סיכום פיילוט צמצום זיהום אור

נתיבי ישראל, דרך 90 באזור סמר

צילומים : אלכס גולדין

פברואר 2020

תוכן עניינים:

1 רקע.....3

2. תיאור המצב הקיים טרם שדרוג התאורה.....4

3. תהליך שדרוג התאורה.....6

4. תוצאות הפיילוט לאחר שדרוג התאורה.....7

5. לקחים מרכזיים מומלצים ליישום.....10

6. נספח א' – דירוג BUG RATING.....12

7. נספח ב' – חישוב חיסכון אנרגטי ומשך החזר השקעה:.....14

1. רקע

במסגרת פרויקט משותף לחברת נתיבי ישראל בע"מ, החברה להגנת הטבע, המשרד להגנת הסביבה ורשות הטבע והגנים, בוצע פיילוט לשדרוג תאורה בצומת קיבוץ סמר הממוקם בדרך 90 בערבה הדרומית.
במהלך הפיילוט בוצעו:

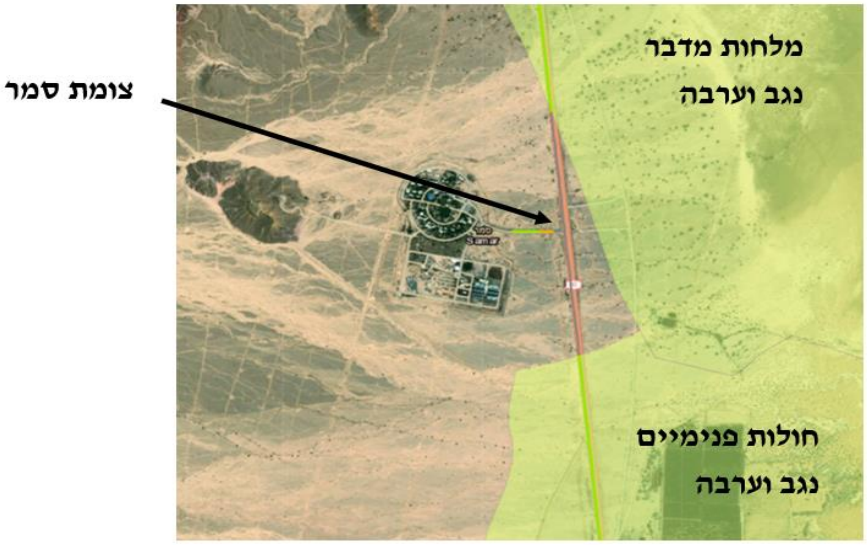
- מדידות תאורה במצב התאורה הקיים (לפני השדרוג)
- תכנון וביצוע החלפת גופי תאורה קיימים
- מדידות תאורה לאחר שדרוג התאורה

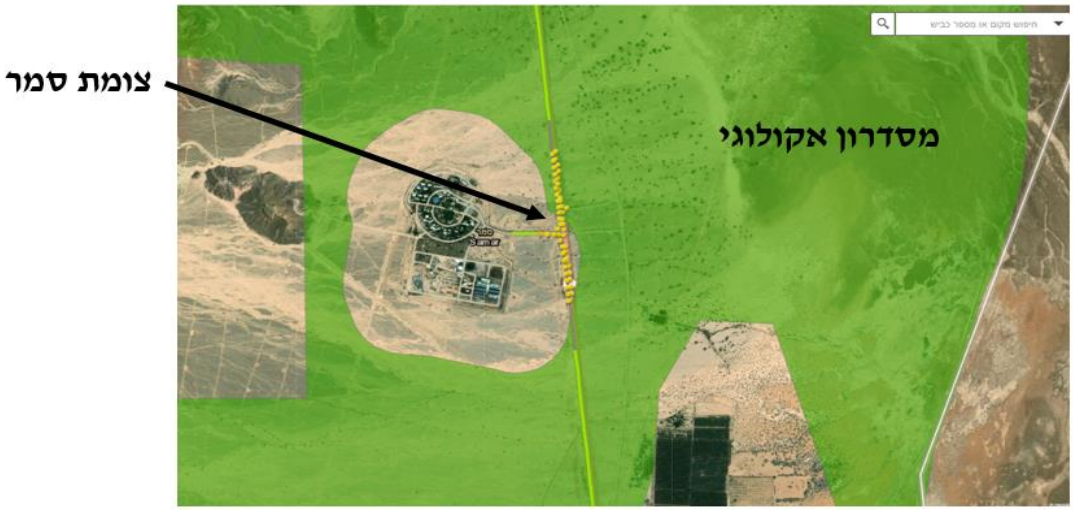
מטרות פיילוט לשדרוג התאורה:

