משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
מינהל היבשה / אגף תכנון תחבורתי

# כללים מנחים
# לשילוב מערכות
# הסעת המונים ברמזורים



**ינואר 2008 שבט תשס"ח**

תכנית אב
לתחבורה
ירושלים

NTE
NATAN TOMER ENGINEERING
נתן תומר הנדסה
אן.טי.אי. בע"מ

# תוכן העניינים


**רשימת חברי ועדת ההיגוי..... VI**
**רשימת מונחים..... VII**
**רשימת תרשימים..... IX**
**רשימת טבלאות..... XI**
**רשימת נספחים..... XII**
**רשימת מקורות..... XIII**
**מבוא..... XIV**

## פרק א' - תכנון מוקדם

**1. איסוף המידע**

1.1 כללי..... 1
1.2 המידע הנוסף שדרוש בשלב התכנון המוקדם..... 1
1.3 המידע הנוסף שדרוש בשלב התכנון המפורט..... 2

**2. הצדקים להתקנת רמזור**

2.1 כללי..... 3
2.2 עקרונות ההצדק להתקנת רמזור..... 3
2.3 הצדקים כמותיים:..... 4
2.3.1 תנועת אוטובוסים..... 4
2.3.2 תנועת כלי רכב במפגש עם מסילת רק"ל..... 5
2.3.3 הצדק בטיחותי במפגשים עם מסילת רק"ל..... 6
2.3.4 הולכי רגל במפגש עם תצ"מ..... 6
2.3.5 שיקולים נוספים..... 9
2.4 מתודולוגיה לחישוב הצדק לרמזור עבור הולכי רגל..... 10
2.4.1 מתודולוגיה..... 10
2.4.2 דוגמא לחישוב הצדק לרימזור מעבר חציה..... 11
2.4.3 הצגה גרפית של ההצדק..... 12

**3. בחינת תפעול הצומת**

3.1 כללי..... 16
3.2 מתודולוגיה..... 17
3.2.1 תכנון מוקדם..... 17
3.2.2 בדיקה תפעולית של הרמזור..... 20
3.3 תהליך בחינת תפעול הצומת..... 28

## פרק ב' - הסדרי תנועה

### 1. הסדרים גיאומטריים


1.1 כללי..... 31
1.2 רכב התכן..... 31
1.2.1 אוטובוס מערכתי.....31
1.2.2 רכבת מקומית.....32
1.3 מרחקי ראות.....32
1.4 מפרדות..... 34
1.5 מדרכות..... 34
1.6 שיקולים בתכנון נתיבים עם פנייה ימינה או שמאלה מתוך נתיב מקביל וסמוך למסלול של רכבת מקומית..... 35
1.7 קווי תיחום..... 36
1.8 סוגי צמתים מיוחדים..... 37
1.8.1 צמתים קרובים..... 37
1.8.2 מעגלי תנועה..... 39
1.8.3 תפעול המחסום..... 40
1.8.4 חציית מדרחוב בו עוברת תצ"מ..... 42
1.8.5 חציית זכות דרך בלעדית של תצ"מ..... 44


### 2. פנסי רמזור


2.1 כללי..... 45
2.2 פנסים לתצ"מ במסלול בלעדי..... 46
2.2.1 הפנסים ומשמעותם..... 46
2.2.2 ראשי רמזור לתנועת רק"ל בלבד..... 50
2.2.3 ראשי רמזור לתנועת אוטובוסים בלבד..... 50
2.2.4. ראשי רמזור לתנועה מעורבת..... 51
2.2.5 מימדי הפנסים לתצ"מ..... 52
2.2.6 מיקום הרמזורים..... 52
2.3 פנסים לתנועה הכללית.....53
2.3.1 צורת הפנסים.....53
2.4 פנסים להולכי רגל.....54
2.4.1 כללי .....54
2.4.2 צורת הפנסים ומיקומם.....54
2.5 שילוב פנסים.....55


### 3. מעברי חצייה


3.1 כללי.....56
3.2 מיקום מעבר החצייה..... 57
3.3 צורת המעבר.....58
3.4 מידות המעבר.....60
3.5 שטח ההמתנה במדרכות ובמפרדות.....60

3.6 סימון המעבר..... 60
3.7 מופע ירוק להולכי רגל בחציית מסלול תצ"מ..... 61

**4. תמרורים**
4.1 כללי..... 62
4.2 תמרור וסימון..... 62
4.3 שינויים בלח התמרורים..... 62

**5. בטיחות**
5.1 כללי..... 66
5.2 מתן זכות קדימה..... 66
5.3 הבטחת שדה ראייה..... 66
5.3.1 חישוב זמן פינוי..... 69
5.3.2 חישוב המרחק שהרק"ל עוברת במשך זמן פינוי ..... 71
5.4 השפעת השיפוע על מרחקי הראות..... 72
5.5 הבטחת פינוי הצומת..... 74
5.6 מעקות וגדרות קבועים..... 75
5.7 התקנת אמצעי עזר לכבדי ראייה..... 77
5.8 מרווחים מינימלים..... 77
5.8.1 מרווחי בטיחות מינימלים..... 79
5.9 כניסה לחצרים..... 81
5.10 בקרת צמתים כשהשיפוע לאורך תוואי הרמ"ק 7% או יותר..... 83
5.11 הגדרת שטח נקי ממכשולים קשיחים לאחר הצומת..... 84

## פרק ג' - זמנים בין ירוקים

**1. זמנים בין ירוקים..... 87**
1.1 כללי..... 87
1.2 מהירות הנסיעה..... 88
1.2.1 רק"ל נכנסת לצומת בראשית הירוק..... 88
1.2.2 רק"ל מפנה צומת בסוף הירוק..... 88
1.2.3 מהירויות אוטובוס מערכתי..... 88
1.2.4 מהירויות רכב רגיל..... 89
1.2.5 מהירויות הולכי רגל..... 89
1.3 תאוצות ותאוטות..... 89
1.4 אורך הרכב..... 90
1.5 זמן תגובה של נהג התצ"מ..... 90
1.6 משכי האותות בזמן בין ירוק..... 91
1.7 חישוב הזמנים הבין ירוקים..... 92
1.8 תוצאות חישוב במספר מקרים לדוגמא..... 93

## פרק ד' - העדפה לתחבורה ציבורית


**1. הקדמה..... 95**

**2. "הכנת השטח" להעדפה..... 96**

2.1 הקטנת הביקושים..... 96

2.2 שינויים גיאומטרים..... 96

2.3 צמצום מספר המופעים והשלבים..... 96

**3. אסטרטגיות העדפה..... 97**

3.1 העדפה פאסיביות..... 97

3.2 העדפה אקטיבית..... 97

3.2.1 העדפה תגובתית..... 97

3.2.2 העדפה הכוללת חיזוי..... 97

3.2.3 העדפה באמצעות כללי החלטה..... 97

3.2.4 העדפה באמצעות אופטיזציה..... 98

3.2.5 העדפה מותנית..... 98

3.2.6 העדפה בלתי מותנית..... 98

**4. קריטריונים למתן העדפה מותנית..... 98**

4.1 עמידה בלוח זמנים..... 98

4.2 מרווח בין כלי רכב..... 98

4.3 קו / כיוון נסיעה..... 99

4.4 זמן עיכוב לנוסע..... 99

4.5 הצטברות תורים/חסימת צמתים..... 99

4.6 דרגת הרוויה של הצומת/זמן ירוק עודף..... 99

4.7 גל ירוק לצומת הבא/עומס תנועה במורד הזרם..... 99

4.8 כניסה/יציאה מתחנה..... 99

**5. שיטות ליישום העדפה פאסיבית..... 100**

5.1 קיצור זמן המחזור..... 100

5.2 העדפה בחלוקת זמנים ירוקים..... 100

5.3 התאמת גל ירוק לתחבורה ציבורית..... 100

**6. שיטות ליישום העדפה אקטיבית..... 101**

6.1 כללי..... 101

6.2 הארכת שלב בו יש ירוק לרכב התצ"מ..... 101

6.3 הקדמת פתיחת שלב שבו יש ירוק לרכב תצ"מ..... 102

6.4 הוספת שלב מיוחד לרכב תצ"מ..... 103

6.5 החלפת סדר השלבים..... 104

6.6 דילוג וקיצור שלבים..... 105

6.6.1 דילוג עם שלבים..... 105

6.6.2 קיצור שלבים..... 105

**7. רמות העדפה..... 106**

**8. מגבלות ביישום העדפה..... 107**

8.1 כללי..... 107

8.2 החלפת סדר שלבים..... 108

8.3 הוספת שלב מיוחד לת"צ..... 108
8.4 אורך תור קריטי למניעת חסימת הרשת..... 108
8.5 זמן מחזור..... 108
8.6 דילוג..... 108
**9. מתן פיצוי למופעים הנפגעים..... 109**

## פרק ה' - גלאים

**1. כללי..... 110**
**2. שיטת גילוי פאסיבית..... 111**
2.1 דילוג..... 111
2.2 דילוג..... 112
2.2.1 תקשורת לטווחי ביניים..... 113
2.2.2 תקשורת לטווחי ביניים..... 113
2.2.3 תקשורת ארוכת טווח..... 114
2.3 דילוג..... 115
**3. מיקום הגלאים..... 116**
3.1 גלאי דרישה ראשונים או הגלאי הרחוק..... 116
3.2 גלאי עדכון או גלאי קרוב..... 117
3.3 גלאי דרישה או גלאי חיקום..... 117
3.4 גלאי פיזי..... 117
3.5 גלאי ביציאה מתחנה..... 118
3.6 גלאי לאיתור רכב באזור הבלימה..... 118
**4. הגורמים המשפיעים על קביעת הגלאים, מספרם ומיקומם..... 118**

## פרק ו' - תרשימי זרימה

**1. כללי..... 123**
**2. הרכב תרשימי הזרימה..... 124**
2.1 תרשים זרימה בסיסי..... 124
2.2 תרשים זרימה תפעולי..... 125
2.2.1 תרשים תפעולי ראשי..... 125
2.2.2 תרשימים חלקיים..... 125

**נספחים..... 127**

# כללים מנחים לשילוב מערכות הסעת המונים ברמזורים

## חברי ועדת ההיגוי:

**אינג' ישעיהו רונן** – מנהל אגף בכיר, תכנון תחבורתי – משרד התחבורה
**אינג' יובל בלום** – מהנדס המחוז, מחוזות ירושלים והדרום - משרד התחבורה, עד ינואר 2006
**אדר' מתיה ענב** – מפע"ת מחוז תל-אביב והמרכז – משרד התחבורה
**אינג' מריאן ברוק** - מפע"ת מחוזות חיפה והצפון – משרד התחבורה
**מר ישי טלאור** – מפע"ת מחוזות ירושלים והדרום – משרד התחבורה
**אינג' נחלה שאקר** – מהנדס המחוז, מחוז תל-אביב והמרכז – משרד התחבורה
**אינג' עירית שפרבר** – מהנדסת המחוז - מחוזות חיפה והצפון – משרד התחבורה
**אינג' מריה כהן-אתגר** – מהנדסת תנועה – משרד התחבורה
**אינג' שמואל צברי** – צוות תוכנית אב לתחבורה, ירושלים
**אינג' דבורה סטולרסקי** – צוות תוכנית אב לתחבורה, ירושלים
**אינג' שמואל צירקל** – צוות תוכנית אב לתחבורה, ירושלים
**אינג' יעקב בנדלר** – צוות תוכנית אב לתחבורה, ירושלים
**אינג' קובי ברטוב** – מנהל אגף תושי"ה – עיריית ירושלים
**אינג' אולגה אדלמן** - אגף תושי"ה – עיריית ירושלים
**אינג' שלמה פלדמן** – מנהל אגף התנועה – עיריית תל-אביב
**ד"ר דורון בלשה** – מנכ"ל חברת יפה נוף
**אינג' נטלי כ"ץ** – מרכז בקרת הרמזורים – עיריית חיפה
**אינג' משה הרצוג** – מנהל אגף התנועה – עיריית פתח תקווה
**אינג' יוני גיז** – אגף התנועה – משטרת ישראל
**אינג' בני שליטא** – חברת נת"ע
**ד"ר סיתונית שמואלי-לזר** - חברת נת"ע
**אינג' ניב עדן** – צוות פיתוח מערכת ענבר, המכון לחקר התחבורה - הטכניון
**אינג' סילבן רטוביץ** – חב' "סילבן רטוביץ – הנדסת תנועה"
**אינג' גבי שויער** – חברת מ.ת.ן
**אינג' יוסי שטרק** – חב' "לוי-שטרק"
**מר שלמה רודן** – יועץ למשרד התחבורה

## צוות המחברים:

**אינג' נתן תומר** – נתן תומר הנדסה NTE
**אינג' יעקב שצ'ופק** – נתן תומר הנדסה NTE
**ד"ר יורם בן-יעקב** – איתות 80 בע"מ
**אינג' טלי לוי** – איתות 80 בע"מ
**אינג' קובי וטנברג** – קו-חי הנדסה בע"מ
**אינג' יואב זקס** – יואב זקס הנדסה
**אינג' פנחס בן-שאול**
**אינג' דינה אלון-רשף**

# רשימת מונחים בהנחיות אלה:

## 1. מערכות תחבורה ציבורית

* תחבורה ציבורית, **ת"צ** (תח"צ לשעבר) - אירופאי PT, Public Transport
- אמריקאי Transit
* מערכת תחבורה עתירת נוסעים (**מתע"ן**) Mass Transit
* ת"צ מסילתית Rail Transit

כולל את כל סוגי הרכבות

* ת"צ מהירה Rapid Transit

כולל: רכבות לסוגיהן, אומ"ר ות"צ במכוונה

* רכבת מקומית (**רמ"ק**), רכבת עירונית Light Rail Transit, LRT, city railway

(בהתייחסות למערכת ההסעה)

* רכבת פרברים Commuter rail, Suburban rail
* אוטובוס מערכתי (**אומ"ר**) BRT, Bus Rapid Transit
* ת"צ מועדפת (**תצ"מ**) BRT או LRT או אוטובוס בנתיב או מסלול מועדף
* ת"צ במיכוונה Guideway Transit, AGT, Guided Transport System GTS

## 2. כלי רכב של ת"צ

* רכבת קלה (**רק"ל**) Tram, Tramway, LRV
* אוטובוס מערכתי (**אומ"ר**) BRT (בדרך כלל אוטובוס מפרקי)

## 3. תשתיות ת"צ

* נתיב ת"צ, **נת"צ**, נתיב בלעדי Bus lane
* נתיב מועדף (בו ניתנת העדפה ברמזורים) Priority lane
* מסלול ת"צ, **מת"צ** - מיועד לאוטובוסים ו/או לרק"ל Busway
* מיכוונה Guideway
* רחוב ת"צ, **רת"צ** – רחוב המיועד לתחבורה ציבורית והולכי רגל
* רציפים משיקים, תחנות משיקות Cheek to cheek station

רציפים/תחנות של שרותי ת"צ שונים, הצמודים אחד לשני, לנוחות מעבר נוסעים משרות לשרות.

## 4. <u>תנועה</u>

* **מהירות**

בכל מקום בו לא נאמר אחרת , הכוונה למהירות המירבית המותרת של הרק"ל או האומ"ר באותו קטע דרך.

* **קיבולת זמינה**

הקיבולת (לנתיב) הנותרת עבור התנועה הכללית, לאחר הקצאת המופע/המופעים לרכב התצ"מ.

* יחידת תנועה, **ית"ן** (יר"מ לשעבר) Passenger car unit, PCU

## 5. <u>רמזורים</u>

* **"ראש רמזור"** Signal head

התיבה בה מותקנת מערכת אותות הרמזור, על כל מרכיביה

* **פנס** Signal lens

חלק הרמזור בו ניתן אות צבעוני, (גם לבן הוא צבע)

* **אות** Aspect, Signal indication

ההוראה המוצגת ע"י פנסי הרמזור, בכל זמן נתון

* **עמוד הרמזור** Signal Pole/Support

על עמוד אחד יכולים להתקין ראש רמזור אחד או יותר, בצידי נתיב או מעליו.

* **מופע** Phase

תנועה או צרוף תנועות המופעלות בעת ובעונה אחת מאותו כיוון התקרבות, באמצעות ראש רמזור משותף

* **שלב (תמונה)** Stage (British), Interval (American)

צרוף מופעים (או מופע אחד) המופעלים בעת ובעונה אחת

# רשימת תרשימים


א- 1 דוגמת הצדק לרמזור עבור הולכי רגל..... 14
א- 2 השפעת ההעדפה של רק"ל בצומת..... 23
א- 3 ניתוח צומת - בדיקה מיקדמית..... 28
א- 4 ניתוח צומת - בדיקה תפעולית..... 29

ב- 1 שדה הראיה להולך רגל..... 33
ב- 2 שדה הראיה לרכב..... 33
ב- 3 הסדרת פנייה שמאלה ..... 35
ב- 4 תחנת רק"ל בסמוך לנתיב פניה לרכב הכללי..... 36
ב- 5 צמתים קרובים - הרק"ל ארוכה מן המרחק בין הצמתים..... 37
ב- 6 צמתים קרובים - המרחק בין הצמתים קצר ממרחק הראות..... 38
ב- 7 מעגל תנועה לא מרומזר..... 39
ב- 8 תאור זמני מחסום רק"ל..... 41
ב- 9 מסלול תצ"מ במדרחוב - צומת מרומזר..... 42
ב- 10 צומת בין רחוב לבין מסלול תצ"מ..... 43
ב- 11 צומת בין רחוב לבין מסלול תצ"מ בזכות דרך בלעדית..... 44
ב- 12 ראשי רמזור לתצ"מ..... 47
ב- 13 סדר המופעים..... 48
ב- 14 סדר המופעים לרק"ל..... 49
ב- 15 מעבר חצייה ישיר..... 59
ב- 16 מעבר חצייה מדורג..... 59
ב- 17 מרחקי ראות - המשולש הגדול..... 67
ב- 18 מרחקי ראות - המשולש הקטן..... 68
ב- 19 מרחקי ראות - חציית הולכי רגל..... 69
ב- 20 מעקות בטיחות להכוונת הולכי רגל בצומת..... 75
ב- 21 מעקות בטיחות להכוונת הולכי רגל שלא בצומת..... 76
ב- 22 מירווחי בטיחות של הרק"ל..... 78
ב- 23 מירווחי בטיחות להתקנים שונים..... 80
ב- 24 דוגמא לבקרת כניסה לחצר באמצעות מחסום רכבת..... 84
ב- 25 שטח נקי ממכשולים אחרי הצומת..... 85

ד- 1 הארכת ירוק למופע תצ"מ..... 102
ד- 2 הקדמת ירוק למופע תצ"מ..... 103
ד- 3 הוספת שלב מיוחד לרכב תצ"מ..... 104
ד- 4 החלפת סדר השלבים..... 104
ד- 5 העדפה פאסיבית לעומת העדפה אקטיבית..... 106

ה- 1 מיקום גלאים בצומת, ללא תחנה בקירבתו..... 120
ה- 2 מיקום גלאים בצומת הסמוך לתחנה..... 121
ה- 3 מיקום גלאים לאיתור רכב באזור הבלימה..... 122

# רשימת טבלאות


א- 1 רמות השרות להולכי רגל..... 7
א- 2 זמן המתנה להולכי רגל..... 13
א- 3 רמות שרות לרכב..... 21
א- 4 ערכי K בתלות ברמת הרוויה ואורך יחידה ההארכה..... 25
א- 5 ערכים למקדם I למופעים עם רמזור במעלה הזרם..... 25
א- 6 מקדם גל ירוק..... 26

ב- 1 מרחקי ראות מזעריים לבלימת שרות..... 32
ב- 2 תמרורים ליישום בצמתים מרומזרים עם תצ"מ..... 64
ב- 3 זמן פינוי של רכב חוצה ממצב עצירה..... 70
ב- 4 זמן פינוי של הולך רגל..... 71
ב- 5 המרחק שהרק"ל עוברת במשך זמן פינוי..... 71
ב- 6 מרחקי בלימה בשרות בתלות בשיפוע..... 74
ב- 7 הגדרת מכשול כמכשול יחיד..... 79
ב- 8 אורך הקטע הנקי ממכשולים..... 86

ג- 1 זמני פינוי כפונקציה של אורך הרק"ל ומהירותה..... 94

ד- 1 רמת העדפה..... 107

# רשימת נספחים

נספח 1: דוגמא לחישוב תיפעול צומת בשלב הבדיקה המיקדמית..... 127
נספח 2: דוגמאות לחישוב תפעול הצומת בשלב הבדיקה התפעולית..... 131
- רמזור קצוב זמן (מחזור קבוע)..... 132
- רמזור מופעל תנועה (מחזור משתנה..... 141
נספח 3: דוגמאות למיקום פנסיבצמתים עם תצ"מ..... 150

# רשימת מראי מקום

## הנחיות משרד התחבורה

- הנחיות לתכנון מעברי חצייה, 1973
- הנחיות לתכנון רמזורים, 1981
- הנחיות לתכנון נתיבים לתחבורה ציבורית, 1998
- עקרונות לתכנון רכבת עירונית ושילובה בהסדרי התנועה, 2003
- HCM 2000 מתורגם ומותאם לתנאי ישראל, 2005
- הנחיות לתכנון מפגשי מסילת ברזל, 2006
- הנחיות לתכנון מעברי חצייה עתירי ביקוש ( בסיוע נ.ת.ע.), 2006
- המפרט הטכני לרמזורים, 1986
- לוח התמרורים, 2002
- תקנות התעבורה, 1961

## תקן ישראל

- ת"י 1918 - נגישות הסביבה הבנויה
- ת"י 5350 - בניה ותפעול מערכת רכבת קלה

## הנחיות אחרות

- הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות, צמתים ומחלפים, כרך I , מע"צ 1994
- Guidelines for Traffic Signals Road Rilsa and Transportation Research Association,1992

# כללים מנחים לשילוב מערכות הסעת המונים ברמזורים

## מבוא

### רקע

לקראת הפעלת מערכות הסעת המונים באזורי המטרופולין של ישראל, כגון מערכת רכבות מקומיות (**רמ"ק**) המופעלות באמצעות רכבות קלות (**רק"ל**), ואוטובוסים מערכתיים (**אומ"ר** או BRT), יזמו משרד התחבורה ו"תכנית אב לתחבורה ירושלים" הכנת כללים לשילוב מערכות מסוג זה ברמזורים, או במילים אחרות - הרחבת ההנחיות לתכנון רמזורים גם עבור צמתים בהם יעבור הרמ"ק או האומ"ר.

### מטרת העבודה

מטרת ה"כללים לשילוב מערכות הסעת המונים ברמזורים" היא לפתח ולספק כלי עזר תכנוני והנחיה לרשויות ולמתכננים המתכוונים להתקין ולהפעיל רמזורים לאורך צירי תנועה בהם יעברו רכבות מקומיות ואוטובוסים מערכתיים.
היות וכללים אלה אמורים להשתלב בהנחיות הקיימות לתכנון רמזורים, הם נצמדו לעקרונות ולפרטי התכן הנהוגים בישראל בתכנון רמזורים. השוני העיקרי של פעולת רמזורים בצמתים בהם עוברים קווי הסעת המונים לעומת רמזורים בצמתים רגילים, הוא ביישום מדיניות של מתן עדיפות לתחבורה הציבורית (ת"צ) וביצירת משטר תנועה התואם מגמה זו.

### מבנה הדו"ח

בפרקים השונים של כללים אלה נפרשת היריעה לכל המרכיבים החיוניים לתכנון ראוי של מערכת רמזורים בצמתים בהם עוברת תצ"מ, החל מאיסוף המידע הדרוש לתכנון רמזור, אופן בדיקת ההצדקים להתקנת רמזורים אלה ובחינת תפעול הצומת, המהווים את מרכיבי **התכנון המוקדם** וכלולים בפרק א'.
פרק ב' מתמקד בהנחיות להסדרי תנועה המייחדים רחובות וצמתים בהם עוברת **תצ"מ** (תחבורה ציבורית מועדפת) וכולל הסדרים גיאומטריים, פרטי פנסי הרמזור והתמרורים המיועדים לרמ"ק ולאומ"ר, עם התייחסות מיוחדת למעברי חצייה להולכי רגל ולסוגיית הבטיחות.
פרק ג' עוסק באופן החישוב של **הזמנים הבין ירוקים** בצמתים בהם עוברים רכבי התצ"מ.
פרק ד' מתאר ומנתח את **שיטות ההעדפה** השונות של הת"צ.
פרק ה' מפרט את אופן **התקנת הגלאים** המיוחדים הדרושים להפעלת מתן העדיפות לתחבורה הציבורית המועדפת (תצ"מ).
פרק ו', האחרון, מגדיר שיטה להכנת **תרשימי הזרימה** של תפעול הרמזורים, כך שיוכלו לבטא את שינוי מופעי הרמזור ותמונותיו במגמה להבטיח את מתן העדיפות לרכב התצ"מ המגיע לצומת.

בפתח הדו"ח מוצגת **רשימת מונחים**, הייחודית לכללים אלה, ובהם מספר מונחים חדשים (כגון תצ"מ, רמ"ק ואומ"ר), ובסוף הדו"ח רשימת מקורות ששימשו להכנתו.

## <u>מסגרת העבודה</u>

הכנת כללים מנחים אלה לוותה ע"י ועדת היגוי בראשות **אינג' ישעיהו רונן**, מנהל אגף בכיר לתכנון תחבורתי במשרד התחבורה ובריכוזו של **אינג' יובל בלום**, אשר שימש כמהנדס תנועה מחוזי למחוזות ירושלים והדרום.
העבודה נעשתה ע"י צוות מחברים בריכוזו של משרד **נתן תומר הנדסה - NTE**.
מאחר וטרם מופעלת בארץ אף רכבת מקומית או אוטובוס מערכתי, נערך סקר ספרות נרחב ללימוד פרטי הנושאים וחידושיו בעולם, וכן סיור מקצועי להכרת היישומים השונים של מערכות רימזור המופעלות בערים בהם פועלת רמ"ק. להשלמת המידע הדרוש להכנת הנחיות אלה נערכו גם סדנאות יזומות עם מומחים מארצות שונות, אשר סייעו להטמעת הנסיון שנצבר אצלם.
ההנחיות והכללים המוצגים בדו"ח זה מיועדים לקדם תכנון מערכות טכנולוגיות שטרם הופעלו בארץ, תוך שילובם והתאמתם למסגרת הנחיות התכנון הנהוגות בישראל.
אין ספק כי במהלך יישומם בפועל יהיה צורך לעקוב אחר קליטתם, לעדכנם ולהשלימם. אי לכך נהיה אסירי תודה על כל הצעה והערה לשיפור כללים אלה.

# פרק א

# 1. איסוף המידע

# כללים מנחים לשילוב מערכת הסעת המונים ברמזורים

# פרק א': תכנון מוקדם

## 1. איסוף המידע

### 1.1 כללי

סעיף זה עוסק באיסוף המידע ובנתונים הנדרשים לתכנון רמזור בצמתים בהם משולבת תצ"מ (תחבורה ציבורית מועדפת), אם בצורת רכבת מקומית או אוטובוס מערכתי (אומ"ר, BRT), ואם באמצעות אוטובוסים במסלול או נתיב בלעדי או בנתיב משותף עם כלי הרכב האחרים בדרך.

לצורך תכנון רמזורים שמשולבים בהם מערכות תצ"מ, דרוש מידע נוסף מעבר לזה הדרוש לצורך תכנון רמזור רגיל – מידע הכולל את נפחי התנועה, גיאומטריה של הצומת, מיקום צמתים קרובים ועוד.

**המידע הנוסף** הדרוש לתכנון צמתים מרומזרים עם תצ"מ כולל את הנושאים הבאים כשהם מחולקים לפי שני שלבי עבודה- תכנון מוקדם ותכנון מפורט.

**התכנון המוקדם** מבוצע כחלק של התכנון המערכתי הכולל.

**התכנון המפורט** נעשה לאחר השלמת תכנון המערכת והוא אמור לתת מענה או להשתמש במרכיבים שונים שהוגדרו במערכת כגון: מדיניות ההעדפה, רמת הקשר בין מרכז הבקרה וכלי הרכב, רמת הקשר בין מרכז הבקרה של התצ"מ ובין הרמזור הבודד ו/או מרכז בקרת הרמזורים וכו'.

### 1.2 המידע הנוסף הדרוש בשלב התכנון המוקדם

1. תדירות מתוכננת של התצ"מ.
2. מסלולים עקרוניים של הקווים המתוכננים.
3. מיקום תחנות בסמוך לצומת (לפני או אחרי הצומת) או באמצע הקטע.
4. מספרי הולכי רגל הצפויים לחצות במתחמי תחנות התצ"מ ובצמתים לאורך הקו.
5. נתונים פיזיים של רכב התצ"מ הכוללים: אורך, רוחב וגובה (כולל תחום השפעה דינמי).
6. נתונים תפעוליים של רכב התצ"מ הכוללים: מהירויות נסיעה, תאוצות ותאוטות.
7. עקרונות מדיניות ההעדפה לתצ"מ.

## 1.3 <u>המידע הנוסף הדרוש בשלב התכנון המפורט</u>

1. תדירות קיימת או מתוכננת של התצ"מ לפי סוגי רכב, קווים וכיווני נסיעה.
2. מסלולי הקווים.
3. מיקום תחנות בסמוך לצומת (לפני או אחרי הצומת) או באמצע הקטע, ומידע על קיום מעברים תת- קרקעיים או עיליים.
4. מספרי הו"ר שנספרו בפועל או שהתקבלו כאומדן מקורב, אשר צפויים לחצות במעברי החצייה הקרובים לקצות תחנות התצ"מ ובצמתים לאורך הקו.
5. נתונים פיזיים של רכב התצ"מ הכוללים: אורך, רוחב וגובה (כולל תחום השפעה דינמי).
6. נתונים של כלי הרכב הכוללים: מהירויות נסיעה, תאוצות ותאוטות.
7. פרטים על המידע שניתן לקבל מהרכב הציבורי עצמו ו/או ממערכת הבקרה שלו.
8. מידע על מערכת בקרת הרמזורים שאליה הרמזור אמור להיות קשור, במידה ויש כזו.
9. מדיניות ההעדפה עליה הוחלט והתנאים בהם העדפה זו תינתן (ראה גם להלן בפרק בנושא ההעדפה).

# פרק א

# 2. הצדקים להתקנת רמזור

# 2. הצדקים להתקנת רמזור

## 2.1 כללי

סעיף זה עוסק בהצדקים להתקנת רמזור בצמתים בהם משולבת תחבורה ציבורית מועדפת (בקיצור – תצ"מ), אם בצורת רכבת קלה או אוטובוס מערכתי (BRT) ואם באמצעות אוטובוסים במסלול בלעדי, נתיב בלעדי (מת"צ/נת"צ) או בנתיב משותף עם כלי הרכב האחרים בדרך.

שני היבטים מאפיינים את ההצדקים להתקנת רמזורים בצמתים בהם משולבת מערכת תצ"מ:

א. הצורך במתן עדיפות בצומת למערכת התצ"מ על פני כלי הרכב האחרים.

ב. ההיבט הבטיחותי, כאשר חומרתן של תאונות בהן מעורב רכב המשמש לתצ"מ גדולה יחסית לזו של תאונות בהן מעורבים כלי רכב פרטיים בלבד, עקב השוני במסה של שני כלי הרכב.

בנוסף, כאשר מדובר ברק"ל (רכבת קלה) , הולכי רגל יכולים לחצות את תחום המסילות במקומות רבים וללא רמזור, היות ולא ניתן לגדר לחלוטין, בצורה סבירה, את תחומי המסילות. מבחינה אורבנית הדבר בעייתי ברחובות רבים, בהם הרק"ל מהווה חלק אינטגרלי מהרחוב העירוני. לכן, אחד הפתרונות להגברת בטיחות החציה של הולכי רגל הוא הגבלת מהירות הנסיעה של הרק"ל באזורים עתירי פעילות הולכי רגל.

במסלולים בלעדיים לאוטובוסים או בנתיבים משותפים למספר רב של אוטובוסים ולשאר כלי הרכב, התמונה שונה. במקרים אלה חלים ההצדקים המופיעים בהנחיות לתכנון רמזורים של משרד התחבורה (1981)*, עם ההתאמות להסדרת עדיפות לתחבורה הציבורית. העדיפות לתחבורה ציבורית מיושמת ע"י החלת ערך ית"ן גבוה לאוטובוס, המשקף את יעילותו בהסעת נוסעים רבים לעומת הרכב הפרטי, בצמתים בהם עוברות מערכות להסעת המונים.

## 2.2 עקרונות ההצדק להתקנת רמזור

ההתייחסות לנושא ההצדק להתקנת רמזור משתנה לפי סוג הרכב במערכת התצ"מ. כלי הרכב מחולקים, לצורך נושא ההצדק להתקנת רמזור, לשתי קבוצות:

א. רכבת קלה או אומ"ר (אוטובוס מערכתי - BRT). בפרק זה, הכללים המתייחסים לרק"ל תופסים גם עבור האומ"ר.

ב. אוטובוסים במת"צ או בנת"צ.

* הנחיות לתכנון רמזורים, משרד התחבורה, 1981

ההבדל העיקרי בין שתי הקבוצות, מבחינת ההצדק להתקנת הרמזור, נגזר מהתדירות בה מופיעים כלי הרכב בצומת וקיבולת הנוסעים שלהם. לאוטובוסים קיבולת נמוכה יחסית, אולם הם יכולים להופיע בתדירות גבוהה מאד, עד כדי הופעת מספר אוטובוסים בכל מחזור ומחזור (למשל, כאשר מספר קווים עוברים באותו קטע דרך, כדוגמת רחוב הרצל בירושלים או רחוב בגין בתל-אביב). ואולם, לרק"ל קיבולת נוסעים גבוהה ותדירות נמוכה יותר. התדירות המרבית שלהם היא בדרך כלל של כ - 2 - 3 דקות (תלוי במערכת), כך שהופעתם בצומת היא אירוע המחייב התייחסות מיוחדת.

נזכיר כי ההצדק הקיים בהנחיות לתכנון רמזורים* להתקנת רמזור בצומת מבוסס על כמות ניגודים (קונפליקטים) בין תנועות (רכב - רכב או רכב - הולכי רגל) והיבטים בטיחותיים, אך ללא קשר למתן עדיפות. שיקולים אלה מתאימים לקבוצת האוטובוסים במת"צ/נת"צ.

לעומת זאת עבור תצ"מ ישנה חשיבות מיוחדת לעדיפות בצומת, הניתנת באמצעות אותות רמזור. לכן, ככלל, בצמתים בהם עוברת תצ"מ יותקן רמזור.

ההתייחסות לחציה של הולכי רגל בצומת מבוססת על המאפיינים המיוחדים של תנועת הולכי רגל באזור התחנות של התצ"מ. באזורי תחנות קיימות קבוצות גדולות של הולכי רגל החוצות את הכבישים הסמוכים, לאחר שירדו מרכב התצ"מ. כמו כן קיימת תנועת הולכי רגל ערה, ולעיתים מרוכזת, של נוסעים העולים לתחבורה הציבורית (ואף ממהרים להגיע לרכב בטרם יעזוב את התחנה).

בנוסף, קיים לעתים הצדק לרמזור לפתרון בעיות בטיחות במקרים מיוחדים, שלא ניתן לפתרן בדרכים אחרות, כגון ליד מוסדות חינוך או מרכזי פעילות אחרים, כמפורט בהמשך. יש לזכור כי התקנת רמזור מהווה פתרון רק בהעדר אפשרויות הסדרת הניגודים באמצעים אחרים, כגון תיעול הולכי הרגל למעברי חציה בטוחים אחרים.

## 2.3 <u>הצדקים כמותיים</u>

### 2.3.1 <u>תנועת אוטובוסים</u>

**הנחיה: ההצדק להתקנת רמזור בצומת, הכולל תנועת אוטובוסים, יחושב על פי הנחיות משרד התחבורה לתכנון רמזורים. כאשר קו אוטובוסים סדיר עובר יחד עם תנועה משנית בצומת, יחושב אוטובוס על פי 15 ית"ן, במסגרת חישוב הנפחים להצדק להתקנת רמזור. (*הערה: הנחיה זו מהווה שינוי להנחיות הקיימות לתכנון רמזורים** ).**

* הנחיות לתכנון רמזורים, משרד התחבורה, 1981

האוטובוסים מצטרפים אל סך כלי הרכב בתהליך בחינת ההצדק להתקנת רמזור. במידה והאוטובוסים נוסעים עם התנועה הראשית, יש להם כבר עדיפות בצומת הבלתי מרומזר, מעצם היותם חלק מהתנועה בעלת זכות הקדימה בצומת. במצב זה אין צורך בהתקנת רמזור לשם מתן העדיפות לת"צ ולכן, האוטובוסים יחושבו על פי ההנחיות הקיימות לתכנון רמזורים, כלומר 1.8 ית"ן.

לגבי אוטובוסים בקווים סדירים, הנוסעים עם התנועה המשנית בצומת בו עוברות מערכות להסעת המונים, יש להביא לידי ביטוי את העובדה שהם כלי תחבורה המסיעים אנשים רבים. לכן נקבע כי בערכי הית"ן (יחידות תנועה) של האוטובוסים תילקח בחשבון העובדה שהם נושאים יותר נוסעים מאשר כלי הרכב הפרטיים. לצורך ההצדק הונח יחס של 1:15 בין המספר הממוצע של נוסעים באוטובוס (20 נוסעים) לתפוסה ממוצעת של רכב פרטי בשעות השיא (כ – 1.3 נוסעים).

### 2.3.2 <u>תנועת כלי רכב במפגש עם מסילת רק"ל</u>

**הנחיה: בכל צומת של רחוב החוצה מסלול של רק"ל יותקן רמזור.**
**עם זאת, בצמתים בהם הנפח הנוגד לרק"ל קטן מ – 300 ית"ן בכל 8 השעות העמוסות, ניתן לשקול שלא להתקין רמזור.**

**הנחיה: במפגש עם חצרים לא יותקן רמזור, אלא אם כן קיים בגישה אליהם נפח תנועה של יותר מ – 300 ית"ן ב – 8 השעות העמוסות, בשני הכיוונים יחדיו (ר' סעיף 5.9 – כניסה לחצרים).**

מטרת התקנת הרמזור היא, כאמור, כפולה: מתן עדיפות לת"צ ובטיחות. כאשר מספר כלי הרכב החוצים את מסילת הרק"ל הינו נמוך, נוצר רק מספר קטן של ניגודים עם הרק"ל, היות וגם תדירות הופעתה הינה נמוכה.
אי לכך, עבור מספר ניגודים קטן אין הצדקה להתקנת רמזור - לא מבחינה בטיחותית ולא מבחינת ההשלכות על מהירות הנסיעה של הרק"ל.

יש לזכור כי התקנת רמזור לרכב מחייבת התקנת פנסים להולכי הרגל החוצים, דבר המחייב מופע להולכי רגל בצומת בכל מחזור (בהעדר לחצנים). התוצאה יכולה להיות עיכוב לרק"ל בגלל מופע או זמני פינוי להולכי הרגל.

יש להדגיש כי שיקולים נוספים יכולים להצדיק התקנת רמזור, גם בנפחי תנועה נמוכים. למשל, מגבלות שדה ראיה לכלי רכב המתקרבים לצומת, צומת שמיקומו קשה להבחנה ע"י נהג הרק"ל או צומת עם תנועה משמעותית של רכב דו-גלגלי, יכולים להצדיק התקנת רמזור.

### 2.3.3 <u>הצדק בטיחותי במפגשים עם מסילת רק"ל</u>

**הנחיה: בכל צומת עם מסלול רק"ל, שאינו עומד בהצדק הכמותי ואירעו בו במשך שנה 3 תאונות עם נפגעים בהן מעורבת רק"ל, יש הצדק להתקנת רמזור.** ***(הערה: הנחיה זו מהווה שינוי להנחיות הקיימות לתכנון רמזורים).***

בצמתים בהם כמות הניגודים נמוכה, מעידה הצטברות תאונות על בעיה בטיחותית נקודתית.
לפני קבלת החלטה על התקנת רמזור יישקלו פתרונות חלופיים שאינם כוללים רמזור, כגון שיפור שדה ראיה.

### 2.3.4 <u>הולכי רגל במפגש עם תצ"מ</u>

<u>כללי</u>
רכב התצ"מ יוצר תנועה של קבוצות הולכי רגל היורדים ממנו ועולים אליו בו זמנית. הדבר נכון במיוחד עבור היורדים מרק"ל, בתחנות הממוקמות בסמוך למרכזי פעילות של הולכי רגל. חלקם ירצו, במקרים רבים, לחצות את הרחוב הסמוך לתחנה, בעיקר כאשר מסלול התצ"מ נמצא בין מסלולי הרחוב. כאשר אין צומת מרומזר בקרבת התחנה ומספר הולכי הרגל העולים והיורדים מהתצ"מ גבוה, יש לספק לחוצים הגנה באמצעות רמזור.

ההצדק להתקנת הרמזור מתייחס לכל מסלול חציה בנפרד ומבוסס על שני משתנים עיקריים: מספר הולכי הרגל החוצים ומספר כלי הרכב במסלול הנסיעה אותו חוצים.

סעיף זה מציג מתודולוגיה לבחינת ההצדק להתקנת רמזור על בסיס תנועת הולכי הרגל וכלי הרכב בתנועה הנוגדת. כאשר ההצדק איננו מתקיים יחולו כללי התכנון הרגילים.

**הנחיה:**

**א. לכל תחנת תצ"מ יהיה לפחות מעבר חציה מרומזר אחד שמרחקו מן הקצה הקרוב של התחנה אינו עולה על 70 מ'.**

**ב. הצדק להתקנת מעבר חציה מרומזר <u>נוסף</u> עבור הולכי רגל החוצים רחוב בקצה תחנת תצ"מ שלא בצומת, מתקיים אם התמלאו שני התנאים הבאים:**

**1. העיכוב הממוצע להולך רגל במעבר החציה עולה על 50 שניות.**

**2. מקום החציה נמצא 70 מטר לפחות ממעבר חציה מרומזר.**

**ג. תחום ההצדק מתייחס למספר של 10 הולכי רגל לפחות, החוצים בו זמנית תנועה של לפחות 200 ית"ן בשעה, הנוגדת להולכי הרגל. מספר הולכי רגל או כלי רכב הקטנים מערכים אלה לא יצדיקו התקנת רמזור.**

***(הערה: הנחיה זו מהווה שינוי להנחיות הקיימות לתכנון רמזורים).***

**הנחיה: בהעדר הצדק להתקנת רמזור, לא יסומן מעבר חציה על מסלול הרק"ל.**

התבחין (קריטריון) להצדק להתקנת רמזור להולכי רגל שונה בהנחיות אלה מהתבחין אשר בהנחיות הקיימות לתכנון רמזורים[*] בשלושה היבטים:

א. נקבע כי לכל תחנת תצ"מ יוסדר מעבר חציה מרומזר אחד לפחות עבור הולכי הרגל.

ב. התבחין מבוסס על מספר הו"ר החוצים נפח תנועה נוגדת בשעה יחידה.

ג. ההצדק להתקנת רמזור מבוסס על זמן עיכוב ממוצע להולך הרגל ולא על מספר הולכי רגל ונפח התנועה הנוגד בלבד.

התבחין (קריטריון) להצדק להתקנת רמזור להולכי רגל מבוסס על חישוב של זמן ההמתנה (העיכוב) הממוצע להולכי הרגל במעבר החציה. העיכוב המצדיק התקנת רמזור מבוסס על ערכים המופיעים ב – HCM2000[**] לרמת שירות E בצמתים מרומזרים. על פי ה – HCM רמות השירות מוגדרות כדלקמן:

**טבלה א- 1: רמות שרות להולכי רגל**

| רמת שירות | עיכוב להולכי רגל (ש'/לה.ר.) |
|---|---|
| A | < 10 |
| B | 10 - 20 ≤ |
| C | 20 - 30 ≤ |
| D | 30 - 40 ≤ |
| E | 40 - 60 ≤ |
| F | 60 < |

עיכוב של 50 שניות (ממוצע רמת שירות E) נקבע כקריטריון להצדק, כאשר עיכוב שווה או ארוך יותר יצדיק התקנת רמזור בצומת.

**הנחיה: חישוב העיכוב הממוצע יבוצע על פי המתודולוגיה המפורטת בנספח לסעיף זה. החישוב מבוסס על חמישה משתנים:**

- **מספר הולכי הרגל היורדים מרכב התצ"מ בשעת שיא.**
- **אורך מעבר החציה.**
- **רוחב מעבר החציה.**
- **נפח התנועה הנוגד.**
- **תדירות רכב התצ"מ.**

[*] הנחיות לתכנון רמזורים, משרד התחבורה, 1981

[**] Highway Capacity Manual 2000 מתורגם ומותאם לתנאי ישראל, משרד התחבורה, דצמבר 2005.

**כמו כן מחושב העיכוב על בסיס המקדמים הבאים:**

- **מהירות הליכה הממוצעת של הולך רגל במעברי חציה עתירי ביקוש מחושבת כ - 1.0 מטר לשניה.**
- **זמן זינוק להולכי הרגל - 3 שניות.**
- **מרווח זמן בין שורות הולכי רגל - 0.5 שניות.**
- **רוחב המעבר הדרוש עבור הולך רגל אחד - 0.80 מטר.**

המתודולוגיה לחישוב ההצדק מפורטת בסעיף 2.4 שלהלן. הפרמטרים הדרושים זמינים ממדידות, ספירות בשטח או תחזיות. מהירות ההליכה של הולך רגל במעבר חציה רגיל מחושבת כ - 1.2 מטר לשניה. מהירות החציה במעברי חציה עתירי ביקוש נמוכה יותר, עקב הצפיפות במעבר, ונקבעה ל - 1.0 מ/שניה. ההתייחסות למעבר חציה לאורך קו רק"ל היא כמו למעבר חציה עתירי ביקוש.

זמן זינוק של הולך הרגל הוא הזמן שלוקח להולך הרגל להבחין באות הירוק, להתבונן ימינה ושמאלה ולהתחיל לחצות את מעבר החציה.

המתודולוגיה הקיימת לגבי הצדקים לרימזור מעברי חצייה מבוססת על נתוני 8 שעות יומיות ולא על שעת השיא.
אולם כאשר בוחנים את התפלגות מספר היורדים והעולים לרכב תצ"מ יחיד לאורך שעות היום, מסתבר כי מספרם אינו קטן בהכרח ביחס ישר למספר הנוסעים השעתי.
מספר העולים והיורדים מרכב תצ"מ בתחנות מסויימות יכול להיות גדול גם בשעות שאינן שעות שיא, מאחר ותדירות התצ"מ פוחתת גם היא בשעות אלה.
אי לכך מוצע כי בהנחיות לרימזור חציית מסלול תצ"מ ע"י הולכי רגל, יתחשבו דווקא בנתוני שעת השיא, דבר אשר מוריד את סף הרימזור ומבטא את ההשלכות הבטיחותיות שיש לחצייה זו.

מספר הולכי הרגל החוצים **איננו** מספר הולכי הרגל היורדים מרכב התצ"מ. בדרך כלל יתפצלו הנוסעים היורדים לשני כיווני ההליכה המקבילים למסלול התצ"מ, בהתאם לפיזור יעדי ההליכה. לכן על המתכנן לבחון את דפוסי ההליכה הקיימים (או לחזות את הדפוסים הצפויים בתחנה) על בסיס התפלגות מיקום שימושי הקרקע באזור. בהמשך, יש להוסיף את נפחי הרקע של הולכי הרגל במקום (תנועת הולכי רגל שאינה קשורה לתצ"מ). לאחר קביעת מספר הולכי הרגל הצפויים לחצות באותו מקום, הנמצא במרחק הגדול מ - 70 מטר מצומת, ניתן להתחיל בבדיקת ההצדק להתקנת רמזור.

בחירת מיקום הרמזור בקצה תחנת הרק"ל יתבסס על דפוסי ההליכה הצפויים מהתחנה ואליה. דפוסי הליכה נגזרים מפיזור שימושי הקרקע המזינים את תחנת הרק"ל. הרמזור יותקן בכיוון ההליכה של רוב המשתמשים ברק"ל.

**הנחיה: ניתן להצדיק התקנת רמזור במקומות בהם מתקיימת תנועה רבה ומיוחדת של הולכי רגל, כגון ליד מוסדות חינוך או מרכזי פעילות אחרים, במיוחד אלה המופנים לילדים ונוער. התקנת רמזור תהווה פתרון אך ורק בהעדר אפשרויות הסדרת הניגודים באמצעים אחרים.**

למוסדות בהם מתרכזים ילדים רבים יש, בדרך כלל, תקופות יום בהן קיימת תנועה מרוכזת של ילדים המגיעים אל המוסד או יוצאים ממנו. הדוגמא השכיחה ביותר היא בתי ספר ומועדוני נוער. בהעדר אפשרויות חציה חלופיות, יש להבטיח כי קבוצות הילדים יוכלו לחצות את הרחוב ומסלול התצ"מ בבטחה. מניעת חציה באמצע קטע רחוב ותיעול הולכי הרגל אל מעבר חציה מוסדר מרוחק יותר עשוי להיות פתרון עדיף על התקנת רמזור.

יש לשקול את אורך מסלול ההליכה לעומת השפעת התקנת רמזור נוסף על ציר נסיעה.

**הנחיה: כאשר קיים הצדק להתקנת רמזור על אחד ממסלולי הרחוב, ירומזר כל חתך הרחוב, כולל מסלול התצ"מ.**

התקנת רמזור על אחד ממסלולי הרחוב מחייבת המשכיות המעבר המרומזר, כך שהולך הרגל יהיה מוגן בחציה מלאה, בין המדרכות שבשני צידי הרחוב, גם אם ההצדק נובע ממסלול נסיעה אחד בלבד.

**הנחיה: לא יותקן רמזור עבור הולכי רגל לחציה של מסילת רק"ל בלבד, אלא אם קיים הצדק לרימזור מעבר חציה של מסלול סמוך שאינו תצ"מ.**

בדיקה של חציה מול תדירויות הרק"ל הראתה כי אין הצדק להתקנת רמזור בחציה של מסילת הרק"ל בלבד. גם בתדירות מירבית (20 רכבות בשעה X 2) ו – 80 הולכי רגל חוצים בו זמנית, צפויים להיות מספיק פערים (32 מתוך 39 הפערים בין הרכבות) שיהיו גדולים מהדרוש.

### 2.3.5 <u>שיקולים נוספים</u>

הצדק להתקנת רמזור בכלל ועבור הולכי רגל בפרט, איננו מבוסס אך ורק על הכללים לעיל, אלא מחייב גם שיקול דעת של המתכנן. המתודולוגיה מבוססת על הנחות שאינן תמיד מתאימות בשלמותן למציאות בשטח. במקרים אלה דרוש, כאמור, שיקול דעת מקצועי:

1. ההסתברות לפער בזרם התנועה מבוסס על הגעה אקראית של כלי הרכב. כאשר קיים רמזור במעלה הזרם של מסלול הנסיעה אותו חוצים, קיימים בדרך כלל "פערים מובנים" בזרם התנועה. פערים אלה תלויים במרחק הרמזור מנקודת החציה הנבחנת להצדק, בתכנית הרמזור שבמעלה הזרם ובנפחי התנועה הפונים בצומת זה. לכן יש להביא בחשבון את קיומם בקביעת ההצדק. ניתן לעשות זאת ע"י בדיקת הפערים

הנוצרים בכיוון הנסיעה אל החציה הנבחנת, על פי תכנית הרמזור במעלה הזרם, והשוואתם למשך החציה הדרוש. יש לקחת בחשבון את פיזור שיירת כלי הרכב היוצאת מנתיב מבוקר באמצעות רמזור.

2. יש לקחת בחשבון גם את החיכוך בהולכי רגל החוצים בכיוון ההפוך (לדוגמא, בדרך אל תחנת התצ"מ).
3. אורך מירבי של מעבר חציה לא מרומזר יהיה 12 מטר (בהתאם ל"הנחיות לתכנון מעברי חציה, משרד התחבורה, 1973").

## 2.4 <u>מתודולוגיה לחישוב הצדק לרמזור עבור הולכי רגל</u>

### 2.4.1 <u>מתודולוגיה</u>

<u>חישוב העיכוב נערך בשני שלבים:</u>

1. בשלב הראשון מחושב זמן החציה הדרוש למספר הולכי הרגל החוצים בבת אחת.
2. בשלב השני מחושב זמן ההמתנה לחציה של הולכי הרגל (העיכוב).

**א. <u>חישוב זמן החציה:</u>**

חישוב זמן החציה **G** הדרוש לקבוצת הולכי רגל (אשר ירדה מהרק"ל, למשל) מבוסס על ההנחות הבאות (הכלולות ב - Traffic Engineering Handbook – ITE):

1) אורך מעבר החציה - **L** (מטר)
2) מהירות הליכה של הולך רגל – **S** (1.0 מ'/שנ')
3) זמן התגובה של הולכי הרגל (הזמן להסתכל לצדדים, לקבל החלטה ולהתחיל לחצות) – 3 שניות.
4) מספר הולכי הרגל השעתי היורדים מרכב התצ"מ - **R**
5) מספר הולכי הרגל החוצים בו זמנית - **N**
6) מרווח בין רכבות (דקות) - **F**
7) רוחב מעבר החציה (מ') - **W**
8) רוחב דרוש להולך רגל אחד במעבר - **H** = 0.80 מ'
9) משך הפינוי של הולכי הרגל מחושב כדלקמן:

א) מספר ממוצע של חוצים בו זמנית **N**: $N = \frac{RxF}{60}$

ב) מספר החוצים בשורה **K**: $K = \frac{W}{0.8}$

ג) מספר השורות של הולכי הרגל **E**: $E = \frac{N}{K}$

ד) **זמן החציה G של קבוצת הולכי הרגל היא:**

$$G = \frac{L}{S} + 3 + (E-1)x0.5 \quad \text{שנ'}$$

כאשר המספר 1 מייצג את השורה הראשונה ו - 0.5 מבטא פער של חצי שניה בין כל שתי שורות.

## ב. <u>חישוב זמן ההמתנה של הולכי הרגל החוצים</u>

חישוב זמן ההמתנה של הולכי הרגל בקבוצה מבוסס על ההסתברות **P** לזמינות פער, השווה לזמן הדרוש (**G**) או יותר עבור נפח התנועה אותו חוצים. החישוב מבוסס על הנוסחה הבאה (מתוך עקרונות תכן הנדסת תחבורה, דורון בלשה, 1976):

1) ההסתברות **P** שהפער בין כלי רכב בזרם התנועה יהיה קטן מ – G היא:

$$P(t > G) = 1 - e^{\frac{-VG}{3600}}$$

כאשר: * נפח התנועה לשעה – **V**

* הפער המזערי הדרוש בין כלי רכב – **G** (שנ')
* פער בין כלי רכב – **t** (שנ')

2) ההסתברות שיהיה פער בפועל בין כלי רכב הגדול מהזמן הדרוש להולכי הרגל לחציה – היא: **1 - P**

3) מספר הפעמים **Q** בשעה עם פער בין כלי רכב הגדול מהדרוש:

$$Q = Vx(1-P)$$

4) משך ההמתנה (עיכוב) **T** לפער **G**: $T = \frac{3{,}600}{Q}$ **שנ'**

### 2.4.2 <u>דוגמא לחישוב הצדק לרימזור מעבר חציה</u>

<u>נתונים:</u>

- יורדים מרק"ל בתחנה (R) – 1,500 נוסעים בשעה
- מהם 80% חוצים רחוב.
- מרווח בין רכבות (F) - 3 דקות.
- רוחב מעבר החציה (W) - 5 מטר.
- אורך מעבר החציה (רוחב הרחוב) (L) - 7.0 מטר.

חישוב

- מספר החוצים: $1,500x80\% = 1,200$
- מספר ממוצע של החוצים בו זמנית (N): $1,200x\frac{3}{60} = 60$
- מספר החוצים בשורה לרוחב המעבר (K): $\frac{5}{0.8} = 6$
- מספר השורות של הולכי הרגל (E): $\frac{60}{6} = 10$
- זמן החציה הדרוש לקבוצת הולכי הרגל:

$$\frac{7}{1.0} + 3.0 + \frac{10-1}{2} = 14.5$$

- נפח התנועה ברחוב אותו חוצים – 300 כלי רכב בשעה
- ההסתברות שיהיה פער שווה או קטן מ – 14.5 שניות:

$$1 - e^{(-300x14.5)/3600} = 0.70$$

- ההסתברות שיהיה פער גדול יותר מ – 14.5 שניות: $1 - 0.70 = 0.3$
- מספר הפערים בשעה: $300 \text{ x } 0.30 = 90$
- העיכוב המירבי של הולכי הרגל: **40 שנ' = 3,600 /90 שנ'**

**<u>מסקנה: מאחר שמשך ההמתנה קטן מ – 50 שניות אין הצדק להתקנת רמזור.</u>**

### 2.4.3 <u>הצגה גרפית של ההצדק</u>

ניתן להציג את חישוב ההצדק בצורת טבלה ובדרך גרפית, עבור נתוני מעבר חציה מסויימים (כלומר אורך ורוחב מעבר נתונים).

