורת כבישים בהתאם לתקן ישראלי 13201

13

פרק 5 אמצעים טכנולוגיים לחיסכון באנרגיה בתאורת הכבישים

19

משנק אלקטרוני

19

מייצב מתח אינדיווידואלי

21

שעון אסטרונומי

22

מערכות שליטה ובקרה (Telemanagement Systems)

24

דוגמת חישוב זמן החזר ההשקעה

22

פרק 6 סיכום והמלצות עיקריות

25

נספח א – רשימת תקנים רלוונטיים לנושא תאורת חוץ

26

נספח ב - מלון מושגים מתוך מלון מושגים בעריכה של פרופ' נאמן ז"ל

27

נספח ג – מקורות ספרות וקריאה נוספת

31

במסגרת עבודה אינטנסיבית המקודמת ברשויות המקומיות לעידוד החיסכון בחשמל וקידום יעדים סביבתיים וכלכליים של הרשות, עולה לעיתים קרובות על שולחן הדיונים נושא תאורת הרחובות ברשות. מנתונים אשר נאספו במסגרת תכנית "תג הסביבה" בכ- 60 רשויות בכל רחבי הארץ עולה כי החלק הממוצע של צריכת החשמל ברשות המופנה לתאורת הרחובות הוא כ- 50% מכלל האנרגיה הנצרכת על ידי מוסדות הרשות השונים (חינוך, מנהל, וכדומה). בשיעור כה משמעותי ובעלויות חשמל הנמצאות בעליה מתמדת, ברורה החשיבות של ההתייעלות והחיסכון.

מטרת מדריך זה היא להגביר את המודעות לנושא החיסכון בתחום תאורת חוץ ולרכז את המידע המצטבר בתחום זה. המדריך מיועד לאנשי חשמל ולאנשי הרשויות המקומיות, אולם יוכל לשמש גם מעסיקים, מתקינים ומתחזקים של מתקני תאורה, המבקשים להעמיק בנושא.

במדריך מובאים הנושאים העיקריים אשר יישומם עשוי לאפשר התייעלות אנרגטית של מתקן התאורה. ההתייעלות מביאה לחיסכון כספי ישיר, וכן מסייעת בשמירה על איכות הסביבה (באמצעות השפעות עקיפות כגון צמצום פליטת דו תחמוצת הפחמן וגזי חממה נוספים, הפחתה של הזיהום האורי, הגברת הבטיחות הבריאותית ועוד).

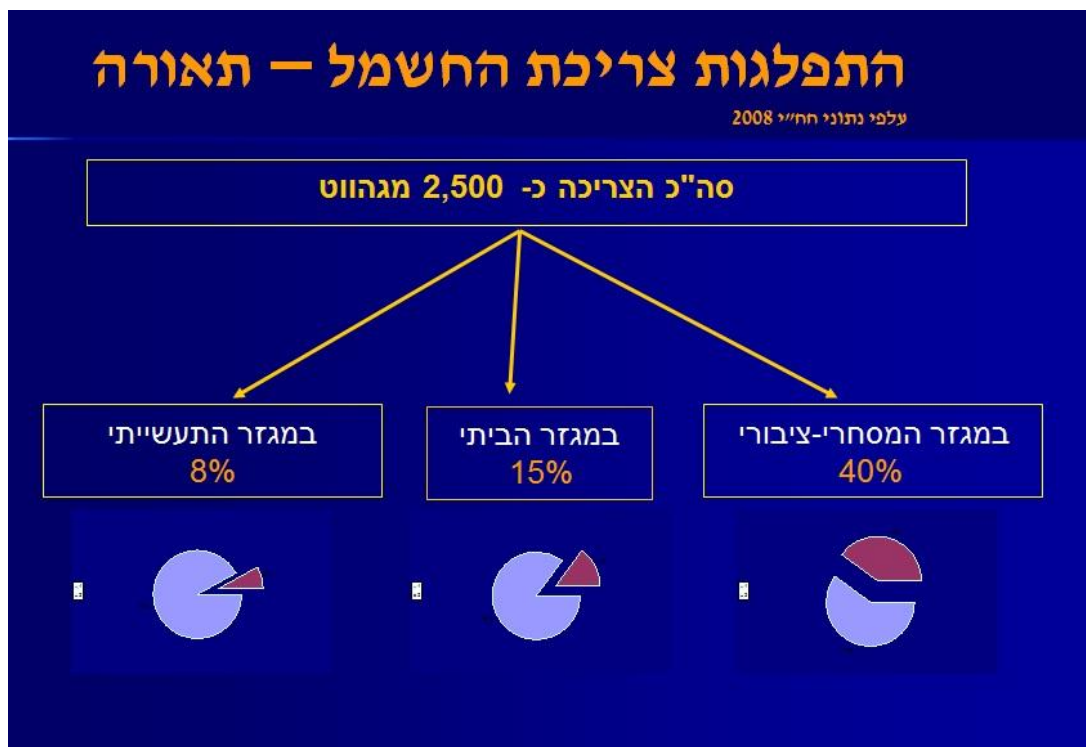
אין מטרת המדריך ללמד מין היסוד את הנושא המורכב של תכנון מתקני תאורה, אלא לדון בנושא בצורה כללית. אין בו הנחיות תכנון או המלצות למקרים מיוחדים.

המדריך נכתב על ידי ד"ר אינה ניסנבאום, איי בי אן מעבדות בע"מ, ונערך על ידי מילכה כרמל, יועצת סביבתית למרכז השלטון המקומי וטל גולדרט, מרכזת תכנית "תג הסביבה" במרכז השלטון המקומי.

פרק 2 מבוא לתכנון תאורת חוץ

תאורת החוץ כוללת הארת כבישים, גינות ציבוריות, רחובות, חניונים שצ"פים וכו'. מתקנים אלו מופעלים בשעות החשיכה ומשמשים לנוי והדגשה, להגברת ביטחונם של התושבים המשתמשים בדרך וכן להבטחת הבטיחות בדרך ובכביש. תאורת חוץ מהווה חלק אינטגרלי בכל פרוייקט בינוי ותשתיות ונמצאת בקצב גידול מתמיד.

על פי נתוני חברת החשמל צריכת האנרגיה המופנית לתאורת החוץ בארץ מהווה כ 2.5% מצריכת החשמל הארצית הכוללת וכ- 10% מצריכת האנרגיה לתאורה בפרט. משמעות הדבר שכ- 950 מיליון קילוואט שעה נצרכים בשנה להארת הכבישים, הגנים והערים.



כבישים הבינעירוניים בארץ מותקנים כ 100,000 פנסים, וברחובות הערים והרשויות המקומיות מותקנים כ- 800,000 פנסים. חיסכון של 10-20% מצריכת האנרגיה – עשוי להיות משמעותי מאוד.

יישום דרישות התאורה בשטח, מביא לצריכת אנרגיה משמעותית, המחייבת התייחסות מקצועית, המביאה בחשבון התייעלות בצריכת החשמל תוך שמירה על דרישות המתקן לתאורת החוץ. תנאי ההכרחי לייעול צריכת החשמל במתקני התאורה הוא יישום הייעול בהתאם לתקנים והחוקים. יש לזכור כי לתאורה אשר אינה מתוכננת נכון יש השפעה רבה על התושבים והמשתמשים בדרך, והיא עלולה לגרום לטעויות אנוש, לתחושת עייפות כללית, לנזקים או סיכונים עקיפים, ולפעמים אף עלולה להוות סיכון בטיחותי ישיר.

כפי שניתן יהיה להיווכח, תכנון תאורה נכונה על פי דרישות התקנים כולל מספר רב של פרמטרים, כגון:

- רמת הארה נדרשת בהתאם ליישום (הארה אופקית נדרשת),
- אחידות ההארה (אחידות כללית, אחידות אורכית),
- רמת הסנוור (Ti),

- רמת ההארה הסביבתית הנדרשת להגברת הבטיחות (Sr),
 - שינויים דינמיים בתאורה במהלך שעות ההפעלה תוך התחשבות בנפח הפעילות ,
 - התייחסות לרמת הארה ורטיקלית וסמיצלינדרית הנדרשת ביישומיים שונים כגון במעברי חציה ותחנות אוטובוס ,
 - התייחסות נפרדת להארה של מעברים תת קרקעיים,
 - התייחסות נפרדת בהארה של מנהרות (לנושא זה יש להתייחס לתקן הבינלאומי CIE88:2004 הדן בפרוטרוט בהשלכות הבטיחותיות של הארת מנהרות במהלך שעות היממה),
 - התייחסות נפרדת להארה של מרחביים ציבוריים (גנים ציבוריים, מגרשי משחקים וכו')
- שימוש באמצעים השונים הקיימים כיום יאפשרו אופטימיזציה של התכנון תוך עמידה נאותה בכל הפרמטרים הנדרשים בהנחיות ובתקנים הרלוונטיים.
- את רשימת התקנים הרלוונטיים ניתן למצוא בנספח א'.
- תוצר לוואי מוכר של תאורת חוץ הינו הזיהום האורי (light pollution), אשר נגרם ע"י תאורת חוץ לא מתאימה ובזבזנית. זיהום אורי גורם לתופעות כדוגמת שמים בוהקים, סינוור מיותר והארת שטחים שלא לצורך.
- בהתאם לנתוני Drk Sky Associationa כ- 30% מהאנרגיה המושקעת בהארת הערים הגדולות מתבזבזת ומהווה זיהום אורי. בנוסף לבזבז האנרגיה, גורם הזיהום לפגיעה אקולוגית כדוגמת הפרעה לנדידת הציפורים, הפרעה להתפתחות הטבעית של הצמחייה וכן הפרעה לתצפיות הכוכבים של האסטרונומים. עוד בשנת 1992 הכריז UNESCO על "שמיים עם כוכבים" כאוצר עולמי שיש לשמרו.
- תופעת הזיהום האורי ניתנת לצמצום על ידי שמירה על מספר כללים בסיסיים :
- תכנון נאות המאפשר הארה ייעודית אשר יבטיח הארה של האזור הנדרש בלבד,
 - כיוון נכון של גופי התאורה,
 - הפעלת הציוד לפרקי זמן מוגדרים על פי פרוגרמת התכנון, על מנת שלא להאיר שלא לצורך,
 - קביעת עוצמת ההארה בהתאם לתקנים הקיימים וללא "עודפים מיותרים",
 - שמוש בנורות יעילות ובגופי תאורה יעילים המיועדים גם למניעת סינוור,
 - תחזוקה נאותה של ציוד התאורה.