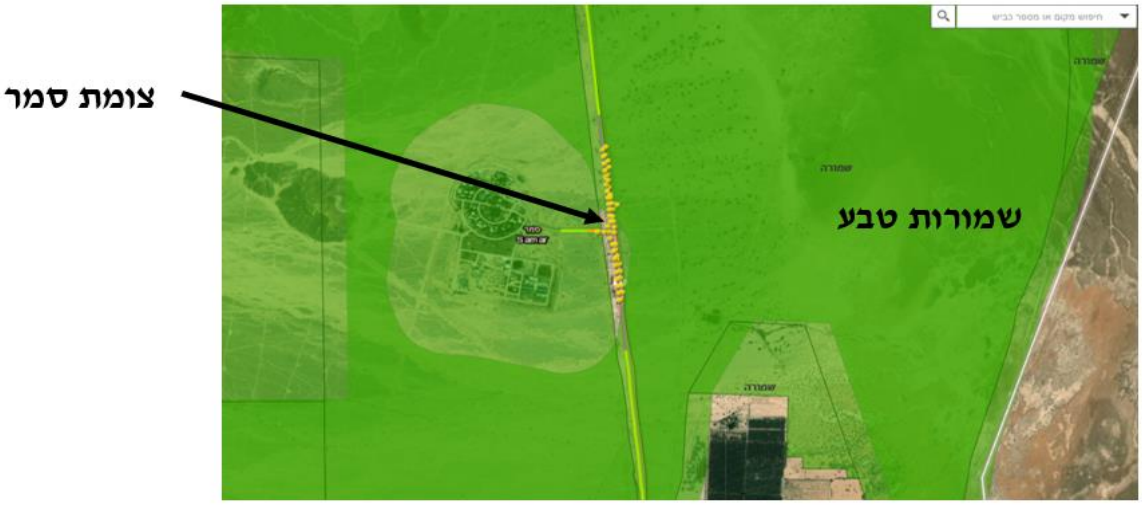
- הערכת החיסכון הכלכלי וההתייעלות האנרגטית הנובעים מהתאמה ושדרוג התאורה
- צמצום זיהום האור לסביבה: הערכת השטח הטבעי שהוחשך כתוצאה מהשדרוג
- אפיון דגשים לתהליך מוצלח של שדרוג תאורה באתר תוך התייחסות לשלבי הפרויקט השונים מהתכנון ועד הביצוע.

תהליך הפיילוט החל בשנת 2019 והסתיים בשנת 2020.

תיאור אזור הפיילוט - דרך 90 צומת קיבוץ סמר:
אתר הפיילוט מהווה דוגמא של דרך בין עירונית דו-ספרתית הממוקמת בלב הערבה הדרומית.
ממזרח למקטע נמצאים שני בתי גידול בתת ייצוג בשמורות טבע (מלחות מדבר בנגב ובערבה, וחולות פנימיים בנגב ובערבה). כמו כן המקטע נמצא בשמורת טבע יוטבתה ובמסדרון האקולוגי של מלחת יוטבתה, חולות סמר ושולי בקעת תמנע.
במהלך הפרויקט בוצע מיפוי של ישראל לאזורים בעלי רגישות אקולוגית גבוהה וקיצונית בהיבטי זיהום אור.
בהתאם למיפוי זה, אזור הפיילוט ממוקם באזור המסווג תחת רגישות אקולוגית גבוהה ועל כן מחייב עמידה במפרטים הטכניים עבור רמת רגישות זו המפורטים בדו"ח המסכם - תאורה ידידותית לסביבה בחברת נתיבי ישראל.
מפת אזור הפיילוט:







2. תיאור המצב הקיים טרם שדרוג התאורה

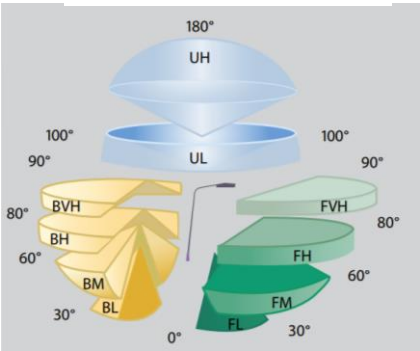
- מתקן תאורת הדרך כלל עמודי תאורה סטנדרטיים של נתיבי ישראל בגובה 12 מ' הממוקמים משני צידי הדרך כמפורט בתמונה 1. אורך מקטע התאורה לשדרוג הינו כ-1 ק"מ ובו המרחק בין עמודי התאורה נע בין 40-38 מ'.

תמונה 1 – צילום יום של צומת סמר טרם שדרוג התאורה:

- **טרם שדרוג התאורה גופי התאורה כללו תאורת נורות נתרן לחץ גבוה (נל"ג) מדגם LUMADA, בעלי נורה 250 וואט, הספק כולל** הפסדים במשנק בתוך גוף התאורה **290 וואט**.
- פיזור האור של גוף תאורה זה הינו מסוג Cutoff – Cutoff Classification אשר היה מקובל בעבר עבור גופי תאורת הנל"ג ובהתאמה B3-U1-G3 עבור גופי תאורת LED[1]. **סוג פיזור אור זה אינו מתאים לדרישות ההארה על פי הדוח המסכם לתאורה ידידותית לסביבה.**
- **זליגת אור אחורי** (מגוף התאורה לכיוון השטח הפתוח מאחוריו) **הגיעה למרחק של 30 מ' אשר ממנו והלאה עוצמת ההארה האופקית שווה או נמוכה ל 0.3 לוקס**. עוצמה זו הינה עוצמת אור ירח מלא בשמי לילה נקיים מעננים בקו הרוחב הגיאוגרפי של ישראל, המהווה את הגבול העליון של עוצמת האור בה מומלץ להאיר שטחים פתוחים טבעיים (מבוסס על הידע הרב שנצבר על תפקידו של הירח כ"גורם ביולוגי מפעיל").
- נמצאה זליגת אור מצומצמת כלפי הרקיע החורגת מדרישות הדו"ח המסכם. עם זאת זליגת האור האחורי והקדמי כלפי האופק (80^0-90^0 BVH, FVH) עומדות בדרישה הדו"ח המסכם כמפורט בטבלה מטה. (להרחבה בנוגע לדירוג BUG RATING, נספח א').

