



משרד התחבורה והבטיחות בדרכים
מינהל היבשה / אגף תכנון תחבורתי



כללים מנחים לשילוב מערכות הסעת המונים ברמזורים

סקר ספרות

ודו"ח סיור מקצועי

ינואר 2008 שבט תשס"ח



תכנית אב
לתחבורה
ירושלים



נתן תומר הנדסה
א.נ.ט.א.י. בע"מ

כללים מנחים לשילוב מערכות הסעת המונים ברמזורים

סקר ספרות וסיור מקצועי

תוכן העניינים

עמוד	
V	פתח דבר
VI	רשימת חברי ועדת ההיגוי וצוות המחברים
VII	הגדרת מונחים

חלק ראשון - סקר ספרות

פרק א' - רמזור – תכנון מוקדם

1	1. איסוף המידע והנתונים הדרושים
1	2. חישוב הצדק להתקנת רמזור
4	3. בדיקת חלופות, ניתוח נפחים ובדיקת קיבולת

פרק ב' - רמזור – תוכניות גיאומטריה והסדרי תנועה

16	1. הסדרים גיאומטריים
29	2. פנסי רמזור
46	3. מעברי חצייה
54	4. שינויים בלוח התמרורים
60	5. חישוב משולשי ראות בקרבת הרק"ל
60	6. בטיחות

פרק ג' – חישוב זמני פינוי

68	1. חישוב זמני פינוי
----	---------------------

פרק ד' – אופן מתן העדפה ופיצוי זמן ירוק

71	1. הקדמה
72	2. אסטרטגיות העדפה
74	3. שיטות ליישום העדפה פסיבית
76	4. שיטות ליישום העדפה אקטיבית
83	5. קריטריונים למתן העדפה מותנית
85	6. חישוב זמן מחזור והקצאת זמנים ירוקים
86	7. תנאים ומגבלות בהפעלת שיטות העדפה שונות
91	8. תכנון ושילוב גלים ירוקים

- 93 9. שיטות פיצוי והתנאים להפעלתן
- 94 10. סקירת שיטות העדפה המיושמות במדינות שונות
- 100 11. נהלים להפעלת מערכת הרמזורים

פרק ה' - כללים מנחים לשילוב גלאים

- 101 1. סוגי גלאים
- 102 2. שילוב הגלאים להעדפת הת"צ

פרק ו' - בחינת סוגי גלאים

107

פרק ז' – תרשים הזרימה - עקרונות תכנון וצורת הצגה

- 107 1. מטרת התרשים
- 107 2. סוגי תרשימים
- 108 3. סימנים מוסכמים
- 108 4. דוגמאות

חלק שני - סיור מקצועי

פרק א' - סיכומי הסיור המקצועי

- 111 1. כללי
- 113 2. עקרונות
- 115 3. סיכומים נושאים

פרק ב' - הסדנאות

- 118 1. רשתות הרק"ל
- 118 2. הסדר צמתים
- 122 3. תחנות
- 123 4. מרכיבי הרמזורים
- 124 5. תכנון זמני הרמזור
- 131 6. מעגלי תנועה
- 132 7. תכניות העדפה
- 133 8. גלאים
- 134 9. הצדקים

135 "בעין העדשה" תקליטור מצגת צלומים מן הסיור המקצועי

רשימת תרשימים (לסקר הספרות)

8	א- 1 המחזור הארוך ביותר
18	ב- 1 אוטובוס מפרקי לתכנון
18	ב- 2 דוגמא לאוטובוס רב מפרקי
22	ב- 3 מפרדות - חתך לרוחב
25	ב- 4 דוגמאות תמרורים - צרפת
27	ב- 5 חצי מעגל תנועה - צרפת
30	ב- 6 פנסי רק"ל - ישראל
31	ב- 7 פנסי רק"ל - RILSA - גרמניה
32	ב- 8 פנסי רק"ל - MUTCD - ארה"ב
33	ב- 9 פנסי רק"ל - בריה"מ
33	ב- 10 פנסי רק"ל - שטרסבורג
34	ב- 11 פנסי רק"ל - צרפת
35	ב- 12 פנסי רק"ל - בריטניה
37	ב- 13 פנסי רק"ל - נוטינגהם, בריטניה
37	ב- 14 פנסי רק"ל - ההנחיות הבריטיות
39	ב- 15 פנסים עפ"י התקן הצרפתי
42	ב- 16 מיקום פנס נת"צ - התקן הצרפתי
43	ב- 17 תחנה ויזואלית
44	ב- 18 פנסים מקדימים לפניית אוטובוס
45	ב- 19 מיקום פנסים מקדימים
49	ב- 20 מעבר חצייה מדורג
50	ב- 21 מעבר חצייה Z
50	ב- 22 צרוף של שני סוגי המעברים
58	ב- 23 תמרורים מספר התמרורים הבריטי
59	ב- 24 תמרורי רק"ל - בריטניה
59	ב- 25 תמרורי רק"ל - גרמניה
65	ב- 26 משולש ראות - הולכי רגל
67	ב- 27 מירווחי בטחון לרק"ל
75	ד- 1 סדר השלבים - BRT במרכז הכביש
77	ד- 2 הארכת ירוק במופע ת"צ
78	ד- 3 הקדמת פתיחת ירוק במופע ת"צ
79	ד- 4 הפעלת שלב מיוחד לת"צ
80	ד- 5 הפעלת שלב מיוחד לת"צ
81	ד- 6 דילוג על תור
82	ד- 7 התקנת רמזור מקדים

91	8-ד שיבושים בתכנון גל ירוק
96	9-ד מרכיבים עיקריים במערכת בקרה מרכזית עם העדפה
98	10-ד העדפה אקטיבית במערכת SCOOT

102	ה-1 מיקום גלאים בצומת ללא תחנה סמוכה
102	ה-2 מיקום גלאים בצומת עם תחנה סמוכה
105	ה-3 הגדרת סוג הרכב באמצעות שני גלאים
106	ה-4 העברת מידע באמצעות אלומת אור
106	ה-5 סידור גלאי בשראה

108	ו-1 סדר שלבים טיפוסי
109	ו-2 סדר שלבים עם עדיפות לרק"ל
110	ו-3 סדר שלבים מומלץ (צמצום שלבים)

רשימת טבלאות (לסקר הספרות)

17	ב-1 נתוני כלי רכב
24	ב-2 פרמטרים לחישוב מרחקי בלימה
87	ד-1 אפשרויות העדפה
94	ד-2 שיטת העדפה בארה"ב וקנדה

רשימת תרשימים (לסיור המקצועי)

127	תרשים מס' 1 - חישוב קיבולת ורמת שרות
129	תרשים מס' 2 - טבלת זמני פינוי
129	תרשים מס' 3 - סדר המופעים
131	תרשים מס' 4 - דוגמא לתכנית זמנים
132	תרשים מס' 5 - מעגל תנועה

135 רשימת מראי מקום

כללים מנחים לשילוב מערכות הסעת המונים ברמזורים

פתח דבר

בהיות עבודה זו ראשונית במהותה בישראל, היה חשוב לבססה על הידע והניסיון הבינלאומיים הקיימים בעולם.

כרך זה של "כללים מנחים לשילוב מערכות הסעת המונים ברמזורים" מתעד את השלב הראשון של העבודה, שהוקדש לאסוף, ריכז ועיבוד הידע, המידע והניסיון שנצברו בעולם בנושא זה. כרך זה מהווה נספח לדו"ח הראשי של הכללים הנ"ל וערוך בשני חלקים עיקריים:
א. סקר ספרות.
ב. סיור מקצועי.

מאחר וטרם הופעלו בארץ מערכות של רכבות קלות (רק"ל - LRT) או של אוטובוסים מערכתיים (אומ"ר - BRT), היה חיוני ביותר ליצור תשתית מקצועית עדכנית לשילוב מערכות מסוג זה בשיטות הרימזור המופעלות בישראל.

סקר הספרות התפשט על פני ארצות רבות, וביניהן אנגליה, אירלנד, איטליה, אוסטריה, אוסטריה, ארה"ב, בלגיה, גרמניה, הולנד, הונגריה, סקוטלנד, צרפת, קנדה, רוסיה, שבדיה, שוויץ.

כמובן שסקר הספרות כלל גם את כל ההנחיות, התקנות, המאמרים והפרסומים השונים הנוגעים לתכנון והפעלת רמזורים בישראל, וכן של מדינות וערים ברחבי העולם.

הסיור המקצועי, בו השתתף צוות המחברים של עבודה זו, התמקד בחמש ערים בצרפת בהן מופעלות רק"ל (Bordeaux, Grenoble, Lyon, Orleans, Strasbourg) ועוד עיר אחת בה מופעלת גם מערכת BRT (Rouen).
במהלך הסיור המקצועי השתתפו חברי הצוות בסדנת לימוד שאורגנה במיוחד עבורם וגם נפגשו עם נציגי חברות תכנון המתמחות בתחום האמור.

סקר הספרות, הסיור המקצועי וסדנת הלימוד התמקדו בלימוד מן הניסיון שנצבר בתחום זה, על מנת לעבדו ולהתאימו להנחיות ולתקנות הנהוגות בישראל, תוך התחשבות בתנאי הארץ ותרבות הנהיגה וההליכה בה.

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' מתיא עינב – 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

PT, Public Transport	- אירופאי	* תחבורה ציבורית, ת"צ (תח"צ לשעבר)
Transit	- אמריקאי	
Mass Transit		* מערכת תחבורה עתירת נוסעים (מתע"ן)
Rail Transit		* ת"צ מסילתית כולל את כל סוגי הרכבות
Rapid Transit		* ת"צ מהירה כולל: רכבות לסוגיהן, אומ"ר ות"צ במכוונה
Light Rail Transit, LRT, city railway		* רכבת מקומית (רמ"ק), רכבת עירונית (בהתייחסות למערכת ההסעה)
Commuter rail, Suburban rail		* רכבת פרברים
BRT, Bus Rapid Transit		* אוטובוס מערכתי (אומ"ר)
BRT או LRT או אוטובוס בנתיב או מסלול מועדף		* ת"צ מועדפת (תצ"מ)
Guideway Transit, AGT, Guided Transport System GTS		* ת"צ במיכוונה

2. כלי רכב של ת"צ

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

3. תשתיות ת"צ

Bus lane		* נתיב ת"צ, נת"צ, נתיב בלעדי
Priority lane		* נתיב מועדף (בו ניתנת העדפה ברמזורים)
Busway		* מסלול ת"צ, מת"צ - מיועד לאוטובוסים ו/או לרק"ל
Guideway		* מיכוונה
Cheek to cheek station		* רחוב ת"צ, רת"צ – רחוב המיועד לתחבורה ציבורית והולכי רגל רציפים משיקים, תחנות משיקות רציפים/תחנות של שרותי ת"צ שונים, הצמודים אחד לשני, לנוחות מעבר נוסעים משרות לשרות.

4. תנועה

* **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.

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

5. רמזורים

Signal head * **"ראש רמזור"**

התיבה בה מותקנת מערכת אותות הרמזור, על כל מרכיביה

Signal lens * **פנס**

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

Aspect, Signal indication * **אות**

ההוראה המוצגת ע"י פנסי הרמזור, בכל זמן נתון

Signal Pole/Support * **עמוד הרמזור**

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

Phase * **מופע**

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

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

צרוף מופעים (או מופע אחד) המופעלים בעת ובעונה אחת

חלק א

סקר ספרות

כללים מנחים לשילוב מערכות הסעת המונים ברמזורים

פרק א' - תכנון מוקדם

1. איסוף המידע והנתונים הדרושים

תהליך איסוף הנתונים הדרושים לתכנון רמזורים המשולבים במערכות הסעת המונים, דומה לזה הנהוג לצורך תכנון רימזור מקובל. הוא כולל ספירות תנועה, לפי סוגי רכב וכיווני נסיעה (כולל רק"ל ואוטובוסים), מהירויות התקרבות, נתוני התשתית, נתונים של רכב התכן לסוגיו, הגדרות של מדיניות ההעדפה וכד'.

בנוסף לנ"ל על המתכנן לקבל את מפת המדידה של הצומת הכוללת את המצב קיים ואת תחום זכויות הדרך.

לפני שניגשים לתכנון ברמת הצומת, על המתכנן לקבל מידע על מדיניות התכנון שנבחרה, עקרונות התכנון המערכתי ורמת הבקרה על הצמתים שבסביבתו. כן עליו לקבל את המידע על מדיניות התכנון שנבחרה ועל התכנון המערכתי ורמת הבקרה על הצמתים שעליהם יש להחליט לפני שניגשים לתכנון ברמת הצומת. בנוסף, יש לאסוף את המידע על מערכת הבקרה שתשלוט על הפעלת כלי הרכב והמידע שניתן לקבל ממערכת זאת לצורך תפעול הרמזור הבודד.

פרוט המידע והנתונים הדרושים יינתן בהתאם למערכות הרימזור שיוצעו במסגרת עבודה זו.

2. חישוב הצדק להתקנת רמזור

2.1 כללי

פרק זה עוסק בהצדקים להתקנת רמזור בצמתי דרכים בהם עוברת גם רכבת קלה. אין כאן התייחסות לחציית דרך על ידי רק"ל, אם בקטע דרך ואם במרחק כלשהו (גם קרוב) מצומת מרומזר, היות ומקרה זה מכוסה ע"י מחסומי רכבת (הנחיות לתכנון רמזורים - **מיניסוטה ארה"ב**) (6).

ההנחיות לתכנון רמזורים בישראל (24) כוללות מספר הצדקים להתקנת רמזור, אולם אין בהן אזכור לצמתים עם מסלול בלעדי לרכבת קלה או אוטובוסים. ההנחיות האמריקאיות לתמרור, ה - **MUTCD (8)**, בפרק הרמזורים (חלק 4), מפרט תשעה הצדקים להתקנת רמזור, אולם אף אחד מהם איננו קשור לרק"ל. מאידך כוללות ההנחיות את האפשרות לשלב בתכנון הרמזור עדיפות לכלי רכב מסויימים, כגון רכב חירום ותחבורה ציבורית.

מה שמייחד צמתים עם רכבת קלה מצמתים רגילים, בהיבט של ההצדק לרימזור, הוא הנושא הבטיחותי מחד והצורך להעניק עדיפות למערכת התצ"מ (תחבורה ציבורית מועדפת) מאידך. לשני היבטים אלה אין ביטוי כמותי בספרות.

2.2 עקרונות ההצדק להתקנת רמזור

"ההצדק הקלאסי" להתקנת רמזור בצומת מבוסס על כמות ניגודים (קונפליקטים) בין תנועות (רכב-רכב או רכב-הולכי רגל) והיבטים בטיחותיים. ההצדקים להתקנת רמזור בצומת עם מסלול בלעדי לת"צ שנמצאו בספרות הבינלאומית אינם כמותיים.

מסמך "עקרונות לתכנון רכבת עירונית ושילובה בהסדרי התנועה", **משרד התחבורה-2003 (28)** ע' 60) קובע כי "...יש להסדיר את המפגשים עם התנועה הכללית באמצעות רמזורים. היוצאים מהכלל הזה הם צמתים בהם נפחי התנועה החוצים אינם עולים על כמה מאות כלי רכב ביום, אך רצוי לצמצם את מספר הצמתים האלה ככל שניתן." כמו כן נקבע כי "אם הרכבת נוסעת בתוואי בלעדי (כמו רכבת רגילה), חציית דרכים תתופעל כמפגש עם מסילת ברזל, לפי ההנחיות למפגש מסילת ברזל - כביש". במסמך זה גם נקבע כי "צומת לא מרומזר יתומרר באמצעות תמרורים ב-36 ו - ב-37, בהתאם לכללים המקובלים". בדיון על מעברי חציה נקבע במסמך זה כי "אין לסמן בתוואי הרכבת מעבר חציה שאינו מרומזר".

ההנחיות הצרפתיות (39) קובעות כי כאשר, באזור עירוני, רחוב נחצה ע"י רק"ל, ההסדר הוא באמצעות רמזור. רק במקרים יוצאים מן הכלל, כגון נפח תנועה קטן במיוחד, או בחציית מעגל תנועה, לא יותקן רמזור. במקרה זה יותקן פנס אדום יחיד שיעצור כלי רכב חוצים בעת מעבר הרכבת.

בדו"ח של TRB על "**שילוב רק"ל ברחובות עירוניים (12)**" נקבע (סעיף 3.6.1 / 2) כי יש לאסור תנועות רכב החוצות את מסלול הרק"ל, אלא אם כן הן במסגרת צמתים מרומזרים.

ההנחיה כי כל צומת בו עוברת רק"ל יהיה מרומזר מקבלת חיזוק גם בפרק 10 ב - **MUTCD (9)** הקובע כי צומת מרומזר הממוקם במרחק של עד 60 מטר מצומת מרומזר בו עוברת רק"ל יהיה מתואם עם הרק"ל ויתן לה עדיפות. על אחת כמה וכמה כאשר הרק"ל עוברת בתוך הצומת.

המסמך "**Railway Safety Principals and Guidance (72)**" קובע כי רמזורים לרק"ל יותקנו בכל הצמתים המרומזרים, עבור כל הגישות של הרק"ל. המסמך גם מציין כי ניתן להתקין רמזורים שיופעלו רק חלק מן הזמן עבור חציית המסילה של הרק"ל ע"י רכב חירום או חציה של רחובות ע"י רכבות בקווים עם תדירות נמוכה. כמו כן, נקבע כי בצומת מרומזר עם רק"ל יהיו מעברי החציה להולכי רגל מרומזרים.

בהנחיות של **אירלנד לרק"ל (74)** נקבע כי יש להתייחס לצומת בו עוברת רק"ל כצומת רגיל ולא כחציית רכבת. רמת התימור והרימור תיקבע ע"י הצרכים של כל עוברי הדרך, לא רק על פי צרכי הרק"ל. אין קביעה גורפת הדורשת התקנת רמזורים בכל צומת ומוזכרת האפשרות לבקרת צומת באמצעות תמרו. מאידך, בכל צומת בו נהג הרק"ל אינו יכול לראות את כלי הרכב יש להתקין רמזור.

במסמך ההנחיות הגרמניות, ה- **RILSA (13)** מציין כי במידה וחוצים את המסילה יותר מ-100 כלי רכב ליום, יש לרמז את המעבר. כמו כן קובע המסמך כי במידה והרק"ל נוסעת על מסילה נפרדת מכלי הרכב, יש להגן על כלי הרכב הפונים באמצעות רמזורים.

במסמך הגרמני של "**החברה לתחבורה ציבורית (23)**" מציין כי כאשר מסלול התח"צ מצוי במרכז הדרך, יש להתקין רמזור בצמתים.

במסמך "עקרונות לתכנון רכבת עירונית ושילובה בהסדרי התנועה", **משרד התחבורה - 2003 (28)** נדון מקרה מיוחד של הצדק להתקנת רמזור במעבר חציה בקטע דרך (ע' 71). התקן חריג זה מוצדק במקרים מיוחדים:

- ❖ כאשר קיים מחולל תנועת הולכי רגל גדול, כגון מפעל, בית ספר וכו', המרוחק מהצומת.
- ❖ תנועת כלי הרכב רבה ומהירה.
- ❖ העדר שדה ראייה לשני הצדדים, המאפשר חציה בטוחה.

מסקר הספרות עולה, אם כן, כי בכל צומת עם מסלול בלעדי לת"צ קיים הצדק להתקנת רמזור. הצדק זה איננו תלוי בנתונים כמותיים. סביר להניח שהסיבה הינה כי רכבות קלות משרתות בעיקר מרכזי ערים, ועוברות בתדירות גבוהה באזורים בהם נפחי התנועה והולכי הרגל משמעותיים. מכאן נובעת ההתייחסות לרמזור בצומת עם רק"ל כמיתקן מובן מאליו. כאשר הרק"ל יוצאת לאזורים לא מבונים עולה מהירותה וההפרדה מתנועת כלי הרכב מתבצעת מחוץ לצמתים באמצעות מחסומים. משמעות הדבר היא שקיים הצדק להתקנת רמזור בכל צומת עירוני בו עוברת גם רק"ל.

על פי ממצאי הסיוור המקצועי שנערך בצרפת נהוג "לוותר" על רימזור הצומת כשהתנועה הנוגדת לתנועת הרק"ל קטנה מ-300 כלי רכב ליום. מאידך, ההמלצה היא לרמז מעברי חצייה רק במקרים יוצאי דופן, בהם קיים ריכוז גדול במיוחד של הולכי רגל החוצים את המסילה (ראה פרק ב- 9 של דו"ח הסיוור).

2.3 הצדקים כמותיים

2.3.1 נפחי תנועה, הולכי רגל ותדירויות רק"ל

כאמור, אין ההצדק להתקנת רמזור בצומת עם מסלול בלעדי לתח"צ מותנה בשיקולים כמותיים של תדירויות, נפחים, מספר תאונות וכדו'. כמו כן לא קיימת בספרות הגדרה של סף המינימום, מתחתיו אין להתקין רמזור.

מאידך, המסמך הגרמני של "**החברה לתחבורה ציבורית (23)**" מזכיר כי העדפה לת"צ מוצדקת כאשר:

- ההפרעות בזמן לתחבורה מסילתית עולות על 10%.
- ההפרעות בזמן לאוטובוסים עולות על 15%.

מעבר לערכים אלה רמת ההפרעות כה גדולה כך שלא ניתן לממש את דרישות האיכות לת"צ.

2.3.2 שיקולים נוספים

פרק 10 ב - MUTCD (9) קובע כי צומת מרומזר הממוקם במרחק של עד 60 מטר מצומת מרומזר עם רק"ל יהיה מתואם עם הרק"ל ויתן לה עדיפות. כלומר מבחינת תאום הרמזור עם רק"ל, מסלול ת"צ בלעדי העובר במרחק הקטן מ - 60 מטר מהצומת המרומזר יהיה מתואם עם הרק"ל. מאידך יש לזכור כי בקרת תנועת כלי הרכב במקום חציית הרק"ל תהיה באמצעות מחסומים ולא פנסי רמזור.

3. בדיקת חלופות, ניתוח נפחים ובדיקת קיבולת

3.1 כללי

תכנון רמזור בצומת בו קיים מסלול בלעדי לתחבורה ציבורית (אוטובוס או רק"ל) 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', הרי שבצמתים בהם עובר מסלול בלעדי לתחבורה ציבורית יש לכלול גם את רמת השירות של הת"צ וכנגזר מזה, את העדיפות הניתנת לה. בדיקת רמת שירות נועדה לאפשר את קביעת סכימת התכנון המיטבית של הצומת המרומזר ולאפשר לחזות את איכות התנועה בצומת בתרחישים שונים.

הניסיון מלמד כי אובדן הזמנים הנגרם על ידי רמזורים הוא גורם ההפרעות החיצוני הקובע ביותר בתחבורה הציבורית (23). לכן יש להתייחס לת"צ באופן מיוחד בתכנון בקרת הרמזורים.

ההתייחסות לרמות שירות מתחלקת לשלוש:

- א. רמת שירות לרק"ל
- ב. רמת שירות לאוטובוסים במת"צ
- ג. רמת שירות לרכב הפרטי

מקורות שונים מתייחסים לרמת העדיפות לת"צ כנגזרת מרמת השירות לכלי הרכב האחרים. ה - HCM (67) ממליץ להפעיל את העדיפות לאוטובוסים רק בצמתים הפועלים מתחת לקיבולת הצומת, כך שמעבר אוטובוס כאשר הוא מגיע לצומת לא ידרדר את רמת השירות הכללית בצומת. גם המסמך הגרמני של "החברה לתחבורה ציבורית" (23) מציין כי יש להתחשב בגודש הנוצר בצירי האורך והרוחב בעת תכנון עדיפות לת"צ.

3.2 קריטריונים לבדיקת חלופות

3.2.1 רמת שירות לרק"ל

קיבולת ורמת השירות לת"צ, במסלול בלעדי, מוגדרות במונחים שונים מאלו של הרכב הפרטי, היות והן מתייחסות לתנועות הן של אנשים והן של רכב. זאת ועוד; הקיבולת ורמת השירות תלויות במדיניות תפעול הת"צ הקובעת תדירויות והעדפה, HCM (67). קיבולת של מת"צ מוגדרת על פי מספר הנוסעים הנגזר ממספר אוטובוסים מירבי בשעה לנתיב. בין הגורמים המשפיעים על הקיבולת נמצאת גם העדיפות ברמזורים.

קיבולת הרק"ל נקבעת גם היא על פי מספר הנוסעים, הנגזרים מקיבולת תחנה או קיבולת קו (הקטן מביניהם) ואיננה מתייחסת לצומת בודד. היא תלויה בגודל הקרונות, אורך הרכבת, תדירות, מספר המסילות, מדיניות תפעול והעדפה וההמתנה בתחנה העמוסה ביותר. מן הראוי לזכור כי תפעול בלתי ראוי של רמזורים בצמתים עלול לפגוע מאד ברמת השירות של הת"צ. בחישוב מהירות הנסיעה קובע ה - HCM (67) כי בצמתים מרומזרים יש להביא בחשבון תוספת של חצי מאורך המחזור בכל צומת, תוך התאמות לרמת ההעדפה.

רמות השירות לת"צ מוגדרות בהתאם לשלוש נקודות ראות: של המפעיל, של הנוסע ושל הרכב. ה - HCM (67) גם קובע כי בתפעול רק"ל ברחוב ניתן להשתמש בחישובי הקיבולת לאוטובוסים, תוך התאמות לאורך הרכבת וזמני הפינני הדרושים.

הנחיות אלה אינן מתייחסות לרמת השירות של הת"צ בכללה, אלא לבחינת השפעת הצומת המרומזר על קיבולת הת"צ. חשוב להדגיש כי בדיקה של קיבולת ורמות שירות של מסלול ת"צ נערכות על קטע מציר ולא באופן נקודתי, בדומה לניתוח הכלול ב - HCM לרחובות עורקיים.

בתכנון הרמזור יש להתחשב, אם כן, באותם מרכיבים המשפיעים על רמת השירות של הרק"ל/האוטובוסים. מרכיבים אלה, כפי שקובע ה - HCM (67) מוגדרים, במונחים של תדירות מירבית (כלומר פער מזערי בין רכבות). הנחיות לתכנון של העיר **דנור, קולורדו (10)** מחייבות תכנון לתדירות רק"ל של 150 שניות או פחות.

על פי המסמך הגרמני של "החברה לתחבורה ציבורית" (23) ההערכה לאיכות שירות הת"צ מבוססת על מרכיבי זמן נסיעה, כגון:

- משך הנסיעה
- זמן החלפת נוסעים

- זמן שהייה בתחנה
- זמני הנסיעה בין תחנות
- הפסדי זמן

3.2.2 קיבולת ורמת שירות לאוטובוסים

קיבולת לאוטובוסים במת"צ נמדדת במונחים של נסיעות אוטובוס לשעה, כאשר הזמן המוקצב לאוטובוסים ברמזורים משפיע על הקיבולת (68). רמת השירות מתייחסת למרכיבים נוספים מנקודת ראותו של הנוסע, כגון שטח בתחנה, אמינות, זמן המתנה וכדו' (67).

3.2.3 קיבולת ורמת שירות לרכב פרטי

בדיקת רמת שירות לרכב פרטי בצמתים מרומזרים נערכת על פי השיטות המקובלות. ה - Highway Capacity Manual 2000 (HCM) (67) כולל מתודולוגיה מפורטת לקביעת רמת שירות לרכב פרטי בצומת מרומזר המבוססת על מדד של עיכוב ממוצע לרכב בצומת.

בישראל מקובלת עדיין גם שיטת "המספר הקובע" המבוססת על התנועה הקריטית ורמת שירות C המבוססת על גרף המופיע בהנחיות לתכנון רמזורים בישראל (24).

3.3 הגדרה כמותית של רמות שירות

הגדרת רמות השירות בצמתים מרומזרים עם רק"ל מתייחס, בספרות, לשלושה היבטים:

1. לגבי הרק"ל - הבדיקה של קיבולת ורמת שירות נערכת לאורך הציר הבלעדי, במונחים של מהירות נסיעה, מספר נסיעות מירבי בשעה וקיבולת נוסעים (9, 81, 68).
2. לגבי אוטובוסים - מדובר במספר אוטובוסים לשעה לנתיב (68).
3. לגבי שאר כלי הרכב בצומת, יש להתייחס אליהם על פי הקריטריונים של צומת רגיל, כלומר על בסיס עיכוב ממוצע לרכב, או יחס של נפח/קיבולת (22). בבדיקה זו נלקח בחשבון זמן הירוק המוקצה לת"צ.

3.4 בחינה כמותית לקיבולת ורמת שירות

3.4.1 רמת שירות לרק"ל

כפי שהוזכר לעיל, רמת השירות של רק"ל איננה מחושבת לגבי צומת יחיד. מאידך, קיימות שיטות לבחינת השפעת תזמון הרמזור על רמת השירות של הרק"ל.

לפי Levinson, H.S. (81) נקבעת רמת השירות לרק"ל על בסיס משך איסוף והורדת נוסעים בתחנה העמוסה ביותר, אורך הרכבת והמחזור בצמתים. אורך הרכבת קשור לאורך הקטע העירוני הקטן ביותר. הקיבולת הבסיסית מחושבת לפי הנוסחה:

$$C_p = \frac{(g/C) \cdot 3,600R}{(g/C)D + t_c}$$

שבה:

- Cp – רכבות למייל לשעה
- R – מקדם שונות לזמן ההמתנה בתחנות.
- tc – זמן פינוי בין רכבות.
- C – אורך מחזור (שניות)
- D – זמן המתנה בתחנה – בד"כ 30 – 40 שניות
- g – זמן ירוק אפקטיבי למופע הרק"ל

מן הראוי להעיר כי במסלולים משותפים לרק"ל ולכלי רכב כולל ה"זמן ירוק אפקטיבי" גם את השפעת הולכי הרגל החוצים וחניה. תוצאות הבדיקות הראו תדירויות של 40 – 45 רכבות בשעה. תכנון המערכת מבוסס על רמת שירות מומלצת D. בחישוב ראשוני מניחים יחס ירוק למחזור של 50%, מקדם R של 0.8, זמן פינוי מהתחנה של 5 שניות לכל 25 מטר רכבת. כמו כן מוצע לתכנן כך שלא תהיה יותר מרכבת אחת בכיוון במחזור (כאשר אורך הקטע הוא פחות מ – 122 מטר). הנחות אלה הניבו קיבולת של 30 רכבות בשעה עם מחזור של 60 שניות, 20 רכבות עם מחזור של 90 שניות ו – 15 רכבות במחזור של 120 שניות.

רמת השירות של הרק"ל נקבעה ב - **TCRP Project 15 (68)** על פי התדירות המירבית (פער מינימלי בין רכבות). אחד המקדמים במשוואה הוא "זמן ירוק אפקטיבי" ברמזורים המשקף את ההפרעות מחניה והולכי רגל במסלול משותף ואת ההשפעה של עדיפות ברמזורים. מרכיבים נוספים במשוואה כוללים את הפער המזערי בין רכבות, אורך מחזור בתחנה עם העצירה הארוכה ביותר, משך ההמתנה בתחנה העמוסה ביותר, זמן פינוי בין רכבות, מקדם לאחוז כשלון ומקדם שונות לזמן העיכוב. מן הראוי להעיר כי במסלולים משותפים לרק"ל ולכלי רכב כולל ה"זמן ירוק אפקטיבי" גם את השפעת הולכי הרגל החוצים וחניה. הירוק האפקטיבי מופיע במונחים של דקות לק"מ. הנוסחה על פי ההנחיות לקיבולת ואיכות השירות של ת"צ (70) מפורט להלן:

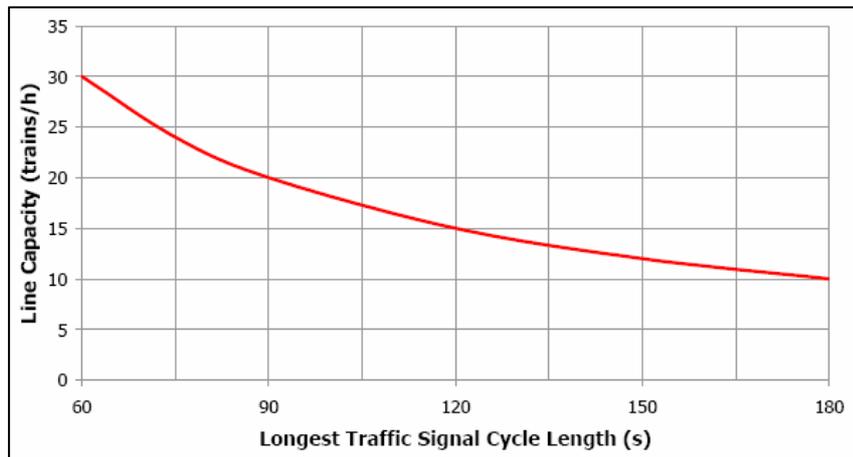
$$h_{os} = \max \left\{ \frac{t_c + (g/C)t_d + Zc_v t_d}{(g/C)}, 2C_{\max} \right\}$$

where:

- h_{os} = minimum on-street section train headway (s);
- g = effective green time (s), reflecting the reductive effects of on-street parking and pedestrian movements (mixed traffic operation only), as well as any impacts of traffic signal pre-emption;
- C = cycle length (s) at the stop with the highest dwell time;
- C_{\max} = longest cycle length (s) in the line's on-street section;
- t_d = dwell time (s) at the critical stop;
- t_c = clearance time between trains (s), defined as the sum of the minimum clear spacing between trains (typically 15-20 s or the signal cycle time) and the time for the cars of a train to clear a station (typically 5 s/car);
- Z = standard normal variable corresponding to a desired failure rate, from Exhibit 4-6; and
- c_v = coefficient of variation of dwell times (typically 40% for light rail, 60% for streetcars).

על פי מקור (68) יש קשר בין אורך המחזור הארוך ביותר בציר לבין מספר הרכבות המירבי בשעה. הפער המינימלי האופייני בין רכבות במסלול בלעדי ברחוב הוא כפול מאורך המחזור הארוך ביותר בציר. כאשר אורכי המחזור ארוכים ואין עדיפות לרק"ל, עלולים הרמזורים ליצור מגבלה על התדירות של הרק"ל. התרשים הבא מתאר את הקשר בין התדירות ואורך המחזור הארוך ביותר:

תרשים א-1



במערכת של **שטרסבורג (40)** מוגבל משך זמן האור האדום למופעי רכב ל - 120 שניות, אלא אם כן מדובר בצורך למעבר רכב חירום.

ניסיון לכמת את העיכוב כתוצאה מהעדפת תחבורה ציבורית נעשה ע"י **Radwan and Hwang (82)**. הם עשו שימוש בגירסה של נוסחת וובסטר לעיכוב, כדלקמן:

$$d = 9/10 \left\{ \left[\frac{c(1 - \lambda)^2}{2(1 - \lambda x)} \right] + \left[\frac{x^2}{2q(1 - x)} \right] \right\}$$

כאשר:

d - עיכוב ממוצע לרכב בגישה מסויימת.

C - זמן מחזור

λ - יחס השל הירוק האפקטיבי למחזור עבור המופע (g/C)

Q - נפח תנועה

S - זרימת רוויה

x - רמת רוויה

מסמך עקרונות הבטיחות לתנועה מסילתית **מאירלנד (74)** מציינות כי שתי רכבות לא יעברו בצומת באותו כיוון ובאותו מופע. תכנון כזה מחייב בדיקה מיוחדת.

3.4.2 קיבולת לאוטובוסים

קיבולת לאוטובוסים תלויה במספר גורמים, המאפיינים את מסלול האוטובוס (68):

- סוג נתיב האוטובוסים (מת"צ, נת"צ)
- האם קיימת אפשרות לעקיפת אוטובוס בתחנות.
- האם האוטובוסים במת"צ מאורגנים בשיירות.
- מיקום תחנות.
- מספר פניות ימינה מהנת"צ.

חישוב מספר האוטובוסים בתחנה מבוסס על הנוסחה הבאה:

$$B_{bb} = \frac{3,600(g/C)}{t_c + (g/C)t_d + Z_a c_v t_d}$$

Equation 2-4

where:

- B_{bb} = maximum number of buses per loading area per hour;
- g/C = ratio of effective green time to total traffic signal cycle length (1.0 for a stop not at a signalized intersection);
- t_c = clearance time between successive buses (s);
- t_d = average (mean) dwell time (s);
- Z_a = one-tail normal variate corresponding to the probability that queues will not form behind the bus stop; and
- c_v = coefficient of variation of dwell times.

כאשר בתוך הנוסחה משולב היחס בין משך הירוק לאוטובוסים ברמזור לבין זמן המחזור.

3.4.3 רמת שירות לכלל כלי הרכב

על פי העולה מן הספרות יש לשמור רמת שירות מסויימת גם לרכב הפרטי בצומת. לכן אין להפעיל עדיפות לת"צ בתנאי גודש בצמתים. כתמיכה בהעדפה או אף כתחליף להעדפה, ניתן ליישם גל ירוק לת"צ (69), היוצר "חלון אור ירוק" המתוזמן עם יציאת הרכ"ל מהתחנה שלפני הצומת. מאידך יש לזכור כי רוב שעות היממה אינן שעות גודש, ובהן מומלץ לתת עדיפות לת"צ על חשבון הורדה ברמת השירות לרכב הפרטי.

התקן השוויצרי SN 640834 (22) מתאר חישוב קיבולת בצמתים מרומזרים. על פי מקור זה ניתן ערך אקוויולנטי לכלי רכב בכיוונים המשניים במונחים של ערך לנסיעה בכיוון המועדף, בתלות בנפחי התנועה של התנועות המועדפות, כמפורט בטבלה שלהלן:

רכבים לא מועדפים הפונים	תנועה בעלת זכות קדימה			
	הולכי רגל (לשעה)	תחבורה ציבורית (חשמלית) (לשעה)	תנועה פרטית על שני נתיבים (רכב לשעה)	תנועה פרטית על נתיב אחד (רכב לשעה)
שקול "ישר" הערכה ראשונית				
1	0-150	0-10	0-100	0-50
1.2	150-250	10-30	100-200	50-100
1.5	250-500	30-60	200-350	100-250
2	500-1,000	60-120	350-700	250-500
3	1,000-1,400	120-180	700-1,000	500-750
4	> 1,400	> 180	1,000-1,200	750-1,000
5			> 1,200	> 1,000

קיבולת תנועה במחזור קריטי מחושבת לפי היחס של נפח התנועה לסך הנפח הקריטי, כפול 0.833 (מקדם המבטא 20% זמני פינוי). שעור השימוש הוא היחס בין הנפח לקיבולת התנועה, כפי שבא לידי ביטוי בנוסחה הבאה:

$$\lambda_{crit} = 0.833 \frac{Q_{crit}}{\sum Q_{crit}}$$

כאשר:

λ_{crit} - זמן ירוק מירבי לתנועה.

Q_{crit} - נפח קריטי בתנועה

$\sum Q_{crit}$ - נפח קריטי בצומת

מן הראוי לציין כי על פי התקן השוויצרי, על מנת שהזמנים הירוקים המינימליים של הרמזור ינוצלו, נפחי התנועה הקריטיים צריכים להיות 180 ית"ן (יחידות תנועה) לשעה לפחות עבור התנועה הפרטית, 60 רק"ל לשעה עבור התחבורה הציבורית ו-800 הולכי רגל לשעה עבור מעברי חצייה ($Q_{crit \min} = C$). הקיבולת של תנועה קריטית $\lambda = C$ הינה התוצאה של חלוקת הזמן הירוק ברוויה של אותה תנועה בנפח הקריטי. שעור השימוש $Q / C = X$ של תנועה הוא היחס בין הנפח לקבולת של אותה תנועה.

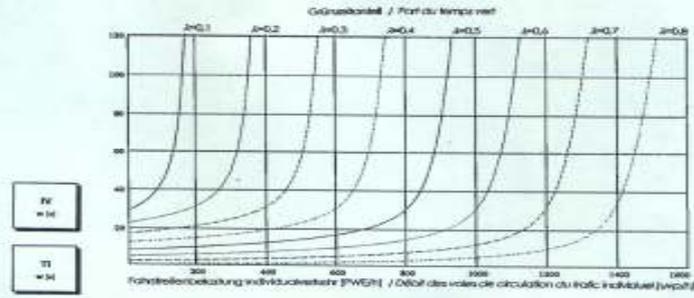


Abb. 6
Wartezeiten Individualverkehr
Ausgehend von den Fahrstreifenbesetzungen und Grenzleistungen lassen sich in den Diagrammen der Abbildungen 7 und 8 die Wartezeiten des öffentlichen Verkehrs und des Fußgängerverkehrs näherungsweise ablesen.

Fig. 6
Temps d'attente du trafic individuel
Partant des données des voies de circulation et des parts du temps vert, les temps d'attente des transports en commun et des piétons peuvent être déterminés approximativement à l'aide des diagrammes des figures 7 et 8.

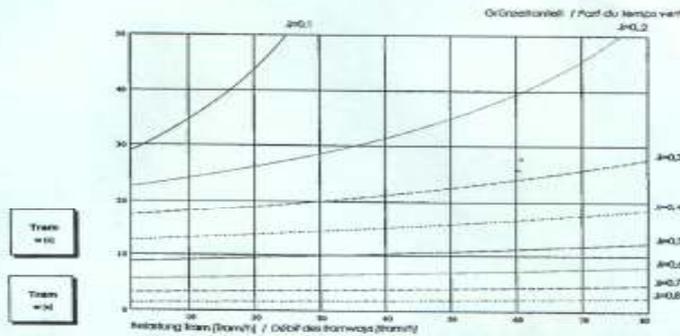


Abb. 7
Wartezeiten Tram

Fig. 7
Temps d'attente des tramways

באמצעות גרפים ניתן לקבל נפח אקוויוולנטי (במונחים של תנועה ראשית) לכל אחת מהתנועות בצומת, ביחס לתנועות הראשיות של כלי רכב רגילים ורק"ל. תרשימים 6, 7, 8 (מהמקור) מראים את העיכוב הממוצע לרכב, לרק"ל ולהולכי רגל בצומת, לפי הנפח האקוויוולנטי והקיבולת לכל תנועה. מכאן ניתן לגזור אינדיקציה לרמת שירות.

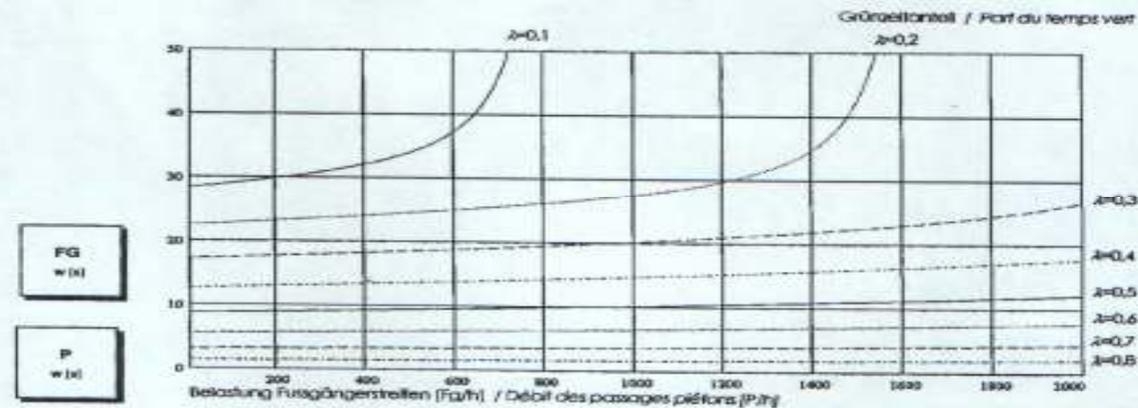


Abb. 8
Wartezeiten Fußgänger

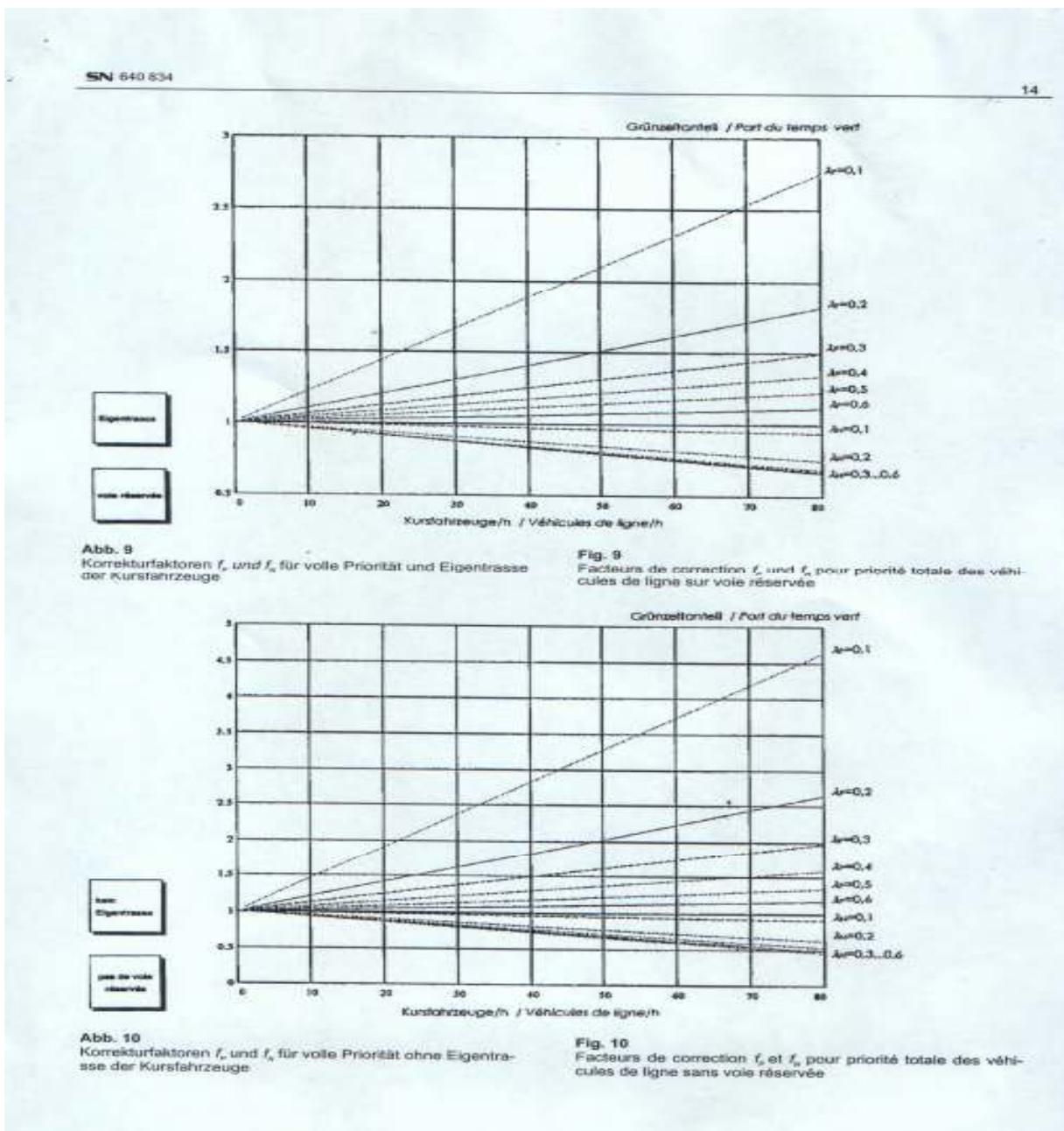
Fig. 8
Temps d'attente des piétons

הענקת זכות קדימה לתחבורה הציבורית פירושה לקחת בחשבון את זמני הירוק כפונקציה של זמן הגעת רכבי הקווים הציבוריים. חלקים מהזמן הירוק גלג של התנועה הפרטית ושל הולכי הרגל

מתואמת עם הזמנים של התחבורה הציבורית. אלה מרוויחים מזכות קדימה זו, ואילו במקרה שאינם מתואמים, חלקים אלה λ_N מוקטנים. הזמנים החדשים הממוצעים נובעים מהנוסחה הבאה:

$$\lambda = \lambda_{NIP} \frac{\sum \lambda_{NIP}}{\sum \lambda_{NIP} / f_{NIP}}$$

גורמי התיקון f_N ו f_p יכולים להיקבע על ידי שני התרשימים 9 ו 10 (המספור מהמקור). הם נכונים לגבי זכות קדימה מוחלטת לקווי התחבורה הציבורית, עם או בלי מסלול שמור; החלק של הזמן הירוק בשביל התחבורה הציבורית הינו אז $\lambda = 1$. במקרה של זכות קדימה חלקית, שני גורמי התיקון והזמן הירוק לתחבורה הציבורית יקטנו בהתאמה.



התאום עם התחבורה הציבורית כולל את התנועה הפרטית ויכול על ידי כך להקטין את העיכובים לגישות המתואמות ברמזורים. תור ההמתנה נקבע אז בערך על ידי היחס

$$K_k = k_1 \cdot f_1 \cdot f_2 + k_0$$

וזמן ההמתנה על ידי

$$w_k = w_1 \cdot f_1 \cdot f_2 + w_0.$$

גורם התיקון f_1 תלוי ב P_k (חלק המחזור של נתיב התנועה המגיעה בזמן הירוק) וב λ_k (חלק הזמן בירוק של זרימת התנועה על נתיב התחבורה המתואם) והתוצאה היא:

$$f_1 = \frac{1 - P_k}{1 - \lambda_k}$$

גורם התיקון f_2 מביא בחשבון את זמן הגעת השיירה המתואמת, יחסית לזמנים הירוקים של הגישה המתואמת, כלומר משקף את איכות הגל הירוק. אפשר לקבוע אותו על ידי תרשים התאמת הזמן-מרחק בתרשים מספר 7. התרשים מתאר את גורם התיקון f_2 הנוגע לתאום של התנועה הפרטית. בקטע העליון הוא מתאר מצב כשראש השיירה מגיע לפני תחילת הזמן הירוק, ואילו סוף השיירה מגיע לפני סיום הזמן בירוק; הקטע השני מתאר את המצב כאשר גם ראש השיירה וגם סוף השיירה מגיעים בזמן האור הירוק או האור האדום; הקטע השלישי מתאר מצב בו ראש השיירה מגיע לאחר תחילת האור הירוק ואילו סוף השיירה מגיע לאחר סיום האור הירוק.