פרק 3 מתקן תאורה, גופי תאורה ומרכיביהם

בישראל מבוססת תאורת החוץ בעיקר על נורות פריקה (HID- High Intensity Discharge lamp) - הכוללות נורות נל"ג (נתרן לחץ גבוה) ונורות מטל הלייד (Metal Halide). נורות אלו מופעלות באמצעות ציוד הפעלה ייעודי, המותקן בתוך גוף התאורה או במגש ציוד המותקן בעמוד התאורה. הציוד כולל מספר רכיבים עיקריים :

- משנק מגנטי או אלקטרוני, המשמש לשליטה על המתח שמפעיל את הנורות ועל הגבלת הזרם, כך שהנורות יפעלו בזרם מוגבל ונכון
- מצת, המשמש לצורך פריצת התווך שבו מרוכזים הגזים השונים המאפיינים נורות אלו
- קבל, המשמש לצורך תאום כופל ההספק ומאפשר איזון של הזרמים הקיימים במערכת

בשנים האחרונות מסתמנת מגמה של החלפת מערכות אלו, המבוססות על נורות פריקה, במערכות המבוססות על טכנולוגית ה-LED's. המערכות החדשניות מאפשרות חסכון משמעותי בצריכת האנרגיה, שיפור ניכר באיכות התאורה (CRI גבוהה ביחס לנורות הנל"ג), ואף הוזלה משמעותית בעלויות התחזוקה השוטפת (אורך החיים של הנורות גבוה ביחס לנורות HID). בנוסף, בטכנולוגית LED ניתן להתקין מערכות שליטה ובקרה, המאפשרות שימוש מושכל בצריכת האנרגיה.

גופי תאורה

גוף תאורה הוא מכשיר אופטי הבנוי משלושה מרכיבים: מכני, חשמלי ואופטי. לכל אחד מהמרכיבים השפעה על יעילות המכשיר כולו. בעולם בכלל ובארץ בפרט קיים היצע גדול ומגוון של גופי תאורה בעלי עיצובים שונים, הספקים חשמליים שונים, עקומות פיזור אור שונות ומגוונות ויעילות אורית שונה.

ככלל, כל גופי התאורה להארת כבישים יתאימו לדרישות תקן ישראלי 20 חלק 2.3 (מנורות לכבישים ורחובות).

ליעילות האורית של גוף התאורה חשיבות והשפעה ישירה על צריכת החשמל של המתקן הכולל. לבדיקת יעילותו של גוף התאורה יש לבחון את תעודת הבדיקה או דו"ח פוטומטרי מלא הכולל עקום פיזור אור ממעבדה מוסמכת לתקן ISO17025. לצורך חישוב הפיזור הפוטומטרי בכביש יסופק קובץ דיגיטלי בפורמט IES או LUMDAT עבור כל סוג גוף תאורה מוצע.

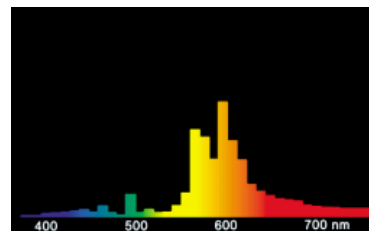
היעילות האורית של גוף התאורה מושפעת מאיכות הרפלקטור ומאיכותו של מפור האור (כיסוי הזכוכית/פלסטיק), ויש לה השפעה מכרעת על תפוקת האור בפועל של הגוף, לדוגמא:

- תפוקת האור המתקבל מגוף תאורה בעל יעילות אורית של 75%, ונורת נל"ג 250 ואט בעלת שטף אור של 33,000 לומן, תהיה 24,750 לומן.
- תפוקת האור המתקבל מגוף תאורה בעל יעילות אורית של 50% ואותה נורת נל"ג 250 ואט בעלת שטף אור של 33,000 לומן, תהיה 16,500 לומן בלבד.
- תפוקת האור המתקבל מגוף תאורה בעל יעילות אורית של 50% ונורת נל"ג 250 ואט בעלת שטף אור של 30,000 לומן, תהיה 15,000 לומן בלבד.

כלומר, שימוש בגוף תאורה לתאורת כביש, אשר לו יעילות אורית גבוהה יגרום לצמצום משמעותי בכמות גופי התאורה ליחידת אורך נתון ובכך לצמצום משמעותי בצריכת האנרגיה החשמלית. יש, כמובן, להתייחס גם לבחירת פוטומטריה מתאימה לתוואי הדרך.

נורות נל"ג טיפוסיות לתאורת כבישים

נורת הנל"ג משתייכת למשפחת נורות ה-HID (High intensity discharge lamp) ונחשבת לנורה יעילה מאוד ביחס ליתר הנורות ממשפחה זו. בשוק ניתן למצוא מגוון של נורות, במבנה טובולרי ובמבנה אגסי, שקוף או אופלי. במדריך זה נתייחס לנורות מסוג נל"ג טובולריות שקוף הנפוצות בשימוש במאור דרכים. על נורות הנל"ג חל תקן ישראלי 6062.



ספקטרום נורת נתרן טיפוסית, נורות נל"ג טיפוסיות

בתחילת דרכה של נורה זו בשוק העולמי עמדה תפוקתה על כ- 100 לומן לוואט¹ ואורך חיים² של כ- 24,000 שעות עבודה, ובמרוצת השנים שיפרו היצרנים את תפוקת הנורה עד לכדי 150 לומן לוואט ולאורך חיים הגדול מ- 28,000 שעות עבודה.

חסרונה העיקרי של נורת הנל"ג טמון בטמפרטורת הצבע העומד על כ- 2000 מעלות קלווין ובמקדם מסירת הצבע העומד על כ- 25% - מהנמוכים יחסית³.

נורות הנל"ג היעילות יותר ידועות בשם "נל"ג משופר", וכל יצרן נורה מייחד מק"ט ייעודי לנורה זו, לדוגמא נורות נל"ג טובולריות:

יצרן	שם נורת הנל"ג הסטנדרטית	שם נורת הנל"ג המשופרת
PHILIPS	SON-T	SON-T-PLUS
OSRAM	NAV-T	NAV-T-SUPER
GE (GENERAL ELECTRIC)	LUCALOX	LUCALOX-XO

באיורים הבאים ניתן לראות את השיפורים המרכזיים בנורות המשופרות לעומת הנורות הסטנדרטיות. לשם דוגמה בלבד מוצגים להלן נתוני חברת GE לגבי נורות נל"ג מתוצרתה.

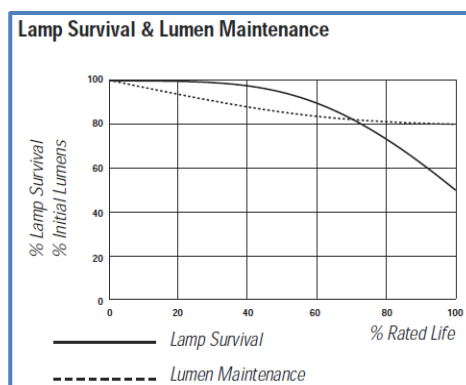
¹ שטף האור של הנורות, היעילות האורית, ואורך החיים הם מהמאפיינים הבסיסיים של כל מקור אור ולמעשה יש קשר בין המאפיינים הללו. שטף האור משתנה עם הזמן כפונקציה של אורך חיי הנורה והיעילות האורית נקבעת כשטף האור הנפלט מהנורה וגם הוא משתנה בתלות בזמן הפעולה של הנורה.

² משך החיים השימושי של נורות – במקורות האור הקונבנציונליים משך החיים מוגדר כנקודת הזמן הממוצעת שבה כשלו 50% מכמות הנורות הנבדקות במדגם הבדיקה.