	BUG RATING (נספח א')	(80-90) BVH	(80-90) FVH	UL
דרישת מסמך מסכם	עדB2-U0-G2	עד 100 לומן	עד 100 לומן	0
דגם קיים LUMADA 250W	B3-U1-G3	50.4 לומן	75.7 לומן	2.5 לומן
דגם חדש STORK LB 161W	B1-U0-G2	11.2 לומן	55.8 לומן	0

פיזור האור עפ"י BUG



תמונה 2 : צילום לילה של מתקן תאורה לפני שדרוג התאורה :

* הסימון לעיל אינו לפי קנה מידה מדויק.

[1] הניתוח הפוטומטרי בוצע עבור קובץ פוטומטרי לחישוב תאורה של דגם
Photometric Filename: · 030250LUMADAVPHPST.IES
הניתוח בוצע בעזרת תוכנה PHOTOMETRIC TOOLBOX על-פי תקן TM-15-11 [BUG RATING]).

3. תהליך שדרוג התאורה:

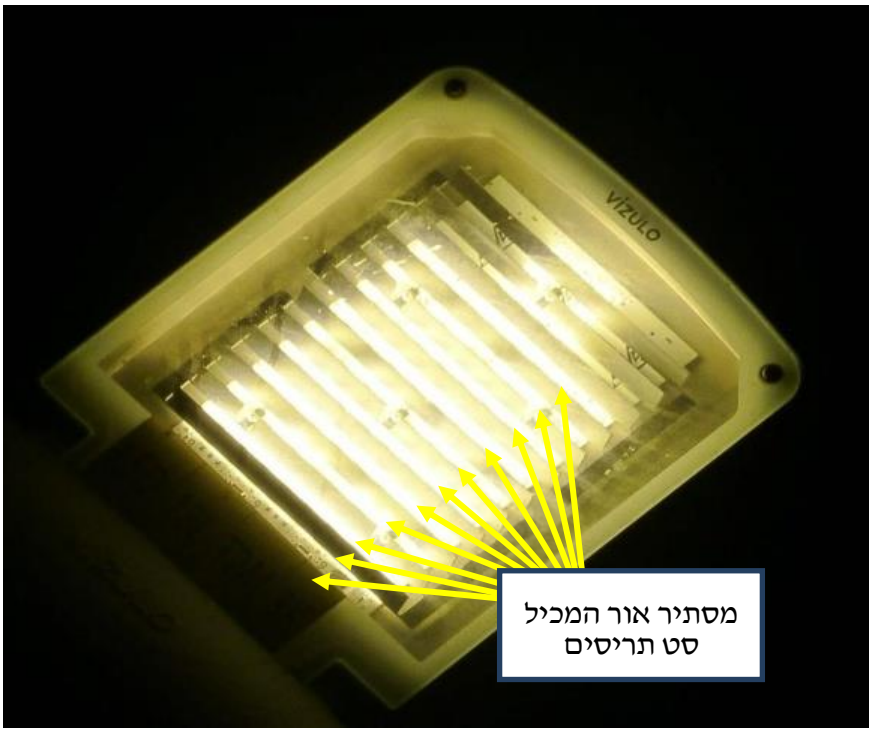
- תכנון שדרוג התאורה נעשה על בסיס החלפת גופי תאורת הנל"ג לגופי תאורת LED אשר נבחרו מתוך משפחות גופי תאורה מאושרות לשימוש בנתיבי ישראל. השדרוג בוצע בצורה החסכונית ביותר תוך החלפת גופי התאורה הקיימים בלבד, ללא שינוים בעמודי התאורה, זרועות ומערכת החשמל.
- תכנון שדרוג התאורה בוצע על ידי משרד אהרוני הנדסת חשמל בע"מ, באר שבע.
תכנון התאורה הועבר ע"י נתיבי ישראל לבדיקתו של אלכס גולדין לצורך בחינת עמידת התכנון בדרישות ההארה של הדו"ח המסכם - תאורה ידידותית לסביבה בחברת נתיבי ישראל.
- רמת איכות התאורה (ראי"ת) אשר תוכננה בפיילוט זה היא 1.5 cd/m^2 (ראי"ת 1 על-פי הנחיות לתכנון מאור דרכים של משרד התחבורה, או דרגה מקבילה בתקן 13201). ראי"ת זו גבוהה כמעט פי 2 מהנדרש לסיווג כביש זה לפי ההנחיות לתכנון מאור בדרכים.
- גופי התאורה אשר הותקנו באתר הינם ממשפחת גופי תאורה STORK המאושרת לשימוש בנתיבי ישראל , בעלי נורות בגוון 3000 קלוין.
לצורך עמידה בדרישות ההארה, לפי הנחיות לתכנון מאור דרכים של משרד התחבורה, תכנון התאורה מתחלק לשתי קטגוריות : מקטעי הדרך הישרים (כניסות לצומת מצפון ומדרום) ומקטע הצומת עצמה.
טבלה 2 מציגה את ההספקים השונים של גופי התאורה אשר תוכננו עבור קטגוריות אלו בצומת סמר :