על מנת לקבע אורכי תור, ניתן להשתמש בתרשימים מספר 8 ו-9 (המספור מהמקור), בהם k_1 - k_0 מבטאים את חלק התורים המכחים. תרשים 8 מתאר תור ההמתנה k_1 של התחבורה הפרטית המתואמת ותרשים 9 מתאר תור המתנה k_0 של התחבורה הפרטית המתואמת. השרטוטים בתרשימים מספר 10 ו-11 מבטאים את חלק זמני ההמתנה w_1 ו- w_0 מהם מסיקים את זמני ההמתנה $w_k = w_1 \cdot f_1 \cdot f_2 + w_0$ בגישות מתואמות של מתקני הרמזורים. תרשים 10 (המספור מהמקור) מתאר את זמן ההמתנה של התחבורה הפרטית המתואמת w_1 ותרשים 11 מתאר את זמן ההמתנה של התחבורה הפרטית המתואמת w_0 .

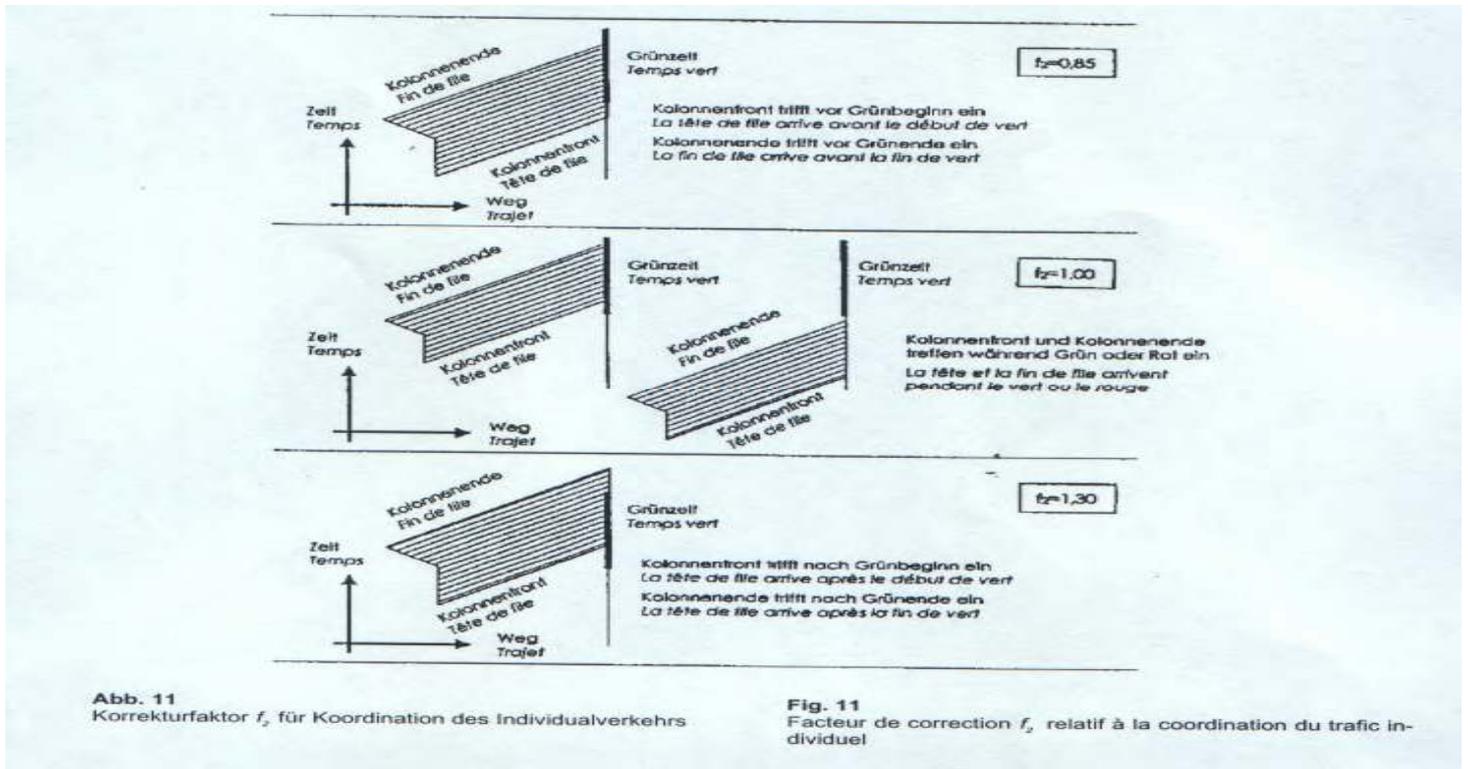


Abb. 11 Korrekturfaktor f_2 für Koordination des Individualverkehrs

Fig. 11 Facteur de correction f_2 relatif à la coordination du trafic individuel

במידה ואורך השיירה או זמן ההמתנה בנתיב הנסיעה נתונים מראש, החלק היחסי של הזמן הירוק λ_1 ניתן להיקבע על ידי התרשימים בשרטוטים 1 עד 4, ביחס לנפחי התנועה. חלקי הזמן הירוק λ_{crit} של המחזורים הקריטיים האחרים של דרכי התנועה נקבעים על ידי:

$$\lambda_{crit} = \frac{(0.833 - \lambda_1) Q_{j,crit}}{\sum (Q_{j,crit} - Q_i)}$$

בנוסף לעיכובים בצומת משתמש התקן השוויצרי בעלות תאונות וברמת פליטת גזים כמדדים לאיכות תפעול הצומת.

המסמך משוויץ **Transit Priority Performance at Signalized Intersections (71)** כולל מתודולוגיה לבחינה כמותית של רמת העדיפות לת"צ והשפעתה על כלי הרכב האחרים בצומת. במסמך מגדיר Jauberti Jianan קיבולת צומת כיחס בין הירוק הדרוש לכל המופעים הקריטיים והירוק הזמין בצומת (אורך מחזור פחות זמני פינוי). התהליך דומה לזה הכלול **במקור 22**.

כמו כן מפתח המחבר מונח של זמן ירוק לת"צ (Transit Greenable Time) שהוא הזמן הירוק ברמזור המוקצב לת"צ. כאשר מוסיפים את משך הירוק הדרוש לכל מופעי הרכב הקריטיים לירוק כללים מנחים לשילוב מערכות הסעת המונים ברמזורים - סקר ספרות

המינימלי לת"צ, ומשווים אותו לקיבולת הצומת, מתקבל הזמן הירוק הנוסף שניתן להוסיף לת"צ ללא הורדת רמת השירות מעבר לקיבולת (רמת שירות E) עבור כל כלי הרכב. כמו כן מציין המסמך כי בצומת הנמצא בגודש יש להבטיח את זמן הירוק המינימלי לת"צ.

לא נמצאה בספרות מתודולוגיה מסודרת לניתוח חלופות לצומת מרומזר, בו עוברים רק"ל או מת"צ. העדר מתודולוגיה כזו נובע מההגדרות השונות של קיבולת ורמות שירות למרכיבי התנועה השונים בצומת. כאשר מדובר ברק"ל ואוטובוסים, מדובר למעשה בקיבולת קו במונחים של מספרי נוסעים. נושא רמת שירות בצומת המרומזר איננו מפורט במסגרת הערכת רמת השירות של הת"צ, היות ורמת השירות לת"צ מורכבת גם ממרכיבים רבים אחרים, כגון תדירויות, נוחיות ואמינות. מאידך, קיימת מתודולוגיה מסודרת לקביעת רמת שירות לרכב על בסיס עיכובים בצומת, כך שניתן לבחון את ההשפעה של צעדי העדפה שונים וסכימות תכנון חלופיות על כלל המשמשים בצומת.

פרק ב': רמזור – תוכניות גיאומטריה והסדרי תנועה

1. הסדרים גיאומטריים

1.0 כללי

תכנון הצמתים חייב להגדיר ולקיים בקרה (control) של הקונפליקטים בין אמצעי תצ"מ (ת"צ מועדפת) לבין יתר משתמשי הדרך באופן ברור וחד משמעי (12).

למרות החשיבות הרבה המיוחסת לתכנון ה"נכון" של הצמתים לא נמצאה במהלך הסקירה הספרותית התייחסות מיוחדת ומסודרת לאמצעי תצ"מ בכלל ולא לרכבת הקלה בפרט; ההנחיה הכללית הינה לתכנן את הצמתים בהתאם להנחיות הקיימות (13, 28, 37, 73, 74) או במילים אחרות, להסתמך על השיקולים הרגילים המנחים את תכנון הצומת: הקטנת שטח הצומת ואזורי הקונפליקט, בהירות ההסדר, הבטחת שדה ראייה מכל כיוון לכל כיוון עבור כל אחד ממשתמשי הדרך, ניתוב ואורכי אחסון התואמים את הדרישה.

רוב ההערות וההארות קשורות לנושא הבטיחות ולא לקביעת מדדים והנחיות אובייקטיביים המתייחסים באופן ייחודי לרכב התכנון:

- הסדרת נתיבים מיוחדים לתחבורה ציבורית והפרדתם הפיזית משאר התנועה, בעיקר כאמצעי בסיסי המאפשר לה תפעול יעיל ומתן שרות משופר.
- "התקנת הרמזורים והתמרורים תהיה בטוחה ואמינה והיא תבטיח הפעלה בטוחה של מערכת הרכבת הקלה ותעמוד בדרישות תקנות התעבורה" (78).
- בהתייחס באופן ספציפי לרכבת הקלה:
- המלצה גורפת (אם כי לא חובה) לרימזור כל הצמתים אותם היא חוצה, במיוחד כשכמות הולכי הרגל גדולה (10, 12, 37, 73, 74).
- לזוודא קיומו של שדה ראייה התואם את מרחק הבלימה של רכב התכן בתוספת מקדמי בטחון, המקבלים ביטוי על ידי קביעת זמני תגובה ומהירויות נסיעה לתכנון (28, 10).
- סימון ברור ונבדל של המעטפת הדינמית לאורך תוואי החצייה של הרכבת הקלה (12, 28, 37, 73, 74).
- להתייחס לחציית תוואי הרכבת הקלה כשהיא נוסעת על זכות דרך בלעדית (ולא מקביל לרכב הפרטי) כאל מפגש מסילת ברזל - כביש, בעיקר במקורות האמריקאים (12, 10) וגם בעקרונות הישראליים (28) או לכל הפחות לחייב את רימזורה (בעיקר על פי המקורות האירופאים: 74, 73, 37).

בהמשך מוצגים ממצאי סקר הספרות בעניין ההשלכות של שילובן של מערכות הסעת המונים על הגיאומטריה של הצמתים בהם היא עוברת. מידע נוסף מוצג בפרק ב-2 של דו"ח הסיור המקצועי.

1.1 רכב התכנן

"רכב התכנן" הוא סה"כ הנתונים הסטטיים והדינמיים המייצגים סוג מסויים של אמצעי נסיעה ומטרתו לשמש ככלי בסיסי ממנו נגזרים האלמנטים הגיאומטרים של הדרך.

לגבי "אוטובוס התכנן" בהיותו כלי ותיק ומוכר, רוב תכונותיו מעוגנות בתקנות של המדינות השונות. גם תכונותיו של האוטובוס המפרקי הוגדרו ב- **הנחיות לתכנון נתיבים לתחבורה ציבורית (85)** - ראה תרשים ב-1.

לעומת זאת, במקרה של הרכבת הקלה, אין הגדרה ברורה של הכלי ותכונותיו והללו תלויות בסוג הכלי ובמיוחד באורך השלוחה (Overhang) ובמרווח בין החוגונים (bogie spacing) (74).

לדוגמא, ת"י 5350 (78) אינו מתייחס כלל למידת האורך ורק מגדיר רוחב קרון מכסימלי (עד 2.65 מ' עבור קרון בגובה של עד 3.40 מ' ורוחב מכסימלי של עד 2.25 מ' עבור גובה מעל 3.40 מ') והיקף החרیגה המכסימלית (0.65 מ') מעבר למרחק הנקי המותר בקטעי המסילה הישרים.

המקור היחידי שנמצאה בו התייחסות ספציפית לאמצעי ההסעה השונים הוא ה- **Guide d'aménagement de voirie pour les transports collectifs** (73) המציג נתוני מינימום/מכסימום לתכנון עבור 4 סוגים שונים של רכב ציבורי: אוטובוס רגיל, אוטובוס מפרקי, רכבת קלה ו"מערכות ביניים". "מערכות ביניים" הינה הגדרה רחבה המתייחסת למגוון אמצעים אשר אינם תואמים את ההגדרות של כלי הרכב האחרים כגון מערכת ה- **HGB** המתוכננת לירושלים, אוטובוסים רב מפרקיים דוגמת ה- **Phileas** הנבחן עבור חיפה ומוצג בתרשים ב-2 וכד' - המאופיינים בעיקר בנסיעה במסלול ייחודי דוגמת הרכבת הקלה, אך על גלגלים. נתוני כלי הרכב השונים מוצגים בטבלה ב-1 שלהלן:

טבלה ב-1: נתוני כלי רכב

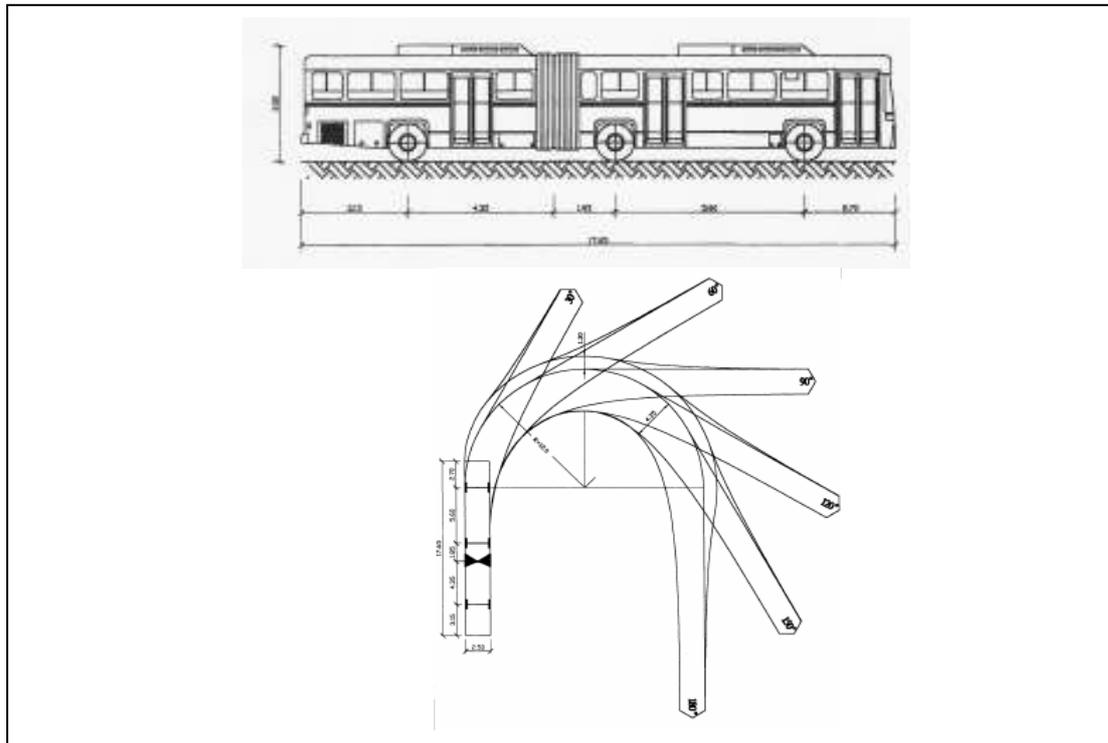
רכבת קלה	"מערכות ביניים"	אוטובוס מפרקי	אוטובוס	סוג הרכב
20.0-40.0 ⁽²⁾	24.5 ⁽¹⁾	18.0	12.0	אורך (מ')
20.0	15.0-20.0	9.0	9.0	רדיוס מינימלי (3) מ'
9%-10% ⁽⁵⁾	10%-13%	10%-13%	10%-13%	שיפועים לאורך (4)
60-80	50-70	65-90	65-90	מהירות מירבית (קמ"ש)
0.8-1.1	1.1-1.2	0.7-0.9	0.7-0.9	האצה מ-0 ל-40 קמ"ש (מ'/שנ ²)
1.25 - כ	1.0-1.5	1.0-1.5	1.0-1.5	מקדם האטה רגילה (מ'/שנ ²)
2.75-3.0	5.5-8.0	5.5-8.0	5.5-8.0	מקדם האטה בחרום (מ'/שנ ²)

הערות

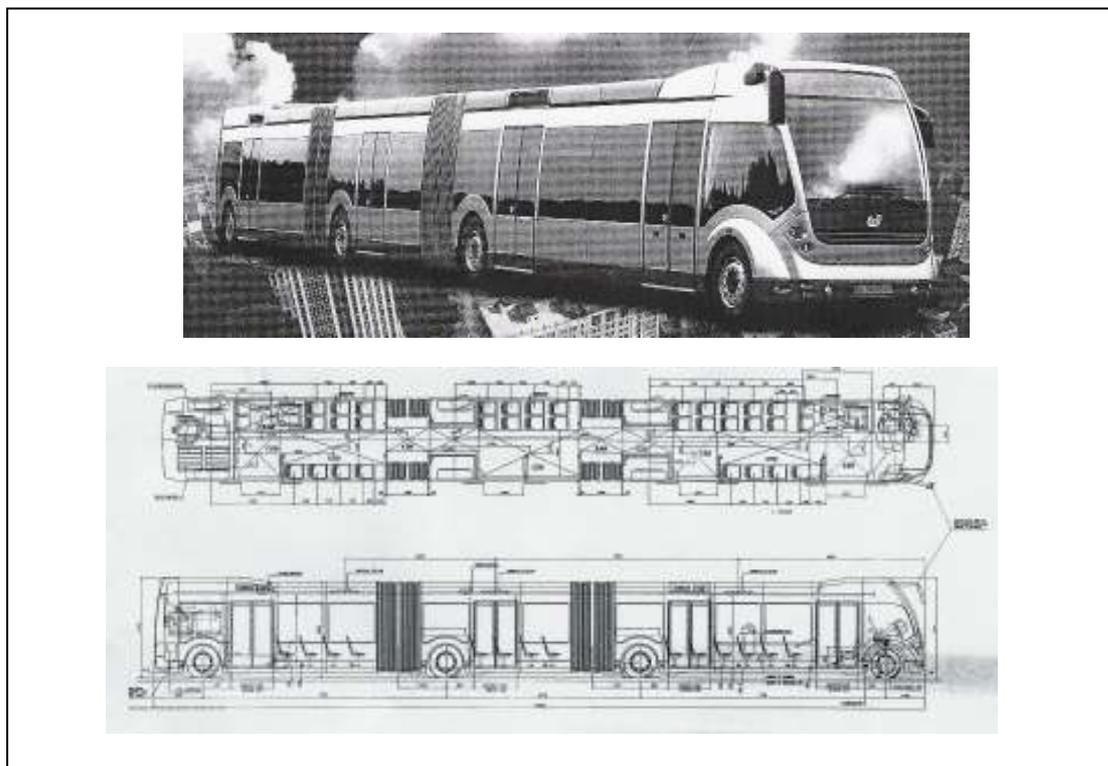
- (1) אורך מכסימלי של רכב בעל 3 חלקים עפ"י תקנות התעבורה הצרפתיות.
- (2) אורך של קרון יחיד (ניתן לחבר 2 קרונות); המחברים מדגישים שאין תקנות המגדירות מהו האורך המכסימלי של הקרון אך מבהירים שקשה לשלב קרונות ארוכים יותר בסביבה עירונית.
- (3) רדיוס מינימלי "מוחלט" – ערך לא מומלץ לתכנון אלא במקרים יוצאי דופן כגון מרכזי תחזוקה או מעבר דרך אזורים עירוניים "קשים".
- (4) ערכי מכסימום בתנאים אידיאליים.

כללים מנחים לשילוב מערכות הסעת המונים ברמזורים - סקר ספרות

תרשים ב-1: אוטובוס מפרקי לתכנון (85)



תרשים ב-2: Phileas - דוגמא לאוטובוס רב מפרקי



מקור נוסף המתייחס למימדים של רכב התכן הוא ה- **Rilsa (13)**, במסגרת ההנחיות לחישוב הזמנים הבין-ירוקים ומציג הנתונים הבאים:

• **עבור רכבת קלה:**

- מקדם האצה הנע בין 0.7 ל- 1.2 מ/שנ² מותנה בסוג הציוד; ערך המקדם קטן ככל שהמהירות גדלה; 1.5 מ/שנ² נחשב הערך המכסימלי מבחינת נוחיות הנוסעים.
- אורך רכב התכן (לצורכי חישוב זמנים בין ירוקים) = 15 מ'.

• **עבור אוטובוסים:**

- מקדם האצה הנע בין 1.0 ל- 1.5 מ/שנ² (הערך העליון מייצג את גבול הנוחיות מבחינת הנוסעים, הרכב עצמו יכול להאיץ הרבה יותר).
- אורך רכב התכן (לצורכי חישוב זמנים בין ירוקים) = 6 מ'.

1.2 מרחקי ראות

רוב המקורות מגדירים את מרחק הראות של הרכבת הקלה כתואם את מרחק הבלימה בתנאי שרות SERVICE BRAKING (ולא עבור בלימת חרום EMERGENCY BRAKING) וזאת בתלות במהירות התקרבות ותאווה מוגדרים מראש. בטבלה הבאה מוצגים הערכים המומלצים במספר מקורות של הפרמטרים המשמשים בסיס לחישוב מרחקי הבלימה.

טבלה מס' ב'- 2: פרמטרים לחישוב מרחקי בלימה

מקור	זמן תגובה (sec)	תאווה (m/sec ²)	הערות
High rail design criteria, the regional transportation district, Denver, Colorado, USA (10)	2.0	0.90	1. יש להקטין את התאווה בירידה 2. מהירות: המהירות המירבית המותרת + 60mph = (מכס' 10mph) 3. מקדם בטחון: תוספת 35% למרחק המחושב
עקרונות לתכנון רכבת עירונית, משרד התחבורה, ישראל (28)	1.0	1.2-1.0	1. לא נקבע ערך תאווה מומלץ לתכנון 2. זמן התגובה לא מוגדר באופן מפורש אלא נגזר מתוצאות החישוב
Guide d'aménagement de voirie pour les transports collectifs (73)	לא מפורט	כ- 1.25	1. מקדם נוחות הנסיעה: 4m/sec ³ (מכסימום)

בת"י 5350 (78) מוצגים ערכים גבוליים לבלימה רגילה וחרום עבור מהירויות בתחילת הבלימה (תאווה ממוצעת מינימלית מותרת ומרחק הבלימה המכסימלי מתחילת הבלימה), אותם יש להבטיח במקרה של כשל באחת ממערכות הבלימה.

נספח א - פרמטרים לבלימה (ראו סעיף 6.4)

(נורמטיבי)

זיים עבור משתנים x ו- s המופיעים בטבלות 1 ו-2, תקפים עבור קרונות ריקים ו

- = רבועה תאוטה ממוצעת מינימלית מותרת
- מרחק הבלימה המקסימלי מתחילת הבלימה
- = מהירות בתחילת הבלימה

$$x = \frac{v^2}{3.6^2 \cdot 2s}$$

טבלה א-1 - ערכים גבוליים לכשל באחת ממערכות הבלמים

(ראו סעיפים 6.4.3, 6.4.6)

v ק"מ לשעה	a מטר לשנייה ²	s מטר
20	0.77	20
30	0.87	40
40	0.95	65
50	1.03	94
60	1.06	131
70	1.07	177
80	1.07	230
90	1.08	290
100	1.08	355

טבלה א-2 - ערכים גבוליים לבלימת חירום

(ראו סעיף 6.4.5 ג)

v ק"מ לשעה	a מטר לשנייה ²	s מטר
20	1.71	9
30	2.04	17
40	2.29	27
50	2.47	39
60	2.57	54
70	2.73	69

1.3 מפרדות

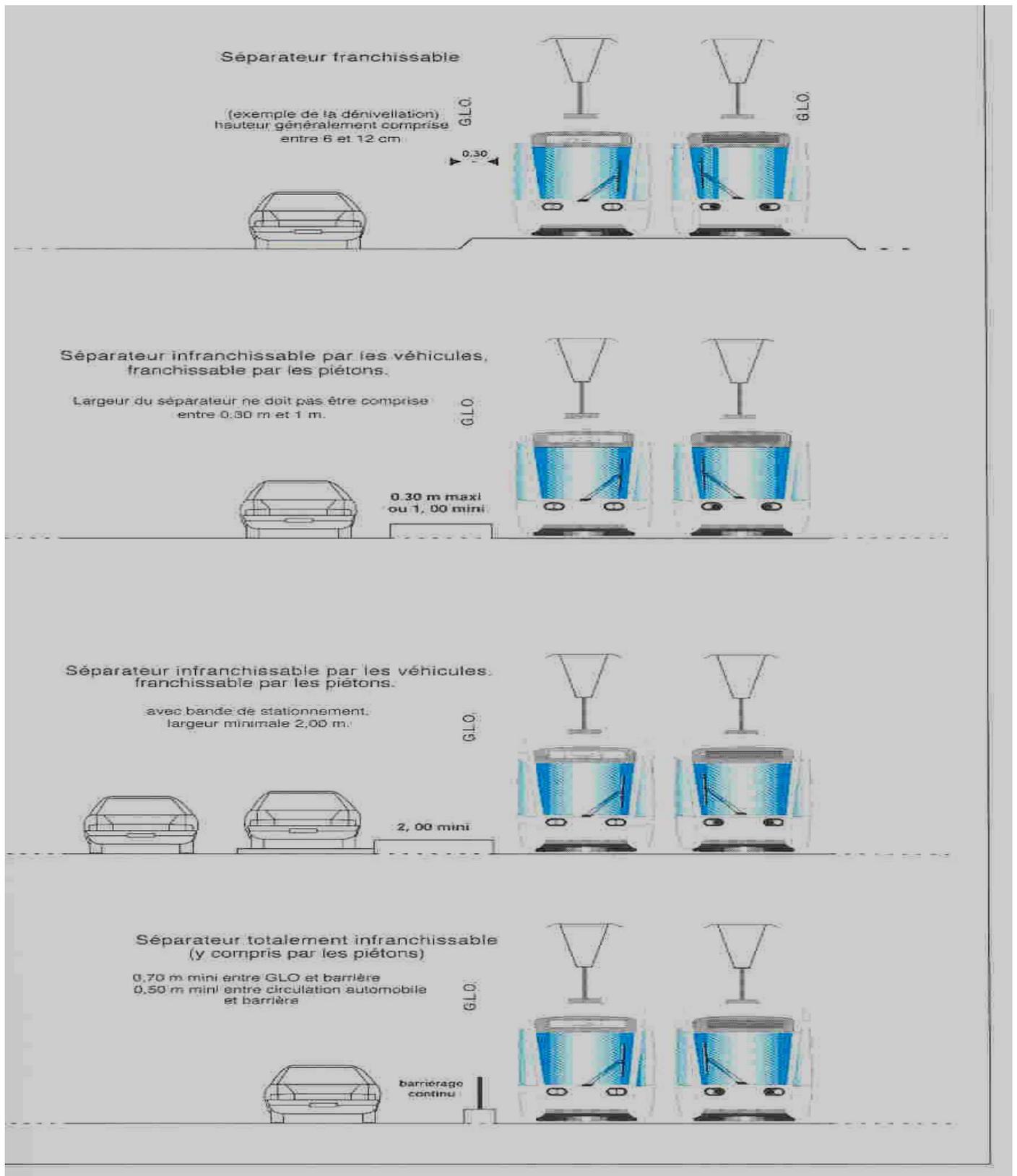
בעניין המפרדות, **האמריקאים (12)** ממליצים להתקין בכל פעם שמסלולי הרכבת הקלה מקבילים למסלולי הרכב הפרטי אך מבלי להתייחס או להמליץ על רוחב רצוי.

ה-RILSA (13) קובע שרוחב המפרדה המינימלי יהיה 1.6 מ' אך זאת בתנאי שמשך הירוק של מופע השולט בתימרון החצייה יאפשר חצייה של כל המסלולים (רכב כללי ורכבת קלה) כאילו מדובר על מעבר חצייה אחד (הפתרון המומלץ על ידי ה-RILSA). במידה ומופעי החצייה אינם מאפשרים חצייה המשכית של כל מסלולי הנסיעה, ה-RILSA קובע שרוחב המפרדה המינימלי יהיה 2.5 מ'.

תקנות התעבורה הצרפתיות (39) אינן מתייחסות למקרה של חצייה המשכית של מסלולים המשמשים אמצעי תחבורה שונים אך קובעות שניתן להסדיר את תימרון החצייה כמופע יחיד עם מפרדה של כ- 2 מ', המשמשת כ"מקלט" להולכי רגל בלבד. במידה ולא ניתן לחצות את כל המסלולים בבת אחת, יש להתייחס לכל מסלול באופן נפרד כשרוחב המפרדה ביניהם הוא 3.0 מ', על מנת לאפשר את "שבירתו" של מסלול ההליכה ולכוון את הולכי הרגל כנגד התנועה המתקרבת.

ההנחיות הצרפתיות לשילוב התחבורה הציבורית בדרך **(73)** מפרטות יותר בנושא זה בתלות בהחלטה כן או לא לאפשר את חצייתן על ידי הולכי הרגל. כך, רוחבה המינימלי של המפרדה כשיש מעקה המונע מעבר ה"ר הוא 1.20 מ'. אך כשמותר לחצות אותה, רוחבה חייב להיות צר מ- 0.30 מ' או מעל 1.0; ואם היא משמשת להמתנה כשמסומן מעבר חצייה, רוחבה חייב להיות 2.0 מ' לכל הפחות (1.50 מ' מינימום מוחלט) ר' תרשים ב-3 להלן.

תרשים ב-3: מפרדות - חתך לרוחב



על פי שיטת התכנון הנהוגה בארץ, כל מעבר חצייה מוגדר כמופע עצמאי ואין דרישה להבטחת "גל ירוק" בחצייה של רחוב בעל 2 מסלולים. המפרדה נחשבת שטח המתנה שווה ערך למדרכה, רחבה המינימלי הוא 2.0 מ' אך אין התייחסות לרוחבה הרצוי בהתחשב בכמות הולכי הרגל, למעט הנגזר מתוך רחוב מעבר החצייה עצמו כמפורט בהנחיות לתכנון (24).

לקראת הפעלתם הצפויה של אמצעי תצ"מ (הסעת המונים) ולאור הצפי שכמויות גדולות של הולכי רגל יבקשו לחצות בעיקר ליד תחנות, הוקם צוות הצפוי לגבש הנחיות בנושא מעברי חצייה עתירי ביקוש (56) אשר קרוב לוודאי יתנו את הדעת גם לרוחב הרצוי של המפרדות.

1.4 מדרכות

לא נמצאה התייחסות מיוחדת לנושא המדרכות ורוחבן בהקשר של מערכות הסעת המונים, לא ביחס לערכי מינימום ולא בנוגע למימדים הרצויים בתלות בכמות הולכי הרגל. ה- HCM-2000 (67) מנסה להתמודד עם נושא העומס במדרכות, ובמיוחד בצמתים, על ידי פיתוח מתודולוגיה המקשרת באופן אנליטי בין רמות השרות (כפי שהמושג מוכר בניתוח תיפקודן של המערכות המשרתות כלי רכב) לבין הצפיפות של הולכי הרגל ועל ידי כך לקבוע את השטח הדרוש.

P.K Goh ו- William H.K. Lam (83) ניתחו מספר תאונות קטלניות שאירעו במעברי חצייה עמוסים, במיוחד ב- Hong Kong, על בסיס המודל של HCM-2000 והגיעו למסקנה שבדומה לרכב, ככל שצפיפות הולכי הרגל הולכת וגדלה, מהירותם קטנה ולכן ממליצים לקבוע שטחי המתנה מספיק גדולים ובמידת הצורך לקבוע מהירויות הליכה נמוכות יותר בחישוב של הזמנים הבין-ירוקים.

בארץ, בנוסף לצוות המפתח הנחיות למעברי חצייה עתירי ביקוש (56), הולכות ונכתבות "הנחיות לתכנון תנועת הולכי רגל" (84) על פיהן רחבה המומלץ של "רצועת ההליכה" במקרים של רחובות מגורים ותעסוקה עם ריכוז ת"צ (כגון תחנות ראשיות) הוא מעל 3.5 מ', בעוד שביתר המקומות הרחב המומלץ הוא בין 2.5-3.5 מ'. לערכים אלה יש להוסיף רצועת עזר ברוחב מינימלי (מוחלט) של 0.70 מ' המשמשת להצבת התמרורים, רמזורים ומרכיבי תשתית הרחוב. בתנאי מדינת ישראל, ערכים אלה, אם כי רצויים, קשים ליישום ולכן ניתן ליישם את ההנחיות המתייחסות לרוחב המינימלי של מפרדות (73, 39, 13) ולקבוע רחב מינימלי של כ- 2.0-2.5 מ' למדרכות.

1.5 נתיבים לפנייה שמאלה

בהמשך למסורת האירופאית, אין איסור גורף על שימוש בנתיב המסילתי על ידי כלי רכב אחרים, אלא הגבלות המסדירות את התנאים בהם הדבר מותר. לדוגמא, על פי ה- **RILSA (13)** - ההנחיות לתכנון רמזורים של גרמניה) כשאין הפרדה בין הרכבת הקלה ליתר כלי הרכב מותר להשתמש בנתיב (המסילה) של הרכבת הקלה הן לצורך פנייה שמאלה ואף להמתנה לפנייה, וזאת בתנאי שמופע הפנייה שמאלה מקבל ירוק עם מופע הרכבת הקלה.

יוצא מן הכלל בהקשר זה היא פניית הפרסה מתוך הרחובות בהם קיימים במקביל מסלולים המיועדים לתצ"מ (הסעת המונים), כגון רכבת קלה ומת"צ, אשר מותרת אך ורק בתנאי שאין ניגוד בינה לבין תנועות אחרות (כולל הולכי רגל ואופניים). למעשה הפתרון המומלץ הוא הסדרת הפניות הנ"ל מחוץ לצומת, כשהחלטה האם לרמזר את הפנייה מותנית בפערים הקיימים בתנועה הראשית או בקיומו של שדה ראייה מספק.

ההנחיות הצרפתיות (73) ממליצות להימנע עד כמה שאפשר מפניות (שמאלה או ימינה) מהדרך המקבילה לתוואי הרק"ל ובכל מקרה לרמזרה (למעט מקרים בהם נפחי התנועה קטנים במיוחד ואך ורק בתנאי שקיימת מפרדה בין התנועות הנ"ל).

1.6 תימרוור

ראו גם סעיף 4 של פרק זה.

ההנחיות הצרפתיות (73) מציגות סדרת תמרורים והנחיות כלליות להתקנתם עבור אמצעי הסעת המונים השונים:

תרשים ב-4: דוגמת תמרורים - צרפת



B 27 a (ex B 27) - Voie réservée aux autobus



B 27 b (nouveau) - Voie réservée aux tramways



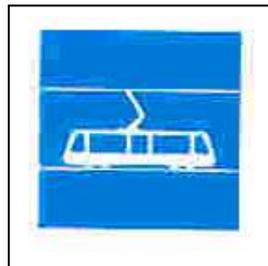
B 45 a (ex B 45) - Fin de voie réservée aux véhicules de transport en commun



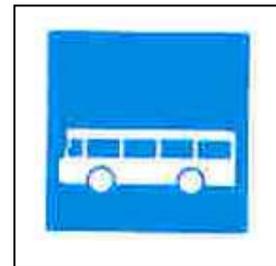
B 45 b (nouveau) - Fin de voie réservée aux tramways



C 20 c + M 9 z



C 7 (nouvelle silhouette) - Indication d'un arrêt de tramway



C 6 - Indication d'un arrêt d'autobus

• תמרורים

- A9 (שווה ערך לתמרור א-26 הישראלי) להצבה במרחק 50 מ' לפני חציית הרק"ל;
- C20c – מראה על מקום חציית הרכבת הקלה (אין לו מקבילה ישראלית).
- B27b, B27a – מציין נתיב בלעדי לאוטובוסים ולרק"ל (בהתאמה) ותואם את תמרור ב-35 הישראלי.
- B45b, B45a – משמעותו קצה הנתיבים הבלעדיים לאוטובוסים ולרק"ל בהתאמה (אין לו מקבילה ישראלית).
- M9 (מקביל לתמרורים א-44 או א-43 הישראליים) עם הכתובת "עדיפות לרק"ל" מותרים להצבה בצמוד לתמרורים A9 או C20c אך ורק בצמתים לא מרומזרים שלאורך קווי רכבת קלה חדשים.
- C6 תחנת אוטובוס ו-C7 תחנת רק"ל.

• סימונים

- מאחר והנתיב או מסלול הרכבת הקלה מאופיין על ידי מסילות, אין צורך בסימון מיוחד לאורךן אלא אם הדבר נועד למנוע מצב של חוסר בהירות.



- בחציות ובצמתים חובה להבליט ולהבדיל את תחום הרק"ל אם באמצעות מירקם שונה של המסעה (אשר חייבת להראות בכל שעות היממה ובכל מזג אוויר) ואם על ידי סימון קו "תן זכות קדימה" (הנמצא בשימוש בצרפת ומועדף על השימוש בקו עצירה מאחר וזה האחרון עלול להתפרש כקו הפרדה רצוף (ד-4) ולגרום לבלבול אצל הנהגים). בכל מקרה, קצה רצועת הרכבת הקלה תסומן במרחק של כ- 1.0-1.5 מ' מעבר למעטפת הדינמית.
- כמקובל בכמעט כל ההנחיות, **אין לסמן מעברי חצייה החוצים רכבת קלה.**

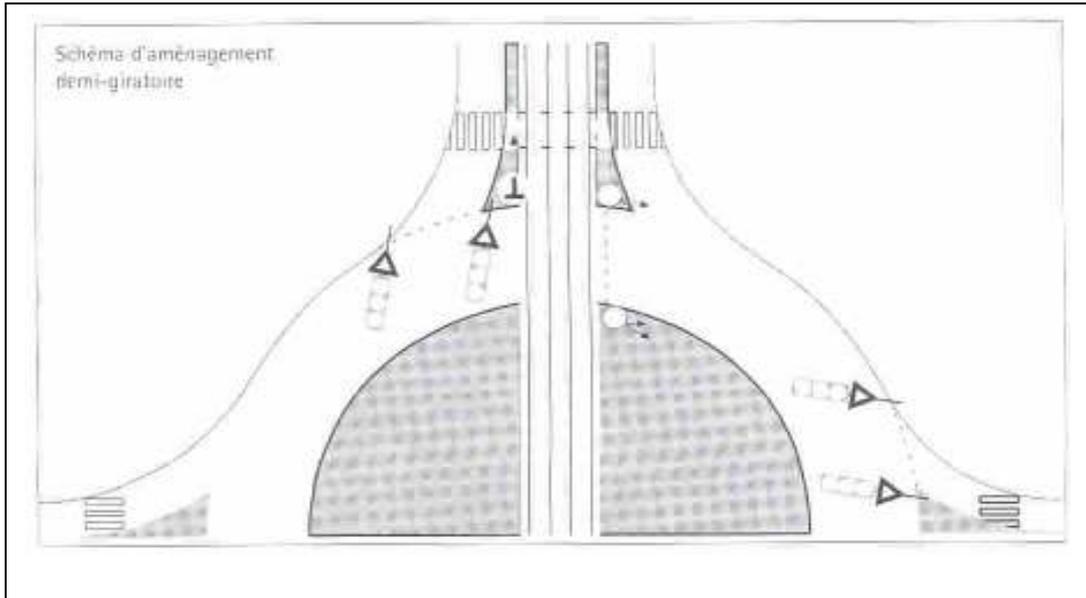
• תמרור תפעולי

- על פי **ההנחיות הצרפתיות (73)**, כל הקשור לתימרור התפעולי נתון לשיקול דעתו של המפעיל ובתנאי שזה יהיה שונה באופן ברור מהתמרורים הרגילים המיועדים לכלל התנועה, הן בצבע, הן בצורה והן בגודל.
- ניתן להציב תמרורים תפעוליים על אותו עמוד המשמש לתמרור רגיל, אך בתנאי שהפרש הגובה ביניהם יהיה לפחות 30 ס"מ.
- בישראל, התמרור התפעולי מעוגן בת"י 5350 (78) שהוא למעשה תרגום של הגרסה האנגלית של ה-BOStrab (41), התקנות הגרמניות להקמת והפעלת של מערכת הרכבת הקלה.

1.7 ניתוח צמתים מיוחדים

לא נמצאה התייחסות לצמתים מיוחדים למעט ניתוח איכותי לגבי המעבר של הרכבת הקלה דרך ככרות בהנחיות הצרפתיות (73). ככלל, המעבר של מסלולים המיועדים לתחבורה ציבורית חייב להיות מרומזר ולעבור דרך מרכז הככר ולא בצידיו (גם לא לחצות את אחת הזרועות של הככר בקרבת המעגל).

תרשים ב-5: חצי מעגל תנועה



עקב המורכבות של ההסדר, הוא אפשרי רק למקרים בהם התדירות של התחבורה הציבורית היא מעל 2 דקות ובדרך כלל אינו מתאים לככר בעל יותר מ- 4 זרועות (5 זרועות במידה וגודל הככר מאפשר זאת) - ראה גם התייחסות נפרדת בעניין הכיכרות בפרק ב-6 של דו"ח הסיור המקצועי.

מבדילים בין 2 סוגים של מעגלי תנועה:

א. מעגלי תנועה קטנים בהם הרמזורים מוצבים אך ורק בכניסות:

- אלה ככרות בעלי רדיוס (חיצוני) של כ- 12-15 מ' (אם כי ניתן ליישם את ההסדר גם במעגלי תנועה קטנים יותר בכפוף לניתוח מפורט) ופועלים כצומת אחד ללא צמתי משנה.
- ההסדר מיועד לרכבת קלה או ל"מערכות ביניים" מונחות; עבור אוטובוסים (בעלי התדירות הגבוהה יותר) מומלץ מעבר ביחד עם כלל התנועה.
- הירוק לרכבת הקלה מתקבל על פי דרישה בלבד; כשמופע הרק"ל מקבל ירוק, כל יתר התנועות מקבלות אדום.
- הולכי הרגל: מעברי החצייה מוסדרים בזרועות במרחק מה מהככר בהתאם לנוהל המקובל (בצרפת).

ב. מעגלי תנועה גדולים בעלי רדיוס חיצוני של כ- 15-25 מ' בהם גם המסלול הטבעתי מרומזר (צמתי משנה).

- הסדר זה אפשרי גם במקרים בהם יותר מ-4 זרועות, בתנאי שמסלול המת"צ יעבור דרך המרכז ובתוואי ישר.
- במקרה זו מופע הרק"ל מקבל ירוק יחד עם התנועה הכללית המקבילה; התנועות הפנימיות החוצות את הרק"ל מקבלות אדום.
- בדומה למעגלי תנועה קטנים, ההסדר מיועד לרכבות קלות ול"מערכות ביניים" בעלות תדירות נמוכה וקבועה (מעל 2 דקות).
- מבחינת הולכי הרגל, מעברי החצייה מסומנים במרחק מה מהכר כפי שמקובל בצרפת.

2. פנסי רמזור

2.1 כללי:

המסמך "**Integration of Light Rail Transit into City Streets**" (12c) מציין כי פנסי הרמזור לרק"ל חייבים להיות מובדלים בבירור בצורה ובצבע מפנסים רגילים לרכב ועליהם להיות חסרי משמעות לנהגים ולהולכי הרגל, ללא צורך בסיוע של שילוט ותמרור. כך, למשל, עלולים נהגים לבלבל פנס T ירוק כחץ לפנייה שמאלה. גם פנסי החלפה (Signals Switch), פנסים הדומים לפנסים לרכב, נוטים לבלבל נהגים והולכי רגל.

הפנסים צריכים להיות כאלה שלא ישפיעו על תנועת כלי הרכב והולכי הרגל, על מנת למנע בלבול שיגרום, למשל, לרכב גלגלי, בנתיב מקביל, להיכנס לצומת בזמן הלא נכון. ככלל מנחים הפנסים את נהג הרק"ל:

א. לנסע ישר (אם ניתן בבטיחות).

ב. לעצור.

ג. לפנות ימינה או שמאלה.

ד. היכון לנסיעה.

ה. סוף מופע (עצור לפני הצומת או פנה מייד את הצומת).

ככלל, סדר האורות ברמזורי רק"ל הוא: "עצור" - "סע" - "התכוון לעצור" - "עצור". אין מצב של "התכוון לנסע" (המקביל ל"אדום+צהוב" ברמזורי רכב בישראל).

כמו כן הפנסים לרק"ל יוצבו על התקן נפרד מזה של פנסי הרכב (RILSA 13).

לוח התמרורים האמריקאי, ה- **MUTCD (9)** מורה שפנסי הרמזור לרק"ל יהיו שונים מפנסים רגילים, אולם מאפשר גם שימוש בפנסי רמזור רגילים. במקרה כזה חובה למקם את הפנסים כך שלא ייראו ע"י הנהגים ורוכבי האופניים בצומת. אין הוראה דומה לאוטובוסים במסלול בלעדי.

2.2 סוגי פנסים

2.2.1 פנסים לרק"ל ולאוטובוסים במסלול בלעדי

2.2.1.1 – צורת הפנסים

בסקר הספרות נמצא מגוון רב של פנסים לרכבת קלה. למסלולי אוטובוסים נמצא מספר מוגבל של סוגי פנסים. פנסי הרמזור השכיחים ביותר לרק"ל כוללים פס לבן, אנכי, אופקי או אלכסוני, בעדשה עגולה שחורה, בתוספת עיגול או משולש לבן. הפס הלבן מורה על נסיעה או עצירה. המשולש מורה להתקדם בזירות והעיגול מורה על "עצירה לפניך". **לוח התמרורים של מדינת ישראל (74)** כולל פנסי רמזור לרק"ל המופיעים כתמרורים ה- 16 עד ה- 21 בלוח. ר' תרשים מס' ב-6.

תרשים מס' ב-6: פנסי רק"ל על פי לוח התמרורים בישראל

(4) בחלק חי – רמזורים ותמרורי בקרת נתיבים –

(א) אחרי תמרור ח-15-9 יבוא:

1. צורת התמרור וצבעו	2. מספרו	3. פירושו לגבי נוהג רכב	3. פירושו לגבי חולך רגל
	ה-16	<p>עצור; סומן קו עצירה – עצור לפני קו העצירה, סומן מעבר חצייה – עצור לפני מעבר החבייה, לא סומן קו עצירה או מעבר חצייה – עצור במסוד לרמזור הקרוב; אסור לעבור את קו העצירה או את מעבר החצייה או לחיכנס לצומת כל עוד האות האופקי במס העליון דולק.</p>	
	ה-17	<p>עצור כאמור ב-ה-16 עד לחופעת האור האנכי. אסור לעבור את קו העצירה או את מעבר החבייה או לחיכנס לצומת כל עוד האות האופקי והאות העגול דולקים יחד. חיכוך לנטיעה עם התחלף האות.</p>	
	ה-18	<p>המתקרב לצומת ימנור כאמור בתמרור ה-16. אלא אם כן הנוהג אינו יכול לעצור לפני הצומת בבטחה; מי שעבס לצומת ילנוח מיד.</p>	

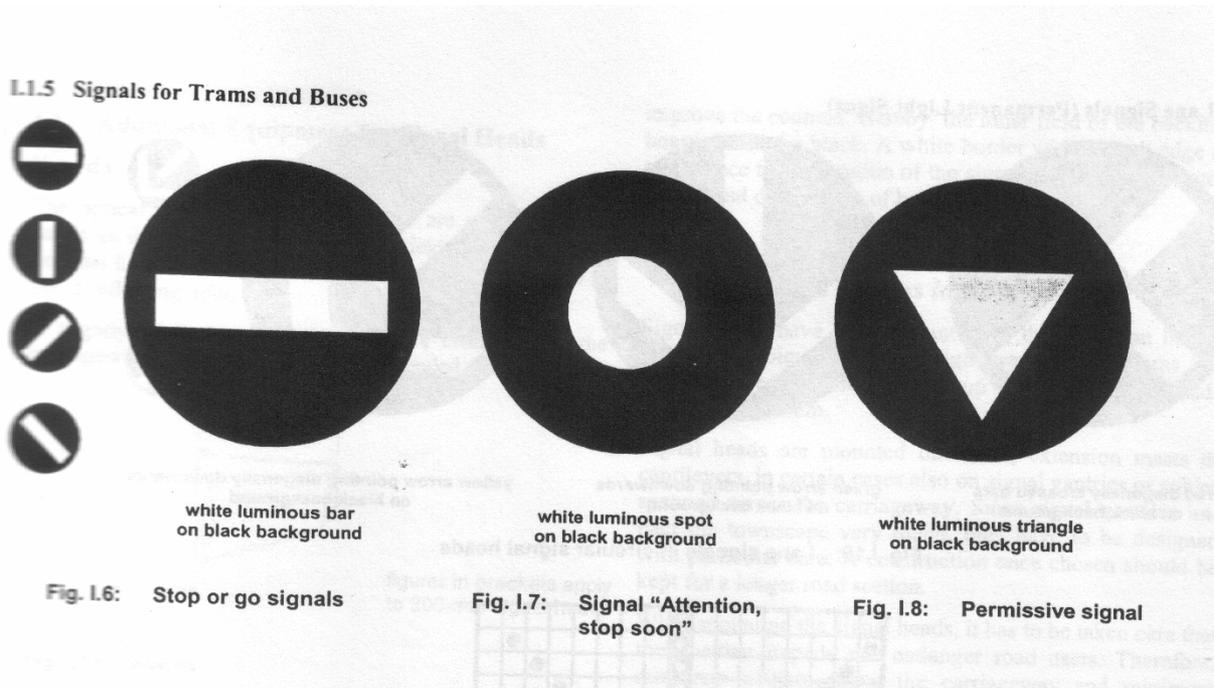
1. צורת התמרור וצבעו	2. מספרו	3. פירושו לגבי נוהג רכב	3. פירושו לגבי חולך רגל
	ה-20	<p>התקדם – מותר לנסוע רק ימינה; אם האות מהבהב – פירושו: האות מסתיים ועומד להופיע האות שבתמרור ה-18.</p>	
	ה-21	<p>התקדם – מותר לנסוע רק שמאלה; אם האות מהבהב – פירושו: האות מסתיים ועומד להופיע האות שבתמרור ה-18.</p>	

הפנסים על פי לוח התמרורים הגרמני BOSTrab (41) ומסמך ה-RILSA (13) כוללים שלושה סוגים עיקריים:

- 1) עדשות עם פס לבן, אופקי, אנכי או אלכסוני, על רקע שחור לסימון "סע" או "עצור".
- 2) עדשות עם עיגול לבן על רקע שחור לסימון "שים לב, עצירה לפני".
- 3) עדשות עם משולש לבן על רקע שחור לסימון "תנועה מותרת (Permissive) במידה שהשטח פנוי. השימוש במשולש אופייני למצבים בהם הרק"ל איננה נוסעת ברצועה בלעדית. הפנס מתיר לרק"ל את הפניה שמאלה, למשל, אם אין תנועה נגדית.

