

עקרונות התכנון מנהרות רכב

בן דרעי



SAPIR CENTER Y.R. Ltd. ספיר מרכז י.ר. בע"מ

SAPIR CENTER Y.R. Ltd.

מבוא

חשיבות מנהרות הרכב:

שיפור הזרימה התחבורתית.

הפחתת פקקי תנועה.

הגנה על הסביבה הטבעית.

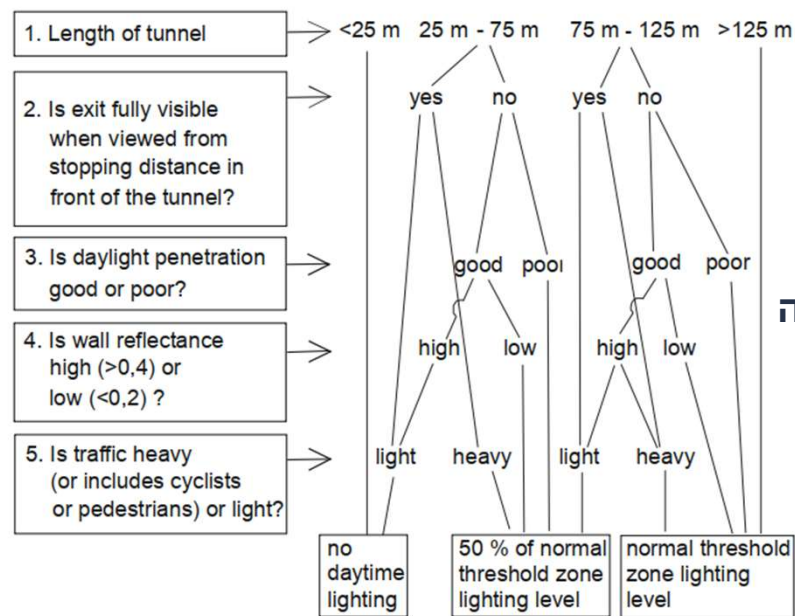
תפקיד מתכנן החשמל במנהרות רכב:

תכנון מערכות חשמל, תאורה, תקשורת ומערכות גילוי וכיבוי אש.

בחינה ראשונית לצורך בתאורה

תרשים לבחינת הצורך בתאורה לפי CIE 88

הנתונים לבחינת הצורך בתאורה לפי המפרט נת"י



אורך המנהרה.

אורך המנהרה.

נראות היציאה מהכניסה

הערכת נפח וסוג התנועה (אוטובוסים, משאיות וכו')

חדירת האור לחלל המנהרה

מהירות תכן

החזר אור

מרחק ראות לעצירה

נפח תנועה

כפולה או אחודה

תכנון הפורטל

Fig. 4.1. Daytime lighting of tunnels for different tunnel lengths.

תקנים וחוקים רלוונטיים

תקנים ישראליים

ת"י 20 חלק 2.3: תאורה בכבישים ורחובות

ת"י 20 חלק 2.5: מנורות הצפה

ת"י 5827 חלק 12.22: תאורת חירום במנהרות רכב.

ת"י 5827 חלק 12.21: מדריך לתאורה מנהרות רכב.

ת"י 1220: מערכות גילוי וכיבוי אש

ת"י 13201: תאורת דרכים

חוקים ותקנות

חוק החשמל, התשי"ד-1954

תקנות התכנון והבנייה

הנחיות משרד התחבורה

הנחיות בטיחות ייחודיות לפרויקט של יועץ הבטיחות

תקנים בינלאומיים

תקני תאורה IEC 60598:

CIE 88

תכנון תאורה במנהרות רכב

תאורה



הקטנת ההשפעות על הנהג במעבר בין תאורה יום מחוץ למנהרה

לתאורה באזור **SD** בתוך המנהרה.



תאורת מנהרה יום ולילה בכביש וההחזרים מהקירות.



הבטחת ראות אופטימלית לנהגים בכל חלקי המנהרה.



מניעת סנוור.



הפחתת הארה במנהרה בהדרגתיות.



מעבר הדרגתי בין תאורת יום לתאורת לילה.

תאורת חירום



שילוט מואר



גופי תאורת חירום



תאורת סימון והכוונה בחירום

חלוקת מנהרת רכב לאזורי הארה

אזורי התאורה במנהרה:

אזור הגישה (Access Zone)



אזור הסף (Threshold Zone)



אזור המעבר (Transition Zone)



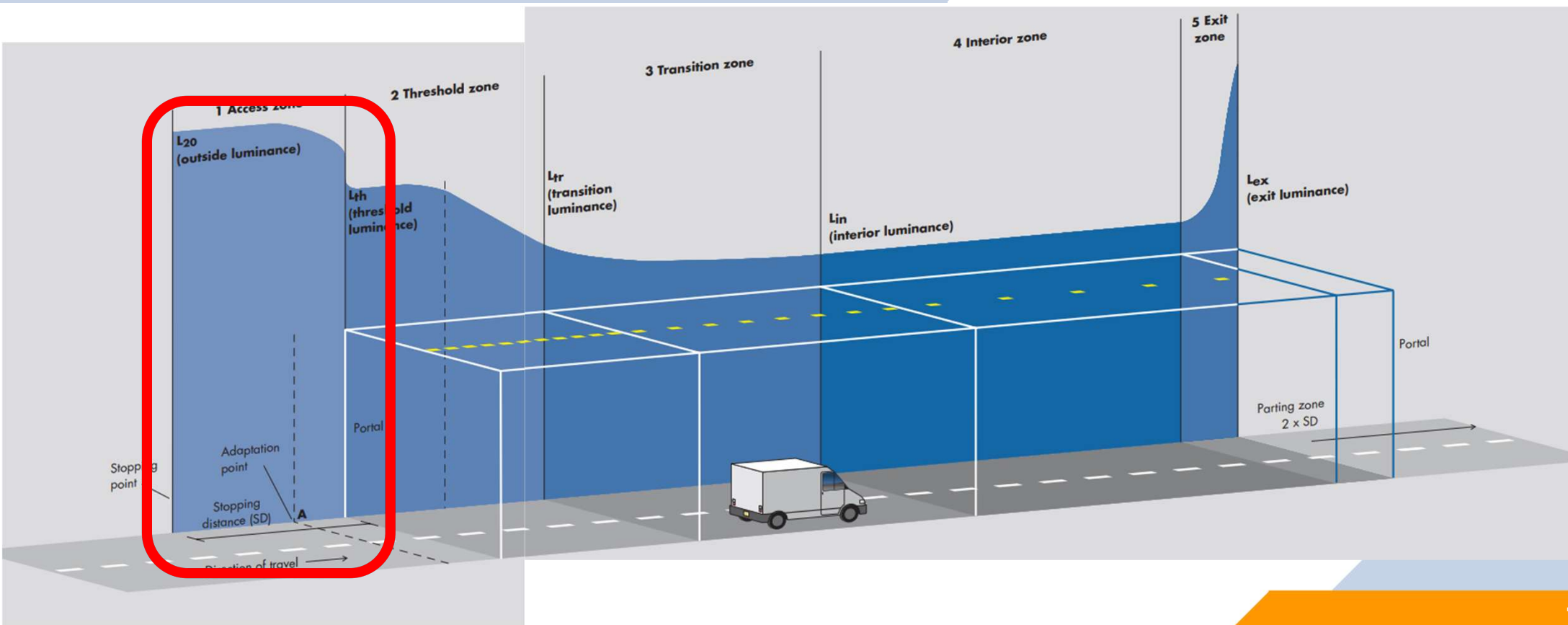
אזור הפנים (Interior Zone)



אזור היציאה (Exit Zone)



חלוקת המנהרה לאזורי הארה



התאמת תאורה בכניסות ויציאות מהמנהרה



התאמת רמת התאורה לאור החיצוני

מניעת סנוור ועיוורון זמני

עמידה בתקנים:

ח"י 20 חלק 3.2

CIE 88

התאמת תאורה בכניסות ויציאות מהמנהרה

עמידה בתקנים:

ת"י 20 חלק 2.3: מנורות לתאורת כבישים ורחובות

ת"י 20 חלק 2.5: מנורות הצפה

CIE 88

משתנים שיש לקחת בחשבון:

אורך המנהרה

מהירות תכן הנסיעה

מרחק עצירה

מניעת אפקט הבהוב

אזור הגישה (Access Zone)

אזור הגישה (Access Zone)

חישוב רמות ההארה בשעות היום מנקודת הראות של הנהג בכניסה למנהרה. - L20

בזווית הטיה של 20 מעלות מעיני הנהג בקונוס גלילי.