³ מקדם מסירת הצבע של מקור אור מתאר את יכולתו של מקור האור לשחזר באופן מדויק את צבעם הממשי של אובייקטים שונים, כלל שמקדם הצבע גבוה (CRI-Color Rendering Index) כך איכות מסירת הצבע של מקור האור גבוהה יותר, כייחוס ניתן לקחת את השמש שלה מקדם מסירת הצבע הגבוהה ביותר (100%)

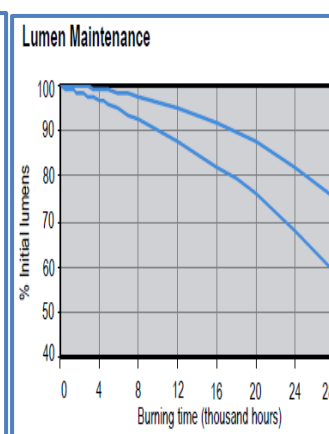
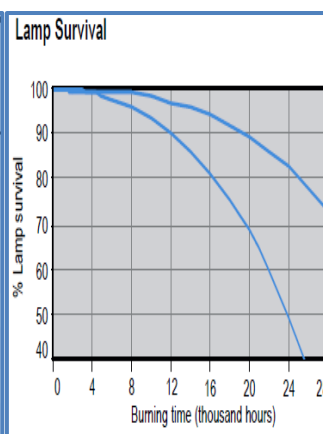
דוגמת נתוני תפוקת נורת הנל"ג הסטנדרטית מתוצרת GE :

Watts	100 Hr. Lumens	Colour Temp. K
Lucalox – Clear Tubular		
50	3,400	2,000
70	6,000	2,000
100	9,600	2,000
150	15,000	2,000
250	27,500	2,000
400	50,000	2,000
1000	130,000	2,000



דוגמת נתוני תפוקת נורת הנל"ג המשופרת מתוצרת GE :

Watts	100 Hr. Lumens	Colour Temp. (K)
Lucalox™ X-tra Output Clear Tubular		
50	4,400	2,100
70	6,600	2,100
100	10,500	2,100
150	17,500	2,100
250	33,000	2,100
400	56,500	2,100
600	90,000	2,100

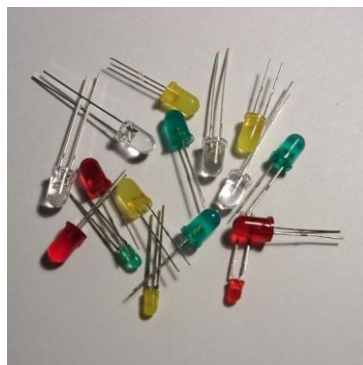


באיורים הנ"ל רואים בברור את יתרון של הנורות "המשופרות".

גופי תאורה מבוססי טכנולוגיית LED

טכנולוגיית תאורת ה-LED מתפתחת בקצב מואץ להשגת יעילות אנרגטית גבוהה. בתקופה האחרונה הציגו היצרנים גופי תאורת המבוססים על טכנולוגיית LED בעלי יעילות אנרגטית גבוהה יחסית אשר עשויים להתאים לתאורת הכבישים.

נורת LED הקרויה גם Solid State Lighting היא למעשה מקור אור אלקטרוני בצורת התקן מוליך למחצה – Semiconductor, אשר פולט אור במעבר של זרם חשמלי דרכו. בשונה מהנורות הסטנדרטיות אין בנורת ה-LED גז ואף לא חוט להט והיא אינה בנויה משפופרת שבירה.



נורת ה-LED פותחה לראשונה בשנות ה-60 של המאה ה-20. בגרסתה הראשונה היתה ה-LED נורה אדומה שפותחה ע"י חברת ג'נרל אלקטריק כנורת סימון קטנה המיועדת להתקנה בתוך התקנים אלקטרוניים. בשנות ה-70 פותחו נורות ה-LED הירוקות והצהובות אולם רק בשנות ה-90 פותחו נורות אדומות וכחולות, אשר תפוקת האור שלהם הייתה 1 לומן.

הפיתוח של נורות בצבעי הבסיס השונים – אדום, ירוק, כחול (RGB) אפשרו להפיק אור בכל צבע נדרש כולל צבע לבן.

במהלך השנים 2000-2010 גדלה התפוקה האורית של נורות ה-LED לרמה של 120 לומן לכל וואט מושקע. כיום ניתן למצוא נורות LED בעלות תפוקת אור של מעל 140 לומן לכל וואט מושקע- ובתנאי מעבדה- אף יותר מזה.

בהשוואה לנורות נ"ל יש יתרון נוסף בנורות ה-משך החיים של הנורה. במקורות האור הקונבנציונליים משך החיים מוגדר כנקודת הזמן הממוצעת שבה כשלו 50% מכמות הנורות הנבדקות במדגם הבדיקה. בנורות LED, בגלל אופי הפעולה השונה של הנורה, הוגדר המונח משך החיים של הנורות (Lumen Maintenance) באופן שונה, והוא מבטא את אחוז השטף הנותר של הנורה לאחר משך שעות עבודה מסוים. לדוגמה משך חיים נקוב של 10,000 שעות עבור L90 משמעותו כי לאחר 10,000 שעות שטף האור של הנורה יהיה 90% מהשטף ההתחלתי.

מאפיין נוסף של טכנולוגיה זו הוא השפעת הטמפרטורה על אורך החיים ושטף האור של הנורה. התקני תאורה ה-LED רגישים מאוד לחום. החום משפיע הן על שטף האור של הנורה והן על אורך החיים, ולכן התקני תאורה המכיל גוף תאורה מסוג LED אמור לסלק את החום העודף בעזרת רכיבי קירור כגון צלעות קירור (Heat Sink). האזור הרגיש ביותר בהתקן הינו אזור הצומת PN שבו למעשה מתבצעת המרת האנרגיה החשמלית לאור נראה לעין ולחום. כאשר טמפרטורת הצומת (T_j) עולה, תפוקת האור ואורך החיים של ההתקן יורדים.

למעשה, שלושה פרמטרים משפיעים על טמפרטורת הצומת: עוצמת הזרם החשמלי, מערכת פיזור החום וטמפרטורת הסביבה.

לסיכום, על אף שהטכנולוגיה חדשה יחסית, תאורת ה-LED הולכת ומבססת את מקומה במרבית אפליקציות התאורה. הגדלת היעילות האורית מאפשרת לנורות ה-LED להביא לשיפור בכל הפרמטרים של מקורות האור הקונבנציונליים בהיבט של יעילות אורית, ידידותיות לסביבה, ובהיבטים הטכנו כלכליים. בין היתרונות הבולטים של תאורת ה-LED ניתן לציין יעילות אורית גבוהה, צבע אור אחיד, אורך חיים גבוה, היעדר כספית ממבנה גוף התאורה וכן התאמת צבע גבוהה. אורך חיים אופייני של מקור אור מסוג LED עומד כיום על 50,000 שעות לפחות, בטמפרטורת סביבה של 35 מעלות צלסיוס, ומותרת ירידה בעוצמת האור עד ל-70% בהתאם ל-IES LM-80 (תקן של הארגון האמריקאי IESNA, **Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources**).

הדעה הרווחת כיום היא כי אין ספק שנורות אלו יתפסו עם הזמן מקום מרכזי בהארה הכללית והמיוחדת, שכן טכנולוגיה זו, המתוכננת לספק גופי תאורה עם אורך חיים של כ-50,000 שעות עבודה המשתווים לכ-10 שנות עבודה בתאורת הכביש (עפ"י 4200 שעות עבודה בשנה), וכן צמצום ניכר בהוצאות התחזוקה, למעט ההוצאות בגין ניקוי פיזי של הפנסים, מפזר האור ומשטחי הקירור שלו, מביאה עמה יתרונות ברורים. כמו בכל תכנון, יש לבחון כל יישום בהתאם לפרויקט, חתך הכביש, מדרכות וכו', לרבות בחינת הכדאיות הכלכלית וזמן החזר ההשקעה.

מבחינת התחזוקה, אחד היתרונות העיקריים של טכנולוגיה ה-LED בבדיקת הכדאיות הטכני-כלכלית היא בכך שאין החלפת נורות לכל התקופה של 10 שנים. אך יש לזכור, שבתום התקופה יש להחליף את כל גוף התאורה לרבות יחידת ההפעלה שלו (Driver).

על מנת להבטיח את תפקודו התקין של גוף התאורה לכל תקופת השירות המתוכננת (כעשר שנים) יש לבצע את פעולות התחזוקה המפורטות לעיל.

מומלץ לוודא שגוף התאורה מתאים לכל דרישות התקנים כמפורט להלן:

- תקן ישראלי 20 חלק 2.3 (מנורות לכבישים ורחובות), לרבות הגנה מלחות ואבק ברמה של IP65 לפחות,
- תקן ישראלי 61347 חלק 2.13 (דרישות מיוחדות לציוד בקרה (LED) אלקטרוני),
- תקן ישראלי 961 חלק 12.3 (פליטת הרמוניות בקו הזרם),
- תקן ישראלי 961 חלק 12.5 (תנודות מתח והבהובים בקו האספקה),
- תקן ישראלי 961 חלק 2.1 ו/או EN 55015 - (הפרעות משודרות בתדר רדיו מציוד תאורה),
- תקן IEC/EN 61547 (חסינות מפני הפרעות אלקטרומגנטיות לציוד תאורה),
- תקן ישראלי 62471 (בטיחות פוטוביולוגית של נורות ושל מערכות תאורה) בהתאם לסוג גוף התאורה המוצע כהגדרתו בתקן זה,
- תקן IEC 62031 (דרישות בטיחות מנורת ה-LED),
- תקן IEC62262 (עמידות בהולם מכאני) - מומלץ IK-08 לפחות.

כמו כן, מומלץ לוודא כי דרגת ההגנה של הגוף מפני הלם חשמלי מסוג II וקיים התקן הגנה בפני מתחי יתר בין המופע לבין האפס, ובין המופע והאפס לבין הארקה ל-10kA/10kV.

מקדם ההספק של מתקן התאורה

גופי התאורה לנוורות פריקה אשר מופעלות באמצעות משנק אלקטרו-מגנטי ומצת (כדוגמת נורות הנל"ג) גורמות למקדם הספק נמוך בשיעור של 0.5 לערך. מעגל חשמלי בעל מקדם הספק נמוך גורם לצריכת זרם מוגברת במוליכי החשמל וכתוצאה מכך נגרמים מפלי מתח גבוהים וכן מפלי הספק מוגברים על קו התאורה.