דוגמא טיפוסית של הטבלה והגרף להצדק המוצע, עבור עיכוב ממוצע של 50 שניות ורוחב מעבר חציה של 5 מטר, מוצגים להלן:

## טבלה א-2 זמן המתנה כפונקציה של מספר הולכי הרגל החוצים ונפח התנועה למעבר חציה באורך 7.0 מטר וברוחב 5.0 מ'

| 700 | 600 | 500 | 400 | 300 | 200 | נפח תנועה (ית"ן/שעה) | מספר חוצים |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| עיכוב ממוצע (שנ') | | | | | | משך חציה (שנ') | בבת אחת |
| 38 | 34 | 30 | 28 | 28 | 32 | 10.33 | 10 |
| 45 | 39 | 34 | 31 | 30 | 33 | 11.17 | 20 |
| 53 | 44 | 38 | 34 | 33 | 35 | 12.00 | 30 |
| 62 | 51 | 43 | 37 | 35 | 37 | 12.83 | 40 |
| 73 | 59 | 48 | 41 | 37 | 38 | 13.67 | 50 |
| 86 | 67 | 54 | 45 | 40 | 40 | 14.50 | 60 |
| 101 | 77 | 61 | 49 | 43 | 42 | 15.33 | 70 |
| 119 | 89 | 68 | 54 | 46 | 44 | 16.17 | 80 |
| | 102 | 76 | 60 | 49 | 46 | 17.00 | 90 |
| | 117 | 86 | 65 | 53 | 48 | 17.83 | 100 |
| | | 96 | 72 | 57 | 51 | 18.67 | 110 |
| | | 108 | 79 | 61 | 53 | 19.50 | 120 |
| | | | 86 | 65 | 56 | 20.33 | 130 |
| | | | 95 | 70 | 58 | 21.17 | 140 |
| | | | 104 | 75 | 61 | 22.00 | 150 |

**תחום ההצדק**

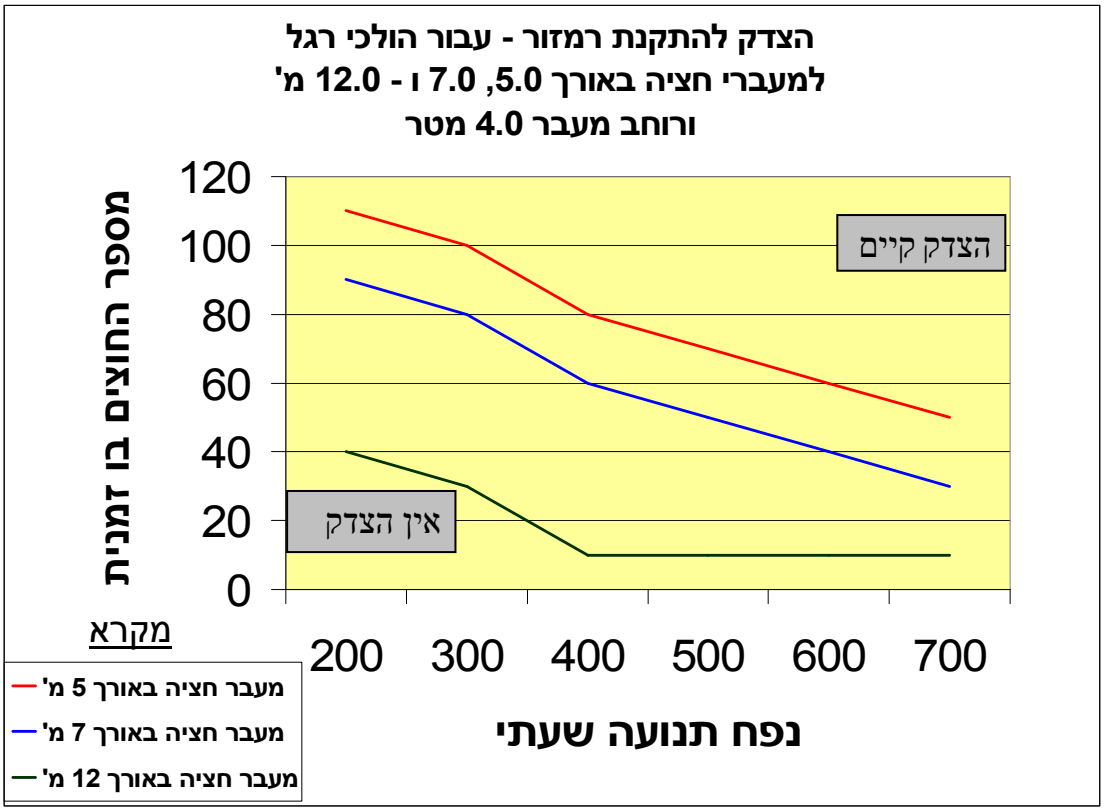
**חישוב זמן ההמתנה**

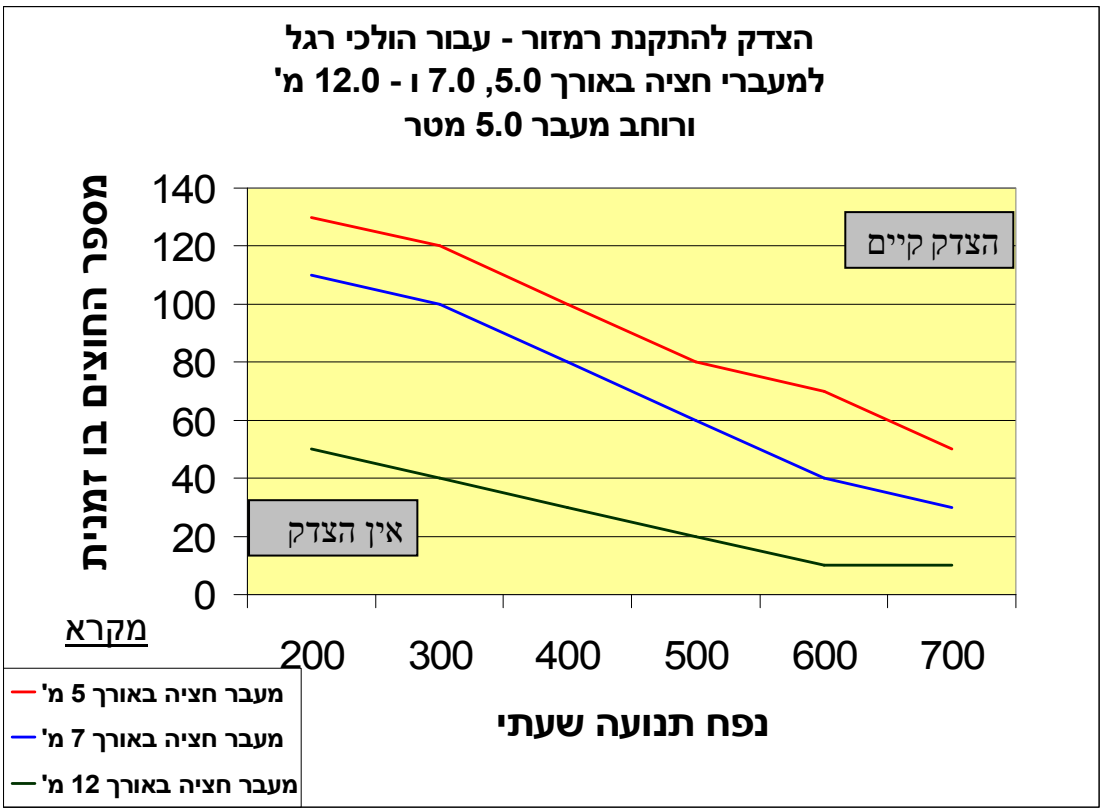
| | | |
|---|---|---|
| אורך מעבר | 7.0 | מ' |
| מהירות הליכה | 1.0 | מ'/ש' |
| זמן זינוק | 3.0 | ש' |
| רוחב מעבר | 5.0 | מ' |
| חוצים בשורה אחת | 6.0 | ה.ר. |

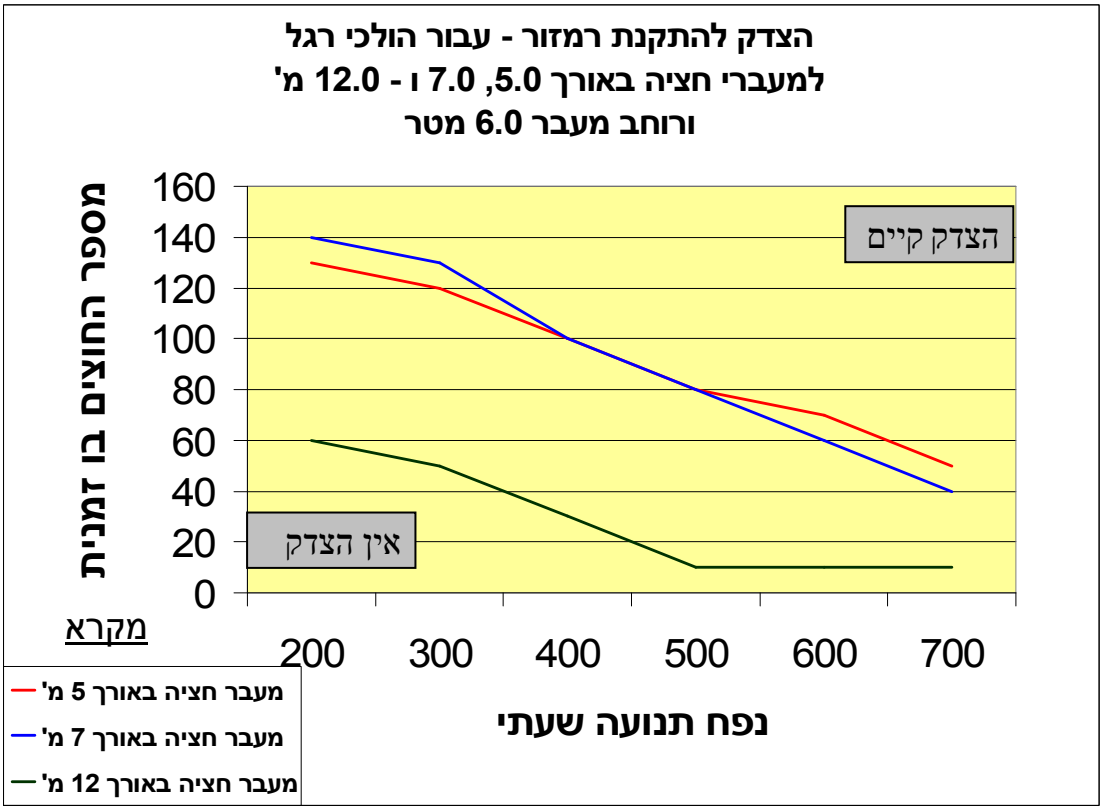
לדוגמא, מהטבלה עולה כי יותר מ – 100 נוסעים החוצים בו זמנית את הרחוב, מצדיק התקנת רמזור כאשר נפח התנועה הנוגדת עולה על 200 ית"ן.

ניתן להציג את חישוב ההצדק להתקנת רמזור עבור הולכי רגל בקטע דרך בדרך גרפית. להלן דוגמאות לגרף עבור שלושה מעברי חציה באורך 5.0, 7.0 ו - 12.0 מטר וברוחב מעבר של 4.0, 5.0 ו- 6.0 מטר כל אחד. כל גרף מציג את תחום ההצדק והתחום בו אין הצדק להתקנת רמזור.

**<u>תרשים א- 1: דוגמאות הצדק לרמזור עבור ה"ר</u>**




הצדק להתקנת רמזור - עבור הולכי רגל
למעברי חציה באורך 5.0, 7.0 ו - 12.0 מ'
ורוחב מעבר 5.0 מטר
מספר החוצים בו זמנית
140
120
100
80
60
40
20
0
הצדק קיים
אין הצדק
מקרא
200
300
400
500
600
700
נפח תנועה שעתי
מעבר חציה באורך 5 מ'
מעבר חציה באורך 7 מ'
מעבר חציה באורך 12 מ'


הצדק להתקנת רמזור - עבור הולכי רגל
למעברי חציה באורך 5.0, 7.0 ו - 12.0 מ'
ורוחב מעבר 6.0 מטר
מספר החוצים בו זמנית
160
140
120
100
80
60
40
20
0
הצדק קיים
אין הצדק
מקרא
200
300
400
500
600
700
נפח תנועה שעתי
מעבר חציה באורך 5 מ'
מעבר חציה באורך 7 מ'
מעבר חציה באורך 12 מ'

# פרק א

# 3. בחינת תפעול הצומת

# 3. בחינת תפעול הצומת

## 3.1 כללי

סעיף זה עוסק בניתוח תפעול הצומת המרומזר, הכולל גם מסלול תצ"מ. תכנון רמזור, בצומת בו קיים מסלול בלעדי לתצ"מ, משלב שיקולים של תכנון רמזור רגיל עם שיקולי העדפה של התחבורה הציבורית. אם בצומת רגיל נבחנו חלופות של תנועות מותרות ואסורות, סדר מופעים, השפעת הגל הירוק וכו', בצמתים בהם קיים מסלול בלעדי לתחבורה ציבורית יש לכלול בניתוח כנתון גם את ההעדפה לת"צ. הסעיף דן ברכבת קלה (רק"ל), אולם האמור בו מתייחס גם לאוטובוסים המופיעים בצומת בתדירות נמוכה יחסית (אך לא יותר מרכב אחד למחזור בממוצע לכוון).

ביסוד הגישה לבחינת תפעול הצומת עם מסלול רק"ל מונחות שלוש הנחות:

א. הרק"ל איננה עוברת בהכרח בצומת בכל מחזור.

ב. בחלק מהמחזורים תקבל הרק"ל את האות "סע" יחד עם המופע המשותף לה.

ג. לרק"ל ניתנת עדיפות בצומת.

**בדיקת תפעול הצומת** נועדה לאפשר את קביעת סכימת התכנון המיטבית של הצומת המרומזר ולאפשר לחזות את איכות התנועה בצומת בתרחישים שונים. כך ניתן לבחון את ההשפעה של צעדי העדפה שונים וסכימות תכנון חלופיות על כלל המשתמשים בצומת.

**רמת השירות** של הרק"ל נקבעת במהלך התכנון המוקדם, במונחים של תדירות וקיבולת נוסעים. לכן ניתוח תפעול הצומת המרומזר מתרכז ברמת השירות לכלי הרכב האחרים בצומת. מטרת התכנון היא לספק רמת שירות טובה ככל האפשר לכלל כלי הרכב, תוך מתן עדיפות לתחבורה הציבורית.

**בחינת תפעול הצומת** נערכת בשתי רמות:

- האחת, **בדיקה מיקדמית**, המהווה חלק מן התכנון המוקדם המגדירה את תצורת הצומת במונחים של קיבולת.
- השניה, **בדיקה תפעולית**, המהווה חלק מן התכנון המפורט, בוחנת את רמת השרות במונחים של עיכוב ממוצע לרכב.

**ניתוח תפעול הצומת** יכול להשפיע על מספר מרכיבי תכנון הצומת והרמזור:

א. **התנועות המותרות בצומת:** ביטול תנועות בכוונים הקובעים (תנועות קריטיות) בצומת מאפשר שיפור בתפעול הצומת באמצעות הקצאת ירוק נוסף לתנועות אחרות.

ב. **קביעת מספר נתיבים:** מספר הנתיבים נגזר הן מהצורך לספק קיבולת והן ממגבלות פיזיות ותפעוליות.

ג. **שילוב תנועות במופעים:** החלטה על שילוב פניות לעומת הפרדתן (לדוגמא – הפעלת התנועות ישר+שמאלה ביחד או בנפרד).

ד. **סדר המופעים:** לסדר המופעים ישנה השפעה, במיוחד במסגרת גל ירוק.

ה. **הקצאת זמנים לתנועות:** ניתוח הצומת מאפשר הקצאה מאוזנת של זמנים ירוקים לתנועות השונות.

ו. **החלטות על רמת העדיפות לתחבורה הציבורית:** במקרים של גודש משמעותי ניתן לשקול הפחתת רמת העדיפות. ניתן, לדוגמא, להימנע מפתיחת מופע מיוחד לרכב הרק"ל ולהסתפק רק בהארכת או הקדמת המופע המשותף לרק"ל, או אף להגביל את הזמן הנוסף המוקצה לרק"ל (ר' פרק העדיפות בהנחיות).

ז. **הסדרה של גל ירוק או ביטולו:** גל ירוק לתנועות בצומת משפר את רמת השירות בצומת. כאשר העדיפות לת"צ פוגעת בגל ירוק, יכללו שיקולי המתכנן את רמת השירות בצומת לגבי העדפת גל ירוק או עדיפות לת"צ.

סעיף זה כולל נספחים עם דוגמאות חישוב, בנוסף להנחיות התכנון.

## 3.2 <u>מתודולוגיה</u>

### 3.2.1 בדיקה מקדמית של הרמזור

הבדיקה המיקדמית מתבססת על הנחות מכלילות, ולכן תערך בד"כ בשלב התכנון המוקדם. התכנון המוקדם של הרמזור מבוסס בעיקר על הגיאומטריה, נפחי התנועה ומאפייני תפעול הרק"ל (אורך הרכב ותדירותה).

**הנחיה: בחינת תפעול הצומת תערך עבור סך התנועות בכוונים הקובעים בשיטת "המספר הקובע". הבחינה תביא בחשבון את הזמן המוקצה לרק"ל כ"זמן אבוד". התבחין לאיכות התנועה יהיה על בסיס יחס נפח/קיבולת הנמוך ביותר האפשרי. הבחינה מבוססת על קיבולת לשעת ירוק לנתיב נסיעה ישר של 1,800 ית"ן, ושל 1,600 ית"ן לנתיב בתנועות הפונות.**

בחינת איכות הנסיעה בצומת נערכת, כאמור, עבור כלי הרכב בצומת שאינם רק"ל. המספר הקובע מושווה לקיבולת הזמינה בצומת. הקיבולת הזמינה מחושבת על פי המכפלה של הקיבולת התיאורטית לשעה ירוק (1,800 ית"ן לנתיב) ואחוז הזמן הירוק במחזור. אחוז הזמן הירוק במחזור מחושב על פי היחס בין הזמן הירוק (זמן המחזור פחות הזמנים האבודים במחזור) לבין משך המחזור.

יחס גדול מ – 1.0 בין המספר הקובע לבין הקיבולת הזמינה לנתיב מצביע על עיכובים גדולים. במקרה כזה יש לשקול שינויים בתכנון הצומת, או בחינה של רמת ההעדפה. יש לזכור כי מסלולי רק"ל עוברים, בדרך כלל, במרכזים אורבניים, בהם רמת השירות לה מצפים המשתמשים ברכב הכללי נמוכה מלכתחילה.

**הנחיה: הבחינה המיקדמית של תפעול הצומת תתבסס על העקרונות הבאים:**

**א. ניתוח שעתי.**

**ב. עדיפות מלאה לרק"ל (מקבלת תמיד ירוק על פי דרישה).**

**ג. מופע מיוחד לרק"ל בכל פעם שהרכבת מגיעה לצומת באדום.**

**ד. התייחסות לנפח הקובע, שהוא סך הנפחים לנתיב של התנועות הנוגדות בצומת.**

**ה. השפעת הרק"ל מתבטאת בהגדלת הזמן האבוד בצומת (בנוסף לזמנים הבין-ירוקים).**

ניתוח צומת מרומזר נערך לשעות השיא, המתארות את המצב הגרוע ביותר בצומת. במידה והצומת פועל בשעת השיא באופן סביר, הרי שבשאר שעות היום יפעל הצומת ברמת שירות טובה. בנוסף, סביר שתדירות הרק"ל בשעות השפל תהיה נמוכה יותר ולכן השפעתה על שאר כלי הרכב בצומת תהיה קטנה יותר.

ניתוח הצומת בשיטת "המספר הקובע" מאפשר בחינת חלופות עקרוניות לתכנון צומת בו ניתנת עדיפות לרק"ל, על בסיס ניתוח קיבולת.

**הנחיה: הבדיקה המקומית של תפעול הצומת תערך לפי השלבים הבאים:**

**א. קביעת זמן מחזור.**

**ב. קביעת זמנים בין-ירוקים (זמני פינוי) שאינם כוללים זמן אבוד לרק"ל.**

**ג. קביעת המופעים וסדר המופעים.**

**ד. חישוב נפח שקול לכל תנועה (נפחים בפניות משוקללים לנפח בנסיעה ישר).**

**ה. הקצאת זמני ירוק לכל מופע.**

**ו. חישוב הנפח הקובע בצומת.**

**ז. חישוב הקיבולת הזמינה למספר הקובע (1,800 X אחוז סך הזמנים הירוקים למופעים הקריטיים במחזור).**

**ח. חישוב של היחס נפח-קיבולת זמינה ללא רק"ל.**

**ט. חישוב החלק במחזור בו אין לרק"ל ירוק ממופע רכב מקביל.**

**י. חישוב ההסתברות שרק"ל תגיע לצומת במחזור (מספר רכבות בשעה מחולק במספר המחזורים בשעה).**

**יא. חישוב ההסתברות שרק"ל תגיע לצומת במחזור בזמן האדום למופע המקביל ותידרש לעצור.**

**יב. קביעת הזמן הדרוש לרק"ל (5 שניות "סע" ועוד הזמן הבין-ירוקים של הרק"ל, על פי הפרק של זמנים בין ירוקים בהנחיות אלה).**

**יג. חישוב הזמן האבוד הנוסף בממוצע במחזור עקב הופעת הרק"ל (הזמן הדרוש לרק"ל כפול ההסתברות שתגיע באדום). זוהי תוספת זמן הנדרשת להפעלת מופע נפרד לרק"ל בצומת.**

**יד. הוספת הזמן האבוד לזמנים הבין-ירוקים.**

**טו. חישוב קיבולת זמינה מעודכנת, כאשר אחוז הזמנים הירוקים הזמינים במחזור מותאם לתוספת הזמן האבוד עקב נוכחות הרק"ל.**

**טז. חישוב יחס נפח-קיבולת זמינה מעודכנת לנפח הקובע.**

**יז. החלטה אם התוצאה סבירה או שנדרשים שינויים בתכנון הצומת וחזרה על התהליך.**

תרשים זרימה לעריכת הבדיקה המיקדמית כלול בסעיף 3.3 בפרק זה, ודוגמת חישוב מוצגת בנספח מס' 1.

יש להדגיש כי תהליך הבדיקה המיקדמית מותאם לתכנון מוקדם בלבד. ייתכן כי בשלב זה של התכנון יחסרו למתכנן נתונים כגון המגבלות הגיאומטריות של הצומת, אורך או תדירות הרק"ל וכדו'. במקרה כזה יניח המתכנן ערכים סבירים ויערוך בדיקת רגישות לתוצאות.

**הנחיה: כאשר היחס של הנפח הקובע בצומת לקיבולת הזמינה (עם רק"ל) הוא בין 0.9 ו – 1.0 מומלץ לשקול חלופות תכנוניות לצומת.**

**כאשר היחס של הנפח הקובע בצומת לקיבולת הזמינה (עם רק"ל) עולה על 1.0, חובה לבחון חלופות תכנוניות לצומת, כולל שינוי ברמת ההעדפה לרק"ל.**

יחס של הנפח הקובע לקיבולת הזמינה הגדול מ – 1.0 מצביע על עיכובים גדולים. במקרה כזה יש לשקול שינויים בתכנון הצומת, או בחינה של רמת ההעדפה. יחס של הנפח הקובע לקיבולת הזמינה בין 0.9 ו – 1.0 מצביע על רמת שירות נמוכה למופעים מסויימים. מאידך, יש לזכור כי מסלולי רק"ל עוברים, בדרך כלל, במרכזים אורבניים, בהם רמת השירות לה מצפים המשתמשים ברכב הכללי נמוכה מלכתחילה.

### 3.2.2 <u>בדיקה תפעולית של הרמזור</u>

הבדיקה התפעולית של הצומת מפורטת יותר מן הבדיקה המיקדמית ומתייחסת לכל תנועה בצומת. הבדיקה התפעולית נערכת בשלב בו נפחי התנועה ואילוצי הצומת ברורים יותר. לחילופין, ניתן לבצע את הבדיקה התפעולית באמצעות מיקרוסימולציה.

השפעת הרק"ל על תפעול הרמזור נגזרת ממספר גורמים:

- **תדירות הרק"ל** קובעת את מספר הפעמים בהם תשפיע נוכחותה על הקצאת הזמנים הירוקים בצומת.
- **האם מופע הרק"ל מופיע במקביל למופע רכב.** במידה ומופע הרק"ל מקביל למופע רכב, (ובדרך כלל יהיה זה מופע הרכב בתנועה הראשית), אזי ישנה הסתברות מסויימת להגעת הרכבת לצומת בירוק, שיספיק למעבר הצומת ולפינויו. במקרה כזה לא יהיה צורך בשינוי תזמון הרמזור באותו מחזור. כאשר נדרש מופע בלעדי עבור הרק"ל, יהיה צורך לפתוח אותו **בכל** מחזור בו מגיעה הרק"ל לצומת.
- **מתי, במחזור, מגיעה הרק"ל לצומת.** כאשר מופע הרק"ל אינו מקביל במלואו למופע רכב. השפעת מועד הגעת הרכב לצומת בתוך המחזור משמעותית לקיבולת השעתית. במקרה זה ישנן, למעשה, שלוש אפשרויות להעדפה, אשר נגזרות מנקודת הזמן במחזור בו מגיעה הרכבת לצומת:
  א. הארכת המופע המקביל למופע הרק"ל.
  ב. הקדמת תחילת המופע המקביל למופע הרק"ל.
  ג. פתיחת מופע נפרד ובלעדי לרק"ל.
- **רמת העדיפות עליה הוחלט.** פרק ההעדפה בהנחיות אלו כולל מגבלות בקביעת רמת העדיפות לרק"ל בצומת. ניתן, לדוגמא, לקבע כי בתנאים מסויימים לא ייפתח מופע נפרד לרק"ל אלא תתאפשר רק הארכה או הקדמת ירוק עם מופע הרכב המקביל. כמו כן, ניתן להגביל את משך הזמן הנוסף המוקצה לרק"ל. פירוט כלול בפרק ההעדפה בהנחיות.
- **מחזור קבוע או משתנה:**

א. בצומת עם מחזור קבוע יוקצה הירוק לרק"ל על חשבון זמני ירוק למופעים הנוגדים את הרק"ל.
ב. בצומת עם מחזור משתנה יוארך זמן המחזור באורך הירוק הדרוש לרק"ל.

בשני המקרים תגדיל הופעת הרק"ל את העיכובים למופעים נוגדים, אולם בערכים שונים.

**הנחיה: הבדיקה התפעולית תערך עבור כל אחת מן התנועות בצומת או שילוב תנועות הרכב שאינן רק"ל (לדוגמא: ישר + ימינה) בצומת המרומזר. התבחין (הקריטריון) לאיכות התנועה יהיה על בסיס העיכוב הממוצע בצומת. העיכוב הממוצע הרצוי בצומת יהיה קטן או שווה ל - 80 שניות (רמת שירות E, על פי הגדרות HCM).**

**החלופות לתכנון הסדרי התנועה בצומת יבחנו את ההשפעה על צמתים סמוכים ומערכת הרחובות הסובבת. ניתן לחרוג מעיכובים של 80 שניות, כדי למנוע השפעה בלתי סבירה על צמתים סמוכים.**

בחינת איכות הנסיעה בצומת נערכת, כאמור, עבור כלי הרכב שאינם רק"ל. מה שחשוב מבחינת הנהג (כלומר מה שחש הנהג) הוא העיכוב בצומת. לכן זהו התבחין לאיכות התנועה בצומת. גם במקרה כזה ניתן לשקול שינויים בתכנון הגיאומטרי של הצומת, בתזמון המופעים השונים או בחינה של רמת ההעדפה לרק"ל. שינויים בצומת יכולים לכלול שינוי מספר או סדר המופעים, שינויים בהקצאת הזמנים הירוקים וכדו'.

הבחינה של רמת שירות בצומת צריכה להתחשב בהשפעת הצומת על צמתים ורחובות סמוכים. ביטול פניות, לדוגמא, יסיט נפחי תנועה מהצומת ויעמיס צמתים שכנים. איכות הנסיעה בציר עירוני איננה נמדדת, בדרך כלל, על פי תפקוד הצומת הבודד אלא על פי מהירות הנסיעה הממוצעת לאורך הציר. לכן ניתן לאפשר לצמתים יחידים בציר לפעול מתחת לרמת שירות E במידה וצמתים אחרים בציר פועלים ברמת שירות טובה יותר.
רמות השירות מוגדרות על פי ה – HCM*, כדלקמן:

**<u>טבלה א- 3: רמות שרות לרכב</u>**

| רמת שירות | עיכוב בקרה לרכב (שניות לרכב) |
|---|---|
| A | 10 > |
| B | 20 - 10 ≤ |
| C | 35 - 20 ≤ |
| D | 55 - 35 ≤ |
| E | 80 - 55 ≤ |
| F | 80 < |

**הנחיה: הבחינה התפעולית של הצומת ברמת התכן המפורט תתבסס על העקרונות הבאים:**

**א. ניתוח שעתי.**

**ב. עדיפות מלאה לרק"ל (מקבלת תמיד ירוק על פי דרישה).**

**ג. התייחסות לכל תנועה בנפרד.**

**ד. השפעת הרק"ל תתבטא בהקטנת הזמן הירוק הזמין לתנועות בצומת בשעה (במחזור קבוע) או בהארכת המחזור (במחזור משתנה).**

**ה. הרק"ל תקבל עדיפות פעם אחת למחזור (הארכת מופע/הקדמת מופע/פתיחת מופע בלעדי) בכל מחזור.**

* HCM 2000, מתורגם ומותאם לתנאי ישראל, משרד התחבורה, דצמ' 2005

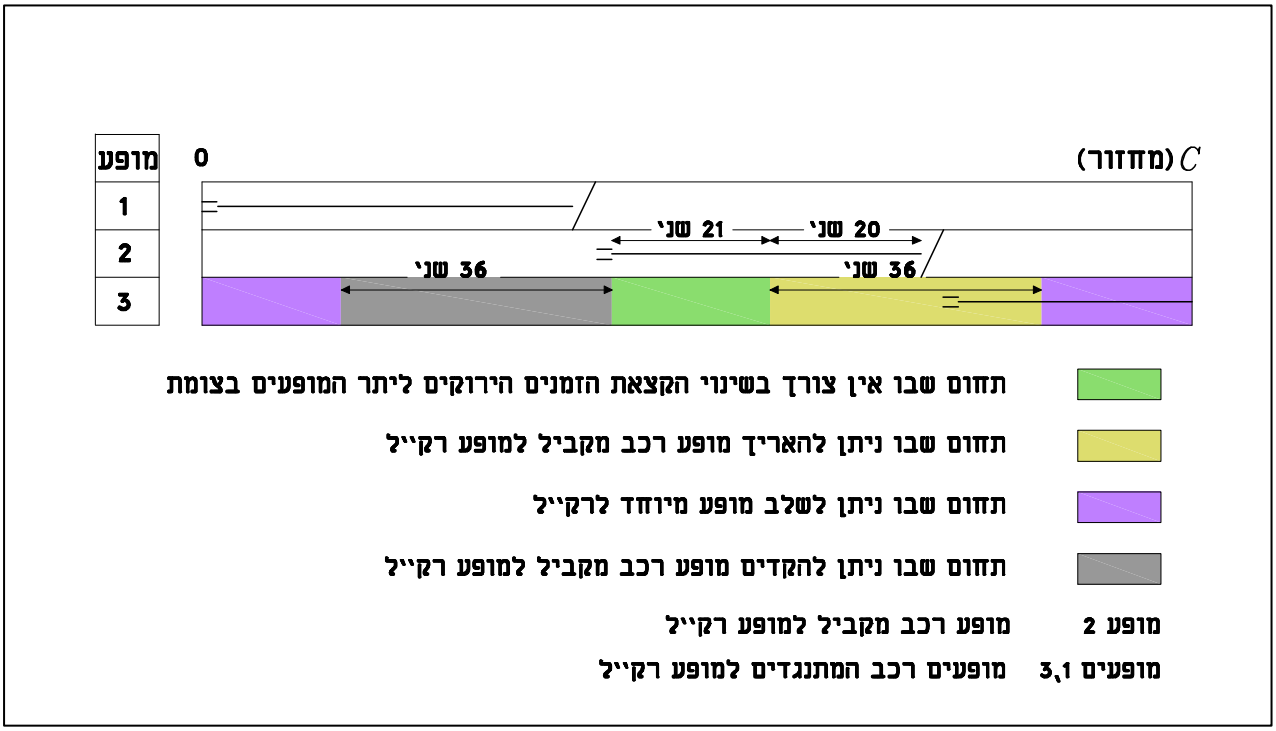
**ו. לצורך הבדיקה התפעולית יהיה משך האות "סע" לרק"ל 5.0 שניות.**

**ז. הזמנים הבין-ירוקים יחושבו על פי פרק ג' בהנחיות אלה ("זמנים בין-ירוקים").**

**ח. כאשר הרק"ל נעה במופע משותף עם מופע רכב, תהיה הקביעה באשר לאופן ההעדפה על בסיס העקרונות המתוארים בדוגמא הבאה** (ר' תרשים א- 2):

1) **משך הזמן הדרוש לרק"ל** – מורכב מ - 5 שניות "סע" + זמן בין-ירוקים, בהתאם לפרק ג' בהנחיות אלה. בדוגמא יהיה משך הזמן הדרוש לרק"ל 25 שניות (5 שניות "סע" + 20 שניות זמן בין-ירוקים).
2) **משך מופע רכב מינימלי** - 6 שניות ירוק.
3) **הארכה של מופע הרכב הכללי** המקביל בהמתנה לרק"ל תתאפשר במידה ולא ניתן לשלב מופע רכב נוגד מינימלי לפחות, בין סוף מופע הרכב המקביל לרק"ל והגעתה לצומת. כלומר, בין סוף הירוק של מופע הרכב המקביל והגעת הרק"ל לצומת יהיו פחות מ - 16 שניות (בהנחה של 6 שניות ירוק מינימלי ו - 5 שניות בין-ירוקים בתחילת המופע ובסיומו). מבחינת החישוב - יש מקום להארכת מופע הרכב המקביל לרק"ל, במידה והיא מגיעה לצומת מ - 20 שניות לפני תום מופע הרכב המקביל ועד 16 שניות אחרי תום מופע הרכב המקביל ובסה"כ 36 שניות.
4) **הקדמה של מופע הרכב הכללי** המקביל בציפייה להגעת הרק"ל תתאפשר במידה ולא ניתן לשלב מופע רכב נוגד מינימלי לפחות בין סוף מופע הרכבת שתגיע ותחילת המופע המקביל לה. כלומר, בין סוף הירוק של הרק"ל ותחילת מופע הרכב הכללי המקביל יהיו פחות מ - 11 שניות (בהנחה של 6 שניות ירוק מינימלי ו - 5 שניות בין-ירוקים). מבחינת החישוב - יש מקום להקדמת פתיחת מופע הרכב המקביל לרק"ל, במידה והיא מגיעה לצומת עד 36 שניות לפני תחילת המופע המקביל לה (25 שניות לרכבת ו - 11 שניות למופע ביניים מינימלי). ר' תרשים א- 2 למצב בו הרק"ל נוסעת עם מופע מס' 2.
5) **שילוב של מופע רק"ל בלעדי** במחזור יתאפשר במידה וניתן לשלב מופע רכב נוגד מינימלי בין מופע הרכב המקביל לרק"ל והמופע הבלעדי שלה.
6) **במידה וינתן מופע מיוחד לרק"ל** הנוסעת במקביל לרכב הכללי, מופעי הרכב המקבילים לא יקבלו ירוק בכדי לא לשנות את סדר המופעים בצומת. במקרים מיוחדים ובאישור משרד התחבורה ניתן יהיה לצרף לתמונה של הרק"ל תנועות רכב במיוחד כאשר יש להם המשכיות בשלבים הסמוכים.
7) **כאשר הרק"ל מגיעה לצומת** בין תחילת הירוק של מופע רכב מקביל ועד נקודת זמן במרחק של זמן בין-ירוקים של הרק"ל (בדוגמא - 21 שניות), אין מקום לשנות את הקצאת הזמנים בצומת.

**תרשים א- 2 – השפעת ההעדפה של רק"ל בצומת**




**ט. עיכוב ממוצע לתנועה יחושב על פי המתודולוגיה של ה – HCM 2000.***

העיכוב הממוצע לרכב עבור קבוצת נתיבים נתונה, d, מבוסס על חיבור של שני סוגי עיכוב: העיכוב האחיד ($d_1$) והעיכוב האינקרמנטלי ($d_2$), כדלקמן:

$$d = d_1(PF) + d_2$$

כאשר PF הוא מקדם הגל הירוק.

**להלן הנוסחאות לשני סוגי העיכוב:**

**<u>העיכוב האחיד (Uniform Delay)</u>**

$$d_1 = \frac{0.5C\left(1-\frac{g}{C}\right)^2}{1-\left[\min(1,x)\frac{g}{C}\right]}$$

כאשר:

$d_1$ – העיכוב האחיד (שניות לרכב): העיכוב בהנחה של הגעה אחידה, זרימה ויציבה וללא תור התחלתי.

C - משך מחזור (שניות)

* HCM 2000, מתורגם ומותאם לתנאי ישראל, משרד התחבורה, דצמ' 2005

g – ירוק אפקטיבי - משך הזמן בשניות, בו ניתן לתנועה להתקדם בפועל במהלך המופע המיועד לה (שווה למשך הירוק למופע ברמזור קצוב זמן או למשך הירוק הממוצע למופע מופעל תנועה).

x - יחס נפח לקיבולת (דרגת רוויה של מופע)

**<u>העיכוב המדורג (Incremental Delay)</u>**

$$d_2 = 900T\left[(X-1)+\sqrt{(X-1)^2+\frac{8klX}{cT}}\right]$$

כאשר:

$d_2$ – עיכוב מדורג (שניות לרכב): העיכוב הנובע מהגעות לא אחידות והשלים זמניים במחזור בנוסף לעיכוב הנגרם מתקופות מתמשכות של רווית יתר.

T - משך תקופת הניתוח (שעות)

k – מקדם עיכוב המבוסס על תפעול מנגנון הרמזור.

I - מקדם לזרימת התנועה ממעלה הזרם

c - קיבולת המופע

x - יחס נפח לקיבולת (דרגת רוויה של המופע)

$X_u$ - יחס נפח לקבולת של הצומת במעלה הזרם

המקדם k מתאר את השפעת תפעול המנגנון על העיכוב. לתפעול קצוב זמן יש להשתמש בערך של k = 0.50, המבוסס על הצטברות תור בהגעה אקראית וזמן ירוק המתאים לקיבולת. במנגנון מופעל תנועה, המנגנון מתאים את משך המופע לדרישה ולכן מקטין את העיכוב האינקרמנטלי. ההקטנה בעיכוב נגזרת מיחידת ההארכה במנגנון וביחס של נפח/קיבולת. ככל שיחידת ההארכה קטנה יותר, הערך k קטן ועמו העיכוב $d_2$. אולם, כאשר היחס נפח/קיבולת מתקרב ל – 1.0, המנגנון מתנהג כמו מנגנון קצוב זמן. הטבלה שלהלן כוללת ערכי k עבור רמות רוויה ואורכי יחידת הארכה שונים:

**טבלה א- 4 – ערכי k בתלות ברמת הרוויה ואורך יחידת ההארכה.**

| יחידת הארכה (שנ') | דרגת רוויה (x) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ≤ 0.50 | 0.60 | 0.70 | 0.80 | 0.90 | ≥ 1.0 |
| ≤ 2.0 | 0.04 | 0.13 | 0.22 | 0.32 | 0.41 | 0.50 |
| 2.5 | 0.08 | 0.16 | 0.25 | 0.33 | 0.42 | 0.50 |
| 3.0 | 0.11 | 0.19 | 0.27 | 0.34 | 0.42 | 0.50 |
| 3.5 | 0.13 | 0.20 | 0.28 | 0.35 | 0.43 | 0.50 |
| 4.0 | 0.15 | 0.22 | 0.29 | 0.36 | 0.43 | 0.50 |
| 4.5 | 0.19 | 0.25 | 0.31 | 0.38 | 0.44 | 0.50 |
| 5.0** | 0.23 | 0.28 | 0.34 | 0.39 | 0.45 | 0.50 |
| **תנועה קצובת זמן** | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |

** עבור יחידות הארכה הגדולות מ – 5.0, ניתן למצא את k באקסטרפולציה, כאשר k קטן מ – 0.50

המקדם לזרימת התנועה ממעלה הזרם I משקף את השפעת תזמון הגעת כלי הרכב מרמזור במעלה הזרם. ערך I = 1.0 משמש לצומת בודד (צומת במרחק של לפחות 1.6 ק"מ מצומת המזין אותו). בצמתים שאינם בודדים יש להשתמש בערך הקטן מ – 1.0, המבטא את ההפחתה בשונות של ההגעה בכל מחזור אל הצומת הנדון. כתוצאה מכך העיכוב הנוצר עקב ההגעה האקראית קטן. טבלה א- 5 כוללת ערכי I לפי דרגת הרוויה של הצומת במעלה הזרם:

**טבלה א- 5 – ערכים למקדם I למופעים עם רמזור במעלה הזרם**

| | דרגת רוויה של הצומת במעלה הזרם, $X_u$ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.70 | 0.80 | 0.90 | ≥ 1.0 |
| I | 0.922 | 0.858 | 0.769 | 0.650 | 0.500 | 0.314 | 0.090 |

**מקדם הגל הירוק, PF,** מתייחס לאופן ההגעה של השיירה מהרמזור במעלה הזרם אל הצומת הנדון.

הוגדרו ששה סוגי הגעה:

- סוג הגעה מס' 1 – קבוצת רכב מגיעה ברובה המכריע בתחילת האדום.
- סוג הגעה מס' 2 – קבוצת רכב מפוזרת המגיעה בתחילת האדום או קבוצה מרוכזת המגיעה באמצע האדום.
- סוג הגעה מס' 3 – קבוצת רכב מגיעה באופן אקראי לצומת (משמש כברירת מחדל במקרה של העדר נתונים).
- סוג הגעה מס' 4 – קבוצת רכב מפוזרת המגיעה בתחילת הירוק או קבוצה מרוכזת המגיעה באמצע הירוק.
- סוג הגעה מס' 5 – קבוצת רכב מגיעה בתחילת הירוק.

- סוג הגעה מס' 6 – גל ירוק כמעט אידאלי.

טבלה מס' א- 6 מפרטת את מקדם הגל הירוק לצורך חישוב העיכוב האחיד:

**<u>טבלה א- 6 – מקדם גל ירוק</u>**

| יחס ירוק למחזור | סוג ההגעה (AT) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (g/C) | AT 1 | AT 2 | AT 3 | AT 4 | AT 5 | AT 6 |
| 0.20 | 1.167 | 1.007 | 1.000 | 1.000 | 0.833 | 0.750 |
| 0.30 | 1.286 | 1.063 | 1.000 | 0.986 | 0.714 | 0.571 |
| 0.40 | 1.445 | 1.136 | 1.000 | 0.895 | 0.555 | 0.333 |
| 0.50 | 1.667 | 1.240 | 1.000 | 0.767 | 0.333 | 0.000 |
| 0.60 | 2.001 | 1.395 | 1.000 | 0.576 | 0.000 | 0.000 |
| 0.70 | 2.556 | 1.653 | 1.000 | 0.256 | 0.000 | 0.000 |

הערה: פירוט הנוסחאות לחישוב כל המקדמים והסברים נוספים על המקדמים ניתן למצא ב –HCM 2000[*] , פרקים 15 ו – 16.

**הנחיה: תהליך הבחינה יכלול את השלבים הבאים:**

**1) קביעת סדר המופעים ותזמונם ללא התחשבות ברק"ל.**

**2) חישוב השפעת הרק"ל על הזמן הירוק הזמין בצומת.**

**3) תכנון חוזר של הרמזור תוך התחשבות בהשפעת הרק"ל.**

תהליך ניתוח תפעול הצומת בוחן כל תנועה בנפרד, היות ולא כל התנועות חייבות לפעול ברמת שירות זהה. ניתן לתכנן מצב בו תנועות משניות יפעלו ברמת שירות נמוכה יותר מהתנועות הראשיות, היות וציפיות הנהגים בתנועות אלה נמוכות יותר.

**חשוב לזכור כי ניתוח תפעול הצומת הוא, במהותו, השוואה בין חלופות ואיננו מספק ערכים מוחלטים.** לכן ייתכן מצב בו השארת תנועה ברמת שירות נמוכה עדיפה על ביטולה, אשר יגרום לגודש משמעותי בצומת סמוך, או להארכה בלתי נסבלת של מסלולי נסיעה לרכב הפרטי והמסחרי במערכת העירונית.

**הנחיה: חישוב השפעת נוכחות הרק"ל בצומת מבוססת על:**

**א. חישוב ההסתברות להארכה, הקדמה או פתיחת מופע נוסף עבור הרק"ל.**

**ב. חישוב ה"הנזק" לרכב בתנועות הנוגדות, במונחים של זמן אבוד נוסף במחזור עבור כלל כלי הרכב.**

[*] HCM 2000, מתורגם ומותאם לתנאי ישראל, משרד התחבורה, דצמבר 2005

### ג. שיקלול ה"נזק" לממוצע שעתי בהתאם להסתברות הופעת הרכבת במחזור.

על פי העקרונות המפורטים למעלה, תחושב ההסתברות לפי סוגי העדפה כדלקמן:

א. ההסתברות שהרק"ל תגיע לצומת בטווח המצדיק הארכת מופע הוא היחס בין משך פרק הזמן בטווח הנדון למחזור. במקרה של זמן בין -ירוקים של הרק"ל של 20 שניות, וזמן בין-ירוקים למופע רכב של 5 שניות ומשך ירוק מינימלי של 6 שניות למופע רכב, הטווח המצדיק הארכה של מופע רכב מקביל לרק"ל יהיה 36 שניות.

ב. ההסתברות שהרק"ל תגיע לצומת בטווח המצדיק הקדמת מופע הוא היחס בין משך פרק הזמן בטווח הנדון למחזור. במקרה שמשכי הזמן יהיו כמו בדוגמה שבפיסקה א' לעיל, הטווח המצדיק הקדמת מופע מקביל לרק"ל יהיה 36 שניות. (5 שניות "סע" לרק"ל + 20 שניות זמן בין-ירוקים + 6 שניות ירוק לרכב + 5 שניות בין ירוק לרכב). ההסתברות להגעת הרק"ל בטווח הנ"ל תהיה 36 שניות חלקי משך המחזור.

ג. ההסתברות שהרק"ל תגיע לצומת בטווח המצדיק פתיחת מופע בלעדי הוא היחס בין משך פרק הזמן בטווח הנדון למחזור. במקרה של הדוגמה הנדונה, טווח הזמן יהיה מ- 11 שניות לאחר תום המופע המקביל לרק"ל (6 שניות ירוק למופע הנוגד + 5 שניות זמן בין-ירוקים) ועד 36 שניות לפני תחילת המופע המקביל.

ד. ה"נזק" הממוצע למופעים הנוגדים בשל הארכת מופע עבור הרק"ל הוא חצי ממשך הארכת המופע, היות והרק"ל יכולה להגיע בכל שניה בתחום ההארכה. בנתונים לעיל, אורך ההארכה המירבי הוא 11 + 25 שניות ובסה"כ 36 שניות. ההארכה הממוצעת היא, אם כן, 18 שניות.

ה. ה"נזק" הממוצע למופעים הנוגדים בשל הקדמת מופע עבור הרק"ל הוא חצי מזמן הקדמת המופע. בנתונים לעיל, אורך ההקדמה המירבי הוא 11 + 25 שניות ובסה"כ 36 שניות. ההארכה הממוצעת היא, אם כן, 18 שניות.

ו. ה"מחיר" הממוצע של הוספת מופע בלעדי עבור הרכבת המקומית הוא 25 שניות (5 + 20).

ז. ה"נזק" (למופעים הנוגדים) עקב נוכחות הרק"ל במחזור הוא סכום המכפלות של ההסתברות להופעת כל מקרה ב"מחיר" שלו.

ח. ההסתברות להופעת רק"ל במחזור היא מספר הרכבות בשעה מחולק במספר המחזורים.

ט. ה"מחיר" הממוצע למחזור של נוכחות הרק"ל, במונחים של זמן אבוד למופעים שאינם מקבילים למופע הרק"ל, הוא מכפלת ה"נזק" המשוקלל בהסתברות להופעת רכב רק"ל במחזור.

תרשים זרימה לעריכת הבדיקה התפעולית כלול בסעיף 3.3 שלהלן, ודוגמת חישוב מוצגת בנספח מס' 2.

## 3.3 תהליך בחינת תפעול הצומת - תרשימי זרימה ודוגמאות

ניתוח הצומת בתכנון המוקדם נערך על מנת לבחון חלופות תכנון. התהליך הוא איטרטיבי, כלומר לכשמגיעים לסופו ניתן לבחון חלופה נוספת ע"י שינוי באחד מנתוני התכנון, כגון מספר מופעים, סדר מופעים וכדו'.

שלבי בחינת תפעול הצומת, הן לבדיקה מיקדמית והן לבדיקה תפעולית, מופיעים בתרשימי הזרימה א- 3 וא- 4 שלהלן.

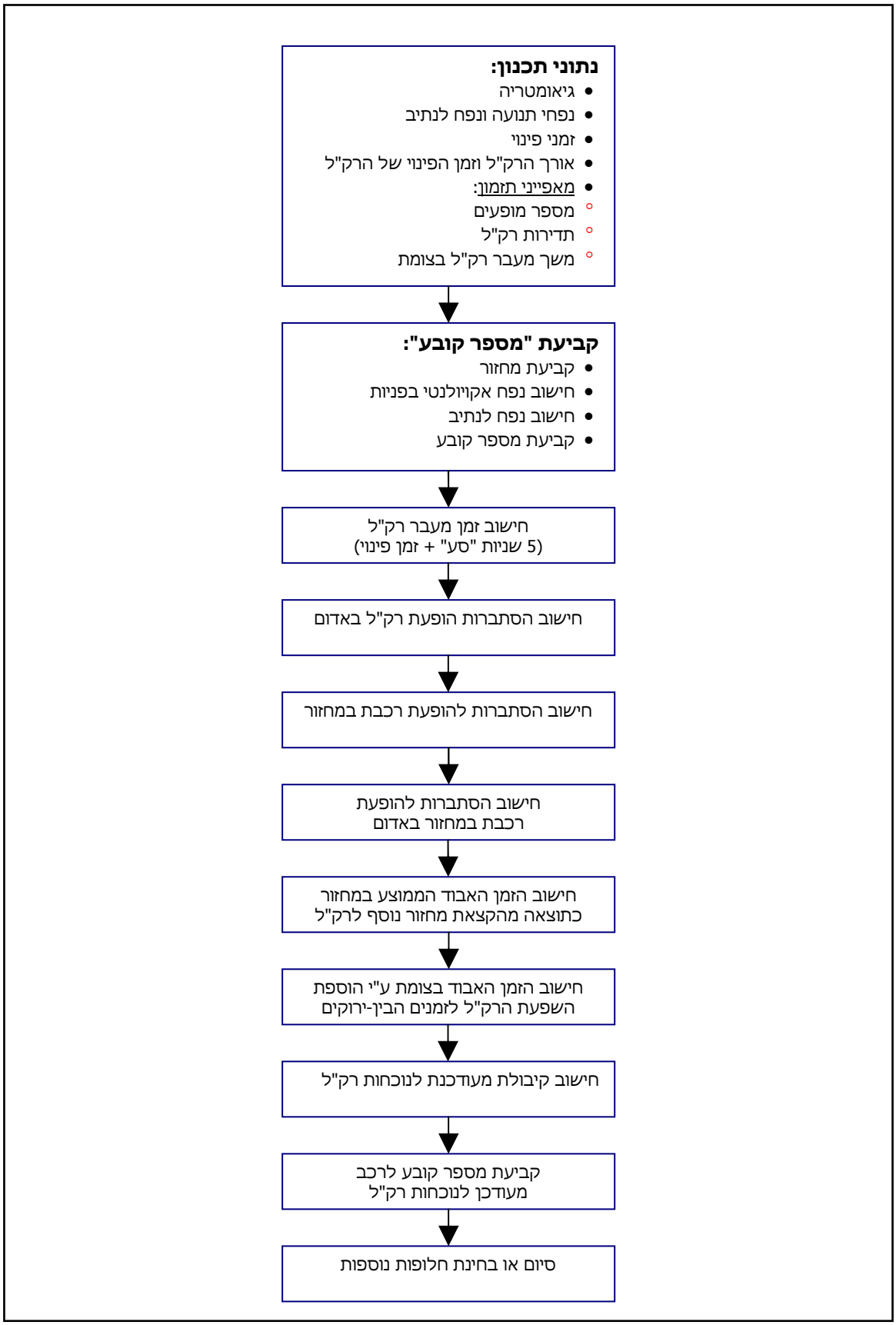
דוגמא לחישוב תפעול הצומת בשלב הבדיקה המיקדמית בנספח מס' 1.

דוגמאות לחישוב תפעול הצומת בשלב הבדיקה התפעולית כלולות בנספח מס' 2, עבור שני מצבים:

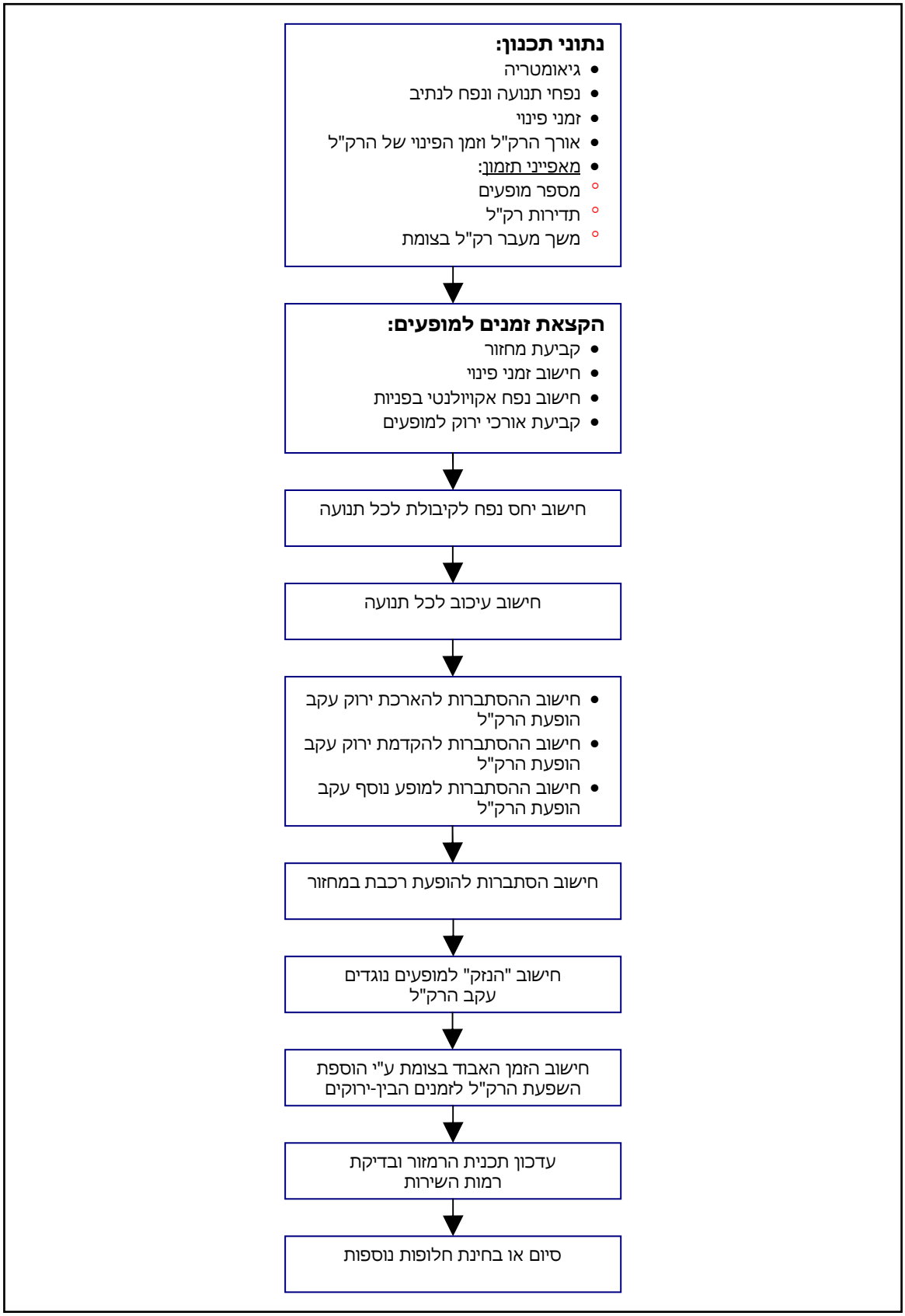
- בצומת עם מחזור קצוב זמן
- בצומת עם מחזור משתנה

כל אחד מהמצבים נבחן עם קיבולת נתיב שעתית של 1,800 ית"ן ו – 2,000 ית"ן.

**תרשים א- 3 – ניתוח צומת - תרשים זרימה לעריכת בדיקה מיקדמית**



## תרשים א- 4 – ניתוח צומת - תרשים זרימה לעריכת בדיקה תפעולית



# פרק ב

# 1. הסדרים גיאומטריים

# כללים מנחים לשילוב מערכות הסעת המונים ברמזורים

# פרק ב': הסדרי תנועה

## 1. הסדרים גיאומטריים

### 1.1 כללי

פרק זה בא להשלים את ההנחיות הקיימות לתכנון הגיאומטרי של נתיבים לתחבורה ציבורית* ואת העקרונות לתכנון רכבת עירונית** בכל הנוגע לשילובה של **ת"צ מועדפת [תצ"מ]** [אוטובוסים מערכתיים (BRT, אומ"ר) ורכבות קלות (רק"ל)] בתכנון הצמתים.
השפעתם של כלי רכב אלה על הגיאומטריה של הצומת נובעת מייחודם:

- בדרך כלל ייסעו במסלול משלהם, המופרד מיתר כלי הרכב.
- אורכם החריג מגביל את שדה הראייה של יתר משתמשי הדרך ומאריך את זמן המעבר בצומת.
- הצורך להתייחס לכמות גדולה יחסית של הולכי רגל בפרקי זמן קצרים בצמתים הסמוכים לתחנות.
- תוספת ניגודים (קונפליקטים) ותמרורים.

### 1.2 רכב התכן

מידות רכב התכן של רכבת קלה ואוטובוס מערכתי ייקבעו בהתאם להחלטות שיתקבלו בשלב התכנון המוקדם של המערכת ובהמשך, בהתאם לנתוני הרכב הספציפי שיופעל.
בהעדר מידע על נתוני הרכב, מייצגות ההנחיות המפורטות בהמשך ערכים מומלצים לתכנון ומבוססות על המלצות ונתונים מן הנסיון הבינלאומי.
עקב השוני הרב בין שני סוגי רכב התצ"מ, ההנחיות מתייחסות באופן נפרד לכל אחד מהם.