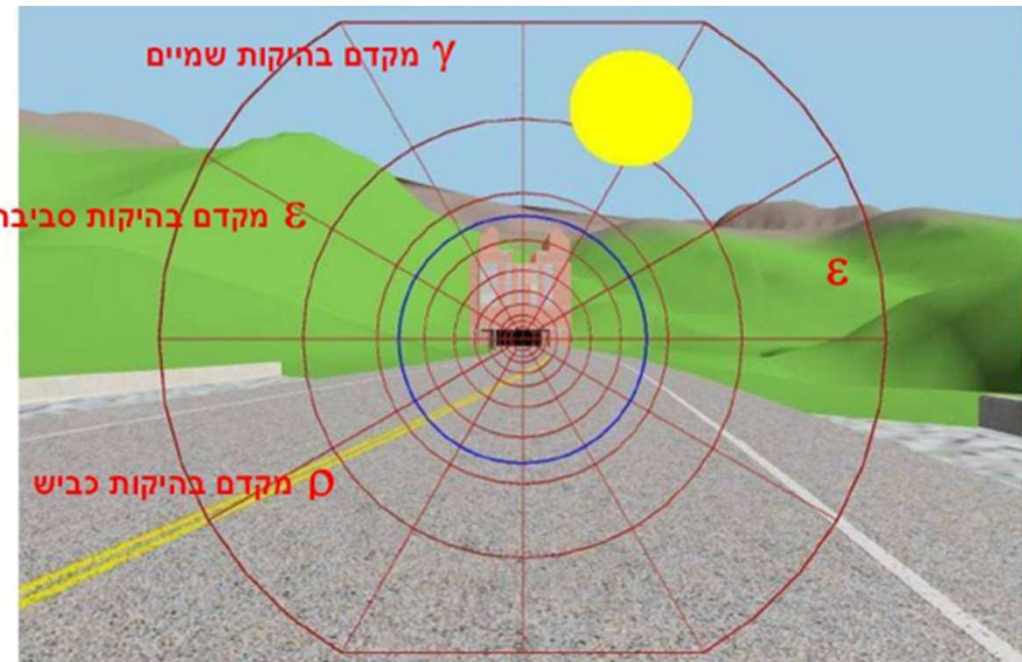
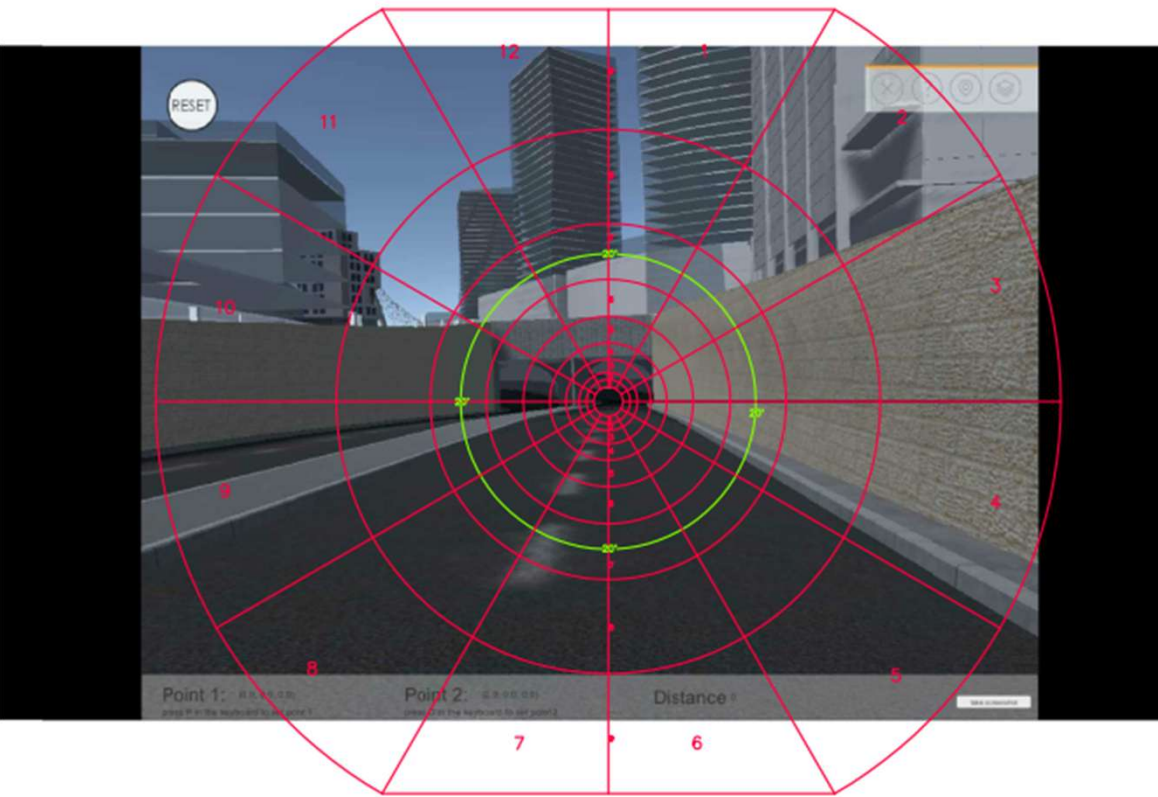
החישוב מבוצע לפני הכניסה למנהרה במרחק העצירה בקירוב באמצעות חישוב הבהיקות של האלמנטים:

שמיים.

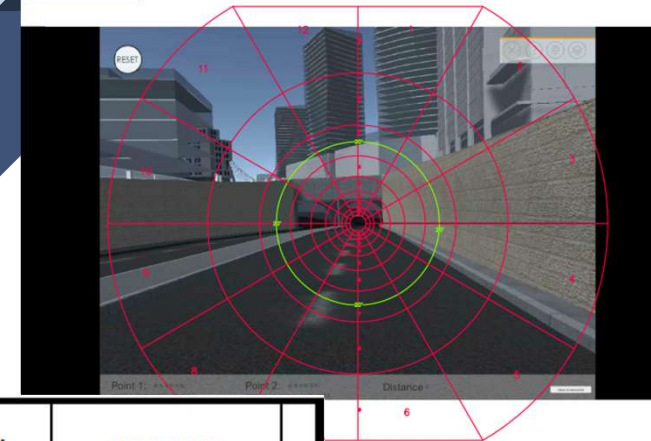
כביש.

אבן, דשא וכד'.

אזור הגישה (Access Zone)



אזור הגישה (Access Zone)



	אחוזי התכסית %									לדרום	כיוון הנסיעה
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
	0	0	0	6	6	6	7.8	9.6			
רקיע צפון										8	רקיע צפון
רקיע מזרח- מערב							30	60		12	רקיע מזרח- מערב
רקיע דרום										13	רקיע דרום
כביש צפון										3	כביש צפון
כביש מזרח - מערב										4	כביש מזרח - מערב
כביש דרום										5	כביש דרום
סלעים צפון										3	סלעים צפון
סלעים מזרח- מערב										2	סלעים מזרח- מערב
סלעים דרום										1	סלעים דרום
מיבנים צפון										8	מיבנים צפון
מיבנים מזרח- מערב				100	100	100	70	40		6	מיבנים מזרח- מערב
מיבנים דרום										4	מיבנים דרום
שלג צפון										15	שלג צפון
שלג מזרח- מערב										10	שלג מזרח- מערב
שלג דרום										5	שלג דרום
צמחיה										2	צמחיה
מנהרה	100	100	100							0	מנהרה
	100	100	100	100	100	100	100	100	0		

גזרה מס' 1

גזרה מס' 1

NC:01

אזור הגישה (Access Zone)

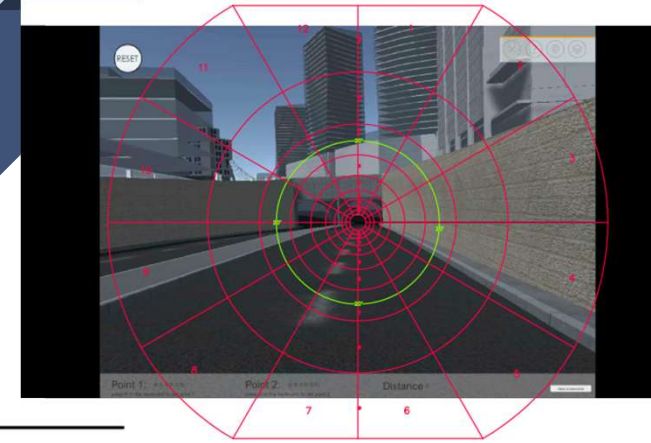


Table 6.3.2. Final L_{ij} matrix for L_{seq} evaluation

										SUM סכום KCD/M2
קטע טבעת/גיזרה	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	0	0	0	3.6	6	6	6.3	7.2	0	29.1
2	0	0	0	0.6	6	6	6	6	6	30.6
3	0	0	0	4.8	6	6	6	6	6	34.8
4	2	2.4	3.2	4.8	5	5.2	5.6	5.8	5.9	39.9
5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	36
6	4	4	4	4	4	4	4	4	0	32
7	4	4	4	4	4	4	4	4	0	32
8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	36
9	2	2.4	3.8	3.4	3.2	3.9	4.8	4.6	4.5	32.6
10	0	0	3.8	3.4	3.8	1.2	6	7.2	6	31.4
11	0	0	0.3	2.4	4.2	6	6	9.3	10.2	38.4
12	0	0	0	4.8	6	6	6	6.6	0	29.4
										402.2 kcd/m ²
										-4
THEREFORE L _{SEQ}										=
										5.1
										*
										10
										*
										402.2
										=
										205.122
										cd/m ²

