

9. תאורה חשמלית וחישוביה:

9.1 תכנון תאורה:

תכנון תאורה יעיל חייב לתת מענה של תנאי ראייה טובים בהתאם לאופי החלל, סוג העבודה והוצאות כספיות מתאימות. תכנון תאורה יעיל מתחלק לשתי דברים עיקריים: כמות האור ואיכות האור.

9.1.1 כמות האור:

כמות האור זוהי בעצם רמת הארה המתאימה לאופי החלל וסוג העבודה שמבוצע בו. רמת הארה המומלצת נקבעת בדרך כלל על פי תקנים או המלצות. בתאורת פנים נהוג לקבוע את רמת ההארה ביחס למיקומו של משטח עבודה למתקן אם הוא אופקי (שולחן עבודה, שולחן ישיבות) או אנכי (ארונות, מדפים). בתאורת חוץ, חדרי מדרגות, מסדרונות, אצטדיונים ואולמות ספורט, רמת הארה נקבעת ביחס לרצפה או פני הקרקע.

בטבלה 9.1 ניתן לראות את רמות ההארה המינימליות המומלצות וההכרחיות בהתאם לאופי המקום.

אופי המקום	רמת הארה המומלצת (lux)
אזורים המיועדים לצורך שהייה קצרה, מעבר להולכי רגל וכלי רכב	20
אזורים בעלי רמת סיכון מסוימת המיועדים לאנשים וכלי רכב	50
מקומות בעבודה שבהם אין צורך בהתייחסות לפרטים מדויקים כמו מסדרונות, פרוזדורים, מעברים וחדרי מדרגות	100-200
חדרי המתנה, חדרי אוכל, ארכיב	200
אזורים לתיוק, העתקה והפצה	300
אודיטוריום להופעות, בתי כנסת, אולם התעמלות, שולחן תלמיד	300
לוח כיתה, חדר לימוד פקידות, מטבח	400
מעבדה, חדר ישיבות, עמדת מחשב, כתיבה, קריאה, עיבוד וניתוח נתונים	500
אולם שרטוט, חדרי הרצאות, חדר לימוד ציור ותפירה	500
ספרייה	600
שרטוט טכני	750
חדר בקרה לצבע, משימות עם דרישות מיוחדות	1000

טבלה 9.1. רמות ההארה המינימליות המומלצות בהתאם לאופי המקום.

* ניתן להשתמש בערכים נמוכים מאלו שבטבלאות כאשר ההחזרה או ניגוד של החלל גבוהים במיוחד.

9.1.2 איכות האור:

רמת הארה הנדרשת אינה מספיקה לתכנון תאורה יעיל, חייבים לקחת בחשבון גם את איכות האור. איכות האור כולל בתוכו מספר דברים עיקריים:

1. **אחידות הארה** - הכוונה לפיזור האור בצורה שמתאימה לחלל המואר כך שלא יהיו אזורים לא מוארים מספיק או מוארים מדי.

2. **כיוון הארה** - לפעמים יש צורך להאיר את החלל בצורה אחידה או מפוזרת וזאת בכדי למנוע הצללות. כמו כן יש לשמור על אחידות ההארה של אזורים השונים לפי:

$$\delta = \frac{E_{max}}{E_{min}}$$

δ - יחס בין רמת הארה מקסימלית ורמת הארה מינימלית של המקום הנבדק.

E_{max} - רמת הארה מקסימלית של המקום הנבדק.

E_{min} - רמת הארה מינימלית של המקום הנבדק.

3. **סנוור ובהיקות** - יש להימנע מבהיקות וסנוור יתר מכיוון שהדבר פוגע ומקשה על ראייתו של האדם. את הסנוור ניתן להקטין על ידי תאורה לא ישירה, נורות בעלי ציפוי, גופי תאורה מפזרים ועוד'.

4. **העברת צבעים נכונה** - מקורות אור שונים פולטים אור בעוצמה ותחום אורכי גל שונים התלויים בטמפרטורה. לכן יש לבחור בצורה נכונה את מקור האור בכדי לקבל את הצבע והגוון הדרוש. ניתן להבדיל בין 3 קבוצות עיקריות של נורות על פי מראה הצבע: חם, בינוני וקר. נתון זה ניתן על ידי היצרן. בטבלה 9.2 ניתן לראות את החלוקה של הקבוצות על פי טמפרטורת הצבע והשימוש בהם.

שימושים	טמפרטורת הצבע $CCT[^\circ K]$	מראה הצבע
בתי מגורים	עד 3000	חם
תעשיה, משרדים	3000-5000	בינוני
למטרות מיוחדות	מעל 5000	קר

טבלה 9.2. חלוקה על פי טמפרטורת הצבע ושימושיהם.

דבר נוסף שחשוב בהעברת הצבעים זהו גורם התאמת הצבע CRI (Color Rendering Index). מכוון שמקורות אור שונים יכולים להיות בעלי טמפרטורת צבע זהים אך ההרכב של הצבעים שלהם שונה, הדבר יגרום לכך שמקור אור אחד יספק תאורה נעימה ומתאימה והשני לא. לכן מאוד חשוב לשים לב לגורם התאמת הצבעים אשר מצביע על מידת ההתאמה בין הרכב הצבעים של מקור האור לבין הרכב הצבעים של אור השמש. נתון זה ניתן על ידי היצרן. בטבלה 6.3 ניתן לראות את מידת התאמת הצבע באחוזים.

$CRI < 40\%$	התאמת צבע ירודה
$40\% < CRI < 70\%$	התאמת צבע בינונית
$70\% < CRI < 85\%$	התאמת צבע טובה
$85\% < CRI < 100\%$	התאמת צבע מעולה

טבלה 9.3. מידת התאמת הצבע באחוזים

5. **שיקולים כלכליים** - בשיקולים כלכליים יש לשים דגש למסר דברים:

א. **חסכון באנרגיה** - יש לבחור מקורות אור יעילים וחסכוניים (LED).

ב. **תחזוקה נכונה של ציוד** - בשלבי התכנון יש לדאוג כי תהיה גישה נוחה לטיפול בנורות וגופי תאורה כמו ניקוי, תיקון והחלפה.

ג. **איכות רכיבים** - שימוש בנורות באיכות גבוהה משפיע על בלאי נמוך, איכות האור ושמירה על בטיחות.

* **תכנון נכון של תאורה עוזר בהבחנת סכנות ומכשולים, מפחית התעייפות של העיניים וכאבי ראש, עוזר באבחון סכנות ומכשולים, אבחון בפרטים רלוונטיים לעבודה, הקלה על ביצוע מטלות בצורה טובה וצמצום סיכונים לתאונות ופציעות.**

9.2 מונחים בסיסיים לאפיון תאורה:

ישנה חשיבות רבה בהכרת מונחים מוסכמים הקשורים לתאורה. להלן מספר מונחים חשובים:

1. **שטף האור $\Phi[lum]$** – שטף אור [Luminous Flux] זוהי כמות האור המוקרנת ממקור אור בשנייה אחת לכל כיוון או במילים אחרות, כמות האור הנקלטת במשך שנייה אחת מכל כיוון על משטח המואר.

2. נצילות אורית $\eta_E \left[\frac{lm}{w} \right]$ – נצילות אורית מוגדרת כיחס בין שטף האור Φ המופק ממקור האור לבין

הספק חשמלי P המושקע לייצור האור. נחשב את נצילות האורית על פי :

$$\eta_E = \frac{\Phi_o}{P}$$

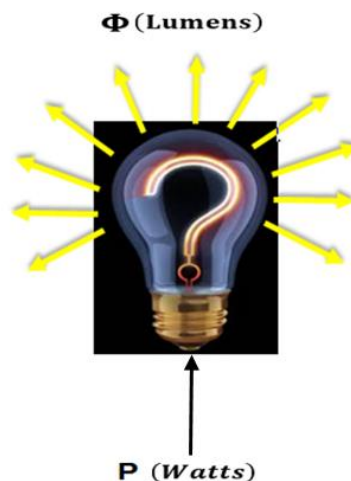
כאשר :

$\eta_E \left[\frac{lm}{w} \right]$ – נצילות אורית של הנורה.

$P [W]$ – הספק חשמלי בכניסת הנורה.

$\Phi_o [lum]$ – שטף אור הנפלט מהנורה.

באזור 9.1 ניתן לראות את המרת אנרגיה חשמלית (הספק חשמלי) לשטף אור הנפלט באמצעות הנורה.



3. עוצמת האור $I [cd]$ – עוצמת האור מוגדרת כיחס בין שטף האור Φ העובר דרך זווית מרחבית ω ,

כלומר שטף האור המוקרן ממקור האור לסטרדיאן אחד. את התפלגות עוצמת האור מתארים בדרך

כלל בעזרת עקומה פוטומטרית (עקומה פולארית). את עוצמת האור ניתן לחשב על פי :

$$I = \frac{\Phi}{\omega}$$

כאשר :

$I \left[\frac{lm}{sr} \right]$ – עוצמת האור.

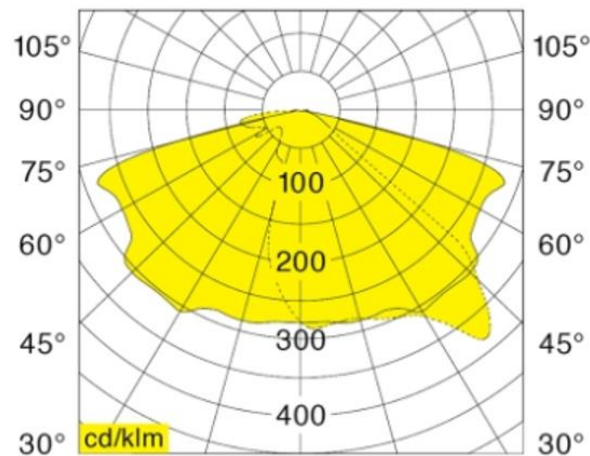
$\Phi [lum]$ – שטף אור.

$\omega [srad]$ – זווית מרחבית.

* כאשר האור מוקרן לכל הכיוונים במידה שווה כמו כדור מלא אז $\omega = 4\pi$, וכאשר האור מוקרן לכל

הכיוונים במידה שווה כמו חצי כדור אז $\omega = 2\pi$.

באיור 9.2 ניתן לראות עקום פולארי (עקום פוטומטרי) של גוף תאורה (LED) מדגם אפולו המיועד לתאורת חוץ. איור זה נלקח מתוך אתר "געש".



איור 9.2. עקום פולארי

4. **רמת הארה** $E[lux]$ – רמת הארה מוגדרת כשטף אור המאיר ליחידת שטח. כלומר כאשר שטף אור של לומן 1 נופל על שטח של מטר מרובע אחד, רמת הארה היא 1 לוקס.

$$1lux = \frac{1lum}{1m^2}$$

מכוון שהאור אינו מתפזר באופן שווה על פני משטח A , עוצמת הארה הממוצעת מחושבת על פי:

$$E_{av} = \frac{\Phi}{A}$$

כאשר:

$E_{av}[lux]$ – רמת הארה ממוצעת.

$\Phi[lum]$ – שטף אור על משטח המואר.

$A[m^2]$ – שטח המואר.

במידה ורוצים לחשב רמת הארה בנקודה P הנמצאת על משטח המואר בזווית α ממקור האור O אשר נמצא בגובה h מהרצפה נחשב על פי:

$$E_P = \frac{I_\alpha \cdot \cos \alpha^3}{h^2}$$

כאשר:

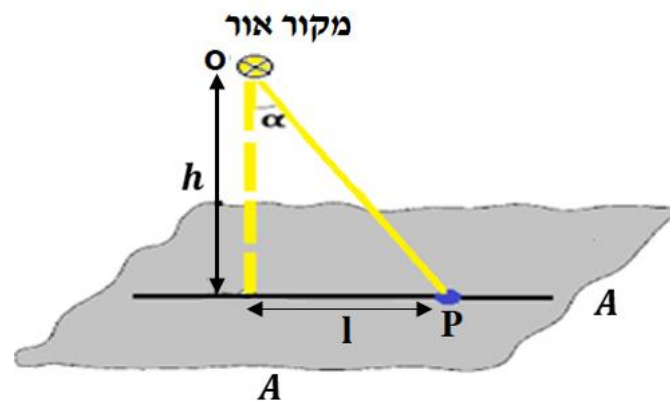
E_P [lux] - רמת ההארה בנקודה P .