**הנחיה: בהעדר מידע על נתוני הרכב, הערכים המומלצים לתכנון יהיו בהתאם למפורט להלן:**

#### 1.2.1 אוטובוס מערכתי

- אורך רכב התכן 24.5 מ'
- רדיוסי הפניה יהיו בהתאם למפורט עבור אוטובוס מפרקי*, בכל מקרה, הרדיוס המזערי הרצוי לתכנון לא יקטן מ-15 מ'.
- מקדמי האצה/האטה = 1.2 מ'/שנ$^2$

---

* הנחיות לתכנון נתיבים לתחבורה ציבורית, משרד התחבורה, 1998
** עקרונות לתכנון רכבת עירונית ושילובה בהסדרי התנועה, משרד התחבורה, 2003

### 1.2.2 <u>רכבת קלה</u>

- אורך קרון בודד הינו בין 20 מ' לבין 35 מ' וניתן לחבר שני קרונות. המידה לתכנון תיקבע בהתאם לסוג הציוד המתוכנן במערכת.
- רדיוס פניה מזערי רצוי לתכנון יהיה 35 מ'**.

באזורים בעייתיים במיוחד בהם לא ניתן להסדיר הרדיוס הנ"ל, ניתן להקטין את הרדיוס עד למינימום מוחלט של 25 מ'. במקרה זה מהירות הרכבת הקלה תוגבל ל- 15 קמ"ש.

- מקדמי האצה/האטה = 1.0 מ'/שנ$^2$.

## 1.3 <u>מרחקי ראות</u>

ככלל, על נהג הרכב הציבורי לנהוג על פי קו הראייה ולכן, יש להבטיח בכל מקרה מרחק ראות פנוי לעצירה לפני הצומת, אשר יהיה שווה למרחק הבלימה בתנאי שרות - Service Braking [**] .

**הנחיה: מרחקי הראות המזעריים יהיו בהתאם לטבלה מס' ב-1. מהירות הנסיעה המירבית המותרת בכל נקודה לאורך התוואי תתאים למרחקי הבלימה הנ"ל .**

**<u>טבלה ב-1:</u> מרחקי ראות מזעריים לבלימת שרות**

| מהירת שרות (קמ"ש) | מרחק ראות (מטרים) | |
|---|---|---|
| | רכבת קלה(1) | אוטובוס מערכתי (2) |
| 20 | 30 | 25 |
| 30 | 50 | 30 |
| 40 | 80 | 45 |
| 50 | 110 | 55 |
| 60 | 150 | 75 |
| 70 | 200 | 90 |
| 80 | 255 | 110 |
| 90 | 320 | 135 |

הערות: (1) - על פי ת"י 5350 [***] בתוספת 1 שניה זמן תגובה

(2) - על פי הנחיות לתכנון רחובות בערים[****]

התלות של מרחקי ראות בשיפוע לאורך מוסברת בסעיף 5.4, שלהלן.

[**] עקרונות לתכנון רכבת עירונית ושילובה בהסדרי התנועה, משרד התחבורה, 2003

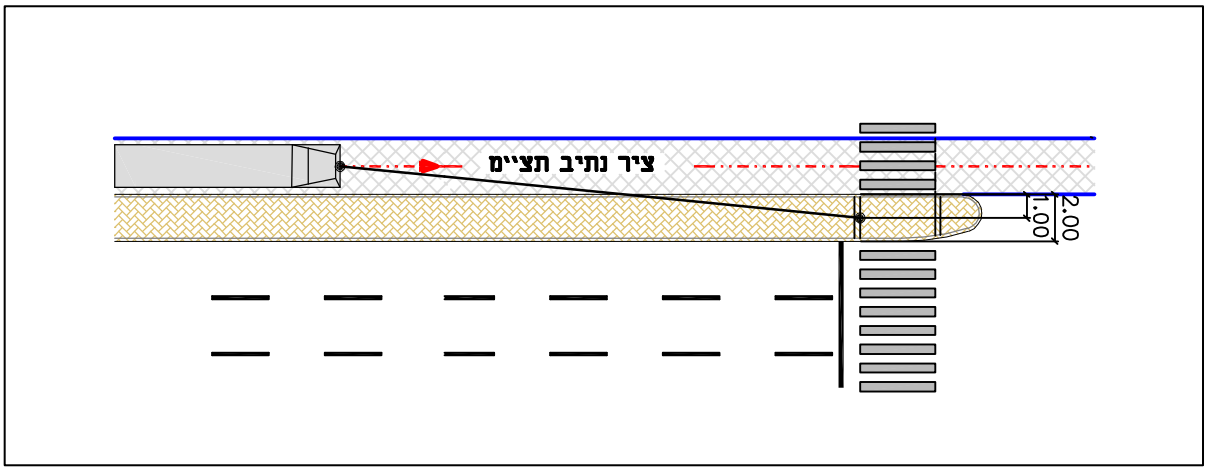
[***] תקן ישראלי ת"י 5350, בניה ותפעול מערכות רכבת קלה, 2002

[****] הנחיות לתכנון רחובות בערים, פרק 1 , משרד בינוי והשיכון ומשרד התחבורה, 1983

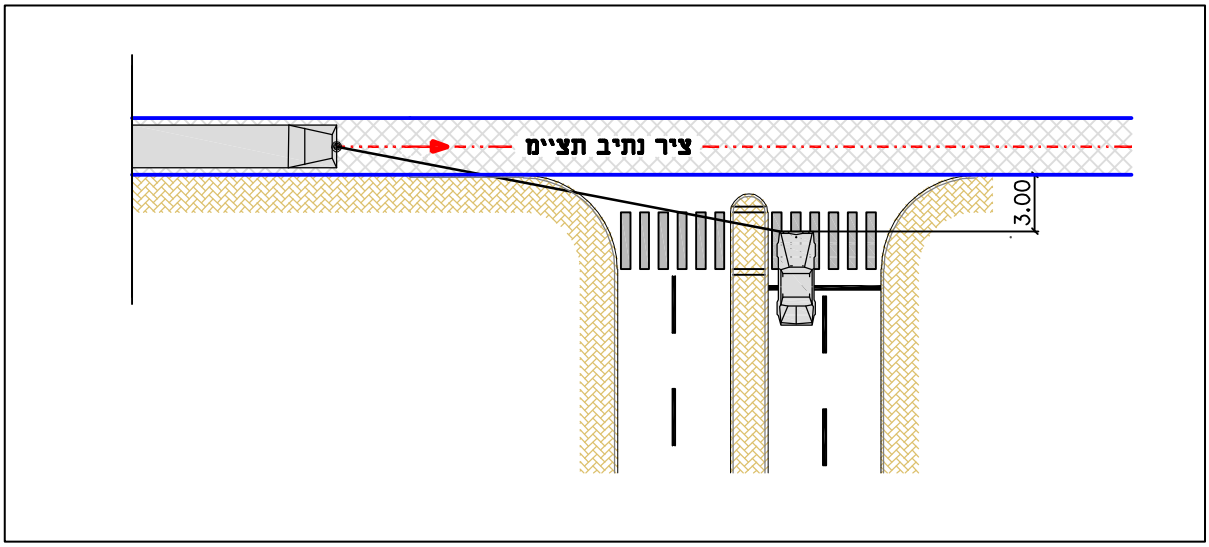
**הנחיה: יש להבטיח שדה ראיה לצידי מסלול רכב תצ"מ שיאפשר את נירואותם של הולכי הרגל וכלי הרכב העומדים לחצות אותו:**

- **הולך רגל העומד בקצה הקרוב של מעבר החצייה לכיוון התקרבות התצ"מ ובמרחק של 1.0 מ' מאחורי אבן השפה הגובלת עם מסלולו -** ר' תרשים ב-1.
- **רכב העומד בקצה הקרוב של המסלול החוצה לכיוון התקרבות התצ"מ ובמרחק של 3.0 מ' ממסלולו** - ר' תרשים ב-2.
- **המרחק אל רכב התצ"מ המתקרב יימדד למרכז נתיב הנסיעה שלו.**

**<u>תרשים ב-1:</u> שדה הראיה להולך רגל**




**<u>תרשים ב-2:</u> שדה הראיה לרכב**



אופן החישוב של משולשי הראות עבור רכבת מקומית מבוסס על ה"הנחיות לתכנון מפגשי מסילת ברזל" שהוצאו על ידי משרד התחבורה במרץ 2006 ומפורט בסעיף 5.3.

## 1.4 מפרדות

הסדרתן של מפרדות בין מסלולי התצ"מ לבין מסלולי התנועה הכללית רצוי, אך אינו חובה. יתרונן של המפרדות באפשרות לחלק את החצייה של הולכי הרגל לקטעים קצרים יותר, המצמצמים את הזמן האבוד בצומת ומספקים מקלט להולכי הרגל שאינם מצליחים לחצות את כל הרחוב בבת אחת.

**הנחיה: רוחב המפרדה בצומת מרומזר לא יקטן מ- 2.0 מ', ללא תלות ביעודם של המסלולים שבצידיה.**

**ליד תחנות, רוחב המפרדה לא יפחת מרוחב הרציף, או מן המפורט בהנחיות למעברי חצייה עתירי ביקוש.** *

**במידה ולא ניתן יהיה לספק את רוחב המפרדה הדרוש, תכנון הזמנים ברמזור יבטיח אפשרות לחצייה רצופה של המסלולים הסמוכים אליה (רכב ותחבורה ציבורית).**

**כשהמפרדה מהווה חלק ממעבר חצייה מרומזר, הפיתוח שלה יכלול את כל המרכיבים הנדרשים על פי התקן הישראלי ת"י 1918 - "נגישות הסביבה הבנוייה".**

## 1.5 מדרכות

**הנחיה: רוחבן של המדרכות יותאמו ל"הנחיות לתכנון תנועת הולכי רגל- פרק 4" (משרד התחבורה, 2007) ולאלה שנקבעו עבור התכנון של מעברי חצייה עתירי ביקוש.***

**בכל צומת של דרך עם מסלול תצ"מ, הצומת יוסדר כך שהמדרכה תופסק והמשך מסלול ההליכה יוסדר כמעבר חצייה. מעבר החצייה יסומן בכפוף למגבלות המפורטות סעיף 1.8 שבהמשך.**

**כשמסלול לתחבורה ציבורית משמש למעבר אל חניה פרטית וממנה (כניסה לחצרים), מומלץ שרוחב המדרכה לא יקטן מ- 4 מ', וזאת על מנת להבטיח את שדה הראייה של הנהג המתמרן** (בעניין זה ראה גם סעיף 5.9).

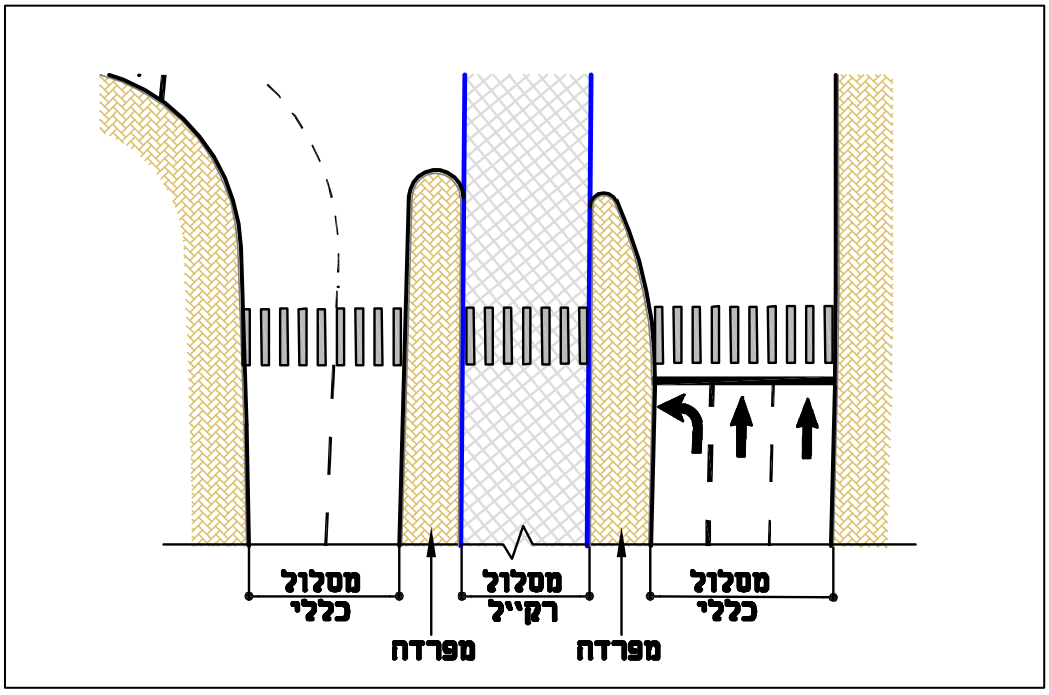
* "הנחיות לתכנון מעברי חצייה עתירי ביקוש", משרד התחבורה וג.ת.ע, 2006

## 1.6 שיקולים בתכנון נתיבים עם פנייה ימינה או שמאלה מתוך נתיב מקביל וסמוך למסלול של רכבת קלה

חציית המסילה בפנייה שמאלה או ימינה מתוך נתיב המקביל וסמוך למסלול של רכבת קלה, הינו תימרון בעייתי מאחר ולנהג הרכב קשה להבחין ברכבת המתקרבת מאחוריו.

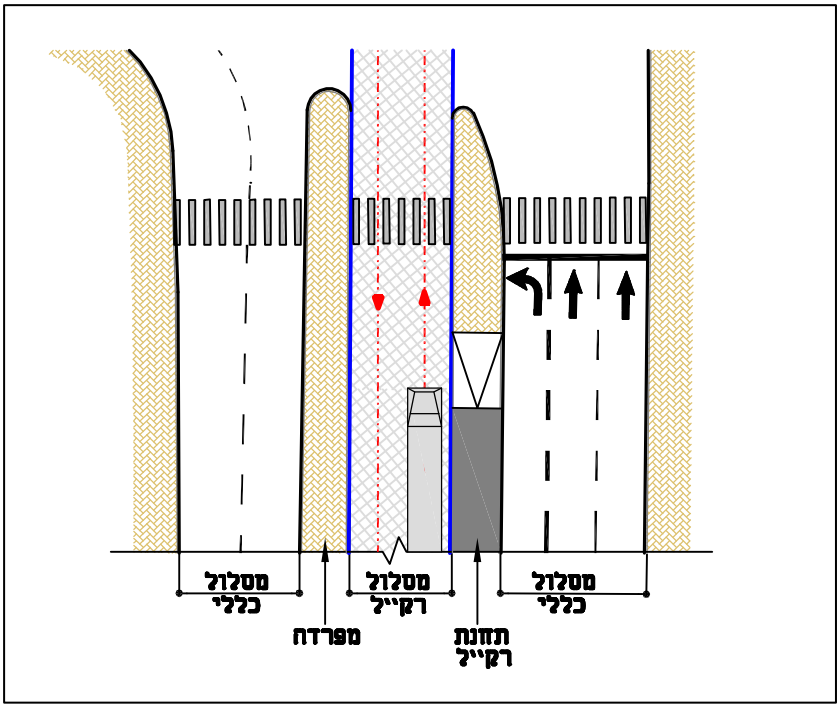
**<u>הנחייה:</u> הפתרון המומלץ הוא זה בו נתיב הפנייה של הרכב מופרד פיזית ממסלול הרק"ל באמצעות מפרדה כמודגם בתרשים ב-3.**

**<u>תרשים ב-3: הסדרת פניה שמאלה מתוך נתיב מקביל למסלול הרק"ל</u>**




כאשר בצומת קיים נתיב פניה של התנועה הכללית החוצה את מסלול הרק"ל, וכאשר יש צורך בתחנת רק"ל בסמוך לאותו צומת, רצוי למקם אותה לפני הצומת, כך שנהג הרכב הציבורי יוכל להבחין ברכב הפונה בעת עצירתו בתחנה; ראה תרשים ב- 4.

**תרשים ב-4: מיקום מומלץ לתחנה כשקיים נתיב פניה שמאלה מקביל וצמוד למסלול הרק"ל**




## 1.7 קווי תיחום

**הנחיה:** **קווי התיחום של מסלול התצ"מ החוצה את הצומת יסומנו בבירור על ידי אלמנט פיזי בולט לעין, כגון אבן שפה שקועה ברוחב מינימלי של 30 ס"מ ובעלת גוון שונה באופן מובהק מגוון המסעה שמסביבה. לא יותר שימוש חלופי בצבע.**

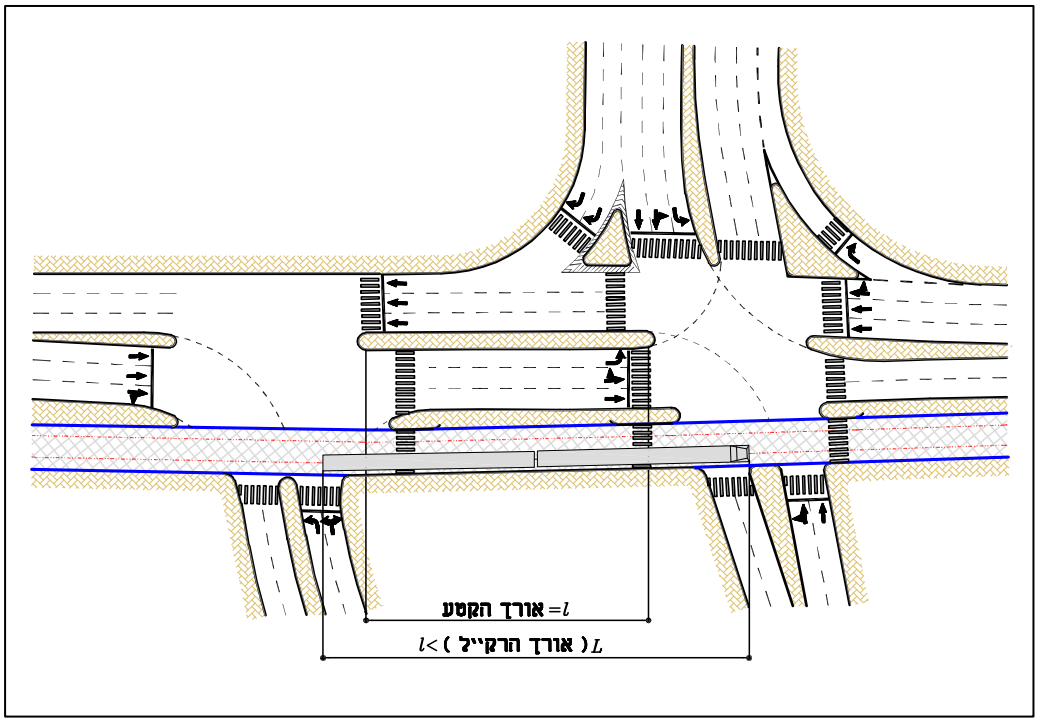
**במקרה של רכבת קלה יסומן קו זה מעבר לרצועת הרק"ל (Swept path) ואילו במקרה של אוטובוס מערכתי הוא ייצור המשך לקו הנתיב.**

## 1.8 סוגי צמתים מיוחדים

### 1.8.1 צמתים קרובים

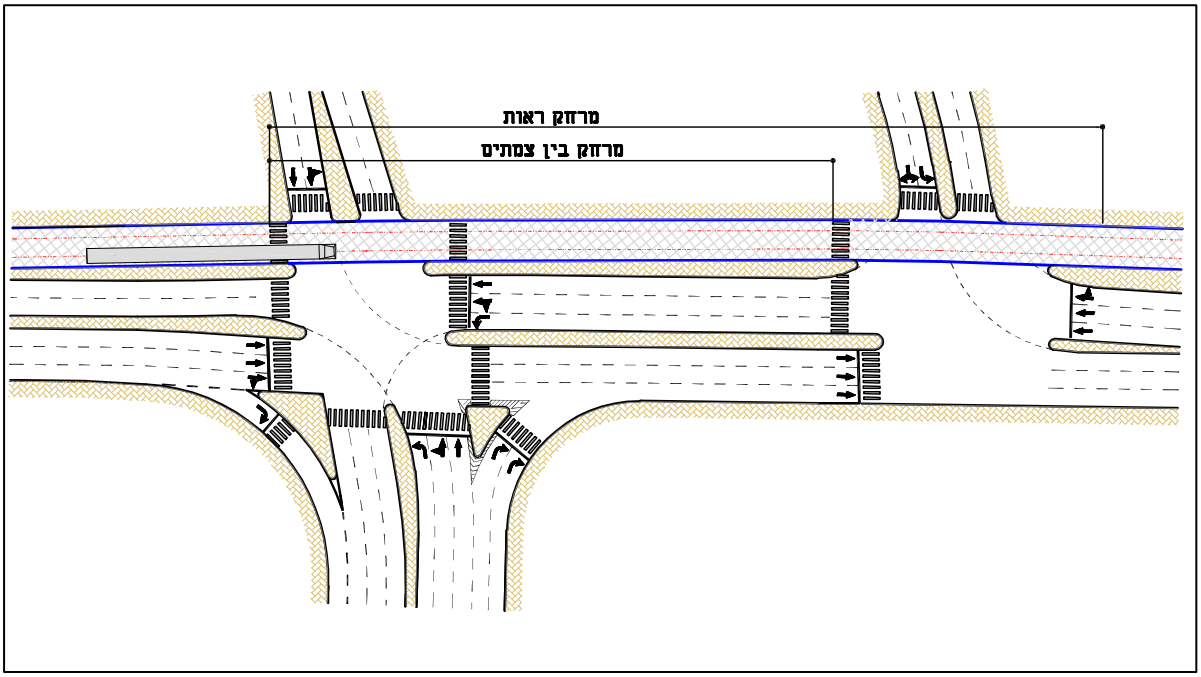
**הנחיה: כאשר אורך הקטע המפריד בין שני צמתים קצר מאורכה של הרכבת הקלה, הללו ייחשבו כצומת אחד גם מבחינת התנועה הכללית וינוהלו באמצעות תכנית זמנים (תרשים זרימה) אחת; עמודי הרמזור המיועדים לרק"ל יוצבו אך ורק בצומת הראשון בכיוון הנסיעה –** ר' תרשים ב-5.

**תרשים ב-5: צמתים קרובים - הרק"ל ארוכה מהמרחק בין הצמתים**



**הנחיה: כאשר המרחק בין שני צמתים סמוכים קצר ממרחק הראות הנדרש בהתאם למהירות המירבית המותרת, ואין תחנה ביניהם, הם ינוהלו באמצעות בקר משותף. בכל מקרה, תכנית הזמנים תתוכנן כך שאם הרק"ל עברה את הצומת הראשון, מובטח לה המעבר גם דרך הצומת השני, אלא אם קיימת תחנה ביניהם.** ר' תרשים ב-6.

**<u>תרשים ב-6:</u> צמתים קרובים - המרחק ביניהם קצר ממרחק הראות הנדרש**



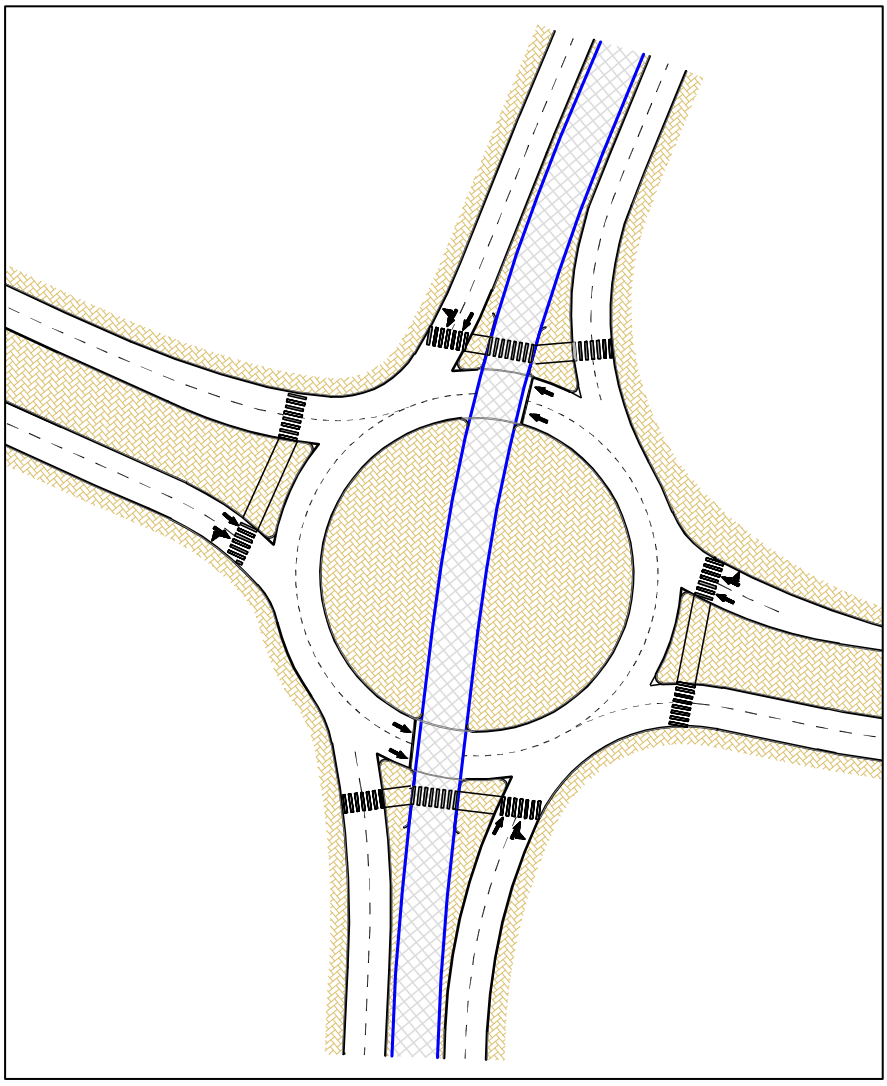
### 1.8.2 <u>מעגלי תנועה</u>

**הנחיה: במעגל תנועה מרומזר, המפגש של המסלול המעגלי עם מסלול התצ"מ ירומזר, כשהתאום בין הצמתים יהיה בכפוף להנחיות המפורטות בסעיף "צמתים קרובים" לעיל.**

**הנחיה: כשנפח התנועה במעגל התנועה (ללא תצ"מ) אינו מצדיק רמזור, התנועה החוצה את מסלול התצ"מ תנוהל כדלקמן:**

- **במקרה של רכבת קלה - באמצעות תמרור ה- 11 ומחסום אשר יהיו חלק מהמערך התפעולי של התצ"מ. המידע על תקינותם יועבר לנהג הרק"ל באמצעות מערכת האיתות של המפעיל.**
- **במקרה של אומ"ר - על ידי רימזור הקונפליקט.**

**<u>תרשים ב-7:</u> מעגל תנועה לא מרומזר**



### 1.8.3 <u>תפעול המחסום</u>

במעגלי תנועה שאינם מרומזרים ואשר אותם חוצה מסלול רק"ל, יותקנו מחסומים בכביש למניעת כניסת רכב לשטח שמהווה גם חלק ממסלול הרק"ל, בעת שעוברות בו רכבות קלות.

המחסום יכלול:

- תמרורי אזהרה א- 26 בצרוף תמרור א- 44 מתחתיו עליו יסומן זוג חיצים.
- זרוע שעולה ויורדת בהתאם להתקרבות הרק"ל.
- זוג פנסים אדומים מהבהבים בקוטר 20 ס"מ אחד ליד השני (תמרור ה- 11).
- וכן גלאים לרכב רגיל ולרק"ל ומערכת הפעלה.
- המחסום אינו כולל מערכת שמשמיעה אות כגון צלצול או תקתוק וזאת על מנת למנוע הפרעה לדיירים ומאחר ומהירות הרכב נמוכה ורוב כלי הרכב נוסעים בחלונות סגורים.

המיקום הרצוי למחסום יהיה 4.0 מ' מפס המסילה הקרוב. אולם, בהתאם לתנאים ואילוצים גיאומטריים בשטח, ניתן למקם המחסום גם במרחקים שונים מהמצוין לעיל עד לגבול רצועת הרק"ל.

המחסום ייסגר בזמנים בהם הרק"ל עוברת במעגל התנועה, בתוספת זמן שייקבע משיקולי בטיחות וצרכי תפעול.

שלבי סגירת המחסום ופתיחתו ומשכם יהיו כדלקמן:

1. הפנסים האדומים יתחילו להבהב עם התקרבות הרק"ל למעגל התנועה.
   ההבהוב יחל T1 שניות לפני תחילת הירידה של זרוע המחסום.
   משך זה יכלול את: * זמן התגובה של נהג הרכב הרגיל, 1.0 שנ'.
   * משך הזמן הנדרש לרכב לעבור את תחום הבלימה (מנקודת ההחלטה ועד קו העצירה) במהירות של 25 קמ"ש – המהירות שבה הוא נוסע במעגל התנועה.
   * משך הזמן הנדרש לרכב התכנון כולו לעבור את קו המחסום במהירות הנ"ל.
   חישוב זמנים אלה דומה לחלק הנעשה בחישוב זמני פינוי בצומת מרומזר (ראה פרק ג' - זמנים בין ירוקים).
2. זרוע המחסום תרד תוך T2 שניות (2-5 שניות בהתאם לסוג המחסום).
   הערה: במקרה שמשך הזמן הדרוש לפינוי תחום הניגוד ע"י הרכב, גדול ממשך הזמן הדרוש לירידת המחסום, יילקח בחשבון משך הזמן הגדול יותר (תחום הניגוד: מקו המחסום ועד לקצה הרחוק של רצועת הרק"ל).
3. יינתן פער זמן T3 בין השלמת תהליך סגירת המחסום לבין כניסת הרק"ל לתחום הניגוד. פער זמן זה של 3 שניות דרוש משיקולי בטיחות.

4. זמן מעבר הרק"ל באזור הניגוד, T4, יימשך עד שהיא מפנה אותו כליל.
5. T5 הוא הזמן הנדרש לזרוע המחסום להתרומם ואז גם ייפסק ההבהוב האדום.

המחסום יתחיל להתרומם עם קבלת אות מגלאי הביטול שהרק"ל פינתה את אזור הניגוד.

**<u>תרשים ב- 8</u>: תאור זמני מחסום רק"ל**

| **תמרור ה-11: מהבהב** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **זמן גילוי הרק"ל** ← | | | | |
| **T1-זמן פינוי לרכב** | **T2- זמן ירידת המחסום** | **T3- זמן בטחון** | **T4- זמן מעבר הרק"ל** | **T5- זמן הרמת המחסום** |

הערה: נהג הרק"ל יידע על תקינות המחסום ועל הפעלתו כנדרש, באמצעות מערכת הבקרה של הרק"ל. במקרה של תקלה בפעולת המחסום הוא יפחית את המהירות בהתאם לנדרש.

**<u>חישוב לדוגמא</u>**

חישוב לדוגמא של משך תהליך סגירת מחסום מרגע תחילת ההבהוב ועד להפסקתו:

T1 כולל:

- זמן תגובה 1 שנ'
- זמן מעבר תחום הבלימה (במהירות 7 מ/שנ' ותאוטה של 3.5 מ'/שנ'$^2$ ) 1 שנ'
- הזמן שבו רכב באורך 12 מ' מפנה את תחום המחסום במהירות הנ"ל (במעוגל) 2 שנ'

T2 הזמן שבו יורדת זרוע המחסום 4 שנ'

T3 פער זמן לביטחון בין סגירת המחסום למעבר הרכבת 3 שנ'

T4 זמן מעבר הרכבת (אורך 70 מ') את אזור הניגוד (10 מ') במהירות 10 מ/שנ' 8 שנ'

T5 הזמן שבו עולה זרוע המחסום <u>4</u> שנ'

**סה"כ 23 שנ'**

* הערה: זמן מעבר הרק"ל ייקבע בפועל בהתאם למידע מגלאי הביטול.

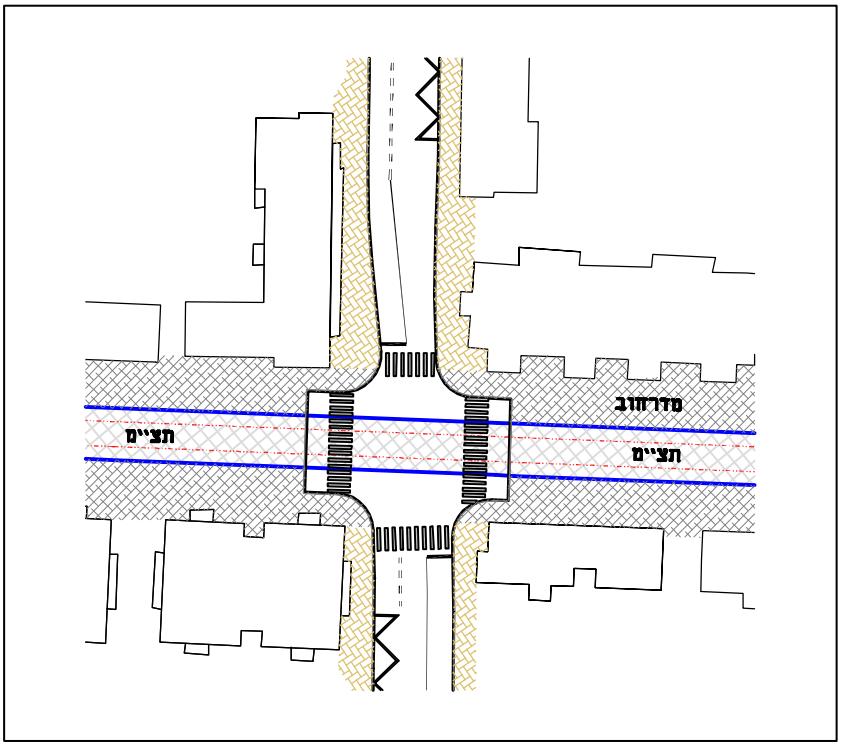
כדי לאפשר מצב של עדיפות מלאה לרק"ל, לא נדרש מרווח זמן בין סיום תהליך הרמת המחסום לבין תחילת תהליך סגירת המחסום לקראת מעבר הרק"ל הבאה, וזאת כדי למנוע את הצורך שהרק"ל תצטרך לעצור לפני מעגל התנועה ולהמתין עד שתתאפשר סגירת המחסום הבאה.

במידה ויוחלט על מדיניות העדפה שונה, ניתן יהיה להגדיר משך זמן מינימלי בין הרמת המחסום לסגירתו, וזאת כדי להקטין את ההפרעה לזרימת התנועה במעגל התנועה.

### 1.8.4 <u>חציית מדרחוב בו עוברת תצ"מ</u>

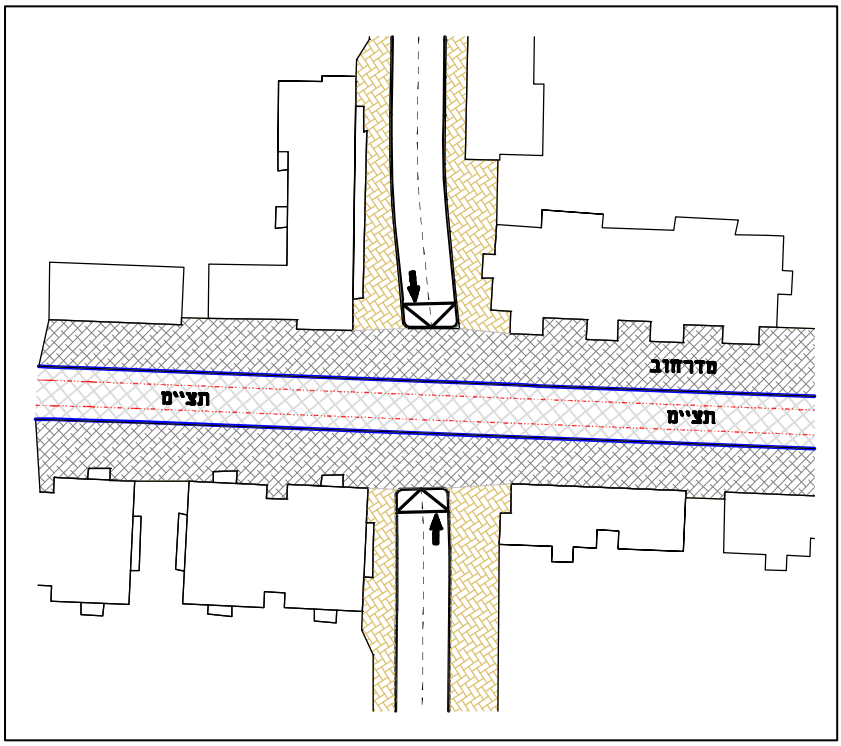
**הנחיה: כשהצומת מרומזר, מרקם המדרחוב יופסק ואילו מרקם וצבע המסעה המאפיינים את מסלול התצ"מ יישמרו. הגבול ייקבע בהתאם לרדיוס הפניה של רכב התכן אל ומן הרחוב "הרגיל" -** ר' תרשים ב- 9. **כאשר משיקולים אורבנים או חזותיים קיימת חשיבות להמשכיות המדרחוב (כגון בחציה של רחוב מקומי), ניתן לשמור המרקם והגובה של המדרחוב.**

**<u>תרשים ב- 9:</u> מסלול תצ"מ במדרחוב: צומת מרומזר**



**הנחיה: בצומת לא מרומזר יישמרו המרקם והגובה של המדרחוב,** ר' תרשים ב- 10.

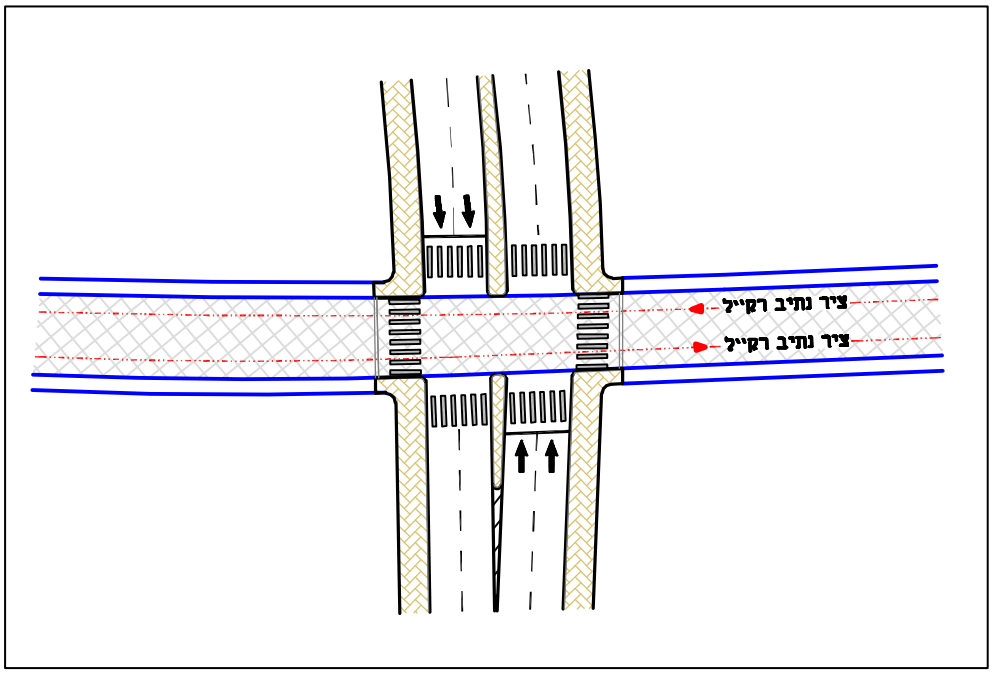
**<u>תרשים ב- 10:</u> צומת לא מרומזר בין רחוב מקומי לבין מדרחוב בו משולב מסלול תצ"מ**



### 1.8.5 <u>חציית זכות דרך בלעדית של תצ"מ</u>

**הנחיה: הצומת יוסדר כך שהמירקם והצבע המאפיינים את מסלול הרק"ל יישמרו, אך גובהו יהיה במפלס מיסעת הרחוב. בכל מקרה, תהיה הבחנה ברורה, מבחינת המירקם והמפלס, בין המדרכה לבין מסלול הרכב לבין מסלול התצ"מ, כמתואר בתרשים ב- 11.**

**<u>תרשים ב- 11</u>: צומת בין רחוב לבין מסלול לתצ"מ רק"ל בזכות דרך בלעדית**



# פרק ב

# 2. פנסי רמזור

# 2. פנסי רמזור

## 2.1 כללי

בצומת מרומזר עם תצ"מ (תחבורה ציבורית מועדפת) מוצבים, בנוסף לפנסי הרמזור הרגילים לרכב ולהולכי הרגל, גם פנסים המיועדים לתחבורה הציבורית המועדפת. צורת הפנסים בצומת המרומזר עבור מסלול התצ"מ תהיה שונה מפנסי הרמזור הרגילים. סעיף זה כולל הנחיות לגבי צורת הפנסים, סדר האותות בראש הרמזור (signal head) ואופן הצבתו.

פנסי הרמזור המיועדים לתצ"מ במסלול בלעדי צריכים להיות שונים מאלה המיועדים לתנועת כלי הרכב האחרים או הולכי הרגל, על מנת למנע בלבול העלול לגרום לרכב פרטי בנתיב מקביל, להיכנס לצומת בזמן הלא נכון. השוני מתבטא בצורת האותות בפנסים. בנוסף צריכה מערכת הרמזורים בצומת להיות נפרדת ככל האפשר ממערכת הבקרה (והאותות) של תפעול התצ"מ.

אחד התפקידים העיקריים של מערכת הרמזורים בצומת עם תצ"מ הוא לאפשר עדיפות לתחבורה הציבורית. תכנון העדיפות לתחבורה הציבורית מהווה מרכיב חשוב בתכנון הרמזור. על מנת לאפשר תפעול יעיל של העדיפות צריך לספק לנהג התצ"מ מידע נוסף על המידע הרגיל ברמזור.

ראש הרמזור הרגיל, עם שלושת הפנסים הצבעוניים, מציין הוראות "סע", עצור", ו"היכון" (לעצור או לנסוע). ראש הרמזור לתצ"מ כולל, גם הוא, שלושה פנסים. שלושת פנסים מסמנים באופן דומה את האותות "עצור", "סע" ו"היכון" (לעצור או לנסוע). ראש רמזור נוסף, המיוחד לרק"ל מודיע לנהג הרק"ל כי רכבו נקלט ע"י מנגנון הרמזור וכי הוא עומד לקבל אות "סע" לכשיגיע לצומת. מידע זה חשוב לתפעול הרק"ל, היות והוא מאפשר ויסות מהירויות בגישה לצומת ומונע עצירות מיותרות. ראש הרמזור המשולש אינו נכלל בלוח התמרורים, ואינו מחייב נהגים. הוא רק נותן סימן מוקדם לנהג הרק"ל בלבד. לפיכך, הוא אינו יכול לבוא בסתירה לפנסים והאותות המופיעים בלוח.

## 2.2 פנסים לתצ"מ במסלול או מופע בלעדי

### 2.2.1 הפנסים ומשמעותם

ניתן להבחין בין שלושה סוגים של ראשי רמזור לתצ"מ:

א. ראשי הרמזור המיועדים לכיוון נסיעה יחיד והמופיעים בלוח התמרורים (ר' תרשים ב-12: מס' 1 עד 3). התמרורים הבאים כלולים בספר התמרורים: ה-16, ה-17, ה-18, ה-19, ה-20, ה-21.

ב. ראשי הרמזור הנוספים המוצעים לרמזורי התצ"מ המוצבים בצמתים בהם רכבי התצ"מ פונים ליותר מאשר כיוון אחד (ר' תרשים ב- 12: מס' 4 עד 7). תמרורים אלה אינם כלולים, עדיין, בלוח התמרורים ולכן לא ניתנו להם מספרים.

ג. פנס מקדים משולש (ר' תרשים ב- 12: מס' 8). ראש הרמזור המשולש אינו נכלל בלוח התמרורים, ואינו מחייב נהגים. הוא נועד לנהג הרק"ל בלבד.

**הנחיה: ראשי הרמזור בצמתים עם מסלול בלעדי לתצ"מ יהיו בעלי שלושה עד חמישה פנסים, שיכללו:**

- **פס לבן אופקי על רקע שחור.**
- **עיגול לבן על רקע שחור**
- **פס לבן (אנכי, או אלכסוני) על רקע שחור.**

**שאר ראשי הרמזור בצומת (לרכב ולהולכי רגל) יהיו על פי ההנחיות הקיימות לתכנון רמזורים.**[*]

**הנחיה: סדר האותות של רמזור התצ"מ יהיה כדלקמן (ר' תרשים ב- 13 וב- 14):**

- **פס אופקי - עצור.**
- **פס אופקי + עיגול - היכון לנסיעה (במשך 2 שניות).**
- **פס אנכי/אלכסוני – סע ישר/ימינה/שמאלה, משך אות מזערי 5 שניות.**
- **עיגול – היכון לעצור (במשך 3 שניות)**
- **פס אופקי – עצור**

**פנס מקדים**

ראש רמזור אפשרי נוסף לרק"ל כולל פנס יחיד עם משולש צהוב על רקע שחור שבסיסו למטה (ר' מס' 8 בתרשים ב-12).

**הנחיה: כאשר מתקרבת הרק"ל לצומת, בו מוצב פנס משולש לפני הצומת, יופעל הפנס עם המשולש הצהוב כדלקמן:**

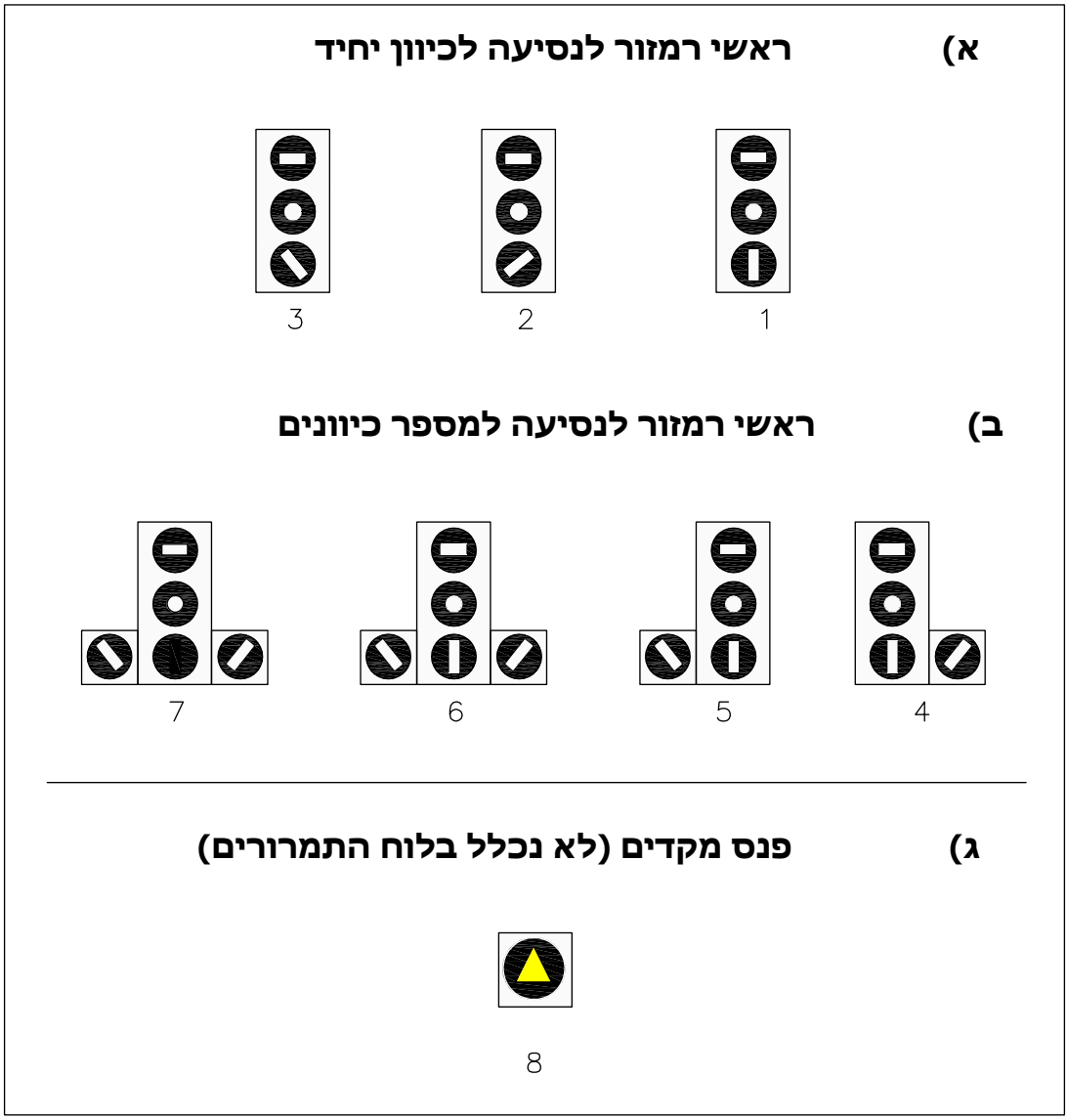
- **משולש מהבהב – מודיע לנהג הרק"ל כי הוא נקלט ע"י מנגנון הרמזור בצומת.**

[*] הנחיות לתכנון רמזורים, משרד התחבורה, 1981

- **משולש קבוע במשך 4 שניות - מורה לנהג הרק"ל כי מובטח לו אות "סע" כעבור 4 שניות. במשך 2 השניות האחרונות של אות זה יופעל בראש הרמזור הממוקם בצומת אות "היכון לנסיעה" (פס אופקי + עיגול לבן), במקביל לאות המשולש.**

ראש הרמזור המשולש אינו נכלל בלוח התמרורים, ואינו מחייב נהגים. הוא רק נותן סימן מוקדם לנהג הרק"ל.

**<u>תרשים ב- 12</u> - ראשי רמזור לתצ"מ**

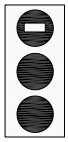



<u>הערה</u>: במסלול המיועד לרק"ל בלבד יוצבו רק ראשי רמזור עם שלושה פנסים (מספרים 1-3).

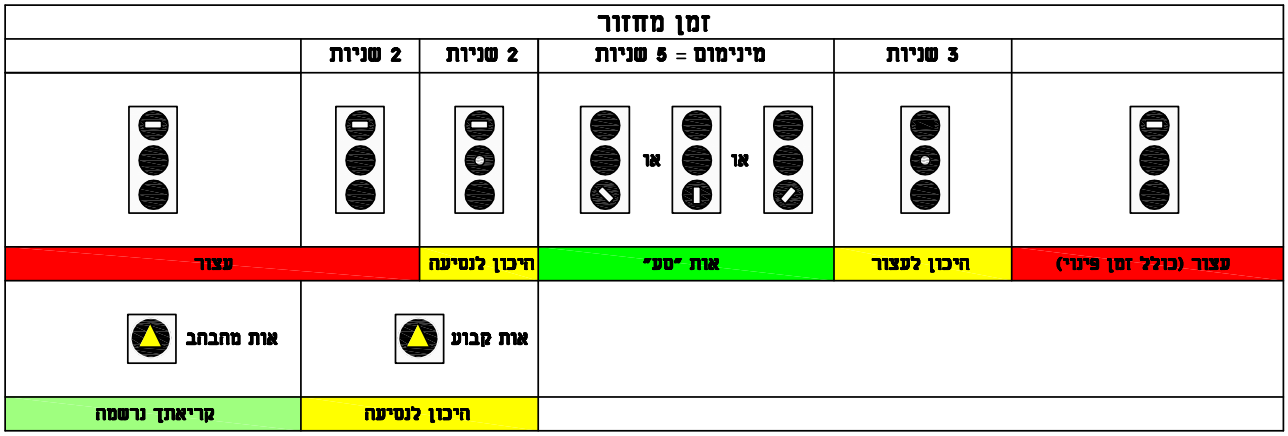
**<u>תרשים ב- 13</u> – סדר המופעים**

| רמזור התצ"מ | | | הפנס המשולש | | משך הזמן |
|---|---|---|---|---|---|
| האות בפנס | מספר התמרור | פירוש לנהג | האות בפנס | פירוש לנהג | |
| | ה- 16 | עצור | כבוי | --- | --- |
| | | | מהבהב | קריאתך נקלטה | --- |
| | | | קבוע | היכון לנסיעה באות סע | 2 שניות |
| | ה- 17 | היכון לנסיעה באות סע | קבוע | היכון לנסיעה באות סע | 2 שניות |
| | ה- 19 | התקדם ישר | כבוי | --- | מינימום 5 שניות |
| | ה- 20 | התקדם ימינה | | | |
| | ה- 21 | התקדם שמאלה | | | |
| | | התקדם ישר או ימינה | | | |
| | | התקדם ישר או שמאלה | | | |
| | | התקדם ישר או ימינה או שמאלה | | | |
| | | התקדם ימינה או שמאלה | | | |
| | ה- 18 | היכון לעצור | כבוי | --- | 3 שניות |

**<u>תרשים ב- 13</u> – סדר המופעים(המשך)**

| רמזור התצ"מ | | | הפנס המשולש | | משך הזמן |
|---|---|---|---|---|---|
| האות בפנס | מספר התמרור | פירוש לנהג | האות בפנס | פירוש לנהג | |
|  | ה- 16 | עצור | כבוי | --- | --- |

**<u>תרשים ב- 14</u> – סדר המופעים לרק"ל**




סדר הופעת האותות ברמזורי התצ"מ דומה לסדר המקובל ברמזורי רכב, היות ויהיו מצבים בהם כלי רכב אחרים יגיעו לצומת במסלול התצ"מ.

נהג רכב הרק"ל מקבל, כאמור, בנוסף לאותות המקובלים לרכב הכללי, שלושה נתוני מידע נוספים:

- **האחד** – באמצעות אות המשולש המהבהב, המציין כי הגילוי של הרק"ל נקלט ברמזור.
- **השני** – באמצעות אות המשולש הקבוע ל – 4 שניות, המציין כי הרק"ל עומדת לקבל אות "סע" ברמזור. אות "סע" יתחיל לפעול 4 שניות מתחילת הזמן שהאות המשולש הופך קבוע. שתי שניות לאחר הפעלת האות המשולש יופעל בראש הרמזור בצומת אות "היכון לנסיעה" (פס אופקי + עיגול). אות זה יאפשר לנהג הרק"ל להתאים את מהירות נסיעתה ולהימנע מעיכוב בצומת. מן הראוי להזכיר כי האות "סע" ייפתח

ברמזור 3 שניות לפני הגעת הרק"ל אל מקום העצירה, על מנת להשאיר מרווח בטחון לפינוי הצומת.

- **השלישי -** נתון מידע אפשרי נוסף תקבל רק"ל העומדת בתחנה לפני הצומת. מדובר באות "סגור דלת" המציין לנהג הרק"ל כי עליו לצאת מהתחנה לכיוון הצומת על מנת לקבל אות "סע". אות זה יותקן בלוח המכוונים של הרק"ל ויאפשר לרק"ל להמשיך ולאסוף נוסעים במקום לעמוד בצומת.

### 2.2.2 ראשי רמזור לתנועת רק"ל בלבד

**הנחיה: במסלול המיועד לרק"ל בלבד יוצבו ראשי רמזור עם שלושה פנסים (מס' 1 עד 3 בתרשים ב- 12). במסלול רק"ל יוצבו, אם כן, רק תמרורי ה-16 עד ה-21.**

**כאשר במסלול רק"ל, הרכב יכול לנסוע ליותר מכיוון אחד, כל פעם לכיוון אחר (או ישר, או ימינה, או שמאלה), יוצבו מספר ראשי רמזור עם שלושה פנסים בהתאם למספר הכיוונים האפשריים.**

### 2.2.3 ראשי רמזור לתנועת אוטובוסים בלבד

**הנחיה: במסלול תצ"מ, בו נוסעים אוטובוסים בלבד, יוצבו פנסי רמזור נפרדים עבור כל אחת מתנועות רכב התצ"מ. הפנסים יהיו פנסי תצ"מ.**

**כאשר במסלול האוטובוסים הבלעדי קיימים נתיבים נפרדים לפניה ונסיעה ישר, יותקנו ראשי רמזור נפרדים עבור הנסיעה ישר והתנועות הפונות.**

**כאשר במסלול האוטובוסים הבלעדי קיים נתיב יחיד לתנועות שונות (ישר+ימינה, ישר+שמאלה או כל התנועות), יותקנו באותו ראש רמזור פנסים נוספים עבור הפניות, בנוסף לפנסים עבור הנסיעה ישר.** (ראה ראשי רמזור 4 עד 7 בתרשים ב- 12) .

רמזורים למסלולי תצ"מ, בהם נוסעים אוטובוסים בלבד, יכללו ראשי רמזור לתצ"מ ולא ראשי רמזור רגילים. סימון ה"סע" האלכסוני מורה על פניה של התצ"מ בצומת. המשמעות של סימון "סע" אלכסוני משתנה בהתאם לסוג כלי הרכב. במקרה של רק"ל, הסימון המצביע על פניה שלה בצומת, הוא לידיעה בלבד (עבור נהג הרק"ל). מסלול הנסיעה נקבע ע"י הבקרה המרכזית המסיטה את מפלג המסילה בהתאם. לנהג אין שליטה על כיוון הנסיעה.

במקרה של כלי רכב גלגליים, אומ"ר (אוטובוס מערכתי - BRT) או אוטובוסים רגילים, נדרש נהג רכב הת"צ לבצע את התמרון של הפניה. במקרה זה ישנה חשיבות רבה להצגה ברורה של כיוון הנסיעה בראש הרמזור. כאשר בגישת התצ"מ קיים נתיב יחיד, בו מותרת תנועת האוטובוסים לכיוונים שונים, יציג ראש הרמזור את כיווני הנסיעה המותרים באות ה"סע".

### 2.2.4 <u>ראשי רמזור לתנועה מעורבת</u>

**הנחיה: במסלול תצ"מ בו עוברים דרך שיגרה גם מוניות/רכב רב תפוסה - יוצבו ראשי רמזור רגילים (תמרורים ה- 1 עד ה- 5 בלוח התמרורים).**

**הנחיה: במקרים בהם קיימת תנועה של כלי רכב מזדמנים בנוסף לרכב התצ"מ, (למשל משאיות אשפה) והנסיעה מותרת למספר כיוונים, ניתן להוסיף לראש רמזור המסמן נסיעה ישר (אות "סע" – פס אנכי) פנס או פנסים נוספים המצביעים על נסיעה מותרת ימינה, שמאלה או לכל הכיוונים (ר' ראשי רמזור 4 עד 7 בתרשים ב-12). בראשי רמזור אלה יידלקו הפנס לנסיעה ישר יחד עם הפנס לפניה (ימינה ו/או שמאלה).**

**ככלל מומלץ להמעיט את שימוש בראש הרמזור הימני ולהציב במקומו תמרור (א-43) עם הנוסח: הפנייה ימינה מותרת עם הופעת אות "התקדם ישר" או "התקדם שמאלה", המורה על אפשרות לפניה ימינה של רכב מזדמן זה יחד עם נסיעת הרק"ל.**

**הנחיה: עבור כיווני נסיעה שונים במופעים שונים יוצב ראש רמזור נפרד לכל תנועה.**

ישנם מסלולי תצ"מ בהם עוברים, לעיתים, כלי רכב נוספים. לדוגמא, במדרחוב בו עובר קו רק"ל תותר הכניסה לרכב איסוף אשפה או לכלי רכב פרטים של דיירי הרחוב. בנוסף ייתכנו מקרים בהם יישלחו אוטובוסים לתגבר קו רכבת קלה בזמני שיא (סיום יום לימודים – באזור בית ספר). בתנאים אלה יוצבו ראשי רמזור מיוחדים לתצ"מ ועל שאר המשתמשים מוטלת האחריות לנהוג על פיהם.