טבלה 2 : השוואת הספק החשמלי של גופי התאורה לאחר שדרוג התאורה

סוג המקטע	דגם גו"ת בתכנון	הספק חשמלי W
קטע הסתגלות לכניסה לצומת	STORK LB	161
	STORK LB	148
הצומת עצמה	STORK LB	280

- לצורך צמצום זליגת האור האחורי גוף התאורה הנבחר צויד במסתיר אור אחורי מיוחד המורכב מסט של תריסים המסתירים את האור האחורי בזווית של 45^0 (כמתואר בתמונה 3).

תמונה 3 : גוף תאורה בעל מסתיר אור אחורי.



4. תוצאות הפיילוט לאחר שדרוג התאורה:

4.1. צמצום זיהום האור הסביבתי:

טבלה 3 : סיכום צמצום ההפרעה הסביבתית לאחר שדרוג התאורה בהתאם לפרמטרים השונים

פרמטר להתייחסות	לפני השדרוג	לאחר השדרוג
זליגת אור אחורי לשטח הפתוח מכל צד של הכביש	30 מ'	12 מ'
סה"כ שטח ללא זיהום אור כתוצאה משדרוג תאורה	36 דונם (משני צידי הכביש)	
זליגת אור ישיר מגוף תאורה כלפי הרקיע	2.5 לומן	0 (אפס)
זליגת האור האחורי כלפי האופק ($BVH\ 80^0$-90^0)	50.4 לומן	11.2 לומן
זליגת האור הקדמי כלפי האופק ($FVH\ 80^0$-90^0) דגם 161 וואט	75.7 לומן	55.8 לומן
דירוג פיזור האור על-פי BUG	B3-U1-G3	B1-U0-G2
גוון אור	2,200 קלווין	3,000 קלווין

- *זליגת אור אחורי*
מדידות התאורה הראו כי לאחר שדרוג התאורה זליגת האור האחורי לשטח הפתוח צומצמה למרחק 12 מ' (לעומת 30 מ' טרם שדרוג התאורה). ממנו והלאה עוצמת ההארה האופקית שווה או נמוכה ל 0.3 לוקס. כתוצאה נמצא כי לאורך המקטע הנבחר **כ - 36 דונם של שטח פתוח שסבל מזיהום אור משמעותי– הפך להיות שטח ללא זיהום** אור (18 דונם מכל צד של הכביש).
נמצא כי **מרחק ההארה האחורי לאחר השדרוג צומצם אף מעבר למרחק ההארה הרצוי** עבור אזור בעל רגישות אקולוגית גבוהה המפורט בדוח המסכם ועומד על 15 מ' עבור דרך דו מסלולית דו נתיבית.
- *זליגת האור לכיוון הרקיע והאופק*
לאחר שדרוג התאורה זליגת אור זו עומדת בדרישות הדו"ח המסכם.
  - **נוטרלה תרומת אזורים אלו לזהירת רקיע וזיהום אור אסטרונומי**. זליגת אור זו נמנעה לחלוטין ועומדת על 0 לומן בכל גוף תאורה לאחר השדרוג.
  - **זליגת האור האחורי כלפי האופק ($BVH\ 80^0$-90^0) צומצמה בכ- 80%** (מ-50.4 לומן ל- 11.2 לומן בכל גוף תאורה.)
  - **זליגת האור הקדמי כלפי האופק ($FVH\ 80^0$-90^0) צומצמה בכ-26%** (מ-75.7 לומן ל- 55.8 לומן בכל גוף תאורה)
- *גוון האור*
שדרוג התאורה כלל מעבר מתאורת נל"ג המכילה אורכי גל ארוכים ולכן הינה בעלת גוון אור "חם" העומד על כ 2,200 קלווין לתאורת LED המכילה בין היתר אורכי גל קצרים והינה בעלת גוון אור העומד על 3000 קלווין. **לפיכך שדרוג התאורה מבחינת גוון האור הוביל לשימוש בתאורה פחות מותאמת לסביבה**. עם זאת, גוון האור K3000 אכן מתאים לדרישות המקסימום של רט"ג, שגם הוטמעו במסמך המסכם, ולדרישות IDA (DARK SKY ASSOCIATION)

תמונה 4 : צילום לילה של מתקן תאורה **לאחר** שדרוג התאורה

*הסימון לעיל אינו לפי קנה מידה מדויק.