I_α [cd] - עוצמת האור של מקור האור O בזווית α .

α [°] - זווית בין כיוון הארה לנקודה P (היתר) לבין הגובה h (הניצב)

h [m] - גובה מקור האור מעל המשטח.

באיור 9.3 ניתן לראות את חישוב רמת הארה בנקודה P .



נחשב את עוצמת האור I_α על פי:

$$I_\alpha = \frac{I_{\alpha^\circ}}{1000} \cdot \Phi_o$$

כאשר:

I_α [cd] - עוצמת האור של מקור האור O בזווית α .

I_{α° [cd/1000lum] - עוצמת האור של מקור לכל 1000lum.

Φ_o [lum] - שטף אור של נורה.

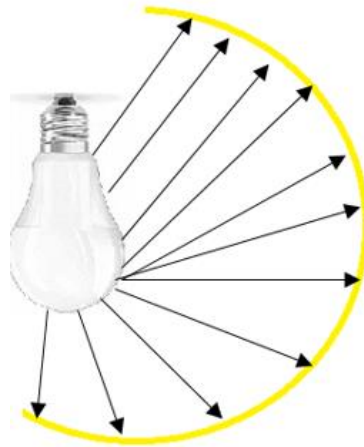
* נמצא את I_{α° מתוך עקומה פוטומטרית הנתונה בתרגיל.

נמצא את זווית α מתוך המשולש על פי:

$$\tan \alpha = \frac{l}{h}$$

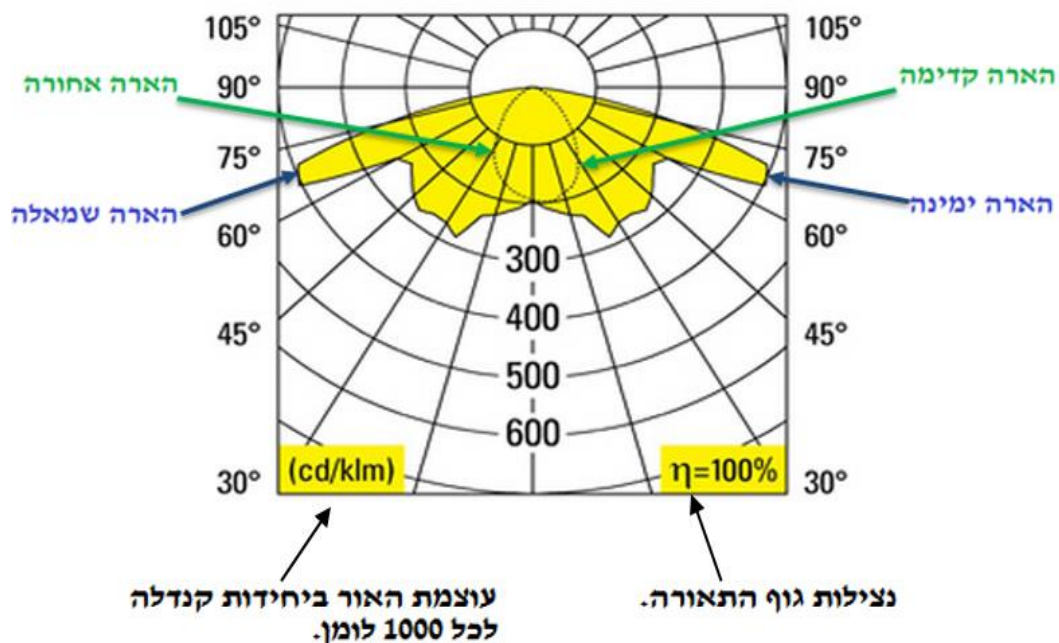
9.3 עקום פוטומטרי (פולארי):

עקום פוטומטרי מתאר את התפלגות עוצמת האור הנפלט ממקור האור. בעקום זה מקור האור יסומן כמקור נקודתי המהווה את מרכז הדיאגרמה אשר ממנו יוצאים קווים ישרים לכל הכיוונים יחסית לעוצמת האור שבכל כיוון. אם נחבר עוצמות האור, ניתן לראות את העקום הפוטומטרי בצבע צהוב.



איור 9.3. עקום פוטומטרי (פולארי) של נורה

בקטלוגים ודפי הנתונים של יצרני גופי תאורה מופיעות שני עקומים פולאריים המאפיינים את התפלגות האור בשני מישורים, אורכי/אנכי (קדימה, אחורה) ורוחבי/ניצב לציר הנורה (ימינה, שמאלה). עקום המקווקו מאפיין את חתך האורכי של/אנכי של פיזור האור המרחבי ואילו העקום הרציף מאפיין את חתך הרוחבי/ניצב לציר הנורה.



איור 9.4. עקום פולארי של גוף תאורה

9.4 שלבי תכנון תאורת פנים על פי שיטת מקדמי ניצול החלל:

כאשר רוצים לבצע תכנון לתאורת פנים באולם כלשהו, בשלב הראשון יש לבצע את השלבים הבאים:

1. לברר על יעוד האולם, סוג תאורה הרצוי, סוג ומבנה גוף תאורה, קביעת רמת הארה המומלצת לאולם זה, מהם מקדמי החזרת האור מהקירות והתקרה, מהם תנאי הסביבה של האולם (עשן- מטבח, אבק-

נגריה, אדים- סאונה, רטיבות ועוד'), תנאי תחזוקה.

2. קבלת ממדי האולם כמו: רוחב (a), אורך (b) וגובה (h).

3. חישוב מקדם האולם R_K בהתאם לסוג תאורה (ישירה או בלתי ישירה).

4. חישוב מקדם ניצול תאורה CU בהתאם לסוג גוף תאורה, החזרה מהתקרה והקירות

ומקדם האולם R_K .

5. חישוב שטף אור כללי Φ_T .

6. חישוב מספר הנורות n .

שלבי תכנון:

1. חישוב מקדם אולם R_K .

תאורה ישירה:

חישוב מקדם אולם R_K יעשה על פי:

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

כאשר:

R_K - מקדם האולם

a [m] - רוחב האולם

b [m] - אורך האולם

h' [m] - מרחק אנכי בין הנורה למשטח עבודה

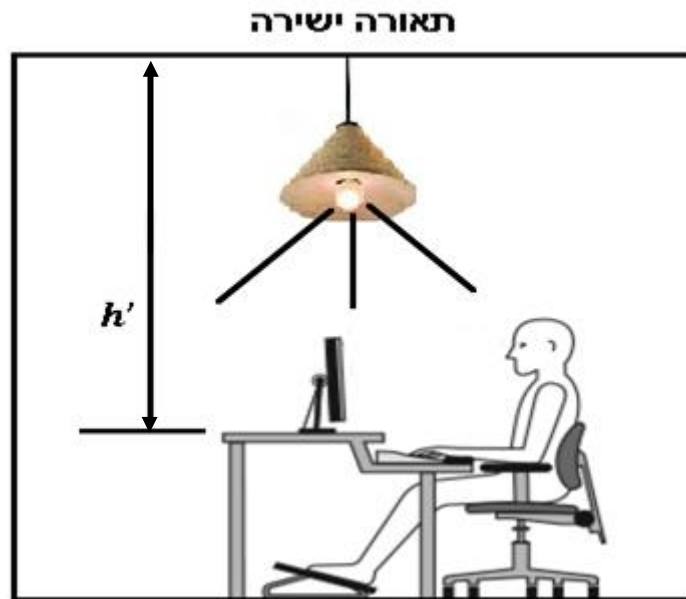
כמו כן:

$$h' = H - h_1$$

H [m] - מרחק אנכי בין התקרה לרצפה

h_1 [m] - גובה משטח עבודה מהרצפה

באיור 9.5 ניתן לראות את התאורה הישירה:



איור 9.5. תאורה ישירה

תאורה בלתי ישירה:

חישוב מקדם אולם R_K יעשה על פי:

$$R_K = \frac{2a + b}{4h}$$

כאשר:

R_K - מקדם האולם.

a [m] - רוחב האולם.

b [m] - אורך האולם.

h [m] - מרחק אנכי בין התקרה ומשטח עבודה.

2. קביעת מקדם ניצול תאורה CU תעשה בהתאם למקדם האולם המחושב R_K , סוג גוף תאורה והחזרה מהתקרה והקירות.

3. קביעת מקדם הפחתה k על פי סוג גוף תאורה ומצב האבק.

4. חישוב שטף כללי Φ_T .

שטף כללי יחושב על פי :

$$\Phi_T = \frac{E_T \cdot a \cdot b}{CU \cdot k}$$

כאשר:

$\Phi_T [lum]$ – כמות שטף האור הדרושה באולם

$E_T [lux]$ – עוצמת הארה הדרושה באולם

$a [m]$ – אורך האולם

$b [m]$ – רוחב האולם

$CU [\%]$ – מקדם ניצול תאורה

k – מקדם הפחתה

* מקדם הפחתה K מתאר את התיישנות הנורות והצטברות אבק עליהן ועל גוף תאורה.

* אם בנוסחה לחישוב שטף כללי מציבים את מקדם ניצול תאורה באחוזים לדוגמה (87%), יש לכפול

את המונה ב 100, אם מציבים את מקדם הנצילות כ (0.87) אין צורך להכפיל את המונה ב 100.

5. חישוב מספר נורות.

מספר נורות יחושב על פי :

$$N = \frac{\Phi_T}{\Phi_o}$$

כאשר:

N – מספר נורות

$\Phi_T [lum]$ – כמות שטף האור הדרושה באולם.

$\Phi_o [lum]$ – שטף אור של נורה.

6. קביעת כמות גופי תאורה על פי כמות נורות המותקנות בכל גוף.

7. קביעת מספר גופי תאורה בכל שורה.

נקבע את מספר גופי תאורה בכל שורה על פי :

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

כאשר:

n - מספר גופי תאורה בכל שורה.

N - מספר נורות.

a [m] – רוחב האולם.

b [m] – אורך האולם.

8. קביעת מספר שורות.

נקבע את מספר השורות על פי :

$$m = \sqrt{\frac{N \cdot b}{a}}$$

כאשר:

m - מספר שורות.

N - מספר נורות.

a [m] – רוחב האולם.

b [m] – אורך האולם.

9. חישוב מרחק אופקי ואנכי בין נורה לנורה.

נחשב את המרחק האופקי בין נורה לנורה על פי :

$$X = \frac{a}{n}$$

כאשר:

X - מרחק אופקי בין מרכז הנורה למרכז הנורה הסמוכה.

a [m] – רוחב האולם.

n – מספר נורות בכל שורה.