תרשים מס' ב-7 מתאר את הפנסים.

תרשים מס' ב-7: פנסי רק"ל על פי RILSA



תרשים מס' ב-8: פנסי רק"ל על פי ה - MUTCD

	Three-Lens Signal	Two-Lens Signal
<p>SINGLE LRT ROUTE</p> 	<p>STOP </p> <p>PREPARE TO STOP  <i>Flashing</i></p> <p>GO </p>	<p> STOP</p> <p>⁽²⁾ GO</p>
<p>TWO LRT ROUTE DIVERSION</p> 	<p></p> <p> <i>Flashing</i></p> <p> ⁽¹⁾</p>	<p></p> <p> ^{(1),(2)}</p>
	<p></p> <p><i>Flashing</i> </p> <p> ⁽¹⁾</p>	<p></p> <p> ^{(1),(2)}</p>
<p>THREE LRT ROUTE DIVERSION</p> 	<p></p> <p> <i>Flashing</i></p> <p>  ⁽¹⁾</p>	<p></p> <p>  ^{(1),(2)}</p>

Notes:
 All aspects (or signal indications) are white.
 (1) Could be in single housing.
 (2) "Go" lens may be used in flashing mode to indicate "prepare to stop".

ההנחיות האמריקאיות לתמרור, ה - MUTCD (9), בפרק הרכבת הקלה (חלק 10), מציגות גם הן פנסים עם קו לבן על רקע שחור עם משולש המסמן "התכונן לעצירה". בניגוד לפנסי רמזור לרכב, לכל כיוון יש סימון משלו בפנס נפרד (נזכיר כי ברמזורי רכב ישנו תמרור המסמן כיוונים מותרים מעל פנסי הרמזור). תרשים מס' ב-8 מתאר את הפנסים מתוך ה - MUTCD.

מן הראוי לציין כי ה - MUTCD מאפשר גם שימוש בפנסי רכב רגילים לרק"ל.

לוח התמרורים הסובייטי (38) כולל רמזורים שונים לרכבת קלה, כפי שמתואר בתרשים מס' ב-9. פנסים מסוג זה נמצאים במדינות נוספות במזרח אירופה (התמונות – מבודפשט, הונגריה) ונחשבים לפנסים מיושנים.

תרשים מס' ב-9: פנסי רק"ל על פי ההנחיות של בריה"מ

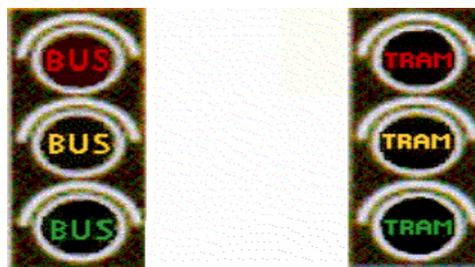


הוראות הרמזור מתקבלות משילוב של אור לבן בפנסים, כדלקמן:

- ❖ שתי עדשות אנכיות דולקות - סע ישר אם בטוח לנסע (תמונה ימנית)
- ❖ שתי עדשות דולקות באלכסון - פנה ימינה או שמאלה.
- ❖ שלוש עדשות אופקיות דולקות – עצור (תמונה משמאל).

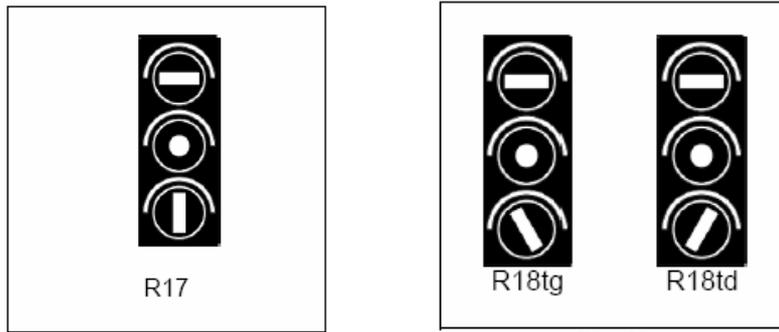
פנסים אלה ניתן למצוא גם במערכת הרק"ל של סופיה, בולגריה ובדפשוט, הונגריה. סוג נוסף של פנסי רמזור הדומה יותר לפנסים רגילים מופיע במפרט של **העיר שטרסבורג בצרפת** (Mecthild Zeller) (40), כמתואר בתרשים מס' ב-10. פנסים אלה נראים כמו פנסי רמזור רגילים עם כיתוב "אוטובוס" או "רק"ל" בתוך הפנס. מן הראוי לציין כי פנסים אלה אינם מסמנים את כיוון הנסיעה המותר לרק"ל.

תרשים מס' ב-10: פנסי רק"ל בשטרסבורג



התקן הצרפתי (39) כולל, גם הוא, את הפנסים המוכרים עם פס לבן ועיגול לבן כמרכז הפנס, כפי שמתואר בתרשים מס' ב-11. העיגול המרכזי יכול להבהב גם במקרה של תקלה. מידע נוסף בעניין זה, כולל התייחסות לסוגי פנסים/אותות מיוחדים, מוצג בפרק ב-4 של דו"ח הסיוור המקצועי.

תרשים מס' ב-11: פנסי רק"ל על פי התקן הצרפתי

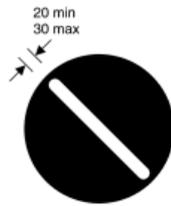


הרמזורים האוסטרליים הם צבעוניים, כאשר פנס ה"עצור" כולל סימן "ד" אדום, "התכווץ" הוא סימן "ד" צהוב בעוד שסימן ה-"סע" הוא "ד" לבן או חץ לבן (לפניה), כמתואר בתמונות שלהלן:



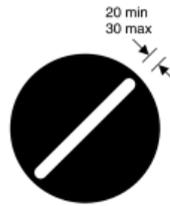
תרשים מס' ב-12: פנסי רק"ל על פי ההנחיות הבריטיות

SCHEDULE 8 LIGHT SIGNALS FOR THE CONTROL OF VEHICULAR TRAFFIC (contd.)



3013.3
As diagram 3013, conveying the indication prescribed by regulation 42(c)

Item	
1	Regulations: 41, 42
2	Directions: 46, 56
3	Diagrams: None
4	Permitted variants: None



3013.4
As diagram 3013, conveying the indication prescribed by regulation 42(d)

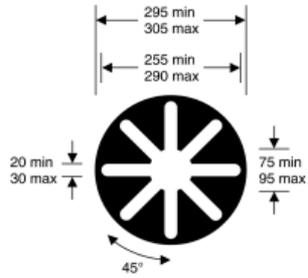
Item	
1	Regulations: 41, 42
2	Directions: 46, 56
3	Diagrams: None
4	Permitted variants: None



3013.5
As diagram 3013, conveying the requirement prescribed by regulation 42(e)

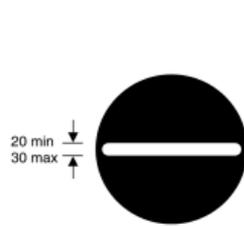
Item	
1	Regulations: 41, 42
2	Directions: 46, 56
3	Diagrams: None
4	Permitted variants: None

SCHEDULE 8 LIGHT SIGNALS FOR THE CONTROL OF VEHICULAR TRAFFIC (contd.)



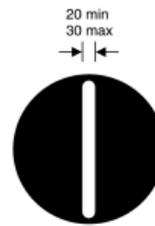
3013
Light signal for the control of tramcars

Item	
1	Regulations: 41, 42
2	Directions: 18(1), 46, 56
3	Diagrams: 1001, 1001.1, 3000.7, 3000.8, 3000.9, 3000.10
4	Permitted variants: None



3013.1
As diagram 3013, conveying the prohibition prescribed by regulation 42(a)

Item	
1	Regulations: 10(1), 41, 42
2	Directions: 46, 56
3	Diagrams: None
4	Permitted variants: None



3013.2
As diagram 3013, conveying the indication prescribed by regulation 42(b)

Item	
1	Regulations: 41, 42
2	Directions: 46, 56
3	Diagrams: None
4	Permitted variants: None

ההנחיות הבריטיות לתמרורים (75) כוללות פנסים לרק"ל, כמפורט בתרשים ב-12. התמרור (מספרו 3013) כולל קו אופקי לסימון "עצור", קו אנכי לסימון "סע", קווים אלכסוניים לסימון "סע ימינה/שמאלה" ועיגול המסמן "אין לעבור את קו העצירה אלא אם אין ביכולת הרק"ל לעצור בבטחה, אזי יש להמשיך לפי הסימן שקדם לכך".

המסמך "**Railway Safety Principles and Guidance**" (37) קובע כי פנס זה (העיגול) יופעל בהתאמה למאפייני העצירה של הרק"ל והמהירות המירבית. ניתן לקצר זמן זה למאפייני עצירת חירום במידה ותכנון הרמזור מבטיח כי הרק"ל תקבל רמזור "עצור" אך ורק במקרים יוצאים מן הכלל. במקרה כזה צריכה להיות אחידות בכל מערכת הרק"ל. משך הזמן המינימלי להפעלת פנס זה הוא, בדרך כלל 5 שניות, אך יכול להשתנות לפי מערכות ומקומן.

המסמך "**Railway Safety Principals and Guidance**" (37) מצייין גם כי פנסי הרמזור לרק"ל יכולים לכלול פנס יחיד עם סימון קו או נקודות, ראש רמזור עם מספר פנסים שיכללו לפחות 5 נקודות אור במתקן או שורת נקודות אור המציגה מתקן דומה.

פנסי הרמזורים לרק"ל **בנוטינגהם, אנגליה (60)**, כוללים חמש נורות (נקודות אור), כאשר, כאמור, גם אם שתיים מהן יכבו - עדיין ניתן יהיה להפעילן ביעילות. כפי שניתן לראות בתמונות להלן הסימנים הם, משמאל לימין, מצבים של "סע", "עצור אם ניתן לעצור בבטחה" ו-"עצור". ר' תרשים ב-13.

תרשים מס' ב-13: פנסי רק"ל בנוטינגהאם - בריטניה



תרשים מס' ב-14: פנסי רק"ל על פי ההנחיות הבריטיות



בנוסף לרמזורי הרק"ל ישנם רמזורים מקדימים של נקודת ציון (Point Indicators) המסמנים מיקום של נקודת החלטה בין כיווני נסיעה. ר' תרשים מס' ב-14. הרמזור מצביע בקו אלכסוני ימינה או שמאלה. רמזורים אלה אינם מחוברים לרמזור בצומת. שילוב של רמזור לנקודת ציון ורמזור לעצירה מתואר בתמונה המצורפת, בפנס עם 2 חלקים: החלק העליון מציין כי כיוון הנסיעה הוא בפניה ימינה. החלק התחתון מורה על עצירה.

על פי **התקנות ההולנדיות לרמזורים (48)**, יש לפנסים לתנועת ת"צ את המאפיינים הבאים:

- הם כוללים 2, 3 או 4 עדשות (לבנות, צהובות ואדומות). הסידור לשימוש בלבנות מוגדר להלן בהנחיות 70 ו-71.
- סדר האותות הוא לבן, צהוב, אדום, לבן.
- העדשות הן צרוף של מנורות קטנות בקוטר 35 מ"מ.
- הרקע של העדשות הלבנות אפור ושל היתר – שחור.
- הפנסים לת"צ מותקנים רק במקום שיש מסלול או נתיב מיוחד עבורם.
- חובה להתקין את הפנס עם 9 "עיניים" (נוריות) במקום שברור לנהג הת"צ איזה פנס נועד לו, ויש לסמן לאיזה כיוון נסיעה הוא מסמן.
- אם יש מופע יחיד לת"צ שניתן לפיו לפנות לכל הכיוונים, יש להתקין פנס אחד. אם יש מופעים נפרדים, לישר ושמאלה, צריך להתקין פנסים נפרדים (מנורה לבנה יחידה באמצע משמעותה "כל הפניות מותרות").
- אם יש אור לבן אחד ישר (במרכז) או פניות של הת"צ ימינה או שמאלה, התנועה החוצה חייבת לקבל אדום.
- ניתן להבהב את הפנס הלבן רק במקרים הבאים:
 - א. עבור מסלול ת"צ
 - ב. ת"צ פונה ימינה או שמאלה עם כלל התנועה שיש לה ירוק
 - ג. אם הצומת מרומזר ומיד אחריו יש מעבר חצייה לא מרומזר.
- תדירות ההבהובים של הפנס הלבן הוא 80-120 לדקה והיחס בין משך האות למרווח הזמן שביניהם הוא 1:1.
- ניתן להשתמש ברמזורים עם 2 צבעים בלבד במקומות בהם מספר החציות הצפוי הוא מועט, למשל ביציאה מהדיפו. במקרה זה פועלת עדשה אדומה רגילה שפועל רק כשמתרחשת חצייה, ויתר הזמן פועלת עדשה צהובה מהבהבת.
- כאשר הרמזור איננו עובד, אפשר להשתמש בעדשות האור הצהוב גם של ת"צ כמו צהוב מהבהב הרגיל. תדירות ההבהובים הצהובים היא 40-60 הבהובים לדקה והיחס בין הזמנים שיש ושאיין אור הוא 1:1.

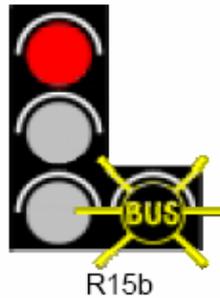
2.2.1.2 פנסים לאוטובוסים

בישראל אין פנסים מיוחדים לאוטובוסים במסלול בלעדי. פנסי הרמזור במקרים אלה זהים לפנסי רכב, כאשר תמרור חץ ההכוונה מעל פנס הרמזור הינו חץ צהוב.

פנסי הרמזור לאוטובוסים המופיעים במקורות זהים בצורתם לפנסי רמזור רגילים (כלומר עדשות עגולות עם שלושת הצבעים) כאשר בתוך הפנסים כלולה המילה "אוטובוס" (ר' תרשים ב-10

לעיל). כאשר האוטובוס מקבל עדיפות, קיים פנס משולב, כפי שמופיע **בהנחיות הצרפתיות** (39) ובתרשים מס' ב-15:

תרשים מס' ב-15: פנסים על פי התקן הצרפתי (39)



2.2.2 פנסים לכלי הרכב

בספרות לא נמצאה הנחיה מיוחדת לגבי פנסים לכלי הרכב האחרים. מהטקסטים ניתן להבין כי כלי הרכב האחרים בצומת משורתיים ע"י פנסים סטנדרטיים. לדוגמא, ה - MUTCD (9) מפנה בנושא הפנסים לרכב לפרק 4, העוסק ברמזורים רגילים.

גם ההדגשה של השוני הדרוש של רמזורי הרק"ל מפנסי רמזור רגילים (ר' סעיף 2.1 לעיל) במקורות שונים, כמו גם התמונות שנאספו, מצביע על השימוש בפנסים רגילים לרכב פרטי.

2.2.3 פנסים להולכי רגל

ההנחיות הגרמניות **RILSA (13)** מציינות כי חציית מסילה ע"י הולכי רגל צריכה להיות מבוקרת באמצעות רמזור. מומלץ שהמעברים יופעלו בתאום עם הרק"ל. הפנסים להולכי רגל מראים חשך או ירוק, כל זמן שאין רכבת מתקרבת. היות ויש להתחשב בזמני הפינוי, ייתכן והרק"ל תצטרך לעצור אם האות יגיע בזמן לא נכון.

ההנחיות הגרמניות **RILSA (13)** מאפשרות גם החלפת פנס רמזור להולכי רגל במעברי חציה של מסילת הרק"ל בתמרור מהבהב המראה רכבת קלה בתמרור עגול. ההבהוב מופעל ע"י הרק"ל.

בספרות אין הנחיה מיוחדת לגבי פנסים להולכי רגל. מהטקסטים ניתן להבין כי הפנסים להולכי הרגל בצמתים מרומזרים עם ת"צ הם פנסים רגילים. לא נמצא טעם בפירוט סוגי פנסים רגילים להולכי רגל, בהיותם כלולים בלוח התמרורים הישראלי ומוכרים לכל.

2.3 שילוב פנסים

שילוב פנסי רק"ל עם פנסים רגילים לרכב הוא בעייתי, כפי שתואר בתחילת הפרק. קיים צורך להפריד את הפנסים, על מנת שלא לבלבל את הנהגים. דוגמאות לשילוב פנסי רק"ל עם פנסים



רגילים ניתן למצא **בבודפשט**, הונגריה, כפי שמתואר בתמונות הבאות. אף כי ישנה לכאורה התאמה באינדיקציות של פנסי הרמזור והרק"ל, הם אינם מראים תמיד את אותו השילוב. ההוראה בתמונה מימין - עצור. ההוראה בתמונה משמאל - עצור, אלא אם כן זה לא בטוח.



שילוב נוסף הוא של פנסים לרק"ל בצומת של מסלולי רק"ל. כפי שניתן לראות בתמונה משמאל, מותקנים שני פנסים על אותו עמוד, עם הוריות שונות: הפנס השמאלי מורה לעצור והימני מורה כי בטוח לנסע ישר.

דוגמא נוספת לשילוב פנסים בצומת של רק"ל עם רכב רגיל מוצג בתמונה מימין. ההפרדה בין פנסי הרכב והרק"ל - אנכית. הפנס הימני של הרק"ל מראה שניתן לפנות ימינה בבטחון.



שילוב פנסים **באוסטרליה** מוצג בתמונות הבאות:

שילובים נוספים של פנסי רק"ל ניתן לראות **בהנחיות האמריקאיות** (תרשים מס' ב-8 לעיל), כאשר ישנם פנסי פניה יחד עם פנסים לנסיעה ישר.

שילוב פנסים אחר הוא במסלולים בלעדיים לאוטובוס בפניה ימינה. ההנחיות מגרמניה (**RILSA**) **(13)** כוללות שילוב של פנסי רכב לנסיעה ישר ופנסים לאוטובוסים בנתיב בלעדי לפניה ימינה על אותו העמוד.

2.4 מיקום הפנסים

על פי ה - MUTCD (9), האמריקאי, בפרק הרכבת הקלה (חלק 10), יהיו פנסי הרמזור לרק"ל מופרדים אנכית או אופקית מפנסי הרכב הקרובים לפחות 0.9 מטר. מן הראוי לציין כי אין דרישה ל - 2 פנסים לכל כיוון כמו שקיים בכיוונים הראשיים של תנועות הרכב. על פי ה - MUTCD ניתן להשתמש בפנסי רמזור לרכב להכוונת רק"ל. במקרה כזה יוצבו פנסים לרק"ל כך שלא יראו ע"י כלי הרכב והולכי הרגל בצומת.

פנסים להולכי רגל, על פי ה - MUTCD (9) צריכים להיות מוצבים כך שהולך רגל לא יעצור בין המסילות.

פנסי הרק"ל **בסופיה**, בולגריה מוצבים, גם הם, בצד ימין של המסילה, לפני הצומת וללא פנס חוזר.

על פי הנחיות של עיריית **דנור, קולורדו**, ארה"ב (10) רמזורי הרק"ל יוצבו בצד ימין של המסילה לה הוא מכוון. יש לעשות כל מאמץ שמיקום הפנסים יהיה מימין, במגבלות הגיאומטריה ושדה הראיה בצומת. ההנחיות של העיר דנור מציינות גם שגובה הפנסים יהיה, ככל האפשר, בגובה עיני נהג הרק"ל.

בדו"ח TCRP-17 (12c) נקבע כי על פנסי הרק"ל להיות מופרדים מפנסים לכלי רכב והולכי רגל, במיקומם, כמו גם בצורתם וצבעם. קוטר העדשה הוא "12, אולם ניתן להשתמש בעדשות בקוטר "8 אם מהירות הרק"ל אינה עולה על 25 מייל לשעה (40 קמ"ש). הפנס הראשי לרק"ל ימוקם בצד הקרוב של הצומת. בתנאים מיוחדים, לדוגמה בקטעים הקצרים מהאורך המרבי של רכבת, הפנס הראשי ימוקם בצד הרחוק של הצומת. בתנאים מיוחדים ייתכן ויידרשו פנסים (Single Aspect LRT Signal Heads) נוספים, אשר יראו **רק** את האור המורה לנסע.

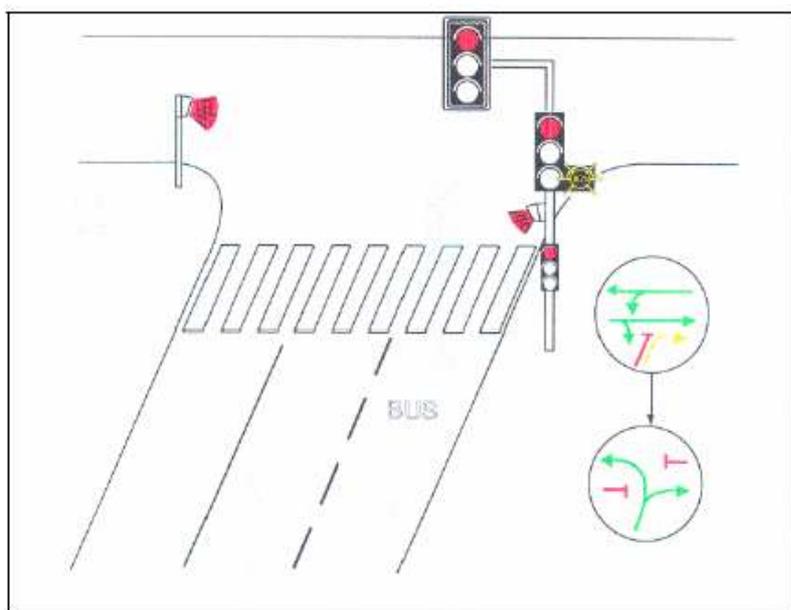
פנסי הרק"ל יופרדו, אופקית ואנכית, לפחות 8 רגל (כ - 2.5 מ') מפנס הרמזור לרכב או להולכי רגל הקרוב ביותר, עבור אותה גישה (זרוע). פנסי הרק"ל יותקנו במשולש הראות (cone of vision) של מפעיל הרק"ל ללא כל הפרעות. משולש הראות למפעילי הרק"ל יהיה 25 מעלות לכל צד של המסילה ובסה"כ 50 מעלות.

פנסי הרק"ל, על פי **ההנחיות הצרפתיות (39)** ימוקמו לפני הצומת (לפני הכניסה לאזור הקונפליקט) וללא פנס חוזר.

כאשר האוטובוס מקבל עדיפות בפניה מנתיב בלעדי (בצד ימין), קיים בהנחיות הצרפתיות (39) פנס משולב, כפי שמופיע בתרשים מס' ב-16:

תרשים מס' ב-16

מיקום פנסי נת"צ על פי התקן הצרפתי (39)



ההנחיות הבריטיות

לתמרורים (75) מציינות כי כאשר רמזורים לרק"ל צמודים לרמזורי רכב הגלים, עליהם להבהיר לנהג הרק"ל מסר שונה מהמסר של הרמזורים למכוניות הפועלים בו זמנית, באמצעות צורת הפנסים.

המסמך "**Railway Safety Principals and Guidance**" (37) קובע כי פנסי הרק"ל ימוקמו בדרך כלל בצד שמאל של המסילה (הערה: יש לזכור כי מדובר באנגליה, שם הנסיעה היא בצד שמאל). ניתן למקם פנסים בצד ימין, בין המסילות, בתנאי שנשמרים מרווחי בטחון מתאימים. כמו כן מציין המסמך כי התקנה של פנסי רק"ל נוספים אפשרית במידת הצורך, אולם בדרך כלל פנסים נוספים מעבר לצומת אינם דרושים. גם **ההנחיות של אירלנד** (74) מנחות הצבת פנסי הרק"ל מצד שמאל (שוב, נוסעים בשמאל). ניתן להציב פנס נוסף במידת הצורך ובמקרים אחרים – גם מימין, בין המסילות, תוך שמירת מרווחים חופשיים מתאימים.

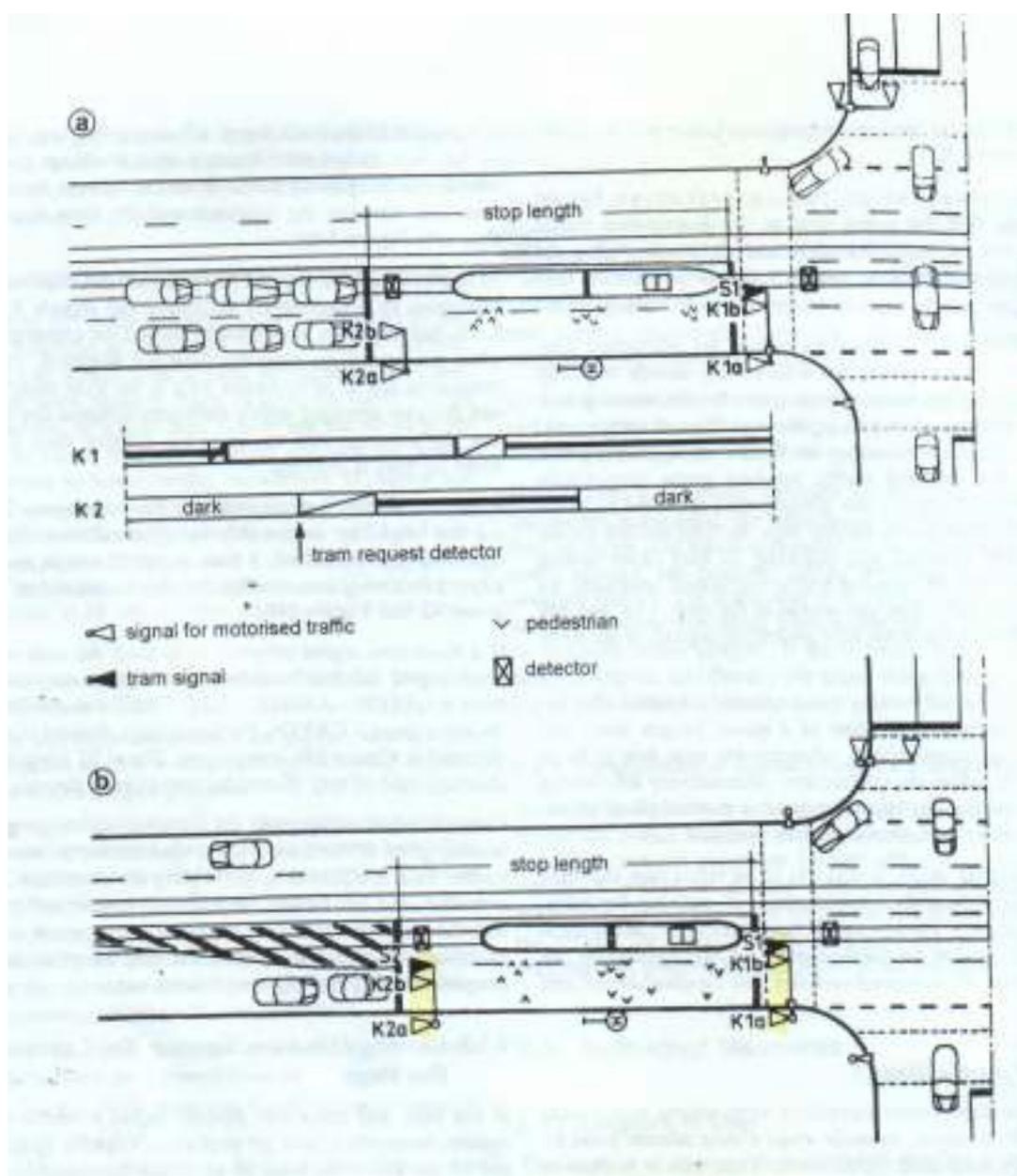
על פי התקנות ההולנדיות (48) ימוקמו פנסי הרמזור כדלקמן:

- ניתן לשים את הפנסים מימין או משמאל או בשני הצדדים.
- ניתן גם לשים את הפנסים מעל למסלול במידה ואין מקום בצדדים, או שכך זה ברור יותר.
- מיקום הפנסים הוא לפני הצומת.
- פנסים לת"צ ניתן להתקין גם אחרי הצומת במקרה של חציית מסלול אופניים.
- גובה תחתית הרקע של הפנסים הוא 2.20 מ' מהרקע ולפחות 60 ס"מ מקצה המסלול.
- כאשר הפנסים הם מעל למסלול, גובה תחתית הרקע הוא 4.5 מ' בעיר ו- 5.0 מ' מחוץ לעיר.

2.5 אותות לרכבת מחוץ לצמתים

הנחיות RILSA (13) מגרמניה קובעות כי כאשר לא ניתן להתקין רציף תחנה בנוי לפני הצומת (כאשר אין הפרדה פיזית בין מסלול הרק"ל ומסלולי הרכב), ניתן ליצור "תחנה דינמית" (Dynamic Stop) ע"י קביעת קו עצירה ופנסים רמזור נוספים לרכב לפני הצומת. נושא זה מתואר כ"איי זמן" במסמך של "**החברה לתחבורה ציבורית (23)**". הנוסעים עולים ויורדים מהרק"ל דרך מסלולי הרכב, בשטח המסומן כ"איי ויזואלי", כפי שמוצג בתרשים ב-17:

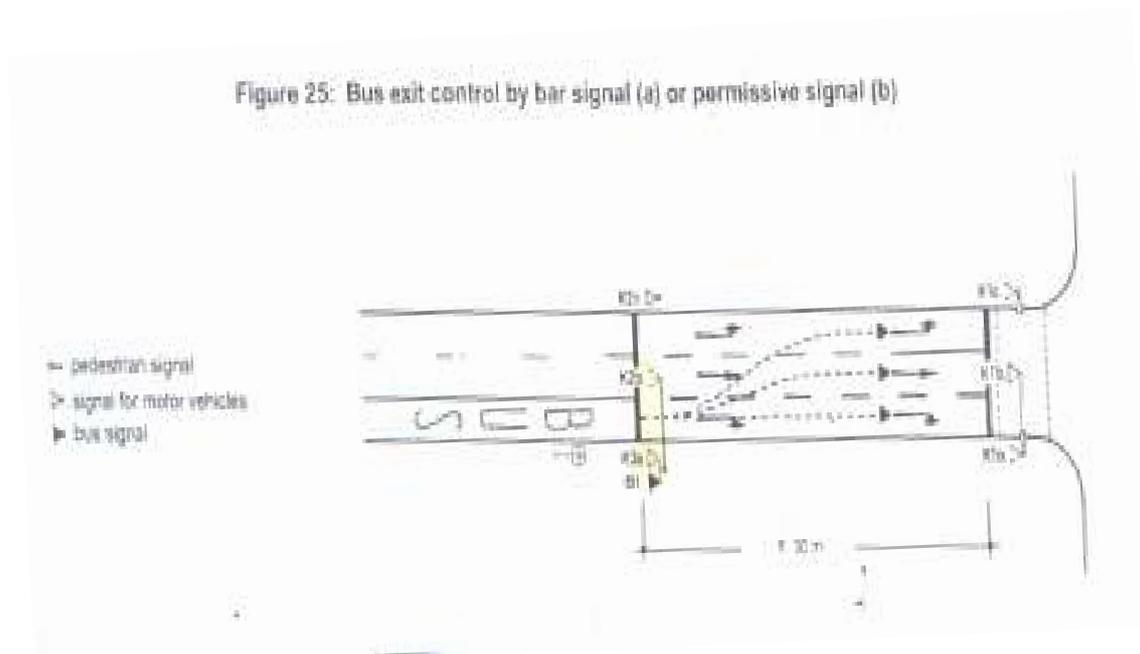
תרשים ב-17: תחנה ויזואלית



הפנסים המקדימים ממוקמים במרחק של אורך רק"ל אחד מהצומת. היות ומשתמשי הדרך אינם מצפים לרמזורים אלה, יש להקפיד על מיקומם, כך שייראו היטב. אם אפשרי, מומלץ למקם פנסים אלה גם מעל לנתיבי הנסיעה. הפנסים, שאינם דולקים בכל מחזור, מראים את האינדיקציות **חשך-צהוב-אדום-חשך**. אורך הצהוב הוא 5 שניות. הרמזורים מופעלים ע"י גלאי הרק"ל. ניתן גם להפעיל את הרמזור המקדים בסדר האורות הרגיל, כלומר ירוק-צהוב-אדום-אדום/צהוב כאשר ישנה תכנית זמנים קבועה עם זמן פינוי קבוע. כמו כן אפשר לשלב פנס מקדים גם לרק"ל, המאפשר לרק"ל הבאה להיכנס לתחנה הדינמית. התחנה הדינמית גם מספקת ירוק מוקדם קבוע לרק"ל ומונעת מכלי רכב הפונים שמאלה לתפס את המקום לפני הרק"ל ולעכבה.

הסדר זה של פנסים מקדימים לפני הרמזור מתאימים גם למצב בו מת"צ לאוטובוסים ממוקם בימין הדרך ומסלול האוטובוס בצומת המרומזר הוא בפניה שמאלה, כפי שמתואר בתרשים ב-18 להלן.

תרשים ב-18: פנסים מקדימים לפניית אוטובוס



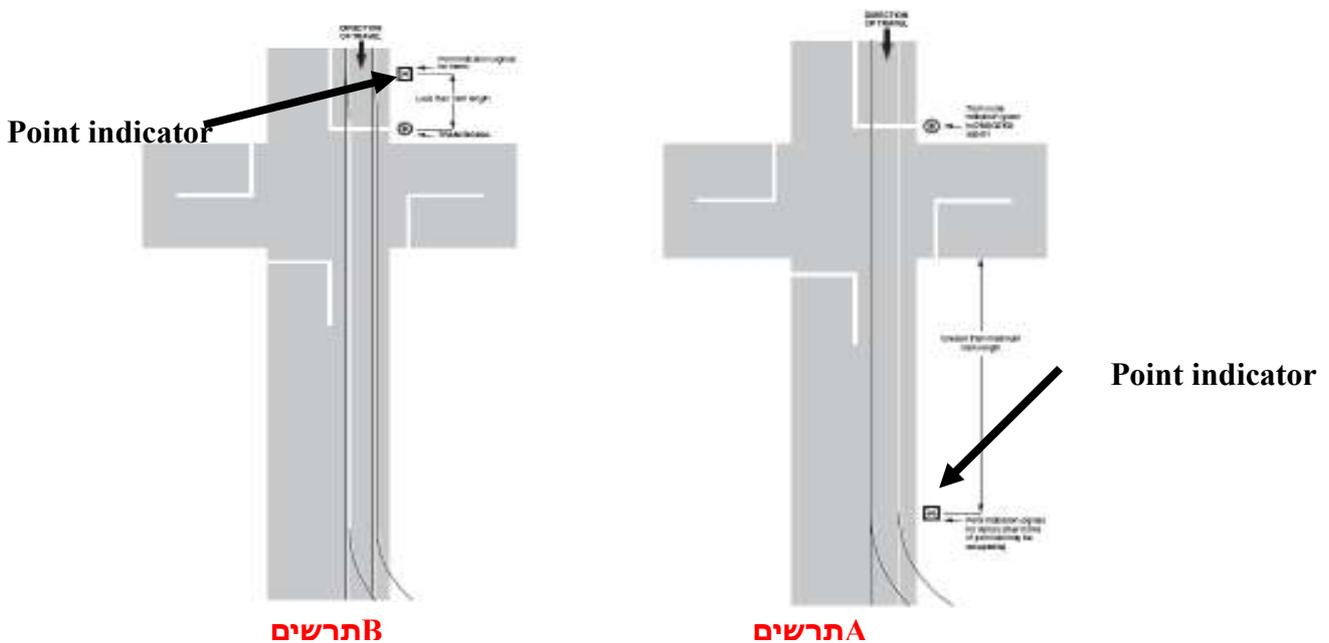
על פי ההנחיות ההולנדיות (48), המטרה של הרמזור המקדים היא למקסם את קיבולת הצומת ע"י הקטנת ה"זמן האבוד" (זמן שאינו מנוצל למעבר רכב). במסגרת זו ניתן להשתמש ברמזור המקדים כדי לצמצם את הזמן הניתן לרק"ל ומבלי לפגוע כלל ברמת השרות לתח"צ. הפנס המקדים מודיע לנהגי הרק"ל כי יוכלו לעבור בצומת הבא כאשר יגיעו אליו. יש ללמד את נהגי הרק"ל להשתמש במידע הזה ולנסוע במהירות הגבוהה המתוכננת (כי כאשר הם צפויים להגיע לצומת הם יוכלו לעבור ללא צורך לעצור). באמסטרדם הפנס המקדים ממוקם כ- 30 מ' לפני הצומת, ואם הוא אינו צפוי לקבל לבן (אות ל - "סע") בצומת יספיק לו מרחק זה לבצע בלימת חרום. השימוש ברמזור מקדים נעשה כשיש מסלול בלעדי לרק"ל.

החיסרון בשימוש ברמזור כזה הינו שהרק"ל מגיעה לצומת ועוברת אותו במהירות גבוהה, דבר זה עלול לגרום לבעיות בטיחות. במקרה שצפויה פגיעה בבטיחות לא מומלץ להשתמש ברמזור המקדים.

ההנחיות של אירלנד (74) מציינות כי רמזורים מקדימים יהיו מותאמים לציוד הרק"ל. מיקומם של רמזורים מקדימים (Point Indicators) בנקודת הציון משתנה, על פי מקור זה, בהתאם ליחס בין מיקום נקודת ההחלטה לפני הרק"ל ואורך הרק"ל. במידה ואורך הרכבת גדול ממרחק נקודת הציון מהצומת המרומזר, ימוקם הרמזור לאחר הצומת (תרשים A). במידה ואורך הרכבת קטן ממרחק נקודת הציון מהצומת המרומזר, ימוקם רמזור הציון לפני הצומת (תרשים B).

תרשים מס' ב-19

מיקום פנסים מקדימים (Point Indicators)



בנוסף קיימים גם פנסי מידע ואזהרה לרק"ל. רמזור "סגור דלת", על פי **RILSA הגרמני (13)** מודיע לנהג הרק"ל מתי עליו להפסיק את העלאת הנוסעים על מנת שיגיע לאור הירוק ברמזור שלפניו. הרמזור יעיל אם התחנה ממוקמת עד 100 מטר מהצומת. ההפעלה של פנס זה לוקחת בחשבון את זמן סגירת הדלת והנסיעה עד הצומת. במידה והתחנה ממוקמת יותר מ- 100 מטר מהצומת, פנסי מהירות יכולים להציג לנהג את מהירות הנסיעה בה יעבור את הצומת בירוק, ללא צורך בעצירה. חישוב המהירות מבוסס על דיאגרמת "זמן-מרחק" רגילה. על מנת למנע בלבול מנהגי הרכב הפרטי מוצע לציין בתמרוי המהירות המיועדים לאוטובוסים ולרק"ל רק את ספרת העשרות (למשל לסמן "3" עבור 30 קמ"ש). ברמזורים מופעלי תנועה ניתן להפעיל את פנסי המידע רק אם כל הנתונים של הרמזור במורד המסילה ידועים. RILSA גם קובע כי פנסי "סגור דלת" יכולים לשמש כמקרה פרטי של פנסי מהירות, במידה והשינויים במהירויות

המומלצות אינם מאפשרים תפעול סביר של אמצעי זה. כללים מנחים לשילוב מערכות הסעת המונים ברמזורים - סקר ספרות

המסמך הגרמני של "החברה לתחבורה ציבורית" (23) מציין כי זמני המתנה שלא ניתן למנע יש לקבע בעיקר בתחנות. לצורך זה חשוב לספק לרק"ל את מירב המידע על הרמזור, זאת באמצעות אות שחרור מוקדם, למשל בצורת אות "סגור דלת" כאשר הרק"ל עומדת בתחנה. עבור אוטובוסים נושא זמן השחרור בתחנות איננו רלוונטי.

רמזור נוסף נועד עבור כלי רכב בפניית פרסה החוצה מסילת רק"ל או מת"צ. על פי **RILSA (13)**, כלי רכב הפונים פניית פרסה חייבים ברמזור נוסף, המציין נוכחות של רק"ל/אוטובוסים. הפנס מורכב בדרך כלל משתי עדשות בלבד ומראה את אינדיקציות **חשך-צהוב-אדום-חשך**. אם הרק"ל יוצאת ממסלול בלעדי וחוצה מסלולי רכב, יש להשתמש ברמזורים אלה. אורך הצהוב ברמזור עם שתי עדשות יהיה 5 שניות, לפני הופעת האדום.

בפרק זה לא נכללו פנסים שאינם קשורים לצומת המרומזר, כגון האינדיקטור הכחול לרכבת שעברה ב"עצור" (SPAS).

3. מעברי חצייה

3.1 מבוא

הולכי הרגל מהווים חלק בלתי נפרד ממשתמשי הדרך וכך מתייחסת לנושא גם הספרות המקצועית. בזמן הפעלת קו של רכבת קלה ובמיוחד בתקופת הראשונה להפעלתו, מתרחשות תאונות דרכים בין רק"ל והולכי הרגל. לקראת הפעלת הרק"ל ו/או לאחר ההפעלה, הרשויות השונות האחראיות לנושא, מנסות לשפר את הבטיחות בשיטות שונות כמו שמתועד למשל בדו"ח מ"טרי-סטייט" מאורגון ע"י **D.Irwin (2)** ואחרים.

את המפגש עם הולכי הרגל ניתן לחלק לשלוש קטגוריות:

1. חצייה של הולכי רגל את הכביש במקום שבו אין מעבר חצייה.
2. חצייה במעבר חצייה רגיל בקטע דרך שאינו מרומזר.
3. חצייה במעבר חצייה מרומזר כחלק מצומת מרומזר.

יש מספר גורמים בהם יש להתחשב בתכנון הרכבת הקלה מבחינת הולכי הרגל:

- הולך הרגל יחצה במסלול ההליכה הישיר ביותר והנוח ביותר.
- להולך הרגל אין נכונות להתנתות ממושכות (בעיקר כאשר אין תנועה).
- מהירויות הפינוי של הולכי הרגל נמוכות ביחס לשאר משתמשי הדרך.

ההתייחסות להולכי הרגל קיימת במספר מישורים: אופן חציית נתיבי הנסיעה, מקום ההמתנה עד לחציית נתיבי הנסיעה וצורת מעבר החצייה.

3.2 מיקום המעבר

א. מעברי חצייה ליד הצומת

הנחיות לתכנון מעברי חצייה להולכי רגל (**55**) הוכנו ע"י משרד התחבורה בראשית שנות ה-70 והן מהוות את הבסיס לכל ההנחיות בנושאים שונים שבהם יש מעברי חצייה. בהתאם להנחיות כללים מנחים לשילוב מערכות הסעת המונים ברמזורים - סקר ספרות

אלה מעברי החצייה יהיו במסלול ההליכה הטבעי של הולכי הרגל ומכאן עליהם להיות קרוב לצומת ככל האפשר.

ב. מעברי חצייה באמצע קטע

מעברי חצייה באמצע קטע (לא בצומת) אינם מומלצים בדרך כלל. בהתאם להנחיות לתכנון מעברי חצייה להולכי רגל (55) ניתן להתקינם במקרים חריגים של אורך קטע גדול ונפחים גבוהים של הולכי רגל. נושא זה של חצייה באמצע קטע מקבל חשיבות יתר במקרים שבהם יש תחנות רק"ל בקטעי רחוב ארוכים ויש צורך לאפשר לכמות גדולה יחסית של הולכי רגל לחצות את הכביש בצורה מוסדרת ליד קצה התחנה גם אם אין שם צומת.

כאמור, צוות של חב' PGL מכין כיום עבור נ.ת.ע. הנחיות לתכנון מעברי חצייה עתירי ביקוש (56). הנחיות אלו בשלבי סיום. המטרה העיקרית של מזמיני העבודה היתה לפתח כללי תכנון למעברי החצייה בקצות התחנות של הרק"ל וזאת הן בצומת והן בקטע דרך.

בעקרונות לתכנון רכבת עירונית ושילובה בהסדרי התנועה (28) שהוכנו עבור משרד התחבורה מומלץ "להימנע ככל האפשר מהתקנת רמזורים בלעדיים להולכי רגל שלא בצמתים מרומזרים – גם במסלול הרכבת הקלה וגם במסלולים לתנועה הכללית".

בהנחיות לתכנון מעברי חצייה להולכי רגל (55) נאמר ש"רק במקרים יוצאים מהכלל, בדרך עירונית בה קיימת פעילות הדורשת זאת (בתי"ס, בניני ציבור וכו') ניתן לסמן מעבר חצייה ורק בתנאי שמרחקו של המעבר המוצע אל הצומת או המעבר הקרוב יהיה בהתאם לטבלה מס' 1" (מרחק שבין 150 ל- 250 מ' התלוי בסוג הדרך, במהירות הנסיעה ברחוב ובמספר כלי הרכב בשעת השיא).

פרט לנ"ל לא נמצאה התייחסות בספרות הקיימת לאפשרות של קיום מעבר חצייה לא מרומזר בקטע דרך.

ג. חצייה בקטע דרך שלא מסומן כמעבר חצייה:

לגבי השאלה האם מותר לחצות כביש שבו יש גם מסלול רק"ל באמצע הקטע, כאשר לא מוסדר שם מעבר חצייה, לא נמצא מענה בספרות. רוב המקורות נותנים את הדעת כיצד יחצה הולך הרגל את נתיבי הנסיעה (כולל אלו של הרכבת הקלה) רק בצומת מוסדר ומרומזר.

תקנות התעבורה (54) מציינות בתקנה 111:

"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".

3.3 רימזור מעברי חצייה

ההנחיות הגרמניות לתכנון רמזורים (RILSA) (13) אינן מתייחסות לאפשרות של חציית הולכי רגל שאינה בצומת מרומזר. אזכור לכך יש במסמך של: "עקרונות לתכנון רכבת עירונית ושילובה בהסדרי התנועה" (28), כאשר חציית הולכי הרגל אינה מרומזרת, אפשר להסתפק במערכת שילוט. אין להגדיר מעברי חצייה בתמרור המקובל (ג - 7), מאחר שלרכבת עירונית זכות קדימה על פני הולכי רגל. לכן, בחציות לא מרומזרות, יש להדגיש את המפגש עם הרכבת העירונית באמצעות שילוט. המסרים שהשילוט יכול יצביעו על התכנות של רכבת, על זכות הקדימה שלה, ועל כיוון הגעתה. כללית במקור זה יש הנחיה **שכל מפגש של רכבת קלה עם הולכי רגל יהיה מרומזר**.

ההנחיות האמריקאיות (MUTCD) (10) מציינות שבמפגשים לא מרומזרים עם הרכבת יש לשקול התקנת מעין מחסום להולכי רגל שיפנה את תשומת לב הולכי הרגל לרכבת הקלה.

אצל ההולנדים (48) קיימת אופציה שחציית מסלול הרק"ל שנמצא באמצע בין שני מסלולי נסיעה של רכב רגיל תהיה לא מסומנת כמעבר חצייה ולא יותקן רמזור לצורך חצייה של מסלול הרק"ל. במקרה שנבחרת אופציה כזו יש להתקין, ע"פ מקור זה, משולש ופנסים שיפעלו בעת מעבר הרכבת.

בנושא של מעבר חצייה לא מרומזר במסלול של רכבת קלה, חשוב לזכור כי בתקנה 67 **בתקנות התעבורה (54)** נאמר "נוהג רכב המתקרב למעבר חצייה והולכי רגל חוצים במעבר, יאפשר להם להשלים את החצייה בבטחה ואם יש צורך בכך יעצור את רכבו לשם כך". הדבר מתאים לגבי רכב אך אינו ישים לגבי רכבת ואפילו רכבת קלה שמרחק העצירה שלה גדול מאד גם בנסיעה במהירויות הסבירות במרחב העירוני.

במאמר של **J.W.Boorse** מחברת P.B.Q.D. בנושא (57), הוא מסכם בין השאר כדלקמן:
"כל התנועות של רכב, הולכי רגל ורק"ל **צריכות להיות במשטר של רמזור**".