במקרה של מדרחוב, או ברחוב עם מסלול נסיעה בו עוברת תצ"מ, עם אפשרות נסיעה לרכב פרטי, יש לתת אות "סע" לכיוון של הרחוב בכל מחזור ולא רק במחזורים בהם מגיע רכב התצ"מ, או לחילופין, להתקין גלאי דרישה לרכב. ראש הרמזור צריך לכלול את כל התנועות המותרות בגישה.

מאידך, במת"צ או נת"צ, בהם נוסעים בדרך כלל אוטובוסים אך גם מוניות וכלי רכב פרטיים רבי תפוסה (למשל 4 נוסעים ויותר), יוצבו ראשי רמזור רגילים עם תמרור כיוון (עם חץ) בצבע צהוב מעליהם.

בכל מקרה בו מותרת פניה חופשית ימינה של כלי רכב, יש לזכור להציב מהבהבים להולכי הרגל החוצים במעבר החציה שעל הזרוע מימין.

### 2.2.5 <u>מימדי הפנסים לתצ"מ</u>

**הנחיה: פנסים לרק"ל יהיו בגודל הבא:**

**א. קוטר הפנס – 200 מ"מ**

**ב. מימדי הפס בפנסי "עצור" ו – "סע" – 35 מ"מ X 150 מ"מ**

**ג. קוטר העיגול הלבן – 60 מ"מ**

**ד. צלע המשולש הצהוב – 150 מ"מ**

**יתר המידות (כגון גובה פנס תחתון מפני המדרכה וכדו') יהיו על פי הנחיות משרד התחבורה להצבת תמרורים.**

### 2.2.6 <u>מיקום הרמזורים</u> (ר' תרשימים בנספח לפרק זה)

מיקום ראשי הרמזור לתצ"מ בצומת נגזרים משני שיקולים:

א. התוויה גיאומטרית של נתיבי התצ"מ;

ב. ניראות הפנסים ע"י נהג התצ"מ בגישה לצומת.

**הנחיה: ראשי הרמזור לרכב תצ"מ יוצבו בצד ימין של כיוון הנסיעה, בצד הקרוב של הצומת ובצד שמאל מעבר לצומת (רפטיציה). במקרה שלא ניתן להציב עמודי רמזור מצד ימין, בצד הקרוב של הצומת, ניתן להציבם משמאל, בכיוון הנסיעה.**

הצבת רמזורי תצ"מ דומה להצבת רמזורים לכל כלי הרכב לפי הנחיות משרד התחבורה. היות ונהג רכב התצ"מ הוא מקצועי ולרוב גם קבוע בקו, ניתן במקרה הצורך, כאשר למשל, אין מרווח בטחון מספיק בין העמוד והמעטפת הסטטית של רק"ל, לסטות מההנחיה ולהציב גם את ראש הרמזור שלפני הצומת מצד שמאל של כיוון הנסיעה.

מן הראוי להזכיר כי עבור רק"ל "אין מסמנים" קו עצירה, ועמוד הרמזור מציין למעשה את קו העצירה. לכן תעצור הרק"ל בסמוך לעמוד הרמזור. (כאשר במסלול הת"צ נעים אוטובוסים ולא רק רק"ל, יסומנו קווי עצירה כמקובל).

**הנחיה: הקצה הקרוב של ראש רמזור בצומת ימוקם במרחק שאינו פחות מ - 45 ס"מ מהמעטפת הסטטית של הרק"ל או 50 ס"מ מקצה נתיב הנסיעה של האוטובוס, ובמקום שלא יהווה מכשול לכלי הרכב בדרך** (ר' גם פרק ב', סעיף 5.8).

אין להציב עמוד רמזור במקום בו הרק"ל עלולה לפגוע בו. במידה ואין אי תנועה או מדרכה בצד הימני של המסילה, יוצבו עמודי רמזור במקום בו הם אינם מהווים מכשול, כגון מצד שמאל. (ר' לעייל). במקרה זה, מירווח ביטחון של קצה ראש הרמזור יהיה 20 ס"מ לפחות מהמרחב הנקי (ר' פרק ב', סעיף 5.8).

**<u>הנחיה:</u> ראש הרמזור עם הפנס המשולש יוצב כ - 20 - 30 מטר לפני הצומת, אך לא פחות ממרחק השווה לשתי שניות נסיעה של הרק"ל. במידה ולא ניתן להציב את הפנס המשולש במרחק נסיעה של הרק"ל, הגדול משתי שניות, במהירות שנקבעה עבור הגישה לצומת, לא יוצב פנס זה. כמו כן לא יוצב הפנס המשולש כאשר התחנה ממוקמת במרחק של פחות מ – 2 שניות נסיעה מהצומת.**

הצבת הפנס המשולש לפני הצומת אמור למנע מכלי רכב שאינם תצ"מ מלהשתמש באות שלו. לכן יש לוודא שרכב העומד בקו העצירה לא יוכל לראות פנס זה. כאשר דבר זה בלתי אפשרי, לדוגמא כאשר קיימת תחנה קרובה לפני הצומת, אין מציבים פנס זה כלל.

## 2.3 <u>פנסים לתנועה הכללית (רכב פרטי, מסחרי ואחרים שאינם תצ"מ)</u>

### 2.3.1 <u>צורת הפנסים</u>

**הנחיה: ראשי רמזור לרכב שאינו תצ"מ, בצומת בו מותקנים רמזורי תצ"מ, יותקנו בהתאם לתקנות התעבורה ולוח התמרורים.**

פנסים לתנועה הכללית צריכים להיות עקביים בכל מערכת הדרכים. לכן יש להשתמש עבורה בפנסים רגילים גם בצמתים בהם עוברת תצ"מ. צורתם השונה מצורת רמזורי התצ"מ מאפשרת הצבת ראשי רמזור לתנועה הכללית ולתצ"מ בסמיכות, מבלי חשש לבלבול.

**הנחיה: כאשר מסלול רק"ל חוצה מעגל תנועה, יוצבו במעגל מחסומי רכבת ופנסי ה - 11 לפני מסלול הרק"ל. לא יוצבו ראשי רמזור עבור הרק"ל (ר' גם פרק ב, סעיף 1.8.3).**

מסלול רק"ל חוצה, בדרך כלל, מעגלי תנועה במרכזם. במעגל תנועה קיימות תנועות שאינן חוצות את מסלול הרק"ל. תנועות אלה יכולות להמשיך לנוע בזמן מעבר הרק"ל במעגל. הסדרת מחסום שיעצור רק כלי רכב החוצים את מסלול הרק"ל יאפשר את המשך הנסיעה של התנועות שאינן חוצות אותו. בנוסף, יימנע הצורך בהתקנת רמזורים עבור הרק"ל והולכי הרגל, ובכך ישתפר תפקוד מעגל התנועה.

## 2.4 פנסים להולכי רגל

### 2.4.1 כללי

חציית מסלול תצ"מ ע"י הולכי רגל שונה מחציה של צומת רגיל במספר היבטים:

א. בדרך כלל חוצה הולך הרגל כל מסלול בנפרד. בצומת בו עובר מסלול תצ"מ אמצעי, כרוכה חציית הצומת בשלושה שלבי חציה. דבר זה גורם:
   1) למשך חציה ארוך מצד לצד, העלול לגרור נכונות נמוכה לציית לרמזור.
   2) הולך הרגל רואה מספר פנסים ועלול להתבלבל, במיוחד אם הוא ממהר "לתפוס את הרכבת".

ב. בצמתים הסמוכים לתחנות ישנה תנועת הולכי רגל רבה במיוחד.

התייחסות לסוגיות אלו כלולה גם בסעיף "מעברי חציה" (ר' פרק ב, סעיף 3 להלן).

### 2.4.2 צורת הפנסים ומיקומם

**הנחיה: פנסים להולכי רגל יוצבו על פי ההנחיות לתכנון רמזורים, משרד התחבורה, 1981.**

**הנחיה: בחציה של מסלולים נפרדים לרכב ולתצ"מ בצומת מרומזר עם מפרדה ביניהם, יותקנו פנסי רמזור להולכי רגל לכל מסלול בנפרד.**

**במידה וקיים חשש שהולך הרגל יטעה לחשוב כי ראש הרמזור המורה על חציה של הרחוב מכוון, לדוגמא, לבקרת מסלול התצ"מ, יש לכוון את הפנסים כך שתימנע טעות כזו.**

**משך האות הירוק להולכי רגל יאפשר, ככל שניתן, לחצות את כל מסלולי הכביש והתצ"מ, ממדרכה למדרכה, בפעם אחת. זמני הפינוי יביאו את הולך הרגל אל המפלט הבנוי הקרוב, היכול להיות מדרכה או אי תנועה.**

פנסים להולכי רגל יוצבו כך שלא יטעו את המשתמשים. כאשר קיימות שתיים או שלוש חציות המשכיות, יש לכוון את פנסי הרמזור כך שניתן יהיה להבדיל את החציה של התצ"מ מחציות הרחובות הסמוכים (ר' גם פרק ב, סעיף 3.7).

**הנחיה: פנסים לרכב והולכי רגל יוצבו כך שהם לא יהוו מפגע בטיחותי, תוך שמירה על המרווחים החופשיים הנדרשים על פי ההנחיות.**

## 2.5 <u>שילוב פנסים</u>

**הנחיה: ניתן להשתמש באותו עמוד כדי להתקין פנסים לתצ"מ ופנסים לרכב כללי, או פנסי תצ"מ לכיוונים שונים (למשל: לישר ולפניה).**

פנסי הרק"ל שונים הן בצורה והן בצבע מפנסי רכב. כמו כן נהגי התחבורה הציבורית הם נהגים מקצועיים הנוסעים בדרך כלל בקווים קבועים. לכן, פנסים לתצ"מ ולרכב פרטי או פנסים לתצ"מ בכיוונים שונים (לנסיעה ישר וימינה למשל) יכולים להיות מותקנים על אותו עמוד, בסמיכות קרובה. חשוב לוודא שכל כלי רכב המתקרב לצומת יראה את ראש הרמזור המיועד לו.

דוגמאות למיקום פנסים בצמתים עם מסלול תצ"מ כלולים בנספח 3.

# פרק ב

# 3. מעברי חצייה

# 3. מעברי חצייה

## 3.1 כללי

הולכי הרגל מהווים חלק בלתי נפרד ממשתמשי הדרך ויש להם מאפיינים המחייבים התייחסות מיוחדת בעת תכנון האזור שבו הם חוצים מסלול של כלי רכב אחרים ובמיוחד במקרה שבו הם חוצים מסלול שבו נעים רק"ל או אוטובוס מערכתי (אומ"ר).
בין מאפיינים אלה ניתן לכלול:

- הולך רגל פגיע יותר מנוסע בכלי רכב.
- הולך רגל יכול להיות כל אדם עם רמות שונות של ידע, יכולות ושונות גדולה בצורת ההתנהגות (ילדים, קשישים וכו').
- התכנון צריך לתת מענה לאוכלוסיות של אנשים עם מוגבלויות.
- מהירויות ההליכה של הולכי הרגל נמוכות ביחס לשאר משתמשי הדרך.
- להולך הרגל אין נכונות להמתנות ממושכות.
- הולך הרגל שואף ללכת במסלול הקצר ביותר והנוח ביותר.

את המפגשים בין הולכי הרגל לכלי רכב ניתן לחלק לשני סוגים:
א. חצייה לא מוסדרת
ב. חצייה מוסדרת.
חצייה מוסדרת נעשית ע"י התקנת מעברי חצייה, עם או בלי רמזורים, בעיקר בצמתים. התקנת מעברי חצייה שלא בצומת נעשית רק במקרים מיוחדים.
ע"פ תקנות התעבורה על הולך הרגל לחצות במעבר חצייה, בתנאי שמצוי כזה בקרבת מקום (ת"ת 110).
בתקנה 67 לתקנות התעבורה נאמר כי "נוהג רכב המתקרב למעבר חצייה והולכי רגל חוצים במעבר, יאפשר להם להשלים את החצייה בביטחה ואם יש צורך בכך, יעצור את רכבו לשם כך".
תקנה זו קשה ליישום במקרה של הולך רגל החוצה מסלול רק"ל, היות ומרחק העצירה של הרק"ל גדול מאד, גם בנסיעה במהירויות הסבירות במרחב העירוני, ולפיכך נדרשת תשומת לב מירבית לסוגיה זו.
בהקשר לחצייה של הולך הרגל יש להזכיר גם את תקנה 111 לתקנות התעבורה, האומרת כי "לא ירד הולך הרגל ממדרכה או ממקום מבטחים אחר שבדרך באופן פתאומי או מבלי שנקט בזהירות מספקת, בשעה שרכב מתקרב אליו ממרחק שאין סיפק בידי נוהג הרכב לעצור את הרכב כדי למנוע תאונה".

**הנחיה: תכנון מעברי החצייה ליד תחנות התצ"מ וליד אתרים אחרים המהווים מוקדים לתנועת הולכי רגל רבים, כגון בתי ספר, אולמות וכו', ייערך בהתאם ל"ההנחיות לתכנון מעברי חצייה עתירי ביקוש" (משרד התחבורה ונ.ת.ע, 2006).**

בעיה נוספת הקיימת בעת חציית מסלול תצ"מ הינה שחצייה זו עומדת בסתירה למצב שאליו רגילים הולכי הרגל החוצים כביש דו-מסלולי רגיל. בחצייה רגילה כשהם חוצים את המסלול הראשון, הרכב מגיע משמאל ואז במסלול השני הרכב מגיע מימין. מסלול תצ"מ הינו בדרך כלל מסלול שקיים בנוסף לשני מסלולי הנסיעה הרגילים או בנוסף למסלול אחד עם תנועה בשני כיוונים.
כמו כן, הוספת מסלול תצ"מ מאריכה בדרך כלל את אורך החצייה הכולל מצידו האחד של הרחוב לצידו השני.

התייחסות להצדקים להתקנת מעברי חצייה מרומזרים לחציית מסלולי תצ"מ, ולסוגי הפנסים להולכי הרגל שיותקנו באותם מעברים, ראה בפרקים הרלבנטיים לעיל.

## 3.2 <u>מיקום מעבר החצייה</u>

**הנחייה: מיקום המעבר בצומת יהיה סמוך ככל האפשר להמשך המדרכות או מסלולי ההליכה ברחובות הניצבים, וזאת כמקובל בתכנון מעברי חצייה בצמתים רגילים. מיקום המעבר המקביל למסלול התצ"מ יהיה במרחק של 2 מ' לפחות מקצה רצועת התצ"מ/רק"ל, על פי הגדרתה בסעיף 5.8 להלן.**

הולך הרגל שואף ללכת במסלול הקצר ביותר ולכן קירוב המעבר לצומת מקצר את אורך מסלול ההליכה של ההולכים ברחוב הניצב.
קיימת חשיבות רבה בקביעת מיקום המעבר בקטע שבו קיימת תחנת תצ"מ. במקרים בהם קצה התחנה קרוב לצומת, המעבר יתוכנן באזור הצומת כאמור לעיל.
במקרים של תחנות תצ"מ בהם אורך התחנה גדול וקצה אחד של התחנה רחוק מהצומת, רצוי לתכנן מסלול הליכה לאורך המפרדה במקביל למסלול התצ"מ עד לצומת, ובתנאי שמרחק ההליכה עד אליו הינו סביר (ר' גם סעיף 2.3.4 בפרק א).
הגדלת המרחק המיזערי בין מסלול - הרק"ל למעבר החצייה המקביל לו ל- 2 מטר נובע מכך שהרק"ל נעה בשקט יחסי והולך רגל שהולך עם גבו אליה עלול לסטות ממסלולו מבלי שיבחין בה.

במקרים חריגים בהם יש מוקדי משיכה הסמוכים לקצה התחנה הרחוק מן הצומת, והמרחק עד לצומת הבא גדול יחסית, ניתן לשקול התקנת מעבר חצייה באמצע קטע, וזאת בהתאם לשיקולים המקובלים להתקנת מעבר חריג כזה (ר' גם סעיף 2.3.4 בפרק א).

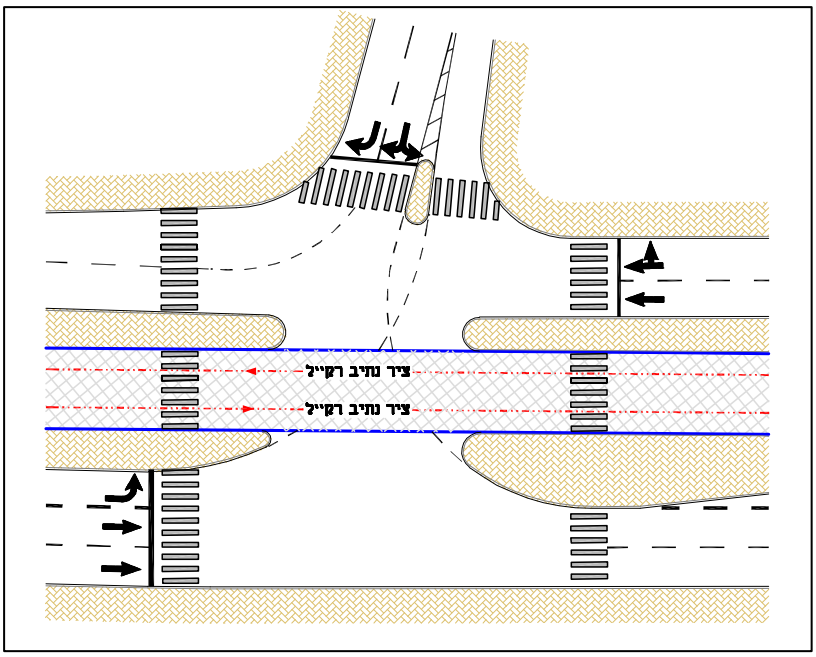
## 3.3 צורת המעבר

**הנחיה: מסלול ההליכה שבו הולכי הרגל חוצים את מסלול התצ"מ יהיה, ככל האפשר, בקו ישר הניצב למסלול התצ"מ.**
**במידה וחציית הרחוב כולו כוללת בנוסף גם חצייה של מסלול אחד או שניים שבהם נוסעים כלי רכב רגילים, יותקנו המעברים, ככל האפשר, ברצף מצידו האחד של הרחוב עד לצידו השני** (ר' תרשים ב-15).
**במידה ותכנון המעבר ברצף אינו מתאפשר מאילוצים גיאומטריים או אחרים, יותקנו המעברים בצורה מדורגת, ללא המשך ישיר בין חציית מסלול אחד לחציית המסלול הסמוך** (ר' תרשים ב-16). **במצב כזה, יש לשאוף ככל האפשר למצב בו הו"ר חוצה עם פניו לכיוון התנועה.**
**במקרה של תכנון מעבר מדורג יש להבטיח שרוחב המפרדה יענה על הצרכים ושיותקנו מעקות בקצות המיסעה, כדי למנוע מעבר הולכי רגל בקו ישר.**

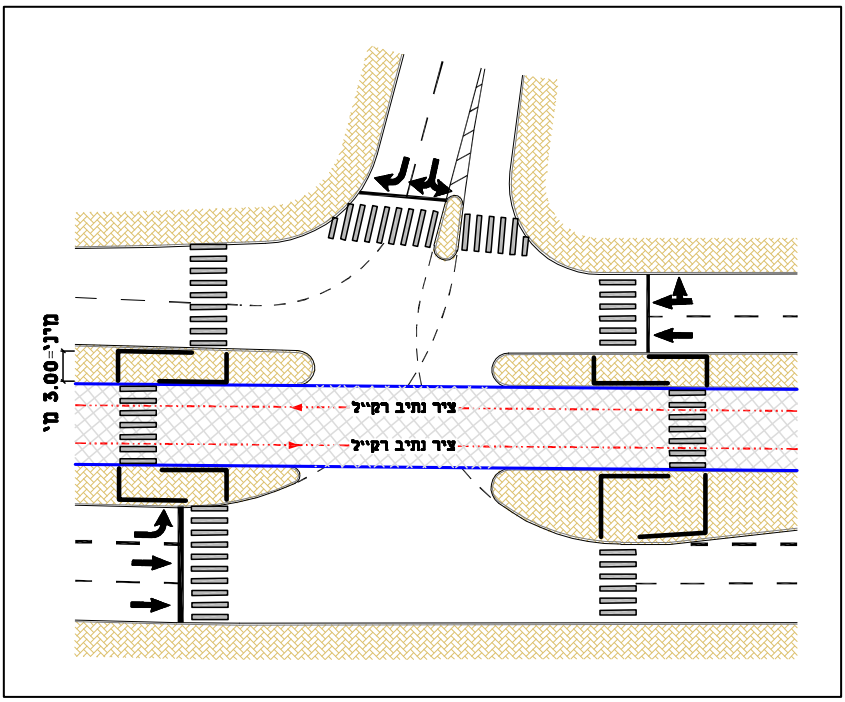
המעבר הישיר ברצף אחד הינו המעבר המועדף כי הוא מאפשר את המעבר המהיר של הולכי הרגל ובמסלול הטבעי הקצר. המעבר הישיר ברצף אחד הינו גם המעבר המומלץ בהנחיות לתכנון מעברי חצייה עתירי ביקוש*. תכנון הרמזור, במקרה זה, ייעשה ככל האפשר כך שמשך הירוק המיזערי להולכי הרגל יספיק לאלה שהחלו לחצות בראשית הירוק בצידו האחד של הרחוב, לחצות באותו מופע ירוק את מחצית המסלול הרחוק ביותר.
במקרים בהם המעבר הוא ברצף ומופע הירוק ברמזור אינו ניתן בו זמנית בכל המסלולים הנחצים, יש לתכנן את הפנסים בהתאם, כך שיהיה ברור למי נועדו האותות שלהם.
במקרה של התקנת מעבר מדורג יש לדאוג שרוחב המפרדה שבה אמורים לעבור הולכי הרגל בין כל אחד מהמעברים יהיה ברוחב מספיק בהתאם לכמות הולכי הרגל וזאת ע"פ ההנחיות לתכנון מעברי חצייה עתירי ביקוש*. בקצות המפרדות יש להתקין מעקות בטיחות או מתקנים שימנעו מהולכי הרגל לחצות שלא במעברים המדורגים. הרוחב המינימלי של רצועת ההליכה במפרדה - בניצב למעבר החצייה עתיר ביקוש יהיה 3 מ' נטו.

* הנחיות לתכנון מעברי חצייה עתירי ביקוש, משרד התחבורה וה.ת.ע , מאי 2006

## תרשים מס' ב-15 – מעבר חצייה ישיר




## תרשים מס' ב-16 – מעבר חצייה מדורג



## 3.4 מידות המעבר

**הנחייה: הרוחב המיזערי של המעבר יהיה 3.0 מ'. רוחב זה יהיה נקי ממכשולים כלשהם.**
**רוחב המעבר המירבי יהיה בהתאם לכמויות הולכי הרגל הצפויות לעבור באותו מעבר.**
**האורך המירבי הרצוי של מעבר בין אבני השפה הסמוכים של המדרכות ו/או המפרדות, לא יעלה על 12.0 מ'.**

רוחב המעבר המיזערי בחציית מסלול תצ"מ (3.0 מ') גדול במקצת מן הרוחב המיזערי ברחובות רגילים (2.0 מ') כאמור בהנחיות לתכנון מעברי חצייה*, וזאת בגלל כמויות הולכי הרגל הגבוהות יותר בצירים בהם עוברת תצ"מ וכדי לשפר את הראות והנראות שלהם.
הרוחב הנ"ל יהיה נקי ממכשולים. במידה ויש כאלה, כגון עמודי שנאים וכדומה, הרוחב המיזערי יגדל בהתאם.
רוחב המעבר המירבי יהיה בהתאם לכמויות הולכי הרגל הצפויות לעבור באותו מעבר כאמור בהנחיות לתכנון מעברי חצייה עתירי ביקוש**.
הגבלת האורך של מעבר יחיד נובעת משיקולי בטיחות, כדי לאפשר גם להולכי הרגל האיטיים יותר, לפנות את המעבר בזמן סביר.

## 3.5 שטח ההמתנה במדרכות ובמפרדות

**הנחייה: גודל השטח שבו הולכי הרגל ממתינים לאפשרות החצייה במדרכות ובמפרדות וכן רוחב המפרדה בין המעברים בחצייה מדורגת, יהיה בהתאם להנחיות לתכנון מעברי חצייה עתירי ביקוש**.**

בחישוב השטח הדרוש להמתנה ולהליכה בין המעברים המדורגים, צריך לקחת בחשבון את ההפרעות הנגרמות ממכשולים קיימים, כגון עמודים, מתקני תאורה ורמזורים, ולהגדיל את השטח המתוכנן בהתאם.
התייחסות מיוחדת צריכה להינתן בכל המקרים בהם קיימת תחנת תצ"מ סמוכה והמעברים משמשים כצירי גישה אל התחנה וממנה.

## 3.6 סימון המעבר

**הנחייה: חציית מסלול תצ"מ, נפרד או צמוד למסלול רכב כללי , יסומן כמעבר חצייה (ד- 11).**

* הנחיה לתכנון מעבר חצייה, משרד התחבורה, 1973
** הנחיות לתכנון מעברי חצייה עתירי ביקוש, משרד התחבורה וה.ת.ע., מאי 2006

## 3.7 מופע ירוק להולכי רגל בחציית מסלול תצ"מ

**הנחייה: משך הזמן הירוק לרכב התצ"מ יהיה קצר ככל האפשר, על מנת למזער את משך הזמן בו מופעל אדום להולכי רגל שלא לצורך ('אדום פיקטיבי').**

לדוגמא, כאשר מופע התצ"מ עומד להסתיים ויש מידע על רכב תצ"מ העתיד להגיע במרווח זמן גדול (המאפשר מתן ירוק להולך רגל החוצה את מסלול התצ"מ) יש להפסיק את מופע התצ"מ, לתת ירוק להולכי הרגל ולחזור ולתת את מופע התצ"מ.
מאידך גיסא, כשמדובר על הופעת תצ"מ בתדירות גבוהה (למשל, במת"צ) או במקרים מיוחדים אחרים. ניתן, על פי שיקול דעתו של המתכנן, להאריך את משך האות הירוק למופע התצ"מ.

**הנחייה: משך האות הירוק להולכי הרגל יאפשר, ככל הניתן, להולך הרגל הראשון לחצות את כל מסלולי הכביש והתצ"מ ממדרכה למדרכה בפעם אחת. זמני הפינוי, לעומת זאת, יאפשרו להולכי הרגל האחרונים להגיע רק עד המפלט הבנוי הקרוב, שיכול להיות מדרכה או אי תנועה.**

רחובות עם מסלול תצ"מ הם בדרך כלל רחבים במיוחד. על מנת למנוע מהולכי רגל את הצורך להמתין בכל אי תנועה בעת החצייה ממדרכה למדרכה, דבר העלול לגרור חצייה מסוכנת באדום, מומלץ להקצות להם זמן ירוק מספיק לחצייה של כל רוחב הרחוב. כך יוכלו הולכי הרגל הממתינים לירוק בצד אחד של הרחוב להשלים את חציית הרחוב במהלך יחיד. מאידך גיסא, זמני הפינוי יאפשרו את הפינוי של כל מסלול ולכן יהיו קצרים ויאפשרו ליעל את פעולת הרמזור. (ר' גם פרק ב' סעיף 2.4.2).

# פרק ב

# 4. תמרורים

# 4. תמרורים

## 4.1 כללי

צמתים מרומזרים בהם משולבת תצ"מ שונים בתפעולם מצמתים ללא תצ"מ, עקב העדיפות הניתנת לתחבורה הציבורית ואורכם של כלי רכב אלה. עדיפות זו יכולה לבא לידי ביטוי בשינויים תכופים בתפעול הרמזור כגון שינויים באורכי ירוק, שינויים בסדר המופעים וכדו'. בנוסף, קיימים בצמתים מרומזרים עם רכבת מקומית שיקולים בטיחותיים מיוחדים, היות וחומרת ההתנגשות של הולכי רגל או רכב פרטי עם רק"ל גבוהה עקב הבדלי המסה ביניהם והקושי של הרק"ל לעצור מיידית.

בסעיף זה מוצגים התמרורים להצבה בצמתים מרומזרים בהם משולבת הסעת המונים, המשמשים הן להתראה והן למידע עבור כל משתמשי הדרך: כלי רכב ציבוריים, כלי רכב פרטיים, מסחריים, רכב דו-גלגלי והולכי רגל.

## 4.2 תימרור וסימון

**הנחיה: א. בקו העצירה שלפני הצומת יוצב תמרור א- 26, בצרוף תמרור א- 44 מתחתיו, עליו יסומן זוג חצים לציון התנועה הדו-סיטרית של הרק"ל.**
**ב. בהתקרבות לצומת מרומזר בו עוברת רק"ל ניתן להציב תמרור אזהרה א- 26, בכל הגישות הנוגדות את מסלול הרק"ל. תמרור האזהרה יוצב במרחק 50-100 מ' לפני הצומת.**

**הנחיה: בציר הליכה החוצה מסלול תצ"מ יוצב תמרור המזהיר הולכי רגל מפני תנועת רכב תצ"מ דו-סטרית (תמרורי א-44; מס' 5 או 6 שבטבלה ב- 2 שלהלן).**

יש להתריע מפני חציית תצ"מ וכן על כי תנועת התצ"מ היא דו סטרית.

**הנחיה: בכניסות למסלול תצ"מ בצומת מרומזר יוצב תמרור ב – 35.**

יש להתריע בפני כלי הרכב על הכניסה למסלול תצ"מ וכן על כי תנועת התצ"מ היא דו-סטרית.

**הנחיה: א. קו עצירה (תמרור ד- 9) לתנועה הנוגדת מסלול רק"ל, יסומן במרחק של 4 מטר לפחות לפני המסילה.**

**ב. לא יסומן קו עצירה (תמרור ד – 9) עבור רכבת קלה.**

מקום העצירה של רק"ל הוא קו עמוד הרמזור, כפי שנקבע בסעיף פנסים לעיל.

**הנחיה: יש לסמן מעבר חציה (ד – 11) בחציות של מסלול רק"ל.**

גם במסלולים הבלעדיים לרק"ל יסומן מעבר חצייה להולכי רגל, במתכונתו הרגילה.

## 4.3 שינויים בלוח התמרורים

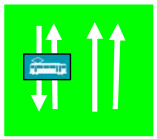
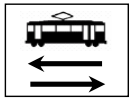
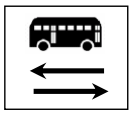
הופעתו של סוג רכב חדש (הרק"ל) יצר צורך בהתאמות בלוח התמרורים למציאות החדשה. להלן רשימת שינויים ועדכונים בלוח התמרורים ובהנחיות להתקנתם, הנובעים מיישום הנחיות אלה לשילוב התצ"מ ברמזורים:

1. הוספת תמרורים חדשים כמצוין בטבלה ב- 2 שלהלן.
2. הוספת פנסי רמזור חדשים כמצוין בטבלה ב- 2 (המשך) שלהלן.
3. שינוי ההנחיות לגבי תמרורי א-28 עד א-32, המחייבות הצבתם לפני כל מפגש של מסילת ברזל – דרך, כך שלא יחולו על מפגשי דרך – מסילת רק"ל.

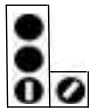
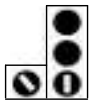
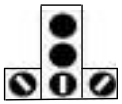
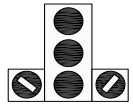
טבלה ב- 2 שלהלן מציגה את התמרורים (והפנסים) לשימוש בהקשר לתצ"מ. היא כוללת תאור כל תמרור, תפקידו והסבר על אופן הצבתו. כמו כן, מצוין בה באם מדובר בתמרור חדש בלוח התמרורים או בתמרור קיים.
טבלה ב- 2 שלהלן כוללת, כאמור, גם את פנסי הרמזור (שהפירוט לגביהם מופיע בפרק ב- 2 שבהנחיות אלה), בהיותם תמרורים לכל דבר ועניין, למעט המשולש הצהוב, המיועד לרק"ל בלבד, ולא יופיע בלוח התמרורים.

**טבלה ב- 2**

# תמרורים ליישום בצמתים מרומזרים עם מערכת הסעת המונים

| מס' סד' | מספרו בלוח התמרורים | תמרור | תאור | תפקיד | אופן הצבה | הערות |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ב - 35 |  | הנסיעה בכביש או בנתיב מותרת לרכבת קלה, לאוטובוס, למונית ולרכב המסיע לפחות את מספר הנוסעים לרבות הנהג הנקוב בתמרור. צוינו אחד או יותר מסוגי הרכב בתמרור, יחולו הוראות התמרור על פי המצוין בו. | הגבלת נסיעה לת"צ בלבד ולרכב עם 4 נוסעים ויותר. | התמרור יוצב בצד ימין, משני הצדדים בתחילת הנתיב/מסלול או מעל לנתיבים האמורים. | קיים בלוח התמרורים. ניתן לשימוש לכל אמצעי בנפרד או לשילוב אמצעי נסיעה. |
| 2 | א - 26 |  | הנך מתקרב למקום חציה של מסלול רכבת קלה | אזהרה לכלי רכב על התקרבות לצומת אותו חוצה רק"ל | התמרור יוצב מימין לדרך או משני צידי הדרך בקו העצירה, עם תמרור א-44 מתחתיו עליו מסומנים שני חיצים. | קיים בלוח התמרורים. ניתן להוסיף תמרור נוסף במרחק של 50 - 100 מטר לפני הצומת ללא התמרור א- 44 (חיצים). |
| 3 | ג - 34 |  | הקצאת הנתיבים בגישה לצומת היא על פי המתואר בתמרור. | תאור הקצאת נתיבים הכולל מסלול לתצ"מ. | בתחילת הקטע המתואר בתמרור. | תמרור קיים ממשפחת ג-34". המותאם לרק"ל. מטרתו להסביר את הקצאת הנתיבים במידה ויכולה להיות אי הבנה מצד הנהגים. במיוחד דרוש תמרור זה כאשר אין מפרדה בין מסלול התצ"מ וכלי הרכב האחרים. |
| 4 | א - 44 |  | מסלול רק"ל דו-סטרי לפניך | אזהרה להולכי הרגל על חציה של מסלול רק"ל | מצד ימין או שמאל, לפני החציה של מסלול רק"ל, על המדרכה או על המפרדה, בכיוון ההליכה, על עמוד רמזור להולך רגל או על עמוד נפרד. | |
| 5 | א - 44 |  | מסלול ת"צ (אוטובוס) דו-סטרי לפניך | אזהרה להולכי רגל על חציה של מסלול אוטובוס דו-סטרי. | מצד ימין או שמאל, לפני החציה של מת"צ לאוטובוסים, על המדרכה או על המפרדה, בכיוון ההליכה, על עמוד רמזור להולך רגל או על עמוד נפרד. | |

## טבלה ב- 2 (המשך)

| מס' סד' | מספרו בלוח התמרורים | תמרור | תאור | תפקיד | אופן הצבה | הערות |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | |  | התקדם - מותר לנסע ישר או ימינה. | הנחיה לנהג הרק"ל וכלי רכב אחרים במסלולו. | בצד הקרוב (לפני הצומת), מצד ימין. ניתן להציב משמאל במידה וקיימת בעיית ראות. | תמרור חדש. נועד למקרים בהם מותרת הנסיעה ישר או ימינה ללא ניגוד |
| 7 | |  | התקדם - מותר לנסע ישר או שמאלה | הנחיה לנהג הרק"ל וכלי רכב אחרים במסלולו. | בצד הקרוב (לפני הצומת), מצד ימין. ניתן להציב משמאל במידה וקיימת בעיית ראות. | תמרור חדש. נועד למקרים בהם מותרת הנסיעה ישר או שמאלה ללא ניגוד |
| 8 | |  | התקדם - מותר לנסע ישר, ימינה או שמאלה | הנחיה לנהג הרק"ל וכלי רכב אחרים במסלולו. | בצד הקרוב (לפני הצומת), מצד ימין. ניתן להציב משמאל במידה וקיימת בעיית ראות. | תמרור חדש. נועד למקרים בהם מותרת הנסיעה ישר, ימינה או שמאלה ללא ניגוד |
| 9 | |  | התקדם - מותר לנסוע ימינה או שמאלה | הנחיה לנהג הרק"ל וכלי רכב אחרים במסלולו. | בצד הקרוב (לפני הצומת), מצד ימין. ניתן להציב משמאל במידה וקיימת בעיית ראות. | תמרור חדש. נועד למקרים בהם מותרת הנסיעה ימינה או שמאלה, ללא ניגוד |
| 10 | משולש צהוב |  | אות מהבהב או אות קבוע במשך 4 שניות | כאשר האות מהבהב - להודיע לנהג הרק"ל שהמערכת קלטה אותו. כאשר האות קבוע - להודיע לנהג הרק"ל על כך שהירוק המיועד לו עומד להידלק. | ראש הרמזור יוצב כ-20-30 מ' לפני הצומת, אך לא פחות ממרחק השווה לשתי שניות נסיעה של הרק"ל. במידה וזה לא ניתן, לא יוצב פנס זה | התמרור מיועד לרק"ל בלבד ולא יופיע בלוח התמרורים. ר' פרק הרמזורים לפירוט תפעולו. |
| 11 | ד - 9 | | קו עצירה | מקום עצירת הרכב כשיש חובת עצירה | קו עצירה לתנועה הנוגדת מסלול רק"ל, יסומן במרחק של 4 מ' לפחות לפני המסילה. לא יסומן קו עצירה עבור רכבת קלה | תמרור קיים. |

# פרק ב

# 5. בטיחות

# 5. בטיחות

## 5.1 כללי

הפעלתם של אמצעי תצ"מ (תחבורה ציבורית מועדפת) ובעיקר רכבת מקומית ברחובות הערים, מעמידים את יתר משתמשי הדרך בפני סוג רכב מיוחד אשר מאפייניו העיקריים:

- מסה גדולה ומרחקי בלימה ארוכים;
- נסיעה במסלולים מיוחדים ונפרדים, בדרך כלל, מיתר משתמשי הדרך;
- מתן עדיפות באמצעות שינויים בסדר המופעים של הרמזורים.

בהתחשב במאפיינים הנ"ל, חומרתן של התאונות בהם מעורבים כלי רכב של תצ"מ בכלל והרכבת המקומית בפרט, צפויה להיות גבוהה. מסיבה זו הבטיחות הינה אחד הפרמטרים העיקריים אליו מתייחסות הנחיות אלה והיא שזורה ומוטמעת לאורך כל הפרקים המרכיבים אותן.

סעיף זה בא להשלים, ובמידת הצורך להבהיר ולהדגיש, את המרכיבים הבטיחותיים אותם יש לקחת בחשבון בעת תכנון שילובן של מערכות להסעת המונים ברמזורים.

## 5.2 מתן זכות קדימה

**הנחיה: הכיוון בו נעה רכבת קלה יוגדר תמיד ככיוון לו ניתנה זכות הקדימה בצומת. כאשר קיימת הצטלבות של שני מסלולי רק"ל בצומת, הכיוון בעל זכות הקדימה ייקבע במהלך התכנון.**

הסיבה העיקרית לזכות הקדימה של הרכבת הקלה היא נחיתות נתוני ההאטה שבגינם מרחקי הבלימה שלה ארוכים מאוד לעומת אלה של כלי הרכב האחרים. אמנם קיים בלם חרום, אך הפעלתו מסכנת את הנוסעים המצויים בקרון.

## 5.3 הבטחת שדה ראייה

ככלל, במקרה של רכבת קלה, קביעת מימדיהם של משולשי הראות תהיה בדומה ל"הנחיות לתכנון מפגשי מסילת ברזל" (משרד התחבורה, מרץ 2006).

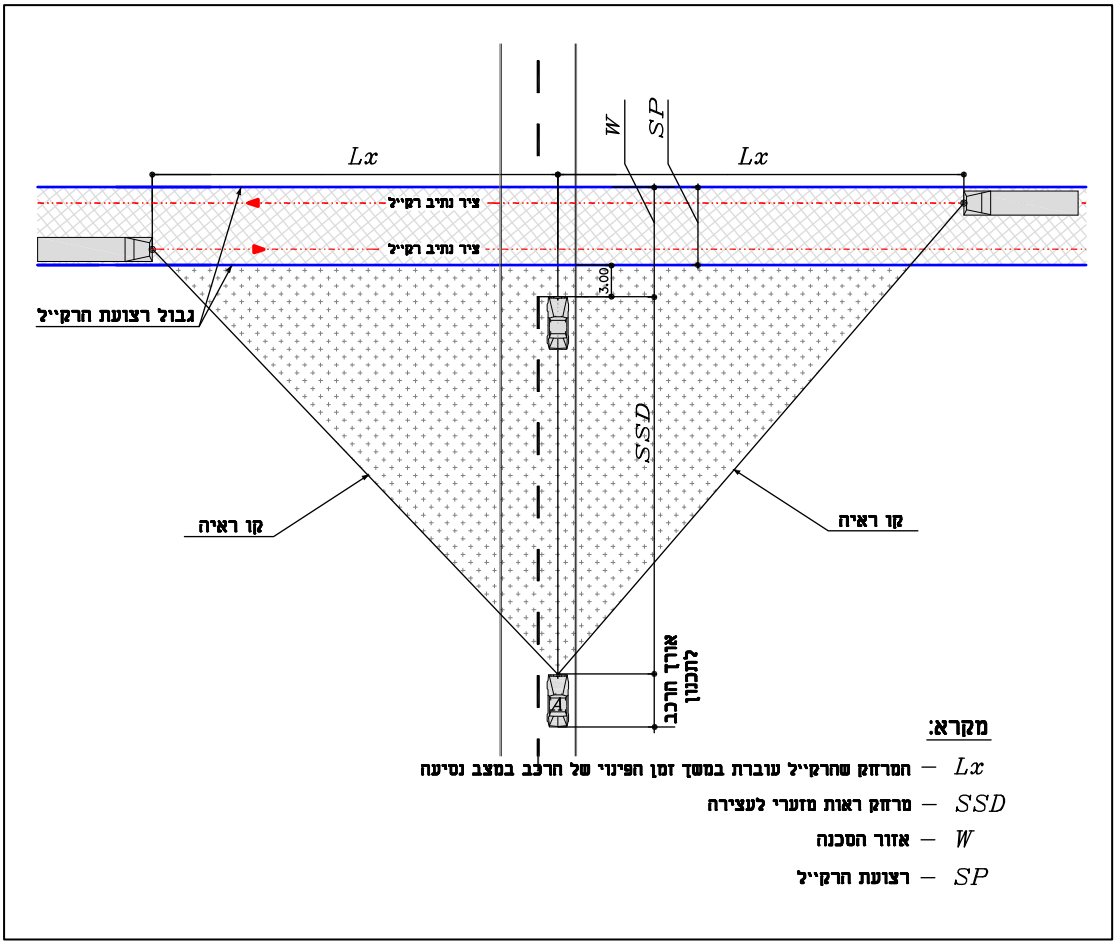
על פי ההנחיות הנ"ל, שדה הראייה המלא במפגש בין הרכבת לבין משתמשי הדרך האחרים מובטח כשמתקיימים משולשי ראות כמוגדר להלן:

- המשולש הגדול - המבוסס על מרחק העצירה של התנועה בדרך החוצה את המסילה.
- המשולש הקטן - המבוסס על מרחק הפינוי של רכב ארוך ואיטי ממצב עצירה.
- משולש הראות להולכי רגל - המבוסס על מרחק הפינוי של הולך רגל.

מטרתו של "המשולש הגדול" היא שנהג הרכב הנוסע בדרך יוכל להבחין ברכבת המתקרבת במרחק אשר יספיק לו לעצור באופן בטיחותי לפני המסילה - כמוצג בתרשים ב-17.

מטרתם של "המשולש הקטן" והמשולש להולכי רגל, היא שנהג הרכב שעצר בכביש לפני המסילה או הולך רגל שעומד לפניה, יוכלו להבחין ברכבת המתקרבת ולהספיק לפנותה לפני בואה של הרכבת - כמודגם בתרשימים ב-18 וב-19.

**<u>תרשים ב- 17 - משולש ראות גדול</u>**



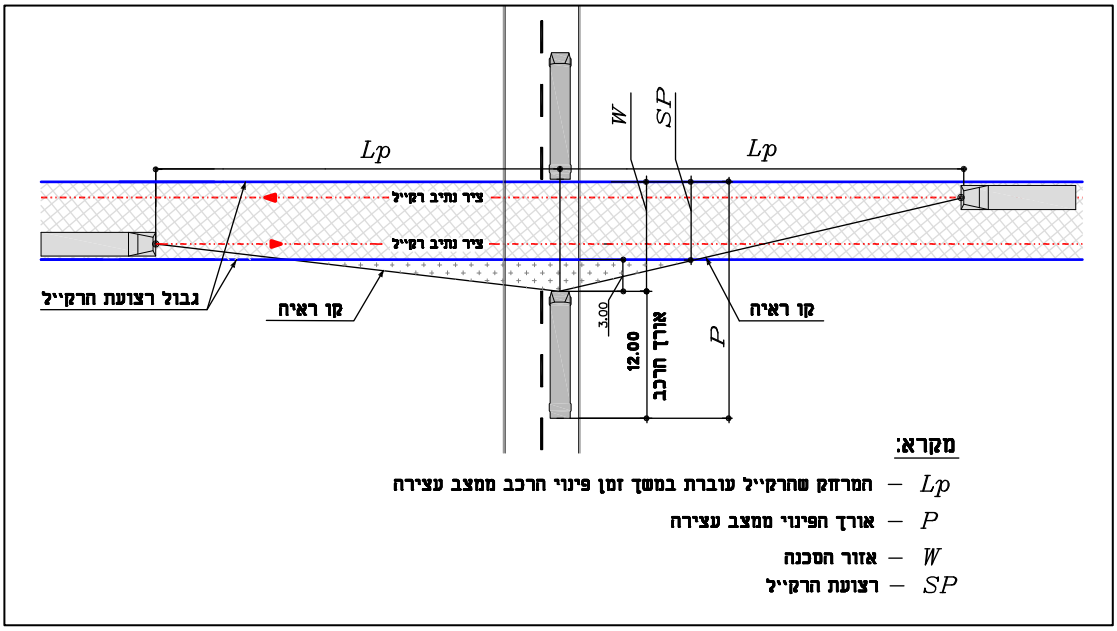

מאחר והרק"ל מיועדת לרוב לנסוע במרקם עירוני צפוף, סביר להניח שהמשולש הגדול לא יוכל להתקיים ולכן אינו הכרחי.

**הנחיה:** **בכל מפגש בין רכבת קלה לבין משתמשי הדרך האחרים יובטח שדה ראיה אשר יאפשר קיומו של משולש ראות קטן לכל אחד מהכיוונים כמודגם בתרשימים ב-18 וב-19.**

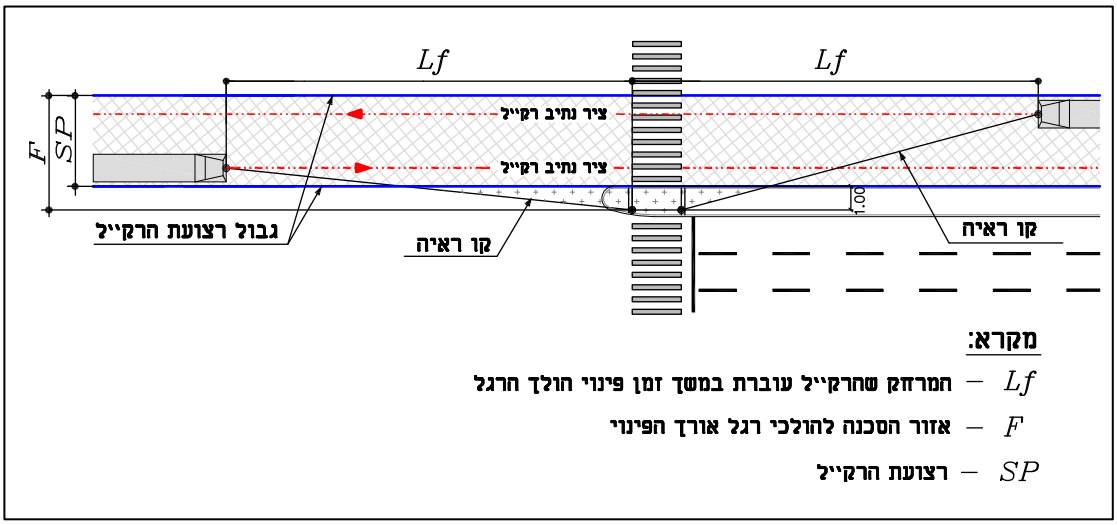
**הנחיה:** **מהירות הנסיעה המירבית של רכב תצ"מ תוגבל כך שתאפשר את קיומו של שדה ראייה כמפורט בהמשך ושל מרחקי הראות לבלימת שרות בהתאם למפורט בסעיף 5.4.**

**הנחיה:** **בדומה למוגדר בהנחיות לתכנון מפגשי מסילות ברזל, מישור משולש הראות יאפשר ראייה מגובה עיני הנהג, הולך הרגל או רוכב האופניים (0.6 עד 2.5 מ' מעל פני הדרך ) ויכסה את מירב מימד הגובה של הרכבת הקלה, (1.5 מ' עד מלוא גובה הקרון - בהעדר נתון זה, יילקח בחשבון גובה קרון 4.2 מ').**

**<u>תרשים ב- 18 - משולש ראות קטן</u>**



## תרשים ב- 19 - משולש ראות להולכי רגל




Tp - הזמן הנדרש לעבור את אזור הסכנה (שנ')

W - אורך אזור הסכנה (מ')

12 - אורך רכב התכנון -אוטובוס (מ')

a - תאוצה (מ/שנ'$^2$)

משולשי הראות מחושבים ב- 2 שלבים כמוסבר להלן:

### 5.3.1 חישוב זמן פינוי

זמן הפינוי מחושב על בסיס ההנחות הבאות:

- אורך הרכב = 12 מ' (אוטובוס)
- מהירות פינוי הצומת (ע"י אוטובוס ): 25 קמ"ש
- תאוצת הרכב: 0.8 מ'/שנ'$^2$ (תאוצה של אוטובוס)
- מהירות הולכי הרגל: 1.0מ'/שנ'
- זמן תגובה: 2.0 שניות

#### 5.3.1.1 מקרה: רכב ממצב עצירה - Tp

זמן הפינוי ממצב עצירה (**Tp**) כולל 3 מרכיבים:

$t_1$ = זמן התגובה טרם תחילת הנסיעה, 2 שניות.

$t_2$ = הזמן הנדרש להאצה עד למהירות של 25 קמ"ש.

$t_3$ = זמן לתנועה במהירות קבועה 25 קמ"ש.

אורך הפינוי (W+12) וזמן הפינוי ($t_2$) הנדרשים להאצה עד למהירות של 25 קמ"ש (כ- 7מ'/שנ') הם כדלקמן:

אורך הפינוי - (W + 12): $\frac{S^2}{2a} = \frac{(25/3.6)^2}{2\times 1.0} = 30$מ'

זמן הפינוי ($t_2$): $\left[\frac{2\times 30}{0.8}\right]^{1/2} = \left[\frac{2(W+12)}{a}\right]^{1/2} = 8.6$ שניות

W - אורך אזור הסכנה - מוגדר בין נקודה המרוחקת 3.0 מ' מרצועת הרק"ל ועד לקצה המרוחק שלה, ראה תרשים ב- 18 (מ')

12 - אורך רכב התכנון -אוטובוס (מ')

S - מהירות הרק"ל (קמ"ש)

a - תאוצה (מ/שנ$^2$)

אי לכך, הנוסחאות הבסיסיות לחישוב הזמן הנדרש יל מנת לעבור את אזור הסכנה ממצב עצירה יהיו:

א. <u>כשאזור הסכנה W ≥ 18 מ':</u>

$$(1)\quad Tp = t_1 + t_2 = 2.0 + \left[\frac{2(W+12)}{a}\right]^{1/2}$$

ב. <u>כשאזור הסכנה W < 18 מ':</u>

$$(2)\quad Tp = t_1 + t_2 + t_3 = 2.0 + 8.6 + \frac{W-18}{25/3.6}$$

### 5.3.1.2 <u>מקרה: הולך רגל - Tf</u>

זמן הפינוי של הולך רגל (**Tf**) מחושב על ידי חלוקת אורך אזור הסכנה להולך הרגל (F) במהירות ההליכה שלו, בתוספת 2 שניות זמן תגובה והחלטה. (F - מוגדר בין נקודה המרוחקת 1.0 מ' מרצועת הרק"ל ועד לקצה המרוחק שלה - ראה תרשים ב- 19).

בטבלאות ב- 3 וב-4 מוצגות תוצאות החישוב של זמני הפינוי לרכב ממצב עצירה ולהולך רגל בהתאמה.

**<u>טבלה ב-3</u>**

זמן פינוי Tp של רכב חוצה ממצב עצירה (שניות) לפי אורך אזור הסכנה לרכב W (מטר).

| **W מטר** | עד 7 | 13-8 | 20-14 | 27-21 |
|---|---|---|---|---|
| **Tp שניות** | 9 | 10 | 11 | 12 |

**טבלה ב- 4**

זמן פינוי של הולך רגל Tf (שניות) לפי אורך אזור הסכנה להולך רגל F (מטר)

| **F מטר** | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Tf שניות** | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |

### 5.3.2 חישוב המרחק שהרק"ל עוברת במשך זמן הפינוי

**טבלה ב-5**

המרחק שהרק"ל עוברת במשך זמן פינוי הרכב ממצב עצירה - **Lp**

או במשך זמן פינוי הולך הרגל - **Lf**, במטרים

| **Vt מהירות הרק"ל (קמ"ש)** | **Tp- זמן פינוי רכב ממצב עצירה או Tf- זמן פינוי של הולך רגל (שניות)** | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** | **19** |
| **10** | 23 | 25 | 28 | 31 | 34 | 37 | 39 | 42 | 45 | 48 | 50 | 53 |
| **20** | 45 | 50 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 | 100 | 105 |
| **30** | 70 | 75 | 85 | 95 | 100 | 110 | 120 | 125 | 135 | 145 | 150 | 160 |
| **40** | 90 | 100 | 115 | 125 | 135 | 145 | 155 | 170 | 180 | 190 | 200 | 215 |
| **50** | 115 | 125 | 140 | 155 | 170 | 180 | 195 | 210 | 225 | 240 | 250 | 265 |
| **60** | 135 | 150 | 170 | 185 | 200 | 220 | 235 | 250 | 270 | 285 | 300 | 320 |
| **70** | 160 | 175 | 195 | 215 | 235 | 255 | 275 | 295 | 315 | 330 | 350 | 370 |
| **80** | 180 | 200 | 225 | 245 | 270 | 290 | 315 | 335 | 355 | 380 | 400 | 425 |

הקטנת המהירות המירבית המותרת של הרק"ל מתחת לזו המותרת לכלל התנועה תיעשה באמצעות מערך התימרור התפעולי עד למינימום מוחלט של 15 קמ"ש.

**הנחייה: במידה ולא ניתן להבטיח את שדה הראייה הנדרש עבור מהירות נסיעה של 15 קמ"ש, יש למנוע את חציית מסלול או נתיב הרק"ל באמצעים פיזיים.**

**הנחייה: בכל גיליון הסדרי תנועה תצויין מהירות הרכבת הקלה בקטעים השונים. כמו כן, בכל צומת יוצגו משולשי הראות הקטן ולהולכי רגל.**

## 5.4 <u>השפעת השיפוע היורד על מרחקי הראות</u>

**הנחיה: תכנון הצומת חייב להבטיח שלנהג הרק"ל יהיה מרחק ראות לאורך התוואי, התואם את מרחק הבלימה שלו בתנאי שרות.**

התקן הישראלי (ת"י 5350) והתקן הגרמני, (BOStrab -1996) קובעים את ערכי התאוטה הממוצעת המינימלית המותרת ואת מרחקי הבלימה המכסימליים בתנאי שרות, בתלות במהירות בתחילת הבלימה בהתאם לנוסחה הבאה:

$$a = \frac{(S/3.6)^2}{2 \times L} \qquad (1)$$

a - תאוטה (מ/שנ²)
S - מהירות הרק"ל (קמ"ש)
L - מרחק הבלימה (מ')

לשיפוע יורד של התוואי השפעה על מרחק הבלימה ולכן, יש לתקן את הערכים הנ"ל המתאימים למצב של תנועה במישור אופקי.