$$L_{seq} = 5,1 \cdot 10^{-4} \sum L_{ije}$$

$$L_{ije} = (\tau_{ws} \cdot L_{ij}) + L_{ws}$$

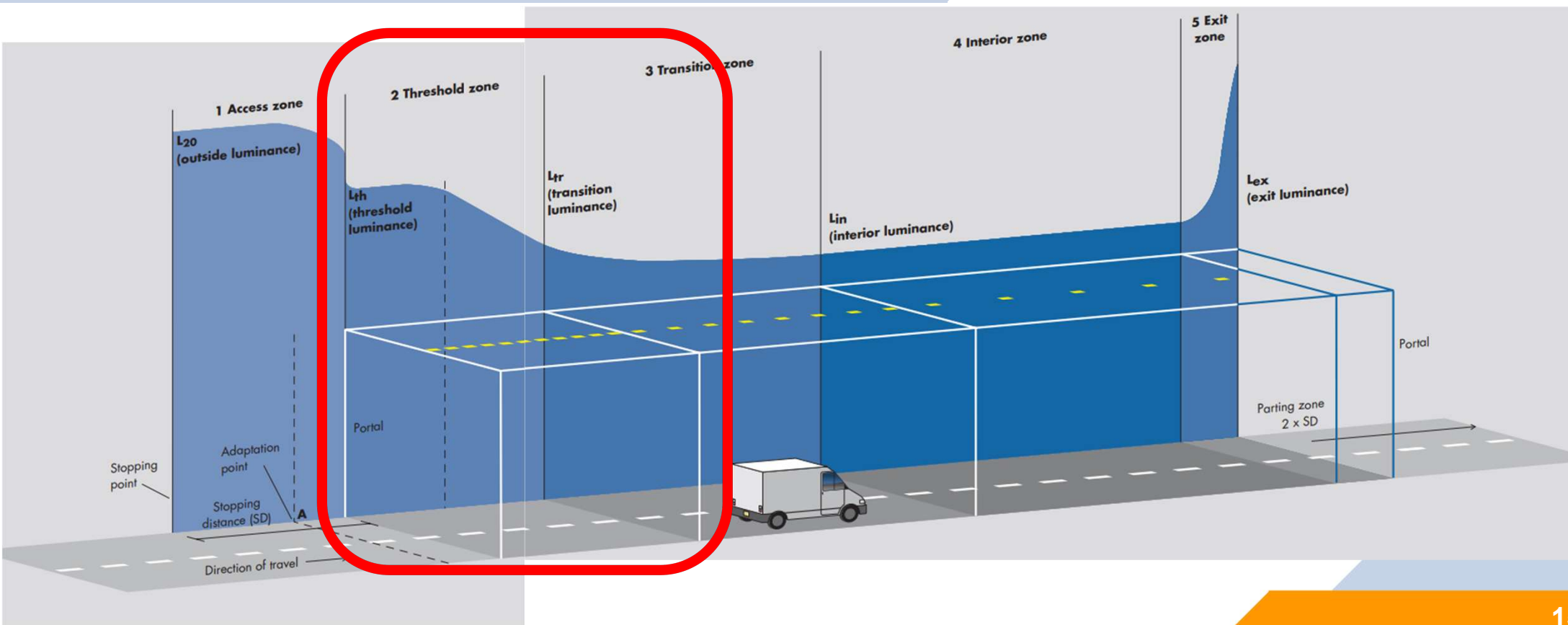
$$L_{th} = \frac{L_m}{\frac{1}{C_m} \left(\frac{\rho}{\pi \cdot q_c} - 1 \right) - 1}$$

$$L_m = \frac{(\tau_{ws} \cdot L_{atm} + L_{ws} + L_{seq})}{(\tau_{ws} \cdot \tau_{atm})}$$

אזור הגישה (Access Zone)



חלוקת המנהרה לאזורי הארה



אזור הסף (Threshold Zone)

אפיון עוצמה התאורה במנהרה נובע ממרחק העצירה ומחישוב עוצמת התאורה בכניסה למנהרה.

חישוב עוצמת התאורה בכניסה למנהרת תבוצע בשיטות אדריאן .

אזור הכניסה למנהרה, מואר בשעות היום ברמות גבוהות $200-500 \text{ cd/m}^2$ כדי למנוע את אפקט חור השחור.

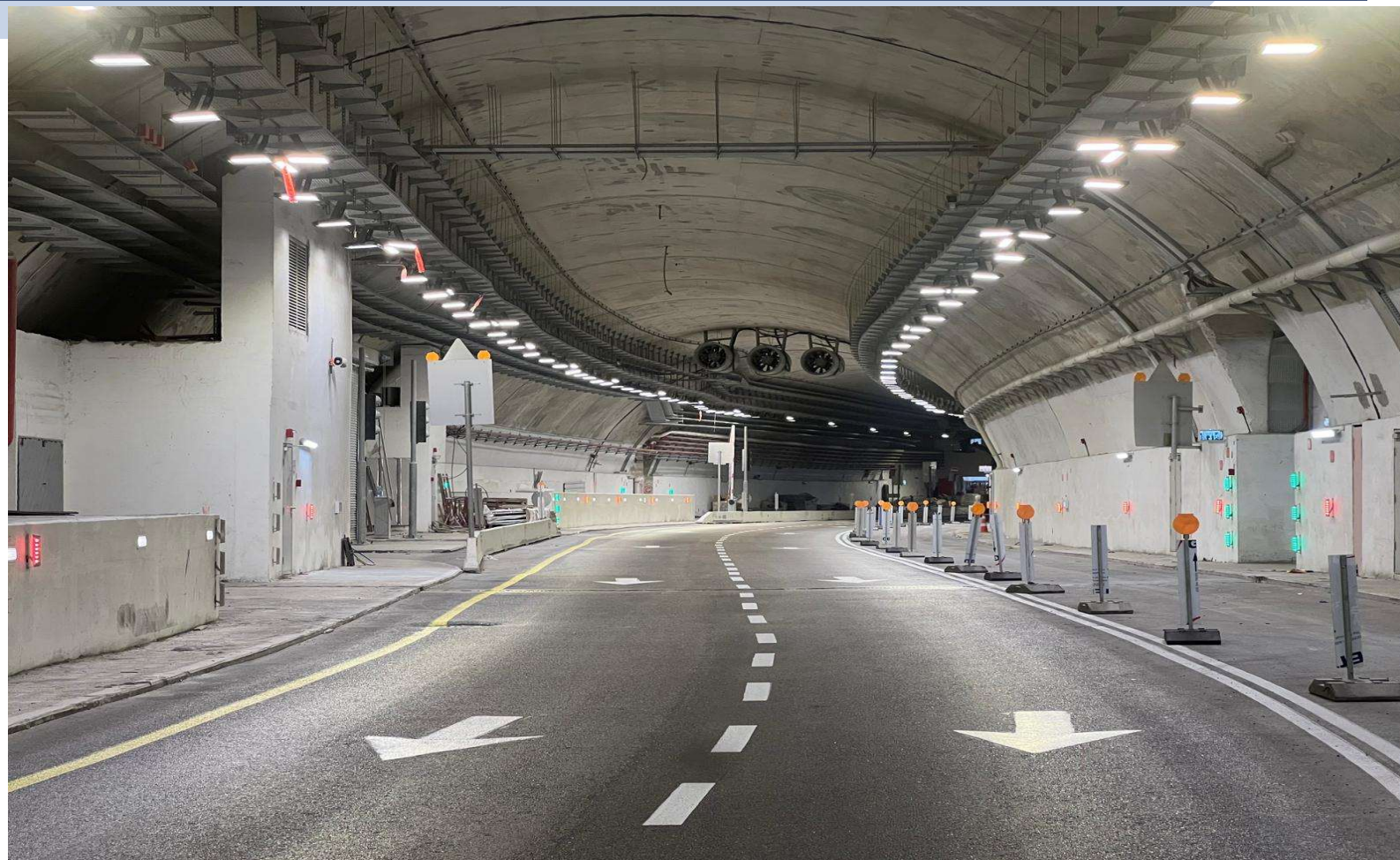
אורך אזור זה יהיה לפחות כאורך מרחק העצירה.