נחשב את המרחק האנכי בין נורה לנורה על פי:

$$Y = \frac{b}{m}$$

כאשר:

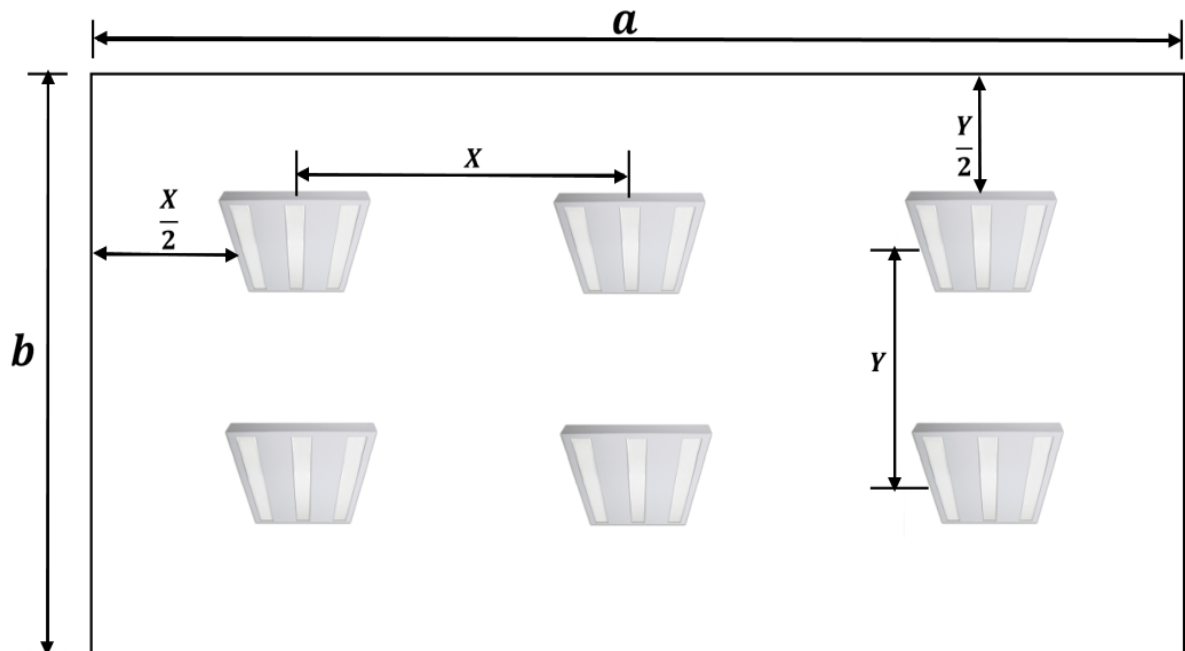
Y - מרחק אופקי בין מרכז הנורה למרכז הנורה הסמוכה.

b [m] – אורך האולם.

m - מספר שורות.

* מומלץ לתכנן שורות גופים בצורה רציפה ובמרחק שווה וזאת בכדי למנוע הצללות והפרשים ברמת הארה.

באיור 9.6 ניתן לראות את פיזור גופי תאורה:



איור 9.6. פיזור גופי תאורה:

9.5. הבהובים ותופעת סטרובוסקופיה

תופעת סטרובוסקופיה מתרחשת אצל נורות פריקה (נתרן, כספית) אשר מופעלות בתדר הרשת. בכל מחזור גל של זרם הרשת הנורה נכבית פעמיים וזאת כאשר גל הזרם חוצה את נקודת האפס. דבר זה פוגע בראייה נכונה של אובייקטים נעים ויוצר אשליה אופטית. ישנה תחושה כי אובייקט מסתובב (מאוורר) נראה כעומד והדבר יכול לגרום לתאונת עבודה. תנודות מהירות בעוצמת האור גורמות להבהובים ולתופעת סטרובוסקופיה. בכדי למנוע תופעה זו מומלץ לחבר את הנורות למעגל תלת מופעי כאשר נורות סמוכות מחוברות למופעים שונים וזאת בכדי לקבל ממוצעת הארה יציבה במקום. כמו כן ניתן להשתמש בהצתה אלקטרונית (הצתה מידית) הפועל בעשרות kH_z הגורמת לחוסר הבהובים שהעין אינה מבחינה כלל עקב תדר גבוה מאוד. כיום ברוב המקומות, הנורות מוחלפות לנורות (LED) שאינן יוצרות הבהובים ותופעה סטרובוסקופית.

דוגמה 1:

יש לתכנן תאורה לחדר ישיבות בעל גובה של 3 מטר, אורך החדר 10 מטר ורוחבו 8 מטר.

נורות הדרושות הן נורות פלואורסצנטיות בעלות שטף של 2500 lum כל אחת המורכבות 15 ס"מ

מהתקרה. התאורה היא תאורה ישירה, רמת האבק מועטה, גובה שולחנות הוא 80 ס"מ ורמת הארה

המומלצת בחדר היא 400 lux . טבלה הבאה מציינת את נצילות האורית של המקום ביחס למקדם הפחתה

ומקדמי החזרה של הקירות והתקרה.

$CU(\%)$	R_K
58	1.5
61	2
68	3
71	5

טבלה 9.4 לדוגמה 1

א. חשב את מקדם האולם R_K .

ב. קבע את מקדם ניצול תאורה CU בהתאם למקדם האולם R_K .

ג. קבע את מקדם הפחתה k .

ד. חשב את שטף הכללי הנדרש.

ה. כמה גופי תאורה יש להתקין כאשר ידוע כי בכל גוף תאורה ישנן 2 נורות.

ו. מהו ההספק הכללי של המתקן כאשר נתון שהספק של כל נורה הוא 21 W .

פתרון דוגמה 1:

נתונים:

$$H = 3(m); a = 10(m); b = 8(m); h_1 = 0.8(m); h_{\text{טון}} = 0.15(m); \phi_0 = 2500(\text{lum}); E = 400(\text{lux})$$

א.

נחשב את מקדם האולם על פי:

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

נחשב את מרחק אנכי בין הנורה למשטח עבודה (h') על פי:

$$h' = H - h_1 - h_{\text{טון}}$$

מכאן:

$$h' = 3 - 0.8 - 0.15 = 2.05(m)$$

לכן:

$$R_K = \frac{2 \cdot 8}{2.05 \cdot (10 + 8)} = 2.17$$

$$R_K = 2.17$$

ב.

נחשב את מקדם ניצול התאורה על פי:

$$CU = \frac{CU_2 - CU_1}{R_{K2} - R_{K1}} \cdot (R_K - R_{K1})$$

נתבונן בטבלה הבאה:

$CU(\%)$	R_K
58	1.5
61	2
68	3
71	5

מכוון שמקדם האולם R_K נמצא בין 2 ל 3 נכתוב את הנתונים הבאים:

$$CU_1 = 61 ; CU_2 = 68 ; R_{K1} = 2 ; R_{K2} = 3 ; R_K = 2.17$$

מכאן:

$$CU = \frac{68 - 61}{3 - 2} \cdot (2.17 - 2) = 1.19\% \longrightarrow CU_{(R_K=2.17)} = 68 + 1.19 = 69.19\%$$

$$CU_{(R_K=2.17)} = 69.19\%$$

ג.

נקבע את מקדם הפחתה על פי סוג גוף תאורה, סוג נורה ורמת האבק.

נתבונן בטבלה הבאה:

תאורה פלורסנטית		תאורת כספית		תאורת ליבון		סוג התאורה	סוג גופי התאורה
מרובה	מועט	מרובה	מועט	מרובה	מועט	מצב האבק	
0.55	0.75	0.6	0.8	0.6	0.85	גופים לתאורה ישירה גופים לתאורה שווה גופים לתאורה בלתי ישירה	
0.37	0.7	0.4	0.7	0.4	0.75		
0.3	0.6	0.35	0.65	0.35	0.7		

על פי נתוני התרגיל והטבלה ניתן לראות כי:

$k = 0.75$

ד.

נחשב את שטף הכללי הנדרש על פי:

$$\Phi_T = \frac{E_T \cdot a \cdot b \cdot 100}{CU \cdot k}$$

מכאן:

$$\Phi_T = \frac{400 \cdot 10 \cdot 8 \cdot 100}{69.19 \cdot 0.75} = 61,666 \text{ (lum)}$$

$\Phi_T = 61,666 \text{ (lum)}$

ה.

נחשב את מספר הנורות על פי:

$$n_{\text{מספר נורות}} = \frac{\Phi_T}{\Phi_o}$$

מכאן:

$$N_{\text{מספר נורות}} = \frac{61,666}{2500} = 24.66 \approx 26$$

מכוון שבכל גוף תאורה ישנן 2 נורות, יש צורך ב 13 גופי תאורה.

ו.

נחשב את ההספק כללי על פי:

$$P_T = P_o \cdot N_{\text{מספר נורות}}$$

מכאן:

$$P_T = 21 \cdot 26 = 546(W)$$

$P_T = 546(W)$

דוגמה 2:

יש לתכנן תאורת פנים לחדר אוכל שאורכו $20m$ מטר ורוחבו $40m$. גובה התקרה הוא 3 מטר. נצילות מתקן התאורה הוא 85% ומקדם הפחתה 0.7 . רמת הארה הדרושה במקום היא $400lux$, הנורות הדרושות הן נורות פלואורסצנטיות בעלות שטף של $4900lum$ והספק כל נורה הוא $54W$. הספק איבודי האנרגיה בציווד העזר מהווה 5% מהספק הנורה.

א. חשב את יעילות האורית (נצילות האורית) של הנורה.

ב. חשב את מספר הנורות הדרושות בכדי להשיג את רמת הארה הרצויה.

ג. חשב את מספר גופי התאורה הדרושים.

ד. חשב את ההספק החשמלי הכולל של תאורת חדר אוכל.

ה. קבע את מיקומם של גופי התאורה.

פתרון לדוגמה 2:

א.

נחשב את יעילות האורית (נצילות) על פי:

$$\eta_E = \frac{\Phi_o}{P_o}$$

מכאן:

$$\eta_E = \frac{4900}{54} = 90.74 \left(\frac{lum}{W} \right)$$

$$\boxed{\eta_E = 90.74 \left(\frac{lum}{W} \right)}$$

ב.

נחשב את מספר הנורות הדרושות על פי:

$$N = \frac{\Phi_T}{\Phi_o}$$

נחשב את שטף הכללי של המקום על פי:

$$\Phi_T = \frac{E_T \cdot a \cdot b}{CU \cdot k}$$

מכאן:

$$\Phi_T = \frac{400 \cdot 40 \cdot 20}{0.85 \cdot 0.7} = 537815.13(lum)$$

נחשב את מספר על פי:

$$N_{\text{מספר נורות}} = \frac{\Phi_T}{\Phi_o}$$

מכאן:

$$N_{\text{מספר נורות}} = \frac{537815.13}{4900} = 109.76$$

$$N_{\text{מספר נורות}} = 110$$

ג.

מכוון שנתון כי בכל גוף תאורה ישנם 2 נורות, יש צורך ב 55 גופי תאורה.

ד.

נחשב את ההספק כללי על פי:

$$P_T = P_o \cdot N_{\text{מספר נורות}}$$

על פי נתוני התרגיל הספק איבודי האנרגיה בציווד העזר מהווה 5% מהספק הנורה לכן:

$$P_o = 1.05 \cdot 54 = 56.7 \text{ (W)}$$

מכאן:

$$P_T = 56.7 \cdot 110 = 6237(W)$$

$$P_T = 6237(W)$$

ה.