בנוסף לשיפוע, השינוי בערך התאוטה הבסיסית תלוי ביחס בין משקל הרכב עם ובלי המשקל של החלקים המסתובבים (צירים, גלגלים וכד') והוא מקבל ביטוי בנוסחה הבאה:

$$\Delta a = \frac{\text{שיפוע} \times g \times M}{M + Mt} \qquad (2)$$

Δa - השינוי בתאוצה (מ/שנ²)
M - משקל הרכב הריק (ק"ג)
Mt - משקל החלקים המסתובבים (שווה ערך לכ- 10% ממשקל הרכב הריק, ק"ג)
g - תאוצת הכובד = 9.81 מ/שנ²

**הנחיה: תהליך העדכון של מרחק הבלימה בתלות בשיפוע יהיה כדלקמן:**

**א. חישוב "המרחק נטו לבלימה" במישור על ידי הפחתת מרחק הנסיעה של הרכב במשך זמן התגובה של הציוד.**

**ב. חישוב התאוטה האקוויוולנטית המאפשרת להשלים את הבלימה במרחק המתאים למהירות הנסיעה במסילה אופקית על פי נוסחה (1).**

**ג. חישוב ערך התאוטה המעודכנת על ידי הפחתת השינוי בתאוטה (נוסחה 2) מערך התאוטה האקוויוולנטית.**

**ד. עדכון "המרחק נטו לבלימה" הנדרש על פי התאוצה המעודכנת (נוסחה מס' 1).**

**ה. מרחק הבלימה הכולל בהתחשב בהשפעת השיפוע שווה ל"מרחק נטו לבלימה" המעודכן, בתוספת מרחק הנסיעה במהלך זמני התגובה של הציוד והנהג.**

<u>דוגמא:</u>

נתונים: מהירות התחלתית של הרק"ל = 50 קמ"ש
שיפוע יורד = 2%
זמן תגובה של הנהג = 1 שניה
זמן תגובה של הציוד = 0.7 שנ' (מרגע הפעלת הבלם ועד תחילת פעולת הבלימה)
תאוטה ממוצעת (ללא זמן תגובה של הנהג): 1.0 מ/שנ$^2$
העומס הנוסף הנובע ממשקל החלקים המסתובבים = 10% ממשקל הרכב הריק

חישוב: מרחק בלימה בתאוטה הממוצעת: 96.45 מ'
מרחק נטו לבלימה במישור: 86.73 מ'
תאוטה אקוויוולנטית: 1.112 מ/שנ$^2$
שיעור שינוי בתאוטה בעקבות השיפוע: 0.178 מ/שנ$^2$
תאוטה מעודכנת: 0.934 מ/שנ$^2$
מרחק נטו לבלימה מעודכן: 103.27 מ"ר
מרחק בלימה כולל בשיפוע 2% = 126.88 מ' (כולל זמן תגובה של הנהג)

בטבלה הבאה מוצגים מרחקי הבלימה בשירות בתלות בשיפוע, עבור מגוון מהירויות התחלתיות. החישוב נערך על בסיס ערכי התאוטה הממוצעת המינימלית המותרת כפי שמצויינים בת"י 5350*, המתאימים לתנועה במישור (שיפוע = 0%) ובהנחה שזמן התגובה של הציוד הוא 0.7 שניות והעומס הנוסף הנובע מן החלקים המסתובבים הוא 10% ממשקל הקרון.

* תקן ישראל ת"י 5350, בניה ותפעול מערכות רכבת קלה, אוגוסט 2002

**טבלה ב- 6**

**מרחקי בלימה בשרות בתלות בשיפוע היורד**

| מהירות (קמ"ש) | תאוטה במישור ($מ/שנ^2$) | מרחקי בלימה (מ') עבור השיפוע: | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0% | 1% | 2% | 3% | 4% | 5% | 6% | 7% | 8% | 9% | 10% |
| 20 | 0.772 | 20 | 22 | 24 | 26 | 30 | 34 | 40 | 50 | 67 | 103 | 238 |
| 30 | 0.868 | 40 | 43 | 47 | 52 | 58 | 67 | 78 | 94 | 121 | 168 | 285 |
| 40 | 0.950 | 65 | 70 | 76 | 84 | 93 | 105 | 121 | 144 | 177 | 231 | 338 |
| 50 | 1.026 | 94 | 101 | 110 | 120 | 132 | 148 | 168 | 195 | 234 | 292 | 392 |
| 60 | 1.060 | 131 | 141 | 153 | 167 | 184 | 205 | 233 | 269 | 320 | 396 | 522 |
| 70 | 1.068 | 177 | 191 | 207 | 226 | 250 | 279 | 318 | 368 | 440 | 547 | 726 |
| 80 | 1.074 | 230 | 248 | 269 | 295 | 326 | 366 | 416 | 484 | 579 | 724 | 967 |
| 90 | 1.078 | 290 | 313 | 340 | 373 | 413 | 463 | 528 | 616 | 739 | 926 | 1243 |
| 100 | 1.087 | 355 | 383 | 417 | 457 | 506 | 568 | 647 | 754 | 904 | 1131 | 1515 |

<u>הערה</u>: לצורך חישוב מרחק הבלימה הכולל יש להוסיף את מרחק הנסיעה של הרק"ל במשך זמן התגובה של הנהג.

## 5.5 <u>הבטחת פינוי הצומת</u>

ככלל, על נהג רכב תצ"מ לנהוג על פי קו הראייה, דהיינו עליו להתאים את מהירות הנסיעה לתנאי הראות ולמצב הדרך והתנועה בה.

בתפעול רגיל בצומת מרומזר, פינוי הצומת מובטח באמצעות הזמנים הבין ירוקים. כשמערכת תצ"מ מתבססת על נסיעה במסלול בלעדי, ניתן גם להשתמש במידע מגלאי ביטול המודיע למנגנון לסיים את המופע הירוק/סע המיועד לתצ"מ, והגדרה של משך הירוק המכסימלי המחושב להבטחת הפינוי של הצומת – ראה פרקים ד' ו-ה' הדנים באופן מתן העדפה לתצ"מ ושילוב גלאים המיועדים לכך.

**הנחיה: במקרים בהם התור המשתייר מהצומת הקרוב עלול לגלוש לעבר הצומת בו עובר רכב תצ"מ, יש לבחון התקנת גלאי תור אשר באמצעותו ניתן להפסיק את הזרמת התנועה לעבר הצומת הסמוך כשרכב תצ"מ מתקרב.**

להנחיות נוספות בעניין זה, ראה פרק ג'- חישוב זמני פינוי.

## 5.6 מעקות וגדרות קבועים

ההנחיות להצבת תמרורים מציינות שככלל "רצוי לצמצם השימוש במעקות בטיחות משום שהם גורמים להארכת מרחקי הליכה, צימצום שטח המדרכה ופגיעה אסתטית בחזות העיר על ידי יצירת מראה של מכלאות".
הדבר נכון גם במקרה של מערכות תצ"מ בהן נעשה מאמץ תכנוני להפכן ל""ידידותיות" לסביבה בכלל ולהולכי רגל בפרט.

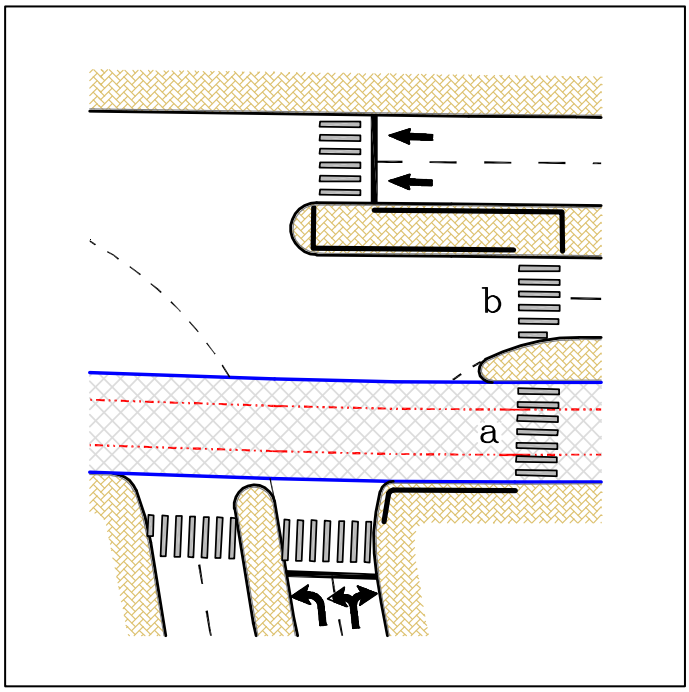
בהתחשב בנתוני ההאטה הנחותים של רכב תצ"מ, אי וודאות לגבי האות "סע/ירוק" אשר יידלק לכל המוקדם מספר שניות מועט לפני הגעת הרכב לצומת (ראה פרק ב2 - פנסי רמזור ופרק ד'- מתן העדפה) והמרחק הקצר יחסית בין הצמתים והתחנות, ממילא לא ניתן לפתח מהירויות נסיעה גבוהות.

ככלל, מעקות פוגעות בחזות העיר, ואם אין שיקול בטיחותי ממשי, מומלץ שלא להציב מעקות.

**הנחייה: מעקות בטיחות להולכי רגל יוצבו רק במקרים בהם יש צורך בטיחותי ו/או לכוונם אל מקומות חציה המחייבים סטייה מתוואי הליכתם הטבעי.**

דוגמא למצב כזה מתואר בתרשים ב- 20 בו, עקב אילוצי שטח, אין ברירה אלא להסדיר חציה מדורגת ויש צורך לכוון את הולכי הרגל לעבר מעברי חציה a ו- b על מנת למנוע חציה רצופה של מסלול הרכב והתצ"מ.

**תרשים ב- 20 - הכוונה הולכי רגל באמצעות מעקות בטיחות**

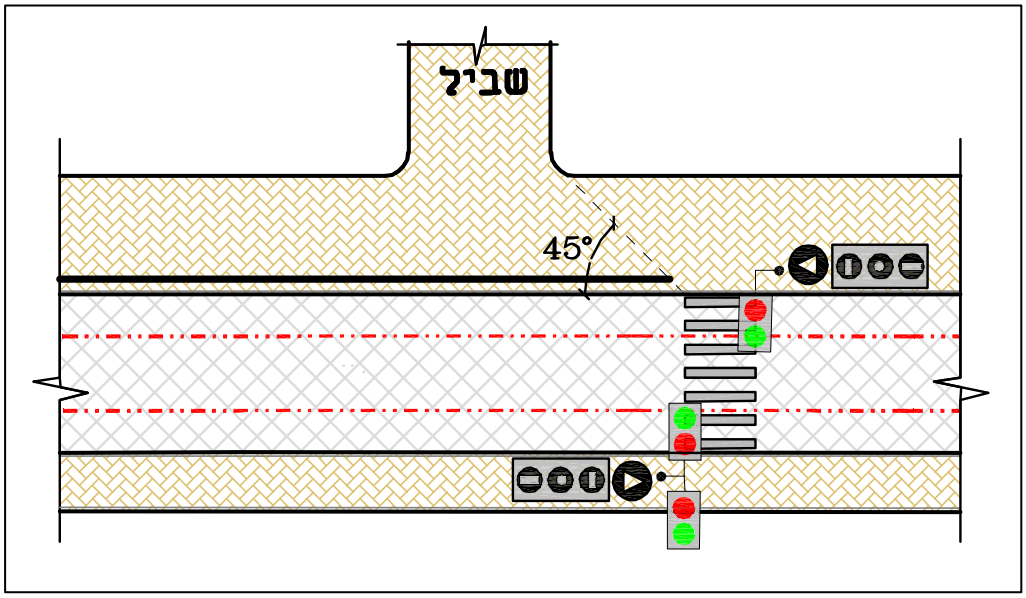


דוגמא נוספת מוצגת בתרשים ב-21 המתאר מצב בו קיים הצדק לרימזור מעבר חצייה שלא בצומת בהמשך לשביל הליכה, שביל אופניים או ליד ריכוז הולכי רגל היוצאים מתוך מקומות בילוי או מבני ציבור.

**הנחיה: המעקה יוצב בהתאם להנחיות להצבת תמרורים ולא יהווה חלק מרצועת ההליכה שלאורך המדרכה או המפרדה, כמוגדר ב"הנחיות לתכנון תנועת הולכי רגל"[*] או משטח ההצטברות של הולכי רגל כמוגדר ב"הנחיות למעברי חצייה עתירי ביקוש".[**]**

בכל מקרה, מיקום המעקה ביחס לרצועת רק"ל יהיה בהתאם להנחיות שבסעיף 5.8 - מרווחים מינימלים - שבהמשך.

**<u>תרשים ב- 21 - הכוונה הולכי רגל באמצעות מעקות בטיחות</u>**




[*] הנחיות לתכנון תנועת הולכי רגל, פרק 4 (טיוטה מינואר 2005, הוכן ע"י אילן מרכוס ושות' עבור משרד התחבורה)
[**] הנחיות לתכנון מעברי חציה עתירי ביקוש, משרד התחבורה ונת"ע, באמצעות PGL, מאי 2006

## 5.7 התקנת אמצעי עזר לכבדי ראייה

**הנחיה: בכל חציה מרומזרת של זרוע ובה מסלול או נתיב בלעדי לרכב תצ"מ יש לאפשר לכבדי ראיה לזהות את אותות הרמזור להולכי רגל בטכנולוגיה מתאימה.**

מערכת זו תהיה בנוסף לסימון באמצעות מרקם ייחודי של אזור החצייה בתחום המדרכה.

## 5.8 מרווחי בטיחות מינימליים

על מנת להבטיח מעבר בטוח של התחבורה הציבורית בצומת, יש לקבוע את המירווחים המינימליים בינה לבין יתר משתמשי הדרך והעצמים שבה.

לגבי האוטובוסים לסוגיהם, מירווחים אלה מובטחים באמצעות ההנחיות הקיימות* המתייחסות הן לרוחב הנתיבים הנדרש והן למרחקים הדרושים בין קצה המסעה לבין העצמים השונים שלצידה.

כלי רכב מונחים (Guided) הינם אמצעים המאופיינים על ידי תוואי נסיעה המוגדר באופן חד משמעי ולכן, רוחב הרצועה (המסלול) דרכה הם עוברים תהיה צרה יותר מזו הנדרשת עבור כלי רכב רגילים.

בהתחשב בסטיות הדינמיות ובמסה הגדולה של כלי הרכב הנ"ל, גם לגביהם יש להבטיח אזור בטיחות (Safety zone) המפריד בינם לבין העצמים השונים שבצידי הדרך ומשמש הגנה לאנשים שמחוץ לרכב.

בהתייחס לרכבת הקלה, מבחינים בין המעטפת הסטטית, המרחב הנקי ורצועת הרק"ל:

- המעטפת הסטטית היא גבול התזוזה המירבית של הרכב בעמידה;
- המרחב הנקי (Developed Kinematic Envelope - DKE) הינו גבול התזוזה המירבית האפשרית של הרכב בתנועה, בהתחשב בכל הסטיות הסטטיות והדינמיות האפשרויות שלו ושל המסילה, ובהרחבות כתוצאה מההיטל וההגבהה בעקומות.
- מרחב בטיחות - האזור ללא מכשולים מעבר למרחב הנקי.
- רצועת הרק"ל (Swept Path) הינו שטח המסעה המיועד לרכבת הקלה.

* הנחיות לתכנון רמזורים (משרד התחבורה 1981), הנחיות לתכנון רחובות בערים (משרדי התחבורה והבינוי והשיכון 1983 ו- 1989), הנחיות לתכנון תנועת הולכי רגל (טיוטא 2005)

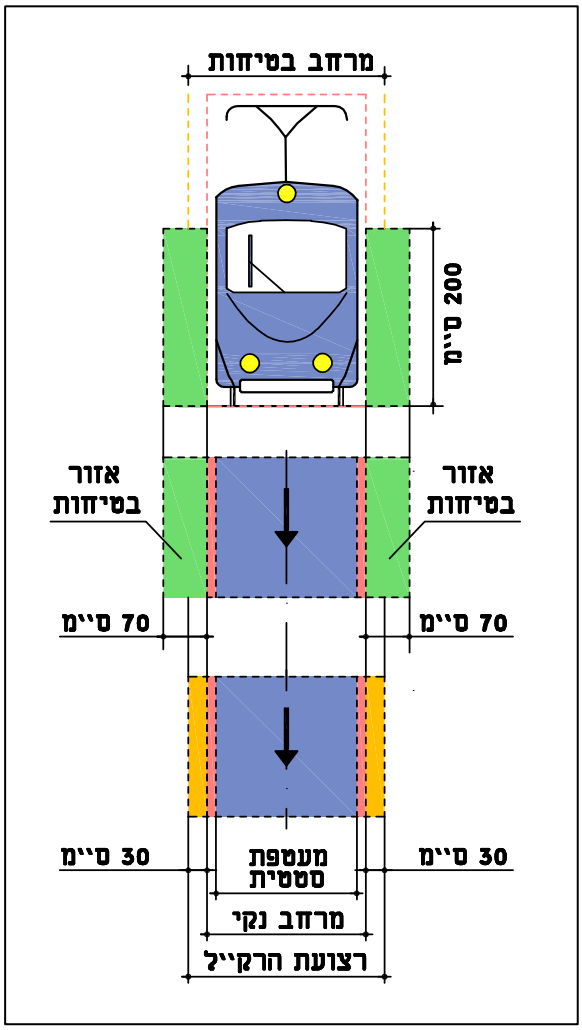
**הנחיה: אזור הבטיחות של הרכבת הקלה יהיה ברוחב 70 ס"מ לפחות ובגובה 200 ס"מ לפחות מעבר למרחב הנקי. יחד עם זאת, בין שתי מסילות סמוכות, מספיק שיהיה אזור בטיחות אחד בלבד.**

**הנחיה: מרחב הבטיחות של הרכבת הקלה יהיה 30 ס"מ מעבר למרחב הנקי.**

**הנחיה: רוחבה של רצועת הרק"ל יהיה 30 ס"מ מעבר למרחב הנקי, מכל צד, כדי להבטיח אי-פגיעה בהו"ר או כ"ר שברחוב, ותמיד יהיה מאופיין על ידי מרקם וצבע יחודיים.**

בהעדר נתונים ספציפיים, הערכים המומלצים לתכנון הם כדלקמן:
מעטפת סטטית - 2.65 מ'
המרחב הנקי - תוספת של 0.15 מ' מכל צד של המעטפת הסטטית.

**<u>תרשים ב-22: מרווחי בטיחות של הרכבת הקלה</u>**



### 5.8.1 <u>מרווחי בטיחות מינימליים</u>

לצורך קביעת מרווחי הבטיחות המינימליים מהרכבת הקלה מבחינים בין מכשולים יחידים לבין מכשולים רציפים.
מכשול נחשב ליחיד כל עוד אורכו (L) והמרחק בינו לבין המכשול הבא (l) הם כמפורט להלן:

- אורכו של המכשול הוא עד 10 מ' כאשר מהירות הרק"ל הינה 60 קמ"ש או פחות, ועד 6 מ' כאשר מהירות הרק"ל מעל 60 קמ"ש.
- כשמהירות הרק"ל היא 60 קמ"ש או פחות, היחס המינימלי הנדרש בין אורכו של הקטע ללא מכשול לבין אורך הקטע עם מכשול הוא 5:1, לפחות.
  לדוגמא: במקרה שאורך המכשולים הינו 10 מ', המרווחים ביניהם יהיו לפחות 2 מ'.

- כשמהירות הרק"ל היא מעל 60 קמ"ש, היחס המינימלי הנדרש בין אורכו של הקטע ללא מכשול יחיד לאורכו של הקטע עם מכשול הוא 3:1, לפחות.
  לדוגמא: במקרה שאורך המכשולים הינו 6 מ', המרווחים ביניהם יהיו לפחות 2 מ'.

- בכל מקרה, המרווח בין שני מכשולים יחידים עוקבים לא יקטן מ- 1.30 מ'.

**<u>טבלה ב- 7: התנאים להגדרת מכשול כמכשול יחיד</u>**

| | **מהירות הרק"ל** | |
|---|---|---|
| | **≥ 60 קמ"ש** | **< 60 קמ"ש** |
| **L >** | 10 מ' | 6 מ' |
| **l/L <** | 1/5 | 1/3 |
| **l min** | 1.30 מ' | |

**הנחיה: כל התקן או מבנה שאינו מתאים להגדרה של מכשול יחיד, הינו מכשול רציף ויש למקמו מעבר לאזור הבטיחות, כלומר 70 ס"מ מעבר למרחב הנקי.**

**הנחיה: ניתן לקטוע את רצף אזור הבטיחות לצורך הצבה של התקן המהווה מכשול יחיד, בתנאי שיהיה מרוחק 45 ס"מ לפחות מן המעטפת הסטטית.**

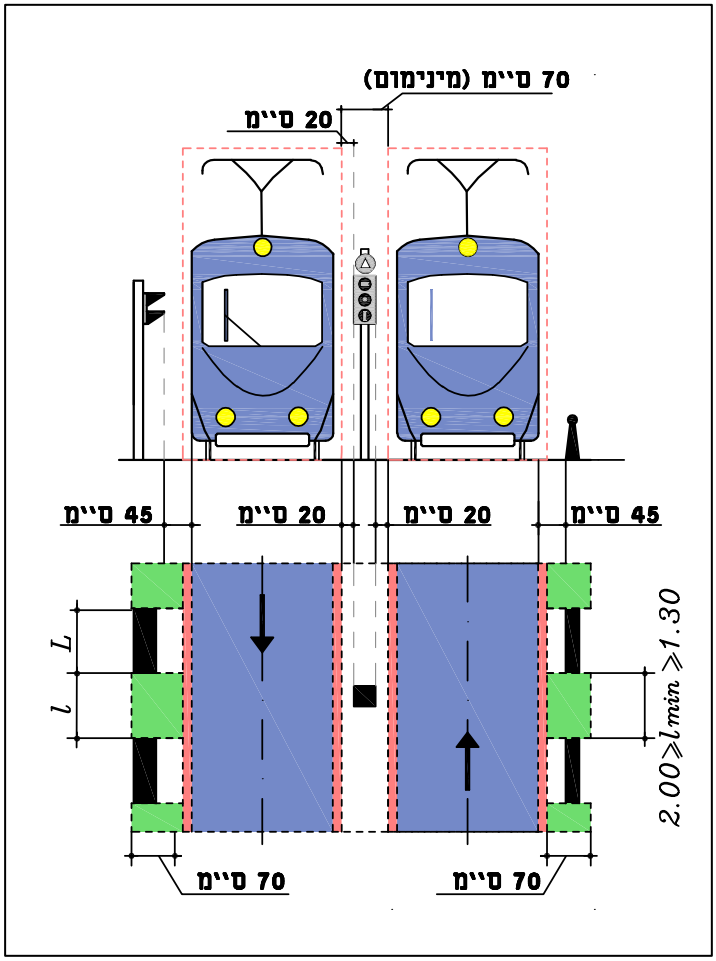
**הנחיה: מדרגות של עד 50 ס"מ מעל או מתחת למשטח עליו מונחת מסילת הרק"ל אינן נחשבות כמכשול ולכן, ניתן להציב אבני שפה מיד לאחר המרחב הנקי.**

**הנחיה: ניתן להציב עמוד במרווח שבין שתי רכבות קלות בתנאי שיהיה מרוחק 20 ס"מ לפחות מהמרחב הנקי.**

**הנחיה: כשהמסילה צמודה למסעה, ניתן להתייחס לאזור המסעה כאל אזור בטיחות.**

**הנחיה: באזור תחנות ניתן להתייחס לרציף כאל אזור בטיחות, בתנאי שגובהו אינו עולה על 50 ס"מ מעל מפלס מסילת הרק"ל.**

**<u>תרשים ב- 23: מרווחי בטיחות מינימלים בין רכבת קלה להתקנים שונים בדרך</u>**



## 5.9 כניסה לחצרים

**הנחיה: ההסדרים הגאומטרים בכניסות לחצרים יתוכננו כך שיובטח שדה הראייה הנדרש ותתאפשר המתנה של הרכב בכניסה וביציאה ללא עמידה על רצועת התצ"מ.**

**הנחיה: בקרת הכניסה לחצרים תוך חציית מסלול רק"ל תהיה באמצעות מחסום רכבת אשר יוצב על מפרדה שרוחבה המינימאלי 2 מ'.**
**המחסום, אשר יהיה חלק מהמערך התפעולי של הרק"ל, יהיה פתוח כל הזמן, וייסגר על פי דרישה כאשר מתקרבת רק"ל, לפי המתכונת של מחסום הרכבת.**

התקנת המחסום תכלול את התמרורים ה- 11 (אדום מהבהב) וא- 26 עם תמרור א- 44 מתחתיו עליו מסומנים שני חיצים, גלאים לרכב רגיל ורק"ל, אך לא תכלול את סדרת התמרורים א- 28 עד א- 32 והפעמון כמפורט בפרק ב', סעיף 1.8.3.

הזווית הרצויה ביותר עבור המפגש היא °90 יחד עם זאת, ניתן לאפשר סטיות קלות מזווית זו.

**הנחיה: ניתן לאפשר גישה לא מבוקרת לחצרים כשמתקיימים התנאים הבאים:**

- **זווית הגישה של הרכב הוא בין °70 ל- °110,**
- **קיים שדה ראיה המתאים למהירות הרק"ל,**
- **רוחב המפרדה הוא לפחות 5 מ' ורוחב המדרכה הוא 4 מ' לפחות.**
- **השיפוע לאורך תוואי הרמ"ק קטן מ- 7%.**

**הנחיה: תכנון פנים החצר יבטיח יציאה ממנו בהילוך קדמי. אם בחניון יש מחסום פנימי, הוא יוצב כך שיתאפשר מרחק ההמתנה המינימלי של 4 מ' בינו לבין מסלול התצ"מ.**

כדי לאפשר מצב של עדיפות מלאה לרק"ל, לא נדרש מרווח זמן בין סיום תהליך הרמת המחסום לבין תחילת תהליך סגירת המחסום לקראת מעבר הרק"ל הבאה, וזאת כדי למנוע את הצורך שהרק"ל תצטרך לעצור לפני הכניסה לחצרים ולהמתין עד שתתאפשר סגירת המחסום הבאה.

### 5.9.1 תפעול המחסום

המיקום הרצוי למחסום יהיה 4.0 מ' מפס המסילה הקרוב (ראה תרשים ב- 24). אולם, בהתאם לתנאים ואילוצים גיאומטריים בשטח, ניתן למקם המחסום גם במרחקים שונים מהמצוין לעיל עד לגבול רצועת הרק"ל.

המחסום ייסגר בזמנים בהם הרק"ל עוברת בכניסה לחצרים, בתוספת זמן שייקבע משיקולי בטיחות וצרכי תפעול.

שלבי סגירת המחסום ופתיחתו ומשכם יהיו כדלקמן:

1. הפנסים האדומים יתחילו להבהב עם התקרבות הרק"ל לכניסה לחצרים.
ההבהוב יחל T1 שניות לפני תחילת הירידה של זרוע המחסום.
משכו של T1 יאפשר לרכב התכן לעבור את המרחק שבין קו המחסום ועד לקצה הרחוק של רצועת הרק"ל ממצב עצירה.
משך זה יכלול:
* זמן התגובה של נהג הרכב הרגיל, 1.0 שנ'.
* משך הזמן הנדרש להאצה עד למהירות של 25 קמ"ש.
* זמן לתנועה במהירות קבועה של 25 קמ"ש - חישוב זה דומה לנעשה עבור הבטחת קיומו של משולש הראות הקטן (ראה פרק ב', סעיף 5.3).
2. זרוע המחסום תרד תוך T2 שניות (2-5 שניות בהתאם לסוג המחסום).
3. יינתן פער זמן T3 בין השלמת תהליך סגירת המחסום לבין כניסת הרק"ל לתחום הניגוד. פער זמן זה של 3 שניות דרוש משיקולי בטיחות.
4. זמן מעבר הרק"ל באזור הניגוד, T4, יימשך עד שהיא מפנה אותו כליל.
5. T5 הוא הזמן הנדרש לזרוע המחסום להתרומם ואז גם ייפסק ההבהוב האדום.
המחסום יתחיל להתרומם עם קבלת אות מגלאי הביטול שהרק"ל פינתה את אזור הניגוד.

תאור גרפי של זמני המחסום, ראה בתרשים ב- 8 לעיל.

הערה: נהג הרק"ל יידע על תקינות המחסום ועל הפעלתו כנדרש, באמצעות מערכת הבקרה של הרק"ל. במקרה של תקלה בפעולת המחסום הוא יפחית את המהירות בהתאם לנדרש.

**<u>חישוב לדוגמא</u>**

חישוב לדוגמא של משך תהליך סגירת מחסום מרגע תחילת ההבהוב ועד להפסקתו:

| | |
|---|---|
| T1 כולל: | |
| - זמן תגובה | 1 שנ' |
| - זמן מעבר תחום הפינוי: בהנחה שהמרחק בין קו המחסום לבין קצה רצועת הרק"ל הוא 11 מ', אורכו של רכב התכנון 5 מ' והתאוצה 1.0 מ'/שנ$^2$ | 6 שנ' |
| T2 הזמן שבו יורדת זרוע המחסום | 4 שנ' |
| T3 פער זמן לביטחון בין סגירת המחסום למעבר הרכבת | 3 שנ' |
| T4 זמן מעבר הרכבת (אורך 70 מ') את אזור הניגוד (10 מ') במהירות 10 מ/שנ' | 8 שנ' |
| T5 הזמן שבו עולה זרוע המחסום | <u>4</u> שנ' |
| **סה"כ** | **26 שנ'** |

* הערה: זמן מעבר הרק"ל ייקבע בפועל בהתאם למידע מגלאי הביטול.

## 5.10 בקרת צמתים כשהשיפוע לאורך תוואי הרק"ל 7% או יותר

**הנחיה: יש להימנע מהסדרת צמתים ו/או כניסות לחניונים וחצרים בקטעים בעלי שיפוע אורכי של 7% או יותר.**

הסיבה לכך נעוצה בנתוני הבלימה הנחותים של הרכבת המקומית, שבגינן מערך התפעול שלה מגביל את המהירות המירבית בכיוון הירידה בקטעים אלה ל-30 קמ"ש ואוסר על הימצאותו של יותר מרכב אחד בקטע.

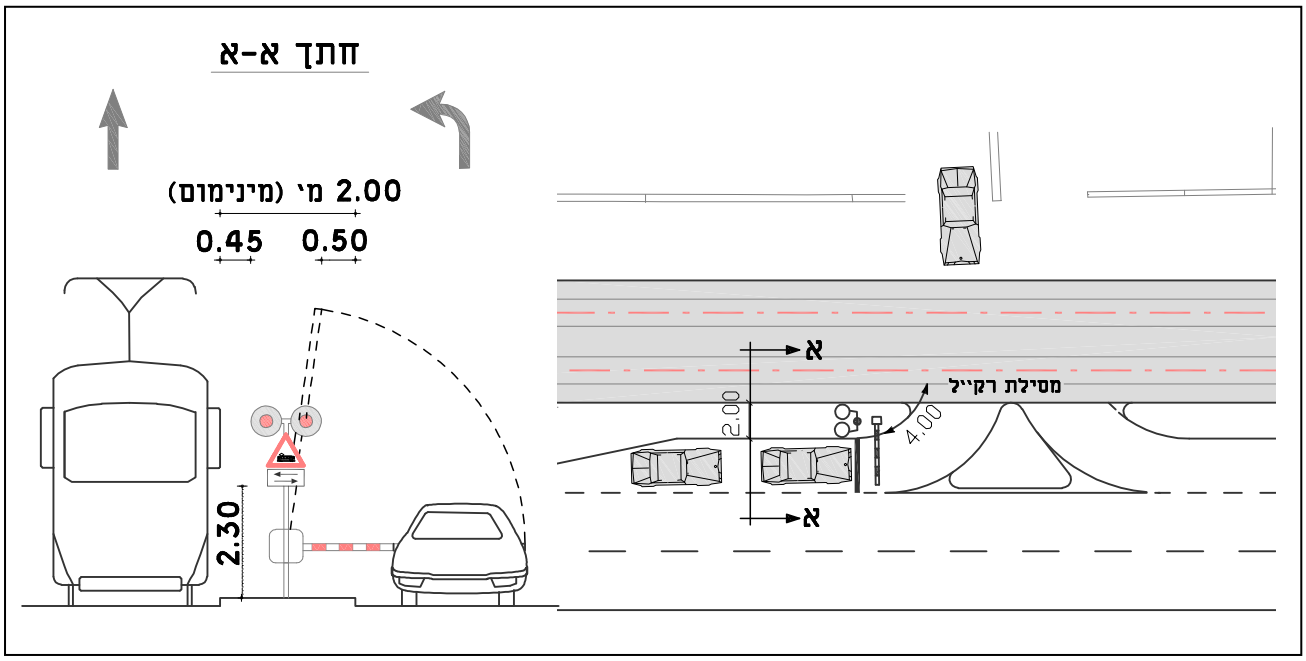
**הנחיה: צמתים, גישות לחניונים וכניסות לחצרים הנמצאים בקטע בעל שיפוע של 7% או יותר יהיו מבוקרים באמצעות מחסום רכבת אשר יהיה סגור כל הזמן וייפתח על פי דרישה, בתנאי שאין רק"ל במסלול. מידות המינימום אשר יאפשרו הצבת מחסום הן מפרדה ברוחב 2 מ' ונתיב המתנה ברוחב 3 מ'. המחסום יהיה חלק מהמערך התפעולי של הרכבת המקומית.**

המחסום יכלול את התקנתם של תמרורים ה- 11 וא- 26 עם תמרור א- 44 מתחתיו עליו מסומנים 2 חיצים, אך לא יכלול את תמרורי א- 28 עד א- 32 והפעמון. זמני המחסום יהיו כמפורט בפרק ב', סעיף 1.8.3 במקרה של צומת או סעיף 5.9.1 במקרה של כניסה לחצר.

**הנחיה: תכנון הזמנים בצומת הנמצא בקטע בעל שיפוע של 7% או יותר יבטיח עדיפות לרכבת הקלה על פני יתר משתמשי הדרך.**

**הנחיה: יש להציב רמזור מוקדם לפני תחילת קטע בעל השיפוע של 7% או יותר אשר תפקידו למנוע את כניסת הרק"ל אליו כל עוד מצוייה רק"ל אחרת באותו קטע, באותו כיוון. (רמזור זה יהיה חלק מהמערך התפעולי של הרכבת המקומית).**

**תרשים ב-24: דוגמא לבקרת כניסה לחצר באמצעות מחסום רכבת**




## 5.11 הגדרת שטח נקי ממכשולים קשיחים ליד הצומת

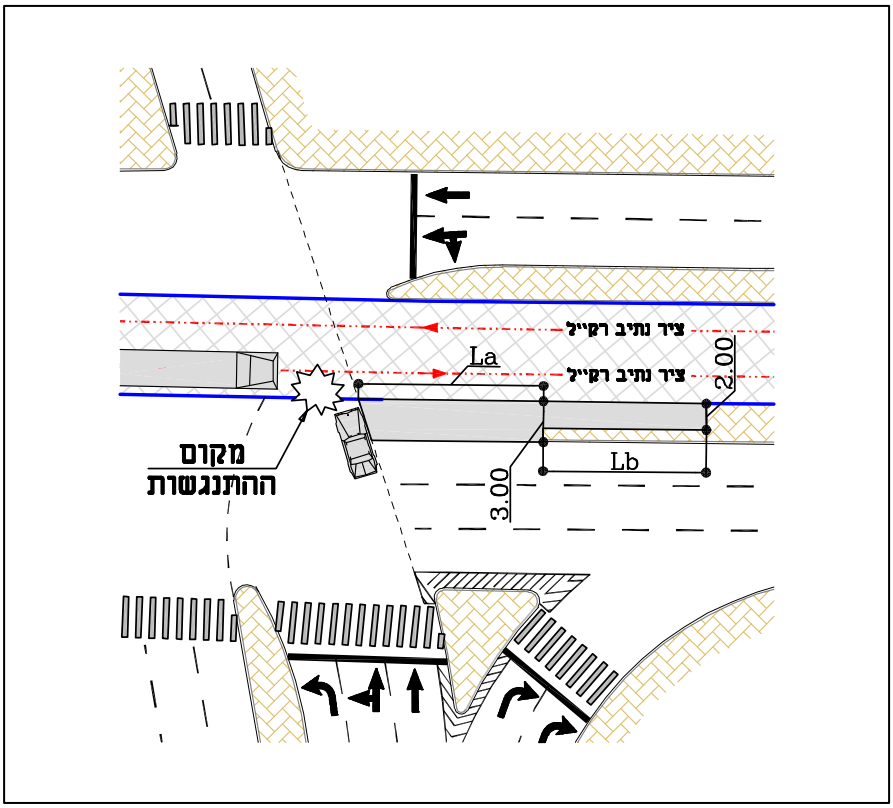
הימצאות מכשולים קשיחים בתחום הצומת ובסמוך אליו עלולה להחמיר את התוצאות של התנגשות בין רכב לבין רק"ל.

הגדרת מכשול קשיח

מכשול קשיח הינו מבנה קבוע, הבולט מעל פני הקרקע ורתום אליה ואשר במקרה של התנגשות, תיגרם לו דפורמציה קלה בלבד (לדוגמא: קווי חשמולת, עצים גדולים, קירות וכד'). עמודי תמרורים ועמודי רמזור "פשוטים" (ללא יסוד) לא ייחשבו כמכשולים קשיחים.

**הנחיה: אין להציב מכשולים קשיחים בתחום המוגדר בתרשים ב-25, בהתייחס למקום התנגשות פוטנציאלי עם רק"ל.**

**תרשים ב-25: שטח נקי ממכשולים אחרי הצומת**




המרחק Lb+La הוא המרחק הנדרש עד לעצירה המוחלטת של הרק"ל והוא נמדד מנקודת המפגש בין המשך קו אבן שפה של הרחוב החוצה לבין הקו המגדיר את רצועת הרק"ל.

המרחק La+Lb מחושב על פי הנוסחה הבאה:

$$La + Lb = \frac{S^2}{2 \times a} + S \times tr - 2$$

La -המרחק הנדרש על מנת שהרק"ל תאיט את מהירותה ל- 30 קמ"ש.

Lb -המרחק הנדרש על מנת שהרק"ל תאיט את מהירותה מ- 30 קמ"ש עד לעצירה מוחלטת.

S- מהירות הרק"ל במ'/שנ'

a- תאוטת הרק"ל, 3 מ'/שנ'$^2$

tr - זמן התגובה של הנהג - 1 שנ' - מתרחש לאחר הפגיעה ברכב (דהינו עבור מצב שבו הרכב "התפרץ" לתוך מסלול הרק"ל)

2מ'- מיקום נקודת המפגש ביחס להמשך קו אבן השפה של הרחוב החוצה.

מידות הרוחב (2 ו-3 מ') נמדדות מקו רצועת הרק"ל.

זמן התגובה של הציוד הוא זניח מאחר וחציית הצומת על ידי הרק"ל מתבצעת ב"חצי בלימה".

בטבלה ב- 6 נתונים ערכם של הפרמטרים a ו- b בתלות במהירות ההתקרבות של הרכבת, שהיא המהירות המרבית המותרת בקטע הנדון:

**<u>טבלה ב- 8</u>**

**הגדרת אורך הקטע הנקי ממכשולים בתלות במהירות הרק"ל**

| מהירות הרק"ל (קמ"ש) | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| La (מטרים) | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 11 | 17 | 24 | 32 |
| Lb (מטרים) | 2 | 5 | 9 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |

כששיפוע של מסלול הרק"ל בכיוון הנסיעה יורד או עולה, יש להגדיל או להקטין, בהתאמה, את ערכי La ו- Lb המצוינים בטבלה במקדם השווה פי 3 מערך השיפוע באחוזים.(לדוגמא: הגדלה של 9% כשהשיפוע היורד הוא 3%, 15% כשהשיפוע 5%).

# פרק ג

# זמנים בין ירוקים

# כללים מנחים לשילוב מערכות הסעת המונים ברמזורים

# פרק ג': זמנים בין ירוקים

## 1.1 כללי

הזמן הבין-ירוק הוא הזמן המינימלי הדרוש בין סיום מופע הירוק לתנועה אחת לבין ראשית הירוק של תנועה נוגדת המקבלת ירוק מיד לאחר מכן. התנועה יכולה להיות של: רכב (קל או כבד), הולכי רגל , אופניים, רכבת קלה (רק"ל) ואוטובוסים מסוגים שונים שאמורים לעבור בצומת בהתאם למשטר התנועה שנקבע ע"י הרמזור.

זמן זה מחושב לכל אחד מצירופי האפשרויות של תנועות היוצרות ניגודים בצומת.

משך הזמן הבין-ירוק (T) מתקבל ע"י חישוב זמן הפינוי של התנועה (רכב, הולכי רגל, רכבת מקומית וכו') העוברת בסיום המופע הירוק בכיוונו ($T_2$), וממנו מפחיתים את זמן הכניסה של התנועה הנכנסת לצומת בראשית המופע הירוק העוקב ($T_3$):

$$T = T_2 - T_3$$

משך הזמנים הללו נמדד מנקודת ההחלטה או מקו התחלת הנסיעה/ההליכה ועד לנקודה הקריטית באזור הניגוד. הנקודה הקריטית היא הנקודה באזור הניגוד שלגביה מתקבל, עבור כל זוג תנועות, זמן בין-ירוק הגבוה ביותר.

בפרק 6.4 של ההנחיות לתכנון רמזורים של משהת"ח*, מוגדרים הערכים והנוסחאות שיש להשתמש בהם לחישוב הזמנים הבין ירוקים, בין אם אלו צרופים של רכב עם רכב או רכב עם ה"ר.

במהלך הזמן מאז הכנת ההנחיות ההן, ובמיוחד בשנים האחרונות, מתחילת השימוש בתוכנת "ענבר" לתכנון רמזורים, שונו או נוספו מספר כללים לחישוב הזמנים הבין ירוקים בהם, בין השאר:

- התייחסות לרכב מהיר המפנה את הצומת,
- התייחסות לתאוצה של רכב מפנה (במהירויות שמעל 80 קמ"ש)
- הגדרת מהירויות נסיעה בכניסה וביציאה מהצומת בתחום של 50-100 קמ"ש ו- 25-35 קמ"ש בהתאמה,
- התייחסות לאורך הרכב (באורך מירבי הגדול מ- 12 מ').
- הגדרת מהירויות חצייה שונות של הולך רגל.

להלן מפורטים הפרמטרים השונים הנדרשים לחישוב זמני הפינוי ($T_2$) או זמני הכניסה בראשית הירוק ($T_3$) ואופן החישוב של ערכים אלה, באותם מקרים בהם הרכב המפנה בסוף הירוק או הרכב הנכנס בראשית הירוק היא רק"ל (רכבת קלה).

חישוב זה שונה מחישוב הערכים הללו לרכב רגיל, היות ומידות הרק"ל, ביצועיה ותדירות הופעתה שונים מאלו של כלי הרכב הרגילים העוברים בצומת.

* הנחיות לתכנון רמזורים, משרד התחבורה, 1981

## 1.2 <u>מהירות הנסיעה</u>

**הנחייה: מהירויות הנסיעה לחישוב הזמנים הבין ירוקים בצמתים בהם עוברים רק"ל ו/או אוטובוס מערכתי (אום"ר), יהיו כמפורט להלן:**

**1.2.1 לגבי הרק"ל הנכנסת לצומת בראשית הירוק ( לחישוב זמן כניסה $T_3$ ):**

- **כאשר ידועה מהירות הנסיעה המירבית המותרת שבה הרק"ל תעבור בצומת - התכנון ייעשה לפי מהירות זו.**
- **כאשר לא ידועה מהירות זו (למשל בשלב התכנון המוקדם), המהירות בכניסה לצומת תיקבע על בסיס הערכות או אומדנים לגבי מהירות הנסיעה הצפויה.**

יש לשים לב להקטנת מהירות הרכב הציבורי הנוסע ברדיוס אופקי קטן בתחום הצומת, לשם נוחיות הנוסע העומד ברכב הציבורי.

**1.2.2. לגבי רק"ל המפנה צומת בסוף הירוק (לחישוב זמן פינוי $T_2$ ) – החישובים צריכים להעשות לשני המצבים המפורטים להלן:**

**<u>במצב הראשון</u>, בו הרק"ל מגיעה לצומת ועוברת אותו ללא האטה או עצירה בגישה, יחושב זמן פינוי $T_2$ לפי שתי מהירויות:**

**1. המהירות המירבית המותרת.**

**2. מחצית המהירות המירבית המותרת, אך לא פחות מ- 25 קמ"ש או מהמהירות התפעולית המירבית כשזו קטנה מ- 25 קמ"ש.**

**זמן הפינוי הקובע עבור מצב זה יהיה הערך הגבוה יותר מבין שתיהן.**

**<u>במצב השני</u>, בו הרק"ל מתחילה להיכנס לצומת ממצב עמידה (לאחר שהות בתחנה או שהיא נעצרה בגישה לצומת כי לא היה לה ירוק) יחושב זמן פינוי ($T_2$) לפי תנועה בתאוצה עד למהירות המירבית המותרת, ובקטע הפינוי הנותר במהירות קבועה השווה למהירות המירבית המותרת.**

**זמן הפינוי $T_2$ שייבחר לצורך חישוב הזמן הבין-ירוק, יהיה הערך המרבי מבין שני המצבים.**

**1.2.3. מהירויות אוטובוס מערכתי (אום"ר) -**

**מהירויות אוטובוס מערכתי לצורך חישוב זמני פינוי, יהיו המהירויות הנהוגות לגבי רכב רגיל** (ר' סעיף 1.2.4 להלן).

**1.2.4. מהירויות רכב רגיל -**

**מהירויות הנסיעה של רכב רגיל, למטרות חישוב זמנים בין ירוקים, יהיו כאמור בהנחיות לתכנון רמזורים.***

**1.2.5. מהירות הולכי רגל -**

**לשם חישוב זמנים בין ירוקים תיקבע מהירות ההליכה של הולכי רגל בעת חציית מסלול רק"ל או ת"צ במיכוונה לפי 1.0 מ'/שנ'.**

מהירות זו תשמש לחישוב גם במקרים בהם מסלול הרק"ל או הת"צ במיכוונה צמוד מצידו האחד למסלול רכב כללי ומצידו השני למדרכה או מפרדה שבה מסיים הולך הרגל את החצייה, והחצייה נעשית ברצף.

בכל המקרים האחרים מהירות ההליכה תחושב לפי 1.2 מ'/שנ', כאמור בהנחיות לתכנון רמזורים.* אלא אם מעברי החציה עם מעברים עתירי ביקוש.**

הפחתת מהירות הולך הרגל בחציית מסלול רק"ל או ת"צ במיכוונה נובעת מהסיבות הבאות:

1. נהג תצ"מ הנעה במסילה או במיכוונה אינו יכול לסטות מתוואי נסיעתו במקרה שהוא רואה הולך רגל חוצה.
2. תאוטת בלימת החרום של רק"ל נמוכה יותר מזו של רכב הנע על צמיגים.
3. בהנחיות למעברי חצייה עתירי ביקוש,** נקבעה המהירות 1.0 מ'/שנ' כמהירות על-פיה יחושב זמן הפינוי של הולכי רגל במעברים אלה. כמויות הולכי הרגל הצפויות לעבור במעברי החצייה הסמוכים לתחנות התצ"מ, הינן גדולות ולכן הערך שנקבע עבור מעברי חצייה עתירי ביקוש מתאים בדרך כלל לאלה שצפויים ליד תחנות הרק"ל.

## 1.3 <u>תאוצות ותאוטות</u>

**הנחייה: א. התאוצה המירבית לחישוב זמני פינוי של רק"ל תהיה בערך קבוע של 1.2 מ'/שנ$^2$.**

**התאוטה המירבית לחישוב זמני פינוי של רק"ל תהיה בערך קבוע של 1.2 מ'/שנ$^2$ .**

**ב. במקרה ומאפייני התפעול של רכב הרק"ל או ת"צ במכוונה יהיו כאלה שהתאוצות או שהתאוטות שלהן יהיו נמוכות מן הערכים הנ"ל, יש להשתמש בערכים של מאפייני התפעול.**

* הנחיות לתכנון רמזורים, משרד התחבורה, 1981

** הנחיות לתכנון מעברי חצייה עתירי ביקוש, משרד התחבורה ונת"ע, מאי 2006

## 1.4 אורך הרכב

**הנחייה: לצורך חישוב זמני הפינוי של רק"ל או אומ"ר, יונח אורך הרכב המפנה בהתאם לאורכו בפועל. במקרים שכלי הרכב המפנים הם בעלי אורך שונה, יילקח בחשבון אורך הרכב הגדול מביניהם.**
**במקרים בהם אורך הרכב גדול מ- 15 מ' ואין רכב בין נקודת ההחלטה הרחוקה מהצומת לבין הצומת, ניתן לחשב את זמן הפינוי לפי אורך רכב של 15 מ'. (נקודת ההחלטה – הנקודה שבה הנהג מחליט האם לעצור או להמשיך בנסיעה).**

השימוש בזמן פינוי מינימלי שחושב לפי אורך רכב מפנה של 15 מ', מתייחס לכלי רכב שאורכם גדול מ- 15 מ' והוא מותנה בקבלת מידע שבתחום האמור לעיל אין רכב. נקודת ההחלטה, הינה הנקודה הרחוקה מהצומת שבה נהג הרכב יכול להחליט לעצור ולבצע זאת עד לקו העצירה, או להמשיך בנסיעה ולעבור את הצומת. המידע שרכב איננו נמצא בתחום הנ"ל יתקבל מגלאים שנמצאים בתחום או ממערכת הבקרה.
האורך של 15 מ' אומץ מן המקובל בארצות אירופה* והוא ארוך מספיק כדי שהנהג המגיע לצומת מכיוון נוגד, יוכל להבחין ברכב התצ"מ, ולהימנע מלהיכנס לצומת שאינו פנוי.

במנגנונים הקיימים ובשיטות התכנון הקיימות, לא ניתן להשתמש בשתי מטריצות של זמנים בין ירוקים. ניתן לעשות זאת ע"י יצירת תמונה חלקית (למשל 'A ) שאיננה כוללת את התצ"מ. התמונה הראשית A הכוללת את התצ"מ מופסקת עם סיום הירוק של התצ"מ, ומתחילה התמונה החלקית 'A. משך תמונה זו הינו ההפרש בזמני הפינוי בין הרכב הארוך לבין הרכב באורך 15 מ'.
בכל מקרה שבו לא יהיה מידע שהגלאים תקינים ושאין הם מזהים רכב תצ"מ בתחום הרלבנטי, תינתן התמונה החלקית הנ"ל שאינה כוללת את רכב התצ"מ.

## 1.5 זמן תגובה של נהג התצ"מ

**הנחייה: משך זמן התגובה של נהג התצ"מ יחושב לפי 1.0 שנ'.**

משך זמן התגובה של הנהג המקצועי לצורך חישוב מרחק הבלימה הינו זהה למשך זמן התגובה של נהגים בכלי הרכב האחרים.

* Guidelines for Traffic Signals Road, Rilsa 1992, and Transportation Research Association

## 1.6 משכי האותות בזמן בין ירוק

**הנחיה: במטרה לאפשר לנהג רכב התצ"מ אומדן זמן-מרחק נכון, נקבעו זמנים קבועים למשכי האותות בזמן הבין ירוק, כמפורט להלן (ראו גם בפרק ב- 2):**

**א. בפנסי התצ"מ יינתן אות "היכון לנסיעה" (קו אופקי + עיגול) המקביל ל"אדום צהוב") במשך 2 שניות לפני ראשית האות "סע" והוא יהיה חלק מהזמן הבין ירוק.**

**אות מקדים לאות "סע" יינתן באמצעות אות משולש בפנס המקדים, והוא יימשך 4 שניות הכוללות את 2 השניות של "היכון לנסיעה" שלעיל.**

אות זה נועד להעביר מידע לנהג התצ"מ שהוא עתיד לקבל ירוק מיד לאחר סיום אות זה, כך שבמקרים מסוימים יימנע ממנו הצורך להאיט.

**ב. לאחר סיום האות "סע" (הקו האנכי או האלכסוני המקביל לאור הירוק), יינתן אות "היכון לעצור" בצורת האור העגול (המקביל לאור הצהוב). משך אות זה יהיה 3 שניות והוא יאפשר לנהג הרכב שקיבל את האות אך לא הספיק לעצור לפני הצומת, להמשיך בנסיעתו תוך חציית הצומת.**

**ג. כאשר משך הזמן הבין-ירוק גדול ממשך האות "היכון לעצור" + "היכון לנסיעה", יופיעו בתנועות הנוגדות אותות עצור (קו אופקי המקביל לאדום). לפרק זמן**
**זה מקובל לקרוא בשם "אדום מלא" (all red ).**

## 1.7 חישוב הזמנים הבין ירוקים

חישוב הזמנים הבין ירוקים יעשה בעזרת הנוסחאות המפורטות להלן, אשר נובעות מן הנוסחאות הפשוטות הקושרות בין: מרחק, זמן, מהירות ותאוצה.

הנוסחאות להלן מתייחסות רק לחישוב משך הפינוי ומשך הכניסה של רכבת קלה, כאשר חישוב הערכים הללו לגבי כלי הרכב הרגילים הינו כמפורט ב"הנחיות לתכנון רמזורים, משרד התחבורה, 1981."

חישוב זמני הפינוי ייעשה לכל האפשריות שיכולות להתרחש בגישות לצומת כמתואר לעיל, ותכנון הרמזור ייעשה לפי הערך המירבי שיתקבל.

הגדרת הפרמטרים השונים המופיעים בנוסחאות שלהלן, מרוכזת בסוף סעיף זה.

### א. משך הזמן הבין-ירוק - T

(1) $$T = T_2 - T_3$$

(2) $$T_2 = T_1 + t$$

### ב. משך הפינוי של הרק"ל - $T_2$

<u>מקרה I</u>

כאשר הרק"ל נעה בגישה לצומת במהירות קבועה **S** וממשיכה במהירות זו עד אחרי הצומת (מרחק הבלימה $L_1$ אינו כולל את מרחק הנסיעה בזמן תגובה t): $L_1=S^2/2a_1$

(3) $$T_2 = (L_1 + L_2 + l)/S + t$$

<u>מקרה II א</u>

כאשר הרק"ל מפנה את הצומת ממצב של עמידה לפני הצומת

וכאשר הפינוי מושלם בתחום מרחק התאוצה: $L_2 + l < S^2/2a$

(4) $$T_2 = \sqrt{2(L_2+l)/a}$$

<u>מקרה II ב</u>

כאשר הרק"ל מפנה את הצומת ממצב של עמידה לפני הצומת

וכאשר הפינוי מושלם לאחר סיום התאוצה: $L_2 + l > S^2/2a$

(5) $$T_2 = S/a + \left(L_2 + l - S^2/(2a)\right)/S$$

### ג. משך הכניסה של הרק"ל - $T_3$

כאשר הרק"ל היא הרכב הראשון הנכנס לצומת במופע הירוק, משך הנסיעה שלה מקו העצירה ועד לאזור הניגוד מחושב לפי המהירות הקבועה (המהירות המירבית המותרת).

(6) $$T_3 = L_3/S$$

**<u>הגדרת הפרמטרים המופעים בנוסחאות שלעיל:</u>**

$T$ = משך הזמן הבין-ירוק

$T_1$ = משך הפינוי

$T_2$ = משך הפינוי + זמן תגובה (בהנחיות הקיימות זמן זה לה"ר הינו $T_W$)

$T_3$ = משך הכניסה (של רכב ראשון מקו עצירה ועד אזור הניגוד)

(משך זמן הכניסה - $T_3$ של הולך רגל, הינו 0 שנ').

$t$ = זמן תגובה

$L_1$ = מרחק הבלימה

$L_2$ = המרחק מקו העצירה עד לקצה הרחוק של אזור הניגוד (בתוואי של הרכב המפנה)

$L_3$ = המרחק מקו העצירה עד אזור הניגוד (בתוואי של הרכב הנכנס)

$l$ = אורך הרכב

$S$ = מהירות

$a$ = תאוצה

$a_1$ = תאוטה

## 1.8 <u>תוצאות חישוב - מקרים לדוגמה</u>

בטבלה שלהלן מובאות תוצאות חישוב של זמני פינוי $T_2$ של מספר מקרים לדוגמה.
החישוב הוא של משך הזמן הדרוש לרק"ל הנמצאת בנקודת ההחלטה בגישה לצומת ברגע בו הסתיים האות האנכי או האלכסוני - "סע", לעבור ולפנות לחלוטין את אזור הניגוד בצומת.

החישובים נעשו בהתאם לנוסחאות המובאות לעיל לצרופים השונים של הערכים המפורטים להלן:
מהירות נסיעה קבועה של 14, 10 ו- 7 מ'/שנ' (כ- 50, 36 ו- 25 קמ"ש בהתאם)
רק"ל שמתחילה מעמידה ומאיצה עד למהירויות הנ"ל.
אורך הרק"ל הוא 70, 35 ו- 15 מ'.
המרחק בין קו העצירה ועד הקצה הרחוק של אזור הניגוד הוא 20 מ'.
התאוצה הינה 1.2 מ'/שנ$^2$ והתאוטה היא 1.2 מ'/שנ$^2$.

**טבלה ג-1 : זמני פינוי (שנ') כפונקציה של אורך הרק"ל ומהירותה**

| מהירות מ'/שנ' | | 14 | 10 | 7 |
|---|---|---|---|---|
| מהירות מקורבת בקמ"ש | | 50 | 36 | 25 |
| | אורך הרק"ל | | | |
| במהירות קבועה | 70 מ' | * (13.3) | * (14.2) | 16.8 |
| | 35 מ' | * (10.8) | * (10.7) | 11.8 |
| | 15 מ' | 9.3 | * (8.7) | 8.9 |
| | | | | |
| בתאוצה מעמידה | 70 מ' | 12.3 | 13.2 | 15.8 |
| | 35 מ' | 9.6 | 9.7 | 10.8 |
| | 15 מ' | 7.6 | 7.6 | 7.9 |

* המספרים בסוגריים התקבלו מהחישובים לפי המהירות המוצגת בראש הטבלה, במקרים אלה זמני הפינוי יקבעו לפי מהירות 25 קמ"ש (ראה סעיף 1.2.2 לעיל).

# פרק ד'

# העדפה לתחבורה ציבורית

# כללים מנחים לשילוב מערכות הסעת המונים ברמזורים

# פרק ד' – העדפה לתחבורה ציבורית

## 1. הקדמה

העדפה לתחבורה ציבורית בצמתים מרומזרים נועדה להפחית את העיכוב לכלי רכב ציבוריים המסיעים כמות גדולה של נוסעים, להגדיל את אמינות השרות (ע"י הקטנת הסטיות מלוח הזמנים) ועל ידי כך לעודד את השימוש בתחבורה ציבורית. ככלל, היה רצוי שכלי הרכב הציבורי לא יתעכב כלל ברמזור, אך כמובן שלא תמיד ניתן להבטיח זאת. העדפת כלי הרכב הציבורי כרוכה לעיתים קרובות בהגדלת העיכוב לכלי רכב אחרים בצומת, ולעיתים להתארכות תורים וחסימת צמתים. גם אם לא ניתן למנוע תמיד את עצירת כלי הרכב הציבורי ברמזור, הרי שרצוי להקטין ככל האפשר את זמן העיכוב.

פרק זה דן בשיטות השונות למתן העדפה לתחבורה ציבורית בתפעול צמתים מרומזרים, על יתרונותיהם וחסרונותיהם.

יש להבחין בין מתן '**קדימות**' ('Preemption') לכלי רכב בצומת מרומזר לבין מתן **'העדפה'** ('Priority').