רמות התאורה באזור זה מחושבות לפי רמת ההארה באזור הגישה לפי שיטת אדריאן או בקירוב לפי הנוסחה:

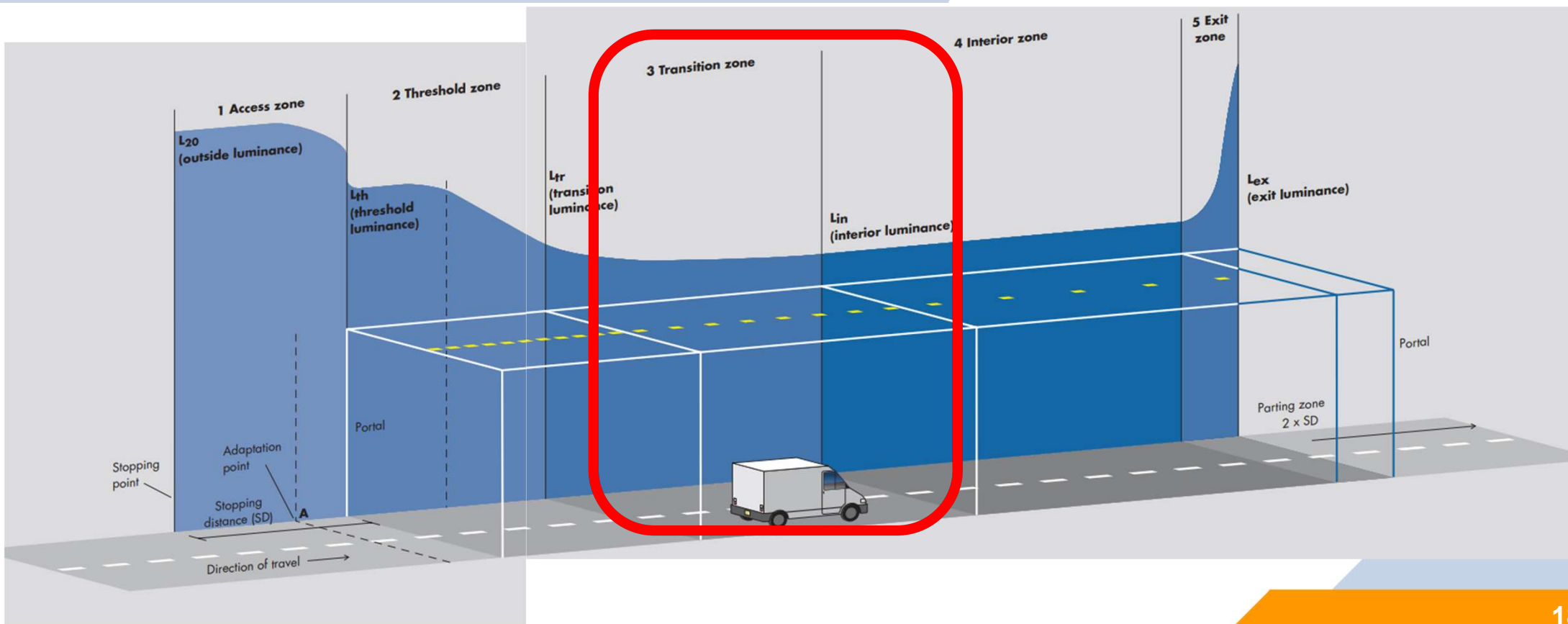
k	מהירות תכן (קמ"ש)
0.05	60
0.06	80
0.10	120

$$L_{TH} = k \cdot L_{20}$$

אזור הסף (Threshold Zone)

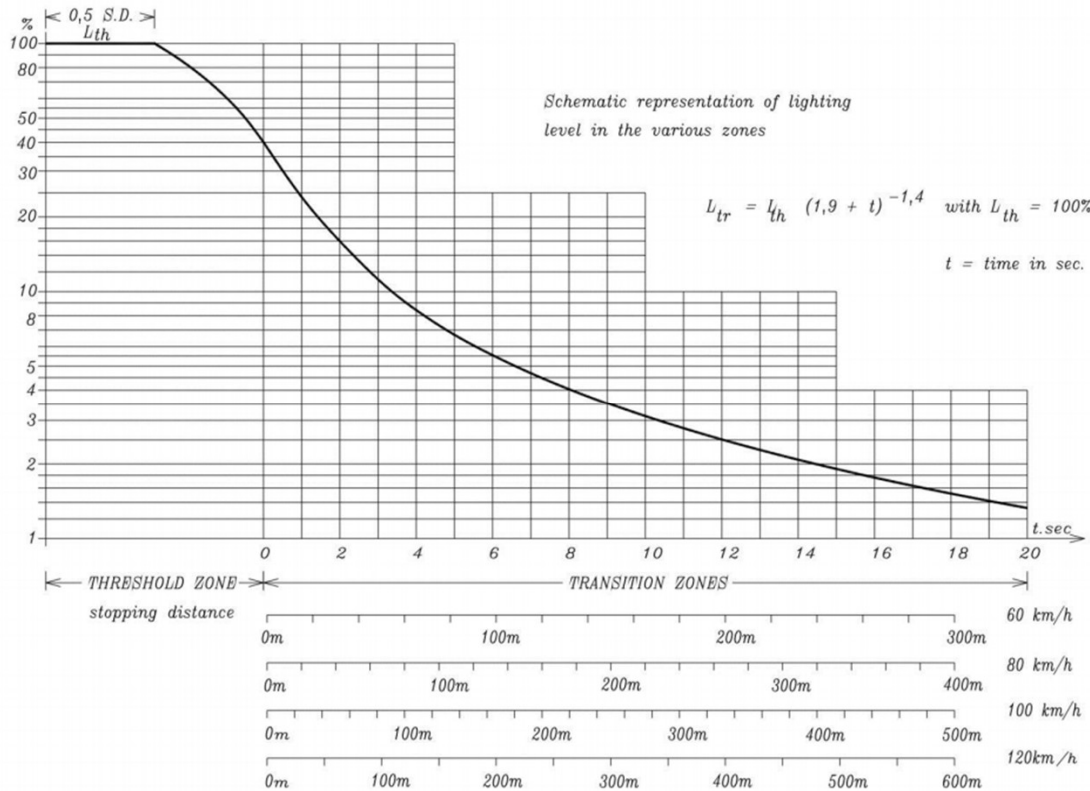


חלוקת המנהרה לאזורי הארה

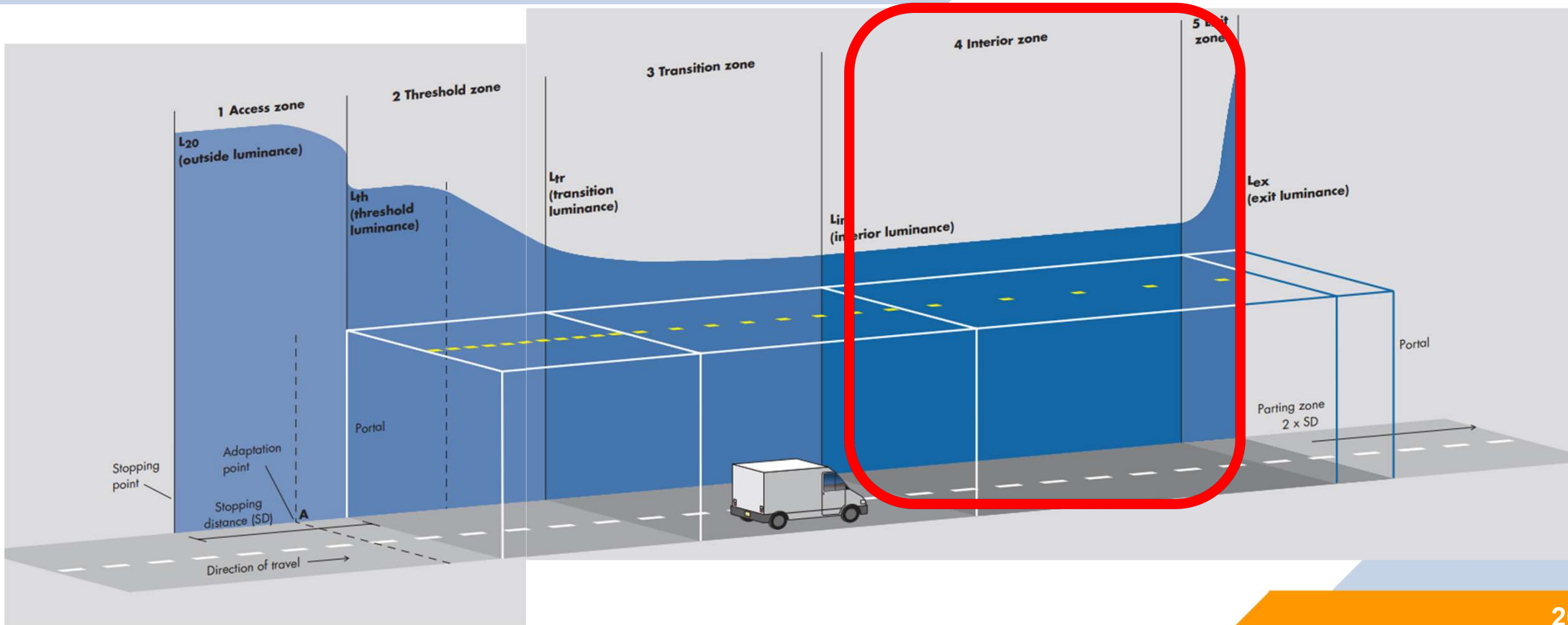


אזור המעבר (Transition Zone)