כלומר, גוף תאורה בעל מקדם הספק נמוך יגרום לבזבז אנרגיה ולהפחתה ביעילות הכלכלית והחשמלית של מתקן התאורה.

לצורך תיקון מקדם ההספק מותקן במקביל לקו הזינה מרשת החשמל, בכל גוף תאורה קבל בעל ערך קיבולי התואם לתיקון מקדם ההספק ל-0.92 לפחות.

על קבלים אלו חלים תקנים ישראלים ת"י 61048 ות"י 61049.

בכל אורך חיי המתקן יש לבדוק את תקינות רמת מקדם ההספק ולבצע פעולות תחזוקה בהתאם, כלומר, באם יידרש להחליף קבל, יש להחליפו בתוך גוף התאורה או בסמוך לו.

תחזוקה וניקוי גופי התאורה

גופי תאורת הכבישים מותקנים בצד הדרך וחשופים לתנאי מזג האוויר, אבק, לחות, מים, חרקים וכו'.

הצטברות אבק על מפזר האור ואו על הרפלקטור יגרמו להפחתה בתפוקת האור של גוף התאורה ולירידה בעוצמת התאורה בכביש תוך צריכת ההספק המרבי.

הצטברות האבק עשויה לגרום לירידה משמעותית בביצועי גוף התאורה עד כדי 60-70% מהמתוכנן ולהתחממות יתר של רכיבי גוף התאורה ולבלאי מואץ.

כלומר, אי ניקוי גוף התאורה יגרום לבזבז אנרגיה, לירידה בנצילות האורית של גוף התאורה, התחממות יתר, בלאי מואץ ולהגדלה בהוצאות התחזוקה.

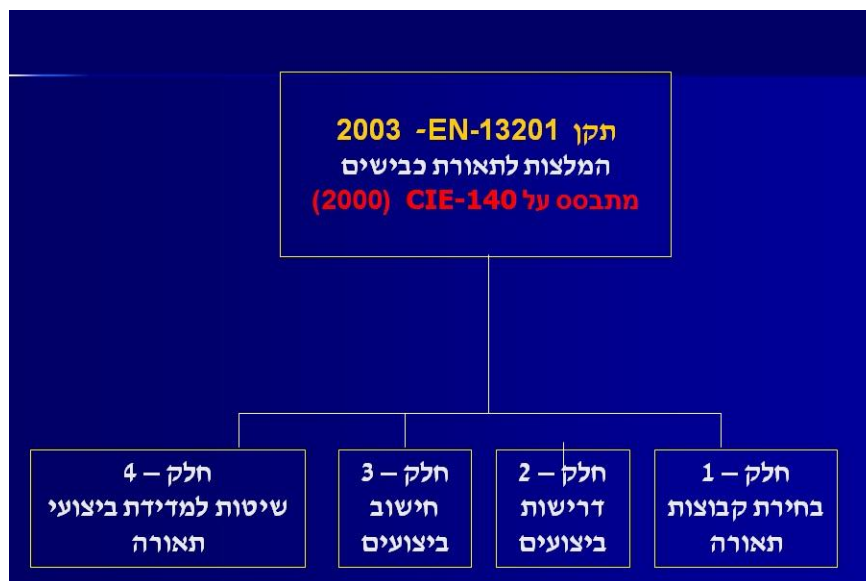
על מנת לשמור על יעילות מתקן התאורה מומלץ לבצע את פעולות התחזוקה בשיטת תחזוקה מונעת, משמע, ביצוע ניקוי יזום ושטיפת גופי התאורה, וכן החלפת נורות בלוח זמנים סדיר וקבוע מראש.

פרק 4 הארת כבישים בהתאם לתקן ישראלי 13201

לבקשת משרד התשתיות הלאומיות אומץ בחודש אפריל 2010 תקן אירופאי מספר EN13201 ע"י מכון התקנים הישראלי ופורסם ברשומות כתקן ישראלי ת"י 13201 (תקן זה החליף את התקן הישן 1862). פרק זה מרחיב ומפרט את שיטת יישום התקן והשימוש בו, תוך מתן דוגמאות וטבלאות מתוך התקן עצמו.

התקן מורכב מארבעה חלקים :

- חלק 1 - הגדרת הפרמטרים לקביעת סוג הכביש מתוך לימוד הנתונים המאפיינים את הכביש וסביבתו,
- חלק 2 - הגדרת פרמטרים לתאורה עבור כל סוג כביש מאופיין,
- חלק 3 - הגדרת האלגוריתם המעשי לביצוע חישובי התאורה שהוגדרו בחלק השני של התקן,
- חלק 4 - הגדרת התהליך המעשי לביצוע מדידות הפרמטרים הפוטומטרים והנחיות לביצוע אימות הנתונים.



הגדרת הפרמטרים של הכביש המתוכנן מתייחסת לפרמטרים רבים וכוללת, בין היתר :

- מהירות הנסיעה הצפויה,
- משתמשים עיקריים בכביש,
- הגדרת ה"לא" משתמשים בכביש,
- גיאומטריית הכביש (צמתים, הפרדת מסעות וכו'),
- מאפייני התנועה (נפח תנועה, רוכבי אופניים, הולכי רגל, פארקים וכו'),
- תאורה מהסביבה.

התכנון על פי התקן ת"י 13201 יתבצע בהתאם לסדר פעולות מובנה כך שהתוצאה שתתקבל בסופו של התכנון תאפשר התייחסות פרטנית עבור הפרויקט כולו תוך התייחסות הן ברמת הכביש, הצמתים ואזורי קונפליקט, דרכי גישה, מעברי חציה, תחנות אוטובוס וכו'.

שלב א': יש להגדיר את סט ההגדרות של הכביש או הדרך על פי הטבלה המצורפת כאשר, ההתייחסות הינה על פי הפרמטרים הבאים:

- מהירות הנסיעה,
- משתמשים עיקריים,
- משתמשים משניים,
- למי אסור להשתמש בדרך המוגדרת.

בטבלה המצורפת ניתן לראות את סט ההגדרות, כך למשל בכביש שבו מהירות הנסיעה הינה מעל 60 קמ"ש, מותרת נסיעה לכל סוגי הרכב למעט הולכי רגל ונוסעי אופניים – סט זה יוגדר כסט A1:

Table 1 — Grouping of lighting situations

Typical speed of main user km/h	User types in the same relevant area			Sets of lighting situations
	Main user	Other allowed user	Excluded user	
> 60	Motorised traffic		Slow moving vehicles Cyclists Pedestrians	A1
		Slow moving vehicles	Cyclists Pedestrians	A2
		Slow moving vehicles Cyclists Pedestrians		A3
> 30 and ≤ 60	Motorised traffic Slow moving vehicles	Cyclists Pedestrians		B1
	Motorised traffic Slow moving vehicles Cyclists	Pedestrians		B2
	Cyclists	Pedestrians	Motorised traffic Slow moving vehicles	C1
> 5 and ≤ 30	Motorised traffic Pedestrian		Slow moving vehicles Cyclists	D1
		Slow moving vehicles Cyclists		D2
	Motorised traffic Cyclists	Slow moving vehicles Pedestrians		D3
	Motorised traffic Slow moving vehicles			D4
Walking speed	Cyclists Pedestrians			
	Pedestrians		Motorised traffic Slow moving vehicles Cyclists	E1
		Motorised traffic Slow moving vehicles Cyclists		E2

שלב ב' : עבור מצב A1 שהוגדר, ניתן לעבור לטבלה המצורפת שבה יש התייחסות לפרמטריים הבאים :

- האם האזור הינו בעל מזג אוויר יבש או רטוב – עבור מדינת ישראל יש לקחת את החלק הרלוונטי בטבלה של מזג אוויר יבש
- מרחק בין גשרים ומחלפים באזור המוגדר לתכנון
- נפח התנועה

הגדרות אלו יאפשרו דיוק מיטבי של הצרכים הנדרשים מהכביש תוך התייחסות לנושא הפרמטרים הנדרשים על מנת שהתכנון יהיה היעיל ביותר. טבלאות רלוונטיות לסט הנדרש מופיעות בחלק 1 של התקן.

Table A.1 — Recommended range of lighting classes

Main weather type	Separation of carriageways	Type of junctions		Traffic flow vehicles per day								
		Interchanges	Intersections	< 15 000			15 000 to 25 000			> 25 000		
		spacing, distance between bridges km	density intersections/km									
				←	0	→	←	0	→	←	0	→
Dry	Yes	> 3		ME5	ME4a	ME3a	ME4a	ME3a	ME2	ME4a	ME3a	ME2
				ME4a	ME3a	ME2	ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1
		≤ 3	< 3	ME5	ME4a	ME3a	ME5	ME4a	ME3a	ME4a	ME3a	ME2
				ME4a	ME4a	ME3a	ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1
		No	> 3	ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1	ME3a	ME2	ME1
				ME3a	ME2	ME1	ME3a	ME2	ME1	ME2	ME2	ME1
	No	≤ 3	< 3	ME4a	ME4a	ME3a	ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1
				ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1	ME2	ME2	ME1
			≥ 3	ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1	ME2	ME2	ME1
				ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1	ME2	ME2	ME1
				ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1	ME2	ME2	ME1
				ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1	ME2	ME2	ME1
Wet				Choice as above, but select MEW classes								

בשלב ג': יש להגדיר לגבי כל כביש את הסיווג וההגדרה שלו על פי פרמטריים אופייניים כגון :

סיווג ME - כלי רכב ממונעים עם מהירות נסיעה בינונית עד גבוהה.