'**קדימות**' ('Preemption') – הפרעה למהלך הרגיל של תוכנית הזמנים ברמזור כתוצאה מאירוע מיוחד כגון התקרבות רכבת כבדה או רכב חירום לצומת. מדובר בשינוי בתוכנית הזמנים שיאפשר את מעבר כלי הרכב בעלי הקדימות, ללא התחשבות בתאום בין צמתים או משמעות השינוי על העיכובים הנגרמים לשאר כלי הרכב. רמת ההעדפה לשירותי החירום (אמבולנסים, מכבי אש) תהיה בדרך כלל מעט נמוכה יותר מזו של רכבת כבדה, כך שרכבת כבדה תקבל עדיפות על פני רכב חירום.

**'העדפה'** ('Priority') **–** שינוי המהלך הרגיל של תוכנית הזמנים ברמזור על מנת לשפר את התאמתו למעבר כלי רכב מועדף, למשל רכב ציבורי, במטרה להקטין את העיכוב לכלי הרכב הציבורי. השינויים בתוכנית הזמנים מתבצעים תוך התחשבות בתאום הדרוש בין צמתים וצרכי כלי הרכב האחרים בצומת.

# 2. "הכנת השטח" להעדפה

האפשרות למתן העדפה לת"צ בצמתים מרומזרים מוגבלת על ידי מידת ה'פגיעה' האפשרית בשאר משתמשי הדרך הכרוכה בכך. לפני שניגשים למתן העדפה בתוכנית הרמזור רצוי "להכין את השטח" באופן המתואר להלן בכדי לשמור על יחס ביקוש/קיבולת יעיל ולאפשר את הגמישות הדרושה למתן ההעדפה בתוכנית הרמזור.

## 2.1. הקטנת הביקושים

השינויים הנדרשים בתוכנית הרמזור לצורך מתן העדפה גורמים בדרך כלל להקטנת הקיבולת האפקטיבית של הצומת וזאת בעקבות הגדלת הזמן האבוד או ניצול לא יעיל של הזמן הירוק במופעים מסוימים.

כאשר נפחי התנועה (הביקוש) בצומת קרובים לקיבולת הצומת - כל פעולה הכרוכה בהקטנת הקיבולת עלולה לגרום להארכת ולגלישת תורים, לחסימת צמתים סמוכים ולזמני המתנה ארוכים במיוחד. לכן, על מנת לאפשר גמישות לבצע שינויים בתכנית הזמנים לצורך מתן העדפה לרכב ציבורי, יש ליצור מצב בו הצומת יהיה ב"עודף קיבולת" וזאת על ידי הקטנת הביקוש ככל האפשר, למשל על ידי הסטת תנועה (שאינה ת"צ) מאיזור הצומת.

## 2.2. שינוים בגיאומטריה (מסלולים בלעדיים, הוספת נתיבים)

מסלולים/נתיבים בלעדיים לת"צ הינם אחד האמצעיים העיקריים להעדפת ת"צ. מעבר ליתרון הברור שבנסיעה בנתיב בלעדי בין הצמתים, הרי שקיומם של מסלולים/נתיבים בלעדיים בצומת עצמו, מאפשר עקיפה של התור והתייחסות ישירה לת"צ בעת הפעלת העדפה בתוכנית הרמזור.

הרחבת הצומת (הוספת נתיבים) עשויה להביא ל"עודף קיבולת" ולגמישות הרצויה לצורך הפעלת העדפה בתוכנית הרמזור.

## 2.3. צמצום מספר המופעים והשלבים

ככל שמספר השלבים ברמזור קטן יותר, כך קטן הזמן האבוד הכרוך במעבר בין שלבים. זמן המעבר משלב לשלב וכן משך הזמן המינימלי של כל שלב הינם תקופות זמן בהן לא ניתן לבצע שינויים בתפעול הרמזור, ולכן, ככל שיהיו קצרים יותר ומועטים יותר - תגדל הקיבולת והגמישות למתן העדפה. רצוי, על כן, לצמצם את מספר השלבים וזאת על ידי ביטול מופעים שאינם הכרחיים בצומת (כך גם יקטן, בדרך כלל, הביקוש).

# 3. אסטרטגיות העדפה

קיימות אסטרטגיות שונות ליישום העדפה לתחבורה ציבורית ברמזורים. ההבחנה הבסיסית היא בין העדפה 'אקטיבית' שהינה מקוונת ומתחשבת בנתוני זמן אמת לבין העדפה 'פאסיבית' שאינה מקוונת, נקבעת בזמן תכנון הרמזור ואינה מתחשבת בנתוני זמן אמת.

## 3.1. העדפה פאסיבית

אסטרטגיות העדפה פאסיבית אינן מקוונות ונותנות העדפה באופן קבוע למופעים שנועדו לתחבורה ציבורית באופן בלעדי או בצרוף כלי רכב אחרים, וזאת ללא קשר לנוכחות/אי נוכחות כלי הרכב הציבורי ו/או לקבלת בקשה להעדפה מכלי רכב זה. אלה למעשה תוכניות רמזור אשר תוכננו לפי מאפייני התחבורה הציבורית ובכוונה לתת עדיפות לכלי הרכב הציבוריים. העדפה זו אינה מצריכה קשר בין כלי הרכב הציבורי למנגנון הרמזור.

## 3.2. העדפה אקטיבית

אסטרטגיות ההעדפה האקטיביות מאפשרות העדפה לתחבורה ציבורית על סמך נתונים המתקבלים בזמן אמת ובהתייחס למיקום ו/או קבלת בקשה להעדפה מכלי הרכב הציבורי.
לצורך הפעלת העדפה אקטיבית נדרשת היכולת לגילוי וזיהוי כלי רכב ציבוריים המתקרבים לצומת המרומזר. בחלק מהאסטרטגיות נדרש גם מידע נוסף כפי שיפורט בהמשך.
ניתן לסווג העדפה אקטיבית בהתאם למאפיינים נוספים כאשר מבחינים בין:

- **העדפה תגובתית** לעומת **העדפה הכוללת חיזוי**
- **העדפה באמצעות כללי החלטה** לעומת **העדפה באמצעות אופטימיזציה**
- **העדפה מותנית** לעומת **העדפה בלתי מותנית**

### 3.2.1. העדפה תגובתית

האסטרטגיות התגובתיות מופעלות בכל צומת בנפרד ומספקות טיפול מקומי לבקשת העדפה, ללא תלות אם זהו צומת מבודד או צומת שפעולתו מתואמת עם צמתים נוספים. מנגנון הרמזור מקבל את הבקשה להעדפה מאוחר יחסית, כשהרכב מתקרב לצומת, ואז מופעלים שינויים בתוכנית הזמנים, בהתאם לכללים שנקבעו על ידי המתכנן. אסטרטגיות אלה דורשות רק תקשורת מקומית בין רכב תצ"מ או גלאי בשטח המזהה אותו לבין מנגנון הרמזור.

### 3.2.2. העדפה הכוללת חיזוי

אסטרטגיות הכוללות חיזוי מופעלות בדרך כלל ברשתות רמזורים המנסות לטפל בבקשות להעדפה המתקבלות מוקדם יחסית (כשהרכב עדיין רחוק יחסית מהצומת) והמחייבות חיזוי מועד ההגעה של הרכב. המידע המוקדם מאפשר להיערך להגעת הרכב, לטפל בו זמנית במספר בקשות להעדפה ולבצע שינויים הדרגתיים בתוכניות הזמנים, במטרה להיענות לדרישה להעדפה, עם הפרעה מינימלית לשאר התנועות בצומת. החיזוי כולל התחשבות בזמני המתנה בתחנות (היכן שצריך) ומעודכן מעת לעת בהתאם להתקדמות הרכב.

### 3.2.3. העדפה באמצעות כללי החלטה

באסטרטגיות העדפה המבוססות על כללי החלטה מתקבלות החלטות כגון הארכת ירוק, קיצור שלבים והוספת שלב על סמך קריטריונים מוגדרים מראש.

#### 3.2.4. העדפה באמצעות אופטימיזציה

אסטרטגיות המבוססות על אופטימיזציה מאפשרות העדפה לתחבורה ציבורית על סמך מיטוב מדדי ביצוע (עיכוב לנוסע, עיכוב לכלי רכב, עיכוב משוקלל לכלי רכב לפי סוג רכב, או שילוב ביניהם). אסטרטגיות אלו משתמשות בגלאים המספקים נתוני הופעת כלי רכב רגילים וציבוריים כאחד. נתונים אלה משמשים כקלט למודל תנועתי אשר בוחר את תוכנית הזמנים המתאימה ביותר מתוך סדרה אפשרית או שמבצע אופטימיזציה לקבלת סדר ומשך השלבים הרצויים.

העדפה באמצעות אופטימיזציה תופעל בדרך כלל כשמדובר ברשת של צמתים מרומזרים.

#### 3.2.5. העדפה מותנית

באסטרטגיות המותנות, מתן ההעדפה מותנה במצבו התפעולי של כלי הרכב הציבורי. בדרך כלל מתן העדפה מותנה בעמידה בלו"ז המתוכנן או במירווחים בין כלי רכב עוקבים (Headway). לצורך הפעלת אסטרטגיה מסוג זה דרוש מידע נוסף, מעבר לגילוי הרכב, הכולל את מצבו התפעולי (מאחר, מקדים, עמוס, ריק וכו'). פירוט נוסף ראה בסעיף 4 להלן.

#### 3.2.6. העדפה בלתי מותנית

אסטרטגיות בלתי מותנות מאפשרות העדפה ללא קשר למצבו התפעולי של כלי הרכב הציבורי. לדוגמא, אסטרטגיה זו תאפשר העדפה בין אם כלי הרכב מקדים או מאחר יחסית ללו"ז המתוכנן, עמוס בנוסעים או ריק.

# 4. קריטריונים למתן העדפה מותנית

קיימים קריטריונים שונים המשמשים להפעלת העדפה מותנית, במטרה להגביל אותה לכלי הרכב ולמקרים בהם היא נחוצה, ובכך להקטין את ה'פגיעה' בשאר כלי הרכב. לעיתים ישמש צרוף של מספר קריטריונים כתנאי למתן ההעדפה. הקריטריונים העיקריים הם:

## 4.1. עמידה בלוח זמנים

העדפה עשויה שלא להינתן אם רכב התצ"מ מקדים את לוח הזמנים שלו. סוגיה זו חשובה במיוחד בתדירויות גבוהות, שכן העדפה ברמזור של כלי רכב מקדים תצמצם עוד יותר את הפער לכלי הרכב שלפניו ותגרום ליצירת "חבורות" (bunching), תופעה המוכרת בתפעול אוטובוסים בתדירות גבוהה. לעומת זאת, בתדירות נמוכה, הקדמת כלי הרכב הציבורי יכול לפגוע בנוסעים הניגשים לתחנה על פי לוח הזמנים שלו. במקרים כאלה, יש לתת לבקרת הקו אפשרות לשלול מכלי רכב מסוים העדפה ברמזור, אם הוא מקדים את לוח הזמנים שלו.

## 4.2. מירווח בין כלי רכב

על מנת לשמור על מירווח קבוע (בזמן) בין כלי הרכב תינתן העדפה לכלי הרכב אשר "פתח פער" מכלי הרכב שלפניו. קריטריון זה עשוי לשמש לוויסות כלי רכב בתדירויות גבוהות.

### 4.3. קו/ כיוון נסיעה

העדפה תינתן/לא תינתן בהתחשב בכיוון הנסיעה ו/או מספר הקו.

### 4.4. זמן עיכוב לנוסע

במידה וקיים מידע על תפוסת הנוסעים בכלי הרכב הציבורי ניתן להפעיל העדפה בתלות בכמות הנוסעים ברכב ומשיקולי מזעור זמן העיכוב לנוסע.

### 4.5. הצטברות תורים/ חסימת צמתים

ההעדפה מותנית בכך שתור כלי הרכב בכיווני הנסיעה ה"נפגעים" אינם מתארכים מעבר לסף מסוים ואינם חוסמים צמתים סמוכים.

### 4.6. דרגת הרוויה של הצומת/ זמן ירוק עודף

ההעדפה תותנה בדרגת הרוויה בצומת. קריטריון זה מאפשר, לדוגמה, להבטיח שכאשר הצומת מתקרב לקיבולת לא תהיה הפרעה נוספת לפעולת הרמזור, העלולה לגרום להחרפה במצב התנועה. בדומה, ניתן להתנות את מתן ההעדפה בכך שקיים זמן ירוק עודף בצומת.

### 4.7. גל ירוק לצומת הבא/ עומס תנועה במורד הזרם

בקריטריון זה נבדק אם כלי הרכב המועמד להעדפה צפוי להגיע באדום לצומת הבא (בו לא ניתנת העדפה). במידה וכן, לא ניתנת העדפה שהרי בכל מקרה יתעכב בצומת הבא. באופן דומה, ניתן להתנות את מתן ההעדפה במצב התנועה בהמשך הציר וזאת על מנת להבטיח שלא תינתן העדפה לרכב שלא "ירוויח" מכך וצפוי להתעכב במורד זרם התנועה.

### 4.8. כניסה/ יציאה מתחנה

מיקום הרמזור יחסית לתחנה עשוי גם הוא להיות שיקול במתן העדפה. כאשר הרמזור ממוקם מיד לאחר תחנה, ניתן לנצל את זמן ההמתנה לירוק להעלאת נוסעים (כאשר הנהג מקבל התראה מתאימה לפני הופעת הירוק). לעומת זאת, כאשר התחנה נמצאת מיד לאחר הצומת קל יותר לחשב את מועד ההגעה לצומת, ולבצע את השינוי ברמזור שיאפשר מעבר ללא עיכוב בצומת, לפני העצירה בתחנה.

# 5. שיטות ליישום העדפה פאסיבית

העדפה פאסיבית ניתנת ליישום במספר שיטות:

## 5.1. קיצור זמן המחזור

קיצור זמן המחזור מקטין את זמן ההמתנה של כלי הרכב הציבורי. עם זאת, יש להתחשב בהקטנת קיבולת הצומת הכרוכה בקיצור זה.

## 5.2. העדפה בחלוקת זמנים ירוקים

בשיטה זו ניתן משקל יתר לתחבורה הציבורית בקביעת חלוקת הזמנים הירוקים בין המופעים השונים.

## 5.3. התאמת גל ירוק לתחבורה הציבורית

בשיטה זו ההעדפה ניתנת באמצעות גל ירוק המתוכנן למהירות הנסיעה של התחבורה הציבורית, וכולל גם התחשבות בזמן השהייה בתחנות.

התכנון ה"מסורתי" כולל בדרך כלל גל ירוק לאורך צירי תנועה עיקריים או המשכיים. תכנון הגל לוקח בחשבון את מהירות הנסיעה לאורך הציר ואת נפחי התנועה המצטרפים/עוזבים את הציר. עצירת כלי הרכב ציבורי בתחנה, מוציאה אותו מהגל ומאלצת אותו בדרך כלל לחכות למחזור הבא ובכך מגדילה את זמן העיכוב שלו.

ניתן לתכנן את הגל כך שייקח בחשבון את זמן השהייה בתחנה תוך התבססות על מידע היסטורי סטטיסטי (לחישוב זמן השהייה). תכנון זה יפגע בדרך כלל בגל לכלי הרכב האחרים לאורך הציר.

ניתן, בתכנון מורכב יותר, לתכנן מספר גלים כך שיתאימו גם לזמן השהייה בתחנות וגם לכלי הרכב האחרים שאינם משתהים. החיסרון הוא בכך שתכנון כזה, הינו מורכב (מתאים רק למספר קטן של צמתים) ובדרך כלל יפגע בגל הירוק לכלי רכב כאשר במילא כל סטייה מזמני השהייה המתוכננים תגרום לרכב הציבורי לצאת מהגל ולעיכובים נוספים.

# 6. שיטות ליישום העדפה אקטיבית

## 6.1. כללי

קיימות מספר שיטות ליישום העדפה אקטיבית ברמזורים:

- **הארכת שלב מופעל שבו יש ירוק לרכב התצ"מ** (להלן 'הארכת ירוק')
- **הקדמת פתיחת שלב שבו יש ירוק לרכב התצ"מ** (להלן 'הקדמת ירוק')
- **הוספת שלב מיוחד לתחבורה הציבורית** (להלן 'הוספת שלב')
- **החלפת סדר השלבים** (להלן 'החלפת סדר')

הפעלת השיטות הנ"ל (חלקן לפחות) כרוכה בביצוע שינוי בזמן הירוק המוקצה למופעים השונים בצומת. האמצעים האפשריים לביצוע שינוי זה הם:

- **דילוג על שלבים**
- **קיצור שלבים**

יש הבדל בין יישום העדפה בצומת הפועל עצמאית לבין צומת המתואם בגל ירוק עם צמתים סמוכים. כאשר צומת מופעל באופן עצמאי, קיימת גמישות המאפשרת יישום העדפה מירבית. במקרה כזה, ניתן לשנות את אורך המחזור ואין צורך לשמור על היסט קבוע מצומת שבמעלה או במורד הזרם. אם, לדוגמא, אנו מאריכים את המופע של רכב התצ"מ, ניתן להאריך (או לפחות לא לקצר) מופעים אחרים תוך הגדלת זמן המחזור ובכך להקטין את הפגיעה במופעים אלה.
לעומת זאת, כאשר נדרשים להבטיח תאום גל ירוק בין הצומת לצמתים אחרים ברשת, יש לשמור על מחזור קבוע ועל ההיסט הנדרש, וכך האפשרויות להעדפה מוגבלות הרבה יותר. אם, לדוגמא, מאריכים את המופע של רכב התצ"מ, יהיה צורך לקצר את המופעים שאחריו, על מנת לשמור על זמן מחזור והיסט קבועים.
כאשר מדובר בצמתים מתואמים בגל ירוק (מחזור קבוע) חשוב להתייחס גם ל"שלב העוגן". "שלב העוגן" הינו שלב המופיע לפחות שניה אחת בכל מחזור, כאשר במקרה של מחזור קבוע, מיקומה של שניה זו בתוך המחזור הוא קבוע. אם רוצים לאפשר העדפה מירבית לרכב תצ"מ הרי ששלב העוגן צריך לכלול את מופע התצ"מ. במידה ולא יהיה כך, לא ניתן יהיה להבטיח מעבר רכב התצ"מ בכל עת.

## 6.2. הארכת שלב בו יש ירוק לרכב התצ"מ (העדפה אקטיבית)

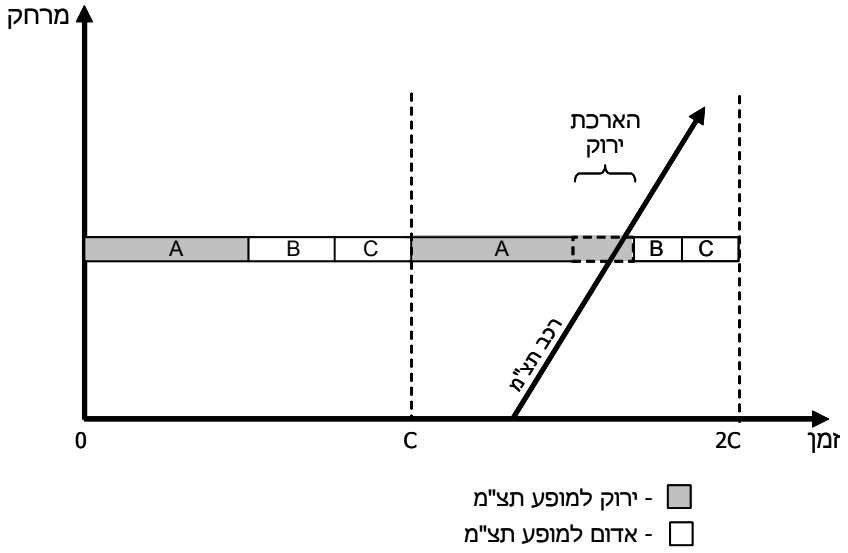
שיטה זו מופעלת כאשר כלי רכב ציבורי מתקרב לצומת בזמן שמופעל שלב הכולל ירוק לכיוון נסיעתו. כאשר נמצא, שללא הארכת הירוק מעבר למתוכנן, כלי הרכב לא יצליח לעבור בצומת, מוארך השלב על מנת לאפשר את המעבר ללא עיכוב (תרשים מס' ד'-1).

שיטה זו נחשבת לאפקטיבית ביותר מאחר ומצד אחד אינה כרוכה באובדן זמן ירוק לכלל הצומת (אינה כרוכה בזמני מעבר נוספים) ומצד שני מונעת המתנה ארוכה יחסית של כלי הרכב הציבורי. השיטה נפוצה מאוד ומאפשרת לנקודת הגילוי של כלי הרכב להיות קרובה יחסית לצומת.

באם רוצים לשמור על מסגרת זמן המחזור והתאום בין צמתים, ההארכה תחייב קיצור שאר השלבים ולכן כפופה לאילוצים, כגון: זמן הארכה מקסימלי לשלב הכולל ירוק לכלי הרכב הציבורי, זמנים ביו ירוקים וזמן ירוק מינימלי בשאר המופעים בצומת.

(ר' פיסקה 8 להלן, "מגבלות ביישום העדפה").

**<u>תרשים ד' -1: הארכת ירוק למופע תצ"מ</u>**




## 6.3. הקדמת פתיחת שלב שבו יש ירוק לרכב תצ"מ

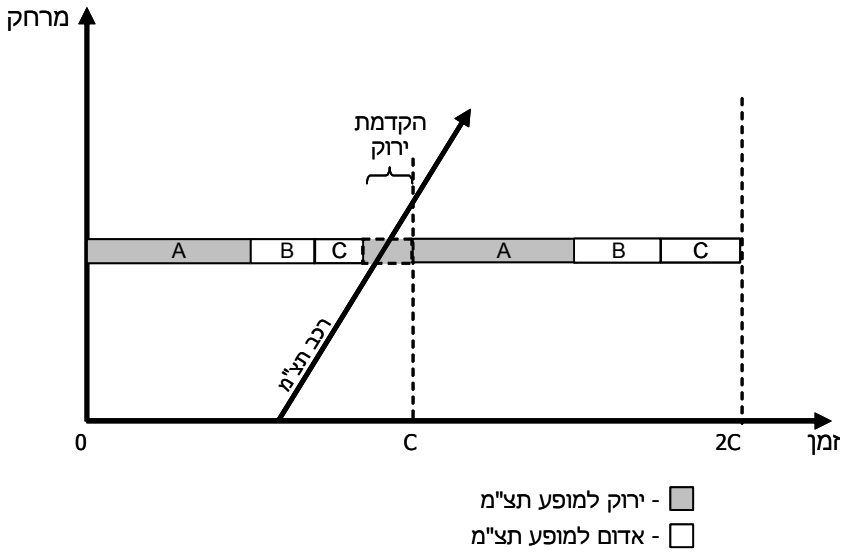
בשיטה זו מקדימים את פתיחת השלב הכולל ירוק לכיוון נסיעת כלי הרכב הציבורי, וזאת על ידי קיצור השלבים הקודמים לשלב זה (תרשים מס' ד'-2). שיטה זו, כמו שיטת הארכת השלב, נחשבת ליעילה מאחר ואינה כרוכה באובדן זמן ירוק לכלל הצומת (אינה כרוכה בזמני מעבר נוספים).

השיטה כפופה לאילוצי זמנים בין ירוקים וזמן ירוק מינימלי במופעים נוגדי תצ"מ.

(ר' סעיף 8, "מגבלות ביישום העדפה").

ככל שמועד הגילוי של כלי הרכב הציבורי יהיה מוקדם יותר, כך יתאפשר קיצור מאוזן ומושכל יותר של השלבים הקודמים (קיצור מתון במספר שלבים במקום קיצור קיצוני בשלב אחד).

**תרשים ד' –2: הקדמת ירוק למופע תצ"מ**




## 6.4. הוספת שלב מיוחד לרכב תצ"מ

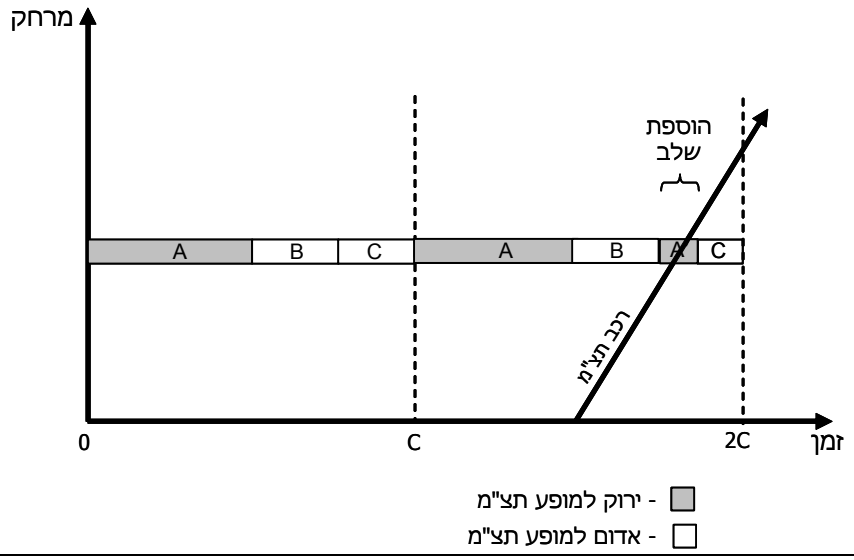
בשיטה זו מופעל שלב מיוחד לתנועת כלי רכב ציבוריים. שלב זה מופעל בהזדמנות הראשונה האפשרית (בין שני שלבים שאינם כוללים את כלי הרכב הציבוריים) על מנת להיענות לבקשה להעדפה.

שיטה זו נחשבת 'יקרה' מאחר והיא מגדילה באופן משמעותי את הזמן האבוד לכלי הרכב האחרים בצומת.

בעת הוספת שלב מיוחד, יש לשקול את התועלת שבהכללת מופעים נוספים במקביל למופע התצ"מ, לעומת החיסרון העלול להתבטא בהארכת משך השלב ומצבי המעבר.

(ר' פיסקה 8 להלן, "מגבלות ביישום העדפה").

**תרשים ד'-3: הוספת שלב מיוחד לרכב תצ"מ**



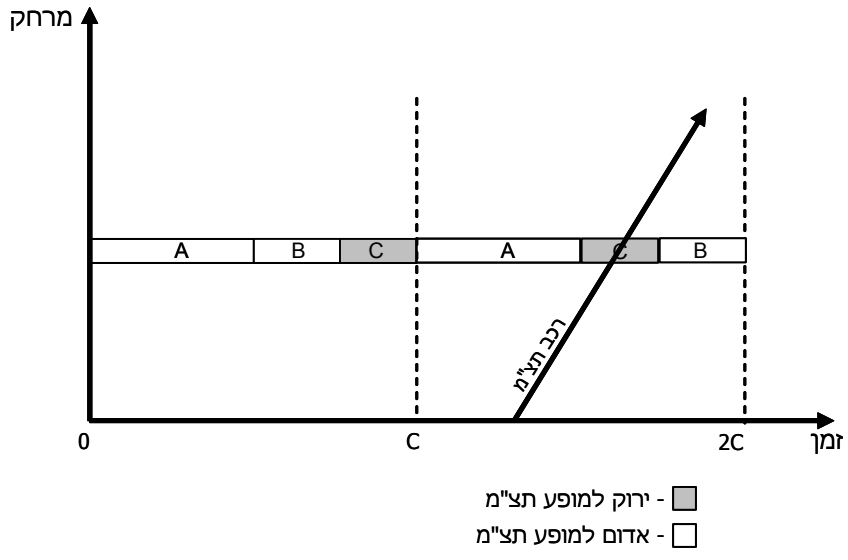

## 6.5. החלפת סדר השלבים

בשיטה זו משנים את סדר השלבים על מנת לספק את הבקשה להעדפה. פעולה זו מתאימה במיוחד למקרה בו הרכבת מגיעה לצומת מהדרך המשנית או למקרה של שלב נפרד לרכבת בדרך הראשית. העדפה זו מאפשרת החלפה בין שלבים משניים מבלי לפגוע בהתקדמות הגל הירוק בכיוונים הראשיים.

למרות ששיטה זו אינה גורמת להגדלה בזמן האבוד, הרי ששינוי סדר השלבים עלול לגרום לבלבול אצל הנהגים הנוטים להתרגל לסדר שלבים קבוע.

(ר' סעיף 8, "מגבלות ביישום העדפה").

**תרשים ד'-4: החלפת סדר השלבים**



## 6.6. דילוג וקיצור שלבים כחלק משיטות יישום ההעדפה

כאמור, הפעלת שיטות ההעדפה האקטיבית לעיל (חלקן לפחות) כרוכה בביצוע שינוי בזמן הירוק המוקצה למופעים השונים בצומת.

### 6.6.1. דילוג על שלבים

בשיטה זו מדלגים על שלב אחד או יותר וזאת על מנת לאפשר הקדמת פתיחת שלב שבו יש ירוק לתחבורה הציבורית, או על מנת לשמור על מסגרת זמן המחזור ותאום בין צמתים, במקרה שהשלב בו יש ירוק לתחבורה הציבורית הוארך מעבר למועד הסיום הרגיל שלו.

דילוג על שלב יגרום להארכה משמעותית בזמן ההמתנה של כלי הרכב במופע שדולג, לשינוי למעשה בסדר השלבים ולהארכה משמעותית במשך האור האדום במופע (במצבים קיצוניים הנהג עלול לחשוב שמדובר בתקלה). לעומת זאת, הדילוג מאפשר בדרך כלל הזזה משמעותית של מועד פתיחת ירוק למופע תצ"מ, לצורך התאמתו למועד הגעת רכב התצ"מ לצומת.

הערה: המדובר בדילוג על שלב הכולל מופעי רכב ו/או הולכי רגל שאינם מופעלי תנועה או כאלה שהינם מופעלי תנועה וקיימת בהם דרישה (פסיחה על שלב הנובע מהעדר דרישה למופעים מופעלי תנועה, הינה פעולה רגילה המבוצעת בכל רמזור מופעל תנועה). (ר' סעיף 8, "מגבלות ביישום העדפה").

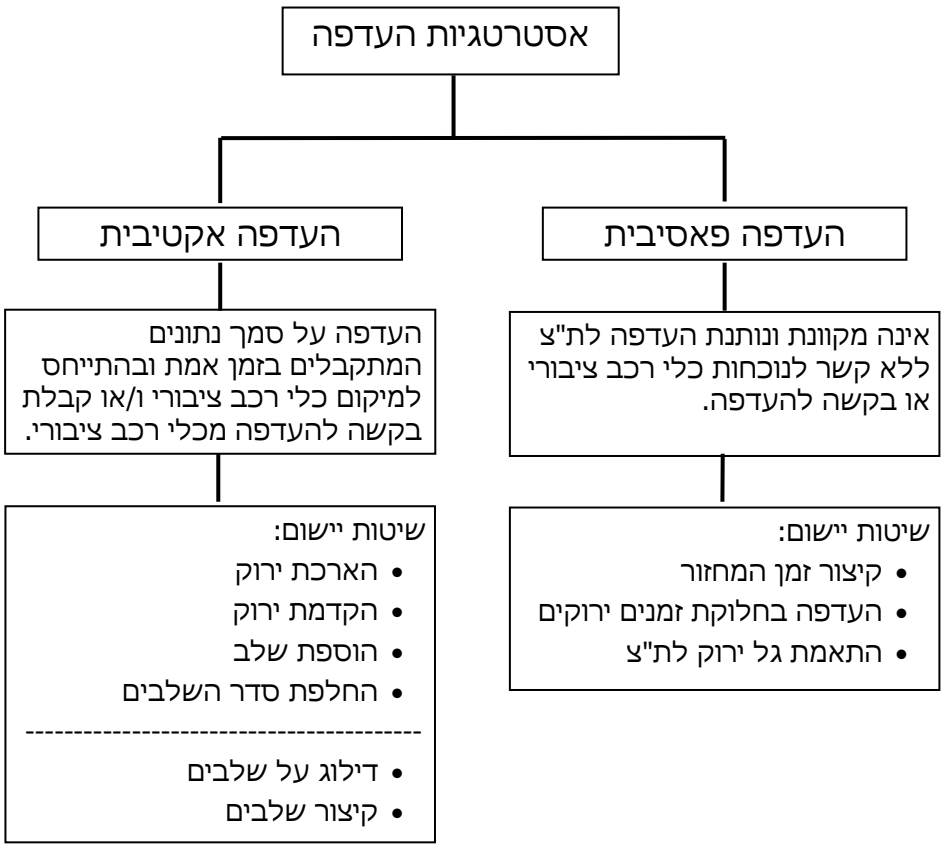
### 6.6.2. קיצור שלבים

בשיטה זו מקצרים שלב אחד או יותר וזאת על מנת לאפשר הקדמת פתיחת שלב שבו יש ירוק לתחבורה הציבורית, או על מנת לשמור על מסגרת זמן המחזור ותאום בין צמתים, במקרה שהשלב בו יש ירוק לתחבורה הציבורית הוארך מעבר למועד הסיום הרגיל שלו.

ההתערבות במהלך הרגיל של הרמזור בשיטה זו אינה קיצונית כמו בדילוג. סדר השלבים נשמר ואין תקופה ארוכה של 'אדום' במופע. לעומת זאת, קיצור חוזר ונשנה של המופע עלול לגרום לזמני המתנה ארוכים ולגלישת תורים ולכן יש לקבוע מינימום מתאים למופע וכן, במידת הצורך, לקבוע מנגנון פיצוי למקרה של קיצורים חוזרים ונשנים. (ר' פיסקה 8 להלן, "מגבלות ביישום העדפה").

**תרשים ד-5 מסכם את ההבדלים שבין העדפה אקטיבית להעדפה פאסיבית ואת השיטות ליישום העדפות אלה.**

**<u>תרשים ד' -5: העדפה פאסיבית לעומת העדפה אקטיבית</u>**




# 7. רמות העדפה

**ככלל, רצוי לתת העדפה מירבית לתחבורה ציבורית ובכך לקצר ככל האפשר את העיכוב ברמזורים ולעודד את השימוש בתחבורה ציבורית.**

המגבלה להפעלת שיטות ההעדפה השונות נובעת מה"פגיעה" בשאר משתמשי הדרך הכרוכה בכך. ה"פגיעה" מתבטאת בהגדלת העיכובים לכלי רכב ולהולכי רגל בצומת ולעיתים אף בחסימת צמתים סמוכים עקב תורים ארוכים.

השיטות ליישום העדפה שונות זו מזו במידת השינוי המבוצע בתוכנית הזמנים הרגילה לטובת התחבורה הציבורית. **הוספת שלב** מיוחד לתחבורה ציבורית כרוכה בהגדלת הזמן האבוד בצומת. **דילוג על מופע** כרוך בזמן המתנה ארוך ובלתי צפוי לכלי הרכב באותו מופע. לעומת זאת, **הקדמת**

**ירוק והארכת ירוק**, באמצעות שינויים במשכי הירוק למופעים השונים (ללא דילוג) אינם מוסיפים לזמן האבוד בצומת והם יחסית פשוטים לביצוע (גם כאן נדרש לעיתים להגביל את מידת הקיצור של המופעים השונים). **החלפת סדר השלבים** עלולה לגרום לבלבול של הנהגים ולכן אינה רצויה.

אחת הדרכים להגדרת רמות העדפה היא באמצעות שיטות יישום ההעדפה המופעלות להשגת המטרה. יישום של שיטות ההעדפה האקטיבית שתוארו מאפשרים העדפה ברמה גבוהה, כלומר, מצד אחד סיכוי טוב לכך שרכב התצ"מ לא יתעכב בצומת, אך מצד שני עלולה להיות פגיעה גדולה בשאר כלי הרכב.

לעומת זאת, הגבלת השיטות המיושמות ל'הקדמת ירוק' ו'הארכת ירוק' בלבד, ללא שימוש בדילוג, מגבילה את האפשרויות למתן העדפה, אך גם מגבילה הפגיעה בשאר כלי הרכב.

קשר זה בין רמת ההעדפה לשיטות ההעדפה המיושמות מתואר בטבלה ד'-1.

**טבלה ד'-1: רמת העדפה**

| רמת העדפה רצויה | שיטות ליישום העדפה |
|---|---|
| העדפה גבוהה | הקדמת ירוק, הארכת ירוק, הוספת שלב, החלפת סדר שלבים, [כולל דילוג]. |
| העדפה מוגבלת | הקדמת ירוק, הארכת ירוק [ללא דילוג]. |

# 8. מגבלות ביישום העדפה

## 8.1. כללי

כאמור, המגבלה להפעלת שיטות ההעדפה השונות נובעת מה"פגיעה" בשאר משתמשי הדרך. בנוסף לשמירה על זמנים בין ירוקים ומשכי ירוק מינימלי במופעים השונים, יש לוודא מה הן השלכות הפעלת ההעדפה על שאר כלי הרכב בצומת, ובכלל זה:

- הגבלת העיכוב למשתמשי הדרך שאינם מקבלים העדפה.
- הבטחת אורך אחסון מספיק לכלי רכב ושטחי המתנה להולכי רגל ורוכבי אופניים.
- שמירת תאום בין צמתים (גל ירוק).
- הגבלת זמן המתנה באדום (אדום ארוך מידי עלול לגרום לנהג/ הולך רגל לחשוב שיש תקלה ברמזור).
- שמירת מתכונת תפעול רמזור המוכרת למשתמש בדרך (חריגה ממתכונת התפעול המוכרת עלולה לגרום בלבול לנהג או הולך הרגל).

להלן מוצגות מספר מגבלות בהפעלת שיטות ההעדפה השונות, אשר יש להתייחס באופן פרטני להשלכותיהן, בכל מקרה ומקרה.

## 8.2. החלפת סדר שלבים

שינוי בסדר השלבים עלול לגרום לנהג המורגל לסדר מסוים להתבלבל ולכן אינו רצוי.

**הנחיה: הסדר הבסיסי של השלבים (התמונות) יישמר, למעט במקרים חריגים ובתאום עם הרשות המאשרת.**

## 8.3. הוספת שלב מיוחד לת"צ

הוספת שלב מיוחד לתצ"מ הינה בד"כ פעולה 'יקרה' הכרוכה בזמן אבוד נכבד לשאר התנועות. לכן, על מנת לאפשר שלב קצר ככל האפשר:

**הנחיה: ניתן להפעיל שלב מיוחד לת"צ, אשר בו יכללו מופעי רכב נמשכים בלבד (מופעים שקיבלו ירוק בשלב הקודם לשלב המיוחד), אלא אם, במקרים יוצאי דופן, ייקבע אחרת בתאום הרשות המאשרת. מופעי הולכי הרגל ישולבו היכן שניתן בהתאם לכללים המקובלים.**

## 8.4. אורך תור קריטי למניעת חסימת הרשת

עיכובים הנגרמים למופעים נוגדי תצ"מ עלולים, במקרה של אורך אחסון קצר מידי, לגרום לחסימת צמתים ול'נעילת הרשת" ולכן:

**הנחיה: במקרים בהם תור המצטבר באחד המופעים עלול לגרום לחסימת צמתים חשובים, יש להציב גלאי תור, ובמידת הצורך להפסיק את ההעדפה הפוגעת במופע בו נוצר התור.**

## 8.5. זמן מחזור

זמן ההמתנה המירבי נגזר במידה רבה ממשך זמן המחזור ולכן:

**הנחיה: משך זמן המחזור לא יעלה על 120 שניות, למעט במקרים חריגים ובתאום עם הרשות המאשרת.**

## 8.6. דילוג

סעיף זה מתייחס לדילוג על מופעי רכב ו/או הולכי רגל שאינם מופעלי תנועה, או כאלה שהינם מופעלי תנועה כאשר קיימת בהם דרישה (פסיחה על מופעים מופעלי תנועה, כשאין דרישה למופע, הינה פעולה רגילה המבוצעת בכל רמזור מופעל תנועה).

דילוג על מופע יגרום להארכה משמעותית בזמן ההמתנה (זמן אדום) במופע. הדילוג עלול גם לגרום לנהג לחשוב שהרמזור מקולקל ולכן:

**הנחיה: אין לדלג על שלב הכולל חציית הולכי רגל, אלא אם הולכי הרגל מקבלים ירוק בשלב אחר במחזור (במילים אחרות: הולכי הרגל יקבלו ירוק לפחות פעם אחת במחזור, אלא אם מותקן לחצן ואין דרישה).**

**הנחיה: אין לדלג על מופע ראשי נוגד תצ"מ.**

"מופע ראשי" הינו מופע בו נפח התנועה גבוה במיוחד. מצב זה אופייני למקרה של רחוב ראשי החוצה מסלול תצ"מ.

**הנחיה: אין לדלג על אותו מופע בשני מחזורים עוקבים.**

# 9. מתן "פיצוי" למופעים הנפגעים בעקבות העדפת ת"צ

הפרעה למהלך הרגיל של פעולת הרמזור על מנת לתת העדפה לכלי רכב ציבורי פוגעת בד"כ בכלי הרכב האחרים בצומת. הפגיעה היא בזמן הירוק המוקצה לכיוונים האחרים ובתאום גל ירוק עם צמתים סמוכים.

יש אפשרות להגביל את מידת הפגיעה על ידי הפעלת כללים, כגון קביעת ירוק מינימלי ארוך יחסית למופע, קביעת מקסימום להפחתת ירוק ממופע על פני מספר מחזורים, או ביטול האפשרות לדילוג. כללים מסוג זה מגבילים את הגמישות במתן העדפה ולכן די בד"כ בקביעת מינימום ירוק למופע הנמדד על פני מספר מחזורים, ובכך לאפשר יתר גמישות במחזור הבודד.

מעבר להגבלת ה'פגיעה' כמתואר לעיל, ניתן לקבוע מנגנון "פיצוי". כלומר, מופע שקוצר במחזור מסוים (על מנת לאפשר העדפה) יקבל במחזור/מחזורים הבאים זמן ירוק ארוך יותר מהרגיל על מנת לפצות אותו על אובדן הזמן.

תשומת הלב מופנית לכך שכאשר הצומת פועל במחזור קבוע ובתאום גל ירוק, האפשרויות לפיצוי עלולות להיות מוגבלות מאוד, אם בכלל.

כאשר מעוניינים למדוד/להגביל את הפגיעה על פני מספר מחזורים ו/או לבצע פיצוי על פני מספר מחזורים, יש להבטיח את המנגנונים הנדרשים לכך במסגרת תכנון הרמזור.

# פרק ה'

# גלאים

# כללים מנחים לשילוב מערכות הסעת המונים ברמזורים

# פרק ה' – גלאים

## 1. כללי

למעט אסטרטגית העדפה פאסיבית, כל אסטרטגיית בקרת רמזורים אשר תופעל בצמתים מרומזרים במטרה לתת עדיפות לרכבי תצ"מ, דורשת קבלת מידע מוקדם על מקום הימצאותם ועל התקרבותם הצפויה. מידע זה יכול להתקבל מגלאים הנמצאים בשטח או ממידע המועבר ישירות מרכבים אלה או ממרכז הבקרה של מערכות התחבורה הציבורית.

בהנחיות לשילוב גלאים ברמזורים שהוכנו ע"י משרד התחבורה בשנת 1986, יש התייחסות לגלאים הסטנדרטיים לגילוי הרכב הרגיל (גלאי דרישה, גלאי הארכה וכו') וללחצני הולכי רגל. בהמשך הוכנו ע"י משרד התחבורה הנחיות לשילוב גלאים לרכב דל מתכת.[*]

למערכות הגילוי עבור תצ"מ יש יעדים מגוונים, הנובעים מהצרכים והשיקולים השונים של הגורמים המעורבים בנושא (כגון: מפעיל הצי, המגזר הציבורי, בקרת הרמזורים).

צרכים אלה עשויים לכלול מידע המאפשר ניהול ובקרת צי התצ"מ, כגון: איתור המיקום, חישוב זמני נסיעה, איחורים, הקדמות, מהירות, מידע לנוסעים, תפוסת נוסעים וכיו"ב. יעדים אלה יכתיבו בדרך כלל את הפתרון הטכנולוגי הרצוי.

פרק זה מתמקד בעיקר בשיקולים ובצרכים לגילוי רכבי התצ"מ לשם מתן העדפה בצמתים המרומזרים ובדרכים לקבלת מידע זה. שיקולים אלה כוללים:

- מיקום ומידע דרוש – אסטרטגית ההעדפה הנבחרת קובעת במידה רבה את שיטת הגילוי, מיקום הגלאים והמידע הדרוש לגבי רכב התצ"מ.
- השלכות על כלי הרכב האחרים – בעזרת מידע על תנועות כלי הרכב האחרים, ובמיוחד על התורים הנוצרים בגישות לצומת, ניתן להתמודד עם המגבלות במתן העדיפות לתצ"מ (המפורטות בפרק ד' לעיל).

  המידע על כלי הרכב האחרים יתקבל בעזרת גלאי נוכחות, גלאי תור וכו'.

[*] הנחיות לתכנון לולאות לרכב דל מתכת ברמזורים, משרד התחבורה, נובמבר 2001

## 2. שיטות גילוי רכבי תצ"מ

ניתן לסווג את השיטות לגילוי רכבי תצ"מ לצורך מתן העדפה לשתיים: שיטת גילוי פאסיבית ושיטת גילוי אקטיבית.

### 2.1 שיטת גילוי פאסיבית

בשיטת הגילוי הפאסיבית, ההתקנים לזיהוי וגילוי כלי הרכב מותקנים מחוץ לרכב ומחוברים, באופן ישיר למערכת בקרת הרמזור (מנגנון ו/או מערכת בקרת רמזורים מרכזית). במקביל עשוי המידע מהגלאים להיות מועבר גם למערכות בקרה וניהול הצי.

בשיטת הגילוי הפאסיבית לא מותקן, בדרך כלל, ציוד כלשהו ברכב התצ"מ עצמו, בדומה למקובל בגלאים לגילוי כלי הרכב הרגילים. הגלאים הפאסיביים ממוקמים בשטח במקומות שנקבעו מראש והגילוי מתבסס על מאפיינים של **רכבי התצ"מ,** הנמדדים באמצעים שונים, כגון:

- נוכחות אלקטרומגנטית (כגון: שינוי השראות בלולאה, צורת חתימה מגנטית, שינוי בקווי שטף מגנטי של הסביבה וכד'),
- נוכחות חשמלית (שינוי ההתנגדות החשמלית של הפסים במעבר רכבת, וכד'),
- נוכחות פיזית (מגע פיזי במפסק מגע, מדידת משקל, מדידת אורך וכד').

סוגי הגלאים העיקריים הפועלים בשיטה הפאסיבית מפורטים להלן:

א. **מפסקי מגע**/ **כבלי מגע** – מבוססים על נגיעת הרכב בדגלון המחובר למפסק חשמלי או מגע בין שני כבלי חשמל קרובים, מאפשרים קבלת מידע על מיקום רכב התצ"מ בנקודה שבה ממוקם המפסק/הכבל.

ב. **גלאי השראתי** – דומה לגלאים המוכרים לכלי רכב, מבוסס על לולאה המותקנת במיסעה או על הפסים, או באזור התחנות, והמספק מידע על נוכחות כלי רכב במקום בו לולאה זו ממוקמת (יש להשתמש בלולאות קטנות ככל האפשר על מנת לדייק במיקום).

ג. **גלאי חתימה מגנטית** – מבוסס אף הוא על מרכיב גילוי (לולאה או אנטנה) המותקן במיסעה, והמודד ומזהה את החתימה המגנטית של רכב התצ"מ במקום וסיווגו. באמצעות החתימה המגנטית אפשר גם לדעת איזה סוג רכב התגלה ולהבדילו מרכב רגיל. שימוש בגלאי זה מתאים על כן בנתיבים בהם התנועה מעורבת.

ד. **גלאי הפרעה מגנטית לקווי שטף** – מבוסס אף הוא על מרכיב גילוי (לולאה או אנטנה) המותקן במיסעה, המודד את קווי השטף המגנטי של הסביבה (כדור הארץ) ומזהה את השינוי, גודלו והיקפו באתר ההתקנה, וכך מאפשר את זיהוי מיקום רכב התצ"מ וסיווגו.

ה. **גלאי וידאו** – מאפשר זיהוי רכב התצ"מ על פי עיבוד תמונה ממצלמת וידאו . הסיווג והזיהוי נעשים על פי אורך הרכב ותוואי נסיעתו.

ו. **גלאי מדידת התנגדות חשמלית של הפסים** – גלאי זה מבוסס על העקרון שגלגלי הרכבת יוצרים מעגל חשמלי שהתנגדותו הולכת וקטנה ככל שהרכבת מתקרבת לנקודת המדידה. בכיול מתאים ניתן לזהות באמצעותו באופן רציף את מרחק הרכבת מנקודת המדידה ואת מהירות התקרבותה. גלאים אלה משמשים בעיקר ברשת הרכבות הקונבנציונאלית (רכבות כבדות).

ז. **גלאי אינפרא אדום פאסיבי** – גלאי המבוסס על קליטת אותות תת אדומים המתקבלים מכלי הרכב (שהטמפרטורה שלו שונה משל הסביבה).
ח. **גלאי אינפרא אדום אקטיבי** –גלאי המבוסס על שידור קרן אור תת אדומה וקליטת ההחזרים שלה המתקבלים מכלי הרכב.
ט. **גלאי ראדאר** – גלאי המבוסס על שידור קרן אלקטרומגנטית וקליטת ההחזרים שלה המתקבלים מכלי הרכב.

החסרון העיקרי של הגלאים בשיטה הפאסיבית נובע מהצורך לבצע את הגילוי במספר נקודות שונות (ציוד בכל נקודה) לאורך תוואי ההתקרבות לרמזור (כגון: גלאי דרישה ראשונית, גלאי עדכון, גלאי חירום, גלאי פינוי וכו'). לשם יישום ההעדפה נדרש לגלות את רכב התצ"מ מוקדם ככל האפשר (במרחקים העשויים להגיע ל- 500 מ' מהצומת), דבר המצריך תשתית תקשורת מתאימה בין הגלאי לבין מנגנון הרמזור (פיזית ע"י כבלים או אלחוטית) ותשתית הזנת חשמל.
מגבלות נוספות בשיטת הגילוי הפאסיבי:
- היקף המידע שניתן לקבל בשיטה זאת מצומצם
- מיקום הגלאים קבוע וכל שינוי כרוך בשינוי פיזי בתשתית.

## 2.2. <u>שיטת גילוי אקטיבית</u>

שיטת הגילוי האקטיבית מבוססת על התקן המותקן בתוך רכב התצ"מ והעברת הנתונים באמצעות תקשורת אלחוטית מסוגים שונים, אל ציוד קליטה ועיבוד נתונים.
שיטה זו מאפשרת את זיהוי מיקום רכב התצ"מ יחד עם זיהוי הרכב עצמו, בצורה חד ערכית, באמצעות פרטי מידע נוספים אשר עשויים לסייע בהליך מתן ההעדפה לתצ"מ.
פרטי המידע שניתן לקבל בשיטה זו כוללים: מספר הקו, משך האיחור או ההקדמה בזמן לעומת הלו"ז, מצב התפוסה ברכב, מהירות, מועד יציאה המתוכננת מהתחנה וכיו"ב.
בשיטה האקטיבית מערכת הבקרה והניהול של צי התצ"מ עשויה לשמש כחלק ממערכת הגילוי והעיבוד של הנתונים. למערכת זו ישנה בדרך כלל תשתית תקשורת אלחוטית עם כלי הרכב בצי וכן יכולת עיבוד נתונים תואמת.
העברת מידע והיכולת ליצור תקשורת אלחוטית באופנים שונים (גלי רדיו או גלי אור) מהווה חלק בלתי נפרד ממערכות הגילוי האקטיבי. אי לכך, הגדרת שיטות הגילוי האקטיביות מתבססת על טווחי התקשורת, כמפורט להלן:

- **תקשורת קצרת טווח**, לאיתור מיקום פיזי (בד"כ לפי מקום המקלט).
- **תקשורת לטווחי ביניים**, לאיתור מיקום פיזי או וירטואלי (כדוגמת GPS או ציוד ואלגוריתם איתור מיקום מסוג כלשהו).
- **תקשורת ארוכת טווח**, לאיתור מיקום וירטואלי.

### 2.2.1 <u>תקשורת קצרת טווח</u>

גילוי קצר טווח מבוסס על משדר קצר טווח (המורכב על רכב התצ"מ), המשדר למקלט הנמצא במרחק קצר ממנו ומותקן בתוך או על פני תוואי המסעה או בסמוך לה, במקום המהווה את נקודת הגילוי הרצויה.

גלאים מסוג זה פועלים עם ציוד משדר ומקלט, המבוססים על שידורים של גלי רדיו אלקטרומגנטיים של גלים קצרים (אורכי גל של 0.7 עד 2.0 מטר), או של שידור תג"מ (תדר גבוה מאוד) מ- 2.5 ועד 5.9 גיגה הרץ על בסיס תקני תקשורת קצרת טווח DSRC ( Direct Short Range Communication).

חלק קטן מהיישומים פועל על שידורי אותות אופטיים (אינפרא אדום) לטווחים קצרים מאד.

איתור מיקום רכבי התצ"מ בשיטה זו מבוסס על המיקום הידוע של המקלט, המקבל את השידור קצר הטווח מהמשדר הנמצא ברכב התצ"מ. כתוצאה מהעיקרון שהשידור הוא קצר טווח, ניתן להניח כי זיהוי המיקום של כלי הרכב במועד השידור מדויק מספיק לצורך חישובי מתן ההעדפה ברמזור , וניתן להתייחס אליו כאיתור מיקום פיזי כמו בגלאים פאסיביים.

גלאים מסוג זה סובלים מאותו חיסרון של הגלאים הפאסיביים. הצורך בהעברת האותות (הכוללים גם מידע) אל מנגנון הרמזור מחייב תשתית תקשורת והזנה מתאימה בין הגלאי לבין הרמזור. מרחקים אלה עשויים להגיע ל-500 מ'.

בנוסף לכך, קיים צורך בהתקנת ציוד קליטה בכל נקודת גילוי לאורך התוואי, בדומה לגלאים פאסיביים.

סוגי הגלאים העיקריים הנמצאים בשימוש בשיטת גילוי קצר טווח:

א. **גלאי לולאה –** משדר המותקן ברכב התצ"מ המשדר אותות אל לולאת גלאי המשמשת כאנטנה ומותקנת בתוואי המיסעה ומחוברת למקלט/גלאי מתאים.

ב. **משדר גלים קצרים לטווח קצר –** משדר של גלים קצרים על רכב התצ"מ המשדר אל אנטנה המותקנת בצד הדרך ומחוברת למקלט מתאים (גלים קצרים ו/או תדרים בסביבות 955 מגה הרץ [מה"צ]). מקובל בדרך כלל בארה"ב (ונקרא Beacon מלשון קרן אור לאיתות).

ג. **מקלט/משדר (Transponder) פאסיבי או אקטיבי -** מקלט/משדר המותקן על גבי רכב התצ"מ, המחזיר אותות אל מקלט/משדר המותקן מעל תוואי המסעה ו/או בצידה. המכשיר משדר אליו בקשה, מעורר אותו לתשובה, קולט את המידע המועבר ומעבד אותו. מערכת זו מתבססת על תשדורות תג"מ בתקני DSRC בינלאומיים מקובלים.

ד. **משדר אינפרה אדום –** משדר אינפרא אדום לטווח קצר המשדר אותות למקלט המותקן על עמוד בסמוך לתוואי המיסעה או מעליה. השימוש העיקרי במערכות מסוג זה הוא לצורך מתן העדפה לרכבי חירום ולא לרכבי תצ"מ.

### 2.2.2 <u>תקשורת לטווחי ביניים</u>

גלאים מסוג זה פועלים אף הם עם ציוד משדר ומקלט המבוססים על שידורים בשיטות שונות של גלי רדיו אלקטרומגנטיים של גלים קצרים (אורכי גל של 0.7 עד 2.0 מטר) או של שידור ת"ג (תדר גבוה) בתדרי 955 מה"צ וכד'. חלק קטן מהיישומים מתבסס על שידורי אותות אופטיים (אינפרא אדום) לטווחים ארוכים יחסית של כמה מאות מטרים.

איתור מיקום רכבי התצ"מ בשיטה זו אינו מבוסס על מיקום התשתית של המקלט המקבל את השידור, אלא על זיהוי המיקום של כלי הרכב במועד השידור. רמת הדיוק באיתור מיקום הרכב בשיטת גילוי זו אינה גבוהה, והדבר מקשה על מתן ההעדפה יעילה לרכבי התצ"מ ברמזור, וזה חסרונה העיקרי.
לאור האמור, בשיטה זו יהיה צורך בשילוב אלמנטים נוספים במערכת (כגון: GPS, ג'ירוסקופ ואלגוריתם חישוב מיקום וכד') המורכבים על רכב התצ"מ, על מנת לאתר את מיקומו. אי לכך לא ניתן בשיטה זו להתייחס לאיתור מיקום פיזי, כמו בגלאים פאסיביים, אלא לאיתור מיקום וירטואלי, שהוא תוצאה של עיבוד ו/או הנחות מיקום לפי טווח השידור.

**סוגי הגלאים העיקריים** הנמצאים בשימוש בשיטת הגילוי לטווח ביניים:

א. **משדר גלים קצרים לטווח בינוני –** משדר המותקן על רכב התצ"מ והמשדר אל אנטנה המותקנת בצד הדרך, על-יד מנגנון הרמזור ומחוברת למקלט מתאים (גלים קצרים ו/או תדרים בסביבות 955 מה"צ).
ב. **משדר אותות אינפרא אדום לטווח בינוני (מאות מטרים) -** משדר המשדר אותות למקלט המותקן בסמוך למנגנון. מתקן המקלט הוא בדרך כלל מתקן כיווני, המאפשר הבחנה בין מקורות שידור מכיוונים שונים.

### 2.2.3 <u>תקשורת ארוכת טווח</u>

מערכות גילוי ארוך טווח מבוססות על שני מרכיבים עיקריים:
**האחד** הוא מערכת עיבוד ממוחשבת הנמצאת בתוך רכב התצ"מ, והיא משמשת בין היתר לאיתור רציף של מיקום כלי הרכב (מערכת Automatic Vehicle Location - AVL). מערכת זו כוללת רכיבים כגון GPS, מערכות נווט אינרציאליות, ג'ירוסקופ, וכן תוכנת איתור המכילה את מסלול הרכב ונקודות ההחלטה הנדרשות בו לצורך מתן העדפה.
**המרכיב השני** הוא מערכת המיועדת למתן פתרונות לרשתות תקשורת אלחוטית מסחרית. היא מבוססת בעיקר על ציוד שידור קליטה (תשדורות אלקטרומגנטיות) הפועל על פי תקנים סטנדרטיים בהיקפים גדולים, ומתבסס על מגוון רחב של תשתית אלחוטית.
תשתיות אלו שייכות למגוון רחב של פתרונות אלחוטיים, כגון:
א. **רשתות בטווח קצר יחסית** של WiFi כיום, או WiMax בעתיד, המיועדות לחבר ישירות את תקשורת הנתונים בין רכב התצ"מ למנגנון הרמזור,
ב. **תשתיות תקשורות רדיו יעודיות** לבקרה, כגון מערכת טטרא (TETRA) המקובלת באירופה לנושאי בקרת תנועה ותחבורה. מערכות אלו מחייבות שרותי רשת של אנטנות וציוד תיווך מרכזי. מערכות אלה אינן מבוססות על תקשורת ישירה בין נקודה לנקודה (בין רכב התצ"מ לרמזור), אלא פועלת באמצעות גורם מתווך, כגון מערכת הבקרה של מפעיל התצ"מ ו/או מערכת בקרת הרמזורים המרכזית.
ג. **תשתיות רדיו טלפון סלולריות** בתקנים שונים ( GSM ו/או GPRS וכיו"ב), יכולות לשמש מצע מתווך להעברת תקשורת נתונים בין רכב התצ"מ לבין הרמזור. גם במקרה הזה תהיה בדרך כלל מעורבות של מערכת בקרת צי הרכב ו/או של מערכת בקרת הרמזורים בהעברת

הנתונים ועיבודם. בחלק מן המקרים, מערכת הבקרה המרכזית של ניהול צי הרכב תבצע בעצמה את איכון המיקום וזיהוי נקודות ההחלטה לצורך מתן ההעדפה. היא תיזום את בקשות ההעדפה אל מול מערכת הבקרה ו/או מנגנוני הרמזורים, על פי מידע שתקבל ממערכות האיכון המותקנות על רכב התצ"מ עצמו.

היתרונות העיקריים של מערכות מסוג זה הם הדיוק בחישוב הנתונים והאפשרות לרכז מגוון רחב מאוד של מקורות מידע ונתונים, לצורך קבלת החלטות על העדפה, (כגון: נתוני תפוסת נוסעים, לוחות זמנים, משכי הזמן של הקדמה ואיחור לעומת הלו"ז, נתונים מבקשות צולבות / מתנגשות וקביעת סדרי עדיפות ביניהן). כל אלה בהתבסס על מערכות סטנדרטיות, ללא צורך בבנית תשתית מיוחדת וספציפית לכל רמזור בנפרד, בהתאם לצורכי הגילוי הרלוונטיים לכל צומת.

## 2.3. <u>סיכום שיטות הגילוי</u>

לצורך מתן העדפה לתצ"מ ברמזורים, ניתן לעשות שימוש בכל אחת מטכנולוגיות הגילוי שתוארו לעיל, או בשילוב של מספר טכנולוגיות יחדיו. השימוש בהן צריך להעשות בכל אתר באופן ספציפי, בהתאם לצרכים הפונקציונאליים המשולבים של הגורמים השונים המעורבים, ובהתאם לרמת ההעדפה הרצוייה.

במקרים בהם ייעשה הגילוי לצורך מתן העדפה ברמזורים. יש לקיים הבחנה פונקציונאלית של תחום הגילוי לנקודות פיזיות מוגדרות, בהתאם לעקרונות המפורטים בסעיף שלהלן עבור "מיקום הגלאים", ללא תלות בטכנולוגיה שתותקן.

לכל סוג גלאי ולכל מערכת העברת מידע יש יתרונות וחסרונות.

בשיטת הגילוי הפאסיבית, הגלאים מותקנים במיסעה או בצידי הכביש (כבל מגע, גלאי השראתי וכד'), והם מתאימים לגילוי רכב הנע בתחום מוגדר. המידע שמתקבל בגלאים אלה הוא מינימלי ואינו כולל מידע ספציפי לרכב הת"צ.

בשיטת הגילוי האקטיבי המידע מועבר מהרכב להתקנים שקולטים אותו בצד הדרך, ומהם למנגנון הרמזור. בשיטה זו, בנוסף לאיתור מיקום הרכב ניתן להעביר מידע נוסף (כיוון נסיעה , מספר הקו, סטייה מהלו"ז וכד').

לחילופין, מועבר מידע מרכב הת"צ למרכז בקרת תחבורה ציבורית ומשם (לעיתים בתוספת מידע נוסף) למנגנון ו/או למרכז בקרת הרמזורים. העברת המידע הנ"ל תלויה בכך שיהיה איתור מתמיד של רכב הת"צ והמערכת שברכב תוכל להעביר מידע זה.

# 3. מיקום הגלאים

לצורך מתן העדפה לרכב תצ"מ ברמזורים, מוגדרים להלן סוגי הגלאים והמיקומים שלהם מבחינה פונקצונלית. המידע המתקבל מגלאים אלה משמש בסיס לקבלת החלטות במערכת הבקרה של הרמזורים ו/או במנגנון הבודד. סוגי הגלאים מוצגים גם בתרשימים מס' ה-1 ומס' ה-2:

## 3.1 'גלאי דרישה ראשונית' או 'הגלאי הרחוק', (D1)-

גלאי זה ממוקם כ- 300-500 מ' לפני הצומת (כשאין תחנה) והוא מעביר הודעה על התקרבות הרכב למערכת הבקרה המרכזית ו/או למנגנון הרמזור. בעזרת מידע זה, המערכת יכולה לחזות את המועד בו הרכב יגיע לקו העצירה, ובהתאם לכך לערוך את החישובים השונים לשם הפעלת הרמזור, כך שרכב התצ"מ יקבל אות ירוק בהגיעו לצומת, וזאת בכפוף למדיניות ההעדפה ולמגבלות כמתואר בפרקים האחרים.

**הנחיה: הגלאי הרחוק (D1) ימוקם במרחק כזה מקו עצירה, אשר זמן מעבר רכב התצ"מ מן הגלאי ועד לקו העצירה יהיה לפחות:**

**- הזמן הדרוש לסיים את השלב עם מופע התצ"מ.**

**- בתוספת הזמן הדרוש למופעים הנוגדים לתצ"מ.**

**- וכן לזמן הדרוש להתחיל מחדש את השלב עם התצ"מ.**

דוגמא: צומת בו מופעלים 3 שלבים:

- שלב A שבו יש ירוק לתצ"מ,
- שלבים B ו- C שבו ישנם מופעים שנוגדים את מסלול התצ"מ, שמשך המופע המיזערי של כל אחד מהם 8 שניות,
- והזמנים הבין ירוקים הם: 12, 6 ו- 6 שניות בהתאמה.

במקרה זה, הזמן המיזערי בין סיום הירוק למופע התצ"מ ותחילתו במחזור הבא הוא 40 שניות (12+8+6+8+6=40). מכאן נובע, שהמידע על כך שהרכבת מתקרבת צריך להתקבל לפחות 40 שניות לפני שרכב התצ"מ מגיע לצומת. אם מהירות הנסיעה של רכב התצ"מ היא 36 קמ"ש (10 מ' לשניה), הרי שהגלאי הרחוק צריך להיות במרחק של לפחות 400 מ' (40x10=400) כדי שניתן יהיה לסיים את שלב A עם קבלת הודעה על התקרבות רכב התצ"מ, ולהתחילו מחדש לאחר ביצוע שלבים B ו-C.

ככל שהגלאי הרחוק נמצא רחוק יותר מהצומת, המידע לגבי רכב התצ"מ המתקרב מגיע מוקדם יותר, ומערכת הבקרה / מנגנון הרמזור יכולים להיערך טוב יותר למתן ירוק לרכב זה במועד בו הוא צפוי להגיע לקו העצירה.

מצד שני ככל שהזמן הדרוש למעבר הקטע שמנקודת הגילוי ועד לקו העצירה גדול יותר, רמת הדיוק של חיזוי מועד הגעת הרכב לקו העצירה יורדת, כי יותר הפרעות וארועים עלולים להתרחש במשך זמן זה.

## 3.2 'גלאי עדכון' או 'גלאי קרוב', ('D1')

גלאי עדכון ממוקם כ- 300-100 מ' לפני הצומת (כשאין תחנה), והוא מעביר הודעה על התקרבות הרכב למערכת הבקרה המרכזית ו/או למנגנון הרמזור. הודעה זו משמשת לחישוב מועד הגעה חזוי של רכב התצ"מ לצומת (או לעדכון תחזית זמן ההגעה, במידה ונערך חישוב קודם על סמך גלאי רחוק).

**הנחיה: הגלאי הקרוב ('D1) ימוקם במרחק כזה מקו העצירה, אשר זמן מעבר רכב תצ"מ מן הגלאי ועד לקו העצירה יהיה לפחות הזמן הדרוש לסיים את המופעים הנוגדים, בתוספת הזמן הדרוש להתחיל מחדש את השלב עם התצ"מ.**

דוגמא – בצומת שבדוגמא הנ"ל, הזמן המיזערי בין מועד ההחלטה בסיום שלב B לעבור לשלב C לבין מועד תחילת הירוק במופע A הוא 20 שניות (20=6+8+6).
מכאן נובע, שהמידע על כך שהרכבת מתקרבת צריך להתקבל לפחות 20 שניות לפני שרכב התצ"מ מגיע לצומת. אם מהירות הנסיעה של רכב התצ"מ היא 36 קמ"ש, הרי שהגלאי הקרוב צריך להיות במרחק של לפחות 200 מ' (200=20x10) כדי שניתן יהיה להשלים את שלב C במשך הזמן המינימלי, ולפתוח את שלב A לקראת הגעת רכב התצ"מ.

## 3.3 'גלאי דרישה' או 'גלאי חירום', (D2)

גלאי חרום נועד בעיקר למקרה של תיפקוד בלתי תקין של הגלאים שהוזכרו לעיל, כלומר למקרה בו לא מובטח שרכב התצ"מ יקבל ירוק כשהוא יגיע לקו עצירה. כמו כן צפויים מקרים נוספים בהם רכב התצ"מ יצטרך להמתין בגישה לצומת, כי לא ניתן יהיה לשנות את המופעים ברמזור ולתת לו את העדיפות במעבר בצומת. במקרים אלה רכב התצ"מ יצטרך לעצור לפני הצומת ולחכות לאור ירוק שיינתן בהקדם האפשרי, לפי המידע מגלאי זה. גלאי החרום (D2) ממוקם לפני הצומת ובסמוך לו. בגישות לצמתים מרומזרים בהם יש תמיד ירוק לתצ"מ בכל מחזור, אפשר לוותר על גלאי זה.

## 3.4 'גלאי פינוי', (D3)

גלאי פינוי נועד לזהות אם רכב התצ"מ עבר את הצומת וניתן לסיים את הירוק לרכב זה.

**הנחיה: מיקום גלאי פינוי יהיה מיד אחרי הצומת והגילוי יתייחס לחלקו הקידמי של הרכב. ניתן להציב את הגלאי במיקום אחר, ובתנאי שניתן יהיה להסיק מן הגילוי שהקצה הקידמי של רכב התצ"מ עבר את הצומת.**

סיום הירוק עם גילוי חלקו הקדמי של הרכב מאפשר לקצר את הזמן הירוק הניתן למופע התצ"מ, וזאת על ידי ניצול חלק מהזמן הבין ירוקים לצורך מעבר שארית הרכב את הצומת.

### 3.5 'גלאי ביציאה מתחנה', (Do)

במקרים בהם התחנה קרובה לצומת (כאשר נדרש להתחשב בזמן ההמתנה כחלק מחישוב זמן הנסיעה בין הגלאי הקרוב לבין צומת), מומלץ להציב גלאי נוסף ביציאה מהתחנה, לצורך עדכון החישובים בהתאם לזמן השהייה בפועל.

### 3.6 'גלאים לאיתור רכב באיזור הבלימה'

כחלק מקביעת הזמנים הבין-ירוקים נדרש מידע לגבי קיום רכב באיזור הבלימה ($L_1$). כאשר אין רכב בתחום זה, ניתן לקצר את הזמן הבין ירוקים (ראה פרק ג'). יש להבטיח כיסוי מלא של השטח על ידי הצבת גלאים כמתואר בתרשים ה- 3.

## 4. <u>הגורמים המשפיעים על קביעת סוג הגלאים, מספרם ומיקומם</u>

**הנחיה: סוג הגלאים, מספרם ומיקומם, ייקבע בהתאם למדיניות מתן ההעדפה ולרמת העדיפות שיוחלט לתת לתצ"מ.**

ככל שרמת העדיפות גבוהה יותר וככל שמדיניות מתן ההעדפה הינה יותר סלקטיבית, יש צורך במידע רב יותר וברמה אמינה יותר. לאור זאת יש להתקין גלאים מסוגים ובמיקומים אשר יוכלו לספק את המידע הדרוש לצורך מתן ההעדפה, בהתאם למדיניות שנקבעה.

גורמים רבים משפיעים על קביעת סוג, מספר ומיקום הגלאים של רכבי התצ"מ, אשר מעבירים למרכז בקרת הרמזורים ו/או למנגנון הרמזור את המידע הנחוץ לצורך מתן העדפה ברמזורים.
בין הגורמים העיקריים ניתן לכלול:

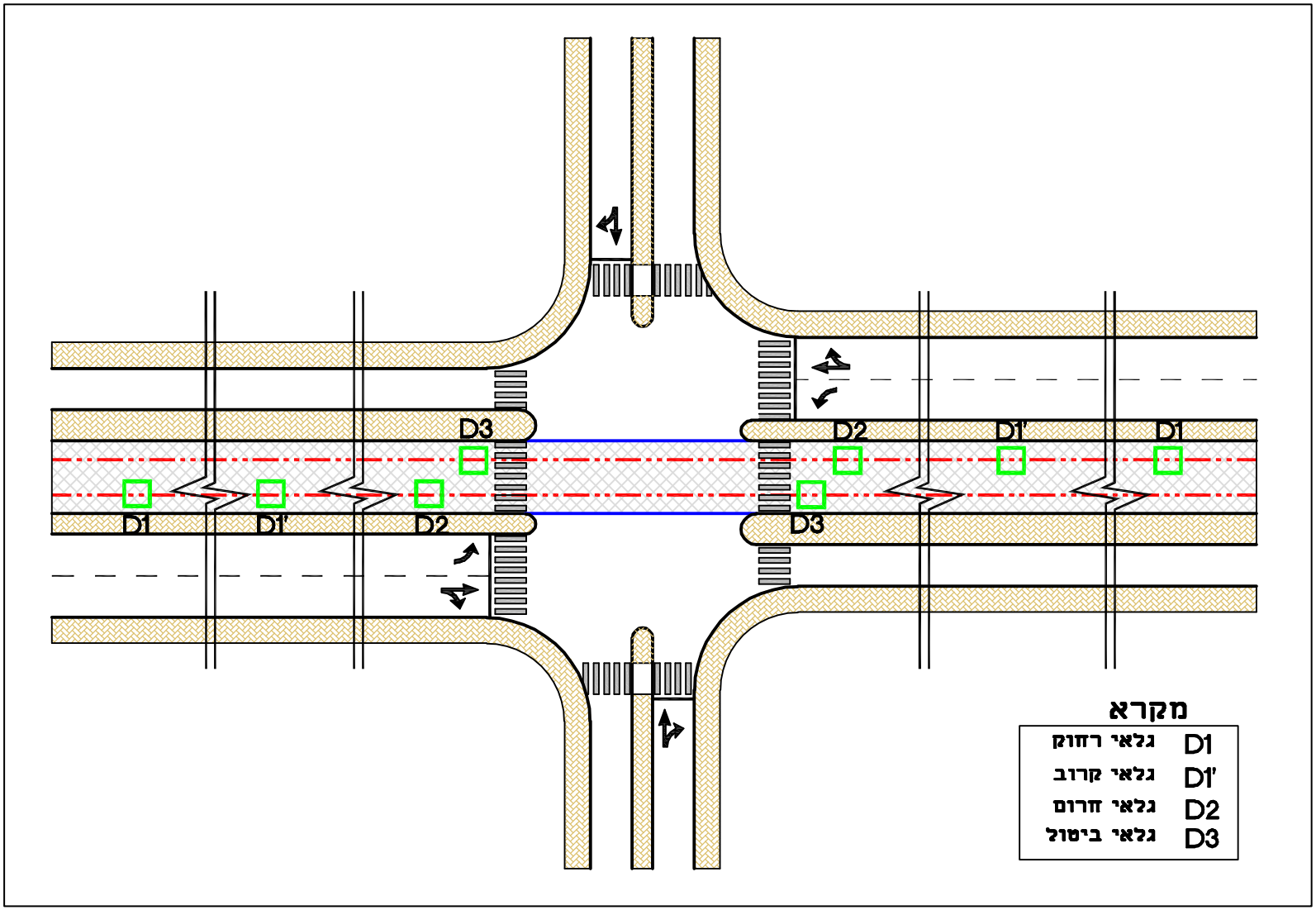
- **מדיניות ההעדפה** – מדיניות ההעדפה תיקבע את תכונות הגלאים הנדרשות למתן ההעדפה. לדוגמא, כאשר ההעדפה היא מותנית ותלויה במאפיינים תפעוליים של רכב התצ"מ, יידרש מידע כגון: זיהוי סוג רכב תצ"מ, זיהוי הקו ונתיב נסיעתו בצומת, זיהוי הקדמה או איחור בלו"ז, זיהוי כיווני נסיעה על תוואי מסילה או על מיסעה משותפת וכו'.
- **תוואי מסלול הנסיעה** של רכב התצ"מ: האם התנועה נעשית בנתיב/מסלול בלעדי או ביחד עם כלל התנועה? האם התחנה ממוקמת לפני הצומת או אחריו? מה המרחק בין הצמתים ? וכו'.
- **פרטים על ביצועי רכב התצ"מ** מבחינת זמנים: מהירות הנסיעה, השונות של מהירות הנסיעה, משך זמן השהות בתחנה וכו'

❖ **ניתן להשתמש בגלאי אחד** למספר מטרות כמו בדוגמאות המפורטות להלן:

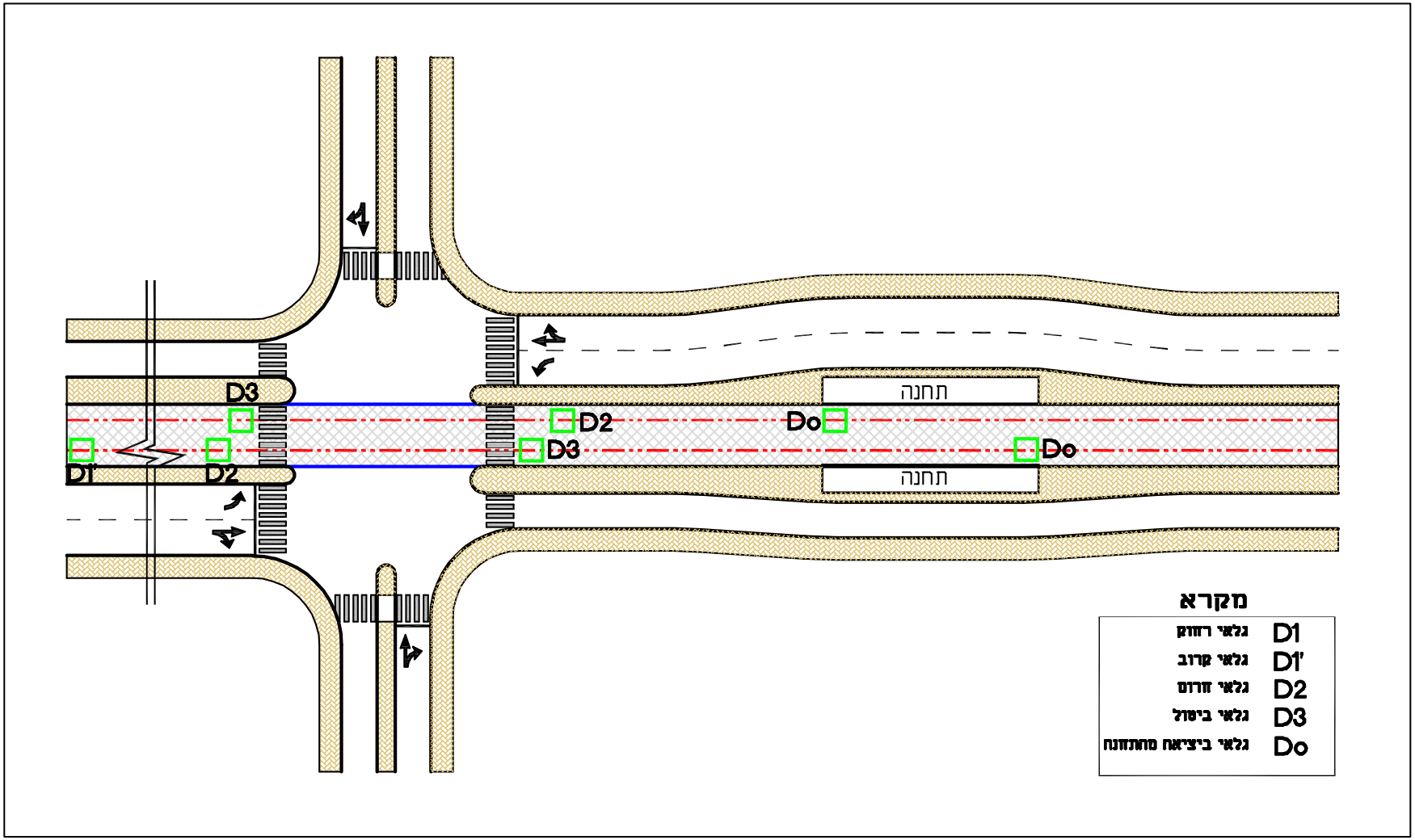
1. בצמתים סמוכים זה לזה - גלאי פינוי בצומת אחד יכול לשמש "גלאי רחוק" או "גלאי קרוב" בצומת הבא.
2. "גלאי חרום" הממוקם באזור קו העצירה בגישה לצומת - יכול לשמש כגלאי ביטול ע"י איתור הרגע שבו הקצה האחורי של רכב התצ"מ חלף על פניו.
3. כאשר התחנה קרובה לצומת - גלאי יציאה מתחנה יכול לשמש גם גלאי חירום.

בתרשימים שלהלן (מס' ה- 1, 2 ו- 3 )מסומנים מיקומים טיפוסיים של גלאי התצ"מ בזרועות של הצומת.

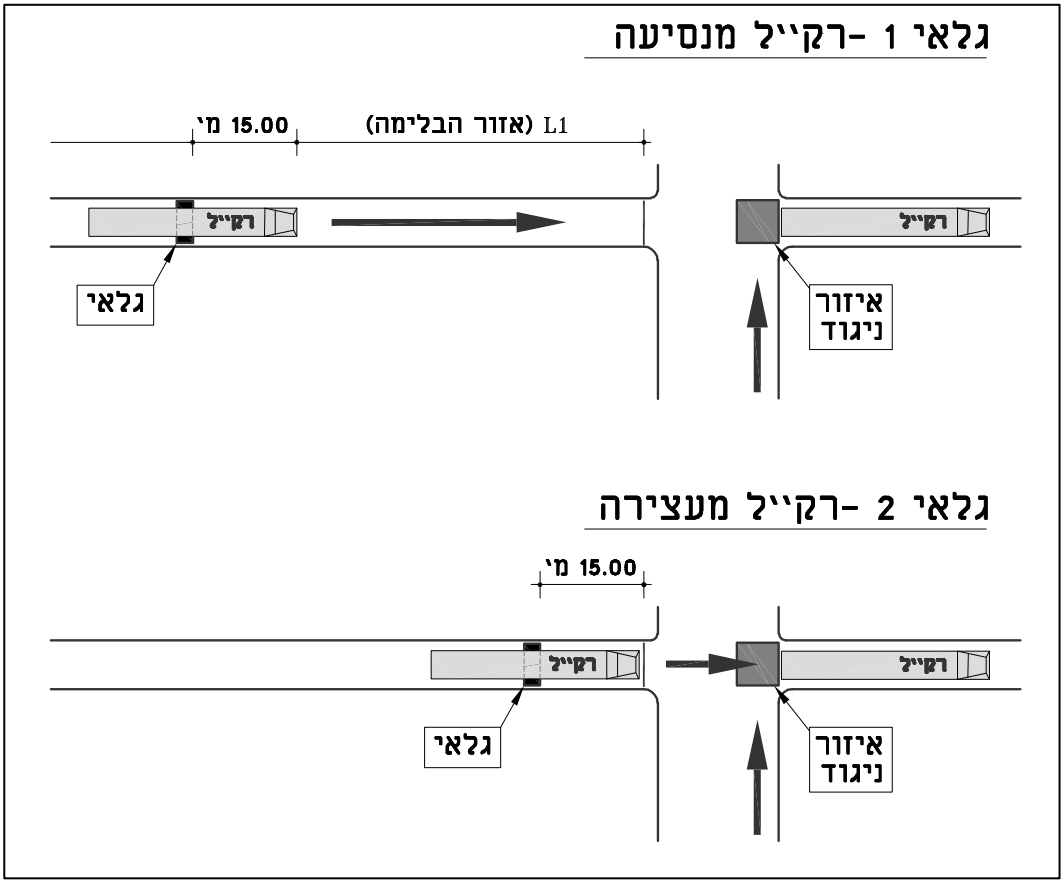
**תרשים ה- 1: מיקום גלאים בצומת ללא תחנה בקירבתו**



**תרשים ה- 2: מיקום גלאים בצומת הסמוך לתחנה**



**<u>תרשים ה- 3: מיקום גלאים לאיתור רכב באזור הבלימה</u>**



# פרק ו'

# תרשימי זרימה

# כללים מנחים לשילוב מערכות הסעת המונים ברמזורים

# פרק ו' - תרשימי זרימה

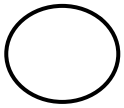
## 1. כללי

תרשים זרימה משמש כסכימה חזותית המראה סדרת מהלכים לוגיים. בתרשים הזרימה נפרס רצף של בדיקות, החלטות ופעולות באופן בהיר והגיוני ככל האפשר.

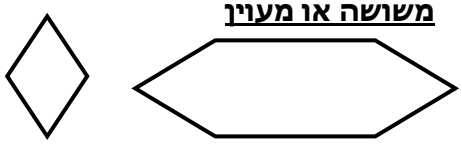
תרשים הזרימה במסגרת תכנית הפעלת הרמזור, מתאר את עקרונות תפעול הרמזור בצומת כפי שקבע מתכנן הרמזור: הסדר בו יופיעו השלבים השונים (שלב – צרוף מופעי ירוק המופיעים בו זמנית) וההתניות, במידה שישנן, לנושאים שונים, כגון: לאיזה שלב להתקדם, מועד תחילת וסיום שלב, וכן את קיום התנאים למתן העדפה.
תרשימי הזרימה מיושמים באמצעות תוכנת "ענבר" (ראה גרסתה המעודכנת ביותר).

הסימונים הבסיסיים של תרשימי זרימה הינם:

**עיגול**


צורת הסימון שבתוכו מציינים את השלב הפעיל.

**משושה או מעוין**


צורת הסימון שבתוכו בודקים קיום תנאי מסויים, אשר ממנו יש שתי יציאות: אחת כשהתנאי מתקיים (+) והשנייה כשהתנאי אינו מתקיים [שלילית (-)].

**מלבן**

.


צורת הסימון שבתוכה מציגים פעולות, הגדרות ופרטי מידע.

**מלבן עם דפנות כפולות**


צורת הסימון שבתוכה כותבים את שם התרשים החלקי (subroutine).

באמצעות סימון קווים וחיצים מוצגים הקשרים בין כל הסימונים הנ"ל ומתווים את מסלולי ההתקדמות האפשריים.

# 2. הרכב תרשימי הזרימה

תפעול הרמזור בצומת שבו ניתנת עדיפות לרכב תצ"מ, הינו תהליך מורכב. המורכבות הולכת וגדלה ככל שרמת ההעדפה גבוהה יותר וככל שהתנאים והמיגבלות למתן ההעדפה מרובים יותר.
בגלל מורכבות זו תרשים הזרימה יפותח בשני שלבים:

**שלב א' – תרשים זרימה בסיסי**

**שלב ב' – תרשים זרימה תפעולי**

## 2.1 תרשים זרימה בסיסי

תרשים הזרימה הבסיסי מציג את סדר השלבים האפשרי ואת המעברים ביניהם, והוא כולל את השאלות הרגילות של תרשימי זרימה, כגון: דרישה, הארכה, נקודות עצירה לתאום גל ירוק, וכו', בהתאם לתכנון הספציפי של אותו רמזור.
לפני הכנת תרשים הזרימה הבסיסי המתכנן צריך לקבוע את מאפייני תפעול הרמזור הקשורים לשלבים שבהם יש מופע ירוק לרכב התצ"מ, ולכללים של מתן העדיפות.
בתרשים הזרימה הבסיסי תוצג, לדוגמא, הגדרת שיטת יישום ההעדפה המתוכננת להינתן לרכב תצ"מ, כגון:

א. ללא שום העדפה
ב. העדפה פאסיבית
ג. העדפה רק ע"י 'הארכת ירוק' בלבד
ד. העדפה רק ע"י 'הקדמת ירוק'
ה. העדפה ע"י שילוב של 'הארכת ירוק' ו'הקדמת ירוק'
ו. העדפה ע"י 'הוספת שלב'
ז. העדפה ע"י שילוב של מספר שיטות מתוך הנ"ל.

תרשים הזרימה הבסיסי יאפשר להציג באמצעות תוכניות הזמנים את המצבים הקיצוניים בהם מיושמת ההעדפה (למשל הארכה מקסימלית, הקדמה מקסימלית, הוספת שלב וכדומה).
לתרשים הזרימה הבסיסי יש לצרף תאור עקרוני של מגבלות המוטלות על יישום ההעדפה ושל מנגנוני פיצוי, אך אין הכרח להציגם בתוכניות הזמנים המופקות מהתרשים הבסיסי.

## 2.2 תרשים זרימה תפעולי

**תרשים הזרימה התפעולי** הוא תרשים המפרט את **כל** התהליכים הלוגיים הדרושים לצורך תפעול הרמזור, בהתאם לכוונת המתכנן. תהליכים אלה כוללים: איסוף וניהול המידע, ביצוע חישובים וקבלת החלטות. בהתאם להחלטות שמתקבלות מהתרשים התפעולי ניתן לגזור את תכניות הזמנים שיכולות להתקבל, בתלות בנקודת הזמן במחזור שבו מגיע רכב התצ"מ לצומת.

התרשים התפעולי יפותח מתוך התרשים הבסיסי ויכלול מספר ניכר של תרשימים חלקיים שמטרתם לאפשר כתיבה מסודרת, להקל על הבנת התרשים ולמנוע את הצורך בהצגה חוזרת של אותם מהלכים.

אי לכך מבנה תרשים הזרימה התפעולי יכלול את האלמנטים הבאים:

- תרשים תפעולי ראשי
- תרשימים חלקיים (Subroutine)

### 2.2.1 תרשים תפעולי ראשי

**התרשים התפעולי הראשי נגזר ישירות מתוך תרשים הזרימה הבסיסי** ומתאר את עקרונות תפעול הרמזור בצומת, את הסדר בו יופיעו השלבים השונים ואת ההתניות, במידה שיש, לנושאים שונים כגון: מתן שלב, מועד תחילת ו/או סיום שלב, הארכת שלב וכו'. התרשים התפעולי הראשי כולל בנוסף הפניה אל התרשימים החלקיים, סדר פעולתם והתנאים להפעלת כל תרשים חלקי, במידה וישנם תנאים כאלה.

סדר השלבים בפועל ייקבע על פי מידע עדכני ככל האפשר, שמתקבל בכל נקודת זמן ממקורות חיצוניים, כגון גלאים, מרכז בקרה וכו', וכן מאיסוף המידע ועיבודו הנעשים על פי התרשימים החלקיים.

### 2.2.2 תרשימים חלקיים

התרשימים החלקיים מתארים פעולות מסוימות החוזרות על עצמן בדרך כלל, כגון:

- איסוף וניהול מידע על רכב התצ"מ
- ביצוע השוואות וחישובים שונים לקבלת החלטות במסגרת התניות ואילוצים שהוגדרו מראש כדי לקבוע למי ומתי לתת עדיפות
- איסוף ושמירת המידע על משך הירוק של המופעים השונים במחזורים קודמים, וקביעת משכי הזמן למחזורים הבאים, על סמך מידע זה.

את התרשימים החלקיים ניתן לחלק לארבע קבוצות עיקריות:

(א) תרשימים חלקיים לחישוב משכי המופעים ברמזור.
(ב) תרשימים חלקיים לחישוב זמני הגעת רכב התצ"מ לצומת.
(ג) תרשימים חלקיים לקבלת החלטה את מי להעדיף.
(ד) תרשימים חלקיים קביעת שיטת יישום ההעדפה.

**א. תרשימים חלקיים לחישוב משכי המופעים ברמזור**

באמצעות תרשימים חלקיים אלה ניתן לעקוב אחר משכי הירוק הניתנים בפועל לכל אחד מהמופעים, ולקבוע על פי כללים שנקבעו מראש את משך הירוק לכל מופע במחזור הקרוב. המעקב אחר משכי הירוק יבוצע במשך מספר מחזורים, בהתאם להחלטת המתכנן.
לדוגמא, חישוב משך הירוק יכול להתבצע בשיטות הבאות:

- חישוב משך ירוק במופעים המשניים על בסיס ירוק ממוצע - חישוב משך ירוק הממוצע שניתן בפועל למופע במספר נתון של מחזורים קודמים. חישוב משך הירוק המינימלי במחזור הקרוב בהתאם לערכי סף שהוגדרו בתכנית.
- חישוב משך ירוק במופעים המשניים על בסיס ההפחתה המצטברת במשך הירוק - חישוב ההפחתה במשך הירוק של המופע במחזורים קודמים והשוואתו לערך סף שהוגדר בתוכנית.

**ב. תרשימים חלקיים לחישוב זמני הגעת רכב התצ"מ לצומת**

באמצעות תרשימים אלה ניתן לעקוב אחר מיקום רכבי התצ"מ הצפויים להגיע לצומת (ומיועדים להעדפה) ולחשב את זמן ההגעה החזוי. המעקב מתבצע מרגע האיתור הראשוני ומעודכן בכל פעם שמתקבל מידע חדש לגבי מיקום הרכב (באמצעות גלאים נוספים). המעקב מופסק ברגע שרכב התצ"מ עבר בצומת.
בקבוצת תרשימים זו יכלל לדוגמא, תרשים חלקי לעדכון משך השהות של רכב התצ"מ בתחנה. תרשים זה יכלול מעקב אחר משך השהות בפועל של רכב התצ"מ בתחנה, חישוב ממוצע שהייה של מספר נתון של כלי רכב קודמים. משך השהות הממוצע ישמש לעדכון מועד הגעת רכב התצ"מ לצומת.

**ג. תרשים חלקי לקבלת החלטה את מי להעדיף:**

מתן ההעדפה תלוי לעיתים בגורמים כגון: מדיניות העדפה כללית, כיוון נסיעת הרכבת, מרווח זמן לרכבת קודמת, אורך התורים בכיוונים המשניים, מתן העדפה במחזור קודם וכו'.
לצורך החלטה על מתן העדפה, על המנגנון לקבל את המידע הרלוונטי כגון: מספר הקו, סטיית רכב התצ"מ מהלו"ז המתוכנן, כמות נוסעים.
בתרשים חלקי זה יקבע האם לתת העדפה לרכב התצ"מ ואיזה רכב להעדיף במידה ומספר כלי רכב מתחרים על העדפה ולא ניתן לספק את כולם.

**ד. תרשימים חלקיים לקביעת שיטת יישום ההעדפה**

בתרשימים מסוג זה תיקבע שיטת ההעדפה שתיושם, בתלות במועד ההגעה החזוי לצומת בהתחשב במדיניות ההעדפה, מגבלות התכנון, מאפייני רכבי התצ"מ המועמדים להעדפה וכדומה.

# נספחים

# נספח מס' 1
# דוגמא לחישוב תפעול צומת בשלב הבדיקה המיקדמית

## דוגמא לחישוב יחס נפח/קיבולת לתנועות הקריטיות ברמזור עם מסלול רק"ל
## פירוט דרך החישוב בדוגמא המצורפת

### א. ערכים לתכנון

1. **מקדם ית"ן לנפח בפניה** – יחס בין קיבולת לנתיב ישר (1,800) לקיבולת של נתיב פניה (1,600): 1,800/1,600 = 1.125.
2. **זמן דרוש לרק"ל בצומת**: בדוגמא - 5 שניות ירוק ו – 20 שניות זמנים בין-ירוקים, סה"כ 25 שניות.
3. **מספר מחזורים בשעה** עבור מחזור של 120 שניות:
   30 מחזורים בשעה = 120 שנ' למחזור/3,600 שנ' בשעה
4. **סך זמני הפינוי בצומת ללא רק"ל**: מחושב לפי הגיאומטריה וההנחיות לתכנון רמזורים. בדוגמא – 23 שניות.
5. **סך זמן ירוק זמין בצומת ללא רק"ל** שווה לזמן המחזור פחות זמני הפינוי:
   97 שנ' = 23- 120 שנ'

### ב. חישוב הסתברות הופעת רק"ל

1. **תדירות הופעת רק"ל בצומת** – מחצית התדירות לכיוון אחד: בדוגמא:
   2.5 דקות = 2 / 5 דקות
2. **מספר רכבות בשעה**: 24 רכבות לשעה = 2.5 דקות / 60 דקות
3. **ירוק מקביל לרק"ל במחזור**: זמן ירוק לכיוונים המקבילים למסילה. בדוגמא – 22 שנ'
4. **אדום לרק"ל במחזור**: זמן מחזור פחות הירוק הזמין: 98 שנ' = 22 – 120 שנ'
5. **הסתברות להופעת רכבת במחזור**: מספר רכבות בשעה מחולק במספר המחזורים:
   0.8 = 30 מחזורים בשעה/24 רכבות בשעה
6. **ההסתברות שיהיה אות אדום כהרכבת מגיעה לצומת**: זמן אדום לרק"ל במחזור מחולק בזמן המחזור: 0.817 = 120 שנ' / 98 שנ'
7. **ההסתברות שרכבת תגיע לאות האדום**: מכפלת ההסתברות שתגיע רכבת באדום ההסתברות שתגיע רכבת במחזור: 0.8 X 0.817 = 0.65
8. **הזמן האבוד הממוצע למחזור (מעוגל)**: הזמן הדרוש לרק"ל (25 שנ') כפול ההסתברות שרק"ל תגיע במחזור: 16 שנ' = 25 X 0.65 שנ'

### ג. טבלת חישוב יחס נפח/קיבולת למספר קובע ללא רק"ל

1. **משך האות הירוק לכל תנועה** נקבע בתהליך תכנון רמזורים רגיל.
2. **נפח ית"ן בתנועה**: נפח ישר + נפחי הפניה כפול מקדם הפניה. לדוגמא: תנועה מס' 4: 200 + (240 X 1.125) = 470
3. **נפח לנתיב**: נפח תנועה מחולק במספר הנתיבים.
4. **מספר קובע**: סך הנפחים בתנועות הקריטיות. בדוגמא:
   414 + 221 + 235 +116 = 986

5. **קיבולת למספר הקובע**: מכפלת קיבולת נתיב (1,800) באחוז הזמן הירוק הזמין בצומת: 1,455 = 120 / 97 שנ'
6. **יחס נפח/קיבלות למספר הקובע**: 0.68 = 1,455 / 986

## ד. <u>יחס נפח/קיבולת למספר קובע מעודכן לרק"ל</u>

1. **זמן אבוד במחזור עם רק"ל**: סכום זמני הפינוי והזמן האבוד הממוצע למחזור עקב נוכחות רק"ל: 39 שנ' = 16 + 23 שנ'
2. **קיבולת זמינה במחזור עם רק"ל**: מכפלת קיבולת נתיב (1,800 ית"ן) באחוז הזמן הירוק הזמין בצומת עם רק"ל: $1,800X\frac{(120-39)}{120}=1,215$
3. **יחס נפח/קיבלות למספר הקובע עם רק"ל**: 0.82 = 1,215 / 997

## בדיקה מיקדמית - דוגמא לחישוב יחס נפח/קיבולת לתנועות הקריטיות ברמזור עם מסלול רק"ל

### א. ערכים לתכנון:

| | | | |
|---|---|---|---|
| **נפחי רוויה למספר הקובע בצומת:** | **1,800** | ית"ן | |
| **מקדמי ית"ן:** | ישר | **1.00** | |
| | פניה | **1.125** | (עבור 1,600 ית"ן לשעה) |
| תדירות רק"ל לכיוון | **5** | דקות | |
| זמן דרוש לרק"ל בצומת | **25** | שניות | |
| מחזור בסיס | **120** | שניות | |
| מספר מחזורים בשעה | **30** | | |
| סך זמני פינוי בצומת | **23** | (ללא רק"ל) | |
| סך ירוק זמין בצומת | **97** | (ללא רק"ל) | |

### ב. חישוב הסתברות הופעת רק"ל
**וזמן אבוד למחזור ממוצע עקב נוכחות הרק"ל**

| ערכים לחישוב: | | | | מקור |
|---|---|---|---|---|
| תדירות רק"ל | | 5 | דקות | נתון |
| תדירות לשני כיוונים | | 2.5 | דקות | (5/2) |
| מספר רכבות בשעה | | 24 | | (60/2.5) |
| זמן מחזור | | 120 | שנ' | נתון |
| מספר מחזורים בשעה | | 30 | | 3,600/120) |
| ירוק מקביל לרק"ל במחזור | | 22 | שנ' | תזמון ראשו |
| אדום לרק"ל במחזור | | 98 | שנ' | (120-31) |
| הסתברות להופעת רכבת במחזור | | 0.8 | | (24/30) |
| הסתברות שיהיה אדום | | 0.817 | | (98/120) |
| הסתברות שתגיע רכבת באדום | | 0.65 | | 0.8X0.817) |
| זמן אבוד לכל רכבת | | 25 | שנ' | סע + פינוי |
| **הזמן האבוד הממוצע למחזור (מעוגל)** | | **16** | **שנ'** | (25X0.65) |

**תרשים הצומת ונפחי תנועה**




### ג. טבלת חישוב יחס נפח/קיבולת למספר קובע ללא רק"ל:

| תנועה * | מס' נתיבים | ירוק (שנ') | נפח ישר | נפח ימינה | נפח שמאלה | נפח ית"ן שקול | נפח לנתיב הקובע | מספר קובע | קיבולת למספר הקובע (1) | יחס נפח/קיבולת למספר הקובע |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3 | 69 | 1,604 | 0 | 0 | 1,604 | 535 | 986 | 1,455 | **0.68** |
| *2 | 2 | 41 | 0 | 0 | 736 | 828 | 414 | | | |
| *3 | 3 | 22 | 664 | 0 | 0 | 664 | 221 | | | |
| * 4 | 2 | 23 | 200 | 0 | 240 | 470 | 235 | | | |
| *5 | 2 | 11 | 128 | 92 | 40 | 277 | 116 | | | |
| 6 | 2 | 69 | 0 | 436 | 0 | 491 | 245 | | | |

* - תנועה קריטית

**(1) קיבולת למספר קובע = מחזור / (1,800 X אחוז ירוק זמין)**

### ד. יחס נפח/קיבולת למספר קובע מעודכן לרק"ל

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1. זמן אבוד במחזור עקב רק"ל - | 16 | שניות | |
| 2. זמן אבוד במחזור עם רק"ל - | 39 | שניות | (23+16) |
| 3. קיבולת במחזור עם רק"ל - | 1,215 | ית"ן | 1800 * (120-39)/120 |
| 4. יחס נפח/קיבולת במחזור עם רק"ל - | **0.81** | | (986/1,215) |

# נספח מס' 2

# דוגמא לחישוב תפעול הצומת

# בשלב הבדיקה התפעולית

## 1. רמזור קצוב זמן (מחזור קבוע)

**א. עם קיבולת שעתית לנתיב – 1,800 ית"ן**

**ב. עם קיבולת שעתית לנתיב – 2,000 ית"ן**

## 2. רמזור מופעל תנועה (מחזור משתנה)

**א. עם קיבולת שעתית לנתיב – 1,800 ית"ן**

**ב. עם קיבולת שעתית לנתיב – 2,000 ית"ן**

# <u>רמזור קצוב זמן (מחזור קבוע)</u>

**א.עם קיבולת שעתית לנתיב – 1,800 ית"ן**

**ב.עם קיבולת שעתית לנתיב – 2,000 ית"ן**

## 1. דוגמא לחישוב הבדיקה התפעולית ברמזור קצוב זמן (מחזור קבוע)
## פירוט דרך החישוב בדוגמא המצורפת

### חישוב ערכים בטבלה

### א. ללא רכבת

1. **נפח שקול**: נפח ישר + נפחי הפניה כפול מקדם הפניה.
2. **נפח לנתיב**: נפח בתנועה מחולק במספר הנתיבים.
3. **מספר קובע**: סך הנפחים בתנועות הקריטיות.
4. **אחוז מהמספר הקובע**: נפח בתנועה מחולק במספר הקובע
5. משך ירוק: מספר שניות המוקצב לתנועה ע"י המתכנן.
6. g/C: יחס משך ירוק לזמן המחזור
7. אופן הגעה: נקבע בהתאם לקיום גל ירוק ואיכותו, כלומר מתי מגיעה השיירה לצומת (באדום, בתחילת, באמצע או בסוף ירוק וכד').
8. מקדם גל ירוק: מקדם המחושב לפי טבלה א-5 שבפרק א, סעיף 3.2.2.
9. קיבולת: מכפלת קיבולת לנתיב במספר הנתיבים
10. קיבולת זמינה: מכפלת הקיבולת ביחס g/C.
11. יחס נפח/קיבולת: חלוקת הנפח בקיבולת הזמינה.
12. עיכוב: העיכוב מחושב על פי נוסחאות הכלולות בפרק א, סעיף 3.2.2.
13. רמת השירות: רמת השירות נקבעת על פי העיכוב כמוצג בטבלה בפרק א, סעיף 3.2.2.

### ב. עם רכבת

14. **ההסתברות שהרק"ל תגיע בתחום המחזור בו תהיה דרושה הארכת מופע:**
אורך פרק זמן זה במחזור: 5 שנ' ירוק + 20 שנ' זמן פינוי + 11 שניות על מנת לאפשר מופע נוסף (6 שניות ירוק + 5 שניות פינוי) = 36 שניות. ההסתברות שהרק"ל תגיע במשך פרק זמן זה: 30% = 120 / 36 שנ'
15. **ההסתברות שהרק"ל תגיע בתחום המחזור בו תהיה דרושה הקדמת מופע**:
אורך פרק זמן זה במחזור: 5 שנ' ירוק + 20 שנ' זמן פינוי + 11 שניות על מנת לאפשר מופע נוסף (6 שניות ירוק + 5 שניות פינוי) = 36 שניות. ההסתברות שהרק"ל תגיע במשך פרק זמן זה: 30% = 120 / 36 שנ'
16. **ההסתברות שהרק"ל תגיע בתחום המחזור בירוק, בו לא תהיה דרושה הארכת מופע:** אורך פרק זמן זה במחזור מבוסס על אורך הירוק במופע המקביל ועוד זמן הפינוי שלו פחות משך הירוק + הפינוי של הרק"ל. בדוגמא, במופע 3 יחושב כך:
8 שניות = 25 שנ' – 33 שניות. ההסתברות שהרק"ל תגיע במשך פרק זמן זה היא 7% = 120 / 8 שנ'

**ההסתברות שהרק"ל תגיע בתחום המחזור** בו יהיה דרוש מופע מיוחד: אורך פרק זמן זה במחזור הוא סך המחזור פחות הזמנים בסעיפים 14, 15 ו – 16. ההסתברות שהרק"ל תגיע במשך פרק זמן זה שיחייב מופע מיוחד – משך הזמן מחולק במחזור.
בדוגמא: 31% = 120 / 37 שנ'

17. **הארכת מופע ממוצעת** תהיה חצי מההארכה המרבית. לכן ה"נזק", כלומר הזמן האבוד עבור הרק"ל, שייגרם מהארכת מופע הוא מחצית מ – 36 שניות, כלומר 18 שניות.
18. באופן דומה **ה"נזק" שייגרם מהקדמת מופע** הוא 18 שניות.
19. **ה"נזק" שייגרם ממופע נוסף** הוא, בדוגמא, 25 שניות (5 שניות ירוק + 25 שניות פינוי).
20. ה**"נזק" המשוקלל** של הרק"ל במחזור ממוצע הוא מחושב ע"י מכפלת כל אחד מה"נזקים" בהסתברות שהוא יקרה.

בדוגמא: 19 שנ' = 31% X 25 + 30% X 18 + 30% X 18

21. **ההסתברות שרכבת תופיע במחזור:** מספר רכבות בשעה מחולק במספר המחזורים:

0.8 = 30 מחזורים בשעה/24 רכבות בשעה

22. **"נזק" ממוצע במחזור:** "נזק" במחזור כפול ההסתברות להופעת רכבת במחזור.
23. את ה"נזק" הממוצע למחזור עם רכבת מוסיפים למופע המקביל לרק"ל ומפחיתים בהתאם משך ירוק ממופעים אחרים על מנת לשמור על המחזור. בדוגמא משך הירוק של תנועה 3 (קיבולת נתיב – 1,800 ית"ן) יהיה: 42 שנ' = 15 שנ' + 27 שנ'
24. **טבלת השוואת עיכובים ורמות שירות** – על פי העיכוב לתנועה והתבחינים של רמות השירות.

# דוגמא: צומת במחזור קבוע

## קיבולת נתיב שעתית - 1,800 ית"ן

## ללא רכבת

**שעת שיא בוקר** מחזור - 120 שנ'

| גישה | כיוון | תנועה מס' | נפח תנועה | | | מס' נתיבים | קובע | נפח לנתיב | אחוז ממס' קובע | ירוק (שנ') | g/C | סוג הגעה | מקדם גל ירוק | קיבולת | קיבולת זמינה | נפח/קיבולת* | עיכוב על פי HCM | | | רמת שירות |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ישר | פניה | נפח ית"ן שקול | | | | | | | | | | | | אחיד | אינקרמנאטלי | סה"כ | |
| מצפון | ישר | 1 | 1604 | | 1,604 | 3 | | 535 | 54% | 66 | 0.55 | 4 | 0.576 | 5,400 | 2,970 | 54% | 17.28 | 8.71 | 18.67 | B |
| | שמאלה | 2 | | 736 | 828 | 2 | * | 414 | 42% | 39 | 0.33 | 4 | 0.9 | 3,600 | 1,170 | 71% | 35.5 | 17.57 | 49.52 | D |
| מדרום | ימינה | חופשי | | 50 | 56 | 1 | | 56 | | | | | | | | | | | | |
| | ישר | 3 | 664 | | 664 | 3 | * | 221 | 22% | 27 | 0.23 | 4 | 0.99 | 5,400 | 1,215 | 55% | 41.09 | 8.94 | 49.62 | D |
| ממזרח | ימינה | 6 | | 436 | 491 | 2 | | 245 | 25% | 60 | 0.50 | 3 | 1 | 3,600 | 1,800 | 27% | 17.37 | 2.80 | 20.17 | C |
| | ישר | 4 | 200 | | 200 | 2 | *[ | 235 | 24% | 21 | 0.18 | 3 | 1 | 3,600 | 630 | 32% | 43.24 | 3.48 | 46.72 | D |
| | שמאלה | 4 | | 240 | 270 | | | | | | | | | | | | | | | |
| ממערב | ימינה | 5 | | 40 | 45 | 2 | *[ | 116 | 12% | 10 | 0.08 | 3 | 1 | 3,600 | 300 | 15% | 51.05 | 1.32 | 52.37 | D |
| | ישר | 5 | 128 | | 128 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | שמאלה | 5 | | 92 | 104 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | סה"כ | 100% | 97 | | | | | | * מכס' - 1.0 | | | | |

**מספר קובע:** צפון-דרום 635
מזרח-מערב 351
**סה"כ 986**

**סדר מופעים רגיל:**

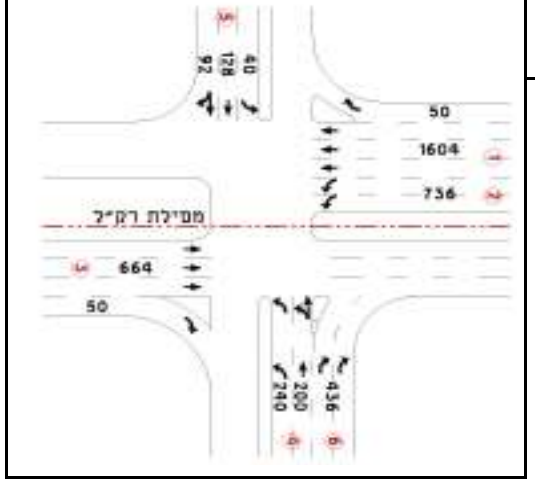
| שלב | תנועות | זמן פינוי |
|---|---|---|
| 1 | 2 + 1 | 6 |
| 2 | LRT + 3 + 1 | 5 |
| 3 | 4 | 6 |
| 4 | 5 | 6 |

**מחזור פחות זמני פינוי** 97

זמן זמין לרק"ל (ירוק + בין ירוקים בכיוון המקביל לרק"ל) 33

**נתוני הצומת המתייחסים לצמתים סמוכים:**
1. תנועות 1, 2, 3 נמצאות בגל ירוק באיכות בינונית - סוג הגעה 4
2. תנועות 1, 2, 3 נמצאות בסמוך לצמתים עם דרגת רוויה 0.8. 0.5 = I בנוסחה האינקרמנטלית

**תרשים הצומת ונפחי תנועה**



# דוגמא: צומת במחזור קבוע

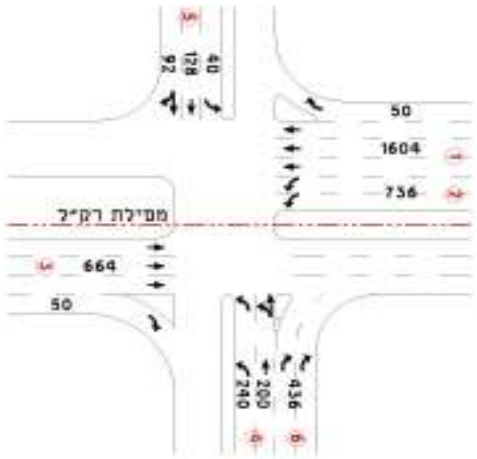
## קיבולת נתיב שעתית - 1,800 ית"ן

### עם רכבת

**שעת שיא בוקר** מחזור - 120 שנ'

| גישה | כיוון | מופע מס' | נפח תנועה | | | מס' נתיבים | קובע | נפח לנתיב | אחוז ממס' קובע | ירוק (שנ') | g/C | סוג הגעה | מקדם גל ירוק | קיבולת | קיבולת זמינה | נפח/קיבולת* | עיכוב על פי HCM | | | רמת שירות |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ישר | פניה | נפח ית"ן שקול | | | | | | | | | | | | אחיד | אינקרמנאטלי | סה"כ | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| מצפון | ישר | 1 | 1604 | | 1,604 | 3 | | 535 | 54% | 71 | 0.59 | 4 | 0.256 | 5,400 | 3,195 | 50% | 14.23 | 0.17 | 3.81 | A |
| | שמאלה | 2 | | 736 | 828 | 2 | * | 414 | 42% | 29 | 0.24 | 4 | 0.98 | 3,600 | 870 | 95% | 44.81 | 4.68 | 48.59 | D |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| מדרום | ימינה | חופשי | | 50 | 56 | 1 | | 56 | | | | | | | | | | | | |
| | ישר | 3 | 664 | | 664 | 3 | * | 221 | 22% | 42 | 0.35 | 4 | 0.82 | 5,400 | 1,890 | 35% | 28.9 | 0.09 | 23.79 | C |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ממזרח | ימינה | 6 | | 436 | 491 | 2 | | 245 | 25% | 47 | 0.39 | 3 | 1 | 3,600 | 1,410 | 35% | 25.71 | 0.13 | 25.84 | C |
| | ישר | 4 | 200 | | 200 | 2 | *[ | 235 | 24% | 18 | 0.15 | 3 | 1 | 3,600 | 540 | 37% | 45.9 | 0.13 | 46.03 | D |
| | שמאלה | 4 | | 240 | 270 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ממערב | ימינה | 5 | | 40 | 45 | 2 | *[ | 116 | 12% | 8 | 0.07 | 3 | 1 | 3,600 | 240 | 19% | 52.93 | 0.13 | 53.06 | D |
| | ישר | 5 | 128 | | 128 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | שמאלה | 5 | | 92 | 104 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | סה"כ | 100% | 97 | | | | | | * מכס' - 1.0 | | | | |

**תרשים הצומת ונפחי תנועה**




| | | |
|---|---|---|
| **מספר קובע:** | צפון-דרום | 635 |
| | מזרח-מערב | 351 |
| | **סה"כ** | **986** |

LRT1 עם מופע 2 (כיוונים 6+3+1)
LRT2 עם מופע 2 (כיוונים 6+3+1)

**סדר מופעים וזמן ירוק לרק"ל:**

| מופע | תנועות | זמן מפינוי | ירוק לרק"ל |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 + 1 | 6 | |
| 2 | LRT + 3 + 1 | 5 | 47 |
| 3 | | 6 | |
| 4 | 5 | 6 | |

לזמן הירוק של מופעים 1 + 3 נוספות 15 שניות על חשבון המופעים האחרים (עבור הרק"ל)

| | |
|---|---|
| מחזור פחות זמני פינוי | 82 |

# דוגמא: צומת במחזור קבוע (המשך)

## קיבולת נתיב שעתית - 1,800 ית"ן

## עם רכבת (המשך)

### הסתברויות (ר' פירוט דרך החישוב)

| | אורך בשניות | הסתברות | |
|---|---|---|---|
| הסתברות שהרק"ל תגיע בטווח הדרוש להארכת מופע | 36 | 30% | |
| הסתברות שהרק"ל תגיע בטווח הדרוש להקדמת מופע | 36 | 30% | |
| זמן שהרק"ל מגיעה בירוק ולא צריך הארכה (25-33 שנ') | 8 | 7% | אורך ירוק מופע 3 פחות 5 שניות ירוק לרק"ל ופחות 20 שניות פינוי רק"ל |
| ההסתברות שהרק"ל תגיע בטווח הדרוש למופע מיוחד | 40 | 33% | |
| | 120 | 100% | |
| ה"נזק" שייגרם ע"י הארכה מופע - חצי מ - 36 שניות (11+25) | | 18 | שניות |
| ה"נזק" שייגרם ע"י הקדמת פתיחת ירוק - חצי מ - 36 שניות (11+25) | | 18 | שניות |
| ה"נזק" שייגרם ע"י מופע נוסף - 25 שניות (5 ירוק +20 פינוי) | | 25 | שנ' |
| ה"נזק" המשוקלל: "נזק" של כל אחד X ההסתברות שיקרה (מעוגל) | | 19 | שניות במחזור |

ההסברות שרק"ל תגיע במחזור:

| | |
|---|---|
| תדירות לכיוון (דקות) | 5 |
| ל-2 כיוונים | 2.5 |
| מספר רכבות בשעה | 24 |
| מספר מחזורים בשעה | 30 |
| הסתברות שרכבת תופיע במחזור | 80% |

| | | |
|---|---|---|
| "נזק" ממוצע במחזור= נזק משוקלל X הסתברות להופעת רכבת (מעוגל) | 15 | שניות |

הערה: ההסתברות המירבית להופעת רכבת - 1.0.

**השוואת עיכובים ורמות שירות**

| | ללא רק"ל | | עם רק"ל | |
|---|---|---|---|---|
| מופע מס' | עיכוב | LOS | עיכוב | LOS |
| 1 | 18.67 | B | 3.81 | A |
| 2 | 49.52 | D | 48.59 | D |
| 3 | 49.62 | D | 23.79 | C |
| 4 | 46.72 | D | 46.03 | D |
| 5 | 52.37 | D | 53.06 | D |
| 6 | 20.17 | C | 25.84 | C |

# דוגמא: צומת במחזור קבוע

## קיבולת נתיב שעתית - 2,000 ית"ן

## ללא רכבת

**שעת שיא בוקר** מחזור - 120 שנ'

| גישה | כיוון | תנועה מס' | נפח תנועה | | | מס' נתיבים | קובע | נפח לנתיב | אחוז ממס' קובע | ירוק (שנ') | g/C | סוג הגעה | מקדם גל ירוק | קיבולת | קיבולת זמינה | נפח/קיבולת* | עיכוב על פי HCM | | | רמת שירות |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ישר | פניה | נפח ית"ן שקול | | | | | | | | | | | | אחיד | אינקרמנאטלי | סה"כ | |
| מצפון | ישר | 1 | 1604 | | 1,604 | 3 | | 535 | 54% | 66 | 0.55 | 4 | 0.576 | 6,000 | 3,300 | 49% | 16.58 | 7.04 | 16.59 | B |
| | שמאלה | 2 | | 736 | 828 | 2 | * | 414 | 42% | 39 | 0.33 | 4 | 0.9 | 4,000 | 1,300 | 64% | 34.47 | 12.90 | 43.93 | D |
| מדרום | ימינה | חופשי | | 50 | 56 | 1 | | 56 | | | | | | | | | | | | |
| | ישר | 3 | 664 | | 664 | 3 | * | 221 | 22% | 27 | 0.23 | 4 | 0.99 | 6,000 | 1,350 | 49% | 40.52 | 7.20 | 47.32 | D |
| ממזרח | ימינה | 6 | | 436 | 491 | 2 | | 245 | 25% | 60 | 0.50 | 3 | 1 | 4,000 | 2,000 | 25% | 17.1 | 2.43 | 19.53 | B |
| | ישר | 4 | 200 | | 200 | 2 | *[ | 235 | 24% | 21 | 0.18 | 3 | 1 | 6,000 | 1050 | 19% | 42.25 | 1.76 | 44.01 | D |
| | שמאלה | 4 | | 240 | 270 | | | | | | | | | | | | | | | |
| ממערב | ימינה | 5 | | 40 | 45 | 2 | *[ | 116 | 12% | 10 | 0.08 | 3 | 1 | 4,000 | 333 | 14% | 50.99 | 1.17 | 52.16 | D |
| | ישר | 5 | 128 | | 128 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | שמאלה | 5 | | 92 | 104 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | סה"כ | 100% | 97 | | | | | | * מכס' - 1.0 | | | | |

**מספר קובע:** צפון-דרום 635
מזרח-מערב 351
**סה"כ 986**

**סדר מופעים רגיל:**

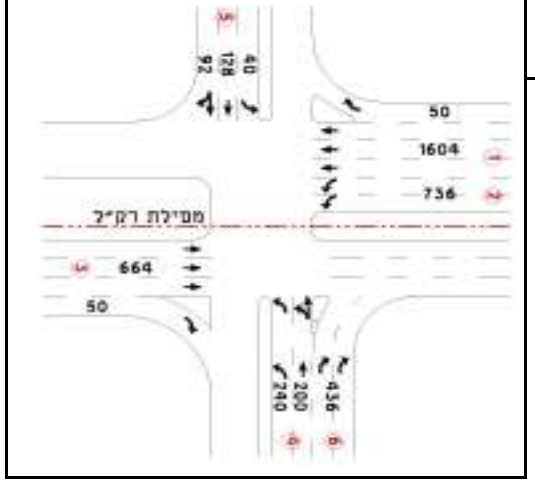
| שלב | תנועות | זמן פינוי |
|---|---|---|
| 1 | 1 + 2 | 6 |
| 2 | LRT + 3 + 1 | 5 |
| 3 | 4 | 6 |
| 4 | 5 | 6 |

**מחזור פחות זמני פינוי** 97

זמן זמין לרק"ל (ירוק + בין ירוקים בכיוון המקביל לרק"ל) 33

**נתוני הצומת המתייחסים לצמתים סמוכים:**
1. תנועות 1, 2, 3 נמצאות בגל ירוק באיכות בינונית - סוג הגעה 4
2. תנועות 1, 2, 3 נמצאות בסמוך לצמתים עם דרגת רוויה 0.8. 0.5 = I בנוסחה האינקרמנטלית

**תרשים הצומת ונפחי תנועה**



# דוגמא: צומת במחזור קבוע

## קיבולת נתיב שעתית - 2,000 ית"ן

## עם רכבת

**שעת שיא בוקר** מחזור - 120 שנ'

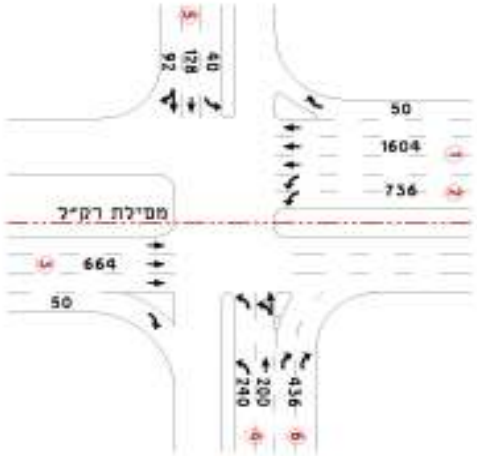
| גישה | כיוון | מופע מס' | נפח תנועה | | | מס' נתיבים | קובע | נפח לנתיב | אחוז ממס' קובע | ירוק (שנ') | g/C | סוג הגעה | מקדם גל ירוק | קיבולת | קיבולת זמינה | נפח/קיבולת* | עיכוב על פי HCM | | | רמת שירות |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ישר | פניה | נפח ית"ן שקול | | | | | | | | | | | | אחיד | אינקרמנאטלי | סה"כ | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| מצפון | ישר | 1 | 1604 | | 1,604 | 3 | | 535 | 54% | 71 | 0.59 | 4 | 0.256 | 6,000 | 3,550 | 45% | 13.65 | 0.12 | 3.62 | A |
| | שמאלה | 2 | | 736 | 828 | 2 | * | 414 | 42% | 29 | 0.24 | 4 | 0.98 | 4,000 | 967 | 86% | 43.51 | 1.33 | 43.97 | D |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| מדרום | ימינה | חופשי | | 50 | 56 | 1 | | 56 | | | | | | | | | | | | |
| | ישר | 3 | 664 | | 664 | 3 | * | 221 | 22% | 42 | 0.35 | 4 | 0.82 | 6,000 | 2,100 | 32% | 28.5 | 0.07 | 23.44 | C |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ממזרח | ימינה | 6 | | 436 | 491 | 2 | | 245 | 25% | 47 | 0.39 | 3 | 1 | 4,000 | 1,567 | 31% | 25.31 | 0.10 | 25.41 | C |
| | ישר | 4 | 200 | | 200 | 2 | *[ | 235 | 24% | 18 | 0.15 | 3 | 1 | 6,000 | 900 | 22% | 44.84 | 0.13 | 44.97 | D |
| | שמאלה | 4 | | 240 | 270 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ממערב | ימינה | 5 | | 40 | 45 | 2 | *[ | 116 | 12% | 8 | 0.07 | 3 | 1 | 4,000 | 267 | 17% | 52.86 | 0.13 | 52.99 | D |
| | ישר | 5 | 128 | | 128 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | שמאלה | 5 | | 92 | 104 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | סה"כ | 100% | 97 | | | | | | * מכס' - 1.0 | | | | |

**מספר קובע:**

| | | |
|---|---|---|
| צפון-דרום | 635 | |
| מזרח-מערב | 351 | |
| **סה"כ** | **986** | |

LRT1 עם מופע 2 (כיוונים 6+3+1)
LRT2 עם מופע 2 (כיוונים 6+3+1)

**תרשים הצומת ונפחי תנועה**




**סדר מופעים וזמן ירוק לרק"ל:**

| מופע | תנועות | זמן מפינוי | ירוק לרק"ל | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 + 2 | 6 | | |
| 2 | LRT + 3 + 1 | 5 | 47 | לזמן הירוק של מופעים 1 + 3 נוספות 15 שניות על חשבון המופעים האחרים (עבור הרק"ל) |
| 3 | 4 | 6 | | |
| 4 | 5 | 6 | | |

| | |
|---|---|
| מחזור פחות זמני פינוי | 82 |

# דוגמא: צומת במחזור קבוע (המשך)

## קיבולת נתיב שעתית - 2,000 ית"ן

## עם רכבת (המשך)

### הסתברויות (ר' פירוט דרך החישוב)

| | | אורך בשניות | הסתברות | |
|---|---|---|---|---|
| הסתברות שהרק"ל תגיע בטווח הדרוש להארכת מופע | | 36 | 30% | |
| הסתברות שהרק"ל תגיע בטווח הדרוש להקדמת מופע | | 36 | 30% | |
| זמן שהרק"ל מגיעה בירוק ולא צריך הארכה 25-33 שנ') | | 8 | 7% | אורך ירוק מופע 3 פחות 5 שניות ירוק לרק"ל ופחות 20 שניות פינוי רק"ל |
| ההסתברות שהרק"ל תגיע בטווח הדרוש למופע מיוחד | | 40 | 33% | |
| | | 120 | 100% | |
| ה"נזק" שייגרם ע"י הארכה מופע - חצי מ - 36 שניות (11+25) | | | 18 | שניות |
| ה"נזק" שייגרם ע"י הקדמת פתיחת ירוק - חצי מ - 36 שניות (11+25) | | | 18 | שניות |
| ה"נזק" שייגרם ע"י מופע נוסף - 25 שניות (5 ירוק +20 פינוי) | | | 25 | שנ' |
| ה"נזק" המשוקלל: "נזק" של כל אחד X ההסתברות שיקרה (מעוגל) | | | 19 | שניות במחזור |
| ההסברות שרק"ל תגיע במחזור: | | | | |
| תדירות לכיוון (דקות) | 5 | | | |
| ל-2 כיוונים | 2.5 | | | |
| מספר רכבות בשעה | 24 | | | |
| מספר מחזורים בשעה | 30 | | | |
| הסתברות שרכבת תופיע במחזור | 80% | | | |
| "נזק" ממוצע במחזור= נזק משוקלל X הסתברות להופעת רכבת (מעוגל) | | | 15 | שניות |

הערה: ההסתברות המירבית להופעת רכבת - 1.0.

### השוואת עיכובים ורמות שירות

| | ללא רק"ל | | עם רק"ל | |
|---|---|---|---|---|
| מופע מס' | עיכוב | LOS | עיכוב | LOS |
| 1 | 16.59 | B | 3.62 | A |
| 2 | 43.93 | D | 43.97 | D |
| 3 | 47.32 | D | 23.44 | C |
| 4 | 44.01 | D | 44.97 | D |
| 5 | 52.16 | D | 52.99 | D |
| 6 | 19.53 | B | 25.41 | C |

# רמזור מופעל תנועה (מחזור משתנה)

**א.עם קיבולת שעתית לנתיב – 1,800 ית"ן**

**ב.עם קיבולת שעתית לנתיב – 2,000 ית"ן**

## 2. דוגמא לחישוב הבדיקה התפעולית ברמזור מופעל תנועה (מחזור משתנה)
## פירוט דרך החישוב בדוגמא המצורפת

### חישוב ערכים בטבלה

### א. ללא רכבת

1. **נפח שקול**: נפח ישר + נפחי הפניה כפול מקדם הפניה.
2. **נפח לנתיב**: נפח בתנועה מחולק במספר הנתיבים.
3. **מספר קובע**: סך הנפחים בתנועות הקריטיות.
4. **אחוז מהמספר הקובע**: נפח בתנועה מחולק במספר הקובע
5. משך ירוק: מספר שניות המוקצב לתנועה ע"י המתכנן.
6. g/C: יחס משך ירוק לזמן המחזור
7. אופן הגעה: נקבע בהתאם לקיום גל ירוק ואיכותו, כלומר מתי מגיעה השיירה לצומת (באדום, בתחילת, באמצע או בסוף ירוק וכד').
8. מקדם גל ירוק: מקדם המחושב לפי טבלה א- 5 שבפרק א, סעיף 3.2.2.
9. קיבולת: מכפלת קיבולת לנתיב במספר הנתיבים
10. קיבולת זמינה: מכפלת הקיבולת ביחס g/C.
11. יחס נפח/קיבולת: חלוקת הנפח בקיבולת הזמינה.
12. עיכוב: העיכוב מחושב על פי נוסחאות ה – HCM הכלולות בפרק א, סעיף 3.2.2.
13. רמת השירות: רמת הדירות נקבעת על פי העיכוב כמוצג בטבלה בפרק א, סעיף 3.2.2.

### ב. עם רכבת

14. **ההסתברות שהרק"ל תגיע בתחום המחזור בו תהיה דרושה הארכת מופע:**
אורך פרק זמן זה במחזור: 5 שנ' ירוק + 20 שנ' זמן פינוי + 11 שניות על מנת לאפשר מופע נוסף (6 שניות ירוק + 5 שניות פינוי) = 36 שניות. ההסתברות שהרק"ל תגיע במשך פרק זמן זה: 30% = 120 / 36 שנ'
15. **ההסתברות שהרק"ל תגיע בתחום המחזור בו תהיה דרושה הקדמת מופע**:
אורך פרק זמן זה במחזור: 5 שנ' ירוק + 20 שנ' זמן פינוי + 11 שניות על מנת לאפשר מופע נוסף (6 שניות ירוק + 5 שניות פינוי) = 36 שניות. ההסתברות שהרק"ל תגיע במשך פרק זמן זה: 30% = 120 / 36 שנ'
16. **ההסתברות שהרק"ל תגיע בתחום המחזור בירוק, בו לא תהיה דרושה הארכת מופע:** אורך פרק זמן זה במחזור מבוסס על אורך הירוק במופע המקביל ועוד זמן הפינוי שלו פחות משך הירוק + הפינוי של הרק"ל. בדוגמא, במופע 3 יחושב כך:
8 שניות = 25 שנ' – 33 שניות. ההסתברות שהרק"ל תגיע במשך פרק זמן זה היא 7% = 120 / 8 שנ'

**ההסתברות שהרק"ל תגיע בתחום המחזור** בו יהיה דרוש מופע מיוחד: אורך פרק זמן זה במחזור הוא סך המחזור פחות הזמנים בסעיפים 14, 15 ו – 16. ההסתברות שהרק"ל תגיע במשך פרק זמן זה שיחייב מופע מיוחד – משך הזמן מחולק במחזור.
בדוגמא: 31% = 120 / 37 שנ'

17. **הארכת מופע ממוצעת** תהיה חצי מההארכה המרבית. לכן ה"נזק", כלומר הזמן האבוד עבור הרק"ל, שייגרם מהארכת מופע הוא מחצית מ – 36 שניות, כלומר 18 שניות.
18. באופן דומה **ה"נזק" שייגרם מהקדמת מופע** הוא 18 שניות.
19. **ה"נזק" שייגרם ממופע נוסף** הוא, בדוגמא, 25 שניות (5 שניות ירוק + 25 שניות פינוי).
20. ה**"נזק" המשוקלל** של הרק"ל במחזור ממוצע הוא מחושב ע"י מכפלת כל אחד מה"נזקים" בהסתברות שהוא יקרה.

בדוגמא: 19 שנ' = 30% X 18 + 30% X 18 + 31% X 25

21. **ההסתברות שרכבת תופיע במחזור:** מספר רכבות בשעה מחולק במספר המחזורים:

30 מחזורים בשעה/24 רכבות בשעה = 0.8

22. **"נזק" ממוצע במחזור:** "נזק" במחזור כפול ההסתברות להופעת רכבת במחזור.
23. את ה"נזק" הממוצע למחזור עם רכבת מוסיפים למופע המקביל לרק"ל כך שאורך המחזור גדל לפי תוספת הזמן הדרושה לרק"ל. בדוגמא משך הירוק של תנועה 3 (קיבולת נתיב – 1,800 ית"ן) יהיה: 42 שנ' = 15 שנ' + 27 שנ' ואורך המחזור – 135 שניות.
24. **טבלת השוואת עיכובים ורמות שירות** – על פי העיכוב לתנועה והתבחינים של רמות השירות.
25. במחזור משתנה לא נערכת התאמת זמנים למחזור המקורי אלא המחזור מתארך במשך הזמן הדרוש לרק"ל (בדוגמא - 15 שניות).

# דוגמא: צומת בודד (מחזור משתנה)

## קיבולת נתיב שעתית - 1,800 ית"ן

## ללא רכבת

**שעת שיא בוקר** מחזור - 120 שנ'

| גישה | כיוון | מופע מס' | נפח תנועה | | | מס' נתיבים | קובע | נפח לנתיב | אחוז ממס' קובע | ירוק (שנ') | g/C | סוג הגעה | מקדם גל ירוק | קיבולת | קיבולת זמינה | נפח/קיבולת* | עיכוב על פי HCM | | | רמת שירות |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ישר | פניה | נפח ית"ן שקול | | | | | | | | | | | | אחיד | אינקרמנאטלי | סה"כ | |
| **מצפון** | **ישר** | 1 | 1604 | | 1,604 | 3 | | 535 | 54% | 66 | 0.55 | 3 | 1 | 5,400 | 2,970 | 54% | 17.28 | 8.71 | 25.99 | **C** |
| | **שמאלה** | 2 | | 736 | 828 | 2 | * | 414 | 42% | 39 | 0.33 | 3 | 1 | 3,600 | 1,170 | 71% | 35.5 | 17.57 | 53.07 | **D** |
| **מדרום** | **ימינה** | חופשי | | 50 | 56 | 1 | | 56 | | | | | | | | | | | | |
| | **ישר** | 3 | 664 | | 664 | 3 | * | 221 | 22% | 27 | 0.23 | 3 | 1 | 5,400 | 1,215 | 55% | 41.09 | 8.94 | 50.03 | **D** |
| **ממזרח** | **ימינה** | 6 | | 436 | 491 | 2 | | 245 | 25% | 60 | 0.50 | 3 | 1 | 3,600 | 1,800 | 27% | 17.37 | 2.80 | 20.17 | **C** |
| | **ישר** | 4 | 200 | | 200 | 2 | *[ | 235 | 24% | 21 | 0.18 | 3 | 1 | 3,600 | 630 | 32% | 43.24 | 3.48 | 46.72 | **D** |
| | **שמאלה** | 4 | | 240 | 270 | | | | | | | | | | | | | | | |
| **ממערב** | **ימינה** | 5 | | 40 | 45 | 2 | *[ | 116 | 12% | 10 | 0.08 | 3 | 1 | 3,600 | 300 | 15% | 51.05 | 1.32 | 52.37 | **D** |
| | **ישר** | 5 | 128 | | 128 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | **שמאלה** | 5 | | 92 | 104 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | סה"כ | 100% | 97 | | | | | | * מכס' - 1.0 | | | | |

**מספר קובע:**

| | | |
|---|---|---|
| צפון-דרום | 635 |
| מזרח-מערב | 351 |
| **סה"כ** | **986** |

**סדר מופעים רגיל:**

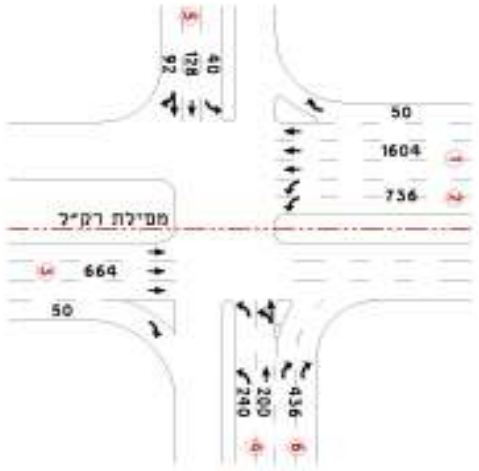
| מופע | תנועות | זמן פינוי |
|---|---|---|
| 1 | 1 + 2 | 6 |
| 2 | 1 + 3 + LRT | 5 |
| 3 | 4 | 6 |
| 4 | 5 | 6 |

| | |
|---|---|
| **מחזור פחות זמני פינוי** | **97** |

זמן זמין לרק"ל (ירוק + בין ירוקים בכיוון המקביל לרק"ל)
33

**נתוני הצומת המתייחסים לצמתים סמוכים:**
1. אין גל ירוק לאף את מהתנועות - סוג הגעה 3

**תרשים הצומת ונפחי תנועה**



# דוגמא: צומת בודד (מחזור משתנה)

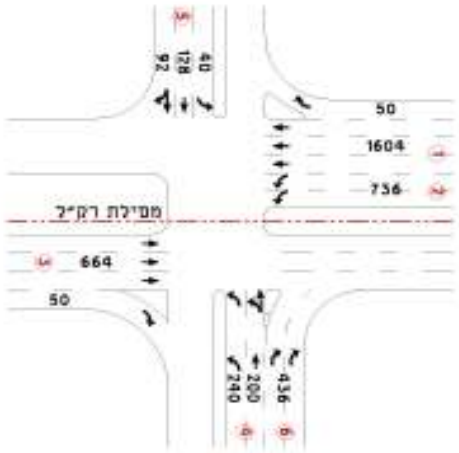
## קיבולת נתיב שעתית - 1,800 ית"ן

## עם רכבת

**שעת שיא בוקר** מחזור - 135 שנ'

| גישה | כיוון | מופע מס' | נפח תנועה | | | מס' נתיבים | | נפח לנתיב | אחוז ממס' קובע | ירוק (שנ') | g/C | אופן הגעה | מקדם גל ירוק | קיבולת | קיבולת זמינה | נפח/קיבולת* | עיכוב על פי HCM | | | רמת שירות |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ישר | פניה | נפח שקול | | | | | | | | | | | | אחיד | אינקרמנאטלי | סה"כ | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| מצפון | ישר | 1 | 1604 | | 1,604 | 3 | | 535 | 54% | 90 | 0.67 | 3 | 1 | 5,400 | 4,050 | 40% | 10.19 | 0.22 | 10.41 | B |
| | שמאלה | 2 | | 736 | 828 | 2 | * | 414 | 42% | 39 | 0.29 | 3 | 1 | 3,600 | 1,170 | 71% | 42.91 | 1.21 | 44.12 | D |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| מדרום | ימינה | חופשי | | 50 | 56 | 1 | | 56 | | | | | | | | | | | | |
| | ישר | 3 | 664 | | 664 | 3 | * | 221 | 22% | 42 | 0.31 | 3 | 1 | 5,400 | 1,890 | 35% | 35.96 | 0.18 | 36.14 | D |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ממזרח | ימינה | 6 | 491 | 436 | | 2 | | 245 | 25% | 30 | 0.22 | 3 | 1 | 3,600 | 900 | 55% | 46.46 | 0.60 | 47.06 | D |
| | ישר | 4 | 200 | | 200 | 2 | [* | 235 | 24% | 21 | 0.16 | 3 | 1 | 3,600 | 630 | 32% | 50.63 | 0.33 | 50.96 | D |
| | שמאלה | 4 | 240 | | 270 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ממערב | ימינה | 5 | 40 | 40 | 45 | 2 | [* | 116 | 12% | 10 | 0.07 | 3 | 1 | 3,600 | 300 | 15% | 58.52 | 0.33 | 58.85 | E |
| | ישר | 5 | 128 | | 128 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | שמאלה | 5 | 92 | | 104 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | סה"כ | 100% | 112 | | | | | | * מכס' - 1.0 | | | | |

**תרשים הצומת ונפחי תנועה**




| | | |
|---|---|---|
| **מספר קובע:** | צפון-דרום | 635 |
| | מזרח-מערב | 351 |
| | **סה"כ** | **986** |

LRT1 עם מופע 2 (כיוונים 6+3+1)
LRT2 עם מופע 2 (כיוונים 6+3+1)

**סדר מופעים וזמן ירוק לרק"ל:**

| מופע | תנועות | זמן מפינוי | ירוק לרק"ל | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 + 1 | 6 | | |
| 2 | LRT + 3 + 1 | 5 | 47 | לזמן הירוק של מופעים 1 + 3 נוספו 15 שניות |
| 3 | 4 | 6 | | |
| 4 | 5 | 6 | | |

| | |
|---|---|
| מחזור פחות זמני פינוי | 97 |

# דוגמא: צומת בודד (מחזור משתנה)

## קיבולת נתיב שעתית - 1,800 ית"ן

## עם רכבת (המשך)

### הסתברויות (ר' פירוט דרך החישוב)

| | | אורך בשניות | הסתברות | |
|---|---|---|---|---|
| הסתברות שהרק"ל תגיע בטווח הדרוש להארכת מופע | | 36 | 30% | |
| הסתברות שהרק"ל תגיע בטווח הדרוש להקדמת מופע | | 36 | 30% | |
| זמן שהרק"ל מגיעה בירוק ולא צריך הארכה (25-33 שנ') | | 8 | 7% | אורך ירוק מופע 3 פחות 5 שניות ירוק לרק"ל ופחות 20 שניות פינוי רק"ל |
| ההסתברות שהרק"ל תגיע בטווח הדרוש למופע מיוחד | | 40 | 33% | |
| | | 120 | 100% | |
| ה"נזק" שייגרם ע"י הארכה מופע - חצי מ - 36 שניות (11+25) | | | 18 | שניות |
| ה"נזק" שייגרם ע"י הקדמת פתיחת ירוק - חצי מ - 36 שניות (11+25) | | | 18 | שניות |
| ה"נזק" שייגרם ע"י מופע נוסף - 25 שניות (5 ירוק +20 פינוי) | | | 25 | שנ' |
| ה"נזק" המשוקלל: "נזק" של כל אחד X ההסתברות שיקרה (מעוגל) | | | 19 | שניות במחזור |
| ההסברות שרמ"ק תגיע במחזור: | | | | |
| תדירות לכיוון (דקות) | 5 | | | |
| ל-2 כיוונים | 2.5 | | | |
| רכבות בשעה | 24 | | | |
| מחזורים בשעה | 30 | | | |
| הסתברות שרכבת תופיע במחזור | 80% | | | |
| "נזק" ממוצע במחזור= נזק משוקלל X הסתברות להופעת רכבת (מעוגל) | | | 15 | שניות |

הערה: ההסתברות המירבית להופעת רכבת - 1.0.

### השוואת עיכובים ורמות שירות

| | ללא רק"ל | | עם רק"ל | |
|---|---|---|---|---|
| מופע מס' | עיכוב | LOS | עיכוב | LOS |
| 1 | 25.99 | C | 10.41 | B |
| 2 | 53.07 | D | 44.12 | D |
| 3 | 50.03 | D | 36.14 | D |
| 4 | 46.72 | D | 50.96 | D |
| 5 | 52.37 | D | 58.85 | E |
| 6 | 20.17 | C | 47.06 | D |

# דוגמא: צומת בודד (מחזור משתנה)

## קיבולת נתיב שעתית - 2,000 ית"ן

## ללא רכבת

**שעת שיא בוקר** מחזור - 120 שנ'

| גישה | כיוון | מופע מס' | נפח תנועה | | | מס' נתיבים | קובע | נפח לנתיב | אחוז ממס' קובע | ירוק (שנ') | g/C | סוג הגעה | מקדם גל ירוק | קיבולת | קיבולת זמינה | נפח/קיבולת* | עיכוב על פי HCM | | | רמת שירות |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ישר | פניה | נפח ית"ן שקול | | | | | | | | | | | | אחיד | אינקרמנאטלי | סה"כ | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **מצפון** | **ישר** | 1 | 1604 | | 1,604 | 3 | | 535 | 54% | 66 | 0.55 | 3 | 1 | 6,000 | 3,300 | 49% | 16.58 | 7.04 | 23.62 | **C** |
| | **שמאלה** | 2 | | 736 | 828 | 2 | * | 414 | 42% | 39 | 0.33 | 3 | 1 | 4,000 | 1,300 | 64% | 34.47 | 12.90 | 47.37 | **D** |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **מדרום** | **ימינה** | חופשי | | 50 | 56 | 1 | | 56 | | | | | | | | | | | | |
| | **ישר** | 3 | 664 | | 664 | 3 | * | 221 | 22% | 27 | 0.23 | 3 | 1 | 6,000 | 1,350 | 49% | 40.52 | 7.20 | 47.72 | **D** |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **ממזרח** | **ימינה** | 6 | | 436 | 491 | 2 | | 245 | 25% | 60 | 0.50 | 3 | 1 | 4,000 | 2,000 | 25% | 17.1 | 2.43 | 19.53 | **B** |
| | **ישר** | 4 | 200 | | 200 | 2 | *[ | 235 | 24% | 21 | 0.18 | 3 | 1 | 4,000 | 700 | 29% | 42.99 | 2.99 | 45.98 | **D** |
| | **שמאלה** | 4 | | 240 | 270 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **ממערב** | **ימינה** | 5 | | 40 | 45 | 2 | *[ | 116 | 12% | 10 | 0.08 | 3 | 1 | 6,000 | 500 | 9% | 50.8 | 0.74 | 51.54 | **D** |
| | **ישר** | 5 | 128 | | 128 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | **שמאלה** | 5 | | 92 | 104 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | סה"כ | 100% | 97 | | | | | | * מכס' - 1.0 | | | | |

**מספר קובע:**

| | | |
|---|---|---|
| צפון-דרום | 635 |
| מזרח-מערב | 351 |
| **סה"כ** | **986** |

**סדר מופעים רגיל:**

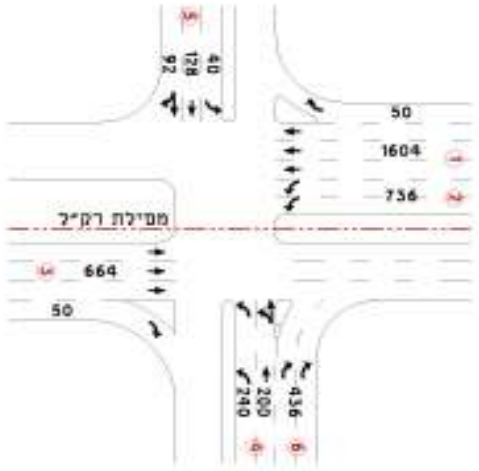
| מופע | תנועות | זמן פינוי |
|---|---|---|
| 1 | 1 + 2 | 6 |
| 2 | 1 + 3 + LRT | 5 |
| 3 | 4 | 6 |
| 4 | 5 | 6 |

| | |
|---|---|
| **מחזור פחות זמני פינוי** | **97** |

זמן זמין לרק"ל (ירוק + בין ירוקים בכיוון המקביל לרק"ל)
33

**נתוני הצומת המתייחסים לצמתים סמוכים:**
1. אין גל ירוק לאף את מהתנועות - סוג הגעה 3

**תרשים הצומת ונפחי תנועה**



## דוגמא: צומת בודד (מחזור משתנה)

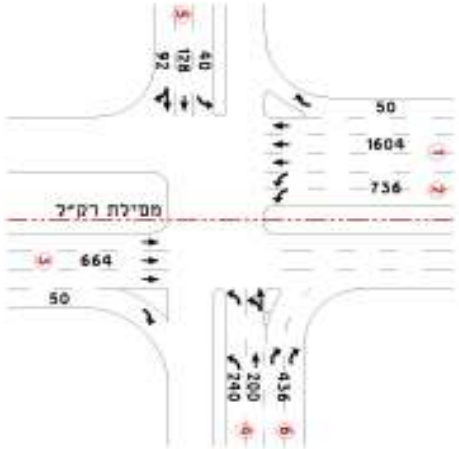
## קיבולת נתיב שעתית - 2,000 ית"ן

## עם רכבת

**שעת שיא בוקר** מחזור - 135 שנ'

| גישה | כיוון | מופע מס' | נפח תנועה | | | מס' נתיבים | | נפח לנתיב | אחוז ממס' קובע | ירוק (שנ') | g/C | אופן הגעה | מקדם גל ירוק | קיבולת | קיבולת זמינה | נפח/קיבולת* | עיכוב על פי HCM | | | רמת שירות |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ישר | פניה | נפח שקול | | | | | | | | | | | | אחיד | אינקרמנאטלי | סה"כ | |
| מצפון | ישר | 1 | 1604 | | 1,604 | 3 | | 535 | 54% | 90 | 0.67 | 3 | 1 | 6,000 | 4,500 | 36% | 9.84 | 0.17 | 10.01 | B |
| | שמאלה | 2 | | 736 | 828 | 2 | * | 414 | 42% | 39 | 0.29 | 3 | 1 | 4,000 | 1,300 | 64% | 41.83 | 0.79 | 42.62 | D |
| מדרום | ימינה | חופשי | | 50 | 56 | 1 | | 56 | | | | | | | | | | | | |
| | ישר | 3 | 664 | | 664 | 3 | * | 221 | 22% | 42 | 0.31 | 3 | 1 | 6,000 | 2,100 | 32% | 35.53 | 0.14 | 35.67 | D |
| ממזרח | ימינה | 6 | | 436 | 491 | 2 | | 245 | 25% | 30 | 0.22 | 3 | 1 | 4,000 | 1,000 | 49% | 45.83 | 0.43 | 46.26 | D |
| | ישר | 4 | 200 | | 200 | 2 | [* | 235 | 24% | 21 | 0.16 | 3 | 1 | 4,000 | 700 | 29% | 50.37 | 0.33 | 50.70 | D |
| | שמאלה | 4 | | 240 | 270 | | | | | | | | | | | | | | | |
| ממערב | ימינה | 5 | | 40 | 45 | 2 | [* | 116 | 12% | 10 | 0.07 | 3 | 1 | 6,000 | 500 | 9% | 58.26 | 0.33 | 58.59 | E |
| | ישר | 5 | 128 | | 128 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | שמאלה | 5 | | 92 | 104 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | סה"כ | 100% | 112 | | | | | | * מכס' - 1.0 | | | | |

**תרשים הצומת ונפחי תנועה**




| **מספר קובע:** | | |
|---|---|---|
| | צפון-דרום | 635 |
| | מזרח-מערב | 351 |
| | **סה"כ** | **986** |

LRT1 עם מופע 2 (כיוונים 6+3+1)
LRT2 עם מופע 2 (כיוונים 6+3+1)

**סדר מופעים וזמן ירוק לרק"ל:**

| מופע | תנועות | זמן מפינוי | ירוק לרק"ל |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 + 1 | 6 | |
| 2 | LRT + 3 + 1 | 5 | 47 |
| 3 | 4 | 6 | |
| 4 | 5 | 6 | |

לזמן הירוק של מופעים 1 + 3 נוספו 15 שניות

| | |
|---|---|
| מחזור פחות זמני פינוי | 97 |

# דוגמא: צומת בודד (מחזור משתנה)

## קיבולת נתיב שעתית - 2,000 ית"ן

## עם רכבת (המשך)

### הסתברויות (ר' פירוט דרך החישוב)

| | | אורך בשניות | הסתברות | |
|---|---|---|---|---|
| הסתברות שהרק"ל תגיע בטווח הדרוש להארכת מופע | | 36 | 30% | |
| הסתברות שהרק"ל תגיע בטווח הדרוש להקדמת מופע | | 36 | 30% | |
| זמן שהרק"ל מגיעה בירוק ולא צריך הארכה (25-33 שנ') | | 8 | 7% | אורך ירוק מופע 3 פחות 5 שניות ירוק לרק"ל ופחות 20 שניות פינוי רק"ל |
| ההסתברות שהרק"ל תגיע בטווח הדרוש למופע מיוחד | | 40 | 33% | |
| | | 120 | 100% | |
| ה"נזק" שייגרם ע"י הארכה מופע - חצי מ - 36 שניות (11+25) | | | 18 | שניות |
| ה"נזק" שייגרם ע"י הקדמת פתיחת ירוק - חצי מ - 36 שניות (11+25) | | | 18 | שניות |
| ה"נזק" שייגרם ע"י מופע נוסף - 25 שניות (5 ירוק +20 פינוי) | | | 25 | שנ' |
| ה"נזק" המשוקלל: "נזק" של כל אחד X ההסתברות שיקרה (מעוגל) | | | 19 | שניות במחזור |
| ההסברות שרמ"ק תגיע במחזור: | | | | |
| תדירות לכיוון (דקות) | 5 | | | |
| ל-2 כיוונים | 2.5 | | | |
| רכבות בשעה | 24 | | | |
| מחזורים בשעה | 30 | | | |
| הסתברות שרכבת תופיע במחזור | 80% | | | |
| "נזק" ממוצע במחזור= נזק משוקלל X הסתברות להופעת רכבת (מעוגל) | | | 15 | שניות |

הערה: ההסתברות המירבית להופעת רכבת - 1.0.

### השוואת עיכובים ורמות שירות

| | ללא רק"ל | | עם רק"ל | |
|---|---|---|---|---|
| מופע מס' | עיכוב | LOS | עיכוב | LOS |
| 1 | 23.62 | C | 10.01 | B |
| 2 | 47.37 | D | 42.62 | D |
| 3 | 47.72 | D | 35.67 | D |
| 4 | 45.98 | D | 50.70 | D |
| 5 | 51.54 | D | 58.59 | E |
| 6 | 19.53 | B | 46.26 | D |

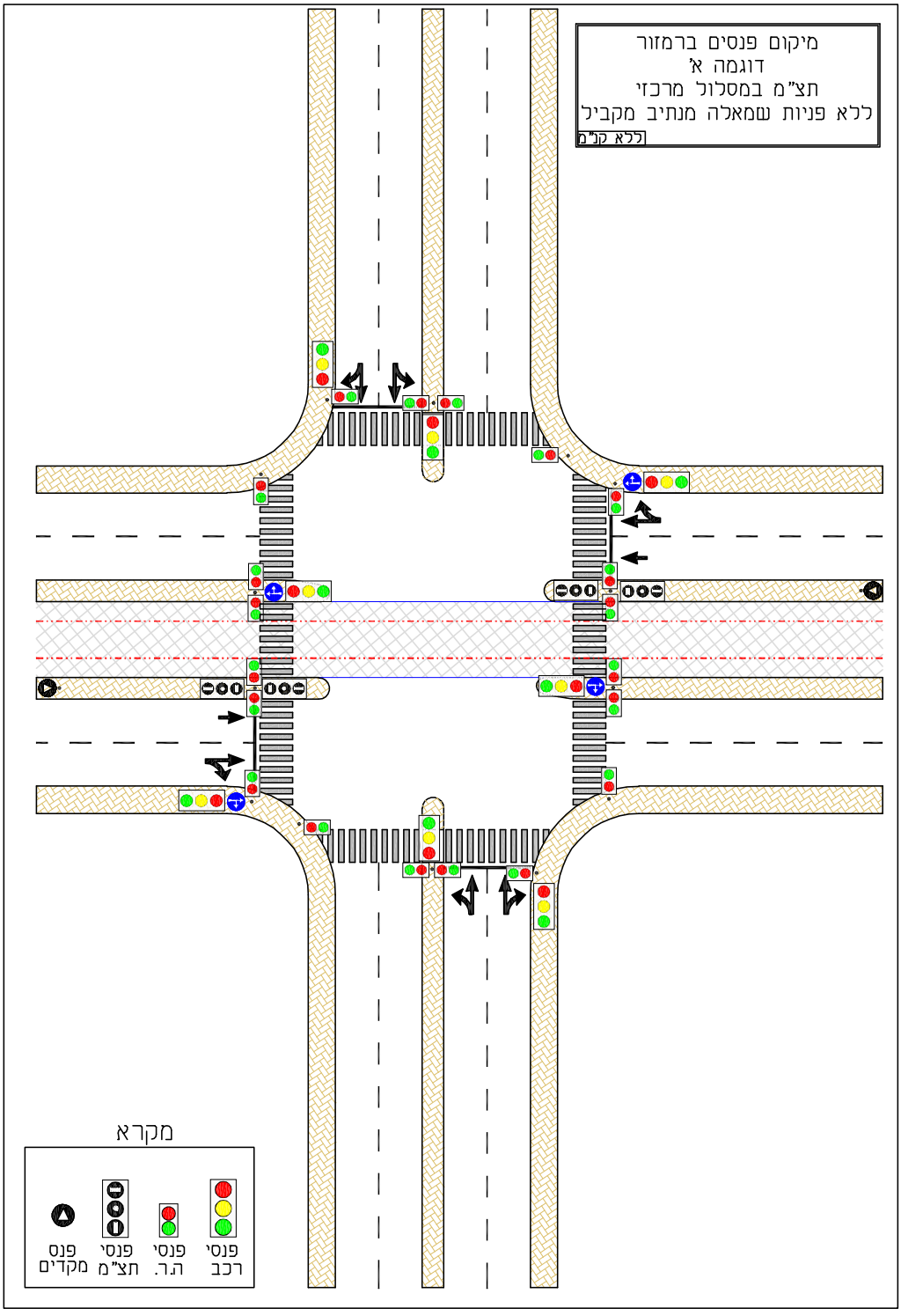
# נספח מס' 3

# דוגמאות למיקום פנסים בצמתים עם תצ"מ

**דוגמא א'**

מיקום פנסים ברמזור

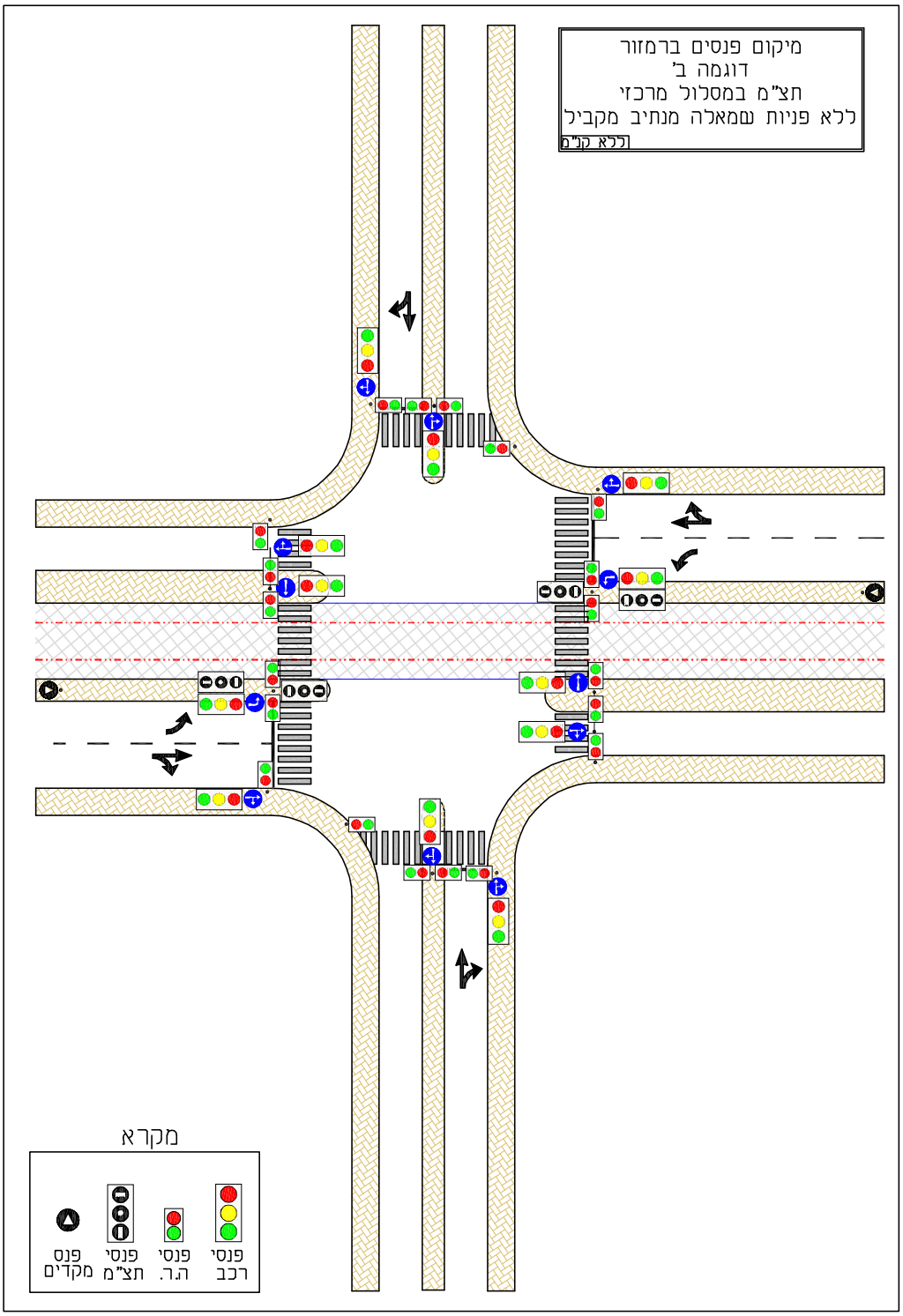
תצ"מ במסלול מרכזי - ללא פניות שמאלה מנתיב מקביל



**דוגמא ב'**

מיקום פנסים ברמזור

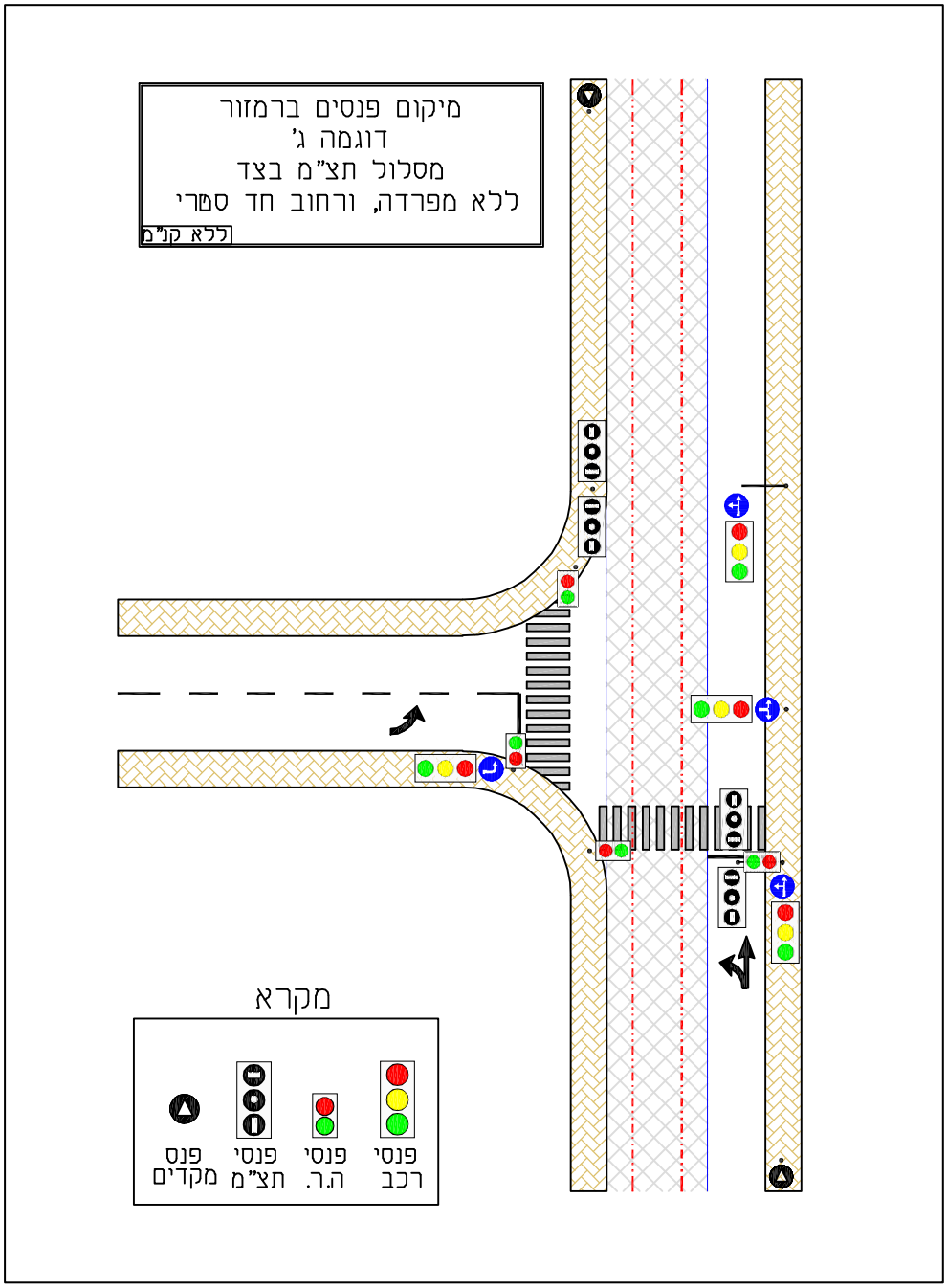
תצ"מ במסלול מרכזי - עם פניות שמאלה מנתיב מקביל



**דוגמא ג'**

מיקום פנסים ברמזור בצומת

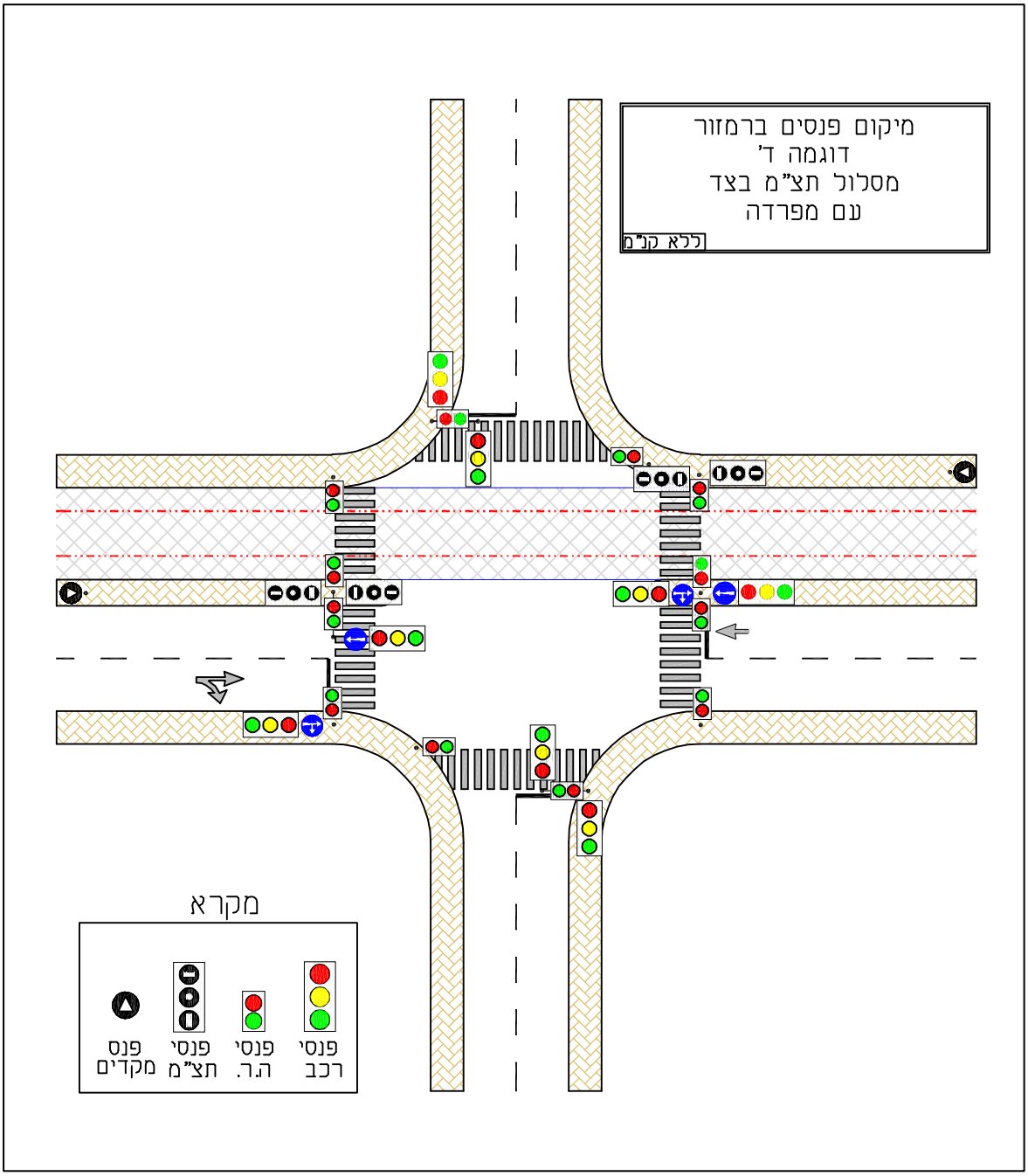
עם מסלול תצ"מ בצד - ללא מפרדה ורחוב חד סטרי



**מסלול ד'**

מיקום פנסים ברמזור

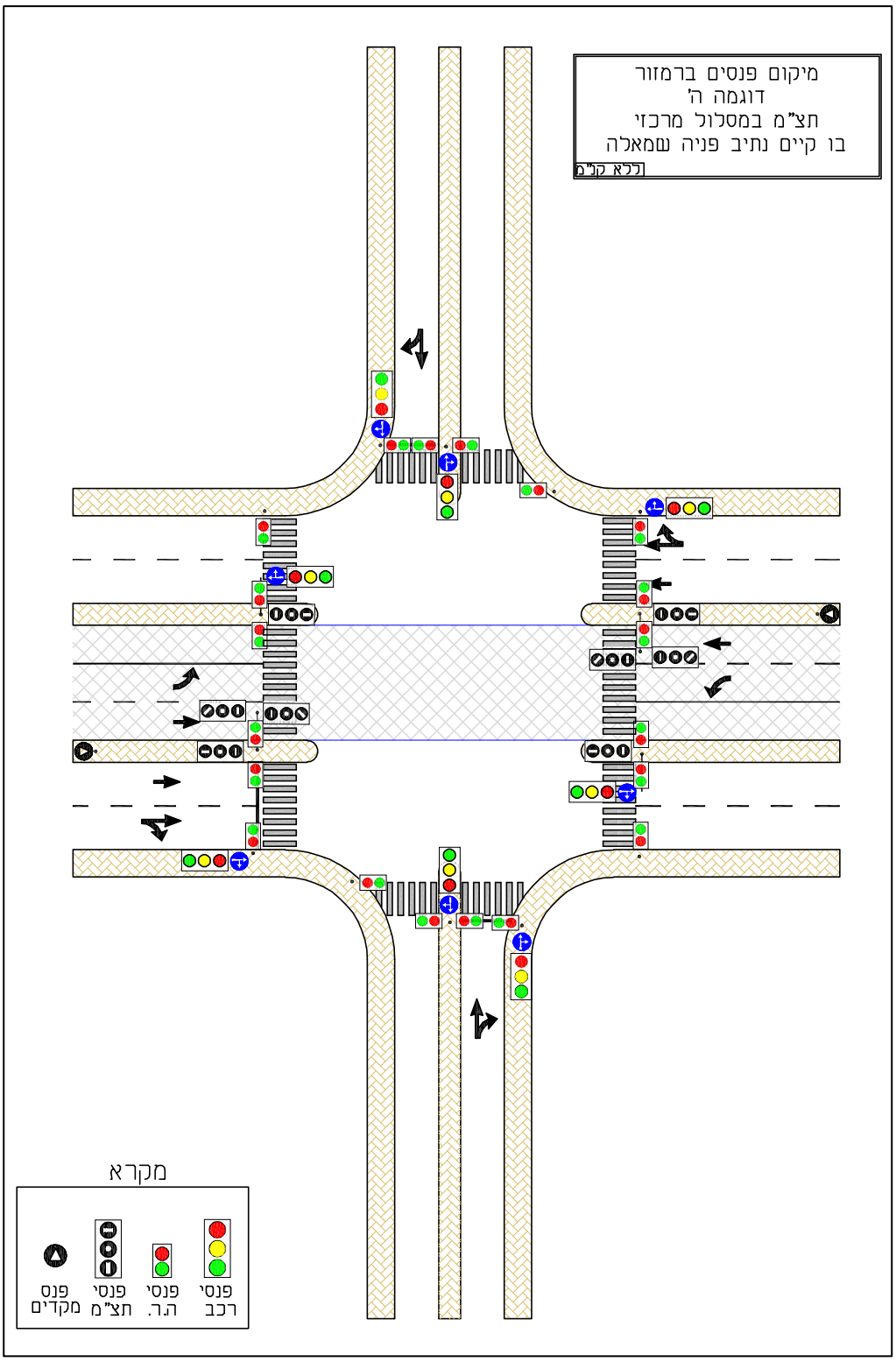
עם מסלול תצ"מ בצד - עם מפרדה



**דוגמה ה'**

מיקום פנסים ברמזור

עם מסלול תצ"מ מרכזי - בו קיים נתיב פניה שמאלה



**מסלול ו'**

מיקום פנסים ברמזור

עם מסלול תצ"מ מרכזי - ללא מפרדה