תמונות השוואה נוספות **לפני-אחרי** להמחשה :

4.2. כלכלי:

א. חיסכון אנרגטי

טבלה 4 : סיכום חיסכון אנרגטי ותחזוקתי :

	דגם גו"ת בתכנון	הספק חשמלי W	כמות בתכנון	אורך מקטע (מ')	חסכון אנרגטי ביחס לדגם LUMADA 290W	חיסכון אנרגטי שנתי (₪)	חיסכון תחזוקתי ל- 12 שנים (₪)
תאורה בקטע הסתגלות לכניסה לצומת	STORK LB	161	19	650	47%	8,725	22,320
	STORK LB	148	12				
תאורה במרכז הצומת	STORK LB	280	25	350	3%	525	18,000

- *תאורת קטעי הסתגלות לכניסה לצומת סמר :*
  - **החלפת גופי התאורה הובילה לחיסכון של 47% בממוצע בצריכת החשמל.**
  - **משך החזר ההשקעה עומד על 1.2-1.3 שנים, (לפירוט נספח ב').**
  - במהלך הבדיקות **נמצא כי התאורה באזור זה תוכננה לפי 1.5 cd/m^2 המהווה רמת איכות תאורה הגבוהה כמעט פי 2 מהנדרש לסיווג כביש זה לפי ההנחיות לתכנון מאור בדרכים.**
- תאורה במרכז *צומת* סמר:
  - החלפת גופי התאורה הובילה לחסכון זניח בצריכת החשמל.
  - משך החזר ההשקעה ארוך ועומד על כ – 9 שנים, לפירוט נספח ב').
  - **התאורה במרכז הצומת תוכננה לעוצמה של 34 לוקס ממוצע – עוצמה הגבוהה פי 1.7-2.3 מרמת איכות התאורה הנדרשת לכביש זה לפי ההנחיות לתכנון מאור בדרכים.**
    תכנון בהתאם לסיווג הכביש הנכון יעלה משמעותית את אחוז החיסכון האנרגטי ויצמצם את ההשפעה על הטבע תוך עמידה בדרישות משרד התחבורה.
  - מצב התאורה לפני ההחלפה אינו ידוע בוודאות, אך על-פי בדיקות מצב תאורה בצמתים בדרך 90, שבוצעו בשנת 2011-2012, עוצמות ההארה בכ-3/4 צמתים היו נמוכות מ-30 לוקס, ובד"כ כ-20 לוקס. במקרים בהם תכנון תאורה חדש מעלה/משפר את רמת איכות תאורה, מושג "החזר השקעה" בד"כ לא ישים.

ב. חיסכון באחזקה (לאורך כל מקטע הפיילוט):

- גופי תאורת LED הינם בעלי אורך חיים הנע בין 12-14 שנים, זאת לעומת גופי תאורת נל"ג הדורשים החלפה כל 4 שנים לערך[2]. לפיכך שימוש בגופי תאורת LED חוסך 2 החלפות לאורך המקטע במשך 12 שנים. **נמצא כי שימוש בתאורת LED הובילה לחיסכון תחזוקתי של 40,320 ₪ עבור 12 שנים.**

[2] טמפרטורת גוף התאורה משפיעה על אורך חיי גוף התאורה. טמפרטורה נמוכה שומרת על רמת הניקיון של הזכוכית בפתח יציאת האור (כתוצאה מצמצום האבק הנדבק לזכוכית) ולכן מאפשרת אורך חיים ממושך. לדוגמא, זכוכית בפתח יציאת האור בגוף תאורת נל"ג יכולה להגיע בעבודה לטמפרטורות מעל 100 מעלות צלזיוס. כאשר זכוכית בפתח יציאת האור של גוף תאורת LED , יכולה להיות נמוכה בכ-40 מעלות.

5. לקחים מרכזיים מומלצים ליישום:

- תכנון התאורה עבור אזורים בעלי רגישות אקולוגית חייב להתבצע על בסיס 2 מסמכים מנחים:
  - הנחיות לתכנון מאור דרכים של משרד התחבורה בתוקף
  - תאורה ידידותית לסביבה בחברת נתיבי ישראל – דו"ח מסכם תוך עמידה במפרטים הטכניים המפורטים בהתאם לרמת הרגישות של השטח (רגישות אקולוגית גבוהה: ע"מ44-49, רגישות אקולוגית קיצונית: ע"מ 50-56).
- יש לוודא כי תכנון התאורה עבור אזורים בעלי רגישות אקולוגית כולל בתוכו את השלבים הבאים:

i. **בחירת רמת איכות תאורה המתאימה לסיווג הדרך** על-פי הנחיות משרד התחבורה לתכנון מאור דרכים ולא ערכים גבוהים יותר כפי שנעשה בפיילוט זה.

על משרדי תכנון החשמל של נתיבי ישראל להתאים את בחירת רמת איכות התאורה (רא"ת) לסיווג הדרך המתאים (אפשרויות מקבילות קיימות גם בתקן 13201) מה שיאפשר לא רק מענה לדרישות משרד התחבורה, אך גם חיסכון בצריכת החשמל, הוזלת עלויות גופי התאורה וכמובן, שיפור השמירה על הטבע הסמוך.

הנחיות משרד התחבורה כוללות הגדרה ל 4 סוגי דרכים בין עירוניות עבורן מוגדרות רמות איכות תאורה שונות כמפורט באיור 1.