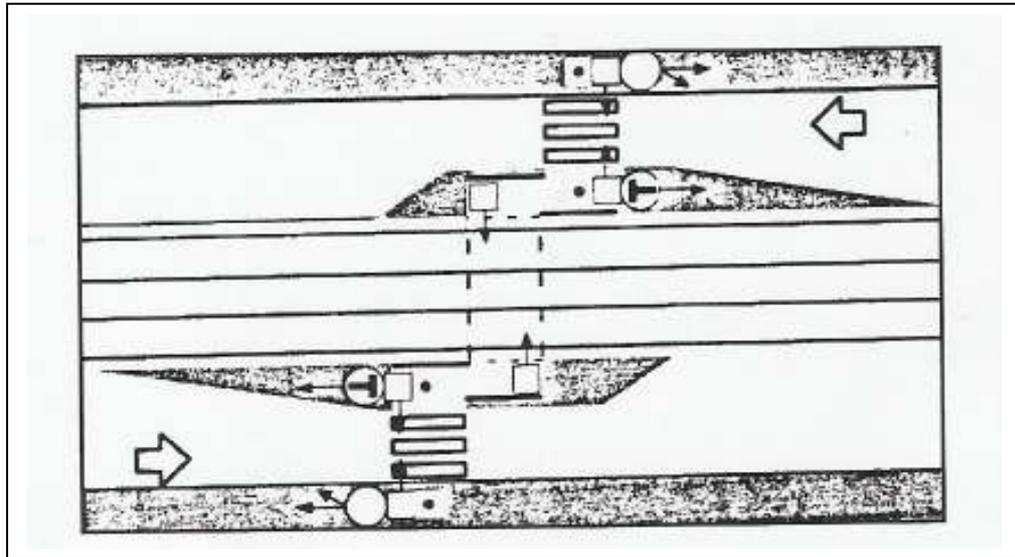
3.4 צורת המעבר

בהתאם להנחיות התכנון הפלנימטרי (55) על מעברי החצייה להיות קרובים ככל האפשר לצומת ועל אורכם להיות קצר ככל האפשר. במקרים בהם יש אי מרכזי בין מסלולי התנועה, רוחבו צריך להיות לפחות 2.0 מ'. אין התייחסות בהנחיות אלה לרציפות המעברים (בכיוון ציר החצייה). בהנחיות אלה מוצג שרטוט של מעבר חצייה מדורג ללא המשכיות בין המעברים השונים.

הועדה הבין משרדית לבחינת התקני תנועה ובטיחות (58) במינוי מנכ"ל משרד התחבורה, התייחסה לאחרונה (דיון מה- 7.3.04) לרצף הקיים בין מעברי חצייה בכביש תלת מסלולי שיש בו מת"צ במסלול המרכזי. בצמתים המרומזרים בכביש כזה התברר שקיימת בעיה של ריבוי תאונות. כדי לשפר את הבטיחות הוחלט בעבר לשבור את הרצף בין המעברים, אך ההזזה המינימלית שהומלצה היתה ברוב המעבר עצמו. לדעת הצוות שדן בנושא כאמור לעיל, "שבירת הרצף

הקיים במעברים איננה מספיקה". לדעתם "יש לבצע הזזה נוספת במעברים (2 מ' עד 3 מ' לפי הצורך)". ראה תרשים ב' - 20 להלן.

תרשים מס' ב' -20: מעבר חצייה מדורג

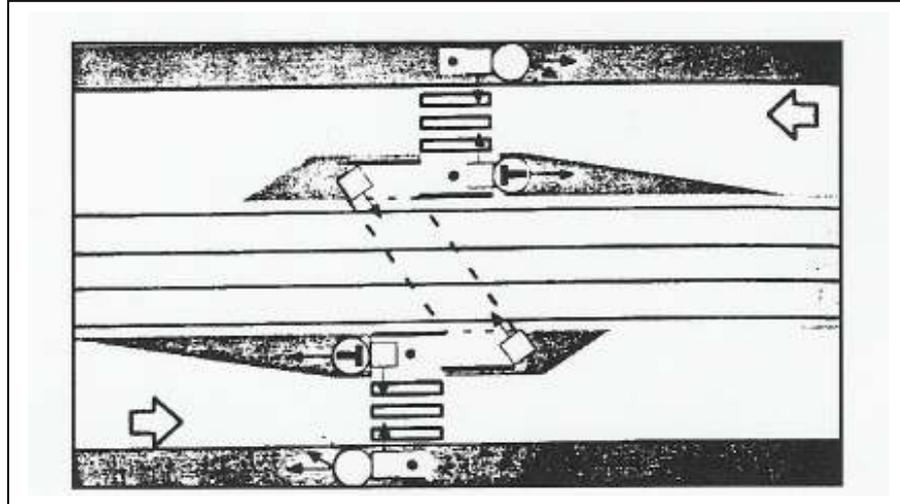


בהתאם לעקרונות אלה "ההסדר הגיאומטרי של החצייה יהיה תמיד מדורג, אלא אם הדרוג אינו מתאפשר כלל, ועדיין הכרחי להסדיר מעבר הולכי רגל". בהתאם לעקרונות אלה קיימים שני סוגים עיקריים של מעברי חצייה:

מעבר Z שבו המעבר החוצה את מסלול הרכבת הוא באלכסון. הדבר מאפשר להולך הרגל ובעצם אפילו מחייב אותו להיות עם הפנים לכיוון ממנו מגיעה הרכבת במסילה הקרובה אליו. ראה תרשים ב' -21 להלן.

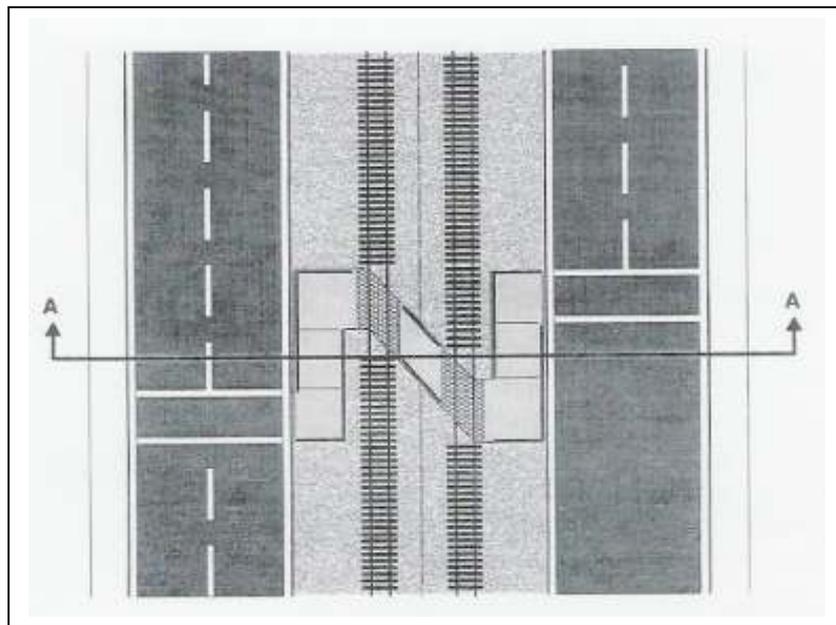
תרשים מס' ב' - 21

מעבר חצייה Z



תרשים מס' ב' - 22

צירוף של שני סוגי המעברים



מעבר מדורג שבו המעברים ניצבים למסלול הנסיעה אך אינם נמצאים ברצף אלא מוזזים זה מזה (ראה גם לעיל - המלצת הוועדה הבין משרדית)

אין התייחסות לאופציה של חצייה ברצף ללא המתנה מתוכננת באיים מרכזיים, אך ניתן להבין מהנאמר שם שהדבר לא מומלץ כי זה עלול לפגוע בקיבולת של הצומת. **במדריך הצרפתי (73)** מוצגות 3 האפשרויות הנ"ל חצייה בקו ישר, חצייה במדורג וחצייה בצורת Z.

במאמר של **J.W.Boorse** מחברת P.B.Q.D. בנושא (57), הוא מסכם בין השאר כדלקמן:
בחישוב הזמן להולכי הרגל יש לקחת בחשבון את המהירות האיטית של הולכי הרגל ואת הזמן שבו מסתיים הירוק. הזמן הכולל ירוק + הבהוב "אל תלך" צריך להיות כזה שהולך הרגל יספיק לחצות ממדרכה למדרכה. הוא גם ממליץ להתאים את המהירויות המותרות לרק"ל בגישות לאותם מעברים. בהתאם להמלצה זו על מעברי החצייה להיות ברצף בקו ישר כדי שזמן החצייה יהיה מינימלי.

מעבר Z מומלץ גם ע"י **D.Irwin (2)** ו- **Korve Engineering Research Team (12 d)** בחציית מסילות הרק"ל (ללא התייחסות אם המעבר מרומזר או לא), כאחד הפתרונות לשיפור הבטיחות בחציית המסילה. הוא ממליץ שם גם על פתרונות אקטיביים המזהירים את הולכי הרגל כשרכבת מתקרבת.

במאמר של **J.W.Boorse** המתייחס ליישומים של פרק 10 ב- MUTCD (1), הוא מעלה גם את נושא חציית המסילות, ואומר שאין לתכנן מצב שבו הולכי רגל ימתינו בין שתי מסילות בעת חציית הדרך.

במאמר של **KORVE, FARRAN & MANSEL (12C)** הם הגדירו מספר עקרונות לשילוב רכבת קלה ברחובות הערים, ומהם נגזרו ההנחיות הבאות המתייחסות להולכי רגל.
יש לתכנן מעבר מוגדר וברור לחציית כל אחת מהמיסעות או מסלול רק"ל, לרמזר כל אחת מהן בנפרד ולתכנן מספיק מקום להמתנה במפרדות. כמו כן מובאים שם שלטים קבועים ואלקטרוניים לדיווח להולכי הרגל על התקרבות רכבות ואף על כיוון הגעתן.
מוצג שם תכנון מעבר בצורת Z בחציית המסילות, אך נראה שהכוונה שם היא לחצייה בקטע ולא בצומת.

מעברי חצייה שנמצאים לאורך קו ישר בחציית הדרך כולה, נמצאים בדרך כלל במסלול ההליכה הטבעי של הולכי הרגל וזה גם המסלול היעיל ביותר מבחינת תפעול הרמזור למקרה בו מתוכננת חצייה ברצף אחד בשני הכיוונים.

בשיחות שהתקיימו עם **מתכננים מגרמניה (PTV) והולנד (DHV)** הם אמרו שהתכנון הנכון להולכי רגל הוא בהקצאת זמן ירוק + זמן פינוי המספיק לחצייה הדרך כולה באותו מופע, אך הדבר לא נמצא עדיין בכתובים. דוגמא למעבר מסוג זה נמצאת בעיר בוסטון בארה"ב, ראה תמונה להלן.



הולכי רגל חוצים את כל מסלולי הרחוב במופע רציף אחד, בוסטון, ארה"ב (1).

3.5 רוחב חזוית המעבר

רוחב מעבר החצייה תלוי בכמות הולכי הרגל החוצים. **בהנחיות לתכנון מעברי חצייה (55)** מוגדר הרוחב של מעבר חצייה בלתי מרומזר בתחום שבין 2 ל- 6 מ', בתלות במספר הולכי הרגל החוצים בשעת השיא בשני הכיוונים.

בהנחיות הללו לא מופיעה התייחסות דומה לרוחב מעבר חצייה מרומזר, אך בפועל גם רוחב מעברים אלה נע בתחום דומה לנ"ל בתלות בכמות הולכי הרגל. צוות של חב' PGL שאמור לסיים בקרוב הכנת **הנחיות לתכנון מעברי חצייה עתירי ביקוש (56)** עבור נ.ת.ע., אמור להגדיר רוחבים גדולים יותר למעברי חצייה בתלות בנפחי הולכי הרגל.

ע"פ ההנחיות לתכנון מעברי חצייה (55) אורך החצייה צריך להיות מינימלי ומכאן נובע שמעבר החצייה צריך להיות ניצב לכביש. הדבר כמובן מותנה בתכנון הגיאומטרי של הצומת כולו ובמיוחד במקרים בהם ישנם מספר מסלולים לחצייה. יש חריג לנ"ל במקרה של מעבר חצייה בצורת Z כמתואר בסעיף הקודם. במקרה זה חציית מסלול הרק"ל הינו אלכסוני במטרה שפני הולך הרגל בעת החצייה יהיו לכיוון ממנו באה הרכבת.

3.6 שטח איזור ההמתנה במדרכה ובמפרדה

רוחב מדרכה מינימלי הינו 2.0 מ' אך ניתן במקרים בעייתיים לצמצם את הרוחב ל- 1.8 מ' (55).
רוחבים מינימליים אלה קיימים גם במפרדות באזור שמשמש למעבר חצייה.

כאמור, הצוות של חב' PGL שאמור לסיים בקרוב הכנת הנחיות לתכנון מעברי חצייה עתירי ביקוש (56) עבור נ.ת.ע., אמור להגדיר רוחבים גדולים יותר הן של המדרכות והן של המפרדות באזורים הסמוכים לתחנות רק"ל.

3.7 סימון המעברים (צורה וצבע)

סימון מעברי חצייה הינו בהתאם להנחיות (55) באמצעות פסים לבנים ברוחב 0.5 מ' כשהמרווחים ביניהם גם כן 0.5 מ'.

במדריך ההולנדי (48) מוזכרת גם אפשרות שהחצייה של מסלול הרכבת במרכז הכביש ניתן להיעשות ללא סימונו כמעבר חצייה, אך יש סימון של גבול מסלול ההליכה. סימון מעברי החצייה של מסלולי הנסיעה משני צידי מסלול הרכבת הינו כרגיל.

גם ב- **Guide d'aménagement de voirie pour les transports collectifs (73)** מופעים תרשימים דומים. לשם הבהרת משמעות כל תמונה הם מוסיפים בצמוד את התמונות האפשריות כאשר כל כיווני התנועה המקבלים ירוק באותה תמונה מסומנים בחץ (בהתאם לכיוון התנועה) ואלה שיש להם אדום מסומנים ב-T (חסימת כיוון הנסיעה), חציית הולכי רגל מסומנת ע"י קו עם חיצים משני צידי (כנהוג בארץ) והירוק לרק"ל מסומן עי קו כפול (קו עם חלל בתוכו). בהנחיות הגרמניות (13) מופיע סדר תמונות האפשרי כאשר בתוך כל עיגול מופיעים הסימונים של כיווני תנועת הרכב ו/או הולכי הרגל שכלולים באותה דוגמא בדומה למסומן בתרשימים שלעיל.

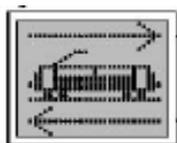
4. שינויים בלוח התמרורים

4.1 כללי

הפעלת רק"ל או אוטובוסים ברצועה בלעדית בצמתים מרומזרים מחייבת התקנת תמרורים מיוחדים בצמתים. מטרתם להתריע בפני עוברי הדרך במכוניות, רכב דו-גלגלי והולכי הרגל על נוכחות של רכבת קלה/אוטובוסים. אתגר מיוחד מציג תהליך הענקת עדיפות לרק"ל בצומת, היות והוא משפיע על המופעים האחרים – דבר הדורש להסב את תשומת ליבם של עוברי הדרך.

4.2 הוראות כלליות להצבת תמרורים ברמזורים.

במסמך "עקרונות לתכנון רכבת עירונית ושילובה בהסדרי התנועה" (משרד התחבורה-2003) (28), מומלץ להציב תמרור אזהרה משולב "רכבת קלה/עירונית לפניך" בגישה לצומת. על פי המסמך אין להשתמש, בסימון מעברי חציה, בתמרורי ג-7 רגילים, היות וזכות הקדימה במעבר הולכי רגל על המסילה הוא של הרק"ל. לכן יש להדגיש את מעבר החציה, החוצה מסילת רק"ל, באמצעות חומרים שונים, שילוט וכו'.
ראה גם סעיף 3 (מעברי חצייה) וסעיף 6.5 (בטיחות) שבפרק זה.



בפורטלנד, אורגון, ארה"ב מציבים תמרורי אזהרה להולכי רגל על עמדי הרמזור. התמרור מיועד להולכי הרגל ונותר כבוי כאשר אין רכבת.



אחת התוצאות של מתן עדיפות לרק"ל בצומת יכולה להיות קיצור משך הירוק להולכי רגל, במחזורים בהם הרק"ל חוצה את הצומת. על מנת לא להטעות את הולכי הרגל הקבועים, הרגילים לאורך מופע הולכי רגל ירוק מסוים, מציע הדו"ח "שירות רק"ל - בטיחות הולכי רגל וכלי רכב" (34) תמרור על העמוד הסמוך למעברי חציה, בו מוזהר הולך הרגל כי האור הירוק מתקצר בהופעת רק"ל. תמרורים אלה יכולים גם להיות אקטיביים (מראים את המסר רק כאשר מתקרבת רק"ל).

4.3 תמרורים קיימים בספרות

כיום קיימים **בלוח התמרורים הישראלי (76)** התמרורים הרלוונטיים הבאים:

הוראה	תמרור	סמל התמרור
רכבת קלה חוצה. התמרור יוצב מימין לדרך או משני צידי הדרך.		א - 26
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. התמרור יוצב בצד ימין, משני הצדדים או מעל לנתיבים האמורים.		ב - 35
תחנת אוטובוסים ציבוריים. מוצב על עמוד/מבנה תחנה.		ב - 56
תחנת רכבת קלה. מוצב על עמוד/מבנה תחנה.		ב - 56א'

בספרות קיימים תמרורים נוספים המשמשים בצמתים מרומזרים עם רק"ל.

לוח התמרורים האמריקאי, ה - MUTCD (9), כולל, בפרק הרכבת הקלה (חלק 10), מספר תמרורים רלוונטיים. חלק מהם מוצג במסמך "שילוב רק"ל ברחובות עירוניים" (12). תמרורים אלה מפורטים בטבלה להלן:

הוראה	תמרור	סמל התמרור	
תמרור האוסר פניה ימינה החוצה מסילה, בכבישים המקבילים למסילה. כאשר איננו מופעל, התמרור כבוי. התמרור איננו נחוץ בפניות מרומזרות בלעדית.	 R3-1a Activated Blank-Out	R3-1a	
תמרור האוסר פניה שמאלה החוצה מסילה, בכבישים המקבילים למסילה. כאשר איננו מופעל, התמרור כבוי. התמרור איננו נחוץ בפניות מרומזרות בלעדית.	 R3-2a Activated Blank-Out	R3-2a	
תמרור אזהרה לרכב המתקרב לצומת עם רק"ל באי המרכזי.	 R15-7	 R15-7a	R15-7, R15-7a
אסור לנסוע על המסילה - תמרור שנועד למסילות המופרדות באיי תנועה מנתיבי הנסיעה. להצבה מימין או בין המסילות.	 R15-6	R15-6	

ככלל, התמרורים יוצבו במקום שייראו ע"י הנהגים אליהם הם מופנים.

ספר התמרורים של **דרום אפריקה** כולל מספר תמרורים הקשורים לתפעול רק"ל ואוטובוסים במסלול בלעדי, כמפורט בטבלה הבאה:

הוראה	תמרור	סמל התמרור
מסלול בלעדי לרק"ל	 R138	R138
מסלול בלעדי לאוטובוסים ורק"ל.	 R139	139R

הוראה	תמרור	סמל התמרור
מסלול בלעדי לאוטובוסים, רק"ל ומיניבוסים.		R140
רק"ל פועלת בדרך שלפניך (הערה: בהולנד מכונה התמרור J14)		W262

ההנחיות הבריטיות לתמרורים (75) כוללות תמרורים שונים הקשורים לצמתים עם מסלולי אוטובוסים בלעדיים ורק"ל, המתריעים על תנועת מערכת הסעת המונים בצומת (ר' תרשים ב-23).

תרשים מס' ב-23: תמרורים מספר התמרורים הבריטי

SCHEDULE 5 SIGNS FOR BUS, TRAM AND PEDAL CYCLE FACILITIES (contd.)



(40)
50

963
Bus lane with traffic proceeding from right
(Sign for pedestrians)

Item	
1	Regulations: 23, 24
2	Directions: 7
3	Diagrams: None
4	Permitted variants: Schedule 16, item 28 "RIGHT" may be varied to "LEFT" or "BOTH WAYS". "LANE" may be varied to "LANES"
5	Illumination requirements: Schedule 17, item 9



(40)
50

963.1
Cycle lane with traffic proceeding from right
(Sign for pedestrians)

Item	
1	Regulations: None
2	Directions: None
3	Diagrams: None
4	Permitted variants: Schedule 16, item 28 "RIGHT" may be varied to "LEFT" or "BOTH WAYS". "LANE" may be varied to "LANES" or "TRACK"
5	Illumination requirements: Schedule 17, item 9



(40)
50

963.2
Contra-flow bus lane which pedal cycles may also use with traffic proceeding from right
(Sign for pedestrians)

Item	
1	Regulations: 23, 24
2	Directions: 7
3	Diagrams: None
4	Permitted variants: Schedule 16, item 28 "RIGHT" may be varied to "LEFT" or "BOTH WAYS". "LANE" may be varied to "LANES"
5	Illumination requirements: Schedule 17, item 9



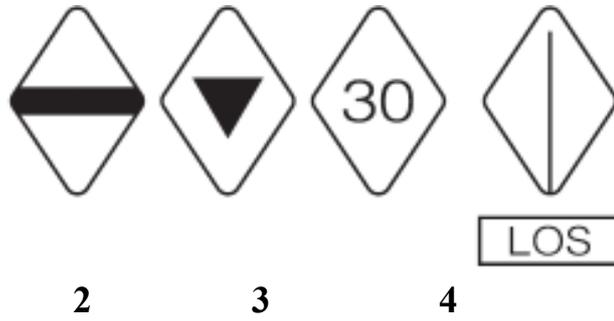
(40)
50

963.3
Tramway with traffic proceeding in both directions
(Sign for pedestrians)

Item	
1	Regulations: None
2	Directions: 7
3	Diagrams: None
4	Permitted variants: "BOTH WAYS" may be varied to "LEFT" or "RIGHT"
5	Illumination requirements: Schedule 17, item 9

ההנחיות הבריטיות לתמרורים (75) כוללות תמרורים שונים הקשורים לצמתים עם מסלולי אוטובוסים בלעדיים ורק"ל, המתריעים על תנועת מערכת הסעת המונים בצומת (ר' תרשים ב-23).

תרשים מס' ב-24: תמרורי רק"ל-בריטניה



תמרורים רק"ל בריטיים נוספים (ר' תרשים ב-24):

1. תמרור לרק"ל המחייב לעצור עד שיהיה בטוח להמשיך.
2. תמרור המחייב רק"ל לתת זכות קדימה לרק"ל אחר או כלי רכב בדרך.
3. הגבלת מהירות מעויין הייחודי לרק"ל.
4. תמרור המחייב רק"ל לנהג לפי ההנחיות בשלט המצורף.

נעיר כי ניתן למצא מגוון וריאציות של תמרורים הדומים לתמרורים שלעיל במדינות שונות. ספר התמרורים הגרמני המופיע במסמך ה- **RILSA (13)** כולל רמזור עגול מהבהב עם תמונה שחורה על רקע צהוב של רק"ל. תמרור זה מתריע בפני הולך הרגל על רק"ל מתקרבת. רמזור דומה קיים עבור אוטובוסים. תרשים מס' ב-25 מראה את התמרור כאשר לידו פנס מהבהב רגיל של הולכי רגל.

תרשים מס' ב-25: תמרור רק"ל-גרמניה



4.4 סימון כבישים

לוח התמרורים הישראלי (76) כולל גם סימון דרכים צהוב (ד-3) המשמש להגדרת נתיבים בלעדיים לתחבורה ציבורית.

על פי הנחיות **משרד התחבורה הצרפתי (39)**, יש להבדיל את המעטפת הדינמית של הרק"ל ממסלולי הרכב הפרטי בצמתים, אם באמצעות סימון בקו "תן זכות קדימה" (בהקשר הישראלי שיטה זו עלולה לגרום בלבול) או במירקם שונה של המסעה. הסימון – כ – 1.0 – 1.5 מטר משולי המעטפת הדינמית.

ההנחיות הצרפתיות (39) גם אוסרות על סימון מעברי חציה (תמרור ד-11 הישראלי) החוצים מסלול רק"ל.

5. חישוב משולשי ראות בקרבת הרק"ל

ראה פרטים בנושא זה בסעיפים 1.2 ו- 6.2 בפרק זה ובתרשים ב-26.

6. בטיחות

6.0 כללי

הפעלתם של אמצעי תצ"מ (ת"צ מועדפת) ובעיקר רכבת קלה, יעמידו את הציבור הישראלי בפני כלי רכב מסוג חדש שאינו מורגל בו, ואשר מאפייניו העיקריים:

- כלי רכב בעלי מסה גדולה ומרחקי בלימה ארוכים;
- נסיעה במסלולים מיוחדים ונפרדים מיתר משתמשי הדרך;
- במקרה של רכבת קלה, זכות קדימה לעומת הולכי רגל;
- שינויים בסדר המופעים של הרמזורים לצורך מתן עדיפות.

בהתחשב בחומרתן הצפויה של התאונות בהם מעורבים אמצעי הסעת המונים ובמיוחד הרכבת הקלה, הבטיחות חייבת להיות הפרמטר העיקרי אליו יתייחסו ההנחיות הנוכחיות.

סקירה של הספרות הקיימת הראתה שטיפול מסודר ושיטתי בנושא קיים אצל האמריקאים, כנראה מאחר ואצלם מערכות מסוג זה הינן חדשות ולא מוכרות, בעוד שבאירופה הרכבת הקלה נחשבת יותר כשיפור של מערכות שהיו כבר קיימות.

דו"ח TCRP מס' 17 (12) סקר 10 מערכות של רכבת קלה פעילות בצפון אמריקה וסיכם את בעיות הבטיחות השכיחות בסדר יורד של חומרה:

1. הולכי רגל הנכנסים לתחום זכות הדרך של הרכבת הקלה במקומות בהם אין מדרכות.
2. הולכי רגל עוברים/חוצים את תחום הרכבת במדרחוב.
3. אזורי המתנה לא מתאימים להולכי רגל (INADEQUATE).
4. מת"צ דו סיטרי בצד מסלולי הרכב.
5. פניות שמאלה לא מוגנות על ידי רמזור (בצפון אמריקה ניתן לפנות שמאלה יחד עם הישר ממול כל עוד אין עבודה מופע אדום).
6. ביצוע פניות שמאלה באדום כשנדרש קיצור המופע במסגרת מתן העדפה לרכבת קלה.
7. כנ"ל אבל כשהמופע האדום מתארך לצורך מתן עדיפות לרכבת הקלה.
8. אי ציות לסוף הירוק כשהוא מתקצר על מנת להעדיף רכבת מתקרבת.
9. ביצוע פניות ימינה ושמאלה שנאסרו כחלק מההסדרים החדשים המתלווים להקמת הרכבת הקלה.
10. התייחסות לפנסים המיועדים לרכבת הקלה (בארה"ב מותר להשתמש באותות צבעוניים גם עבור הרכבת הקלה).
11. נסיעת רכב בתחום הרכבת הקלה (במקרים בהם ההפרדה היא באמצעות סימון בלבד).
12. אי ציות להוראות הרמזור על ידי כלי רכב באזורים בהם הרכבת נוסעת במהירות איטית.
13. גיאומטריות מורכבות המקשות על הערכת המצב הן מצד הנהגים והן מצד הולכי הרגל.

מחברי הדו"ח מציעים לסווג את מערכות הרכבת הקלה ל- 3 סוגים עיקריים בהתאם למאפייניו הפיזיים של התוואי כשהעיקרי שבהם הוא מידת העצמאות של התוואי כמבטא את מידת הבטיחות של המערכת.

- **תוואי מסוג א'** - תוואי בלעדי:
עם הפרדות מפלסיות במפגש עם הולכי רגל ואמצעי תחבורה אחרים המבטיחים בטיחות ומהירויות תפעול מכסימליות (למשל: תוואי תת קרקעי או עילי).
 - **תוואי מסוג ב'** - תוואי עם בלעדיות חלקית:
התוואי אומנם מופרד מהתנועה הכללית אך במקביל אליה קיימות חציות או צמתים במפלס. מהירות הנסיעה תלויה בממשק עם מערכת הדרכים וניתן להגיע למהירויות גבוהות יותר רק בקטעים שבין הצמתים וזאת בתנאי שתוואי הרכבת הקלה מופרד פיזית.
 - **תוואי מסוג ג'** - תוואי מעורב:
בסוג זה זכות הדרך משותפת לכל האמצעים ואף להולכי הרגל, מה שמתבטא ברמות גדולות של חיכוך ומהירויות תפעול נמוכות. סוג זה של תוואי מאפשר גישה לריכוזי אוכלוסיה בעלי צפיפות גבוהה ולכן מקובל במעבר דרך מרכזי ערים.
על סמך הניתוח הנ"ל, **הדו"ח מגדיר 5 עקרונות תכנוניים** אותם יש ליישם במקומות בהם הרכבת הקלה פועלת במהירויות נמוכות עד בינוניות (עד 55-50 קמ"ש):
 1. לשמור על הסביבה האורבנית הקיימת (אלא אם שינוי מסוים עדיף).
 2. למלא אחר הציפיות של הנהגים, הולכי הרגל ומפעילי התחבורה הציבורית.
 3. לחתור לפתרונות גיאומטריים המחייבים החלטות פשוטות ומונעות בלבול אצל המשתמש בדרך.
 4. להבהיר את רמת הסיכון.
 5. תכנון סלחני המאפשר תיקון טעויות להולכי רגל ונהגים.
- עקרונות אלה מתורגמים בדו"ח להנחיות הבאות:**
- להפריד פיזית בין המעטפת הפנימית של הרכבת הקלה לבין מסלולי הנסיעה הצמודים של הרכב.
 - בכל מקרה ובמיוחד בצמתים יש להבטיח את הדגשתה של המעטפת הדינמית באמצעות מירקם שונה וייחודי של המסעה.
 - לאפשר ביצוע של פניות (ימינה או שמאלה) וחציות כנגד הרכבת הקלה אך ורק בצמתים מבוקרים על ידי רמזור (ראה גם פרק א' סעיף 2 - הצדקים להתקנת רמזור).
 - לחשב את זמן הפינוי של הרכב כך שתימנע חסימת התוואי של הרכבת הקלה.
 - להסדיר את התחנה לאחר הצומת כשקיים נתיב לפנייה שמאלה.
 - להתקין גדרות בין המסילות בתחנות על מנת לכוון את הולכי הרגל לעבר הנקודות החצייה המבוקרות.
 - להתקין מפרדה בין מסלולי הנסיעה של הרכב הפרטי לבין מסלולי הרכבת הקלה המקבילים וזאת על מנת לאפשר להולכי הרגל להתמודד עם איפיוני השונים של כל אמצעי.
 - כשתוואי הרכבת הקלה צמוד למדרכה:
 - יש לאפשר מירווח בטחון של כ- 90 ס"מ בין המעטפת הדינמית לבין אבן השפה;

- בהעדר מרווח בטחון כנ"ל, יש להתקיף גדר או מעקה ליד אבן השפה;
- יש לאסור נגישות ישירה לשימושי קרקע גובלים או דרכי שרות תוך חציית מסלול הרכבת הקלה (אלא אם היא מרומזרת).
- **דו"ח מס' 69 של ה-TCRP (34)** מקביל לדו"ח מס' 17 (2), אך מטפל במקרים בהם מהירותה של הרכבת הקלה היא מעל 55 קמ"ש (35 mph), מהירות אפשרית כשהרכבת פועלת על תוואי בלעדי (כמו רכבת רגילה).
- בתנאים אלה הכלל הבסיסי הוא שכל מפגש של דרך, שביל הליכה או שביל אופניים עם הרכבת צריך להיות **מבוקר על ידי מחסומים אוטומטיים**.
- הדו"ח מפרט שורה של בעיות אשר לוקטו מתוך ניסיון התפעול של מספר מערכות ברחבי ארצות הברית וקנדה ומציג פתרונות אפשריים לכל אחת מהן.

האמצעים העיקריים המוצעים כוללים:

- הגברת האכיפה, בעיקר באמצעות הפעלת מצלמות.
- בקרת פניות מתוך דרכים מקבילות לתוואי הרכבת תהיה באמצעות רמזורים.
- הבטחת שדה ראייה מינימלי על ידי הגבלת גובה המכשולים לאורך תוואי הרכבת ל- 1.1 מ' (מכסימום) במרחק של 30-60 מ'.
- הפעלת מערכות חדשות במהירויות נמוכות ולהעלותה בהדרגה.
- עריכת תכנון מתואם של צמתים סמוכים.
- גילוי מוקדם מספיק של הרכבת שיבטיח פינוי המפגש והערכות של המערכת הסמוכה.
- סימון מעברי חצייה בצורת "Z", באמצעות חיצים המראים את כיוון הנסיעה של הרכבת והתקנת פסי עצירה עם מירקם מיוחד לפני המעטפת הדינמית.

6.1 מתן זכות קדימה

בעוד שלגבי אוטובוסים, ההתייחסות למתן זכות קדימה היא כאל רכב רגיל, כל הספרות מאוחדת בקביעתה שלרכבת קלה זכות קדימה כלפי יתר משתמשי הדרך, **כולל הולכי רגל** (וזאת הסיבה שבגללה אין לסמן את מעברי החצייה מעל מסלולי הרק"ל). יחד עם זאת מודגש בכל המקורות שנהגי הרכבת חייבים לציית להוראות התמרורים המסדירים את תפעול הצומת ואף את המגבלות על המהירות המכסימלית המותרת, ולמעשה על הנהגים מוטלת החובה לנהוג בהתחשב בתנאי הדרך בפועל (למשל: לעצור אם הצומת אינו פנוי).

6.2 הבטחת שדה הראיה

לאור הניסיון שהצטבר בהפעלת רכבת קלה, מודגשת החשיבות של הבטחת שדה ראייה פנוי בעיקר בכל הנוגע לחציית המסילה על ידי הולכי רגל. בתרשים ב-24 שלהלן, מתוך -TCRP - דו"ח מס' 17 (2) מוצג אופן החישוב של משולש הראות שמטרתו למנוע חסימה של שדה הראייה להולכי הרגל בהתחשב באורך החצייה, מהירות הרכב המתקרב ובמקרה של הרכבת הקלה, בהתחשב במרחק הבלימה.

6.3 הבטחת פינוי הצומת

השיטה המקובלת להבטחת פינוי הצומת על ידי רכב תצ"מ (ההתייחסות היא בעיקר לרכבת קלה) מורכבת **מגלאי רישום** (CHECK IN DETECTOR) המוצב לפני הצומת, **גלאי פינוי** (CHECK OUT DETECTOR) והגדרה של **משך ירוק לפינוי** (GREEN CLEARANCE) - שהוא משך הזמן המכסימלי המחושב להבטחת פינוי של הצומת (34). במידה ומשך הזמן שעבר מאז שהרכב נרשם גדול ממשך הירוק לפינוי, המנגנון מעביר למרכז הבקרה הודעה על "רכב תקוע". לא נמצאו במסגרת סקר הספרות הנחיות בנוגע לחישובם המדויק של הגלאים. ראה בנושא זה בפרק ה' - גלאים.

6.4 מעקות וגדרות קבועים

ראה סעיף 1.3 בפרק ב'.

6.5 הולכי רגל

הגדרתם והפעלתם של האמצעים המיועדים להגביר את הבטיחות של הולכי הרגל ורוכבי אופניים במפגש עם הרכבת הקלה מחייבת התחשבות במספר רב של פרמטרים. המערכת המפעילה את הרכבת הקלה של העיר PORTLAND שבאורגון, ארה"ב (2), החליטה שהקריטריון העיקרי לצורך הגדרתם, ארגונם ויישומם של אמצעים בטיחותיים יהיה **המהירות** וזאת בגלל 3 סיבות עיקריות:

- א. זהו פרמטר קל להבנה;
- ב. ניתן לאפיין קטעים שונים על פי מהירות התכן שלהם;
- ג. הניסיון מלמד שחומרת האירועים הבטיחותיים גדלה ככל שמהירות הנסיעה עולה.

המלצתם היתה לאפיין את אמצעי הטיפול בהתאם ל- 3 קטגוריות של מהירות:

- א. עד 25 קמ"ש: הפעלת אמצעי אזהרה.
 - ב. מעל 25 קמ"ש ועד ל- 55 קמ"ש: הפעלת אמצעי אזהרה בשילוב עם הכוונה של הולכי רגל לעבר נקודות החצייה ואף התקנת מחסומים.
 - ג. מעל 55 קמ"ש: אמצעי הכוונה ומחסומים משולבים עם אמצעי איתות בולטים (כגון: אורות מהבהבים, קולות מיוחדים וכו').
- בהמשך, המאמר מציג שורה של אמצעים בטיחותיים סטנדרטיים לשימוש בעת חציית המסילה על ידי הולכי רגל ורוכבי אופניים. אמצעים אלה מחולקים לפסיביים (שאינם מופעלים על ידי הרכבת המתקרבת) ואקטיביים (מופעלים על ידי הרכבת המתקרבת).

אמצעי הבטיחות הפסיביים כוללים:

- סימון קווי עצירה והכיתוב "עצור כאן" על פני המסעה.
- סלילת פס בעל מירקם שונה ברוחב של כ- 1.0 מ' לפני המעטפת הדינמית.
- הכוונה של תנועת הולכי רגל ורוכבי אופניים באמצעות מעקות.
- תימרור (שילוט) המזכיר לחוצים להסתכל ל-2 הצדדים לקראת חציית המסילה.
- מחסום בסגנון "דלת מסתובבת", להפעלה על ידי הולך רגל.
- התקנת מעקות מדורגים המונעים מעבר ישר לעבר המסילה.
- סימון מעברי חצייה בצורת "Z".

אמצעי בטיחות אקטיביים הם בעיקר:

- הפעלת תימרור ו/או שילוט מהבהב (אמצעי זה מומלץ לשימוש גם עבור חצייה של כלי רכב) במיוחד במצבים של:
 - פנייה שמאלה ממסלול המקביל למסלול הרכבת הקלה.
 - נפח גבוה של כלי רכב חוצים.
 - מגבלות לשדה הראייה כלפי הרכבת המתקדמת.
 - תנועת הרכב החוצה איטית או עם אחוז גבוה של רכב כבד.

6.6 מרווחים מינימליים

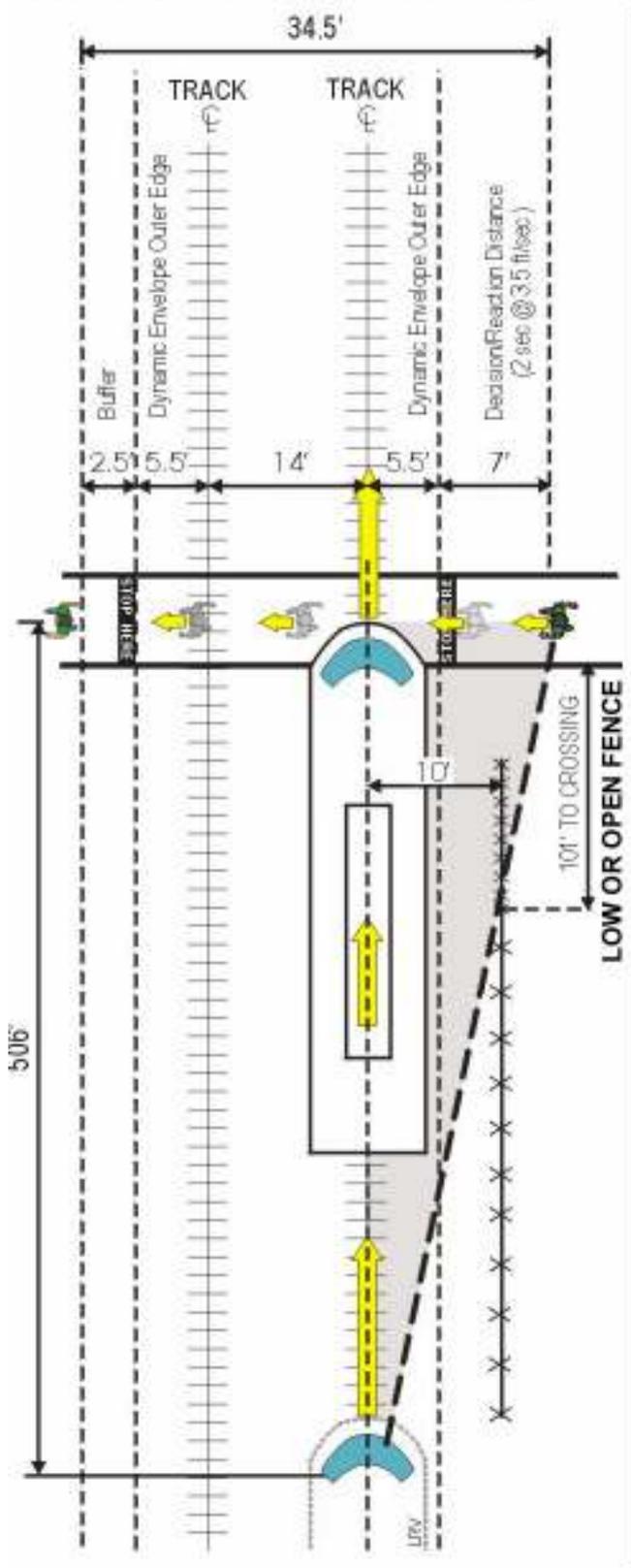
על מנת להבטיח מעבר בטוח של התחבורה הציבורית ברוחב יש להגדיר את המרווחים המינימליים הנדרשים בין כל שני כלי רכב החולפים האחד מול (או ליד) השני ובינם לבין יתר משתמשי הדרך והעצמים שלאורכה.

לגבי האוטובוסים לסוגיהם, מרווחים אלה מובטחים באמצעות ההנחיות הקיימות (24,26,84,86) המתייחסות הן לרוחב הנתיבים הנדרש והן למרחקים הדרושים בין קצה המסעה לבין העצמים השונים שלצידה.

כלי רכב מונחים (Guided) בכלל ורכבת קלה בפרט הינן אמצעים המאופיינים על ידי תוואי נסיעה המוגדר באופן חד משמעי (במקרה של הרכבת הקלה, על ידי המסילה עליה היא נוסעת) ולכן, רוחב הרצועה (המסלול) דרכה הן עוברות תהיה צרה יותר מזו הנדרשת עבור כלי רכב רגילים. יחד עם זאת, בהתחשב בסטיות הדינמיות ובמסה הגדולה של כלי הרכב הנ"ל, רוב המקורות ממליצים על מרווחי מינימום החייבים להפריד בינם לבין עצמים שונים.

בטבלה הבאה מוצגים מרווחי מינימום מומלצים במדינות שונות. כל המידות הן במילימטרים ומתייחסות למעטפת הדינמית המורחבת - **מד"מ** - של הרכבת הקלה המוגדרת כרוחב המכסימלי האפשרי בכל נקודה בהתחשב בכל הסטיות האפשריות של ומהמסילה (Developed Kinematic Envelope - DKE - אצל האנגלים, Gabarit Limite d'Obstacle - GLO - אצל הצרפתים).

Figure 4. PEDESTRIAN SIGHT TRIANGLE



CASE: LRV Approaching Crossing at 35 mph

Figure 4 illustrates sight distance required for pedestrian to safely cross two tracks, covering a distance of 34.5 feet

Assumptions:

- Two track configuration
- LRV approaching from left to right on first track
- Time required by pedestrian to travel 34.5 feet, based on 3.5 feet per second walking speed = **9.86 seconds**
- Fence 10 feet from centerline of near track

Minimum Crossing Distance, 34.5 feet, where:

- 7.0 ft is the distance traveled at 3.5 feet per second during decision/reaction period of 2 seconds
- 5.5 ft is the distance from the centerline of the near track to the outer edge of the dynamic envelope of the near track
- 14.0 ft is the distance between the centerlines of the two tracks
- 5.5 ft is the distance from the centerline of the far track to the outer edge of the dynamic envelope of the far track
- 2.5 ft is the width of the buffer/clearance zone beyond the track and dynamic envelope

LRV Braking Distances for Unanticipated Stops

LRV Speed (mph)	LRV Traveled Distance (ft) in 9.86 sec.	Full Service Braking Distance (ft)	Emergency Braking Distance (ft)	Distance of Low or Open Fence
15	217	110	81	43
25	362	244	175	72
35	506	428	302	101
45	651	660	462	130
55	795	942	654	159

Fence Height

Based on distance of 506' covered in 9.86 seconds and 7' reaction time, fence height should not obstruct view 101' from crossing.

Figure NOT TO SCALE

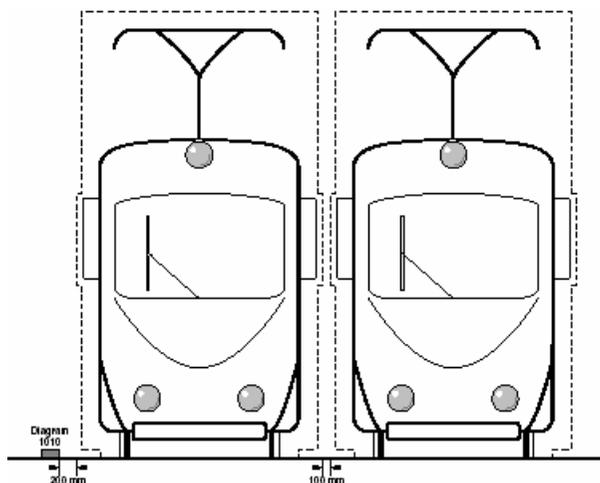
גרמניה (87)	צרפת (73)	אירלנד (74)	אנגליה (37)	מרווחי מינימום מומלצים:
400	200	200 (1)	100	לרכבת קלה אחרת
-	-	600	600	כשעמודי ההזנה באמצע
300	200	200	100	לעמוד הזנה מרכזי
750	200	200	600	לעמוד הזנה צידי ברצועת הרכבת
750	-	750	750	לעמוד הזנה במדרכה
300	700	600	600	לגדר או מעקה
300 (4)	300	200 (3)	200 (2)	לנתיב סמוך לתנועה הכללית ללא הפרש גובה
300	300 (6)	200 (5)	200 (5)	לנתיב סמוך לתנועה הכללית עם הפרש גובה
0 (7)	300	300	300	לאבן שפה
300	-	300 (9)	600	לריהוט רחוב (8)
0	-	-	40	לקצה רציף (10)

הערות:

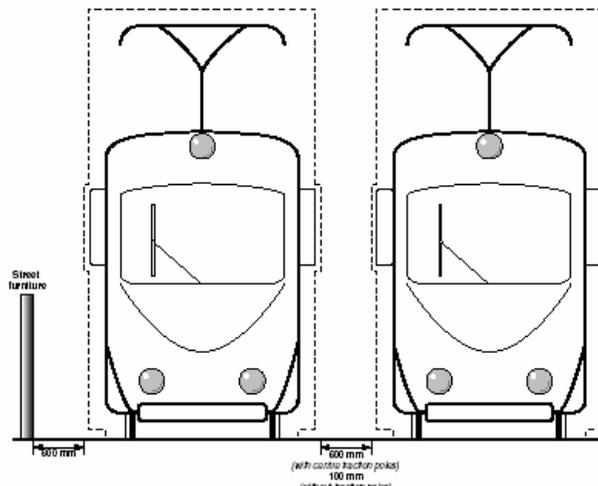
- (1) כשהמסילות מופרדות על ידי גדר המרווח בין 2 הרכבות יהיה 1,200 מ"מ
- (2) כשהנתיב הסמוך הוא נתיב אופניים, רוחב נתיב האופניים יהיה 1.0 מ'
- (3) כשהנתיב הסמוך הוא נתיב לאופניים, רוחבו יהיה 1000 מ"מ ובנוסף יסומן פס ברוחב 300 מ"מ
- (4) ובתנאי שרוחב הנתיב הסמוך יהיה 3.55 מ'
- (5) עד לתחילת שיפוע המעבר לכיוון מפלס הנתיב הכללי
- (6) עד למפלס הנתיב הכללי
- (7) אבן השפה תהיה בגבול המעטפת הדינמית, מרווחי הבטחון מתייחסים לאלמנטים שמעל אבן השפה
- (8) במדרכוב
- (9) המרחק לקצה הסימון של רצועת הרכבת
- (10) המרחק ביחס למעטפת הדינמית של הרכבת הקלה

תאור של המקרים השונים המפורטים בטבלה לעיל שנלקח מתוך ההנחיות האנגליות - Railways Safety Principles and Guidance (37) מוצגים בתרשים ב-27

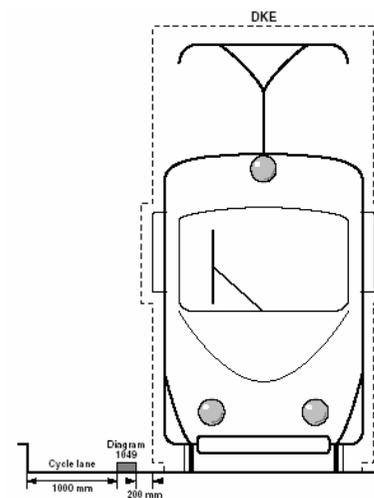
תרשים ב-27: מרווחי בטחון לרכבת הקלה עפ"י ההנחיות האנגליות (37)



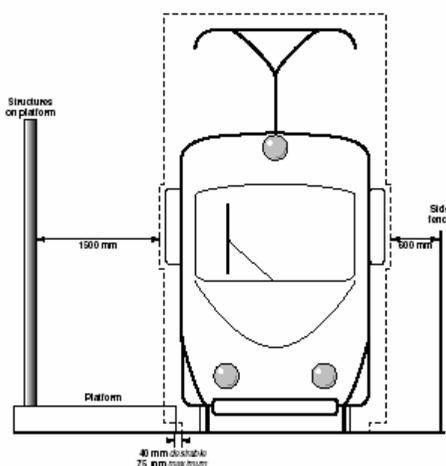
לנתיב כללי סמוך ללא הפרש גובה



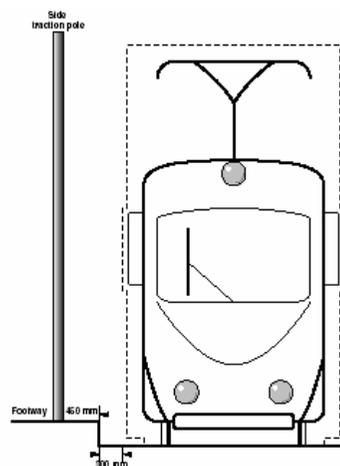
מרווחים מינימליים במדרחוב



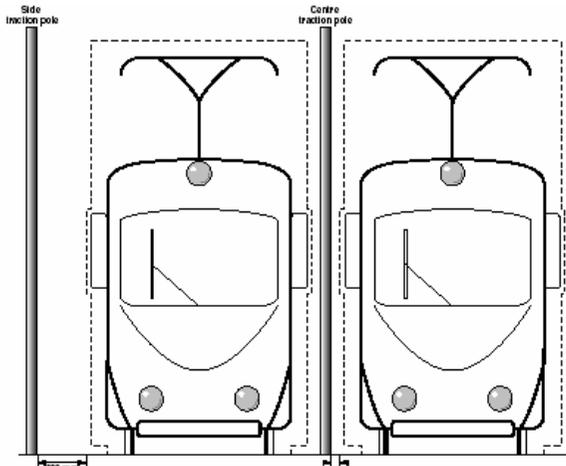
לנתיבי אופניים



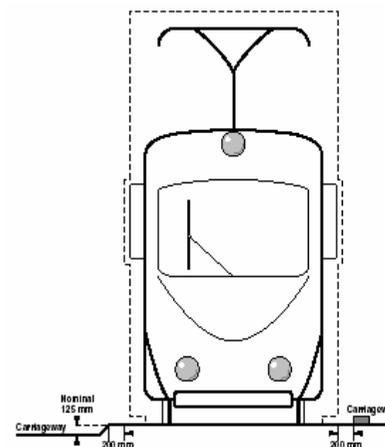
לרציף תחנה ולגדר



למדרכה



לעמודי הזנה



לנתיב כללי עם הפרשי גובה

פרק ג' – חישוב זמני פינני (זמנים בין-ירוקים)

1. חישוב זמני פינני

1.1 מטרה

מטרת חישוב הזמן הבין-ירוק היא למצוא את הזמן המינימלי שיכול להתקיים, מבחינה בטיחותית, בין סיום המופע הירוק לתנועה אחת לבין ראשית הירוק של תנועה אחרת שמקבלת ירוק מיד לאחר מכן, כך שהתקנתו במנגנון הרמזור תמנע תאונות בין תנועות עוינות. תנועות אלה יכולות להיות של: רכב, הולכי רגל, אופניים, אוטובוס ורכבת שאמורים לעבור בצומת בהתאם למשטר התנועה שנקבע ע"י הרמזור.