אזור זה משמש להפחתת התאורה בצורה הדרגתית עפ"י ת"י 5827-12.21



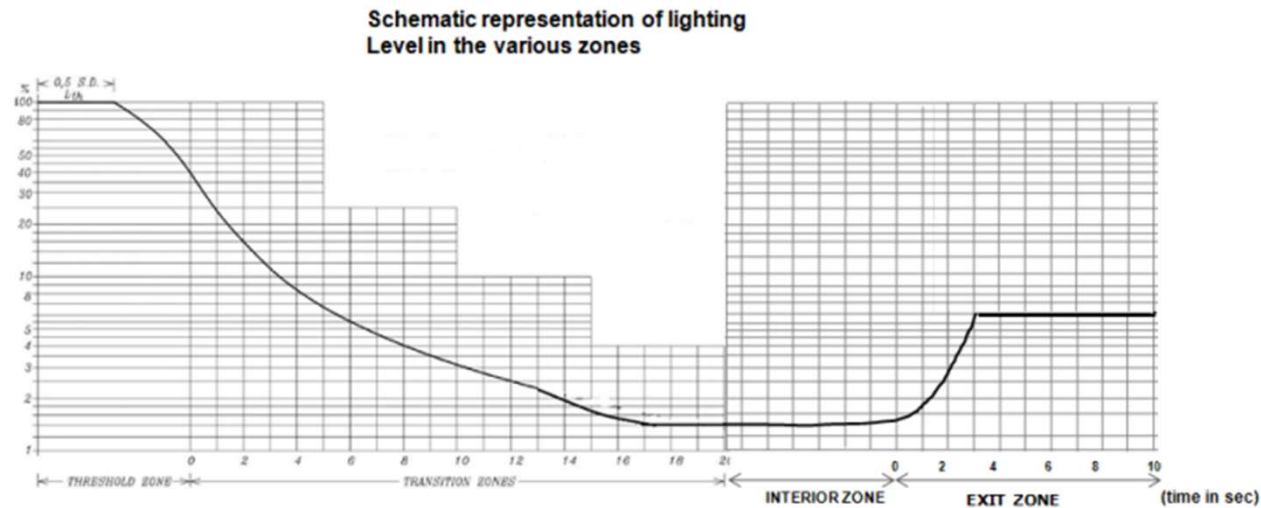
חלוקת המנהרה לאזורי הארה



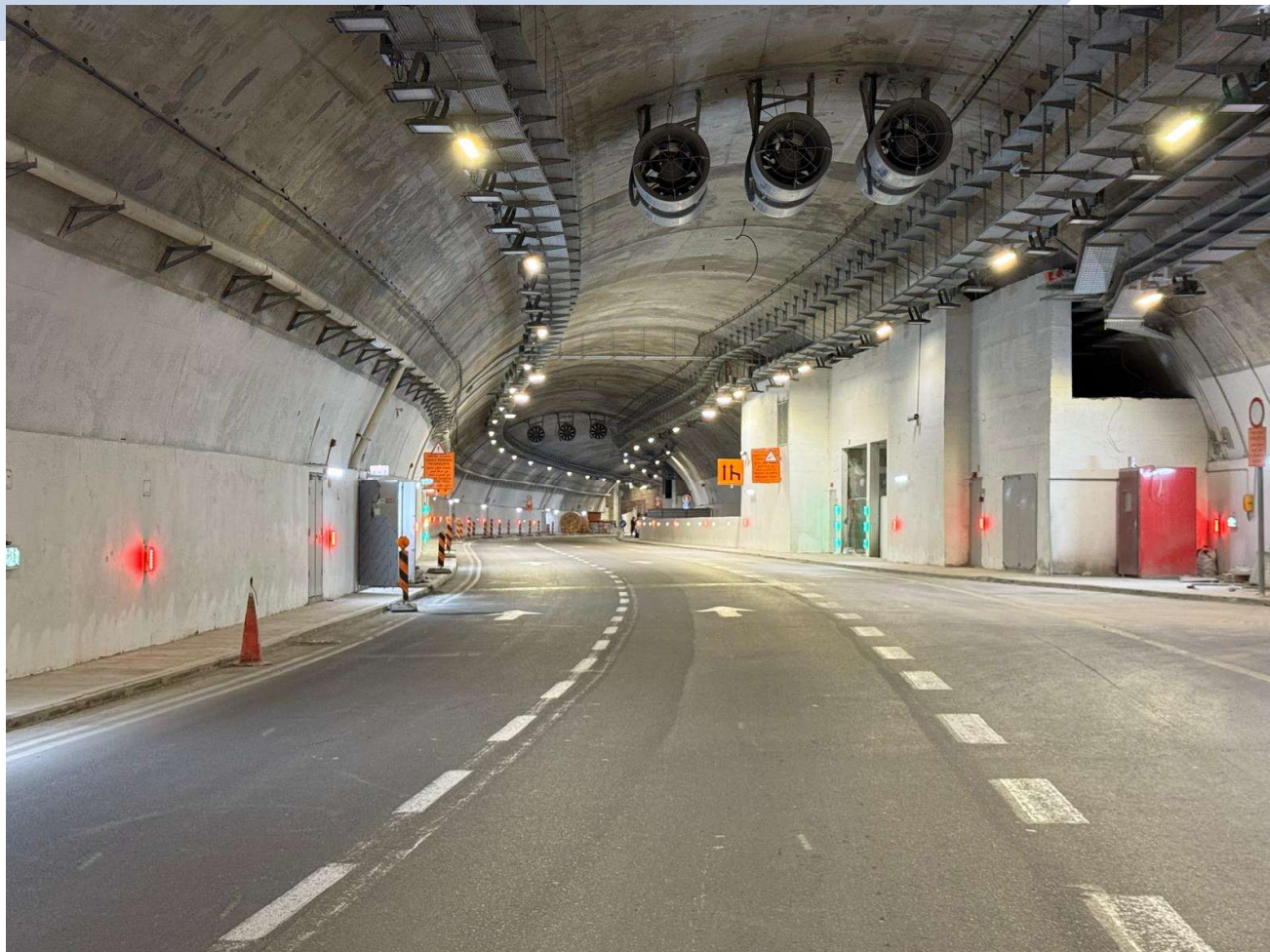
אזור הפנים (Interior Zone)

אזור פנים המנהרה , מואר בכל שעות היום ברמות תאורה קבועה , לדוגמה 2.5 קנדלות למ"ר בקירוב.

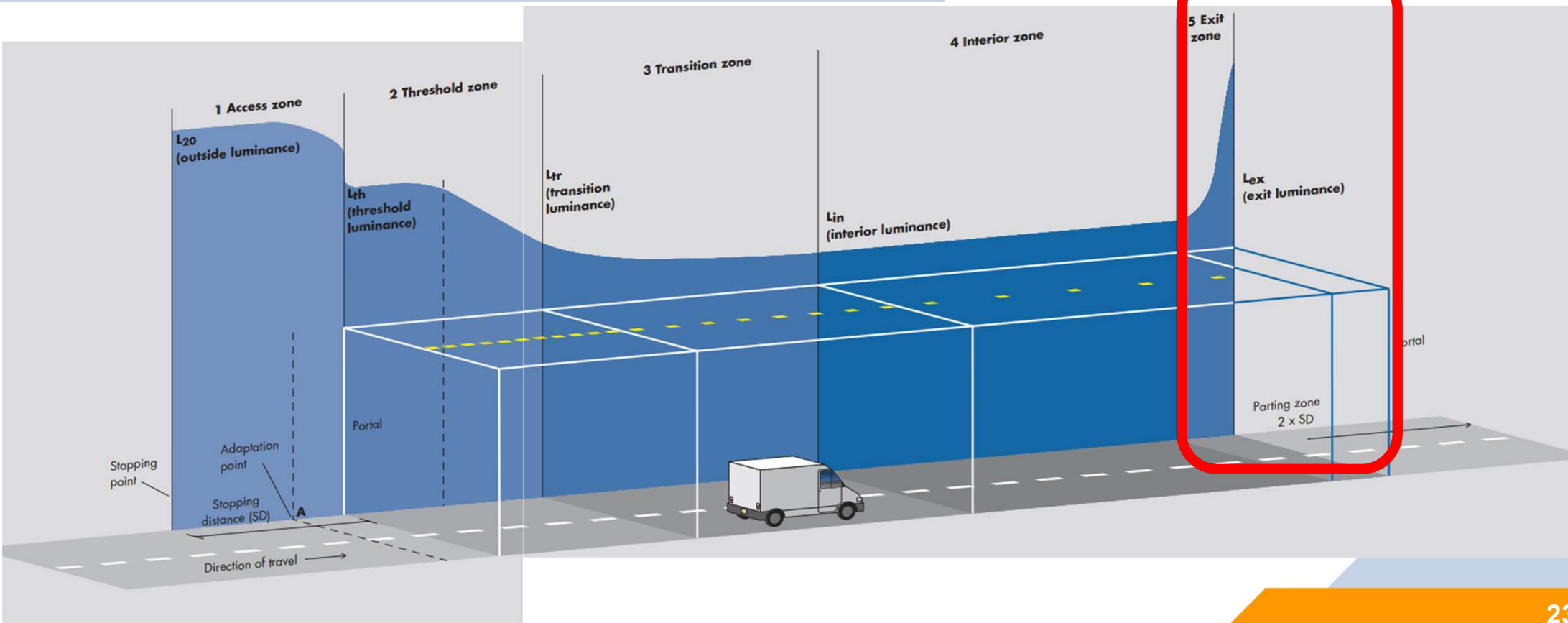
רמות ההארה באזור זה לא ישתנו בתלות בשעות היום ורמות ההארה מחוץ למנהרה.



אזור הפנים (Interior Zone)



חלוקת המנהרה לאזורי הארה



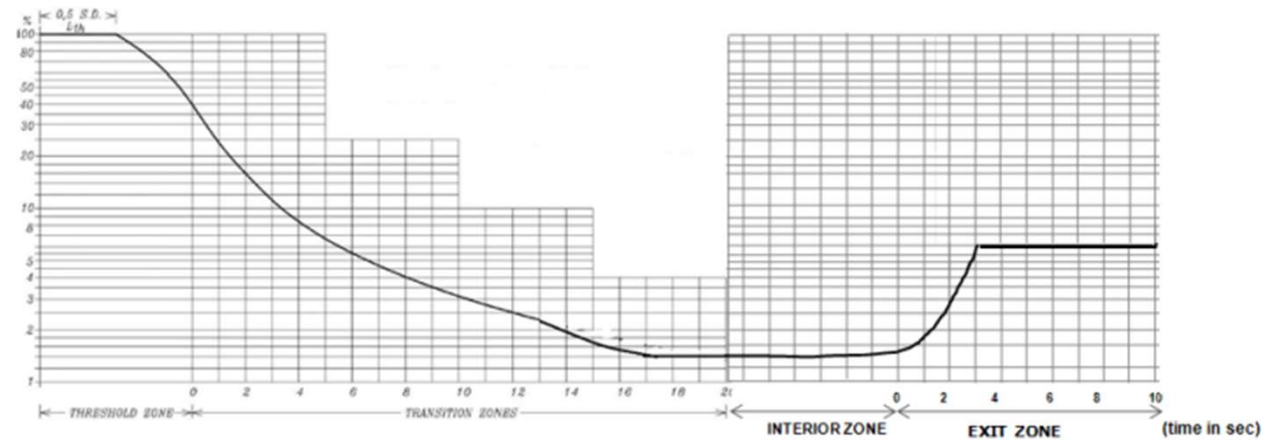
אזור היציאה (Exit Zone)

רמת התאורה ביציאה מהמנהרה תיקבע גם היא לפי תקן CIE-88-2004 ותהיה ברמות תאורה בין 20-50 קנדלה למ"ר.

עוצמת התאורה תהיה גבוהה באופן יחסי בשעות היום כדי להקטין כמה שניתן את הסתגלות עין הנהג.

בשעות החושך, על התאורה להיות חלשה באופן יחסי כדי למנוע סנוור ביציאה לרמות תאורה נמוכות יחסית.

Schematic representation of lighting Level in the various zones



דוגמה לרמות תאורה מומלצות

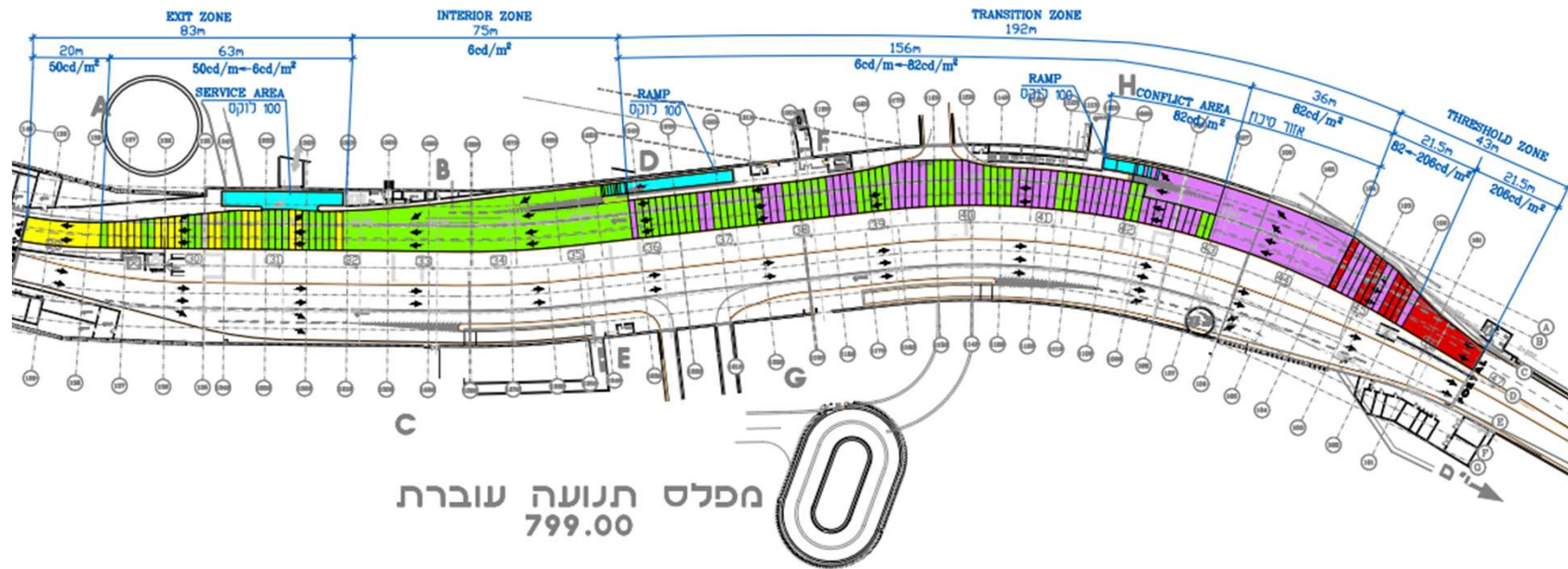
רמת לומיננסיה (cd/m ²)	אזור
100 – 500	אזור הסף
ירידה הדרגתית מ-100 ל-10	אזור המעבר
2 – 7	אזור הפנים
עליה הדרגתית ל-20 – 50	אזור היציאה

יש לשמור על אחידות התאורה שתהיה לפחות: $\frac{E_{AVERAGE}}{E_{MIN}} \leq 2.5$ ❖

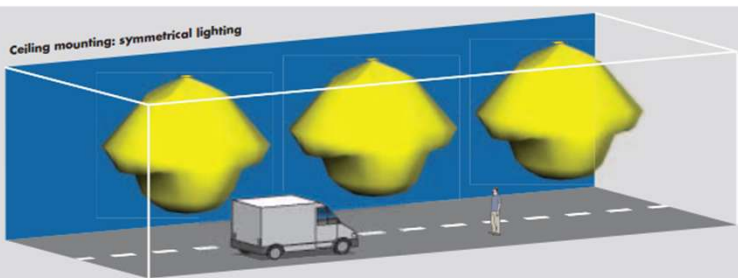
יש להתייחס לאפקט ההבהוב- מופע הגופים יהיה בין 4-11 הרץ כדי למנוע את הסחת הדעת של הנהג. ❖

מומלץ לבצע בדיקת תאורה של מעבדה מוסמכת לאחר הביצוע כדי לוודא את בטיחות המתקן. ❖

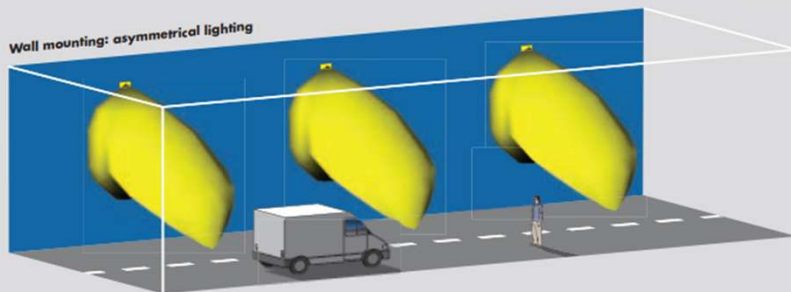
חישוב רמות תאורה לדוגמה- מנהרת שז"ר



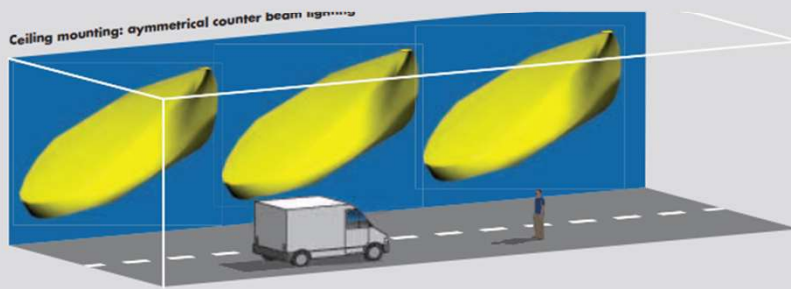
שיטות התאורה במנהרה



תאורה סימטרית



תאורה אסימטרית (התקנה על הקיר)



תאורה אסימטרית CBL

מערכות בקרת תאורה



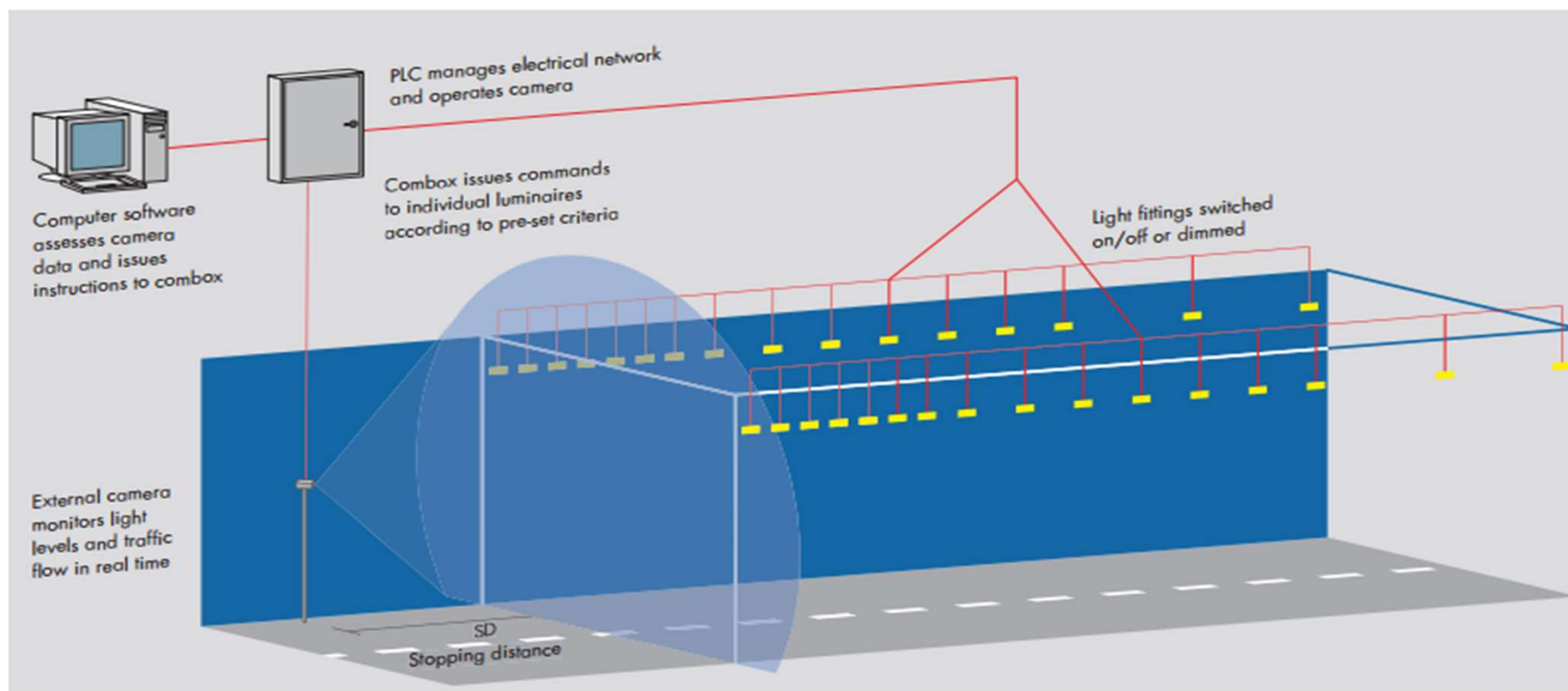
חיסכון באנרגיה

אופטימיזציה של תאורה בהתאם לתנאי הסביבה- לומיננסמטר

שיפור בטיחות ותפקוד המנהרה

תחזוקת התאורה במנהרה.

מערכות בקרת תאורה



תאורת חירום במרחב המנהרה

▶ **IEC 61549**: מערכות תאורה עם גיבוי

▶ ת"י 20 חלק 2.3: מנורות לתאורת כבישים ורחובות

▶ ת"י 20 חלק 2.5: מנורות הצפה

▶ תקנות החשמל (התקנת מוליכי חשמל): התקנה בטיחותית

של מערכות חשמל

תוזן מ-**UPS** עם גיבוי ל-90 דקות לפחות.

תמצא באזורים הבאים:

○ כניסה למנהרה

○ מדרכות

○ מעברי מילוט ואזורי חניה

○ חדרים טכניים

○ שלטי הכוונה

תאורת חירום במרחב המנהרה

יש לעמוד בהנחיות יועץ הבטיחות לתאורת החירום במנהרה.
מהנחיות משרד התחבורה: 10 לוקס ממוצע + 1 לוקס מינימום באזורי המילוט.
ימוקמו גופי תאורת חירום לפי התאמה לדרישות בגובה 2.2 מטרים כל 20 מטרים לאורך המנהרה.
תאורת סימון במדרכות:

תותקן על הקירות בגובה מטר מעל המדרכה המרווחים של עד 10 מטרים לאורך המנהרה.

עוצמת האור המזערית תהיה 1 קנדלה.

עוצמת האור המרבית תהיה 40 קנדלה (מקונוס ציר הראיה של הנהג).

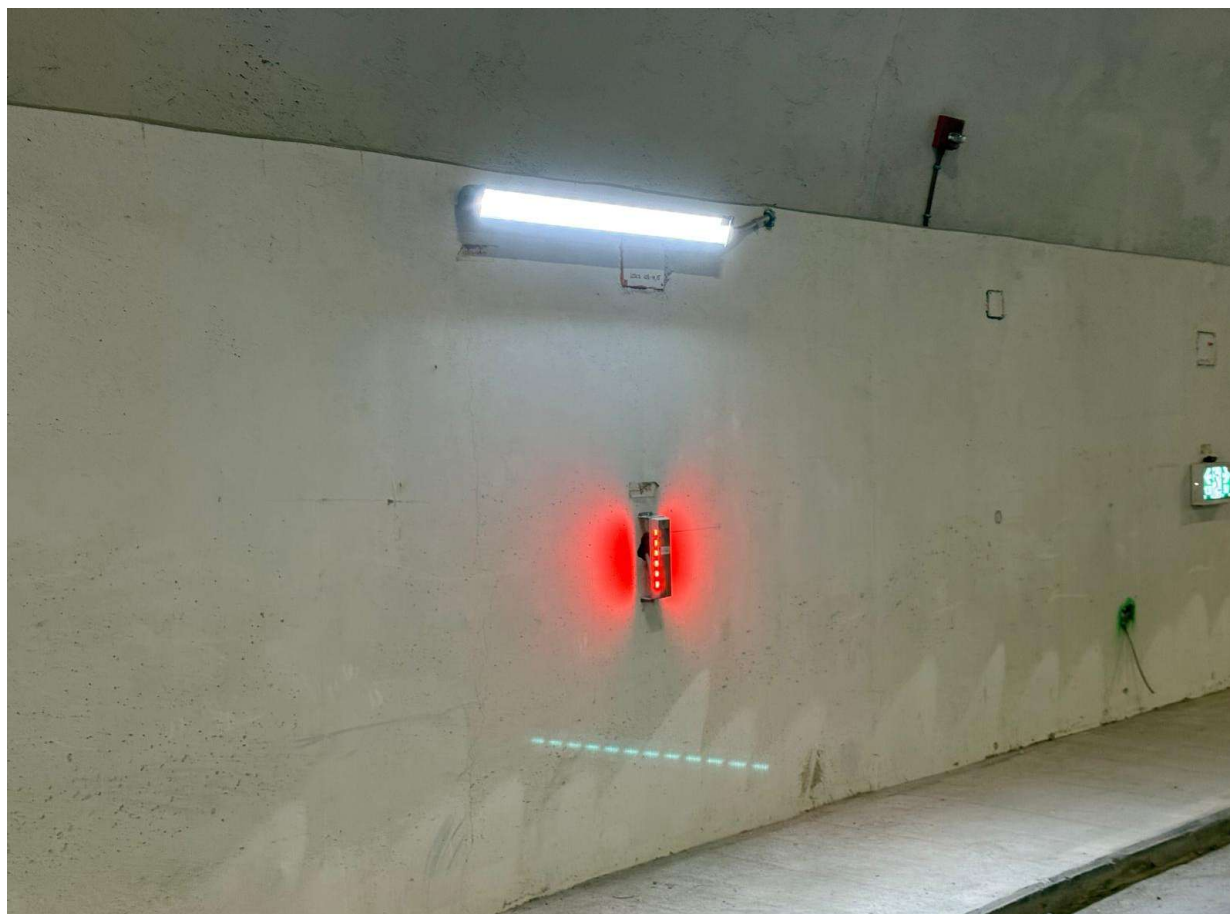
נדרשת בחירום בלבד.