איור 1: רמת איכות תאורה לדרכים בין עירוניות לפי סיווגן[1]

סוג הדרך[2]	רמת איכות התאורה (רא"ת)
דרך מהירה[3]	רא"ת 1
דרך ראשית	רא"ת 1[4]
דרך אזורית	רא"ת 2[4]
דרך מקומית	רא"ת 3

הערות: (1) טבלה 11.1 מבוססת על המלצות של C.I.E. משנת 1993 המותאמות לתנאי הארץ.
(2) על-פי סווג הדרכים המופיע בפרק 2 בהנחיות אלה.
(3) כולל דרך פרברית מהירה.
(4) בדרכים ראשיות ואיזוריות על המתכנן לבדוק את רמת תיפקוד הכביש, להתחשב בשיקולים הנדסיים ותפעוליים, ובהתאם לכך לבחור בין רמת תאורה 1 ל-2.

[לקוח מתוך מסמך הנחיות לתכנון מאור בדרכים משנת 1996)

רמת איכות התאורה (רא"ת) **עבור צמתים בדרכים שאינן מוארות** כוללת 4 אפשרויות המתייחסות לעוצמת ההארה הנעות בין 10-20 לוקס. כמפורט באיור 2.

תכנון תאורה לפי רא"ת גבוהה מהמוגדר בהנחיות גורר בזבוז אנרגטי וכלכלי כמו גם פגיעה בטבע כתוצאה מעליה בזיהום האור לסביבה.

איור 2: צמתים בדרכים שאינן מוארות

בדרכים בהם לא קיים הצדק להארת הדרך, כמפורט בסעיף 1.2, יוארו הצמתים בהתאם לדרישות המפורטות בטבלה מס' 1.5. תאורה מטיפוס זה מוגדרת כתאורה חלקית.

טבלה מס' 1.5 דרישות לעוצמת הארה אופקית בצומת בין דרכים שאינן מוארות, בלוקסים

תנאי סביבה	אזור מבודד	אזור קרוב לישוב
E_{av} בצומת[1]	15	20
E_{av} בקטע הסתגלות בכניסה לצומת[2]	10	15

הערות: (1) ערך שימושי.
(2) בקטע ההסתגלות תקבע בהיקות הדרך על-פי מדד של רא"ת ומחישובי עוצמת הארה ממוצעת בתלות בסוגי גופי התאורה.

(לקוח מתוך מסמך הנחיות לתכנון מאור בדרכים שמנת 1996)

בהסתכלות רחבה עבור תכנון לשדרוג תאורה בכבישים קיימים, רמת איכות התאורה (ראי"ת) עבור קטעי דרך כוללת 3 אפשרויות עבור מספר פרמטרים שונים כמפרט באיור 3. לדוגמא ניתן לתכנן את הבהיקות ממוצעת בין: 1.5 – 1.0 – 0.8 cd/m² בהתאם לסוג הדרך (אפשרויות מקבילות קיימות גם בתקן 13201).

גם כאן, תכנון תאורה לפי ראי"ת גבוהה מהמוגדר בהנחיות גורר בזבוז אנרגטי וכלכלי כמו גם פגיעה בטבע כתוצאה מעליה בזיהום האור לסביבה.

איור 3: רמות איכות התאורה בדרך בין עירונית (מדדי איכות)

רמת איכות התאורה	בהיקות[2] ממוצעת מיזערית L_{av} קנדלות למ"ר	אחידות כוללת מיזערית U_o	אחידות אורכית של הנתיבים (כל אחד בנפרד) U_ℓ	סף מניעת הסינוור (ערך מירבי) % T.I.	יחס הסביבה (ערך מיזערי) S.R.
			ד ר י ש ו ת[1]		
ראי"ת 1	1.5	0.4	0.7	10	0.5
ראי"ת 2	1.0	0.4	0.6	10	0.5
ראי"ת 3	0.8	0.4	0.5	10	0.5

יש לזכור כי יתרונות ה LED מאפשרים שמירה על איכות הארה גבוהה מנל"ג שכן הספקטרום העשיר של אור לבן חם עם מקדם מסירת צבע אור (CRI[3]) מעל 70, **מאפשר נראות טובה יותר** ביחס לאור נורות נל"ג, בעלי מקדם מסירת צבע אור נמוך משמעותית (כ-20 בלבד).

ii. בחירת דגם גוף תאורה מתוך משפחות גופי התאורה המאושרות אשר עונה לדרישות:
- תאורה ידידותית לסביבה בחברת נתיבי ישראל – דו"ח מסכם, **תוך התאמה לרמת הרגישות האקולוגית.**
- **נוהל הסמכה** של גופי תאורת LED בתוקף **עבור אזורים בעלי רגישות אקולוגית** (ראה קישור זה)

iii. ביצוע חישובי תאורה בשטח מאחורי עמודי התאורה ובחינת מרחק הארה עד לגבול 0.3 לוקס - בהתאם לדוח מסכם (ראה קישור זה).

iv. ווידוא התאמה של סוג פיזור האור לדרישות BUG rating המפורטות במפרטים הטכניים בדוח המסכם בהתאם לרמת הרגישות האקולוגית של השטח.

v. קביעת קריטריון **ליעילות אנרגטית וחסכון הנדרש בצריכת החשמל** העומד על מינימום 50% בעת החלפת גופי תאורה קיימים

vi. בדיקת עמידה בקריטריון היעלות האנרגטית העומד על מינימום 50% מצריכת החשמל של גופי התאורה הקיימים.