זמן זה מחושב לכל אחד מצירופי האפשרויות של תנועות שחוצות זו את זו בצומת. התוצאה מתקבלת ע"י חישוב זמן הפינני של הגורם (רכב, ה"ר וכו') העובר בסיומו של הירוק לכיוונו, וממנו מפחיתים במקרים הרלבנטיים את זמן הכניסה לנקודה או אזור בצומת שבו הם נעים במשותף.

נקודות הדורשות התייחסות במסגרת עבודה זו הינן בין השאר:

- התייחסות למהירות הנסיעה של הרכ"ל ושל אוטובוסים.
- התייחסות לתאוצות ולתאטות הסבירות מבחינת הנוסעים בכלי הרכב הנ"ל.
- התייחסות לאורך הרכ"ל והאוטובוס המפרקי.
- התייחסות למיקום התחנה (לפני/אחרי הצומת).
- התייחסות למהירות הפינני, במיוחד של הולכי הרגל (בהתחשב בכך שהרכ"ל אינו יכול לעצור בזמן, במקרה שהולך רגל איטי טרם סיים את החצייה).

1.2 מרכיבים וחישוב הזמנים הבין-ירוקים

בהנחיות לתכנון רמזורים (24) של משהת"ח מוגדרות הנוסחאות והערכים שיש להשתמש לחישוב הזמנים הבין ירוקים בין צרופים של רכב עם רכב עם ה"ר. בהנחיות אלה מוגדרים בין השאר:

- תחום אזור הניגוד (אזור ולא נקודה או צרופי נקודות),
 - מהירויות הנסיעה (50 קמ"ש ו- 80 קמ"ש כמהירויות כניסה ומהירויות 25 קמ"ש ו- 35 קמ"ש נגזרות מהן כמהירויות פינני),
 - אורך הרכב (12 מ'),
 - מהירות הולך הרגל (1.2 מ/שנ'),
- ועוד.

במהלך הזמן מהכנת ההנחיות ההן, ובמיוחד בשנים האחרונות (מתחילת השימוש בתוכנת ענבר לתכנון רמזורים) שונו או נוספו מספר הנחיות, בהם בין השאר:

- התייחסות לרכב מהיר המפנה את הצומת,
- התייחסות לתאוצה של רכב מפנה,

- מהירויות נסיעה גבוהות בכניסה וביציאה מהצומת בתחום 50 קמ"ש עד 100 קמ"ש.
 - התייחסות לאורך הרכב למשל לאוטובוס מפרקי.
 - התייחסות לנקודות הקריטיות באזור הניגוד ועוד.
- בהנחיות הנ"ל אין התייחסות לרכבת קלה וגם חלק מהשינויים ו/או הפירושים שנעשו בהמשך, אינם מעוגנים בהנחיות אלה.

- בהנחיות הגרמניות **RILSA (13)** יש שוני לעומת ההנחיות בארץ, בנושא חישוב הזמנים הבין-ירוקים לרכב וה"ר, וגם באלמנטים שבמעבר בין הפאזות. שוני זה קיים בין השאר באלמנטים הבאים:
- אין ירוק מהבהב, אך משך הצהוב משתנה בתלות במהירות הגישה, והוא נע בין 3 ל- 5 שניות.
 - משך זמן המעבר מנקודת ההחלטה ועד לקו העצירה הוא 3 שניות,
 - אורך הרכב כולל משאיות, נגריים ואוטובוסים - 6 מ',
 - מהירות הפינוי של רכב הנוסע ישר 10 מ'/שנ', רכב פונה 7 מ'/שנ' ורכב פונה ברדיוס קטן מ- 10 מ' 5 מ'/שנ'
 - מדידת האורכים נעשית לנקודת ניגוד שממוקמת באמצע נתיבי הנסיעה.

לגבי רק"ל או אוטובוס בנתיב נפרד ההנחיות בהתאם למקור (33) הינן כדלקמן:

- זמן התחלופה (צהוב ?) תלוי במהירות המירבית בגישה של הרכב הציבורי
- 30 קמ"ש - 4 שנ', 40 קמ"ש - 5 שנ', 50 קמ"ש - 6 שנ', 60 קמ"ש - 7 שנ', 70 קמ"ש - 8 שנ',
- משך זמן המעבר מנקודת ההחלטה ועד לקו העצירה הוא 3, 5 ו- 7 שניות, בתלות במהירות 30, 50 ו- 70 קמ"ש בהתאם.
- אורך הרק"ל (טראם) 15 מ'.
- תאוצות של ת"צ בין 0.7 ל- 1.5 מ/שנ'.

את הזמנים הבין-ירוקים יש לבדוק בשטח לאחר ההפעלה כדי לראות אם ההנחות ששימשו בסיס לחישוב ערכים אלה מתאימים למה שקיים בצומת ובמיוחד יש להתייחס לפניות שמאלה ולתחבורה ציבורית. (סעי' 2.5.6)

בהנחיות שוויצריות SN640838 (44) לקביעת זמנים בין-ירוקים ברמזורים, מוגדרים בס.ק. 5 זמני פינוי וזמני הכניסה הדרושים בתהליך חישוב הזמנים הבין ירוקים כמובא בטבלה שלהלן:

סוג הרכב	פינוי		כניסה	
	זמן (שנ')	מהירות (מ/שנ')	זמן (שנ')	מהירות (מ/שנ')
רכב פרטי	4	15	0.5 -	15
הולכי רגל	0	1.2	0	1.2
אופניים	1	5	1	5
רק"ל	7	10	1	10
אוטובוס	2	6	1	6

זמנים אלה מוגדרים כדלהלן: **זמן פינוי** – זמן בין סוף האות הירוק לבין חציית קו העצירה, **זמן כניסה** – זמן בין ראשית האות הירוק לבין חציית קו העצירה. אורך מסלול הנסיעה בתוך הצומת נמדד לפי הגיאומטריה של הצומת. מופיעה שם הערה, שכאשר אורך הפינוי עולה על 30 מ' ואין פנסים נפרדים עבור אוטובוס או אופניים, יש לבצע את החישוב בהתחשב במאפיינים של אמצעי תחבורה אלה.

לפי המדריך ההולנדי (48)

הזמן בין הירוק שווה לזמן פינוי פחות זמן זינוק. את עשירות השנייה בתוצאת החישוב מעגלים כדלקמן: לרכב ורק"ל מ- 3 עשירות ומעלה כלפי מעלה (2.3 נותן 3 שני', 2.2 נותן 2 שני') להולכי רגל ואופניים העיגול הוא תמיד כלפי מעלה.

לגבי מהירויות הפינוי ע"פ מקור זה:
מהירות הפינוי של רק"ל בנסיעה ישר 8 מ' /שני' ובפנייה 5 מ' / שני'.
מובאים שם מהירויות ליתר כלי הרכב בין 15 ל- 6 מ' / שני',
בתלות בסוג הרכב, במהירות המותרת וברדיוס הסיבוב.
זמן הפינוי מחושב מראשית האדום.

מהירות הזינוק ע"פ **מקור 48**:
לה"ר ולאופניים ניתנים מהירויות של 1 ו- 4 מ' / שני', וכן מפורטים זמני כניסה של רק"ל ואוטובוס.
בפרק ב-3.5 של דו"ח הסיור המקצועי מובא מידע על אופן חישוב זמני הפינוי הנהוג בצרפת.

פרק ד' - אופן מתן העדפה ופיצוי זמן ירוק

1. הקדמה

פרק זה דן בשיטות השונות למתן העדפה לתחבורה ציבורית בתפעול צמתים מרומזרים. מטרת ההעדפה היא להפחית את העיכוב לכלי רכב ציבוריים המסיעים כמות גדולה של נוסעים ולעודד שימוש בתחבורה ציבורית.

העדפה ברמזורים מיושמת מזה שנים בכל רחבי העולם וזוכה לתשומת לב ומשאבים רבים. בסקירת הספרות הבינלאומית הרבה בנושא, נמצא דמיון רב בתיאור שיטות ההעדפה האפשריות. לעומת זאת, לא נמצא חומר רב ברמה של הנחיות ("עשה" ו"אל תעשה") אלא קריטריונים וקווים מנחים בלבד (אם בכלל). נראה שהסיבה לכך היא שהחלטה על רמת ההעדפה הרצויה לתחבורה ציבורית ומידת הפגיעה האפשרית בכלי הרכב האחרים שונה מארץ לארץ, מעיר לעיר ומצומת לצומת באותה עיר. מאחר וכך, בנוסף לתיאור השיטות, הקריטריונים וערכי הסף היכן שנמצאו, כולל סקר הספרות שלהלן גם תאור יישומים ושיטות המופעלות בערים שונות בעולם, מהם ניתן ללמוד על השיטות והתאמתן לאמצעי התחבורה הציבורית השונים.

מידע על הנהוג בצרפת בתחום זה ראה בדו"ח הסיוור המקצועי פרק ב-7.

1.1 ההבדל בין 'העדפה' (Priority) ו'קדימות' (Preemption)

יש להבחין בין מתן 'העדפה' (Priority) לכלי רכב בצומת מרומזר לבין מתן 'קדימות' (Preemption). שני המושגים משמשים לעיתים בערבוביה בספרות. דו"ח ITS America (31) מדגיש את ההבדל בין שני המושגים באופי התהליך המופעל ברמזור:

Priority – שינוי (modification) המהלך הרגיל של תוכנית הזמנים ברמזור על מנת לשפר את התאמתו למעבר כלי רכב ציבורי (במטרה להקטין את עיכוב לכלי הרכב הציבורי).

Preemption – הפרעה (interruption) למהלך הרגיל של תוכנית הזמנים ברמזור כתוצאה מאירוע מיוחד (כגון התקרבות רכבת כבדה או רכב חירום לצומת).

גם דו"ח **SMARTNETS (17)** מתייחס להבדל ומציין כי במעברי רכבת כבדה ורכב שירותי חירום נהוג לדבר על 'קדימות' (Preemption) ובהם ניתנת רמת העדפה הגבוהה ביותר מסיבות בטיחותיות. מדובר בשינוי אגרסיבי בתוכנית הזמנים שיאפשר את מעבר כלי הרכב, 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 כך שרכבת כבדה תקבל עדיפות על פני רכב חירום. ברמה נמוכה יותר נמצאת התחבורה הציבורית, בה נהוג לדבר על 'העדפה' (Priority). השינויים בתוכנית הזמנים מתבצעים תוך התחשבות בתאום הדרוש בין צמתים וצרכי כלי הרכב האחרים בצומת.

ההנחיות האמריקאיות (8, MUTCD) מבדילות בצורה דומה בין המושגים לעיל:

“Preemption Control — the transfer of normal operation of a traffic control signal to a special control mode of operation.

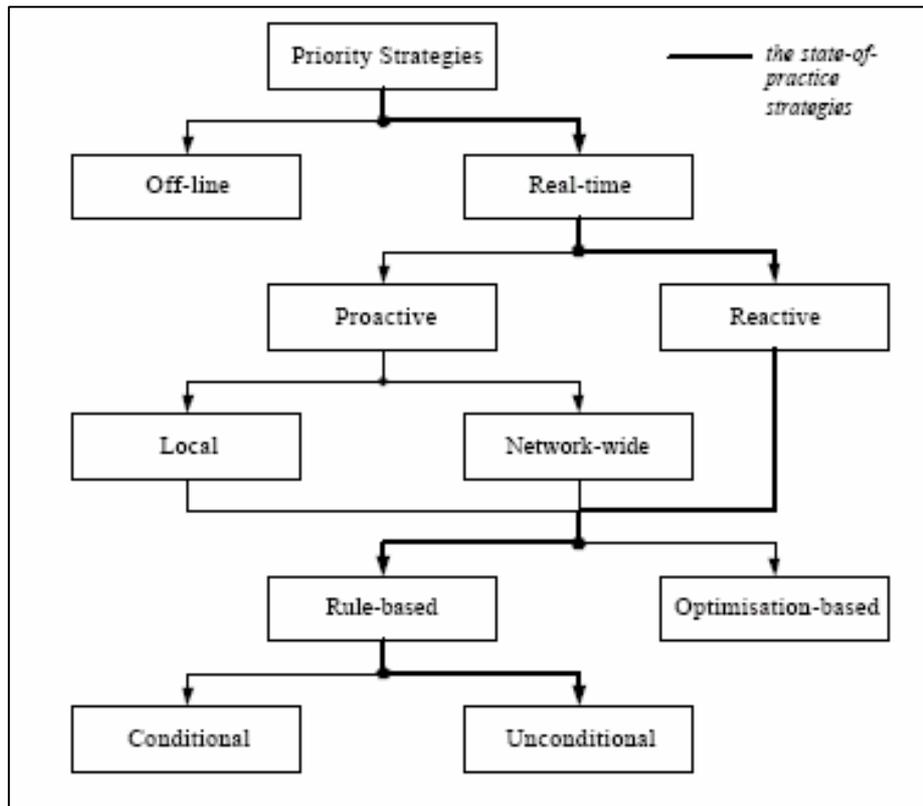
Priority Control— a means by which the assignment of right-of-way is obtained or modified.”

2. אסטרטגיות העדפה

2.1 סיווג אסטרטגיות העדפה

קיימות אסטרטגיות שונות ליישום העדפה לתחבורה ציבורית ברמזורים. דוח **SMARTNETS (17)** מסווג את אסטרטגיות אלה בהתאם לקריטריונים שונים כפי שמופיע בתרשים הזרימה שלהלן:

סיווג אסטרטגיות העדפה (17)



2.2 העדפה אקטיבית (On Line) לעומת העדפה פאסיבית (Off Line)

דוח **SMARTNETS (17)** מבחין בין העדפה 'אקטיבית' שהינה מקוונת, ומתחשבת בנתוני זמן אמת לבין העדפה 'פאסיבית' שאינה מקוונת, הנקבעת בזמן תכנון הרמזור ואינה מתחשבת בנתוני זמן אמת. הבחנה בסיסית זו מופיעה ברוב המקורות הדנים בנושא.

- **העדפה פאסיבית (Off Line)**

אסטרטגיות העדפה פאסיבית אינן מקוונות ונותנות העדפה לתחבורה ציבורית באופן קבוע, 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. תאור דומה של העדפה פאסיבית נמצא במקורות רבים (17, 28, 31, 65 ועוד) שיטות ליישום העדפה פאסיבית – ראה סעיף 3.

- **העדפה אקטיבית (On Line)**

אסטרטגיות ההעדפה האקטיביות מאפשרות העדפה לתחבורה ציבורית על סמך נתונים המתקבלים בזמן אמת ובהתייחס למיקום ו/או קבלת בקשה להעדפה מכלי רכב ציבורי. לצורך הפעלת העדפה אקטיבית נדרשת היכולת לגילוי וזיהוי כלי רכב ציבוריים המתקרבים לצמת המרמזור. בחלק מהאסטרטגיות נדרש גם מידע נוסף כפי שיפורט בהמשך. תאור דומה של העדפה אקטיבית נמצא במקורות רבים (17, 28, 31, 69, 65 ועוד) שיטות ליישום העדפה אקטיבית – ראה בסעיף 4.

2.3 העדפה תגובתית (Reactive) לעומת העדפה הכוללת חיזוי (Proactive)

דוח SMARTNETS (17) מסווג את אסטרטגיות ההעדפה האקטיביות בהתאם למאפייני החיזוי (אם בכלל) המופעלים בהן, לאסטרטגיות תגובתיות (Reactive) ואסטרטגיות הכוללות חיזוי (Proactive).

- **העדפה תגובתית (Reactive)**

האסטרטגיות התגובתיות (שהן State of the Practice כיום) מופעלות בכל צומת בנפרד ומספקות טיפול מקומי לבקשת העדפה, ללא תלות אם זהו צומת מבודד או צומת שפעולתו מתואמת עם צמתים נוספים. המנגנון מקבל את הבקשה להעדפה כשהרכב מתקרב לצומת ואז, בהתאם לרמת ההעדפה המותרת, מתקבלות החלטות ומופעלים השינויים הנדרשים בתוכנית הזמנים. אסטרטגיות אלה דורשות רק תקשורת מקומית בין כלי הרכב הציבורי ומנגנון הרמזור.

- **העדפה הכוללת חיזוי (Proactive)**

אסטרטגיות הכוללות חיזוי (לפחות כשמדובר ברשת רמזורים) מייצגות כיוון מחקר עכשווי המנסה לטפל בבקשות להעדפה בעזרת חיזוי. הבקשות להעדפה מתקבלות מוקדם יחסית (למשל כשהרכב במרחק של צומת או שניים במעלה הזרם). המידע המוקדם מאפשר להיערך להגעת הרכב, לטפל במספר בקשות בו זמנית ולבצע שינויים הדרגתיים בתוכניות הזמנים במטרה להיענות לדרישה להעדפה, עם הפרעה מינימלית לשאר התנועות בצומת. יש לציין כי כדי שהעדפה מסוג זה תהיה יעילה יש להתחשב בהתפלגות זמני העיכוב (dwell times) של כלי הרכב בדרכם לצומת.

את האסטרטגיות הכוללות חיזוי ניתן לסווג כ:

- **העדפה מקומית (Local)** – העדפה בצומת בודד.

- **העדפה ברשת (Network wide)** – במקרה בו האסטרטגיה מנסה לשפר את התקדמות כלי הרכב הציבוריים ברשת באמצעות טיפול גם במשתני התאום בין הצמתים (גל ירוק).

2.4 הפעלת כללים (Rule Based) לעומת אופטימיזציה (Optimization)

דוח **SMARTNETS (17)** מסווג את האסטרטגיות האקטיביות בהתאם למתודולוגית היישום, לאסטרטגיות המפעילות כללי החלטה וכאלה המבצעות אופטימיזציה.

• **העדפה באמצעות כללי החלטה (Rule Based)**

באסטרטגיות העדפה המבוססות על כללי החלטה מתקבלות החלטות כגון הארכת ירוק, קיצור שלבים והוספת שלב על סמך קריטריונים מוגדרים מראש. אסטרטגיות אלה יכולות להיות מותנות (conditional) או בלתי מותנות (Unconditional), בתלות ביכולות הגלאים וציוד הזיהוי.

○ **העדפה מותנית** – מתן ההעדפה מותנה במצבו התפעולי של כלי הרכב הציבורי. בדרך כלל מתן העדפה מותנית בעמידה בל"ז המתוכנן או במרחק כלי הרכב מכלי הרכב הקודם (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 5.

○ **העדפה בלתי מותנית** – אסטרטגיה זו מאפשרת העדפה ללא קשר למצבו התפעולי של כלי הרכב הציבורי. לדוגמא, אסטרטגיה זו תאפשר העדפה בין אם כלי הרכב מקדים או מאחר יחסית לל"ז המתוכנן, עמוס בנוסעים או ריק.

• **העדפה באמצעות אופטימיזציה (Optimization)**

אסטרטגיות המבוססות על אופטימיזציה מאפשרות העדפה לתחבורה ציבורית על סמך אופטימיזציה של מדדי ביצוע הקשורים לעיכוב (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 תנועת אשר בוחר את תוכנית הזמנים המתאימה ביותר מתוך סדרה אפשרית או שמבצע אופטימיזציה לקבלת סדר ומשך השלבים הרצויים.

האסטרטגיה המקובלת כיום (State of the Practice) הינה העדפה אקטיבית – תגובתית – באמצעות כללי החלטה – לא מותנית.

3. שיטות ליישום העדפה פאסיבית

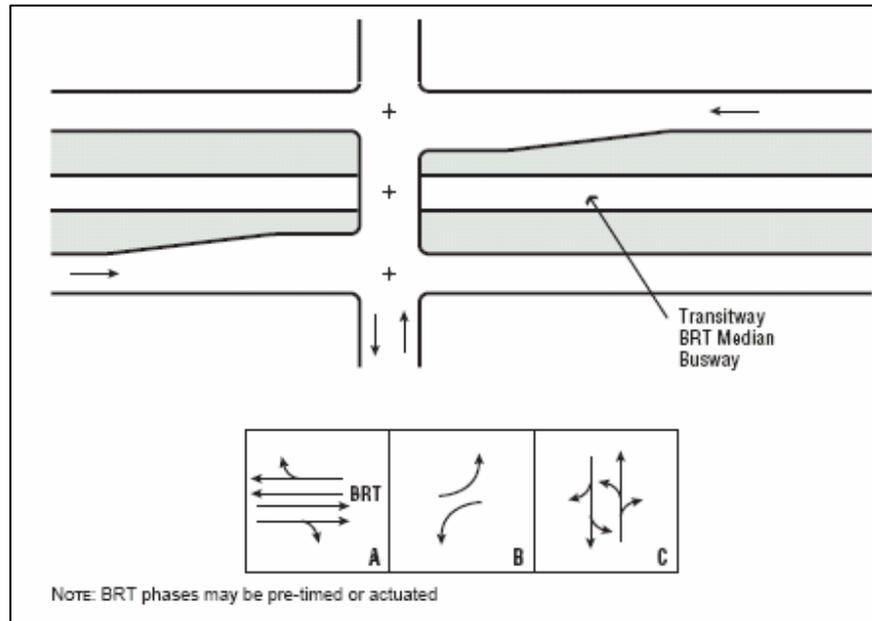
3.1 מספר וסדר השלבים

בצמתים בהם מיושמת העדפה לתחבורה ציבורית רצוי לצמצם ככל האפשר את מספר השלבים וזאת על מנת להקטין ככל האפשר את הזמן האבוד, לאפשר גמישות ביישום ההעדפה ולהקטין את העיכוב לכלי רכב פרטיים. בעקרונות התכנון שפורסמו על ידי משרד התחבורה (28) נקבע כי "ראשית כל, הכרחי לצמצם את מספר השלבים ברמזור...שלושה שלבים ברמזור בתוספת עדיפות מוחלטת לרכבת הם המירב שניתן להציע."

גם בהנחיות היישום של TCRP לאוטובוס מהיר (Bus Rapid Transit) (65), מצוין שיש להקטין ככל האפשר את מספר השלבים עם העדפה לרמזור בעל שני שלבים בלבד. כאשר האוטובוס המהיר נע בנתיבים מיוחדים במרכז הכביש ונדרש שלב נוסף לפניית שמאלה מהכביש הראשי, מומלץ שסדר

השלבים יהיה כזה שהפניות שמאלה יופיעו אחרי התנועה הישרה. (תרשים מס' ד' 1-), וזאת כדי להפחית בסכנה לתאונות בין שני כיוונים אלה (same-direction sideswipes).

תרשים ד' 1- סדר השלבים במקרה של BRT במרכז הכביש (65)



יש לציין כי סדר השלבים המקובל בארץ שונה מהסדר הנ"ל ובדרך כלל הפניות שמאלה יופיעו לפני הישרים (תרשים מס' 5, מתוך עקרונות התכנון שפורסמו על ידי משרד התחבורה (28)).

3.2 זמן המחזור

קיצור זמן המחזור מקטין את זמן ההמתנה של כלי הרכב הציבורי ומגדיל את הסיכוי לקבלת ירוק בהגעה לצומת. כמובן שבקביעת זמן המחזור יש להתחשב בסך נפחי התנועה בצומת ובזמן האבוד. הנחיות משרד התחבורה לתכנון רמזורים (24) ממליצות: "במגמה להקל על מעבר אוטובוסים בצומת מרומזר, מומלץ ליצור להם מספר גדול של הזדמנויות למעבר. דבר זה ניתן להשיג על ידי קביעת מחזור קצר ככל האפשר...."

בהנחיות TCRP (65) לאוטובוס מהיר (BRT) נקבע כי במסגרת המגבלות (נפחי תנועה, זמני פינוי, ה"ר ותאום בין צמתים) יש לקצר ככל האפשר את זמן המחזור, כאשר זמן "טוב" הוא 60-90 שניות, 120 שניות יוגבל לצמתים ראשיים וזמן מחזור גדול יותר רק במקרים מיוחדים בשעות שיא. ההנחיות מציינות כי בזמני מחזור קצרים מתקצר משך האדום לאוטובוסים (במיוחד בנתיבי אוטובוסים) וכי עבור מחזור 60 שניות הזמן האדום המקסימלי הסביר הוא 30 שניות לעומת זמן אדום מקסימלי של בין 60-80 שניות במקרה של מחזור 120 שניות בצמתים עם הרבה שלבים.

הנחיות TCRP (65) מציינות כי זמני מחזור של 50, 60, 72, 75, 80, 90 ו-120 מאפשרים מספר שלם של מחזורים בשעה ובכך מאפשרים לתזמן את האוטובוס המהיר (BRT) באותה שעה בכל יום. עקרונות התכנון שפורסמו על ידי משרד התחבורה (28) מציינות את הקטנת זמן המחזור כאחד האמצעים להעדפה: "הקטנת זמן המחזור כדי לתת יותר אפשרויות מעבר לרכבת הקלה".

3.3 חלוקת זמנים ירוקים (Split)

בשיטה זו ניתן משקל יתר לתחבורה הציבורית בקביעת בחלוקת הזמנים הירוקים בין המופעים השונים. הנחיות TCRP (65) מציינות כי יש למקסם את הזמן הירוק עבור ה-BRT. לצורך כך, בחלוקת הירוק יש להתחשב **במספר האנשים לנתיב העוברים** בצומת ולא רק מספר כלי הרכב ובכך לאפשר זמן ירוק ארוך ככל האפשר עבור ה-BRT.

3.4 התאמת גל ירוק לתחבורה הציבורית

בשיטה זו ההעדפה ניתנת באמצעות גל ירוק המתוכנן להחזרת הנסיעה של התחבורה הציבורית, וכולל בתוכו את זמן השהייה בתחנות (28). פירוט נוסף ראה בסעיף 8.

4. שיטות ליישום העדפה אקטיבית

4.0 כללי

קיימות מספר שיטות ליישום העדפה אקטיבית ברמזורים. תאור דומה של השיטות נמצא במקורות רבים בספרות (65, 31, 28, 17, 43, 72). השיטות הן:

א. **הארכת שלב מופעל בו יש ירוק לרכבת הקלה** ('הארכת ירוק', Green Extension)

ב. **הקדמת פתיחת שלב שבו יש ירוק לרכבת הקלה** ('הקדמת ירוק', Early Green, Stage Recall)

ג. **החלפת סדר השלבים** (Stage re-ordering, Phase rotation)

ד. **דילוג על שלבים** (Stage Skipping)

ה. **הפעלת שלב מיוחד תחבורה ציבורית** (Phase Insertion, Special stage)

ו. **דילוג על תור – ירוק מקדים*** (Leading green)

ז. **רמזור מקדים*** (pre signal)

* - ראה הערה בפירוט השיטה בהמשך.

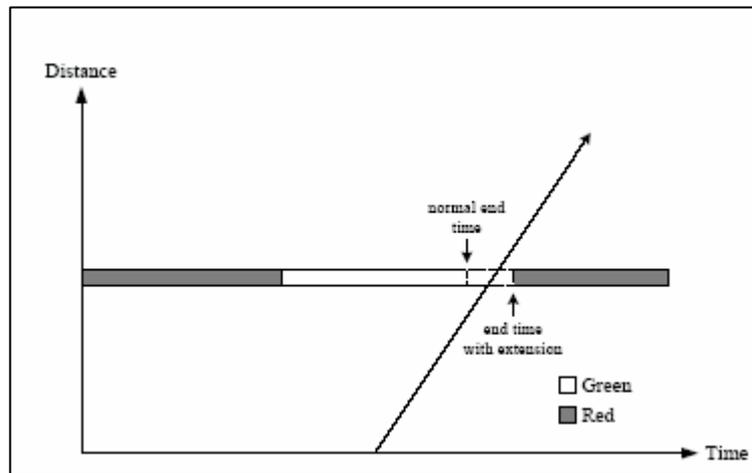
4.1 הארכת שלב מופעל שבו יש ירוק לתחבורה ציבורית (Green Extension)

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-2).

שיטה זו נחשבת לאפקטיבית ביותר (31) מאחר ואינה כרוכה באובדן זמן ירוק לכלל הצומת (אינה כרוכה בזמני מעבר נוספים). השיטה נפוצה מאוד כאשר נקודת הגילוי של כלי הרכב 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 וזמן ירוק מינימלי בשאר המופעים בצומת. בעקרונות התכנון שפורסמו על ידי משרד התחבורה (28) מצוין כי רצוי שכלי הרכב הציבורי (בעיקר במקרה של רכבת) יוכל להמשיך בנסיעתו במהירות הרגילה (בהתאם לתנאי השטח). אי לכך, מועד הגילוי צריך להיות כזה שיותיר מספיק זמן לכלי הרכב להגיע לצומת ולפנותו במגבלת הארכת הירוק שנקבעה.

תרשים ד' -2: הארכת ירוק במופע תחבורה ציבורית (30)

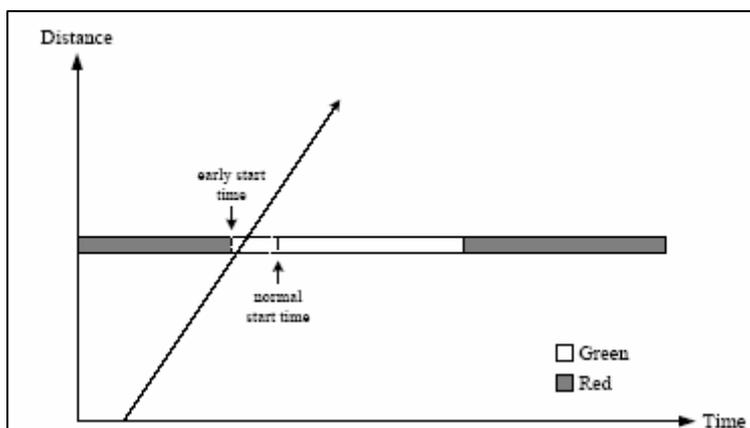


4.2 הקדמת פתיחת שלב שבו יש ירוק לרכבת הקלה (Early Green, Stage Recall)

שיטה זו מופעלת כאשר כלי הרכב הציבורי צפוי להגיע לצומת באדום. במקרה זה מקדימים את פתיחת השלב הכולל ירוק לכיוון נסיעתו, וזאת על ידי קיצור השלבים הקודמים לשלב זה (תרשים מס' ד'-3). שיטה זו, כמו שיטת הארכת השלב, נחשבת לאפקטיבית מאחר ואינה כרוכה באובדן זמן ירוק לכלל הצומת (אינה כרוכה בזמני מעבר נוספים). השיטה כפופה לאילוצי זמן ירוק מינימלי במופעים נוגדי רק"ל.

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

תרשים ד' -3: הקדמת פתיחת ירוק במופע תחבורה ציבורית (30)



4.3 החלפת סדר השלבים (Stage re-ordering, Phase rotation)

בעוד שבשתי השיטות שהוזכרו לעיל סדר השלבים הבסיסי אינו משתנה, הרי שבשיטה זו משנים את סדר השלבים על מנת לספק את הבקשה להעדפה.

ההנחיות הגרמניות (RILSA, 13) מצינות שיטה זו כשימושית בהקשר להעדפת תחבורה ציבורית ('Phase Swapping').

על פי עקרונות התכנון שפורסמו על ידי משרד התחבורה (28), 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.

4.4 דילוג על שלבים (Stage Skipping)

בשיטה זו מדלגים על אחד או יותר משלבי תוכנית הזמנים הרגילה על מנת לאפשר מעבר כלי הרכב הציבורי. המדובר בדילוג על מופעי רכב ו/או הולכי רגל שאינם מופעלי תנועה או כאלה שהינם מופעלי תנועה כאשר קיימת בהם דרישה (דילוג על מופעים מופעלי תנועה כשאינן דרישה למופע הינה פעולה רגילה המבוצעת בכל רמזור מופעל תנועה).

4.5 הפעלת שלב מיוחד לתחבורה ציבורית (Phase Insertion, Special stage)

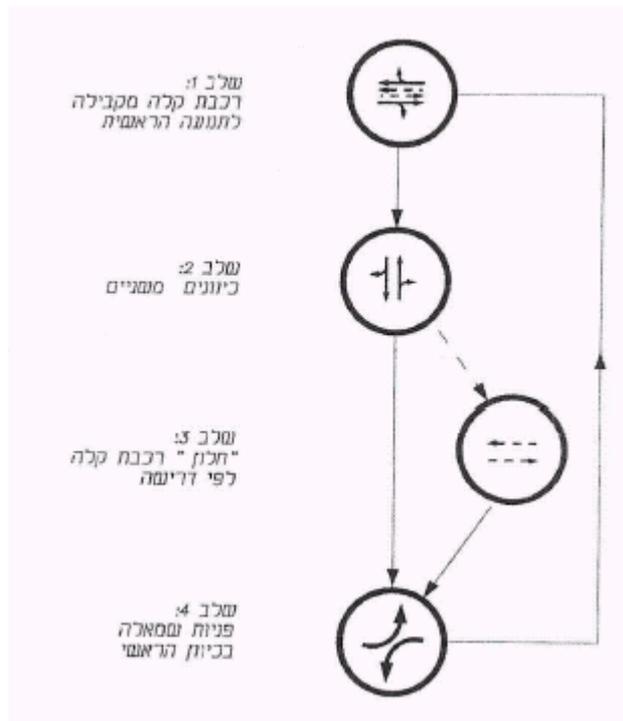
בשיטה זו מופעל שלב מיוחד לתנועת כלי רכב ציבוריים בלבד. שלב זה מופעל בהזדמנות הראשונה האפשרית (בין שני שלבים שאינם כוללים את כלי הרכב הציבוריים) על מנת להיענות לבקשה להעדפה.

בעקרונות התכנון שפורסמו על ידי משרד התחבורה (28) מצוין כי "סוג העדפה זו הוא מן "היקרים",

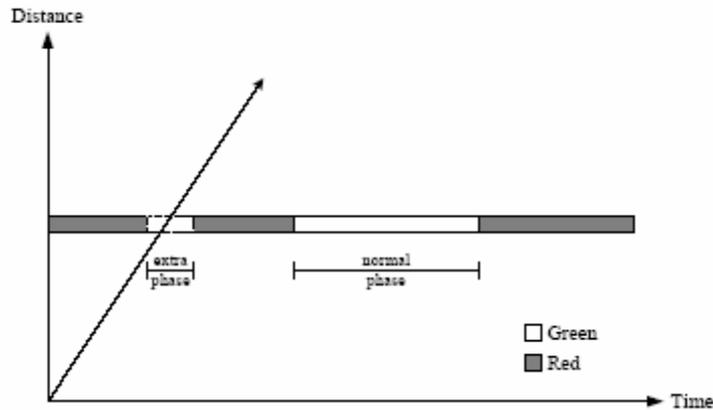
משום שהוא "עולה" בכ-20 עד 25 שניות זמן בלתי מנוצל עבור התנועה הכללית...תכנון כזה מכביד מאוד על תפקוד הרמזור, ומגדיל בצורה משמעותית את זמני העיכוב לרכב פרטי. לכן, ראשית כל, הכרחי לצמצם את מספר השלבים ברמזור...שלושה שלבים ברמזור בתוספת עדיפות מוחלטת לרכבת הם המירב שניתן להציע", ובהמשך: "בסוג העדפה זה יש לשקול את מיקום התחנה – לפני הצומת או אחריו: אם התחנה ממוקמת לפני הצומת, זמן המעבר ממופע שוטף למופע הרכבת הקלה, חופף לזמן הטיפול בנוסעים בתחנה... סוג זה של עדיפות מתאים במיוחד לרמזורים אשר אינם קשורים בגל ירוק". (תרשימים ד'4-וד'5).

גם בהנחיות לתכנון רמזורים של משרד התחבורה (24) מופיעה האפשרות ל"הקצאת זמן ירוק למופעים המשמשים את התחבורה הציבורית יותר מפעם אחת במחזור" כאחד האמצעים להקל על מעבר אוטובוסים בצומת מרומזר (לא מפורט אם באופן קבוע או על פי דרישה).

תרשים ד'4- הפעלת שלב מיוחד לתחבורה ציבורית (28)



תרשים ד'-5: הפעלת שלב מיוחד לתחבורה ציבורית (30)



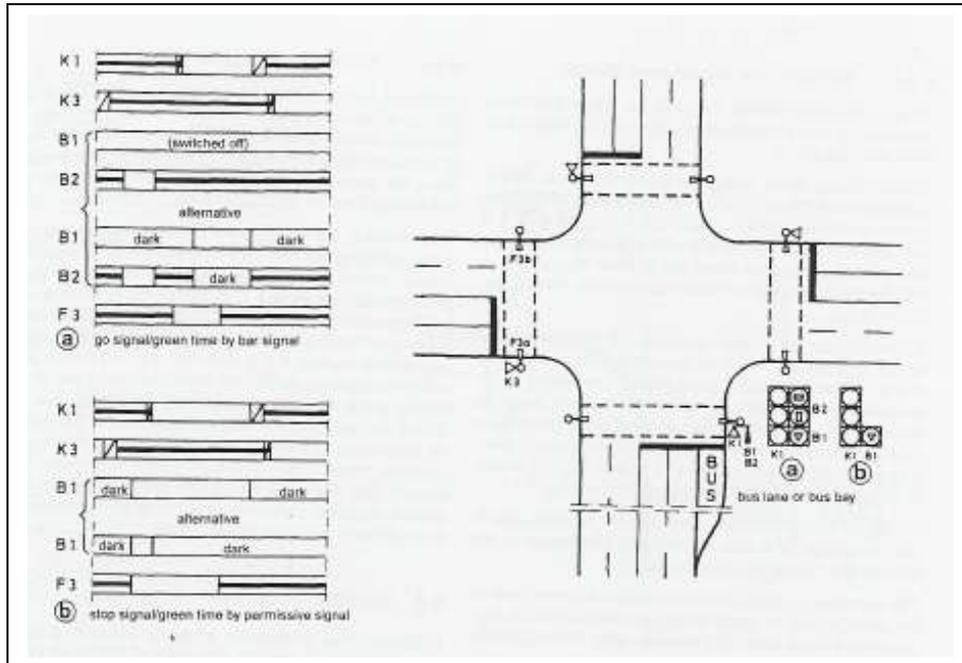
4.6 דילוג על תור - ירוק מקדים (Leading green)

בשיטה זו פותחים את הירוק לכלי הרכב הציבורי שעצר בצומת לפני כלי הרכב הפרטיים הנעים במקביל אליו וזאת על מנת שיקדים אותם ביציאה. השיטה מתוארת בהנחיות הגרמניות (RILSA, 13) מתאימה למקרה בו נתיב מיוחד לאוטובוסים מסתיים בצומת מרומזר או למקרה של תחנת אוטובוס לפני ובצמוד לצומת. במקרה זה כלי הרכב הפרטיים הממתינים ברמזור אינם מאפשרים לאוטובוס לצאת מיד עם פתיחת הירוק.

ההנחיות הגרמניות מתארות שתי שיטות המאפשרות לאוטובוס להקדים ולצאת לפני שאר כלי הרכב הממתינים:

- בשיטה הראשונה, האוטובוס מקבל "ירוק מקדים" (Leading green) במערכת פנסים נפרדת, בהתחשב בזמני פינוי, למשך זמן קצר, לפני הירוק לכלי הרכב האחרים (תרשים מס' ד' -6, a).
- בשיטה השנייה, בנוסף למערכת הפנסים לרכב מציבים פנס ירוק 'מותנה' לאוטובוס (Permissive Green) - פנס בצורת משולש הפוך המאפשר התקדמות תוך מתן זכות קדימה לשאר כלי הרכב). הירוק ה'מותנה' מופעל מעט לפני פתיחת הירוק לכלי הרכב הנעים במקביל (תרשים מס' ד' -6, b). הפעלת פנס "Permissive Green" גם בזמן הירוק לכלי הרכב הפרטיים מומלץ רק במקרים בהם נפחי התנועה נמוכים, הגיאומטריה ברורה, אין קונפליקטים מסוכנים ומאפייני האוטובוסים נלקחים בחשבון בחישוב זמני הפינוי.

תרשים ד' - 6: דילוג על תור: ירוק מקדים (a) וירוק 'מותנה' (b)

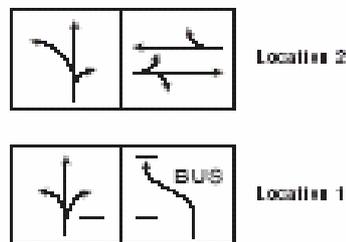
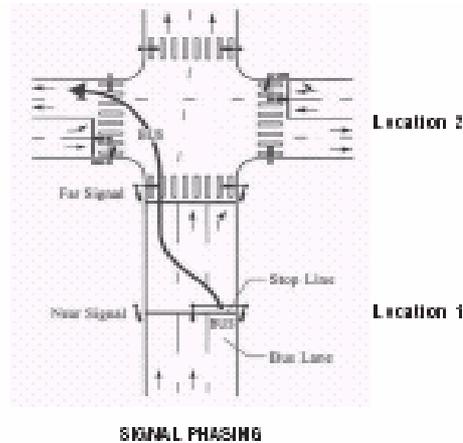


הערה: שיטה זו אינה נכללת ברוב במקורות במניין שיטות ההעדפה האקטיבית, עם זאת מאחר וניתן להפעיל את הרמזור המקדים בתלות בנוכחות רכב ציבורי הוחלט לסקור שיטה זו בפרק זה).

4.7 רמזור מקדים

ההנחיות הגרמניות (13) גם ממליצות (בתלות במאפייני הצומת) לשקול הצבת רמזור מקדים ויצירת "סכר" ("Bus Sluice") אשר מאפשר לאוטובוסים להקדים את כלי הרכב הפרטיים ולתפוס מקום בקו העצירה בנתיב המתאים להמשך מסלול נסיעתם (תרשים מס' ד' -7). שיטה זו מתוארת גם בהנחיות TCRP (65), וכן על ידי משרד התחבורה האנגלי (61).

תרשים ד'-7: התקנת רמזור מקדים ויצירת 'סכר' לאוטובוסים (Pre Signal)



- בדוח של משרד התחבורה האנגלי (72) מצויין כי באוניברסיטת סאותהמפטון חילקו את הרמזורים המקדימים לשלוש קטגוריות עיקריות:
- אין רמזור מקדים לאוטובוסים (הנוסעים במסלול נפרד) ויש רמזור מקדים לכלי הרכב האחרים. כלומר, בזמן שכלי הרכב עומדים ברמזור המקדים האוטובוסים יכולים להתקדם לקו העצירה ללא הפרעה. לעומת זאת, כאשר לתנועה העיקרית יש ירוק האוטובוסים צריכים לתת לה זכות קדימה.
 - רמזור מקדים הן לאוטובוסים (הנוסעים במסלול נפרד) והן לכלי הרכב.
 - רמזור מקדים מופעל תנועה - שימוש בגלאים בהפעלת הרמזור כך שרק בעת גילוי אוטובוס עוצרים את התנועה העיקרית ומאפשרים לאוטובוס גישה לצומת הראשי (מקטין את העיכוב לתנועה הראשית).

הערה: שיטה זו אינה נכללת ברוב המקורות בעניין שיטות ההעדפה האקטיבית. עם זאת מאחר וניתן להפעיל את הרמזור המקדים בתלות בנוכחות רכב ציבורי הוחלט לסקור שיטה זו בפרק זה).

5. קריטריונים למתן העדפה מותנית

קיימים קריטריונים שונים המשמשים להפעלת העדפה מותנית, במטרה להגביל אותה לכלי הרכב ולמקרים בהם היא נחוצה ובכך להקטין את ה'זנק' לשאר כלי הרכב:

5.1 לוח זמנים (SMARTNETS, 17) – מתן העדפה לכלי רכב המאחרים לעומת לוח הזמנים המתוכנן.

עקרונות התכנון שפורסמו על ידי משרד התחבורה (28) כוללות התייחסות לנושא זה: "אחד הקריטריונים של העדפת רכבת ברמזורים הוא שההעדפה עשויה לא להינתן אם הרכבת מקדימה את לוח הזמנים שלה. סוגיה זו חשובה במיוחד בתדירויות גבוהות, שכן העדפה ברמזור של רכבת מקדימה תצמצם עוד יותר את הפער לעומת הרכבת שלפניה ותגרום לתופעת ה"חבורות" (bunching) המוכרת בתפעול אוטובוסים בתדירות גבוהה. כמו כן, בתדירות נמוכה, הקדמת הרכבת יכולה לפגוע בנוסעים הניגשים לתחנה על פי לוח הזמנים שלה...אי לכך יש לבדוק אפשרות של שילוב העדפה ברמזורים עם בקרת קו. למעשה, יש לתת לבקרת הקו אפשרות לשלול מרכבת מסוימת העדפה ברמזור, אם היא מקדימה את לוח הזמנים שלה".

5.2 מרווח בין כלי רכב ציבוריים (Headway) (SMARTNETS, 17) – העדפה לרכב המאחר.

5.3 דרגת הרוויה (SMARTNETS, 17) – העדפה מתאפשרת רק אם דרגת הרוויה בצומת היא מתחת לערך שנקבע על ידי המתכנן, קריטריון זה מבטיח שבמקרים של רווית יתר לא תהיה הפרעה נוספת לפעולת הרמזור העלולה לגרום להחרפה במצב התנועה. שיטה זו מיושמת גם במערכת **SCOOT (62)**.

5.4 זמן ירוק עודף (SMARTNETS, 17) – העדפה ניתנת רק כשיש זמן ירוק עודף בצומת, מבטיח שמתן העדפה לא יגרום לרווית יתר בצומת.

5.5 גל ירוק לצומת הבא (SMARTNETS, 17) – בקריטריון זה נבדק אם כלי הרכב המועמד להעדפה צפוי להגיע באדום לצומת הבא (בו לא ניתנת העדפה). במידה וכן, ניתנת העדפה שהרי בכל מקרה יתעכב בצומת הבא.

5.6 עומס תנועה במורד הזרם (SMARTNETS, 17) – מתן העדפה מותנה במצב התנועה במורד הזרם וזאת על מנת להבטיח שלא תינתן העדפה לרכב שלא "ירוויח" מכך וצפוי להתעכב במורד זרם התנועה.

5.7 זמן עיכוב לנוסע (RILSA, 13) – במידה וקיים מידע על תפוסת הנוסעים בכלי הרכב הציבורי ניתן להפעיל העדפה משיקולי מזעור זמן העיכוב לנוסע.

6. חישוב זמן מחזור והקצאת זמנים ירוקים במסגרת העדפת ת"צ

הנחיות משרד התחבורה לתכנון רמזורים (24) מציגות שיטה סדורה לקביעת זמן המחזור המיטבי בצמתים מרומזרים (ללא העדפה) ולהקצאת הזמנים הירוקים למופעים השונים. זמן המחזור נקבע בהתחשב בסה"כ הנפח השעתי לנתיב במופעים הקובעים, סה"כ הזמן האבוד (זמנים בין ירוקים וזמנים בלתי מנוצלים) ובהנחה של רמת שרות (C). הקצאת הזמנים הירוקים למופעים השונים מבוצעת כך שכל מופע יקבל את הזמן הדרוש למעבר כלי הרכב המתקרבים לצומת באותו מחזור.