סיווג CE - כלי רכב ממונעים באזורי מפגש (קונפליקט) כגון : אזורי קניות , צמתים , כיכרות ועוד. לסיווג זה קיימים יישומים גם עבור נתיב הולכי רגל ורוכבי אופניים.

סיווג S ו-A - נתיבים להולכי רגל, רוכבי אופניים ונתיבי חירום - או בסמוך למסעה או בקרבת אזורי מגורים או רחובות עבור הולכי רגל, פארקים (שצ"פ) , חצר בית ספר ועוד.

סיווג ES - מצבים שבהם יש הכרח לקיים תאורה ציבורית עבור זיהוי אנשים וחפצים- ובקטעי דרך בעלי סיכון פשיעה גבוה מהנורמלי.

סיווג EV - מצבים שבהם יש צורך בתאורה אנכית להגברת הנראות בקטעי דרך כמו תחנות מעבר, מחלפים ועוד.

שלב ד' : בהתאם לסיווג הכביש או הדרך יש להגדיר את הפרמטריים הנדרשים לעמידה בדרישות כגון :

- עוצמת ההארה (נמדדת בלוקס – Lux) – ומאפשרת מדידה באזורי סיכון כגון צמתים, מחלפים, התפצלויות של נתיבים ועוד.
- בהיקות המיסעה (נמדדת ב Cd/m^2 – קנדלות למטר ריבוע) - והיא מאפשרת מדידה באזורי כביש בכל חתך אחיד (כביש ישר).

בטבלה הבאה ניתן לראות כי עבור כל הגדרת כביש ME- מוגדרים הערכים הנדרשים על מנת לבצע תכנון יעיל :

Table 1a — ME-series of lighting classes

Class	Luminance of the road surface of the carriageway for the dry road surface condition			Disability glare	Lighting of surroundings
	$\bar{L}$ in cd/m^2 [minimum maintained]	U_0 [minimum]	U_l [minimum]	Tl in % ^a [maximum]	SR^{2b} [minimum]
ME1	2,0	0,4	0,7	10	0,5
ME2	1,5	0,4	0,7	10	0,5
ME3a	1,0	0,4	0,7	15	0,5
ME3b	1,0	0,4	0,6	15	0,5
ME3c	1,0	0,4	0,5	15	0,5
ME4a	0,75	0,4	0,6	15	0,5
ME4b	0,75	0,4	0,5	15	0,5
ME5	0,5	0,35	0,4	15	0,5
ME6	0,3	0,35	0,4	15	no requirement

^a An increase of 5 percentage points in Tl can be permitted where low luminance light sources are used. (see note 6)

^b This criterion can be applied only where there are no traffic areas with their own requirements adjacent to the carriageway.

לאחר הגדרת אופי הדרך יש להקפיד הן בשלבי התכנון והן בשלבי הביצוע על הפרמטרים הבאים :

- בהיקות המיסעה (L_{min}).
- האחידות הכללית – (U_0)
- האחידות האורכית – (U_l)
- רמת הסנוור המותרת (Tl) – על מנת למנוע מצבים שבהם הנהגים וסונוורו על ידי גופי התאורה וההחזר הנובע מהמיסעה.
- רמת ההארה הסביבתית המותרת (SR) – לצורך נוחות הראיה של הסביבה הקרובה למיסעה.

עמידה בפרמטרים הנ"ל תאפשר קבלת מתקן תאורה יעיל ובטיחותי למשתמשים תוך התחשבות מרבית בסביבה.

שלב ה' : התייחסות מיוחדת לאזורי סיכון – Conflict Area. בטבלה הבאה ניתן לראות את הערכים הנדרשים באזורי הסיכון השונים CE :

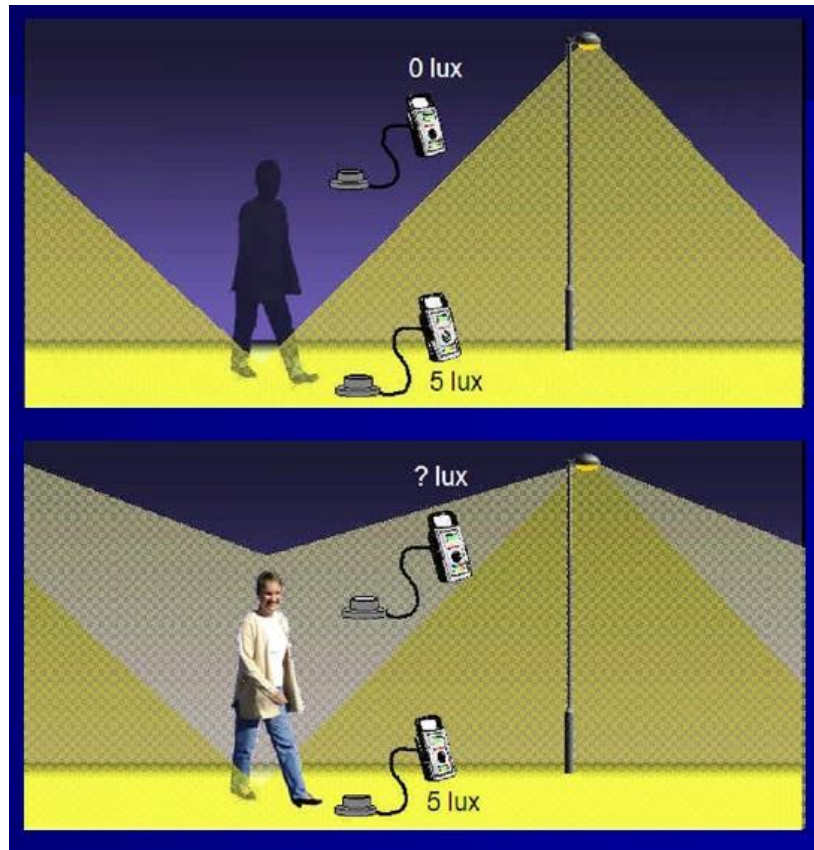
Category	Horizontal illuminament	
	Eavg. min.maintained [lx]	Emin maintained [lx]
CE0	50	0,4
CE1	30	0,4
CE2	20	0,4
CE3	15	0,4
CE4	10	0,4
CE5	7,5	0,4

שלב ו' : הגדרת הערכים הנדרשים עבור סווגי S ו-A - נתיבים להולכי רגל, רוכבי אופניים ונתיבי חירום, בסמוך למסעה, בקרבת אזורי מגורים או רחובות עבור הולכי רגל, פארקים (שצ"פ), חצר בית ספר ועוד.

Category	Horizontal illuminament	
	Eavg. min.maintained [lx] (to obtain uniformity Eavg < 1,5 Emin for the category)	Emin maintained [lx]
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1
S5	3	0,6
S6	2	0,6
S7	performance not fixed	performance not fixed

Category	Hemispheric illuminament	
	Ehs min.maintained [lx]	Emin mainteined
A1	5	0,15
A2	3	0,15
A3	2	0,15
A4	1,5	0,15
A5	1	0,15
A6	performance not fixed	performance not fixed

ובמקרים בהם מתוכננים מעברי חציה וקיימת נוכחות הולכי רגל דרישות התקן אף מתייחסות להארה ורטיקלית.



כפי שניתן לראות, תקן זה מתייחס לאחידות, לרמות הסנוור, מרכיבי איכות התאורה וכו', כל זאת בהתאמה לסוג הכביש ואופי הפעילות שבו.

יתרון תקן זה הינו במתן יכולת למתכנן לקבוע עוצמות הארה המתאימות לנתוני הכביש ולנפחי התנועה המשתנים במשך שעות הלילה (Night time use). יישום דרישת ה-Night time use בהתאם לנתוני הכביש יאפשר וויסות עוצמות ההארה ביחס לשינויים בנפח התנועה, וזאת תוך שמירה על רמת בטיחות המשתמשים בדרך וצמצום משמעותי בצריכת האנרגיה לתאורה.

יישום תקן ישראלי 13201 יאפשר הגברת איכות התאורה ובטיחות המשתמשים בדרך תוך צמצום בצריכת האנרגיה בכ- 20-35%.

לסיכום, התקן מאפשר:

- הגדרה של כל הפרמטרים הרלוונטיים עבור המתכנן בכל אזורי תכנון התאורה,
- התייחסות למשתמשים בדרך לצורך הגברת הבטיחות והביטחון באופן מקסימלי,
- התייחסות לניגודיות התאורה באזורים משולבים,
- ייחוס חשיבות גבוהה לאיכות הסביבה ולנושא זיהום האור.

ובכך חשיבות יישום התקן על ידי כל הגורמים הרלוונטיים (משרד התחבורה, המשרד להגנת הסביבה, עיריות ומועצות) ולכל מי שנושא בטיחות המשתמשים בדרכים וכן נושא הגנת הסביבה חשוב בעיניו.

פרק 5 אמצעים טכנולוגיים לחיסכון באנרגיה בתאורת הכבישים

תכנון תאורת הכביש בהתאם לדרישות תקן ישראלי 13201 מאפשר את התאמת עוצמת התאורה בהתאם להגדרות סוג הכביש בתוך מכלול הפרויקט ולשינוי בנפח התנועה. התאמת עוצמת התאורה מתאפשרת במידתיות תוך שמירה על רמת האחידות ואיכות התאורה, לרבות התייחסות לאזורי מפגש, אזורי סיכון, מעברי חציה, שביל הולכי רגל, תחנות הסעה, צמתים וכו'.