- ניסיון הפיילוט מלמד כי מודעות בקרב משרדי תכנון חשמל של נתיבי ישראל מבחינת היכרות עם "הדוח המסכם" טעונה שיפור משמעותי. שכן **במהלך תכנון התאורה לא בוצעו חישובי תאורה לבחינת מרחק ההארה האחורי ולא נבדקה ההתאמה של סוג פיזור האור לדרישות BUG rating** המפורטות במפרטים הטכניים בדוח המסכם.

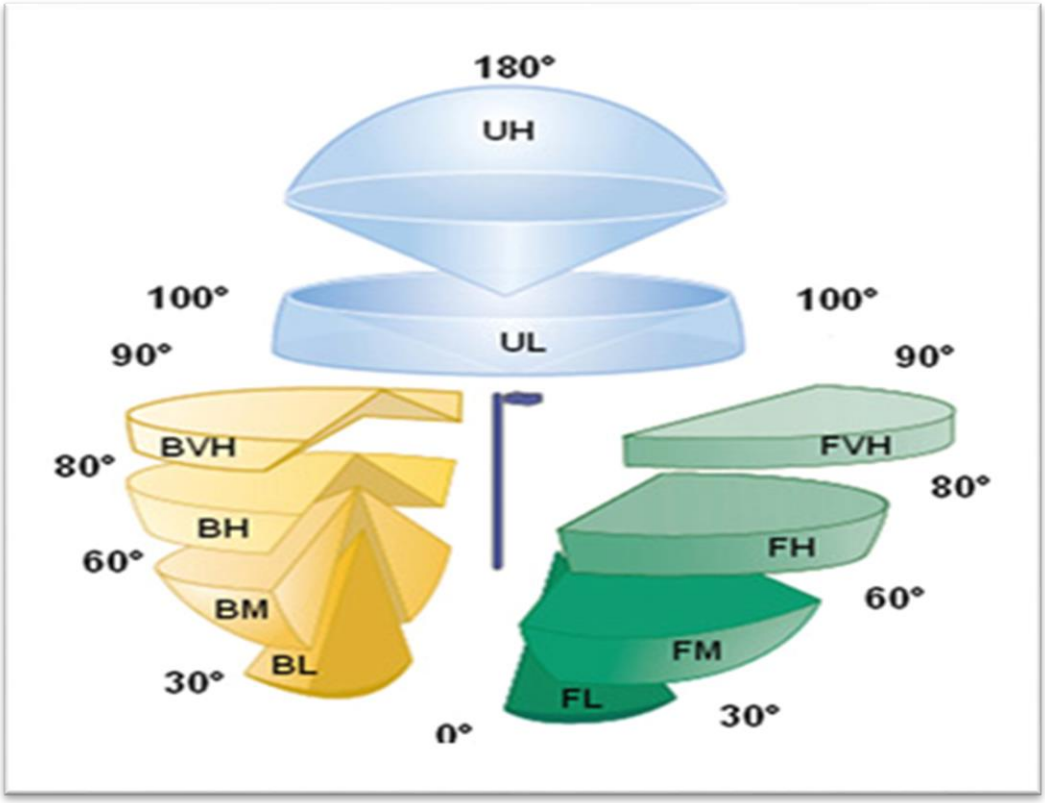
לפיכך קיימת חשיבות רבה לביצוע הפעולות הבאות:
- שילוב דרישה לשימוש בהנחיות הדו"ח המסכם לתאורה ידידותית לסביבה במסמך "מגדיר משימות למתכנן התאורה".
- הפצת המסמך בקרב משרדי התכנון ע"י חטיבת פיתוח
- הדרכות / ימי עיון עבור הגורמים הרלוונטיים: מתכנני תאורה, מנהלי פרויקטים, אקולוגים ואחראי איכות סביבה. הדרכות אלו יותאמו לקהל היעד במטרה שכל גורם ידע את מהו תפקידו וכיצד לבצע אותו בצורה הנכונה אשר תאפשר שמירה על בטיחות ובטחון משתמשי הדרך תוך שמירה על הטבע.

[3] CRI -Color Rendering Index

6. נספח א' – דירוג BUG RATING

מערכת BUG (ראשי תיבות Backlight, Uplight and Glare) היא שיטת דירוג סוגי פיזור האור של גופי תאורת חוץ, בעיקר תאורת רחובות, אשר מהווה חלק מתקן TM-15-11 של הוועדה הצפון אמריקאית להנדסת תאורה (Illuminating Engineering Society (IES. על-פי שיטה זו כל החלל סביב גוף תאורה מחולק לאזורים ותת-אזורים, והדירוג של סוגי פיזור האור מתבסס על כמויות שטף האור (בלומן אבסולוטי) בתוך כל תת-אזור, ובסף – בכל אזור.

להלן הסבר על החלוקה של החלל לאזורים (צהוב-כחול-ירוק) ולתת-אזורים:



בהתאם לכמות שטף האור בכל אזר ותת-אזור המפורטים באיור, מגדיר התקן את דירוג סוגי פיזור האור, בהתאם לטבלאות להלן:

דירוג עבור הארה האחורית

Table A-1: Backlight Rating (maximum zonal lumens)

	Secondary Solid Angle	Backlight Rating					
		B0	B1	B2	B3	B4	B5
Backlight \ Trespass	BH	110	500	1000	2500	5000	>5000
	BM	220	1000	2500	5000	8500	>8500
	BL	110	500	1000	2500	5000	>5000

דירוג עבור הארה כלפי מעלה

Table A-2: Uplight Rating (maximum zonal lumens)

	Secondary Solid Angle	Uplight Rating					
		Uo	U1	U2	U3	U4	U5
Uplight \ Skyglow	UH	0	10	50	500	1000	>1000
	UL	0	10	50	500	1000	>1000

דירוג עבור הארה קדמית (עבור סוגי פיזור האור של תאורת דרכים):

Table A-3: Glare Rating (maximum zonal lumens)

	Secondary Solid Angle	Glare Rating for Asymmetrical Luminaire Types (Type 1, Type 2, Type 3, Type 4)					
		G0	G1	G2	G3	G4	G5
Glare \ Offensive Light	FVH	10	100	225	500	750	>750
	BVH	10	100	225	500	750	>750
	FH	660	1800	5000	7500	12000	>12000
	BH	110	500	1000	2500	5000	>5000

7. נספח ב' – חישוב חיסכון אנרגטי ומשך החזר השקעה:

החלפת התאורה בפרויקט נעשתה על בסיס אחד מול אחד, חישוב החזר השקעה בהמשך בוצע לכן עבור גו"ת אחד.
עלויות גופי תאורה LED חדשים בהתאם להספק חשמלי, וגם עלויות גו"ת נל"ג חדש התקבלו מנתיבי ישראל.

<u>עבור תאורת קטע הסתגלות בכניסה לצומת:</u>

עבור החלפה לגו"ת LED בהספק כולל 148 וואט זמן החזר השקעה קצר- 1.2 שנה.

זמן החזר השקעה בהחלפת גופי תאורה נל"ג 250 וואט ישן לגו"ת נל"ג 250 וואט חדש לגו"ת LED 148 וואט

הספק קיים כולל הפסדים במשנק W	הספק גו"ת LED W	חסכון W	שעות עבודה בשנה	חסכון בצריכה שנתי kW/h	תעריף kW/h ₪	חסכון בצריכה שנתי ₪
290	**148**	142	4200	596.4	0.5	298.2

עלות גו"ת ללא התקנה כולל מע"מ (₪)		הפרש עלות התקנה
LED	נל"ג	
2128	1700	0

חסכון באחזקה שנתי (₪)	60.0
חסכון שנתי כולל (₪)	358.2
הפרש עלות החלפה LED מול נל"ג חדש כולל מע"מ (₪)	428.0
החזר השקעה (שנים)	**1.2**

עבור החלפה לגו"ת LED בהספק כולל 161 וואט זמן החזר השקעה קצר גם כן - 1.3 שנה.

זמן החזר השקעה בהחלפת גופי תאורה נל"ג 250 וואט ישן לגו"ת נל"ג 250 וואט חדש או לגו"ת LED 161 וואט

הספק קיים כולל הפסדים במשנק W	הספק גו"ת LED W	חסכון W	שעות עבודה בשנה	חסכון בצריכה שנתי kW/h	תעריף kW/h ₪	חסכון בצריכה שנתי ₪
290	**161**	129	4200	541.8	0.5	270.9

עלות גו"ת ללא התקנה כולל מע"מ (₪)		הפרש עלות התקנה
LED	נל"ג	
2128	1700	0

חסכון באחזקה שנתי (₪)	60.0
חסכון שנתי כולל (₪)	330.9
הפרש עלות החלפה LED מול נל"ג חדש כולל מע"מ (₪)	428.0
החזר השקעה (שנים)	**1.3**

עבור תאורה הצומת עצמה:

עבור החלפה לגו"ת LED בהספק כולל 280 וואט זמן החזר השקעה ארוך עד לא מקובל – 9.2 שנה

זמן החזר השקעה בהחלפת גופי תאורה נל"ג 250 וואט ישן לגו"ת נל"ג 250 וואט חדש או LED 280 וואט						
הספק קיים כולל הפסדים במשנק W	הספק גו"ת LED W	חסכון W	שעות עבודה בשנה	חסכון בצריכה שנתי kW/h	תעריף kW/h ₪	חסכון בצריכה שנתי ₪
290	**280**	10	4200	42.0	0.5	21.0

עלות גו"ת ללא התקנה כולל מע"מ (₪)		הפרש עלות התקנה
LED	נל"ג	
2447	1700	0

חסכון באחזקה שנתי (₪)	60.0
חסכון שנתי כולל (₪)	**81.0**
הפרש עלות החלפה LED מול נל"ג חדש כולל מע"מ (₪)	**747.0**
החזר השקעה (שנים)	**9.2**

סה"כ חיסכון תחזוקתי לאורך מקטע הפיילוט:

$$60 * (31 + 25) * 12 = 40,320$$

*60 ₪ חסכון אחזקה שנתי עבור גוף תאורה בודד
*31 גופי תאורה לאורך מקטע ההסתגלות
*25 גופי תאורה לאורך הצומת עצמה
* 12 שנים – אורך חיים ממוצע של גוף תאורת LED.