במסגרת סקר הספרות לא נמצאו הנחיות דומות (בצורת כללים) למקרה בו מופעלת העדפה לתחבורה ציבורית, כלומר, התחשבות בהעדפה בעת קביעת זמן המחזור הרצוי והקצאת הזמנים הירוקים. ההתייחסות היא להשפעות הפעלת העדפה על כלי הרכב הציבוריים וכלי הרכב האחרים, עיכובים (רמת שרות), אורכי תורים, הצורך בפיצוי מופעים ש"נפגעו" והטלת מגבלות על השינויים האפשריים במהלך ה"רגיל" של תוכנית הזמנים.

התייחסות לאופן קביעת זמן המחזור האופטימלי נמצאה בעקרונות התכנון שפורסמו על ידי **משרד התחבורה (28)**, במסגרת תאור בדיקת מחזור אופטימלי בשלב 'בדיקת חלופות'. המסמך מציין: "הבדיקה תיעשה באופן ידני בהתאם להנחיות משה"ת, או באמצעות תוכנה מקצועית. זמני הפינוי לרכבת הקלה ייקבעו לגופו של מקרה. המחזור האופטימלי ייבדק תוך הפעלת שלב מיוחד לרכבת קלה על פי הסתברות ההופעה שלה. המחזור המרבי לא יעבור 120 שניות...". המסמך מכיל גם דוגמאות להערכת השפעת הרכבת הקלה על קיבולת הצומת המרומזר.

תאור של תהליך התכנון בצרפת מוצג בדו"ח הסיוור המקצועי, פרק ב - 5.

7. תנאים ומגבלות בהפעלת שיטות העדפה שונות

7.1 כללי

הפעלת העדפה לתחבורה ציבורית תגרום בדרך כלל לעיכוב נוסף לכלי הרכב שאינם מועדפים (למעט כלי הרכב בכיוון המועדף ש'יהנו' גם הם מההעדפה). מעבר לפגיעה בזמן הירוק לכיוונים שאינם מועדפים קיימת לעיתים קרובות פגיעה בגל הירוק הגורם גם הוא לעיכובים ועצירות נוספות. תאום גל ירוק מצריך זמן מחזור קבוע לצמתים סמוכים וכל פגיעה בזמן זה תפגע בתאום.

ההנחיות הגרמניות (RILSA, 13) מציגות את הסיבות להגבלת השינויים האפשריים בתוכנית הזמנים כתוצאה ממתן העדפה לכלי רכב ציבוריים:

- א. לא ניתן לשנות את זמן המחזור באופן משמעותי.
- ב. יש להתחשב בתאום כיווני הנסיעה הראשיים בין צמתים.
- ג. תוספת זמן ירוק לתחבורה הציבורית עלול לגרום להפחתה בזמן הירוק למשתמשי דרך אחרים (מופעי רכב בכיוונים מנוגדים, הולכי רגל ורוכבי אופניים).

7.2 רמות העדפה

אחת הדרכים להגדרת רמות העדפה היא באמצעות קביעת שיטות ההעדפה המופעלות בכל אחת מהרמות. למרות שכפי שצויין בהקדמה לפרק, כמעט ולא נמצאו הנחיות מסודרות בנושא נמצאו מספר דוגמאות:

ההנחיות האמריקאיות (MUTCD, 8) מבדילות בין שתי רמות העדפה: 'קדימות' (Preemption) הניתנת בד"כ לרכבות כבדות, אוניות (!), רכבי חירום ורכבת קלה, ולעומתה 'העדפה' (Priority) הניתנת בד"כ לכלי רכב ציבורי כגון אוטובוסים ורכבת קלה (הרכבת הקלה מופיעה בשתי הקטיגוריות).

ההנחיות האמריקאיות (8) מציינות מספר דוגמאות ל'קדימות':

- א. הפעלת "ירוק" לרכבי חירום.
- ב. הפעלת שלבים מיוחדים על מנת לאפשר פינוי מסילות לפני הגעת רכבת.
- ג. הפעלת שלבים מיוחדים על מנת לאסור פניות לכיוון מסילות בזמן התקרבות רכבת או כלי רכב ציבורי.

דוגמאות המופיעות בהנחיות אלה ל'העדפה' כוללות:

- א. הקדמת ירוק והארכת ירוק.
- ב. דילוג על מופע.

דוגמא נוספת ניתן למצוא בשטוטגרט, גרמניה בה הוגדרו שלוש רמות העדפה (53):

א. העדפה מוגבלת – הארכת ירוק בלבד.

ב. העדפה מלאה – הארכת ירוק והקדמת ירוק במגבלות זמן אדום לשאר הכיוונים.

ג. העדפה מוחלטת – העדפה ללא מגבלות.

עקרונות התכנון שפורסמו על ידי משרד התחבורה (28) מציינים שני מקרים בהם יש לתת עדיפות גבוהה לרכבת הקלה:

א. עצירה הכרוכה בפגיעה בבטיחות (רמזור בקצה ירידה בו תיגרם אי נוחות בבלימה, או לחילופין, נסיעה במהירות נמוכה שתפגע במהירות המסחרית של הרכבת).

ב. עצירה הכרוכה ברמת שרות (עצירה בעליה בה זינוק מחדש כרוך באובדן זמן יקר).

7.3 תנאים להפעלת שיטות העדפה שונות

קווים מנחים להפעלת שיטות ההעדפה לרכבת קלה, לפי סוגי הצמתים ועומס התנועה מובאות בעקרונות התכנון שפורסמו על ידי משרד התחבורה (28):

טבלה מס' ד' - 1: אפשרויות העדפה לפי סוגי צמתים ועומס התנועה (28)

צמתים מרוחקים		צמתים קרובים לא עמוסים		צמתים קרובים עמוסים		סוג ההעדפה
הרכבת בכיוון המשני	הרכבת בכיוון הראשי	הרכבת בכיוון המשני	הרכבת בכיוון הראשי	הרכבת בכיוון המשני	הרכבת בכיוון הראשי	
כן	כן	לא	כן	לא	לא	הפעלת שלב מיוחד
כן	כן	כן	כן	כן (ע"ח כיוון משני אחר)	כן	הקדמת ירוק
כן	כן	כן	כן	כן (ע"ח כיוון משני אחר)	כן	הארכת ירוק
כן	לא	כן	לא	כן	לא	חילוף שלבים
---	לא	---	כן	---	כן	חיבור גל ירוק

בעקרונות התכנון (28) מצוין כי אלה קווים מנחים בלבד וכי ישקלו צורות שונות של העדפה באותו הצומת לפי שעות היום בהתאם לנפחי התנועה ותדירות הרכבות.

7.4 מגבלות בהפעלת שיטות ההעדפה השונות

על מנת להגביל את הפגיעה בכלי רכב שאינם מועדפים נקבעים לעיתים מגבלות בהפעלת השיטות השונות.

ההנחיות הגרמניות (RILSA, 13) קובעות כי דילוג על מופע עלול לגרום לזמני המתנה גבוהים ובלתי צפויים לכלי רכב ולהולכי רגל ולכן, ניתן להיזיז מופע נדרש בתחום המחזור אך אין לדלג עליו (אם אפשר). הניסוח המדוייק:

"...requested phases which are conflicting with public transport should only be shifted within the signal program but should still be served in each cycle, (if possible)" (RILSA (13) 6.2.3).

ההנחיות הגרמניות מאפשרות החלפת סדר השלבים ומציינות אמצעי זה כאחד השימושיים בהעדפה לתחבורה ציבורית (RILSA, 13, פרק 4.4.4).

בדו"ח ITS America (31) מוצגת מדיניות אפשרית בה מספר הפעמים במחזור בהן ניתן להיענות לדרישה להעדפה מוגבלת (לדוגמא אם המדיניות היא פעם אחת למחזור הרי שדרישה שניה להעדפה לא תיענה). הגבלה דומה מצויינת במסקנות דוח פרויקט UTMC-01 (אוניברסיטת Leeds) שסקר מספר רב של מערכות העדפה במקומות שונים בעולם.

ההנחיות האמריקאיות (MUTCD, 8) קובעות מגבלות במתן העדפה בהתאם לרמת ההעדפה (ראה סעיף לעיל):

- א. במעבר אל 'העדפה מוחלטת':
- אין לקצר את זמני מעבר.
 - ניתן לדלג או לקצר מופע הולך רגל.
 - ניתן לחזור ל"ירוק" במופע שנמצא ב"צהוב" (לאחר ירוק קודם).
- ב. בזמן העדפה מוחלטת וביציאה ממצב זה:
- אין לקצר את זמני המעבר.
 - אין לעבור מ"צהוב" קבוע ל"ירוק" קבוע.
- ג. במקרה של העדפה (Priority):
- אין לקצר את זמני המעבר.
 - אין לקצר מופע הולך רגל מעבר למינימום (7 שניות, ובמקרים מסויימים ניתן לקצר עד 4 שניות בתלות בנפחי ומאפייני הולכי הרגל).
 - אין לדלג על מופע הולך רגל אלא אם מדלגים על שלב הרכב הקשור עימו, או שזהו שלב ייחודי (הולך רגל בלבד).
 - אין לעבור מ"צהוב" קבוע ל"ירוק" קבוע.

בעקרונות התכנון שפורסמו על ידי משרד התחבורה (28) נכתב: "רמת העדיפות תהיה מוגבלת לתנאי השטח. למשל, על מנת למנוע סתימת צמתים סמוכים, יותקנו גלאי תור, שעם הפעלתם, ינתקו את ההעדפה עד להחזרת התור לאורך שלא יחשב קריטי".

7.4.1 זמן ירוק מינימלי

חלק משיטות ההעדפה כרוכות בקיצור הזמן הירוק במופעים שאינם מועדפים. הזמן הירוק המינימלי הנקבע בהנחיות הגרמניות (RILSA, 13, פרק 2.6) הוא כדלקמן:

- מופע רכב – 10 שניות
- מופע רכב ראשי – 15 שניות (מומלץ)
- בנפחים נמוכים או מופע מופעל תנועה הכולל אפשרות להארכה – 5 שניות
- טראם ואוטובוסים – 5 שניות
- אופניים – 5 שניות
- הולכי רגל – 5 שניות וכן יש להבטיח שהירוק יספיק לחציית לפחות מחצית המעבר.

בדו"ח ITS America (31) מוצגת האפשרות להגבלה (באחוזים) של ההפחתה בזמן הירוק לכיווני הנסיעה השונים (כלומר קביעת ירוק מינימלי בתלות בזמן הירוק שהכיוון אמור לקבל ללא העדפה). במדריך שפורסם על ידי רשות התחבורה של לונדון (**Transport for London, 72**) והעוסק בהעדפה לאוטובוסים נאמר שעל מנת לאפשר קיצור העיכוב לאוטובוסים ע"י הקדמת הירוק, חשוב לקבוע זמן ירוק מינימלי בכיוונים הנוגדים את האוטובוסים של 7 שניות ובתנאי "שבטוח לעשות כך".

7.4.2 זמן אדום מקסימלי

אחת התוצאות האפשריות של מתן העדפה לתחבורה ציבורית היא הארכת הזמן ה"אדום" (ובכך הארכת זמן ההמתנה) במופעי כלי רכב והולכי רגל שאינם מועדפים. קביעת סף עליון לזמן המתנה הוא אחת הדרכים להגביל את הפגיעה במופעים אלה.

ההנחיות הגרמניות (RILSA, 13, פרק 2.6) מציגות את השיקולים בקביעת זמן אדום מקסימלי:

- קבלה (נכונות להמתין) על ידי הולכי רגל ורוכבי אופניים.
- אורך אחסון לכלי רכב.
- שטחי המתנה להולכי רגל ורוכבי אופניים.
- סה"כ זמן נסיעה לתחבורה הציבורית בקטע.

ההנחיות ממליצות (ניתן כדוגמא) כי זמן ההמתנה לרכב לא יעלה על **120** שניות וזמן ההמתנה להולכי רגל לא יעלה על **60** שניות. בפרק הדין בשיקולים מיוחדים להולכי רגל מוצע כי במידה וזמן ההמתנה להולכי רגל עולה על 60 שניות צריך לבדוק אפשרות לפתיחת ירוק פעמיים במחזור. בתאור מערכת התחבורה הציבורית **בשטרסבורג (40)** מצויין שככלל משך ה"אדום" במופע לא יעלה על 120 שניות אלא אם הדבר נחוץ לצורך מעבר/פינוי של רכב חירום. **בדו"ח ITS America (31)** מצוין הצורך בקביעת זמן המתנה מקסימלי להולכי רגל (לא מופיעים ערכים).

7.5 תוכניות גיבוי (תקלה בגילוי כלי רכב ציבורי)

השימוש בגלאים מסוגים שונים לאיתור מיקום כלי הרכב הציבורי בשלבים שונים של מעבר הצומת ומתן העדפה בהתאם, מחייב הערכות למצב של תקלה בגילוי או מצבים מיוחדים אחרים בהם המידע אינו תואם מהלך התקדמות רגיל של כלי הרכב הציבורי. הדבר בולט במיוחד במקרה בו מופע התחבורה הציבורית ניתן רק ולפי דרישה להעדפה.

הטיפול בנושא תקלות ומצבים מיוחדים חשוב במיוחד במערכות עם העדפה מאחר ומדובר בביצוע שינויים בתוכנית הזמנים לטובת כלי הרכב הציבורי ועל חשבון שאר כלי הרכב בצומת.

בהצעת **ההנחיות של אירלנד (74)** נקבע כי דרוש אמצעי אלטרנטיבי לקבלת דרישה של הטראם במקרה תקלה בגלאים (הנחיות אל המדברות על שלושה גלאים: איתור מוקדם, גלאי בקו עצירה וגלאי ביטול לאחר הצומת) כגון משדר (ready to start transponder) שיכול לשמש במקום הגלאי בקו העצירה או כאלטרנטיבות נוספות:

- במידה וניתן, ליצור 'דרישה ברמה סבירה' באמצעות גלאים אחרים שהנם תקינים.
- כאשר מזהים כי מתקבלת מגלאי קו העצירה דרישה קבועה (לפי ההנחיות כך יהיה במקרה תקלה בגלאי זה) יש להתייחס לדרישה כאל דרישה 'ללא העדפה'. במידה ולא ניתן לבצע זאת, יוקצה זמן מקסימלי למופע הטראם ולאחר מכן יופיע המופע באופן קבוע בזמן קבוע בכל מחזור, במקביל למופעים אחרים או כמופע נפרד.
- הפעלת דרישה במנגנון באמצעות מפתח (key operated override switch at the local traffic controller) למקרה של תקלה בכל אמצעי הגילוי במעלה הזרם.
- הפעלת דרישה ממערכת הבקרה המרכזית למקרה של תקלה בכל אמצעי הגילוי.

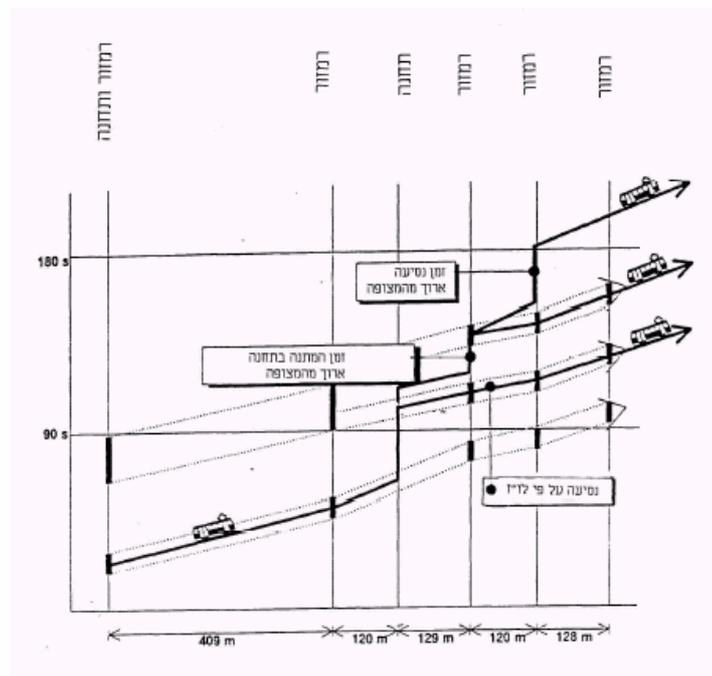
8. תכנון ושילוב גלים ירוקים ותחבורה ציבורית (גל ירוק)

זמני הנסיעה של כלי רכב ציבוריים שונים מאלה של כלי רכב פרטיים. הבדלים אלה נובעים מסיבות שונות כגון: העצירה וההמתנה של כלי הרכב הציבוריים בתחנות, קצב האצה והאטה מוגבלים (טכנית), וכן מתוך התחשבות בנוסעים עומדים). הבדל זה, בין כלי הרכב הציבוריים לפרטיים מקשה על תכנון גלים ירוקים והתאום בין צמתים.

לפי ההנחיות הגרמניות (RILSA, 13), תכנון הגל הוא בדרך כלל פשרה בניסיון להתחשב בזמני הנסיעה הן של כלי הרכב הפרטיים והן של כלי הרכב הציבוריים. תכנון גל קצוב זמן יכול להתחשב רק בזמני נסיעה שאינם משתנים ובלתי נמנע שהפרעות שונות ושינויים בעומס הנוסעים בתחנות יגרמו לשינוי בזמן הנסיעה של כלי הרכב הציבוריים ולכן לעיכוב בצמתים. לכן, הנחיות אלה ממליצות על גלים ירוקים עם תוכניות קצובות זמן (Fixed Time) רק במקרים בהם ניתן להקצות משכי ירוק ארוכים לתחבורה הציבורית.

בעקרונות התכנון שפורסמו על ידי **משרד התחבורה (28)** מצוין כי "קיימת אפשרות של מתן "עדיפות פאסיבית"...בצורה זו, מתוכנן גל ירוק גם לרכבת וגם לתנועה הכללית, כפי שנהוג בתכנון מת"צים. מדובר בתכנון מסובך (ארבעה גלים ירוקים – שניים לתנועה הכללית ושניים לרכבת הקלה. התוצאות לא תמיד טובות. התכנון מבוסס על מידע "היסטורי", וכל סטייה מגדילה את זמני העיכוב, למשל בתחנות, מוציאה את הרכבת מהגל ומגדילה שוב את זמני העיכוב.... ניתן לומר שצורה זאת של תכנון מתאימה לקטעים של עד שלושה רמזורים מחוברים. אם ניתן להפעיל גם "גל נושם" עם עדיפויות מקומיות לרכבת...כי אז צורת תפעול זו בהחלט מתקבלת על הדעת".

תרשים מס' ד'- 8: שיבושים בתכנון גל ירוק לרכבת בשל המתנה בתחנות (28)



ההמלצה בעקרונות התכנון של **משרד התחבורה (28)** היא: "**בצמתים קרובים, ישמר בדרך כלל הגל הירוק. הגל יתוכנן להעדפה פאסיבית של הרכבת הקלה, תוך הבאה בחשבון של זמני ההמתנה בתחנות" (צמתים קרובים – הכוונה לצמתים נפרדים קרובים, כ-100 מ'). כמו כן מומלץ: "עבור צמתים מרוחקים המחברים בגל ירוק, יש לשקול שמירת הגל אם הצמתים עמוסים. אם הצמתים לא עמוסים, הגל בדרך כלל ינותק, דבר אשר ירחיב את אופציית ההעדפה."**

הנחיות TCRP (65), הן כי יש לתכנן גל ירוק לאורך BRT עד למרחק של 1 מייל (1.6 ק"מ!) וכי בכבישים בהם קיימים נתיבי אוטובוסים עמוסים ניתן לתכנן את הגל הירוק כך שיתאים לאוטובוסים.

9. שיטות פיצוי והתנאים להפעלתם

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

בעקרונות התכנון שפורסמו על ידי משרד התחבורה (28) נאמר: "בכל מקרה שבו תינתן עדיפות לרכבת, תישקל אפשרות הפעלת "מחזור פיצוי". אופן הפיצוי אינו מפורט.

בדו"ח SMARTNETS (17) מצוין כי במערכות מסוימות, לאחר הפעלת העדפה מתחיל תהליך "התאוששות" (recovery) המגדיר כמה זמן יש להוסיף או להוריד מהשלבים השונים על מנת להחזיר את הצומת לסנכרון. פעולה זו יכולה להמשך על פני מספר מחזורים. לעומת שיטת ה"התאוששות", מציין הדוח את שיטת ה"מעבר" (transition) השייכת בדרך כלל למערכות הכוללות חיזוי ובהן מתבצע שינוי בזמנית בתזמון במספר צמתים, על מנת להבטיח ככל האפשר גל ירוק.

במסקנות הדו"ח של פרויקט UTMC-01 (**אוברסיטת Leeds**) (69) בו נסקרו למעלה מ-20 מערכות להעדפה במקומות שונים בעולם מצויין כי בחלק גדול מהמקרים ניתנת ההעדפה על ידי המנגנונים בשטח מבלי שנעשה כל ניסיון לפצות כלי רכב בכיוונים המנוגדים על תוספת העיכוב. הדוח מציין כי במערכות חדשות יותר (הדוח פורסם ב-1998) נעשה ניסיון למתן פיצוי, בד"כ על ידי תוספת זמן ירוק במחזור העוקב.

מעבר להזכרת האפשרות והצורך במתן פיצוי לא נמצאו בספרות שנסקרה תנאים או כללים מפורטים לאופן מתן הפיצוי.

10. סקירת שיטות העדפה המיושמות במדינות שונות ובמערכות

בקרה מרכזיות

10.1 ארה"ב וקנדה

דוח ITS America (31) מציג טבלה של יישומי העדפה לתחבורה ציבורית במקומות שונים בארה"ב ובקנדה הכוללת את השיטות המיושמות בכל אתר, ניתן לראות כי שיטות ההעדפה הנפוצות ביותר הן הקדמת ירוק והארכת ירוק. הסיבה העיקרית לכך היא כנראה שמדובר בעיקר בהעדפה לאוטובוסים ולא לרכבת קלה ולכן רמת ההעדפה נמוכה יותר.

טבלה מס' ד'-2 – שיטות העדפה בארה"ב וקנדה (31)

מיקום	סוג תחבורה	מס' צמתים	שיטת העדפה
Portland OR Tualatin Valley Hwy	אוטובוסים	13	הקדמת ירוק, הארכת ירוק
Seattle, WA Rainier Av.	אוטובוסים	20	הקדמת ירוק, הארכת ירוק
Toronto, Ontario	אוטובוסים Street car	350	הקדמת ירוק, הארכת ירוק
Chicago, IL Cemak Rd	אוטובוסים	15	הקדמת ירוק, הארכת ירוק
San Francisco, CL	רכבת קלה ו- Trolleys	16	הקדמת ירוק, הארכת ירוק
Los Angeles, CA Wilshire & Ventura Blvds.	אוטובוסים	211	הקדמת ירוק, הארכת ירוק, מופע מיוחד
Pierce County, WA Pacific Av. & 19 th St. Corridors	אוטובוסים	42	תאום גל ירוק, הקדמת ירוק, Low Priority הארכת ירוק, Preempt

10.2 אירופה / אוסטרליה

במסגרת פרויקט Precsilla שנערך באירופה בין השנים 2000-2002, נערך סקר מקיף (53) של העדפה לתחבורה ציבורית בערים שונות באירופה ובשאר העולם. במסגרת הסקר מוצגות (בחלק מהערים) שיטות ההעדפה המיושמות בפועל.

10.2.1 לונדון (53)

בלונדון כ-4000 רמזורים מתוכם כ-2000 מחוברים למערכת בקרה מרכזית ומתוכם כ-50% מופעלים במתכונת 'קצוב זמן' (Fixed Time, תוכניות TRANSYT) והשאר על ידי מערכת SCOOT. שיטות ההעדפה כוללות **הקדמת ירוק והארכת ירוק** (ראה מערכת SCOOT בהמשך) התלוי ב-'זמן הירוק הפנוי' בצומת הניתן להקצאה לאוטובוסים. משך הזמן הירוק הפנוי תלוי בהפרש בין דרגת הרוויה בפועל במופעים נוגדי תחבורה ציבורית (המחושבת על ידי SCOOT בזמן אמת) לבין דרגת הרוויה הרצויה למופעים אלה הנקבעת על ידי המפעיל. ככל שדרגת הרוויה למופעים נוגדי תחבורה ציבורית תיקבע כגבוהה יותר כך רמת ההעדפה תהיה גבוהה יותר אך מופעים אלה יפגעו יותר. ההעדפה בצמתי SCOOT מופעלת ב-200 צמתים (נכון לתחילת 2002) כאשר נעשים ניסיונות להפעלת שיטות דומות בצמתים 'קצובי זמן'.

בנוסף להעדפה בצמתים המחברים למערכת בקרה מרכזית מופעלת העדפה בצמתים בודדים. גם כאן מדובר **בהקדמת ירוק והארכת ירוק** עם מנגנון פיצוי למופעים נוגדי תחבורה ציבורית (תוספת זמן ירוק למופע שקוצר או מניעת מנגנון ההעדפה במחזור שלאחר המחזור בו הופעל).

10.2.2 שטוטגרט, גרמניה (53)

לשטוטגרט יש מערכת רכבות קלות רחבת היקף (71 קווים, 540 ק"מ). שיטות ההעדפה המופעלות בצמתים נחלקות לשלוש רמות:

א. העדפה מוגבלת – הארכת ירוק בלבד.

ב. העדפה מלאה – הארכת ירוק והקדמת ירוק במגבלות זמן אדום לשאר הכיוונים.

ג. העדפה מוחלטת – העדפה ללא מגבלות.

10.2.3 מלבורן, אוסטרליה (53)

למלבורן מערכת תחבורה ציבורית מפותחת הכוללת אוטובוסים רכבות וטראם. מערכת הטראם הכוללת כ-250 ק"מ באיזור המטרופולין, נמצאת בגידול ונעשה מאמץ גדול בתחום ההעדפה לאמצעי תחבורה זה.

פרויקט SCRAM (Signal Co-ordination of Regional Areas in Melbourne) הינו פרויקט מרכזי לתאום הרמזורים במלבורן. עד ספטמבר 1989 חוברו 1350 צמתים (מתוך 2300) למערכת זו. SCRAM מתבסס על מערכת הבקרה SCATS וכולל שיפורים לצורך מתן העדפה לתחבורה ציבורית.

שיטות להעדפה פאסיבית אשר יושמו במלבורן:

- א. זמני מחזור קצרים.
- ב. יותר משלב אחד לטראם בכל מחזור.
- ג. זמן ירוק מוגדל לשלב הטראם.
- ד. הוספת שלב מיוחד לטראם.
- ה. התאמת גל ירוק להתקדמות הטראם.

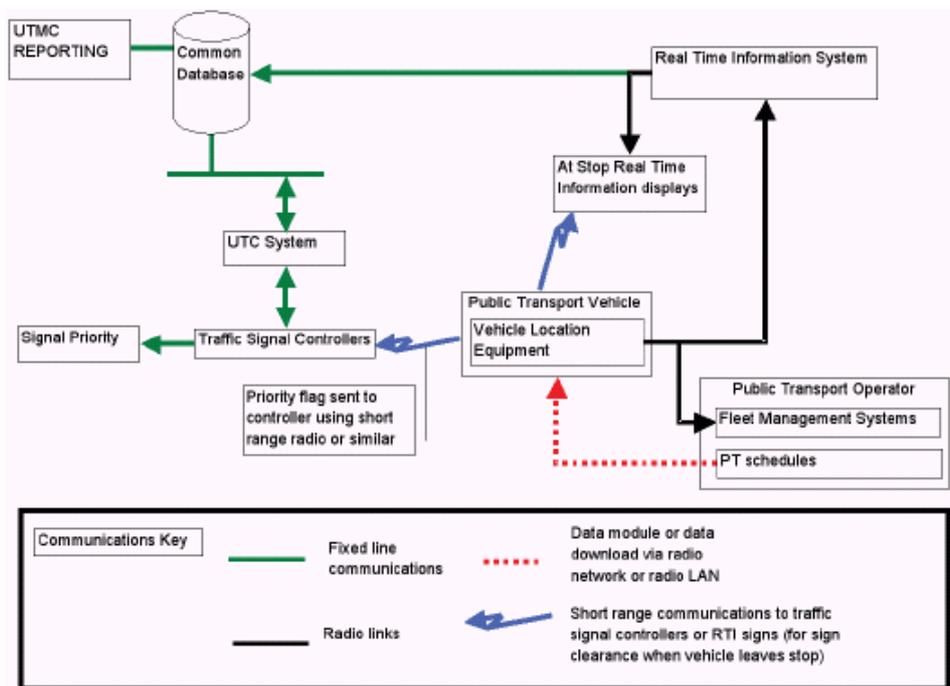
שיטות להעדפה אקטיבית אשר יושמו במלבורן:

- א. הארכת שלב הטראם (הארכת ירוק).
- ב. הקדמת שלב הטראם (הקדמת ירוק).
- ג. שלב מיוחד לטראם – בעיקר בצמתים מסובכים עם מספר גדול של מופעים.
- ד. במקרים מיוחדים - דילוג על שלב ללא טראם.

10.3 יישום העדפה במערכות בקרה מרכזיות

הרמזורים ברוב הערים הגדולות מחוברים למרכז בקרת רמזורים השולט, ברמה זו או אחרת על תפעולם. חלק ממערכות הבקרה המרכזיות מאפשרות ישום העדפה לתחבורה ציבורית בצמתים.

תרשים ד'-9: מרכיבים עיקריים במערכת בקרה מרכזית עם העדפה (36)



KEY COMPONENTS OF A TYPICAL PUBLIC TRANSPORT PRIORITY SCHEME PREPARED BY FABERMAUNSELL

דו"ח של **משרד התחבורה האמריקאי (18)** העוסק במערכות בקרה אדפטיביות מציין את **מרכיבי המידע** שרצוי לקחת בחשבון במערכת בקרה 'אידיאלית':

- א. נפחי תנועה בכל הגישות לצמתים.
 - ב. אורכי תור וגלישות העלולות לגרום לחסימת נתיבים ו/או צמתים.
 - ג. תחזית זמן הופעת כלי רכב ציבוריים בצמתים המרומזרים.
 - ד. תחזית לתפוסת הנוסעים הצפויה בכלי רכב ציבוריים ואחרים.
 - ה. חריגה מלוחות זמנים (בכמה מאחר או מקדים כלי הרכב).
 - ו. חריגות במרווח (headway) בין כלי הרכב הציבוריים.
 - ז. ביקושים צפויים וזמני המתנה במורד הזרם מתחנה.
 - ח. זמני הגעה צפויים של כלי רכב ציבוריים בתחנות מעבר שבמורד הזרם.
 - ט. זמני העיכוב הצפויים לנוסעים בתחבורה ציבורית, בכלי רכב פרטיים ולהולכי רגל בתלות בהחלטות הקשורות לבקרת הרמזורים.
 - י. עלויות התפעול לרכב בתלות בהחלטות הקשורות לבקרת הרמזורים.
 - יא. צריכת אנרגיה צפויה והשפעות על איכות הסביבה (האוויר) בתלות בהחלטות הקשורות לבקרת הרמזורים.
 - יב. מדיניות העדפה הנקבעת במטרה לתת תמריץ למעבר לאמצעי תחבורה חליפי כגון עידוד השימוש בתחבורה ציבורית.
- דוח SMARTNETS (17)** כולל סקירה של שיטות העדפה המופעלות במערכות בקרה מרכזיות, להלן עיקרי הדברים:

10.3.1 העדפה פאסיבית (לא מקוונת)

התוכנה היחידה המצוינת בספרות להפעלת העדפה לא מקוונת היא זו המוצעת על ידי **TRANSYT**. במערכת זו תנועת האוטובוסים מוזנת בקטעים (links) נפרדים עבורם מוגדרים משתני משקל (weighting parameters) מיוחדים. לאחר הגדרת המשתנים, מריצים את המודל כבכל הרצה רגילה. בחירת המשקלים תלויה בתדירות האוטובוסים ומאפייני התנועה והרשת.

10.3.2 העדפה אקטיבית

א. מערכות מבוססות כללי החלטה

SCOOT

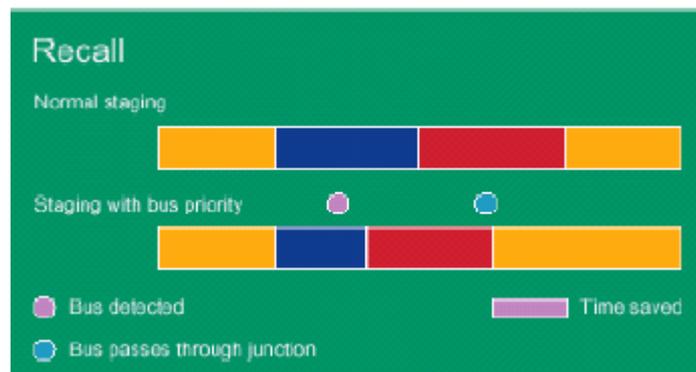
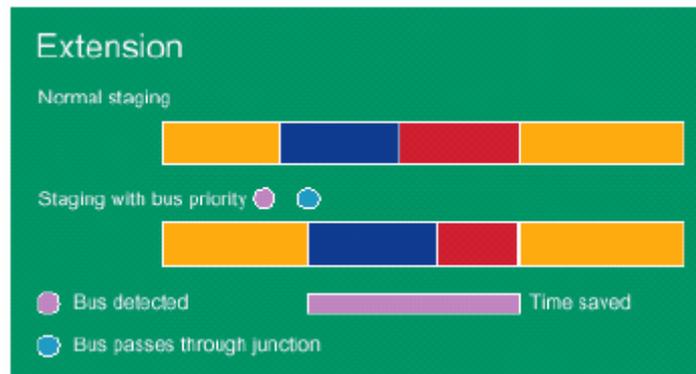
מנגנון ההעדפה במערכת SCOOT מתואר בפרסום של **משרד התחבורה האנגלי (62)** וכולל מספר אמצעים להעדפת אוטובוסים ושאר כלי רכב ציבוריים.

ניתן ליישם העדפה פאסיבית על ידי מתן משקל מתאים (weighting) להיסטים וליזמן הירוק בקטעים ובמסלולים הרצויים. שיטה זו אינה מבחינה בין סוגי כלי הרכב השונים בקטע ולכן רמת ההעדפה שניתן להשיג בשיטה זו נמוכה למדי.

גירסא 3.1 של SCOOT ואילך, כוללות מנגנון להעדפה אקטיבית בה ניתנת העדפה ברמת האוטובוס הבודד (נדרש מנגנון גילוי מתאים). כמובן שנדרש מנגנון לזיהוי מיקום האוטובוס (או כלי רכב ציבורי אחר) והתוכנה מאפשרת גילוי באמצעות גלאים סלקטיביים (לולאות מתאימות או משדר על האוטובוס) או באמצעות מערכת מיקום (AVL). המיקום הרצוי "גילוי" האוטובוס הוא פשרה בין השאיפה לגלות את האוטובוס מוקדם ככל האפשר לבין הצורך בחיזוי מדוייק של זמן נסיעה בין נקודת הגילוי לרמזור. כמו כן, נקודת הגילוי צריכה להיות במורד הזרם מתחנות האוטובוסים מכיוון שאין ב-SCOOT מנגנון המתחשב בזמן השהייה בתחנה. מומלץ כי נקודת ה"גילוי" תהיה במרחק של 10 עד 15 שניות נסיעה מקו העצירה.

ההעדפה מיושמת באמצעות הארכת ירוק או הקדמת ירוק לשלב הכולל את האוטובוס (לא ניתן לדלג על שלבים).

תרשים ד' – 10: העדפה אקטיבית במערכת SCOOT (62)



הארכת הירוק ניתנת ליישום ממרכז הבקרה או על ידי המנגנון שבשטח. יש יתרון ביישום ההארכה על ידי מנגנון הרמזור מכיוון שכך נחסכים 3-4 שניות השהייה בתקשורת בין המרכז למנגנון וניתן להאריך

את המופע גם כאשר האוטובוס מופיע בשניות האחרונות של הירוק. הארכה מקומית חשובה בעיקר במקרים של קטעים קצרים או כאשר תחנת האוטובוס ממוקמת קרוב לקו העצירה. השליטה של SCOOT על התהליך מתבטאת בכך שהמערכת המרכזית שולחת בכל שניה אות למנגנון המאפשר את ההארכה המקומית רק כאשר דרגת הרוויה של הצומת מספיק נמוכה. חיזוק נוסף לגישה זו ניתן למצוא במדריך שפורסם על ידי **רשות התחבורה של לונדון (72)**. לאחר מעבר האוטובוס מופעל אלגוריתם התאוששות להחזרת ההיסט של הצומת לערכו המקורי.

משרד התחבורה האנגלי (62) מציין כי אחד היתרונות העיקריים במתן העדפה דרך מערכת SCOOT הוא בכך שניתן להגביל את רמת ההעדפה בתלות בדרגת הרוויה של הצומת. הגבלת ההעדפה נעשית על ידי קביעת דרגת רוויה מקסימלית עבור שלבים ברמזור שאינם מועדפים. במילים אחרות, המפעיל קובע עד איזו דרגת רוויה בכיוונים שאינם מועדפים ניתן לבצע הקדמת ירוק ועד איזו דרגה ניתן לבצע הארכת ירוק בכיוון המועדף.

בדרך כלל דרגת הרוויה המקסימלית נקבעת כך שהצומת לא יהיה מעבר לקיבולת למרות שלעיתים מתירים מידה מסויימת של רווית יתר עבור הארכת ירוק. כלומר, ההעדפה ב-SCOOT תהיה היעילה ביותר כאשר הצומת נמצא בעודף קיבולת **(62)**.

במקרים בהם נדרשת העדפה ברמה גבוהה יותר מהמתואר לעיל, לדוגמא עבור רכבת קלה או רכב חירום, ניתן לבצע זאת ע"י אכיפת תוכנית אחרת מ-SCOOT (overriding SCOOT). יחד עם זאת, משרד התחבורה האנגלי קובע כי במידה ותוכניות כאלה נאכפות לעיתים קרובות הדבר עלול לגרום להפרעות ולהיות בלתי יעיל, בעיקר כשמדובר בדרגות רוויה גבוהות. גירסא 4.2 של SCOOT כוללת לוגיקת התאוששות חדשה המאפשרת התאוששות יעילה ממצב בו השליטה נלקחה מ-SCOOT.

SCATS

דוח SMARTNETS (17) מציין כי SCATS מאפשר את כל שיטות היישום להעדפה אקטיבית (הארכת ירוק, הקדמת ירוק, דילוג, החלפת סדר, הוספת שלב) וכולל מנגנון פיצוי לתנועות שנפגעו. עם זאת, לא מפורט עד כמה המערכת גמישה ועד כמה האפשרויות לעיל הינן חלק אינטגרלי של המערכת.

ב. מערכות מבוססות אופטימיזציה

UTOPIA

דו"ח SMARTNETS (17) מציין כי UTOPIA הינה מערכת הירארכית המאפשרת העדפה על ידי ביצוע אופטימיזציה למשתני הבקרה ביחידות זמן קצרות (אופק מתגלגל של 120 שניות). הטיפול במתן עדיפות לתחבורה ציבורית ב-UTOPIA הוא חלק אינטגרלי מהמערכת. המערכת עוקבת אחר הרכב הציבורי (הנמצא בתחום אופק הזמן של האופטימיזציה) וחווה את מועד הופעתו בצומת.

דו"ח UTMC-1 (69) מציין כי המערכת מאפשרת מתן עדיפות עם הפרעה קטנה יחסית לכלי הרכב הציבוריים בעזרת:

- ◆ התאמה הדרגתית של שלבי הרמזור (שינוי מועד ואורך השלב).
- ◆ התאמה הדרגתית של הסינכרון עם צמתים סמוכים.
- ◆ הפעלת שלבים שאורכם קרוב ככל האפשר לדרוש לכלי רכב פרטיים.

PRODYN (17)

היישום המקורי של PRODYN כלל התייחסות להעדפה באמצעות התחשבות בכלי רכב ציבורי כשווה ערך למספר כלי רכב פרטיים. לאחרונה שונתה המערכת והיא מבדלת את תנועת כלי הרכב הציבוריים. מטרת אסטרטגית הבקרה היא למזער את העיכוב הכולל בצומת כאשר התאום בין הצמתים נשמר על ידי שיתוף תחזיות הופעת כלי הרכב עם צמתים סמוכים.

11. נהלים להפעלת מערכת הרמזורים

תקלות ובקרות

למרות שהתקנות הצרפתיות (39) וההנחיות הגרמניות (ה- RILSA, 13) מתחשבות במידה מסוימת בהשפעותיה של הרכבת הקלה על ניהול הבקרות והתקלות של הרמזורים בצומת, לא נמצאה התייחסות ספציפית לנושא זה.

על פי ההנחיות הצרפתיות התקלות התפעוליות המחייבות נקיטת פעולה אוטומטית של המנגנון הן "ירוק צולב" ו"העדר אות אדום" לתנועת רכב כלשהי (כולל האות "עצור" בפנסים המיועדים לרכבת הקלה) והפתרון הוא מעבר הצומת להבהוב. אצל הגרמנים ההנחיות מפורטות יותר בכל הקשור להגדרת התקלות המחייבות מעבר להבהוב צהוב ולנטרול פעולתו של הרמזור (לא כל המקרים של המופעים צולבים והעדר אור אדום), אך במקרה של תקלה הקשורה למופע הרכבת הקלה הצומת יעבור תמיד להבהוב.

בנוגע לאוטובוסים, בדומה להנחיות לתכנון רמזורים הישראליות (24) התייחסות של הגרמנים והצרפתים היא כאל רכב רגיל.

פרק ה' – כללים מנחים לשילוב גלאים

1. סוגי גלאים

הנחיות לשילוב גלאים ברמזורים (25) הוכנו ע"י משרד התחבורה בשנת 1986 והם מכסים נושאים שונים לקבלת מידע על רכב כגון: גלאי דרישה, גלאי הארכה וכו', וכן לחצנים שמאפשרים להולכי רגל להודיע למנגנון הרמזור שברצונם לחצות את הכביש.

בנוסף הוכנו לפני מספר שנים **הנחיות לשילוב גלאים לרכב דל מתכת (27)**. הנחיות אלה באו לענות על בעיה שבה רכב דל מתכת, הכולל בעיקר אופנועים קטנים, לא התגלה ע"י גלאי הדרישה הרגילים. במקרים שכלי רכב אלה היו בגישה לצומת, ללא רכב אחר וכשהירוק לכיוון זה ניתן רק ע"פ דרישה, הם לא קיבלו ירוק.

בעקרונות לתכנון רכבת עירונית ושילובה בהסדרי התנועה (28) מוגדרים 3 סוגי גלאים לקבלת מידע על רכבת קלה:

D1 – **גלאי דרישה** שממוקם כ- 200-300 מ' מהצומת והוא מעביר הודעה למנגנון על התקרבות הרכבת וכתוצאה מכך מנגנון הרמזור צריך להפעיל את העדיפות לרכבת המתקרבת.

D2 – **גלאי חרום** למקרה של תפקוד לא תקין של הגלאי הנ"ל. במקרה זה הרכבת עוזרת לפני הצומת ומחכה לאור ירוק.

D3 – **גלאי ביטול דרישה** הוא גם הגלאי המסיים את האור הירוק של הרכבת וקובע את "זמן הפינוי" של הרכבת מול התנועה העוקבת במחזור. השימוש בהקטנת זמן הפינוי של הרכב מותנה בכך שההנחיות בנושא זמנים בין-ירוקים יתירו זמן משתנה.

- גלאי הדרישה D1 ממוקם כ- 200-300 מ' מהצומת.

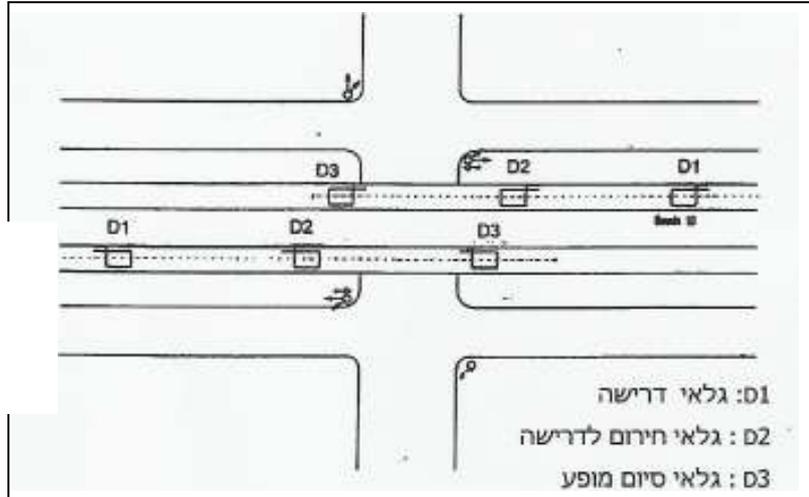
- גלאי החרום D2 ממוקם לפני הצומת ובסמוך לו.

- גלאי הסיום D3 נמצא אחרי הצומת ובסמוך לו.

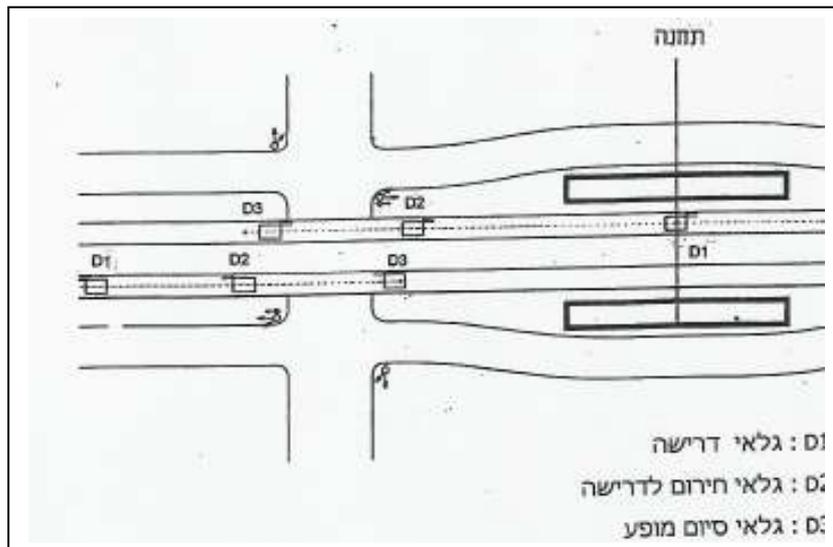
מיקום הגלאים של הרק"ל תלוי גם במיקום התחנה לפני או אחרי הצומת.

בתרשימים להלן מובאים סידור טיפוסי של הגלאים הנ"ל לתחנות לפני הצומת ואחריו.

תרשים ה-1: מיקום גלאים בצומת ללא תחנה בסמוך



תרשים ה-2: מיקום גלאים בצומת עם תחנה הסמוכה לו



2. שילוב הגלאים להעדפת הת"צ

במקורות שונים כמו למשל: **LRT Signal Priority in a Downtown Environment (4)** נאמר שבאזורים שבהם הצמתים קרובים יחסית (דבר שנפוץ במרכזי הערים), ניתן להשתמש בגלאים מסוג אחד בצומת מסוים כגלאים מסוג אחר בצומת הסמוך.

בסעיף 8.12.0 של **RTD Light Rail Design Criteria (10)** מוגדרים מבחינה טכנית – אלקטרונית שני סוגי גלאים לצורך איתור הרכבות הקלות, כאשר לצורך איתור הרכבות לשם בקרת צמתים מומלץ שם להשתמש בסוג השני:

Solid state electronic, coded track circuits suitable for use in overhead propulsion territory.

בהנחיות הגרמניות RILSA (13) נאמר שכדי לתת העדפה לתחבורה ציבורית ברמזורים נדרש גילוי נפרד של כל רכב של תחבורה ציבורית. גילוי זה יכול להיעשות ע"י:

- כבלי מגע,
- גלאי אלקטרומגנטי בנתיבים הבלעדיים לת"צ או במפרכי אוטובוסים,
- מערכת של שליחת וקבלת מידע עם coupling coils או לולאות אנטנה
- כנ"ל עם קרן אינפרא-אדומה והעברת המידע למנגנון בכבל או באותות רדיו
- מידע באותות רדיו

כבלי מגע מתאימים רק לגילוי רכב הנע במסילה והמידע שמתקבל הוא מינימלי ואינו כולל כיוון נסיעה ומספר הקו. גלאי השראה אינם מתאימים בדרך כלל בגלל שהם אינם אמינים בספירת רכב ת"צ יחיד, הם מוסרים מידע לא נכון על גילוי רכב פרטי והמידע שהם מגלים אינו כולל כיוון ומספר קו. יתר המערכות מעבירות מידע בין רכב הת"צ לבין מרכיבים שקולטים אותו בצד הדרך ומעבירים אותו לבקרה.