אין דרישה לצבע מסוים עפ"י תקינה/רגולציה.

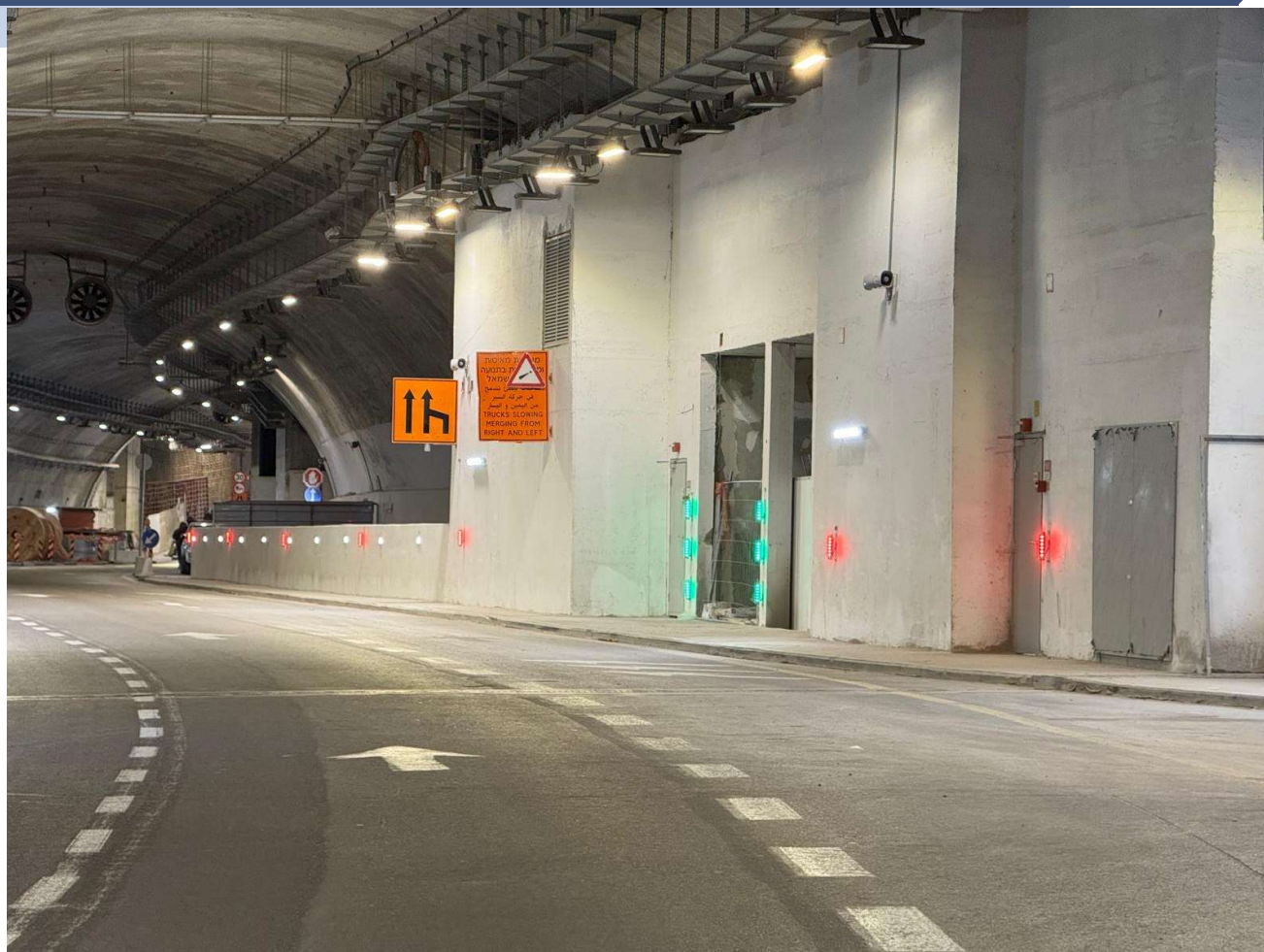


Figure 5. Limitation of intensities emitted towards driver.
(Plan view showing cone of limited intensities and markers)

תאורת חירום במרחב המנהרה



תאורת חירום במרחב המנהרה



אספקת חשמל ואמינות

אספקת חשמל בחירום:

- תאורה ושילוט חירום.
- מפוחים לפינוי עשן.
- בקרת תנועה ומבנה.
- מצלמות.
- תקשורת.

אספקת חשמל בשגרה:

- תאורת יום, לילה, והכוונה .
- חיבורי קיר.
- משאבות.
- מפוחים לפינוי גזים
- כול הציוד המפורט לאספקה בחירום.

אספקת חשמל ואמינות

מנהרה עד אורך 1000 מטרים: ▶

מקור אחד מחברת החשמל. ▶

יתוכנן גנרטור להזנת חירום. ▶

יתוכנן UPS להספק מוגבל. ▶

אספקת חשמל ואמינות

מנהרה באורך הגדול מ-1000 מטרים ▶

יתוכנו שני מקורות הזנה משני תחמ"שים שונים (רק אחד פעיל-**interlock** ביניהם). ▶

השנאים יהיו שנאים יבשים- יתוכנו לעומס 120% מהעומס בחירום. ▶

תוואי מתח גבוה במנהרה יהיה כפול ובלתי תלוי. ▶

יתוכנו **n** גנרטורים להזנת חירום לעומס מלא. ▶

יתוכנו שני לוחות מיתוג למקרה של תקלה באחד מהלוחות. ▶

כמות הדלק תבטיח פעולה של 8 שעות בעומס מלא. ▶

תתוכנן הספקה מ-**UPS** לתאורת הלילה והבקרה לזמן המיתוג בין גנרטור לחח"י לעומס מלא. ▶

בטיחות אש

גלאי עשן

סיב אופטי או כבל סנסור לגילוי אש בשני צידי המנהרה.

תקנים:

ניתן להשתמש במצלמות לזיהוי אש ועשן במנהרה להגברת הבטיחות.

ת"י 1220 ▶

מערכות כיבוי אוטומטיות:

DIN4102 ▶

גלאים בלוחות מעל 63 אמפר

ספרינקלרים

מערכות כיבוי בקצף או בגז.

כבילת החשמל חהיה מסוג **NHXX FE180-E90** לפי **DIN4102**.

מלפון כבאים בסמוך ליציאות מילוט וארונות כיבוי אש הפרוסים לאורך המנהרה. (תקן 5435)

מערכות תקשורת

מערכת **CCTV**

מערכת שידורי רדיו.

מערכת מוטורולה.

מערכת הגנה מפני מכרסמים.

כל הכבילה למערכות אלה תהיה חסינת אש נטולת הלוגן

מסוג **NHXH**.

יוזנו מ-**UPS**

תכלול תקשורת בזק- טלפונים

תקשורת סלולארית מכל החברות.

מערכת כריזה.

מערכת בקרת תנועה (רמזורים).

טכנולוגיות מתקדמות וחדשנות

תאורה חסכונית:

שימוש ב-LED

טכנולוגיות חסכוניות באנרגיה

ויסות עוצמת התאורה בתלות בלומיננסמטר עם מערכת בקרת

תאורה רציפה וליניארית, בתוספת גיבוי לבקרת עוצמת התאורה - מבוסס שעון אסטרונומי

מערכות ניהול אנרגיה:

אופטימיזציה של צריכת החשמל

שימוש באנרגיה מתחדשת

חיישנים חכמים:

ניטור בזמן אמת

תחזוקה מונעת

אינטרנט של הדברים (IoT):

חיישנים מתקדמים

ניתוח נתונים לשיפור התפקוד

מקורות והפניות

תקנים ישראליים

ת"י 20 חלק 2.3: תאורה בכבישים ורחובות

ת"י 20 חלק 2.5: מנורות הצפה

ת"י 5827 חלק 12.22: תאורת חירום במנהרות רכב

ת"י 5827 חלק 12.21: מדריך לתאורה מנהרות רכב.

ת"י 1220: מערכות גילוי וכיבוי אש

ת"י 13201: תאורת דרכים

חוקים ותקנות

חוק החשמל, התשי"ד-1954

תקנות התכנון והבנייה

הנחיות משרד התחבורה

הנחיות בטיחות ייחודיות לפרויקט של יועץ הבטיחות

תקנים בינלאומיים

IEC 60598: תקני תאורה

CIE 88

תודה על ההקשבה

ולתראות בפרויקט הבא

שאלות?