נחשב את מספר נורות בשורה על פי:

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

מכאן:

$$n = \sqrt{\frac{110 \cdot 40}{40}} = 14.8 \approx 15$$

נחשב את מספר שורות על פי:

$$m = \sqrt{\frac{N \cdot b}{a}}$$

מכאן:

$$m = \sqrt{\frac{110 \cdot 20}{40}} = 7.42 \approx 8$$

נחשב את המרחק האופקי בין נורה לנורה על פי:

$$X = \frac{a}{n}$$

מכאן:

$$X = \frac{40}{15} = 2.67(m)$$

נחשב את המרחק האנכי בין נורה לנורה על פי:

$$Y = \frac{b}{m}$$

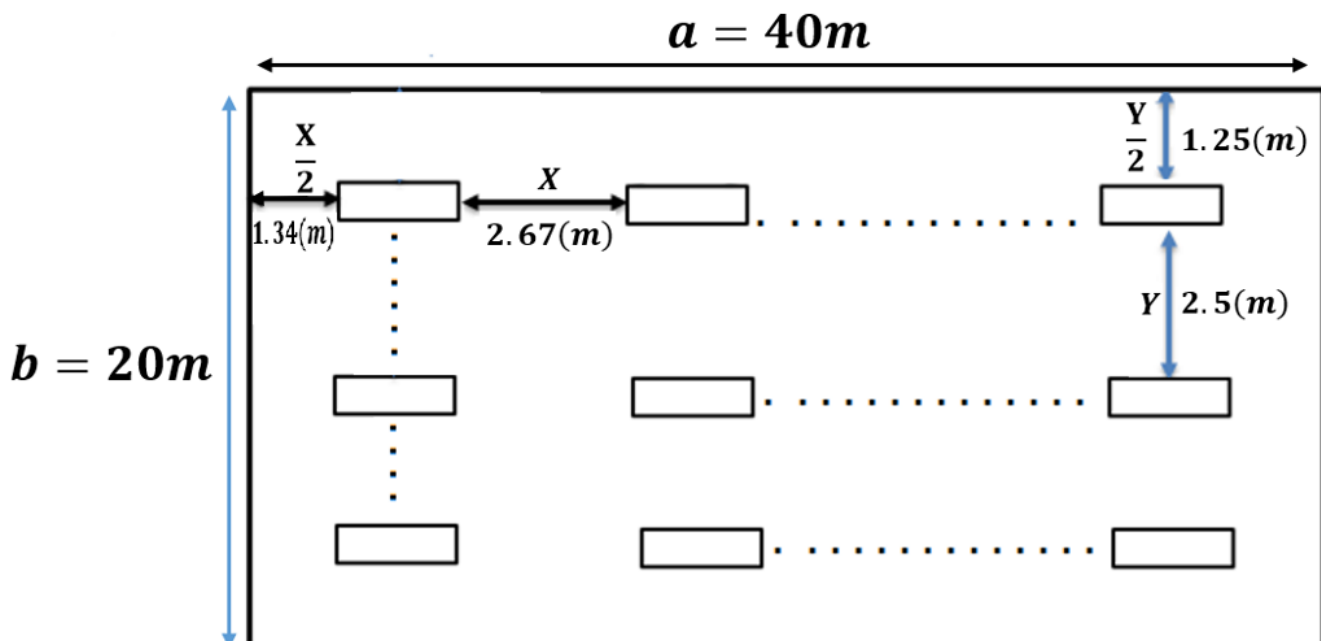
מכאן:

$$Y = \frac{20}{8} = 2.5(m)$$

נחשב את המרחקים בין הנורות לקירות:

$$\frac{X}{2} = \frac{2.67}{2} = 1.34(m) ; \frac{Y}{2} = \frac{2.5}{2} = 1.25(m)$$

מכאן:



דוגמה 3:

גופים בעלי 2 נורות פלואורסצנטיות כל אחד מורכבים בצמוד לתקרה ומאירים אולם עבודה ששטחו $150m^2$. הספק כל נורה 65W ונצילות אורית של $70lm/W$. נורות אלו כוללות ציוד עזר המהוות 10% מהספק הנורה. רמת הארה הנדרשת באולם עבודה היא $500lux$. מקדם ניצול תאורה 85% ומקדם הפחתה 0.75.

א. חשב את מספר גופי תאורה הנדרש בכדי להשיג את רמת הארה הנדרשת.

ב. חשב את הספק הצריכה הכולל של גופי תאורה.

ג. באולם עבודה קיימות מכוונות מסתובבות היכולות לגרום לבעיה בטיחותית. ציין את שם הבעיה היכולה לגרום לבעיה וכיצד ניתן לפתור זאת.

פתרון לדוגמה 3:

א.

$$N_{\text{מספר גופים}} = 13$$

ב.

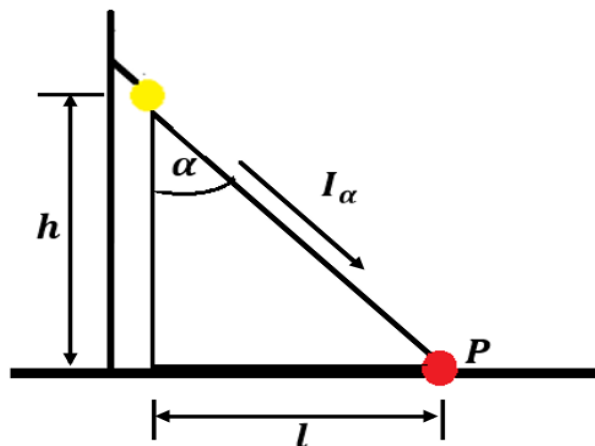
$$P_T = 1859(W)$$

ג.

ראה הסבר.

9.6 שלבי תכנון תאורה על פי שיטה נקודתית:

לצורך הבנת שלבי תכנון על פי שיטה נקודתית נתבונן באיור הבא:



כאשר:

α [°] – זווית בין ניצב h לניצב l .

h [m] – גובה מקור האור מעל משטח הארה.

l [m] – מרחק בין מקור האור לבין נקודת בדיקה P.

I_α [cd] – עצמת הארה בזווית α .

1. חישוב זווית α .

נחשב את זווית α באמצעות:

$$\tan \alpha = \frac{l}{h}$$

* במידה ונתון לי אורך ורוחב של המשטח אותו אנו מעוניינים להאיר, נחשב את המרחק l על פי משפט פיתגורס, כלומר:

$$l = \sqrt{a^2 + b^2}$$

כאשר:

a [m] – רוחב משטח עבודה.

b [m] – אורך משטח עבודה.

2. חישוב עוצמת האור I_α .

נחשב את עוצמת האור I_α על פי:

$$I_\alpha = \frac{I_{\alpha^\circ}}{1000} \cdot \Phi_o$$

כאשר:

I_α [cd] – עצמת הארה בזווית α .

I_{α° [cd/1000lm] – עצמת הארה לכל 1000lm מתוך דיאגרמה פולארית.

Φ_o [lum] – שטף אור של נורה.

* כאשר נתונה טבלה של עצמת הארה I_{α° בתלות בזווית, נבצע אינטרפולציה למציאת עצמת הארה I_{α° לפי זווית שחושבה.

דוגמה 4:

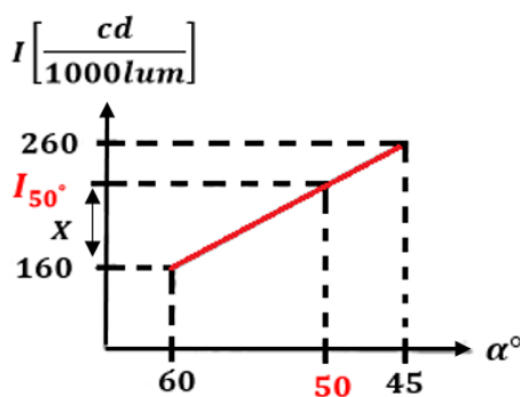
נתונה טבלה של עצמת הארה I_{α° בתלות בזווית הארה α .

105	90	75	60	45	30	15	0	α°
40	60	110	160	260	220	200	150	$I_{\alpha^\circ} \left[\frac{cd}{1000lm} \right]$

חשב את עצמת הארה I_{α° כאשר ידוע $\alpha = 50^\circ$.

פתרון לדוגמה 4:

נתבונן באיור הבא:



נבצע חישוב הבא:

$$\frac{x}{60 - 50} = \frac{260 - 160}{60 - 45} \longrightarrow x = 66.67$$

מכאן:

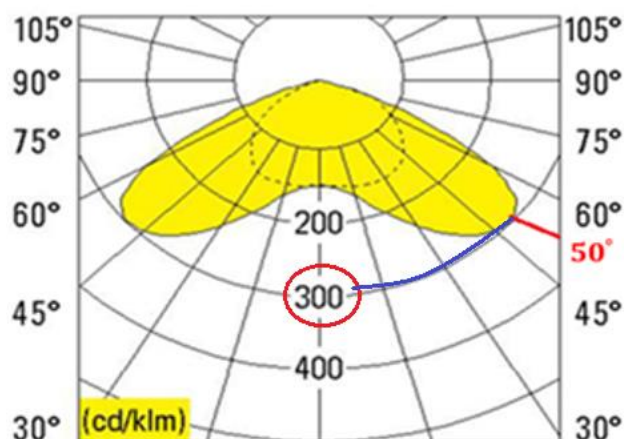
$$I_{50^\circ} = 160 + 66.67 = 226.67 \text{ (cd/1000lm)}$$

$$I_{50^\circ} = 226.67 \text{ (cd/1000lm)}$$

* במידה ונתון עקום פולארי של גוף תאורה, ניתן למצוא את I_{α° על ידי מפגש של קו היוצא מהזווית שמצאנו עם עקום פולארי. נרד על הקשת לכיוון ערכים של עוצמות הארה ונבחר את העוצמה המתאימה.

דוגמה 5:

נתון עקום פולארי של גוף תאורה.



חשב את עצמת הארה $I_{\alpha^{\circ}}$ כאשר ידוע $\alpha = 50^{\circ}$.

פתרון לדוגמה 5:

נבחר את הזווית הרצויה ונעביר קו לכיוון עקום פולארי. נרד עם הקשת ונראה כי עצמת הארה המתאימה לזווית של α היא $300cd/100lum$.

מכאן:

$$I_{50^{\circ}} = 300 (cd/100lum)$$

3. חישוב רמת הארה E_p :

נחשב את רמת הארה על פי:

$$E_p = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos^3 \alpha}{h^2}$$

כאשר:

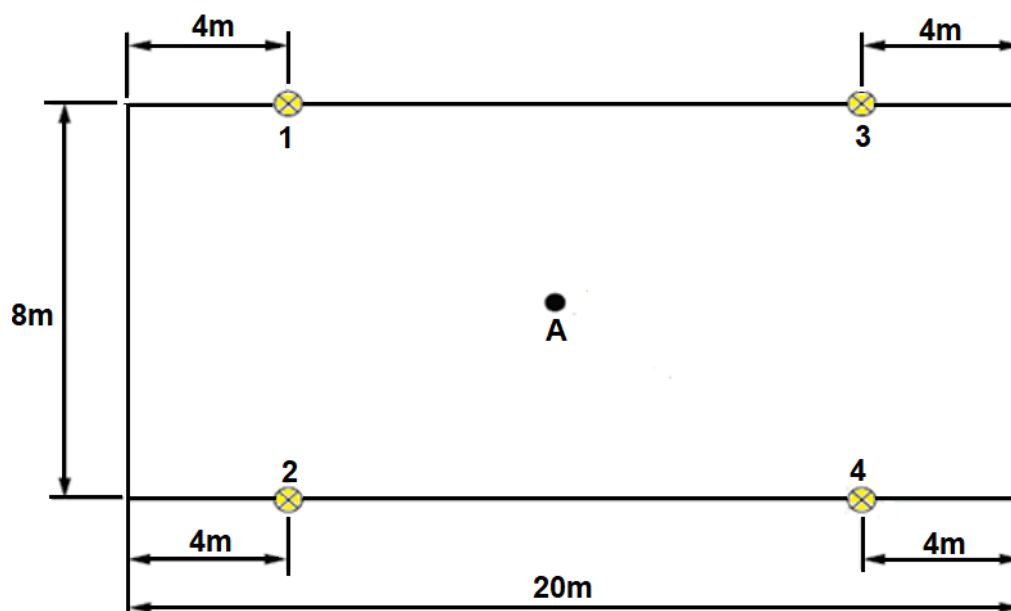
$E_p [lux]$ – רמת הארה בנקודה P.

$I_{\alpha} [cd]$ – עצמת הארה בזווית α .

$h [m]$ – גובה מקור האור מעל משטח הארה.

דוגמה 6:

באיור א' לדוגמה 6 נתון מגרש מלבני הכולל ארבע גופי תאורה המאירים את המגרש, גופים אלו נמצאים בגובה של $8m$, בכל גוף תאורה ישנה נורה אחת מסוג נל"ג. הספק הנורה $250W$ ונצילות האורית $100 \frac{lum}{w}$. עקום התפלגות פולארית של עוצמת האור של גוף תאורה מתואר באיור ב' לדוגמה 6.



איור א' לדוגמה 6

105	90	75	60	45	30	15	0	α°
-	-	100	230	300	250	220	200	$I \left[\frac{cd}{1000lum} \right]$

איור ב' לדוגמה 6

א. חשב את שטף האור של הנורה.

ב. חשב את רמת ההארה בנקודה A הנמצאת במרכז המגרש.

פתרון לדוגמה 6:

(א)

נחשב את שטף הנורה Φ_0 על פי:

$$\Phi_0 = P_0 \cdot \eta_E$$

מכאן:

$$\Phi_0 = 250 \cdot 100 = 25000(lum)$$

$$\Phi_0 = 25000(lum)$$

(ב)

מכוון שכל ארבעת גופי התאורה נמצאים באותו מרחק ביחס לנקודה A, נחשב את תרומתו של גוף אחד ונכפיל פי 4.

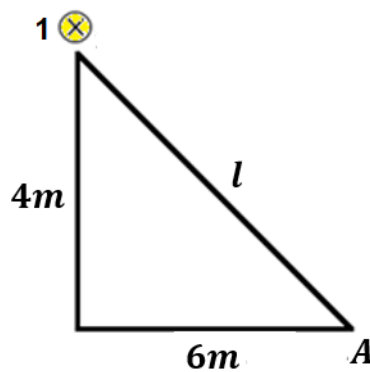
מכאן:

$$E_A = 4 \cdot E_{1-A}$$

נחשב את רמת הארה E_{1-A} על פי:

$$E_{1-A} = \frac{I_\alpha \cdot \cos \alpha_{1-A}^3}{h^2}$$

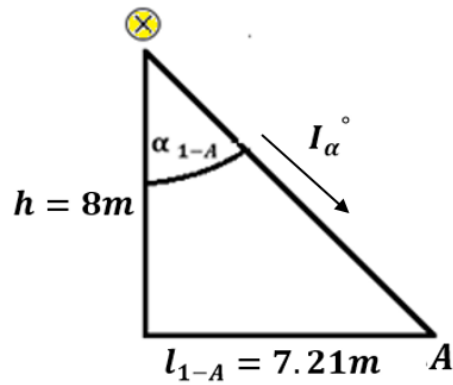
נחשב את המרחק l מעמוד 1 כלפי נקודה A על פי משפט פיתגורס ונעזר במשולש הבא:



מכאן:

$$l_{1-A} = \sqrt{4^2 + 6^2} = 7.21(m)$$

נחשב את זווית α בין עמוד תאורה לנקודה A על פי משפט פיתגורס, נעזר במשולש הבא:

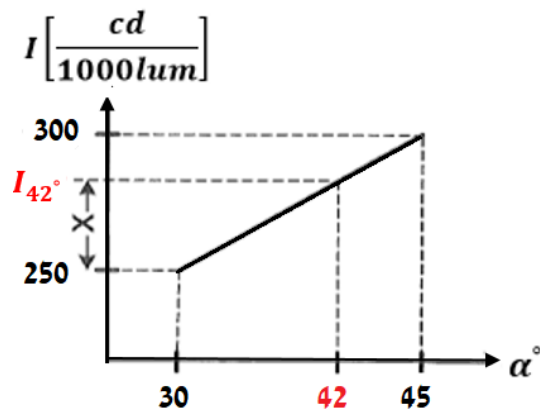


מכאן:

$$\tan \alpha_{1-A} = \frac{7.21}{8} \longrightarrow \alpha_{1-A} = 42^{\circ}$$

מכוון שבטבלה לא מופיע זווית של 42° , נבצע אינטרפולציה ונמצא את עוצמת הארה המתאימה.

נתבונן באיור הבא:



מכאן:

$$\frac{X}{42 - 30} = \frac{300 - 250}{45 - 30} \longrightarrow X = 40 \left(\frac{cd}{1000lum} \right)$$

$$I_{42^{\circ}} = 250 + 40 = 290 \left(\frac{cd}{1000lum} \right)$$

נחשב את I_{α} על פי:

$$I_{\alpha} = \frac{I_{\alpha^{\circ}}}{1000} \cdot \Phi_0$$

לכן:

$$I_{\alpha} = \frac{290}{1000} \cdot 25000 = 4450(cd)$$

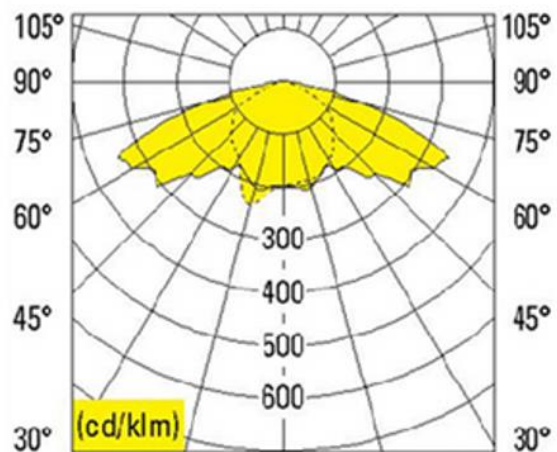
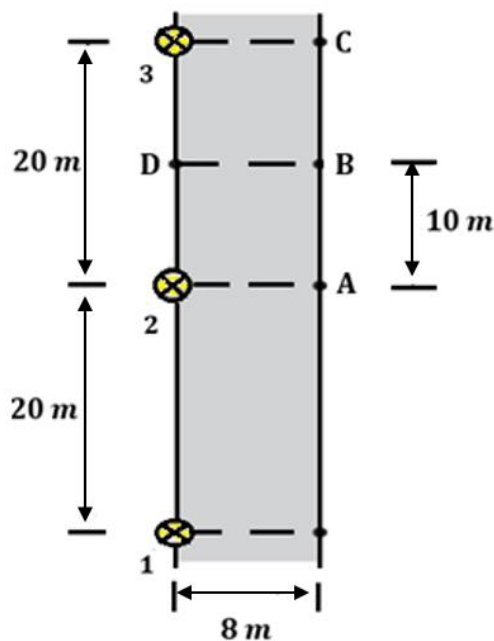
$$E_{1-A} = \frac{4450 \cdot \cos 42^\circ}{8^2} = 28.54 \text{ (lux)}$$

$$E_A = 4 \cdot 28.54 = 114.15 \text{ (lux)}$$

$$E_A = 114.15 \text{ (lux)}$$

דוגמה 7

באיור לדוגמה 7 נתון קטע של רחוב שרוחבו $8m$ ועקום פולארי של גוף תאורה. קטע זה מואר על ידי שלושה גופי תאורה המסומנים 1-3. גובהו של כל עמוד תאורה הוא $12m$ וגובהו של כל גוף תאורה הוא 90% מגובה העמוד. בכדי לחסוך באנרגיה החליטו להתקין בכל גוף תאורה תאורת LED בהספק של $100W$ ושטף אור של $10500lum$.

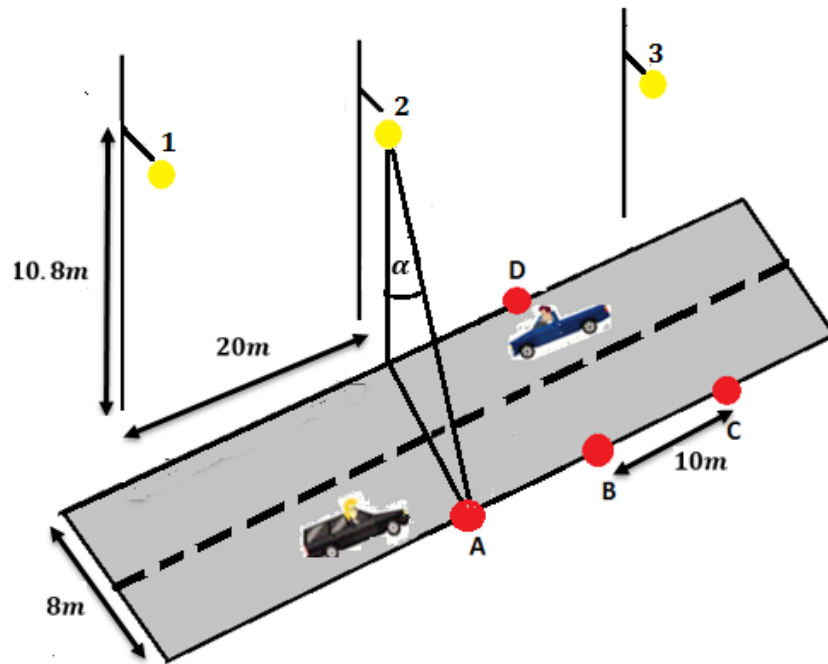


איור לדוגמה 7

- חשב את רמת הארה של עמוד תאורה יחיד כאשר עוצמת האור היא מקסימלית (אין להתייחס לעמודי תאורה נוספים).
- איכן תתקבל רמת הארה מקסימלית? חשב רמת הארה זו.
- חשב את רמות הארה בנקודות A, B, C .

(א)

לצורך ההבנה נתבונן באיור הבא:



איור לדוגמה 7

נחשב את גובה גוף התאורה ביחס לכביש על פי:

$$h = 0.9 \cdot h_{\text{עמוד}}$$

מכאן:

$$h = 0.9 \cdot 12 = 10.8(m)$$

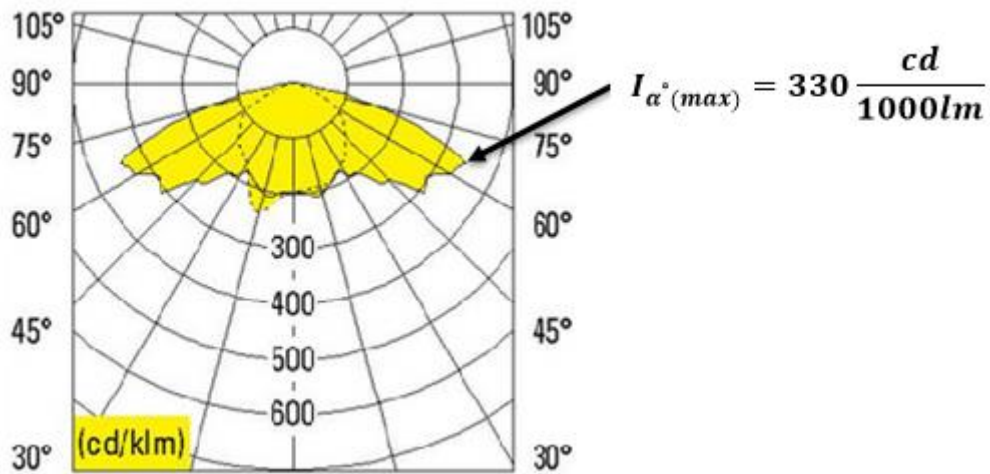
נחשב את רמת הארה על פי:

$$E = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos \alpha^3}{h^2}$$

נחשב את I_{α} על פי:

$$I_{\alpha} = \frac{I_{\alpha^{\circ}}}{1000} \cdot \Phi_0$$

על פי עקום פולארי:



* עוצמת הארה מקסימלית מתקבלת כאשר $\alpha \cong 65^\circ$.

נמצא את I_α :

$$I_{\alpha(max)} = \frac{330}{1000} \cdot 10500 = 3465(cd)$$

מכאן:

$$E = \frac{3465 \cdot (\cos 65)^3}{10.8^2} = 2.24(lux)$$

$$E = 2.24(lux)$$

(ב)

רמת הארה מקסימלית מתקבלת כאשר $\alpha = 0^\circ$. כלומר הנקודה שבה עוצמת הארה תהיה מקסימלית היא נקודה מתחת לגוף התאורה.

על פי עקומה פולארית:

$$I_0 = 200 \left(\frac{cd}{1000lum} \right)$$

נמצא את I_α :

$$I_\alpha = \frac{200}{1000} \cdot 10500 = 2100(cd)$$

מכאן:

$$E_{max} = \frac{2100 \cdot 1^3}{10.8^2} = 18(lux)$$

$$E_{max} = 18lux$$

עוצמת הארה בנקודה A היא תרומה של שלושת גופי תאורה, מכאן:

$$E_A = E_{1-A} + E_{2-A} + E_{3-A}$$

מכוון שגוף תאורה 1 וגוף תאורה 3 נמצאים באותו מרחק ביחס לנקודה A, נבצע חישוב עבור אחד מהם ונכפיל פי-2.

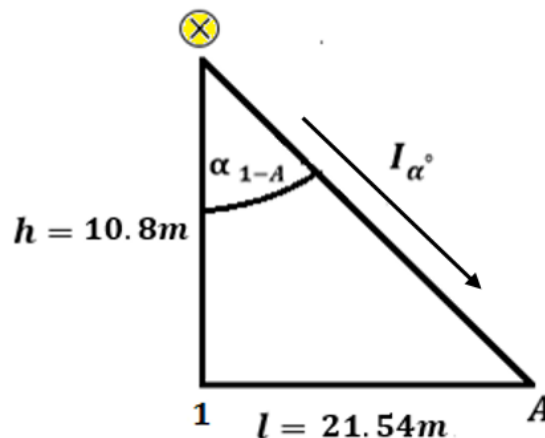
נחשב את רמת הארה E_{1-A} על פי:

$$E_{1-A} = \frac{I_\alpha \cdot \cos \alpha_{1-A}^3}{h^2}$$

נחשב את המרחק מעמוד 1 כלפי נקודה A על פי משפט פיתגורס:

$$l_{1-A} = \sqrt{20^2 + 8^2} = 21.54(m)$$

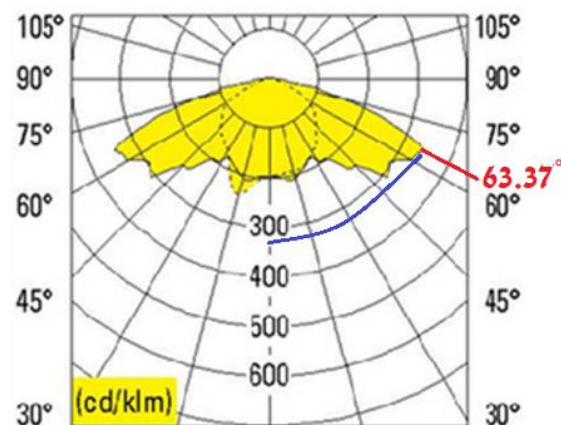
נתבונן באיור הבא:



מכאן:

$$\tan \alpha_{1-A} = \frac{21.54}{10.8} \longrightarrow \alpha_{1-A} = 63.37^\circ$$

נמצא את I_α על פי עקום פולארי כאשר $\alpha_{1-A} = 63.37^\circ$:



מכאן:

$$I_{63.37^\circ} = (320cd/1000lm)$$

נמצא את I_α :

$$I_\alpha = \frac{320}{1000} \cdot 10500 = 3360(cd)$$

מכאן:

$$E_{1-A} = \frac{3360 \cdot (\cos 63.37)^3}{10.8^2} = 2.59(lux)$$

$$E_{1-A} = E_{3-A} = 2.59(lux)$$

רמת הארה בנקודה E_{2-A} תחושב על פי:

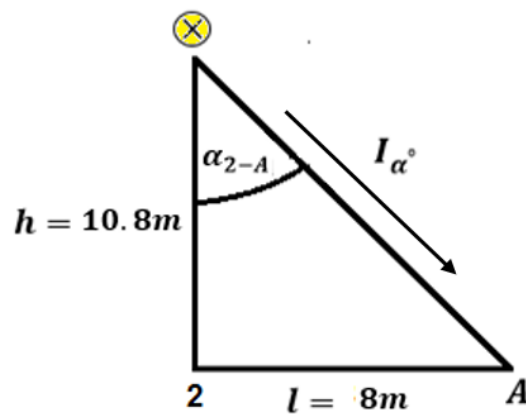
$$E_{2-A} = \frac{I_\alpha \cdot \cos \alpha_{2-A}^3}{h^2}$$

על פי נתוני התרגיל מרחק בין גוף תאורה 2 לקודה A הוא $8m$.

מכאן:

$$l_{2-A} = 8(m)$$

נתבונן באיור הבא:



מכאן:

$$\tan \alpha_{2-A} = \frac{8}{10.8} \longrightarrow \alpha_{2-A} = 36.53^\circ$$

נמצא את I_{α° על פי עקומה פולארית כאשר $\alpha_{2-A} = 36.53^\circ$:

$$I_{36.53^\circ} = 210(cd/1000lm)$$

נמצא את I_{α} :

$$I_{\alpha} = \frac{210}{1000} \cdot 10500 = 2205(cd)$$

מכאן:

$$E_{2-A} = \frac{2205 \cdot (\cos 36.53)^3}{10.8^2} = 9.83(lux)$$

לכן:

$$E_A = 2 \cdot 2.59 + 9.83 = 15(lux)$$

$E_A = 15(lux)$

עוצמת הארה בנקודה B היא תרומה של שלושת גופי תאורה, מכאן:

$$E_B = E_{1-B} + E_{2-B} + E_{3-B}$$

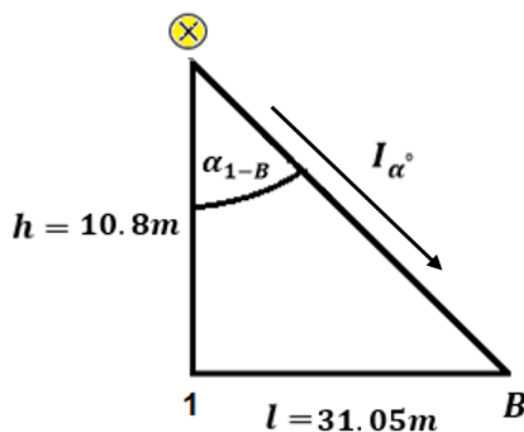
נחשב את רמת הארה E_{1-B} על פי:

$$E_{1-B} = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos \alpha_{1-B}^3}{h^2}$$

נחשב את המרחק מעמוד 1 כלפי נקודה B על פי פיתגורס:

$$l_{1-B} = \sqrt{30^2 + 8^2} = 31.05(m)$$

נתבונן באיור הבא:



מכאן:

$$\tan \alpha_{1-B} = \frac{31.05}{10.8} \longrightarrow \alpha_{1-B} = 70.82^\circ$$

נמצא את I_{α° על פי עקומה פולארית כאשר $\alpha_{1-B} = 70.82^\circ$:

$$I_{\alpha^\circ} = 320(cd/1000lm)$$

נמצא את I_{α} :

$$I_{\alpha} = \frac{320}{1000} \cdot 10500 = 3360(cd)$$

מכאן:

$$E_{1-B} = \frac{3360 \cdot (\cos 70.82)^\circ}{10.8^2} = 1.02(lux)$$

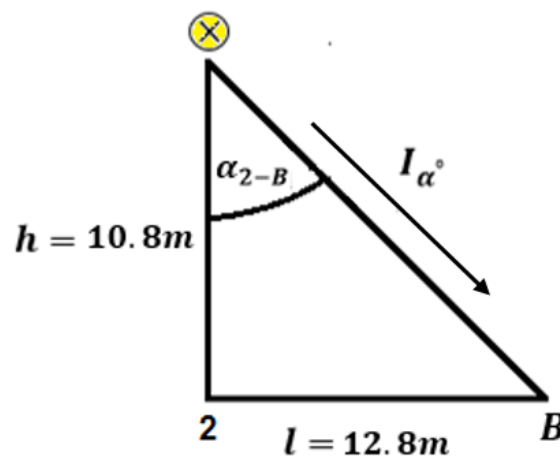
נחשב את רמת הארה E_{2-B} על פי:

$$E_{2-B} = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos \alpha_{2-B}^3}{h^2}$$

נחשב את המרחק מעמוד 2 כלפי נקודה B על פי פיתגורס:

$$l_{2-B} = \sqrt{10^2 + 8^2} = 12.8(m)$$

נתבונן באיור הבא:



מכאן:

$$\tan \alpha_{2-B} = \frac{12.8}{10.8} \longrightarrow \alpha_{2-B} = 49.84^\circ$$

נמצא את $I_{\alpha^{\circ}}$ על פי עקומה פולארית כאשר $\alpha_{2-B} = 49.84^{\circ}$:

$$I_{\alpha^{\circ}} = 300(cd/1000lm)$$

נמצא את I_{α} :

$$I_{\alpha} = \frac{300}{1000} \cdot 10500 = 3150(cd)$$

מכאן:

$$E_{2-B} = \frac{3300 \cdot (\cos 49.84)^3}{10.8^2} = 7.59(lux)$$

עקב סימטריות כלפי נקודה B :

$$E_{2-B} = E_{3-B} = 7.59(lux)$$

מכאן:

$$E_B = 1.02 + 2 \cdot 7.59 = 16.2(lux)$$

$E_B = 16.2(lux)$

עוצמת הארה בנקודה C היא תרומה של שלושת גופי תאורה, מכאן:

$$E_C = E_{1-C} + E_{2-C} + E_{3-C}$$

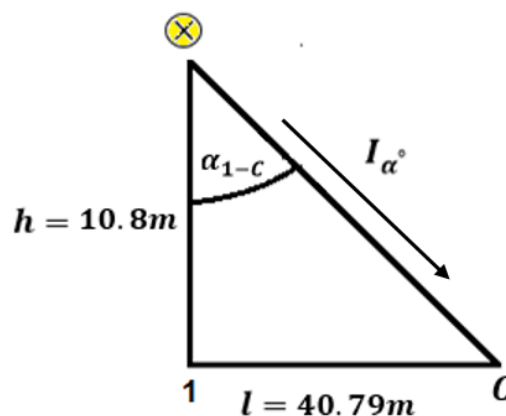
נחשב את רמת הארה E_{1-C} על פי:

$$E_{1-C} = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos \alpha_{1-C}^3}{h^2}$$

נחשב את המרחק מעמוד 1 כלפי נקודה C על פי פיתגורס:

$$l_{1-C} = \sqrt{40^2 + 8^2} = 40.79(m)$$

נתבונן באיור הבא:



מכאן:

$$\tan \alpha_{1-c} = \frac{40.79}{10.8} \longrightarrow \alpha_{1-c} = 75.2^\circ$$

נמצא את I_{α° על פי עקומה פולארית כאשר $\alpha_{1-c} = 75.2^\circ$:

$$I_{\alpha^\circ} = 100(cd/1000lm)$$

נמצא את I_{α} :

$$I_{\alpha} = \frac{100}{1000} \cdot 1050 = 1050(cd)$$

מכאן:

$$E_{1-c} = \frac{1050 \cdot (\cos 75.2)^\circ}{10.8^2} = 0.153(lux)$$

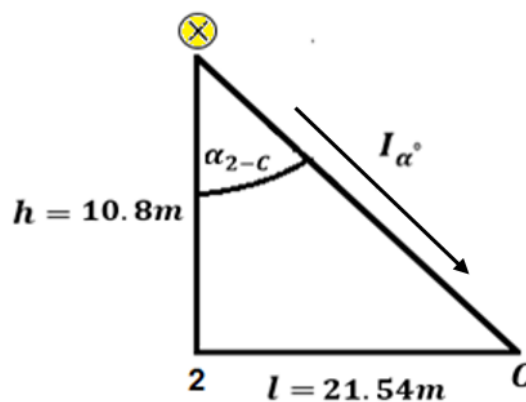
נחשב את רמת הארה E_{2-c} על פי:

$$E_{2-c} = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos \alpha_{2-c}^3}{h^2}$$

נחשב את המרחק מעמוד 2 כלפי נקודה C על פי פיתגורס:

$$l_{2-c} = \sqrt{20^2 + 8^2} = 21.54(m)$$

נתבונן באיור הבא:



מכאן:

$$\tan \alpha_{2-c} = \frac{21.54}{10.8} \longrightarrow \alpha_{2-c} = 63.37^\circ$$

נמצא את I_{α° על פי עקומה פולארית כאשר $\alpha_{2-c} = 63.37^\circ$:

$$I_{\alpha^\circ} = 320(cd/1000lm)$$

נמצא את I_{α} :

$$I_{\alpha} = \frac{320}{1000} \cdot 10500 = 3360(cd)$$

מכאן:

$$E_{2-c} = \frac{3360 \cdot (\cos 63.37)^3}{10.8^2} = 1.02(lux)$$

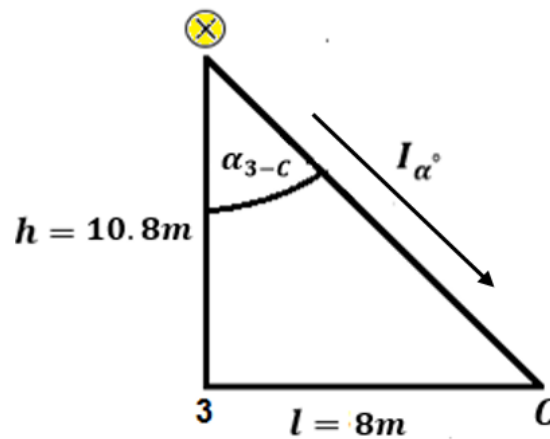
נחשב את רמת הארה E_{3-c} על פי:

$$E_{3-c} = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos \alpha_{3-c}^3}{h^2}$$

על פי נתוני התרגיל:

$$l_{3-c} = 8(m)$$

נתבונן באיור הבא:



מכאן:

$$\tan \alpha_{3-c} = \frac{8}{10.8} \longrightarrow \alpha_{3-c} = 36.53^\circ$$

נמצא את I_{α° על פי עקומה פולארית כאשר $\alpha_{3-c} = 36.53^\circ$:

$$I_{36.53^\circ} = 210(cd/1000lm)$$

נמצא את I_α :

$$I_\alpha = \frac{210}{1000} \cdot 10500 = 2205(cd)$$

מכאן:

$$E_{3-c} = \frac{2205 \cdot (\cos 36.53)^3}{10.8^2} = 9.83(lux)$$

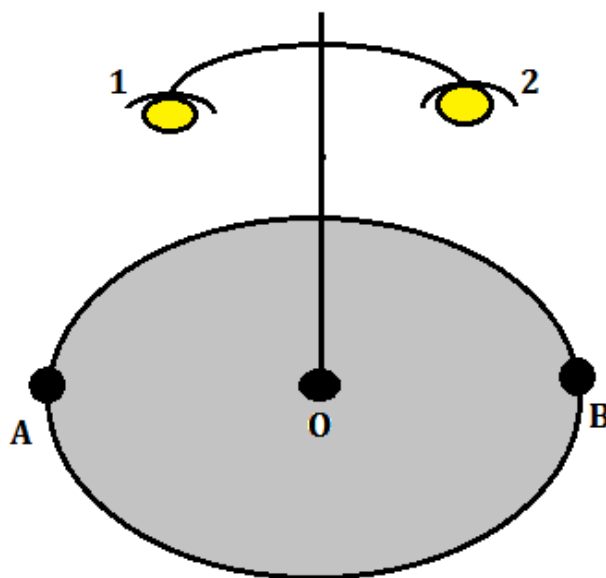
$$E_c = 0.153 + 1.02 + 9.83 = 11(lux)$$

$E_c = 11(lux)$

דוגמה 8:

באיור לדוגמה 8 מעוניינים להאיר משטח עגול שבגן המשחקים באמצעות שני גופי תאורה. כל גוף תאורה מכיל נורת LED בעלת הספק של $64W$ ושטף אור של $7220lum$.

גוף תאורה זה בנוי בצורת חצי כדור המאיר בזווית מרחבית של 2π סטרדיאן, הפונה כלפי מטה ונמצא בגובה 7 מטר מהמשטח המואר. עוצמת האור אחידה בכל הזוויות. מרחקם של גופי תאורה 1 ו 2 ממרכז המשטח 0 שווה למחצית מרדיוס המשטח. קוטרו של המשטח הוא 20 מטר.



איור לדוגמה 8

א. חשב את הנצילות האורית של כל אחת מהנורות?

ב. חשב את עוצמת ההארה של הנורה?

ג. חשב את רמת ההארה, שתתקבל תחת גוף תאורה 1, במידה וגוף תאורה 2 אינו דולק.

(א)

נחשב את נצילות האורית של הנורות על פי:

$$\eta_E = \frac{\Phi}{P}$$

מכאן:

$$\eta_E = \frac{7220}{64} = \left(112.8 \frac{lum}{W}\right)$$

$$\boxed{\eta_E = \left(112.8 \frac{lum}{W}\right)}$$

(ב)

נחשב את עוצמת אור האחידה I על פי:

$$I = \frac{\Phi}{\omega}$$

מכאן:

$$I = \frac{7220}{2\pi} = 1149.1(cd)$$

$$\boxed{I = 1149.1(cd)}$$

(ג)

כאשר מעוניינים לחשב רמת הארה מתחת לגוף תאורה, $\alpha = 0^\circ$.

נחשב את רמת הארה E_{3-c} על פי:

$$E_p = \frac{I_\alpha \cdot \cos \alpha^3}{h^2}$$

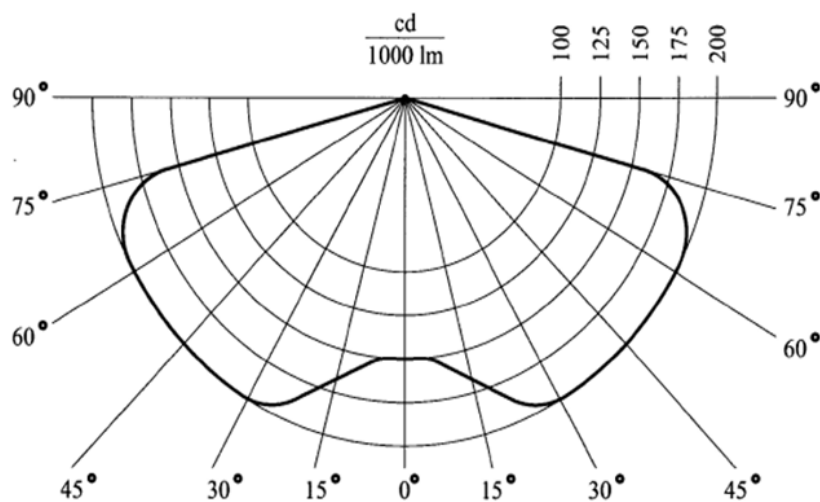
מכאן:

$$E_p = \frac{1149.1 \cdot 1}{7^2} = 23.45 lux$$

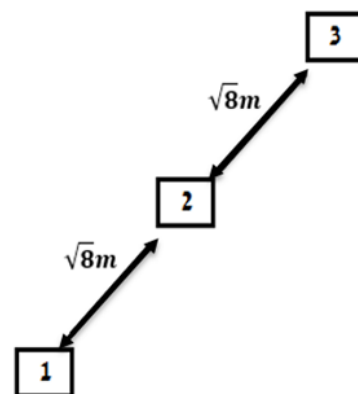
$$\boxed{E_p = 23.45 lux}$$

דוגמה 9:

נדרשים לתכנן תאורה במטבח. גובה התקרה הוא שלושה מטר מהרצפה. באיור לדוגמה 9 נתונים פיזור הגופים על התקרה ופיזור ועקום התפלגות האור של גוף תאורה.



פיזור שטף האור של גוף תאורה



פיזור הגופים על התקרה

איור לדוגמה 9

א. חשב את היחס בין רמת הארה שמתחת לגוף 2 ורמת הארה שמתחת לגוף 1, כאשר ידוע שכמות השטף הנובעת מכל אחד ממקורות האור שווה ל- 1000 lm . רמת ההארה נמדדת על רצפת המטבח. בחישוב יש להתייחס להשפעה של כל מקורות האור.

ב. הספקן של נורות המתאימות להתקנה בגופי תאורה אלו: $5W$, $28W$, $91W$.

כמו כן ידוע שהנצילות האורית של הנורות היא $110 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$. נדרש כי בנקודה שמתחת לגוף 3 רמת הארה תהיה בין 86 lx – 80 lx . איזה הספק של נורה מבין ההספקים שצוינו מתאים כדי לעמוד בתנאי זה?

פתרון לדוגמה 9:

(א)

נקבע מראש כי נקודה שמתחת לגוף 1 היא נקודה A, נקודה שמתחת לגוף 2 היא נקודה B ונקודה מתחת לגוף 3 היא נקודה C.

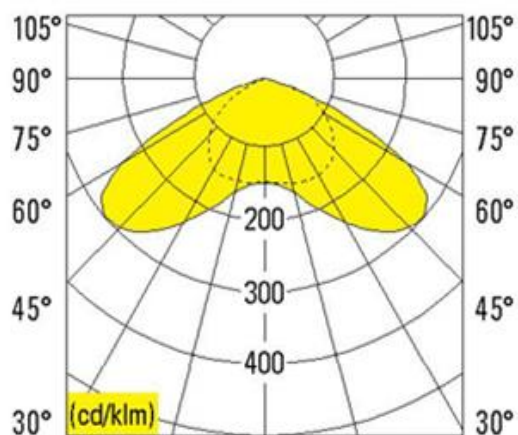
$$\frac{E_B}{E_A} = \frac{33.79}{27.53} = 1.23$$

(ב)

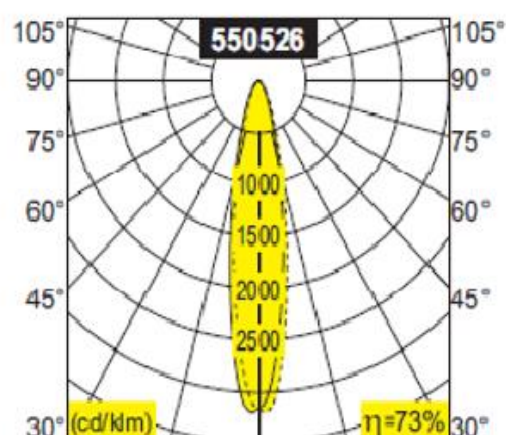
$$P_o = 28W$$

רוצים לתכנן תאורה במתחם אירועים: תאורת פנים עבור האולם ותאורת חוץ עבור הגן של המתחם.

א. מהו ההבדל בין עקום פולארי א' לעקום פולארי ב' ומהו היעוד של כל אחד מהן?



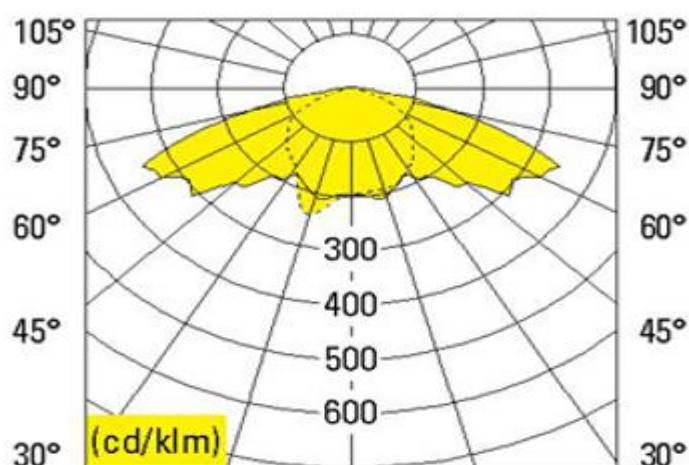
ב'



א'

תכנון של תאורת חוץ עבור הגן יתבצע על פי הדרישות הבאות:

1. הספק הנורה $124W$.
2. שטף אור הנורה $10,540 lum$.
3. גובה עמוד תאורה $7m$.
4. המרחק האופקי בין העמוד לנקודת הארה A הוא $8.5m$.
5. רמת הארה תקינה נחשבת כאשר רמת הארה בנקודה A גבוהה מ- $15 lux$.
6. עקום פולארי של גוף תאורה עבור תכנון הגן:



ב. חשב את רמת ההארה בנקודה A. האם רמת הארה תקינה?

תכנון תאורת פנים עבור האולם יתבצע על פי הדרישות הבאות:

1. אורך האולם $30m$.
 2. רוחב האולם $25m$.
 3. רמת הארה הממוצעת הדרושה היא $250 lux$.
 4. כל גוף מכיל שלוש נורות.
 5. כל נורה בעלת $45W$.
 6. שטף של כל נורה $4050 lum$.
 7. אין להתחשב במקדמי הפחתה כלשהם ולא בנצילות מתקן תאורה.
- ג. כמה גופי תאורה יותקנו באולם בכדי לעמוד בדרישות רמת ההארה?

פתרון לדוגמה 10:

(א)

ההבדל בין עקומה א' לעקומה ב' שעקומה א' היא צרה ומכוונת לצורך הארה ממוקדת של מקום הנבחר ואילו עקומה ב' היא יותר רחבה וניתן להאיר שטח רחב יותר.

(ב)

$E_A = 16.58(lux)$, לכן רמת הארה בנקודה תקינה.

(ג)

$$N_{\text{גופים}} = 16$$

9.7 סימנים מוסכמים ופוטומטריה:

באיור הבא ניתן לראות סימנים מוסכמים ופוטומטריה של תאורה חשמלית.

(ניתן באדיבות חברת געש תאורה)

פיזור אור

מראה בצורה סכמטית את אלומת פיזור האור של גוף התאורה

אלומה רחבה כלפי מטה	
אלומה צרה כלפי מטה	
זרקור אלומה רחבה הצידה	
זרקור אלומה צרה הצידה	
אלומה גם כלפי מעלה וגם כלפי מטה	
אלומה רחבה כלפי מעלה וחלק מהאור כלפי מטה	
אלומות לצדדים	
אלומה רחבה הצידה	
אלומה רחבה כלפי מעלה	
אלומה צרה כלפי מעלה	
אלומה סמטרית בכל ההיקף	

דרגת אטימות

דרגת אטימות כללית	IP20
דרגת אטימות חלק עליון / חלק תחתון - תאורת פנים	IP20/40
דרגת אטימות תא אופטי/תא ציוד - תאורת חוץ	IP65/43

סיווג חשמלי

סוג I - בידוד בסיסי	
סוג II - בידוד כפול	
אפשרות לבידוד כפול	
סוג III - מתח נמוך	
מתאים להתקנה על משטחים דליקים	
מתח הזנה	230V 50HZ
מתח הזנה	12V

כללי

אורך חיים	50,000 Hrs
אחידות צבע	4 SDCM
קבוצת סיכון	R60
תקן פוטוביולוגי	
טמפרטורת סביבה	ta:35°C
טווח משקל גוף התאורה לפי ציודים שונים	
קוטר הקדח המומלץ להתקנת גוף התאורה (במ"מ)	
דרגת עמידות להולם (אימפקט)	
דרגת עמידות בפני אש	850°C

שיטות הפעלה בתאורת חרום

דו תכליתי -	EM
אותה הנורה להפעלה רגילה ובשעת הפסקת חשמל	
חד תכליתי -	EMX
הנורה תפעל רק בשעת הפסק חשמל	
בדיקה עצמית	

תקנים

תו תקן ישראלי - המוצר בפיקוח מכון התקנים	
תעודת בדיקה של מכון התקנים הישראלי	
הצהרת היצרן על התאמה לתקן אירופאי	
תעודת בדיקה בינלאומית	
אישור פיקוד העורף להתקנה בממ"ד	

זוויות

הטייה אופקית -	
הזווית בה אפשר לסובב את הפנס סביב ציר האנך	
הטייה אנכית -	
הזווית בה אפשר לסובב את הפנס סביב ציר אופקי	

9.8 רמת IP (Ingress Protection) לגופי תאורה

גופי תאורה הן חלק בלתי נפרד מצידוד חשמלי אשר נמצאים תחת מתח בתנאי סביבה שונים שאיתם האדם יכול לבוא במגע, לשם כך יש צורך להגדיר רמת האטימות ומעטפת ההגנה של הגופים. רמות ההגנה המאפיינים לרוב את גופי תאורה הם ההגנה מפני פגיעות מכאניות ואיטום הגוף מפני חדירת אבק או מים.

כאשר על גוף תאורה מופיע סימון IPXX, הספרה הראשונה מסמלת אטימות לאבק ואילו הספרה השנייה מסמלת אטימות למים או לחות.

בטבלה 9.4 ניתן לראות את דרגת ההגנה השונות מפני חדירת גופים מוצקים וזאת על פי ת"י 981.

דרגת סימון	הגנה מפני חדירה של גופים מוצקים	IP ספרה ראשונה
IP0X	היעדר ההגנה (ללא מעטפת)	0
IP1X	הגנה מפני חדירת מוצקים שקוטרם עולה על 50 מ"מ	1
IP2X	הגנה מפני חדירת מוצקים שגודלם עולה על 12 מ"מ	2
IP3X	הגנה מפני חדירת מוצקים שגודלם עולה על 2.5 מ"מ	3
IP4X	הגנה מפני חדירת מוצקים שגודלם עולה על 1 מ"מ	4
IP5X	הגנה מפני חדירת אבק והצטברותו	5
IP6X	אטימות לאבק	6

בטבלה 9.5 ניתן לראות את דרגת ההגנה השונות מפני מים וזאת על פי ת"י 981.

דרגת סימון	תיאור ההגנה	IP ספרה ראשונה
IPX0	היעדר ההגנה בפני מים (לחות)	0
IPX1	הגנה מפני טפטוף אנכי	1
IPX2	הגנה מפני טפטוף במישור נטוי עד 15°	2
IPX3	הגנה מפני גשם	3
IPX4	הגנה מפני התזה מכל כיוון	4
IPX5	הגנה מפני סלון מים	5
IPX6	הגנה מפני סלון מים או ים סוער	6
IPX7	הגנה מפני טבילה במים בעומק עד מטר אחד	7
IPX8	אטמות למים	8

לחשמלאי ישנם שלושה גופי תאורה שונים ועליהם רשומים הדברים הבאים: **IP20 , IP56 , IP68**.

א. מה מה מציינים כל אחד מהרישומים, הסבר על כל אחד מהם.

ב. הסבר איזה גוף יתאים לתאורת פנים, תאורת חוץ והתקנה בתוך מים בהתאם לרישומים המצויינים.

פתרון לדוגמה 11:

א'+ב'.

כל אחד מהרישומים מציין את רמת האטימות של גוף תאורה מפני חדירת מוצקים (אבק) וחדירת מים או לחות. ספרה ראשונה משמאל מציינת את רמת אטימות גוף תאורה מפני חדירת מוצקים (אבק) ואילו הספרה השניה משמאל מציינת אטימות גוף תאורה מפני חדירת מים או לחות.

IP20 - גוף זה בעל הגנה מפני חדירת מוצקים שגודלם עולה על 12 מ"מ וללא הגנה מפני מים.

גוף זה יתאים לתאורת פנים.

IP56 - גוף זה בעל הגנה מפני חדירת אבק והצטברותו והגנה מפני סילון מים.

גוף זה יתאים לתאורת חוץ.

IP68 - גוף זה בעל אטימות לאבק ולמים. **גוף זה יתאים להתקנה בתוך מים.**

9.9 תאורת חירום

9.9.1 הקדמה:

תאורת חירום נועדה להאיר מקומות ייעודיים בעת הפסקת חשמל או בזמן נפילת מתח ולאפשר פינוי המקום בשעת חירום. תאורת חירום תותקן מעל פתחי יציאה ובמקומות שהוגדרו כנתיבי מילוט. תאורת חירום מוגדרת גם כתאורת התמצאות.

חלק ממקומות ייעודיים הם: מעברים, פרוזדורים, חדרי מדרגות, החלפת קומות, נתיבי מילוט, קרבה ללוח חשמל ראשי ולוח פיקוד, אזורי עבודה בסיכון גבוה, מעליות ציבוריות, מכשולים, מקום לאביזרי בטיחות והצלה ואולמות ציבוריים.

9.9.2 אופן עבודה של גופי תאורת חירום:

ישנם גופי תאורת חירום (דו תכליתיים) אשר עובדים בתאורה רגילה ובעת הפסקת חשמל או נפילת מתח, וישנם גופי תאורה (חד תכליתיים) אשר עובדים רק בעת הפסקת חשמל או נפילת מתח.

גופי תאורת חירום יצוידו בממיר, סוללה נטענת, לחצן בדיקה ונורת ביקורת טעינה.

9.9.3 דרישות טכניות:

דרישות טכניות נלקחו בהתאם לתקנות תכנון ובניה 2008 ומתוך ת"י 1838.

1. תאורת חירום בדרך מוצא תתחיל לפעול בפרק זמן שאינו עולה על 0.5 שניות בכל מקרה של כשל באספקת החשמל, או נפילת מתח.
2. במעברים המשרתים יותר מ-6 אנשים או שאורכם עולה על 15 מ', בפרוזדורים וחדרי מדרגות, לאורך דרכי המוצא, יותקנו גופי תאורת חירום שיאירו את נתיב המילוט בזמן הפסקת חשמל או בזמן נפילת מתח רשת החשמל. דרישה אחרונה אינה חלה על מעברים ופרוזדורים בדירת מגורים.
3. עוצמתה המינימלית של תאורת חירום לאורך נתיב המילוט לא תפחת מ-1 לוקס בכל נקודה לאורך נתיב המילוט למשך 60 דקות לפחות.
4. היחס בין עוצמת ההארה המינימלית לא יעלה על 40:1.
5. תאורת חירום תתבסס על גופי תאורה עצמאיים הניזונים מסוללות נטענות הממוקמות בתוכם או מערכת מרכזית הנועדה לגיבוי חשמלי ותופעל במקרה של הפסקת חשמל או כשל מכל סיבה שהיא.
6. בכל מרכיבי דרך מוצא ומעל דלתות יציאה יותקנו שלטים מוארים עם סימון מתאים כדוגמת של "יציאת חירום או "יציאה"...
7. גובה כתיבת האותיות בשלטים יהיה 15 ס"מ לפחות ועוביים לא יקטן מ-12 מ"מ. הכיתוב על השלטים יהיה לבן על רקע ירוק.
8. גופי תאורת החירום יתאימו לתקן הישראלי ת"י 20 חלק 2.22.
9. האחראי יבדוק פעל לשבועיים את תקינות גופי תאורת התמצאות וירשום תוצאות הבדיקה בדרך הניתנת לבדיקה.