מספר ומיקום אזורי הגילוי של הגלאים תלוי באסטרטגיית הבקרה שמופעלת באותו אתר והיא מושפעת גם מן הגורמים הבאים:

- בהתקרבות לצומת מרומזר, רכב ת"צ צריך להתגלות מספיק מוקדם, כך שע"פ כל הדרישות מבחינת הנדסת התנועה ניתן יהיה לשנות את תפעול הרמזור מכלי הרכב הציבורי. ככל שההתערבות בתפעול הרמזור תהיה קטנה יותר, ההפרעה למשתמשי הדרך האחרים תהיה קטנה יותר.
- אם אין תחנה לפני הצומת המרומזר אליו אנו מתייחסים, זמן ההגעה של הרכב הציבורי לצומת ניתן לחישוב מראש ובצורה אמינה. גילוי מוקדם במרחק של עד 500 מ' לפני קו העצירה, מאפשר לתכנן במחזור המתאים את קיום המופע הירוק לרכב זה כאשר הוא יגיע לצומת. לעתים יידרשו מספר אזורים של גילוי, בתלות במאפיינים של הקטע בגישה לצומת.
- אם התחנה ממוקמת במעלה הזרם של אזור ההשפעה של הרמזור, יש שתי אפשרויות של גילוי: א. הגילוי או הדרישה לירוק נעשית לפני הכניסה לתחנה. במקרה זה על המנגנון להתחשב בזמן השהות בתחנה. ב. הדרישה לירוק נעשית במשך השהות בתחנה, בסיומה או לאחר גמר ירידת הנוסעים ועלייתם (אות שמתקבל ממגע בעת סגירת הדלתות), במקרה כזה ההמתנה ברמזור, בדרך כלל, בלתי נמנעת.
- שליחת הודעה על סיום מעבר הצומת ע"י הרכב הציבורי (במקור כתוב סיום מעבר קו העצירה) ניתן להשפיע על תפעול הרמזור בצורה מדויקת יותר ע"י צמצום הזמן למינימום ההכרחי. דבר זה מקטין את ההפרעה לשאר המשתמשים בדרך.
- אם הצמתים קרובים מספיק אזור הגילוי יכול לשמש בו זמנית לגילוי מוקדם לקראת הצומת שבהמשך המסלול ולגילוי סיום המעבר בצומת הסמוך לו.
- מותנה במצב בכל אתר, הגילוי צריך לכלול בנוסף לנוכחות הרכב הציבורי את סוג הרכב (אוטובוס או רק"ל), כיוון הנסיעה ומספר הקו, וכך אם התחנה של רכב זה נמצאת לפני או אחרי הצומת.

בספר הגרמני של טלמטיקס בת"צ (TELEMATICS IN PUBLIC TRANSPORT IN GERMANY) (19) ניתן לראות התייחסות לאמצעי גילוי שונים על מנת לאפשר תפעול יעיל של מערכת התחבורה בכלל, ומערכת התחבורה הציבורית בפרט.

ייעוד הגלאים על פי מקור זה (19) והשימוש בהם הוא קבלת מידע אמין והקרוב ביותר לתיאור מלא ומדויק של המתרחש בזמן אמת בצמתים ו/או בקטעי הדרך. תזמון הרמזור כחלק ממערכת התחבורה הכללית, הינו תהליך מורכב הדורש התייחסות ספציפית לנקודות זמן מסוימות.

חלוקת זמני הירוק למופעי התנועה השונים, ומועדי פתיחתם וסיומם של מופעי התנועה צריכים להיות מדויקים ורגישים למיקום כלי הרכב, סוג כלי הרכב ומהירותם. לעיתים יש להצליב מידע המתקבל מגלאים שונים (מערכת גלאים כפולה: בקרבת הצומת ובמעלה הזרם) על מנת לתזמן באופן היעיל ביותר את זרימת התנועה.

פעולת הגלאים מבוססת על שני מרכיבים עיקריים:

- מרכיב הרישום
 - מרכיב ניתוח/הערכת המידע
- מעבר לשני מרכיבים אלה ניתן לפתח את מאגר המידע המתקבל בנתוני מידע נוספים כגון: מהירות, זמני נסיעה, סוג כלי הרכב ועוד – תלוי בדרישה ובסוג הגלאי בו משתמשים.

על פי המדריך הגרמני (19) יש חשיבות רבה לאמינות הגלאי, עבור כל כלי הרכב בכלל ורכבי הת"צ בפרט, במגוון מהירויות גישה. לסוג הגלאי יש חשיבות מכרעת בקבלת המידע הדרוש (לדוגמה הבחנה בין סוגי כלי הרכב: פרטי לעומת אוטובוס או רק"ל). המדריך מציין כי על מנת לנצל את הגלאים באופן היעיל ביותר יש לאפשר תקשורת בין הגלאים למחשב המרכזי גם מעבר לקו הצומת (עד ל- 500 מ'), וכן לדאוג לתקשורת "חלקה" ככל שאפשר בין הגלאים והמחשב המרכזי.

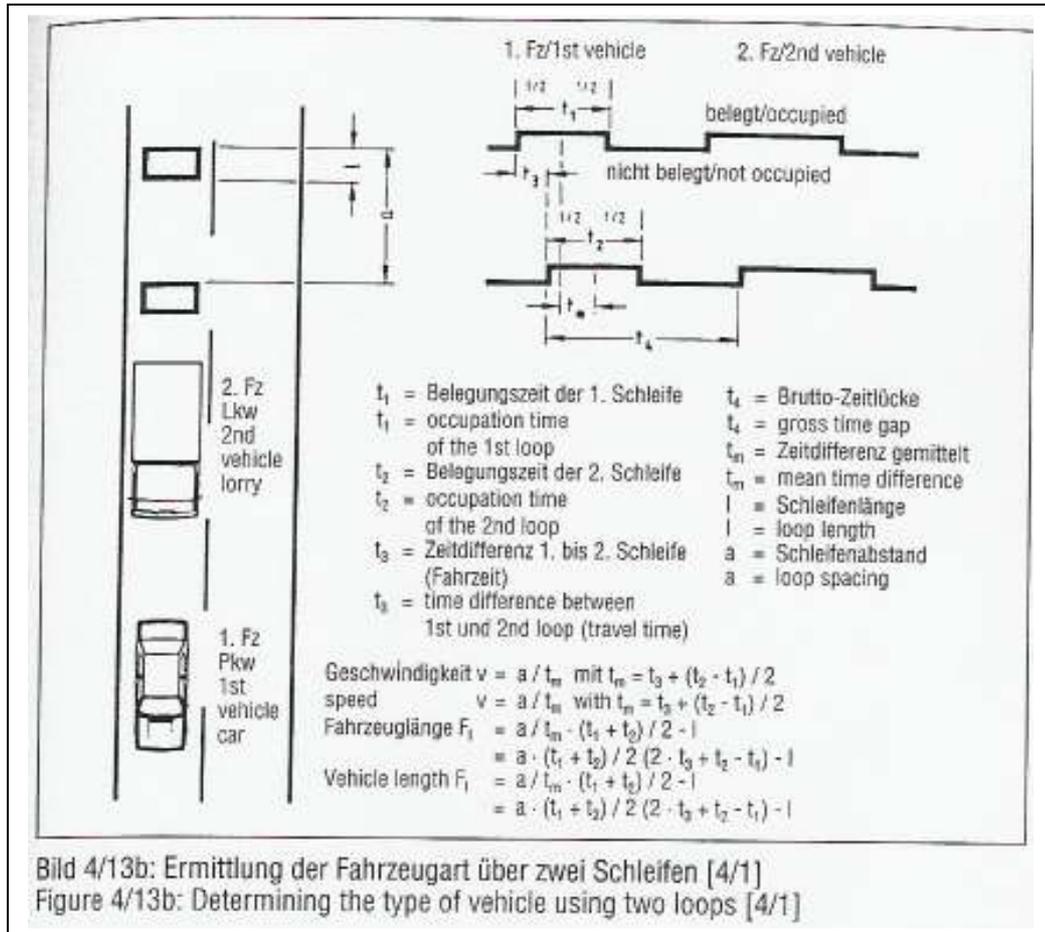
ישנם מספר סוגי גלאים אופייניים:

- גלאי וידאו
- גלאי לולאה (גלאי השראה - Inductive loop) – אותם גלאי השראה המוכרים אצלנו.
- גלאי אינפרא

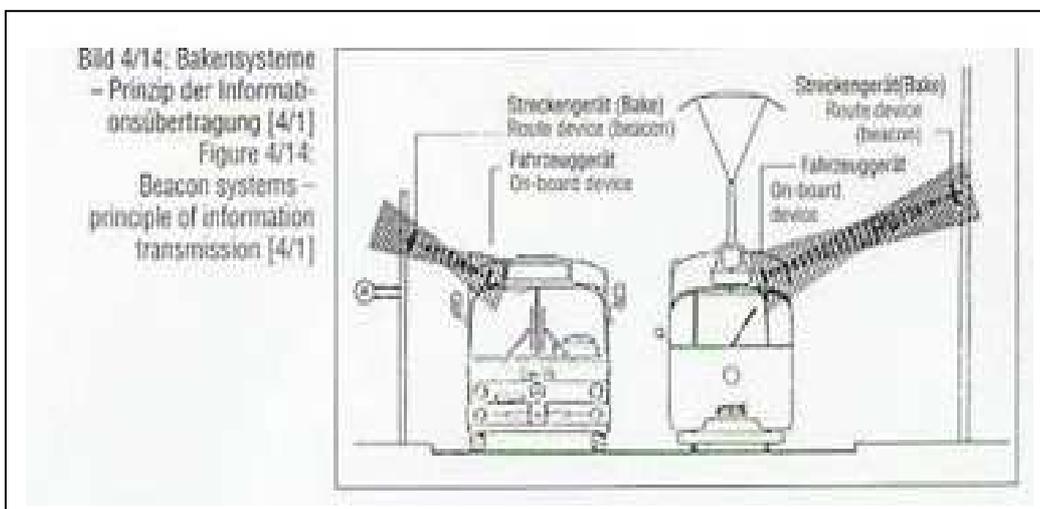
ב TELEMATICS IN PUBLIC TRANSPORT IN GERMANY (19) ישנה הדגשה על אמינות המידע המתקבל מהגלאים. בשימוש גלאים מסוג גלאי השראה בת"צ בכלל ורק"ל בפרט, יש חשיבות מכרעת לסוג הגלאי, מיקום הגלאי ומספר הגלאים בשימוש.

גלאים המפורטים במדריר הגרמני (19)

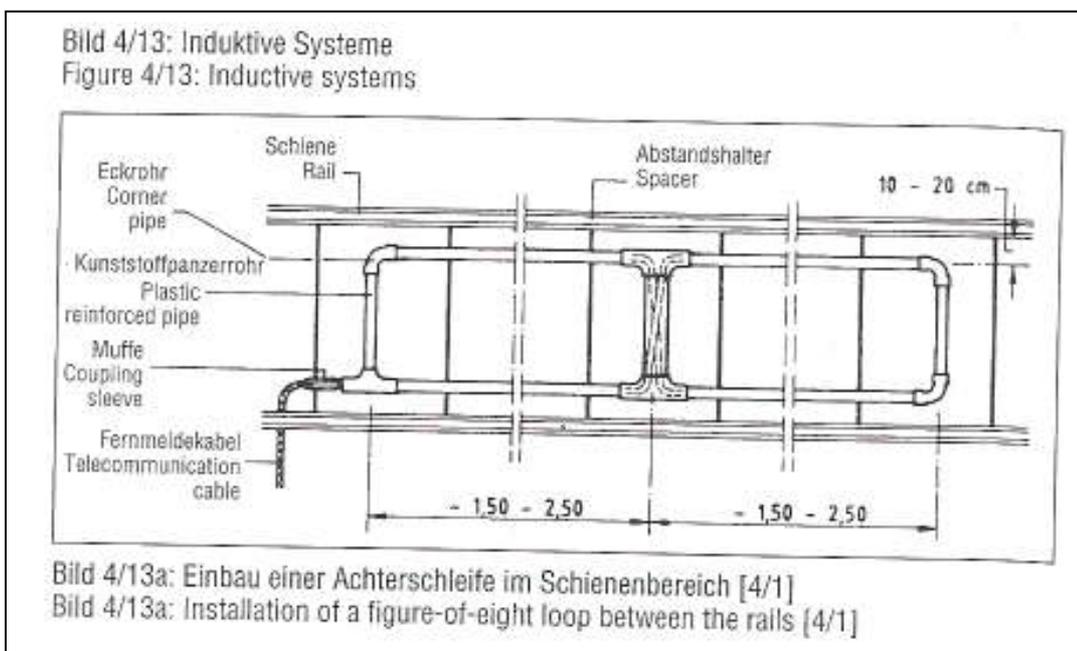
תרשים ה'-3: הגדרת סוג הרכב באמצעות שני גלאים



גלאים המפורטים במדריך הגרמני (19)
תרשים ה'- 4: העברת מידע באמצעות אלומת אור



תרשים ה' 5: סידור גלאי השראה [במדריך הגרמני (19)]



בפרק ב-8 של דו"ח הסיור המקצועי מובא מידע לגבי אופן שילוב הגלאים הנהוג בצרפת.

פרק ו' – סוגי גלאים

פרק ז' - תרשים הזרימה – עקרונות תכנון וצורת הצגה

1. מטרת התרשים

תרשים הזרימה, במסגרת תכנית הפעלת הרמזור, בא לתאר סכמטית את עקרונות תפעול הרמזור בצומת, כפי שקבע מתכנן הרמזור. תרשים זה מציג את הסדר בו יופיעו השלבים השונים (שלב – צרוף מופעי ירוק) ואת ההתניות, במידה שיש, לנושאים שונים כגון: מתן שלב, מועד תחילת ו/או סיום שלב, הארכת שלב וכו'.

ההנחיות להכנת תרשים זרימה כחלק מתכנון הרמזורים, אינן מופיעות בדרך כלל בהנחיות ובספרות אחרת הקיימת בנושא זה בעולם. הסיבה נובעת מכך שזו רק דרך מוסכמת לפרוט כל האופציות שהרמזור יכול לפעול על-פי תנאי התנועה בשטח ובתוך גבולות זמן מוגדרים.

בהנחיות לתכנון רמזורים (24) תרשים הזרימה מוזכר כמקום שבו ניתן להציג את "סדר המופעים עם אפשרות של פסיחה על מופע שלא נדרש ע"י התנועה". כמו כן מופיע שם בדף ה/49 מסגרת לשרטוט תרשים הזרימה ומקרא למספר סימנים מוסכמים.

2. סוגי תרשימים

בשיחות שקיימנו עם מתכננים שעוסקים בנושא זה במדינות שונות באירופה, שמענו את הדברים הבאים: **מתכננים מחברת PTV בגרמניה** אמרו שתרשים הזרימה נעשה ברמה המפורטת ביותר כפי שנדרש לצורך ההתקנה במנגנון הרמזור. תכנות זה נעשה ע"י מתכנן הרמזור ומכיל תוכניות משנה (סב-רוטינות) במספר רב כדי לענות על כל המקרים האפשריים בתפעול הרמזור. לחילופין הדבר נעשה ע"י מתכנת המנגנון של החברה המתקינה את הרמזורים והמתכנן רק נותן הנחיות כלליות ובודק לאחר מכן אם המנגנון עונה לדרישות אלה.

מתכננים מחברת DHV בהולנד אמרו שהתכנון שמבוצע על-ידם לצמתים מרומזרים, נעשה ברמה של מופעים ולא ברמה של תמונות (צרוף של מספר מופעים). בכל נקודת בדיקה הם שואלים את השאלות לגבי המופעים עצמם ונותנים ירוק למופעים על פי הכללים שנקבעו מראש והתנאים בשטח, ללא התחשבות בצרופים שיוצרים תמונות שהוגדרו מראש. לא נמצא תיעוד להליכים אלה.

3. סימנים מוסכמים

במקורות הכתובים שבידנו לא נמצאה התייחסות לנושא זה, אך מתוכניות שהראו לנו מתכננים שונים נראה שהשימוש הוא כמקובל בכל תרשימי הזרימה.

הסימונים המקובלים הינם כדלקמן:

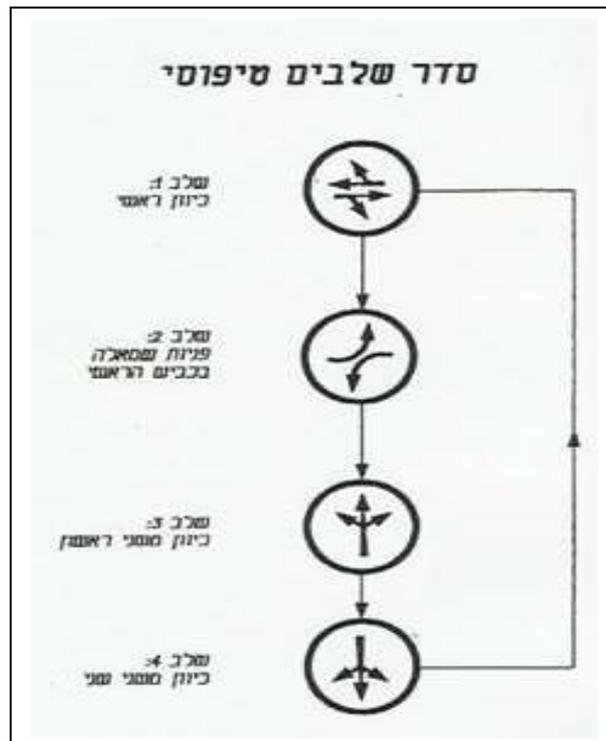
- מלבן - לסימון פעולה או מידע.
- מעוין - לסימון שאלה. מהמעוין יוצאים 2 ענפים בהתאם לתשובה לשאלה - חיובית או שלילית. את המעוין ניתן לקטום בקצהו העליון והתחתון (לצורך יעילות גרפית).
- עיגול - לסימון התמונה (צרוף המופעים) שאמור לפעול במצב מסוים. צרוף המופעים להם ניתן ירוק בכל אחת מהתמונות, מוצג בצורה סכמטית בהתאם לכיווני התנועה שלהם בשרטוט הצומת.
- קו שבקצהו חץ - לסימון הקשר הלוגי בין הסימונים הנ"ל.

4. דוגמאות

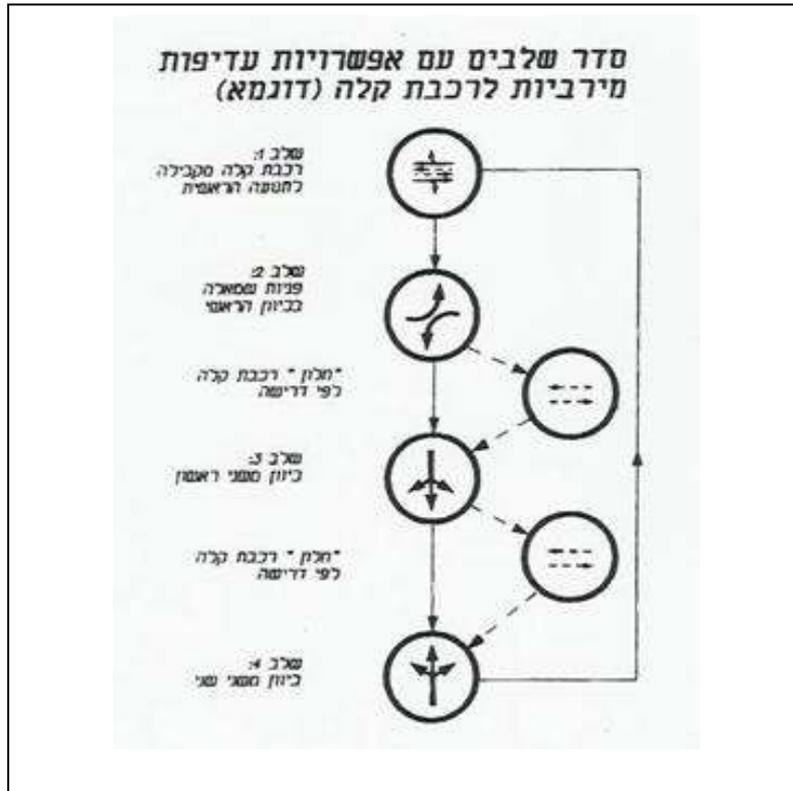
בעקרונות לתכנון רכבת עירונית ושילובה בהסדרי התנועה (28) מוצגים מספר תרשימי זרימה כדי להציג את האפשרות להצגת תפעול הרמזור במצב רגיל ובמצבים שבהם ניתנת העדפה לרק"ל.

ראה תרשימים ז'1- עד ז'3- להלן:

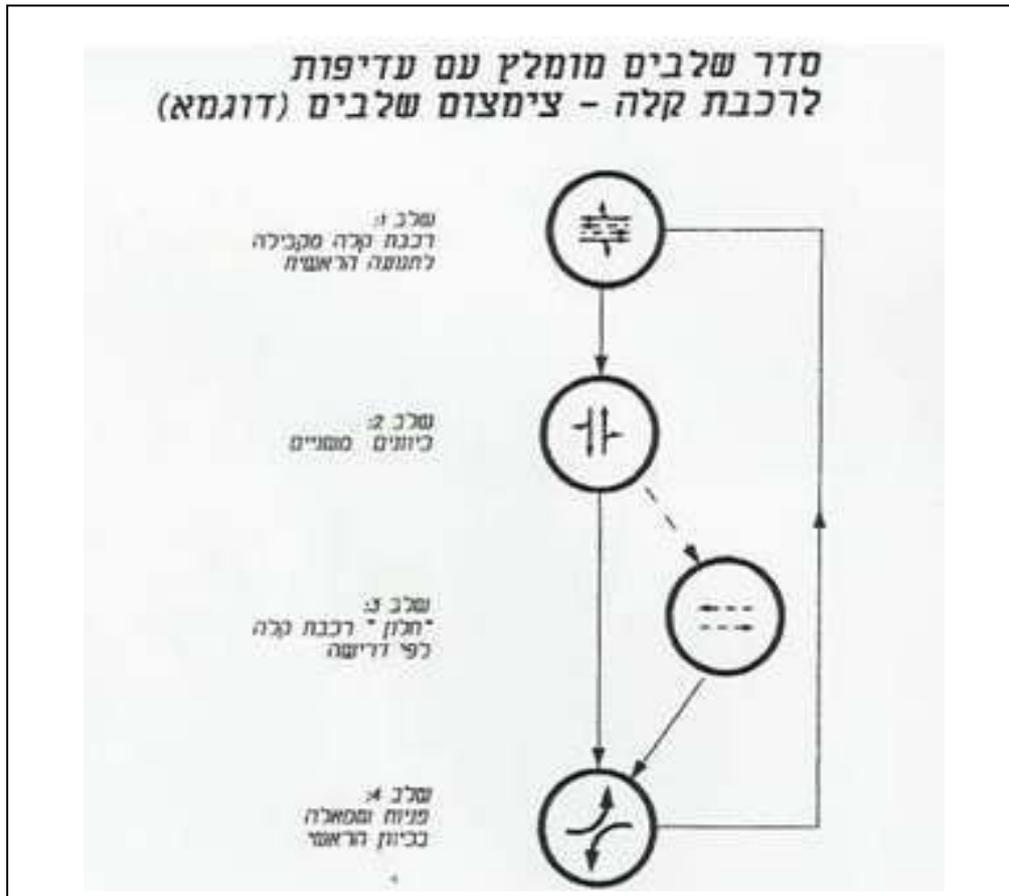
תרשים ו'1- סדר שלבים טיפוסי



תרשים ו'-2- סדר שלבים עם אפשרות עדיפות לרכבת קלה



תרשים ו' 3- סדר שלבים מומלץ עם עדיפות לרכבת קלה (צמצום שלבים)



כללית, כאמור לעיל, תרשים הזרימה מהווה צורה סכמטית להצגת תפעול הרמזור בתלות בגורמים השונים, כאשר הדיון בגורמים עצמם נעשה במקומות אחרים. עוד בנושא זה, כולל דוגמא של תכנית זמנים טיפוסית - ראה בפרק ב - 5.4 של דו"ח הסיוור המקצועי.

חלק ב

סיור מקצועי

כללים מנחים לשילוב מערכות הסעת המונים ברמזורים

חלק ג' - סיור מקצועי

א. סיכומי הסיור המקצועי

1. כללי

הסיור כלל 2 חלקים עיקריים:

1. סדנת לימוד בת שלושה ימים ובה נפגשנו עם נציגיהם של חברות תכנון צרפתיות אשר עוסקות בתכנון המפורט של צמתים ורמזורים בהם משולבים אמצעי הסעה המונים (תצר"ב).
2. במהלך הסיור ביקרנו בשש ערים Rouen, Bordeaux, Lyon, Grenoble, Strasbourg, Orleans המפעילות רכבות קלות (LRT) ובמקרה של Rouen גם מערכת BRT (Bus Rapid Transit).

1.1 הסדנאות

גרמניה וצרפת הן המדינות בעלות הידע והניסיון הרב ביותר בפיתוח של מערכות תצר"ב בדמות של רכבות קלות או אוטובוסים רבי קיבולת. מסקנת שלב העיון והחקירה של הספרות הקיימת במדינות הנ"ל בנושא שילובן של מערכות הסעת המונים ברמזורים הייתה שלא קיים מערך הנחיות המטפלות באופן סדיר ושיטתי במכלול מרכיבי התכנון, אלא הסתמכות על "תורה שבעל פה" ההולכת ומתגבשת בהתאם לניסיון שנצבר ביישום של המערכות הנ"ל. הדבר נובע בעיקר מהיותן של מערכות אלה אמצעי חדש יחסית (ולכן יש מרכיב גדול יחסית של ניסוי וטעייה באופן הטיפול בו ובישומו), אך גם מסיבות מבניות האופייניות ל-2 המדינות הנ"ל.

בגרמניה המבנה הפדרטיבי שלה מותיר בידי השלטון המקומי שיקול דעת נרחב לצורך קביעת ההנחיות המפורטות לתכנון (בכפוף להנחיות הבסיסיות הנקבעות ע"י השלטון המרכזי); בצרפת הגישה התכנונית מותירה בידי המתכנן שיקול דעת נרחב ובתנאי שהפתרונות המוצעים יצייתו ל-Code de la Route, תקנות התעבורה הצרפתיות.

מטרת הסדנאות הייתה ללבן את הנושאים אשר, לדעתנו, חייבים לקבל ביטוי בהנחיות הישראליות בהתאם לרשימת ראשי הפרקים אשר הוצגה בפני ועדת ההיגוי. הסדנאות נערכו בשיטה "תלמודית" של הצגת נושא ודיון עליו באמצעות שאלות ותשובות.

1.2 הסיורים

הסיורים בערים השונות נערכו במהלך, ובעיקר, לאחר הסדנאות ואפשרו לצוות לבחון מקרוב את מגוון הבעיות והפתרונות השונים על רקע החומר שנדון. יוצא מן הכלל היה הסיור ב- Rouen, אשר נערך לפני הסדנא ובהדרכתו של נציג המפעיל המקומי ואיפשר למקד ולמפות את מאפייניהם הייחודיים, הן של הרכבת הקלה (LRT) והן של "האוטובוס רב הקיבולת" (BRT), ביחס לשיטות התכנון המקובלות בארץ וגם כנקודת מוצא חוויתית לקראת הדיון המפורט שנערך במסגרת הסדנאות. כל הערים שנסקרו, למעט Lyon, משמשות כמרכז של מטרופולינים אשר אוכלוסייתם הכוללת נעה בין 400,000 ל- 800,000 תושבים (ב- Lyon כ- 1,200,000 תושבים).

המטרופולין הטיפוסי מורכב ממספר רב של עיריות (22 רשויות ב- Rouen, כ- 20 רשויות ב- Bordeaux) ואם כי משקלה היחסי של העיר ה"דומיננטית" – זו הנותנת את שמה למטרופולין – יכול להיות קטן מבחינת מספר התושבים (עד כ- 25-40% מאוכלוסיית המטרופולין), מרכזה ההיסטורי מהווה עדיין מרכז ראשי (מסחר, תרבות, משרדים) ואזרחי לכל סביבתה ומשמשת מושב של הפקידות הבכירה של המוסדות המייצגים את השלטון המרכזי (משטרה, מנהל המחוז וכו').

2. עקרונות

מטרת העל של התכנון התחבורתי באותן ערים היא לשמר ולחזק את המעמד של המרכז ההיסטורי, התרבותי, המסחרי והניהולי של המטרופולין.
מערכות תצ"מ, הנעות על פני הקרקע, ובמיוחד רכבות קלות, הן האמצעי העיקרי המשמש ליישום המטרה הנ"ל.

הצלחתן של המערכות הנ"ל תלוי בשלושה גורמים עיקריים:

- * תכנון מערכתי אינטגרטיבי
- * ניהול מערכתי יעיל
- * מתן עדיפות מירבית לתצ"מ

2.1 התכנון המערכתי

- התכנון חייב להתייחס לכל המרכיבים של המערך האורבני – תחבורתי של העיר ולספק להם פתרונות:
- שיפור וסלילה של מסלולי נסיעה חלופיים לרכב הפרטי כולל יישום של פתרונות דו-מפלסיים.
- שינויים והתאמה של הסדרי תנועה לאורך פרוזדור השפעה רחב.
- חיזוק מעמדם של הולכי הרגל ורוכבי האופניים במרכזי הערים (איסור כניסה לרכב פרטי לתחום המע"ר, הסדרת אזורי 30 קמ"ש, הקמת חניונים תת-קרקעיים).
- בנוגע לתחבורה ציבורית, תכנון מערכת התצ"מ מתבצע בד בבד עם התכנון של מערך הקווים המזינים, הקשרים ביניהם ובינם ולבין יתר אמצעי התחבורה.
- כתוצאה מכך, עדיף לבצע בשלב הראשון מערכת של מספר קווים קצרים, המשפיעים על אזור שלם (ובמיוחד על המע"ר), מאשר קו אחד ארוך אשר השפעתו היא לאורך פרוזדור אחד בלבד.

2.2 הניהול המערכתי

- בכל הערים שנסקרו המערך התחבורתי הכללי, כולל התחבורה הציבורית על מרכיביה השונים, מנוהל ע"י גורם מרכזי אחד – "הרשות המטרופוליטית" – אשר ראייתו הבסיסית מקצועית, אך במקביל, בהיותו מורכב מנציגיהן של הרשויות המרכיבות את המטרופולין, הוא משתדל לאזן בין האינטרסים המקומיים השונים. הרשות המטרופוליטית וכן המערך התכנוני כולו נתונים לביקורתו של השלטון המרכזי באמצעות הפקידות המחוזית.
- כמו כן, בכל המקרים, התפעול והאחזקה של כל מרכיבי התחבורה הציבורית מרוכז בידי גורם אחד (רכבות קלות ואוטובוסים).
- כתוצאה מכך הדו-שיח "מפעיל-רגולטור" הינו ענייני ומקצועי ("הפוליטיקה גבוהה") ואין בו כמעט מקום למגוון הקונפליקטים הפנימיים ("הפוליטיקה הקטנה").

2.3 מתן עדיפות מירבית

- במהלך הסדנאות והסיוורים, הודגשה שוב ושוב חשיבותה של אמינות המערכת כתנאי ראשוני להצלחתה.
- **אמינות** זאת מתבטאת בראש ובראשונה בקיומם של פערים קבועים בין כלי הרכב לכל אורך הקו.
- הבטחת הפערים הקבועים מושגת כבר בשלב התכנון המוקדם ע"י מתן עדיפות מירבית לאמצעי תצ"מ (בעיקר הרכבת הקלה) בכל מפגש עם אמצעי התחבורה האחרים והולכי הרגל.
- **רמת העדיפות** מותנית בקיבולת של הצמתים דרכם צפויה לעבור הרכבת הקלה ולכן אחת ממטרות התכנון היא להפחית את נפחי התנועה שיהיו בקונפליקט עם תצ"מ.
- **האמצעים העיקריים** להשגת מטרה זאת הם:
 - * הסטת תנועה הנעה לאורך הצירים המיועדים לתצ"מ לעבר צירים חלופיים ושיפורם במידת הצורך.
 - * כנ"ל לגבי תנועה עוברת (בעיקר דרך אזור המע"ר).
 - * הקמת חניונים באזור המע"ר, בעיקר תת-קרקעיים, אשר יאפשרו נגישות סבירה, אם כי יקרה – "המקל" - לאלה שאינם משורתיים ע"י מערך ה תצ"מ.
 - * הקמת מערכת "חנה וסע" זולה – "הגזר" – באזורים מרוחקים יותר.
 - * פתרון של "צווארי בקבוק" ע"י ביטול תנועות, ובמידת הצורך, הפרדות מפלסיות (בהקשר זה יש לציין, שההגדרה של "צוואר בקבוק" מתייחסת לצמתים בהם לא ניתן להשיג עדיפות מלאה לרכבת הקלה).

3. סיכומים נושאים

3.1 הצדקים לרמזור:

- יש לרמזר כל מפגש של רכבת קלה עם רכב, אלא אם נפחי התנועה קטנים במיוחד ופזורים לאורך היום.
- ככלל, אין לרמזר מפגש של רכבת קלה עם הולכי רגל אלא במקרים יוצאי דופן בהם צפויה פעילות רבה.
- אין מרמזרים מעברי חצייה ליד תחנות של הרכבת הקלה, וזאת בהתחשב ברמה הגבוהה של אי ציות הצפויה, ובעובדה שמהירות הנסיעה של הרכ"ל בקרבת התחנה נמוכה במיוחד.

3.2 גאומטריה:

- **קו הראייה** הוא הפרמטר התכנוני העיקרי: הנהג מחויב לנהוג ולהפעיל שיקול דעת כדי להבטיח לרכבת הקלה זכות קדימה כלפי יתר משתמשי הדרך (כולל הולכי רגל).
- אין חשיבות **למימד האורך** של הרכב בתכנון הצומת המרומזר, בעיקר בגלל שעל פי השיטה הצרפתית מימד זה אינו רלוונטי בחישוב הזמנים הבין ירוקים.
- אין תקן אחיד המגדיר את ביצועי המינימום של רכב התכן, והללו משתנים בהתאם ליצרן.
- **פניות שמאלה** (או ימינה) מתוך מסלול המקביל לרכבת הקלה יהיו "מוגנות" (בצרפת מותר לפנות שמאלה כשהתנועה הנגדית מקבלת ירוק, אלא אם קיים פנס יעודי לה).
- הצרפתים אוהבים ושומרים על כיכרותיהם, ובתנאי שתהיינה מספיק גדולות (רדיוס פנימי גדול מ- 12 מ').
- **בכיכרות גדולות:** חציית המסילה על ידי רכב הנע במסלול המעגלי מבוקרת באמצעות סט פנסים מיוחד: אות צהוב מהבהב כשאין רכבת, ומעבר לאות אדום כשהרכבת הקלה נגלית.
- **בכיכרות קטנות:** כשהרכבת הקלה עוברת, כל הגישות מקבלות אדום.
- בצרפת נעשה שימוש ב**סימון מיוחד** (משבצות דמוי לוח שחמט בצבעים אדום ולבן לסירוגין) לאורך המסלול או הנתיב המיועד לתחבורה ציבורית. יחד עם זאת, השימוש בו לאורך מסלולי הרכבת הקלה אינו אחיד (בדרך כלל אינו בשימוש).
- אין סימון של קווי עצירה. מקום העצירה (לכל סוגי הרכב) נקבע על ידי מיקום עמוד הרמזור.

3.3 פנסי רמזור

- **מערכת האותות הבסיסי** (קו אלכסוני למעלה, נקודה בפנס המרכזי, וקו אנכי בפנס התחתון) זהה לזה שנקבע בלוח התמרורים בארץ.
- בנוסף, קיים אות (מהבהב) המאשר את גילוי של הרכב המתקרב לצומת (וגם את הופעתו הקרובה של אות המעבר) אינה קבועה, ומשתנה מעיר לעיר.
- אין אותות נוספים.
- **לגבי הרכבת הקלה**, בניגוד למה שנקבע בישראל, אין אות מיוחד המורה על כיוון המשך הנסיעה של הרכב לאחר הצומת: הנהג מקבל אישור לגבי המשך המסלול (ימינה, ישר או שמאלה) באמצעות מערכת האיתות הפנימית.
- במפגשים של דרך עם מסלול רכבת קלה נבחן השימוש בפנס מהבהב אדום. כתחליף לסט המורכב מ-3 פנסים (אדום, צהוב וצהוב מהבהב).
- **במערכת היחידה של BRT** שראינו (ב-Rouen) מערכת הפנסים המיועדת לה הייתה זהה לזו המשמשת לרכבת הקלה.
- ככלל, מיקום הפנסים הוא מצד ימין, אלא אם לא ניתן להבטיח את ניראותם, או את מרווחי הביטחון, אזי הפנס יוצב בצד שמאל. במידה ולא ניתן למלא אחר הנחיות אלה, ניתנים פתרונות יחודיים.

3.4 מעברי חצייה

- למרות המלצה כללית "לשבור את המשכיות החצייה", המצב בפועל הוא של שמירה על רצף הליכה המשכי.
- הדבר גורם לטעויות בזיהוי הפנסים הנכונים, ולכן הוצע לרמזר את החצייה של מסלול הרכבת הקלה בצמתים של דרכים רב-מסלוליות באמצעות פנס עם דמות הולך רגל שונה מהמקובל, המהבהבת אדום כל פעם שהרכבת מתקרבת לצומת.
- לגבי הסימון, ההנחיה היא לא לסמן את מעברי החצייה כנגד מסלולי הרכבת הקלה. בפועל, בהרבה מקרים מעברי החצייה מסומנים.

3.5 בטיחות

- תנועת הולכי רגל אינה מוגבלת.
- השימוש במעקות או עמודונים מיועד בד"כ לצורך הדגשת מסלול הרכבת הקלה או למניעת חציית המסלול על ידי כלי רכב.
- למרות שלרכבת הקלה זכות קדימה מוחלטת כלפי שאר משתמשי הדרך, הנהג מחויב לנהוג על פי קו הראייה ומצב הדרך בפועל, ועליו לציית בכל מקרה להוראות התמרורים.

3.6 זמני פינוי

- הזמנים הבין ירוקים מורכבים מ- 2 חלקים עיקריים:
 - פרק "צהוב", שבמקרה של רכבת קלה (ורכב ציבורי בכלל) אורכו 3 שניות.
 - פרק "אדום", המחושב כהפרש בין משך הזמן שהרכב המפנה עובר את המרחק שבין "קו העצירה" שלו לבין נקודת הקונפליקט במהירות של 10 מ' בשנייה, לבין משך הזמן שהרכב הנכנס עובר את המרחק שבין "קו העצירה" שלו לבין נקודת הקונפליקט באותה מהירות, בתוספת של שנייה אחת (מקדם ביטחון, במקרים מיוחדים ניתן להתייחס לפרק זמן ארוך יותר).

3.7 מתן עדיפות

- עדיפותה של הרכבת הקלה מובטחת עוד בשלב התכנון המוקדם על ידי הקטנה של נפחי התנועה בצמתים בהם היא עוברת.
- באזורים המרוחקים מהמע"ר, המרחקים בין צמתים גדולים. כתוצאה מכך, כמעט ואין צורך בהבטחת גלים ירוקים לאורך צירי תנועה וכל צומת פועל כמערכת עצמאית.
- שיטת ההעדפה המועדפת היא לספק דרישה משנית במינימום ולחזור למופע המתאים לרכבת הקלה.

3.8 הגלאים

- באופן בסיסי המערכת מורכבת מ- 3 גלאים:
 - גלאי ראשון, הממוקם במרחק המבטיח מעבר של תכנית הזמנים דרך מופע משני במינימום זמן, והדלקת מופע תואם רק"ל עד הגיע הרכב לצומת.
 - גלאי משני, קרוב יותר לצומת, המאשר את עמידתו של הרכב בל"ז שנקבע עפ"י הגילוי הראשון והיכול לשמש כגיבוי במקרה של כשל בגלאי הראשון.
 - גלאי ביטול, המפסיק את מופע ה- LTR או ה- BRT.
- כל גלאי יכול לשמש בתפקיד שונה כלפי הצמתים השונים.
- בתחנות הקרובות לצומת קיים גלאי נוסף המופעל על ידי נהג הרכב ועל פי שיקול דעתו, על בסיס ניסיונו והמצב בפועל בתחנה.

3.9 תכנון הזמנים

- אין תרשים זרימה המפרט את סדרי הפעילויות האפשריות בניהול התנועה באמצעות הרמזור.
- התכנון מבוסס על הגדרה של תמונות הבסיס (ללא רכבת קלה) ותמונות עם רכבת קלה, עם או בלי מופעים מקבילים של רכב פרטי, מותנה בסדר של התמונות.
- ייצוג התכנון הוא באמצעות תכנית זמנים בסיסית ורישום של התנאים, והאופן בו יש לעבור ממצב אחד למשנהו.

ב. הסדנאות

מסגרת הסדנאות

סדנאות נערכו במשך שלושה ימים, כאשר בכל יום הוביל את הסדנא איש מקצוע אחר. הסדנאות נערכו בצורת הצגת נושא ודיון של שאלות ותשובות, על מנת ללבן את הנושא.

היום בפאריז (24.5.05) הוקדש לסדנא עם חברת אינג'רופ (מר סבסטיאן מאאס) ועם חברת סריקס (מר ניקולה פוסט אבסקי) אשר התרכזה בתכנון הרמזורים.

היום הראשון בבורדו (25.5.05) הוקדש לסדנא עם חברת אינג'רופ (גב' קארין) והתמקדה בנושאי הגיאומטריה.

היום השני בבורדו (26.5.05) הוקדש לסדנא עם חברת גרטרוד (פיליפ) וכללה גם סיור במרכז הבקרה של הרשות המטרופולינית לתחבורה, בדיפו ובמרכז הבקרה של המפעיל. נערך דיון מיוחד בנושא הגילוי וההעדפה.

להלן סיכום הנקודות שעלו בסדנאות:

1. רשתות הרק"ל

1.1 כללי

- הוצגה דוגמא של מרסיי: קו חדש של רק"ל – ראשון באזור המע"ר של העיר.
- **בורדו** – אזור מטרופוליני עם 20 עיריות וכ - 850,000 תושבים, מהם כ- 200,000 תושבים בעיר המרכזית.
- בבורדו התלבטו בין רק"ל ורכבת תחתית אבל פיזור האוכלוסיה הביא לבחירת רק"ל.
- **עלויות ההקמה:** 18.6 ק"מ באורליאן – 270 מליון אירו.
24 ק"מ בבורדו בעלות 450 מליון אירו.
- קיים דיפו אחד לכל הקרונות ברשת של בורדו.
- בבורדו הוקמו 3 קווים בשלב הראשון. הקו האחד – לתחנת הרכבת. השני לאוניברסיטה והשלישי למרכז האזרחי. סה"כ אורך הקווים 24 ק"מ, עם 40 תחנות ו - 50 צמתים מרומזרים.
- כל הקווים בבורדו עוברים דרך מרכז העיר ונפגשים שם במעין משולש של מסילות. עתה בונים הארכות למערכת בכל קו, באורך כולל של 20 ק"מ נוספים.

- באזור המטרופוליני של בורדו, הסמכות לפתח את מערכת התחבורה היא בידי ה - "Urban Community" שהוא מעין רשות מטרופולינית שאנשיו ממונים ע"י הרשויות המקומיות.
- באזור האורבני בבורדו יש סה"כ כ - 300 רמזורים שחלקם מחוברים למרכז בקרה.
- הצמתים המרומזרים של הרק"ל בבורדו מחוברים למרכז הבקרה.
- ככלל, העדיפות לרק"ל חלה גם כלפי הולכי רגל.

1.2 תפעול הרק"ל

- תדירויות הרק"ל בבורדו הן כל 3 - 5 דקות בשעות השיא ועד 15 דקות בשעות השפל.
- באזורים עתירי הולכי רגל, מהירויות הרק"ל נמוכות.
- אין פנסי "סגור דלת" בצרפת.
- באחריות נהג הרק"ל לעצור במקרה של מכשול על המסילה (למשל רכב על המסילה בצומת).

1.3 רצועת הרק"ל

- סוגי חתכים של מסילה - מסעה:
 - Shared - רצועה משותפת לרק"ל וכלי רכב. מהירות הרק"ל מוגבלת ל - 15 קמ"ש.
 - Segregated רצועות מופרדות, באותו מפלס אך ללא אי מפריד. המהירות המירבית לא תעלה על 30 קמ"ש,
 - Protected - מסלול הרכבת הקלה מופרד פיזית ממסלולי הרכב ע"י מפרדות. חתך זה מאפשר לרק"ל מהירויות נסיעה גבוהות (בסיוור נסענו ברק"ל במהירות של כ- 80 קמ"ש בקטע מסוג זה).

2. הסדר צמתים

2.1 כללי

- במצב של צמתים קרובים יש לוודא שהסדרת התאום בין הצמתים לא תגרום בעיה בטיחותית. בצומת השני הרק"ל חוסמת את הצומת אבל זו לא בעיה.
- לכלי הרכב במצב של צמתים קרובים יותקן רמזור אחד.
- ההנחיה העקרונית – תמיד לרק"ל יש עדיפות – על רכב והולכי רגל.

2.2 רכב התכנ

- שני אורכים לקרונות הרק"ל בבורדו: 30 מטר ו- 45 מטר.
- האורך האמיתי של הרכב לא נלקח בחשבון. אחרי מעבר תחילת הרק"ל מעל גלאי הביטול, אזי בפינוי נותנים 3 שניות צהוב + 2 שניות "הכל אדום" סה"כ 5 שניות. הרק"ל עובר 50 מטר לפי מהירות מחושבת של 10 מ'/ש'.
- אורך רכב לחישוב זמני פינוי – 5 מטר. אורך רק"ל 15 מ' (אף כי ברור שהאורך הממשי גדול יותר). [פריז]
- בחישוב זמני פינוי לא מתחשבים באורך הרכב (חישוב עד נקודת הקונפליקט ועוד שניה).

2.3 מרכיבים גאומטריים

- רדיוס מינימלי לרק"ל – 20 מטר (יכול לרדת עד 18 מטר).
- מינימום מרחק מה VSP (רצועת הגנה של כ - 10 - 20 ס"מ מעבר למעטפת הדינמית) לפנס הרמזור – 60 ס"מ.
- רוחב מעבר חציה עירוני הוא 2.5 מטר לפחות.
- במע"ר של בבורדו ובאורליאן – השתמשו ברוחב של 5 מטר במעברים להולכי רגל שקשורים לרק"ל. אין "שבירה" של רצף ההליכה אלא אם הדבר נובע מאילוצים גיאומטריים מקומיים.
- רוחב מסלול הרק"ל הוא כ - 6 מטר.
- בפניה שמאלה מנתיב משולב רכב - רק"ל, הרק"ל מקבלת עדיפות (ירוק) יחד עם הרכב הפונה, אלא אם כן מגיעה רק"ל ממול.
- רוחב נתיב יחיד מינימלי ליד מסלול רק"ל בבורדו הוא 3.5 מטר.
- בכל הצמתים וברצועת הרק"ל (כשאין דשא) מסדירים את הצמתים עם אספלט הכולל בתוכו כדוריות זכוכית, כך שיש החזרת אור בלילה.
- מומלץ לתעל הולכי רגל לצמתים מרומזרים. בפועל ראינו כי אין הגבלות כלשהן לתנועת הולכי הרגל, פרט למקרים מיוחדים.

2.4 מיקום הפנסים

- מיקום עמוד הרמזור הוא בצד ימין – בצד הקרוב.
- במרכזי ערים, כשיש מגבלה במיקום, מבקשים אישור הרשויות להציב את הרמזור בצד שמאל.
- בצמתים סמוכים שהמרחק ביניהם קטן מאורך הרכבת, יהיה רמזור משולש (המסמן כי קריאת הרק"ל נקלטה) בצומת הראשון בלבד. מתייחסים לשניהם כמו לצומת יחיד.
- מיקום עמוד הרמזור – בקצה ה – VSP (אזור הבטחון) – כ – 10 – 20 ס"מ מעבר למעטפת הדינמית (נקבע מקומית: למשל ברצלונה, בורדו ואורליאן – 10 ס"מ). בד"כ – 10 ס"מ.
- בחציה של רק"ל הממוקמת בין מסלולי הרכב בצומת, מרמזרים כל קטע (חציה של כל מסלול) בנפרד.
- בחציה של הולכי רגל בלבד – בד"כ לא מרמזרים אלא מתקינים תמרור אקטיבי. תמרור זה מורה להולכי הרגל על התקרבות רק"ל. כאשר אין רק"ל – התמרור כבוי.
- מועצת המחוז: לגבי הפנסים לרכב – צריך להיות שטח פנוי במדרכה לפנייהם ממכשולים לשדה הראיה באורך 5 מטר במהירות התקרבות של 30 קמ"ש ו – 10 מטר במהירות 50 קמ"ש.
- בצמתים עם נפח נמוך בזרוע המשנית ניתן להשתמש בפנסים אחרים לזרוע המשנית: R24 (פנס יחיד מהבהב אדום) + תמרור "תן זכות קדימה". ההבהוב, כשהרק"ל מגיעה. לרק"ל יש פנסים רגילים, על מנת להודיע לנהג הרק"ל אם ישנה בעיה (אזי העיגול המרכזי מהבהב).

2.5 סימונים על הכביש ומעברי חציה

- לפי ההנחיות אסור לסמן מעברי חציה על מסלול הרק"ל.
- אורך מעבר חציה לא מרומזר, לא יעלה על 12 מ'.
- בצומת מרומזר מעברי החציה מרומזרים. האור הירוק לחצייה של שני המסלולים לא חייב להופיע תמיד ביחד.
- לא מסמנים קו עצירה לרק"ל. בצרפת כלל לא חובה לסמן קו עצירה ומקום העצירה הוא קו עמוד הרמזור. במקרה שאין קו עצירה מהווה מעבר החציה את קו העצירה.
- מרחק מבנה מה – VSP (רצועתההגנה מעבר למעטפת הדינמית) – מינימום 2 מטר.

2.6 אבני שפה והפרשי מפלסים

- ישנו פס (שפה) בקצה המדרכה ממתכת המסמן את מרחק הבטחון להולכי רגל (VSP).
- בצמתים עירוניים יש הפרש מפלסים בין רצועת הרק"ל והמסעה הסמוכה לרכב. הרק"ל גבוהה ב – 7 ס"מ ולקראת הצמתים ישנה הגבהה של הרחוב לגובה הרק"ל. זה נראה כמו צומת מוגבה, כאשר השיפוע הוא לאורך 60 ס"מ ומעלה.