יישום דרישה זו מתאפשר באמצעות התקנת מכשירים ייעודיים המאפשרים שליטה ברמת גוף התאורה כדוגמת משנק אלקטרוני, מייצב מתח אינדיווידואלי וכדו'. בבחירה של ציוד זה יש להתייחס בקפידה להתאמת הציוד לתקינה הרלוונטית הקיימת ולהתאמה למקום ההתקנה של הציוד.

תפעול אמצעי חיסכון אלו יכול להתבצע בפיקוד מקומי או ממרכז בקרה (בהתאם לצרכי המשתמש ותקציבו).

התקנת אמצעי החיסכון המאפשרים את יישום תקן ישראלי 13201 יאפשרו חיסכון בצריכת החשמל, מהערך הנומינלי, בשיעור של 30%-35%, תוך שמירה על איכות התאורה ורמת בטיחות המשתמשים בדרך.

הערה: את זמן החזר ההשקעה יש לחשב באופן פרטני לכל פרויקט, בהתייחס להספק החשמלי, סך החיסכון המתקבל בפועל, אל מול סך עלות ההשקעה הכספית ואורך חיי המוצר.

יש לציין כי המתח הנומינלי בארץ הינו 230 וולט. בשעות הלילה קיימת ירידה משמעותית בצריכת החשמל מהרשת הארצית ובשל כך מתחי הרשת עשויים לעלות בעד כ- 10%. תופעה זו גורמת לחשיפת תאורת הכבישים ל"עודפים" במתח הרשת ובכך לבלאי מואץ של הנורות והציוד החשמלי ולצריכת חשמל מוגברת של מעל 20%, בהתאם לשיעור השינוי במתח הרשת.

בפרק זה יתואר מספר אמצעים טכנולוגיים אשר מטרתם לחסוך באנרגיה הנצרכת על ידי גופי התאורה.

משנק אלקטרוני

המשנק האלקטרוני משמש להפעלת הנורה באופן ישיר במקום ציוד ההפעלה הקיים (משנק אלקטרו מגנטי, מצת וקבל). בהתייחס לנושא החיסכון באנרגיה המשנק האלקטרוני מאפשר:

- יעילות חשמלית גבוהה בהשוואה למשנק האלקטרו מגנטי בשיעור של 4%-9%, בהתאם לדגם ולגודל החשמלי.
- בלימת צריכת האנרגיה המוגברת כתלות בעלייה במתח הרשת (חיסכון פוטנציאלי, בנוסף לחיסכון הנובע מהפסדים נמוכים יחסית וללא עמעום, של עד- 20% בהתאמה ל"עודפים" במתח הרשת).
- מיצוי מרבי של אורך חיי הנורה בהתייחס לאורך החיים המתוכנן.
- שמירה על מקדם הספק תקני.

קיימים משנקים אלקטרוניים המאפשרים את עמעום התאורה תוך צמצום נוסף בצריכת האנרגיה החשמלית (חיסכון פוטנציאלי, בנוסף לחיסכון הנובע מהפסדים נמוכים יחסית ומבלימת ה"עודפים" במתח הרשת, של עד 50%, בהתאמה לסוג הנורה, נ"ג/מטל הליד, ולעוצמת התאורה הנדרשת).

התקנת המשנק האלקטרוני אפשרית בתוך גוף התאורה או מחוצה לו ובתנאי שישמרו התנאים ההכרחיים לתפקודו התקני, היעיל והאמין, כדוגמת :

- הקפדה על תאימות בין טמפרטורת הסביבה במקום ההתקנה לבין טמפרטורת הסביבה המותרת של המשנק.
- במקרה של התקנת המשנק בתוך גוף התאורה, יש לוודא התאמת כל המכלול - גוף התאורה ביחד עם המשנק האלקטרוני, לדרישות תקן ישראלי 20 חלק 2.3 (מנורות לתאורת כבישים ורחובות).
- בשל התנגדותה הגבוהה יחסית של הארקה בשיטה הנהוגה בתאורת הכבישים ובשל פוטנציאל הזליגה החשמלית לקו הארקה, יש לוודא כי המשנק האלקטרוני מוגן מפני מתח תקלה על מוליך הארקה, ע"י הגנה אקטיבית ייעודית או הגנת "בידוד כפול".

במקרה של התקנת המשנק האלקטרוני מחוץ לגוף התאורה יש לוודא :

- שימוש בכבל מתאים למתח ההצתה (כאשר מתח ההצתה מעל 1000 וולט, יש להשתמש בכבל מתח גבוה, בהתאם לתקנות החשמל).
- הגנה מלחות ואבק - IP55 לפחות.
- עמידות בהולם מכאני - IK08 לפחות.

מומלץ לוודא שהמשנק מתאים לכל דרישות התקנים כמפורט להלן:

- התאמה לדרישות תקן ישראלי 61347 חלק 2.12 או תקן IEC/EN 61347-2-12,
- התאמה לתקן ישראלי 961 חלק 12.3 או תקן IEC/EN 61000-3-3 (פליטת הרמוניות בקו הזרם),
- התאמה לתקן ישראלי 961 חלק 12.5 IEC/EN 61000-3-2 (תנודות מתח והבהובים בקו האספקה),
- תקן ישראלי 961 חלק 2.1 ו/או EN 55015 - (הפרעות משודרות בתדר רדיו מצויד תאורה),
- תקן IEC/EN 61547 (חסינות מפני הפרעות אלקטרומגנטיות לצויד תאורה),
- התאמה לתקן IEC/EN 60529 (עמידות בלחות ואבק) - IP55 לפחות,
- התאמה לתקן IEC/EN 62262 (עמידות בהולם מכאני) - IK-08 לפחות.

מייצב מתח אינדיווידואלי

מייצב המתח משמש לייצוב מתח האספקה מרשת החשמל אל גוף תאורה קיים, הכולל משנק אלקטרו מגנטי, מצת וקבל.

מייצב המתח מאפשר :

- בלימת צריכת האנרגיה המוגברת כתלות בעלייה במתח הרשת (חיסכון פוטנציאלי, ללא עמסום, של עד- 20% בהתאמה ל"עודפים" במתח הרשת).
- מיצוי מרבי של אורך חיי הנורה בהתייחס לאורך החיים המתוכנן.
- שמירה על מקדם הספק תקני.
- קיימים מייצבי מתח המאפשרים עמסום התאורה תוך צמצום נוסף בצריכת האנרגיה החשמלית (חיסכון פוטנציאלי, בנוסף לחיסכון מבלימת ה"עודפים" במתח הרשת, של עד 35%, בהתאמה לסוג הנורה, נ"ג/מטל הליד, ולעוצמת התאורה הנדרשת).
- התקנה – מייצב המתח מאפשר את התקנתו מחוץ לגוף התאורה, בבסיס העמוד, ובתנאי שישמרו התנאים ההכרחיים לתפקודו התקני, היעיל והאמין, כדוגמת תאימות בין טמפרטורת הסביבה במקום ההתקנה לבין טמפרטורת הסביבה המותרת של מייצב המתח.
- בשל התנגדותה הגבוהה יחסית של ההארקה בשיטה הנהוגה בתאורת הכבישים ובשל פוטנציאל הזליגה החשמלית לקו הארקה, יש לוודא כי מייצב המתח מוגן מפני מתח תקלה על מוליך הארקה, ע"י הגנה אקטיבית ייעודית או הגנת "בידוד כפול".

בעת התקנת מייצב המתח מחוץ לגוף התאורה יש לוודא :

- הגנה מלחות ואבק- IP55 לפחות.
- עמידות בהולם מכאני – IK08 לפחות.

מומלץ לוודא התאמה לכל דרישות התקנים הבאים:

- תקן ישראלי 61347 חלק 1 או תקן IEC/EN 61347-1,
- תקן ישראלי 961 חלק 12.3 או תקן IEC/EN 61000-3-3 (פליטת הרמוניות בקו הזרם),
- תקן ישראלי 961 חלק 12.5 IEC/EN 61000-3-2 (תנודות מתח והבהובים בקו האספקה),
- תקן ישראלי 961 חלק 2.1 ו/או EN 55015 - (הפרעות משודרות בתדר רדיו מציוד תאורה),
- תקן IEC/EN 61547 (חסינות מפני הפרעות אלקטרומגנטיות לציוד תאורה),
- תקן IEC/EN 60529 (עמידות בלחות ואבק) – IP55 לפחות,
- תקן IEC/EN 62262 (עמידות בהולם מכאני) - IK-08 לפחות.

שעון אסטרונומי

גופי תאורת הכבישים נועדו להארת הכבישים החל משעות הערב ועד לשעות הבוקר המוקדמות, בסמוך לשעת הזריחה.

ההדלקה והכיבוי של גופי התאורה מתבצעת מלוח ההדלקה (מרכזיית התאורה) באמצעות מגען ראשי.



בעבר היה מקובל למתג את המגען הראשי באמצעות שילוב של שעון שבת ותא פוטו-אלקטרי, כך שהובטחה ההפעלה והכיבוי של מתקן התאורה.

בשיטה זו, ככל שהייתה מדויקת, לעיתים הופעל מתקן התאורה גם כתלות בתנאי מזג האוויר, עננות, אבק וכו' ומשך שעות העבודה בפועל היה כ- 4,800 שעות בשנה.

משך הזמן הנדרש לתאורת הכבישים במדינת ישראל בהתייחס לזמני השקיעה והזריחה עומד על כ- 4,200 שעות בשנה, וזאת בנטרול תנאי מזג האוויר שגרמו להפעלה נוספת של מתקן התאורה שלא לצורך.

הפעלה וכיבוי מדויקים של מתקן התאורה ללא תלות בתנאי מזג האוויר מתאפשר בעזרת השעון האסטרונומי.

השעון האסטרונומי מותקן במרכזיית התאורה ונועד להפעיל את המגען הראשי של התאורה.

יש לוודא כי השעון האסטרונומי כולל מערכת גיבוי ושמירת נתונים אינטגרלית וכי הכיול בוצע בהתאם למיקום הגאוגרפי של מתקן התאורה.

מיתוג מתקן התאורה באמצעות השעון האסטרונומי יגרום לצמצום שעות עבודת המתקן עד לכ- 4,200 שעות לשנה ולחיסכון רב בצריכת החשמל בשיעור של כ- 10% (רמת החיסכון עשויה להשתנות בהתאם לסך שעות העבודה בשנה כפי שנמדדו במתקן טרם התקנת השעון האסטרונומי).

דוגמת חישוב זמן החזר ההשקעה

לצורך חישוב זמן החזר ההשקעה יש להתייחס לנתוני הבסיס של המערכת הנבחנת, כדוגמת:

- צריכת אנרגיה שנתית לפני התקנת אמצעי החיסכון,
- צריכת האנרגיה לאחר התקנת אמצעי החיסכון,
- עלות החשמל לקוט"ש,
- עלות כוללת של המוצר לחיסכון באנרגיה,
- אורך חיי המוצר.

להלן מובאת דוגמת חישוב זמן החזר השקעה של מוצר חיסכון באנרגיה המותקן בתאורת רחוב עבור נורת נל"ג בהספק של 250 וואט.

250	הספק נורה - ואט
280	צריכת הספק גו"ת - ואט
4,200	סך שעות עבודה בשנה - שעי
0.45	עלות החשמל לקוט"ש - ₪
1,176	צריכת חשמל שנתית ללא חיסכון- קוט"ש
529	עלות חשמל שנתית ללא חיסכון - ₪
25%	דוגמת אחוז חיסכון של -
882	צריכת חשמל שנתית במצב חיסכון- קוט"ש
397	עלות חשמל שנתית במצב חיסכון - ₪
294	חיסכון שנתי בצריכת החשמל - קוט"ש
132	חיסכון כספי לשנה - ₪
350	עלות כוללת של המוצר (כולל עלות ההתקנה) לחיסכון באנרגיה - ₪
2.65	החזר השקעה צפוי - שנים
50,000	אורך חיי המוצר - שעות
11.9	אורך חיי המוצר בשנים (לפי 4,200 שעי בשנה)
הערה: הנ"ל הינם נתוני בסיס לצורך חישוב כלכלי (Present Value NPV (Net), לביצוע ע"י כלכלן.	

מנתוני החיסכון המוצגים בטבלה ניתן ללמוד כי מתקבל זמן החזר השקעה של 2.65 שנים כאשר אורך חיי המוצר הוא 11.9 שנים. לחישוב זה יש להוסיף נתונים נוספים כדוגמת ריבית לאורך כל התקופה, היוון ערך הכסף וכו', שיבוצעו ע"י כלכלן מוסמך בארגון.

מערכות שליטה ובקרה (Telemanagement Systems)

על מנת להפיק את התועלת המקסימלית מהתקנת המכשירים הטכנולוגיים אשר הובאו לעיל, מומלץ שימוש במערכות שליטה ובקרה.

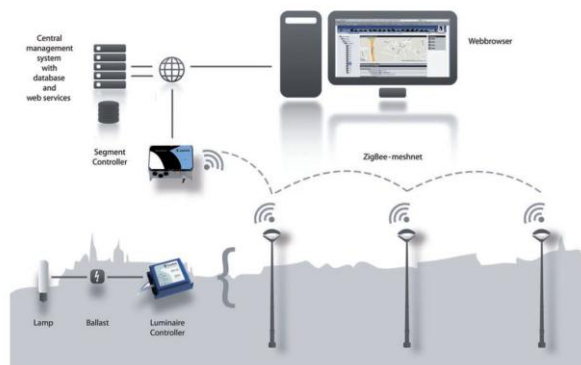
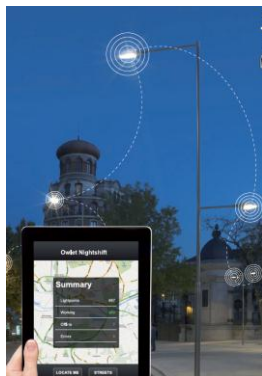
כיום, מאופיינות מערכות השליטה והבקרה על פי אופי הפעולה שלהם :

מערכות המבוססות על תקשורת דרך קווי המתח – PLC- Power Line Carrier (Communication)

תחום זה מתפתח בשנים האחרונות במהירות , בשל היתרונות הרבים הגלומים בטכנולוגיה זו. העברת נתונים על גבי קווי החשמל עדיפה לפעמים בשל הפשטות והזמינות שלה ביחס לטכנולוגיות אחרות . כמובן שיש לקחת בחשבון שהעברה על גבי קווי המתח לוקה לעיתים בחסר שכן במידה וישנם רעשים והפרעות, האינפורמציה המועברת יכולה שלא להיות אמינה.

מערכות המבוססות על תקשורת אלחוטית - מערכות אלו מבוססות על תקשורת RF וכוללות מספר רכיבים כגון :

- יחידת שליטה על כל גוף תאורה כולל יחידת אנטנה ,
- יחידת שליטה מרכזית המנתבת את הפקודות לגופי התאורה וקבלת אינפורמציה מגופי התאורה ,
- יחידת מחשב – כולל תוכנת ניהול ובקרה



המערכות הנ"ל מאפשרות העברת פקודות ונתונים, תקשורת דו-כיוונית לגופי התאורה כגון הדלקה, כיבוי, עמעום וכו' , וכן קבלת אינפורמציה על גופי התאורה כגון מתח, זרם, מקדם ההספק, הספק צריכה וכו'. שילובן של מערכות אלו במכלול אמצעי החיסכון יאפשר מימוש יעיל של האפשרויות הגלומות בתקן ת"י 13201 .

פרק 6 סיכום והמלצות עיקריות

במדריך זה הובאו באופן תמציתי ההמלצות העיקריות ליצירת פלטפורמה איכותית לחיסכון באנרגיה במערכות תאורת חוץ. שימוש נכון באמצעים הטכנולוגיים הקיימים כיום כגון שעונים אסטרונומים, משנקים אלקטרוניים, מערכות שליטה ובקרה מול האפשרויות החדשות בתחום של שימוש במקורות אור מתקדמים כגון LED יאפשרו התייעלות אנרגטית משמעותית בסקטור זה. המהווה חלק נכבד מהוצאות האנרגיה של הרשות המקומית.

לסיכום, ייעול הצריכה יתאפשר ע"י:

- שימוש בגופי תאורה בעלי יעילות אורית גבוהה מ- 75%.
- שימוש בנורות בעלות יעילות גבוהה מ- 130 לומן לואט, כדוגמת נורות נל"ג משופרות.
- שימוש במכשירים טכנולוגיים לחיסכון בצריכת החשמל.
- התאמה לדרישות תקן ישראלי 13201 ויישום דרישת ה- Night time use.
- ביצוע תחזוקה וניקוי גופי התאורה.
- שמירה על רמת מקדם הספק של 0.92 לפחות, בכל גוף תאורה.
- הפעלת מתקן התאורה בתזמון מדויק בעזרת שעון אסטרונומי.

השאיפה לחסכון בצריכת האנרגיה, להפחתה משמעותית ברמת פליטת גזי החממה ולהגברת הבטיחות של המשתמשים תוך הגברת הביטחון הסביבתי - כל אלו ניתנים היום לביצוע באופן טוב ויעיל.

מדריך זה מהווה נדבך נוסף בהנחיות התכנון ומסכם את האמצעים הקיימים לרשות המתכננים והמשתמשים במתקנים. כמובן, יש להתייחס לתקנים הרלוונטיים, ההמלצות במדריך אינם באות להחליף את התקנים אלא להאיר ולחדד את האפשרויות השונות.

הרחבת הידע הן בתחום התקינה והן בתחום טכנולוגיות החדשות יאפשרו עמידה במטרה שלשמה נכתב מסמך זה.

נספח א – רשימה חלקית של תקנים רלוונטיים עיקריים לנושא תאורת חוץ

תקן ישראלי 13201	תקן ישראלי לתאורת דרכים
תקן ישראלי 20 (תקן רשמי), חלק 2.3	מנורות לכבישים ורחובות (בטיחות חשמלית)
תקן ישראלי 61347 (תקן רשמי)	דרישות מיוחדות לציווד בקרה (LED) אלקטרוני
תקן ישראלי 961 חלק 12.3	פליטת הרמוניות בקו הזרם
תקן ישראלי 961 חלק 12.5	תנודות מתח והבהובים בקו האספקה
תקן ישראלי 961 חלק 2.1 / EN-55015	הפרעות משודרות בתדר רדיו מציווד תאורה
תקן IEC-61547	תאימות אלקטרומגנטית לציווד תאורה
תקן ישראלי 62471	בטיחות פוטוביולוגית של נורות ושל מערכות תאורה
תקן IEC-62031	דרישות בטיחות נורת ה LED
תקן IEC-62262	הגנה מפני הולם מכאני ועוזועים
LM-79,80	מדידות פוטומטרית של נורת ה LED

נספח ב - מלון מושגים מתוך מלון מושגים בעריכה של פרופ' נאמן ז"ל

מושג	מונח באנגלית	הסבר
אור	Light	קרינה אלקטרומגנטית עליה מגיבה העין האנושית הממוצעת. התחום מצוי בין אורכי הגל 400 עד 700 ננומטר. (בעבר כללו בתחום הנראה אורכי גל של 380 עד 780 ננומטר)
אחידות (ההארה)	Uniformity	מונח להגדרת השינוי בעוצמות ההארה בחלל. היחס שבין עוצמת ההארה המינימלית E_{min} הנמדדת על מישור העבודה של חדר או מישור ייחוס כלשהוא, לעוצמת ההארה הממוצעת על אותו מישור E_{av} . $U = \frac{E_{min}}{E_{av}}$
אטימה לפי IP	IP protection	מקדם בעל 2 ספרות המגדיר את שעור האטימה של מנורה נגד חדירה של אבק, לכלוך מים ולחות.
בהיקות (סובייקטיבית)	Apparent brightness	הבהיקות הנקלטת בעין בהתחשב בהסתגלות העין לתנאי התאורה. ערך זה תלוי הן בלומיננס של המישטחים והן בתנאי ההארה ברקע של שדה הראיה.
החזר	r - reflectance	היחס בין שטף האור המוחזר מהמשטח לבין שטף האור המוקרן עליו.
לומיננס קנדלה למ"ר	luminance L - cd/m ²	הלומיננס הינו הבהיקות הפוטומטרית, ואינו תלוי בהסתגלות העין לרמת ההארה הכללית בשדה הראיה. זהו היחס בין עוצמת האור (בקנדלות) של מקור אור או של משטח מחזיר בכיוון מסוים לבין שטחו של המשטח האלמנטרי ממנו מוחזר או מוקרן האור
מחזיר אור	Reflector	החלק בתוך המנורה המיועד להחזרת האור והכוונתו לכיוונים הרצויים.
מנורה (גוף תאורה)	Luminaire	מערכת אופטית המכוונת את האור של הנורות. המערכת כוללת בדרך כלל: מקור אור, מחזיר אור, מפזר אור או רפפה ומעטפת המעצבת את הצורה של המנורה.
מפזר אור	Diffuser	החלק בתוך המנורה המיועד לפיזור האור. החומר יכול להיות חלבי, או עשוי מפריזמות

מקדם מסירת הצבע של מקור אור לפי ה-CIE, הינו שיעור הסטייה Colour Rendering Index-הכוללת הנראות בצבע של 8 משטחים בעלי צבע מוגדר, כאשר הם מוארים באור של מקור אור כלשהוא, ביחס להארה של אותו משטח ע"י מקור יחוס באותה טמפרטורת צבע. שיעור הסטייה מתורגם לאחוזים.	CRI - %	מקדם מסירת צבע של מקור
מקדם הנותן את היחס בין רמות ההארה לאחר שימוש ממושך במתקן ביחס לרמת ההארה של אותו המתקן במצב חדש.	maintenance factor	מקדם תחזוקה
משך החיים הנקוב אינו מוגדר חד-משמעית ע"י היצרנים. באירופה מקובל לנקוב את משך החיים עד לזמן שבממוצע סטטיסטי, מגיעה הירידה בתפוקת האור של הנורות לאחוז מוגדר מתחת לערך ההתחלתי. בארצות הברית, מקובל יותר להגדיר את משך החיים כממוצע סטטיסטי של משך פעולת הנורות		משך החיים הנקוב (אורך חיים)
נורה בה מיוצרת בעיקר קרינה אולטרה סגולה (א"ס) ע"י פריקה של זרם חשמלי דרך אידי כספית בלחץ נמוך (הקרינה הא"ס פוגעת בשכבה הפלואורנית על הדופן הפנימי של השפופרת הופכת לאור נראה, ע"י שינוי באורך הגל. הרכב האבקה (הפוספור) הפלואורנית קובע את גוון הנורה ואת ההרכב הספקטראלי של האור המופק ממנה.	Fluorescent lamp	נורה פלואורנית
נורה פלואורנית בעלת שפופרת מכופפת כך שהגודל הפיזי של הנורה הוא קטן יחסית.	Compact fluorescent lamp, PL	נורה פלואורנית קומפקטית
נורת ליבון, אשר נוסף בתוכה הלוגן. בדרך כלל יוד, ברום או תערובת של שניהם במצב גאזי. השפופרת או האגס עשויים מזכוכית קוורץ	Halogen lamp	נורת הלוגן
נורה בה נוצר האור ע"י פריקה של זרם חשמלי דרך אידי כספית בלחץ גבוה	Mercury vapor lamp	נורת כספית
נורת אידי כספי עם תוספות של עופרות מסוגים שונים. התוספות משפרות את ההרכב הספקטראלי ואת הנצילות האורית ביחס לנורת הכספית.	Metal halide lamp	נורת כספית הלידית
נורה המייצרת את האור ע"י חימום תיל מטונגסטן באמצעות זרם חשמלי המוזרם דרכו.	Incandescent lamp	נורת ליבון

נורת לד	Light Emmiting Diode	נורת לד Solid State Lighting היא למעשה מקור אור אלקטרוני המבוסס על התקן מוליך למחצה – Semiconductor אשר פולט אור במעבר של זרם חשמלי דרכו.
נורת נתרן בלחץ גבוה - נל"ג	High pressure sodium lamp	נורה בה נוצר האור ע"י פריקה של זרם חשמלי דרך אידי נתרן בלחץ גבוה. הגודל הפיזי של הנורה קטן בהרבה ביחס לנורת הנל"ג, ולכן המנורות קטנות וקומפקטיות יותר. עקב הגדלת הלחץ, יש פליטה בכל בתחום הנראה, אולם עדיין מודגש הגוון הצהוב.
ניגוד	C contrast -	הניגוד C מחושב ע"י ההפרש בין הלומיננס של משטח המטרה הראייתית L_2 ולומיננס הרקע L_1 , מחולק בלומיננס הרקע L_1 : $C = \frac{L_2 - L_1}{L_1}$
נצילות אורית	luminous efficacy	שטף האור הכולל בלומנים (F), המופק ממקור האור (של מקור האור) מחולק בהספק בואטים (P) המושקע ליצור האור. תלויה במבנה הנורה, במתח ההפעלה ובעיקר בהספק הנורה. ככל שההספק גדול יותר, גדלה הנצילות האורית $\eta = \frac{F(\text{lumen})}{P(\text{Watt})}$
סינוור	Glare	מצב שבו קיימת תחושה של אי-נוחות בראיה, או הפחתה בכור לראות עצמים, או שני המצבים גם יחד, הנגרמים עקב חלוקה בלתי נאותה של לומיננסים או קונטרסטים בשדה הראיה. סינוור מטריד Discomfort glare מצב בו העין מוטרדת מעוצמת ההארה ונגרמת התעייפות מצטברת
עוצמת האור - קנדלה	light intensity candela	שטף האור המוקרן ממקור אור בזווית מרחבית אלמנטרית בכיוון נתון. $1\text{candela} = \frac{1\text{lumen}}{1\text{steradian}}$
עוצמת הארה - לוקס	illuminance-lux E	כמות האור על משטח עבודה, משפיע על יכולתנו לראות. כעיקרון, ככל שהעבודה עדינה יותר, נדרשת עוצמת הארה גבוהה יותר. לא מספיק להאיר את משטחי העבודה בלבד, יש צורך בהארת הסביבה

כולה. צפיפות שטף האור (F) המאיר יחידת שטח (S). נמדדת בעזרת מד אור.		
ערך ממוצע של רמת ההארה (בלוקסים) במשך קיום המתקן (במשך תקופה ארוכה), על משטח מסוים. $E = \frac{F}{S}; \quad lux = \frac{1 lumen}{1 m^2}$	$\bar{E}_m$ - maintained illuminance lux	עוצמת הארה מתוחזקת - לוקס
הגדרת ומדידת ערכים הקשורים באור.	Photometry	פוטומטריה
קרינה הכוללת את כלל הקרינות בתחום האולטרה סגול, התחום הנראה והתחום האינפרא אדום.	Optical Radiation	קרינה אופטית
כלל הקרינות בטבע מוגדרות כקרינות אלקטרומגנטיות מגדירים ומסווגים אותן לפי אורך הגל ו/או התדירות	Electromagnetic Radiation	קרינה אלקטרומגנטית
כמות האור המוקרנת בשניה אחת ממקור אור בכל כיוון, או כמות האור הנקלטת במשך שניה אחת במשטח מכל כיוון.	luminous flux- F- lumen	שטף אור- לומן

נספח ג – מקורות ספרות וקריאה נוספת

תכנית תג הסביבה – מדריך כללי לתכנית – להורדה מאתר תג הסביבה או בפניה במייל אל

tag.sviva@gmail.com

פרק האנרגיה בתכנית תג הסביבה – התייעלות אנרגטית ברשויות המקומיות - להורדה מאתר תג הסביבה או

בפניה במייל אל tag.sviva@gmail.com

[התייעלות אנרגטית ברשויות המקומיות בישראל – סיכום דיון פורום האנרגיה מס' 15 במוסד שמואל נאמן](#)

[חיסכון באנרגיה במערכות תאורה – סיכום דיון פורום האנרגיה מס' 19 במוסד שמואל נאמן](#)

[מדריך לתאורה במקומות עבודה – להורדה מהאתר של המוסד לנהל ולבטיחות](#)