- בצמתים בין-עירוניים המסעה והרק"ל הם באותו מפלס עם איי תנועה ביניהם. במקרה זה אין צורך בהשוואת גובה.
- **במסלולים נפרדים** – גובה האי המפריד ממפלס הכביש – 6 – 7 ס"מ.
- כשהרק"ל נוסעת ליד מדרכה – גובה אבן השפה 8 - 14 ס"מ
- קצה האי המפריד בבורדו – ממתכת. הדבר איננו מקובל במקומות אחרים.
- **באורליאן** – אבן שפה מעוגלת ובגוון ורוד.
- אבן השפה לפעמים בזוית ישרה ולפעמים ברדיוס 2 ס"מ.
- כאשר הרק"ל ברצועה מוגנת – Protected – גובה אבני השפה במפרדה בין המסעה לרכב והמסילות הוא 14 ס"מ. רוחב המפרדה יכול להיות 20 - 30 ס"מ כשאינן הולכי רגל. אולם אם ישנם הולכי רגל ללא מעבר חציה – נדרש מינימום של 1.0 מטר (למילוט). כאשר קיים מעבר חציה – מתחייב רוחב מפרדה מינימלי של 1.5 מטר. רוחב מומלץ הוא 2.0 מטר לפחות.
- במעבר חציה של רצועת הרק"ל – אין הפרש גובה כלל או קיים הפרש מזערי של 2 ס"מ בין מסלול כלי הרכב ומסלול הרק"ל. הפרש גובה מומלץ ביניהם הוא 2.0 ס"מ או 0 למהירויות רק"ל נמוכות.

2.7 תימור

- בפניות ימינה או שמאלה אל חניות מהמסלול המקביל למסלול הרק"ל, המחייבות חציה של מסלול הרק"ל, אין צורך בהתקנת רמזור.
- כאשר אין רמזור בצומת עם רק"ל, נדרשים תמרורי אזהרה לכלי הרכב בגישות לצומת.
- תמרור אזהרה משולש ממוקם 50 מ' לפני הצומת/חציה.
- ברחוב המקביל לרק"ל לא צריך תמרור.
- תמרור מרובע כחול – כאשר אין רמזורים.
- תמרור עגול מראה שרצועת הרק"ל בלעדית לסוג זה של רכב (מוצב בדרך כלל בכניסה למסלול מסוג Protected). התקנת התמרורים תלויה במדיניות. **בבורדו** מותקנים מעט תמרורים ורק באזורים שאין הבדל ברור בין רצועת הרק"ל והרכב. **באורליאן** – הציבו תמרורים בכל צומת.

3. תחנות

- הרק"ל תעצור בכל תחנה גם אם אין נוסעים ותמתין לפי הלו"ז.
- בבורדו בניויות התחנות לאורכים של 30 מ' ו- 45 מטר אך נבדקו אפשרויות להאריך את הציפיים לרכבות ארוכות יותר.
- בתחנה - רוחב של המדרכה 1.8 מטר כמינימום נקי ממכשולים. כשיש מדרכה מאחורי התחנה דרוש רוחב נוסף של 1.4 מטר ללא מכשולים.
- רוחב מינימלי של **תחנה באי** – 1.1 מטר נקי ממכשולים, כי אין הולכים לאורך האי. בנוסף ממוקמים מתקנים כמו עמודי תאורה, מתקני כירטוס וכדו'. לאורך כביש צריך להיות תחום נקי

- (בטחון) של 60 ס"מ. רוחב מכונת כירטוס – 80 ס"מ. לכן רוחב אי מינימלי עם תחנה הוא $2.5=1.1+0.8+0.6$ מטר. אלה הנחיות מבקר הבטיחות (סרטו).
- בתחנות באי המרכזי קיימת בעיה עקב הצורך של כל הולכי הרגל לחצות מסילה בדרך לרציף. לכן תחנות באי המרכזי הן פתרון לא טוב לדעתה של קארין.
- יש לשים לב כי רוחב **מכונות הכירטוס** הוא 80 ס"מ, ואסור להן לחסום את התחום הנקי להולכי רגל.
- **הנחיה:** בתחנות בקטע דרך, יהיה מעבר חציה לא מרומזר בקצה הרציפים (כי אנשים בין כה וכה אינם מצייתים לרמזור כזה).
- אם התחנה קרובה לרמזור (15 מ') אזי לוקחים את הגילוי בזמן ההגעה + ההנחה של משך השחייה בתחנה. אם התחנה רחוקה – מגלים את היציאה מהתחנה.
- ביציאה מהתחנה לתוך צומת, הרק"ל איטית מאד ואין בעיה לחציית הולכי רגל ללא רמזור. לכן ליד תחנות לא מרמזרים להולכי רגל, גם בצומת ליד תחנה. זה כלול בהנחיות הצרפתיות. בבורדו מנסים, עבור במקרים כאלה, פנס מיוחד אקטיבי להולכי רגל, הנקרא R25. בפנס, המופעל בהבהוב אדום רק כאשר רק"ל מגיעה, מופיעה דרמות הולך רגל בצורת כוכב (כלומר דמות שונה מהדמות בפנסי רמזור רגילים להולכי רגל) יחד עם המילה "עצור". כאשר אין רק"ל הפנס כבוי. הבהוב R25 מתחיל כך שיהיה זמן פינוי מספיק להולכי רגל.
- חשוב לכבות את ההבהוב מייד עם חציית הרק"ל, אולם צריך לשים לב לאפשרות הופעת הרק"ל בכיוון השני. אם הרק"ל השניה מגיעה במרווח הקטן מזמן מינימלי (חשוך) + זמן פינוי – האור ימשיך להבהב.

4. מרכיבי הרמזורים

4.1 פנסים

- צורת הפנסים: מלמעלה למטה: משולש, קו אופקי, עיגול וקו אנכי.
- תפקיד המשולש: פנס משני. כאשר הרק"ל מתקרבת לצומת המשולש מהבהב במשך 3 שניות עד שהרק"ל במרחק 30 מטר, ואז הוא מפסיק, כי הרק"ל עוברת.
- המשולש בפנס הרמזור איננו חובה – כלומר איננו מופיע בתקנות התעבורה הצרפתיות.
- **הערה:** יש בארץ מקביל ל - R24 שהוא הפנס לחציית רכבת.
- כאשר ממעבר החציה של הרק"ל רואים פנסי הולכי רגל בצומת סמוך, לדוגמא במעבר המשכי החוצה מסלול רכב, מסילה ושוב רכב, דרוש פנס נוסף (אולי R25 שבניסוי בבורדו – ר' סעיף אחרון בפרק הקודם) ליד המסילה.
- **בחציית הולכי רגל** של מסלול רק"ל הנמצא בין מסלולי רכב: ימוקמו פנסים רגילים להולכי רגל במעברי החציה של הכבישים. לחציית מסילת הרק"ל יותקנו מעבר מוסט במרכז ללא רמזור או מעבר ישר עם רמזורי R25.
- בנתיב משותף, הפנסים המנהלים את הרק"ל הם פנסים רגילים (3 צבעים). הסיבה – נהגים לא מכירים את רמזורי הרק"ל.

- במעגלי תנועה משתמשים בפנסים (R11J) של שלוש עדשות צבעוניות: אדום, צהוב וצהוב נוסף מהבהב במקום הירוק. העדשה הצהובה התחתונה (במקום הירוק) מהבהבת כאשר אין רק"ל. כשרק"ל מתקרבת – הפנס עובר לצהוב ולאדום.

4.2 אותות הרמזור

- בצמתים בבודרו וליון משתמשים אך ורק בפנס עם הקו האנכי. כלומר בצמתים מרומזרים אין שימוש בפנסים עם עדשות עם קו אלכסוני. פנסים אלה בשימוש רק עבור רכבת בקו (לא בצומת). בצומת הרק"ל נוסעת תמיד "ישר", היות וההכוונה היא דרך מערכת האיתות של המפעיל.
- לכן השימוש ברמזורים עם קו אלכסוני לפניות איננו מחייב. עדיף להשתמש בישר בלבד. אם משתמשים בפנס ישר + לפניה (כל אחד עם 3 עדשות) צריך להפריד אותם פיזית.
- פנס הרמזור כולל אינדיקציה כי קריאתה של הרק"ל נקלטה. האינדיקציה מופיעה בעדשה רביעית ברמזור, בצורת מעויין מהבהב או משולש מהבהב. הרק"ל הנוסעת במהירות של 30 קמ"ש צריכה לקבל את ההבהב כ - 100 מטר מראש, על מנת שתוכל לעצור, אם קריאתה לא נקלטה וההבהב לא מתקבל.
- **במונפוליה** הרק"ל מקבלת 3 שניות הבהב יהלום (או סימן קריאה) + 4 שניות ירוק מוקדם.
- 5 שניות לפני סוף הזמן המירבי של הרק"ל היהלום מפסיק להבהב ועובר לאור קבוע. **חשוב** – פנס היהלום מוצב על עמוד פנס הרמזור.
- אות היהלום מהבהב כשהרק"ל נקלטה וממשיך להבהב עד סוף הירוק לרק"ל והוא כבוי כשאין רק"ל.

5. תכנון זמני הרמזור

5.1 תהליך התכנון

- הצעד הראשון בתכנון רמזור הוא חישוב **קיבולת הצומת**, כאשר ניתן לבטל פניות לטובת קיבולת (בתאום עם העירייה).
- השלב הבא – **הצבת גלאים** לאורך הקטע. מיקום הגלאים, הנגזר מאילוצי הגיאומטריה וממיקום התחנות, קובע את זמן ההתרעה המוקדמת ומשפיע על יעילות הגילוי.
- חישוב משך הגישה של הרק"ל (approaching duration) עד הרמזור. מיקום הגלאים תלוי בזמן הנדרש להערכות הצומת למעבר למופע רגיל עם ירוק לרק"ל והבטחת קו ראייה כנדרש.
- כאשר קיימת תחנה, מותאם מיקום הגלאי למיקום התחנה.
- קביעת מהירות הרק"ל – 10-12 מ'/שנ'
- קובעים משך **זמן השהייה בתחנה** ואת משך הנסיעה בטבלה בין הגלאים ועד הרמזור.

- מקיימים תהליך עידון התכנית (fine tuning) לאחר הקמת הרמזור.
- קובעים זמן מכסימום (time out) שהרמזור מחכה לרק"ל אחרי הגילוי בתחנה, שאחרי המנגנון איננו ממתין עוד לרק"ל (למשל במקרה של עיכוב\תקלה בתחנה).
- השלב הבא – ריכוז נתוני גלאים ומידע למנגנון.
- **שלבם בהפעלת ירוק לרק"ל:**
 1. גילוי
 2. פינוי מכונות בקונפליקט
 3. כל אדום – לבטחון (Secure Time).
 4. ירוק
 5. פינוי רק"ל
- מניחים את מהירות הרק"ל. בתחילת התהליך מסמנים על תכנית הקו את המהירות (או מגבלת המהירות) על כל קטע, ובכל תחנה יש הנחה של משך השהייה בתחנה.
- מתחילים בתכנון רמזור לרכב רגיל, עם זמני פינוי, מינימום ומכסימום לכל מחזור.
- מוסיפים לתכנית את תכנית העדיפות.
- **השלב הבא – קביעת המופעים:** סט ללא רק"ל וכשהרק"ל מגיעה. אז יש מופע מיוחד עם הרק"ל.
- תכנות המנגנון נערך על גבי גליון יחיד של זמנים.
- אורך מינימום ירוק – 6 שניות על פי ההנחיות.
- המתכנן יכול לתת זמן מינימום ארוך יותר.
- **שלב ראשון לתכנון העדיפות:** Qualifying Criteria כלומר קובעים את התחום שבו הרק"ל מגיעה לצומת במצבים שונים של פנסי הרמזור.
- הנתונים האלה נאספים לכל צומת ומתקבל גרף של מספר רכבות שעברו לפי השניה במופע הירוק או קצת לפניו ואחרי. לפי המידע הזה מעדכנים את תכניות הרמזורים על מנת למכסם את מספר הרכבות המגיעות בירוק, או מעדכנים את מהירויות הנסיעה של הרק"ל.
- דבר זה ניתן לביצוע כשישנה מערכת בקרה מרכזית. אם אין מערכת כזו צריך לעשות לכל צומת סקר בשטח.

5.2 קיבולת זמנים ברמזור

- שיטת חישוב הקיבולת פותחה ע"י חברת Cyrex עבור שלב התכנון המוקדם של מערכת הרמזורים עם הרק"ל. השיטה מבוססת על גליון אלקטרוני (אקסל) שמחשב יחס נפח-קיבולת לכל תנועה, כמפורט בהמשך. דוגמא מובאת בטבלה בתרשים מס' 1.
- **נפחי קיבולת לחישוב:**
 - קריטריונים לקיבולת: 1,800 כלי רכב לנתיב לכיוון
 - 2 נתיבים – 3,210 כלי רכב
 - 3 נתיבים – 4,800 כלי רכב לשעה

- **מקדמים לחישוב ית"ן (PCU) בצומת:**
 - רכב הנוסע ישר – 1.0 ית"ן
 - פניות שמאלה – 1.8 לכלי רכב בפניה מותרת לא מוגנת (permissive)
 - לכלי רכב בפניה מוגנת - מקדם 1.2.
 - בפניה ימינה – 1.1 ית"ן
- **אורך המחזור** נתון, כלומר נקבע מראש (למשל 70 שניות)
- זמני פינוי בין כלי רכב: 3 שניות למופע + צהוב.
- קובעים זמן למעבר הרק"ל בצומת: לדוגמא - 10 שנ' ירוק + 3 צהוב + 2 זמן פינוי = 15 שניות.
- חשוב: תדירות הרק"ל frequency, למשל 180 שניות.
- בטבלה עבור L2: מס' נתיבים (3),
- TD – נפח ישר
- TAD- פניה ימינה
- SEPARATE התנועה שמאלה ללא קונפליקט (פניה שמאלה מוגנת).
- בדוגמא בתנועה L2: נפח אקוויולנטי – 1,906: יש כאן החלטה להעביר פחות מהנפח האקוויולנטי (2,250) קיבולת 118%
- מחשבים מס' שניות דרוש לכל תנועה לפי 2 שניות לרכב.
- **תדירות הרק"ל** בה מתחשבים היא לשני הכיוונים. בד"כ התדירות זהה לשני הכיוונים. למשל אם הפער הוא 360 שניות לכיוון – התדירות המחושבת – 180 שניות.
- LCY – אורך מחזור.
- אם הגלאי בתקלה – נותנים מופע לרק"ל בכל מחזור.
- **בטבלת הזמנים:** אורך הירוק הוא נתון שמכניסים לטבלה (מחושב בנפרד).
- **בעצם נראה שמחשבים זמן מחזור** ללא רק"ל ומוסיפים את הזמן של הרק"ל (למשל - 14 שניות). כמו כן מחשבים זמני ירוק לפי מצב ללא רק"ל.
- חישוב הקיבולת מתחשב במוצע של מצב עם ובלי רק"ל. לכן כאשר הרק"ל עובר נוצר גודש ובמחזור הבא – רמת השירות תהיה יותר טובה.
- בקובץ האקסל: מחשבים זמן ירוק ופינוי וקיבולת באחוזים לכל מופע – ללא רק"ל. מקבלים מחזור מסויים. כשמוסיפים זמן לרק"ל (למשל 14 שניות) ישנו חישוב נוסף שמקטין את סך הזמן לכל מופע לשעה שישנה את זמן המחזור כממוצע של כל הזמנים ויתקבל זמן מחזור שונה.
- אח"כ – הכנת טבלת הפלט בתכנית הרמזור עם הסימונים הבאים: T – לרק"ל, L – לרכב, P – להולכי רגל LT – לרמזור רק"ל משני מהבהב ו-ET לפנס משני קבוע. Pp – הולכי רגל בפניה.

תרשים מס' 1: חישוב קיבולת ורמת שירות

Heure de pointe Matin

LCY PdF = 73 sec

Débit de saturation : 1 voie = 1800

2 voies = 3210

3 voies = 4800

Calcul temps perdus Tramway

Tps sequence Tram :

Fréquence : 180 sec Tps Perdu Tram / cy :

LCY Corrigé = 73 sec

Ligne Feux:	Nb Voies	Tps Vert / Cy	Débit admissible UVP/h	UVP/h TD	UVP/h TàD	UVP/h TàG Séparé	UVP/h TàG Conflit	Coef TD	Coef TàD	Coef TàG Séparé	Coef TàG Conflit	UVPD /h	Temps vert nécessaire / heure	Capacité	Réserve de Capacité
L1	1	30 sec	739		100			1	1.1	1.2	1.8	110	220 sec	15%	NS
L2	3	29 sec	1906	2250				1	1.1	1.2	1.8	2250	1688 sec	118%	-15%
L3	2	20 sec	879	300	350	200		1	1.1	1.2	1.8	925	1038 sec	105%	-5%
L4	1	43 sec	1060					1	1.1	1.2	1.8				
L5	3	43 sec	2827	1700				1	1.1	1.2	1.8	1700	1275 sec	60%	66%
L6	2	8 sec	351			200		1	1.1	1.2	1.8	240	270 sec	68%	46%

Heure de pointe Soir

LCY PdF = 73 sec

Calcul temps perdus Tramway

Tps sequence Tram :

Fréquence : 180 sec Tps Perdu Tram / cy :

LCY Corrigé = 73 sec

Ligne Feux:	Nb Voies	Tps Vert / Cy	Débit admissible UVP/h	UVP/h TD	UVP/h TàD	UVP/h TàG Séparé	UVP/h TàG Conflit	Coef TD	Coef TàD	Coef TàG Séparé	Coef TàG Conflit	UVPD /h	Temps vert nécessaire / heure	Capacité	Réserve de Capacité
L1	1	34 sec	838		100			1	1.1	1.2	1.8	110	220 sec	13%	NS
L2	3	33 sec	2169	2150				1	1.1	1.2	1.8	2150	1613 sec	99%	1%
L3	2	16 sec	703	350	500	200		1	1.1	1.2	1.8	1140	1279 sec	162%	-38%
L4	1	7 sec	172					1	1.1	1.2	1.8				
L5	3	47 sec	3090	1400				1	1.1	1.2	1.8	1400	1050 sec	45%	NS
L6	2	8 sec	351			300		1	1.1	1.2	1.8	360	404 sec	103%	-3%

Heures Creuses

LCY PdF = 60 sec

Calcul temps perdus Tramway

Tps sequence Tram :

Fréquence : 240 sec Tps Perdu Tram / cy :

LCY Corrigé = 60 sec

- התכנון מבוסס על קיבולת כלי הרכב הפרטיים בלבד. לא ניתן לנהל את רמת השירות של הרק"ל, הנגזרת מתדירות וקיבולת נוסעים.
- **התכניות הצרפתיות אינן משתמשות בתרשימי זרימה.** הן מוגשות בפורמט של חוברת עם 13 עמודים לרשויות לאישור. דוגמא לתכנית זמנים כלולה בתרשים מס' 4.
- התכנון העקרוני הבסיסי (תאורטי) מבוסס על מהירות רק"ל של 35 קמ"ש.

5.3 זמני פינוי

- מהירות הרק"ל לצורך זמני פינוי – 10 מ/ש'. ניתן לשנות (למעלה או למטה) לפי הצורך.
- סוף הירוק לרק"ל – כשחזית הרכב חוצה את קו העצירה (מיקום גלאי הביטול, על פי ניקולה, 5 מטר לפני הצומת).
- זמני פינוי מסוכמים במטריצה רגילה כמקובל אצלנו (ר' תרשים 2).
- בזמני פינוי מופיעים מספרים שליליים – המייצגים את הזמן שדרוש לרמזורי הרק"ל המקדימים.
- זמני הפינוי מוגדרים כזמן בין סוף הצהוב לירוק שבקונפליקט.
- מהירויות לחישוב זמני הפינוי אינן תלויות בגישה או באופי הרחוב. מהירות רכב לחישוב זמני פינוי – 10 מ/ש', מהירות הולך רגל 1.0 מ/ש' ומהירות הנסיעה של אופניים 2.0 מ/ש'.
- אופניים – בהרבה מקרים אופניים משולבים עם הולכי רגל והחציות שלהם משולבות במעברי חציה. אורך הירוק במעבר המתאים לה.ר. מתאים גם לאופניים.
- קביעת זמני הפינוי מבוססת על קביעת נקודת המפגש (נקודת הקונפליקט) בין תנועות סותרות. חישוב הזמן של פינוי הצומת נערך מהכניסה לצומת עד לנקודת הקונפליקט, פחות זמן המעבר של כניסת הרכב בתנועה הנגדית, מאז נכנס לצומת ועד שהגיע לנקודת הקונפליקט, בתוספת שניה אחת. כלומר: זמן פינוי בין סוף הצהוב להתחלת הירוק + 1.0. ר' דוגמא בתרשים מס' 2.
- ככלל מעגלים זמני פינוי כלפי מעלה.
- צריך לקחת בחשבון שמהירויות יכולות להיות יותר נמוכות עבור פניות של רכב. למשל – רכב בפניה שמאלה יכול לנסע רק ב – 5 מ/ש' אך רכב בכניסה יכול לנסע מהר יותר מ-10 מ/ש'.
- משך האור הצהוב לרק"ל הוא 3 שניות.

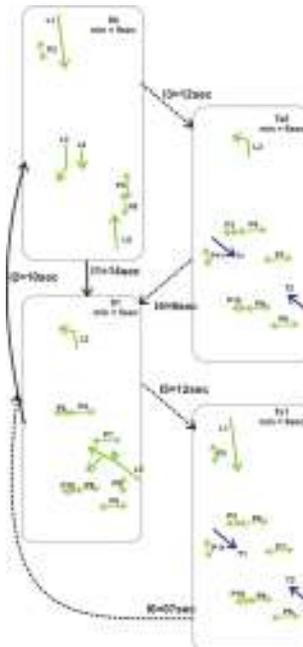
תרשים מס' 2: טבלת זמני פינוי

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
1	T1	xx				0	2	4	4							6								
2	T2		xx			4	4	1	1							1								
3	L1			xx	2																			
4	L2				2	xx				2														
5	L3	2	0			xx		0			1							4		-1		-3		
6	L4	2	2				xx	1			1					5	5			-1		-1		
7	L5	5	1			4	3	xx	1			1						6		2		-2		
8	L6	0	2					3	xx				1	4							-3		-1	
9	P2				4					xx														
10	P3					4					xx													
11	P4						10					xx												
12	P5							8					xx											
13	P6								9					xx										
14	P7								5						xx									
15	P8	3	7													xx					0	4		
16	P9						5										xx							
17	P10						1											xx						
18	P11					1	0												xx					
19	L T1																			xx				
20	E T1					0	0	0	0							0						xx		
21	L T2																						xx	
22	E T2					0	0	0	0							0								xx

5.4 אותות הרמזור וסדר המופעים (ראה גם 4.2)

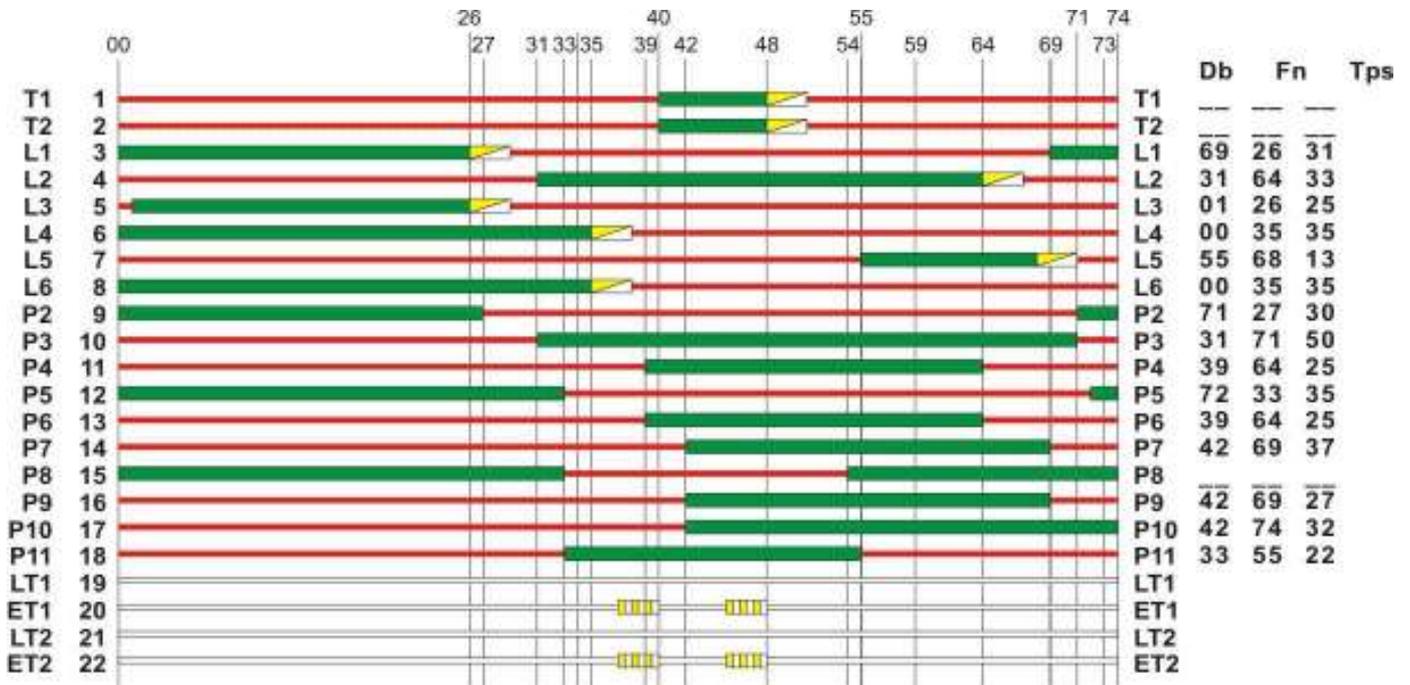
- משולש מהבהב המצביע על קבלת ירוק צפויה לרק"ל, מהבהב החל מ - 6 שניות לפני שהרק"ל מגיעה לקו העצירה עד 3 שניות לפני קו העצירה. אז ההבהב במשולש נכבה.
- דוגמא: כאשר יודעים מגילוי הרק"ל ל שהרק"ל הבאה תגיע בעוד 30 שניות. המנגנון בודק אם ניתן לסגור את מופע 1, לתת לרק"ל לעבור ולתת זמן מינימלי לפחות למופע 2 או לחילופין לא ניתן לספק אפילו זמן מינימלי למופע 2 ולכן יסגור את מופע 1 וימתין לרק"ל. ככלל עדיף להמשיך למופע הבא אם אפשר לתת לו מינימום זמן לפני שהרק"ל מגיעה לצומת ומקבלת את הירוק שלה. ר' תרשים מס' 3.

תרשים מס' 3: סדר המופעים



- כמובן שאם אין גילוי ממשיכים במחזור רכב רגיל.
- הגילוי הוא במרחק 30 – 40 שניות מהרמזור.
- **שאלה:** האם עדיף להאריך מופע מעבר למכסימום, במטרה להמתין לרק"ל, או לשרת את המופע המשני בזמן מקוצר עד שהרק"ל מגיעה לצומת. ניקולה מעדיף, כשניתן, לשרת במינימום שתי פאזות ולא להאריך מעבר לירוק המכסימלי.
- **זמן אדום מירבי** לרכב ולהולכי רגל – 120 שניות (עקב דרישה לעדיפות).
- ניתן להוסיף מופע של רק"ל בלבד (ללא תנועת כלי רכב) גם לתכנית בה הרק"ל נוסעת עם המופע הראשי. הסיבה להוספת מופע רק"ל בלבד – כדי לחסך זמן עקב זמני הפיניו של הולכי רגל.
- **בתכנון** יש להתחשב בכך שכל מופע שני צריך להיות עם רק"ל.
- הכיוון הראשי מקבל זמן ירוק מינימלי המהווה 20% מהזמן המירבי (לא 6 שניות כמו במופעים המשניים).
- כקריטריון לבחינת שינוי, כגון ביטול פניות או הוספת נתיבים: קיבולת של 90% עד 100% - ומעלה. רמת יחס נפח/קיבולת של 80% - 90% מקובלת.
- הבעיה הגדולה חציית מסילה – **פניות פרסה בירוק מנתיב המקביל למסילה**. לכן מומלץ נותנים ירוק במופע נפרד לרק"ל.
- בצומת עם רק"ל, מנגנון הרמזור מקבל אות לגבי כיוון הרק"ל (לדוגמא-ישר או שמאלה) אולם הכוונת הרק"ל נמצאת בידי הבקרה המרכזית ולא בידי נהג הרק"ל.

תרשים מס' 4: דוגמא לתכנית זמנים



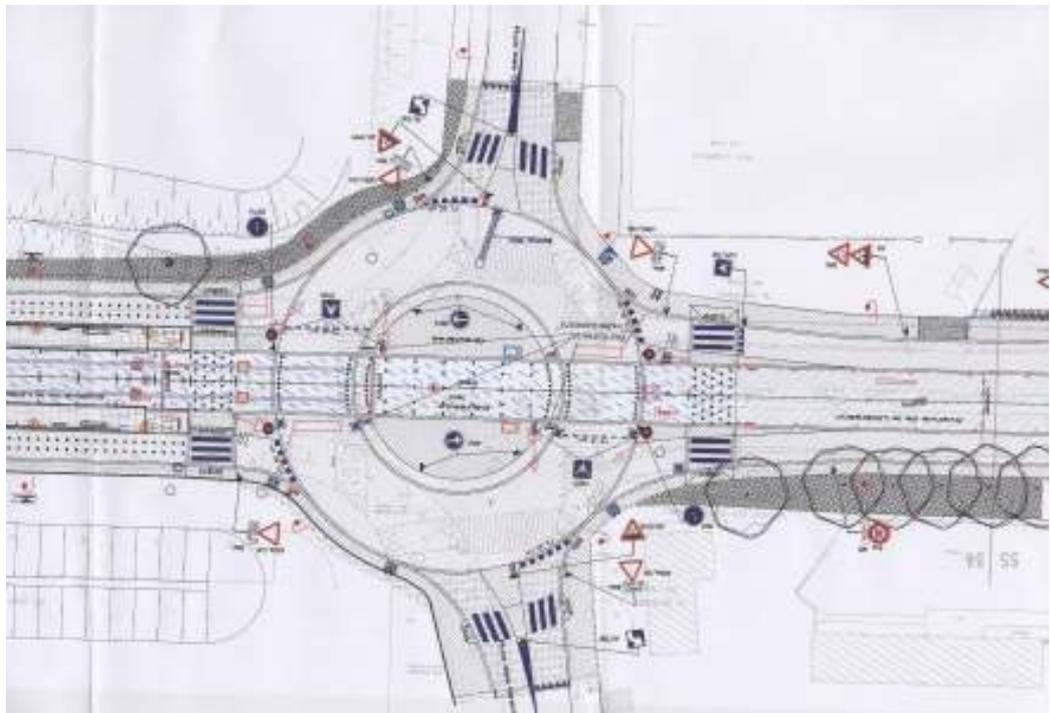
- אחרי ההקמה ישנה בדיקה ועדכון (fine tuning).
- PDF – הגלאי האחרון (לפני הרמזור)
- ST – תחנה

6. מעגלי תנועה

- **מעגלי תנועה קטנים** – מתייחסים אליהם כמו צמתים רגילים עם רמזורים בגישות למעגל.
- מיקום מעברי חציה במעגל תנועה על פי ההנחיות – 5 מטר מקו העצירה. ברמזור – מצמידים את המעבר למעגל.
- כשמגיעה רק"ל למעגל התנועה, הגישות למעגל מקבלות אדום וזמן פינוי (5 שניות).
- **במעגל גדול** – מציבים את הרמזור R11J לפני מסילת הרק"ל בככר, ואז בזרוע שלפני הרמזור שמים שלט המתריע על רמזור אחרי הפניה. רמזור R11J כולל שלושה פנסים (מלמעלה למטה) וסדר האורות הוא אדום – צהוב – צהוב מהבהב.
- במעגלי תנועה הרק"ל תהיה במרכז. רמזורי R11J בכניסות למעגל. כשאינן רק"ל הרמזור מהבהב צהוב. בנוכחות רק"ל הרמזור מראה אדום.
- בבורדו: כמו בתמונה (תרשים 5): היות ואנשים שנוסעים במעגל התנועה במקביל לרק"ל יודעים שאין להם קונפליקט – הם נכנסים גם באדום. לכן מציבים פנסי R24 ליד המסילה

בלבד, שמהבהבים אדום בנוכחות רק"ל וחשוכים כשאין רק"ל. הפנסים מוצבים משני הצדדים של המסעה.

תרשים מס' 5: מעגל תנועה



7. תכניות העדפה

- **עדיפות מותנית** – למשל באוטובוסים לא נותנים עדיפות לאוטובוס שמאחרים להגיע לרמזור. המידע הדרוש לעדיפות המותנית מתקבלת מגלאים. הגלאי צריך להתאים לכמות המידע שיש להעביר. המידע הדרוש לעדיפות מותנית מבוסס על איסוף מידע ועיבודו אם במסגרת המנגנון המקומי במרכז בקרה.
- **רק"ל מנוהלת ע"י לוי".** הנהג צריך לנהל את המהירויות על מנת להגיע בזמן לצומת, על פי לוח הזמנים (כזכור אמינות הרק"ל מבוססת על מועדי הגעה ידועים לתחנה) ולא לשנות את סכימת ההעדפה על פי הסטטוס של הרק"ל. לכן לא מומלץ לנהל העדפה מותנית.
- כאשר שתי רק"ל מתקרבות לצומת וצריך לבחור למי לתת העדפה, אין הנחיות או מדיניות אולם מוצע לתת עדיפות לרק"ל בכיוון העמוס (למשל בבוקר – בכיוון אל העיר)
- ניתן לדלג על מופעים לרכב ללא דרישה.
- מותר בצרפת לשנות סדר מופעים לצורך מתן עדיפות. זו שיטה ישנה ונמנעים משימוש בשיטה זו, כי זה מבלבל נהגים ומקשה על אופטימיזציה של הזמנים.
- **העדפה פסיבית** (גל ירוק) לאוטובוסים (בגלל העצירה בתחנות הגל יותר אטי): כשיש גילוי של אוטובוסים נותנים העדפה אקטיבית.
- העדפה: כעיקרון יש תכנית רגילה לתנועה הכללית ותכנית מיוחדת לעדיפות לרק"ל

8. גלאים

8.1 כללי

- יש שני סוגי מערכות גילוי: באמצעות תשדורת רדיו וגלאים אינדוקטיביים.
- במונפולייה יש משדר על הרק"ל בחזית ומאחור. כך הגלאי בשטח יודע על הופעת הרק"ל ועל סוף נוכחותה.
- הדרישה המינימלית היא לשלושה גלאים: גלאי ראשון (150 – 200 מטר) לגילוי מוקדם, גלאי שני לנוכחות לפני הצומת וגלאי שלישי לביטול הקריאה.
- ניתן להוסיף גלאים נוספים. לדוגמה מיקום של 6 גלאים (כולל כינויים במקור):
 - Normal (200)
 - Secondary (150)
 - Optimal Configuration (60)
 - Evacuation (30)
 - Proximity (10)
 - canceled (5)

8.2 מיקום גלאים

- הגלאי המותקן על הרכבת מותקן בחזית הרכבת.
- לאורך המסלול ישנה שורה של גלאים. לכל צומת יש מנגנון. גלאי יכול לשמש כגלאי ראשון/שני למנגנון אחד וכגלאי אחרון Last Call למנגנון אחר.
- גלאי לפני הצומת משמש גם כ - proximity detector וכך כ - cancellation detector
- אין הנחיות פורמליות למיקום גלאים.
- Announcement Detector הודעה על התקרבות רכבת כ - 200 מטר לפי הצומת. אם יש בעיה ניתן להוסיף גלאי (confirmation) במרחק 60 מטר מהצומת (למשל צמתים קרובים).
- הגלאי במרחק 60 מטר מהצומת יעיל כאשר אפשר לתת ירוק לרק"ל (במסילה מקבילה למסלול כלי הרכב) אבל הרק"ל רחוקה מהצומת. אזי הירוק יהיה לכלי הרכב ויחכה לגילוי הנוסף של הרק"ל ב - 60 מטר.
- גלאי ביטול ממוקם 5 מ' אחרי הצומת. מיקום של 20 מטר אחרי הצומת - להראות שכל הצומת פנוי מהרק"ל (אפשרי ירוק לתנועה החוצה).
- אפשרויות קבלת ירוק לרק"ל: מגלאי, ממרכז הבקרה (נשלח אות לגלאי שמגיעה רכבת) או ירוק קבוע בכל מחזור עם התנועה המקבילה.
- לאחר גילוי הגלאי המקדים, הרק"ל ממתינה לאות המסמן קבלת ירוק.

9. הצדקים

- **נפח תנועה מינימלי** להצדק רמזור בכביש שחוצה רכבת – 300 כלי רכב ליום (המספר אינו מצוי בספר הנחיות כלשהו).
- בכל צומת עם רק"ל יש הצדק לרמזור.
- **הצדקים לרמזור לחציית הולכי רגל בלבד**: אין הנחיות כמותיות, אולם יש נושא של שיקול מקצועי (למשל – מיקום בי"ס בצד אחד ופארק מצד שני).
- אין הצדק כמותי של התקנת רמזור הולכי רגל באזור תחנות.
- בחציה של הולכי רגל בלבד – בד"כ לא מרמזרים אלא מתקינים תמרור אקטיבי.

"בעין העדשה"

במהלך הסיור המקצועי והסדנאות שנערכו בצרפת צילמו חברי הצוות מאות תמונות. מבחר של כ- 80 תמונות -רוכזו במצגת המופיעה בתקליטור (CD) המהווה חלק מדו"ח זה. המצגת ערוכה לפי נושאים (פנסים, מעברי חצייה, מפרדות וכד') המאפשרת סקירת כל נושא בערים השונות בהן ביקר הצוות. בנוסף לתמונות הקשורות ישירות להנחיות, שולבו במצגת גם תמונות שצולמו במהלך הסיור בנושאים אחרים הקשורים לרק"ל ולת"צ והעשויות להוסיף לידע ולניסיון בארץ.

רשימת מראי מקום

מיספור מראי המקום - לפי סדר קבלתם בצוות העורכים

רשימת מראי המקום ערוכה לפי נושאים ראה בע' 144

(1) Application of Part 10 of the Manual on Uniform Traffic Control Devices to Light Rail Transit Projects - A Review of Its Strengths and Weaknesses

JACK W. BOORSE *Parsons Brinckerhoff*

(1a) Preemption Versus Priority Service for Light Rail Transit Vehicles

JOHN R. BLACK *Naztec, Inc.*

(1b) Application of NTCIP Standard 1211 Framework for Upgrading Downtown Baltimore Light Rail Transit Signal Priority

PETER J. V. KOONCE, *Kittelson & Associates, Inc.*

THOMAS URBANIK II, *University of Tennessee*

AMRITA MISHRA, *Maryland Transit Administration*

(2) Safety Criteria for Light Rail Pedestrian Crossings

DON IRWIN *Tri-County Metropolitan Transportation District of Oregon*

9th National Light Rail Transit Conference

(3) The Preempt Trap: How to Make Sure You Do Not Have One

TEXAS TRANSPORTATION INSTITUTE THE TEXAS A&M UNIVERSITY SYSTEM Report 1752-9

Project 0-1752: TransLink Research Program

Roelof Engelbrecht, Srinivasa Sunkari, P.E., Tom Urbanik, II, P.E., Steve Venglar, P.E., and Kevin Balke, P.E.

(4) Light Rail Transit Signal Priority in a Downtown Environment

Jim Dale, P.E.1; Thomas Bauer, P.E.2; Don Odermott, P.E.3

PTV America, Inc, 2000

(5) An Evaluation of Light Rail Transit Signal Control Options

Thomas Bauer and Patrick Fuller, PTV America, Inc

(6) MnDOT Traffic Signal Timing and Coordination Manual State of Minnesota,

Minnesota Department of transportation USA, APRIL 2004

**(7) Recommended Practice for Rail - Transit System Highway Rail Grade
Crossing Safety Assessment**

APTA – American Public Transportation Association- 2004

(8) MUTCD – Manual on Uniform Traffic Control Devices Part 4

FHWA / 2003

(9) MUTCD – Manual on Uniform Traffic Control Devices Part 10

FHWA / 2003

(10) RTD LIGHT RAIL DESIGN CRITERIA

The Regional Transportation District, Denver, Colorado, USA, 2000

(11) Traffic Signal Specification

City of Yuma, Arizona USA, 2004

**(12a, 12b, 12c, 12d, 12e, 12f)
Integration of Light Rail Transit into City Streets**

Transportation Research Board National Research Council, TCRP Report 17

HANS W. KORVE, JOSÉ I. FARRAN, AND DOUGLAS M. MANSEL, Korve Engineering, Inc. Oakland, CA

HERBERT S. LEVINSON, Transportation Consultant, TED CHIRA-CHAVALA AND DAVID R. RAGLAND

University of California at Berkeley, 1996

(13) Guidelines for Traffic Signals –RILSA

Road and transportation research association, Steering committee traffic control and traffic safety
Edition 1992

(14) תכנית רמזור – הנובר

(15) Grundstze der OPNV- Bevorrechtigung

Von Bahnen und Bussen An Lichtsingnalanlagen und Bahnubergangen

In **Karlsruhe** Vorburg: 01.03.2003

(16) Leitfaden zur LZA-Planung -der Landeshauptstadt München

KVR HA IV/13 V0.1, 02.08.2002

(17) Signal Management in Real Time for Urban Traffic NETWORKS:

Public Transport Priority in TUC (Traffic-responsive Urban Control)

Christina Diakaki, Technical University of Crete and Vaya Dinopoulou
and Markos Papageorgiou

Technical University of Crete, 2002

(18) Adaptive Control of Transit Operations

U.S. Department of Transportation - Federal Transit Administration

Report No. MD-26-7002 BY

Guey-Shii Lin / Ping Liang / Paul Schonfeld / Robert Larson

November 15, 1995

(19) Telematix in Public Transport in Germany

BMVBW / VDV

(20) Prioritat des öffentlichen Verkehrs an Lichtsignalanlagen

2001, משרד התחבורה השוויצרי

(21) SN 640833 Lichtsignalanlagen

1996 - תקן שוויצרי

(22) SN 640834 Lichtsignalanlagen Phasentrennung

1996 - תקן שוויצרי

**(23) Merkblatt für Maßnahmen zur Beschleunigung des Öffentlichen
Personennahverkehrs mit Straßenbahnen und Bussen, 1999**

(24) הנחיות לתכנון רמזורים, משרד התחבורה, ישראל (1981)

(25) הנחיות לשילוב גלאים ברמזורים, משרד התחבורה, ישראל (1986)

(26) מפרט כללי להצבה ואחזקה של רמזורים על עדכוני, משרד התחבורה, ישראל (1993)

(27) הנחיות לשילוב גלאים לרכב דל-מתכת, משרד התחבורה, ישראל (2001)

(28) עקרונות לתכנון רכבת עירונית ושילובה בהסדרי התנועה, משרד התחבורה,

ישראל (2003)

(29) תוכנת "ענבר", משרד התחבורה, ישראל

(30) Modeling of Traffic Signal Control and Transit Priority

Strategies in a Microscopic Simulation Laboratory

Angus Davol MIT- September 2001

(31) An Overview of Transit Signal Priority

ITS America UPDATE 2004

(32) Light Rail Transit Traffic Engineering – TRB

(33) Light Rail Priority Design Testing

Symposium on Advanced Evaluation Techniques

Susan Langdon, Portland Oregon - July 2003

(34) Light Rail Service- Pedestrian and Vehicular Safety, TCRP Report 69

National Academy press – Washington D.C 2001

(35) Priority for light rail at crossroads in Rouen

(36) Traffic advisory leaflet-ITS 5/03 - UK

Public Transport Priority - 2003

(37) Railways Safety Principles and Guidance,

Part Two, Guidance on Tramways, HSE, UK 69pp, 2005

(38) לוח התמרורים הסובייטי

(39) Instruction Interministeriele sur la Signalisation Routiere, Feux de

Circulation Permanents

התקן הצרפתי מקור 1991 עדכון 2002

(40) Grundsätze der Busbeschleunigung - STRASBOURG

(By PTV) France, 2005

(41) BOStrab, German Federal Regulation on the construction and operation of light rail transit systems, Version 06/96 - 1996

(42) RILSA POLEN

(43) SN 640839 Lichtsignalanlagen

(2003) תקן שוויצרי, התייחסות לת"צ ברמזורים

(44) SN 640838 Lichtsignalanlagen

(1994) תקן שוויצרי, Swischenzeiten, 26pp

(45) Current list of all traffic leaflets - UK

(46) Technical Specification part 1 - UK

(47) Technical Specification part 2 - UK

(48) Handboek Amsterdam – NL

הנחיות משרד התחבורה ההולנדי 2001

(49) Signaalgroepafwikkeling – Detectieconfiguratie – NL

גלאים 2000-

(50) KORTE AFSTAND RADIO INTERFACE SPECIFICATION - NL

2003

(51) NEN 3384

Traffic controllers 2003 תקן הולנדי

(52) Notes on Signalization in Greece

(53) PRISCILLA, PUBLIC TRANSPORT PRIORITY, DELIVERABLE 2

(54) פקודת התעבורה ותקנותיה – 1961, מדינת ישראל

(55) הנחיות לתכנון מעברי חצייה להולכי רגל 1973, משרד התחבורה, ישראל

(56) הנחיות למעברי חצייה עתירי ביקוש, ע"י PGL עבור נת"ע / משרד התחבורה, ישראל, מאי 2006

(57) Pedestrian Crossing of LRT Trackways in Highway Medians

JACK W. BOORSE *Parsons Brinckerhoff* 8th conference on LRT

(58) הועדה הבין משרדית לבחינת התקני תנועה ובטיחות - סיכום ישיבה מיום 7.3.04

(59) Implementation of Bus Priority Scottish Development Department

(60) Tram Priority in Nottingham

(61) Bus Priority (Traffic Advisory Leaflet 06-01)

Author: Department of Transportation

(62) Bus Priority in Scoot

(Traffic advisory leaflet-ITS 08/00)

(63) Light Rapid Transit - UK

(64) Layout of large Signal Controlled Intersections 86/03

(65) TCRP Report 90, Bus Rapid Transit, Volume 2, Implementation Guidelines

(66) Bus Priority – THE WAY AHEAD / Department of transport, UK

(67) Highway Capacity Manual –HCM 2000

(68) TCRP - Project 15 (a, b, c)

(69) Selected Vehicle Priority in the UTMC Environment (UTMC01)-1998

(70) Transit Capacity and Quality of Service Manual

2nd Edition /Part 5 – Rail transit capacity

(71) Transit priority performance at signalized junctions - STRC

(72) Bus Priority – Selective Vehicle Detection In London

UserGuide-2001

(73) Guide d'aménagement de voirie pour les transports collectifs

FRANCE -2000

(74) Draft Guidelines For The Design Of Section 5,

Railway Infrastructure And Rolling Stock, LEVEL CROSSINGS- IRELAND

(75) Statutory Instrument 2002, The Traffic Signs Regulations and General Directions

ספר התמרורים הבריטי -2002

(76) לוח התמרורים של מדינת ישראל

(77) Lichtsignalanlagen in Stuttgart, Teil 2: Ergänzende Vorgaben zur

Steuerung der Lichtsignalanlagen - 22/2/05

(78) תקן ישראלי – ת"י 5350 - אוגוסט 2002

בנייה ותפעול מערכות רכבת קלה

(79) UTUGYI MUSZAKI ELOIRAS-A jelzolampas forgalomiranyitas

tervezesa, telepítése es uzemeltetése

הנחיות מהונגריה לתכנון ותפעול רמזורים -2003

(80) TCRP-Report 13: Rail Transit Capacity

(81) Capacity Concepts for Street-Running Light Rail Transit, Australian

Road Capacity

Conference 1994 - LEVINSON, HERBERT S.,

(82) Preferential Control Warrants of Light Rail Transit Movements,

Transportation Research Board State-of-the-Art Report 2, Light Rail

Transit: System Design for Cost-Effectiveness,

RADWAN, A. E., and HWANG, K. P – 1985

(83) Pedestrian Flows and Walking Speed: A Problem at Signalized Crosswalks,

P.K. Goh and William H.K. Lam, Ite journal

January 2004

(84) הנחיות לתכנון תנועת הולכי רגל, פרק 4 - טיוטא לועדת היגוי, אילן מרכוס,

עמוס אביניר ושות', ינואר 2005

(85) הנחיות לתכנון נתיבים לתחבורה ציבורית - משרד התחבורה, ישראל, 1998

(86) הנחיות לתכנון רחובות בערים - משרד הבינוי והשיכון ומשרד התחבורה, פרקים 1

(8/1983) ו-2 (8/1989)

(87) Empfehlungen für Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs - EAO

Forschungsgesellschaft für Straßen - und Verkehrswesen,

Köln, Deutschland, 2003

(88) VS-PLUS Introduction, Verkehrs-Systeme AG, 4/2001

רשימת מראי מקום ממויין לפי נושאים

87 ,68 ,67 ,54 ,48 ,45 ,42 ,40 ,23 ,19 ,9 ,8	הנחיות כלליות:
85 ,82 ,81 ,80 ,78 ,73 ,70 ,65 ,47 ,46 ,41 ,28 ,10	הנחיות לתכן רק"ל:
,77 ,64 ,52 ,51 ,49 ,44 ,43 ,39 ,27 ,26 ,25 ,24 ,22 ,6 79	הנחיות רימזור:
,59 ,53 ,50 ,36 ,35 ,33 ,31 ,30 ,20 ,17 ,4 ,3 ,1b ,1a ,1 72 ,71 ,69 ,66 ,62 ,61 ,60	העדפת תצ"מ:
84 ,83 ,74 ,58 ,57 ,56 ,55 ,37 ,34 ,7 ,2	חציית רק"ל ע"י הלכי רגל, בטיחות:
32 ,21 ,18 ,15 ,14 ,13 ,11 ,5	רימזור לרק"ל:
86 ,63 ,16 ,12	שילוב רק"ל ברחובות ערים:
76 ,75 ,38	תמרורים: