



משרד התחבורה
והבטיחות בדרכים

מינהל תכנון
ופיתוח תשתיות
אגף בכיר תכנון תחבורתי



הנחיות לתכנון רמזורים

תמוז תשפ"ה
יוני 2025

צוות המחברים

צוות המחברים (החל משנת 2021)

ראש הצוות

אינג' עירית שפרבר

עריכה מקצועית ובקרה

- ד"ר תמיר בלשה
- לוי שטרק זילברשטיין מהנדסים יועצים בע"מ
- אינג' יואב זקס
- יואב זקס הנדסה בע"מ

עריכה לפרסום

ד"ר בני פרישר

חברי הצוות

- ד"ר תמיר בלשה
- לוי שטרק זילברשטיין מהנדסים יועצים בע"מ
- אינג' יואב זקס
- יואב זקס הנדסה בע"מ
- אינג' עירית טקץ
- אליה הנדסה בע"מ
- אינג' שרונה כהן
- אגף ניהול בקרת תנועה וטכנולוגיה, עיריית חיפה
- אינג' דותן ריגלר כהן
- אמי מתום מהנדסים ויועצים בע"מ
- ד"ר שי בסן
- אמי מתום מהנדסים ויועצים בע"מ
- אינג' רביב חנוכה
- מ.ת.נ. הנדסת תנועה ותחבורה בע"מ
- אינג' אפרת שינוטר-בק
- אמאב תחבורה ותנועה (2012) בע"מ
- אינג' עמי בלום
- עמי בלום הנדסת תנועה בע"מ
- אינג' דבורה סטולרסקי
- דבורה סטולרסקי הנדסת תנועה ותחבורה בע"מ
- ד"ר דורון בלשה
- פרופ' שלום הקרט

צוות המחברים (עד שנת 2019)

- אינג' דותן ריגלר כהן
- (ראש צוות 2017-2019)
- אמי מתום מהנדסים ויועצים בע"מ
- אינג' רן זילברשטיין
- (ראש צוות עד 2017)
- אמי מתום מהנדסים ויועצים בע"מ
- ד"ר שי בסן
- אמי מתום מהנדסים ויועצים בע"מ
- ד"ר יורם בן יעקב
- איתות 80 בע"מ
- אינג' שלמה רודן
- רודן שלמה יעוץ תכנון ופיקוח
- ד"ר דורון בלשה
- פרופ' שלום הקרט
- ד"ר ויקטוריה גיטלמן
- ד"ר דוד זיידל
- ד"ר בני פרישר

ועדת היגוי

החל משנת 2021

- מר שי קדם
- אינג' ברק כראדי
- מנהל אגף בכיר תכנון תחבורתי, משרד התחבורה – יו"ר
- מנהל אגף הנדסת תנועה ומהנדס מחוז ירושלים והדרום, משרד התחבורה – יו"ר (החל משנת 2024)
- מר ישי טלאור
- אינג' יוסי אמגר
- מפע"ת ירושלים והדרום, משרד התחבורה
- אינג' ענת שוקרון
- מפע"ת ת"א והמרכז, משרד התחבורה
- אינג' הראל דמתי
- מהנדסת מחוז ת"א והמרכז, משרד התחבורה
- אינג' טלאל חסן
- מפע"ת חיפה והצפון, משרד התחבורה
- אינג' סאוסן מיערי
- מהנדס מחוז הצפון, משרד התחבורה
- אינג' קובי ברטוב
- מהנדסת תנועה במחוז ירושלים והדרום, משרד התחבורה
- אינג' חן כהן
- מהנדס תנועה ראשי, נתיבי ישראל
- אינג' חננאל משעלי
- מנהלת אגף רשות תמרור, נ.ת.ע.
- ד"ר אדי בנדיט
- מנהל מחלקת רמזורים, נ.ת.ע.
- אינג' ניר אייל
- מנהל תחום בכיר לתכנון, חטיבת הרק"ל, חוצה ישראל
- אינג' ליאור מימון
- מהנדס רמזורים וניהול תנועה, נתיבי איילון
- אינג' איריס ערד
- סמנכ"לית הנדסה, צתא"ל ירושלים
- אינג' ג'וש ג'ייקובס
- מנהל מחלקת תנועה, צתא"ל ירושלים
- אינג' אלכס גרשמן
- רכז רמזורים כלל אזורי, אגף תנועה – עיריית ת"א
- אינג' ענת גלעד
- מנהלת אגף ניהול בקרת תנועה וטכנולוגיה, עיריית חיפה
- אינג' טופז פלד
- מהנדסת ראשית, רשות לאומית לבטיחות בדרכים (רלב"ד)
- אינג' שלמה לוז
- ראש מדור הנדסת תנועה ותשתיות, משטרת ישראל
- אינג' אנטולי מדניקוב
- מהנדס תנועה ארצי, אגף התנועה, משטרת ישראל
- אינג' יובל בלום
- יועץ משרד התחבורה
- ד"ר נחום פוספלד
- יועץ משרד התחבורה
- ד"ר יורם בן יעקב
- יועץ משרד התחבורה
- אינג' רן בר-טל
- בר-טל הנדסה בע"מ
- אינג' יעקב שצ'ופק
- נתן תומר הנדסה בע"מ
- אינג' אילן דמרי
- מנהל אגף תנועה, ינון תכנון יעוץ ומחקר בע"מ

עד שנת 2019

מנהל אגף בכיר תכנון תחבורתי, משרד התחבורה – יו"ר (עד 2011)	-	אינג' ישעיהו רונן
מנהלת אגף בכיר תכנון תחבורתי, משרד התחבורה – יו"ר (עד 2019)	-	אינג' עירית שפרבר
מפע"ת מחוז ירושלים והדרום, מת"ח	-	מר ישי טלאור
מפע"ת מחוז חיפה והצפון, מת"ח	-	אינג' הראל דמתי
מפע"ת מחוז ת"א והמרכז, מת"ח	-	אינג' יעקב פרלשטין
מהנדסת מחוז תל אביב והמרכז, מת"ח	-	אינג' טופז פלד
רכז בכיר הנדסת תנועה, מחוז ירושלים והדרום, מת"ח	-	אינג' טלאל חסן
מנהלת אגף א' הנדסת תנועה, מת"ח	-	אינג' חן כהן
מהנדסת ראשית, הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים	-	אינג' מאריה כהן-אתגר
מהנדס תנועה ראשי, חברת נתיבי ישראל	-	אינג' נחלה שאקר
מנהל אגף תנועה, עיריית תל אביב-יפו	-	אינג' שלמה פלדמן
מנהלת מרכז בקרת תנועה, עיריית תל אביב-יפו	-	אינג' עדה שוורץ
מנהלת אגף דרכים והסדרי תנועה, רכבת ישראל	-	אינג' נטלי כץ
מנהלת מרכז ניהול תנועה מטרופולין חיפה, עיריית חיפה	-	אינג' ענת גלעד
מנהל האגף לתכנון תנועה, דרכים ונוף, עיריית חיפה	-	אינג' יואב דנציגר
יועץ הנדסת אנוש, חב' ארגו	-	ד"ר נחום פוספלד
צוות פיתוח "ענבר" המכון לחקר התחבורה, הטכניון	-	ד"ר איילת גלצור
יואב זקס הנדסה, יועץ למשרד התחבורה	-	אינג' יואב זקס
יועץ הנדסת תנועה	-	אינג' פנחס בן-שאול
יועץ הנדסת תנועה	-	אינג' עמי בלום
נתן תומר הנדסה בע"מ	-	אינג' יעקב שצ'ופק
איתות 80 בע"מ	-	אינג' טלי לוי
דגש הנדסה בע"מ	-	אינג' חורחה פקטור
יועץ משרד התחבורה	-	ד"ר דן לינק ז"ל
מרכז הוועדה	-	אינג' יובל בלום

צוות המחברים מודה לאינג' יובל בלום, מר שמואל צירקל, אדר' יונתן לבנדיגר, אינג' אלכס גרשמן, אינג' חננאל משעלי, אינג' עדי רותם-ברמן, אינג' עומר צור על תרומתם לגיבוש וכתיבת ההנחיות.

"אך בכל הדרכים מעולם לא אבדה לי דרכנו" יענקלה רוטבליט, יהודה פוליקר

כ"ח בסיון תשפ"ה
 24 ביוני 2025
 סימוכין: 4000-0607-2024-0002127

הנדון: הנחיות לתכנון רמזורים

הרמזור הוא אמצעי בקרה גמיש ויעיל לשיפור זרימת התנועה ולהגדלת רמת הבטיחות באמצעות הפרדה בזמן בין תנועות נוגדות.

הרמזור מותקן בעיקר בצמתים, שם עיקר תרומתו, אך גם במעברי חציה בקטעי דרך, לפני מפגשי מסילת ברזל, ובמקומות בהם נדרש פתרון זמני כגון אתרי עבודה.

מאז שפורסמו ההנחיות הקודמות לתכנון רמזורים (משרד התחבורה, 1981), נוצר ונצבר ניסיון משמעותי בתכנון רמזורים, בנוסף לחידושים מקצועיים רבים בתחומי שיטות התכנון והבדיקה, היבטים תפעוליים ובטיחותיים, יכולות טכנולוגיות, ניטור, חישה ובקרת תנועה, תקשורת בין צמתים, חומרה ותוכנה.

בנוסף, בשנים האחרונות התפתחה המדיניות התכנונית לכיוון של העדפת משתמשים אחרים על פני הרכב הפרטי – הולכי רגל, רוכבי אופניים ואמצעי התחבורה הציבורית, מדיניות שיש לה השלכות רבות גם על תכנון הרמזורים. יתר על כן, במסגרת תכנון פרויקטי תחבורה ציבורית רחבי היקף (רק"ל, תאו"ם), משמש הרמזור כאמצעי יעיל להעדפה לתחבורה ציבורית, לצורך קיצור זמן הנסיעה והגדלת האמינות.

ההנחיות שלפניכם נכתבו בעקבות ולאור שינויים אלה, ומפרטים את המשמעות שלהם בתכנון ואת הדרך ליישם משמעות זו. ההנחיות לתכנון רמזורים נועדו לתת מענה למתכנן ולרשויות בנוגע לכלל הצרכים והפתרונות התנועתיים הנדרשים בעת תכנון הסדרים הכוללים רמזור. בנוסף, לאור הצפי בהמשך התפתחות הטכנולוגיה, הוטמעה בהנחיות גמישות שתאפשר אימוץ אמצעים חדשים שיאפשרו לשימוש, ללא צורך לכתוב הנחיות חדשות.

הכנת ההנחיות בוצעה ע"י צוות נרחב שכלל מתכננים בעלי ניסיון עשיר בתכנון הסדרי תנועה מרומזרים מורכבים. העבודה לוותה ע"י ועדת היגוי נרחבת. ההנחיות מבוססות כאמור על שילוב הידע התיאורטי והניסיון הרב שנצבר בארץ עם ניסיונם של אחרים, כפי שהוא משתקף בהנחיות ממדינות שונות. ברצוני להודות לצוות המחברים ולחברי ועדת ההיגוי על המאמץ הרב שהשקיעו בליווי ההנחיות, ואני משוכנע שהנחיות אלו יהיו לתועלת רבה.

בכבוד רב,

 ולדימיר סימון
 תמפקח הארצי על התעבורה



תוכן עניינים

פרק 1: מבוא ועקרונות לתכנון רמזורים	1-1
1.1 פתח דבר	1-1
1.2 מטרות הרמזור	1-2
1.3 היבטי בטיחות בצומת מרומזר	1-3
1.3.1 השפעת רימזור צומת ומאפייניו על תאונות דרכים	1-3
1.3.2 אזורי החלטה בגישה לצומת מרומזר	1-3
1.3.3 הקטנת רמת הסיכון באינטראקציות בין משתמשי דרך שונים בצומת	1-5
1.4 מדרג משתמשי הדרך בתכנון הרמזור	1-5
1.5 שיטות תכנון והפעלה	1-6
1.5.1 הפרדה בין תנועות נוגדות ואפשרויות הפניות שמאלה	1-6
1.5.2 פניות ימינה	1-7
1.6 תהליך התכנון	1-8
1.6.1 תהליך תכנון צומת מרומזר ללא העדפה לתחבורה ציבורית	1-8
1.6.2 תהליך תכנון צומת מרומזר עם העדפה לתחבורה ציבורית	1-9
1.7 חידושים בהנחיות	1-10
1.8 התאמה להגדרות חוקיות, וניסוחים משלימים	1-12
1.9 מבנה ההנחיות ותכולת הפרקים	1-13
1.10 תחולת ההנחיות	1-14
1.11 הגדרות ומושגים מקצועיים	1-14
פרק 2: הצדקים להצבת רמזור	2-1
2.1 מטרות ההצדקים להצבת רמזור	2-1
2.2 הצדקים להצבת רמזור המבוססים על נפחי תנועה	2-1
2.2.1 הצדק בצומת בין-עירוני	2-2
2.2.2 הצדק בצומת עירוני	2-2
2.3 הצדקים להצבת רמזור עקב חציית הולכי-רגל ורוכבי אופניים	2-4
2.3.1 הצדק להצבת רמזור לפי מספר הולכי-רגל ורוכבי אופניים	2-4
2.3.2 הצדק להצבת רמזור לפי אורך מעבר החצייה	2-6
2.3.3 הצדק להצבת רמזור במעבר חצייה בקטע דרך עירונית	2-7
2.4 הצדקים להצבת רמזור בצירי תצ"ם	2-7
2.4.1 הצדק להצבת רמזור בצומת הנחצה על ידי מסילת רק"ל/מסלול תאו"ם/אוטובוסים במת"צ	2-7
2.4.2 הצדק להצבת רמזור במעבר חצייה בקטע דרך	2-7
2.4.3 הצדק להצבת רמזור בסמוך לתחנת תצ"ם	2-8
2.4.4 הצדק להצבת רמזור על פי נתוני תאונות דרכים	2-9

2-9.....	הפחתות להצדקים להצבת רמזור.....	2.5
2-9.....	2.5.1 הפחתה על פי נתוני תאונות דרכים	
2-9.....	2.5.2 הפחתה עקב תכנית רמזור דו-שלבית	
2-9.....	2.5.3 הפחתה עקב מערכת רמזורים בגל ירוק	
2-10.....	2.5.4 הפחתה עקב שיקולים גיאומטריים	
2-10.....	2.5.5 הפחתה עקב ביטול פניות שמאלה בצמתים סמוכים.....	
2-10.....	2.5.6 הפחתה עקב חיבור למרכז בקרה	
2-10.....	2.6 הצדק לביטול רמזור קיים.....	
2-10.....	2.7 סיכום הצדקים להצבת רמזור	
3-1.....	פרק 3: הסדר הנדסי ורימזור	
3-1.....	3.1 כללי	
3-3.....	3.2 עקרונות להצבת ראשי רמזור	
3-3.....	3.3 אופן הצבת רמזורים לכלי-רכב	
3-3.....	3.3.1 סוג ראשי הרמזור	
3-4.....	3.3.2 עקרונות כלליים	
3-5.....	3.3.3 הרמזור הקרוב	
3-6.....	3.3.4 הרמזור החוזר	
3-9.....	3.3.5 פנייה ימינה עם אי תנועה משולש.....	
3-9.....	3.3.6 פנייה ימינה מרומזרת משותפת לרכב ולהולכי-רגל / רוכבי אופניים	
3-12.....	3.3.7 עקרונות לביטול ראש הרמזור החוזר – הנחיות להצבת ראשי הרמזור	
3-13.....	3.4 אופן הצבת רמזורים להולכי-רגל.....	
3-14.....	3.5 עקרונות לתכנון ולהצבת רמזורים לאופניים	
3-14.....	3.5.1 כללי	
3-15.....	3.5.2 סוג ראשי הרמזור	
3-16.....	3.5.3 רמת הפרדה א' (תנועה משותפת לאופניים ולרכב מנועי).....	
3-16.....	3.5.4 רמת הפרדה ב' (נתיב אופניים).....	
3-17.....	3.5.5 רמת הפרדה ג' (שביל אופניים)	
3-21.....	3.5.6 פנייה ימינה מרומזרת משותפת לרכב מנועי ולרוכבי אופניים החוצים את הפנייה	
3-22.....	3.5.7 פנייה ימינה חופשית (לא מרומזרת)	
3-23.....	3.5.8 תא-אופן בצומת מרומזר.....	
3-30.....	3.6 אופן הצבת רמזורים לתחבורה ציבורית מועדפת (תצ"ם)	
3-30.....	3.6.1 ראשי הרמזור לתחבורה ציבורית מועדפת	
3-31.....	3.6.2 עקרונות להצבת ראשי רמזור לתצ"ם	
3-31.....	3.6.3 עקרונות להצבת ראשי רמזור לתנועת רכבת קלה (רק"ל)	
3-33.....	3.6.4 עקרונות להצבת ראשי רמזור לתנועת תאו"ם או אוטובוסים במופע תצ"ם	
3-34.....	3.6.5 עקרונות להצבת ראשי רמזור לתנועה מעורבת	

3-34.....	התקן שמע אחד, לחצני דרישה להולכי-רגל ולרוכבי אופניים	3.7
3-34.....	התקן שמע אחד ולחצן דרישה להולכי-רגל	3.7.1
3-35.....	לחצן דרישה לרוכבי אופניים במופע משותף עם הולכי-רגל	3.7.2
3-35.....	לחצן דרישה לרוכבי אופניים במופע נפרד	3.7.3
3-35.....	תמרור ס-11	3.7.4
3-36.....	בקר הרמזור	3.8
4-1.....	פרק 4: תכנון מוקדם של תוכנית הזמנים	
4-1.....	עקרונות התכנון המוקדם	4.1
4-1.....	מטרות התכנון המוקדם	4.1.1
4-2.....	שיקולים בקביעת מאפייני התכנון המוקדם	4.1.2
4-3.....	איסוף נתונים	4.1.3
4-4.....	מרכיבים בתוכנית הרמזור	4.2
4-4.....	סימון מופעים	4.2.1
4-7.....	סימון גלאים	4.2.2
4-7.....	סימון לחצני הולכי-רגל / אופניים	4.2.3
4-7.....	סימון שלבים	4.2.4
4-8.....	ירוק מזערי	4.3
4-8.....	חישוב משך ירוק מזערי לכלי-רכב	4.3.1
4-9.....	חישוב משך ירוק מזערי להולכי-רגל	4.3.2
4-9.....	חישוב משך ירוק מזערי לאופניים	4.3.3
4-9.....	חישוב משך ירוק מזערי לתצ"ם	4.3.4
4-9.....	מדדי ביצוע בצומת מרומזר	4.4
4-10.....	יחס נפח-קיבולת	4.4.1
4-10.....	זמן עיכוב	4.4.2
4-11.....	ההסתברות למעבר במחזור	4.4.3
4-12.....	אורך התור	4.4.4
4-12.....	מספר עצירות	4.4.5
4-13.....	בחינה מקדמית – יחס נפח קובע / קיבולת	4.5
4-13.....	עקרונות	4.5.1
4-13.....	הנפח הקובע	4.5.2
4-15.....	קיבולת הצומת	4.5.3
4-17.....	חישוב יחס נפח/קיבולת ורמת-שירות מקדמית – LOF	4.5.4
4-18.....	בחינה תפעולית – ניתוח רמת-שירות	4.6
4-18.....	ניתוח רמת-שירות על פי חישוב זמן מחזור וחלוקה ראשונית של זמן הירוק	4.6.1
4-21.....	ניתוח רמת-השירות על פי מדריך HCM	4.6.2
4-24.....	חישוב מדדי ביצוע לצומת המרומזר באמצעות מודל סימולציה מיקרוסקופית	4.6.3
4-25.....	חישוב אורך האחסנה	4.6.4
4-28.....	תוצרי התכנון המוקדם	4.7

4-28.....	תכנון מוקדם לצומת מרומזר הכולל העדפה לתחבורה ציבורית	4.8
4-28.....	4.8.1 מדיניות תכנון רמזורי העדפה לתחבורה ציבורית	
4-30.....	4.8.2 אסטרטגיות העדפה	
4-34.....	4.8.3 התכנון המערכתי	
4-36.....	4.8.4 בחינה מקדמית של צומת הכולל העדפה לתחבורה ציבורית	
4-37.....	4.8.5 תכנון מוקדם לצומת עם העדפה	
4-39.....	4.9 נספחים	4.9
4-39.....	4.9.1 דוגמה 1: בחינה מקדמית – צומת ללא מופעי הולכי-רגל	
4-45.....	4.9.2 דוגמה 2: בחינה מקדמית – צומת עם מופעי הולכי-רגל	
4-48.....	4.9.3 דוגמה 3: בחינה תפעולית – צומת עם מופעי הולכי-רגל	
4-50.....	4.9.4 דוגמה 4: בחינה מקדמית – צומת עם העדפה לרק"ל	
5-1.....	פרק 5: זמנים בין-ירוקים	
5-1.....	5.1 כללי	
5-2.....	5.2 מתודולוגיית חישוב זמנים בין-ירוקים לצמתים	
5-3.....	5.3 פרמטרים לחישוב זמנים בין-ירוקים	
5-3.....	5.3.1 מהירויות כניסה ופינוי של רכב מנועי	
5-4.....	5.3.2 מהירות פינוי הולך-רגל	
5-4.....	5.3.3 מהירויות כניסה ופינוי של אופניים	
5-5.....	5.3.4 מהירויות כניסה ופינוי של רק"ל	
5-6.....	5.3.5 אורך הרכב המפנה	
5-6.....	5.3.6 תאוצת ותאוצת כלי-רכב	
5-6.....	5.3.7 תאוצת ותאוצת אופניים	
5-6.....	5.3.8 תאוצת ותאוצת רק"ל	
5-6.....	5.3.9 זמן תגובה	
5-7.....	5.4 מדידת מרחקי פינוי וכניסה	
5-7.....	5.4.1 קביעת נקודות הניגוד בין תנועות נוגדות בצומת	
5-7.....	5.4.2 רכב מפנה – רכב נכנס, מרחקי פינוי וכניסה	
	5.4.3 רכב מפנה – הולך-רגל (או ה"ר ואופניים במופע משותף) נכנס,	
5-10.....	מרחקי פינוי וכניסה	
	5.4.4 הולך-רגל (או ה"ר ואופניים במופע משותף) מפנה – רכב נכנס,	
5-10.....	מרחקי פינוי וכניסה	
5-12.....	5.4.5 מרחקי פינוי וכניסה עבור אופניים	
5-13.....	5.4.6 מרחקי פינוי וכניסה עבור רק"ל	
5-14.....	5.5 חישוב משך פינוי וכניסה	
5-14.....	5.5.1 משך הפינוי לכלי-הרכב המפנה	
5-17.....	5.5.2 משך הכניסה לכלי-הרכב הנכנס	
5-18.....	5.5.3 משך הפינוי להולך-רגל	
5-18.....	5.5.4 משך הכניסה להולך-רגל	

5-18.....	משך הפינוי לאופניים.....	5.5.5
5-21.....	משך הכניסה לאופניים.....	5.5.6
5-22.....	משך הפינוי לרכבת קלה (רק"ל).....	5.5.7
5-25.....	משך הכניסה לרכבת קלה (רק"ל).....	5.5.8
5-26.....	חישוב זמן בין-ירוקים סופי.....	5.6
5-26.....	זמן בין-ירוקים סופי בין רכב מפנה לבין רכב נכנס.....	5.6.1
5-26.....	זמן בין-ירוקים סופי בין רכב מפנה לבין הולך-רגל נכנס.....	5.6.2
5-27.....	זמן בין-ירוקים סופי בין הולך-רגל מפנה לבין רכב נכנס.....	5.6.3
5-27.....	יישום מטריצת בין-ירוקים.....	5.7
6-1.....	פרק 6: תוכנית הזמנים.....	
6-1.....	כללי – מבנה תוכנית הזמנים.....	6.1
6-1.....	תכנון לפי שלבים.....	6.1.1
6-1.....	תכנון לפי מופעים.....	6.1.2
6-1.....	תוכניות קבועות זמן.....	6.1.3
6-1.....	תוכניות מופעלות תנועה.....	6.1.4
6-2.....	הגדרת מופעי הרמזור השונים – סדר ומשך האותות.....	6.2
6-2.....	מופע רכב.....	6.2.1
6-2.....	מופע הולך-רגל.....	6.2.2
6-2.....	מופע אופניים.....	6.2.3
6-3.....	מופע תצ"ם (רק"ל, תאו"ם).....	6.2.4
6-3.....	מופע מקדים לרק"ל.....	6.2.5
6-4.....	מופע צהוב מהבהב.....	6.2.6
6-6.....	קביעת שלבי הרמזור והסדר שלהם.....	6.3
6-6.....	קיבוץ מופעים לשלבים.....	6.3.1
6-6.....	נפח קובע זמנים לא מנוצלים.....	6.3.2
6-7.....	אורך אחסנה.....	6.3.3
6-7.....	רצף מופעים.....	6.3.4
6-7.....	תזמון הגל הירוק.....	6.3.5
6-7.....	צמתים קרובים.....	6.3.6
6-8.....	חצייה של מספר מסלולים על ידי הולכי-רגל.....	6.3.7
6-11.....	תנועת אופניים.....	6.3.8
6-11.....	לוגיקת תוכנית הרמזור.....	6.4
6-11.....	כללי.....	6.4.1
6-11.....	אלמנטים בלוגיקה.....	6.4.2
6-13.....	עקרונות כתיבת הלוגיקה.....	6.4.3
6-14.....	שיטות נפוצות להצגת לוגיקה.....	6.4.4
6-17.....	מצבי המעבר בין שלבים.....	6.5
6-17.....	הגדרה.....	6.5.1

6-17.....	אופן החישוב של מצבי המעבר	6.5.2	
6-19.....	שלבים חלקיים ומצבי מעבר מקביליים	6.5.3	
6-22.....	פריסת מצבי שלד	6.6	
6-22.....	הגדרה	6.6.1	
6-22.....	עקרונות פריסת מצבי שלד	6.6.2	
6-24.....	נקודות החלטה	6.6.3	
6-25.....	פריסות מינימום	6.7	
6-25.....	עקרונות ומטרות פריסות המינימום	6.7.1	
6-26.....	מינימום ירוק לשלבים	6.7.2	
6-26.....	פריסות מקסימום	6.8	
6-26.....	הגדרה	6.8.1	
6-26.....	קביעת זמן מחזור	6.8.2	
6-28.....	חלוקת ירוק למופעים	6.8.3	
6-29.....	הצגת פריסות המקסימום	6.8.4	
6-30.....	תוכניות הפעלה	6.8.5	
6-32.....	פרמטרים	6.9	
6-33.....	תוכניות מיוחדות	6.10	
6-33.....	תוכנית כניסה לפעולה	6.10.1	
6-34.....	תוכנית יציאה מפעולה	6.10.2	
6-34.....	תפעול ידני (תוכנית שוטר)	6.10.3	
6-35.....	חוברת תוכנית הזמנים	6.11	
6-36.....	תכנון מפורט לרמזור הכולל העדפה לתחבורה ציבורית	6.12	
6-36.....	מרכיבי התכנון	6.12.1	
6-37.....	מסמך הלקסיקון	6.12.2	
6-37.....	סוגיות עיקריות בתכנון תוכנית הזמנים של הרמזור	6.12.3	
6-42.....	בדיקת התכנון	6.12.4	
6-43.....	חוברת תוכנית הזמנים	6.12.5	
6-43.....	עמיד תכנון תוכניות הרמזור	6.13	
7-1.....	פרק 7: תיאום בין אותות (גל ירוק)		
7-1.....	רקע ומטרות הגל הירוק	7.1	
7-2.....	מושגי יסוד בגל ירוק	7.2	
7-2.....	דיאגרמת זמן-מרחק (Time-Space Diagram)	7.2.1	
7-2.....	מהירות הייעוד לתכנון הגל הירוק	7.2.2	
7-3.....	רוחב הפס	7.2.3	
7-3.....	צומת שולט (מאסטר)	7.2.4	
7-3.....	היסט (offset)	7.2.5	
7-4.....	"חבורות" (שיירות) של כלי רכב (Platoons)	7.2.6	
7-4.....	שיקולים לבחינת הצדק לתיאום צמתים בגל ירוק	7.3	

7-4.....	מאפייני תוכנית הזמנים ונפחי התנועה	7.3.1	
7-5.....	מרחק בין צמתים	7.3.2	
7-5.....	אורך האחסנה	7.3.3	
7-6.....	זמני עיכוב להולכי-רגל ורוכבי אופניים	7.3.4	
7-6.....	התאמה לתחבורה ציבורית	7.3.5	
7-6.....	נפחי תנועה ומקדם תועלת התיאום	7.3.6	
7-8.....	סוגי תיאום גל ירוק		7.4
7-8.....	תיאום גל ירוק דו-כיווני	7.4.1	
7-9.....	תיאום גל ירוק חד-כיווני	7.4.2	
7-9.....	תיאום גל ירוק לפי מועד תחילת האות הירוק	7.4.3	
7-10.....	תיאום גל ירוק לפי מועד סיום האות הירוק	7.4.4	
7-10.....	תיאום גל ירוק בקטעים	7.4.5	
7-11.....	תפעול גל ירוק בין צמתים סמוכים	7.4.6	
7-11.....	שיטות תיאום גל ירוק		7.5
7-11.....	תיאום צמתים בגל ירוק עם משך מחזור קבוע	7.5.1	
7-12.....	תיאום צמתים ב"גל ירוק נושם"	7.5.2	
7-14.....	גל ירוק בפרוייקטי העדפה לתצ"ם		7.6
7-14.....	עקרונות העדפה	7.6.1	
7-15.....	העדפה לתצ"ם במסגרת גל ירוק עם משך מחזור קבוע	7.6.2	
7-15.....	העדפה לתצ"ם במסגרת "גל ירוק נושם"	7.6.3	
7-16.....	מידע בין צמתים המתואמים בגל ירוק וטיפול בתקלות		7.7
7-17.....	תהליך תכנון גל הירוק		7.8
8-1.....	פרק 8: גלאים		
8-1.....	רקע ומטרות		8.1
8-2.....	שימושים אופייניים בגלאים		8.2
8-2.....	גלאי דרישה (רכב מנועי)	8.2.1	
8-2.....	גלאי הארכה (רכב מנועי)	8.2.2	
8-2.....	גלאי תור (רכב מנועי)	8.2.3	
8-2.....	לחצן להולכי-רגל/ רוכב אופניים	8.2.4	
8-2.....	גלאי העדפה	8.2.5	
8-3.....	יישום באמצעות גלאים המבוססים על לולאות אלקטרומגנטיות		8.3
8-3.....	כללי	8.3.1	
8-3.....	הצורה והמימדים של לולאות אלקטרומגנטיות	8.3.2	
8-4.....	גלאי דרישה לכלי-רכב (Dx)	8.3.3	
8-6.....	גלאי הארכה לכלי-רכב (Ex)	8.3.4	
8-17.....	גלאי תור	8.3.5	
8-19.....	לחצני דרישה להולכי-רגל / אופניים		8.4
8-19.....	לחצן דרישה להולכי-רגל	8.4.1	

8-20.....	לחצן דרישה לאופניים במופע משותף עם הולך רגל	8.4.2
8-21.....	לחצן דרישה לאופניים במופע נפרד	8.4.3
8-21.....	גלאי העדפה	8.5
8-21.....	תפקידים של גלאי העדפה השונים	8.5.1
8-23.....	דוגמא – גלאי הארכה	8.6
8-23.....	כיסוי אזור גילוי באמצעות מספר לולאות (שיטה 1)	8.6.1
8-24.....	כיסוי אזור גילוי באמצעות לולאה קצרה ויחידת הארכה ארוכה (שיטה 2)	8.6.2

פרק 9: רמזורים מיוחדים.....9-1

9-1.....	מבוא	9.1
9-1.....	רמזור מקדים למפגש מסילת ברזל	9.2
9-1.....	רקע	9.2.1
9-2.....	עקרונות תכנון רמזור מקדים	9.2.2
9-9.....	רמזור נייד לקטע דרך	9.3
9-9.....	רקע	9.3.1
9-10.....	התנאים הנדרשים להסדרי התנועה השונים בקטע דרך בעבודות	9.3.2
9-11.....	מיקום הרמזורים הניידים ותימרון נלווה	9.3.3
9-12.....	אופן ההתקנה: עמודים, פנסים	9.3.4
9-12.....	שיטת ההפעלה	9.3.5
9-13.....	תיכנון הזמנים	9.3.6
9-14.....	חישוב זמן בין-ירוקים עבור רמזור נייד בקטע דרך	9.3.7
9-15.....	תקלות	9.3.8
9-15.....	דוגמה לרמזור נייד קצוב-זמן בקטע דרך	9.3.9
9-16.....	רימזור צמתים בשדרה	9.4
9-16.....	רקע	9.4.1
9-17.....	איפיון מצבים בחציית שדרה והמלצות	9.4.2

פרק 10: תצורות מורכבות של צמתים מרומזרים.....10-1

10-1.....	מבוא	10.1
10-1.....	תצורות מיוחדות של צמתים מרומזרים	10.2
10-1.....	רקע	10.2.1
10-1.....	עקרונות מנחים וקריטריונים לבחינתם	10.2.2
10-2.....	סוגי הצמתים המורכבים	10.2.3
10-17.....	ניתוח תנועת השוואתי	10.2.4
10-17.....	שיקולים להתאמה של כל צומת	10.2.5
10-20.....	סיכום	10.2.6
10-21.....	עקרונות לתכנון צמתים מעגליים מרומזרים	10.3
10-21.....	רקע	10.3.1
10-21.....	הנסיבות בהם מומלץ לשקול צומת מעגלי מרומזר	10.3.2

10-23.....	צומת מעגלי מרומזר בכל הזרועות	10.3.3
10-25.....	רימזור של חלק מהזרועות של צומת מעגלי.....	10.3.4
10-25.....	רימזור מעבר חצייה סמוך למעגל תנועה	10.3.5
10-26.....	סיכום	10.3.6

פרק 11: נהלי בדיקה של תוכניות רמזור

11-1.....	תהליך בדיקת תוכנית רמזור	11.1
11-1.....	שלבי הבקרה התנועתית	11.2
11-1.....	בקרה על תכנון הרמזור	11.2.1
11-1.....	בקרה תנועתית של בקר הרמזור במעבדה	11.2.2
11-2.....	בקרה תנועתית של בקר הרמזור בשטח.....	11.2.3

נספח: שינויים נדרשים בהנחיות הכפופים לעדכון לוח התמרורים

והתקנות וההנחיות להצבת תמרורים

1-נ.....	כללי	1.נ
1-נ.....	מופע רכב – ביטול אות אדום וצהוב יחד	2.נ
1-נ.....	מופע הולך רגל – הוספת אדום מהבהב בסיום האות הירוק.....	3.נ
3-נ.....	מופע תצ"ם – ביטול אות לבן מלבני אופקי ולבן עגול יחד	4.נ
3-נ.....	תמרור 439 + צהוב מהבהב – התראה מוקדמת בהתקרבות לרמזור.....	5.נ
4-נ.....	רמזור שני פנסים למופע רכב (תמרורים 730,731)	6.נ
4-נ.....	6.1.נ סוג ראש הרמזור	
5-נ.....	6.2.נ סדר ומשך אותות.....	
5-נ.....	6.3.נ זמנים בין-ירוקים.....	
5-נ.....	6.4.נ תוכנית כניסה לפעולה.....	
6-נ.....	6.5.נ יישומים לרמזור שני פנסים במעגלי תנועה.....	

רשימת תרשימים

- תרשים 1.1: אזורי החלטה בגישה לצומת מרומזר.....1-4
- תרשים 2.1: הצדק להצבת רמזור בצמתים בין-עירוניים על פי 8 השעות העמוסות ו-4 השעות העמוסות.....2-3
- תרשים 2.2: הצדק להצבת רמזור בצמתים עירוניים על פי 8 השעות העמוסות ו-4 השעות העמוסות.....2-3
- תרשים 2.3: דוגמאות למעברי חצייה בקטע דרך בהם ניתן לשקול שלא לרמזר את מסלול הרכב הכללי.....2-8
- תרשים 3.1: דוגמא לתוכנית "הסדר הנדסי ורימזור" (לא בקנ"מ, ללא סטריפ).....3-2
- תרשים 3.2: סוגי ראשי רמזור לכלי-רכב וגובה הצבתם.....3-4
- תרשים 3.3: מיקום ראשי רמזור קרובים לכלי-רכב על עמוד יחיד עבור מופעים שונים מאותו כיוון התקרבות (W – רוחב נתיב).....3-6
- תרשים 3.4: מרחק אופקי מזערי להצבת עמוד רמזור קרוב או חוזר מקו העצירה בהתאם למספר הנתיבים.....3-7
- תרשים 3.5: מרחק מזערי להצבת עמוד רמזור קרוב או חוזר מקו העצירה בהתאם לגובה הרמזור.....3-8
- תרשים 3.6: הצבת ראשי רמזור לרכב בפנייה ימינה עם אי תנועה משולש.....3-10
- תרשים 3.7: דוגמאות להצבת ראשי רמזור לרכב בפנייה ימינה משותפת לרכב ולהולכי-רגל / רוכבי אופניים.....3-11
- תרשים 3.8: מיקום ראש הרמזור ללא רמזור חוזר (סכימתי).....3-13
- תרשים 3.9: ראש רמזור להולכי-רגל וגובה הצבתו.....3-13
- תרשים 3.10: דוגמה להצבת ראשי רמזור להולכי-רגל בצומת מרומזר.....3-14
- תרשים 3.11: סוגי ראשי רמזור לתנועת אופניים, וגובה הצבתם.....3-15
- תרשים 3.12: תנועת אופניים ברמת הפרדה א', תנועת האופניים משותפת עם התנועה המנועית.....3-16
- תרשים 3.13: חציית נתיב אופניים חד-סטרי (רמת הפרדה ב').....3-17
- תרשים 3.14: מיקום ראשי רמזור לאופניים ולהולכי-רגל בחציית אופניים במעבר חצייה מקביל לה"ר.....3-18
- תרשים 3.15: מעבר חצייה לאופניים בתנועה חד-סטריית ובמופע משותף עם הולכי-הרגל; שביל האופניים נכנס לצומת במפלס המיסעה, בליווי קו עצירה.....3-19
- תרשים 3.16: מעבר חצייה לאופניים בתנועה דו-סטריית ובמופע משותף עם הולכי-רגל; שביל האופניים נכנס לצומת במפלס המדרכה.....3-19
- תרשים 3.17: תנועת אופניים חוצה שלא במעבר חצייה, רמת הפרדה ג'.....3-20
- תרשים 3.18: חציית אופניים בחלקו כמופע נפרד ובחלקו במקביל לה"ר.....3-21
- תרשים 3.19: תכנון ירוק משותף לרכב מנועי הפונה ימינה במקביל לחציית הולכי-רגל ואופניים.....3-22

3:20	תרשים	חצייה לא מרומזרת של אופניים והולכי-רגל לאי משולש,
3-23	.....	עם הסטת תוואי שביל האופניים
3:21	תרשים	יישום תא-אופן אחורי ליצירת קדימות לרוכבי אופניים בחציית
3-25	.....	הצומת ברמת הפרדה א'; כיווניות נסיעה זהה לאופניים ולשאר כלי-הרכב
3:22	תרשים	פנייה שמאלה מנתיב אופניים חד-סטרי באמצעות תא-אופן אחורי;
3-25	.....	סימון תא-אופן בשני הכיוונים הראשיים על-פני נתיב נסיעה יחיד
3:23	תרשים	פנייה שמאלה מנתיב אופניים חד-סטרי באמצעות תא-אופן אחורי;
3-26	.....	סימון תא-אופן בשני הכיוונים הראשיים על-פני שני נתיבים
3:24	תרשים	תמרור הנחיה/הוראה לגישה אל תא-אופן אחורי
3-26	.....	סימון חץ המורה לרוכב את מהלך הרכיבה בכניסה לתא-אופן קדמי
3-27	.....	לפנייה שמאלה
3:26	תרשים	פנייה שמאלה משביל אופניים חד-סטרי באמצעות תא-אופן קדמי
3-28	.....	תמרור הנחיה/ הוראה לרוכב לכניסה לתא-אופן קדמי לצורך פנייה שמאלה
3-28	תרשים	פנייה שמאלה משביל אופניים דו-סטרי באמצעות תא-אופן קדמי
3-29	.....	פנייה שמאלה משביל אופניים חד-סטרי באמצעות תא-אופן קדמי;
3:29	תרשים	סימון תא-אופן על-פני נתיב אחד מתוך שניים מאותה הגישה
3-29	.....	ראשי רמזור לתצ"ם בהוראת 'התקדם' לפי כיוון הנסיעה
3-30	.....	כל ראש רמזור מופעל ע"פ המופע אליו משויך
3:31	תרשים	רמזור מקדים לרק"ל
3-31	.....	הצבת ראשי רמזור לתצ"ם
3:32	תרשים	הצבת ראשי רמזור לתצ"ם
3-32	.....	הצבת ראשי רמזור לתצ"ם במצב של פיצול נסיעה
3-32	.....	ליותר מכיוון אחד מאותה מסילה
3:34	תרשים	הצבת ראש רמזור לתצ"ם עבור מופע משותף למספר תנועות מאותו נתיב
3-33	.....	הצבת ראש רמזור לתצ"ם עבור מופעים שונים לתנועות שונות
3-33	.....	הצבת ראש רמזור לתנועה מעורבת במסלול תצ"ם
3-34	.....	מיקום לחצנים למעבר חצייה עם ובלי חציית אופניים במופע משותף
3-36	.....	תרשים
4:1	תרשים	דוגמה לסימון מופעים, גלאים ולחצנים בצומת מרומזר
4-6	.....	זמן המחזור המיטבי C כתלות בנפח הקובע Vcr ובזמן לא-מנוצל k
4-20	.....	תרשים
4:3	תרשים	המצבים האפשריים בנתיבי המתנה לפניות בצמתים מרומזרים
4-26	.....	תרשים
4:4	תרשים	גרף לחישוב ההסתברות לאורך התור בנתיב נבדק
4-27	.....	תרשים
4:5	תרשים	הארכת ירוק למופע תצ"ם
4-32	.....	תרשים
4:6	תרשים	הקדמת ירוק למופע תצ"ם
4-33	.....	תרשים
4:7	תרשים	הכנסת שלב מיוחד למופע תצ"ם
4-33	.....	תרשים
4:8	תרשים	החלפת סדר השלבים
4-34	.....	תרשים
4:9	תרשים	סיכום העדפה פאסיבית לעומת העדפה אקטיבית
4-34	.....	תרשים
4:10	תרשים	דוגמה לאופן הגדרת התפעול של צמתים לאורך ציר התצ"ם
4-36	.....	תרשים
4:11	תרשים	תרשים גרפי להצגת תכנון מוקדם לרמזור עם העדפה לתחבורה ציבורית
4-39	.....	תרשים

5-8.....	מדידת מרחקים בין רכב מפנה לרכב נכנס – דוגמה א'	תרשים 5.1:
5-9.....	מדידת מרחקים בין רכב מפנה לרכב נכנס – דוגמה ב'	תרשים 5.2:
5-9.....	מדידת מרחקים בין רכב מפנה לרכב נכנס – דוגמה ג'	תרשים 5.3:
5-10.....	מדידת מרחקים בין רכב מפנה להולך-רגל/אופניים נכנס	תרשים 5.4:
5-11.....	מדידת מרחקים בין הולך-רגל/אופניים מפנה לרכב נכנס	תרשים 5.5:
5-12.....	מדידת מרחקים בין אופניים מפנה לרכב נכנס	תרשים 5.6:
5-13.....	מדידת מרחקים בין אופניים (עם תא-אופן) מפנה לרכב נכנס	תרשים 5.7:
5-14.....	מדידת מרחקים בין רק"ל מפנה לרכב נכנס	תרשים 5.8:
5-27.....	דוגמה למטריצת זמנים בין-ירוקים	תרשים 5.9:
6-5.....	מהבהב מותנה – סגירה בהתאם למשך פינוי מעבר החצייה	תרשים 6.1:
6-5.....	מהבהב מותנה – סגירה בחלוף 5 שניות ממועד סגירת מופע הרכב	תרשים 6.2:
6-6.....	מהבהב מותנה – פתיחה וסגירה במקרה של מופע מתמשך	תרשים 6.3:
6-9.....	חציית שני מסלולים ע"י הולכי-רגל	תרשים 6.4:
6-10.....	חציית שלושה מסלולים ע"י הולכי-רגל	תרשים 6.5:
6-15.....	דוגמה לתרשים זרימה סדרתי	תרשים 6.6:
6-16.....	דוגמה לתרשים שלבים ("בועות")	תרשים 6.7:
6-18.....	דוגמה לבניית מצב מעבר בין שלבים על בסיס ערכי הזמנים הבין-ירוקים	תרשים 6.8:
6-18.....	חישוב מצבי המעבר כולל ירוק מזערי למופעים המתחילים	תרשים 6.9:
6-20.....	דוגמה לשימוש במצב מעבר מקבילי	תרשים 6.10:
6-21.....	שלבים חלקיים	תרשים 6.11:
6-21.....	תהליך מעבר מקבילי	תרשים 6.12:
6-23.....	דוגמה לתרשים זרימה סדרתי ופריסות מצבי שלד	תרשים 6.13:
6-25.....	דוגמה לפריסת מצב שלד עם מיקום נקודות החלטה	תרשים 6.14:
6-30.....	דוגמה לתוכנית מקסימום עם סימון בדיקת גלאי הארכה	תרשים 6.15:
6-31.....	תכניות הפעלה לפי נתוני תנועה (סה"כ ית"ן בזרועות כניסה לצומת)	תרשים 6.16:
6-31.....	לוח זמנים להפעלת הרמזור עם שיבוץ תכניות הפעלה שונות במשך היממה	תרשים 6.17:
6-33.....	תוכנית כניסה לפעולה	תרשים 6.18:
6-35.....	דוגמה לתפעול ידני	תרשים 6.19:
	דוגמה טיפוסית של דיאגרמת זמן-מרחק דו-כיוונית מיטבית	תרשים 7.1:
7-2.....	לאורך צמתים מרומזרים	
7-4.....	דיאגרמת זמן-מרחק להצגת תיאום בגל ירוק בשני הסטים שונים	תרשים 7.2:
7-7.....	דוגמה לחישוב מקדם תועלת התיאום בגל ירוק בין שני צמתים	תרשים 7.3:
7-8.....	דיאגרמת זמן-מרחק לתיאום דו-כיווני מיטבי של צמתים בגל ירוק	תרשים 7.4:
7-9.....	דיאגרמת זמן-מרחק לתיאום חד-כיווני לפי מועד תחילת האות הירוק	תרשים 7.5:
7-10.....	דיאגרמת זמן-מרחק לתיאום חד-כיווני לפי מועד סיום האות הירוק	תרשים 7.6:
7-14.....	דוגמה לתיאום בין שני צמתים "בגל ירוק נושם"	תרשים 7.7:
7-15.....	התקדמות תצ"ם לעומת התקדמות כלי רכב הנוסעים במקביל	תרשים 7.8:

8-4.....	לולאות אלקטרומגנטיות אופייניות	תרשים 8.1:
8-5.....	לולאות של גלאי דרישה בגישה עם נתיב אחד	תרשים 8.2:
8-5.....	לולאות של גלאי דרישה בגישה עם שני נתיבים	תרשים 8.3:
8-6.....	לולאות של גלאי דרישה בגישה של שלושה נתיבים	תרשים 8.4:
8-9.....	אורך אזור הגילוי הנדרש ללא יחידת הארכה	תרשים 8.5:
8-9.....	אורך אזור הגילוי הנדרש עם יחידת הארכה	תרשים 8.6:
8-12.....	Δt – משך הזמן בין נקודת ההחלטה והתחלת האות הצהוב	תרשים 8.7:
8-14.....	לולאות גלאי הארכה – נתיב אחד (שיטה 1)	תרשים 8.8:
8-15.....	לולאות גלאי הארכה – שני נתיבים (שיטה 1)	תרשים 8.9:
8-16.....	לולאות גלאי הארכה – שלושה נתיבים (שיטה 1)	תרשים 8.10:
8-17.....	כיסוי אזור הגילוי באמצעות לולאה קצרה ויחידת הארכה (שיטה 2)	תרשים 8.11:
8-18.....	מיקום לולאות גלאי לזיהוי תורים הנוצרים בצומת מרומזר ועלולים לחסום מסילת רכבת	תרשים 8.12:
8-19.....	מיקום גלאי תור לזיהוי תורים הנוצרים מצומת מרומזר ועלולים לחסום כניסה למתקן חיוני	תרשים 8.13:
8-20.....	מיקום לחצני דרישה לחצייה במופע משותף להולכי-רגל ואופניים	תרשים 8.14:
8-24.....	דוגמא למיקום לולאות גלאי הארכה (שיטה 1)	תרשים 8.15:
8-25.....	דוגמא למיקום לולאות גלאי הארכה (שיטה 2)	תרשים 8.16:
9-2.....	מיקום הרמזור המקדים למפגש מסילת ברזל	תרשים 9.1:
9-6.....	תרשים זרימה (לוגיקה) המיועד לרמזור מקדים במפגש מסילה עם גלאי תור	תרשים 9.2:
9-7.....	דוגמה לסכימת תנועות ברמזור סמוך למסילה ולרמזור מקדים	תרשים 9.3:
9-8.....	סדר שלבים ברמזור הסמוך – תפעול רגיל ללא רכבת	תרשים 9.4:
9-8.....	סדר שלבים ברמזור הסמוך – תפעול עם הגעת רכבת	תרשים 9.4:
9-9.....	רמזור נייד בקטע דרך	תרשים 9.5:
9-11.....	בקרה על תנועה דו-כיוונית באתר עבודה בתלות באורך הקטע ונפח התנועה	תרשים 9.6:
9-16.....	דוגמא לתוכנית זמנים לרמזור נייד קצוב-זמן באתר עבודה	תרשים 9.7:
9-17.....	צומת 3 זרועות בשדרה, תנועה החוצה את מרכז השדרה מוזנת מהפנייה שמאלה מהמסלול השני בשדרה, ללא חצייה ממול	תרשים 9.8:
9-17.....	צומת 3 זרועות בשדרה, התנועה החוצה את מרכז השדרה מוזנת, בכיוון אחד,	תרשים 9.9:
9-18.....	מציר הניצב לשדרה, ובכיוון השני, מהפנייה שמאלה מהמסלול השני בשדרה	תרשים 9.10:
9-20.....	צומת 4 זרועות בשדרה – התנועה החוצה את מרכז השדרה מוזנת מפניות מציר ניצב לשדרה, ומפניות ממסלול הרכב שבשדרה	תרשים 9.10:
10-5.....	תצורות של צומת מדורג: (א) דירוג שמאלי; (ב) דירוג ימני	תרשים 10.1:
10-7.....	תצורות של צומת מפוצל: (א) פיצול הסתעפות דרך המשכית; (ב) פיצול הסתעפות דרך מסתיימת; (ג) פיצול יהלום; (ד) פיצול מרובע	תרשים 10.2:
10-7.....	צומת מפוצל מרובע במחלף הכפר הירוק	תרשים 10.3:
10-8.....	צומת מסוג CFI/XDL	תרשים 10.4:

10-8.....	פניות שמאלה בצומת CFI/XDL	10.5: תרשים
10-9.....	צומת CFI במקסיקו	10.6: תרשים
10-10.....	צומת מסוג Median U-Turn	10.7: תרשים
10-10.....	צומת Median U-Turn בארצות הברית	10.8: תרשים
10-11.....	צומת מסוג Super-Street	10.9: תרשים
10-12.....	צומת מסוג Super-Street בארצות הברית	10.10: תרשים
10-13.....	צומת מסוג Jug-handle	10.11: תרשים
10-13.....	חלוקת השלבים בצומת Jug-handle	10.12: תרשים
10-14.....	צמתי Jug-handle בארצות הברית	10.13: תרשים
10-15.....	צומת מסוג Bowtie	10.14: תרשים
10-16.....	צומת מסוג Quadrant Roadway	10.15: תרשים
10-16.....	צומת Quadrant Roadway בארצות הברית	10.16: תרשים
10-22.....	צומת מעגלי מרומזר	10.17: תרשים
10-24.....	צומת מעגלי רב-נתיבי מרומזר	10.18: תרשים
10-26.....	רמזור מעברי חצייה בסמוך למעגל תנועה	10.19: תרשים
2-נ.....	דוגמאות להבהוב אדום לה"ר בהתאם למשך פינוי מעבר חצייה	1: תרשים
4-נ.....	מיקום התראה מוקדמת בהתקרבות לצומת	2: תרשים
4-נ.....	ראש רמזור שני פנסים לרכב וגובה הצבתו	3: תרשים
5-נ.....	"בין-ירוקים" במקרה של מופע רכב עם 2 פנסים	4: תרשים
6-נ.....	וויסות תנועה בחלק מהזרועות במעגל תנועה	5: תרשים
7-נ.....	רמזור חציית המטרונית במעגל תנועה ביאליק/התעלה, קריית אתא	6: תרשים
8-נ.....	שיטות לשילוב העדפה לתחבורה ציבורית במעגלי תנועה באמצעות רמזורים	7: תרשים

רשימת טבלאות

2-6.....	משך העיכוב להולכי-רגל	2.1: טבלה
2-6.....	המשמעות התנועתית של העיכוב בחצייה להולכי רגל	2.2: טבלה
2-11.....	סיכום ההצדקים להצבת רמזור בישראל	2.3: טבלה
3-8.....	מרחק אופקי מזערי נדרש של ראש הרמזור מקו העצירה	3.1: טבלה
3-8.....	מרחק מזערי נדרש של ראש הרמזור מקו העצירה	3.2: טבלה
4-10.....	משכי הירוק המזערי המומלצים למופעי הצומת	4.1: טבלה
	רמת-השירות לרכב מנועי כפונקציה של זמן העיכוב ושל יחס נפח-	4.2: טבלה
4-11.....	תנועה לקיבולת לכלי-רכב בצמתים מרומזרים	4.11: טבלה
4-11.....	רמת-השירות להולכי-רגל ולאופניים כפונקציה של ציון משוקלל לנוחות המעבר	4.3: טבלה
4-12.....	רמת-השירות כפונקציה של ההסתברות למעבר כלי-רכב במחזור	4.4: טבלה

4-15.....	הערכת זמן בין-ירוקים בבחינה מקדמית.....	:טבלה 4.5
4-17.....	רמת-השירות התפקודית (LOF).....	:טבלה 4.6
4-19.....	רמת-שירות לפי קצב מעבר ממוצע של כלי-רכב.....	:טבלה 4.7
4-23.....	נתוני הקלט להליך החישוב של צמתים מרומזרים לפי 7 HCM.....	:טבלה 4.8
5-4.....	מהירות רכב מנועי בחישוב זמנים בין-ירוקים.....	:טבלה 5.1
5-4.....	מהירות פינוי הולכי-רגל בחישוב זמנים בין-ירוקים.....	:טבלה 5.2
5-5.....	מהירות פינוי וכניסה לתנועת אופניים בחישוב זמנים בין-ירוקים.....	:טבלה 5.3
5-5.....	מהירות פינוי וכניסה לרק"ל בחישוב זמנים בין-ירוקים.....	:טבלה 5.4
5-6.....	אורך רכב מפנה בחישוב זמנים בין-ירוקים.....	:טבלה 5.5
6-8.....	רמות של חציית מספר מעברי חצייה ברצף.....	:טבלה 6.1
6-9.....	חישוב זמן חציית שני מסלולים ע"י הולכי-רגל.....	:טבלה 6.2
6-10.....	חישוב זמן חציית שלושה מסלולים ע"י הולכי-רגל.....	:טבלה 6.3
6-12.....	אלמנטים נפוצים ומקובלים בלוגיקת ההפעלה של רמזור.....	:טבלה 6.4
6-16.....	לוגיקה מפורטת ("שנייה שנייה").....	:טבלה 6.5
	ניתוח חלוקת אור ירוק למופעים השונים ברמזור	:טבלה 6.6
6-29.....	על בסיס ספירות תנועה ומשך מחזור של 120 שניות.....	:טבלה 6.7
6-31.....	דוגמה לרשימת תוכניות הפעלה בתפעול שוטף.....	:טבלה 6.8
6-34.....	שלבי הכניסה לפעולה של מופעי הרמזור.....	:טבלה 6.9
6-41.....	דוגמה לפרופיל מהירות לרק"ל.....	:טבלה 6.9
7-5.....	מרחקים מרביים מקובלים בין צמתים לתיאום גל ירוק.....	:טבלה 7.1
7-7.....	אומדן ראשוני לתיאום גל ירוק על פי מקדם התועלת וסיווג הדרך.....	:טבלה 7.2
8-7.....	ערכים מומלצים לפער חילוף לתכנון.....	:טבלה 8.1
8-10.....	מהירויות ההתקרבות לצומת לחישוב אורך אזור הגילוי ולפיצול לולאות.....	:טבלה 8.2
9-10.....	אורך הקטע המרבי המאפשר שימוש ברמזור נייד.....	:טבלה 9.1
10-18.....	השוואת מאפייני הסוגים השונים לצמתים מיוחדים.....	:טבלה 10.1

פרק 1: מבוא ועקרונות לתכנון רמזורים

תוכן עניינים

1-1.....	פתח דבר	1.1
1-2.....	מטרות הרמזור	1.2
1-3.....	היבטי בטיחות בצומת מרומזר	1.3
1-3.....	1.3.1 השפעת רימזור צומת ומאפייניו על תאונות דרכים	
1-3.....	1.3.2 אזורי החלטה בגישה לצומת מרומזר	
1-5.....	1.3.3 הקטנת רמת הסיכון באינטראקציות בין משתמשי דרך שונים בצומת	
1-5.....	1.4 מדרג משתמשי הדרך בתכנון הרמזור	
1-6.....	1.5 שיטות תכנון והפעלה	
1-6.....	1.5.1 הפרדה בין תנועות נוגדות ואפשרויות הפניות שמאלה	
1-7.....	1.5.2 פניות ימינה	
1-8.....	1.6 תהליך התכנון	
1-8.....	1.6.1 תהליך תכנון צומת מרומזר ללא העדפה לתחבורה ציבורית	
1-9.....	1.6.2 תהליך תכנון צומת מרומזר עם העדפה לתחבורה ציבורית	
1-10.....	1.7 חידושים בהנחיות	
1-12.....	1.8 התאמה להגדרות חוקיות, וניסוחים משלימים	
1-13.....	1.9 מבנה ההנחיות ותכולת הפרקים	
1-14.....	1.10 תחולת ההנחיות	
1-14.....	1.11 הגדרות ומושגים מקצועיים	

פרק 1: מבוא ועקרונות לתכנון רמזורים

1.1 פתח דבר

הרמזור הינו אמצעי הכוונה חשמלי לבקרת התנועה בצומת או בקטע דרך, המורה לתנועת משתמשי הדרך לעצור או להתקדם בהתאם למערכת הקצאת זמנים. הקצאה זו יכולה להיות קבועה מראש, מוכתבת בחלקה או במלואה ע"י התנועה, באמצעות בקרה מרכזית או בתפעול ידני. זהו אחד מאמצעי הבקרה היעילים, הגמישים והשכיחים לניהול התנועה.

תכניות הרמזור התפתחו באופן משמעותי במהלך העשורים האחרונים. בשנים הראשונות, תכניות הרמזור היו קבועות זמן, כלומר, תכנית הזמנים של הרמזור לא הייתה מושפעת משינויים בביקוש. מאוחר יותר החל שימוש בתכניות מופעלות תנועה, אשר מנצלות את היכולות בתחום החישה והתקשורת על מנת לאפשר שינוי בזמני הירוק ממחזור למחזור בהתאם לביקושים. תכניות אלו מתבססות על לוגיקה המותאמת למידע המתקבל מגלאי רכב ומלחצני הולכי-רגל/אופניים, וניתנת לתיאור בתרשים זרימה סטנדרטי.

מאז שפורסמו ההנחיות הקודמות לתכנון רמזורים (משרד התחבורה, 1981), נוצר ונצבר ניסיון משמעותי בתכנון רמזורים, בנוסף לחידושים מקצועיים רבים בתחומי שיטות התכנון והבדיקה, היבטים תפעוליים ובטיחותיים, יכולות טכנולוגיות, ניטור, חישה ובקרת תנועה, תקשורת בין צמתים, חומרה ותוכנה. כמו כן, מדיניות התכנון בשנים האחרונות מעמידה בראש סדרי העדיפויות את הולכי-הרגל ורוכבי האופניים, מדיניות שיש לה השלכות רבות גם על תכנון הרמזורים. יתר על כן, בשנים האחרונות, כחלק מתכנון פרויקטי תחבורה ציבורית רחבי היקף (תאו"ם, רכבת קלה), הפכו תכניות רמזור המקנות העדפה לתחבורה ציבורית נפוצות יותר ויותר. תכניות אלו נועדו לקצר את זמני הנסיעה לכלי-הרכב המועדפים, באמצעות הפחתת העיכוב בצמתים והגדלת אמינות השירות, על ידי הקטנת שונות זמני הנסיעה וסטיות מלוחות הזמנים. הפחתת העיכוב לרכב המועדף בשאיפה למניעת עצירתו ברמזור, ניתנת להשגה ע"י שינוי מהלך תכנית הזמנים הרגילה של הרמזור בעת זיהוי אקטיבי של הרכב המועדף בגישה לצומת. תכניות אלו הינן חלק מפרויקטים טכנולוגיים רחבי היקף ובעלי מורכבות רבה, ומחייבות הליך תכנון קפדני המשלב כלים מתקדמים לבדיקה ולהערכה של תוצרי התכנון.

מסמך זה מציג את ההנחיות לתכנון רמזורים אשר נועדו לתת מענה למתכנן ולרשויות בנוגע לכלל הצרכים והפתרונות התנועתיים הנדרשים בעת תכנון צומת מרומזר. מסמך זה מחליף את מסמך ההנחיות הקודם, יחד עם ההנחיות והמסמכים הנלווים האחרים שהתפרסמו במהלך השנים בנושא תכנון הרמזורים, כמפורט להלן:

- הנחיות לתכנון רמזורים (משרד התחבורה, 1981);
- בחינת יעילות חיבור צמתים מרומזרים בגל ירוק (משרד התחבורה, 1981);
- הנחיות לשילוב גלאים ברמזורים (משרד התחבורה, 1986);
- הנחיות לתכנון ותפעול רמזורים מיטלטלים (משרד התחבורה, 1986);
- פיצול צמתים מרומזרים (משרד התחבורה, 1987);

- הנחיות לתכנון לולאות לרכב דל-מתכת ברמזורים (משרד התחבורה, 2001);
- כללים מנחים לשילוב מערכות הסעת המונים ברמזורים (משרד התחבורה, 2008) – הפרקים העוסקים בתכנון רמזורים.
- הצדקים להצבת רמזור (משרד התחבורה, 2009).

1.2 מטרות הרמזור

הרמזור מהווה אמצעי להפרדה בזמן בין תנועות נוגדות ולמניעת נקודות החיתוך בין הרכב המנועי, הולכי-הרגל ורוכבי האופניים. בכך מאפשר הרמזור זרימה יעילה ובטוחה ככל האפשר. כדי למלא יעוד זה, על הרמזור להשיג את המטרות הבאות:

- שיפור זרימת תנועת כלי-הרכב ע"י ניצול מיטבי של קיבולת המערכת והגדלתה לעומת צומת לא מרומזר, צמצום זמני עיכוב לתנועות משניות והבטחת מעבר שיירות לאורך הדרך.
- מתן עדיפות להולכי-רגל ולרוכבי אופניים בצמצום זמני העיכוב ושיפור בטיחות החצייה.
- מתן העדפה לתחבורה ציבורית בהתאם למדיניות תכנונית הנהוגה בציר ובאזור.
- שיפור הבטיחות ע"י הקטנת ההסתברות לתאונות דרכים, בעיקר מסוג חזית-צד, עקב מניעת נקודות החיתוך בצומת.

מנגד, להתקנת רמזור בצומת, יתכנו גם השלכות שליליות על זרימת התנועה והבטיחות כמפורט להלן:

- הגדלת זמני העיכוב לתנועה ראשית.
- הגדלת מספר העצירות.
- גידול בתאונות חזית-אחור, הנובע מגידול במספר העצירות, ומשונות בהתנהגות הנהגים בעת שינוי האותות בצומת המרומזר.
- הפחתת רמת הציות לרמזור, עקב שימוש מוגזם או עקב בלבול בין אותות הרמזור בצמתים סמוכים.
- עלויות גבוהות של ביצוע ואחזקה.
- קיבולת מוגבלת שאינה מאפשרת זרימת תנועה יעילה בנפחים הגבוהים מהקיבולת.
- שימוש בדרכים חלופיות שלא בהתאם להיררכיית הדרכים, על מנת להימנע ממעבר בצמתים מרומזרים.

יתרונות הרימזור מושגים בעיקר בצמתים עם נפחי תנועה גבוהים שבהם מתקיים הצדק לרימזור, וכן כאשר התכנון הגיאומטרי של הצומת ותוכנית הרמזור תואמים לתנאי השטח והתנועה. המחקרים בעולם והניסיון המצטבר מראים שהתקנת רמזור שאינה מוצדקת עלולה להרע את זרימת התנועה והבטיחות. בבחירה בפתרון הרימזור במקום לא מתאים, בתכנון לקוי או באחזקה חסרה, החסרונות באים לידי ביטוי בצורה מועצמת, ומתוסף להן הסיכון של עלייה "רוחבית" באי-ציות לרמזור.

1.3 היבטי בטיחות בצומת מרומזר

1.3.1 השפעת רימזור צומת ומאפייניו על תאונות דרכים

תאונות הדרכים עם נפגעים בצמתים מרומזרים בישראל מהוות כ-20% מכלל התאונות עם נפגעים. סוגי התאונות הנפוצים הינם תאונות מסוג חזית-צד, חזית-אחור ופגיעה בהולכי-רגל (בעיקר בשטח עירוני). הסוג הראשון מבטא את הניגוד של התנועות שבקונפליקט או אי-ציות להוראות הרמזור, ולמעשה את הכישלון של הפרדה בזמן.

הסוג השני מבטא את בעיית תפיסת הנהג הקשורה לחילוף האותות, והדילמה בין השלמת המעבר בצומת לבין חובת העצירה בצומת, או את הגידול בכמות העצירות בצומת.

הסוג השלישי מבטא לרוב אי ציות לרמזור, בעיות ראות, זמני המתנה ארוכים וזמני ירוק קצרים, וירוק משותף להולכי-רגל ולכלי-רכב.

תאונות בצמתים מרומזרים עלולות להיגרם מ:

(1) מאפייני התכנון הגיאומטרי/תנועתי של הצומת: המאפיינים המרכזיים המשפיעים על תאונות הדרכים

הם: שטח צומת גדול, ריבוי נתיבי תנועה ואזורי ניגוד, ליקויים בהמשכיות הנתיבים, מהירויות נסיעה גבוהות, רדיוסי פנייה גדולים, נתיבי אחסנה קצרים, היעדר הסדרת נתיבים בלעדיים לתנועות פונות, חוסר בהסדרת תשתית נפרדת לתנועת אופניים, ליקויים במרחב הראות, מעברי חציה ארוכים, מחסור בשטח המתנה להולכי-רגל באיי התנועה, ליקויי אחזקה.

(2) מאפייני תוכנית הרמזור: המאפיינים המרכזיים המשפיעים על תאונות הדרכים הם: ליקויים בנראות

פנסי הרמזור, בלבול בין פנסי רמזור של מופעים/צמתים שונים, זמנים בין-ירוקים קצרים מהנדרש, זמני ירוק מזעריים קצרים מהנדרש, זמני מחזור ארוכים וזמני המתנה גבוהים, קיומו של ירוק מהבהב, ירוק משותף לכלי-רכב והולכי-רגל, היעדר מופע נפרד לתנועות פונות (במיוחד בצירים ראשיים), היעדר גלאים, ליקויים בתאום הגל הירוק.

(3) אי התאמת הפתרון של צומת מרומזר לתנאים במקום: כאשר מותקן צומת מרומזר ללא הצדק, תיתכן

פגיעה ביעילות הצומת וברמת הבטיחות שלו לעומת צמתים עם בקרת תמרורים.

(4) אי-ציות לאותות הרמזור: אי ציות לאותות הרמזור יכול לנבוע כתוצאה מבלבול בין פנסי רמזור, מאזור

דילמה ארוך, מתיאום לקוי של גל ירוק, מזמני המתנה ארוכים וזמני ירוק קצרים (במיוחד להולכי-רגל), מהיעדר תשתיות לתנועת אופניים ומהסחי דעת.

1.3.2 אזורי החלטה בגישה לצומת מרומזר

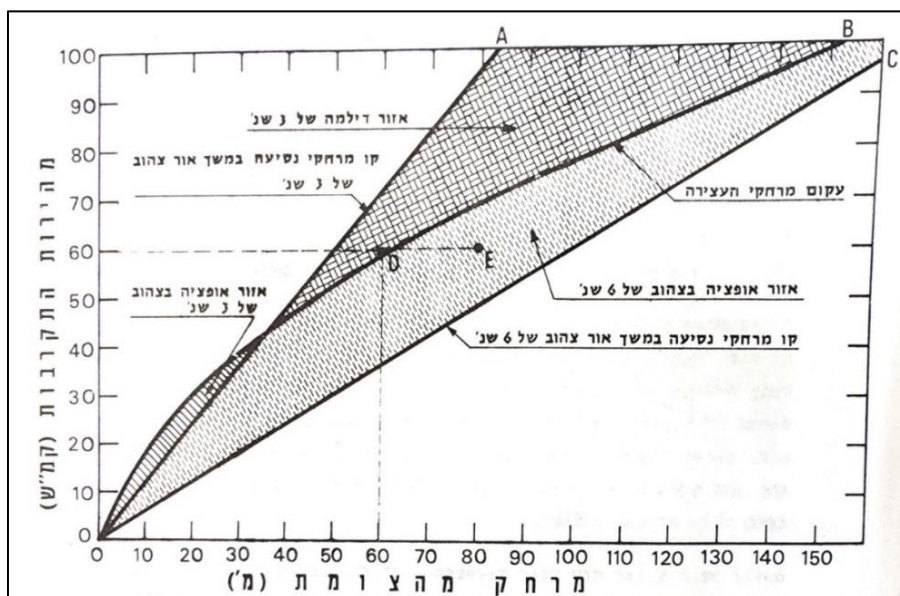
בעת סיום האות הירוק, עשויים הנהגים להימצא באזורים שונים בקרבת הצומת. האזורים מוגדרים כפונקציה של מהירות ההתקרבות והמרחק מקו העצירה של הרכב בעת סיום האות הירוק, והמעבר לאות האדום דרך הצהוב. איור מס' 1 (קליין, 1984) מתאר את האזורים השונים בגישה לצומת מרומזר. כפי שניתן להבחין, עשויים להיווצר שני אזורי החלטה: אזור הדילמה ואזור האופציה.

אזור הדילמה נוצר בתחום בין קו מרחק העצירה מהצומת לבין קו המרחק שאותו עובר הנהג במהלך 3 שניות צהוב (ראו לדוגמה נקודה D באיור). למעשה, אזור זה מוגדר כתחום שבין נקודה הנמצאת במרחק העצירה מהצומת (נהג הנמצא רחוק יותר מנקודה זו כאשר מסתיים הירוק, יוכל לעצור בבטחה), לבין הנקודה הרחוקה ביותר מהצומת בה יוכל נהג להמשיך בנסיעה ולחצות את הצומת במהלך הצהוב (נהג הנמצא קרוב יותר מנקודה זו לצומת, כאשר מסתיים הירוק, יוכל להמשיך בנסיעה ולפנות את הצומת בצהוב).

באזור הדילמה נהגים עלולים לקבל החלטות סותרות בהתקרבות לצומת: האם לעצור או לעבור. בכל מחזור עלולים להיות נהגים אשר עפ"י מיקומם ומהירות נסיעתם בסיום האות הירוק, אינם יכולים לעצור בבטחה בקו העצירה. במצב כזה, הנהג נאלץ לבחור בין שתי חלופות עם פוטנציאל סיכון: או להמשיך לנסוע ולחצות את קו העצירה אחרי קבלת האות האדום ("לעבור באדום"), או לבלום בחזקה ולהסתכן בתאונת חזית-אחור.

חישוב הזמנים הבין-ירוקים לוקח בחשבון את אזור הדילמה, כך שרכב הנכנס לצומת יספיק לפנות את נקודת הקונפליקט בטרם ייכנס הרכב שבניגוד. ניתן לצמצם את אזור הדילמה ע"י הארכת משך האות הצהוב, המותנה בקבלת ההמלצה על ביטול הירוק המהבהב והארכת הצהוב עבור מהירויות של מעל 60 קמ"ש (בהתאם לתוצאות ניסוי אשר בעת כתיבת ההנחיות, מתוכנן בסוגייה).

אזור האופציה/הבחירה נוצר בין קו מרחק העצירה (מימין) לבין קו המרחק אותו עובר הנהג במהלך האור הצהוב (ראו באיור נקודה E לדוגמה). באזור הבחירה לנהג יש שתי חלופות בהתקרבות לצומת: לעצור בבטחה, או להמשיך להיכנס לצומת לפני מעבר לאות האדום. בהחלטה על מעבר במהלך הצהוב מסתכן הנהג בתאונת חזית-צד, מאחר שהוא ממוקם במרחק הגדול ממרחק העצירה, מרחק המאפשר לו לעצור בבטחה. יש לשים לב שאזור זה מתארך ככל שמשך הצהוב מתארך.



תרשים 1.1: אזורי החלטה בגישה לצומת מרומזר (קליין, 1984)

1.3.3 הקטנת רמת הסיכון באינטראקציות בין משתמשי דרך שונים בצומת

להקטנת רמת הסיכון באינטראקציות בין משתמשי דרך שונים בצומת, מוצע לקחת בחשבון בעת תכנון הרמזור את המאפיינים הבאים:

- הקטנת שטח הצומת ומספר הנתיבים ככל האפשר, לצורך הפחתת מהירויות הנסיעה ושטח הניגוד.
- הקטנת הרדיוס בפניות ימינה בצומת, תוך יצירת זווית של 90 מעלות, למען הורדת המהירות והבטחת שדה הראיה בין כלי-רכב פונים ובין הולכי-רגל חוצים.
- הקמת תשתית לתנועת אופניים המופרדת מתנועת כלי-רכב.
- הסדרת נתיבי פנייה ייעודיים עם אחסנה מתאימה לתנועות פונות.
- בחינת מרחב הראות ומשולשי הראות בצומת.
- הסדרת שטח המתנה מספק להולכי-הרגל ורוכבי האופניים באי התנועה.
- הפחתת מספר עמודי הרמזור בצומת ושילוב עמודי תאורה עם עמודי הרמזור.
- הקפדה על נראות פנסי רמזור, ומניעת בלבול בין פנסים למופעים שונים וצמתים שונים.
- תכנון וביצוע רמזורים מופעלי תנועה מלאים הכוללים גלאי דרישה, והארכה גם בצמתים מתואמים בגל ירוק.
- התאמת הפרמטרים בחישוב בין-ירוקים למאפייני הצומת והבטחת הזמנים הבין-ירוקים בתוכנית הרמזור.
- זמני מחזור משתנים וקצרים ככל האפשר לקיצור עיכובים לא הכרחיים.
- הפרדה בזמני הירוק בין תנועות רכב בפנייה ימינה לבין הולכי-רגל חוצה.
- הקדמת פתיחת הירוק לה"ר בכל המקרים של הירוק המשותף להולכי-רגל חוצים עם כלי-רכב הפונים ימינה בצומת.
- הסדרת גל ירוק לחצייה רצופה של הולכי-רגל, ברחוב דו-מסלולי.
- הגדלת ירוק מזערי להולכי-רגל, לטובת הולכי רגל איטיים יותר (כגון אזרחים ותיקים).
- התאמת משתנה התיאום בין צמתים (היסט) למהירויות הנסיעה בפועל עד לגבול המהירות המרבית המותרת.
- רצוי להימנע ממצבים בהם מופע שאינו בניגוד לשאר המופעים אינו כלול בשלב, וזאת כדי למנוע מצב המעודד אי ציות לרמזור עקב אדום "ללא סיבה".

1.4 מדרג משתמשי הדרך בתכנון הרמזור

בהנחיות תכנון רבות בישראל מוזכרים מאפיינים ייחודיים שיש לקחת בחשבון כאשר מתכננים רמזורים בכל אחת מסביבות התכנון הבאות:

- בצומת דרכים עירוניות או בצומת רחובות עירוניים.
- במעבר חצייה בקטע רחוב.
- במעבר חצייה ובצמתי רחובות עירוניים עם מערכת הסעת המונים.
- בצמתים של דרכים בין-עירוניות, בצמתים של רמפות עם הציר המשני במחלפי גישה בין-עירוניים ובצמתים במחלפים של דרך מעויירת מהירה.

בהתאם למאפייני האזור והצומת המתוכנן, תכנון בקרת התנועה בצומת מרומזר בא לממש מדיניות העדפה בין משתמשי הדרך השונים ע"י קביעת המידרג ביניהם. ניתן להגדיר את מדיניות הקניית העדיפות בהתאם למפורט להלן:

- ברחובות עירוניים, כולל בצירי תחבורה ציבורית:
 1. הולכי-רגל
 2. אופניים
 3. תחבורה ציבורית
 4. שאר כלי-הרכב
- בדרכים עירוניות שקיימים בהם צירי העדפה לתח"צ, ומיעוט הולכי-רגל ורוכבי אופניים:
 1. תחבורה ציבורית
 2. הולכי-רגל
 3. אופניים
 4. שאר כלי-הרכב
- בדרכים בינעירוניות עם נת"צ/מת"צ/נר"ת, ההעדפה תהיה לתחבורה הציבורית.
- בדרכים בינעירוניות ללא נת"צ/מת"צ/נר"ת, בהם כמות הולכי-הרגל נמוכה, ההעדפה תהיה לכלי-הרכב.

1.5 שיטות תכנון והפעלה

בעולם קיימות שיטות רבות ומגוונות לתכנון ולתפעול רמזורים. ההבדלים בין השיטות נובעים ברובם ממדיניות תכנון התחבורה, מהחקיקה הקיימת, ומההבדלים בתפישת התפקיד של הרשות הממונה ביחס לתהליך התכנון וביחס למשתמש הדרך.

1.5.1 הפרדה בין תנועות נוגדות ואפשרויות הפניות שמאלה

שיטת ההפעלה המקובלת בישראל הינה הפרדה מלאה בין תנועות נוגדות (לרבות מעברי חצייה), ועם פניות שמאליות "מוגנות" (Protected Left Turn). פנייה מוגנת מאפשרת תנועה שמאלה רצופה, עם או בלי פנס יעודי בעת קבלת אות ירוק, ללא ניגוד מצד תנועות אחרות בצומת או מתן זכות-קדימה לתנועות אחרות.

בעולם קיימת שיטה נוספת, שיטת פניות שמאליות "מותנות" (Permissive Left Turn). פנייה שמאלה מותנית מאפשרת פניות שמאלה יחד עם התנועה הישרה באותה גישה, כאשר הפונים שמאלה נדרשים לתת זכות-קדימה הן לתנועה הישרה ממול, והן למעבר החצייה שאותו הם חוצים אחרי הפניה (במקביל לתנועה הישרה). גם הפונים ימינה מאותה זרוע, מחויבים לתת זכות-קדימה למספר תנועות: לפונים שמאלה מהזרוע הנגדית, ולמעבר החצייה שאותו הם חוצים לאחר הפנייה (המקביל לתנועה הישרה).

בשיטת הפניות השמאליות המותנות, שיטת התפעול של הצומת פשוטה יותר, מספר השלבים פוחת (הפניות שמאלה לא מצריכות שלב נפרד, כך שניתן לחסוך בזמן אבוד בצומת), מספר הפנסים הנדרש

בצומת קטן יותר ומביא לחיסכון בתשתיות רמזור. מצד שני, שיטה זו יכולה לתפקד רק בנפחים נמוכים, ועלולה ליצור יותר מצבי סיכון כתוצאה משילוב תנועות נוגדות.

השיטה המקובלת לשימוש בארץ הינה השיטה עם פניות שמאלה מוגנות בלבד, כאשר השיטה המותנית נבחנה ונמצאה **לא מתאימה** לשימוש בישראל מהסיבות שלהלן:

- **רמת בטיחות:** רמת הבטיחות נמוכה יותר, בשל החיכוך וחוסר הפרדה בין התנועות הנוגדות ובכלל זה הולכי-הרגל. בשיטה הזו על הנהג לזהות פערים מתאימים בתנועה המתנגדת ולזהות הולכי-רגל ולתת להם זכות-קדימה.
- **פגיעה במטריצת הזמנים בין-ירוקים:** עם סיום הירוק, כלי-הרכב בפניות השמאליות המותנות שלא הספיקו לבצע את הפנייה (בדרך כלל 1-2 כלי-רכב, הממוקמים לעיתים בתוך הצומת), משתמשים בצורה שבסיום הירוק של התנועה הישרה המתנגדת בכדי לבצע את הפנייה, תוך פוטנציאל לחריגות בזמנים הבין-ירוקים ביחס למוגדר בחישוב זמנים אלה.
- **הרגלי הנהיגה הקיימים:** השיטה בישראל הביאה לתפישה המושרשת אצל הנהג בישראל, שכאשר מוענק לו אות ירוק, הרי מדובר **בירוק מוחלט** ולא **ירוק חלקי**. ולפיכך, יש סיכון בשינוי הרגלי הנהיגה בסיסיים.

1.5.2 פניות ימינה

במספר מדינות בעולם מקובלת שיטת הפעלה המאפשרת פנייה ימינה באדום. פנייה זו מותרת כאשר הרכב הרוצה לפנות ימינה, עוצר בתחילה בקו העצירה, ולאחר מכן מחפש פערים מתאימים בתנועת הדרך החוצה בינתיים בירוק, לביצוע הפנייה (תוך שהוא נותן זכות-קדימה להולכי-הרגל שבמעבר החצייה שלפניו). **פנייה ימינה באדום מופע שאסור לשימוש בישראל**, מתוך שמירה על חשיבות ההכרה שאדום הינו איסור תנועה מוחלט.

שיטה אחרת, שכן מקובלת לשימוש בישראל, היא הסדרת פנייה ימינה חופשית. בשיטה זו מסדירים הפרדה פיזית בין תנועת הרכבים הפונים ימינה באזור הצומת לבין תנועת הרכבים הממשיכים ישר מאותו כיוון. בגיאומטריה זו התנועה לפנייה ימינה לא מקבלת ראש רמזור עם 3 פנסים, אלא מבוקרת על ידי פנס צהוב מהבהב (707) בשילוב תמרור הוריה להכוונה לפניה ימינה (204). הרכבים הפונים יכולים לפנות ימינה במשך כל המחזור, אך עליהם לתת זכות קדימה לתנועות החוצות ולמצוא פערים מספיקים כדי להשלים את הפנייה.

בצורת ההפעלה המוגנת הנהוגה בארץ, קיימת הפרדה מלאה בין תנועות נוגדות, למעט במצב של פנייה ימינה מרומזרת המשולבת עם מעבר חצייה. השילוב בין הרכב הפונה בפנייה ימינה לבין חציית הולך-הרגל, נוצר בדרך-כלל כאשר אין זכות דרך מספקת ליצירת תנועה ימינה חופשית, או כאשר הפרדת כלי-הרכב מהחצייה של הולכי הרגל מחייבת שלב נוסף ברמזור ויוצרת משך ירוק קצר וזמני עיכוב גדולים להולכי-הרגל, או כאשר לא מתאפשרת יצירת רצף חצייה של הולך-הרגל ללא פגיעה משמעותית בתפעול הצומת, וכאשר רוצים להגדיל את שטח המדרכה בקרנות הרחוב. מומלץ להימנע משיטת תפעול זו, מאחר שהיא כרוכה בהעלאת רמת הסיכון להולכי-הרגל ביחס לפנייה החופשית ימינה. במידה ותפעול

הרמזור כולל ירוק משותף לרכב בפנייה ימינה ולהולך-רגל חוצה יש לנקוט בכלל אמצעי הבטיחות הנדרשים כפי שמפורט בפרקים 3 ו-6.

בהמשך לאמור לעיל, הנחיות אלו מתייחסות בהרחבה גם לאופניים בהתייחס לפניות ימינה של רכב מנועי – מצב מורכב עוד יותר מאשר פניות מול הולכי-רגל, מאחר שאופניים מגיעים במהירות גדולה הרבה יותר, ולכן מקשים על הנהגים להבחין בהתקרבותם למעבר החצייה. לאפשרות שילובם של רוכבי אופניים בהסדרי הפניות ימינה, ראו פרק 3.

1.6 תהליך התכנון

1.6.1 תהליך תכנון צומת מרומזר ללא העדפה לתחבורה ציבורית

תהליך התכנון של צומת מרומזר ללא העדפה לתחבורה ציבורית מורכב מהשלבים הבאים:

- **איסוף נתונים:** שלב זה כולל איסוף כלל נתוני הרקע הנדרשים לתכנון הרמזור לרבות נתונים תנועתיים, נתונים גיאומטריים, שימושי קרקע, נתוני תאונות דרכים. פירוט מלא מוצג בפרק מס' 4.
- **תכנון מוקדם:** בשלב זה נקבעים המאפיינים הבסיסיים של תכנון הרמזור והעקרונות התפעוליים. שלב זה כולל, בין היתר, בחינה של תכניות התנועה והגיאומטריה וחלופות לשיפורים, במידת הצורך, ובחינה מקדמית ותפעולית להערכה ראשונית של תפעול הרמזור. תוצרי שלב זה הינם מיקום ראשי הרמזור, קביעת מופעי הרמזור, קביעת זמני ירוק מזערי, בניית השלבים העקרוניים, ניתוחי תנועה (קיבולת, אחסנה), זמני מחזור מומלצים, קביעת סוגי הגלאים, המלצות לתאום גל ירוק. פירוט מלא של תוצרי התכנון המוקדם מוצג בפרק 4.
- **תכנון מפורט:** שלב זה כולל השלמה של כל המידע הנדרש להפעלה יעילה ובטוחה של תוכנית הרמזור. תוצרי שלב זה הינם תוכנית ההסדר ההנדסי לרמזור וחוברת תוכנית הזמנים. שלב זה כולל חישוב של הזמנים הבין-ירוקים, קביעת השלבים, כתיבת הלוגיקה המפורטת, פריסת מצבי השלד, חלוקת הירוק, פריסת תכניות המינימום והמקסימום, קביעת לוחות זמנים להפעלה, תפעול גל ירוק, תכנון גלאים, קביעת פרמטרים והצגת כלל אביזרי הרמזור בתוכנית ההסדר ההנדסי. פירוט מלא של תוצרי התכנון המפורט מוצג בפרק 6.
- **תכנות בקר הרמזור:** שלב זה כולל מימוש התכנון בבקר הרמזור על ידי חברת הרמזורים. על מתכנן הרמזור מוטלת בשלב זה החובה לוודא כי התכנון שהוטמע תואם במלואו את התכנון שאושר. פירוט לבדיקות המבוצעת ע"י מתכנן הרמזור מוצג בפרק 11.
- **ביצוע, התקנה והפעלה:** בשלב זה מותקן הרמזור ומופעל בשטח. על מתכנן הרמזור לוודא שהרמזור המופעל בשטח תואם במלואו את התכנון. פירוט הבדיקות המבוצעות מוצג בפרק 11.
- **פיקוח עליון:** שלב זה כולל בדיקה של תפעול הרמזור לאחר ההפעלה. במידת הצורך, יבוצעו תיקונים וכיולים לתוכנית הרמזור בהתאם למידע המתקבל מהשטח. בדיקת תפעול הצומת מומלצת לביצוע באופן שוטף לצורך התאמת תוכנית הרמזור לדפוסי התנועה המשתנים. פירוט הבדיקות המבוצעות ע"י מתכנן הרמזור מוצג בפרק 11.

1.6.2 תהליך תכנון צומת מרומזר עם העדפה לתחבורה ציבורית

סעיף זה עוסק בתהליך תכנון הרמזור בצמתים בהם משולבת תצ"ם (תחבורה ציבורית מועדפת), אם בצורת רכבת מקומית (רק"ל – LRT) או תעבורת אוטובוסים מהירה (תאו"ם – BRT), ואם באמצעות אוטובוסים במסלול או בנתיב בלעדי או בנתיב משותף עם כלי-הרכב האחרים בדרך. תהליך התכנון כולל מידע ותוצרים נוספים מעבר לזה הדרוש ברמזור ללא העדפה כמופרט בשלבי התכנון הבאים:

- **איסוף נתונים:** בנוסף למידע הדרוש לתכנון רמזור ללא העדפה, נדרש מידע הכולל בעיקרו נתוני תחבורה ציבורית. המידע כולל תדירות מתוכננת של התצ"ם, מסלולים עקרוניים של הקווים המתוכננים, נפחי הולכי-רגל הצפויים לחצות במתחמי תחנות התצ"ם ובצמתים לאורך הקו, נתונים פיזיים של רכב התצ"ם הכוללים: אורך, רוחב וגובה, נתונים תפעוליים של רכב התצ"ם הכוללים: מהירויות נסיעה, תאוצות ותאטות. בנוסף, נדרש לקבל מסמך עקרונות כלליים של מדיניות ההעדפה לתצ"ם בהתאם למדיניות רשות התמרור ורשימת הפונקציות המוגדרות לתכנון העדפה ("לקסיקון").
- **תכנון מערכת:** שלב זה כולל בחינה של השפעת פרויקט העדפה לתצ"ם על רשת הרחובות והדרכים, זיהוי מוקדי כשל ובחינת אפשרויות לשיפור תפקוד הצמתים. בשלב זה נקבעים נפחי התנועה לתכנון, ומוגדרים אמצעי ניהול ובקרה לאורך התוואי, לרבות המלצה על הצורך וסוג התיאום בין צמתים, השפעה על צמתים סמוכים, והצורך בגלאים מיוחדים למניעת חסימת ציר התצ"ם או צמתים סמוכים. תוצרי התכנון המערכתי מהווים את הבסיס התכנוני לתכנון המוקדם. שלב זה הינו שלב מומלץ בכל פרויקט תצ"ם.
- **תכנון מוקדם:** שלב זה כולל בחינת כלל הנתונים התנועתיים הקשורים לציר ולצומת, וקביעת אופן התפעול של הרמזור. התוצר העיקרי של שלב זה הוא יצירת תרשים תפעולי עקרוני לצומת עם וללא העדפה, המתאר את אוסף הפעולות שניתן לבצע ברמזור, אופן התיאום בין צמתים (אם נדרש), והתייחסות לסוגי הגלאים הנדרשים.
- **תכנון מפורט:** שלב זה מממש את עקרונות תפעול הרמזור הבאים לידי ביטוי בתרשים הזרימה העקרוני משלב התכנון המוקדם, על ידי כתיבה מפורטת של מערך ההחלטות ("הלוגיקה") באמצעות סט פונקציות מתמטיות המכונות "לקסיקון". שלב זה כולל הרצות של מערך ההחלטות, על מנת לוודא שכל הפעולות הנדרשות בתרשים הזרימה אכן מומשו בקוד שנכתב. בשלב זה נכללות גם בדיקות איכות ועמידה ביעדים שהוגדרו בהתאם למדיניות הפרויקט. תוצר נוסף של שלב זה הינו תוכנית גלאים מפורטת לרכב התחבורה הציבורית המועדף.
- **תכנות בקר הרמזור:** שלב זה כולל מימוש התכנון בבקר הרמזור על ידי חברת הרמזורים. על מתכנן הרמזור מוטלת בשלב זה החובה לוודא כי התכנון שהוטמע תואם במלואו את התכנון שאושר.
- **ביצוע, הפעלה והתקנה:** שלב זה כולל הטמעת הבקר בשטח, ובדיקות אינטגרטיביות אל מול מערך הגלאים שמוצב גם הוא בשטח. על מתכנן הרמזור לוודא שהרמזור המופעל בשטח תואם במלואו את התכנון. פירוט לבדיקות המבוצעות ע"י מתכנן הרמזור מוצג בפרק 11.

- **פיקוח עליון:** שלב זה כולל בדיקה של תפעול הרמזור לאחר ההפעלה. במידת הצורך, יבוצעו תיקונים וכיולים לתוכנית הרמזור בהתאם למידע המתקבל מהשטח. בדיקת תפעול הצומת מומלצת לביצוע באופן שוטף לצורך התאמת תוכנית הרמזור לדפוסי התנועה המשתנים. פירוט לבדיקות המבוצעות ע"י מתכנן הרמזור מוצג בפרק 11.

1.7 חידושים בהנחיות

בשל הזמן הרב שחלף מאז פרסום ההנחיות הקודמות, ופרסומים מאוחרים יותר שכללו רק נושאים חלקיים, כגון העדפה לתצ"ם, ועקב ההתקדמות הטכנולוגית הרבה בתכנון רמזורים, ההנחיות להלן מכילות חידושים רבים אשר לא נכללו בהנחיות מת"ח עד כה. החידושים מוסברים בהרחבה בפרקים המתאימים, להלן רשימה תמציתית של חידושים עיקריים:

בנושא הצדקים להצבת רמזור:

- עדכונים בהצדקים קיימים והוספת הצדקים חדשים.

בנושא ההסדר ההנדסי ורימזור:

- הוספת ראשי רמזור חדשים: ראש רמזור קטן לרכב, ראש רמזור קטן לאופניים, ראש רמזור מקדים לרק"ל.
- עדכונים בעקרונות להצבת ראשי רמזור לרכב (קרוב וחוזר), פנייה ימינה מרומזרת עם אי משולש, פניה ימינה מרומזרת משותפת לכלי רכב ולהולכי-רגל / אופניים.
- עקרונות והנחיות לביטול ראש הרמזור החוזר לרכב במצבים מוגדרים.
- עקרונות והנחיות להצבת ראשי רמזור עבור תנועת האופניים בצמתים מרומזרים בכל רמות ההפרדה, בכל שיטות חציית הצומת, בפניות ימינה חופשיות, ובפנייה ימינה מרומזרת משותפת עם הרכב המנועי.
- השלמות ותוספות לתכנון והצבת ראשי הרמזור בתא-אופן (קדמי ואחורי).
- עדכונים בעקרונות להצבת ראשי רמזור לתצ"ם במצבים של תנועה בלעדית לרק"ל, תאו"ם או אוטובוסים במופע תצ"ם, ובתנועה מעורבת.
- הוספת קו עצירה לרק"ל, והנחיות ליישום תמרורי הוריה מעל ראשי רמזור לתצ"ם.

בנושא ניתוחי תנועה בצומת מרומזר:

- פירוט שיטות לניתוח תנועתי של צומת מרומזר, לרבות חלוקה לשלבי ניתוח (בחינה מקדמית ובחינה תפעולית).
- התייחסות להשפעתם של הולכי-הרגל בניתוח קיבולת של צומת מרומזר.

בנושא חישוב הזמנים הבין-ירוקים:

- עדכונים במתודולוגיה ובפרמטרים לחישוב זמנים בין-ירוקים.
- שינוי שיטת מדידת מרחקי הפינוי והכניסה על פי צירי מסלולי הנסיעה.
- הוספת פרמטרים ופירוט אופן חישוב הזמנים הבין-ירוקים לתנועת אופניים.
- ביטול השימוש באורכה המלא של הרק"ל בחישובי הזמנים הבין-ירוקים ("מטריצה ארוכה"); החישוב יבוצע לפי אורך רק"ל של 15 מטר.

בנושא תוכנית הזמנים של הרמזור:

- עדכון הכללים לסדר פתיחת האותות בעת פנייה ימינה משותפת לרכב ולהולכי-רגל / אופניים (צהוב מהבהב מותנה).
- פירוט תכנון החצייה הרצופה של הולכי-רגל בצומת מרומזר.
- פירוט שיקולים לתכנון ושיטות לתיאום צמתים בגל ירוק.
- השלמות בנושא הגדרת מופעי אופניים, ומתן דגשים לאופן תפעול הרמזור בעת מעבר תנועת אופניים, לרבות בתכנון הסדר של תא-אופן.
- עדכונים בערכי משך הירוק המזערי.
- פירוט אופן תפעול הרמזור בעת כניסה לפעולה.
- פירוט מרכיבי תכנון צומת מרומזר הכולל העדפה לתחבורה ציבורית (תכנון המערכת, תכנון מוקדם, תכנון מפורט).
- עדכון העקרונות לתכנון צמתים סמוכים לאורך ציר רק"ל.
- אותות חדשים עבור מופע מקדים לרק"ל.

בנושא גלאים:

- השלמות בשיטה ובפרמטרים של חישוב אזורי הגילוי.
- עדכון בצורה, במידות ובמיקום לולאות אלקטרומגנטיות ביישומי הגלאים השונים.
- מאפייני הלולאות האלקטרומגנטיות יאפשרו גילוי רכב דל מתכת (אין צורך בלולאות מיוחדות לעניין זה).
- הוספת עקרונות למיקום גלאי העדפה, ובפרט גלאי הביטול לרק"ל ולתצ"ם.
- השלמות בנושא הצורך בלחצני דרישה לאופניים בצמתים מרומזרים, ואופן הצבתם.

בנושא רמזורים מיוחדים וצמתים מורכבים:

- הוספת פרק העוסק בנושאים: רמזור מקדים למפגש מסילת ברזל, רמזור נייד לקטע דרך (בדר"כ באתרי עבודה), רימזור צמתים בשדרה.
- הוספת פרק העוסק בסקירת אפשרויות נוספות לתכנון תצורות מורכבות של צמתים מרומזרים, לרבות צמתים מעגליים מרומזרים.

בנספח "שינויים נדרשים בכפוף לעדכון לוח התמרורים והתקנות וההנחיות להצבת תמרורים":

- ביטול אות אדום וצהוב יחד (תמרור 702) לפני פתיחת האות הירוק בראש רמזור למופע רכב.
- הוספת אות אדום מהבהב בסיום האות הירוק למופע הולך-רגל.
- ביטול אות לבן מלבני אופקי ולבן עגול יחד (תמרור 709) בראש רמזור למופע תצ"ם.
- הצבת תמרור 439 וצהוב מהבהב (תמרור 707) לצורך התרעה מוקדמת על התקרבות לצומת בו טווח הנראות של ראשי הרמזור קצר במיוחד.
- הוספת ראש רמזור שני פנסים לרכב במקרים מיוחדים כגון מעגלי תנועה עם חציית תצ"ם

1.8 התאמה להגדרות חוקיות, וניסוחים משלימים

בהכנת הנחיות אלו נעשה כל מאמץ להבטיח התאמה מלאה בין המונחים בהנחיות לבין ההגדרות בתקנות התעבורה, בלוח התמרורים וכד'. יחד עם זאת, נדרשו הגדרות ייעודיות לשימוש בהנחיות אלו, כמוסבר להלן:

- בפקודת ובתקנות התעבורה ובלוח התמרורים, המונח 'רכב' כולל כל רכב הנע בכוח מיכני או נגרר, ולרבות כל סוגי האופניים.
- מצד שני, האופניים החשמליים והגלגיונים הממונעים למיניהם, מוגדרים כשלעצמם בתקנות התעבורה על הדרישות הייחודיות להם, אולם מבחינת דרישות ההתנהגות בדרך, הם זהים לאופניים, ומבחינה משפטית, המונח 'רכב מנועי' אינו כולל אותם, על אף דרישות עדכניות לרישוי ורישום.
- בלוח התמרורים, אותות הרמזור הרגילים מיועדים ל'נוהג רכב', דהיינו לכל המוגדרים לעיל. עם זאת, גם בלוח התמרורים וגם בהנחיות שלפניכם, קיימות תצורות נוספות של פנסי רמזורים, המיועדות להעדפת תח"צ או לאופניים.

לאור כל האמור לעיל, ובשל הצורך להבחין במקומות המתאימים בהנחיות בהסדרי רימזור נפרדים לאופניים, לתח"צ וכד', השימוש בהנחיות להלן במונח 'רכב', נעשה באופן שיהיה ברור, האם כולל את האופניים או לא. כנ"ל במונח 'רכב מנועי', שמובהר האם כולל את הרכבת העירונית, שגם היא מוגדרת כ'רכב מנועי'. לאור זאת, המונחים בהנחיות שלפניכם יהיו כדלהלן:

- רכב** – בהתייחס להסדרים לתנועה מעורבת של כלל כלי-הרכב, לרבות האופניים, ללא הפרדה.
- רכב מנועי** – כאשר מחריגים מה-'רכב' רק את האופניים לסוגיהם, למשל בתכנון גלאים, או כאשר יש רמזור נפרד לתנועת אופניים.
- תצ"ם** – בהתייחס להסדרים הייחודיים לכלל התחבורה הציבורית המועדפת – גלגלית ומסילתית.
- רכבת עירונית** – בהתאמה למונח הרשמי בתקנות ובלוח לרכבת קלה.
- מסילת ברזל** – בהתאמה למונח הרשמי בתקנות ובלוח התמרורים רק למפגשים עם רכבת ישראל (הרכבת ה'כבדה').
- אופניים** – בהתייחס להסדרים לכלל סוגי הרכב האישי הדו-גלגלי, בין אם ממונע או לא (וכולל כלי-רכב אישיים תלת-גלגליים במידה שמוכרים חוקית כאופניים).
- נהגים** – נהגי 'רכב מנועי' לסוגיו (לרבות רוכבי אופנועים).

בנוסף, היות שבכתיב ללא ניקוד, לא ברור האם המונח 'כלי-רכב' מתייחס לרכב אחד או לכלי-רכב רבים, נהוגה בהנחיות ההבחנה הבאה:

- כאשר הכוונה היא לרכב ספציפי אחד, כגון 'הרכב הראשון בקו העצירה', ייכתב 'רכב', ללא המילה 'כלי', או 'רכב מנועי' כאשר מחריגים את האופניים.
- כאשר הכוונה היא למספר כלי-רכב, כגון כאשר מתייחסים לתור או לנפחי תנועה, ייכתב 'כלי-רכב', או 'כלי-רכב מנועיים' כאשר מחריגים את האופניים.

1.9 מבנה ההנחיות ותכולת הפרקים

אופי ההנחיות הוא יישומי, כאשר כל פרק כולל: רקע כללי, הגדרת המושגים והמונחים, הסבר תמציתי של השיקולים וההנחות שביסודן של ההנחיות שבפרק, הצדקים, המלצות והנחיות לתכן, טבלאות לערכי תכן ושרטוטים מתאימים.

תהליך התכן של צמתים מחייב שילוב ההנחיות מהפרקים השונים למקשה אחת. להלן פרוט הפרקים המרכיבים את ההנחיות:

פרק 1 – מבוא ועקרונות לתכנון רמזורים (הפרק הנוכחי).

פרק 2 – הצדקים להצבת רמזור: ההצדקים השונים להצבת רמזור בתחום העירוני והבין-עירוני, בצומת ובקטע – לפי נפחי תנועה, לפי פעילות הולכי-רגל ואופניים, לפי שיקולי העדפה לתצ"ם; הפחתות להצדקים, והצדקים לביטול רמזור קיים.

פרק 3 – הסדר הנדסי ורימזור: המסגרת הכוללת לתכנית רימזור הצומת והצבת עמודי הרמזור במסגרת תכנית התנועה – תכנון הצבת רמזורים לכלי-רכב; תכנון הצבת רמזורים להולכי-רגל; תכנון הצבת רמזורים לאופניים לרמות ההפרדה השונות, לרבות שימוש בתא-אופן; תכנון הצבת רמזורים לתצ"ם; לחצני דרישה והתקני שמע.

פרק 4 – תכנון מוקדם של תכנית הזמנים: מטרות ועקרונות התכנון המוקדם; מרכיבים בתכנית הרמזור; מדדי ביצוע בצומת מרומזר; בחינה מקדמית ובחינה תפעולית; תוצרי התכנון המוקדם; תכנון מוקדם הכולל העדפה לתח"צ.

פרק 5 – זמנים בין-ירוקים: מתודולוגיה ופרמטרים לחישוב; מרחקי ומשכי פינוי וכניסה למשתמשי הדרך השונים; חישוב סופי ויישום המטריצה.

פרק 6 – תכנית הזמנים: מבנה התכנית; הגדרת וקביעת מופעי הרמזור – סדר ומשך האותות; לוגיקת תכנית הרמזור; מצבי המעבר בין שלבים ופריסת מצבי שלד; פריסת מינימום ומקסימום; פרמטרים ותכניות מיוחדות; חוברת תכנית הזמנים; תכנון מפורט להעדפת תח"צ.

פרק 7 – תיאום בין אותות (גל ירוק): רקע ומטרות; מושגי יסוד; שיקולים להצדק; סוגי ושיטות תיאום; גל ירוק בפרויקט העדפת תח"צ; מידע ותהליך תכנון.

פרק 8 – גלאים: רקע ומטרות; שימושים אופייניים; יישומים לגלאים המבוססים על לולאות אלקטרומגנטיות – גלאי דרישה, הארכה, תור; לחצני דרישה להולכי-רגל ואופניים; גלאי העדפה.

פרק 9 – רמזורים מיוחדים: שלושה נושאים של יישומי רמזור שלא נכללו בפרקים הקודמים: ניהול תנועה במפגשים בין רכבת ישראל לבין משתמשי דרך אחרים, לצורך שיפור הבטיחות ומניעת הצטברות תורים בתחום המפגש; ניהול תנועה בהסדרי תנועה זמניים בקטע דרך חד-מסלולית, כאשר בזמן העבודות נאלצים להשאיר נתיב אחד בלבד, ולהזרים את התנועה לשני הכיוונים לסירוגין; רימזור צמתים בשדרה עירונית רחבה, שם מתקבלים שני 'חצאי צמת' סמוכים.

פרק 10 – תצורות מורכבות של צמתים מרומזרים: פרק זה עוסק בצמתים מרומזרים בתצורות מורכבות יותר מאשר ההסתעפויות / הצטלבויות שהוצגו בפרקים הקודמים, שחלקם מוכרים בישראל כגון צמתים מדורגים ומפוצלים, וחלקם מיושמים בעולם, אך טרם יושמו בישראל. פרק זה עוסק בעקרונות בלבד, מתאר יתרונות וחסרונות, ללא שיקולים כמותיים והנחיות מדויקות לקביעת התצורה המועדפת, ומאפשר למתכנני התנועה והרמזורים שיקול דעת רב בבחינת החלופות התכנוניות. בנוסף, עוסק הפרק בצמתים מעגליים מרומזרים, לרבות פתרונות לחציית תצ"ם במעגלי תנועה, בהתאמה להמלצות שכבר נכתבו ויושמו בישראל.

פרק 11 – נהלי בדיקה של תכניות רמזור: הפרק מציג טפסים לבדיקת השלבים השונים של התכנון ויישומם עבור תכניות רמזור ללא העדפה, עם העדפה לתאו"ם ועם העדפה לרק"ל.

1.10 תחולת ההנחיות

ההנחיות תיכנסנה לתוקף מיד עם פרסומן. הנחיות אלו נועדו בראש וראשונה לתכן רמזורים חדשים, ויש ליישמן גם כאשר מתכננים שיפורים ברמזורים קיימים. ההנחיות מקיפות את המקרים השכיחים והצפויים בתכן רמזורים, אולם ייתכנו מצבים חריגים ואילווצים אשר יחייבו חריגה מן ההמלצות שבהנחיות. חריגות אלו יבוצעו רק לפי הנחיות מיוחדות של הגורם המוסמך ברשות המזמינה.

עם זאת, קיימת בהנחיות התייחסות להסדרים חדשים הנחוצים לצורך התכנון המוצג בהן, ואשר אושרו בוועדות ההיגוי של מת"ח, שחלקם הוזכרו בסעיף 1.7 לעיל, אך מחייבים עדיין הליכי אישור חוקיים, אשר טרם הושלמו במועד פרסום ההנחיות, ולכן אינם ניתנים ליישום כעת. סוגיות אלו מוצגות בנספח להנחיות, ותחילת יישומן מותנה בהשלמת הכללתן בלוח התמרורים ובתקו"ה ובאישור המפע"ת הארצי על עדכון תחולת ההנחיות ואופן יישומן.

ההנחיות מציננות במקרים רבים ערכים מומלצים, מזעריים או מרביים. יש לשאוף תמיד לתכנון מאוזן המשתמש בערכים המיטביים לתנאים הנתונים. על המתכנן לבדוק היטב את כל החלופות האפשריות. מבנה ההנחיות מאפשר עדכון מעת לעת לפי הצורך, בהתאם לניסיון הנרכש עם הזמן ובהתאם למדיניות הנקבעת על-ידי משרד התחבורה, והמהדורה העדכנית של ההנחיות היא המחייבת את המתכנן.

1.11 הגדרות ומושגים מקצועיים

בסעיף זה מרוכזים לפי סדר ה-א'-ב' מרבית ההגדרות והמושגים המקצועיים בהם נעשה שימוש בפרקים השונים בהנחיות אלו, בנוסף להגדרות הרחביות העקרונית מסעיף 1.8:

אות – ההוראה המוצגת ע"י פנסי הרמזור, בכל זמן נתון, באמצעות פנס או שילוב פנסים.

אזור הדילמה – האזור הגיאומטרי שבו נהגים עלולים לקבל החלטות סותרות בהתקרבות לצומת בסיום האות הירוק; האם לבלום בחוזקה ולעצור לפני הצומת או להמשיך בנסיעה ולעבור את הצומת אחרי קבלת האות האדום.

- **בחינה מקדמית** – בדיקה שנועדה להערכה ראשונית של תפעול הרמזור בצומת. במסגרת הבדיקה ייבחנו נפחי התנועה החזויים בצומת ויחושב הנפח הקובע לעומת הקיבולת של הצומת.
- **בחינה תפעולית** – בחינה הכוללת ניתוח מדדי שירות לבחינת תפקוד מופעי הצומת המרומזר ע"י ניתוח חלוקה ראשונית של זמן הירוק, ניתוח עיכוב על בסיס מדריך HCM, או ניתוח תנועתי על בסיס מיקרו-סימולציה.
- **בקר הרמזור** – יחידת עיבוד ובקרה אלקטרונית, הכוללת את כל החומרה והתוכנה הדרושים להפעלה תקינה ומלאה של כלל האמצעים בצומת המרומזר. בקר הרמזור מפעיל את פנסי הרמזור לפי תכניות זמנים ופרמטרים, נתונים מגלאים, לחצני דרישה להולכי-רגל ולאופניים, אותות גל ירוק ו/או אותות ממרכז הבקרה.
- **גישה** – גישה לצומת המכילה לפחות נתיב גישה אחד עם תנועה אחת לפחות ועם/בלי מעבר חצייה.
- **גלאי** – התקן במיסעה, מעליה או לצידה, אשר מאתר מעבר/נוכחות רכב ומעביר אות/מידע לבקר/מרכז בקרה, ומאפשר בכך לשפר את יעילות תפעול הרמזור/רשת הרמזורים.
- **גלאי דרישה** – גלאי אשר האותות המועברים על ידו לבקר הרמזור משמשים להחלטה על פתיחת ירוק למופע או פסיחה עליו.
- **גלאי הארכה** – גלאי אשר האותות המועברים על ידו לבקר הרמזור משמשים להחלטה על הארכת האות הירוק של המופע.
- **גלאי העדפה** – גלאי אשר האותות המועברים על ידו לבקר הרמזור משמשים לזיהוי מיקום כלי רכב מועדף בדרך אל/מ הצומת ולעיתים גם מידע נוסף. המידע משמש לפעולת העדפה מתוכננת.
- **גלאי תור** – גלאי אשר האות המועבר על ידו לבקר הרמזור מעיד על נוכחות או אי נוכחות רכב למשך פרק זמן מוגדר, ומעיד על היווצרות או הצטברות של תור בגישת הצומת עד לנקודה מוגדרת.
- **גל ירוק** – תזמון זמני הירוק בתנועות בין שני צמתים סמוכים או יותר, על מנת לאפשר לכלי-הרכב לעבור ללא עצירה את קטע הדרך שבין הצמתים. בדרך זו ניתן להביא לרציפות זרימת התנועה ולהפחתת העיכובים בתנועות המתואמות בגל ומניעת חסימות בין צמתים.
- **גלישת תור** – מונח המתאר כלי-רכב העוצרים בצומת מעבר לקיבולת שטח האחסון הפנוי במופע מסוים.

- **היסט** הפרש הזמן בין נקודה מסויימת בצומת המתואם (בדרך כלל התחלה או סיום של מופע או שלב מתואם) לבין נקודת ייחוס בצומת השולט. ההיסט מבוטא כמספר שלם בשניות בין אפס לזמן המחזור.
- **הסדר הנדסי ורימזור** תוכנית בה מוטמעים כלל מרכיבי תכנון הרמזור על גבי תוכנית התנועה המפורטת.
- **העדפה** שינוי המהלך הרגיל של תוכנית הזמנים/המופעים ברמזור על מנת לשפר את התאמתו למעבר כ"ר מועדף, בעיקר תצ"ם, במטרה להקטין את העיכוב למשתמש זה.
- **העדפה אקטיבית** מתן העדפה לתחבורה ציבורית על סמך נתונים המתקבלים בזמן אמת, ובהתייחס למיקום ו/או לקבלת בקשה להעדפה מכלי-הרכב הציבורי. לצורך הפעלת העדפה אקטיבית נדרשת היכולת לגילוי ולזיהוי של כלי-רכב ציבוריים המתקרבים לצומת המרומזר.
- **העדפה פאסיבית** מתן העדפה באופן קבוע למופעים שנועדו לתחבורה ציבורית באופן בלעדי או בצירוף כלי-רכב אחרים. מתן העדפה מסוג זה אינו קשור לנוכחות/אי נוכחות כלי-הרכב הציבורי ו/או לקבלת בקשה להעדפה מכלי-רכב זה.
- **התקן שמע אחוד** התקן הנועד לספק לאנשים עם מוגבלויות ראייה ו/או ראייה ושמיעה מידע קולי ומישושי על הוראות (מצבי) רמזור הולכי-רגל (אות אדום או ירוק). התקן שמע אחוד משלב את התקן השמע עם לחצן דרישה להולך-הרגל.
- **זמן בין-ירוקים** פרק הזמן המזערי הדרוש בין סיום האור הירוק לתנועה מסוימת לבין תחילת האור הירוק לתנועה נוגדת.
- **זמן לא מנוצל לרכב** זמן שאינו ניתן לניצול על ידי כלי-רכב במופעים הקובעים. זמן זה כולל בין היתר זמן בין-ירוקים בין מופעים נוגדים, זמן של שלב שאינו כולל רכב, זמן המוקדש להבטחת תיאום בין צמתים ועוד.
- **זמן מחזור** משך הזמן הדרוש להשלמת מהלך מלא של אותות הרמזור בהתאם לתוכנית הזמנים. זמן זה מוגדר כמשך הזמן בין תחילת שלב ראשי לתחילת שלב ראשי במחזור הבא. זמן המחזור יכול להשתנות מדי מחזור.
- **זרימת רוויה** נפח התנועה שעובר במהלך שעה בנתיב מסוים, בהינתן שהירוק נמשך ברציפות שעה שלמה והביקוש קבוע.
- **יום מייצג** אחד מימי ב'ד' בשבוע (כולל), שאינם חלים באחד מחגי ומועדי ישראל או בערבם, ושאינם חלים בתקופה של חופשות בתי-ספר.
- **יחידת הארכה** משך הזמן שבו מתארך האות המתקבל בבקר הרמזור מהגלאי לאחר הפסקת גילוי הרכב. הארכת האות הירוק תתאפשר עד לירוק מרבי מתוכנן.

- **ית"ן** יחידת תנועה (לשעבר יר"מ, באנגלית PCU), מקדם התאמה המבטא את מידת ההשפעה של רכב מסוים בדרך, יחסית לזה של רכב נוסעים פרטי.
- **לחצן הולכי-רגל** התקן המאפשר זיהוי דרישות ה"ר לקבלת אות ירוק במעבר חצייה מסוים (חלק מהתקן שמע אחוד).
- **לחצן אופניים** התקן המאפשר זיהוי דרישות רוכב אופניים לקבלת אות ירוק במעבר חצייה מסוים או בנתיב אופניים.
- **לקסיקון** ספריית פונקציות המוגדרת לכל פרויקט תצ"ם באופן פרטני ומבטאת את מדיניות ההעדפה בפרויקט, את שיטת התכנון והעקרונות התכנוניים לכלל הרמזורים בפרויקט באמצעות מערכת משוואות של פונקציות, פרמטרים והגדרתם.
- **מופע** תנועת הולכי-רגל, אופניים או כלי-רכב או צירוף של תנועות מאותה גישה, המקבל אותות רמזור זהים, והמבוקר באמצעות קבוצת פנסים נפרדת.
- **מצב מעבר בין שלבים** תיאור מהלך המעבר בין מופעים נוגדים בשני שלבים עוקבים. במצב המעבר מוגדר מועד סגירת המופעים של שלב שמסתיים, ומועד פתיחת מופעים נוגדים בשלב המתחיל אחריו (בנוסף למופעים הנמשכים משלב אחד לשני).
- **נפח קובע** הנפח הקובע נקבע עבור תצורה מסוימת של צומת הכוללת את התנועות האפשריות בצומת, הניתוב וחלוקת התנועות למופעים ולשלבים. הנפח הקובע עבור תצורה נתונה הינו הנפח השעתי (ית"ן/שעה/נתיב) המירבי המתקבל באחת מקבוצות המופעים הנוגדים בתצורה הנבדקת (המופעים בקבוצה זו נקראים מופעים קריטיים).
- **נקודת החלטה בתכנית הזמנים** נקודת זמן בתוכנית הזמנים של הרמזור, בה מתקבלת החלטה על אופן פעולתו של הרמזור בהמשך.
- **נקודת ניגוד** הנקודה בה שתי תנועות נוגדות (כ"ר, ה"ר ואופניים) נפגשות.
- **נקודת ניגוד קריטית** נקודת הניגוד של שתי תנועות נוגדות שבה חישוב זמן בין-ירוקים מניב את הזמן הארוך ביותר.
- **נתיב גישה** נתיב בגישה לרכב לרבות אופניים ותח"צ הנכנס לצומת.
- **עמוד רמזור** העמוד עליו מותקן לוח הרקע ומערכת פנסי הרמזור (ראש רמזור). על עמוד אחד יכולים להתקין מספר ראשי רמזור, לצד הנתיב או מעליו.

- **פנס רמזור** – החלק מהרמזור בו ניתן אחד מאותות הרמזור לאחד ממשתמשי הדרך (כלי-רכב, תצ"ם, הולך-רגל, אופניים).
- **פיצוי** – מנגנון המאפשר שימור רמת השירות למשתמשי הדרך שנפגעו עקב מתן העדפה לתצ"ם.
- **פריסת מצבי שלד** – הצגה גרפית של מהלך הזמנים של כל מופעי הצומת המרומזר, וקציבת משך הזמן המזערי של כל אחד מהם במחזור אחד (לפי הענפים הנגזרים ממבנה התוכנית).
- **פריסת תוכנית מינימום** – הצגה גרפית של מהלך הזמנים של כל מופעי הצומת המרומזר ללא הארכות (לפי הענפים הנגזרים ממבנה התוכנית). בשונה מפריסת מצבי השלד, תכניות המינימום כוללות הארכה של שלבים המוגדרים בלוגיקת הרמזור בפרמטר מינימום.
- **פריסת תכניות מקסימום** – הצגה גרפית של מהלך הזמנים של כל מופעי הצומת המרומזר, וקציבת משך הזמן המירבי של כל אחד מהם במחזור אחד (לפי הענפים הנגזרים ממבנה התכנית).
- **פער חילוף** – מרווח הזמן בין שני כלי רכב עוקבים בשיירה (משך הזמן החולף בין מעבר הקצה האחורי של הרכב הראשון מעל נקודת הבדיקה ועד למעבר הקצה הקדמי של הרכב העוקב מעל נקודה זו).
- **פער החילוף לתכנון** – פער החילוף שעבורו מתוכנן להאריך את האות הירוק במופע הרכב הרלוונטי (עד לערך מירבי שנקבע בתוכנית).
- **צומת** – שטח המפגש הפיזי של שתי דרכים לפחות במפלס אחד.
- **קיבולת הצומת המרומזר** – נפח קובע מרבי של הצומת (ית"ן/שעה/נתיב), המביא לרמת-שירות E.
- **רוחב פס** – הפרש זמן בין הרכב הראשון בשיירה (חבורה) שיכול לעבור במהירות הייעוד את כל מערכת הצמתים המתואמים ללא עצירה, לבין הרכב האחרון בשיירה שיכול לעשות זאת.
- **רמזור** – תמרור הכוונה לבקרת תנועה, המורה לתנועות השונות להיעצר או להתקדם, בהתאם למערכת הקצאת הזמנים.
- **ראש רמזור** – לוח הרקע (התיבה בה מותקנת מערכת פנסי הרמזור) ומערכת פנסי הרמזור. יש להבחין בין ראש רמזור נמוך, גבוה, עילי וקטן.
- **רמת-שירות (L.O.S)** – מדד לאיכות הזרימה בצומת. מדד זה משקף את נפחי התנועה, כמות העיכובים, מספר העצירות. המדד לרמת שירות בצומת מוגדר ב-HCM כעיכוב ממוצע לרכב (שניות לרכב, sec/veh).

- רמת-שירות תפקודית (L.O.F)** – מדד לאיכות הזרימה בצומת מרומזר במסגרת הבחינה המקדמית (על בסיס יחס נפח/קיבולת), המשפיע על ההחלטה האם להמשיך בבחינה התפעולית.
- שיירה/חבורה (platoon)** – כ"ר או ה"ר הנעים יחד כקבוצה בשל בקרת הרמזור, גיאומטריה או כל סיבה אחרת.
- שלב (stage)** – פרק הזמן במחזור בו קיים ירוק באופן סימולטני במופעי רכב ובמעברי חצייה שאינם נמצאים בניגוד האחד עם השני.
- תכנית זמנים** – חוברת הכוללת כל המידע והמרכיבים הנדרשים להפעלה בטוחה ויעילה של אותות הרמזור בצומת.
- תכניות רמזור מופעלות תנועה** – תכניות בהן אופן תפעול הרמזור תלוי במידע המתקבל מהשטח בזמן אמת. המידע מתקבל בדרך כלל מגלאים המוצבים בצומת, מאותות מצמתיים סמוכים ומידע ממרכז בקרת רמזורים.
- תכניות רמזור קבועות זמן** – תכניות בהן זמן הירוק בכל אחד מהשלבים (או המופעים, בהתאם למקרה) נקבע מראש ואינו תלוי בעומסי התנועה בפועל או במידע אחר המתקבל מהשטח.
- תנועה (movement)** – מסלול הליכת ה"ר, אופניים או נסיעת כ"ר מכניסתם לצומת ועד יציאתם ממנו, מכל כיוון התקרבות אפשרי.
- תנועה חופשית** – תנועה המתבצעת שלא באמצעות וויסות הרמזור, אלא לפי כללי מתן זכות-קדימה.
- תנועה משנית** – כל תנועת כלי-רכב שנותנת זכות קדימה ואינה כלולה בתנועות הראשיות. התנועות המשניות נקבעות משיקולים של מידרג הדרך, תימרו, נפח תנועה, וגיאומטריה.
- תנועה ראשית** – כל התנועות של כלי-רכב שאינן נוגדות ואינן נותנות זכות קדימה זו לזו. תנועות ראשיות נקבעות משיקולי מידרג הדרך, נפח תנועה, וגיאומטריית הצומת.
- תפעול ידני** – תפעול ידני של הרמזור (נקרא לעיתים "תוכנית שוטר") מאפשר להחליף שלבים ברמזור באופן ידני על ידי בחירת מצב "תפעול ידני" בתא צדדי של בקר הרמזור, וקידום התוכנית באמצעות לחיצה על הכפתור המתאים בתא זה. תפעול מסוג זה נועד לסייע בהכוונת התנועה פיזית בצומת באירועים מיוחדים ומצבים קיצוניים.

תרשים זרימה סדרתי – תרשים המציג את סדר השלבים במחזור הרמזור ואת התנאים שיובילו לאותו סדר שלבים הנקרא "ענף". התרשים מראה את כל האפשרויות ואת כל התנאים (ברמת פירוט נמוכה).

תרשים שלבים ("בועות") – תרשים המציג את השלבים האפשריים במחזור הרמזור, המופעים המופעלים בכל שלב והמעברים האפשריים משלב לשלב.

פרק 2: הצדקים להצבת רמזור

תוכן עניינים

2-1.....	מטרות ההצדקים להצבת רמזור	2.1
2-1.....	הצדקים להצבת רמזור המבוססים על נפחי תנועה	2.2
2-2.....	2.2.1 הצדק בצומת בין-עירוני	
2-2.....	2.2.2 הצדק בצומת עירוני	
2-4.....	הצדקים להצבת רמזור עקב חציית הולכי-רגל ורוכבי אופניים	2.3
2-4.....	2.3.1 הצדק להצבת רמזור לפי מספר הולכי-רגל ורוכבי אופניים	
2-6.....	2.3.2 הצדק להצבת רמזור לפי אורך מעבר החצייה	
2-7.....	2.3.3 הצדק להצבת רמזור במעבר חצייה בקטע דרך עירונית	
2-7.....	הצדקים להצבת רמזור בצירי תצ"ם	2.4
	2.4.1 הצדק להצבת רמזור בצומת הנחצה על ידי מסילת רק"ל/מסלול תאו"ם/אוטובוסים במת"צ	
2-7.....	2.4.2 הצדק להצבת רמזור במעבר חצייה בקטע דרך	
2-8.....	2.4.3 הצדק להצבת רמזור בסמוך לתחנת תצ"ם	
2-9.....	2.4.4 הצדק להצבת רמזור על פי נתוני תאונות דרכים	
2-9.....	הפחתות להצדקים להצבת רמזור	2.5
2-9.....	2.5.1 הפחתה על פי נתוני תאונות דרכים	
2-9.....	2.5.2 הפחתה עקב תכנית רמזור דו-שלבית	
2-9.....	2.5.3 הפחתה עקב מערכת רמזורים בגל ירוק	
2-10.....	2.5.4 הפחתה עקב שיקולים גיאומטריים	
2-10.....	2.5.5 הפחתה עקב ביטול פניות שמאלה בצמתים סמוכים	
2-10.....	2.5.6 הפחתה עקב חיבור למרכז בקרה	
2-10.....	הצדק לביטול רמזור קיים	2.6
2-10.....	סיכום הצדקים להצבת רמזור	2.7

פרק 2: הצדקים להצבת רמזור

2.1 מטרות ההצדקים להצבת רמזור

להצבת רמזור בצומת יתרונות תנועתיים ובטיחותיים רבים, בעיקר בצמתים עם נפחי תנועה גבוהים, ריבוי הולכי-רגל ורוכבי אופניים. מנגד, הצבתו בתנאים, במצבים ובמקומות שאינם מתאימים, עלולה להרע את מצב התנועה והבטיחות. ההצדקים להצבת רמזור נקבעו על מנת להסדיר את השימוש ברמזור ולוודא שהתועלות הנובעות מהצבתו יעלו על חסרונותיו, ובכך למנוע שימוש יתר ברמזורים שלא לצורך.

ההצדקים המפורטים בפרק זה מאפשרים למתכנן כלים קבועים וידועים מראש לבחינת הצורך בהצבת רמזור. עם זאת, ההחלטה על הצבת רמזור, ובפרט רמזור להולכי-רגל, מחייבת גם את שיקול דעת המתכנן, מאחר וההנחות אינן תמיד מתאימות בשלמותן למציאות בשטח. כצעד מקדים להחלטה על רימזור צומת, יש לבחון את נתוני הצומת, לרבות נתונים סטטוטוריים, תנועתיים, גיאומטריים, מגבלות תכנוניות, תשתיות, נתוני תאונות דרכים וגורמים מקומיים נוספים. בהתאם לנתונים, יש לבחון את האפשרויות העומדות בפני מתכנן התנועה לשיפור הסדרי התנועה, כאשר רימזור הצומת הינו אחד מהאמצעים הניתנים ליישום, אך אינו האמצעי היחיד שניתן לשקול את תכנונו. לפיכך, ההחלטה על הצבת רמזור תתקבל רק לאחר שנבדקו ונפסלו שאר האמצעים הקיימים להסדרת צומת עם מתן זכות קדימה כדוגמת מעגל תנועה, שיפורים גיאומטריים ובטיחותיים, ביטולי פניות וכיוצ"ב.

פרק זה מציג את ההצדקים להצבת רמזור בחלוקה לקטגוריות הבאות:

- **נפחי תנועה:** נפחי תנועה בשמונה או בארבע השעות העמוסות ביותר ביממה, בהפרדה לצומת עירוני ולצומת בין-עירוני, עקב המאפיינים השונים בצמתים מסוג זה. לסעיף זה קיימות הפחתות לתנאי-הסף להצדק, המפורטות בהמשך הפרק.
- **הולכי-רגל / רוכבי אופניים במעבר חצייה:** הצבת רמזור במעברי חצייה בצומת או בקטע דרך עקב נפחי תנועה גדולים של הולכי-רגל, רוכבי אופניים וכלי-רכב, מאפייני סוג הדרך הנחצית ואורך החצייה.
- **צירי תחבורה ציבורית מועדפת:** הצדק להצבת רמזור בצמתים וקטעי דרך הנחצים ע"י תצ"ם, ובסמוך לתחנות.

בנוסף להצדקים המפורטים, ניתנו ערכי סף עליון להצבת רמזור בצומת, והצדק לביטול רמזור קיים.

2.2 הצדקים להצבת רמזור המבוססים על נפחי תנועה

ההצדקים להצבת רמזור המבוססים על נפחי תנועה כוללים הצדק ל-8 השעות העמוסות ביממה ול-4 השעות העמוסות ביממה, בהפרדה בין צומת עירוני לצומת בין-עירוני. הצדק ל-8 השעות העמוסות נותן מענה למצב שבו נפחי התנועה בינוניים עד גבוהים לאורך מרבית שעות הפעילות. הצדק ל-4 השעות העמוסות נותן מענה למצב בו נפחי התנועה גבוהים במשך שעתיים בכל אחת משעות השיא, כאשר ביתר שעות היממה נפחי התנועה נמוכים. קיום הצדק להצבת רמזור מותנה בקיומו של לפחות אחד מההצדקים. לצורך חישוב נפחי התנועה לא נדרשת רציפות בשעות.

בחישוב ההצדק יש להתייחס ליחידות תנועה (ית"ן) המשקללות את השפעת כלי-רכב מסוגים שונים על

זרימת התנועה, על פי הערכים הבאים:

- רכב פרטי / מסחרי – 1.0 ית"ן
- משאית – 2.0 ית"ן
- אופנוע – 0.8 ית"ן
- אופניים – 0.8 ית"ן
- אוטובוסים:

- בציר ראשי – 1.8 ית"ן. במקרה זה לאוטובוסים יש זכות קדימה בצומת לא מרומזר, ולכן אין צורך לקחת בחשבון את האוטובוסים באופן מיוחד (מעבר להשפעתם המקובלת על זרימת התנועה) לצורך מתן עדיפות לתח"צ כחלק מחישוב ההצדק להצבת רמזור.
- בציר משני – 15 ית"ן. במקרה זה השקלול מביא לידי ביטוי רצון לתעדף את תנועת האוטובוסים כחלק מחישוב ההצדק להצבת רמזור, מתוך הנחה שרימזור הצומת יביא לשיפור רמת השירות לנוסעי האוטובוס. ערך זה התקבל על פי הנחת היחס בין מספר הנוסעים הממוצע באוטובוס לתפוסה ממוצעת של רכב פרטי בשעות השיא.

2.2.1 הצדק בצומת בין-עירוני

2.2.1.1 הגדרת ההצדק ל-8 השעות העמוסות

הצדק להצבת רמזור בצומת בין-עירוני מתקיים, כאשר במשך 8 השעות העמוסות ביותר של יום מייצג, הסכום המצטבר של נפח התנועות הראשיות והמשניות הנכנסות לצומת ומיועדות לרימזור, עולה על 12,000 ית"ן, שמהם לפחות 2,000 ית"ן בתנועות המשניות (ראו תרשים 2.1).

2.2.1.2 הגדרת ההצדק ל-4 השעות העמוסות

הצדק להצבת רמזור בצומת בין-עירוני מתקיים, כאשר במשך 4 שעות העמוסות ביותר של יום מייצג, הסכום המצטבר של נפח התנועות הראשיות והמשניות הנכנסות לצומת ומיועדות לרימזור, עולה על 9,000 ית"ן, שמהם לפחות 1,500 ית"ן בתנועות המשניות (ראו תרשים 2.1).

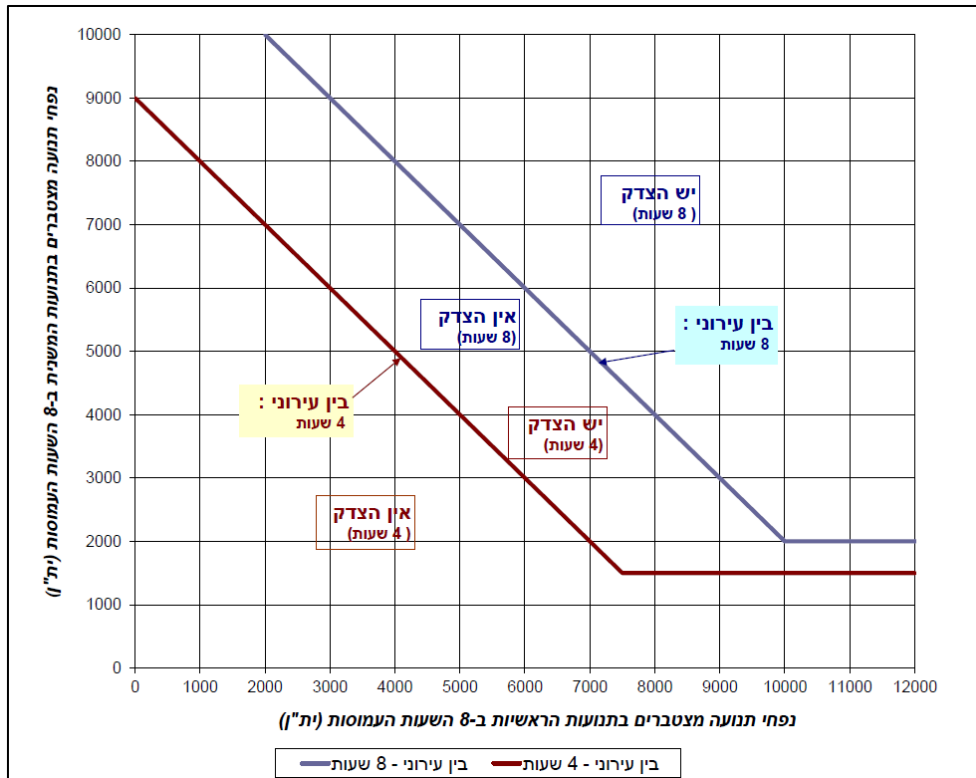
2.2.2 הצדק בצומת עירוני

2.2.2.1 הגדרת ההצדק ל-8 השעות העמוסות

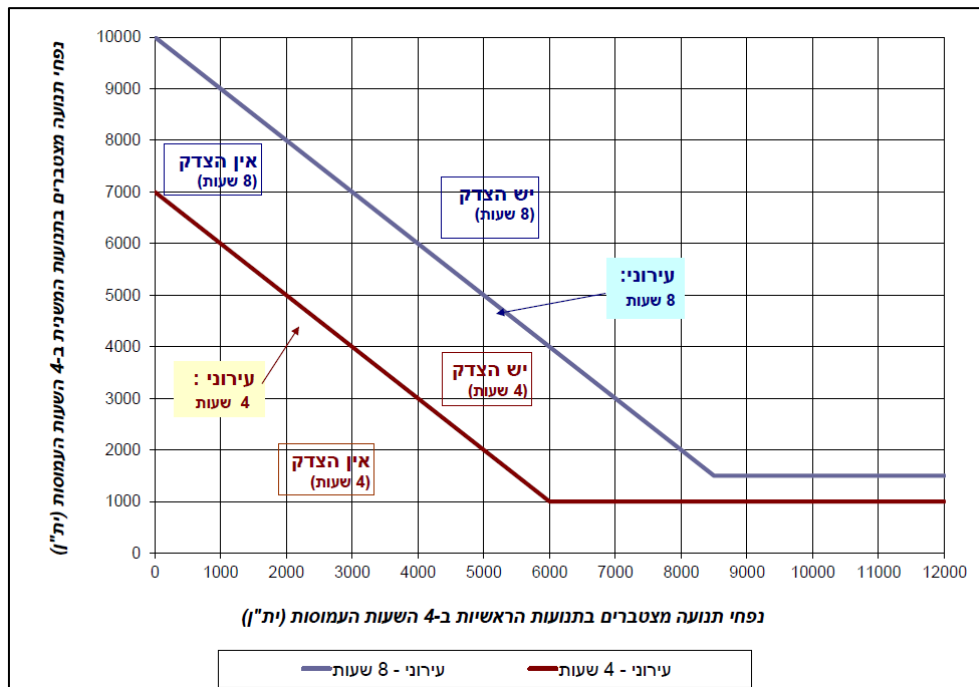
הצדק להצבת רמזור בצומת עירוני מתקיים כאשר במשך 8 השעות העמוסות ביותר של יום מייצג, הסכום המצטבר של נפח התנועות הראשיות והמשניות הנכנסות לצומת ומיועדות לרימזור, עולה על 10,000 ית"ן, שמהם לפחות 1,500 ית"ן בתנועות המשניות (ראו תרשים 2.2).

2.2.2.2 הגדרת ההצדק ל-4 השעות העמוסות

הצדק להתקנת רמזור בצומת עירוני מתקיים, כאשר במשך 4 שעות העמוסות ביותר של יום מייצג, הסכום המצטבר של נפח התנועות הראשיות והמשניות הנכנסות לצומת ומיועדות לרימזור, עולה על 7,000 ית"ן, שמהם לפחות 1,000 ית"ן בתנועות המשניות (על פי תרשים 2.2).



תרשים 2.1: הצדק להצבת רמזור בצמתים בין-עירוניים
על פי 8 השעות העמוסות ו-4 השעות העמוסות



תרשים 2.2: הצדק להצבת רמזור בצמתים עירוניים
על פי 8 השעות העמוסות ו-4 השעות העמוסות

2.3 הצדקים להצבת רמזור עקב חציית הולכי-רגל ורוכבי אופניים

ההצדק להתקנת רמזור בגין חציית הולכי-רגל ורוכבי אופניים מתייחס הן למעברי חצייה בצמתים והן למעברי חצייה בקטעי דרך. בצומת, כאשר מתקיים הצדק לאחד ממעברי החצייה, יש לרמזור את כל הצומת, ללא תלות בהצדקים נוספים. לצורך חישוב הצדקים אלה, יחושבו רוכבי אופניים החוצים במעבר החצייה, באופן זהה לחישוב הולכי-הרגל.

להלן הגדרת ההצדקים להצבת רמזור עקב הולכי-רגל/רוכבי אופניים:

2.3.1 הצדק להצבת רמזור לפי מספר הולכי-רגל ורוכבי אופניים

ההצדק להצבת רמזור בצומת או במעבר חצייה בקטע דרך או רחוב עירוני, המבוסס על מספר הולכי-רגל ורוכבי אופניים החוצים מעבר חצייה, מתקבל כאשר מתקיימים כל התנאים הבאים:

- לפחות 150 הולכי-רגל/רוכבי אופניים חוצים את מעבר החצייה בשעה בכל אחת מ-4 השעות העמוסות.
 - העיכוב הממוצע להולך רגל / רוכב אופניים עולה על 40 שניות, בכל אחת מ-4 השעות העמוסות, או 30 שניות בסמיכות למוסדות חינוך או מוסדות בשימוש אוכלוסיות מיוחדות.
- חישוב זמני העיכוב ניתן להערכה על פי תצפיות בשטח או על פי מתודולוגיות זמני העיכוב המתוארות להלן.

2.3.1.1 חישוב זמן העיכוב להולכי-רגל במעבר חצייה

חישוב זמן העיכוב להולכי-רגל במעבר החצייה ניתן להערכה על פי השיטות הבאות:

- מתודולוגיה המבוססת על מספר הפערים המתאימים לחצייה על פי הנחות התפלגות פואסון.
- הערכה תפעולית של צמתים לא מרומזרים על פי מתודולוגיית המדריך האמריקאי לניתוחי תנועה, Highway Capacity Manual (הגרסה העדכנית – HCM 7th Edition).
- על פי תצפיות ומדידות בשטח.

א. חישוב זמני העיכוב על פי מתודולוגיית הפערים המתאימים לחצייה

מתודולוגיה זו מבוססת על מספר הפערים בשעה המתאימים לחצייה של מעבר חצייה באורך נתון, על פי הנחת התפלגות הגעה פואסונית של כלי-הרכב. חישוב פער הזמן הנדרש לחציית הולכי-רגל הינו על פי אורך מעבר החצייה ומהירות הליכה מקובלת של 1 מ'/שנ'. המתודולוגיה מפורטת בספר 'עקרונות תכן הנדסת תחבורה' (דורון בלשה, 1976)

ההסתברות P שהפער בין כלי-רכב בזרם התנועה (t) יהיה קטן או שווה G, כלומר לא יתקבל פער מתאים לחציית הולכי-רגל היא:

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

כאשר:

- V נפח תנועה מתנגדת למעבר החצייה (כ"ר בשעה);
- G פער זמן מזערי נדרש בין כלי-רכב לצורך חציית מעבר החצייה, כלומר, משך נדרש לחצייה (שנ);
- t פער הזמן בין כלי-רכב (שנ), משתנה אקראי.

לפיכך, ההסתברות שיתקבל פער מתאים בין כלי-הרכב לחציית הולכי-רגל היא:

$$1 - P = e^{-\frac{VG}{3600}}$$

מספר הפעמים Q בשעה בהם מתקבל פער מתאים לחציית הולכי-רגל הינה מכפלה של נפח התנועה המתנגדת למעבר החצייה בהסתברות לקבלת פער מתאים לחצייה:

$$Q = V \cdot (1 - P) = V \cdot e^{-\frac{VG}{3600}}$$

זמן העיכוב הממוצע T (שנ) בהנחת התפלגות הגעה אחידה של הולכי-הרגל היא:

$$T = \frac{3600}{Q}$$

טבלה 2.1 מציגה את תוצאות חישוב זמן העיכוב הממוצע להולכי-רגל, כפונקציה של נפח התנועה המתנגדת למעבר החצייה ואורך מעבר החצייה. זמני עיכוב בין 30 ל-40 שניות מסומנים באפור, ומעל 40 שניות מסומנים באפור מודגש.

ב. חישוב זמני העיכוב על פי מתודולוגיית המדריך האמריקאי Highway Capacity Manual
מדריך HCM 7th Edition מציע מתודולוגיה להערכת זמני העיכוב להולכי-רגל במעברי חצייה, כחלק מהערכה כוללת של רמת השירות להולכי-רגל. מתודולוגיה זו מבוססת על הערכת הפערים הקריטיים הנדרשים לחצייה ושיעור מתן זכות הקדימה להולכי הרגל ע"י הרכב המנועי. לצורך החישוב נדרשים נתוני קלט הכוללים את נפחי התנועה המתנגדים לחציית הולכי-הרגל, אורך מעבר החצייה, מהירות ההליכה, מספר הולכי-הרגל החוצים ורוחב מעבר החצייה. המתודולוגיה לוקחת בחשבון היווצרות של קבוצות של הולכי-רגל החוצות יחד את מעבר החצייה.

טבלה 2.1: משך העיכוב להולכי-רגל (T), בשניות

נפחי תנועה (כ"ר בשעה)							אורך מעבר חצייה (מ')
1000	900	800	700	600	500	400	
11	11	11	11	12	13	14	4
14	14	14	14	14	14	16	5
19	18	17	17	16	17	18	6
25	23	21	20	19	19	19	7
33	30	26	24	22	21	21	8
44	38	33	30	27	25	24	9
58	49	42	35	32	29	27	10
76	62	52	43	37	33	31	11
101	80	64	53	44	38	34	12
133	103	81	64	52	43	38	13

טבלה 2.2 מציגה את המשמעות התנועתית לרמות שונות של זמני עיכוב להולכי-רגל. ניתן להבחין שעייכוב העולה על 30 שניות מסווג ככזה המעלה באופן משמעותי את ההסתברות להתנהגות מסוכנת של הולך-הרגל בחצייה.

טבלה 2.2: המשמעות התנועתית של העיכוב בחצייה להולכי-רגל

Control Delay (s/p)	Comments
0-5	Usually no conflicting traffic
5-10	Occasionally some delay due to conflicting traffic
10-20	Delay noticeable to pedestrians, but not inconveniencing
20-30	Delay noticeable and irritating, increased likelihood of risk taking
30-45	Delay approaches tolerance level, risk-taking behavior likely
>45	Delay exceeds tolerance level, high likelihood of pedestrian risk taking

פירוט מלא של המתודולוגיה מוצג בפרק 20 למדריך Highway Capacity Manual 7th Edition.

2.3.2 הצדק להצבת רמזור לפי אורך מעבר החצייה

הצדק להצבת רמזור על פי אורך מעבר החצייה מתקבל עבור מעברי חצייה באורך של למעלה מ-10 מטר ברחוב עירוני, ולמעלה מ-11 מטר בדרך עירונית (בהתאם ל"הנחיות לתכנון רחובות בערים, משרד התחבורה, 2020"). ניתן לפצל מעברי חצייה ארוכים על ידי הסדרת איי תנועה, ובכך להימנע מרימזור על פי הצדק זה.

2.3.3 הצדק להצבת רמזור במעבר חצייה בקטע דרך עירונית

הצדק להצבת רמזור במעבר חצייה בקטע דרך עירונית, ללא תלות במס' הולכי-הרגל, יתקבל כאשר מתקיימים כל התנאים הבאים:

- דרך דו-מסלולית עם 2 נתיבים לכיוון לפחות.
 - הנפח היומי המצטבר בשני הכיוונים הוא לפחות 15,000 ית"ן.
 - המהירות הממשית של אחוזון 85 הינו מעל 60 קמ"ש.
 - המרחק ממעבר חצייה מרומזר קיים הינו יותר מ-200 מטר.
- לרמזור מסוג זה נדרש להתקין לחצנים להולכי-רגל.

2.4 הצדקים להצבת רמזור בצירי תצ"ם

- שני היבטים מאפיינים את ההצדקים להצבת רמזורים בצמתים בהם משולבת תצ"ם:
- הצורך במתן עדיפות בצומת למערכת התצ"ם על פני כלי-הרכב האחרים.
 - ההיבט הבטיחותי, כאשר מורכבות הקונפליקטים עולה לכלל משתמשי הדרך.

סעיף זה עוסק בהצדקים להצבת רמזור בצירים המשמשים לתחבורה ציבורית מועדפת מהסוגים הבאים:

- רכבת קלה (רק"ל)
- תעבורת אוטובוסים מהירה (תאו"ם)
- אוטובוסים במת"צ בלעדי (לא מחייב תצ"ם).

בכל המקרים האחרים בהם משולבת תנועת אוטובוסים, בין אם בנתיבים בלעדיים או יחד עם כלל התנועה, יש להתייחס לכלל ההצדקים האחרים המפורטים בפרק זה, עם החלת ערך הית"ן המוצג בסעיף 2.2.

2.4.1 הצדק להצבת רמזור בצומת הנחצה על ידי מסילת רק"ל/מסלול תאו"ם/אוטובוסים במת"צ

בכל צומת הנחצה ע"י תנועת רכבת עירונית (רק"ל), מסלול מיוחד לתאו"ם, או מת"צ לאוטובוסים יוצב רמזור, למעט במקרים הבאים:

- כאשר נפח התנועה הנוגדת לתנועת התצ"ם קטן מ-300 ית"ן ב-8 השעות העמוסות.
- במפגש עם "חצרים", אלא אם קיים בגישה אליהם נפח תנועה של יותר מ-300 ית"ן ב-8 השעות העמוסות.

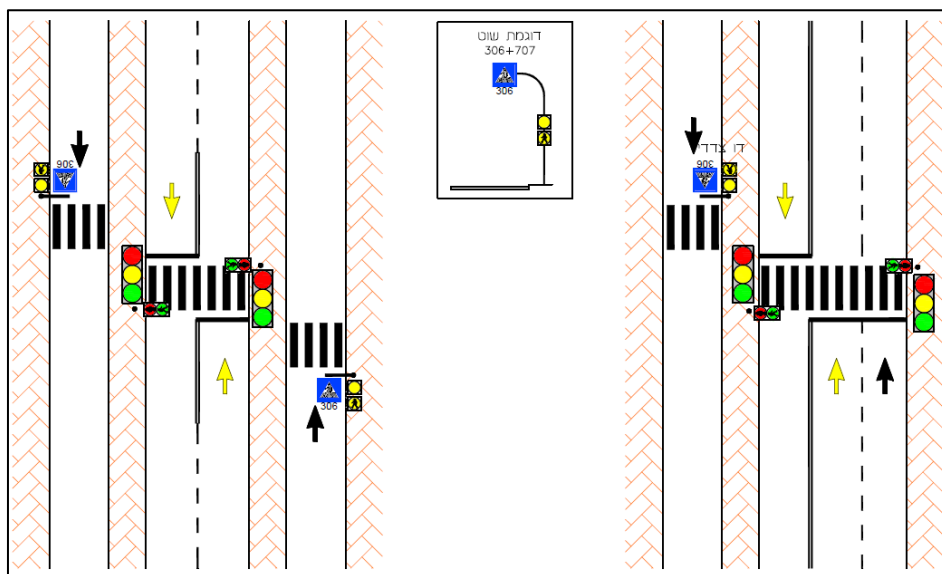
יש להדגיש כי שיקולים נוספים יכולים להצדיק הצבת רמזור, גם בנפחי תנועה נמוכים יותר, כדוגמת מגבלות ראות משתמשי הדרך בצומת.

2.4.2 הצדק להצבת רמזור במעבר חצייה בקטע דרך

קיים הצדק להצבת רמזור בכל מעבר חצייה בקטע דרך במפגש עם ציר תצ"ם או עם תנועת אוטובוסים במת"צ. ההצדק מתקיים לכל מעברי החצייה בחתך הדרך (לא רק במעבר החצייה החוצה את רצועת התצ"ם), למעט המקרים המפורטים להלן:

- כאשר מעבר החצייה חוצה רצועה בלעדית לתצ"ם ללא רצועת תנועה לכלי רכב אחרים, ניתן לא להציב רמזור. מקרה זה נפוץ בשצ"פים, ברחוב שלמעט התצ"ם מתנהל כמדרחוב או כרחוב מנוהל, וכיוצ"ב.
- כאשר בחתך הדרך נדרשת חצייה הן של מסלול תצ"ם והן של מסלול (אחד או יותר) לכלי-רכב אחרים, ניתן שלא לרמזר את מעבר החצייה החוצה את מסלול כלי-הרכב האחרים, כאשר מתקיימים כל התנאים הבאים:

- לא מתקיים הצדק להצבת רמזור למעבר החצייה החוצה את תנועת כלי-הרכב האחרים לפי ההצדקים המפורטים בסעיף 2.3.
- מעבר החצייה חוצה נתיב יחיד של רכב מנועי לא ציבורי.
- קיימת מפרדה המאפשרת המתנה בין מסלול התצ"ם לבין מסלול כלי-הרכב האחרים ברוחב מזערי של 2.5 מטר.
- קיים דירוג של מעברי החצייה כך שהולך הרגל פונה במבטו לכיוון תנועת הרכב הלא מרומזרת. במקרים אלה יסומן מעבר החצייה הלא מרומזר בתמרור 306 בתוספת פנס מהבהב צהוב (תמרור 707). מעבר החצייה החוצה את מסלול התצ"ם ירומזר. דוגמאות נפוצות מוצגות בתרשים 2.3.



תרשים 2.3: דוגמאות למעברי חצייה בקטע דרך בהם ניתן לשקול שלא לרמזר את מסלול הרכב הכללי

2.4.3 הצדק להצבת רמזור בסמוך לתחנת תצ"ם

לכל תחנת תצ"ם יוסדר מעבר חצייה מרומזר אחד, כך שמרחק ההליכה המרבי של הולך-רגל מתחנת התצ"ם אל מעבר החצייה לא יעלה על 150 מטר. במידה ומרחק ההליכה המרבי עולה על ערך זה, יש להסדיר מעבר חצייה מרומזר נוסף בעברה השני של התחנה. מעבר חצייה שני ניתן להסדרה גם בהתאם לצרכי משתמשי הדרך ולשימושי הקרקע הגובלים בתחנה, לפי שיקול דעת תכנוני.

2.4.4 הצדק להצבת רמזור על פי נתוני תאונות דרכים

בצומת שאירועו בו במשך שנה 3 תאונות עם נפגעים בהן מעורבת תצ"ם, ייבדקו הסיבות לתאונות והפתרונות האפשריים (כדוגמת שיפור שדה ראייה, הפחתת מהירויות וכיוצ"ב), ובמידת הצורך יוצב רמזור לשיפור הבטיחות.

2.5 הפחתות להצדקים להצבת רמזור

קיימים גורמים ושיקולים המשפיעים על התועלת שניתן להפיק מהצבת רמזור, שיש להתייחס אליהם בכלל השיקולים. ההפחתות המפורטות להלן מתייחסות להצדקים עבור נפחי תנועה בלבד, המוצגים בסעיף 2.2. סך כל ההפחתות בצומת לא יעלה על 40%.

2.5.1 הפחתה על פי נתוני תאונות דרכים

ניתן להפחית עד 20% מנפח-הסף המצטבר של התנועות הראשיות והמשניות, בחישוב המבוסס על הצדק 8 השעות העמוסות (הפחתה אינה רלוונטית להצדק 4 השעות העמוסות), במידה שהתרחשו תאונות דרכים עם נפגעים כתוצאה ממשטר של צומת שאינו מרומזר. ההצדק להפחתה:

- 5 תאונות דרכים בשנה האחרונה, או
- 7 תאונות דרכים בשנתיים האחרונות, או
- 9 תאונות דרכים בשלוש השנים האחרונות.

2.5.2 הפחתה עקב תכנית רמזור דו-שלבית

הפחתת מספר השלבים בתוכנית הרמזור תורמת להפחתת זמני העיכוב בצומת. לפיכך, במצב של תוכנית רמזור דו-שלבית (שני שלבים), ניתן להפחית עד 30% מנפח הסף המצטבר של התנועות המשניות. הפחתה זו רלוונטית להצדק ל-8 שעות העמוסות בלבד בצמתים בין-עירוניים.

2.5.3 הפחתה עקב מערכת רמזורים בגל ירוק

בדרך או ברחוב עירוני, בעלי חתך דו-מסלולי, עם לפחות שני נתיבי נסיעה ישרים בכל מסלול, בהם קיימת מערכת רמזורים מתואמת בגל ירוק, ניתן לשקול רימזור צומת הממוקם בסמיכות לאחד הצמתים בקבוצה המתואמת (בין אם בתוך הקטע המתואם או מחוצה לו), בתנאי שמתקיימים שני הקריטריונים הבאים:

- המרחק בין צירי הצומת המיועד לרימזור לצומת המרומזר הקרוב בקבוצה, יהיה בטווח של עד 300 מטר.
- רימזור הצומת המיועד הינו בעל תרומה לשיפור הזרימה על ידי שימור מבנה השיירה, יעילות הגל ורוחב הפס.

לצורך חישוב ההצדק, ניתן להפחית 30% מנפח התנועה המצטבר של התנועות המשניות, בחישוב המבוסס על נפחי תנועה בצומת עירוני, ב-8 השעות העמוסות (סעיף 2.2.2).

2.5.4 הפחתה עקב שיקולים גיאומטריים

בהסתעפות לא מרומזרת בדרך בין-עירונית, ניתן להפחית עד 20% מסך נפחי התנועה הנדרש להצדק לרימזור כאשר בצומת קיים, בפניה שמאלה מהציר המשני לציר הראשי (חד-מסלולי או דו-מסלולי) אין אפשרות לתמרון דו-שלבי. במצב זה אין מקום להמתנת רכב לרוחב המפרדה, ואין נתיב התמזגות לאחר הפנייה שמאלה לציר הראשי, המאפשר הגנה על הרכב הפונה תוך המתנה לפער בציר הראשי. פירוט על הסדר תנועה לביצוע תמרון דו-שלבי ראו סעיף 7.3.7 בהנחיות לתכנון דרכים בין-עירוניות, כרך 2 משה"ת 2023.

2.5.5 הפחתה עקב ביטול פניות שמאלה בצמתים סמוכים

בקבוצת צמתים סמוכים (שניים או יותר) בדרך בין-עירונית, כאשר יש כוונה לרמזר את אחד הצמתים, ובה בעת לבטל את הפניות שמאלה ביתר הצמתים הסמוכים שבקבוצה, ניתן להפחית עד 20% מנפח הסף המצטבר של התנועות המשניות של הצומת המיועד להצבת רמזור. הפחתה זו רלוונטית להצדק 8 השעות העמוסות בלבד בצמתים בין-עירוניים. צומת סמוך יוגדר כצומת הצטלבות או הסתעפות, המרוחק 4 ק"מ לכל היותר מהצומת המיועד לרימזור. הפניות שמאלה תתבצענה דרך הצומת המרומזר, כאשר ניתן להוסיף לנפחי התנועות המשניות של הצומת המיועד לרימזור את התנועות השמאליות שיבוטלו מהצמתים הסמוכים.

2.5.6 הפחתה עקב חיבור למרכז בקרה

בצמתים מופעלי תנועה שיחברו למרכז בקרה וכוללים גלאי כלי-רכב ולחצני הולכי-רגל, ניתן להפחית עד 20% מערכי-הסף של נפחי התנועה המצדיקים הצבת רמזור.

2.6 הצדק לביטול רמזור קיים

ניתן לבטל רמזור קיים בצומת עירוני או בין-עירוני, כאשר הנפחים בתנועות הראשיות ו/או המשניות, נמוכים לפחות ב-30% מדרישות הסף של הצדק נפחי התנועה להצבת הרמזור. הצדק זה נועד למצבים בהם קיימת הפחתה משמעותית בנפחי התנועה, לרוב כתוצאה משינויים מערכתיים כדוגמת דרכים חדשות המשנות את הצבת התנועה ברשת ומפחיתות את נפחי התנועה מהצמתים הקיימים. מומלץ שהצומת בו מבוטל הרמזור לא יחזור להסדר תנועה של צומת לא מרומזר מלא, אלא יתוכנן כמעגל תנועה או כצומת עם ביטול חלק מהתנועות.

2.7 סיכום הצדקים להצבת רמזור

טבלה 2.3 שלהלן מציגה את סיכום הצדקים להצבת רמזור.

טבלה 2.3: סיכום ההצדקים להצבת רמזור בישראל

סעיף (תרשים)	תנאים/נפחי סף/הפחתות		הצדק	קטגוריה
	סכום נפח תנועות משניות המיועדות לרמזור [ית"ן]	סכום נפח כלל התנועות המיועדות לרמזור [ית"ן]		
2.2.1 (תרשים 2.1)	2,000	12,000	הצדק 8 שעות בין-עירוני	נפחי תנועה
2.2.1 (תרשים 2.1)	1,500	9,000	הצדק 4 שעות בין-עירוני	
2.2.2 (תרשים 2.2)	1,500	10,000	הצדק 8 שעות עירוני	
2.2.2 (תרשים 2.2)	1,000	7,000	הצדק 4 שעות עירוני	
2.3.1	ב-4 שעות העמוסות ביותר (כל התנאים יחד): 150 הולכי-רגל בשעה (חוצים במעבר החצייה) + עיכוב ממוצע לה"ר מעל 40 ש' (30 ש' במקרים מיוחדים)		מספר הולכי- הרגל ורוכבי האופניים	הולכי-רגל ורוכבי אופניים
2.3.2	מעל 10 מ' ברחוב עירוני; מעל 11 מ' בדרך עירונית		אורך מעבר החצייה	
2.3.3	לפחות 2 נתיבים למסלול, 15,000 ית"ן ביממה, מהירות אחוזון 85 גדולה מ-60 קמ"ש, מרחק מעבר חצייה סמוך יותר מ-200 מ'		קטע דרך עירונית דו-מסלולית	
2.4.1	בכל צומת למעט מקרים מיוחדים		בצומת	צירי תצ"ם
2.4.2	בכל מעבר חצייה בקטע דרך למעט מקרים מיוחדים		חציית הולכי-רגל ורוכבי אופניים בקטע דרך	
2.4.3	במעבר חצייה סמוך מעבר חצייה נוסף כתלות במרחק הליכה מרבי		סמוך לתחנה	
2.4.4	3 תאונות דרכים בשנה עם נפגעים במעורבות תצ"ם		תאונות דרכים	
2.5.1	עד 20% בהצדק 8 שעות כאשר: 5 תאונות בשנה/ 7 בשנתיים/ 9 בשלוש שנים		הפחתות מנפחי הסף	תאונות דרכים עם נפגעים
2.5.2	עד 30% בתנועות המשניות בהצדק 8 שעות		הפחתות מנפחי הסף	תכנית רמזור דו-שלבית
2.5.3	מאפשר שיפור זרימת התנועה בצומת עירוני במרחק של עד 300 מ' מצומת מרומזר סמוך; הפחתה ב-30% מתנועות משניות בהצדק 8 שעות		הפחתות מנפחי הסף	מערכת רמזורים בגל ירוק
2.5.4	עד 20%		הפחתות מנפחי הסף	הצדק גאומטרי לפנייה דו-שלבית – בין-עירוני
2.5.5	עד 20% בתנועות המשניות בהצדק 8 שעות		הפחתות מנפחי הסף	ביטול פניות שמאליות בצומת/ים סמוך/כים בין-עירוני
2.5.6	עד 20%		הפחתות מנפחי הסף	חיבור למרכז בקרה צמתים מופעלי תנועה
2.6	נפחי התנועה נמוכים ב-30%		מתחת לסף נפח תחתון	ביטול רמזור קיים

פרק 3: הסדר הנדסי ורימזור

תוכן עניינים

3-1.....	כללי	3.1
3-3.....	עקרונות להצבת ראשי רמזור	3.2
3-3.....	אופן הצבת רמזורים לכלי-רכב	3.3
3-3.....	סוג ראשי הרמזור	3.3.1
3-4.....	עקרונות כלליים	3.3.2
3-5.....	הרמזור הקרוב	3.3.3
3-6.....	הרמזור החוזר	3.3.4
3-9.....	פנייה ימינה עם אי תנועה משולש	3.3.5
3-9.....	פנייה ימינה מרומזרת משותפת לרכב ולהולכי-רגל / רוכבי אופניים	3.3.6
3-12.....	עקרונות לביטול ראש הרמזור החוזר – הנחיות להצבת ראשי הרמזור	3.3.7
3-13.....	אופן הצבת רמזורים להולכי-רגל	3.4
3-14.....	עקרונות לתכנון ולהצבת רמזורים לאופניים	3.5
3-14.....	כללי	3.5.1
3-15.....	סוג ראשי הרמזור	3.5.2
3-16.....	רמת הפרדה א' (תנועה משותפת לאופניים ולרכב מנועי)	3.5.3
3-16.....	רמת הפרדה ב' (נתיב אופניים)	3.5.4
3-17.....	רמת הפרדה ג' (שביל אופניים)	3.5.5
3-21.....	פנייה ימינה מרומזרת משותפת לרכב מנועי ולרוכבי אופניים החוצים את הפנייה	3.5.6
3-22.....	פנייה ימינה חופשית (לא מרומזרת)	3.5.7
3-23.....	תא-אופן בצומת מרומזר	3.5.8
3-30.....	אופן הצבת רמזורים לתחבורה ציבורית מועדפת (תצ"ם)	3.6
3-30.....	ראשי הרמזור לתחבורה ציבורית מועדפת	3.6.1
3-31.....	עקרונות להצבת ראשי רמזור לתצ"ם	3.6.2
3-31.....	עקרונות להצבת ראשי רמזור לתנועת רכבת קלה (רק"ל)	3.6.3
3-33.....	עקרונות להצבת ראשי רמזור לתנועת תאו"ם או אוטובוסים במופע תצ"ם	3.6.4
3-34.....	עקרונות להצבת ראשי רמזור לתנועה מעורבת	3.6.5
3-34.....	התקן שמע אחוד, לחצני דרישה להולכי-רגל ולרוכבי אופניים	3.7
3-34.....	התקן שמע אחוד ולחצן דרישה להולכי-רגל	3.7.1
3-35.....	לחצן דרישה לרוכבי אופניים במופע משותף עם הולכי-רגל	3.7.2



3-35.....	לחצן דרישה לרוכבי אופניים במופע נפרד	3.7.3
3-35.....	תמרור ס-11	3.7.4
3-36.....	בקר הרמזור	3.8

פרק 3: הסדר הנדסי ורימזור

3.1 כללי

תכנון צומת מרומזר כולל מאפיינים גיאומטריים ותנועתיים שונים מאשר תכנון של צומת שאינו מרומזר. העקרונות הגיאומטריים הייחודיים הינם בעיקרם הסדרי הניתוב, לרבות נתיבי הפנייה ונתיבי העזר, מיקום מעברי חצייה, תימרור וסימון על פני הדרך, והסדרים לתחבורה ציבורית. נוסף לאלה, תכנון צומת מרומזר כולל רכיבים הקשורים לתכנון הרמזור, המוצגים בתוכנית "הסדר הנדסי ורימזור" (ראו תרשים 3.1). בתוכנית זו מוטמעים כלל מרכיבי תכנון הרמזור על גבי תוכנית התנועה המפורטת בקנ"מ 1:250, כמפורט להלן:

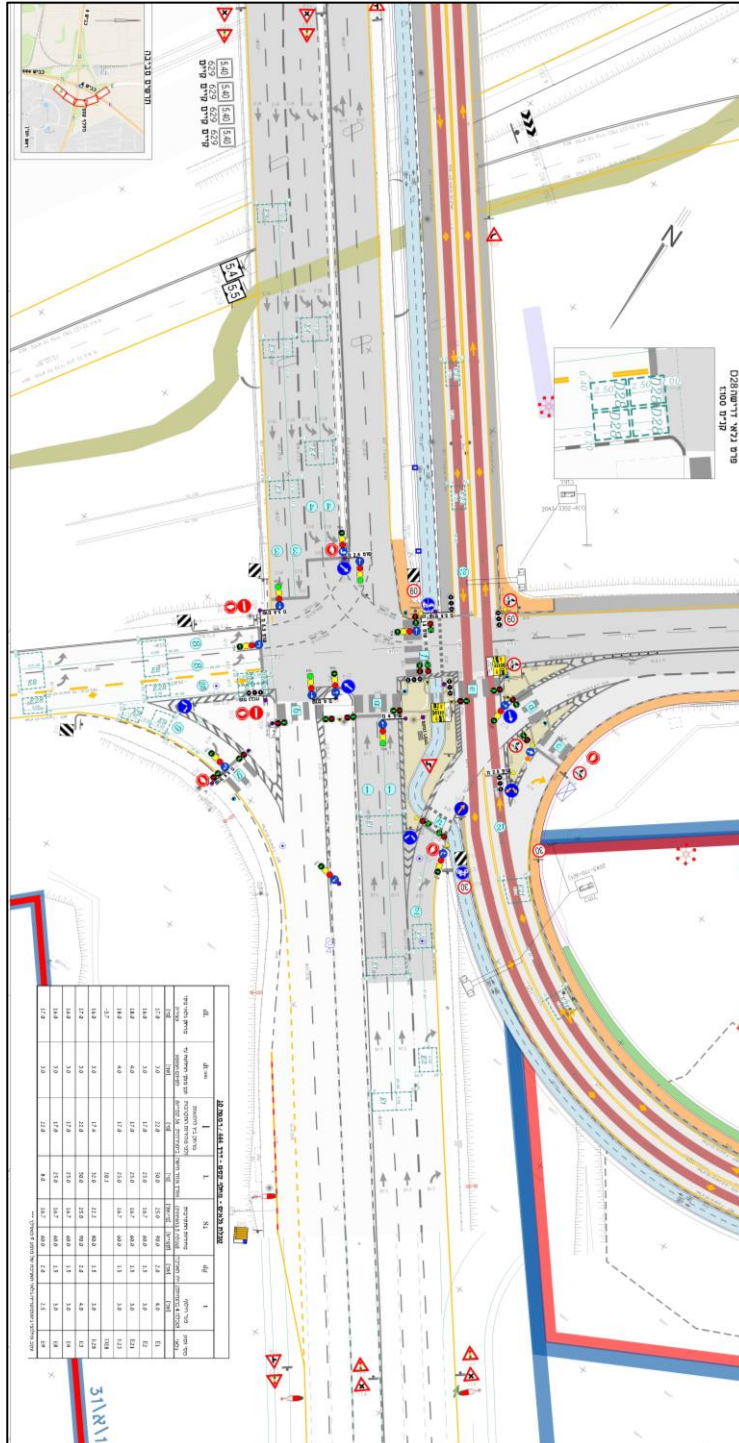
- מיקום עמודי הרמזור וסוגיהם. בתכנון צומת קיים, יש לציין על גבי התוכנית עמודים קיימים/חדשים או שינויים אחרים. בתכנון שלבי ביצוע, יש לציין על גבי התוכנית עמודים זמניים או מיקום סופי.
- ראשי הרמזור לכל מופע בצומת:
 - כלי-רכב – תמרורים 701-707.
 - תחבורה ציבורית – תמרורים 708-717.
 - הולכי-רגל ורוכבי אופניים במעברי חצייה – תמרורים 718-721.
 - רוכבי אופניים בנתיבים ושבילים ייעודיים – תמרורים 727-729.
 - ראש רמזור מקדים לרק"ל (לא בלוח התמרורים).
- תמרורי הוריה מעל פנסי הרמזור – תמרורים 201-212.
- מספרי מופעי הרמזור ושמותיהם.
- מיקום גלאי הרכב המנועי (כולל מידות) וטבלת הגלאים (כולל החישובים הנדרשים בטבלה). בפרוייקטי העדפה לתחבורה ציבורית ברמזורים, גלאי העדפה לתחבורה הציבורית יופיעו בתוכנית גלאים נפרדת.
- לחצני דרישה להולכי-הרגל (משולבים בהתקן אחוד עם התקן שמע למוגבלי ראייה), כולל תמרורי ס-11.
- התקני שמע אחוד למוגבלי ראייה.
- מיקום בקר הרמזור (מנגנון).
- מיקום עמודי חשמל ותאורה.

פרק זה מתמקד בהנחיות לתכנון מרכיבי הרמזור בתוכנית הסדר הנדסי ורימזור.

להגדרת סוגי הרחובות והדרכים, ולעקרונות תכנון גיאומטרי של צמתים לא מרומזרים, ראו הנחיות משרד התחבורה עבור צמתים במרחב העירוני והבין-עירוני, התקפות בעת כתיבת ההנחיות שלפניכם, כמפורט להלן:

- הנחיות לתכנון רחובות בערים – תנועת הולכי-רגל (2020), תנועת אופניים (2020), צמתים (2020).
- הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות, צמתים ומחלפים – כרך 2 – תכן גיאומטרי של צמתים (2022).

- הנחיות לתכנון נתיבים לתעבורת אוטובוסים מהירה (תאו"ם - BRT) – מהדורה שניה (2018).
עבור עקרונות למיספור ולשמות של מופעי הרמזור, ראו פרק 4 להלן בנושא התכנון המוקדם. עבור מיקום גלאי הרכב המנועי, לחצני הולכי-רגל ואופניים, ראו פרק 8 להלן בנושא תכנון גלאים.



תרשים 3.1: דוגמא לתוכנית "הסדר הנדסי ורימזור" (לא בקנ"מ, ללא סטרפ)

3.2 עקרונות להצבת ראשי רמזור

להלן פירוט עקרונות כלליים להצבת ראשי הרמזור בצומת מרומזר:

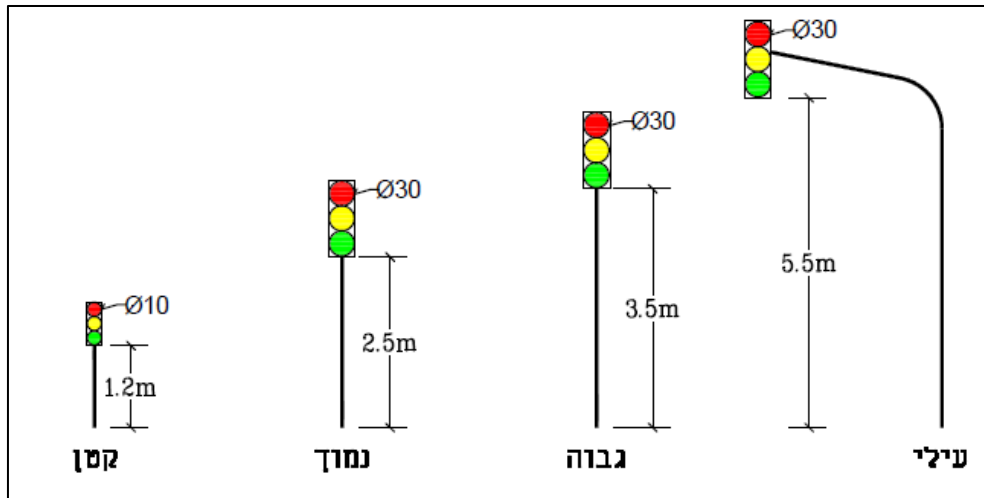
- הצבת ראשי הרמזור תיעשה כך, שתובטח נראות מיטבית של פנסי הרמזור הרלוונטיים לכל משתמשי הדרך הרלוונטיים.
- מרכז עמוד הרמזור יוצב במרחק של 80 ס"מ מקצה נתיב הנסיעה הסמוך, כדי לא להרחיקו משדה הראייה של הנהג מחד, אך שלא יהווה מכשול קשיח בסמוך לנתיב הנסיעה, מאידך. יש להקפיד שעמוד הרמזור לא יפלוש לרצועות ההליכה במדרכה. במקרים מיוחדים באזור עירוני ניתן להציב את עמוד הרמזור כך שמרכזו יהיה במרחק שלא יפחת מ-50 ס"מ מקצה נתיב הנסיעה.
- מומלץ למזער את המספר הכולל של עמודי הרמזור בצומת ככל הניתן. מסיבה זו מומלץ להציב מספר ראשי רמזור למופעים שונים על גבי עמוד אחד. כמו כן, מומלץ להציב תמרורים על עמודי רמזור ככל שהדבר אפשרי.
- במידת האפשר, מומלץ לאחד בין עמודי הרמזור לעמודי התאורה, לצורך מיזעור כמות העמודים בצומת. בכל מקרה, העמודים עליהם מוצבים ראשי הרמזור נדרשים לעמוד בדרישות מפרט עמודי הרמזור.
- ראשי הרמזור יהיו אנכיים (פנסים זה מתחת לזה). לא יתאפשרו ראשי רמזור אופקיים (פנסים זה לצד זה).
- השיטה המקובלת להצבת ראשי הרמזור הינה על עמודים. במקרים מיוחדים ניתן להציב על גבי גשרים (גשרי רכב או הולכי רגל או גשרים ייחודיים).

3.3 אופן הצבת רמזורים לכלי-רכב

3.3.1 סוג ראשי הרמזור

ראש הרמזור הינו מערכת פנסים להכוונת משתמשי הדרך השונים. יש להבחין בין חמישה סוגים של ראשי רמזורים עבור כלי-רכב:

- ראש רמזור עילי – שלושה פנסים בקוטר 30 ס"מ על זרוע (שוט) בגובה תחתית 5.5 מטר. אורך הזרוע תותאם לנדרש (ראו התייחסות לאורך הזרועות בסעיף 3.3.2).
- ראש רמזור גבוה – שלושה פנסים בקוטר 30 ס"מ בגובה תחתית 3.5 מטר.
- ראש רמזור נמוך – פנסים בקוטר 30 ס"מ בגובה תחתית 2.5 מטר (כולל גם פנס צהוב מהבהב (707)).
- ראש רמזור קטן – שלושה פנסים בקוטר 10 ס"מ בגובה תחתית 1.20 מ'. תחילת השימוש ברמזור זה כפופה לאישור ההתקן בלוח התמרורים ובתקנות והנחיות להצבת תמרורים (תקו"ה).
סכימה של ראשי הרמזורים מוצגת בתרשים 3.2.



תרשים 3.2: סוגי ראשי רמזור לכלי-רכב וגובה הצבתם

3.3.2 עקרונות כלליים

להלן פירוט עקרונות כלליים להצבת ראשי הרמזור לרכב בצומת מרומזר:

- לכל מופע רכב יתוכננו שני ראשי רמזור – רמזור קרוב בסמוך לקו העצירה, ורמזור חוזר מעבר לצומת. במקרים מיוחדים, כפי שמפורט בסעיף 3.3.7, ניתן לתכנן ראש רמזור אחד בלבד.
- יש לוודא נראות של פנסי הרמזור, הן בגישה לצומת והן לרכב הממתין בקו העצירה.
- יש למנוע בלבול פנסים בין מופעים שונים באותו כיוון התקרבות באמצעות:
 - הרחקה אופקית או אנכית של ראשי רמזור למופעים שונים המגיעים לצומת מאותה גישה.
 - הצבת ראשי רמזור במיקום שלא מאפשר להבחין בראשי רמזור של מופעי רכב שבניגוד.
 - הצבת ראשי רמזור עיליים מעל נתיב/י הנסיעה הרלוונטיים למופע, ולא מעל נתיבים המיועדים למופעים אחרים.
 - התקנת מצחיות צידיות לפנסי הרמזור (מצחיות המסתירות חלקית את הפנס לנהג שאינו מולו).
- למניעת בלבול פנסים בין צמתים סמוכים, יש להצניע את ראשי הרמזור של הצומת במורד הזרם, ע"י הצבת ראשי רמזור נמוכים בלבד (קרוב וחוזר).
- יש להימנע מהצבה של שני ראשי הרמזור לאותו מופע באותו קו ראייה לנהג, כדי להימנע ממצב שראש רמזור חוזר מוסתר על ידי ראש רמזור קרוב.
- כאשר ניתנות פניות ימינה או שמאלה במופע נפרד, יש להשתמש בחיצים על פני הפנס הירוק (תמרוך 704 בלוח התמרוכים).
- יש להציב תמרורי הוריה מסדרה 201 עד 212 מעל ראשי הרמזור, למעט מעל ראשי רמזור למופעים בהם מותרות כל התנועות (ישר, ימינה ושמאלה). תמרורי הוריה מעל ראשי הרמזור יהיו מוארים פנימית בשעות החשיכה.

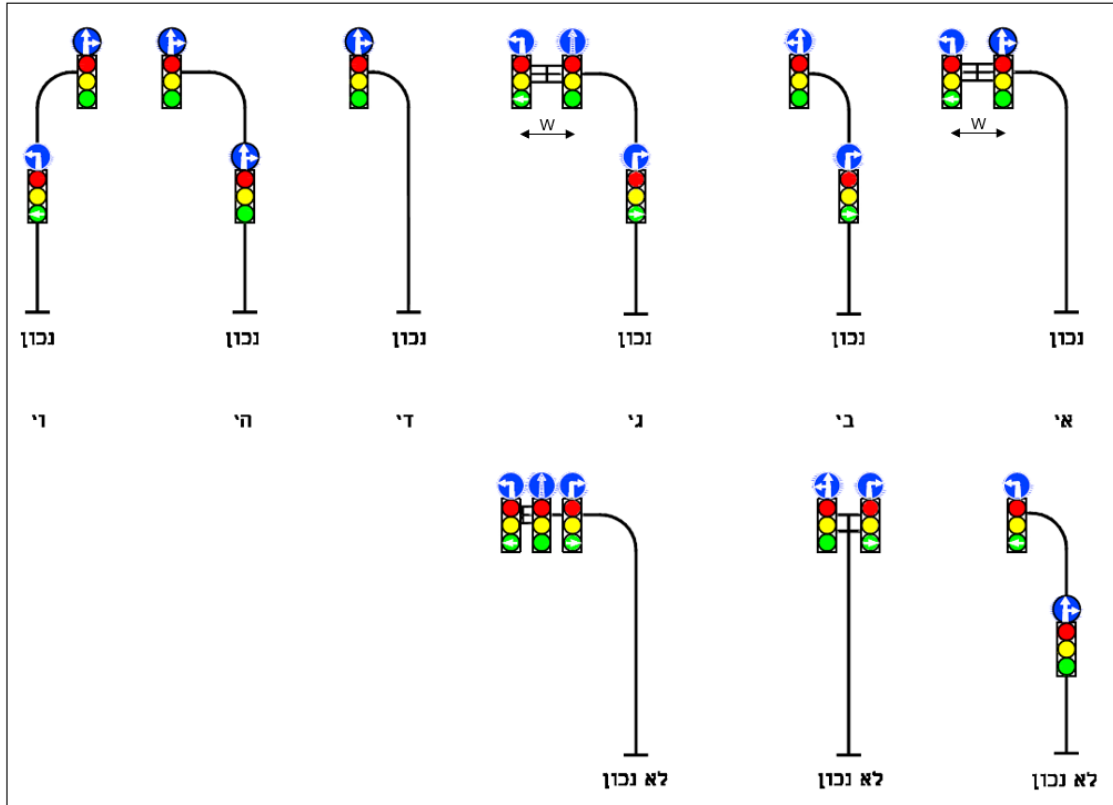
- תמרורי הוריה מעל ראשי הרמזור הקרוב והחוזר של אותו מופע יהיו זהים, למעט המקרים הבאים:
 - מופע בלעדי ימינה – תמרור 206 מעל ראש הרמזור הקרוב ותמרור 204 מעל ראש הרמזור החוזר.
 - מופע בלעדי שמאלה – תמרור 207 מעל ראש הרמזור הקרוב ותמרור 205 מעל ראש הרמזור החוזר.
- מומלץ לתכנן ראשי רמזור עיליים עם זרועות באורכים בין 2.0 מ' ל-5.5 מ' (במדרגים של חצאי מטר). במידת הצורך, לצורך ניראות הפנסים, ניתן להתקין זרועות באורך גדול יותר. במידה שאורך הזרוע אינה תואמת את הפרטים הסטנדרטיים המופיעים במפרט עמודי הרמזור, נדרש פתרון קונסטרוקטיבי פרטני. לחילופין, ניתן לשקול הצבה של ראשי הרמזור על גבי גשר.

3.3.3 הרמזור הקרוב

להלן פירוט העקרונות להצבת הרמזור הקרוב:

- ראש הרמזור הקרוב יוצב באופן שייראה לעיני הנהג המתקרב לצומת במרחק רב ככל האפשר, לפחות ממרחק העצירה.
- עמוד הרמזור יוצב בדרך כלל בסמוך לקו העצירה. במקרים מיוחדים ולצורך מיזעור מספר העמודים בצומת, ניתן להציבו שלא בקו העצירה (לדוגמה: בקצה הרחוק של מעבר החצייה בגישה לצומת).
- ראש הרמזור יוצב בדר"כ מצד ימין לכיוון הנסיעה, או מעל נתיבי הנסיעה באמצעות רמזור עילי (מתאים בעיקר כאשר יש יותר מנתיב אחד למופע).
- ראש הרמזור למופע בלעדי לתנועה שמאלה יוצב, ככל האפשר, משמאל לכיוון הנסיעה, או מעל מרכז נתיבי התנועה שמאלה (מתאים בעיקר כאשר יש יותר מנתיב אחד לתנועה שמאלה).
- כאשר קיימים מספר מופעים מאותו כיוון התקרבות, יש להבליט את ראשי הרמזור של המופעים הישרים.
- כאשר יש שלושה נתיבים או יותר למופע, מומלץ להציב שני ראשי רמזור קרובים (בנוסף לראש הרמזור החוזר), או שני ראשי רמזור רחוקים (בנוסף לראש הרמזור הקרוב), באופן שייראו לנהג בגישה מכל אחד מהנתיבים.
- עבור מופעי רכב שונים מאותו כיוון התקרבות, לא יוצבו יותר משני ראשי רמזור על אותו עמוד באותו הגובה (ניתן להציב על אותו העמוד ראשי רמזור לכיווני התקרבות שונים, להולכי-רגל, מהבהב וכו'). כאשר מותקנים שני ראשי רמזור עיליים, מומלץ להרחיקם אחד מהשני כך שראשי הרמזור יהיו מול נתיבי הנסיעה הרלוונטיים. ראש הרמזור הימני מבין השניים יהיה תמיד למופע ישר או ישר וימינה. במידת הצורך, ניתן להשתמש ב"מתקן כפול" סטנדרטי אשר מספק רוחב של 1.0 מ' בין מרכז ראשי הרמזור (במקרה זה ראשי הרמזור לא יהיו מול נתיבי הנסיעה).
- ראש רמזור נפרד לפנייה ימינה, יוצב תמיד נמוך ובנפרד מראשי הרמזור לכיוונים האחרים.

תרשים 3.3 מציג דוגמאות למיקומים של ראשי רמזור על עמוד יחיד עבור מופע או מופעים שונים מאותו כיוון התקרבות:



תרשים 3.3: מיקום ראשי רמזור קרובים לכלי-רכב על עמוד יחיד עבור מופעים שונים מאותו כיוון התקרבות (W – רוחב נתיב)

3.3.4 הרמזור החוזר

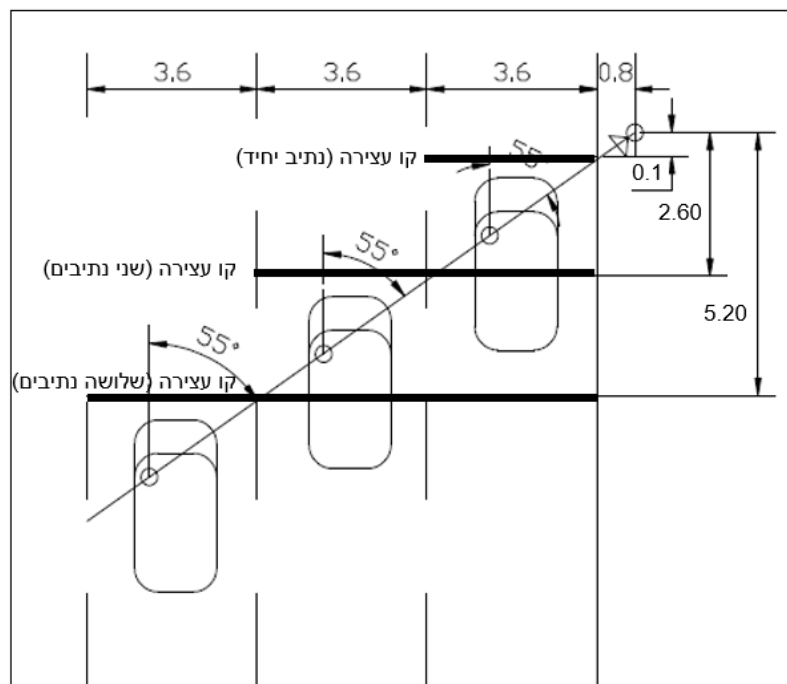
להלן פירוט העקרונות להצבת הרמזור החוזר:

- הרמזור החוזר יוצב באופן שייראה לעיני הנהג הראשון הממתין לפני קו העצירה.
- הרמזור החוזר יוצב בדרך כלל בקצה הרחוק של הצומת, רצוי בסיומו של אזור הניגוד של הצומת.
- עמוד הרמזור החוזר יוצב מצד שמאל לכיוון הנסיעה, או מעל נתיבי הנסיעה באמצעות רמזור עילי (מתאים בעיקר כאשר יש מספר נתיבים למופע). ניתן להציב את עמוד הרמזור מצד ימין לכיוון הנסיעה כאשר לא ניתן להציב את העמוד מצד שמאל, או כאשר קיימת בעיית נראות הפנסים, או כאשר ייתכן בלבול עם פנסים למופעים אחרים.
- כאשר קיים מופע ישר ומופע שמאלה מאותו כיוון התקרבות, מומלץ להציב את עמוד הרמזור החוזר מצד שמאל על המפרדה, כאשר המופע ישר ימוקם על ראש רמזור עילי, והמופע שמאלה כראש רמזור נמוך על גבי אותו העמוד.

- עבור מופע בלעדי לתנועה שמאלה, מומלץ להציב את הרמזור החוזר מול נתיב/י הפנייה שמאלה.
- עבור מופע בלעדי לתנועה ימינה, יוצב ראש הרמזור החוזר מול נתיב הפנייה ימינה או מימין לנתיב.
- עבור מופע משותף לימינה ושמאלה, יוצב ראש הרמזור החוזר מול נתיבי הפנייה, במקום שיראה לעיני הנהגים הפונים ימינה ושמאלה.

מיקום ראש הרמזור ביחס למיקום קו העצירה ייקבע על פי שיקולי נראות ראש הרמזור, בהתאם למפורט להלן:

הסטת עיניים אופקית: נהג הממתין בקו העצירה יכול לראות ראש רמזור המוצב כ-0.8 מטר משפת הדרך, בזווית ראייה אופקית של עד 55° לראש רמזור המוצב בצד ימין, ו- 30° לראש רמזור המוצב בצד שמאל, אם מרכז קו העצירה מרוחק מראש הרמזור כמפורט בטבלה 3.1. החישוב מתבסס על רוחב נתיב של 3.6 מ' ומרחק עיני נהג מקו עצירה של 2 מ'. תרשים 3.4 מציג באופן סכימטי את המרחקים המזעריים מקו העצירה להצבת ראש הרמזור הקרוב או החוזר, בהתאם לראש הרמזור אותו נדרש לראות הנהג מקו העצירה.



תרשים 3.4: מרחק אופקי מזערי להצבת עמוד רמזור קרוב או חוזר מקו העצירה בהתאם למספר הנתיבים

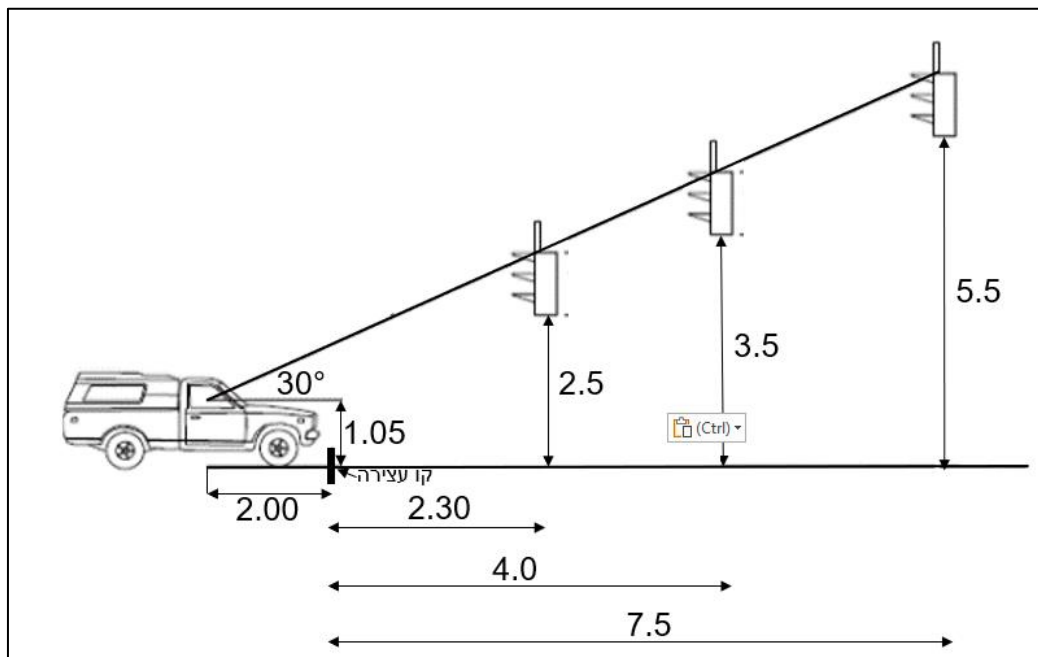
טבלה 3.1: מרחק אופקי מזערי נדרש של ראש הרמזור מקו העצירה

3		2		1		מספר נתיבים
משמאל	מימין	משמאל	מימין	משמאל	מימין	מיקום הרמזור משפת הדרך
14.30	5.20	8.00	2.60	1.80	0.10	מרחק קו העצירה מראש הרמזור (מ')

הסטת עיניים אנכית: נהג הממתין בקו העצירה יכול להבחין בחלקו העליון של ראש הרמזור, בזווית ראייה אנכית של 30° , אם מרכז קו העצירה מרוחק מראש הרמזור כמפורט בטבלה 3.2. החישוב מתבסס על גובה עיני נהג של 1.05 מ', ומרחק עיני הנהג מקו העצירה של 2 מ'. תרשים 3.5 מציג את המרחקים המזעריים מקו העצירה להצבת ראשי הרמזור הקרוב או החוזר, בהתאם לראש הרמזור אותו נדרש לראות הנהג מקו העצירה.

טבלה 3.2: מרחק מזערי נדרש של ראש הרמזור מקו העצירה בהתאם לגובה הרמזור

עילי	גבוה	נמוך	סוג ראש הרמזור
7.50	4.00	2.30	מרחק קו העצירה מראש הרמזור (מ')



תרשים 3.5: מרחק מזערי להצבת עמוד רמזור קרוב או חוזר מקו העצירה בהתאם לגובה הרמזור

3.3.5 פנייה ימינה עם אי תנועה משולש

פנייה ימינה לרכב, עם אי תנועה משולש, אפשרית כתנועה שאינה מרומזרת (חופשית), או כמופע מרומזר בהתאם לעקרונות הבאים:

פנייה ימינה חופשית עם אי תנועה משולש ללא רמזור, ניתן להסדיר רק כאשר הפנייה מתבצעת בנתיב יחיד. במקרה זה יש למקם פנס צהוב מהבהב (תמרוז 707) עם תמרוז הוריה 204 מעליו (פנס צהוב מהבהב לא מותנה), בגובה ראש רמזור נמוך (2.5 מ'). פנס זה ימוקם מצד שמאל לנתיב הנסיעה, ברדיוס החיצוני, על אי התנועה המשולש, כך שייראה במרחק של 60 מטר לפחות בדרך בין-עירונית ובדרך עירונית, ו-30 מטר לפחות ברחוב עירוני. מומלץ להציב פנס זה בסמוך ולפני מעבר החצייה (אם קיים), או בראש האי המשולש. אם סומן מעבר חצייה להולכי-רגל ו/או רוכבי אופניים, הפנס הצהוב המהבהב יכלול בתוכו צלמית של הולך-רגל.

פנייה ימינה מרומזרת עם אי תנועה משולש תוסדר במקרים הבאים:

- הסדר התנועה כולל שני נתיבי פנייה ימינה ומעלה.
- בדרכים לא-עירוניות – כאשר לא מוסדר נתיב האצה, וכאשר המהירות המרבית המותרת בדרך המצטלבת הינה 70 קמ"ש ומעלה.
- כאשר קיים צומת סמוך המחייב השתזרות של נפחי תנועה משמעותיים (או תחבורה ציבורית) בין התנועה ימינה לבין תנועות אחרות.
- כאשר יש ריבוי תנועות הולכי-רגל או רוכבי אופניים, ושילוב תנועות אלה עם הפניה ימינה יפגע בזרימת התנועה ובבטיחות משתמשי הדרך.

בפנייה ימינה מרומזרת עם אי תנועה משולש, מיקום ראש הרמזור הקרוב יהיה מימין לכיוון הנסיעה ובסמוך לקו העצירה. במקרה של שני נתיבים מרומזרים ניתן להציב רמזור עילי. בפנייה ימינה מרומזרת עם אי תנועה משולש לא נדרש רמזור חוזר. במקרה זה ניתן למקם את ראש הרמזור היחיד בהתאם לעקרונות המפורטים בסעיף 3.3.7. אם הוחלט על הצבת ראש רמזור חוזר, מיקומו יהיה ממול לנתיב/ הנסיעה ביציאה מהפנייה (על המפרדה או בצדו השני של הצומת).

תרשים 3.6 מציג את מיקום הצבת ראשי הרמזור לרכב בפנייה ימינה עם אי תנועה משולש.

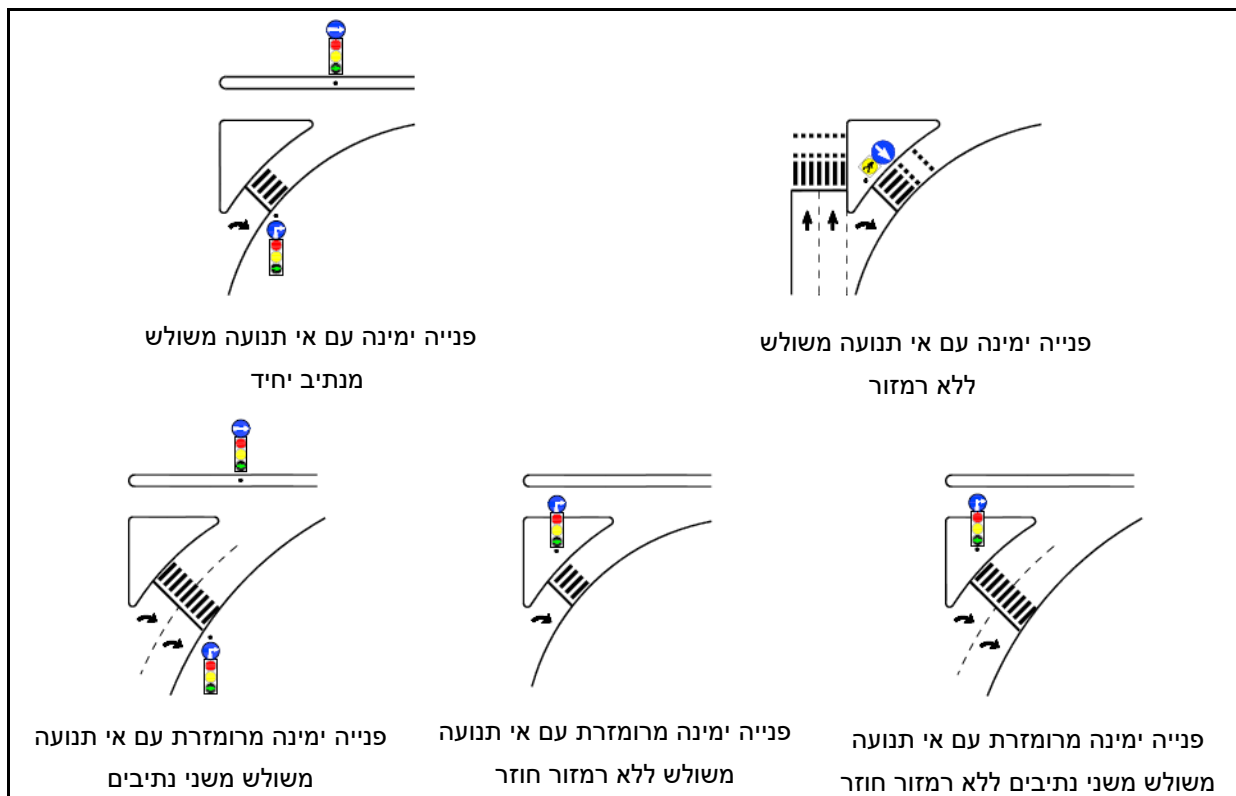
3.3.6 פנייה ימינה מרומזרת משותפת לרכב ולהולכי-רגל / רוכבי אופניים

פנייה ימינה מרומזרת משותפת לרכב ולהולכי-רגל / רוכבי אופניים החוצים במעבר החצייה אינה מומלצת, הן משיקולים בטיחותיים והן משיקולי זרימת התנועה. קיימת עדיפות להסדרת הניגוד בין כלי-הרכב הפונים ימינה, לבין הולכי-הרגל והאופניים בהתאם לחלופות המפורטות להלן:

- פנייה ימינה עם אי תנועה משולש. במקרה זה תנועות הרכב והולכי-הרגל / אופניים אינן מרומזרות. לפירוט על פנייה ימינה חופשית הכוללת חציית שביל אופניים, ראו סעיף 3.5.7.
- הפרדת שלבים בין תנועת כלי-הרכב הפונים ימינה לבין תנועת הולכי-הרגל והאופניים.

ניתן לשקול הסדרת פנייה ימינה מרומזרת משותפת לכלי-רכב ולהולכי-רגל / אופניים החוצים במעבר חצייה לצורך הפחתת מספר השלבים בצומת, במיוחד בעת הסדרי העדפה לתחבורה ציבורית, או כאשר

ההפרדה בין השלב המיועד להולכי-רגל / אופניים במעבר החצייה לבין השלב לכלי הרכב הפונים ימינה, עלולה להוביל לאי-ציות הולכי-הרגל / אופניים לרמזור (עקב נפח תנועה פונה נמוך). ההחלטה ליישום הסדר זה תתבצע רק לאחר שנבחנו כלל התנאים לשמירה על בטיחות הולכי-הרגל / אופניים, למשל: שיקולי ראות בין כלי-הרכב לבין הולכי-הרגל / רוכבי האופניים, כשכמות הולכי-הרגל החוצה במעבר החצייה נמוכה, כשנפחי התנועה הפונים ימינה נמוכים, וכנ"ל אחוז הרכב הכבד (משאיות ואוטובוסים), ושיקולי אחסנה וגלישת תורים. אין לבצע הסדר זה כאשר יש ניגוד בין החוצים לבין נת"צ. אין לבצע הסדר זה עם מופע אופניים החוצה את הצומת בנתיב (רמת הפרדה ב').



תרשים 3.6: הצבת ראשי רמזור לרכב בפנייה ימינה עם אי תנועה משולש

ככלל, לא תוסדר פנייה שמאלה משותפת לכלי-רכב ולתנועת הולכי-רגל / רוכבי אופניים. במקרים חריגים ביותר ובאישור רשות התמרור המרכזית, ניתן לשקול פנייה שמאלה משותפת, כאשר נפחי התנועה ונפחי הולכי-הרגל / רוכבי האופניים החוצים במעבר החצייה נמוכים, ורק במידה שמדובר בפנייה מרחוב חד-סטרי לרחוב חד-סטרי בנתיב בודד. לפירוט נוסף על פנייה משותפת לכלי-רכב ולרוכבי אופניים, ראו סעיף 3.5.6 בהמשך פרק זה.

להלן עקרונות הצבת ראשי הרמזור לרכב בעת פנייה ימינה מרומזרת. עבור תנועה ימינה משותפת של כלי-רכב ושל הולכי-רגל / רוכבי אופניים:

ראש רמזור קרוב

- עבור מופע בלעדי לתנועה ימינה, יוצב ראש רמזור קרוב מימין לנתיב הנסיעה.
- עבור תנועה ימינה במופע משותף עם כיווני תנועה אחרים, יוצב ראש רמזור קרוב מימין לנתיב הנסיעה ימינה, או ראש רמזור עילי מעל נתיבי הנסיעה.

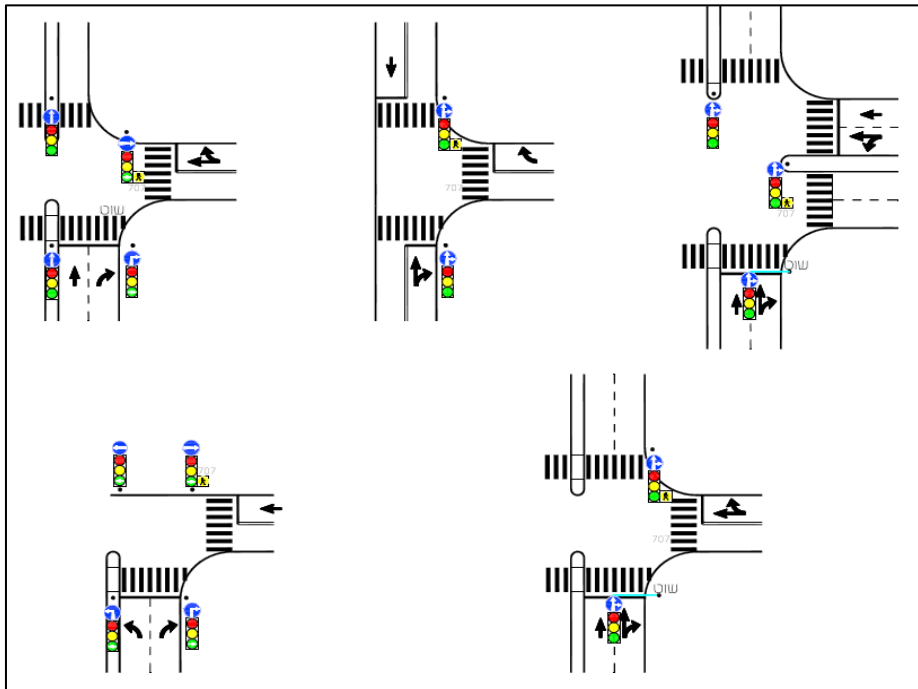
ראש רמזור חוזר

- עבור מופע בלעדי לתנועה ימינה, יוצב ראש רמזור נמוך במפרדה אליה פונים, או בקצה הצומת, מול נתיב הנסיעה ימינה, באופן שיראה בברור לנהג.
- עבור תנועה ימינה במופע משותף עם כיווני תנועה אחרים:
 - כאשר הדרך המצטלבת הינה דו-מסלולית, יש להציב שני ראשי רמזור חוזרים – רמזור חוזר נמוך על המפרדה אליה פונים (המיועד לתנועה הפונה ימינה), ורמזור חוזר נמוך או עילי בקצה הצומת (מיועד לכיווני התנועה האחרים). תמרורי ההוריה מעל ראשי הרמזור יהיו זהים.
 - כאשר הדרך המצטלבת הינה חד-מסלולית, ניתן להציב רמזור חוזר נמוך בקצה הצומת מול או מימין לנתיב הנסיעה. במידת הצורך ניתן להוסיף רמזור חוזר המיועד לכיוונים האחרים.

פנס צהוב מהבהב (תמרור 707)

- יש להציב פנס צהוב מהבהב (תמרור 707) עם צלמית של הולכי-רגל, ללא תמרור הוריה מעליו (פנס מהבהב מותנה). הפנס יוצב בצמוד לרמזור החוזר שבסמוך למעבר החצייה ומימין לעדשת האור הירוק.

תרשים 3.7 מציג דוגמאות להצבת ראשי הרמזור בעת פנייה ימינה משותפת לכלי-רכב ולהולכי-רגל / אופניים.



תרשים 3.7: דוגמאות להצבת ראשי רמזור לרכב בפנייה ימינה

משותפת לרכב ולהולכי-רגל / רוכבי אופניים

3.3.7 עקרונות לביטול ראש הרמזור החוזר – הנחיות להצבת ראשי הרמזור

התכנון העקרוני של צמתים מרומזרים כולל רמזור חוזר. עם זאת, במקרים מיוחדים ניתן לשקול ביטול הרמזור החוזר כמפורט להלן:

- צמתים מורכבים גיאומטרית – בצמתים אלה עלול להיווצר קושי בזיהוי נכון של הרמזור החוזר המתאים. צמתים מסוג זה הינם צמתים רבי זרועות, צמתים עם זרועות בזוויות לא סטנדרטיות, מעגל תנועה מרומזר, ורמזור מקדים למפגש מסילת ברזל.
- דרכים המגיעות לצומת מרומזר מאותו כיוון – במצב בו יש נתיבי נסיעה מקבילים או סמוכים לתנועות המגיעות מיציאה ממנהרה / מחלף / דרך שירות ולדרכים אחרות, וכאשר נדרשים מופעי רמזור שונים לשתי הדרכים האמורות.
- מעבר חצייה מרומזר בקטע דרך.
- פנייה ימינה מרומזרת עם אי תנועה משולש.

לצד המקרים המפורטים לעיל בהצבת ראש רמזור יחיד, קיימים גם מספר חסרונות כמפורטים להלן:

- פגיעה בסיכוי לשמור על קשר עין של הנהג המתקרב עם ראש הרמזור היחיד בכיוונו.
- נהג הנמצא בתוך תחום הצומת ועבר את ראש הרמזור היחיד, אינו מודע למצב אותות הרמזור.
- אי הדלקה של הפנס האדום בראש הרמזור היחיד עקב תקלה, יגרום לתקלה ראשית ולמעבר הצומת למצב הבהוב צהוב, וזאת בניגוד למצב בו קיימים שני ראשי רמזור המגבים זה את זה.
- הגדלת שטח הצומת כאשר מסיגים את קו העצירה אחורה לצורך הצבת ראש הרמזור היחיד.
- עצירת הרכב מתבססת על סימון קו העצירה (תמרור 810) בלבד, מאחר שראש הרמזור אינו מוצב בסמוך לקו העצירה. מצב זה מחייב אחזקה טובה של סימוני הדרך.

העקרונות והכללים עליהם יש לשמור בהצבת ראשי הרמזור, בעת ביטול ראש הרמזור החוזר, זהים לעקרונות המוצגים בסעיף 3.3.2 לעיל. עם זאת, המצב הייחודי שבו קיים ראש רמזור יחיד, מחייב את ניראותו הן עבור הנהג המתקרב לצומת והן עבור הנהג הממתין בסמוך לקו העצירה.

להלן העקרונות להצבת ראש הרמזור בעת ביטול הרמזור החוזר:

- ראש הרמזור יוצב בין קו העצירה לבין גבול אזור הניגוד עם כלי הרכב. ניתן להסיג את קו העצירה אחורה מאזור הניגוד (לרוב מעבר החצייה), ולהציב את ראש הרמזור בסמוך לתחילת אזור הניגוד (לרוב בסמוך למעבר החצייה). לחילופין, ניתן להציב את ראש הרמזור מעבר לקו העצירה במקום בו ניתן להבחין בו מקו העצירה, כולל גם לאחר מעבר החצייה. במידת הצורך ניתן לתת הפנייה זוויתית קלה לראש הרמזור לעבר הנהגים.
- ניתן להשתמש בראש רמזור קטן (קוטר 10 ס"מ) שיוצב בסמוך לקו העצירה, רצוי מצד ימין (בכפוף לאישור ההתקן, לוח התמרורים ותקו"ה), כתוספת לראש הרמזור היחיד. יוצגו בו כל האותות המיועדים לראשי רמזור לכלי-רכב (תמרורים 701-706).
- מיקום ראש הרמזור ביחס למיקום קו העצירה ייקבע על פי שיקולי ניראות ראש הרמזור, כמפורט בטבלאות 3.1 ו-3.2 לעיל.

תרשים 3.8 מציג דוגמה להצבת ראש רמזור ללא רמזור חוזר עבור מעבר חצייה בקטע דרך.



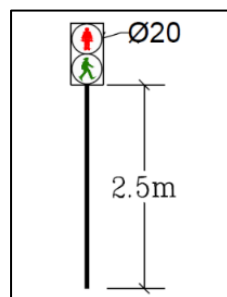
תרשים 3.8: מיקום ראש הרמזור ללא רמזור חוזר (סכימתי)

3.4 אופן הצבת רמזורים להולכי-רגל

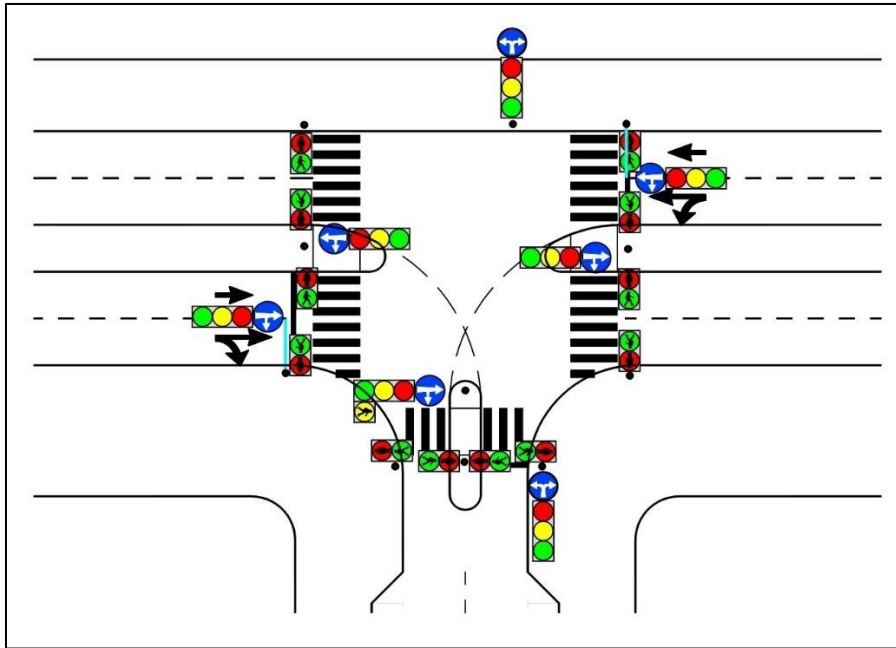
להלן פירוט העקרונות להצבת ראשי הרמזור להולכי-רגל:

- ראש הרמזור להולכי-רגל יהיה בעל שני פנסים (תמרוזים 718-719) בגובה תחתית נמוך (2.5 מ'), בקוטר 20 ס"מ, ראו תרשים 3.9.
- עבור כל מופע הולך-רגל במעבר חצייה (כל מקטע של מעבר חצייה), יש להתקין שני ראשי רמזור, אחד בכל צד של מעבר החצייה.
- יש לשלב, ככל הניתן, הצבה של ראשי רמזור להולכי-רגל על גבי עמודים המיועדים להצבת ראשי רמזור למשתמשי דרך אחרים, לצמצום מספר העמודים בצומת.
- קיים יתרון בטיחותי להצבת ראש הרמזור להולכי-רגל בצד של מעבר החצייה המרוחק מקו העצירה, למניעת הסתרת הרמזור ע"י רכב כבד העומד בקו העצירה.
- לא ימוקם עמוד רמזור בתחום מעבר חצייה שרוחבו הוא עד 4.0 מטר.
- במעברי חצייה ברוחב העולה על 5 מ' יש להציב שני ראשי רמזור להולכי-רגל, ראש רמזור אחד בכל דופן בכל צד.
- לשילוב ראשי רמזור להולכי-רגל עם ראשי רמזור לאופניים במעברי חצייה, ראו פירוט בסעיף 3.5 להלן.

תרשים 3.10 מציג דוגמה להצבת ראשי הרמזור להולכי-רגל במעברי חצייה.



תרשים 3.9: ראש רמזור להולכי-רגל וגובה הצבתו



תרשים 3.10: דוגמה להצבת ראשי רמזור להולכי-רגל בצומת מרומזר

3.5 עקרונות לתכנון ולהצבת רמזורים לאופניים

3.5.1 כללי

בעשורים האחרונים, עם העלייה בשימוש באופניים ובהתאם להנחיות לתנועת אופניים (מת"ח, 2020), המעמד שקיבלו רוכבי האופניים במידרג התנועתי היה דומה לזה שקיבלו הולכי-הרגל. בהיותם מוגדרים בחוקי התעבורה ככלי-רכב, גם ההתייחסות לרוכבי האופניים בהנחיות במקרים רבים הינה בדומה לכלי-רכב, ולפיכך נדרשת גם התייחסות לרמזורי האופניים בהתאם.

רמזורי תנועת האופניים הינם חלק ממערך הפנסים בצומת. הצורך בפנס ייעודי לאופניים נועד לשיפור הבטיחות בצמתים המשלבים תנועות אופניים חוצות, ומטרתם ליצור הפרדה ברורה בין תנועת האופניים לבין תנועות אחרות בצומת הנמצאות איתם בניגוד. רמזור האופניים מספק מידע ייעודי לרוכבים, בדומה ליתר משתמשי הדרך.

בהנחיות לתכנון רחובות בערים – תנועת אופניים (מת"ח, 2020), נהוג לסווג את תנועת האופניים בצומת מרומזר עפ"י רמת ההפרדה שלהם בצומת:

ברמות הפרדה א', האופניים חוצים את הצומת יחד עם התנועה המנועית בנתיב משותף. כאשר מתקיימת זהות בתנועות המותרות לתנועה המנועית ולאופניים בחציית הצומת, לא נדרשים הסדרים או תמרורים מיוחדים עבור האופניים.

כאשר יש שוני בין כיווני התנועה המותרים לרכב מנועי ולאופניים בחציית הצומת, או שמוסדר תא-אופן לאופניים, נדרש שימוש בפנסים / תמרורים אשר יבהירו לנהגים ולרוכבים את התנועות המותרות בחציית הצומת.

ברמת הפרדה ב', האופניים חוצים את הצומת כנתיב חד-סטרי המשכי. הסדר מסוג זה מגדיר את חציית האופניים כמופע נפרד, ומלווה בהצבת ראש רמזור ייעודי לתנועת האופניים בחציית הצומת. ביצוע פניות שמאלה מנתיב אופניים מרומזר החוצה בצומת תבוצענה באמצעות תא-אופן אחורי או בפנייה דו-שלבית באמצעות תא-אופן קדמי.

ברמת הפרדה ג', תנועת אופניים חד / דו-סטרי מגיעה אל הצומת משביל אופניים, ובמקרים רבים חוצה את הצומת במעבר חצייה לאופניים (תמרור 812), לרוב בצמוד ובהקבלה מלאה למעבר החצייה להולכי-הרגל (תמרור 811). במצב כזה היא תוגדר כמופע משותף עם הולך-הרגל, כלומר לא יוגדר מופע נפרד לאופניים. מופע נפרד לאופניים ברמת הפרדה ג' יוגדר כאשר חציית האופניים אינה מתבצעת במקביל לחציית הולך-הרגל, ובמצב שבו קיים ניגוד של האופניים עם הולכי-הרגל או עם הרכב המנועי.

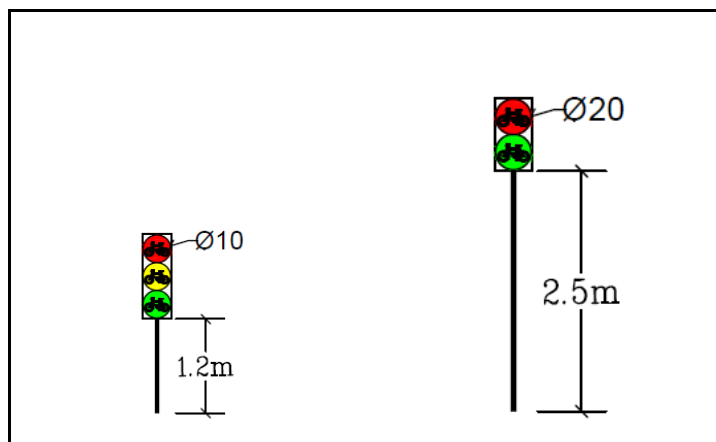
משרד התחבורה מקדם בימים אלה מדריך לתכנון תשתיות רכיבה במרקמים קיימים, בו מוצגים עקרונות תכנוניים ודוגמאות לתכנון תשתיות רכיבה בצמתים ברמות הפרדה השונות (אשד ניהול והנדסה, 2024 – טיוטה)

3.5.2 סוג ראשי הרמזור

יש להבחין בין שני סוגים של ראשי רמזורים עבור אופניים:

- ראש רמזור קטן - שלושה פנסים בקוטר 10 ס"מ בגובה תחתית 1.20 מ', בהתאם לתמרורים 727-729. שימוש ברמזור זה כפוף לאישור ההתקן, עדכון לוח התמרורים והתקנות והנחיות להצבת תמרורים (תקו"ה). עד לאישור ההתקן יש להשתמש בראש רמזור נמוך (שלושה פנסים בקוטר 20 ס"מ בגובה תחתית 2.5 מ').
- ראש רמזור לאופניים במעבר חצייה – שני פנסים בקוטר 20 ס"מ בגובה תחתית 2.5 מ', בהתאם לתמרורים 720-721.

תרשים 3.11 מציג את סוגי ראשי הרמזור לתנועת אופניים.

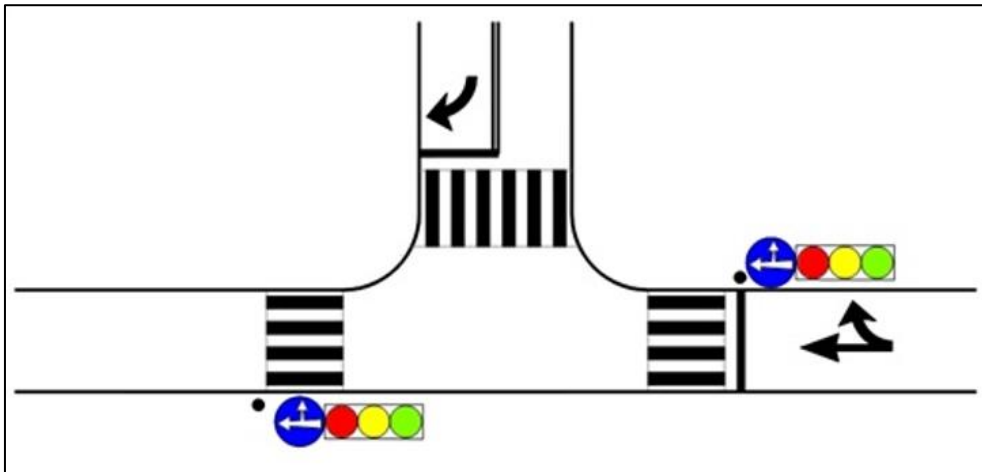


תרשים 3.11: סוגי ראשי רמזור לתנועת אופניים, וגובה הצבתם

3.5.3 רמת הפרדה א' (תנועה משותפת לאופניים ולרכב מנועי)

להלן פירוט עקרונות הצבת ראש הרמזור לתנועת האופניים עבור רמת הפרדה א', תנועת אופניים משולבת עם הרכב המנועי:

- כאשר קיימת זהות בין כיווני תנועת האופניים לתנועת הרכב המנועי, אין צורך בהצבת ראש רמזור לאופניים. תנועת האופניים תהיה בהתאם לאותות המיועדים לכלי-הרכב (פנסים 706-701), ובהתאם לכיווני הנסיעה המותרים על פי תמרורי ההוריה מעל ראשי הרמזור עבור כלי הרכב, כפי שמוצג בתרשים 3.12.
- כאשר מתקיימת שונות בין כיווני תנועת האופניים לבין כיווני הרכב המנועי החוצים בצומת, יוגדר מופע נפרד לאופניים. במצב זה יש למקם רמזור ייעודי קטן לאופניים, בנוסף לרמזור הרכב, בקו העצירה לאופניים ומצד ימין. כיווני התנועה המותרים יוגדרו בהתאם לתמרור ההוריה בראש הרמזור. הסדר התנועה המומלץ למצב זה הינו באמצעות תא-אופן אחורי, הממוקם בין קו מעבר החצייה לבין קו העצירה לתנועת הרכב ויוצר הפרדה בין האופניים לבין הרכב המנועי (ראה סעיף 3.5.8.2).



תרשים 3.12: תנועת אופניים ברמת הפרדה א', תנועת האופניים משותפת עם התנועה המנועית

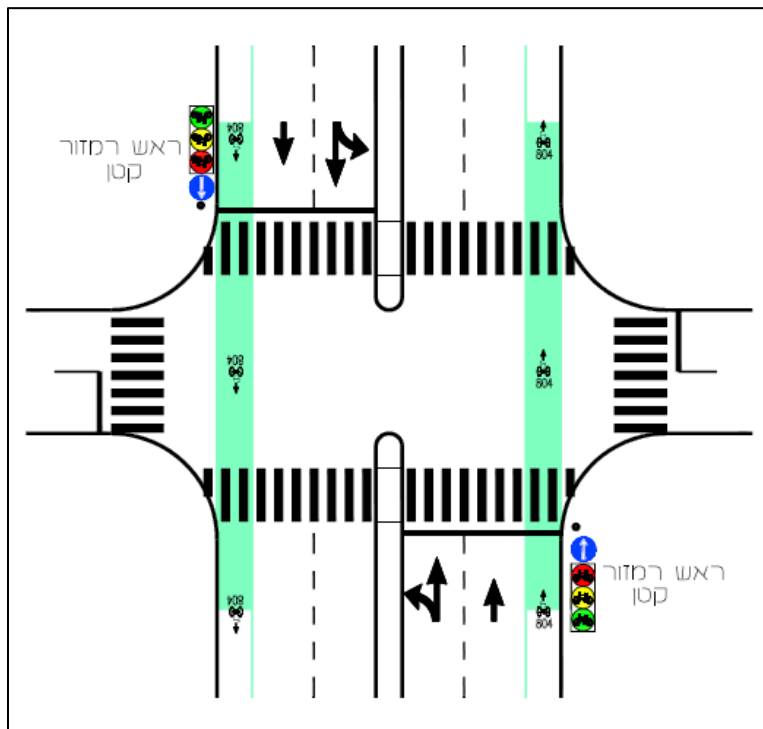
3.5.4 רמת הפרדה ב' (נתיב אופניים)

ברמת הפרדה ב', תנועת האופניים חוצה את הצומת בנתיב אופניים חד-סטרי המשכי. חצייה זו יכולה להיות מקבילה לחציית הולך-הרגל הסמוך, אך תבצע במופע אופניים נפרד, ולא במופע משותף עם הולך-הרגל.

להלן פירוט עקרונות הצבת ראש הרמזור לתנועת אופניים עבור חציית הצומת ברמת הפרדה ב':

- יוצב ראש רמזור קטן לאופניים עם 3 פנסים (תמרורי 727-729 בקוטר 10 ס"מ), בסמוך לקו העצירה. שימוש ברמזור זה כפוף לאישור ההתקן, עדכון לוח התמרורים והתקנות והנחיות להצבת תמרורים (תקו"ה) לא יוצב ראש רמזור חוזר לאופניים. יוצב תמרור הוריה (212-201) מעל ראש הרמזור בגודל המותאם לראש הרמזור הקטן.

- ניתן להציב את הרמזור בזווית של 45 מעלות ביחס לעיני הרוכב, כך ששיראה בבירור מקו העצירה.
 - האופניים מגיעים במפלס המיסעה, ולפיכך יסומן עבורם קו עצירה לאופניים לפני תחילת החצייה.
 - אותות הרמזור של חציית האופניים לא יהיו בהכרח בתזמון זהה לאותות חציית הולך-הרגל המקביל לאופניים, מאחר ששתי החציות מתבצעות במופעי רמזור נפרדים.
 - לא ניתן לבצע פנייה ימינה משותפת לרכב מנועי ולרוכב אופניים חוצה, עקב הניגוד ביניהם והיעדר הראות. פנייה ימינה לרכב מנועי תבוצע במופע נפרד מתנועת האופניים.
- תרשים 3.13 מציג דוגמא לחציית אופניים ברמת הפרדה ב'. בדוגמה זו אסורה הפנייה ימינה לתנועה מנועית החוצה את הצומת במקביל לנתיב האופניים.



תרשים 3.13: חציית נתיב אופניים חד-סטרי (רמת הפרדה ב')

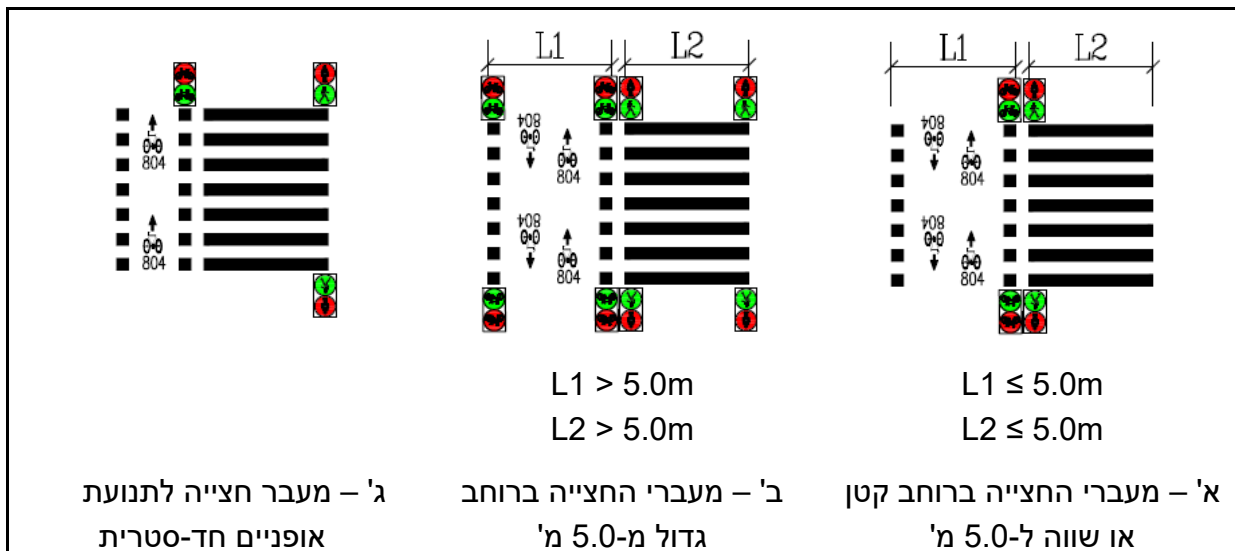
3.5.5 רמת הפרדה ג' (שביל אופניים)

ברמת הפרדה ג', שביל האופניים מופרד באופן פיזי מנתיבי הרכב המנועי. להלן עקרונות הצבת ראש הרמזור עבור חציית הצומת ברמת הפרדה ג':

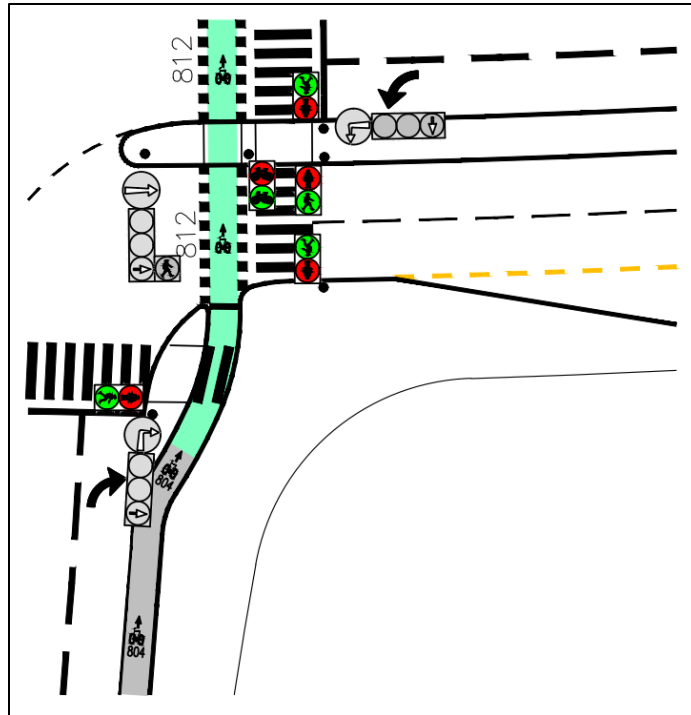
3.5.5.1 תנועת אופניים חוצה במעבר חצייה

- כאשר תנועת האופניים מגיעה אל הצומת משביל אופניים וחוצה את הצומת במעבר חצייה לאופניים (תמרור 812), בצמוד ובמקביל למעבר חצייה להולכי-רגל (תמרור 811), תנועת האופניים מוגדרת כמופע משותף עם הולך-הרגל הצמוד. במקרה זה יוצב ראש רמזור לתנועת אופניים במעבר חצייה בהתאם לתמרורים 720-721 (קוטר פנס 20 ס"מ), אך לא יוגדר מופע נפרד לתנועת האופניים.

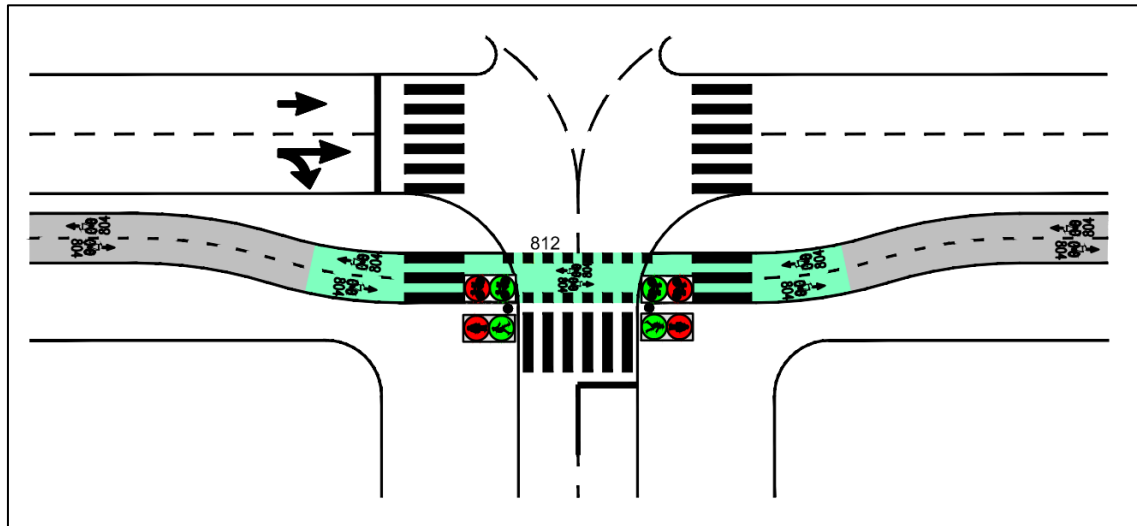
- כאשר תנועת הולכי-רגל חוצה במופע משותף עם תנועת אופניים דו-סטריט, ורוחב כל אחד מהמעברים לה"ר ולאופניים עד 5.0 מ', ראשי הרמזור להולכי-רגל ולאופניים ימוקמו יחד על עמוד משותף בין שני המעברים (ראו תרשים 3.14 א'), בהתאם לתמרום 720-721 (קוטר פנס 20 ס"מ).
- כאשר תנועת הולכי-רגל חוצה במופע משותף עם תנועת אופניים דו-סטריט, ורוחב אחד מהמעברים לה"ר ולאופניים גדול מ-5.0 מ', ראשי הרמזור להולכי-רגל ולאופניים יוצבו יחד על עמוד משותף בין שני המעברים, ובנוסף יוצב ראש רמזור ה"ר ו/או אופניים על עמוד נוסף בקצה מעבר החצייה שרוחבו גדול מ-5.0 מ' (ראו תרשים 3.14 ב').
- כאשר תנועת הולכי-רגל חוצה במופע משותף עם תנועת אופניים חד-סטריט, מומלץ להציב את ראש הרמזור להולכי-הרגל בקצה מעבר החצייה של הולכי-הרגל הרחוק מחציית האופניים, וראש הרמזור לאופניים יוצב בין שביל האופניים לבין מעבר החצייה של הולכי-הרגל (ראו תרשים 3.14 ג'). ראש הרמזור לאופניים יוצב רק עבור כיוון הרכיבה המותר.
- כאשר תנועת האופניים מגיעה אל מעבר החצייה במפלס המיסעה, יסומן קו עצירה לאופניים (ראו תרשים 3.15). כאשר האופניים מגיעים אל מעבר החצייה באבן שפה מונמכת, לא נדרש סימון קו עצירה לאופניים (ראו תרשים 3.16).
- חציית האופניים את הצומת בסמוך למעבר החצייה להולכי-רגל יכולה להתבצע במקביל לתנועה המנועית הפונה ימינה, או בשלב נפרד ממנה, כפי שיפורט בהמשך.



תרשים 3.14: מיקום ראשי רמזור לאופניים ולהולכי-רגל בחציית אופניים במעבר חצייה מקביל לה"ר



תרשים 3.15: מעבר חצייה לאופניים בתנועה חד-סטריית ובמופע משותף עם הולכי-הרגל; שביל האופניים נכנס לצומת במפלס המיסעה, בליווי קו עצירה

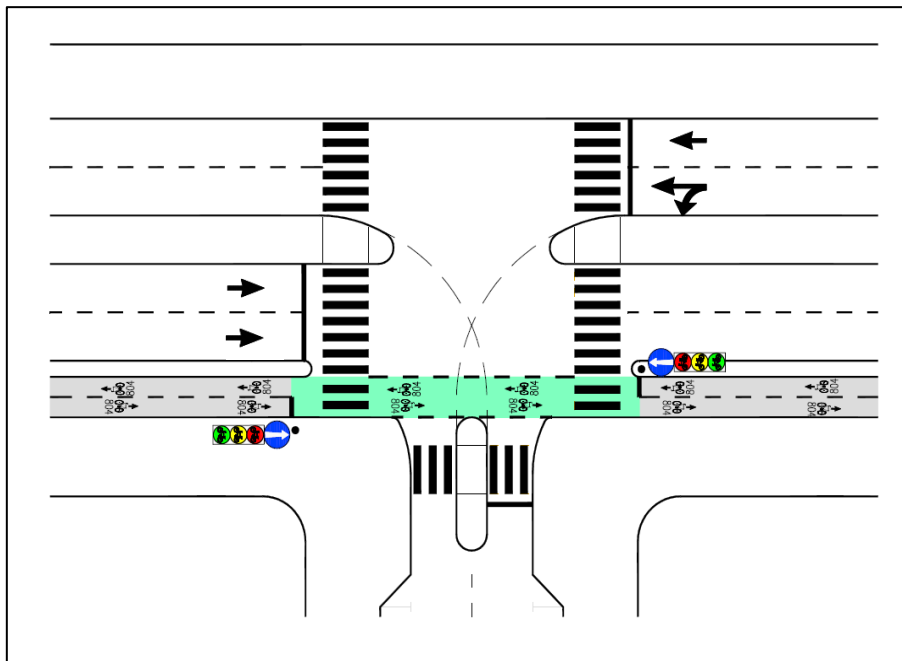


תרשים 3.16: מעבר חצייה לאופניים בתנועה דו-סטריית ובמופע משותף עם הולכי-הרגל; שביל האופניים נכנס לצומת במפלס המדרכה

3.5.5.2 תנועת אופניים חוצה שלא במעבר חצייה

- כאשר תנועת האופניים מגיעה אל הצומת משביל אופניים וחוצה את הצומת שלא במקביל להולכי-הרגל, תנועת האופניים מוגדרת כמופע אופניים נפרד.

- יוצב ראש רמזור קטן לאופניים עם 3 פנסים (תמרורי 727-729 בקוטר 10 ס"מ), בסמוך לקו העצירה. יוצב תמרור הוריה (201-212) מעל ראש הרמזור בגודל המותאם לראש רמזור קטן. שימוש ברמזור זה כפוף לאישור ההתקן, עדכון לוח התמרורים והתקנות והנחיות להצבת תמרורים (תקו"ה). לא יוצב ראש רמזור חוזר לאופניים. האופניים יחצו את כל תחום הצומת, לרבות הניגודים עם הולכי-רגל במעברי החצייה הניצבים ועם כלי-הרכב (ראו תרשים 3.17).
- ניתן להציב את ראש הרמזור בזווית של 45 מעלות ביחס לעיני הרוכב, כך שייראה בברור מקו העצירה.
- לאופניים המגיעים במפלס המיסעה יסומן קו עצירה לאופניים לפני תחילת החצייה.



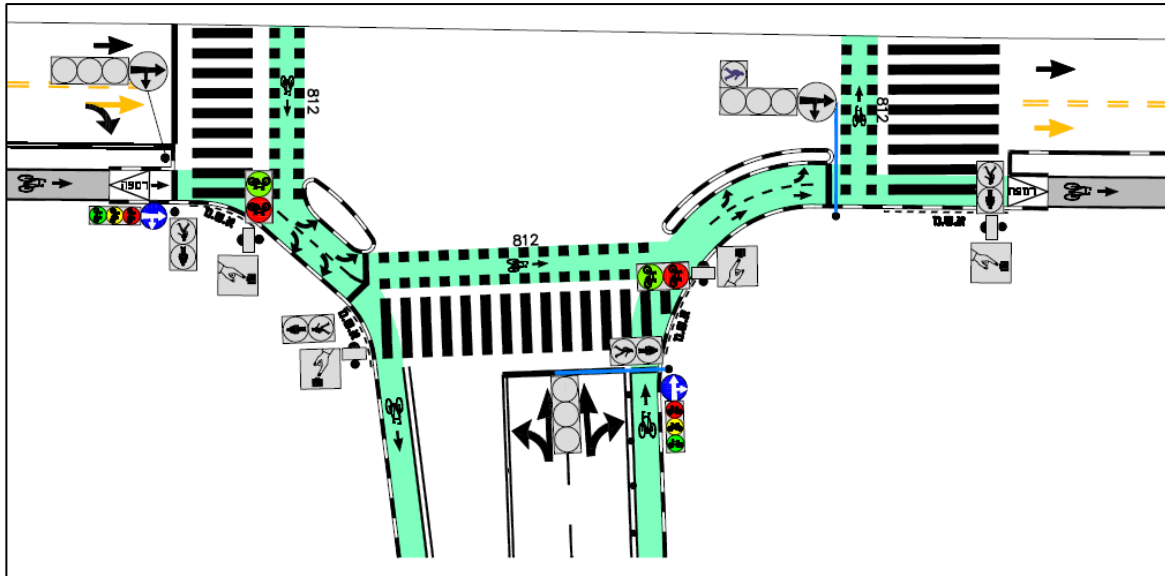
תרשים 3.17: תנועת אופניים חוצה שלא במעבר חצייה, רמת הפרדה ג'

3.5.5.3 שילוב שיטות חצייה

במקרים רבים, חציית הצומת מתבצעת בשילוב של שתי שיטות החצייה המוצגות לעיל. מקרה זה שכיח כאשר שביל האופניים מגיע לצומת בצמוד למיסעת הרכב המנועי, ונפגש עם מעבר החצייה להולכי-רגל החוצה את הזרוע הניצבת בכניסה לצומת. בהמשך, חציית שביל האופניים מתבצעת במופע משותף עם מעבר החצייה להולכי-הרגל בכיוון הרכיבה, וביציאה, שביל האופניים נצמד פעם נוספת למיסעת הרכב המנועי. במקרה זה הצבת ראשי הרמזור מותאמת לשתי השיטות (ראו תרשים 3.18):

- עבור הניגוד עם הולכי-הרגל החוצים בניצב לשביל האופניים בכניסה לצומת, יוגדר מופע אופניים. יש להציב ראש רמזור קטן עם 3 פנסים בהתאם לתמרורים 727-729, בסמוך לקו העצירה, כמפורט בסעיף 3.5.5.2.
- עבור חציית הצומת במופע משותף עם הולכי-הרגל, לא יוגדר מופע מיוחד לאופניים. יש להציב ראש רמזור לאופניים עם 2 פנסים בהתאם לתמרורים 720-721, כמפורט בסעיף 3.5.5.1.

- ביציאה מהצומת (בהתאם לכיוון הרכיבה), כאשר השביל צמוד למיסעת הרכב המנועי וחוצה מעבר חצייה מרומזר, יש להסדיר את זכות הקדימה להולכי-רגל על פני שביל האופניים באמצעות סימון קו עצירה (תמרור 810) ואין הכרח ברמזור שביל האופניים עבור הניגוד עם מעבר החצייה בזרוע הניצבת.



תרשים 3.18: חציית אופניים בחלקו כמופע נפרד ובחלקו במקביל לה"ר

3.5.6 פנייה ימינה מרומזרת משותפת לרכב מנועי ולרוכבי אופניים החוצים את הפנייה

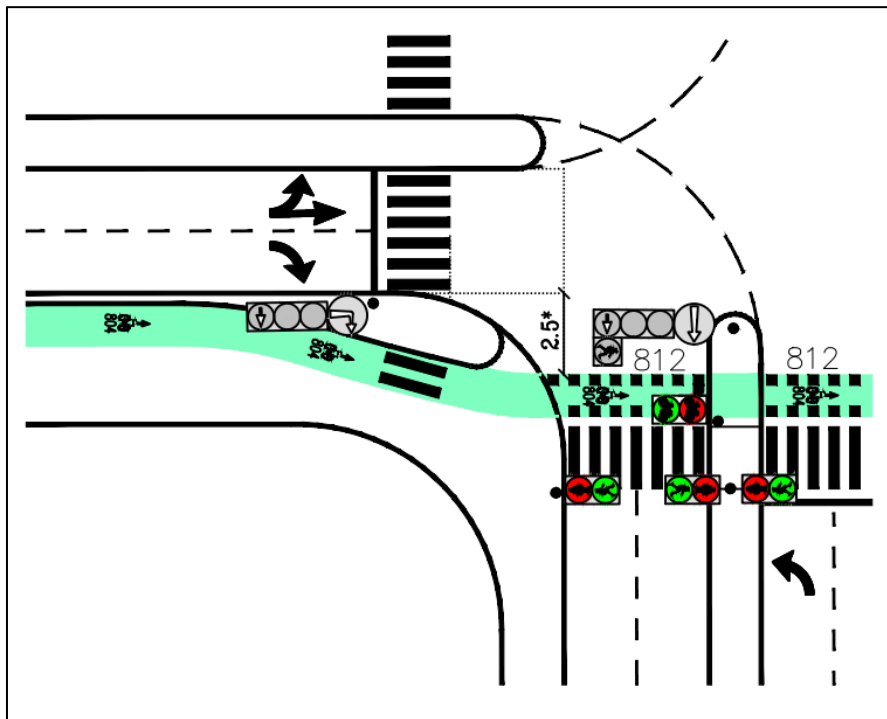
פנייה ימינה מרומזרת משותפת לרכב מנועי ולרוכבי אופניים החוצים את הפנייה אינה מומלצת, הן משיקולים בטיחותיים והן משיקולי זרימת התנועה. קיים סיכון בטיחותי בהסדר זה, עקב היעדר ראות בין הנהגים הפונים לבין רוכבי האופניים החוצים, וזאת לאור מהירות הרכיבה הגבוהה משמעותית ממהירות הליכה. לפיכך, ההחלטה ליישום הסדר זה תתבצע רק לאחר שנבחנו כלל התנאים לשמירה על בטיחות רוכבי האופניים, ואינה מתאימה במצבים של בעיות ראות, נפחי תנועה גבוהים של אופניים ושל רכב מנועי הפונים ימינה, אחוז רכב כבד גבוה בפניה, ובעיות אחסנה וגלישת תורים העלולות להוות סכנה בטיחותית.

להלן העקרונות לביצוע הסדרה של פנייה ימינה לרכב מנועי במשותף עם חציית אופניים:

- מותרת חציית אופניים במקביל לתנועה מנועית הפונה ימינה, כאשר הממשק הראשון של הרכב המנועי במהלך הפנייה הוא עם מעבר החצייה להולכי-רגל.
- מותרת חציית אופניים במקביל לרכב המנועי הפונה ימינה, כאשר הממשק הראשון של הרכב המנועי במהלך הפנייה הוא עם מעבר החצייה לאופניים, רק כאשר מתוכנן לשביל האופניים היסט של 2.5 מ' לפחות, בין קצה סימון מעבר החצייה לאופניים לבין קו הנסיעה הישרה בצומת, כמוצג בתרשים 3.19. היסט זה מאפשר ראות טובה בין הנהג הפונה ימינה שהתחיל להתיישר, לבין רוכב האופניים

החוצה. לא מומלץ לייצר היסטים גדולים מדי, על מנת לא ליצור מסלולי הליכה ורכיבה שאינם טבעיים להולכי-הרגל ולרוכבי האופניים.

- כאשר שביל האופניים מוסט מהמיסעה, יש לייצר אזור המתנה להולכי-רגל, ברוחב מזערי של 2.5 מ', בין מעבר החצייה המרומזר של האופניים לבין מעבר החצייה המסומן על שביל האופניים (שאינו מרומזר).
- ניתן לבצע את הפנייה ימינה ביחד עם חציית הולכי-הרגל והאופניים, בתנאי שתוכנן ההיסט הנדרש בשתי שיטות החצייה: במעבר חצייה לאופניים בצמוד להולכי-הרגל, או במופע לאופניים. מיקום ראשי הרמזור לאופניים יהיה בהתאם לשיטת חציית הצומת כמופרט בסעיף 3.5.5.

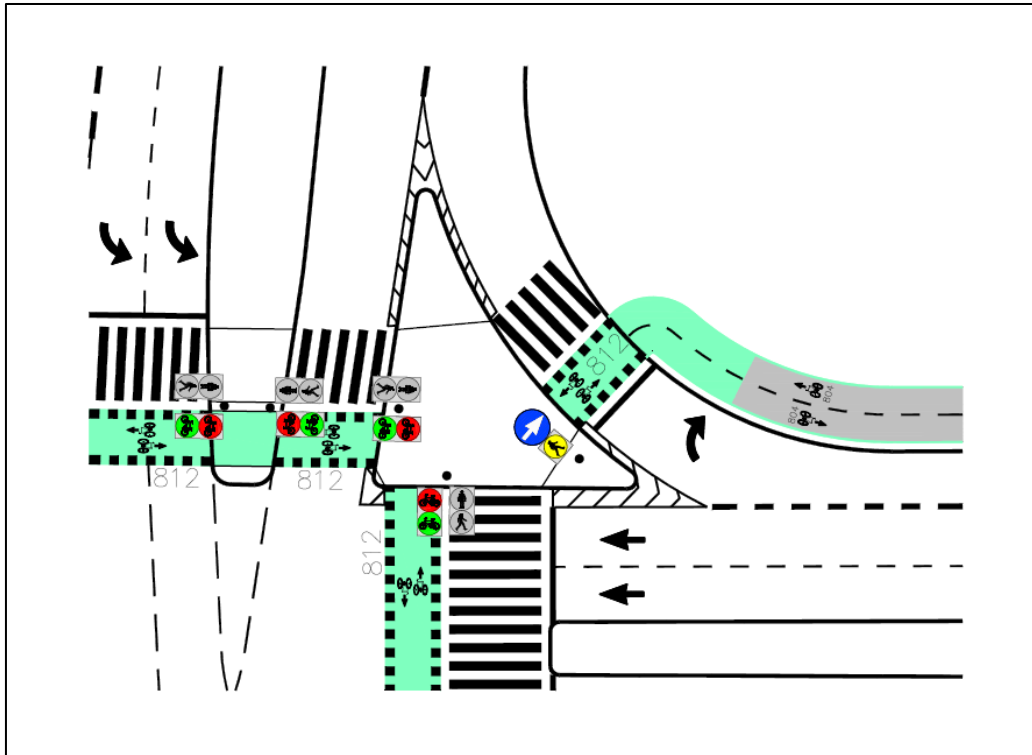


תרשים 3.19: תכנון ירוק משותף לרכב מנועי הפונה ימינה במקביל לחציית הולכי-רגל ואופניים

3.5.7 פנייה ימינה חופשית (לא מרומזרת)

פנייה ימינה חופשית של רכב מנועי מול חציית הולך-רגל ורוכבי אופניים מותרת רק במצב בו הממשק הראשון של הנהג במהלך הפנייה הוא עם מעבר החצייה להולכי-רגל.

כאשר הממשק הראשון של הנהג הוא עם שביל האופניים, יש להסדיר הסטה של תוואי רכיבת האופניים בגישה אל מעבר החצייה, לצורך שיפור הראות בין רוכבי האופניים לבין הנהגים, ולהאט רוכבי האופניים בגישה לחציית הצומת, כמוצג בתרשים 3.20.



תרשים 3.20: חצייה לא מרומזרת של אופניים והולכי-רגל לאי משולש, עם הסטת תוואי שביל האופניים

3.5.8 תא-אופן בצומת מרומזר

3.5.8.1 מבוא

תא-אופן הינו שטח ייעודי בתחום הצומת המרומזר, אשר מתוכנן בראש נתיב/י התנועה ומספק לרוכבי האופניים המגיעים לצומת מרומזר, מנתיב או משביל אופניים, קדימות על-פני התנועה המנועית העומדת בתור במהלך האות האדום בצומת. תא-אופן מאפשר גם ביצוע פנייה שמאלה לאופניים בצומת מרומזר בשני מהלכים לכל היותר. אסורה הכניסה לרכב שאינו אופניים/קורקינט לתא-אופן. הסדרת תא-אופן ניתנת באמצעות אחת משתי התצורות: תא-אופן אחורי או קדמי.

בהנחיות לתכנון רחובות בערים – תנועת אופניים (מת"ח, 2020), יישום תא-אופן נכלל כהסדר המותנה בהשלמת ניסוי המתבצע עבור משרד התחבורה. עם השלמת הניסוי ובהתאם לתוצאותיו, יפרסם המפקח הארצי על התעבורה את אופן יישום הסדר תנועה זה, ורק לאחר פרסומו ניתן יהיה ליישמו.

תא-אופן אחורי: ממוקם בין קו העצירה של כלי הרכב לבין מעבר החצייה ההולכי-הרגל, ומאפשר לרוכבי האופניים להתמקם בראש נתיב הגישה לצומת, ועל-ידי כך לקבל קדימות בחציית הצומת בעת פתיחת האות הירוק. תא-אופן אחורי מאפשר לרוכבי האופניים לבצע פניות שמאלה בצומת במהלך אחד.

תא-אופן קדמי: ממוקם אחרי קו העצירה של כלי הרכב ומעבר החצייה ההולכי-הרגל, ומאפשר לרוכב האופניים פנייה שמאלה בשני מהלכים באמצעות מעבר מנתיב/שביל האופניים לזרוע הניצבת לשביל/נתיב האופניים בה מסומן תא האופן הקדמי.

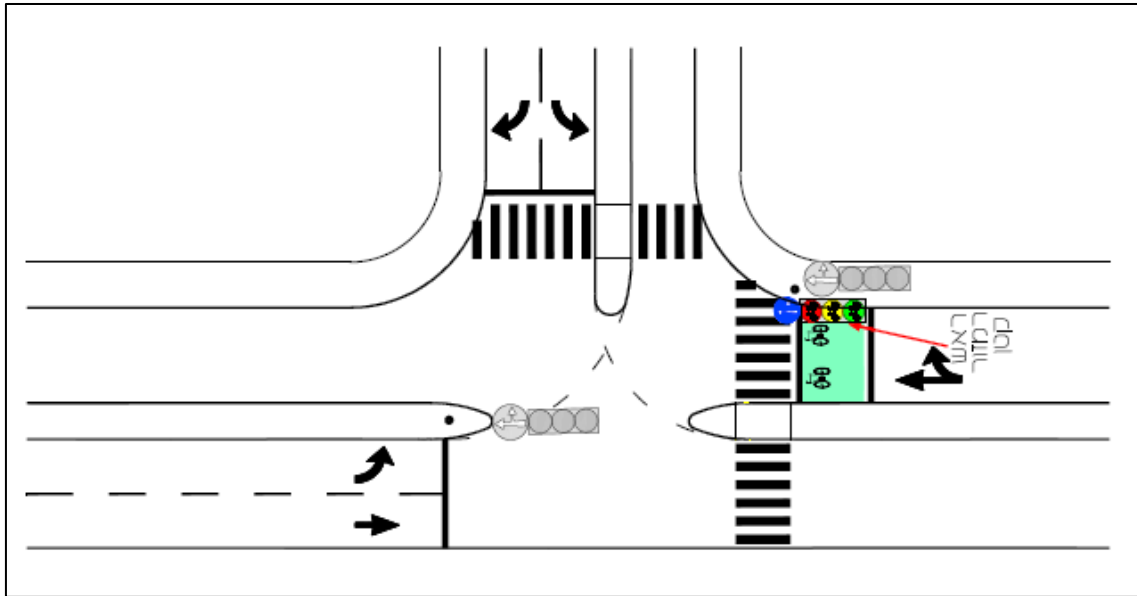
שתי תצורות תא-האופן יסומנו על-פני שני נתיבי נסיעה בחציית הצומת, לכל היותר, כפי שיפורט בהמשך הפרק.

- תנועת האופניים מתוך תא-אופן תוגדר כמופע נפרד מתנועת שאר כ"ר מאותו כיוון. יוצב ראש רמזור קטן לאופניים, בעל 3 פנסים בקוטר 10 ס"מ, בהתאם לתמרורים 727-729, כך שייראה בבירור לרוכב האופניים. שימוש ברמזור זה כפוף לאישור ההתקן, עדכון לוח התמרורים והתקנות והנחיות להצבת תמרורים (תקו"ה). לא יוצב ראש רמזור חוזר לאופניים.
- עד לאישור השימוש בגלאים מתאימים לתנועת אופניים, לא יתוכנן מופע האופניים בתא-אופן כמופע מופעל תנועה. בהתאם לכך, פתיחת האות הירוק למופע אופניים בתא-אופן תתרחש מידי מחזור ללא התניית לחצן/גלאי דרישה, וכך גם כל מופעי הרכב בגישה לתא-אופן במעלה הזרם המוגדרים באותו שלב ברמזור (ראו פירוט בפרק 6).

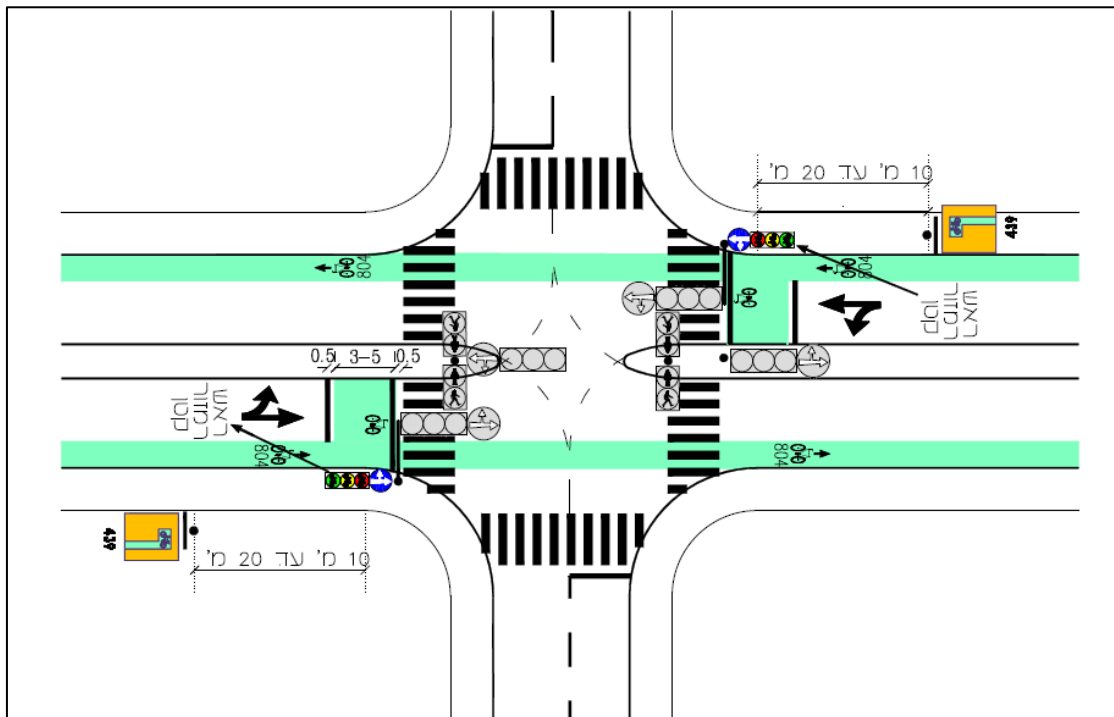
3.5.8.2 תא-אופן אחורי

להלן עקרונות לתכנון והצבת ראשי הרמזור עבור תא-אופן אחורי:

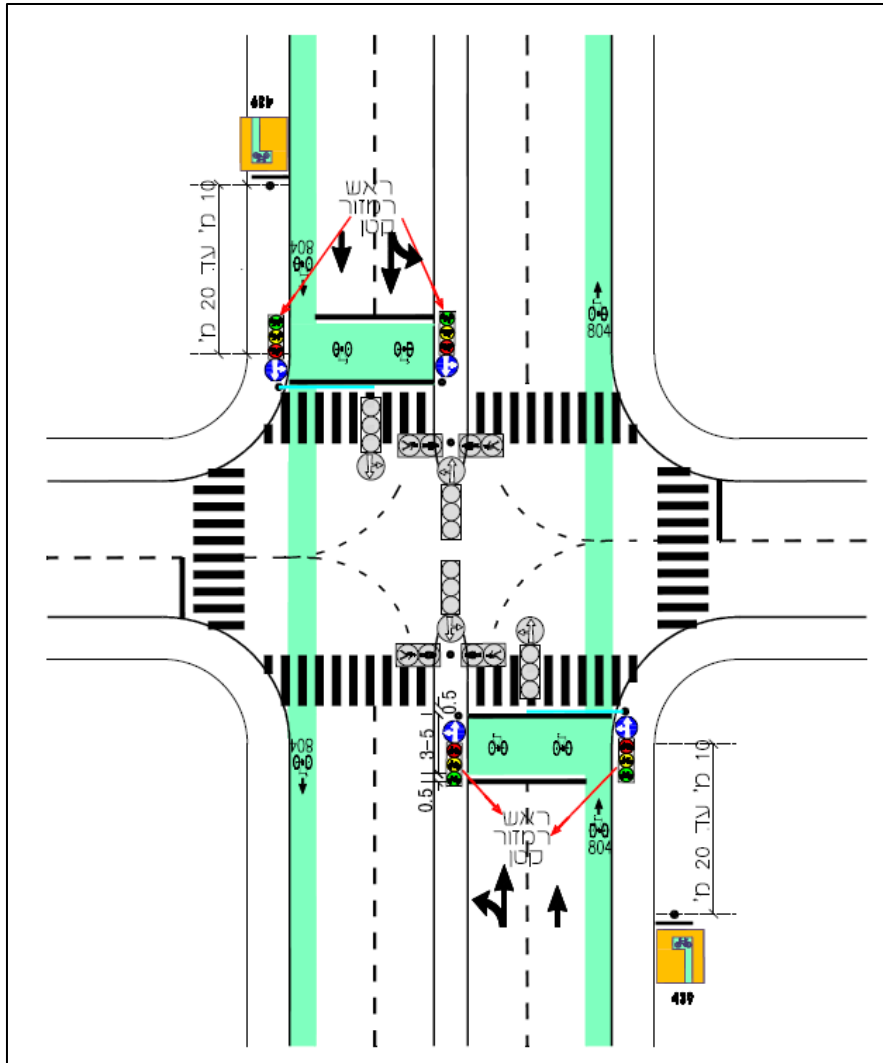
- בהנחיות לתכנון רחובות בערים – תנועת אופניים (מת"ח, 2020), סימון תא-אופן אחורי לצורך ביצוע פנייה שמאלה או קדימות בתחילת חציית הצומת הוצג רק בנתיב נסיעה יחיד לרכב מנועי בסמוך לנתיב אופניים, כמוצג בתרשים 3.22. השימוש בתא-אופן אחורי לצורך פנייה שמאלה למצב של שני נתיבי נסיעה לתנועה מנועית בסמוך לאופניים מוצג בתרשים 3.23. לא מומלץ לתכנן תא-אופן אחורי לצורך פנייה שמאלה במקרה שבו מספר הנתיבים לרכב בגישה עולה על שניים.
- כניסה לתוך תא-אופן אחורי תתבצע במהלך האות האדום על פי ראש הרמזור המיועד לכלי הרכב החולקים נתיב משותף עם התא-אופן. כניסה לתוך תא-אופן במהלך האות הירוק לרכב יוצרת ניגוד וסיכון לתנועת האופניים המגיעה מצד ימין ורוצה לפנות שמאלה לבין תנועת כלי הרכב.
- ברמת הפרדה א', ניתן לסמן תא-אופן אחורי לתנועת אופניים החוצה בצומת בכיוון תנועה זהה או שונה לשאר כלי הרכב, כמוצג בתרשים 3.21. סימון תא-אופן ברמת הפרדה א' נועד לא רק לצורך ביצוע פניות שמאלה, אלא מאפשר קדימות בחציית הצומת לרוכבי האופניים.
- ברמות הפרדה ב' ו-ג' הגישה לתא-אופן אחורי תתבצע מנתיב/שביל אופניים חד-דו-סטרי בכיוון הזרוע בה מסומן התא, ותתמרר במרחק של כ-10-20 מ' מהכניסה לתא באמצעות תמרור 439 - הנחיה/הוראה לכניסה לתא-אופן, כמוצג בתרשים 3.24.
- עבור תנועת אופניים הממתינה בתא-אופן אחורי המסומן על-פני נתיב אחד, יש להציב ראש רמזור אחד קטן בקוטר 10 ס"מ מצד ימין. שימוש ברמזור זה כפוף לאישור ההתקן.
- עבור תנועת אופניים הממתינה בתא-אופן אחורי המסומן על-פני שני נתיבים, יש להציב ראש רמזור קטן נוסף בקוטר 10 ס"מ בסמוך לנתיב הנוסף מצד שמאל כמוצג בתרשים 3.23.
- מעל ראשי הרמזור יוצבו תמרורי הוריה בגודל המותאם לראש הרמזור הקטן, בהתאם לכיווני התנועה המותרים.



תרשים 3.21: יישום תא-אופן אחורי ליצירת קדימות לרוכבי אופניים בחציית הצומת ברמת הפרדה א'; כיוונית נסיעה זהה לאופניים ולשאר כלי-הרכב



תרשים 3.22: פנייה שמאלה מנתיב אופניים חד-סטרי באמצעות תא-אופן אחורי; סימון תא-אופן בשני הכיוונים הראשיים על-פני נתיב נסיעה יחיד



תרשים 3.23: פנייה שמאלה מנתיב אופניים חד-סטרי באמצעות תא-אופן אחורי; סימון תא-אופן בשני הכיוונים הראשיים על-פני שני נתיבים

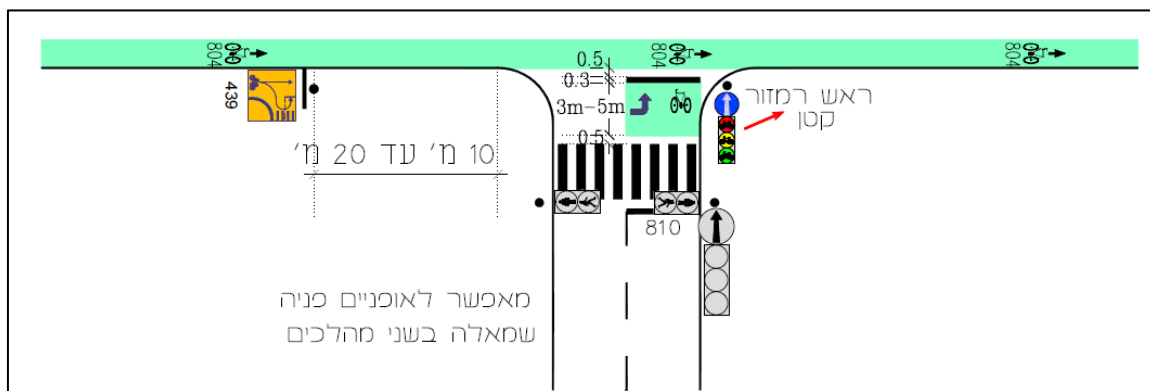


תרשים 3.24: תמרור הנחיה/הוראה לגישה אל תא-אופן אחורי

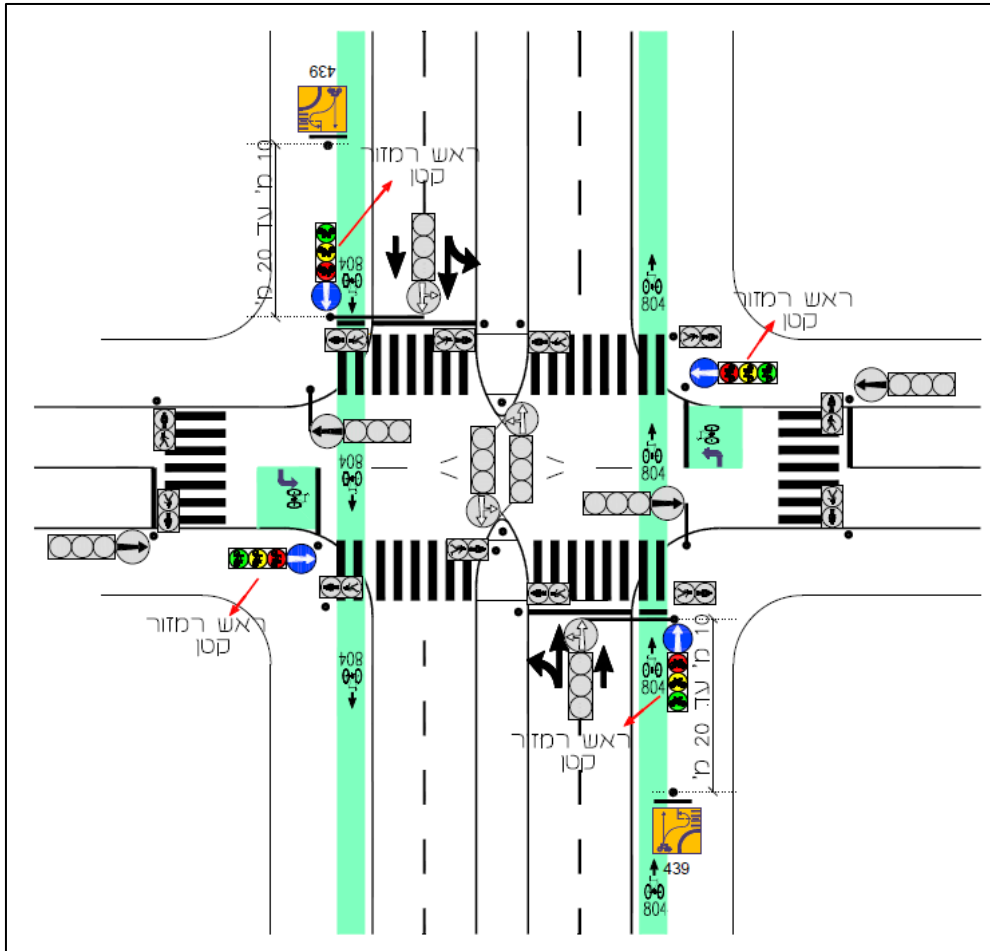
3.5.8.3 תא-אופן קדמי

להלן עקרונות לתכנון והצבת ראשי הרמזור עבור תא-אופן קדמי:

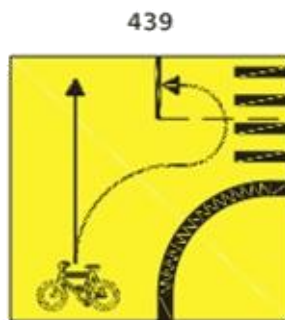
- בהנחיות לתכנון רחובות בערים – תנועת אופניים (מת"ח, 2020), סימון תא-אופן קדמי לצורך ביצוע פנייה שמאלה בשני מהלכים הוצג רק כאשר הגישה לתא מתבצעת מנתיב אופניים (רמת הפרדה ב'). כמו כן, בהנחיות האמורות אין התייחסות לתכנון תא-אופן קדמי שמקורו בשביל אופניים דו-סטרי.
- גישה לתא-אופן קדמי תתבצע מנתיב/שביל אופניים חד/דו-סטרי, ותתומרר במרחק של כ-10-20 מ' מהכניסה לתא באמצעות תמרור 439 – הנחיה/הכוונה לפנייה שמאלה באמצעות תא-אופן בשני מהלכים. תרשימים 3.25 עד 3.29 מציגים את הסדרי התנועה עבור השימוש בתא-אופן קדמי.
- כניסה לתוך תא-אופן קדמי בזרוע המשנית תתבצע במהלך האות הירוק ברמזור לתנועת האופניים בדרך הראשית.
- השימוש בתא-אופן קדמי מותר רק עבור רוכבי אופניים מתוך הכיוון עליו מסומן חץ לכניסת האופניים לתא-אופן, כמוצג בתרשים 3.28. אסורה כניסת רוכבי אופניים לתא-אופן קדמי מהגישה המשנית שבה מסומן תא-אופן קדמי.
- עבור תנועת האופניים הממתינה בתא-אופן קדמי, יש להציב ראש רמזור קטן (קוטר פנסים 10 ס"מ) בקדמת התא-אופן בסמוך לקו העצירה. שימוש ברמזור זה כפוף לאישור ההתקן.
- עבור תנועת אופניים הממתינה בתא-אופן קדמי המסומן על-פני שני נתיבים מגישה חד-סטרי, כאשר שני הנתיבים מוגדרים כמופע אחד, מומלץ להוסיף ראש רמזור קטן לאופניים בקדמת התא-אופן בסמוך לנתיב הנוסף משמאל לקו העצירה. שימוש ברמזור זה כפוף לאישור ההתקן.
- כאשר סומן תא-אופן על הנתיב השמאלי בלבד מבין שני נתיבים, כאשר שני הנתיבים מוגדרים כמופעים נפרדים, יוצב ראש רמזור קטן לאופניים בקדמת התא משמאל לקו העצירה.
- מעל ראשי הרמזור יוצבו תמרורי הוריה בגודל המותאם לראש הרמזור הקטן, בהתאם לכיווני התנועה המותרים.



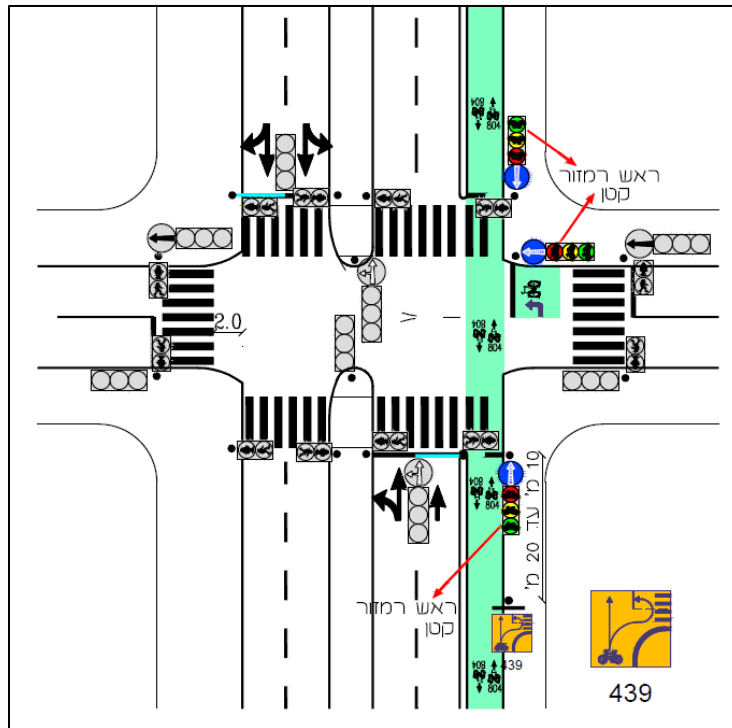
תרשים 3.25: סימון חץ המורה לרוכב את מהלך הרכיבה בכניסה לתא-אופן קדמי לפנייה שמאלה



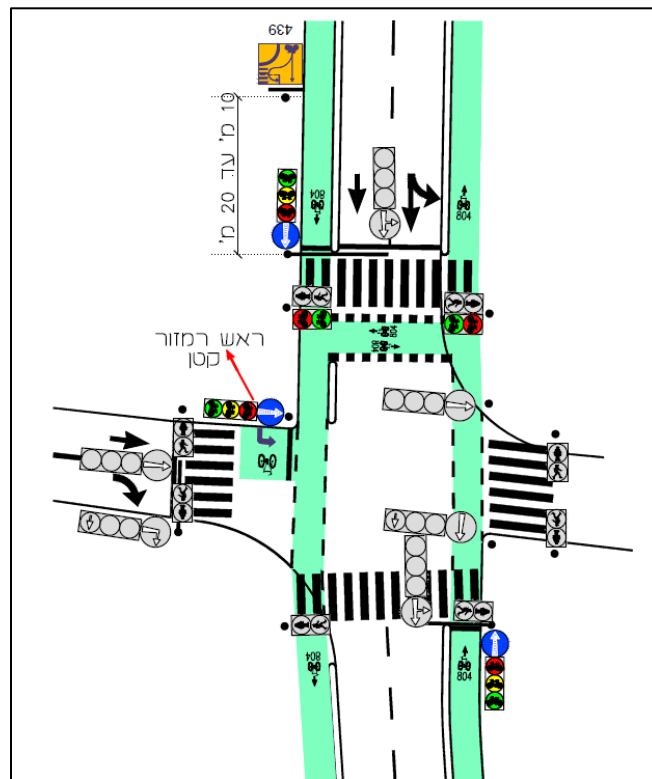
תרשים 3.26: פנייה שמאלה משביל אופניים חד-סטרי באמצעות תא-אופן קדמי



תרשים 3.27: תמרור הנחייה/ הוראה לרוכב לכניסה לתא-אופן קדמי לצורך פנייה שמאלה



תרשים 3.28: פנייה שמאלה משביל אופניים דו-סטרי באמצעות תא-אופן קדמי



תרשים 3.29: פנייה שמאלה משביל אופניים חד-סטרי באמצעות תא-אופן קדמי;
סימון תא-אופן על-פני נתיב אחד מתוך שניים מאותה הגישה

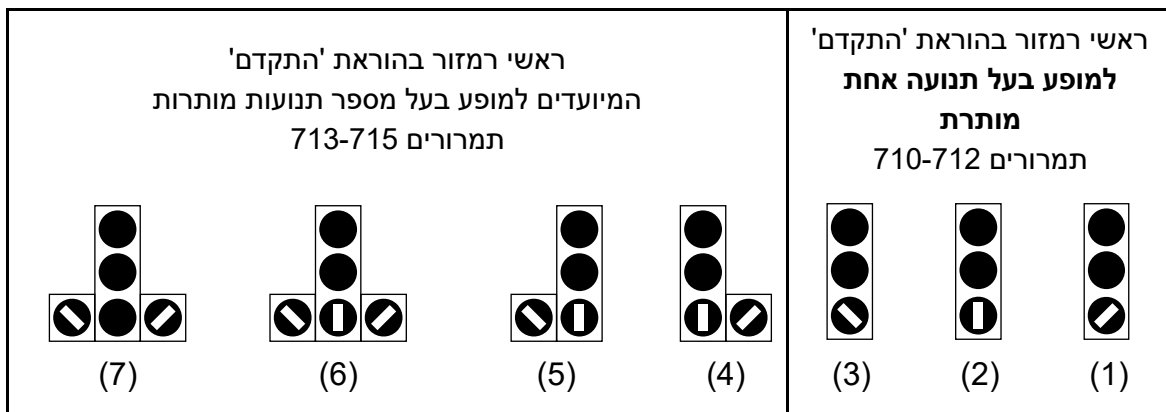
3.6 אופן הצבת רמזורים לתחבורה ציבורית מועדפת (תצ"ם)

3.6.1 ראשי הרמזור לתחבורה ציבורית מועדפת

בצומת מרומזר עם תצ"ם (תחבורה ציבורית מועדפת) מוצבים, בנוסף לראשי הרמזור לכלי-רכב, הולכי-רגל ואופניים, גם ראשי רמזור המיועדים לתחבורה הציבורית המועדפת. פנסי הרמזור המיועדים לתצ"ם במסלול בלעדי שונים מאלה המיועדים לשאר כלי הרכב או להולכי-הרגל ולרוכבי האופניים, על מנת למנוע בלבול למשתמשי הדרך האחרים. השוני מתבטא בתצורת האותות בפנס, כפי שמוגדר בלוח התמורים (תמורים 717-708).

ניתן להבחין בין שלושה סוגים של ראשי רמזור לתצ"ם (תרשים 3.30):

- ראשי רמזור המיועדים לתחליף לאדום/ירוק למופע בעל תנועה מותרת אחת (תמורים 712-708). ראשי רמזור אלו בעלי 3 פנסים בקוטר 20 ס"מ.
- ראשי רמזור המיועדים לתחליף לאדום/ירוק למופע בעל מספר תנועות מותרות (תמורים 715-713). ראשי רמזור אלו בעלי 4 או 5 פנסים בקוטר 20 ס"מ.
- שני ראשי הרמזור לעיל מיועדים גם לתחליף לצהוב לכל התנועות האמורות לעיל (תמורים 716-717).
- ראש רמזור מקדים לרק"ל בלבד, שכולל "מעוין" צהוב מהבהב (תרשים 3.31), המודיע לנהג הרק"ל על כך שנקלט במערך הגילוי, ו"סימן קריאה" כחול הנדלק באופן רציף ומודיע לנהג על קבלת הירוק ברמזור. ראש רמזור זה אינו נכלל בלוח התמורים אלא בתקני תפעול הרק"ל, והוא נועד לספק מידע נוסף לנהג הרק"ל. מימדי הפנס המקדים ותצורתו יהיו כמוגדר במפרט. אופן התפעול של ראש רמזור זה מפורט בפרק 6.



תרשים 3.30: ראשי רמזור לתצ"ם בהוראת 'התקדם' לפי כיוון הנסיעה

כל ראש רמזור מופעל ע"פ המופע אליו משוייך



תרשים 3.31: רמזור מקדים לרק"ל

3.6.2 עקרונות להצבת ראשי רמזור לתצ"ם

ההנחיות להצבת ראשי רמזור לתצ"ם מתחלקות להנחיות המתאימות לכל סוגי התצ"ם באשר הם, והנחיות פרטניות לסוג תצ"ם מסוים כגון רק"ל, תאו"ם או אוטובוסים במסלול במופע תצ"ם. להלן עקרונות המתאימים לכל סוגי התצ"ם:

- בנת"צ או מת"צ בו נוסעת תחבורה ציבורית באופן בלעדי, ללא תנועת משתמשי דרך אחרים, יש להציב ראש רמזור לתצ"ם (תמרורים 710-715).
- ראש הרמזור עבור תנועת התצ"ם, בקוטר פנס 20 ס"מ, יותקן בגובה נמוך (תחתית ראש הרמזור בגובה 2.5 מ' מהמדרכה).
- ראש הרמזור יוצב במקום שנראה בבירור לנהג, רצוי מצד ימין לכיוון הנסיעה. במקרה שלא ניתן להציב מצד ימין (לדוגמה כאשר אין מפרדה ברוחב מספיק, או כאשר אין מרווח בטחון מספיק בין העמוד והמעטפת הסטטית), ניתן להציבם משמאל לכיוון הנסיעה. לא מומלץ להציב ראש רמזור לרק"ל מסוג רמזור עילי משיקולי נראות ובטיחות, וממשק עם עמודי החשמול.
- ככלל, רמזורי תצ"ם יוצבו ללא רמזורים חוזרים. ראש הרמזור יוצב במיקום שיאפשר לנהג לראותו בבירור. לצורך כך, יש להסיג אחורה את קו העצירה של התצ"ם ביחס לתחילת אזור הניגוד עם משתמשי הדרך האחרים, או להציב את ראש הרמזור לאחר מעבר החצייה או הצומת (ראו תרשים 3.32).
- ראש רמזור המוצב במרחק של 3 מ' נראה מתאים לראות עיני נהג בזווית אופקית של 20 מעלות.
- עבור תח"צ שאינו רק"ל, מומלץ להציב את מרכז עמוד הרמזור במרחק 80 ס"מ מאבן השפה ובמקום שלא יהווה מכשול לתנועות משתמשי דרך אחרים. בכל מקרה המידה המזערית, עבור תצ"ם שאינו רק"ל, לא תפחת מ-50 ס"מ עבור מהירויות 50 קמ"ש ומטה, וקצה הפנס יימצא לכל הפחות 35 ס"מ משפת המיסעה. המידה המזערית, עבור רק"ל, לא תפחת מ-45 ס"מ מהמעטפת הסטטית של הרק"ל.

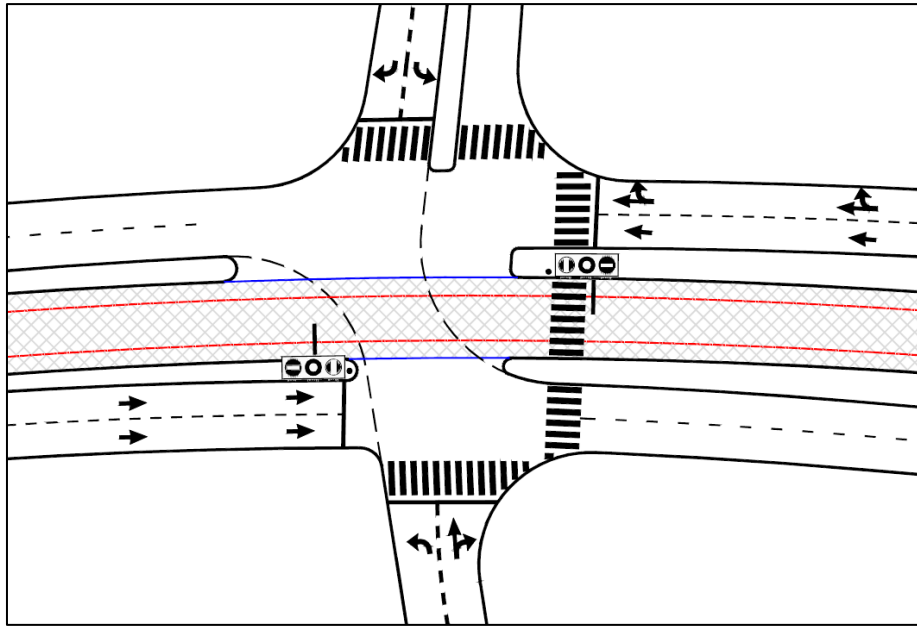
3.6.3 עקרונות להצבת ראשי רמזור לתנועת רכבת קלה (רק"ל)

להלן עקרונות פרטניים להצבת ראשי רמזור עבור תנועת רק"ל:

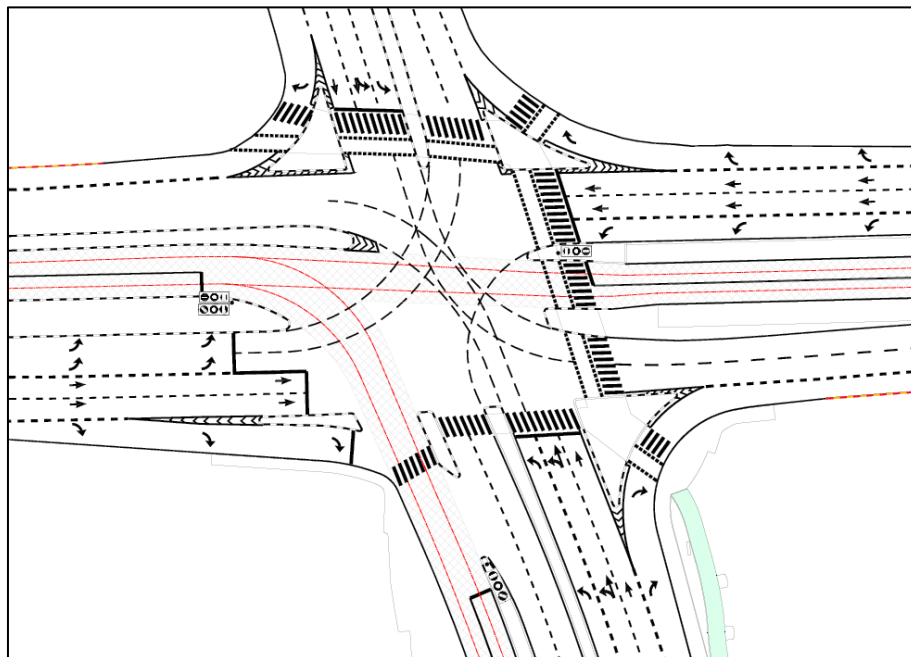
- יש לסמן קו עצירה (תמרור 810) במיקום המיועד לעצירת הרק"ל.
- כאשר במסלול הרק"ל יש פיצול לנסיעה ליותר מכיוון אחד מאותה מסילה במופעים נפרדים, האות הירוק יפתח בכל פעם למופע בעל התנועה המותרת לאותו מופע בלבד (ישר, ימינה, או שמאלה).

במקרה זה יוצבו מספר ראשי רמזור עם שלושה פנסים בהתאם למספר המופעים מאותה מסילה. (ראו תרשים 3.33).

- ראש הרמזור המקדים לרק"ל, המורכב משני פנסים זה לצד זה ("מעויין" ו"סימן קריאה"), יוצב מעל ראש הרמזור לרק"ל, ובמקרים מיוחדים ניתן להרחיקו למרחק של 20-30 מ' לפני הצומת ולהציבו בגובה ראש רמזור נמוך, במטרה שייראה לנהג הרק"ל בגישה לצומת.



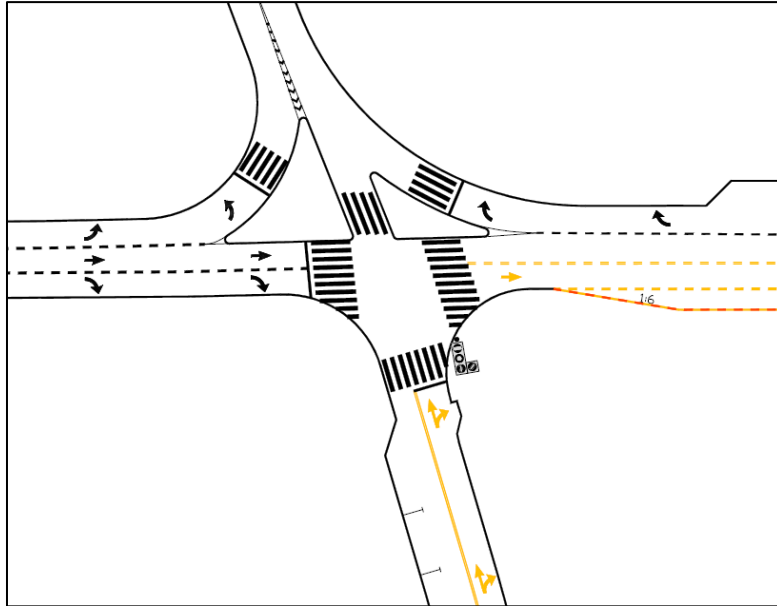
תרשים 3.32: הצבת ראשי רמזור לתצ"ם



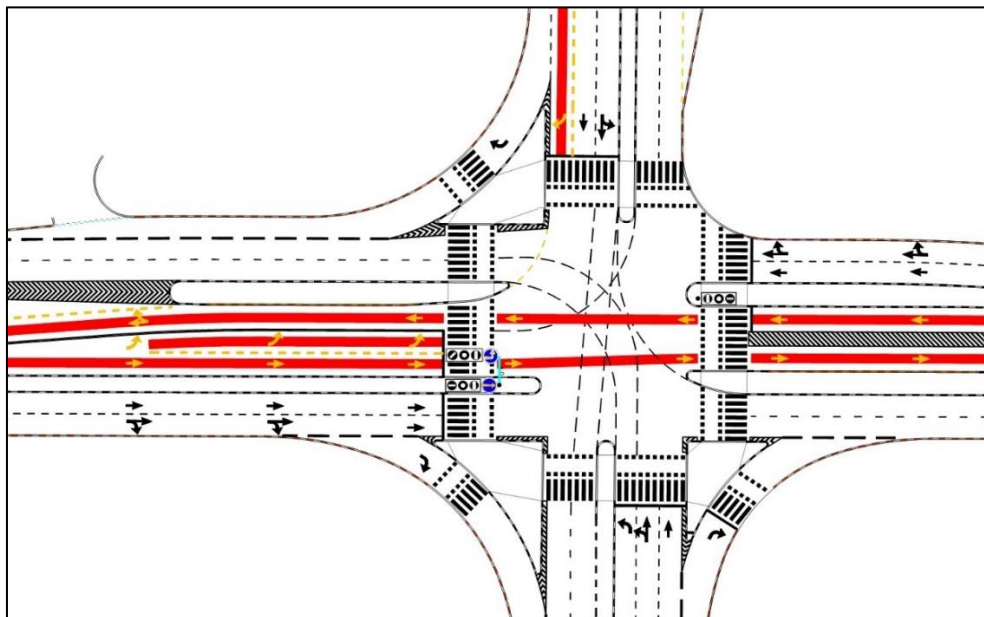
תרשים 3.33: הצבת ראשי רמזור לרק"ל במצב של פיצול נסיעה ליותר מכיוון אחד מאותה מסילה

3.6.4 עקרונות להצבת ראשי רמזור לתנועת תאו"ם או אוטובוסים במופע תצ"ם

- כאשר בגישת התצ"ם מותרת נסיעה במופע משותף למספר תנועות מאותו נתיב, יציג ראש הרמזור את כיווני הנסיעה המותרים באות "התקדם" (תמרוים 713-715) (תרשים 3.34).
- כאשר במסלול תצ"ם קיימים נתיבים נפרדים לתנועות שונות במופעים שונים, יותקנו ראשי רמזור נפרדים עבור התנועות השונות, בתוספת תמרור הוריה מואר עם חץ צהוב מעל ראש הרמזור (תרשים 3.35).



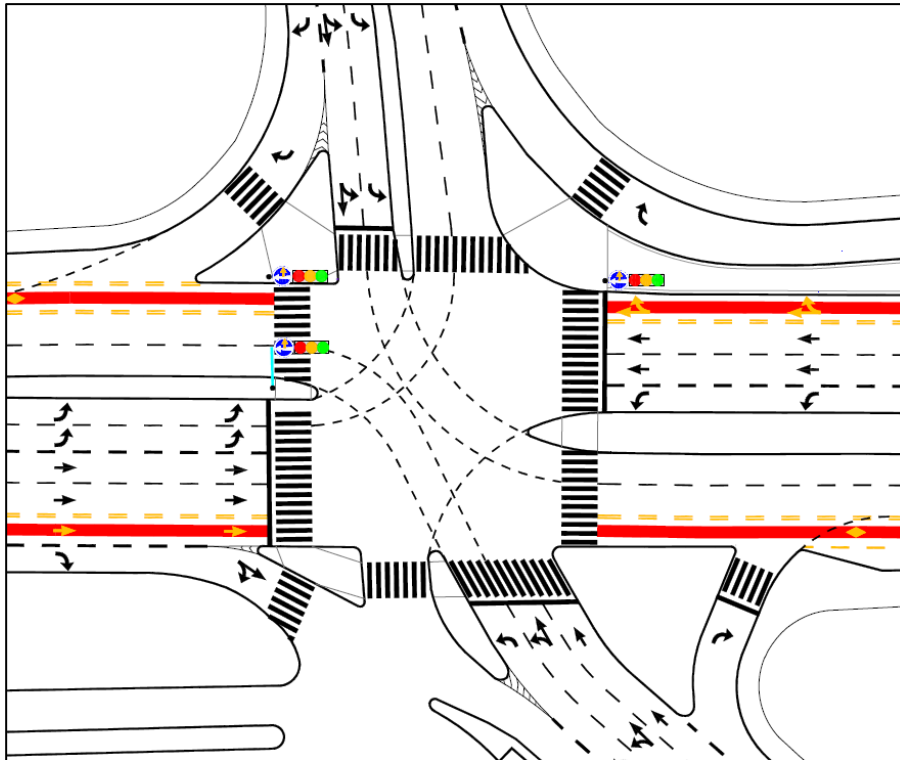
תרשים 3.34: הצבת ראש רמזור לתצ"ם עבור מופע משותף למספר תנועות מאותו נתיב



תרשים 3.35: הצבת ראש רמזור לתצ"ם עבור מופעים שונים לתנועות שונות

3.6.5 עקרונות להצבת ראשי רמזור לתנועה מעורבת

- במסלול תצ"ם בו עוברים אוטובוסים (שאינם תצ"ם) וכלי-רכב אחרים כגון מוניות / רכב רב- תפוסה, יוצבו ראשי רמזור רגילים (תמרורים 705-701). תמרור הוריה מעל ראש הרמזור יהיה בצבע לבן עבור כיוון התנועה המעורבת ובצבע צהוב עבור כיוון התנועה המיועדת לתצ"ם (תרשים 3.36).
- לא מומלץ לתכנן לאורך ציר אחד סוגי ראשי רמזור שונים לתחבורה הציבורית, אלא אם מנקודה מסוימת לאורך הציר ישנו שינוי ברור בין תנועה מעורבת לתנועה בלעדית, או להיפך.



תרשים 3.36: הצבת ראש רמזור לתנועה מעורבת במסלול תצ"ם

3.7 התקן שמע אחוד, לחצני דרישה להולכי-רגל ולרוכבי אופניים

3.7.1 התקן שמע אחוד ולחצן דרישה להולכי-רגל

התקן שמע אחוד, בהתאם ל"מפרט הכללי להצבה ואחזקה של רמזורים" פרק 10, יוצב בכל מעבר חצייה להולכי-רגל. כאשר נדרשים לחצני דרישה להולכי-רגל, הם משולבים בהתקן השמע האחוד על פי המפרט המאושר. כל מעברי החצייה יהיו מונגשים בהתאם למפורט בתקן ישראלי 1918.

התקן שמע אחוד יוצב בסמוך לכל מעבר חצייה להולכי-רגל מצד ימין ביחס לכיוון החצייה, מופנה אל הולכי הרגל ומחוץ לתחום ההליכה. מומלץ להציב את התקן השמע במרחק של 50 ס"מ ממקום מפגש המדרכה עם הדרך, כאשר פניו העליונים יהיו בגובה 120-140 ס"מ מפני המדרכה. במקרים בהם מסיבות תכנוניות לא ניתן למקם את התקן השמע כנדרש לעיל, יינתן פתרון מקומי מתאים לתנאי המקום.

3.7.2 לחצן דרישה לרוכבי אופניים במופע משותף עם הולכי-רגל

במקרה בו מעבר החצייה לאופניים סמוך למעבר החצייה להולכי-רגל, ושניהם מופעלים במופע משותף ובתלות בלחצן דרישה, יוצבו לחצני דרישה נוספים לרוכבי האופניים ככל הנדרש. לחצני הדרישה לאופניים יוצבו בסמוך למעבר החצייה לאופניים, מופנים אל רוכב האופניים, מחוץ לתחום הרכיבה, ולא במיקום המחייב את רוכבי האופניים לחצות את אזור ההמתנה של הולכי-הרגל לצורך שימוש בלחצן. מומלץ להציב את לחצן הדרישה לאופניים במרחק של 50 ס"מ ממקום מפגש המדרכה עם הדרך כאשר פניו העליונים יהיו בגובה 120-140 ס"מ מפני המדרכה. אין חובה להציב את לחצן הדרישה לאופניים מצד ימין לכיוון הרכיבה. ניתן להציבו בצדו השני של התקן השמע האחוד המשולב עם לחצן דרישה להולכי-רגל, כך שיופנה לעבר רוכב האופניים. דוגמא לשילוב התקני שמע אחודים עם לחצנים להולכי-רגל, וכן לחצני דרישה לאופניים, מוצגים בתרשים 8.14 בפרק 8 של ההנחיות.

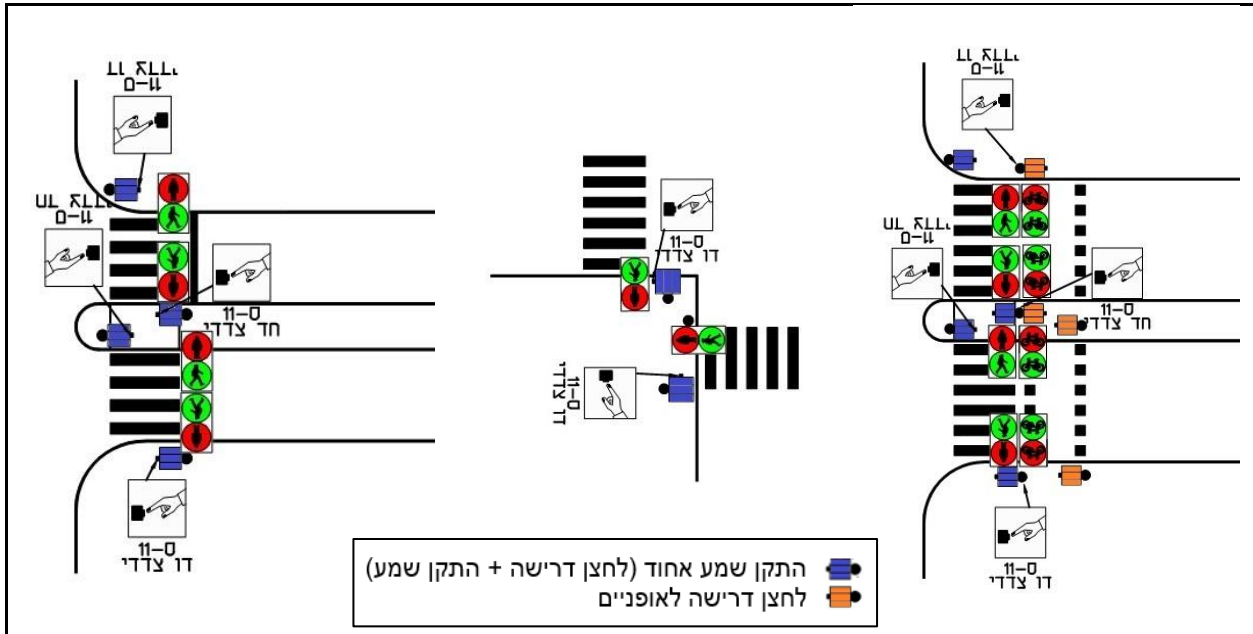
3.7.3 לחצן דרישה לרוכבי אופניים במופע נפרד

במקרה בו חציית אופניים מבוצעת במופע נפרד (ולא במשותף עם מופע הולך-רגל), יוצב לחצן דרישה לאופניים (אשר אינו התקן שמע אחוד), הכולל לחצן דרישה בלבד, כמפורט במפרט הטכני המאושר על ידי משרד התחבורה. הצבת הלחצן תתוכנן על פי המפורט בסעיף 3.7.2. אין להציב לחצן דרישה לאופניים בתא-אופן.

תרשים 3.37 מציג את האפשרויות השונות למיקום הלחצנים להולכי-רגל ולאופניים.

3.7.4 תמרור ס-11

יש להציב תמרור ס-11 עבור לחצני דרישה להולכי-רגל ורוכבי אופניים. תמרור זה מפנה את תשומת ליבו של הולך הרגל / רוכב האופניים כי קבלת האות הירוק ברמזור מותנית בלחיצה על לחצן הדרישה. תמרור זה יכול להיות מוצב על עמוד עליו מותקן הלחצן (בתנאי שגובה העמוד מאפשר הצבת התמרור בגובה 2.5 מ'), או על עמוד רמזור סמוך ללחצן, ויכול להיות חד-צדדי או דו-צדדי, כך שיופנה לעבר כיווני החצייה הנדרשים. ניתן להתקין תמרור ס-11 קטן על עמודון הלחצן, אם לא ניתן להתקין תמרור בגודל רגיל עקב בעיית הסתרה של ראשי הרמזור, ובתנאי שאינו מהווה הפרעה להולך הרגל. כאשר חציית הולכי הרגל ורוכבי האופניים הינה במופע משותף, יש להציב תמרור ס-11 אחד המשותף ללחצן הדרישה להולכי-רגל וללחצן הדרישה לאופניים, כאשר הם מיועדים לאותו כיוון חצייה. לפירוט נוסף ראו פרק 8.



תרשים 3.37: מיקום לחצנים למעבר חצייה עם וברי חציית אופניים במופע משותף

3.8 בקר הרמזור

מבנה הארון של בקר הרמזור יותקן במקום ממנו ניתן להבחין בכל כיווני ההתקרבות, או לפחות בכיווני ההתקרבות העיקריים, ובאופן שיאפשר גישה לצורכי טיפול ותחזוקה. אם הדבר לא ניתן, יותקן תא מיוחד לתפעול ידני במקום בו קיימת תצפית טובה לכל כיווני ההתקרבות.

יש להרחיק את הארון של בקר הרמזור למרחק מתאים משפת המיסעה, כדי להגן עליו מפני רכב הסוטה מכיוון הנסיעה, וכדי למנוע הפרעה לתנועה השוטפת של הולכי-הרגל וכן למנוע הפרעה לשדה הראיה.

רצוי למקם את הארון של הבקר הרמזור מחוץ לאזור הנסיעה בצומת המרומזר, כלומר באחת המדרכות התוחמות את הצומת, אך לא על אי תנועה או מפרדה. פירוט בנושא הארון של בקר הרמזור, הבסיס שלו, והתאים שלו, מובא ב"מפרט הכללי להצבה ואחזקה של רמזורים", פרק 6.

פרק 4: תכנון מוקדם של תוכנית הזמנים

תוכן עניינים

4-1	עקרונות התכנון המוקדם	4.1
4-1.....	מטרות התכנון המוקדם	4.1.1
4-2.....	שיקולים בקביעת מאפייני התכנון המוקדם	4.1.2
4-3.....	איסוף נתונים	4.1.3
4-4	מרכיבים בתוכנית הרמזור	4.2
4-4.....	סימון מופעים	4.2.1
4-6.....	סימון גלאים	4.2.2
4-7.....	סימון לחצני הולכי-רגל / אופניים	4.2.3
4-7.....	סימון שלבים	4.2.4
4-8	ירוק מזערי	4.3
4-8.....	חישוב משך ירוק מזערי לכלי-רכב	4.3.1
4-9.....	חישוב משך ירוק מזערי להולכי-רגל	4.3.2
4-9.....	חישוב משך ירוק מזערי לאופניים	4.3.3
4-9.....	חישוב משך ירוק מזערי לתצ"ם	4.3.4
4-9	מדדי ביצוע בצומת מרומזר	4.4
4-10.....	יחס נפח-קיבולת	4.4.1
4-10.....	זמן עיכוב	4.4.2
4-11.....	הסתברות למעבר במחזור	4.4.3
4-12.....	אורך התור	4.4.4
4-12.....	מספר עצירות	4.4.5
4-13	בחינה מקדמית – יחס נפח קובע / קיבולת	4.5
4-13.....	עקרונות	4.5.1
4-15.....	הנפח הקובע	4.5.2
4-15.....	קיבולת הצומת	4.5.3
4-17.....	חישוב יחס נפח/קיבולת ורמת-שירות מקדמית – LOF	4.5.4
4-18	בחינה תפעולית – ניתוח רמת-שירות	4.6
4-18.....	ניתוח רמת-שירות על פי חישוב זמן מחזור וחלוקה ראשונית של זמן הירוק	4.6.1
4-21.....	ניתוח רמת-השירות על פי מדריך HCM	4.6.2
4-24.....	חישוב מדדי ביצוע לצומת המרומזר באמצעות מודל סימולציה מיקרוסקופית	4.6.3
4-25.....	חישוב אורך האחסנה	4.6.4

4-28	תוצרי התכנון המוקדם	4.7
4-28	תכנון מוקדם לצומת מרומזר הכולל העדפה לתחבורה ציבורית	4.8
4-28.....	מדיניות תכנון רמזורי העדפה לתחבורה ציבורית	4.8.1
4-30.....	אסטרטגיות העדפה	4.8.2
4-34.....	התכנון המערכתי	4.8.3
4-36.....	בחינה מקדמית של צומת הכולל העדפה לתחבורה ציבורית	4.8.4
4-37.....	תכנון מוקדם לצומת עם העדפה	4.8.5
4-39	נספחים	4.9
4-39.....	דוגמה 1: בחינה מקדמית – צומת ללא מופעי הולכי-רגל	4.9.1
4-45.....	דוגמה 2: בחינה מקדמית – צומת עם מופעי הולכי-רגל	4.9.2
4-48.....	דוגמה 3: בחינה תפעולית – צומת עם מופעי הולכי-רגל	4.9.3
4-50.....	דוגמה 4: בחינה מקדמית – צומת עם העדפה לרק"ל	4.9.4

פרק 4: תכנון מוקדם של תוכנית הזמנים

4.1 עקרונות התכנון המוקדם

4.1.1 מטרת התכנון המוקדם

בשלב התכנון המוקדם של תוכנית הזמנים נקבעים המאפיינים הבסיסיים של תכנון הרמזור. מאפיינים אלה כוללים את הגדרת מופעי הרמזור למשתמשי הדרך השונים (רכב מנועי, תחבורה ציבורית, הולכי-רגל, אופניים), משך הירוק המזערי, השלבים העקרוניים שישמשו לתפעול הרמזור, סוגי הגלאים, סדר פעולת השלבים וזמן המחזור המרבי.

קביעת מרכיבי התכנון המוקדם מבוססת באופן מסורתי על בחינת יעילות תפעולית של הצומת המרומזר בהיבטי הרכב המנועי בלבד. הבחינה מתבססת על ניתוח תנועתו של מדדי ביצוע מקובלים (כדוגמת יחס נפח/קיבולת, זמני עיכוב, רמת-שירות) לקביעת תפקודו של הצומת המרומזר בהתאם להסדרי התנועה הקיימים או המתוכננים. המטרה המרכזית של שלב זה היא בדיקה שהסדר התנועה אכן מתאים לפתרון של צומת מרומזר. בשלב זה נדרש ממתכנן הרמזור לבחון את הגיאומטריה המוצעת של הצומת ואת הצורך בשינויים, כדוגמת תוספת נתיבים, שינויי ניתוב, ביטול תנועות, מיקום מעברי חצייה וכיוצ"ב, והשפעתם על תפקוד הרמזור. התהליך כולל היזון חוזר, הבוחן חלופות תכנון תנועה שונות לקבלת פתרון מיטבי של תפקוד הצומת המרומזר מחד, תוך עמידה ביעדי ובאילוצי התכנון מאידך.

אף על פי שכאמור לעיל, הבחינה מבוססת בעיקרה על תפקוד הרכב המנועי, הרי שבמהלך שלב התכנון המוקדם של הרמזור יש להתייחס לשיקולים תכנוניים שונים, לרבות התייחסות לכלל משתמשי הדרך, בהתאם ליעדי התכנון שנקבעו בהנחיות התכנון השונות של משרד התחבורה ולשיקולים בטיחותיים. ההתייחסות למשתמשי הדרך וקביעת "העדיפות התכנונית" ביישום תוכנית הרמזור, נקבעים בהתאם למיקומו הגיאוגרפי של הצומת ברשת העירונית או הבין-עירונית, לסיווג הצומת ומאפייניו התפעוליים, ולפעילות משתמשי הדרך, לרבות הולכי-הרגל, רוכבי האופניים והתחבורה ציבורית.

פרק זה מציג את שיטת העבודה לקביעת המאפיינים והתוצרים של התכנון המוקדם של הזמנים ברמזור, ומפרט את השיקולים השונים אליהם יש להתייחס בקביעת מאפייני התכנון המוקדם של הרמזור. הפרק עוסק בקביעת מופעי הרמזור ומשכי הירוק המזעריים, ובבניית השלבים על בסיס שיטות חישוב כמותיות לצורך תפעולו היעיל של הרמזור. הפרק מציג חלוקה לשלבי ניתוח שונים במהלך התכנון המוקדם:

- בחינה מקדמית – חישוב יחס נפח/קיבולת על בסיס נפחי התנועה, קביעת השלבים וזמן מחזור מרבי.
- בחינה תפעולית – חישוב מדדי ביצוע לרמזור, זמני עיכוב ורמת-שירות, על בסיס קביעת זמן מחזור וחלוקת ירוק. הצורך בבחינה תפעולית הינו בהתאם למדד המתקבל בבחינה המקדמית.

בנוסף, ניתנת סקירה תמציתית של מתודולוגיית המדריך האמריקאי לניתוחי קיבולת, HCM מהדורה 7 מ-2022 (להלן HCM 7 – תקציר ליישומו בישראל יופץ במהלך 2025), כחלק מהבחינה התפעולית. מתודולוגיה זו מתייחסת גם למשתמשי הדרך הרכים (הולכי-רגל ורוכבי אופניים), וניתנת לשימוש בכפוף לזמינות הנתונים הרלוונטיים ולמגבלותיה המפורטות בהמשך. יצוין שהפרק אינו דן בשיטות להערכת

הבטיחות ברמזור, אלא מפרט את השיקולים השונים אליהם יש להתייחס בקביעת מאפייני התכנון המוקדם של הרמזור.

חלק מהותי נוסף בפרק זה עוסק בתכנון מוקדם עבור רמזור שכולל תחבורה ציבורית מועדפת (תצ"ם). הפרק מציג סוגיות של מדיניות בתכנון העדפה, פירוט שיטות העדפה, ותוצרי התכנון המוקדם. בצמתים מסוג זה מתווסף שלב תכנוני נוסף – תכנון מערכתי, אשר מהווה בסיס לתכנון המוקדם. שלב זה עוסק בניתוח השפעות תנועתיות רוחביות של פרויקט העדפה מבחינת תפעול הרמזורים לאורך הציר ובצמתים סמוכים מושפעים, כולל המלצות ברמה הפרטנית לכל צומת.

4.1.2 שיקולים בקביעת מאפייני התכנון המוקדם

קביעת מאפייני התכנון המוקדם של הרמזור מחייבת התחשבות בשיקולים הבאים:

4.1.2.1 יעילות תפעולית

היעילות התפעולית מתייחסת לניתוחי תנועה כמותיים בצומת המרומזר, על בסיס תוכניות התנועה והגיאומטריה ונפחי התנועה הקיימים או החזויים בצומת. היעילות התפעולית מחושבת עבור הרכב המנועי בהתאם למדדי ביצוע, כדוגמת יחס נפח/קיבולת, אורכי תור, זמני העיכוב, ורמת-שירות. קביעת המאפיינים המוקדמים של תכנון הרמזור בהתאם לשיקול זה מתבצעת על ידי ע"י מזעור הזמנים הבלתי מנוצלים, הקטנת הנפח הקובע, הגדלת הקיבולת והפחתת הסתברות לגלישת תור. בקביעת היעילות התפעולית יש להתייחס לשיקולים של גלים ירוקים, לתקופות זמן שונות במהלך הניתוח (לדוגמה, שעת שיא בוקר ושעת שיא אחר הצהריים), ולהשפעתם של הולכי-הרגל ורוכבי האופניים על הניתוח הכמותי.

מודגש, שבחינת היעילות התפעולית של הרמזור כוללת יחסי גומלין עם תכנון התנועה והגיאומטריה. קביעת המופעים השונים תלויה בהסדרי התנועה והניתוב בצומת, והיא בעלת השפעה על חישוב הנפח הקובע, קביעת השלבים, וקביעת הזמנים הבלתי מנוצלים. כל שינוי בתכנון הגיאומטרי והתנועתי צריך להיבחן על ידי מתכנן הרמזור, כאשר אחד מתפקידי הוא הצעת שיפורים וחלופות לתכנון התנועה והגיאומטריה, לצורך שיפור תפעול הצומת המרומזר. בתהליך זה יש למצוא את השילוב האופטימלי של הקצאות נתיבים ושלבים לקבלת נפח קובע מזערי. לשם כך, ניתן לשנות ולעדכן את הגיאומטריה, הקצאות נתיבים והרכב המופעים בשלבים.

4.1.2.2 בטיחות

בעת קביעת מאפייני התכנון המוקדם יש להתייחס באופן מעמיק לכלל השיקולים הבטיחותיים בהתאם לגיאומטריית הצומת ולמאפייני התפעוליים, תוך התייחסות לכלל משתמשי הדרך. העיקרון הבסיסי הינו מיזעור נקודות ושטחי הניגוד בין משתמשי הדרך, והפרדה בין תנועות מנוגדות של כלי-רכב, הולכי-רגל ורוכבי אופניים. לשיקול הבטיחותי השפעות רבות נוספות: השיקול הבטיחותי משפיע על קביעת מופעי הרמזור, קביעת משכי הירוק המזעריים של המופעים, הגדרת זמן מחזור מרבי להגבלת זמני ההמתנה ולהפחתת ההסתברות לאי ציות לרמזור, קביעת השלבים והסדר שלהם, בחינת אפשרות מתן ירוק משותף לכלי-רכב בפנייה ימינה עם מעבר חצייה, הפחתת ההסתברות לבלבול פנסים (במיוחד בצמתים סמוכים), הקטנת ההסתברות לגלישת תור וכיוצ"ב.

4.1.2.3 הולכי-רגל ורוכבי אופניים

ברחובות עירוניים, באזורים עם ריבוי הולכי-רגל ורוכבי אופניים, ובקרבת מוקדי פעילות ותחנות תחבורה ציבורית, יש לתת חשיבות עליונה בתכנון הרמזור להולכי-הרגל ולרוכבי האופניים.

תוכנית הרמזור תתוכנן על פי מדיניות משרד התחבורה, תוך מתן עדיפות ברחובות עירוניים להולכי-הרגל ולרוכבי האופניים. יישום מדיניות זו יכול לבוא לידי ביטוי בקביעת השלבים, בקיצור זמני מחזור, במתן חצייה רצופה להולכי-רגל / אופניים ללא המתנה במפרדה, בהימנעות ממצב בו מוצג להולכי-הרגל / אופניים את אדום שאיננו בניגוד לכלל המופעים האחרים בשלב, במתן משך ירוק ארוך להולכי-רגל, בהימנעות מירוק משותף עם כלי-הרכב בפנייה ימינה וכיוצ"ב. הבחינה המקדמית והתפעולית מתייחסות להשפעה של הולכי-הרגל על קיבולת הרכב המנועי בצומת כפי שיוסבר בהמשך. יודגש שבאזורים בהם מדיניות התכנון קובעת העדפה להולכי-רגל ולאופניים, יש מקום לפגיעה בקיבולת הרכב המנועי.

4.1.2.4 תחבורה ציבורית

בקביעת מופעי הרמזור ובבניית השלבים יש להתייחס לתנועות התחבורה הציבורית בצומת, וזאת בהתאם ליעדי התכנון ולמטרותיו. אם מוסדר נתיב ייעודי לתחבורה הציבורית, מומלץ להפריד את מופעי התחבורה הציבורית ממופעי הרכב הרגילים, ולבנות את שלבי הרמזור באופן המאפשר תפעול יעיל לתחבורה הציבורית (קביעת שלבים המאפשרים נסיעה בו-זמנית של רכב תחבורה ציבורית משני כיוונים מנוגדים שאינם בקונפליקט, או קביעת שלבים המשלבים מופע תחבורה ציבורית עם מופע תנועה שאינו נוגד). ברמזורים הכוללים העדפה לתחבורה ציבורית, קביעת המופעים והשלבים תיעשה תוך מתן הגמישות המרבית לתכנון, אשר תאפשר העדפה לתחבורה הציבורית על פי מדיניות התכנון בפרויקט. במצבים אלה מומלץ להפחית את מספר המופעים והשלבים ברמזור לשם הקטנת הזמנים הלא-מנוצלים, וכן לדאוג להקטנת הביקושים לתחבורה הפרטית.

4.1.3 איסוף נתונים

לצורך התכנון המוקדם נדרש איסוף נתונים אשר יאפשר ביצוע ניתוחי תנועה, והחלטה על קביעת כלל המאפיינים הנדרשים לתכנון הרמזור בשלב זה. שלב איסוף הנתונים הינו חלק מהתכנון המוקדם, אף על פי שחלק מהנתונים משמש למטרת התכנון המפורט בלבד.

א. נתונים תנועתיים

- נתוני תנועת הרכב המנועי: ספירות תנועה ו/או תחזיות תנועה, הרכב התנועה, סוג הרכב לתכן, אחוז רכב כבד, אורך רכב מרבי, מהירויות נסיעה מותרות בגישות.
- נתוני תפעול תחבורה ציבורית: סוגי תחבורה ציבורית (כולל סוגי תחבורה ציבורית לזיהוי לצורך מתן העדפה ברמזור), אורך רכב, מסלולי נסיעה, תדירות, תחנות, כמות עולים ויורדים בתחנות, מהירויות נסיעה, תאטות ותאוצות.
- תוכניות זמנים לרמזור קיים: תוכנית זמנים לרמזור על פי המצב הקיים, במידה שרלוונטית לתכנון החדש, קישור גל ירוק על בסיס המצב הקיים, נתוני משכי ירוק בפועל.
- נתוני הולכי-רגל: מספר הולכי-הרגל מוערך, איפיון הולכי-רגל (קשישים, ילדים).

- נתוני רוכבי אופניים: נתונים מוערכים של משתמשים באופניים (במידה שלא קיימות ספירות או תחזיות), בהתאם לכיווני התנועה המותרים בצומת.
- מידע רלוונטי שעשוי להשפיע על תכנון הרמזור, כדוגמת בעיות ראות, הפרעות כתוצאה מחנייה וכניסות למגרשים, הצטברות תורים במצב הקיים, ובעיות תנועתיות אחרות.

ב. נתונים גיאומטריים

- תוכניות תנועה מפורטות: הסדרי התנועה והניתוב בצומת, נתיבי / מסלולי תחבורה ציבורית, מיקומי תחנות תחבורה ציבורית, צמתים סמוכים (מרחקים, כיוונים וגיאומטריה), התקני תנועה ובטיחות.
- חתכים טיפוסיים של הדרכים במפגש, השיפועים לאורך הדרכים הנפגשות.

ג. שימושי קרקע

- מוקדי פעילות מושכי הולכי-רגל בהתאם לשימושים קיימים ולפיתוח עתידי (מוסדות חינוך, מרכזים מסחריים, תרבות וספורט, אזורי תעסוקה), מעברי חצייה עתירי ביקוש.

ד. נתוני תאונות דרכים

- מיקום, כמות, סוגי תאונות, חומרת תאונות, כלי-רכב מעורבים, סוגי הנפגעים וכל מידע רלוונטי נוסף.

ה. מדיניות העדפה לתחבורה ציבורית

- בתכנון רמזור העדפה לתחבורה ציבורית – מדיניות התכנון, מסמך הנחיות תכנון רלוונטיות לפרויקט, מסמך וספריית פונקציות להטמעת תכנון העדפה ("לקסיקון").

4.2 מרכיבים בתוכנית הרמזור

קביעת אופן הסימון של המרכיבים השונים בתוכניות הרמזור נועד ליצירת אחידות בהצגת התוכניות. אחידות זו מאפשרת התמצאות טובה יותר של מתכננים, בודקים, רשויות התימור, ומהנדסים במרכזי הבקרה. מרכיבים בתכנון הרמזור כוללים את סימון המופעים, השלבים, גלאי הרכב ולחצני הולכי-הרגל, כפי שמתואר בסעיפים הבאים ומוצג בתרשים 4.1.

4.2.1 סימון מופעים

המופעים בצומת המרומזר מתחלקים למספר סוגים: מופעי כלי-רכב, מופעי הולכי-רגל (מעברי חצייה), מופעי אופניים, מופעי תחבורה ציבורית, ומופעי צהוב מהבהב. קביעת מופעי הרמזור בשלב התכנון המוקדם מתבצעת על בסיס תוכנית הגיאומטריה והסדרי התנועה בצומת, ועל-פי התנועות האפשרויות בו. לצורך קביעת המופעים, יש צורך להגדיר תחילה את התנועות בצומת, כלומר מה הם מסלולי הנסיעה האפשריים מכל אחת מגישות הצומת (ימינה, ישר, שמאלה). מאחר שהגדרת התנועות, קביעת המופעים ותכנון הסדרי התנועה הינם תהליכים אטרקטיביים מקביליים, לצורך שיפור היעילות התפעולית של הצומת, אזי קביעת המופעים תבוצע בשלב התכנון המוקדם, במקביל לשלב ניתוחי הקיבולת. בעדכון תוכניות רמזור של צמתים קיימים, מומלץ לשמור על מספור המופעים הקיים, או בהתאם להנחיית רשות התמרור המקומית. בעת תכנון מספר צמתים מרומזרים על אותו בקר רמזור, יש לוודא כי אין כפילות בשמות המופעים.

4.2.1.1 מופעי כלי-רכב

מופע כלי-הרכב יכול לכלול תנועה אחת, או שילוב של מספר תנועות היוצאות מאותה גישה. כאמור לעיל, ההחלטה מהן התנועות אשר תהיינה כלולות במופע מסוים קשורה לגיאומטריה, להקצאת הנתיבים, לנפחי התנועה ולשלבי הרמזור. מופעי כלי-הרכב יסומנו בסדר עולה של מספרים החל מ-1, כמתואר בתרשים 4.1.

4.2.1.2 מופעי הולכי-רגל

מופעי הולכי-רגל הינם מעברי החצייה המרומזרים בצומת. מופעי מעברי החצייה יסומנו באותיות לטיניות קטנות החל מהאות a, כמתואר בתרשים 4.1. לא יסומנו מופעים של מעברי חצייה שאינם מרומזרים.

4.2.1.3 מופע צהוב מהבהב ('בלינקר')

קיימים שני סוגים של מופע צהוב מהבהב בצומת מרומזר:

- עבור ירוק משותף לכלי-רכב הפונים ימינה ולהולכי-רגל חוצים – מופעי הצהוב המהבהב יסומנו באות B_i, כאשר i מייצג את סימון מופע מעבר החצייה הרלוונטי, כמתואר בתרשים 4.1.
- עבור תנועת כלי-רכב בפנייה חופשית ימינה – ניתן לסמן את כל מופעי הצהוב המהבהב בצומת באות B_L, כמתואר בתרשים 4.1, או לחילופין לסמן כל מופע צהוב מהבהב בנפרד באות B_j כאשר j מייצג אות אנגלית בסדר עולה.

4.2.1.4 מופעי אופניים

מופע אופניים יוגדר כאשר תנועת האופניים מגיעה אל הצומת משביל או נתיב (רמות הפרדה ב', ג'), וחוצה את הצומת שלא במעבר חצייה, ועבור תנועת האופניים המגיעה לצומת בצמוד למיסעת הרכב המנועי ונפגשת עם מעבר החצייה להולכי רגל בזרוע הניצבת.

מופע אופניים יוגדר גם בגישה מתוך תא-אופן, שאליו מגיעה תנועת אופניים מנתיב או משביל אופניים. לא יוגדרו מופעי אופניים נפרדים עבור תנועות אופניים החוצות במעבר חצייה במקביל ובצמוד להולכי-רגל. במקרה זה מוצבים ראשי רמזור תמרורים 720 / 721 בלבד.

בכל מצב שבו יוגדר מופע אופניים נפרד, נדרש חישוב זמני פינוי לאופניים על-פי ההנחיות והפרמטרים בפרק 5 בהנחיות.

לא יוגדר מופע אופניים ביציאה מהצומת בקונפליקט עם הולכי-רגל. ניהול הקונפליקט יבוצע בהתאם למפורט בפרק 3.

מופעי האופניים יסומנו בסדר עולה של מספרים החל מ-50 בתוספת מספר המופע של כלי-הרכב המקביל. לדוגמה, מופע אופניים המקביל למופע רכב מנועי 1, ימוספר כמופע 51.

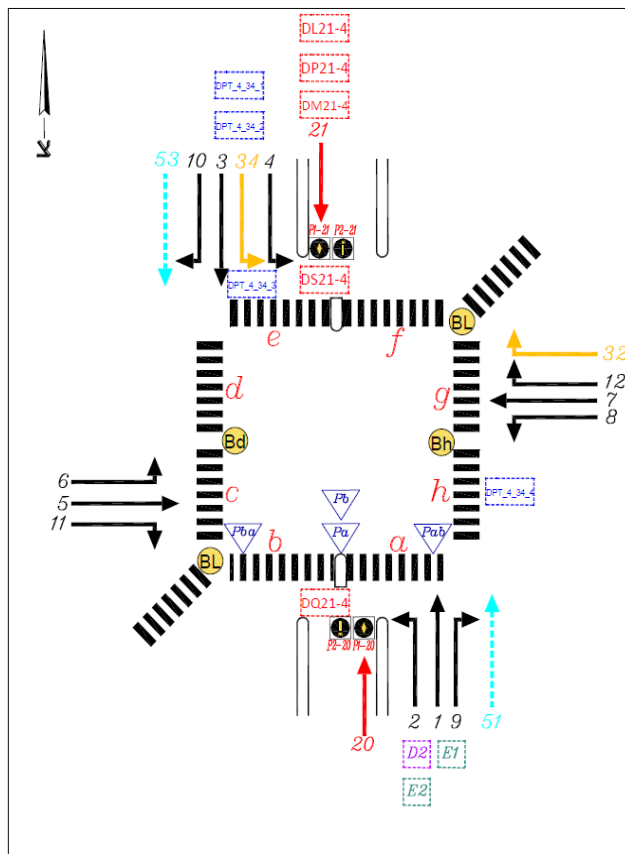
4.2.1.5 מופעי תחבורה ציבורית

מופע התחבורה ציבורית יכול לכלול תנועה אחת, או שילוב של מספר תנועות היוצאות מאותה גישה. בדומה לקביעת מופעי כלי-רכב, כאמור לעיל, ההחלטה מהן התנועות אשר תהיינה כלולות במופע מסוים קשורה לגיאומטריה, להקצאת הנתיבים, לנפחי התנועה ולשלבי הרמזור.

מופעי תצ"ל מסוג רק"ל יסומנו בסדר עולה של מספרים החל מ-20. מופעי תחבורה ציבורית אחרים יסומנו במספרים החל מ-30 בתוספת מספר מופע כלי הרכב המקביל.

4.2.1.6 מופעי פנס מקדים לרק"ל

מופעי פנס מקדים לרק"ל משמשים למידע לנהג הרק"ל על קליטתו במערך גלאי הרק"ל, ולמתן מידע מקדים על פתיחת האות "התקדם" ברמזור. ראש הרמזור המקדים כולל שני פנסים המשמשים לשני מופעים (פנס אחד לכל מופע). פנסים אלה אינם נכללים בלוח התמרורים, ונועדו לנהג הרק"ל בלבד. מופעים אלה מחליפים את מופע הפנס הצהוב המשולש שהיה מקובל, וכפופים לתקן תיפעול הרק"ל. מאחר שמופעים אלה ממוקמים בסמוך למסילת הרק"ל ולכיוון ההגעה שלה, מספור המופעים יהיה במספר התואם את מופע הרק"ל הצמוד בתוספת האות p1 עבור המופע המודיע על קליטה במערך גלאי הרק"ל ("המעויין"), ו-p2 עבור המופע המודיע על פתיחה קרובה של האות "התקדם" ("סימן קריאה"), לדוגמה p1_21 ו-p2_21. כאשר מדובר במופעי פנס מקדים בסמוך למפלג, הם יקבלו את מספור המופע העיקרי של הרק"ל על גבי המסילה הרלוונטית.



אלמנט בתוכנית הרמזור	סימון
מופע כלי-רכב	1 עד 12
מופע רק"ל	20, 21
מופע אוטובוס/תאו"ם	32, 34
מופע אופניים	51, 53
מופע פנס מקדים לרק"ל	P1, P2
מופע צהוב מהבהב	Bi
גלאי דרישה לרכב	Di
גלאי הארכה לרכב	Ei
גלאי רק"ל	DLi/DPi/DMi/DSi/DQi
גלאי אוטובוסים/תאו"ם	DPT_i
לחצן הולך-רגל	Pi

תרשים 4.1: דוגמה לסימון מופעים, גלאים ולחצנים בצומת מרומזר (הערה: התרשים מתייחס לצומת שמספרו 4)

4.2.2 סימון גלאים

שילוב גלאים בתכנון רמזור מאפשר התייחסות למצב התנועה בפועל (בזמן אמת), לצורך תפעול יעיל של הרמזור ע"י ניצול מיטבי של הזמן הירוק וקיצור זמני העיכוב למשתמשי הדרך. בשלב התכנון המוקדם יש לשלב גלאים מסוגים שונים לצורך תפעולו היעיל של הרמזור וסדר העדיפויות התכנוני.

סימון הגלאים ייעשה על פי המפורט להלן:

- גלאי דרישה יסומנו באות D_i , כאשר i מייצג את שם המופע אליו משויך הגלאי.
- גלאי הארכה יסומנו באות E_i , כאשר i מייצג את שם המופע אליו משויך הגלאי.
- גלאי תור יסומנו באות Q_i , כאשר i מייצג את שם המופע אליו משויך הגלאי.

לרכב תצ"ם יכולים להיות גלאים שונים המשמשים בתפקידים שונים ומוגדרים לפי הגדרות הפרויקט. ככלל:

- גלאי רחוק יסומן כ-DLi או כ-DPT_i_1, כאשר i מייצג את שם המופע אליו משויך הגלאי.
- גלאי קרוב יסומן כ-DPi או כ-DPT_i_2, כאשר i מייצג את שם המופע אליו משויך הגלאי.
- גלאי דילמה יסומן כ-DMi (רק בפרויקטי רק"ל), כאשר i מייצג את שם המופע אליו משויך הגלאי.
- גלאי קו עצירה יסומן כ-DSi או כ-DPT_i_3, כאשר i מייצג את שם המופע אליו משויך הגלאי.
- גלאי ביטול יסומן כ-DQi או כ-DPT_i_4, כאשר i מייצג את שם המופע אליו משויך הגלאי.

מכיוון שבפרוייקטי תצ"ם ייתכן שפריסת הגלאים תתפרס על מספר צמתים, מומלץ להוסיף את שם הצומת / תיאור אליה מקושר לוגית הגלאי, לדוגמה, עבור צומת מס' 4: DL20_4 או DPT_4_21_1. למידע נוסף על תכנון הגלאים, ראו פרק 8.

4.2.3 סימון לחצני הולכי-רגל / אופניים

לחצני דרישה להולכי-רגל הינם חלק מהתקן השמע האחד. לחצנים אלה יסומנו באות P_i , כאשר i מייצג את שם מעבר החצייה הרלוונטי. כאשר יש צורך לזהות את כיוון החצייה (בעיקר לצורך הבטחת חצייה רצופה), סימון הלחצנים יהיה P_{ij} , כאשר i הינו המעבר הראשון ברצף ו- j הינו המעבר האחרון ברצף. לדוגמה, עבור מעבר חצייה a הכולל שני לחצנים, אחד המגיע מכיוון מעבר b והשני מהמדרכה, יוגדרו שני לחצנים: P_{ab} ו- P_a , בהתאמה. לחצני דרישה לאופניים החוצים במעבר חצייה בצמוד להולכי-רגל יסומנו באופן זהה לסימון הולכי-הרגל (במקרה זה לא מוגדר מופע אופניים). ניתן גם להגדיר לחצני דרישה למופע אופניים בשביל או בנתיב, ולסמנם על פי מספר המופע. למידע נוסף על תכנון לחצני דרישה להולכי-רגל ולאופניים ראו פרקים 3 ו-8.

4.2.4 סימון שלבים

שלבים יסומנו באותיות גדולות החל מהאות A ועד Z. השלב הראשי בצומת יסומן באות A. שכפולים של שלבים יסומנו בהתאם לשלב המקור בתוספת מספר (לדוגמה A1). לשכפול שלב A ניתן להשתמש בסימון eqA.

לצמתיים בהם מתוכננת העדפה לתאו"ם, ניתן להשתמש בשמות שלבים המייצגים את אסטרטגיית העדפה כמפורט בסעיף 4.8 (לדוגמה AFA לאסטרטגיית הארכת שלב, BFA לאסטרטגיית הקדמת שלב, IA לאסטרטגיית הכנסת שלב).

בצמתיים בהן מתוכננת העדפה לרק"ל, נהוג לסמן את השלבים בהם כלולים מופעי הרק"ל באות L בתוספת מספר.

בצמתיים שונים הפועלים באותו בקר רמזור בתרשימי זרימה נפרדים, אין להשתמש באותם השמות לשלבים, עקב הצורך בתכנון פרמטרים שונה לשלבים השונים.

4.3 ירוק מזערי

משך הזמן המזערי לירוק, הוא 'משך הירוק המזערי', הינו פרמטר שמבטיח שמשך הירוק לא יפחת מערך מסוים בכל מצב הפעלה של התוכנית. עבור מופעי הרכב, ערך זה מאפשר לכלי-הרכב הממתינים בין קו העצירה לבין גלאי הארכה, לעבור את הצומת במהלך האור הירוק ללא צורך בהארכתו. עבור מופעי הולכי-הרגל, ערך זה מאפשר משך חצייה מזערי באופן בטיחותי. למשכי הירוק המזערי עשויה להיות השפעה על קיבולת הצומת, במיוחד כאשר נפחי התנועה נמוכים, וכאשר נדרש משך ירוק מזערי ארוך למעבר חצייה (לדוגמה עקב מעבר חצייה ארוך). בבחינה המקדמית והתפעולית של התכנון המוקדם לרמזור, יש לקחת בחשבון את משך הירוק המזערי כפי שמוסבר בסעיף 4.5. טבלה 4.1 מציגה את משכי הירוק המזערי המומלצים לפי סוג המופע בצומת.

4.3.1 חישוב משך ירוק מזערי לכלי-רכב

משך הירוק המזערי לתכנון הינו:

- 10 שניות למופעי רכב בציר העיקרי בצומת בדרך לא עירונית, או בדרך עירונית עורקית.
- 6 שניות ברחובות בתחום העירוני, לרבות מופעי רכב ראשיים בצמתיים הממוקמים ברחוב עירוני, ובדרכים משניות בתחום הבין-עירוני.

ההגדרות למדרג צירים ברשת העירונית הן בהתאם ל"הנחיות לתכנון רחובות בערים (2020)". ערכים אלה של הירוק המזערי יתוכננו הן בצמתיים מופעלי תנועה והן בצמתיים שאינם מופעלי תנועה, ללא הבדל ביניהם. במופע עם מהירות נסיעה מרבית מותרת של 60 קמ"ש ומעלה, יינתן אות ירוק מהבהב במשך 3 שניות. משך הבהוב הירוק ייחשב למניין הירוק המזערי הנדרש למופע (לדוגמה, מופע הכולל ירוק מהבהב עם 6 שניות ירוק מזערי, יכלול 3 שניות ירוק קבוע, ו-3 שניות ירוק מהבהב). ניתן להגדיל את ערכי הירוק המזערי באישור רשות התמרור המקומית, אך בכל מקרה לא ניתן להקטין ערכים מזעריים אלה.

יש לשים לב שמשך הירוק המזערי מאפשר לכלי-הרכב הממתינים באור האדום בין קו העצירה לבין גלאי ההארכה, לעבור במהלך האור הירוק. משך הירוק המזערי יחושב לפי 2.1 שניות לכל רכב הממתין בין קו העצירה לבין הגלאי (מספר כלי-הרכב הממתינים יעוגל כלפי מטה למספר שלם). בתוספת 2 שניות זמן זינוק. יש לעגל את התוצאה כלפי מעלה למספר שלם של שניות. פירוט לנוסחת החישוב מופיע בסעיף 8.3.4.6.

4.3.2 חישוב משך ירוק מזערי להולכי-רגל

משך הירוק המזערי להולכי-רגל יהיה על פי הגבוה מבין: הזמן המתאים לחציית שני שלישי מאורך מעבר החצייה, או 6 שניות.

בנוסף, בשעות שבהן מעבר החצייה עומד בקריטריון השעתי המגדיר אותו כעתיר ביקוש, בהתאם ל"הנחיות למעברי חצייה עתירי ביקוש", יתוכנן משך ירוק מזערי של 15 שניות. ביתר השעות יחושב משך הירוק המזערי באופן זהה למעבר חצייה רגיל (שאינו עתיר ביקוש). משך ירוק מזערי של 15 שניות אינו מהווה מינימום מבחינה בטיחותית, אלא נקבע משיקולים תפעוליים.

לצורך חישוב זמן חציית המעבר, יימדד אורך מעבר החצייה במרכזו. מהירות ההליכה תוגדר 1.2 מ"/שנייה, למעט הגדרת מהירות חצייה של 1.0 מ"/שנייה, במקרים הבאים: מעבר החצייה הוגדר כעתיר ביקוש, מעבר החצייה חוצה מסלול רק"ל, או מעבר החצייה משרת אוכלוסייה מבוגרת.

משכי הירוק המזערי יעוגלו תמיד כלפי מעלה. ניתן להגדיל את ערכי הירוק המזערי בהתאם להחלטת רשות תמרור מקומית, אך לא ניתן להקטין ערכים מזעריים אלה.

4.3.3 חישוב משך ירוק מזערי לאופניים

משך הירוק המזערי למופע אופניים מרומזר יוגדר ל-6 שניות (ראו טבלה 4.1). משך הירוק המזערי לאופניים החוצים במעבר חצייה במופע משותף עם הולכי-רגל, יוגדר עפ"י חישוב משך הירוק המזערי להולכי-הרגל (סעיף 4.3.2).

4.3.4 חישוב משך ירוק מזערי לתצ"ם

משך הירוק המזערי לרק"ל יהיה 5 שניות. משך הירוק למופע תצ"ם שאינו רק"ל, יוגדר בהתאם למופעי רכב.

4.4 מדדי ביצוע בצומת מרומזר

בשלב התכנון המוקדם נבחנו מדדי ביצוע לתפקוד הצומת המרומזר. המדדים המקובלים והשכיחים ביותר הם:

- יחס נפח-קיבולת.
- זמן עיכוב למשתמשי הדרך.
- הסתברות למעבר במחזור.
- אורך התור.
- מספר עצירות.

במסגרת פרק זה בהנחיות, מוצגות שיטות ניתוח לחישוב יחס נפח-קיבולת וזמני עיכוב למשתמשי הדרך.

טבלה 4.1: משכי הירוק המזערי המומלצים למופעי הצומת (רכב מנועי, ה"ר, אופניים, רק"ל)

משך ירוק מזערי (שנ')		סוג צומת
הדרך המשנית	הדרך העיקרית	
6	10	מופע רכב מנועי: צומת בין-עירוני ⁽⁵⁾
6	10	מופע רכב מנועי: צומת בדרך עורקית עירונית ⁽¹⁾⁽⁵⁾
6	6	מופע רכב מנועי: צומת בתחום העירוני, הממוקם ברחוב ⁽²⁾⁽⁵⁾
חציית 2/3 מעבר, או 6 או 15 ⁽⁴⁾ (הערך הגדול מביניהם)		מופע הולך-רגל ⁽³⁾
6		מופע אופניים
5		מופע רק"ל ⁽⁵⁾

הערות:

- (1) דרך עירונית על פי הגדרתה ב"הנחיות לתכנון רחובות בערים – מרחב הרחוב" סעיף 3.2.
- (2) רחוב על פי הגדרתו ב"הנחיות לתכנון רחובות בערים – מרחב הרחוב" סעיף 3.2.
- (3) מופע הולך-רגל עם/ ללא חציית אופניים במופע משותף.
- (4) משך ירוק מזערי של 15 שניות יתוכנן בשעות שבהן מעבר החצייה עומד בקריטריון השעתי המגדיר אותו כעתיר ביקוש, בהתאם ל"הנחיות למעברי חצייה עתירי ביקוש". ביתר השעות יחושב משך הירוק המזערי באופן זהה למעבר חצייה רגיל (שאינו עתיר ביקוש).
- (5) משכי הירוק המזערי עבור מופע תצ"ם שאינו רק"ל, יוגדרו ע"פ הגדרות מופע רכב מנועי.

4.4.1 יחס נפח-קיבולת

היחס בין נפח התנועה (הביקוש) לקיבולת (ההיצע) מספק מדד לרמת-השירות לכלי-הרכב. ניתן לבחון יחס זה ברמת התנועה, ברמת המופע, וכן ברמת הצומת. היחס בין נפח התנועה הקובע בצומת לבין הקיבולת של הצומת (V_{cr}/C_{ap}), קובע את רמת-השירות התפקודית, ומהווה אינדיקציה לשימות ולתפקוד הרמזור בצומת. ככל שיחס זה מתקרב ל-1.0, העיכובים בצומת צפויים להיות ארוכים יותר, ורמת-השירות נמוכה יותר. יחס גדול מ-1.0 מציין כשל אפשרי של הרמזור, שיתבטא בתורים ארוכים ובעיכובים לנהגים.

אופן חישוב הנפח הקובע, קיבולת הצומת וקביעת רמת-השירות התפקודית מתוארים בסעיף 4.5.

4.4.2 זמן עיכוב

זמן העיכוב מוגדר במדריך HCM 7 כזמן הנסיעה למשתמש הדרך, שמתווסף לזמן הנסיעה הרגיל שלו עקב הסדרת הרמזור. על פי זמן העיכוב הממוצע ניתן לקבוע את רמת-השירות לכל אחד מהמופעים ולצומת כולו. טבלה 4.2 מציגה את רמות השירות לרכב מנועי כפונקציה של זמן העיכוב הממוצע לכלי-רכב בצמתים מרומזרים. כאשר יחס נפח התנועה לקיבולת גדול מ-1, רמת-השירות מוגדרת כ-F. טבלה 4.3 מציגה את רמות השירות להולכי-רגל ולרוכבי אופניים. רמת-שירות זו נקבעת על פי מתן ציון משקולל

המבוסס על זמן העיכוב במעבר החצייה, על נוחות המעבר (מספר הנתיבים הנחצים), ועל נפחי תנועת הרכב המנועי שבקונפליקט ומהירות הנסיעה של כלי-הרכב, על פי המתודולוגיה המפורטת במדריך HCM 7.

טבלה 4.2: רמת-השירות לרכב מנועי כפונקציה של זמן העיכוב ושל יחס נפח-תנועה לקיבולת לכלי-רכב בצמתים מרומזרים (מקור: HCM 7, 2022)

רמת-שירות על בסיס יחס נפח/קיבולת		עיכוב ממוצע לרכב (שנ')
> 1.0	≤ 1.0	
F	A	≤ 10
F	B	> 10-20
F	C	> 20-35
F	D	> 35-55
F	E	> 55-80
F	F	> 80

טבלה 4.3: רמת-השירות להולכי-רגל ולאופניים כפונקציה של ציון משוקלל לנוחות המעבר (מקור: HCM 7, 2022)

רמת-שירות	ציון רמת-שירות
A	≤ 1.50
B	> 1.50-2.50
C	> 2.50-3.50
D	> 3.50-4.50
E	> 4.50-5.50
F	> 5.50

4.4.3 ההסתברות למעבר במחזור

מדד זה מבוסס על ההסתברות שכל כלי-הרכב שהגיעו במחזור נתון, יעברו במהלך האור הירוק של אותו המחזור. לפיכך, מצב שבו לפחות 95 אחוז מכלי-הרכב שהגיעו במחזור עברו בירוק, מוגדר כרמת-שירות A. ההסתברות שלפחות 90 אחוז יעברו, מוגדרת כרמת-שירות B, וכך הלאה (ראו טבלה 4.4).

טבלה 4.4: רמת-השירות כפונקציה של ההסתברות למעבר כלי-רכב במחזור
(מקור: Ontario Traffic Manual, Book 12 – Traffic Signals (November 2007))

רמת-שירות	ההסתברות שרכב המגיע לצומת יצליח לעבור (%)
A	95%
B	90%
C	75%
D	60%
E	50%

4.4.4 אורך התור

אורך התור הוא פרמטר נוסף לבדיקת תפקוד הצומת. ניתן לחשב את אורך התור הממוצע, ואת אורך התור של האחוזון ה-95. לחישוב אורך התור יש חשיבות בעיקר בבדיקת אורך האחסנה הנדרש של נתיבי פנייה ימינה ושמאלה, או למניעת חסימת צומת סמוך. הנוסחה לחישוב אורך התור הממוצע היא:

$$Q_{avg} = \frac{v}{3600/C}$$

כאשר:

Q_{avg} – אורך תור ממוצע (ית"ן)

v – נפח התנועה (ית"ן/שעה),

C – משך המחזור (שנ').

בדיקת אורך האחסנה הנדרש בנתיבי הפניות בצומת מרומזר מבוססת על ניתוח הסתברותי (ולא על בסיס אורך התור הממוצע), כמוצג בסעיף 4.6.4.

4.4.5 מספר עצירות

מספר העצירות הוא מדד שירות המשמש לעיתים לבחינת יעילות התיאום של הגל הירוק בציר של צמתים מרומזרים. מספר העצירות משפיע באופן ישיר על רמת פליטת מזהמים, על רמת צריכת דלק מכלי-הרכב, ועל זמני העיכוב.

4.5 בחינה מקדמית – יחס נפח קובע/קיבולת

4.5.1 עקרונות

הבחינה המקדמית נועדה להערכה ראשונית של תפעול הרמזור בצומת. נפחי התנועה המרביים שניתן להעביר בצומת (קיבולת הצומת) מוגבלים, ותלויים במגוון מאפיינים שיפורטו בסעיף זה.

במסגרת הבחינה המקדמית, ייבדקו נפחי התנועה לתכנון בצומת, ויחושב הנפח הקובע לעומת הקיבולת של הצומת. נפחי התנועה לתכנון יכולים להיות מבוססים על ספירות תנועה קיימות, על תחזיות תנועה עתידיות, או על הגדרת נפחי תנועה לתכנון על פי שיקולים מערכתיים (ראו הסבר על תכנון מערכתי בסעיף 4.8.3).

היחס שבין שני מרכיבים אלה ייקבע את ה-LOF (Level of Functionality), אשר ייתן אינדיקציה לשימות רימזור הצומת, ולצורך בביצוע שינויים בצומת או בבדיקות נוספות לפני ההתקדמות בתכנון.

הבחינה תיערך בהתייחס לנפחי תנועה אופייניים בשעות השיא בצומת (בדרך כלל שיא בוקר ושיא אחה"צ ובנוסף, במידת הצורך, מועדים נוספים בהתאם למיקום ומאפיינים אחרים ומיוחדים של הצומת). תוצרי הבחינה הינם תוצאת החישוב של יחס נפח/קיבולת וה-LOF בהתאם לחלופה שנבחנה. לא נדרש להציג את כל דרך החישוב עבור כל תצורה וכל חלופה שנבדקה.

4.5.2 הנפח הקובע

4.5.2.1 עקרונות לחישוב הנפח הקובע

התנועות בצומת מתחלקות לאלו שיש ביניהן ניגוד ואינן יכולות לנוע ביחד (לדוגמה, תנועה מצפון לדרום ותנועה ממזרח למערב), ולאלו שיכולות לנוע ביחד (לדוגמה, תנועה מצפון לדרום ותנועה בכיוון ההפוך). מופע ברמזור יכול לתנועות (אחת או יותר) שאין ביניהם ניגוד. אם במופע מסוים יש תנועה הנמצאת בניגוד עם תנועה אחת (לפחות) במופע אחר, יהיו שני מופעים אלה בניגוד (לא ניתן להפעילם ביחד).

כשאיפה, נרצה לפתוח ירוק במספר מופעים (שאינם בניגוד) במקביל, וזאת כדי לנצל זמן זה לתנועת מספר רב ככל האפשר של כלי-רכב, ובכך לשפר את יעילות הרמזור ולקצר את סך העיכובים בצומת.

הבחינה המקדמית שתיערך תתייחס לתצורה של הצומת הנבדק ובכלל זה:

- נפחי התנועה לתכנון בכל התנועות בצומת (ית"ן/שעה).
- מספר הנתבים בצומת ואופן הקצאת הנתבים לתנועות השונות.
- חלוקה למופעים.

על מנת לחשב את הנפח הקובע של תצורת צומת, יש לבחור מתוך כל המופעים בצומת, קבוצה של מופעים שכל אחד מהם נמצא בניגוד לכל שאר המופעים בקבוצה (מופעים נוגדים). במילים אחרות, לא נוכל להפעיל ירוק במקביל בשני מופעים שהם חלק מהקבוצה הנבדקת, ויידרש זמן ירוק נפרד לכל אחד מהמופעים. מופעים שאינם בניגוד לאחד (או יותר) מהמופעים בקבוצת המופעים הנוגדים, לא ייכללו בקבוצה, מאחר שניתן לפתוח בהם ירוק במקביל למופע שבקבוצה.

איתור קבוצת המופעים הנוגדים לעיתים ברור ומיידי (לדוגמה, כאשר כל המופעים נוגדים זה לזה), ולעיתים, עבור התצורה הנבדקת, יש מספר חלופות לקבוצות אפשריות (ראו דוגמה 1 בנספח 4.9.1).

כאשר לתצורה מסוימת של צומת יש מספר חלופות לקבוצת מופעים נוגדים, יש לאתר את החלופה שבה סך הנפחים הנוגדים (ית"ן/שעה/נתיב) הוא **המרבי**. סך נפחים זה הוא למעשה **הנפח הקובע לתצורת הצומת** הנבדקת, והמופעים הכלולים בקבוצה נקראים **מופעים קובעים עבור אותה תצורה**. כאשר נבחנות מספר תצורות, נרצה לבחור את התצורה **בעלת הנפח הקובע המרבי המזערי מביניהן**.

הערות:

א. כאשר במופע ישנן מספר תנועות ומספר נתיבים, יש להניח מה תהיה החלוקה הסבירה של כלי-הרכב בין הנתיבים, ולקחת את הנפח הגבוה ביותר מבין הנתיבים (שכן נתיב זה יקבע את משך הירוק הדרוש למופע).

ב. כאשר עבור תצורה מסוימת של צומת, החלופות של קבוצת המופעים הנוגדים נבדלות גם בזמן הלא-מנוצל לרכב לחלופה (ראו תיאור בהמשך), יש לאתר את החלופה בעלת יחס נפח מופעים נוגדים/קיבולת הגבוה ביותר, והוא יהיה היחס הרלוונטי לתצורה זו של הצומת.

ליחס שבין נפח המופעים הנוגדים לבין קיבולת הצומת יש השפעה גדולה על תפקוד הרמזור: ככל שיחס זה גדול יותר, המחזור הנדרש יהיה ארוך יותר, ויגרום להגדלת העיכובים ואורכי התור בגישות לצומת.

4.5.2.2 גורמים המשפיעים על נפח המופעים הנוגדים ולכן על הנפח הקובע

הגורמים הבאים עשויים להשפיע על הנפח הקובע בצומת, וזאת בהינתן נפחי התנועה החזויים:

א. **מספר נתיבים למופע:** ככל שמספר הנתיבים למופע גדול יותר, נפח התנועה השעתי לנתיב יהיה בדרך כלל נמוך יותר, ומכאן שהנפח הקובע יקטן, יידרש פחות זמן ירוק למופע, ורמת-השירות בצומת תשתפר.

ב. **חלוקת נתיבים בין תנועות שונות שבמופע:** כאשר מספר תנועות חולקות מופע משותף עם מספר נתיבים, יש (בדרך כלל) אפשרות לקבוע את חלוקת התנועות בין הנתיבים באמצעות סימון כיווני הנסיעה המותרים מכל נתיב. הנפח הקובע יכלול את הנפח הצפוי בנתיב העמוס ביותר. ככל שחלוקת הנתיבים בין התנועות השונות במופע תהיה מאוזנת יותר מבחינת הנפח הצפוי בכל אחד מהנתיבים, נפח התנועה השעתי לנתיב שישמש לחישוב יהיה נמוך יותר, ומכאן שהנפח הקובע יקטן, יידרש פחות זמן ירוק למופע, ורמת-השירות בצומת תשתפר.

ג. **הוצאת תנועות מהצומת:** ככל שנוציא תנועות מהצומת (לדוגמה באמצעות פניות ימינה חופשיות), הנפח הקובע יקטן, יידרש פחות זמן ירוק למופעי הרמזור, ורמת-השירות בצומת תשתפר.

ד. **הפרדת תנועות למופעים שונים:** חלוקת נתיבים המאפשרת הפרדה בין תנועות למופעים שונים עשויה לאפשר שילוב קבוצות מופעים בשלב משותף, וכך להפחית באופן ניכר את הנפח הקובע, ולשפר את רמת-השירות בצומת (ראו דוגמה 1 בנספח 4.9.1).

4.5.3 קיבולת הצומת

4.5.3.1 זרימת רוויה

זרימת הרוויה מוגדרת כנפח התנועה ביחידות ית"ן העובר במהלך שעה בנתיב מסוים, בהינתן שהירוק נמשך ברציפות שעה שלמה, והביקוש קבוע. זרימת הרוויה לנתיב נעה בתחום 1600-2200 ית"ן/שעה/נתיב, בתלות במאפייני הנתיב:

- כיוון הנסיעה (ישר או בפנייה)
- רוחב הנתיב
- שיפוע לאורך הדרך
- הרכב התנועה
- רדיוס הפנייה
- פעילות תחבורה ציבורית

בשלב הבחינה המקדמית מקובל להשתמש בערך של 1800 (ית"ן/שעה/נתיב) כמשקף ממוצע לתנועות השונות בצומת.

4.5.3.2 זמן לא-מנוצל לרכב

קיבולת הצומת מבטאת את הנפח המרבי של כלי-רכב (ית"ן/שעה/נתיב) שניתן להעביר בצומת בביטחה בכל הכיוונים. תיאורטית, אם היה אפשר להזרים כלי-רכב ברציפות בתנועות השונות, מספר זה היה שווה לזרימת הרוויה התיאורטית לנתיב. אולם, ישנו זמן שאינו ניתן לניצול לתנועת כלי-רכב הכולל:

- זמן בין-ירוקים בין מופעים שבניגוד;
- זמן של שלב הכולל הולכי-רגל / אופניים בלבד;
- זמן של שלב משותף לכלי-רכב ולהולכי-רגל, כאשר משך הזמן הדרוש לשלב נקבע לפי הולכי-הרגל ולא כלי-הרכב (כלי-הרכב נוסעים ב"צל" הולכי-הרגל);
- זמן המוקדש להבטחת תיאום בין צמתים, ומקרים מיוחדים אחרים.

א. זמן בין-ירוקים בין מופעים שבניגוד

בשלב הבחינה המקדמית, כשאינן עדיין חישוב סופי של הזמנים הבין-ירוקים בין מופעי כלי-רכב שבניגוד, ניתן להשתמש בערכים המובאים בטבלה 4.5 לצורך חישוב זמן הבין-ירוקים בבחינה זו.

טבלה 4.5: הערכת זמן בין-ירוקים בבחינה מקדמית

ממדי הצומת	מאפיינים	בין-ירוקים (שניות)
"קטן"	נתיבים יחידים בכיוונים הראשיים	4-5
"גדול"	מספר רב של נתיבים בכניסה לצומת בכיוונים הראשיים, מרחקי פינוי גדולים	6-7

ב. שלב הכולל מופעי הולכי-רגל/ אופניים בלבד

כחלק ממדיניות ניהול התנועה של הרשות בצומת, היא עשויה לכלול הימנעות משילוב מופע הולכי-רגל/ אופניים עם מופע רכב באותו שלב. הסיבות יכולות להיות מגוונות, ועיקרן או בטיחותיות או מתן עדיפות להולכי-רגל / אופניים. במידה שקיים מופע הולכי-רגל / אופניים שלא ניתן (או שלא רצוי מבחינת הרשות) לשלבו עם אחד המופעים הקובעים בשלב משותף בצומת, יידרש שלב מיוחד עבור מופע זה. הזמן שיוקצה לשלב המיוחד יהיה זמן לא-מנוצל מבחינת המופעים הקובעים בצומת לכלי-הרכב. הזמן המוקצה לשלב כזה תלוי בדרך כלל באורך מעבר החצייה, ובמדיניות הרשות מבחינת נוחות החצייה (זמן מזערי למופע הולכי-רגל).

ג. שלב המתארך לטובת מופע הולך-רגל

מופעי רכב מנועי ומופעי הולכי-רגל / אופניים ישולבו בדרך-כלל באותו שלב. לעיתים, הזמן הנדרש למופע הולכי-הרגל הוא גדול יותר מזה שהיה נדרש למופע הרכב הקובע שפועל באותו שלב. במקרה כזה, קיים למעשה עודף זמן למופע הרכב הקובע, ולכן אין משמעות להיותו מופע קובע (הזמן ייקבע על ידי מופע הולכי-הרגל).

מצב זה קיים בעיקר במקרים של מעבר חצייה ארוך, או דרישה למינימום ירוק ארוך במופע הולך-רגל. כאשר זה המקרה, יש לחשב את הזמן הניתן להולכי-הרגל כזמן לא-מנוצל לרכב. יחד עם זאת, יש להפחית מהנפח הקובע של הצומת את נפח מופע הרכב המקבל ירוק במקביל למופע הולך-הרגל (שכן יקבל זמן ירוק עודף בשלב המשותף למופע הולכי-הרגל).

ד. תיאום בין צמתים, ומקרים מיוחדים אחרים

לעיתים, משיקולי תיאום בין צמתים סמוכים, מניעת חסימת צמתים, או סיבות אחרות, התכנון ימנע ניצול מלא של הזמן הירוק למופעים הקובעים. במקרה כזה יש לעדכן את הזמן הלא-מנוצל לרכב, כך שיביא לידי ביטוי את הזמן שאינו ניתן לניצול על ידי המופעים הקובעים.

4.5.3.3 זמן מחזור מרבי

משך המחזור משפיע על מאפייני הזרימה בצומת המרומזר. ככל שאורך המחזור גדול יותר, החלק היחסי של הזמן הלא-מנוצל לרכב מהמחזור קטן יותר, ולכן הקיבולת גדלה. מאידך, זמני מחזור ארוכים מדי עלולים לגרום לעיכובים משמעותיים בכיוונים מסוימים, ולהעדר ניצול מלא של הקיבולת, עקב פערים הולכים וגדלים בין כלי-הרכב במהלך האור הירוק. יתרה מכך, זמני מחזור ארוכים מאריכים את ההמתנה המרבית של הולכי-הרגל. זמני מחזור קצרים מדי עלולים לא לספק את הקיבולת הדרושה למעבר רכבים בצומת המרומזר, ולגרום לעיכובים משמעותיים לכלל כלי-הרכב בצומת.

זמן המחזור משפיע גם על התכן הגיאומטרי בצומת: ככל שזמן המחזור ארוך יותר, זמן הירוק לכל שלב ארוך יותר, וההסתברות להצטברות תורים גדולה יותר. לפיכך, חישוב אורך האחסנה הנדרש בנתיבי הפנייה בצומת תלוי בזמן המחזור המתוכנן, וזאת במטרה למנוע גלישת תורים וחסימת נתיבים.

זמן המחזור המרבי המומלץ לצורך התכנון המוקדם הינו 120 שניות.

4.5.3.4 חישוב קיבולת הצומת

קיבולת הצומת מוגדרת בנוסחה הבאה:

$$Cap = \frac{S \cdot g}{C} = \frac{S \cdot (C - K)}{C}$$

כאשר:

- Cap – קיבולת צומת מרומזר לצורך בחינה מקדמית (ית"ן/שעה/נתיב)
- S – זרימת רוויה לצורך בחינה מקדמית (1800 ית"ן/שעה/נתיב)
- K – זמן שאינו ניתן לניצול על ידי כלי-רכב במופעים הקובעים (שניות)
- g – סך זמני ירוק למופעים הקובעים בצומת. במילים אחרות, זמן המחזור המרבי פחות סך הזמן הלא-מנוצל לרכב על מרכיביו השונים (שניות)
- C – זמן מחזור מרבי (120 שניות למעט מקרים מיוחדים).

4.5.4 חישוב יחס נפח/קיבולת ורמת-שירות מקדמית – LOF

היחס שבין הנפח הקובע לקיבולת הצומת נקבע בנוסחה:

$$x = \frac{V_{cr}}{Cap}$$

כאשר:

- x – יחס נפח קובע לקיבולת
- V_{cr} – נפח קובע (ית"ן/שעה/נתיב).
- Cap – קיבולת הצומת לצורך בחינה מקדמית (ית"ן/שעה/נתיב).

היחס שבין שני מרכיבים אלה (x) יקבע את רמת-השירות התפקודית – LOF (Level Of Functionality), וייתן אינדיקציה לשימות רימזור הצומת ו/או לצורך בביצוע שינויים בצומת או בבדיקות נוספות לפני ההתקדמות בתכנון. ככל שהיחס בין הנפח הקובע לקיבולת הצומת (LOF) מתקרב ל-1 ואף עובר אותו, רמת-השירות לכלי-הרכב בצומת צפויה להיות נמוכה יותר. טבלה 4.6 מציגה את הקריטריון לקביעת רמת-השירות התפקודית.

טבלה 4.6: רמת-השירות התפקודית (LOF)

שווה או גדול מ-0.80	קטן מ-0.80	יחס נפח קובע-קיבולת (x)
LOF2	LOF1	רמת-שירות תפקודית

כאשר:

- LOF1 – אין צורך לבצע בחינה תפעולית.
- LOF2 – נדרשת בחינה תפעולית להערכה מדויקת יותר של רמת-השירות בצומת.

4.6 בחינה תפעולית – ניתוח רמת-שירות

בחינה תפעולית נערכת כשלב נוסף בתכנון המוקדם לאחר שלב הבחינה המקדמית, ובהתאם לתוצאותיה. הבחינה מבוססת על ניתוח מדדי שירות לבחינת תפקוד מופעי הצומת המרומזר. הבחינה התפעולית תבצע באותם מקרים בהם היחס בין הנפח הקובע לבין קיבולת הצומת, כפי שחושב בבחינה המקדמית, מעלה חשש לגבי תפקודו של הצומת.

בחלק זה מוצגות שלוש שיטות לעריכת הבחינה התפעולית:

- ניתוח רמת-שירות על פי חלוקה ראשונית של זמן הירוק למופעי הצומת, בהתאם למשך זמן מעבר ממוצע לכלי-רכב.
- ניתוח רמת-שירות על בסיס זמני עיכוב ממוצעים, המחושבים על פי מתודולוגיית המדריך האמריקאי HCM 7.
- ניתוח מדדי ביצוע לצומת המרומזר על בסיס מודל סימולציה מיקרוסקופית.

4.6.1 ניתוח רמת-שירות על פי חישוב זמן מחזור, וחלוקה ראשונית של זמן הירוק

4.6.1.1 חישוב זמן המחזור

א. זמן מחזור מיטבי

לצורך חישוב מאפייני תפקוד הצומת בהתאם למתודולוגיית הבחינה התפעולית, יש לחשב את זמן המחזור המיטבי, ולקבוע את זמן המחזור לתכנון כך שיהיה קרוב ככל האפשר למחזור זה וכן שלא יעלה על זמן המחזור המרבי.

עבור כל צירוף של נפחי תנועה ומבנה גיאומטרי של הצומת, קיים מחזור מיטבי המאפשר ניצול יעיל של האור הירוק.

להלן פירוט תהליך חישוב זמן המחזור המיטבי:

1. חישוב הנפח הקובע בצומת (V_{cr}) כפי שחושב בשלב הבחינה המקדמית.
2. חישוב סך הזמן הלא-מנוצל לרכב (K) עבור המופעים הקובעים, על ידי סכימה של המרכיבים הבאים כפי שפורטו בשלב הבחינה המקדמית:
 - א. חישוב סך הזמנים הבין-ירוקים בין המופעים הקובעים;
 - ב. חישוב תוספת זמן לא-מנוצל לרכב, עקב שלב מיוחד להולכי-רגל או לתנועת אופניים, שלב המתארך לטובת מופע הולכי-רגל, או מקרים מיוחדים.
3. חישוב זמן המחזור המיטבי לפי רמת-שירות:

חישוב זמן המחזור המיטבי מתבסס על קצב מעבר ממוצע של כלי-הרכב בשיירה בצומת, כפי שמפורט בטבלה 4.7.

טבלה 4.7: רמת-שירות לפי קצב מעבר ממוצע של כלי-רכב

קצב מעבר r (שניות/ית"ן)	רמת-שירות
2.1	A-C
1.9	D
1.7	E
קטן מ-1.7	F

בהתאם לכך זמן המחזור המיטבי המחושב הינו:

$$C = \frac{K}{1-r \cdot \frac{V_{cr}}{3600}}$$

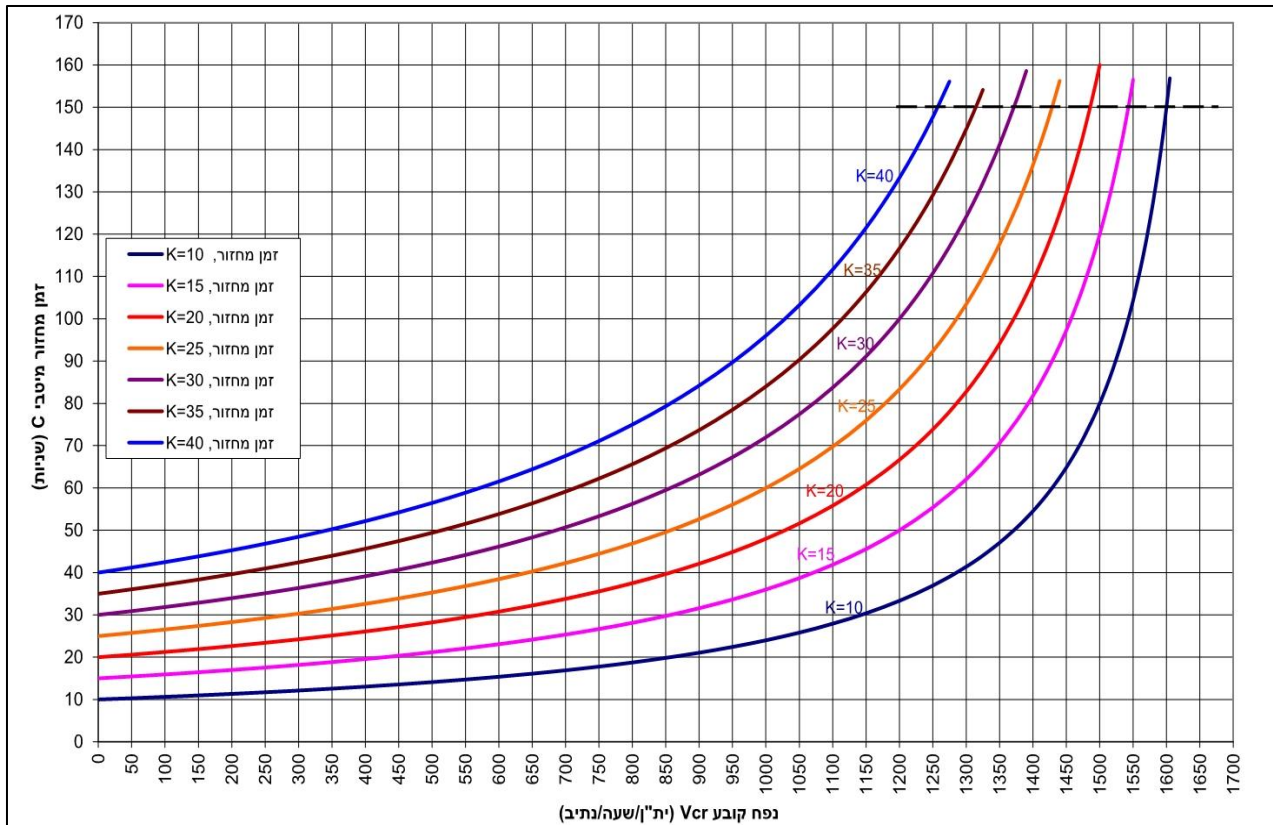
כאשר:

- C – זמן המחזור המיטבי (שניות)
- K – סך הזמן הלא-מנוצל לרכב (שניות)
- r – קצב מעבר כלי-רכב בצומת על פי רמת-השירות לתכנון (שניות/ית"ן)
- V_{cr} – נפח קובע (ית"ן/שעה/נתיב).

הגרפים המובאים בתרשים 4.2 מציגים את הקשר בין זמן מחזור מיטבי (C, שניות), לבין הנפח הקובע (V_{cr} , ית"ן/שעה/נתיב), ולזמן הלא-מנוצל (K, שניות). בתרשים זה ניתן להשתמש לחישוב זמן המחזור המיטבי בהתאם לנפח הקובע ולזמן הלא-מנוצל בצומת. התרשים מכיל עקומות של זמן המחזור עבור רמת-שירות C, כתלות בנפח הקובע עבור ערכי K שונים (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 שניות).

ב. זמן המחזור לתכנון

ככלל, יש לשאוף שזמן המחזור לתכנון יהיה קצר ככל האפשר, כלומר תואם את זמן המחזור המיטבי. מומלץ לקבוע את זמן המחזור בהתאם לרמת-שירות C, או לרמת-שירות נמוכה יותר, בהתאם לסיווג הרחוב או הדרך ומדיניות התכנון (D או E). בכל מקרה אין לתכנן זמן מחזור שגדול מזמן המחזור המרבי.



תרשים 4.2: זמן המחזור המיטבי C כתלות בנפח הקובע V_{cr} ובזמן לא מנוצל K

4.6.1.2 הקצאת משך הירוק למופע

א. חישוב משך הירוק הנדרש למופע

משך זמן הירוק הנדרש למופע, הינו פונקציה של נפח התנועה במופע, זמן המחזור ורמת-השירות לתכנון. חישוב הזמן מבוצע לכל אחד מהמופעים על ידי הכפלת נפח התנועה (ית"ן) למחזור לנתיב, בקצב המעבר הממוצע של השיירה בצומת, בהתאם לרמת-השירות לתכן, על פי הנוסחה הבאה:

$$g_i = r \cdot \frac{v_i \cdot C}{3600}$$

כאשר:

- g_i – משך הירוק הנדרש במחזור למופע i (שניות)
- r – קצב מעבר כלי-רכב בצומת על פי רמת-השירות לתכנון (שניות/ית"ן), לפי טבלה 4.7.
- v_i – נפח תנועה לנתיב למופע i (ית"ן/שעה/נתיב)
- C – זמן המחזור לתכנון (שניות).

מומלץ לחשב את הקצאת הירוק הנדרש למופע עבור רמות שירות C, D ו-E, בהתאם לקצב מעבר התנועה בצומת. זמן הירוק יעוגל כלפי מעלה, לשניות שלמות.

ב. קביעת זמן ירוק מתוכנן למופע, וניתוח רמת-השירות

משך הירוק המתוכנן לכל אחד מהמופעים בצומת יהיה בהתאם להרכב השלבים והמופעים הקובעים, לזמן המחזור ולמשך הירוק הנדרש. עבור כל אחד מהמופעים מומלץ לקבוע משך ירוק לתכנון שלא יפחת ממשך הזמן הנדרש לרמת-שירות C, או בהתאם למדיניות התכנון. במידה שמשך הזמן שהוקצה קטן מהמשך הנדרש עבור רמת-שירות C, אזי המופע יתפקד ברמת-שירות נמוכה יותר (D, E או F) בהתאם לזמן שהוקצה ביחס לזמן שנדרש). אין לקבוע משך ירוק לתכנון שהינו נמוך מערך הירוק המזערי.

משך הירוק למופע שאינו קובע, נקבע על ידי משך הירוק שהוקצה למופע הקובע המופעל באותו השלב. משך הירוק המוקצה למופעים מתמשכים, הינו סכום משכי הירוק של המופעים הקובעים המופעלים באותם השלבים, בתוספת הזמן הבין-ירוקים בין שלבים אלה. בעת חלוקת הירוק יש להקפיד, שהסכומים של משכי הירוק למופעים הקובעים, ושל הזמן הלא-מנוצל לרכב, יהיו שווים לזמן המחזור לתכנון.

תהליך הקצאת האור הירוק לשלבים השונים ברמזור, יכול לנבוע מתוך האסטרטגיות הבאות:

- השוואת יחסי נפח-קיבולת ו/או רמת-שירות בכל המופעים – ירוק יחסי על פי נפח התנועה.
- מתן עדיפות לכיוונים הראשיים על חשבון המשניים – הגדלת הירוק לכיוונים הראשיים לשיפור רמת-השירות.
- מתן עדיפות לכיוונים עם תנועת תח"צ.
- מתן ירוק קצר, המקטין את רמת-השירות של תנועות מגיעות המזוהות עם תנועה עוברת בלתי רצויה.
- הפחתת העיכוב להולכי-רגל (ע"י הבטחת חצייה ברצף של מספר מעברי חצייה על ידי הולכי-רגל).
- הפחתת העיכוב לתנועות אופניים.
- שיקולי אחסנה ואורכי תור בין צמתים קרובים, וחשש לחסימת צומת במעלה הזרם.

לאחר שהוקצו זמני הירוק לכל אחד מהמופעים בצומת, ובהתאם למשך הירוק הנדרש, ניתן לקבוע את רמת-השירות הצפויה לתפקוד של כל אחד מהמופעים בצומת המרומזר.

4.6.2 ניתוח רמת-השירות על פי מדריך HCM

4.6.2.1 רכב מנועי

ניתוח רמת-השירות המוצג בסעיף זה מבוסס על פרק 19 במדריך האמריקאי HCM 7 (2022). בהתאם לשיטה זו, רמת-השירות לרכב המנועי נקבעת על פי חישוב זמן העיכוב הממוצע לכלי-רכב (שנ"כ"ר). כאשר נפחי התנועה גדולים מהקיבולת, תתקבל רמת-שירות F.

המתודולוגיה מתאימה לשימוש בצמתים בודדים, בעלי שלוש או ארבע זרועות, ללא גלישות תורים בנתיבי הפניות ומצמתים סמוכים, וכאשר מספר הנתיבים לתנועות פונות לא עולה על שניים. ניתן להתייחס להשפעה של צמתים סמוכים על הצומת המנותח.

המתודולוגיה אינה מתאימה לתנועות שאינן עם בקרת רמזור (תנועות חופשיות ימינה), לצמתים עם העדפה לתחבורה ציבורית, לתכנון הכולל פער חילוף משתנה, להגדלת מספר הנתיבים בגישה לצומת במעלה הזרם, או להפחתת מספר הנתיבים במורד הזרם בקרבת הצומת. כמו כן, בעת השימוש במתודולוגיה מהמדריך האמריקאי, יש לשים לב לא לאפשר סוגי בקרת תנועה שאינם מותרים בישראל,

כדוגמת פנייה ימינה באדום ופנייה שמאלה שאינה "מוגנת".

פירוט מלא של המתודולוגיה מופיע כאמור במדריך HCM 7. נתוני הקלט המלאים לחישוב מדדי הביצוע מפורטים בטבלה 4.8. על בסיסם ניתן לחשב את זמני העיכוב ואת יחס נפח/קיבולת לכל אחד ממופעי הצומת המרומזר. לצורך החישוב ניתן להשתמש בתוכנת המחשב המותאמת למדריך Highway – HCS Capacity Software.

המאפיינים הגיאומטריים יוכנסו למודל בהתאם למפורט בתוכניות התנועה והגיאומטריה. מאפייני התנועה יוכנסו בהתאם לנתוני התנועה הזמניים למתכנן (ייתכן שחלק מהנתונים יהיו חסרים בשלב התכנון המוקדם). חלק מהנתונים ניתנים לחישוב על פי המתודולוגיה המפורטת במדריך (לדוגמה חישוב זרימת הרוויה, אחוז כלי-הרכב המגיעים בירוק, פרופורציית חלוקת כלי-הרכב בין הנתיבים באותה תנועה, והשפעת פעילות החנייה).

מאפייני הרמזור, כדוגמת שלבי הרמזור והערכת הזמנים הבין-ירוקים, יוכנסו על פי המוצג בניתוח הבחינה המקדמית, בהתאמה לנדרש במודל HCM. חלוקת הירוק הראשוני וזמן המחזור יוכנסו למודל בהתאם לחישובים שהוצגו בסעיפים לעיל.

חישוב זמן העיכוב הממוצע לרכב מבוסס על סכום המרכיבים כמוצג בנוסחה הבאה:

$$d = d1 + d2 + d3$$

כאשר:

$d1$ – העיכוב האחד, Uniform delay (שנ"כ"ר): בהנחה של הגעה אחידה, זרימה יציבה, וללא תור התחלתי בתחילת תקופת הניתוח.

$d2$ – עיכוב מצטבר, Incremental delay (שנ"כ"ר): עיכוב המתחשב בסוג בקרת הרמזור, בהשפעות של שונות בביקוש, במצב על-רוויה, בהנחה שאין תור התחלתי בתחילת תקופת הניתוח.

$d3$ – מרכיב העיכוב הנובע מתור התחלתי שיורי לאחר סוף המחזור הקודם (initial queue delay).
כברירת מחדל: $d3=0$.

זמני העיכוב הממוצעים למופע משוקללים לזמני עיכוב ממוצעים לכל אחת מגישות הצומת, בהתאם לשקלול נפחי התנועה במופעים השונים. העיכוב הממוצע של הצומת הינו שקלול של זמני העיכוב בכל הגישות. רמת-השירות של הצומת המרומזר נקבעת בהתאם לעיכוב הממוצע המתקבל מתוצאות חישוב המודל.

4.6.2.2 הולכי-רגל

מדריך HCM 7 מציג מתודולוגיה לחישוב רמת-השירות להולכי-רגל בצומת מרומזר. המתודולוגיה הבסיסית מאפשרת לחשב את זמני העיכוב במעבר חצייה בודד בצומת או בקטע דרך, וניתנת להרחבה למצבים שונים כדוגמת חציית גישה (זרוע) של צומת מרומזר בשני שלבים, וחציית שתי גישות (זרועות) של צומת בשני שלבים. רמת-השירות להולך-רגל במעבר חצייה מבוססת על: זמן העיכוב, נפחי התנועה המתנגדים, מספר הנתיבים הנחצים ומהירות נסיעת כלי-הרכב.

בנוסף, מדריך HCM 7 מציג מתודולוגיה לחישוב השטח הזמין להולך-הרגל בקרן הרחוב, ומעריך את השפעת שטח זה על נוחות תנועת הולכי-הרגל ברחוב. מדד נוסף המחושב הינו בחינת שטח (רוחב) מעבר החצייה הזמין להולכי-הרגל ביחס לנדרש.

פירוט מלא למתודולוגיה מוצג בפרק 19 במדריך HCM 7. ניתן להשתמש במתודולוגיה זו בכפוף למגבלותיה ולמידע הזמין למנתח.

טבלה 4.8: נתוני הקלט להליך החישוב של צמתים מרומזרים לפי HCM 7

תנאים	פרמטרים
מאפיינים גיאומטריים	מאפיין האזור מספר הנתיבים רוחב נתיב ממוצע אחוז שיפוע לאורך קיומם של נתיבים ייעודיים לפנייה ימינה או שמאלה, ואורך האחסנה בהם קיומם של נתיבי חנייה
מאפייני התנועה	נפח תנועה לפי תנועות זרימת רווייה בסיסית מקדם שעת השיא (PHF) אחוז רכב כבד תחנות אוטובוס בצומת פעילות חנייה אופי ההגעה של כלי-הרכב במעלה הזרם אחוז כלי-הרכב המגיעים בירוק פרופורציית חלוקת כלי-הרכב בין הנתיבים באותה תנועה מהירות נסיעה בגישות תור התחלתי נפחי הולכי-הרגל ותנועת אופניים
מאפייני רימזור	מבנה תוכנית הזמנים (קבוע זמן או מופעל תנועה) סדר השלבים ירוק מזערי משך ירוק (ירוק מרבי במקרה של רמזור מופעל תנועה) זמנים בין-ירוקים משך מחזור (עבור רמזור קבוע זמן) נתוני גלאים: קיומם של גלאי דרישה / הארכה, פער חילוף משך הניתוח התנועתי

4.6.2.3 תנועת אופניים

מדריך 7 HCM מציג מתודולוגיה לחישוב רמת-השירות לתנועת אופניים בצומת מרומזר. המתודולוגיה מתאימה לנתיבים ולשבילים לאופניים שאינם חוצים את הצומת במעבר חצייה. החישוב הינו בהתאם למתודולוגיה לרכב מנועי, פרט לכך שזרימת הרוויה לאופניים מוערכת ב-2000 אופניים/שעה, וחישוב זמן העיכוב הינו לפי עיכוב אחיד בלבד (ללא עיכוב מצטבר או עיכוב כתוצאה מתור התחלתי). רמת-השירות נקבעת על פי זמני העיכוב, אורך ורוחב החצייה, ונפחי תנועת הרכב המנועי המתנגד. פירוט מלא למתודולוגיה מוצג בפרק 19 במדריך 7 HCM. ניתן להשתמש במתודולוגיה זו בכפוף למגבלותיה ולמידע הזמין למנתח.

4.6.3 חישוב מדדי ביצוע לצומת המרומזר באמצעות מודל סימולציה מיקרוסקופית

סימולציה היא מודל המדמה את ההתנהגות המערכת האמיתית באמצעות בניית מודל מתמטי של המערכת, ומחקה את תגובות המערכת למאורעות שמתרחשים לאורך זמן. מודל הסימולציה מאפשר לאמוד את הביצועים של מערכות סטוכסטיות מורכבות, שקשה או לא ניתן לנתח באופן אנליטי.

ניתוח תפקוד צמתים מרומזרים בעזרת סימולציה מיקרוסקופית הינו כלי אפשרי לשימוש בשלב התכנון המוקדם לצורך השוואת חלופות תנועתיות, ולקבלת החלטות באותם המקרים בהם לא קיים מודל אנליטי פשוט לניתוח הצמתים המרומזרים. מומלץ להשתמש במודל סימולציה מיקרוסקופית: בגיאומטריות מורכבות של צמתים, בבחינה של צמתים לאורך ציר או ברשת דרכים, בצמתים הכוללים העדפה לתחבורה ציבורית, בניתוח צמתים במחלפים, ובכל מקרה אשר המודלים האנליטיים הפשוטים אינם מתאימים לניתוח תפקוד הצומת.

מודל סימולציה מיקרוסקופית מאפשר לבחון מדדי ביצוע מגוונים, כדוגמת זמני נסיעה, זמני עיכוב, אורכי תורים, מספר עצירות, מהירויות נסיעה. המודל מאפשר לחזות את ביצועי המערכת תחת תנאים שונים ובמגוון חלופות, תוך ניתוח השפעה הדדית בין המרכיבים של המערכת המנותחת (לדוגמה גלישת תורים בין צמתים, תפקוד גל ירוק, בחינת העדפה ברמזורים לאורך הציר). לצורך ניתוח תפקוד המערכת ניתן להשתמש בכל אחת מהתוכנות המסחריות המקובלות בעולם לעריכת מיקרו-סימולציה. הנחיות אלה אינן עוסקות בניתוחים המבוססים על מודלים אחרים של סימולציה, כדוגמת מודל סימולציה מזוסקופי או מיקרוסקופי.

השלבים הנדרשים בניתוח תנועתית על בסיס סימולציה מיקרוסקופית הם:

- איסוף מידע – תוכניות התנועה והגיאומטריה, ספירות ו/או תחזיות תנועה מפורטות, פרוגרמה של תפעול התחבורה הציבורית (מסלולים, תדירות עולים ויורדים, זמני המתנה בתחנות).
- מאפייני תוכנית הרמזור – מופעים, שלבים, זמן מחזור, זמנים בין-ירוקים, אופן התפעול הבסיסי. בשלב התכנון המוקדם יש לקבוע את השלבים, זמן המחזור וחלוקת הירוק הראשונית, בהתאם למפורט בסעיף 4.6.1 לפרק זה.
- כיוול הביקוש לנסיעות – כיוול נתוני הביקוש (בדר"כ לפי מוצא-יעד) על בסיס נתוני הספירות והתחזיות והצבתם על רשת המודל.
- הרצת מודל הסימולציה למצב הקיים – הרצת מודל הסימולציה לצורך כיוול ביחס למצב הקיים.

- הרצת מודל הסימולציה למצב המתוכנן – הרצת הסימולציה לאחר הטמעת כל המידע התכנוני במודל. מאחר ומודל סימולציה הינו מודל סטוכסטי, יש לבצע מספר הרצות לצורך קבלת מדדי ביצוע מובהקים סטטיסטית.
- ניתוח תוצרי הסימולציה ופלט הסימולציה בהתאם למדדי הביצוע הנדרשים ביחס לכלל משתמשי הדרך.

4.6.4 חישוב אורך האחסנה

הנתיבים המיוחדים לפניות שמאלה וימינה מאפשרים לכלי-הרכב הפונים להאט מחוץ לנתיב הנסיעה של התנועה הממשיכה ישר, ומבטיחים את אחסונם בעת ההמתנה באדום, תוך מזעור ההפרעה לממשיכים ישר, והפחתת הסיכון לתאונות "חזית-אחור" בצומת.

אורך הקטע המקביל, המשמש לאחסנת כלי-הרכב הממתינים לפנייה שמאלה ולפנייה המרומזרת ימינה, מסוף הלוכסן ועד לקו העצירה, ייקבע לפי הרכב התנועה החזוי, לפי חישוב של 6 מטר לרכב פרטי ו-13 מטר למשאית ולאוטובוס (לרבות מרווח של 1 מטר בין כלי-הרכב), כמפורט להלן:

יש לחשב את אורך האחסנה בנתיבי ההמתנה לפניות, לפי הגדול מבין השניים:

א. מספר כלי-הרכב המרבי למחזור, הצפוי להמתין לפנייה האמורה (ימינה או שמאלה), בהסתברות לכישלון (R) של 5% (ב'כישלון' הכוונה היא שאורך האחסנה לא יספיק עבור כלי הרכב שהגיעו במהלך המחזור).

ב. מספר כלי-הרכב המרבי למחזור, הצפוי להמתין לנסיעה ישר, בהסתברות לכישלון (R) של 5%.
החישוב הכפול נועד למנוע שני מצבים של גלישת תור או חסימה של נתיבים, כמתואר בתרשים 4.3.

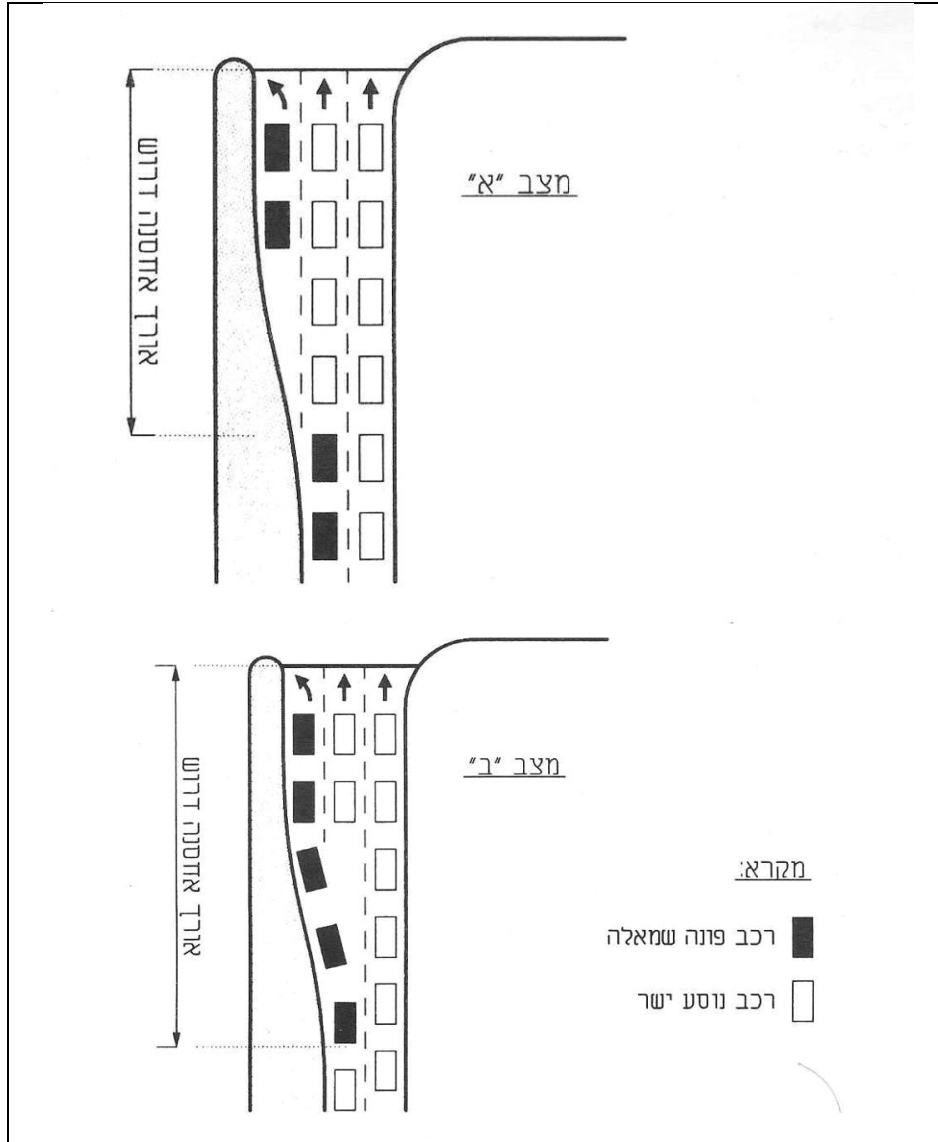
מצב א': אורך הנתיב המיוחד לפנייה שמאלה מספיק לקלוט את כל נפח התנועה הפונה, אולם עקב אורכו של תור המכוניות המתכוננות לנסוע ישר – אין באפשרותו של הרכב הפונה להגיע לנתיבו, והמופע לפנייה שמאלה לא ינוצל.

מצב ב': אורך הנתיב המיוחד לפנייה שמאלה קטן מכדי לקלוט את כל נפח התנועה הפונה. עקב כך, נאלצות המכוניות הנוספות להמתין בנתיב המיועד לנסיעה ישר. דבר זה מונע ניצול של הנתיב לנסיעה ישר בצומת.

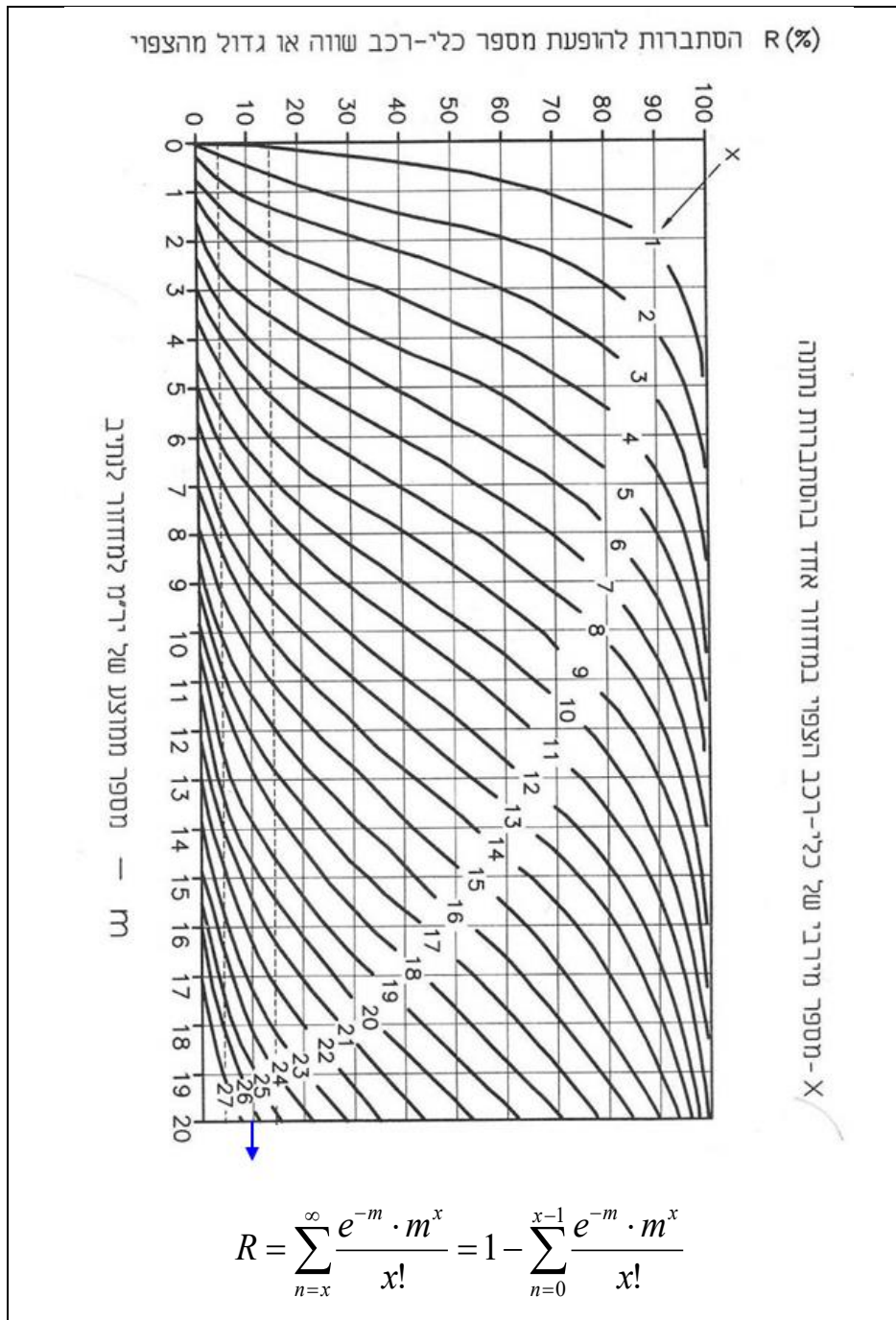
חישוב אורך הנתיב לכל אחד מהמקרים ייעשה לפי הגרף בתרשים 4.4, המבוסס על התפלגות "פואסון". הגרף מציג את המספר המרבי של כלי-רכב הצפוי למחזור לנתיב – x (בהנחת אחוז לכישלון), בתלות במספר הממוצע של כלי רכב למחזור לנתיב, m (למקרה זה מומלץ כאמור להשתמש באחוז כישלון של $R=5\%$). בעזרת הגרף ניתן לחשב את האורך הגדול ביותר עבור שני המצבים א' ו-ב' לעיל.

חישוב אורך האחסנה מושפע מאורך המחזור המתוכנן: ככל שאורך המחזור ארוך יותר, כך ההסתברות להצטברות של כלי-רכב ממתנינים במהלך האור האדום גדולה יותר. מאחר שאת חישוב אורך האחסנה יש לבצע בשלב התכנון הגיאומטרי ובטרם נקבעו מאפייני תכנון הרמזור, לרבות זמן המחזור, יש לחשב את אורכי האחסנה בהתאם למצב המחמיר של זמן המחזור המרבי (120 שניות). במידת האפשר, כאשר

בוצעה הבחינה התפעולית או כאשר מדובר בחישוב עבור צומת קיים, יש לחשב את אורך האחסנה בהתאם לזמן המחזור לתכנון.



תרשים 4.3: המצבים האפשריים בנתיבי המתנה לפניות בצמתים מרומזרים (הנחיות לתכנון רמזורים, 1981)



תרשים 4.4: גרף לחישוב ההסתברות לאורך התור בנתיב נבדק
(הנחיות לתכנון רמזורים, 1981)

4.7 תוצרי התכנון המוקדם

רשימת התוצרים המומלצת לשלב התכנון המוקדם של הזמנים עבור צומת שאינו כולל העדפה לתחבורה ציבורית, תכלול בין היתר את המרכיבים הבאים:

- תיאור הפרויקט.
- עקרונות התכנון.
- מיקום ראשי הרמזור.
- קביעת מופעי הרמזור.
- קביעת משכי הירוק המזערי למופעי הרמזור.
- בניית השלבים העקרוניים לתפעול הרמזור.
- ניתוח תוצאות הבחינה המקדמית: נפח קובע, יחס נפח/קיבולת. יש להציג את החישוב עבור תקופות אופייניות לצומת (בדר"כ שעות שיא בוקר ואחה"צ ובנוסף, במידת הצורך, מועדים מיוחדים בהתאם למיקום ומאפיינים אחרים של הצומת).
- ניתוח תוצאות הבחינה התפעולית (במידת הצורך בלבד, בהתאם למפורט בטבלה 4.6): מדדי ביצוע חזויים כדוגמת זמני עיכוב ורמת-שירות, בדיקת אורכי תורים. יש להציג את החישוב עבור התקופות האופייניות שנבדקו.
- זמני מחזור מומלצים.
- סוג ומיקום עקרונות של גלאים, התקני שמע, לחצני דרישה להולכי-רגל ולחצני דרישה לאופניים.
- המלצה ראשונית לתיאום בין צמתים (גל ירוק).
- המלצות ומסקנות לגבי תפעול הצומת.

4.8 תכנון מוקדם לצומת מרומזר הכולל העדפה לתחבורה ציבורית

4.8.1 מדיניות תכנון רמזורי העדפה לתחבורה ציבורית

העדפה לתחבורה ציבורית ברמזורים הינה שינוי המהלך הרגיל של תכנית הזמנים ברמזור, לשם שיפור התאמתו למעבר רכב תחבורה ציבורית מועדפת (תצ"ם). השינויים בתכנית הרמזורים יכולים להתבצע בהעדפה מוחלטת, או תוך התחשבות בצמתים הסמוכים ובצרכי משתמשי הדרך האחרים בצומת. המטרה העיקרית של תכנון רמזורי העדפה הינה שיפור השירות והאמינות של התחבורה הציבורית והגדלת האטרקטיביות שלה לנוסע, על חשבונם של הרכב הפרטי. תכנון של רמזורי העדפה לתחבורה הציבורית נועד להפחית את זמני העיכוב של רכב התצ"ם בצמתים, ובכך לקצר את זמני הנסיעה, להפחית את שונות זמני הנסיעה ומרווחי הזמן בין שני כלי-רכב עוקבים, לשפר את הדיוק בלוחות זמנים, ולהגדיל את תדירות התחבורה הציבורית.

מדיניות תכנון רמזורי העדפה לתחבורה ציבורית, הינה למעשה הגדרת מערכת יחסי הגומלין בין משתמשי הדרך בפרויקט, ונקבעת על ידי הרשות עליה מוטל להקים את הפרויקט. מדיניות העדפה מורכבת מהגדרת רמת העדפה לתחבורה הציבורית, ממגבלות ואילוצים במתן העדפה, וממערך הפיצוי שיינתן למשתמשי הדרך, כתוצאה ממתן העדפה לתחבורה הציבורית ברמזור.

קיימות הגדרות רבות ושונות לרמות העדפה ברמזור, והן נקבעות בהתאם לסוג הפרויקט, לסוג התחבורה הציבורית (רק"ל, תאו"ם, אוטובוס), לתדירות התחבורה הציבורית, ליכולות הזיהוי האקטיביות של התחבורה הציבורית (מיקום רכב התחבורה הציבורית ביחס לצומת), למידת השימוש בנתיב או במסלול התחבורה הציבורית לכלי-רכב שאינם מועדפים, וכיוצ"ב.

ככלל, במערכות תחבורה ציבורית סגורות ומבוקרות כדוגמת רק"ל או תאו"ם, ניתן לשאוף לתכנון העדפה מלאה ללא עיכוב בקו העצירה. במקרים מסוימים, רמת ההעדפה תיפגע כתוצאה ממגבלות ואילוצים שונים כדוגמת:

- תדירות גבוהה של רכב התצ"ם (למעלה מרכב אחד בממוצע במחזור בכל כיוון);
- צמתים מורכבים בהם עוברים מספר כיווני תצ"ם אשר נמצאים בניגוד;
- ביקושים גבוהים בצומת, הגורמים לכך שיש קושי במתן גמישות לתכנון העדפה, עקב זמני עיכוב גבוהים, גלישות תורים וחסומים צמתים;
- זמנים לא-מנוצלים ארוכים בצומת, הגורמים להפחתת הגמישות במתן העדפה (כתוצאה לדוגמה משטח צומת גדול, מספר רב של שלבים, מעברי חצייה ארוכים);
- חוסר היתכנות לזיהוי רכב התצ"ם בזמן הנדרש למתן העדפה מלאה;
- שונות גדולה בזמני הנסיעה או העצירה בתחנות של רכב התצ"ם, הפוגעת ביכולת חיזוי זמן ההגעה לקו העצירה;
- מגבלת זמני עיכוב להולכי-רגל;
- הגבלת זמן המחזור המרבי;
- שמירת תיאום בין צמתים, או עדיפות לחצייה רצופה של הולכי-רגל, על מתן העדפה לתחבורה הציבורית.

במטרה לשפר את רמת ההעדפה לתחבורה הציבורית ולהפחית את השפעתם של האילוצים השונים, מומלץ לפעול להקטנת הביקוש בצומת, ולהפחתת הזמנים הלא-מנוצלים. כאשר נפחי התנועה בצומת קרובים לקיבולת הצומת, מתן העדפה מלאה עלול לגרום לפגיעה משמעותית ברכב הפרטי, לגלישת תורים ולחסימת צמתים סמוכים. כתוצאה מכך, יידרש להפעיל מנגנון "פיצוי" לשמירה על רמת-השירות למשתמשי הדרך האחרים שנפגעו ממתן העדפה, ובכך למעשה תיפגע רמת ההעדפה. הפחתת הזמנים הלא-מנוצלים ניתנת ליישום ע"י ביטול חלק מהמופעים, הפחתת מספר השלבים ברמזור, הקטנת שטח הצומת ואורכי מעברי החצייה. בהתאם לכך מומלץ שצמתי העדפה לתחבורה ציבורית יתוכננו בשלושה שלבים בסיסיים, לכל היותר.

במערכות תחבורה ציבורית פתוחות המיועדות לאוטובוסים, וכוללות צירים עם כניסות ויציאות מהנת"צ, הפרעות של כלי-רכב, מספר רב של אוטובוסים, זיהוי חלקי של האוטובוסים או חוסר התכנות לזיהוי רכב התצ"ם במרחק הנדרש מהצומת, ניתן לתכנן העדפה חלקית בלבד. משמעות העדפה חלקית זו הינה הפחתה מסוימת בזמני העיכוב לתחבורה הציבורית בקו העצירה.

מאחר שהגדרת רמת העדפה לתחבורה הציבורית תלויה בסוג הפרויקט, בייעודו ובמטרותיו, לכל פרויקט נדרשת הגדרה מדויקת של הדרישות למתן העדפה, כלומר מה היכולת למתן אור ירוק לרכב התצ"ם עם

הגעתו לקו העצירה בכל אחת משניות המחזור, וכמות רכבי התצ"ם שיקבלו העדפה במהלך מחזור הרמזור.

להלן דוגמאות למדיניות נפוצה בהגדרת העדפה לתחבורה ציבורית ברמזורים:

- העדפה מלאה לרכב תצ"ם ראשון במחזור מכל כיוון – רכב תצ"ם ראשון במחזור בכל אחד מכיווני הנסיעה לא ימתין בקו העצירה, בכל נקודת זמן במהלך המחזור.
- העדפה מלאה לרכב תצ"ם ראשון במחזור מאחד הכיוונים – רכב תחבורה ציבורית ראשון במחזור מאחד הכיוונים לא ימתין בקו העצירה, בכל נקודת זמן במהלך המחזור.
- העדפה חלקית – מתן העדפה לחלק מרכבי התצ"ם או לרכב תצ"ם בתנאים מסוימים בלבד: לדוגמה העדפה לקו ספציפי, או העדפה רק בחלק מסוים מהמחזור.

4.8.2 אסטרטגיות העדפה

קיימות אסטרטגיות שונות ליישום העדפה לתחבורה ציבורית ברמזורים. ההבחנה הבסיסית היא בין העדפה 'אקטיבית', שהינה מקוונת ומתחשבת בנתוני זמן אמת, לבין העדפה 'פאסיבית' שאינה מקוונת, נקבעת בעת תכנון הרמזור, ואינה מתחשבת בנתוני זמן אמת. לכל אסטרטגיית העדפה ישנה שיטת יישום שונה, כפי שיפורט בהמשך.

4.8.2.1 העדפה פאסיבית

העדפה פאסיבית אינה תלויה במשתני זמן אמת, ונותנת העדפה באופן קבוע למופעים שנועדו לתחבורה ציבורית, באופן בלעדי או בצירוף כלי-רכב אחרים. מתן העדפה מסוג זה אינו קשור לנוכחות / אי נוכחות הרכב הציבורי, ו/או לקבלת בקשה להעדפה מרכב זה. אלה למעשה תוכניות רמזור אשר תוכננו לפי מאפייני התחבורה הציבורית, ובכוונתן לתת עדיפות לכלי-הרכב הציבוריים. העדפה זו אינה מצריכה קשר בין הרכב הציבורי לבין בקר הרמזור.

העדפה פאסיבית ניתנת ליישום במספר שיטות:

- **העדפה בחלוקת זמני ירוק:** בשיטה זו ניתן משקל יתר לתחבורה הציבורית בקביעת חלוקת הזמנים הירוקים בין המופעים השונים.
- **קיצור זמני מחזור:** קיצור המחזור מקטין את זמני העיכוב בצומת, אך כרוך גם בהקטנת הקיבולת.
- **הוספת שלב קבוע לתחבורה הציבורית:** בשיטה זו ניתן להוסיף באופן קבוע שלב ברמזור לתחבורה הציבורית. שיטה זו כרוכה בתוספת זמנים לא-מנוצלים בצומת.
- **התאמת גל ירוק לתחבורה הציבורית:** בשיטה זו ההעדפה ניתנת באמצעות גל ירוק המתוכנן למהירות הנסיעה של התחבורה הציבורית, וכולל גם התחשבות בזמן העצירה בתחנות. התכנון ה"מסורתי" כולל בדרך כלל גל ירוק לאורך צירי תנועה עיקריים או המשניים. תכנון הגל לוקח בחשבון את מהירות הנסיעה לאורך הציר ואת נפחי התנועה המצטרפים / עוזבים את הציר. עצירת הרכב הציבורי בתחנה מוציאה אותו מהגל, ומאלצת אותו בדרך כלל לחכות למחזור הבא, ובכך מגדילה את זמן העיכוב שלו. ניתן לתכנן את הגל כך שייקח בחשבון את זמן ההשהיה בתחנה, תוך התבססות על מידע היסטורי סטטיסטי (לחישוב זמן העצירה). תכנון זה יפגע בדרך כלל בגל לכלי-הרכב האחרים לאורך הציר.

4.8.2.2 העדפה אקטיבית

העדפה אקטיבית מאפשרת מתן העדפה לתחבורה ציבורית על סמך נתונים המתקבלים בזמן אמת, ובהתייחס למיקום ו/או לקבלת בקשה להעדפה מכלי-הרכב הציבורי. לצורך הפעלת העדפה אקטיבית נדרשת היכולת לגילוי ולזיהוי של רכב התצ"ם המתקרב לצומת המרומזר.

קיימות מספר שיטות ליישום העדפה אקטיבית ברמזורים:

- הארכת שלב מופעל שבו יש ירוק לרכב התצ"ם (להלן 'הארכת שלב/מופע').
- הקדמת פתיחת שלב שבו יש ירוק לרכב התצ"ם (להלן 'הקדמת שלב/מופע').
- הוספת שלב מיוחד לתצ"ם (להלן 'הכנסת שלב').
- החלפת סדר השלבים (להלן 'החלפת סדר').

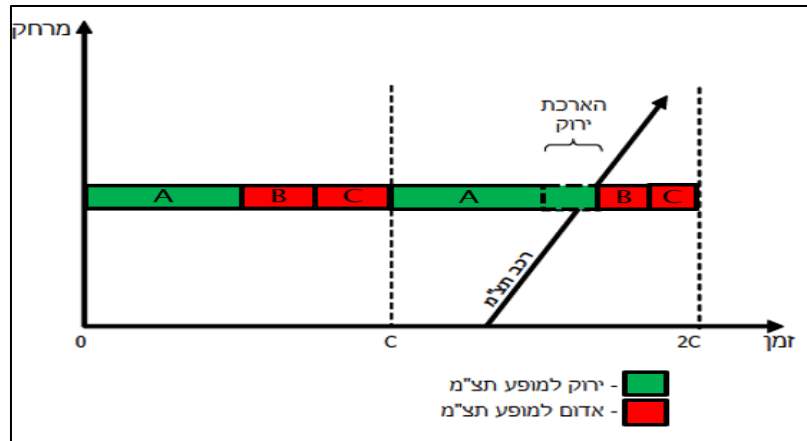
הפעלת השיטות הנ"ל (חלקן לפחות) כרוכה בביצוע שינוי בזמן הירוק המוקצה למופעים השונים בצומת. יש הבדל בין יישום העדפה בצומת הפועל עצמאית, לבין צומת המתואם בגל ירוק עם צמתים סמוכים. כאשר צומת מופעל באופן עצמאי, קיימת גמישות המאפשרת יישום העדפה מרבית. במקרה כזה, ניתן לשנות את אורך המחזור, ואין צורך לשמור על היסט קבוע מצומת שבמעלה או במורד הזרם. אם, לדוגמה מאריכים את המופע של רכב התצ"ם, ניתן להאריך (או לפחות לא לקצר) מופעים אחרים, תוך הגדלת זמן המחזור (עד למשך המחזור המרבי), ובכך להקטין את הפגיעה במופעים אלה.

כאשר נדרשים להבטיח תיאום גל ירוק בין הצומת לבין צמתים אחרים ברשת (גם במצבי העדפה), יש לשמור על אורך מחזור מתואם ועל ההיסט הנדרש, וכך האפשרויות להעדפה מוגבלות הרבה יותר. אם לדוגמה מאריכים את המופע של רכב התצ"ם, יהיה צורך לקצר את המופעים שאחריו, על מנת לשמור על זמן מחזור והיסט קבועים. במידה ורכב התצ"ם אינו בתמונה הראשית ומתקיים גל ירוק "קשיח" (במחזור קבוע), יש לקחת בחשבון כי ייתכן ותהיה פגיעה בהעדפה.

ככלל, קיימת עדיפות לתכנון 'גל ירוק נושם' בתכנון של צמתי העדפה, מאחר שגל מסוג זה מאפשר גמישות המתאימה לתכנון רמזורי העדפה. במקרה זה ניתן שהעדפה תגבר על הגל הירוק, בכך שזמני המחזור לכל צומת יהיו שונים עקב פעולות שונות של מתן העדפה. בסיום פעולות ההעדפה, הצמתים יחזרו לסינכרון ולזמן מחזור מתואם. לפירוט על גל ירוק ראו פרק 7.

א. הארכת שלב לרכב תצ"ם

שיטה זו מופעלת כאשר רכב התצ"ם מתקרב לצומת בעת שמופעל שלב הכולל ירוק לכיוון נסיעתו. כאשר נמצא שללא הארכת הירוק מעבר למתוכנן, רכב התצ"ם לא יצליח לעבור בצומת, מוארך השלב על מנת לאפשר את המעבר ללא עיכוב (ראו תרשים 4.5). שיטה זו פשוטה ליישום, מאחר שמצד אחד אינה כרוכה באובדן זמן ירוק לכלל הצומת (אינה כרוכה בתוספת זמנים לא-מנוצלים), ומצד שני מונעת המתנה ארוכה יחסית של רכב התצ"ם.



תרשים 4.5: הארכת ירוק למופע תצ"מ

באם רוצים לשמור על מסגרת זמן המחזור והתיאום בין צמתים, ההארכה תחייב קיצור שאר השלבים, ולכן כפופה לאילוצים כגון: זמן הארכה מרבי לשלב הכולל ירוק לרכב הציבורי, זמנים בין-ירוקים, זמני ירוק מזערי בשאר המופעים בצומת, זמן המתנה מרבי. בנוסף, הארכת שלב עד למקסימום האפשרי במסגרת זמן המחזור, כרוכה בכך שלא ניתן לתת העדפה לרכב תצ"מ נוסף, אשר עשוי להגיע בהמשך המחזור, ומכאן גמישות אסטרטגיה זו עלולה להיות מוגבלת.

ב. הקדמת פתיחת שלב לרכב תצ"מ

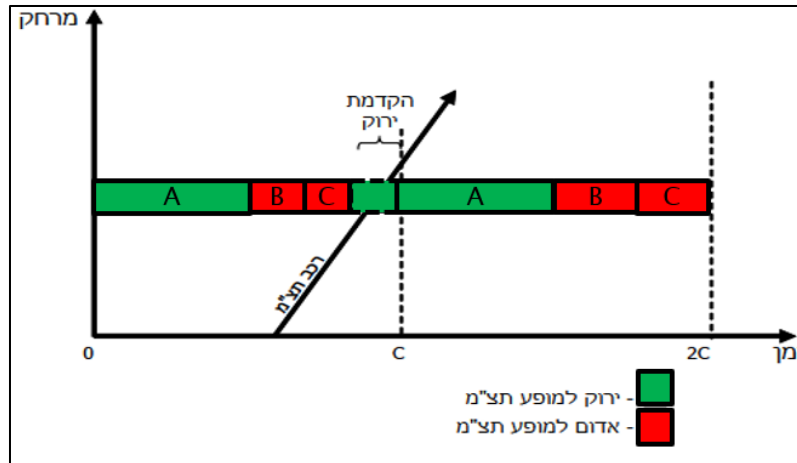
בשיטה זו מקדימים את פתיחת השלב הכולל ירוק לכיוון נסיעת רכב התצ"מ, וזאת על ידי קיצור השלבים הקודמים לשלב זה (ראו תרשים 4.6). שיטה זו, כמו שיטת הארכת השלב, אינה כרוכה באובדן זמן ירוק לכלל הצומת (אינה כרוכה בתוספת זמנים לא-מנוצלים).

השיטה כפופה לאילוצי זמנים בין-ירוקים ולזמני ירוק מזערי במופעים המנוגדים לתחבורה הציבורית. ככל שמועד הגילוי של רכב התצ"מ יהיה מוקדם יותר, כך יתאפשר קיצור מאוזן ומושכל יותר של השלבים הקודמים (קיצור מתון במספר שלבים במקום קיצור קיצוני בשלב אחד). לעומת זאת, קיצור משמעותי בתחילת המחזור, יאפשר גמישות במתן העדפה בהמשך המחזור, ועשוי גם לאפשר מתן העדפה לרכב תצ"מ נוסף אשר יגיע במהלך המחזור.

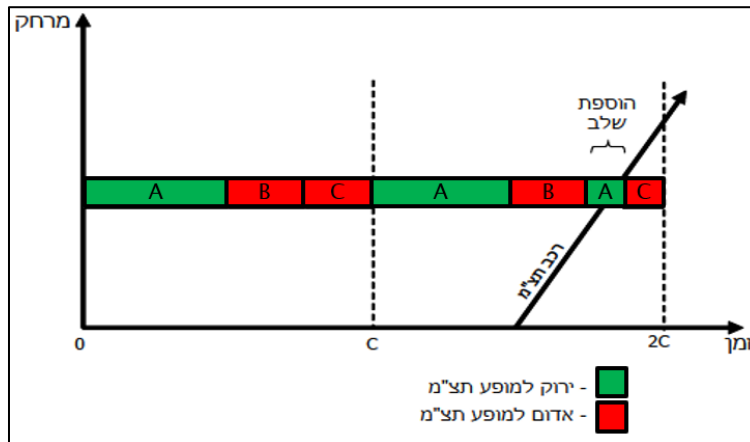
ג. הכנסת שלב מיוחד לרכב תצ"מ

בשיטה זו מופעל שלב מיוחד לרכב תצ"מ (ראו תרשים 4.7). שלב זה מופעל כדי לאפשר מעבר רכב התצ"מ בין שני שלבים שאינם כוללים מופע תצ"מ, לשם היענות לבקשה להעדפה.

שיטה זו מוסיפה שלב בצומת, ובכך מגדילה את הזמנים הלא-מנוצלים, אך מאפשרת רמת העדפה גבוהה לתצ"מ. אסטרטגיה זו נדרשת עבור מדיניות של העדפה מלאה. כאשר ההעדפה הינה חלקית, ניתן לשקול את הצורך בשימוש באסטרטגיה זו. הכנסת השלב המיוחד לתצ"מ יכולה לכלול גם את כלל המופעים האחרים שאינם בניגוד למופעי התצ"מ.



תרשים 4.6: הקדמת ירוק למופע תצ"מ



תרשים 4.7: הכנסת שלב מיוחד למופע תצ"מ

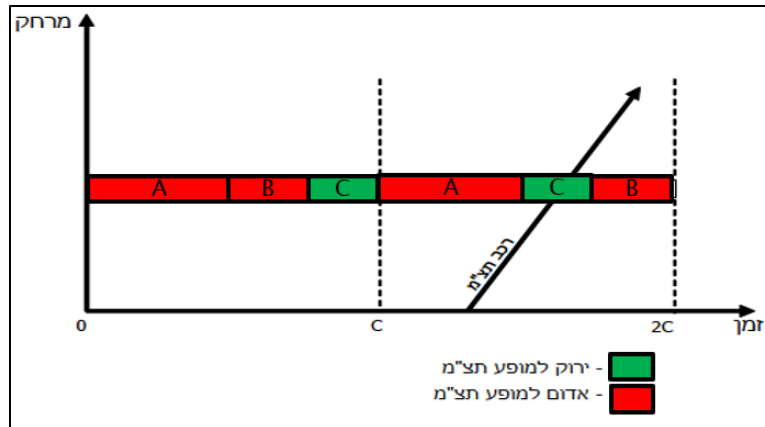
ד. החלפת סדר שלבים

בשיטה זו משנים את סדר השלבים המשניים, כדי לספק את הבקשה להעדפה (ראו תרשים 4.8). פעולה זו מתאימה במיוחד כאשר רכב התצ"מ נמצא בכיוון משני, או למקרה של שלב נפרד לתצ"מ בכיוון הראשי. אסטרטגיה זו מאפשרת החלפה בין שלבים משניים ללא פגיעה בשלב הראשי, ובתיאום הגל הירוק לכיוונים הראשיים.

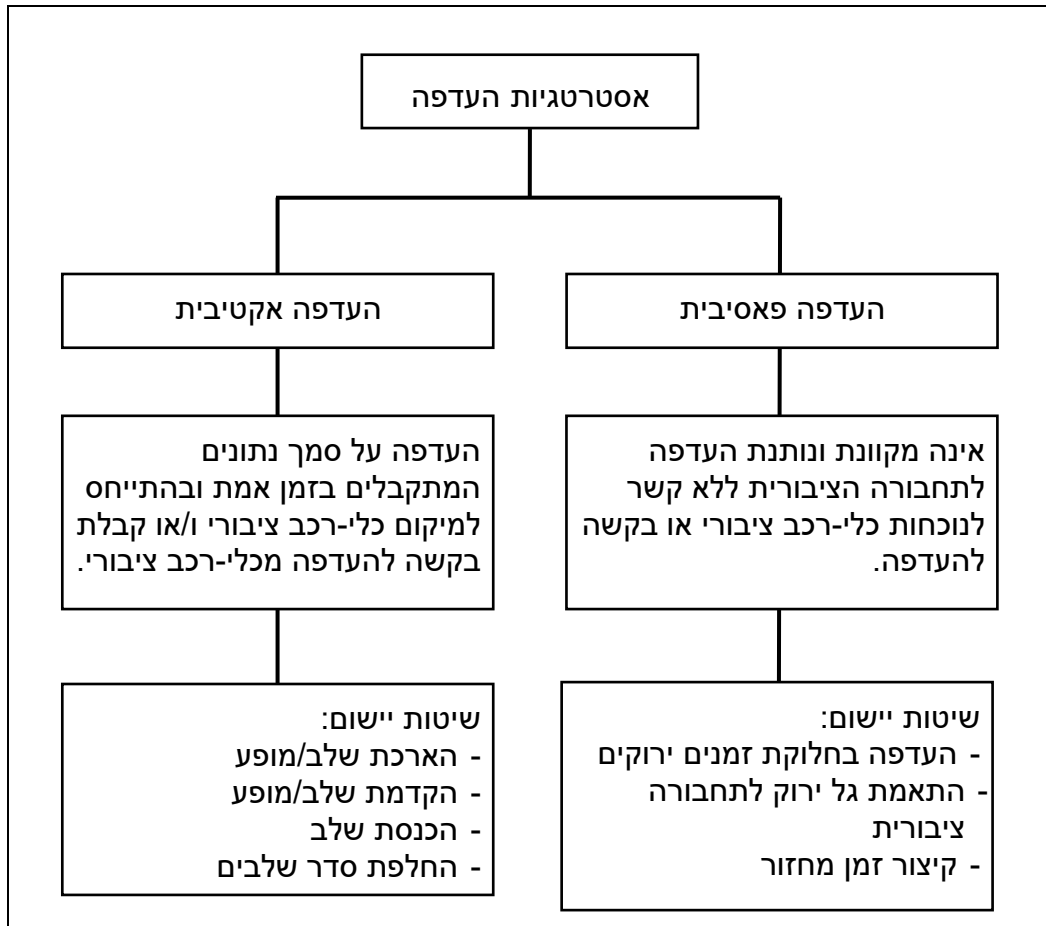
ה. דילוג על מופעי/שלבי רמזור

אין לדלג על מופעי/שלבי רמזור שאינם מופעלי תנועה, או על כאלה שהינם מופעלי תנועה וקיימת בהם דרישה. דילוג על מופע מסוג זה יגרום להארכה משמעותית של זמני העיכוב למופע, ועלול לגרום למשתמש הדרך לחשוד שהרמזור מקולקל. יש לציין שדילוג על מופע / שלב הנובע מהעדר דרישה למופע מופעל תנועה, הינה פעולה רגילה המתבצעת בהתאם ללוגיקת ההפעלה של הרמזור.

תרשים 4.9 מסכם את ההבדלים בין העדפה פאסיבית לאקטיבית, ואת השיטות ליישום העדפות אלה:



תרשים 4.8: החלפת סדר השלבים



תרשים 4.9: סיכום העדפה פאסיבית לעומת העדפה אקטיבית

4.8.3 התכנון המערכתי

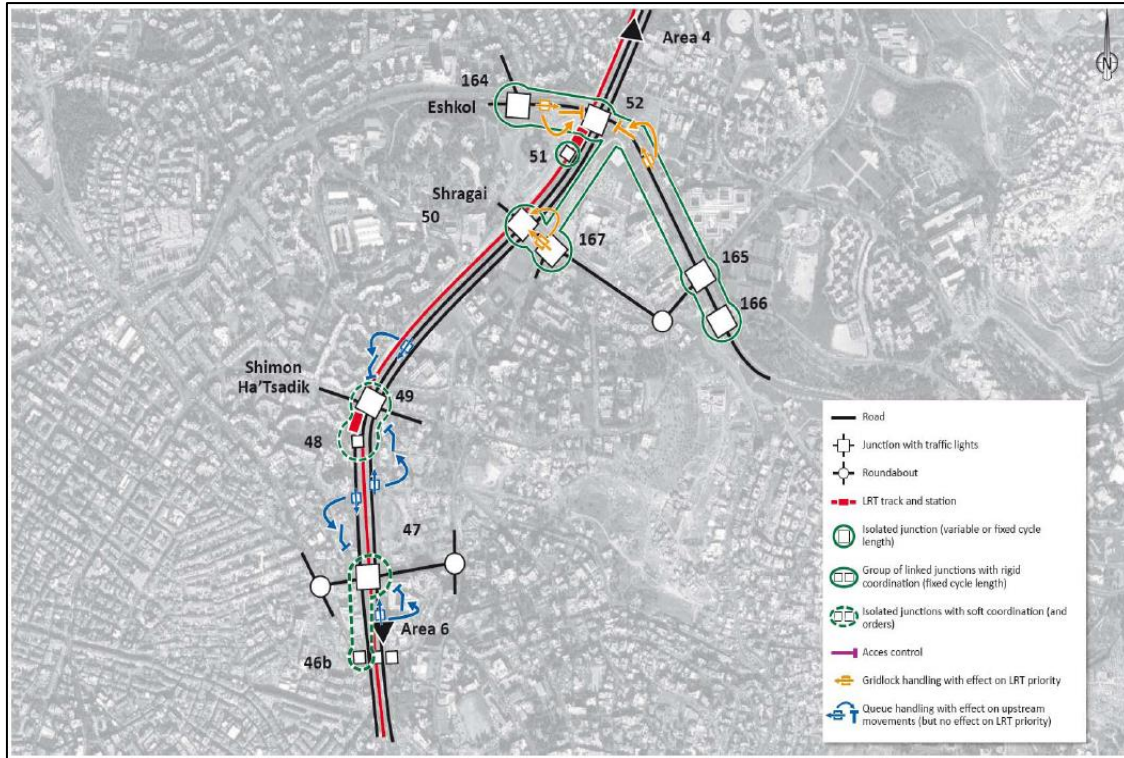
בפרויקטים בהם מתוכננים צירי העדפה לתחבורה ציבורית בנתיבים בלעדיים, מומלץ לבצע שלב תכנון נוסף, תכנון מערכתי, המהווה שלב מקדים לתכנון המוקדם. המטרה של התכנון המערכתי הינה יצירת התנאים המיטיביים למתן העדפה לתחבורה הציבורית לאורך הציר. יצירת תנאים אלה מבוססת על בחינה

כללית של הצמתים ביחס להסדרי התנועה ואיתור מוקדי כשל, הפחתת הביקוש לתנועת רכב פרטי בצירי התחבורה הציבורית ובצירים החוצים, ושימוש באמצעי וויסות תנועה ובקרת גישות למניעת חסימת ציר הרק"ל.

להלן פירוט שלבי העבודה בהכנת התכנון המערכתי:

- איסוף תוכניות הסדרי תנועה, נתוני תפעול התחבורה הציבורית, ספירות ו/או תחזיות תנועה. לפירוט מלא של חומרי איסוף הנתונים ראו סעיף 4.1.3 לעיל.
- ניתוחי תנועה וקביעת רמת-שירות על פי בחינה מקדמית לצורך איתור מוקדי כשל בצמתים: במסגרת זו יזוהו צמתים בהם יש חשש לגלישת תור ולחסימת ציר התצ"ם ו/או צירים מערכתיים מרכזיים, ומתן המלצות לפתרון. לפירוט ניתוח התנועה לצומת הכולל העדפה לתחבורה ציבורית, ראו סעיף 4.8.4 בהמשך.
- ניתוח רשת הדרכים, זיהוי צירים חלופיים וצמתים סמוכים מושפעים: צומת מושפע הינו צומת שלא עובר בו רכב התצ"ם, אך צפוי להיות משפיע או מושפע מבחינת תפעולית ותפקודית בכרוך לצמתים בציר התצ"ם. הגדרת צומת מושפע נעשית בהתאם לסמיכותו לציר, ולנחיצות בחיבור שלו בגל ירוק בהקשר של הצורך בניהול שטח האחסנה, הן לזרימת התנועה והן למניעת גלישת תור וחסימת ציר התצ"ם.
- קביעת נפחי תנועה לתכנון בצמתים לאורך הציר ובצמתים סמוכים מושפעים: תכנון ציר תצ"ם צפוי ליצור שיווי משקל חדש במרחב, לפיו ייתכנו הסטות של תנועה לצירים חלופיים ולצמתים סמוכים, ביחס למצב הקיים.
- הגדרת אופן התפעול העקרוני של הצמתים (ראו תרשים 4.10):
 - הצורך בתיאום גל ירוק לאורך הציר ועם צמתים סמוכים: ההנחה הבסיסית היא שהצומת יעבוד באופן עצמאי, כדי לאפשר גמישות מרבית בתפעול רמזור תצ"ם. תפעול של גל ירוק בין צמתים ייבחן בהתאם לקריטריונים כמו מרחק בין צמתים, ניהול שטחי האחסנה, התאמה בין כיוון ציר התצ"ם לכיוון הגל, תחנות בין הצמתים ופילוג נפחי התנועה.
 - הצורך בטיפול ממוקד בציר עצמו באמצעי בקרה שונים, במטרה לשפר את זרימת התנועה ותפקוד הצמתים, אמצעים למניעת חסימת צמתים, ומניעת חסימת צירי תחבורה ציבורית. בין האמצעים המקובלים הינם גלאי תור ואמצעים לניהול תנועה.
- **גלאי תור** – נועדו בעיקר למניעת חסימה של מסלול תצ"ם ע"י הארכת הירוק לתנועות במורד הזרם לצומת, שעלולות לגלוש ולחסום את ציר התצ"ם, או ע"י קיצור האור הירוק לתנועות חוצות ציר תצ"ם, למניעת הזרמת תנועה במידה שלא נותר שטח אחסנה במורד הזרם ביציאה מהצומת. גלאים אלה יכולים לשמש גם למניעת חסימת מערכת צמתים הנובעת ממתן העדפה לתצ"ם. זיהוי תור במקרים אלה יוריד את רמת העדפה לתצ"ם, באמצעות הגבלת קיצור האור הירוק למופעי הרכב עבור פעולות העדפה. גלאי התור ימוקמו באזורים אסטרטגיים מבחינת זיהוי התור.

- **ניהול תנועה** – זיהוי קיבולת הציר והצמתים בהם נדרשת הגבלת נפחי התנועה הנכנסים על מנת למנוע היווצרות עומסים בציר ותכנון לנפחי תנועה אשר יפחיתו את הביקוש לנסיעות בציר. תוצרי התכנון המערכתי מהווים את הבסיס התכנוני לתכנון המוקדם כפי שיפורט בהמשך.



תרשים 4.10: דוגמה לאופן הגדרת התפעול של צמתים לאורך ציר התצ"ם (מקור: GRS-Global Regulation Strategy for Jerusalem LRT Project, JTMT 2020)

4.8.4 בחינה מקדמית של צומת הכולל העדפה לתחבורה ציבורית

תפקוד הצומת לפיו תיערך הבחינה יהיה על בסיס מדד ביצוע של יחס נפח לקיבולת, כמוסבר בסעיף 4.5 לעיל. יחושב "הנפח הקובע" לצומת, כאשר חישוב הקיבולת יביא בחשבון את הזמן המוקצה לתצ"ם "כזמן לא-מנוצל לרכב".

הבחינה המקדמית של תפעול הצומת תתבסס על העקרונות הבאים:

- ניתוח שעתי – לשעות השיא המייצגות את המצב הקריטי, הן מבחינת נפחי התנועה והן מבחינת תדירות התצ"ם והשפעתה על הצומת.
- עדיפות לתצ"ם על פי מדיניות הפרויקט.
- מופע מיוחד לרכב התצ"ם בכל פעם שהוא מגיע לצומת באדום.
- התייחסות לנפח הקובע, שהוא סך הנפחים לנתיב של התנועות הנוגדות בצומת.
- הנחת זרימת רוויה היא 1,800 ית"ן. (ניתן להניח 1,600 ית"ן לנתיב בתנועות שאינן ישרות).
- השפעת רכב התצ"ם מתבטאת בהגדלת "הזמן הלא-מנוצל לרכב" (בנוסף לזמנים הבין-ירוקים).

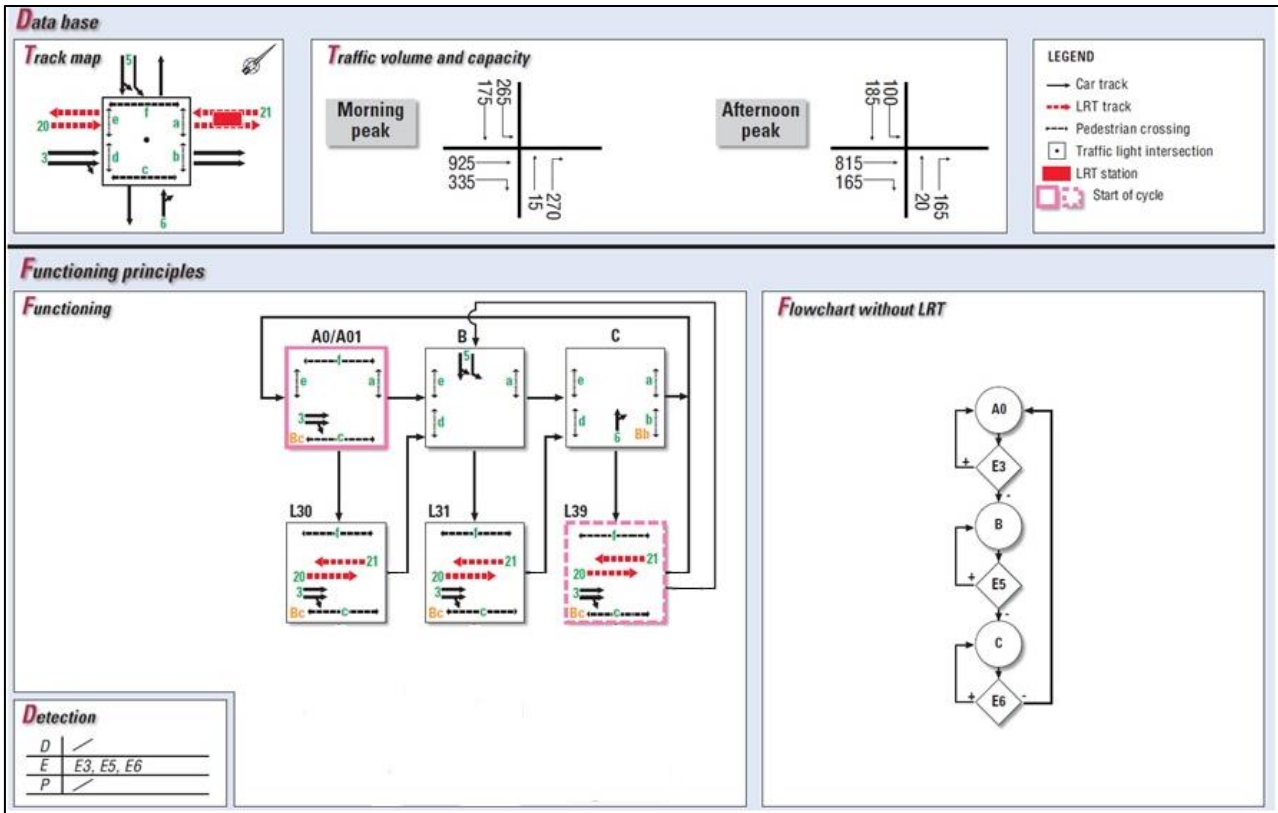
בדיקת תפקוד הצומת תערך לפי השלבים הבאים:

- קביעת זמן מחזור (מומלץ להניח זמן מחזור מרבי של 120 שניות).
 - קביעת זמנים בין-ירוקים שאינם כוללים את רכב התצ"ם (ניתן להשתמש בטבלה 4.5 לצורך הערכת הזמנים הבין-ירוקים).
 - קביעת המופעים.
 - חישוב נפח שקול לכל תנועה (נפחים בפניות משוקללים לנפח בנסיעה ישר).
 - חישוב הנפח הקובע בצומת.
 - חישוב קיבולת הצומת ללא התייחסות לרכב התצ"ם.
 - חישוב יחס נפח-קיבולת ללא רכב התצ"ם.
 - חישוב החלק במחזור בו אין לרכב התצ"ם ירוק ממופע רכב מקביל.
 - חישוב ההסתברות שרכב התצ"ם יגיע לצומת במחזור (מספר רכבי התצ"ם בשעה, מחולק במספר המחזורים בשעה).
 - חישוב ההסתברות שרכב התצ"ם יגיע לצומת במחזור בזמן האדום למופע המקביל, ויידרש לעצור.
 - קביעת הזמן הדרוש לרכב התצ"ם (5 שניות זמן ירוק מזערי לרק"ל ו-6 שניות זמן ירוק מזערי לתאו"ם, בנוסף להערכת הזמנים הבין-ירוקים).
 - חישוב הזמן הלא-מנוצל, עקב הופעת התצ"ם (הזמן הדרוש לתצ"ם, מוכפל בהסתברות שיגיע באדום). זוהי תוספת הזמן הנדרשת להפעלת מופע נפרד לתצ"ם בצומת.
 - הוספת הזמן הלא-מנוצל לרכב לזמנים הבין-ירוקים עקב השפעת רכב התצ"ם.
 - חישוב קיבולת זמינה מעודכנת, כאשר אחוז הזמנים הירוקים הזמינים במחזור מותאם לתוספת הזמן הלא-מנוצל לרכב עקב נוכחות רכב התצ"ם.
 - חישוב יחס נפח-קיבולת זמין מעודכן לנפח הקובע.
 - החלטה האם התוצאה סבירה, או שנדרשים שינויים בתכנון הצומת וחזרה על התהליך.
- כאשר היחס בין הנפח הקובע בצומת לבין קיבולת הצומת קטן מ-0.8, הצומת צפוי לתפקד ברמת-שירות טובה.
- כאשר היחס הוא בין 0.8 ל-1.0, מומלץ לשקול חלופות תכנוניות לצומת.
- כאשר היחס גדול מ-1.0, חובה לבחון חלופות תכנוניות לצומת, כולל האופציה לשקול שינוי ברמת ההעדפה לתצ"ם בשלב התכנון המפורט.
- נספח 4.9.4 בהמשך הפרק מציג דוגמה לבחינה מקדמית של צומת הכולל העדפה לתחבורה ציבורית.

4.8.5 תכנון מוקדם לצומת עם העדפה

- התכנון המוקדם של רמזור העדפה לתחבורה ציבורית הינו הצגה של עקרונות התפעול של הרמזור על בסיס התוצרים של התכנון המערכתי. התכנון יוצג במסמך המרכז בצורה פשוטה את כלל הנתונים הנדרשים לצומת ואת התפעול העקרוני המוצע, כמפורט להלן:
1. תרשים סכימתי של הצומת, מופעי הרמזור, מיקום התחנות.
 2. נפחי התנועה לתכנון בשעות השיא (בוקר / אחה"צ).

3. מספר עולים ויורדים בתחנות הסמוכות לצומת.
 4. קביעת משכי הירוק המזערי למופעי הרמזור.
 5. פרמטרים לחישוב הזמנים הבין-ירוקים (לפירוט ראו פרק 5).
 6. פירוט שיקולים למתן חצייה רצופה להולכי-רגל (לפירוט ראו פרק 6).
 7. תוצאות ניתוח הבחינה המקדמית.
 8. השלבים לצורך תפעול הצומת **ללא העדפה**, כולל תרשים זרימה סדרתי המתאר את לוגיקת ההפעלה ותנאי המעבר בין השלבים. לפירוט על שלבי הרמזור ואופן בניית תרשים זרימה סדרתי, ראו פרק 6.
 9. תרשים זרימה עקרוני המתאר את השלבים לצורך תפעול הצומת **עם העדפה**, כולל השלבים "המיוחדים" הנדרשים לצורך מתן העדפה בכל אחת מהאסטרטגיות השונות (הארכת שלב / הקדמת שלב / הכנסת שלב), והמעברים האפשריים בין השלבים ללא תנאי המעבר המפורטים (ללא לוגיקה מפורטת). נהוג להציג תרשים זה כתרשים בועות. לפירוט תרשים הזרימה ועל שלבי הרמזור ראו פרק 6.
 10. זמן מחזור מרבי מומלץ.
 11. מופעים בהם נדרש להפעיל מנגנון פיצוי – להסבר על מנגנון הפיצוי ראו פרק 6.
 12. רשימת צמתים סמוכים מושפעים.
 13. חיבור בגל ירוק (אם נדרש) – הגדרת סוג הגל הירוק (מחזור קבוע, נושם), והקשרים עם הצומת / צמתים הרלוונטיים (השלבים בהם נשלחים ומתקבלים אותות הגל). לפירוט על גל ירוק ראו פרק 7.
 14. סוג ומיקום עקרוני של גלאי רכב, התקני שמע, לחצני דרישה להולכי-רגל / אופניים, גלאי תצ"ם. לפירוט סוגי הגלאים ואופן הצבתם ראו פרק 8.
 15. שילוב גלאים מיוחדים – גלאי תור.
 16. הסברים מיוחדים והבהרות לעקרונות התכנון.
- תרשים 4.11 מציג דוגמה לתרשים גרפי מקובל להצגת התכנון המוקדם. תרשים זה מציג בצורה גרפית את מרבית המידע הנדרש לצורך תפעול הרמזור, וכולל את מופעי הרמזור, נפחי התנועה לתכנון, הגלאים הנדרשים, תרשים זרימה סדרתי ללא העדפה, ותרשים זרימה עקרוני לתפעול העדפה כולל רשימת השלבים (שלבים L30, L31, L39 הינם לצורך העדפה).



תרשים 4.11: תרשים גרפי להצגת תכנון מוקדם לרמזור עם העדפה לתחבורה ציבורית

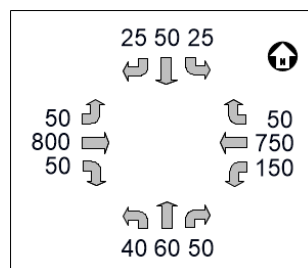
4.9 נספחים

4.9.1 דוגמה 1: בחינה מקדמית – צומת ללא מופעי הולכי-רגל

להלן דוגמה לבחינה מקדמית של צומת עם 4 זרועות ללא מעברי חצייה. הדוגמה מציגה שלוש תצורות שונות של הצומת. התצורות שונות במספר הנתיבים לכיוונים השונים, בגודל הצומת (הנובע מכמות הנתיבים), ובהקצאת הנתיבים לתנועות. בכל אחת מהתצורות שבדוגמה מחושבים הנפח הקובע, הזמן הלא-מנוצל לרכב ורמת-השירות התפקודית, וכך ניתן להתרשם מהשפעת התצורות השונות על מדדים אלה.

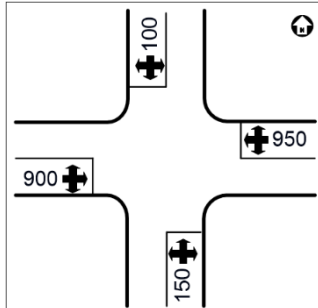
נפחי התנועה השעתיים לתכנון, בתנועות השונות, מוצגים בתרשים הבא (ית"ן/שעה):

1. נפחי תנועה

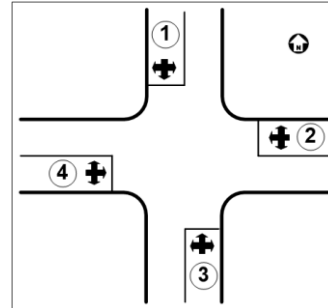


2. תצורה א': נתיב אחד בכל זרוע

נפח תנועה שעתית לנתיב (ית"ן/שעה/נתיב)



ניתוב ומופעים



חישוב הנפח הקובע

בתצורה זו, בכל אחת מזרועות הצומת מתוכנן נתיב אחד בלבד, וכל אחד מהמופעים כולל את כל התנועות מזרוע מסוימת לכל הכיוונים. במצב זה, כל אחד מהמופעים נמצא בניגוד לכל שאר המופעים בצומת, וצריך לקבל זמן ירוק נפרד.

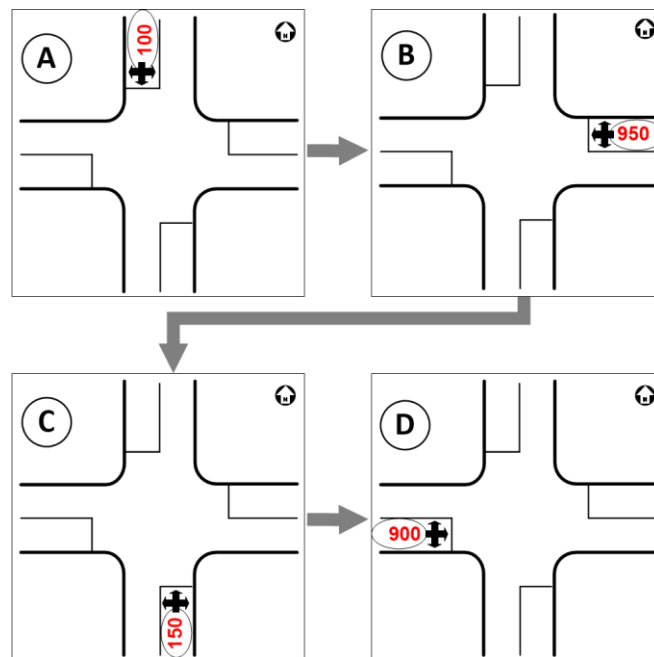
יש רק חלופה אחת לקבוצת המופעים הנוגדים, והיא הקבוצה הכוללת את כל המופעים (1,2,3 ו-4). סך הנפחים במופעים אלה הוא: $100+950+150+900 = 2100$ (ית"ן/נתיב/שעה).

לסיכום: הנפח הקובע לתצורה א' של הצומת הוא 2100 (ית"ן/נתיב/שעה).

המופעים הקובעים הם: מצפון (מופע 1), ממזרח (מופע 2), מדרום (מופע 3) ומערב (מופע 4).

להלן דוגמה לסדר שלבים אפשרי לתפעול הרמזור כאשר עבור כל שלב מסומן (בעיגול) הנפח השעתי עבורו נדרש לספק זמן ירוק.

סדר שלבים לדוגמה:



הערה: מוצג נפח התנועה לנתיב (שעתי) בכל שלב.

חישוב זמן לא-מנוצל לרכב

- זמן בין-ירוקים – 20 שניות (צומת קטן, 5 שניות למעבר בין מופעים קובעים, 4 מעברים בין מופעים נוגדים למחזור).
- סה"כ זמן לא-מנוצל לרכב – 20 שניות.

חישוב קיבולת הצומת

- S – 1800 (ית"ן/שעה/נתיב).
- K – 20 (שניות).
- C – 120 (שניות).

$$Cap = \frac{S \cdot (C - K)}{C} = \frac{1800 \cdot (120 - 20)}{120} = 1,500$$

קיבולת הצומת המרומזר (בתצורה זו) לצרכי בחינה מקדמית הוא **1,500** (ית"ן/שעה/נתיב).

חס נפח קובע/קיבולת ורמת-שירות תפקודית

- Vcr – 2,100 (ית"ן/שעה/נתיב).
- Cap – 1500 (שניות).

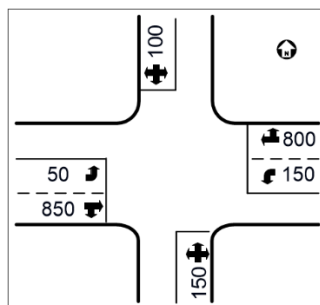
$$x = \frac{Vcr}{Cap} = \frac{2,100}{1,500} = 1.4$$

$$LOF = LOF2$$

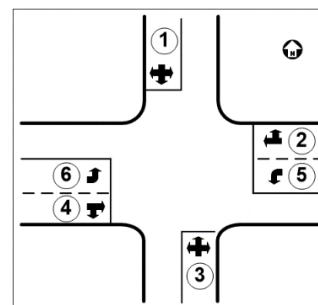
סך הנפח הקובע בצומת בתצורה זו הוא הרבה מעבר לקיבולת. נדרש שינוי.

3. תצורה ב': הוספת נתיבים והפרדת תנועות (לכיוונים מזרח-מערב)

נפח תנועה שעתי לנתיב (ית"ן/שעה/נתיב)



ניתוב ומופעים



חישוב הנפח הקובע

הוספת נתיב בצומת (בכיוון מזרח-מערב) מאפשרת הפרדת חלק מהתנועות זו מזו, והקטנה משמעותית בנפח הקובע.

במצב החדש שנוצר ישנן שתי חלופות אפשריות לקבוצת המופעים הנוגדים:

מופע מס'	תיאור	מס' נתיבים	נפח שעתי (ית"ן/שעה/נתיב)	קבוצת מופעים נוגדים חלופה א'	קבוצת מופעים נוגדים חלופה ב'
1	כל התנועות מצפון	1	100	כן	כן
2	התנועות ימינה וישר ממזרח	1	800	כן	
3	כל התנועות מדרום	1	150	כן	כן
4	התנועות ימינה וישר ממערב	1	850		כן
5	התנועה שמאלה ממזרח	1	150		כן
6	התנועה שמאלה ממערב	1	50	כן	
	הנפח בקבוצת המופעים הנוגדים (ית"ן/שעה/נתיב)			1,100	1,250
	הנפח הקובע לתצורת הצומת (ית"ן/שעה/נתיב)			1,250	

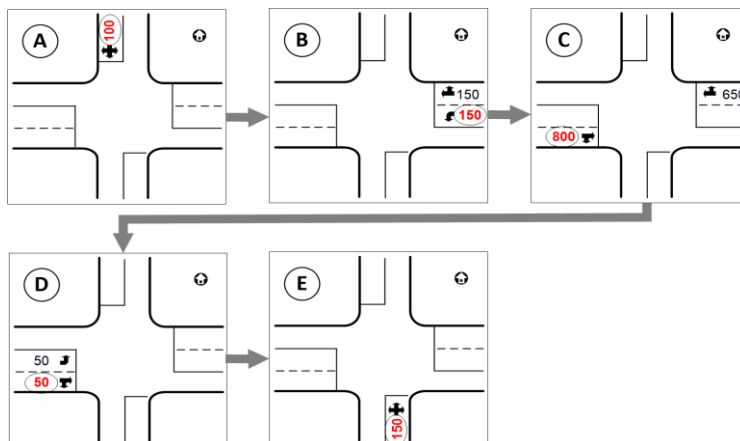
קבוצת מופעים נוגדים חלופה א': בקבוצה נכללים מופעים 1,2,3,6. כל אחד ממופעים אלה נוגד את כל שאר המופעים בקבוצה, ולכן אין אפשרות לשלבו באותו שלב עם מופע אחר בקבוצה, ויידרש עבורו זמן ירוק נפרד. המופעים 4 ו-5 אינם נכללים בקבוצה, מכיוון שמופע 4 אינו נוגד את מופע 2 שבקבוצה, ומופע 5 אינו נוגד את מופע 6 שבקבוצה.

קבוצת מופעים נוגדים חלופה ב': בקבוצה נכללים מופעים 1,3,4,5. כל אחד ממופעים אלה נוגד את כל שאר המופעים בקבוצה, ולכן אין אפשרות לשלבו באותו שלב עם מופע אחר בקבוצה, ויידרש עבורו זמן ירוק נפרד. המופעים 2 ו-6 אינם נכללים בקבוצה, מכיוון שמופע 2 אינו נוגד את מופע 4 שבקבוצה, ומופע 6 אינו נוגד את מופע 5 שבקבוצה.

סך הנפח בקבוצת המופעים הנוגדים בחלופה ב' הוא הגדול יותר (1,250), ולכן זהו הנפח הקובע לתצורה ב' של הצומת.

המופעים הקובעים הם: מצפון (מופע 1), ממזרח שמאלה (מופע 5), ממערב ישר וימינה (מופע 4), מדרום (מופע 3) – סה"כ 1,250 (ית"ן/שעה/נתיב). להלן דוגמה לסדר שלבים אפשרי לתפעול הרמזור, כאשר עבור כל שלב מסומן (בעיגול) הנפח השעתי עבורו נדרש לספק זמן ירוק.

סדר שלבים לדוגמה:



בשלב A ייפתח ירוק במופע 1 מצפון (עבור נפח 100 ית"ן/שעה), בשלב B ייפתח ירוק במופעים 2 ו-5 (עבור נפח 150 ית"ן/שעה), בשלב C ייפתח ירוק במופעים 2 ו-4 (עבור נפח 800 ית"ן/שעה), בשלב D ייפתח ירוק במופעים 4 ו-6 (עבור נפח 50 ית"ן/שעה), ובשלב האחרון ייפתח ירוק למופע 3 (עבור נפח 150 ית"ן/שעה).

הערה: אין חובה להופעת השלב במלואו.

חישוב זמן לא-מנוצל לרכב

- זמן בין-ירוקים – 20 שניות (צומת קטן, 5 שניות למעבר בין מופעים קובעים, 4 מעברים למחזור).
הערה: המעברים בין מופעים קובעים הם ממופע 1 ל-5, ממופע 5 ל-4, ממופע 4 ל-3, ממופע 3 ל-1, 4 מעברים.
- סה"כ זמן לא-מנוצל לרכב – 20 שניות.

חישוב קיבולת הצומת

- S – 1800 (ית"ן/שעה/נתיב).
- K – 20 (שניות).
- C – 120 (שניות).

$$Cap = \frac{S \cdot (C - K)}{C} = \frac{1800 \cdot (120 - 20)}{120} = 1,500$$

קיבולת הצומת המרומזר לצרכי בחינה מקדמית – **1,500** (ית"ן/שעה/נתיב).

יחס נפח קובע/קיבולת ורמת-שירות תפקודית

- V_{cr} – 1,250 (ית"ן/שעה/נתיב).
- Cap – 1500 (שניות).

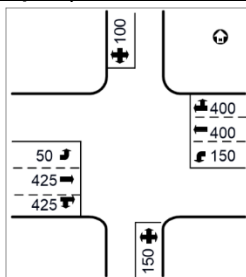
$$x = \frac{V_{cr}}{Cap} = \frac{1,250}{1,500} = 0.83$$

$$LOF = LOF 2$$

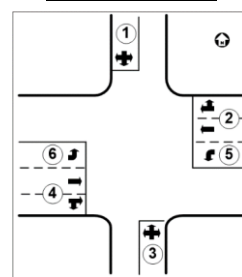
היחס בין הנפח הקובע לקיבולת עבור תצורה ב' של הצומת קטן מ-1, אולם, עדיין בתחום LOF 2 ולכן נדרשת בחינה מעמיקה יותר.

4. תצורה ג': הוספת נתיבים (לכיוונים מזרח-מערב)

נפח תנועה שעת לנתיב (ית"ן/שעה/נתיב)



נתיב ומופעים



חישוב הנפח הקובע

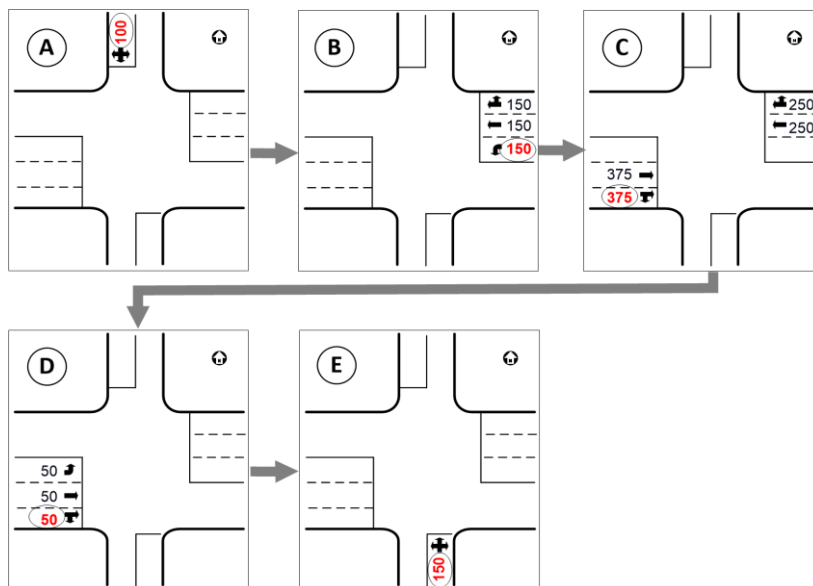
הוספת נתיב נוסף בצומת לטובת התנועות ישר ממזרח וממערב מאפשרת הקטנה נוספת בנפח הקובע. קבוצות המופעים הנוגדים האפשריות הינן בדומה לזו שבתצורה ב', אך הנפח לנתיב בחלק מהמופעים קטן.

מופע מס'	תיאור	מס' נתיבים	נפח שעותי (ית"/ן/שעה/נתיב)	קבוצת מופעים נוגדים חלופה א'	קבוצת מופעים נוגדים חלופה ב'	
1	כל התנועות מצפון	1	100	כן	כן	
2	התנועות ימינה וישר ממזרח	2	400	כן		
3	כל התנועות מדרום	1	150	כן	כן	
4	התנועות ימינה וישר ממערב	2	425		כן	
5	התנועה שמאלה ממזרח	1	150		כן	
6	התנועה שמאלה ממערב	1	50	כן		
	הנפח בקבוצת המופעים הנוגדים (ית"/ן/שעה/נתיב)				825	700
	הנפח הקובע לתצורת הצומת (ית"/ן/שעה/נתיב)				825	

סך הנפח בקבוצת המופעים הנוגדים שבחלופה ב' הוא הגדול יותר (825), ולכן זהו הנפח הקובע לתצורה ג' של הצומת.

המופעים הקובעים הם: מצפון (מופע 1), ממזרח שמאלה (מופע 5), ממערב ישר וימינה (מופע 4), מדרום (מופע 3) – סה"כ 825 (ית"/ן/שעה/נתיב).

להלן דוגמה לסדר שלבים אפשרי לתפעול הרמזור, כאשר עבור כל שלב מסומן (בעיגול) הנפח השעתי עבורו נדרש לספק זמן ירוק. סדר שלבים לדוגמה:



בשלב A ייפתח ירוק במופע 1 מצפון (עבור נפח 100 ית"ן/שעה), בשלב B ייפתח ירוק במופעים 2 ו-5 (עבור נפח 150 ית"ן/שעה), בשלב C ייפתח ירוק במופעים 2 ו-4 (עבור נפח 375 ית"ן/שעה), בשלב D ייפתח ירוק במופעים 4 ו-6 (עבור נפח 50 ית"ן/שעה), ובשלב האחרון ייפתח ירוק למופע 3 (עבור נפח 150 ית"ן/שעה).

הערה: אין חובה להופעת השלב במלואו.

חישוב זמן לא-מנוצל לרכב

- זמן בין-ירוקים – 24 שניות (צומת גדול, 6 שניות למעבר בין מופעים קובעים, 4 מעברים למחזור).
הערה: המעברים בין מופעים קובעים הם ממופע 1 ל-5, ממופע 5 ל-4, ממופע 4 ל-3, ממופע 3 ל-1, סה"כ 4 מעברים.
- סה"כ זמן לא-מנוצל לרכב – 24 שניות.

חישוב קיבולת הצומת

- S – 1800 (ית"ן/שעה/נתיב).
- K – 24 (שניות).
- C – 120 (שניות).

$$Cap = \frac{S \cdot (C - K)}{C} = \frac{1800 \cdot (120 - 24)}{120} = 1,440$$

קיבולת הצומת המרומזר לצרכי בחינה מקדמית – **1,440** (ית"ן/שעה/נתיב).

יחס נפח/קיבולת ורמת-שירות תפקודית

- V_{cr} – 825 (ית"ן/שעה/נתיב).
- Cap – 1440 (שניות).

$$x = \frac{V_{cr}}{Cap} = \frac{825}{1,440} = 0.57$$

$$LOF = LOF 1$$

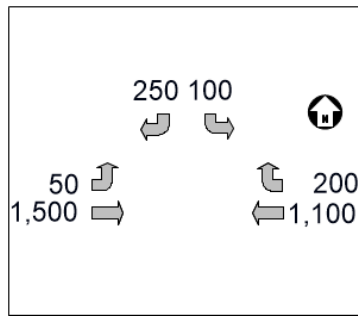
היחס בין הנפח הקובע לקיבולת עבור תצורה ג' של הצומת קטן משמעותית מ-1 (LOF1). אין צורך בבדיקות נוספות לעניין רמת-השירות.

4.9.2 דוגמה 2: בחינה מקדמית – צומת עם מופעי הולכי-רגל

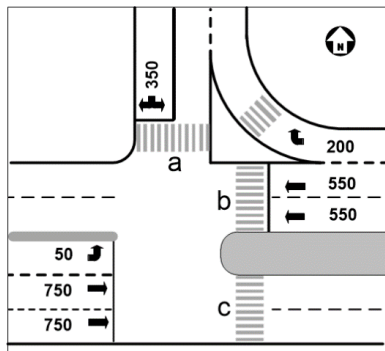
להלן דוגמה לחישוב הנפח הקובע, הזמן הלא-מנוצל לרכב, ורמת-השירות התפקודית, עבור צומת עם 3 זרועות ומעברי חצייה (מופעי הולכי-רגל / אופניים). הדוגמה מציגה את ההשפעה שיש למופעי הולכי-רגל על הזמן הלא-מנוצל לרכב בצומת, ומכאן על רמת-השירות התפקודית, עבור תצורה אחת נתונה של ניתוב.

1. נפחי תנועה

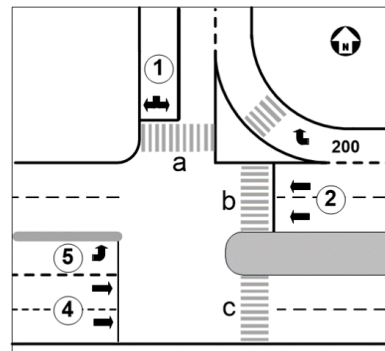
נפחי התנועה השעתיים לתכנון, בתנועות השונות, מוצגים בתרשים הבא (ית"ן/שעה):



נפח תנועה שעתית לנתיב (ית"ן/שעה/נתיב)



ניתוב מופעים



2. חישוב הנפח הקובע, הזמן הלא-מנוצל לרכב, קיבולת ורמת-שירות תפקודית של הצומת

בדוגמה זו ייבחנו שתי חלופות לקבוצת מופעים נוגדים:

חלופה א': קבוצת המופעים הנוגדים כוללת את מופעי הרכב 1,2,5, ומופעי הולכי-הרגל יקבלו ירוק ב"צל" מופעי הרכב (בשלבים משותפים איתם).

במקרה הזה, ולאור נפחי התנועה, נראה שהזמן שיוקצה למופע 5 לא יספיק לירוק במופע הולך-רגל c, ולכן, במסגרת הזמן הלא-מנוצל לרכב, נוסף 8 שניות (הערכה לדוגמה) לטובת זמן חצייה ב-c. מאחר שבמצב זה מופע 5 יקבל "עודף זמן" לעומת הנדרש לו להעברת נפחי התנועה, אזי נפח התנועה במופע זה לא ייכלל בנפח קבוצת המופעים הנוגדים בחלופה זו (ראו הערה בעניין בטבלה).

חלופה ב': קבוצת המופעים הנוגדים כוללת את מופע הולך-רגל c (הקבוצה כוללת את מופעים 1,4, c, הנוגדים אחד את השני). בדומה לחלופה הקודמת, נניח שזמן החצייה של c הוא 8 שניות, אותן נוסף לזמן הלא-מנוצל לרכב.

חישוב הנפח הקובע, הקיבולת, ורמת-השירות התפקודית מרוכזים בטבלה הבאה:

טבלת חישוב רמת שרות תפקודית							
חישוב נפח מופעים נוגדים (Vcr)							
קבוצת מופעים נוגדים	קבוצת מופעים נוגדים	נפח שעות לנתיב (ית"ן/שעה/נתיב)	מס' נתיבים	נפח שעות	תאור	מופע מס'	
נוגדים	נוגדים						
חלופה ב'	חלופה א'						
1	1	350	1	350	כל התנועות מצפון	1	
		200	1	200	תנועה ממזרח ימינה	0	
	1	550	2	1,100	תנועה ממזרח ישר	2	
1		750	2	1,500	תנועה ממערב ישר	4	
	0 (עודף ירוק)	50	1	50	תנועה ממערב שמאלה	5	
1					הולך רגל	c	
1,100	900	נפח מופעים נוגדים (ית"ן/שעה/נתיב)					
חישוב קיבולת (Cap)							
20	20	בין ירוקים (שנ')					
8	8	זמן חציה (שנ')					
		זמן לא מנוצל נוסף לרכב (שנ')					
28	28	סה"כ זמן לא מנוצל לרכב (שנ')					
1,380	1,380	קיבולת (ית"ן/שעה/נתיב)					
0.80	0.65	רמת שרות תפקודית לחלופת מופעים נוגדים					
1,100		נפח קובע של הצומת					
LOF2	0.80	רמת שרות תפקודית של הצומת					

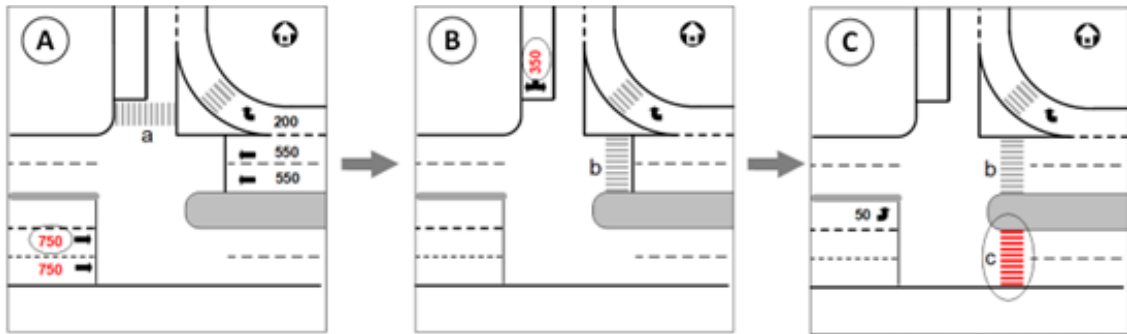
היחס בין נפח בקבוצת הנוגדים/קיבולת בחלופה ב' הוא הגדול יותר ולכן המופעים הקובעים הם 1, 4, ו- c והנפח הקובע הוא 1,100 ית"ן/שעה/נתיב.

יחס נפח קובע / קיבולת הוא 0.80 התואם לרמת-שירות תפקודית 2.LOF.

הערות:

- זמן בין ירוקים כולל הערכה של הזמן שיתקבל בחישובים עבור כניסה ופניו של הולך רגל c.
- במקרה זה הזמן הלא מנוצל לרכב זהה בשתי החלופות הנבדקות לתצורה זו, ולכן הקיבולת זהה וניתן לקבוע כי הנפח הקובע לתצורה זו של הצומת הינו 1,100. במקרה של הבדל בזמן הלא מנוצל ומכאן הבדל בקיבולת, הנפח הקובע לתצורה יהיה זה המניב את הערך המירבי ליחס שבין סך המופעים הנוגדים וקיבולת הצומת.

להלן סדר שלבים אפשרי לתפעול הרמזור, כאשר עבור כל שלב מסומן (בעיגול) הנפח השעתי עבורו נדרש לספק זמן ירוק (כולל זמן ירוק למעבר חציה c):

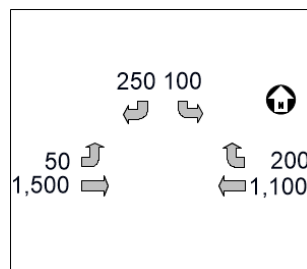


4.9.3 דוגמה 3: בחינה תפעולית – צומת עם מופעי הולכי-רגל

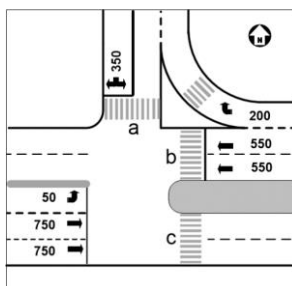
דוגמה זו מציגה את הבחינה התפעולית לניתוח רמת-השירות למופעי הצומת בהתבסס על זמן המחזור לתכנון וחלוקה ראשונית של זמני הירוק. דוגמה זו מבוססת על הדוגמה המוצגת בסעיף 4.9.2 וממשיכה אותה לשלב הבחינה התפעולית.

1. נפחי תנועה

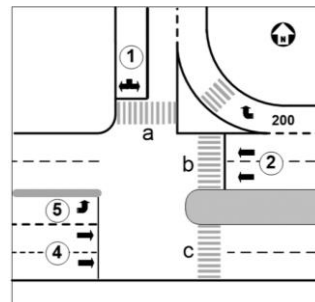
נפחי התנועה השעתיים לתכנון, בתנועות השונות, מוצגים בתרשים הבא (ית"ן/שעה), ראו גם דוגמה 2 בסעיף 4.9.2:



נפח תנועה שעתי לנתיב (ית"ן/שעה/נתיב)



נתיב ומופעים



2. חישוב זמן מחזור מיטבי

- נפח קובע $(V_{cr}) - 1100$ ית"ן/שעה/נתיב בהתאם למוצג בדוגמה 2, סעיף 4.9.2.
- זמן לא-מנוצל לרכב $(K) - 28$ שניות, בהתאם למוצג בדוגמה 2, סעיף 4.9.2.
- חישוב זמן מחזור על פי קצב מעבר כלי-רכב המותאם לרמת-השירות:

$$C = \frac{K}{1-r \cdot \frac{V_{cr}}{3600}}$$

LOS E	LOS D	LOS C	רמת-שירות
1.7	1.9	2.1	קצב מעבר לרכב (r)
60	70	80	זמן מחזור מיטבי (מעוגל לכפולות של 5 שניות)

3. חישוב זמן ירוק למופע

זמן הירוק הנדרש מחושב עבור כל אחד ממופעי הרכב ועבור רמות שירות C, D, E על פי הנוסחה הבאה:

$$g_i = r \cdot \frac{v_i \cdot C}{3600}$$

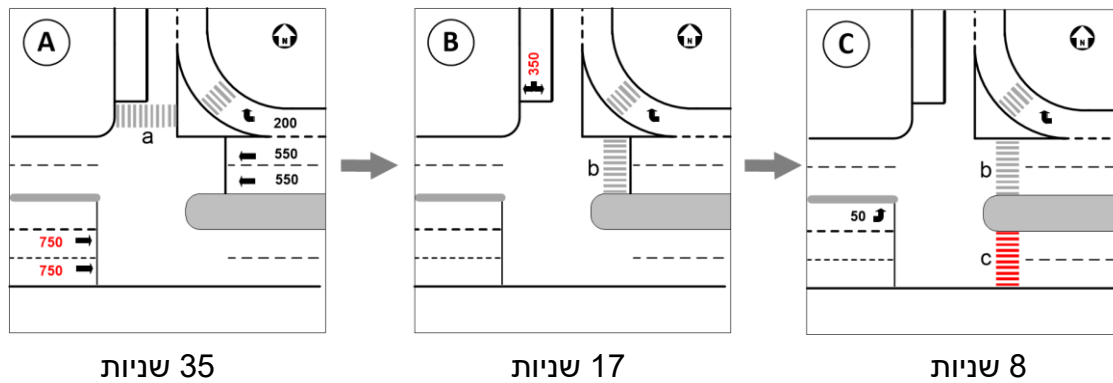
זמן ירוק נדרש לכל מופע לפי רמת-שירות (g_i)			נתוני בסיס			
LOS E (שנ')	LOS D (שנ')	LOS C (שנ')	נפח תנועה לנתיב (v_i) (ית"ן/שעה/נתיב)	מס' נתיבים	נפח תנועה (ית"ן/שעה)	מופע
10	13	17	350	1	350	1
16	21	26	550	2	1100	2
22	28	35	750	2	1500	4
*2	*2	*3	50	1	50	5

* זמנים מתחת לערך ירוק מזערי

4. קביעת זמן ירוק מתוכנן למופע וניתוח רמת-השירות

בחלק זה נקבעים משכי הירוק הראשוניים לתכנון. משכי הירוק למופעי הרכב הקובעים (1,4) נקבעו בהתאם למשך הנדרש עבור רמת-שירות C. משך הירוק למופע 2 זהה למשך הירוק של מופע 4 בהתאם להרכב השלבים, כפי שמוצג בבחינה המקדמית. משך הירוק למופע 5 נקבע בהתאם למשך הירוק הנדרש למופע קובע c (מעבר חצייה). על פי המוצג בשלב הבחינה המקדמית, נדרשות 8 שניות לחציית מעבר זה. סכום משכי הירוק למופעים הקובעים הוא 60 שניות (17+35+8). זמן בין-ירוקים הינו 20 שניות. לפיכך מתקבל משך מחזור של 80 שניות (60+20), בהתאם למשך המחזור לתכנון. ניתן לחלק את משך הירוק לפי אסטרטגיות שונות, אשר לא בהכרח תואמות את הירוק הנדרש לרמת-שירות C. לפיכך, לאחר חלוקת הירוק, יש לרשום את רמת-השירות המתקבלת עבור כל מופע רכב.

רמת-שירות	זמן ירוק מתוכנן (שנ')	מופע
C	17	1
C	35	2
C	35	4
C	8	5



4.9.4 דוגמה 4: בחינה מקדמית – צומת עם העדפה לרק"ל

הדוגמה היא עבור רק"ל, אך מותאמת גם עבור תא"ם עם שינויי הפרמטרים בהתאמה.

א. ערכים לתכנון

1. מקדם ית"ן לנפח בפנייה – יחס בין קיבולת לנתיב ישר (1,800) לקיבולת של נתיב פנייה (1,600):

$$1,800/1,600 = 1.125$$

2. זמן דרוש לרק"ל בצומת: בדוגמה – 5 שניות ירוק ו-20 שניות זמנים בין-ירוקים, סה"כ 25 שניות.

3. מספר מחזורים בשעה עבור מחזור של 120 שניות:

$$30 \text{ מחזורים בשעה} = 120 \text{ שני' למחזור} / 3,600 \text{ שני' בשעה}$$

4. סך זמנים בין-ירוקים בצומת ללא רק"ל: חישוב או הערכה מקורבת. בדוגמה – 23 שניות.

5. סך זמן ירוק זמין בצומת ללא רק"ל שווה לזמן המחזור פחות הזמנים הבין-ירוקים:

$$97 \text{ שני'} = 120 - 23$$

ב. חישוב הסתברות הופעת רק"ל

1. תדירות הופעת רק"ל בצומת – מחצית התדירות לכיוון אחד: בדוגמה:

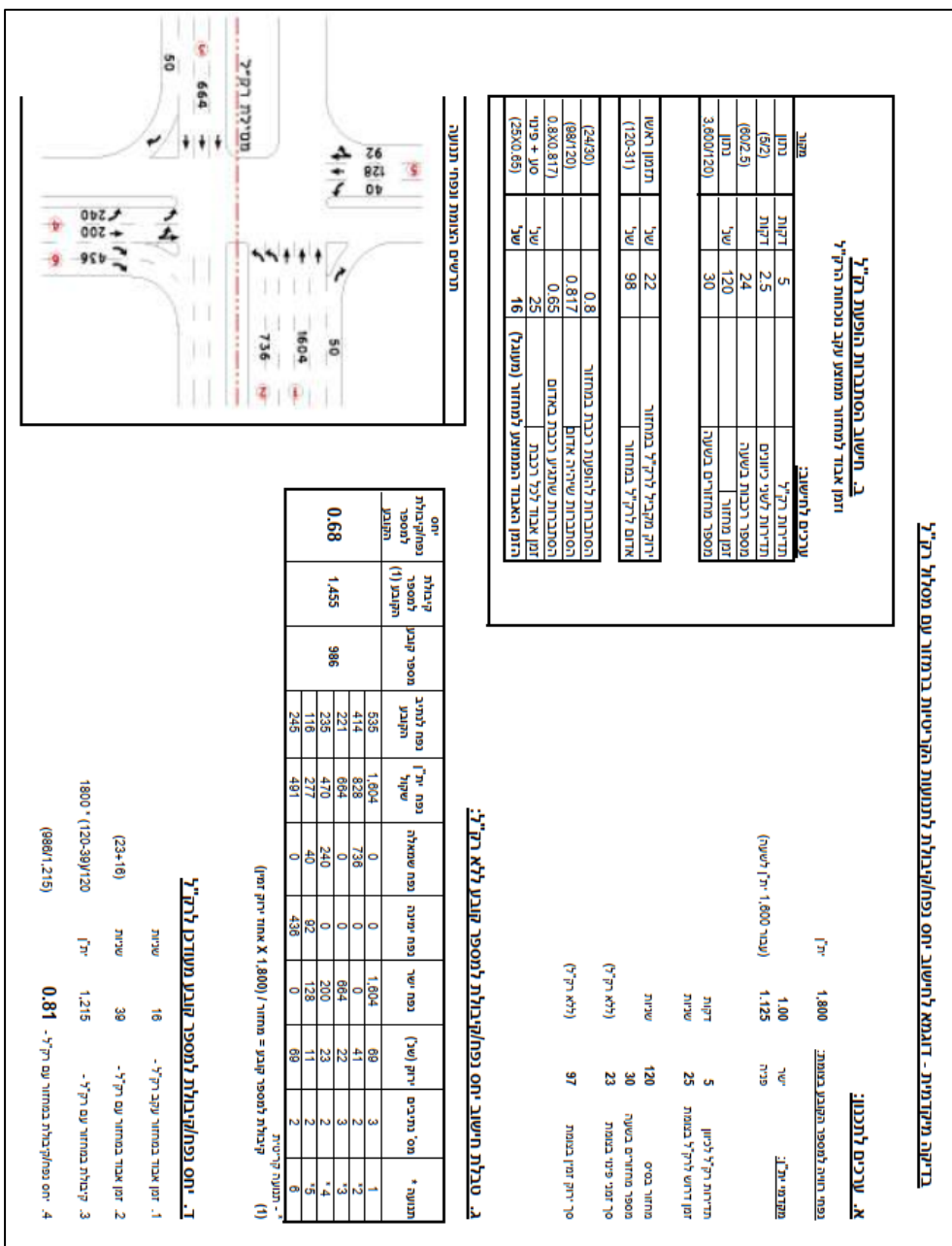
$$2.5 \text{ דקות} = 5 / 2$$

2. מספר רק"ל בשעה: 24 רכבות לשעה = 2.5 דקות / 60 דקות
3. ירוק מקביל לרק"ל במחזור: זמן ירוק לכיוונים המקבילים למסילה. בדוגמה – 22 שני
4. אות עצור (אדום) לרק"ל במחזור: זמן מחזור בהפחתת הירוק הזמין: 98 שני = 120 – 22 שני
5. הסתברות להופעת רק"ל במחזור: מספר רכבות בשעה מחולק במספר המחזורים:
 $0.8 = 30 \text{ מחזורים בשעה} / 24 \text{ רכבות בשעה}$
6. ההסתברות שיהיה אות עצור כשרק"ל מגיעה לצומת: זמן אות עצור לרק"ל במחזור מחולק בזמן המחזור:
 $0.817 = 120 \text{ שני} / 98 \text{ שני}$
7. ההסתברות שרק"ל תגיע באות עצור: מכפלת ההסתברות שתגיע רכבת באות עצור, בהסתברות שתגיע רכבת במחזור:
 $0.65 = 0.8 \cdot 0.817$
8. זמנים לא-מנוצלים לרכב הממוצעים למחזור (מעוגל): הזמן הדרוש לרק"ל (25 שניות) מוכפל בהסתברות שרק"ל תגיע במחזור:
 $16 \text{ שני} = 25 \cdot 0.65$
- ג. טבלת חישוב יחס נפח/קיבולת למספר קובע ללא רק"ל
1. משך האות 'התקדם' לכל תנועה נקבע בתהליך תכנון רמזורים רגיל.
2. נפח ית"ן בתנועה: נפח ישר + נפחי הפנייה מוכפל במקדם הפנייה. לדוגמה: תנועה מס' 4:
 $470 = 200 + (240 \cdot 1.125)$
3. נפח לנתיב: נפח תנועה מחולק במספר הנתיבים.
4. נפח קובע: סך הנפחים במופעים הקובעים. בדוגמה:
 $986 = 414 + 221 + 235 + 116$
5. קיבולת לנפח הקובע: מכפלת קיבולת נתיב (1,800) באחוז הזמן הירוק הזמין בצומת:
 $1,455 = 120 / 97 \text{ שני}$
6. יחס נפח/קיבולת לנפח הקובע: $0.68 = 986 / 1,455$
- ד. יחס נפח/קיבולת לנפח קובע מעודכן לרק"ל

1. זמנים לא-מנוצלים לרכב במחזור עם רק"ל: סכום הזמנים הבין-ירוקים והזמנים הלא-מנוצלים לרכב במוצע למחזור עקב נוכחות רק"ל: $39 = 16 + 23$ שני
2. קיבולת זמינה במחזור עם רק"ל: מכפלת קיבולת נתיב (1,800 ית"ן) באחוז הזמן הירוק הזמין בצומת עם רק"ל:

$$1,800 \times \frac{(120 - 39)}{120} = 1,215$$

3. יחס נפח/קיבולת לנפח הקובע עם רק"ל: $0.81 = 986 / 1,215$



פרק 5: זמנים בין-ירוקים

תוכן עניינים

5-1.....	כללי	5.1
5-2.....	מתודולוגיית חישוב זמנים בין-ירוקים לצמתיים	5.2
5-3.....	פרמטרים לחישוב זמנים בין-ירוקים	5.3
5-3.....	מהירויות כניסה ופינוי של רכב מנועי	5.3.1
5-4.....	מהירות פינוי הולך-רגל	5.3.2
5-4.....	מהירויות כניסה ופינוי של אופניים	5.3.3
5-5.....	מהירויות כניסה ופינוי של רק"ל	5.3.4
5-6.....	אורך הרכב המפנה	5.3.5
5-6.....	תאטת ותאוצת כלי-רכב	5.3.6
5-6.....	תאטת ותאוצת אופניים	5.3.7
5-6.....	תאטת ותאוצת רק"ל	5.3.8
5-6.....	זמן תגובה	5.3.9
5-7.....	מדידת מרחקי פינוי וכניסה	5.4
5-7.....	קביעת נקודות הניגוד בין תנועות נוגדות בצומת	5.4.1
5-7.....	רכב מפנה – רכב נכנס, מרחקי פינוי וכניסה	5.4.2
	רכב מפנה – הולך-רגל (או ה"ר ואופניים במופע משותף) נכנס,	5.4.3
5-10.....	מרחקי פינוי וכניסה	
	הולך-רגל (או ה"ר ואופניים במופע משותף) מפנה – רכב נכנס,	5.4.4
5-10.....	מרחקי פינוי וכניסה	
5-12.....	מרחקי פינוי וכניסה עבור אופניים	5.4.5
5-12.....	מרחקי פינוי וכניסה עבור רק"ל	5.4.6
5-14.....	חישוב משך פינוי וכניסה	5.5
5-14.....	משך הפינוי לכלי-הרכב המפנה	5.5.1
5-17.....	משך הכניסה לכלי-הרכב הנכנס	5.5.2
5-18.....	משך הפינוי להולך-רגל	5.5.3
5-18.....	משך הכניסה להולך-רגל	5.5.4
5-18.....	משך הפינוי לאופניים	5.5.5
5-21.....	משך הכניסה לאופניים	5.5.6
5-22.....	משך הפינוי לרכבת קלה (רק"ל)	5.5.7
5-25.....	משך הכניסה לרכבת קלה (רק"ל)	5.5.8

5-26	חישוב זמן בין-ירוקים סופי	5.6
5-26.....	זמן בין-ירוקים סופי בין רכב מפנה לבין רכב נכנס	5.6.1
5-26.....	זמן בין-ירוקים סופי בין רכב מפנה לבין הולך-רגל נכנס	5.6.2
5-27.....	זמן בין-ירוקים סופי בין הולך-רגל מפנה לבין רכב נכנס	5.6.3
5-27	יישום מטריצת בין-ירוקים	5.7

פרק 5: זמנים בין-ירוקים

5.1 כללי

משך הזמן בין-ירוקים (inter-green) הינו פרק הזמן המזערי הדרוש בין סיום האור הירוק לתנועה מסוימת, לבין תחילת האור הירוק לתנועה הנוגדת הבאה לאחר מכן. זמן בין-ירוקים מחושב לכל אחת מתנועות הצומת: רכב מנועי, הולכי-רגל, אופניים, רכבת קלה (רק"ל), אוטובוסים מסוגים שונים – עבור כל אחד מצירופי האפשרויות של תנועות היוצרות ניגודים בצומת. משך זמן זה נועד להבטיח את האפשרות שכל התנועה בצומת המרומזר תצליח לפנות את נקודות הניגוד, לפני כניסתה של תנועה נוגדת אחרת שבאה מיד אחריה. משך זמן זה הינו בעל חשיבות עליונה בשמירה על בטיחות משתמשי הדרך בצומת, ומכאן חשיבותו המיוחדת, והצורך בהקפדה יתרה על חישוב מדויק בהתאם למפורט בפרק זה.

ההנחה הבסיסית בחישוב זמן בין-ירוקים, היא כי נהג המתקרב לצומת בסיום האות הירוק של השלב הנוכחי, ונוכח כי אינו יכול לעצור לפני קו העצירה (מרחק הרכב מהצומת קטן ממרחק העצירה שלו), יוכל לפנות את נקודת הניגוד, לפני שהרכב הראשון שמקבל ירוק בשלב הבא (הרכב הנכנס) יגיע לנקודה זו. לכן חישוב זמן בין-ירוקים עבור כלי-רכב, יאפשר לנהג המתקרב לצומת בסיום האות הירוק, אך אינו יכול לעצור בביטחה, להספיק לעבור ולפנות את נקודת הניגוד, לפני שהרכב הראשון באחת מהתנועות בשלב הבא – הנמצאת בניגוד עם הרכב המפנה – יגיע לנקודה זו.

זמן בין-ירוקים בין רכב לבין הולכי-רגל נועד לאפשר חצייה בטוחה של הולכי-רגל במעברי החצייה, ע"י הבטחת פינוי הולכי-הרגל ממעבר החצייה בסוף האור הירוק, לפני כניסת תנועות רכב נוגדות בהן האות הירוק מתחיל; וכן נועד למצב הפוך, שנועד לאפשר כניסה בטוחה של הולכי-רגל לתחום מעבר החצייה בתחילת האות הירוק להולכי-הרגל, ע"י הבטחת פינוי הרכב ממעבר החצייה לפני כניסת הולכי-הרגל.

באופן דומה, זמן בין-ירוקים עבור תנועות אופניים, מבוסס על הבטחת פינוי האופניים את נקודת הניגוד לפני כניסה של תנועה נוגדת, או לחילופין כניסת תנועת אופניים לנקודת הניגוד, רק לאחר פינויה על ידי תנועה אחרת.

זמנים בין-ירוקים מיושמים במעברים בין שלבי הרמזור, בהם קיימים ניגודים בין תנועות. משך הזמן מתקבל ע"י חישוב זמן הפינוי של התנועה העוברת (מכונית, הולכי-רגל, אופניים, רכבת קלה, אוטובוס וכו') את הצומת בסיום מופע הירוק, בהפחתת זמן הכניסה של התנועה הנכנסת לצומת בראשית המופע הירוק העוקב.

זמן בין-ירוקים תלוי במספר רב של פרמטרים המושפעים ממספר מרכיבים: גיאומטריית הצומת המרומזר, מרחקי הכניסה והפינוי מקו העצירה לנקודת הניגוד (עבור רכב מכל סוג), אורך מעברי החצייה (עבור הולכי-רגל / אופניים), מהירויות החצייה של הולכי-רגל, מהירויות הנסיעה, ומאפייני רכב התכן. ערכו הינו למעשה "זמן לא מנוצל" מבחינת יעילות הזרימה וזמני הירוק האפקטיבי בצומת. לכן, בצמתים בהם הזמנים הבין-ירוקים גדולים, קטנה קיבולת הצומת (ראו פירוט בפרק התכנון המוקדם של הזמנים).

5.2 מתודולוגיית חישוב זמנים בין-ירוקים לצמתים

חישוב זמן בין-ירוקים מבוסס כאמור על חישוב משך הזמן הנדרש לתנועה בצומת (מכונית, הולך-רגל, אופניים, רק"ל, אוטובוס) לפנות את נקודת הניגוד בסיום האות הירוק, בהפחתת משך הזמן לכניסת תנועה נוגדת לנקודת הניגוד בראשית הירוק. להלן פירוט עיקרי מתודולוגיית החישוב:

- זמן בין-ירוקים יחושב עבור כל זוג תנועות הנמצאות בניגוד.
- לצורך חישוב זמן בין-ירוקים בין שני מופעים הנמצאים בניגוד, ייבחר הזמן הגבוה ביותר מבין ערכי הזמנים הבין-ירוקים של כלל התנועות המרכיבות את המופעים.
- חישוב זמן הכניסה והפינוי מבוסס על:
 - מרחקי הכניסה והפינוי מקו העצירה אל נקודת המפגש של שתי התנועות (נקודת הניגוד).
 - מהירויות הנסיעה לצורך קביעת משך הכניסה ומשך הפינוי עבור רכב, שיוגדרו לפי המהירויות הבאות:
 - 1) רכב מפנה מהיר – חישוב משך הפינוי לפי רכב מפנה מהיר נדרש, מאחר שמשך זה בדרך כלל ארוך יותר כאשר המרחק מקו העצירה עד נקודת הניגוד קטן יחסית למרחק הבלימה.
 - 2) רכב מפנה איטי – חישוב משך הפינוי לפי רכב מפנה איטי נדרש, מאחר שמשך זה בדרך כלל ארוך יותר כאשר מרחק הפינוי המוגדר מקו העצירה ועד לנקודת הניגוד הינו גדול יחסית למרחק הבלימה.
- משך זמן הבין-ירוקים הסופי עבור זוג תנועות, ייקבע לפי הגבוה מבין שני הערכים: משך הפינוי הנדרש לרכב מהיר, ומשך הפינוי הנדרש לרכב איטי.
- אורך רכב לחישוב זמן הפינוי יכול לנוע בין 12 מטר ל-19 מטר, בהתאם לאורך הרכב בתנועה הרלוונטית.
- ערך התאווה לצורך חישוב זמן הפינוי (משמש לחישוב מרחק הבלימה) יהיה $3.5 \text{ מ'}/\text{שנ}^2$, לכל מהירות התקרבות רכב מפנה.
- זמן הפינוי יחושב על בסיס פינוי במהירות קבועה עבור רכב מפנה מהיר.
- זמן הפינוי יחושב על בסיס פינוי בתאוצה עבור רכב מפנה איטי. תאוצת הרכב מחושבת על פי הנוסחה בסעיף 5.5 עבור מהירויות הנמוכות מ-50 קמ"ש. נוסחה זו מבוססת על ההנחה לפיה ככל שמהירות ההתקרבות גדולה יותר, התאוצה קטנה יותר. במהירויות גבוהות מ-50 קמ"ש (עבור רכב מפנה מהיר), ההנחה היא שלא קיים שינוי מהותי במהירות הנסיעה, ולכן ההנחה היא שהרכב אינו מאיץ.
- הערכים המקובלים למהירות פינוי הולך-רגל במעבר חצייה מפורטים בטבלה 5.2. רשות תמרוך מקומית רשאית, במקרים מיוחדים, להפחית מהירויות אלה.
- חישוב זמן בין-ירוקים ייעשה באמצעות הנוסחאות המפורטות בהמשך פרק זה, ולא באמצעות גרפים אשר נוצרו על בסיס אותן נוסחאות ומהווים קירוב בלבד.
- התוצאה הסופית שתתקבל מחישוב זמן בין-ירוקים תעוגל לשניות שלמות כלפי מעלה.

- זמן בין-ירוקים של מופע האופניים יחושב בהתאם למתודולוגיה המפורטת מעלה בסעיף זה, למעט הנקודות הבאות:
 - זמן הפינוי עבור מופע אופניים יחושב על בסיס פינוי ללא תאוצה.
 - אורך אופניים לחישוב זמן הפינוי יהיה 2.0 מטר.
 - במידה שתנועת האופניים חוצה במופע משותף עם הולך-רגל, מתודולוגיית חישוב הזמנים הבין-ירוקים תהיה תואמת לאופן חישוב הזמנים הבין-ירוקים להולכי-הרגל, למעט אופן מדידת המרחקים כמפורט בסעיף 5.4.
 - במידה שתנועת האופניים הינה ברמת הפרדה א' (משותפת עם הרכב המנועי), וקיימת זהות בין כיווני התנועה המותרים לאופניים לאלה של הרכב המנועי, ולא מוסדר תא-אופן, לא נדרש חישוב מיוחד של הזמנים הבין-ירוקים לאופניים (לא מוגדר מופע אופניים ברמזור), ומתודולוגיית החישוב תואמת לאופן החישוב לרכב מנועי.
 - עקרון חישוב זמן בין-ירוקים זהה גם ברק"ל, עם זאת יש פרמטרים תכנוניים ייחודיים לרק"ל (מהירויות כניסה ופינוי, תאוצה, אורך רכב) כפי שיפורטו בהמשך. כמו כן, עבור רק"ל מחושב זמן בין-ירוקים גם למקרה בו הוא מפנה את הצומת ממצב עצירה.
- פירוט מתודולוגיית החישוב עבור כל אחד ממשתמשי הדרך השונים מובא בהמשך פרק זה.

5.3 פרמטרים לחישוב זמנים בין-ירוקים

אופן חישוב זמנים בין-ירוקים והנוסחאות הרלוונטיות מתוארים בסעיפים 5.4-5.6. הנוסחאות כוללות פרמטרים שונים בהתאם למאפייני משתמשי הדרך בצומת (מהירות נסיעה, מהירות הליכה ועוד). סעיף זה מפרט את ערכי הפרמטרים השונים הנדרשים בחישוב זמנים בין-ירוקים עבור מאפיינים שונים של תנועות ומשתמשי דרך בצומת. שמות הפרמטרים המוצגים בסעיף זה לקוחים מתוך סעיף 5.5 המפרט את נוסחאות החישוב.

5.3.1 מהירויות כניסה ופינוי של רכב מנועי

זמנים בין-ירוקים תלויים במידה רבה במהירויות הנסיעה של הרכב המנועי. תהליך החישוב מתייחס לשלוש מהירויות נסיעה:

- מהירות רכב הנכנס לצומת בקמ"ש (SZ)
- מהירות רכב מפנה מהיר בקמ"ש (SX)
- מהירות רכב מפנה איטי בקמ"ש (SY)

מהירות רכב הנכנס לצומת (SZ) תהיה שווה למהירות רכב מהיר מפנה (SX).

מהירות כלי-הרכב שתשמש לחישוב זמנים בין-ירוקים תלויה בסוג הדרך ובסוג התנועה בצומת, כמפורט בטבלה 5.1. הטבלה מציגה, עבור כל סוג דרך, שתי מהירויות:

- מהירות רכב מהיר: תשמש בחישוב זמן הכניסה (T3) עבור רכב הנכנס לצומת, וכן בחישוב זמן הפינוי (T2) עבור רכב מהיר המפנה את הצומת.

- מהירות רכב איטי: תשמש בחישוב זמן הפינוי (T2) עבור רכב איטי המפנה את הצומת.

טבלה 5.1: מהירות רכב מנועי בחישוב זמנים בין-ירוקים (קמ"ש)

מהירות רכב איטי (SY) רכב מפנה איטי	מהירות רכב מהיר (SZ) רכב נכנס (SX) רכב מפנה מהיר	סוג התנועה	סוג הדרך העיקרית
הקטן מבין: 35 או חצי המהירות המותרת	מהירות מותרת	תנועה ישר	בין-עירונית
הקטן מבין: 35 או חצי המהירות המותרת	20 קמ"ש פחות מהמהירות המותרת, אך לא פחות מ-50	תנועה בפנייה	
25	מהירות מותרת או 50 קמ"ש (הגבוה מביניהם)	תנועה ישר	עירונית
25	50	תנועה בפנייה	

5.3.2 מהירות פינוי הולך-רגל

מהירות פינוי של הולכי-רגל שתשמש לחישוב זמנים בין-ירוקים תלויה במאפייני מעבר החצייה והולכי-הרגל המשתמשים בו, כמפורט בטבלה 5.2:

טבלה 5.2: מהירות פינוי הולכי-רגל (Sp) בחישוב זמנים בין-ירוקים

מהירות הולכי-הרגל (Sp) (מ'/שנ')	סוג מעבר החצייה
1.2	רגל / חוצה מסלול תאו"ם
1.0	עתיר ביקוש
1.0	חוצה מסלול רק"ל
1.0	סמוך למוסדות עם ריבוי הולכי-רגל, קשישים, ילדים

5.3.3 מהירויות כניסה ופינוי של אופניים

- תהליך החישוב לאופניים מתייחס לשלוש מהירויות רכיבה, בדומה לרכב מנועי, כמפורט בטבלה 5.3:
- מהירות אופניים הנכנסים לצומת (SZ) תהיה שווה למהירות אופניים מפנים מהירים (SX).
 - מהירות אופניים מהירים: תשמש בחישוב זמן הכניסה (T3) עבור אופניים הנכנסים לצומת, וכן בחישוב זמן הפינוי (T2) עבור אופניים מהירים המפנים את הצומת.
 - מהירות אופניים איטיים: תשמש בחישוב זמן הפינוי (T2) עבור אופניים איטיים המפנים את הצומת.

טבלה 5.3: מהירות פינוי וכניסה לתנועת אופניים בחישוב זמנים בין-ירוקים

מהירות (קמ"ש)	תנועת אופניים
25	אופניים מהירים מפנים (SX)
15	אופניים איטיים מפנים (SY)
25	אופניים נכנסים (SZ)

5.3.4 מהירויות כניסה ופינוי של רק"ל

תהליך החישוב מתייחס לשלוש מהירויות נסיעה:

- מהירות הרק"ל המהירה המפנה את הצומת בסיום הירוק (SX), לצורך חישוב זמן הפינוי T2, תיקבע על פי מהירות הנסיעה המרבית המותרת לכלי-רכב בקטע הדרך הרלוונטי למעבר הרק"ל בצומת.
- מהירות הרק"ל האיטית המפנה את הצומת בסיום הירוק (SY), לצורך חישוב זמן הפינוי T2, תחושב על פי המינימום מבין המהירויות הבאות:
 - o מחצית המהירות המרבית המותרת לכלי-רכב בקטע הדרך הרלוונטי למעבר הרק"ל בצומת, אך לא פחות מ-25 קמ"ש.
 - o המהירות התפעולית הגבוהה ביותר לרק"ל בתחום שבין קו העצירה לבין היציאה מהצומת, על פי פרופיל המהירות לרק"ל. המהירות המתקבלת תעוגל כלפי מעלה לכפולות של 5 קמ"ש.
- מהירות הרק"ל הנכנסת לצומת בראשית הירוק (SZ), לצורך חישוב זמן הכניסה T3, תיקבע על פי מהירות הנסיעה המרבית המותרת לרכב בקטע הדרך הרלוונטי למעבר הרק"ל בצומת.

טבלה 5.4: מהירות פינוי וכניסה לרק"ל בחישוב זמנים בין-ירוקים

מופע רק"ל	מהירות (קמ"ש)
רק"ל מהירה מפנה (SX)	המהירות המרבית המותרת לכלי-רכב בקטע הדרך
רק"ל איטית מפנה (SY)	הקטן מבין: - מחצית המהירות המרבית המותרת לכלי-רכב, אך לא פחות מ-25 קמ"ש. - המהירות התפעולית הגבוהה ביותר לרק"ל בין קו העצירה לבין יציאה מהצומת.
רק"ל נכנסת (SZ)	המהירות המרבית המותרת לכלי-רכב בקטע הדרך

5.3.5 אורך הרכב המפנה

אורך הרכב המפנה בחישוב זמנים בין-ירוקים תלוי במאפייני סוגי הרכב בתנועה המפנה, כמפורט בטבלה 5.5.

טבלה 5.5: אורך רכב מפנה (I) בחישוב זמנים בין-ירוקים

אורך רכב מפנה (I) (מ')	סוג הרכב
12	רגיל (כולל אוטובוס ומשאית)
19	אוטובוס מפרקי, תאו"ם, ואזורי תעשייה כבדה
2	אופניים
15	רכבת קלה (רק"ל)

הערה: האורך של 15 מטר עבור הרק"ל אומץ מן המקובל בארצות אירופה, והוא ארוך מספיק כדי שהנהג המגיע לצומת מכיוון נוגד, יוכל להבחין ברכב התצ"ם, ולהימנע מלהיכנס לצומת שאינו פנוי.

5.3.6 תאוצת ותאוצת כלי-רכב

משך הפינוי של כלי-רכב (למעט רק"ל כמפורט בהמשך), יחושב בהנחה של מהירות קבועה עבור הרכב המהיר, ובהנחה של פינוי בתאוצה (a1) עבור הרכב האיטי. הנוסחה לחישוב תאוצת הרכב המפנה האיטי מפורטת בסעיף 5.5 לפרק זה.

התאוצה (a) המשמשת לחישוב מרחק הבלימה של רכב המתקרב לצומת (למעט רק"ל המפורט בהמשך), תהיה שווה ל-3.5 מ'/שנ².

5.3.7 תאוצת ותאוצת אופניים

משך הפינוי של האופניים, יחושב בהנחה של מהירות קבועה ללא התחשבות בתאוצה. התאוצה (a) המשמשת לחישוב מרחק הבלימה של אופניים המתקרבים לצומת, תהיה שווה ל-3.5 מ'/שנ².

5.3.8 תאוצת ותאוצת רק"ל

התאוצה המרבית (a) לחישוב זמני פינוי של רק"ל, תהיה בערך קבוע של 1.2 מ'/שנ². התאוצה המרבית (a1) לחישוב זמני פינוי של רק"ל ממצב עצירה, תהיה בערך קבוע של 1.2 מ'/שנ². במקרה שמאפייני התפעול של רכב הרק"ל יהיו שונים, יש להשתמש בערכים של מאפייני התפעול.

5.3.9 זמן תגובה

זמן התגובה של הנהג (t), ברכב מכל סוג שהוא, יחושב כ-1.0 שניות.

5.4 מדידת מרחקי פינוי וכניסה

5.4.1 קביעת נקודות הניגוד בין תנועות נוגדות בצומת

זמן בין-ירוקים נועד כאמור להבטיח שתנועות אשר מסלול הנסיעה (או ההליכה) שלהם נמצא בניגוד זה לזה, יוכלו לעבור את הצומת בבטחה.

אופן חישוב הזמנים הבין-ירוקים והנוסחאות הרלוונטיות מתוארים בסעיפים 5.5-5.6. החישוב תלוי בין היתר במאפיינים הגיאומטריים של הצומת, ודורש מדידה של מרחקים רלוונטיים.

סעיף זה מפרט את העקרונות ואופן המדידה של המרחקים הנדרשים בחישוב הזמנים הבין-ירוקים עבור מקרים שונים של תנועות הנמצאות בניגוד. סימון הפרמטרים המוצגים בפרק זה לקוח מתוך סעיף 5.5 המפרט את נוסחאות החישוב.

לצורך מדידת המרחקים הרלוונטיים ישמשו המושגים הבאים:

- **מסלול נסיעה** של תנועת כלי-רכב, מתאר מסלול נסיעה אפשרי מקו העצירה שלפני הכניסה לצומת ועד ליציאה מהצומת. כאשר יש מספר נתיבים לתנועה בכניסה/יציאה מהצומת, יהיו בדרך כלל מספר מסלולי נסיעה אפשריים.
 - **ציר מסלול הנסיעה** מסומן באמצע מסלול הנסיעה של כלי-הרכב, ומשמש לקביעת נקודת הניגוד ולמדידת מרחקי הנסיעה של תנועה זו.
 - **נקודת ניגוד** היא הנקודה בה שתי תנועות נוגדות נפגשות (מפגש צירי מסלולי הנסיעה).
 - **נקודת ניגוד קריטית** של שתי תנועות נוגדות היא נקודת הניגוד שבה חישוב זמן בין-ירוקים מניב את הזמן הארוך ביותר. זמן בין-ירוקים בין שני מופעים הכוללים את התנועות הנוגדות, לעולם לא יפחת מהזמן המחושב לנקודת הניגוד הקריטית של תנועות אלה.
- הערה: כאשר ישנן מספר נקודות ניגוד וניתן לאתר מתוכן נקודת ניגוד אחת שבה מרחק הפינוי הוא הגדול ביותר מבין כל נקודות הניגוד השונות, וגם מרחק הכניסה הוא הקצר ביותר מבין כל הנקודות – זו תהיה נקודת הניגוד הקריטית. בכל מקרה אחר, או מקרה של ספק, יש לחשב זמן בין-ירוקים עבור נקודות הניגוד השונות שבספק, ולבחור את המתאימה.
- אופן מדידת המרחקים במקרים השונים מוצג בסעיפים הבאים.

5.4.2 רכב מפנה – רכב נכנס, מרחקי פינוי וכניסה

אופן המדידה

מרחק הכניסה לרכב (L3) – יימדד מקו עצירה ועד לנקודת הניגוד.
מרחק פינוי לרכב (L2) – יימדד מקו העצירה ועד לנקודת הניגוד.

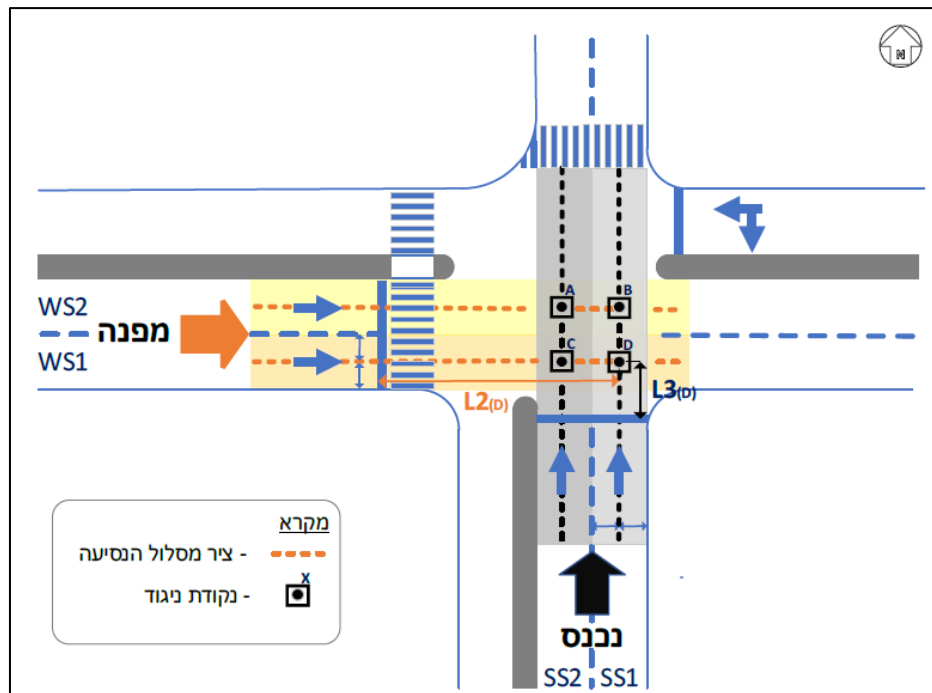
דוגמא א'

תרשים 5.1 מציג דוגמה סכימתית למדידת המרחקים שישמשו בחישוב הזמנים הבין-ירוקים עבור המקרה בו התנועה ישר מדרום (SS) מפנה את הצומת, והתנועה ישר ממערב (WS) נכנסת לצומת.

המרחקים מוצגים עבור נקודת הניגוד D.

בדוגמה זו ישנם שני נתיבים לתנועה המפנה ממערב, ושני נתיבים לתנועה הנכנסת מדרום, ובהתאם נוצרות ארבע נקודות ניגוד אפשריות (A,B,C,D). במקרה זה ברור שנקודה D היא הקריטית (מרחק מפנה מרבי ומרחק נכנס מזערי).

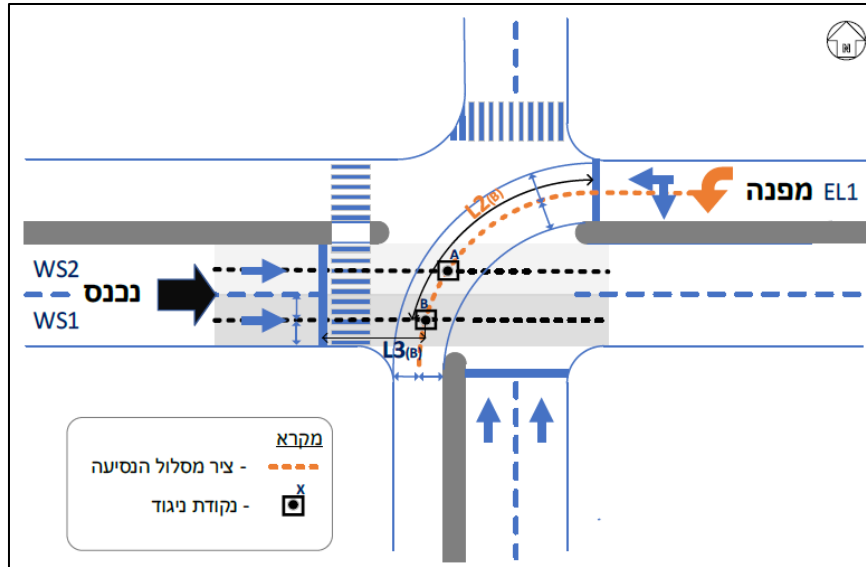
מודגש כי במקרים שאינם ברורים, או שיש ספק כלשהוא, יש לחשב את הזמנים עבור כל הנקודות ולבחור את הנקודה המניבה את הזמן בין-ירוקים הארוך ביותר.



תרשים 5.1: מדידת מרחקים בין רכב מפנה לרכב נכנס – דוגמה א'

דוגמה ב'

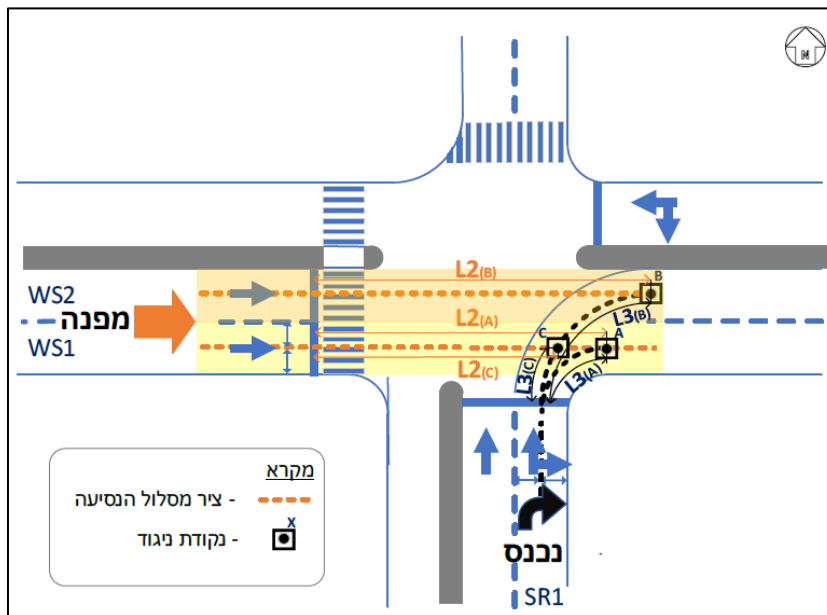
תרשים 5.2 מציג דוגמה סכימתית למדידת המרחקים שישמשו בחישוב הזמנים הבין-ירוקים, עבור המקרה שבו התנועה שמאלה ממזרח (EL) מפנה את הצומת, והתנועה ישר ממערב (WS) נכנסת לצומת. בדוגמה זו ישנן שתי נקודות ניגוד אפשריות (A,B). נקודת הניגוד הקריטית במקרה זה היא נקודה B. מודגש כי במקרים שאינם ברורים, או שיש ספק כלשהוא, יש לחשב את הזמנים עבור כל נקודות הניגוד ולבחור את הנקודה המניבה את הזמן בין-ירוקים הארוך ביותר.



תרשים 5.2: מדידת מרחקים בין רכב מפנה לרכב נכנס – דוגמה ב'

דוגמה ג'

תרשים 5.3 מציג דוגמה סכימתית למדידת המרחקים שימשו בחישוב הזמנים הבין-ירוקים, למקרה שבו התנועה ישר ממערב (WS) מפנה את הצומת, והתנועה ימינה מדרום (SR) נכנסת לצומת. בדוגמה זו יש שלוש נקודות ניגוד אפשריות (A,B,C), מתוך הנחה מחמירה שהרכב הפונה ימינה יכול לפנות לכל אחד משני הנתיבים ולא לנתיב הימני בלבד. נקודת הניגוד הקריטית במקרה זה אינה ברורה, ויכולה להיות A, B או C. לפיכך, יש לחשב את הזמנים עבור שלוש נקודות אלו, ולבחור את הנקודה המניבה את הזמן הבין-ירוקים הארוך יותר.



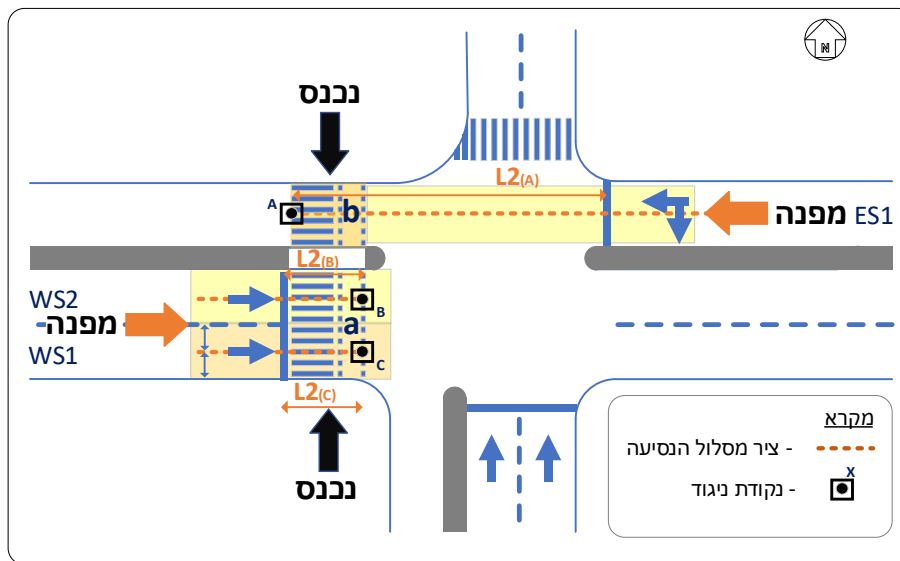
תרשים 5.3: מדידת מרחקים בין רכב מפנה לרכב נכנס – דוגמה ג'

5.4.3 רכב מפנה – הולך-רגל (או ה"ר ואופניים במופע משותף) נכנס, מרחקי פינוי וכניסה

אופן המדידה

מרחק כניסה להולכי-רגל/אופניים – יהיה שווה ל-0, ובהתאם, זמן הכניסה (T3) שווה ל-0. מרחק הפינוי של כלי-הרכב – יימדד מקו העצירה ועד לקצה הרחוק של מעבר החצייה של הולכי-הרגל או רוכבי האופניים, הרחוק מביניהם.

תרשים 5.4 מציג דוגמה סכימתית למדידת המרחקים שימשו בחישוב הזמנים הבין-ירוקים, עבור מקרה שבו התנועה ישר ממערב (WS1, WS2) מפנה את הצומת, והולך-רגל ואופניים במעבר חצייה a נכנסים למעבר החצייה, ועבור מקרה בו תנועה ישר ממזרח (ES1) מפנה את הצומת, והולך-רגל ואופניים במעבר חצייה b נכנסים למעבר החצייה. עבור התנועה המפנה ממערב, הנקודה הקריטית הינה B או C (המרחקים זהים לשניהם), ועבור התנועה המפנה ממזרח, הנקודה הקריטית הינה A. הנקודות הקריטיות מייצגות את המרחק המפנה המירבי עד הקצה הרחוק של מעבר החצייה (כולל מעבר החצייה לאופניים). מודגש כי במקרים שאינם ברורים, או שיש ספק כלשהוא, יש לחשב את הזמנים עבור כל נקודות הניגוד, ולבחור את הנקודה המניבה את הזמן בין-ירוקים הארוך ביותר.



תרשים 5.4: מדידת מרחקים בין רכב מפנה להולך-רגל/אופניים נכנס

5.4.4 הולך-רגל (או ה"ר ואופניים במופע משותף) מפנה – רכב נכנס, מרחקי פינוי וכניסה

אופן המדידה

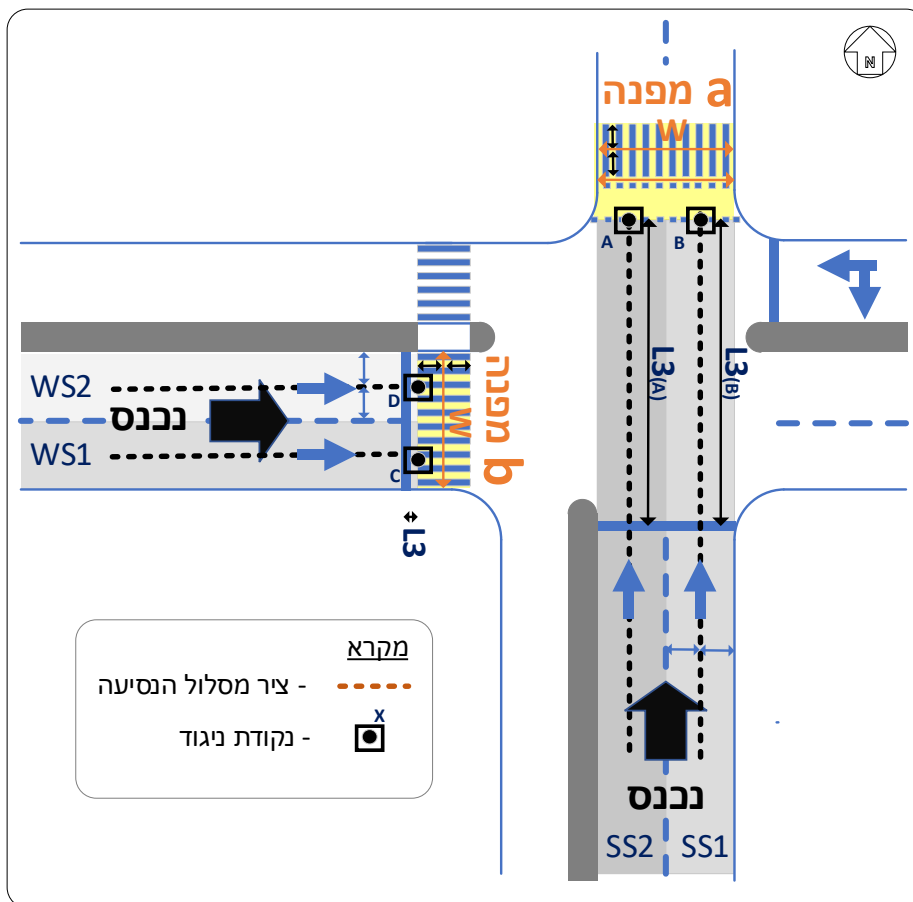
מרחק הכניסה לרכב (L3) – יימדד מקו עצירה ועד לנקודת הניגוד שתסומן בצד הקרוב של מעבר החצייה להולכי-רגל או רוכבי האופניים, הקרוב מביניהם. אם מרחק זה קצר מ-1.5 מטר, יחושב ערכו של מרחק זה כ-0 מטר.

מרחק החצייה להולכי-רגל / אופניים (W): יימדד במרכז מעבר החצייה להולכי רגל, וכן במרווח שבין מעבר החצייה להולכי רגל ומעבר החצייה לאופניים. ייבחר המרחק הארוך יותר.

תרשים 5.5 מציג דוגמאות סכימתיות למדידת המרחקים שימשו בחישוב הזמנים הבין-ירוקים עבור מקרה שבו הולך-רגל ואופניים במופע משותף מפנים מעבר חצייה, ותנועת כלי-רכב, הנמצאת בניגוד לתנועה זו, נכנסת לצומת.

הדוגמה הראשונה מציגה מקרה בו הולך-רגל מפנה את מעבר חצייה a, מופע משותף להולכי רגל ולאופניים, ורכב בתנועה ישר מדרום (SS) נכנס לצומת.

בדוגמה זו ישנן שתי נקודות ניגוד אפשריות (A,B). נקודת הניגוד הקריטית במקרה זה היא נקודה A או B (המרחקים זהים לשתיהן). מודגש כי במקרים שאינם ברורים, או שיש ספק כלשהוא, יש לחשב את הזמנים עבור כל נקודות הניגוד ולבחור את הנקודה המניבה את הזמן בין-ירוקים הארוך ביותר.



תרשים 5.5: מדידת מרחקים בין הולך-רגל/אופניים מפנה לרכב נכנס

הדוגמה השנייה מציגה מקרה בו הולך-רגל מפנה את מעבר חצייה b, ורכב בתנועה ישר ממערב (WS) נכנס לצומת.

בדוגמה זו $L3 < 1.5$, ולכן ערכו של L3 יחושב כ-0 מטר.

גם במקרה זה ישנן שתי נקודות ניגוד אפשריות (C,D), בדומה לדוגמה הראשונה.

5.4.5 מרחקי פינוי וכניסה עבור אופניים

אופן המדידה

אופן המדידה למופע אופניים החוצה את הצומת בנתיב או בשביל, זהה לאופן המדידה של שאר כלי-הרכב.

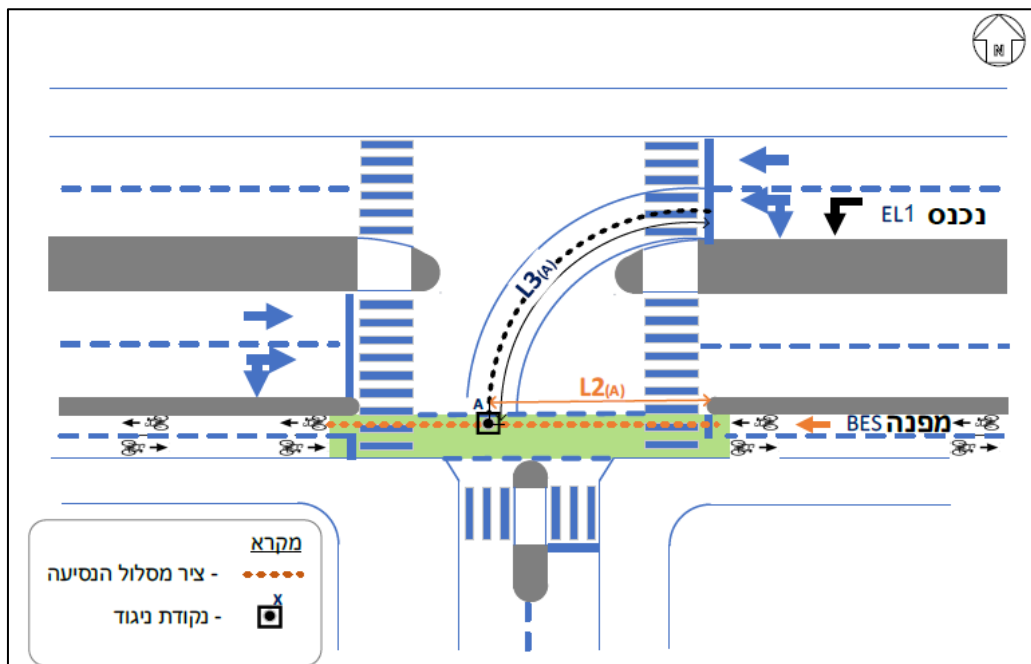
מרחק הכניסה לאופניים (L3) – יימדד מקו עצירה ועד לנקודת הניגוד (בקונפליקט עם רכב מנועי/אופניים/רק"ל) או עד הצד הקרוב של מעבר החצייה (בקונפליקט עם הולך-רגל).

מרחק פינוי לאופניים (L2) – יימדד מקו העצירה ועד לנקודת הניגוד (בקונפליקט עם רכב מנועי/אופניים/רק"ל) או עד לקצה הרחוק של מעבר החצייה (בקונפליקט עם הולך-רגל).

כאשר מוסדר תא-אופן, מרחקי הכניסה והפינוי יימדדו מקו העצירה הקדמי של התא-אופן.

כאשר רוכב האופניים חוצה את הצומת במעבר חצייה במופע משותף עם הולך-הרגל, חישוב מרחקי הכניסה והפינוי יהיה בהתאם למתודולוגיה המתוארת בסעיפים 5.4.3 ו- 5.4.4.

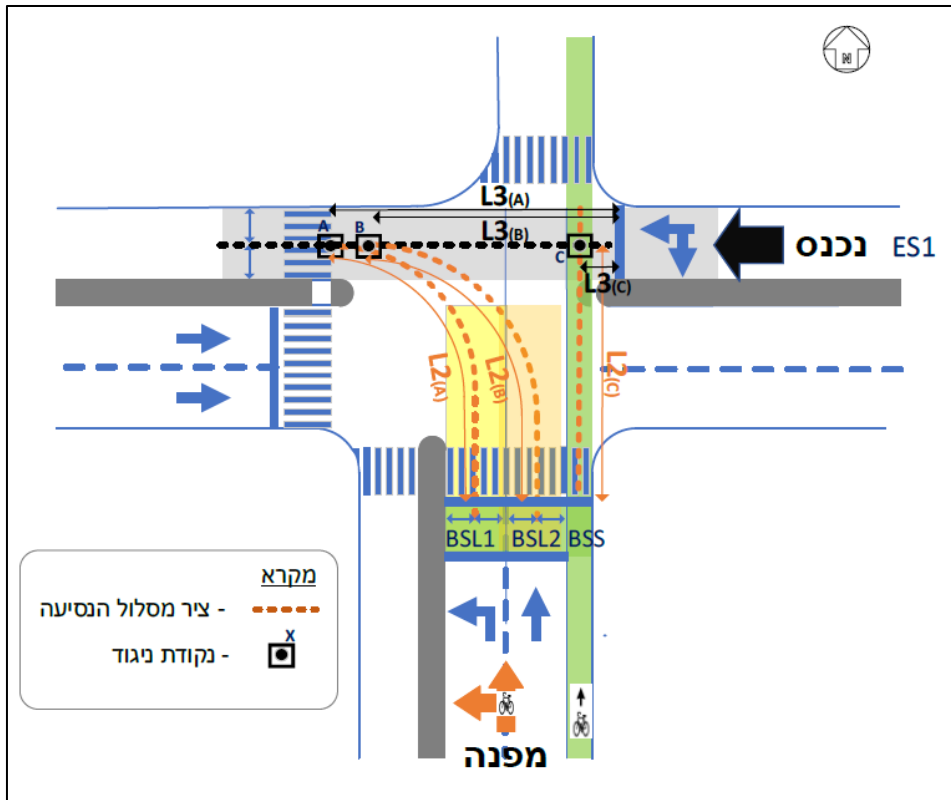
תרשים 5.6 מציג דוגמה סכימתית למדידת המרחקים שימשו בחישוב הזמנים הבין-ירוקים עבור מקרה שבו אופניים ברמת הפרדה ג' מכיוון מזרח (BES) מפנה את הצומת, ותנועת רכב שמאלה ממזרח (EL1) נכנסת לצומת. בדוגמה זו הנקודה הקריטית המתקבלת הינה A.



תרשים 5.6: מדידת מרחקים בין אופניים מפנה לרכב נכנס

תרשים 5.7 מציג דוגמה סכימתית למדידת המרחקים שימשו בחישוב הזמנים הבין-ירוקים עבור מקרה שבו תנועת אופניים עם תא-אופן מרמת הפרדה ב' (BSS, BSL) מפנה את הצומת, ותנועת רכב ישר ממזרח (ES1) נכנסת לצומת. במקרה זה מתקבלות שתי נקודות ניקוד אפשריות (A, B).

נקודת הניגוד הקריטית אינה ברורה ולפיכך יש לחשב את הזמנים עבור שתי נקודות אלה ולבחור את הנקודה המניבה את הזמן הבין-ירוקים הארוך יותר.



תרשים 5.7: מדידת מרחקים בין אופניים (עם תא-אופן) מפנה לרכב נכנס

5.4.6 מרחקי פינוי וכניסה עבור רק"ל

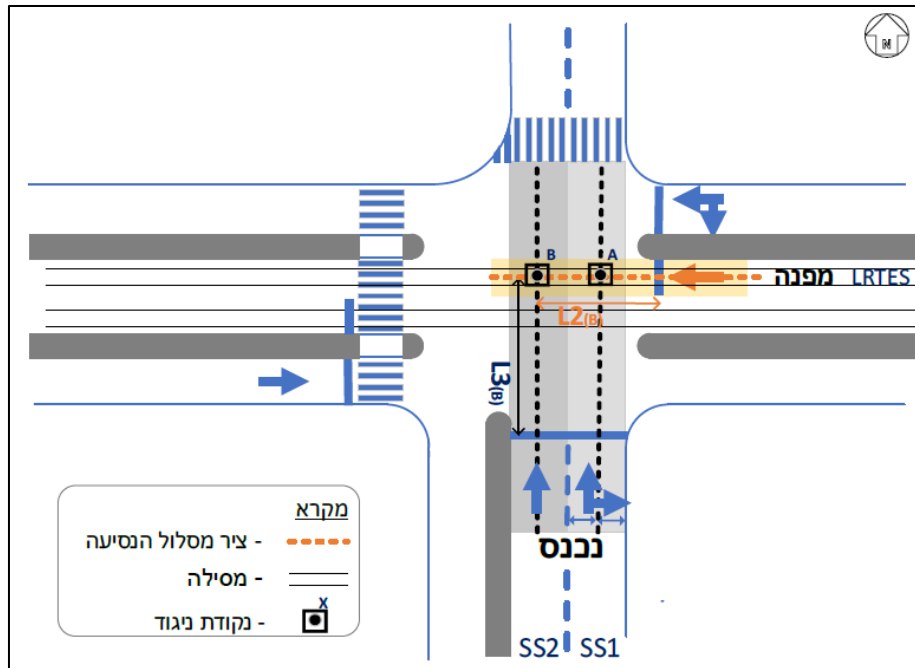
אופן המדידה

אופן המדידה לרק"ל זהה לאופן המדידה של כלי-הרכב.

מרחק הכניסה לרק"ל (L3) – יימדד מקו העצירה ועד לנקודת הניגוד (בקונפליקט עם רכב מנועי / אופניים / רק"ל). בקונפליקט עם הולך רגל בלבד יימדד מרחק הכניסה לרק"ל עד לנקודת הניגוד שתסומן בצד הקרוב של מעבר החצייה. בקונפליקט עם הולך רגל ואופניים במופע משותף, יימדד מרחק הכניסה עד לנקודת הניגוד שתסומן בצד הקרוב של מעבר החצייה להולכי רגל או רוכבי האופניים, הקרוב מביניהם. אם מרחק הכניסה של הרק"ל קטן מ- 1.5 מטר, יחושב ערכו של מרחק זה כ- 0 מטר.

מרחק פינוי לרק"ל (L2) – יימדד מקו העצירה ועד לנקודת הניגוד (בקונפליקט עם רכב מנועי / אופניים / רק"ל) או עד לקצה הרחוק של מעבר החצייה של הולכי רגל או רוכבי אופניים, הרחוק מביניהם (בקונפליקט עם הולך רגל או הולך רגל ואופניים במופע משותף).

תרשים 5.8 מציג דוגמה סכימתית למדידת המרחקים שישמשו בחישוב הזמנים הבין-ירוקים עבור מקרה שבו רק"ל מכיוון מזרח (LRTES) מפנה את הצומת, ותנועת רכב ישר מדרום (SS1, SS2) נכנסת לצומת. במקרה זה מתקבלות שתי נקודות ניקוד אפשריות (A, B). הנקודה הקריטית הינה B, מאחר שהמרחק המפנה של הרק"ל לנקודה זו הוא הארוך יותר, ומרחקי הכניסה של הרכב לשתי הנקודות זהים.



תרשים 5.8: מדידת מרחקים בין רק"ל מפנה לרכב נכנס

5.5 חישוב משך פינוי וכניסה

5.5.1 משך הפינוי לכלי-הרכב המפנה

משך הפינוי הכללי של הרכב המפנה, T2, הינו משך הזמן שלוקח לרכב האחרון לעבור את המרחק מנקודת הדילמה (הנקודה בה מרחק העצירה המחושב שווה למרחק הרכב מקו העצירה), ועד פינוי מלא של נקודת הניגוד, בתוספת זמן התגובה. חישוב משך הפינוי מבוסס על משתני הקלט הבאים:

- מהירות רכב מפנה מהיר (SX);
- מהירות רכב מפנה איטי (SY);
- אורך הרכב המפנה (l);
- זמן תגובת הנהג (t);
- תאוצת הבלימה (a);
- תאוצת הפינוי עבור הרכב האיטי (a1Y);
- מרחק הפינוי מקו העצירה ועד נקודת הניגוד (L2).

הגדרות הפרמטרים וערכם לצורך החישוב מפורטים בסעיף 5.3. אופן המדידה של L2 מפורט בסעיף 5.4.

משך הפינוי יחושב עבור שני מצבים: רכב המפנה במהירות איטית ורכב מפנה במהירות מהירה.

א. מהירות הפינני

מהירות פינני הרכב המהיר מחושבת על פי הנוסחה:

$$S_x = \frac{SX}{3.6}$$

כאשר:

- S_x – מהירות הרכב המפנה המהיר (מ'/שנ')
- SX – מהירות הרכב המפנה המהיר (ק"מ/שעה)
- 3.6 – מקדם המרת יחידות.

מהירות פינני הרכב האיטי מחושבת על פי הנוסחה:

$$S_y = \frac{SY}{3.6}$$

כאשר:

- S_y – מהירות הרכב המפנה האיטי (מ'/שנ')
- SY – מהירות הרכב המפנה האיטי (ק"מ/שעה)
- 3.6 – מקדם המרת יחידות.

ב. מרחק הפינני

מרחק הפינני מחושב על בסיס מרחק הבלימה ($L1$), המרחק מקו העצירה עד לנקודת הניגוד ($L2$), ואורך הרכב (l).

מרחק הבלימה עבור הרכב המפנה המהיר מחושב לפי הנוסחה:

$$L1X = \frac{S_x^2}{2a}$$

כאשר:

- $L1X$ – מרחק הבלימה של הרכב המפנה המהיר (מ')
- S_x – מהירות הרכב המפנה המהיר (מ'/שנ')
- a – תאוצת הבלימה (מ'/שנ'²)

מרחק הבלימה עבור הרכב המפנה האיטי מחושב לפי הנוסחה:

$$L1Y = \frac{S_y^2}{2a}$$

כאשר:

- $L1Y$ – מרחק הבלימה של הרכב המפנה האיטי (מ')
- S_y – מהירות הרכב המפנה האיטי (מ'/שנ')
- a – תאוצת הבלימה (מ'/שנ'²)

מרחק הפינני הכולל לרכב המפנה המהיר מחושב על פי הנוסחה:

$$LX = L1X + L2 + I$$

כאשר:

- LX – מרחק הפינני הכולל לרכב המפנה המהיר (מ')
- L1X – מרחק הבלימה של הרכב המפנה המהיר (מ')
- L2 – מרחק הפינני מקו העצירה ועד נקודת הניגוד (מ')
- I – אורך הרכב המפנה (מ'/שנ')

מרחק הפינני הכולל לרכב המפנה האיטי מחושב על פי הנוסחה

$$LY = L1Y + L2 + I$$

כאשר:

- LY – מרחק הפינני הכולל לרכב המפנה האיטי (מ')
- L1Y – מרחק הבלימה של הרכב המפנה האיטי (מ')
- L2 – מרחק הפינני מקו העצירה ועד נקודת הניגוד (מ')
- I – אורך הרכב המפנה (מ'/שנ')

ג. תאוצת הרכב המפנה

פינני הרכב המהיר הינו במהירות קבועה. לפיכך, תאוצת הרכב המפנה המהיר הינה אפס, ולא נעשה שימוש בחישוב התאוצה.

תאוצת הרכב המפנה האיטי מחושבת לפי הנוסחה הבאה:

$$a1Y = 1.5 - 1.5 \frac{SY}{50}$$

כאשר:

- a1Y – תאוצת הרכב המפנה האיטי (מ'/שנ'²)
 - SY – מהירות הרכב המפנה האיטי (ק"מ/שעה)
- מהנוסחה ניתן לראות שערך התאוצה יורד ככל שמהירות כלי-הרכב גבוהה יותר.

ד. משך הפינני

משך הפינני לרכב המפנה המהיר מחושב לפי הנוסחה:

$$T2X = t + \frac{LX}{S_x}$$

כאשר:

- T2X – משך הפינני לרכב המפנה המהיר (שנ')
- t – זמן תגובת הנהג (שנ')
- LX – מרחק הפינני הכולל לרכב המפנה המהיר (מ')
- S_x – מהירות הרכב המפנה המהיר (מ'/שנ')

משך הפינוי לרכב המפנה האיטי מחושב לפי הנוסחה:

$$T2Y = t + \frac{-S_y + \sqrt{S_y^2 + 2 \cdot LY \cdot a1Y}}{a1Y}$$

כאשר:

- $T2Y$ – משך הפינוי לרכב המפנה האיטי (שנ')
- t – זמן תגובת הנהג (שנ')
- LY – מרחק הפינוי הכולל לרכב המפנה האיטי (מ')
- S_y – מהירות הרכב המפנה האיטי (מ'/שנ')
- $a1Y$ – תאוצת הרכב המפנה האיטי (מ'/שנ'²)

משך הפינוי הכללי של הרכב המפנה מחושב לפי הערך המרבי מבין: משך הפינוי לרכב המפנה המהיר, ומשך הפינוי לרכב המפנה האיטי:

$$T2 = \max(T2X, T2Y)$$

כאשר:

- $T2$ – משך הפינוי הכולל לרכב המפנה (שנ')
- $T2X$ – משך הפינוי לרכב המפנה המהיר (שנ')
- $T2Y$ – משך הפינוי לרכב המפנה האיטי (שנ')

5.5.2 משך הכניסה לכלי-הרכב הנכנס

משך הכניסה לכלי-הרכב הנכנס, $T3$, הינו משך הזמן שלוקח לרכב לעבור את המרחק מקו העצירה ועד נקודת הניגוד. חישוב משך הכניסה מבוסס על משתני הקלט הבאים:

- מהירות רכב נכנס (SZ) ;
 - המרחק מקו העצירה ועד נקודת הניגוד $(L3)$.
- הגדרות הפרמטרים וערכם לצורך החישוב מפורט בסעיף 5.3. אופן המדידה של $L3$ מפורט בסעיף 5.4. משך הכניסה מחושב עבור רכב נכנס במהירות מהירה בלבד, המייצגת את המצב המחמיר.

א. מהירות הכניסה

מהירות כניסת הרכב מחושבת על פי הנוסחה:

$$S_z = \frac{SZ}{3.6}$$

כאשר:

- S_z – מהירות הרכב הנכנס (מ'/שנ')
- SZ – מהירות הרכב הנכנס (ק"מ/שעה)
- 3.6 – מקדם המרת יחידות

ב. משך הכניסה

משך הכניסה לרכב מחושב לפי הנוסחה:

$$T_3 = \frac{L_3}{S_z}$$

כאשר:

- T_3 – משך הכניסה לרכב הנכנס (שנ')
- L_3 – מרחק הכניסה מקו העצירה ועד נקודת הניגוד (מ')
- S_z – מהירות הרכב הנכנס (מ'/שנ')

5.5.3 משך הפינוי להולך-רגל

משך הפינוי של הולך-רגל את מעבר החצייה, T_w , הינו משך הזמן שלוקח להולך-הרגל לחצות את מעבר החצייה במלואו. חישוב משך הפינוי להולך-הרגל מבוסס על משתני הקלט הבאים:

- מרחק הפינוי של הולך-הרגל או הולך רגל ואופניים במופע משותף (W);
- מהירות הולך-הרגל (S_p).

הגדרות הפרמטרים וערכם לצורך החישוב מפורטים בסעיף 5.3. אופן המדידה של מעבר החצייה מפורט בסעיף 5.4.

משך הפינוי מחושב לפי הנוסחה:

$$T_w = \frac{W}{S_p}$$

כאשר:

- T_w – משך הפינוי של הולך-הרגל (שנ')
- W – מרחק הפינוי של הולך-הרגל או הולך רגל ואופניים במופע משותף (מ')
- S_p – מהירות הולך-הרגל (מ'/שנ')

5.5.4 משך הכניסה להולך-רגל

משך הכניסה להולך-רגל יוגדר תמיד אפס. ההנחה הינה שבעת פתיחת הירוק, הולך-הרגל נכנס מיידית למעבר החצייה.

5.5.5 משך הפינוי לאופניים

משך הפינוי הכללי של האופניים המפנים, T_2 , הינו משך הזמן שלוקח לאופניים האחרונים לעבור את המרחק מנקודת הדילמה (הנקודה בה מרחק העצירה המחושב שווה למרחק האופניים מקו העצירה), ועד פינוי מלא של נקודת הניגוד, בתוספת זמן התגובה. חישוב משך הפינוי מבוסס על משתני הקלט הבאים:

- מהירות אופניים מהירים מפנים (S_X);
- מהירות אופניים איטיים מפנים (S_Y);

- אורך אופניים מפנים (l);
 - זמן תגובת הרוכב (t);
 - תאוצת הבלימה (a);
 - מרחק הפינוי מקו העצירה ועד נקודת הניגוד (L2).
- הגדרות הפרמטרים וערכם לצורך החישוב מפורטים בסעיף 5.3. אופן המדידה של L2 מפורט בסעיף 5.4.
- משך הפינוי יחושב עבור שני מצבים: אופניים מפנים במהירות איטית, ואופניים מפנים במהירות מהירה.

א. מהירות הפינוי

מהירות פינוי האופניים המהירים מחושבת על פי הנוסחה:

$$S_x = \frac{SX}{3.6}$$

כאשר:

- S_x – מהירות האופניים המהירים המפנים (מ"/שנ')
- SX – מהירות האופניים המהירים המפנים (ק"מ/שעה)
- 3.6 – מקדם המרת יחידות.

מהירות פינוי האופניים האיטיים מחושבת על פי הנוסחה:

$$S_y = \frac{SY}{3.6}$$

כאשר:

- S_y – מהירות האופניים האיטיים המפנים (מ"/שנ')
- SY – מהירות האופניים האיטיים המפנים (ק"מ/שעה)
- 3.6 – מקדם המרת יחידות.

ב. מרחק הפינוי

מרחק הפינוי מחושב על בסיס מרחק הבלימה (L1), המרחק מקו העצירה עד לנקודת הניגוד (L2), ואורך האופניים (l).

מרחק הבלימה עבור האופניים המהירים המפנים מחושב לפי הנוסחה:

$$L1X = \frac{S_x^2}{2a}$$

כאשר:

- $L1X$ – מרחק הבלימה של האופניים המהירים המפנים (מ')
- S_x – מהירות האופניים המהירים המפנים (מ"/שנ')
- a – תאוצת הבלימה (מ"/שנ²)

מרחק הבלימה עבור האופניים האיטיים מחושב לפי הנוסחה:

$$L1Y = \frac{S_y^2}{2a}$$

כאשר:

- L1Y – מרחק הבלימה של האופניים האיטיים המפנים (מ')
- S_y – מהירות האופניים האיטיים המפנים (מ'/שנ')
- a – תאוצת הבלימה (מ'/שנ²)

מרחק הפינוי הכולל לאופניים המהירים מחושב על פי הנוסחה:

$$LX = L1X + L2 + I$$

כאשר:

- LX – מרחק הפינוי הכולל לאופניים המהירים המפנים (מ')
- L1X – מרחק הבלימה של האופניים המהירים המפנים (מ')
- L2 – מרחק הפינוי מקו העצירה ועד נקודת הניגוד (מ')
- I – אורך האופניים המפנים (מ')

מרחק הפינוי הכולל לאופניים האיטיים מחושב על פי הנוסחה:

$$LY = L1Y + L2 + I$$

כאשר:

- LY – מרחק הפינוי הכולל לאופניים האיטיים המפנים (מ')
- L1Y – מרחק הבלימה של האופניים האיטיים המפנים (מ')
- L2 – מרחק הפינוי מקו העצירה ועד נקודת הניגוד (מ')
- I – אורך האופניים המפנים (מ')

ג. משך הפינוי

משך הפינוי לאופניים המהירים המפנים מחושב לפי הנוסחה:

$$T2X = t + \frac{LX}{S_x}$$

כאשר:

- T2X – משך הפינוי לאופניים המהירים המפנים (שנ')
- t – זמן תגובת הרוכב (שנ')
- LX – מרחק הפינוי הכולל לאופניים המהירים המפנים (מ')
- S_x – מהירות האופניים המהירים המפנים (מ'/שנ')

משך הפינוי לאופניים האיטיים המפנים מחושב לפי הנוסחה:

$$T2Y = t + \frac{LY}{S_y}$$

כאשר:

$T2Y$ – משך הפינוי לאופניים האיטיים המפנים (שנ')

t – זמן תגובת הרוכב (שנ')

LY – מרחק הפינוי הכולל לאופניים האיטיים המפנים (מ')

S_y – מהירות האופניים האיטיים המפנים (מ'/שנ')

משך הפינוי הכללי של האופניים המפנים מחושב לפי הערך המרבי מבין משך הפינוי לאופניים מהירים מפנים ומשך הפינוי לאופניים איטיים מפנים:

$$T2 = \max(T2X, T2Y)$$

כאשר:

$T2$ – משך הפינוי הכולל לאופניים מפנים (שנ')

$T2X$ – משך הפינוי לאופניים המהירים המפנים (שנ')

$T2Y$ – משך הפינוי לאופניים האיטיים המפנים (שנ')

5.5.6 משך הכניסה לאופניים

משך הכניסה לאופניים נכנסים, $T3$, הינו משך הזמן שלוקח לאופניים לעבור את המרחק מקו העצירה ועד נקודת הניגוד. חישוב משך הכניסה מבוסס על משתני הקלט הבאים:

- מהירות אופניים נכנסים (SZ)

- המרחק מקו העצירה ועד נקודת הניגוד ($L3$)

הגדרות הפרמטרים וערכם לצורך החישוב מפורטים בסעיף 5.3. אופן המדידה של $L3$ מפורט בסעיף 5.4. משך הכניסה מחושב עבור אופניים נכנסים במהירות מהירה בלבד, המייצגת את המצב המחמיר.

מהירות הכניסה

מהירות כניסת האופניים מחושבת על פי הנוסחה:

$$S_z = \frac{SZ}{3.6}$$

כאשר:

S_z – מהירות האופניים הנכנסים (מ'/שנ')

SZ – מהירות האופניים הנכנסים (ק"מ/שעה)

3.6 – מקדם המרת יחידות.

משך הכניסה

משך הכניסה לאופניים מחושבים לפי הנוסחה:

$$T3 = \frac{L3}{S_z}$$

כאשר:

- T3 – משך הכניסה לאופניים נכנסים (שנ')
- L3 – מרחק הכניסה מקו העצירה ועד נקודת הניגוד (מ')
- S_z – מהירות האופניים הנכנסים (מ'/שנ')
- SZ – מהירות האופניים הנכנסים (ק"מ/שעה)
- 3.6 – מקדם המרת יחידות.

5.5.7 משך הפינוי לרכבת קלה (רק"ל)

משך הפינוי הכללי של הרכבת הקלה, T2, הינו משך הזמן שלוקח לרק"ל לעבור את המרחק מנקודת הדילמה ועד פינוי של נקודת הניגוד בתוספת זמן התגובה, או משך הזמן שלוקח לרכבת לפנות ממצב עצירה ועד פינוי של נקודת הניגוד. חישוב משך הפינוי מבוסס על משתני הקלט הבאים:

- אורך הרק"ל לחישוב (l);
- זמן התגובה (t);
- מהירות הנסיעה המרבית (SX);
- מהירות הנסיעה האיטית (SY);
- תאוצת הבלימה (a);
- תאוצה (a1);
- מרחק הפינוי מקו העצירה ועד נקודת הניגוד (L2).

מקרה א – רק"ל נעה במהירות קבועה

א. מהירות הפינוי

מהירות פינוי הרק"ל המהירה מחושבת על פי הנוסחה:

$$S_x = \frac{SX}{3.6}$$

כאשר:

- S_x – מהירות הרק"ל המהירה המפנה (מ'/שנ')
- SX – מהירות הרק"ל המהירה המפנה (ק"מ/שעה)
- 3.6 – מקדם המרת יחידות.

מהירות פינוי הרק"ל האיטית מחושבת על פי הנוסחה:

$$S_y = \frac{SY}{3.6}$$

כאשר:

- S_y – מהירות הרק"ל האיטית המפנה (מ'/שנ')
- SY – מהירות הרק"ל האיטית המפנה (ק"מ/שעה)
- 3.6 – מקדם המרת יחידות.

ב. מרחק הבלימה

מרחק הבלימה עבור הרק"ל המהירה מחושב לפי הנוסחה:

$$L1X = \frac{S_x^2}{2a}$$

$$L1X = \frac{S_x^2}{2a}$$

כאשר:

- $L1X$ – מרחק הבלימה של הרק"ל המהיר המפנה (מ')
- S_x – מהירות הרק"ל המהירה המפנה (מ'/שנ')
- a – תאוצת הבלימה (מ'/שנ'²)

מרחק הבלימה עבור הרק"ל לפי המהירות האיטית מחושב לפי הנוסחה:

$$L1Y = \frac{S_y^2}{2a}$$

כאשר:

- $L1Y$ – מרחק הבלימה של הרק"ל האיטית המפנה (מ')
- S_y – מהירות הרק"ל האיטית המפנה (מ'/שנ')
- a – תאוצת הבלימה (מ'/שנ'²)

ג. משך הפינוי

משך הפינוי עבור הרק"ל המהירה מחושב לפי הנוסחה:

$$T2X = \frac{L1X + L2 + l}{S_x} + t$$

כאשר:

- $T2X$ – משך הפינוי של הרק"ל המהירה המפנה (שנ')
- $L1X$ – מרחק הבלימה של הרק"ל המהירה המפנה (מ')
- $L2$ – מרחק מקו עצירה עד נקודת הניגוד (מ')
- l – אורך הרק"ל לחישוב (מ')
- S_x – מהירות הרק"ל המהירה המפנה (מ'/שנ')
- t – זמן תגובת הרוכב (שנ')

משך הפינוי עבור הרק"ל האיטית מחושב לפי הנוסחה:

$$T2Y = \frac{L1Y + L2 + I}{S_y} + t$$

כאשר:

- $T2Y$ – משך הפינוי של הרק"ל האיטית המפנה (שנ')
- $L1Y$ – מרחק הבלימה של הרק"ל האיטית המפנה (מ')
- $L2$ – מרחק מקו עצירה עד נקודת הניגוד (מ')
- I – אורך הרק"ל לחישוב (מ')
- S_y – מהירות הרק"ל האיטית המפנה (מ'/שנ')
- t – זמן תגובת הרוכב (שנ')

משך הפינוי $T2$ עבור מקרה I בו רק"ל נעה במהירות קבועה יהיה הערך המרבי מבין:

$$T2_i = \max(T2X, T2Y)$$

כאשר:

- $T2$ – משך הפינוי של הרק"ל המפנה בנסיעה במהירות קבועה (שנ')
- $T2X$ – משך הפינוי של הרק"ל המהירה המפנה (שנ')
- $T2Y$ – משך הפינוי של הרק"ל האיטית המפנה (שנ')

מקרה II – פינוי ממצב עצירה

עבור מצב בו הרק"ל מתחילה להיכנס לצומת ממצב עצירה (לאחר שהות בתחנה או כאשר נעצרה בגישה לצומת), יחושב משך הפינוי ($T2$) לפי תנועה בתאוצה עד למהירות המרבית המותרת (S_x), ובקטע הפינוי הנותר במהירות קבועה השווה למהירות המרבית המותרת.

א. משך הפינוי

כאשר הפינוי מושלם בתחום מרחק התאוצה, כלומר מתקיים $L2 + I < \frac{S_x^2}{2a_1}$, זמן הפינוי עבור הרק"ל מחושב

לפי הנוסחה:

$$T2_{II} = \sqrt{\frac{2(L2 + I)}{a_1}}$$

כאשר:

- $T2_{II}$ – משך הפינוי של הרק"ל ממצב עצירה (שנ')
- $L2$ – מרחק מקו עצירה עד נקודת הניגוד (מ')
- I – אורך הרק"ל (מ')
- S_x – מהירות הרק"ל המהירה המפנה (מ'/שנ')
- a_1 – תאוצה (מ'/שנ'²)

כאשר הפינוי מושלם לאחר סיום התאוצה, כלומר מתקיים $\frac{S_x^2}{2a_1} > L_2 + l$, משך הפינוי עבור הרק"ל מחושב לפי הנוסחה:

$$T_{2||} = \frac{S_x}{a_1} + \frac{L_2 + l - \frac{S_x^2}{2a_1}}{S_x}$$

כאשר:

- $T_{2||}$ – משך הפינוי של הרק"ל ממצב עצירה (שנ')
- L_2 – מרחק מקו עצירה עד נקודת הניגוד (מ')
- l – אורך הרכב (מ')
- S_x – מהירות הרק"ל המהירה המפנה (מ'/שנ')
- a_1 – תאוצה (מ'/שנ'²)

ב. משך הפינוי הכללי

משך הפינוי הכללי של הרק"ל המפנה מחושב לפי הערך המרבי מבין משך זמני הפינוי של מקרים I ו-II

$$T_2 = \max(T_{2I}, T_{2||})$$

כאשר:

- T_2 – משך הפינוי הכולל לרק"ל (שנ')
- T_{2I} – משך הפינוי לרק"ל בנסיעה במהירות קבועה (שנ')
- $T_{2||}$ – משך הפינוי לרק"ל ממצב עצירה (שנ')

5.5.8 משך הכניסה לרכבת קלה (רק"ל)

משך הכניסה לרכבת קלה, T_3 , הינו משך הזמן שלוקח לרק"ל לעבור את המרחק מקו העצירה ועד לנקודת הניגוד. חישוב משך הכניסה מבוסס על משתני הקלט הבאים:

- מהירות רק"ל נכנסת (SZ);
 - המרחק מקו העצירה ועד נקודת הניגוד (L_3).
- הגדרות הפרמטרים וערכם לצורך החישוב מפורטים בסעיף 5.3. אופן המדידה של L_3 מפורט בסעיף 5.4. משך הכניסה מחושב עבור רק"ל הנכנסת במהירות מלאה, המייצגת את המצב המחמיר.

א. מהירות הכניסה

מהירות כניסת הרק"ל מחושבת על פי הנוסחה:

$$S_z = \frac{SZ}{3.6}$$

כאשר:

- S_z – מהירות כניסת הרק"ל (מ'/שנ')
- SZ – מהירות כניסת הרק"ל (ק"מ/שעה)
- 3.6 – מקדם המרת יחידות.

ב. משך הכניסה

משך הכניסה לרק"ל מחושב לפי הנוסחה:

$$T3 = \frac{L3}{S_z}$$

כאשר:

- T3 – משך הכניסה לרק"ל (שנ')
- L3 – מרחק הכניסה מקו עצירה עד נקודת הניגוד (מ')
- S_z – מהירות כניסת הרק"ל (מ'/שנ')

5.6 חישוב זמן בין-ירוקים סופי

הזמן הבין-ירוקים הסופי הינו ההפרש בין זמן הפינוי לבין זמן הכניסה. זמן זה מחושב עבור כל זוג תנועות שבניגוד, כדי לאפשר פינוי של נקודת הניגוד לפני כניסה של תנועה אחרת לנקודה זו.

5.6.1 זמן בין-ירוקים סופי בין רכב מפנה לבין רכב נכנס

זמן בין-ירוקים סופי זה מחושב בין רכב מנועי / אופניים / רק"ל מפנה, לבין רכב מנועי / אופניים / רק"ל נכנס. החישוב נעשה על פי הנוסחה:

$$T = \max(3, T2 - T3)$$

כאשר:

- T – זמן בין-ירוקים סופי, הגדול מבין הערך המעוגל כלפי מעלה של ההפרש בין T2 ל-T3 ו-3 (זמן מזערי) (שנ')
- T2 – זמן פינוי רכב מנועי / רק"ל / אופניים המפנה (שנ')
- T3 – זמן כניסת רכב מנועי / רק"ל / אופניים הנכנס (שנ')

5.6.2 זמן בין-ירוקים סופי בין רכב מפנה לבין הולך-רגל נכנס

זמן בין-ירוקים סופי זה מחושב בין רכב מנועי / אופניים / רק"ל מפנה לבין הולך-רגל נכנס. החישוב נעשה על פי הנוסחה:

$$T = \max(3, T2)$$

כאשר:

- T – זמן בין-ירוקים סופי, הגדול מבין הערך המעוגל כלפי מעלה של זמן פינוי הרכב המפנה, ו-3 (זמן מזערי) (שנ')
- T2 – זמן פינוי רכב מנועי / אופניים / רק"ל המפנה (שנ')

5.6.3 זמן בין-ירוקים סופי בין הולך-רגל מפנה לבין רכב נכנס

זמן בין-ירוקים סופי זה מחושב בין הולך-רגל מפנה לבין רכב מנועי / אופניים / רק"ל נכנס. החישוב נעשה על פי הנוסחה:

$$T = \max(3, T_w - T_3)$$

כאשר:

T – זמן בין-ירוקים סופי, הגדול מבין הערך המעוגל כלפי מעלה של ההפרש בין T_w ל- T_3 ו-3 (זמן מזערי) (שנ')

T_w – זמן פינוי הולך-הרגל (שנ')

T_3 – זמן כניסת רכב מנועי / אופניים / רק"ל המפנה (שנ')

5.7 יישום מטריצת בין-ירוקים

בתכנון תכניות הזמנים יש לקבוע את הזמנים הבין-ירוקים בין כל התנועות בצומת (רכב מנועי, הולכי-רגל, אופניים, רק"ל) ובהתאם לכך לרכז את הזמנים הבין-ירוקים בין המופעים בצומת בטבלת הזמנים הבין-ירוקים (מטריצת בין-ירוקים).

מטריצת בין-ירוקים מכילה את הזמנים הבין-ירוקים שנקבעו עבור כל זוגות המופעים שבניגוד. כל אחד מהמופעים בזוג שבניגוד מוגדר פעם אחת כמופע מפנה (מסיים), ופעם אחת כמופע נכנס (מתחיל). מופע יכול להיות של רכב מנועי, הולך-רגל, אופניים ורק"ל.

הערכים המתקבלים בחישוב הזמנים הבין-ירוקים יעוגלו כלפי מעלה לפי שניות שלמות.

הערכים בטבלת הבין-ירוקים ייצגו את כל המופעים בניגוד, זאת גם אם במבנה התכניות הנבחרות לא ייעשה שימוש בכל הזמנים הבין-ירוקים.

תרשים 5.9 מציג דוגמה של מטריצת זמנים בין-ירוקים בצומת.

נכנס																מופע
h	g	f	e	d	c	b	a	6	5	4	3	2	1	8	7	
			5			8		5	5		6	6				7
		8					5	6	5		5	5				8
		7					4	6	4		5					1
				8			4	4	6	7	6			4	5	2
8		8			4			6	5	4		6	7	6	6	3
			5			7		5			6	4				4
8			5					5			5	7	7	6	4	5
	5			8		7			6	7	6	5	4	5	5	6
												14	14	14		a
								11		11					11	b
											9					c
								4				4				d
									16	16					16	e
											9		9	9		f
								9								g
									6		5					h

תרשים 5.9: דוגמה למטריצת זמנים בין-ירוקים

פרק 6: תוכנית הזמנים

תוכן עניינים

6-1	כללי – מבנה תוכנית הזמנים	6.1
6-1.....	תכנון לפי שלבים	6.1.1
6-1.....	תכנון לפי מופעים	6.1.2
6-1.....	תוכניות קבועות זמן	6.1.3
6-1.....	תוכניות מופעלות תנועה	6.1.4
6-2	הגדרת מופעי הרמזור השונים – סדר ומשך האותות	6.2
6-2.....	מופע רכב	6.2.1
6-2.....	מופע הולך-רגל	6.2.2
6-2.....	מופע אופניים	6.2.3
6-3.....	מופע תצ"ם (רק"ל, תאו"ם)	6.2.4
6-3.....	מופע מקדים לרק"ל	6.2.5
6-4.....	מופע צהוב מהבהב	6.2.6
6-6	קביעת שלבי הרמזור והסדר שלהם	6.3
6-6.....	קיבוץ מופעים לשלבים	6.3.1
6-6.....	נפח קובע זמנים לא מנוצלים	6.3.2
6-7.....	אורך אחסנה	6.3.3
6-7.....	רצף מופעים	6.3.4
6-7.....	תזמון הגל הירוק	6.3.5
6-7.....	צמתים קרובים	6.3.6
6-8.....	חצייה של מספר מסלולים על ידי הולכי-רגל	6.3.7
6-11.....	תנועת אופניים	6.3.8
6-11	לוגיקת תוכנית הרמזור	6.4
6-11.....	כללי	6.4.1
6-11.....	אלמנטים בלוגיקה	6.4.2
6-13.....	עקרונות כתיבת הלוגיקה	6.4.3
6-14.....	שיטות נפוצות להצגת לוגיקה	6.4.4
6-17	מצבי המעבר בין שלבים	6.5
6-17.....	הגדרה	6.5.1
6-17.....	אופן החישוב של מצבי המעבר	6.5.2
6-19.....	שלבים חלקיים ומצבי מעבר מקביליים	6.5.3

6-22	פריסת מצבי שלד	6.6
6-22	הגדרה	6.6.1
6-22	עקרונות פריסת מצבי שלד	6.6.2
6-24	נקודות החלטה	6.6.3
6-25	פריסות מינימום	6.7
6-25.....	עקרונות ומטרות פריסות המינימום	6.7.1
6-26	מינימום ירוק לשלבים	6.7.2
6-26	פריסות מקסימום	6.8
6-26	הגדרה	6.8.1
6-26	קביעת זמן מחזור	6.8.2
6-28.....	חלוקת ירוק למופעים	6.8.3
6-29.....	הצגת פריסות המקסימום	6.8.4
6-30.....	תוכניות הפעלה	6.8.5
6-32	פרמטרים	6.9
6-33	תוכניות מיוחדות	6.10
6-33	תוכנית כניסה לפעולה	6.10.1
6-34	תוכנית יציאה מפעולה	6.10.2
6-34	תפעול ידני (תוכנית שוטר)	6.10.3
6-35	חברת תוכנית הזמנים	6.11
6-36	תכנון מפורט לרמזור הכולל העדפה לתחבורה ציבורית	6.12
6-36	מרכיבי התכנון	6.12.1
6-37	מסמך הלקסיקון	6.12.2
6-37.....	סוגיות עיקריות בתכנון תוכנית הזמנים של הרמזור	6.12.3
6-42.....	בדיקת התכנון	6.12.4
6-43	חברת תוכנית הזמנים	6.12.5
6-43	עמיד תכנון תוכניות הרמזור	6.13

פרק 6: תוכנית הזמנים

6.1 כללי – מבנה תוכנית הזמנים

תוכנית הזמנים של הצומת כוללת את כל המידע הנדרש להפעלה בטוחה ויעילה של אותות הרמזור בצומת. פרק זה מתאר את שיטות התכנון המקובלות, וכולל דגשים שונים למהלך התכנון. הפרק כולל התייחסות למרכיבים העיקריים בתכנון, ומגדיר אלו הם המרכיבים שיש לכלול (לכל הפחות) בחוברת תוכנית הזמנים של הצומת.

6.1.1 תכנון לפי שלבים

תכנון לפי שלבים מבוסס על הגדרה מראש של שלבי ההפעלה של הרמזור, כאשר בכל שלב מוגדרים המופעים (אחד או יותר) שאינם בניגוד זה עם זה, וניתנים להפעלה (פתיחת ירוק) ביחד. היחידה הבסיסית לתכנון הינה "שלב", והתוכנית תכלול את סדר השלבים האפשריים, התנאים להפעלת השלבים השונים, משך הזמן להפעלת השלב (קבוע או משתנה), ואופן המעבר בין השלבים השונים.

6.1.2 תכנון לפי מופעים

תכנון לפי מופעים מתייחס למופע כיחידת הבסיס. התכנון יכלול את הסדר האפשרי של המופעים השונים, התנאים לפתיחת ירוק וסגירת ירוק במופע, ואופן המעבר בין מופעים שבניגוד. ההבדל העיקרי בין תכנון זה לתכנון לפי שלבים הוא בכך, שאין מחויבות להפעלה בו-זמנית של קבוצת מופעים (שלב), וניתן לפתוח ולסגור מופעים באופן עצמאי. מאפיין זה מאפשר גמישות מרבית וניצול מיטבי של הזמן הירוק ברמזור, המתבטא לעיתים בשיפור משמעותי. ניתן גם לתכנן תוכנית רמזור על בסיס תכנון לפי שלבים, ולשלב בתכנון אלמנטים של תכנון לפי מופעים (כגון מצבי מעבר מקביליים).

6.1.3 תוכניות קבועות זמן

תוכניות קבועות זמן הינן תוכניות בהן זמן הירוק בכל אחד מהשלבים (או המופעים, בהתאם למקרה) נקבע מראש, ואינו תלוי בעומסי התנועה בפועל או במידע אחר המתקבל מהשטח. ככלל, לא מומלץ לתכנן תוכניות קבועות זמן, שבמקרים רבים אינן יעילות ביחס למצב התנועה בשטח. תוכניות מסוג זה ניתנות לתכנון במקרים חריגים, כדוגמת הסדרי תנועה זמניים לתקופות זמן קצרות. יש לציין שבמצב בו המידע המתקבל מהשטח תקול, הרמזור יעבור בדרך כלל למצב עבודה של תוכנית קבועת זמן.

6.1.4 תוכניות מופעלות תנועה

תוכניות מופעלות תנועה הינן תוכניות בהן אופן תפעול הרמזור תלוי במידע המתקבל מהשטח בזמן אמת. המידע מתקבל בדרך כלל מגלאים המוצבים בצומת, מאותות מצמתים סמוכים וממידע ממרכז בקרת רמזורים.

התניית אופן תפעול הרמזור במידע עדכני מאפשרת ייעול משמעותי בחלוקת הירוק למופעים השונים, ניצול מיטבי של הזמן הירוק העומד לרשותנו, ושיפור משמעותי בעיכוב למשתמשי הדרך השונים. ככלל, תכנון תוכניות רמזור יהיו מסוג תוכניות מופעלות תנועה, עם שילוב גלאים מסוגים שונים, לצורך תפעול יעיל של הרמזור למשתמשי הדרך השונים ובהתאם לסדר עדיפויות תכנוני.

6.2 הגדרת מופעי הרמזור השונים – סדר ומשך האותות

בפרק 4 הוצגו סוגי המופעים השונים ברמזור. סדר ומשך האותות בכל אחד מסוגי המופעים מובא להלן. עבור משך הירוק המזערי, ראו פרק 4, טבלה 4.1.

6.2.1 מופע רכב

א. סדר אותות:

אדום ← אדום צהוב ← ירוק ← [ירוק מהבהב] ← צהוב

ב. משך האותות:

- אות אדום מזערי: 3 שניות.
- אות אדום צהוב: 2 שניות.
- אות ירוק מזערי: ראו טבלה 4.1 בפרק 4.
- אות ירוק מהבהב (אם קיים): 3 שניות.
- אות צהוב: 3 שניות.

6.2.2 מופע הולך-רגל

א. סדר אותות:

אדום ← ירוק

ב. משך האותות:

- אות אדום מזערי: 3 שניות.
- אות ירוק מזערי: ראו טבלה 4.1 בפרק 4.

6.2.3 מופע אופניים

- מופע אופניים חוצה במופע משותף עם הולך רגל במעבר חצייה
סדר האותות ומשכם יהיה זהה לזה של מופע הולך-הרגל.
- מופע אופניים חוצה שלא במעבר חצייה (אינו במופע משותף עם הולך רגל)
סדר אותות:

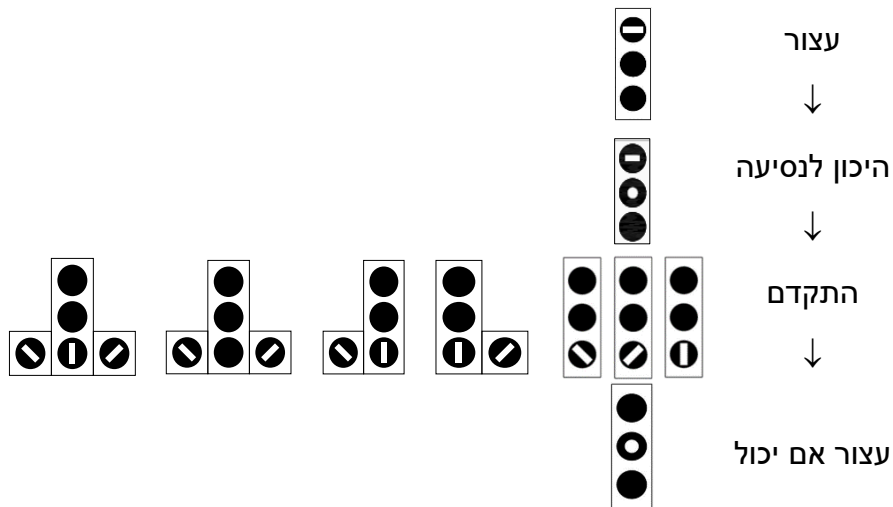
אדום ← ירוק ← צהוב

משך האותות:

- אות אדום מזערי: 3 שניות.
- אות ירוק מזערי: ראו טבלה 4.1 בפרק 4.
- אות צהוב: 3 שניות.

6.2.4 מופע תצ"ם (רק"ל, תאו"ם)

א. סדר אותות:



ב. משך האותות:

- אות עצור מזערי: 3 שניות.
- אות היכון לנסיעה: 2 שניות.
- אות התקדם מזערי לרק"ל: ראו טבלה 4.1 בפרק 4.
- אות התקדם מזערי לתאו"ם: בדומה למופע רכב בטבלה 4.1 בפרק 4.
- אות עצור אם יכול: 3 שניות.

6.2.5 מופע מקדים לרק"ל

נהג הרק"ל מקבל, בנוסף לאותות המקובלים לרכב הכללי, שני אותות המייצגים מידע נוסף, אשר יחליפו את המופע המשולש הצהוב שהיה מקובל, כמפורט להלן:

- אות "מעוין" מהבהב – מציין כי גילוי הרק"ל נקלט בבקר הרמזור. אות זה יפתח עם דריכה על אחד מגלאי העדפה (בדר"כ גלאי רחוק), וייסגר ארבע שניות לפני פתיחת אות "התקדם" של הרק"ל ברמזור.
- אות "סימן קריאה" – מציין כי הרק"ל עומדת לקבל אות "התקדם". אות זה יפתח ארבע שניות לפני פתיחת אות "התקדם" ברמזור (עם סגירת אות "מעוין"), וייסגר עם פתיחתו. אות זה נכלל במצב המעבר.
- בכל שאר המצבים אותות "מעוין" ו"סימן קריאה" יהיו במצב חושך. אותות אלו אינם חלק מלוח התמרורים הכללי.

6.2.6 מופע צהוב מהבהב

א. צהוב מהבהב קבוע

עיקר השימוש באות צהוב המהבהב בפנס יחיד (תמרור 707), לאורך כל המחזור, הוא להתריע בפני הנהגים, על כך שהתנועה מתבצעת שלא על פי אותות הרמזור הרגילים, אלא על פי כללי זכות הקדימה, הן לגבי חציית הולכי-רגל / אופניים, והן לגבי השתלבות בתנועת הרכב החוצה. המקרה השכיח ביותר לשימוש הינו בפנייה חופשית ימינה. כאשר מסומן מעבר חצייה להולכי-רגל ו/או אופניים, הפנס הצהוב המהבהב יכול צלמית של הולך-הרגל.

ב. צהוב מהבהב מותנה

תכנון הרמזור מאפשר שלבים בהם קיים ירוק משותף לפנייה ימינה של רכב ולמופע הולך-רגל (או אופניים במופע משותף עם הולך רגל) שלאחר הפנייה (ונמצא בניגוד עם הרכב הפונה). אפשרות זו מוגבלת לפנייה ימינה בנתיב אחד (ובמקרים חריגים לפנייה שמאלה כמפורט בפרק 3). במקרה כזה יותקן פנס צהוב מהבהב עם צלמית של הולך-רגל בתוכו, המתריע לנהג על הימצאותם האפשרית של הולכי-רגל / אופניים במעבר החצייה.

סדר פתיחת האותות במקרה כזה יהיה:

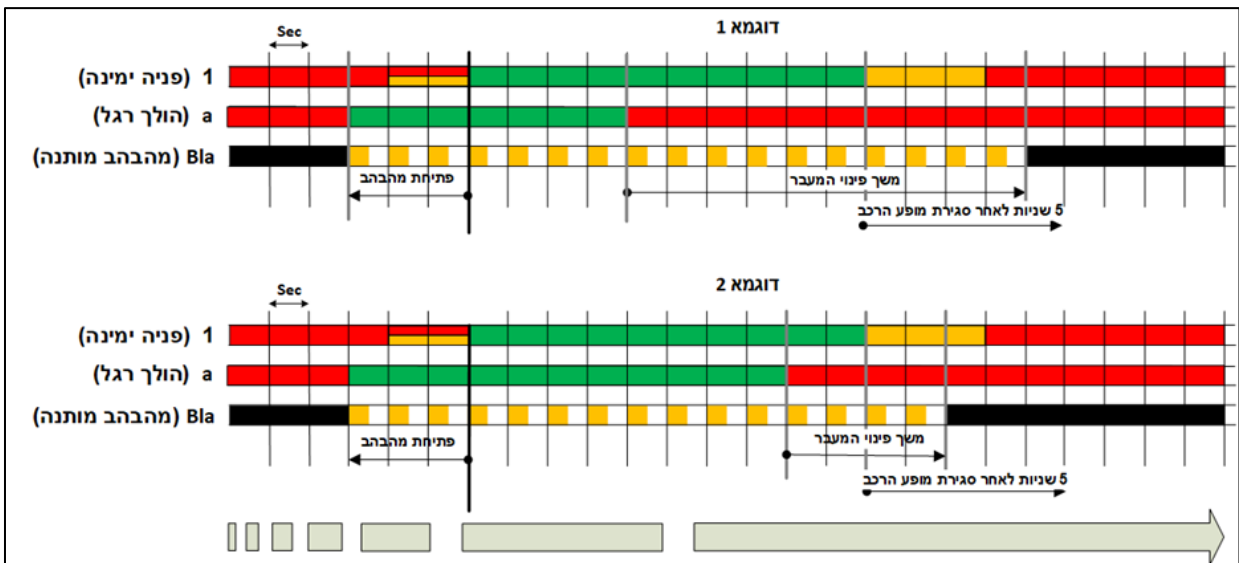
- הירוק למעבר החצייה יפתח לפחות 3 שניות לפני הירוק לפנייה ימינה של הרכב (אם לא נפתח קודם) וזאת כדי להבליט לנהג הרכב את הולך-הרגל החוצה.
- כאשר אזור ההמתנה של הולכי-הרגל הממתינים לאות הירוק מרוחק מנתיב הנסיעה של הרכב הפונה, יש להקדים את פתיחת הירוק להולך-הרגל כך שיתאפשר להולך-הרגל להגיע למסלול פניית הרכב 3 שניות לפני פתיחת הירוק לרכב. הפתיחה המוקדמת של הירוק להולך-רגל תחושב כמשך הזמן הנדרש להולך-הרגל להגיע מאזור ההמתנה ועד למסלול הרכב (מעוגל כלפי מעלה), ובתוספת 3 שניות. במקרים מיוחדים כאלה תיתכן פתיחה מוקדמת של ירוק להולך-הרגל של כ-4 עד 6 שניות לפני הירוק לרכב. המקרה השכיח הינו שהולך-הרגל חוצה קודם שביל/נתיב אופניים צמוד למיסעת הרכב ורק לאחר מכן מתחיל בחציית מסלול פניית הרכב.
- המהבהב ייפתח 3 שניות לפני הירוק למופע הרכב בפנייה ימינה.
- המהבהב ייסגר בסיום הפינוי של מעבר החצייה, או 5 שניות לאחר סגירת מופע הרכב בפנייה ימינה – המוקדם מביניהם.
- ניתן לתכנן שני שלבים צמודים – הראשון כולל מופע רכב משותף עם מופע הולך-רגל, והשני ללא מופע הולך-הרגל (השלב השני מיועד לפינוי כלי-רכב ללא הפרעה על ידי הולכי-רגל). אין לתכנן את השלבים הנ"ל בסדר הפוך.

תרשימים 6.1-6.3 מציגים דוגמאות להפעלה של מהבהב מותנה (פתיחה וסגירה) במקרים שונים.

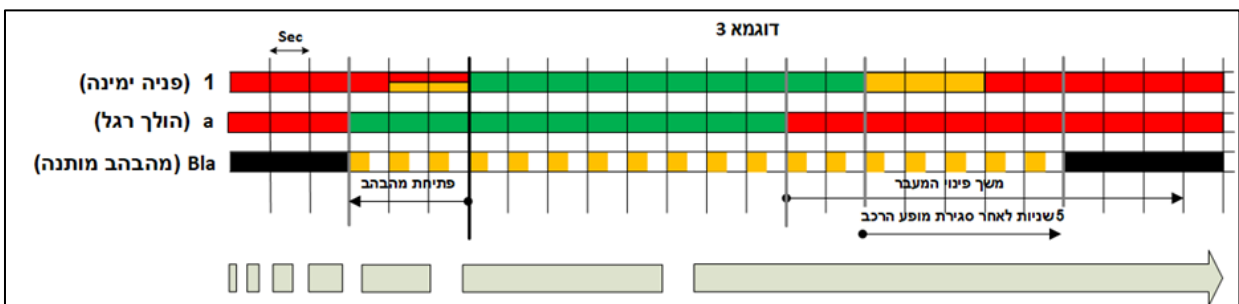
דוגמאות 1 ו-2 שבתרשים 6.1 מציגות מקרים בהם סגירת המהבהב המותנה נקבעת על ידי משך הפינוי של מעבר החצייה. בדוגמה 1 משך הפינוי של מעבר החצייה הוא 10 שניות, ומסתיים מוקדם יותר מחלוף 5 שניות מסגירת הירוק במופע הרכב. לכן, מועד סגירת הצהוב המהבהב המותנה נקבע לפי מועד סיום

הפינוי של מעבר החצייה. בדוגמה 2 משך הפינוי הוא 4 שניות, ובאופן דומה הוא הקובע את מועד סגירת הצהוב המהבהב המותנה.

דוגמה 3 שבתרשים 6.2 מציגה מקרה בו סגירת המהבהב המותנה נקבעת בהתאם למועד סגירת מופע הרכב. במקרה זה, מועד חלוף 5 שניות מסיום הירוק במופע הרכב הינו מוקדם יותר ממועד סיום הפינוי של מעבר החצייה (10 שניות). לכן, מועד סגירת הצהוב המהבהב המותנה נקבע לפי מועד חלוף 5 שניות מסיום הירוק במופע הרכב.



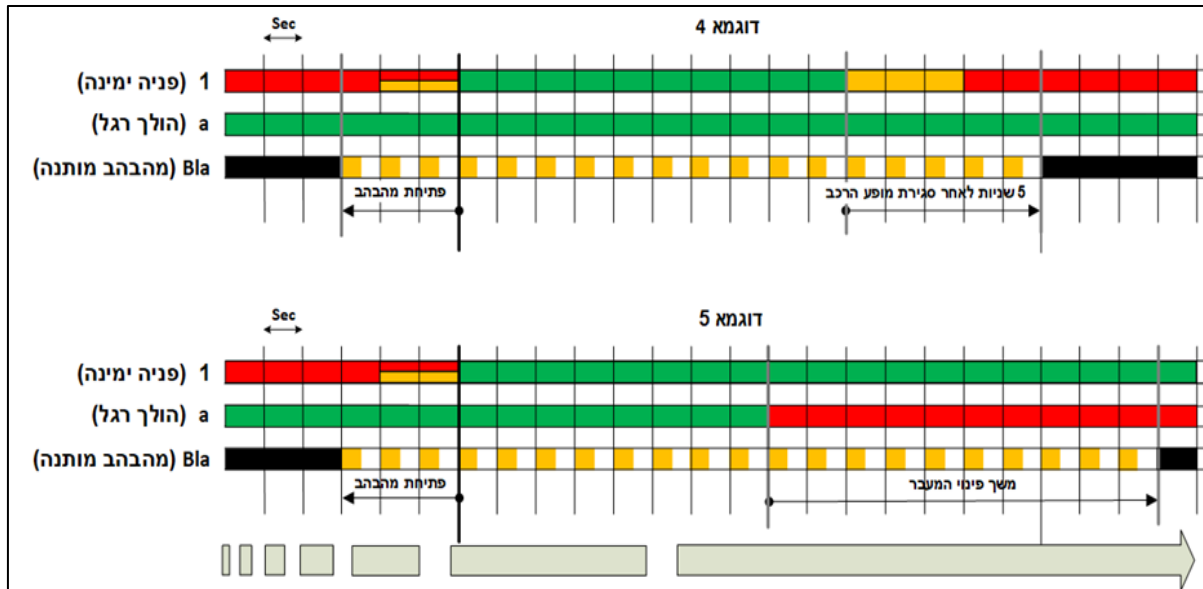
תרשים 6.1: מהבהב מותנה – סגירה בהתאם למשך פינוי מעבר החצייה



תרשים 6.2: מהבהב מותנה – סגירה בחלוף 5 שניות ממועד סגירת מופע הרכב

דוגמה 4 בתרשים 6.3 מציגה מקרה בו מופע הולך-הרגל מתמשך ומופיע לפני ואחרי השלב המשותף. במקרה כזה פתיחת הצהוב המהבהב המותנה תהיה 3 שניות לפני פתיחת הירוק במופע הרכב, וסגירתו תהיה בחלוף 5 שניות מסגירת הירוק במופע הרכב.

דוגמה 5 מציגה מקרה בו מתוכנן שלב הכולל את שני המופעים (רכב וה"ר), ולאחריו שלב הכולל רק את מופע הרכב, ומועד הסגירה של הצהוב המהבהב המותנה נקבע על ידי משך הפינוי של מופע הולך-הרגל (10 שניות).



תרשים 6.3: מהבהב מותנה – פתיחה וסגירה במקרה של מופע מתמשך

6.3 קביעת שלבי הרמזור והסדר שלהם

6.3.1 קיבוץ מופעים לשלבים

שלב ברמזור יכול מופע אחד או יותר שניתנים להפעלה ביחד (אין ביניהם ניגוד). בדרך-כלל ייכללו באותו שלב כל המופעים שאינם בניגוד זה לזה, כדי לנצל באופן מיטבי את הזמן הירוק. רצוי להימנע ממצבים בהם מופע שאינו בניגוד לשאר המופעים לא כלול בשלב, וזאת כדי למנוע מצב בו מוצג אדום במופע, למרות שאינו בניגוד לשאר המופעים בשלב ותיאורטית יכול לנסוע, וכתוצאה מכך עלול להיגרם אי-ציות לאדום. עם זאת, ישנם מקרים בהם ניתן שלא לכלול אחד או יותר מהמופעים, וזאת משיקולים שונים הקשורים לסדר השלבים וליעילות התכנון. יש לשים לב לא לכלול באותו שלב פניית פרסה מאחת הזרועות הנמצאת בניגוד לפנייה ימינה מרומזרת מזרוע ניצבת.

שיקולים שונים לקביעת שלבי הרמזור, סדר הפעלתם והתנאים להפעלה זו, מפורטים בסעיפים שלהלן.

6.3.2 נפח קובע וזמנים לא מנוצלים

אופן חישוב הנפח הקובע והזמן הלא מנוצל לרכב ומשמעותם להפעלה יעילה של הרמזור, מפורטים בסעיף 4.5. הרכב השלבים וסדר הפעלתם משפיע על הנפח הקובע ועל הזמנים הלא מנוצלים. השאיפה תהיה להרכב ולסדר שלבים המאפשרים נפח קובע וזמנים לא מנוצלים נמוכים ככל האפשר.

6.3.3 אורך אחסנה

מגבלות אחסנה בנתיבי הגישה לצומת עשויים להוות שיקול בקביעת הרכב השלבים וסדר הופעתם, כדי למנוע מצב של הצטברות תור הגורם לחסימת נתיבים ולפגיעה בקיבולת הצומת. שיקולים אלה רלוונטיים כמובן בקביעת סדר השלבים ובתיאום הנדרש בין שלבים שונים בצמתים קרובים, כדי למנוע חסימת המקטע שבין הצמתים. לחישוב אורך אחסנה ראו סעיף 4.6.4 בפרק 4.

6.3.4 רצף מופעים

כאשר מופע כלול במספר שלבים, רצוי (ככל האפשר), לבחור רצף שלבים כזה המאפשר הופעה רציפה של המופע.

6.3.5 תזמון הגל הירוק

תיאום בין צמתים (גל ירוק) מהווה לעיתים שיקול עיקרי בקביעת הרכב השלבים וסדר הופעתם, במטרה לתאם זמנים בין המופעים המבוקשים לתיאום בגל בצמתים שונים. במקרים מסוימים מאפייני התנועה שונים מהותית בתקופות שונות של היום, ונדרש סדר שלבים שונה במועדים שונים.

6.3.6 צמתים קרובים

בתכנון רמזורים בשני צמתים קרובים קיימת חשיבות רבה לתיאום מיטבי ולמניעת בלבול בין הפנסים של הצמתים. שיקולים אלה רלוונטיים בקביעת סדר השלבים ובתיאום הנדרש בין שלבים שונים בצמתים קרובים, כדי לתפעל את הצומת באופן יעיל ובטיחותי, ולמנוע חסימת המקטע שבין הצמתים.

עקרונית, תכנון זה יכול להתבצע בשתי דרכים עיקריות – תכנון כצומת אחד, או תכנון כשני צמתים נפרדים המתואמים אחד עם השני.

כאשר שני הצמתים מתוכננים כצומת אחד, יכלול שלבי הרמזור מופעים משני הצמתים, והלוגיקה תתייחס להפעלת מופעים אלה ולמעבר בין שלבים, כאילו מדובר בצומת אחד. תכנון כזה מאפשר שליטה מרבית בתיאום הנדרש בין מופעים שונים בשני הצמתים.

תכנון שני הצמתים באופן נפרד, מפשט בדרך כלל את לוגיקת התכנון, ומאפשר גמישות מרבית. עם זאת, שיטה זו מחייבת תיאום מדויק בין התוכניות כדי להבטיח את התיאום הנדרש בין מופעים השייכים לצמתים שונים.

6.3.7 חצייה של מספר מסלולים על ידי הולכי-רגל

לעיתים קרובות הולך-רגל נדרש לחצות בזה אחר זה שני מעברי חצייה או יותר. סדר השלבים, מופעי הולכי-רגל הכלולים בשלבים השונים, ומשך הירוק בכל אחד מהם, יקבע במידה רבה את רצף החצייה האפשרי, את העצירות בדרך ואת העיכוב להולך-הרגל. השאיפה היא להקטין ככל האפשר את העיכוב להולך-הרגל, ולהימנע מהצטברות הולכי-רגל במפרדה. מומלץ לאפשר בתכנון הרמזור חצייה רציפה להולכי-רגל, אם כי לא תמיד ניתן לאפשר את רמת השירות הרצויה להולכי-רגל לאור אילוצים ומגבלות אחרות, והנושא תלוי במידה רבה במדיניות התכנון של הרשות בכל צומת.

ניתן לחלק את רמת השירות בחציית מספר מעברי חצייה ברצף לארבע רמות כמתואר בטבלה 6.1.

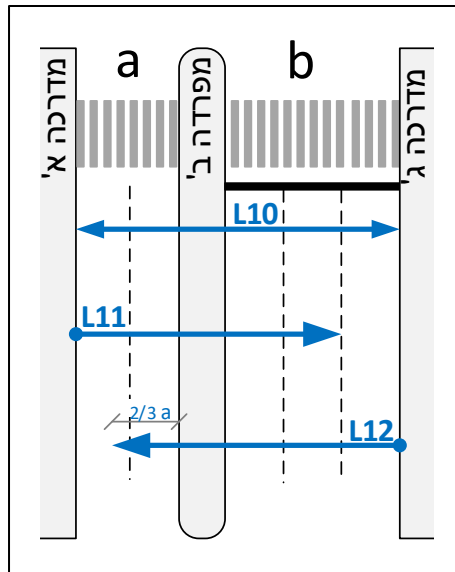
טבלה 6.1: רמות של חציית מספר מעברי חצייה ברצף

רמה	תיאור	פירוט
א'	חצייה מלאה בירוק מלא	מאפשרת להולך-הרגל המתחיל חצייה במועד מסוים במחזור, לחצות את כל המסלולים הרלוונטיים, בכיוון הרלוונטי, ללא עצירה ובאור ירוק, עד להשלמת החצייה ממדרכה למדרכה או למפרדה. האות הירוק בכל מעבר חצייה יופיע במשך כל הזמן שהולך-הרגל חוצה אותו.
ב'	חצייה רצופה ללא המתנה	מאפשרת להולך-רגל המתחיל חצייה במועד מסוים במחזור, לחצות ללא עצירה את כל מסלולי הנסיעה הרלוונטיים, בכיוון הרלוונטי, למעט המסלול האחרון, בו הזמן הירוק יספיק לפחות לחציית 2/3 של המסלול. השלמת החצייה של המסלול האחרון תתאפשר בזמן הבין-ירוקים הרלוונטי.
ג'	חצייה בשלבים עוקבים	מאפשרת להולך-הרגל לחצות מסלולים בזה אחר זה בשלבים עוקבים, תוך המתנה במפרדה לפתיחת מעבר החצייה הבא בשלב הבא.
ד'	ללא חצייה ברצף	אין רצף חצייה. הולך-הרגל שיגיע למפרדה לא יקבל ירוק להמשך החצייה, ויצטרך להמתין במפרדה במשך שלב אחד (או יותר).

הערות:

- משך הירוק המזערי לחצייה של מעבר יחיד (ירוק מזערי מוחלט) יהיה הגבוה מבין השניים – 6 שניות או הזמן הנדרש לחצייה של 2/3 מאורך המעבר.
- כאשר נדרשת חצייה מלאה/רצופה בשני כיוונים, יבדקו שני כיווני החצייה וייושם הפתרון הנותן מענה לשניהם.
- במקרה של חציית שלושה מסלולים, רצוי לאפשר חצייה רצופה של שניים מהמסלולים לפחות, ללא המתנה במפרדה.
- מומלץ שתוכניות השלד יכללו את הזמנים המינימליים הנדרשים לחציית מעבר יחיד, ואילו הבטחת חצייה מלאה/רצופה תיושם באמצעות פרמטרים, וזאת על מנת לאפשר גמישות בקביעת סוג החצייה.
- משך הירוק הנדרש לחצייה יחושב על ידי חלוקת מרחק ההליכה (אורך מעבר החצייה והמפרדות) במהירות ההליכה הרלוונטית (בדומה למהירות בחישוב משך הירוק המזערי), ועיגול התוצאה כלפי מעלה. אם מהירות ההליכה במעברי החצייה שונה בין מעבר אחד לשני, יחושב כל מעבר חצייה בנפרד בהתאם למהירות הרלוונטית. אורך החצייה (מרחק ההליכה) יחושב לפי מרכז מעבר החצייה.

תרשימים 6.4 ו-6.5 וטבלאות 6.2 ו-6.3 מציגים מקרים שונים של חציית מספר מסלולים ע"י הולכי-רגל.



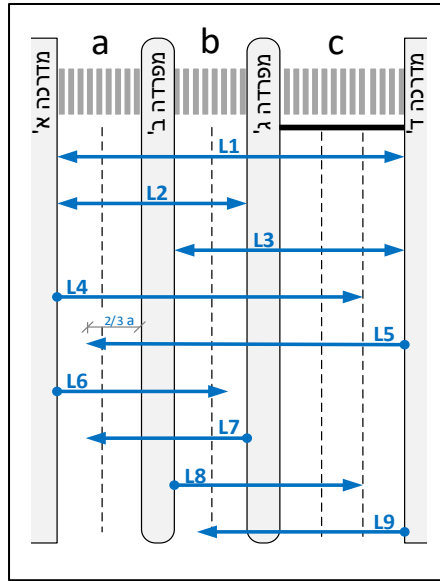
תרשים 6.4: חציית שני מסלולים ע"י הולכי-רגל

טבלה 6.2: חישוב זמן חציית שני מסלולים ע"י הולכי-רגל

הזמן הדרוש (שנ')					
משך הזמן הדרוש (לפחות)	עד סגירת מעבר חצייה (מעבר שני)	מפתיחת מעבר חצייה (מעבר ראשון)	כיוון	בין מדרכות / מפרדות	סוג החצייה
L10/v	b	a	מ-א' ל-ג'	א', ג' (ממדרכה למדרכה)	חצייה מלאה בירוק מלא
L10/v	a	b	מ-ג' ל-א'		
L11/v	b	a	מ-א' ל-ג'	א', ג' (2 מסלולים)	חצייה רצופה ללא המתנה
L12/v	a	b	מ-ג' ל-א'		

הערות:

- מועד הפתיחה של המעבר השני יחושב כך שלא תידרש המתנה של הולך-הרגל לפני חצייתו.
- מהירות ההליכה (v) – ראו סעיף 4.3.2 בפרק 4.
- בכל מקרה יבטח משך ירוק מזערי במופע הולך-רגל.



תרשים 6.5: חציית שלושה מסלולים ע"י הולכי-רגל

טבלה 6.3: חישוב זמן חציית שלושה מסלולים ע"י הולכי-רגל

הזמן הדרוש (שנ')					
משך הזמן הדרוש (לפחות)	עד סגירת מעבר חצייה (מעבר שני)	מפתיחת מעבר חצייה (מעבר ראשון)	כיוון	בין מדרכות / מפרדות	סוג החצייה
L2/v	b	a	מ-א' ל-ד'	א', ד' (ממדרכה למדרכה, 3 מסלולים)	חצייה מלאה בירוק מלא
L1/v	c	a	מ-ד' ל-א'		
L3/v	b	c			
L1/v	a	c	מ-א' ל-ג'	א', ג' (2 מסלולים)	
L2/v	b	a	מ-ג' ל-א'		
L2/v	a	b	מ-ב' ל-ד'	ב', ד' (2 מסלולים)	
L3/v	c	b	מ-ד' ל-ב'		
L3/v	b	c	מ-א' ל-ד'	א', ד' (ממדרכה למדרכה)	חצייה רצופה ללא המתנה
L2/v	b	a	מ-ד' ל-א'		
L4/v	c	a			
L3/v	b	c	מ-א' ל-ג'	ג', א' (2 מסלולים)	
L5/v	a	c	מ-ג' ל-א'		
L6/v	b	a	מ-ב' ל-ד'	ב', ד' (2 מסלולים)	
L7/v	a	b	מ-ד' ל-ב'		
L8/v	c	b			
L9/v	b	c			

הערות:

- 1) מועד הפתיחה של המעבר השני יחושב כך שלא תידרש המתנה של הולך-הרגל לפני חצייתו.
- 2) מהירות ההליכה (v) – ראו סעיף 4.3.2 בפרק 4.
- 3) בכל מקרה יובטח משך ירוק מזערי במופע הולך-רגל.

6.3.8 תנועת אופניים

באופן דומה לתכנון להולכי-הרגל, בעת קביעת שלבי הרמזור יש לקחת בחשבון את תנועות האופניים, לצורך קיצור זמני ההמתנה ומספר העצירות בחציית הצומת.

במקרים רבים, חציית הצומת מתבצעת בשילוב של שתי שיטות החצייה המקובלות – חצייה כמופע אופניים בשביל או נתיב וחצייה במעבר חצייה כמופע משותף במקביל להולכי-הרגל. מקרה שכיח הינו ששביל האופניים מגיע לצומת בצמוד למיסעת הרכב המנועי, ונפגש עם מעבר החצייה להולכי-הרגל החוצה את הזרוע הניצבת בכניסה לצומת. בהמשך, חציית שביל האופניים מתבצעת כמופע משותף עם מעבר החצייה להולכי-הרגל בכיוון הרכיבה, וביציאה שביל האופניים נצמד פעם נוספת למיסעת הרכב המנועי. במקרים כדוגמת זה, יש לקבוע את שלבי הרמזור כך שתיווצר רציפות בחציית האופניים בצומת לצורך מזעור מספר עצירות האופניים בתחום הצומת.

כאשר מתוכנן תא-אופן קדמי או אחורי, הרכב השלבים ייקבע כך שמופעי הרכב המנועי בגישה לתא-אופן ומופע האופניים מתא-האופן יהיו באותו שלב ברמזור. האות הירוק בתא-אופן ייפתח לפני או יחד עם האות הירוק למופעי הרכב וייסגר יחד עם האות הירוק לרכב.

6.4 לוגיקת תוכנית הרמזור

6.4.1 כללי

לוגיקת תוכנית הרמזור מתארת את מהלך ההפעלה של הרמזור, וכוללת את השלבים בתוכנית הרמזור ואת התנאים למעבר לשלב הבא. מצד אחד, כללי ההפעלה יכולים להיות פשוטים מאוד, עם סדר קבוע של מופעים וחלוקת זמן ירוק, ומצד שני גמישים מאוד, על בסיס מידע מסוגים שונים של גלאים המתקבל בזמן אמת, מתאים את פעולת הרמזור לנדרש, וזאת במטרה לייעל את פעולת הרמזור וליישם את מדיניות ניהול התנועה הרצויה.

הצגת הלוגיקה שתופעל ברמזור משתנה כתלות בתוכנית תכנון הרמזורים של הצומת. שיטות נפוצות לתיאור הלוגיקה וכן אלמנטים עיקריים ומקובלים בלוגיקה מתוארים בהמשך הפרק.

6.4.2 אלמנטים בלוגיקה

כאמור, לוגיקת ההפעלה של רמזור יכולה להיות מורכבת ביותר ולכלול אלמנטים רבים ושונים. אופן סימון האלמנטים עשוי להשתנות בהתאם לתוכנית התכנון.

טבלה 6.4 מציגה אלמנטים נפוצים/מקובלים בתיאור לוגיקת ההפעלה של הרמזור.

טבלה 6.4: אלמנטים נפוצים ומקובלים בלוגיקת ההפעלה של רמזור

אלמנט	סימון מקובל	הערה
שלבים		מקובל לסמן באות גדולה באנגלית
בדיקות גלאים		
בדיקת גלאי דרישה		משמש בדרך כלל להתניית פתיחת שלב/מופע בהמתנת כלי-רכב במופע הרלוונטי
בדיקת גלאי הארכה		משמש בדרך כלל להתניית הארכת ירוק בשלב/מופע בקיומם של כלי-רכב הנעים במופע הרלוונטי במקרים חריגים יכול לשמש להתניית שלב עם מופע מתמשך ומופע חדש
בדיקת גלאי תור		משמש בדרך כלל להתניית שינוי בתוכנית הקשור להצטברות תור במופע הרלוונטי
בדיקת לחצן הולך-רגל		משמש בדרך כלל להתניית פתיחת שלב/ מופע הולך-רגל בהמתנת הולך-רגל במעבר חצייה רלוונטי
בדיקת כל גלאי הדרישה ולחצני הולכי-רגל		סימון מקובל בישראל לבדיקת כל גלאי הדרישה ולחצני הולכי-רגל ההתקדמות מותנית בקיום דרישה באחד המופעים הרלוונטיים
אלמנטים נוספים		
הארכה קבועה		משמש בדרך כלל להארכת שלב הכולל הולך-רגל בהתאם לפרמטר רלוונטי לתוכנית (ללא גלאי הארכה)
תנאי כללי		תנאי מורכב יכול לכלול חישובים שונים ובדיקה מורכבת של מספר תנאים במקביל עם יחסי גומלין שונים בין התנאים
בדיקת אותות		אות נכנס, אות סנכרון נכנס מסוג כלשהוא
שליחת אותות		אות יוצא, אות סנכרון יוצא

6.4.3 עקרונות כתיבת הלוגיקה

לוגיקת הפעלת הרמזור תוגדר בהתאם למאפייני הצומת ולמדיניות ניהול התנועה. לעיתים יידרשו לוגיקות שונות בשעות שונות של היום, או בתלות במאפייני התנועה ו/או בנתונים המתקבלים מהשטח. להלן מספר אלמנטים עיקריים ועקרונות בסיסיים ליישום בכתיבת הלוגיקה:

א. סוגי שלבים

שלב ראשי: שלב הכולל בדרך-כלל את המופעים של התנועות הראשיות בצומת. שלב ראשי יסומן בדרך כלל כשלב A ויהיה בדרך-כלל (אך לא מחויב) השלב הראשון בעת כניסת הרמזור לפעולה, וראשון במחזור. במרבית המקרים שלב זה נפתח כל מחזור, ופתיחתו אינה מותנית בתנאי כלשהו.

שלב המתנה לאות סנכרון: שלב בו הרמזור ימתין לקבלת אות מצומת אחר או ממרכז בקרה, לפני התקדמות לשלב הבא. שלב כזה נדרש במקרה של פעולה מתואמת עם צמתים אחרים. הלוגיקה תכלול תיאור של צורת הפעולה במקרה של איחור או תקלה בקבלת האות.

שלב שליחת אות סנכרון: שלב שבמהלכו ישלח אות סנכרון לצמתים סמוכים לצורך הפעלה מתואמת ביניהם.

שלב החלפת תוכנית: השלב בו תוחלף תוכנית רמזור בהתאם ללוח הזמנים להפעלה או לתנאי אחר כלשהוא. בדרך כלל (אך לא מחויב) זה יהיה גם שלב ראשי ו/או שלב עוגן. שלב החלפת התוכנית יהיה זהה בין התוכנית היוצאת לבין התוכנית הנכנסת. שלב זה יהיה גם השלב בו נכנס הרמזור לפעולה.

שלב עוגן: השלב הראשון בכל מחזור. בדרך כלל (אך לא מחויב) זה יהיה גם שלב ראשי.

ב. מופעים מופעלי תנועה

כאשר הרמזור מופעל תנועה, יש להקפיד שהלוגיקה תתייחס לכל המקרים האפשריים מבחינת המידע המתקבל מגלאים, או תנאים אחרים הנבדקים לצורך קביעת מהלך הפעולה. יש לוודא כי קיימת התייחסות למצבים השונים בכל הענפים העשויים להתקיים. יש לוודא שלא נוצר מצב בו הוחלט לדלג על שלב ברמזור, ללא בדיקה של המידע מהגלאים הרלוונטיים עבור פתיחת המופעים בשלב זה.

ג. מדרג העדפה

הלוגיקה תשקף את עדיפות סוגי המופעים השונים בהתאם למדיניות התכנון.

ד. זמנים

הלוגיקה תאפשר עמידה בהנחיות מבחינת זמנים מזעריים ומרביים למופעים השונים, זמני מחזור וזמני המתנה בהתאם למדיניות התכנון.

ה. פונקציות ומשתנים (פרמטרים)

הלוגיקה תתבסס ככל האפשר על פונקציות סטנדרטיות מוכרות, ותשלב משתנים שיאפשרו שליטה במאפייני התכנון בתוכניות שונות באמצעות שינוי בערכי פרמטרים של תוכנית הזמנים, ללא שינוי הלוגיקה הבסיסית.

6.4.4 שיטות נפוצות להצגת לוגיקה

הצגת אופן הפעלת הרמזור אפשרית בדרכים שונות, ובלבד שהתצוגה תאפשר יישום התכנון בבקר הרמזור ובמרכז הבקרה (אם קיים). בישראל ישנן שתי שיטות מקובלות להצגה זו:

- תרשים זרימה סדרתי
 - תרשים שלבים ("בועות") ולוגיקה מפורטת
- שתי השיטות יכולות להציג לוגיקה דומה, אך שיטת ההצגה ובעיקר רמת הפירוט שונה.

6.4.4.1 תרשים זרימה סדרתי

תרשים זרימה סדרתי מציג בתרשים אחד את סדר השלבים במחזור הרמזור, ואת התנאים שיובילו לאותו סדר שלבים הנקרא "ענף". התרשים מראה את כל האפשרויות ואת כל התנאים (ברמת פירוט נמוכה).

בשיטה זו נדרשת השלמה של פרטי הלוגיקה על ידי חברת הרמזורים וזאת במסגרת יישום התכנון בבקר הרמזור.

דוגמה לתרשים זרימה סדרתי מוצגת בתרשים 6.6.

תרשים זה מציג תכנון של רמזור עם שלושה שלבים: שלב A – מופעים 2 ו-4, שלב B – מופע 3 ושלב C – מופעים 2 ו-6. הרמזור מופעל תנועה עם גלאי הארכה במופעים 2, 3, 4, ו-6 ועם גלאי דרישה במופע 6.

שלבים A ו-B יופעלו תמיד, ויימשכו כל עוד יש דרישה להארכה על ידי כלי-רכב במופעים הרלוונטיים ועד למקסימום השלב שנקבע. שלב C יופעל רק אם קיימת דרישה לירוק במופע 6, ובמידה שמופיע – יימשך כל עוד יש דרישה להארכה על ידי כלי-רכב במופע זה, ועד למקסימום השלב שנקבע.

במקרה זה מדובר בשני ענפים אפשריים במחזור: ענף אחד למצב שיש דרישה במופע 6 (סדר שלבים: A-B-C-A), וענף שני למצב בו אין דרישה במופע 6 (סדר שלבים: A-B-A).

6.4.4.2 תרשים שלבים ("בועות") ולוגיקה מפורטת

שיטה זו משלבת:

- תרשים שלבים – תרשים המציג את השלבים השונים ומעברים אפשריים ביניהם.
- לוגיקה מפורטת – לוגיקה המפרטת את התנאים למעברים האפשריים בין שלבים.

א. תרשים שלבים

תרשים זה (הנקרא לעיתים "תרשים בועות") מציג את השלבים האפשריים, המופעים המופעלים בכל שלב, והמעברים האפשריים משלב לשלב.

דוגמה לתרשים שלבים מוצגת בתרשים 6.7. תרשים זה מציג את המעברים האפשריים (החיצים) בין שלבים עבור מקרה דומה למוצג בתרשים הזרימה הסדרתי לעיל.

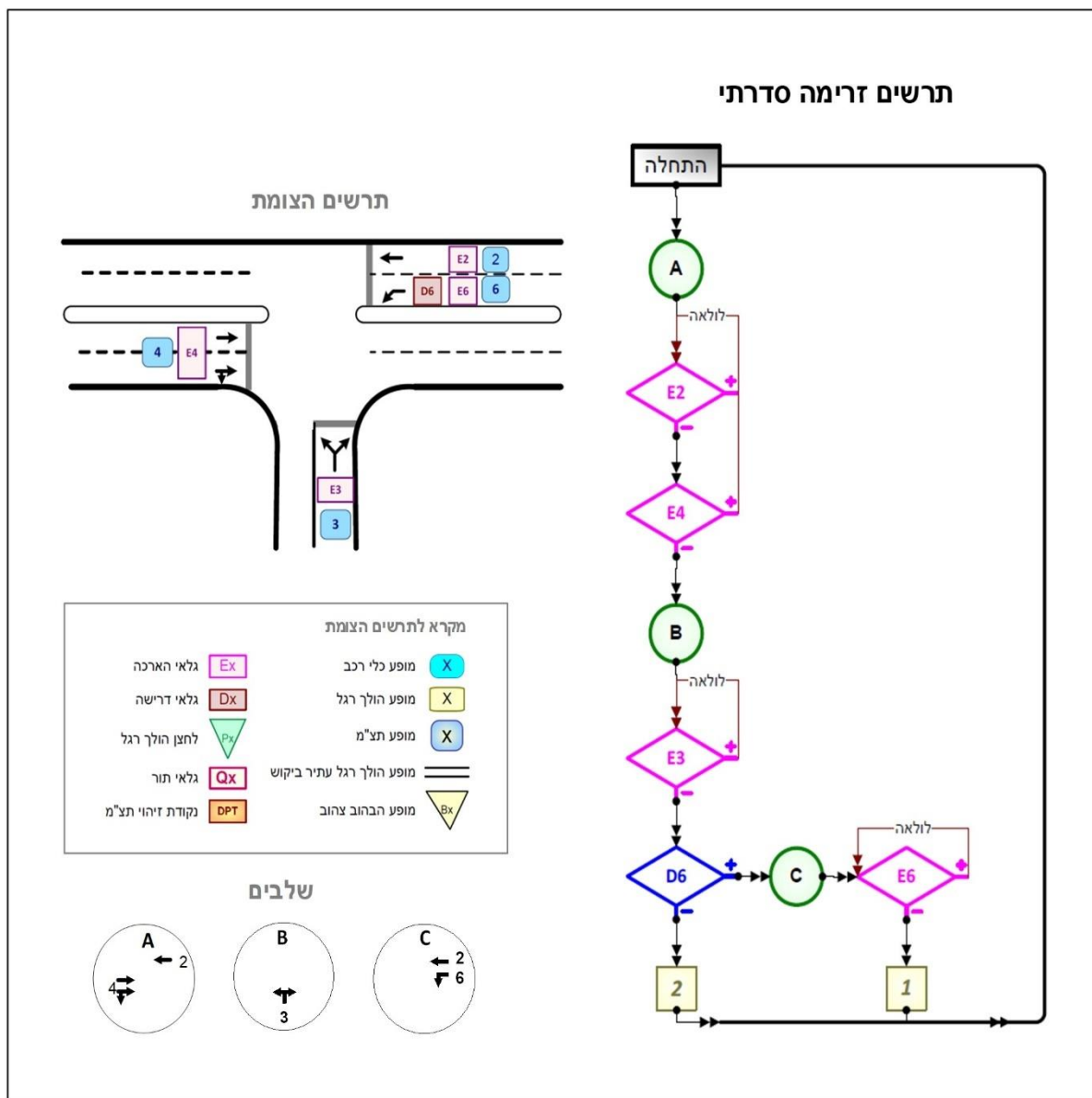
ב. לוגיקה מפורטת

בשיטה זו (הנקראת לעיתים "שיטת שנייה בשנייה"), המתכנן מפרט באופן מלא את הלוגיקה שתופעל בבקר. התכנון כולל פירוט של כל הבדיקות שנעשות על ידי הבקר בכל שנייה ושנייה, את התנאים הנדרשים לביצוע שינוי, ואת השינוי הנדרש (כגון פתיחת/סגירת שלב). תכנון ברמה כזו מאפשר הגדרה

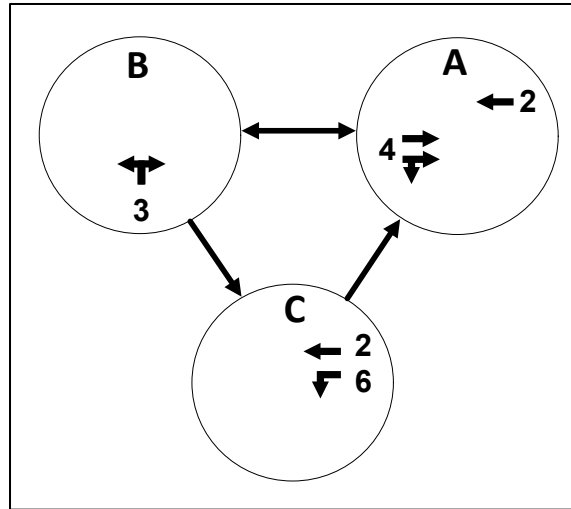
מדוייקת וסופית לאופן הפעלת הרמזור, ומאפשר בדרך כלל העברת התוכנית לבקר הרמזור ישירות מתוכנת התכנון (לעיתים נדרשות השלמות לתוכנית, המבוצעות על ידי חברת הרמזורים).

אחד היתרונות הבולטים של שיטה זו הוא שמכיוון והלוגיקה נרשמת בתוכנת התכנון בפירוט מלא, ניתן להריץ את תוכנית הרמזור בתנאי הפעלה שונים ולבדוק את מהלך הפעולה של הרמזור, וזאת כבר במהלך התכנון המפורט. בדיקה כזו עשויה להבטיח ברמת סבירות גבוהה שהתכנון תואם את הצרכים ויושם נכון בלוגיקת התוכנית.

אופן כתיבת הלוגיקה, בדיקת הלוגיקה ואופן העברת התכנון לבקר הרמזור, עשוי להשתנות מתוכנת תכנון אחת לשנייה, אולם העיקרון והיתרונות שבשיטה זו דומים.



תרשים 6.6: דוגמה לתרשים זרימה סדרתי



תרשים 6.7: דוגמה לתרשים שלבים ("בועות")

טבלה 6.5 מציגה דוגמה כללית בסיסית ועקרונית לכתיבת לוגיקה מפורטת. שמות הפונקציות השונות ושיטת הכתיבה משתנה מתוכנת תכנון אחת לשנייה, אך העיקרון דומה. הדוגמה מתייחסת לסדר השלבים והתנאים המופיעים בתרשים הזרימה הסדרתי לעיל.

טבלה 6.5: לוגיקה מפורטת ("שנייה שנייה")

סדר ביצוע	מתי	פעולה	תנאי
1	במשך שלב A	החלף לשלב B	[משך שלב A הגיע לערך מרבי בהתאם לתוכנית] או [[משך שלב A עבר את הערך המזערי לשלב זה) וגם (אין דרישה באף אחד מגלאי ההארכה של מופעים 2 ו-4)]
2	במשך שלב B	החלף לשלב C	[[משך שלב B הגיע לערך מרבי בהתאם לתוכנית) וגם (יש דרישה בגלאי הדרישה של מופע 6)] או [[משך שלב B הגיע לפחות לערך המזערי לשלב זה) וגם (אין דרישה באף אחד מגלאי ההארכה של מופע 3) וגם (יש דרישה בגלאי הדרישה של מופע 6)]
3	במשך שלב B	החלף לשלב A	[[משך שלב B הגיע לערך מרבי בהתאם לתוכנית) וגם (אין דרישה בגלאי הדרישה של מופע 6)] או [[משך שלב B הגיע לפחות לערך המזערי לשלב זה) וגם (אין דרישה בגלאי ההארכה של מופע 3) וגם (אין דרישה בגלאי הדרישה של מופע 6)]
4	במשך שלב C	החלף לשלב A	[משך שלב C הגיע לערך מרבי בהתאם לתוכנית] או [[משך שלב C הגיע לפחות לערך המזערי של שלב זה) וגם (אין דרישה בגלאי ההארכה של מופע 6)]

6.5 מצבי המעבר בין שלבים

6.5.1 הגדרה

מצב המעבר בין שלבים הינו תיאור מהלך המעבר בין מופעים נוגדים בין שני שלבים עוקבים. במצב המעבר מוגדר מועד סגירת המופעים של שלב שמסתיים, ומועד פתיחת מופעים נוגדים בשלב המתחיל אחריו. ניתן להגדיר מצב מעבר בין כל שני שלבים בתוכנית הרמזור, כאשר ההחלטה על הפעלת מצב מעבר מסוים תתקבל בהתאם ללוגיקת תכנון הרמזור. בהתאם לכך, ייתכן שלא יהיה שימוש בכל מצבי המעבר האפשריים, אלא רק מעברים בין שלבים אשר מתאפשרים בלוגיקת התכנון.

משך מצב המעבר הינו לרוב משך הזמן בין סיום המופע הראשון שמסתיים בשלב המסתיים, לבין זמן ההתחלה המאוחר ביותר של אחד מהמופעים בשלב המתחיל. בדומה לערכי מטריצת הבין-ירוקים, בתכנון לפי שלבים, משך מצב המעבר בין כל שני שלבים הינו קבוע, ללא אפשרות לשינויים דינמיים בעת פעילות הרמזור. לפיכך, באופן עקרוני ועל מנת לייעל את תוכנית הרמזור, יש לשאוף שמשך מצב המעבר יהיה קצר ככל האפשר. בתכנון לפי מופעים אין מחויבות להפעלה בו-זמנית של קבוצת מופעים (שלב), וניתן לפתוח ולסגור מופעים באופן עצמאי, כלומר בפועל אין מצב מעבר, אלא פתיחה וסגירה של מופעים תוך שמירה על ערכי הזמנים הבין-ירוקים.

6.5.2 אופן החישוב של מצבי המעבר

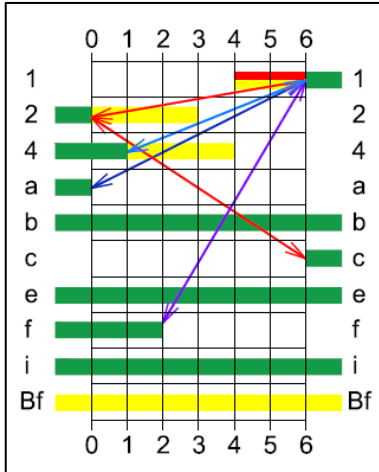
ככלל, מטרת מצב מעבר הינו להיות קצר ככל האפשר, תחת האילוצים הקובעים, שהם משכי האותות בסגירה ובפתיחה של המופעים (ירוק מהבהב, צהוב, מופע מקדים לרק"ל), והזמנים הבין-ירוקים. במצב המעבר מתחייב שמועד הסגירה והפתיחה של מופעים נוגדים יהיה בהפרש מינימלי התואם לערכי הזמנים הבין-ירוקים, כך שלא ייווצרו חריגות בהן מופע נפתח לפני המועד המוקדם ביותר האפשרי עבורו, כפי שמוצג בתרשים 6.8. עם זאת, קיימים מאפיינים נוספים המשפיעים על משך זמן המעבר, כדוגמת קיומו של ירוק משותף לכלי-רכב ולהולכי-רגל, מופעים סמוכים זה לזה, סדרי עדיפויות לסגירה ולפתיחה של מופעים, משך הירוק המזערי (במידה ומשך הירוק המזערי נכלל בתוך מצב המעבר) ועוד.

חישוב מועד ההתחלה והסיום של המופעים במצב המעבר, יכול להיקבע ע"י תהליך אופטימיזציה בהתאם לפונקציית מטרה (כדוגמת מינימום משך מצב מעבר), או בהתאם לכללים המגדירים סדרי עדיפויות בין מופעים בסיום ובפתיחה (כדוגמת עדיפות למופעים שמסיימים על פני אלה שמתחילים), על פי מדיניות התכנון (כדוגמת מתן עדיפות להולכי-רגל) והיררכיית הרחובות/הדרכים (כדוגמת עדיפות למופע ראשי על פני משני). מאחר שתהליך קביעת משך מצב המעבר נעשה לרוב באופן אוטומטי ע"י תוכנות תכנון הרמזורים, מומלץ שמתכנן הרמזור יבחן את מצבי המעבר, ויעדכן אותם באופן ידני במידת הצורך ובהתאם למדיניות ולצרכי התכנון.

6.5.2.1 הכללת הירוק המזערי למופע במצב המעבר

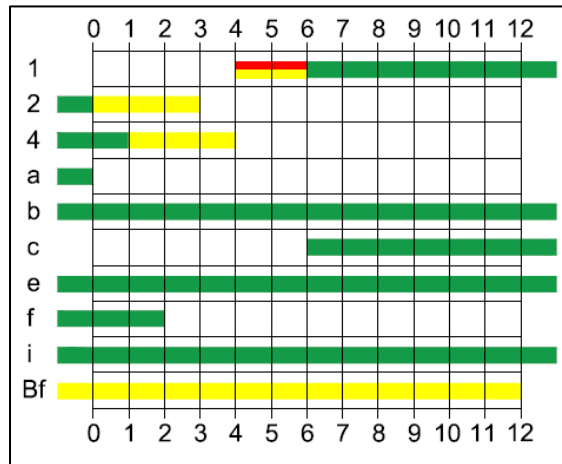
כחלק מחישוב מצבי המעבר, ניתן לכלול את משך הירוק המזערי למופע. בשיטת חישוב זו, משך הירוק המזערי כלול במצב המעבר ולא בשלב. באופן זה ניתן לייצר תוכניות שלד המורכבות מצירוף של מצבי מעבר בלבד (או ממצבי מעבר וממשך שלבים של שנייה אחת לפחות). מצבי המעבר בשיטה זו הינם

לרוב ארוכים יותר, וכאשר מופע נמשך במספר שלבים, אזי הכללת זמני הירוק המזערי בכל אחד ממצבי המעבר עלולה לגרום למשכי ירוק מזערי ארוכים מהנדרש, ובכך לבזבז זמן ירוק. תרשים 6.9 מציג דוגמה למצב מעבר הכולל משך ירוק מזערי למופע עבור המופעים המתחילים (ראו תרשים 6.8 עבור מצב מעבר דומה ללא הכללת הירוק המזערי למופעים).



f	e	d	c	b	a	8	6	4	3	2	1	
7		8			5	5	6	6	7	5		1
			6			1			5		6	2
	5			7		6	5	5		6	7	3
		7					5		6		5	4
7			4					6	5		5	6
				7					5	6	5	8
									4		6	a
						5						b
									9		9	c
								6			5	d
									7			e
											4	f

תרשים 6.8: דוגמה לבניית מצב מעבר בין שלבים על בסיס ערכי הזמנים הבין-ירוקים



תרשים 6.9: חישוב מצבי המעבר כולל ירוק מזערי למופעים המתחילים

6.5.2.2 מופעים סמוכים

הגדרת מופעים סמוכים מתייחסת למופעי רכב, או למופעי תחבורה ציבורית, אשר מגיעים לצומת המרומזר מאותה גישה ובעלי פנסי רמזור מסוג זהה. על פי הגדרה זו ניתן להבחין בין שני מקרים של מופעים סמוכים:

- שני מופעי רכב (או יותר) המגיעים לצומת המרומזר מאותה גישה (בעלי ראשי רמזור למופע רכב);
- שני מופעי תחבורה ציבורית (או יותר) המגיעים לצומת מאותה גישה (בעלי ראשי רמזור לתצ"ם).

מופעים סמוכים יתוכננו במצב המעבר כך שאותות הירוק לא ייפתחו או ייסגרו בהפרש של שנייה אחת, כלומר על הירוק במופעים אלה להיסגר ולהיפתח יחד, או בהפרש של שתי שניות לפחות.

6.5.2.3 ירוק משותף לרכב ולהולכי-רגל

במקרה שתכנון הרמזור כולל שלב בו קיים ירוק משותף למופע רכב בפנייה ימינה ולמופע הולכי-רגל או אופניים החוצים במעבר חצייה, הנמצא בניגוד עם תנועה זו, נדרשת עריכה של מצב המעבר כך שיעמוד בתנאים במפורטים בסעיף 6.2.6.

6.5.2.4 מופעים נמשכים או היבהוב צהוב

מופעים אשר פתוחים בשני שלבים עוקבים, אינם משפיעים על משך מצב המעבר, ועל מועדי ההתחלה והסיום של המופעים האחרים. מופעים אלה יישארו פתוחים במשך כל מצב המעבר. באופן דומה, מופע צהוב מהבהב קבוע (בפניות ימינה חופשיות) יישאר פתוח בכל משך מצב המעבר.

6.5.2.5 תנועת אופניים

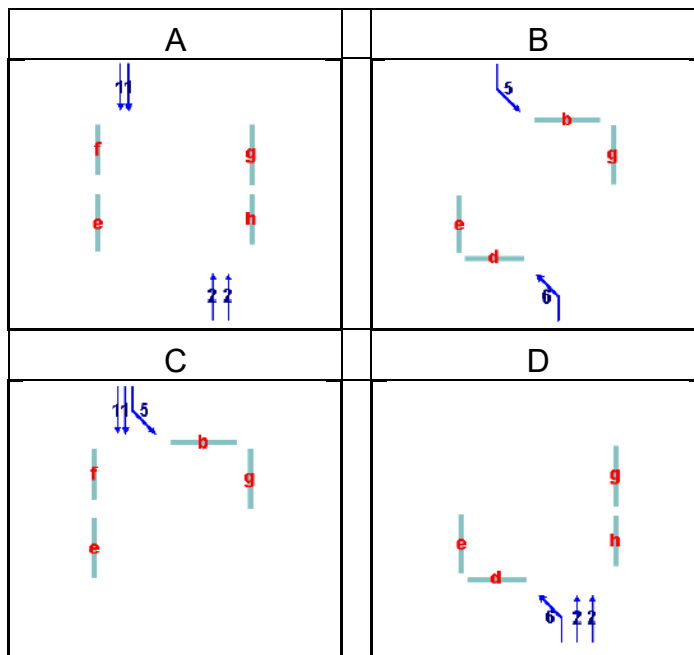
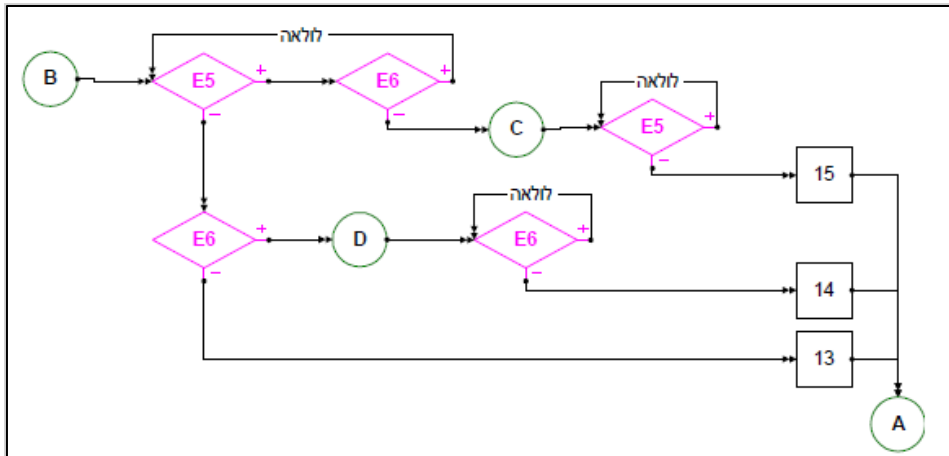
כאשר קיים שילוב של שיטות חצייה של האופניים בצומת, מומלץ לייצר רציפות בחציית האופניים בצומת בין מופע האופניים לבין המופע המשותף של האופניים והולכי-הרגל. תאום זה יכול להתבצע על ידי עריכת מצבי המעבר.

כאשר בצומת מתוכננים מופעי אופניים המוסדרים באמצעות תא אופן (קדמי או אחורי), יש לוודא תיאום בפתיחת הירוק כך שהירוק לאופניים בתא אופן ייפתח יחד או לפני מופעי הרכב המנועי בגישה לתא האופן, וייסגר יחד עם מופעי הרכב המנועי.

6.5.3 שלבים חלקיים ומצבי מעבר מקביליים

בשונה ממצב מעבר "רגיל" אשר מתאר מהלך קבוע בין שני שלבים עוקבים, מצב מעבר מקבילי מתאר מעבר משתנה בין שני שלבים, בהתאם לביקוש להארכת המופעים בשלב המסתיים. למעשה, מבנה מצב המעבר המקבילי תלוי בפרק הזמן שעובר מסיום שלב קודם, בהתאם להארכה של המופעים. ייצוג המופעים המוארכים מבוצע על ידי חלוקת השלבים המלאים (המקוריים) לשלבים חלקיים (תת-שלבים). השלבים החלקיים מוצבים בין שלב מקורי קודם לשלב מקורי הבא, כאשר כל שלב חלקי מכיל בדרך כלל מופע אחד. לפיכך, מעבר מקבילי מכיל שלבים חלקיים לטובת הארכה של אחד המופעים בשלב המקורי הראשון. שלב חלקי ראשון יכול בדרך כלל את המופע המסתיים שרוצים להאריך. המעבר לשלב המקורי הבא מצריך מעבר לשלב חלקי שני אשר מכיל מופע שכלול בשלב המקורי הבא.

תרשים 6.10 מציג דוגמה נפוצה לשימוש במצב מעבר מקבילי כפי שמתואר במדריך למשתמש במערכת ענבר (משרד התחבורה, מאי 2022). הדוגמה מתארת מצב נפוץ של מעבר מקבילי בין שלב B המכיל שני מופעים שמאלה משני כיוונים מנוגדים (מופעים 5 ו-6), לבין שלב A המכיל את מופעי הישר בתנועה הראשית בצומת (מופעים 1 ו-2).



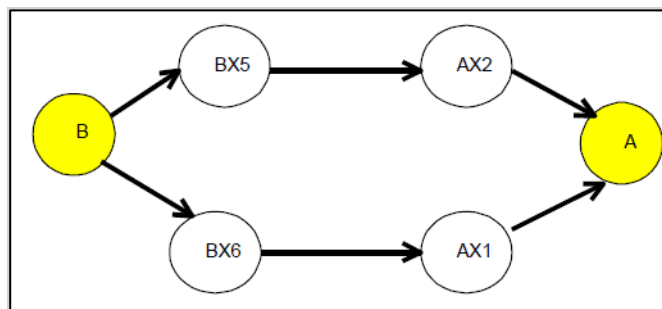
תרשים 6.10: דוגמה לשימוש במצב מעבר מקבילי
(מדריך למשתמש במערכת ענבר, משרד התחבורה, 2022)

המעבר בין שלב B לשלב A תלוי בפרק הזמן שעבר מסיום שלב B ועד סיום הארכות של מופעים 5 או 6. המעבר יכול להיות ישירות מ-B ל-A (כאשר שלב B הגיע למקסימום האפשרי להארכה עבור מופעים 5 ו-6), או דרך שלב מעבר C (כאשר יש ביקוש להארכה למופע 5 בלבד, וכאשר ניתן להאריך את שלב B או יש פרמטרים נפרדים לשלב B ו-C), או דרך שלב מעבר D (כאשר יש ביקוש להארכה למופע 6 בלבד, וכאשר ניתן להאריך את שלב B או יש פרמטרים נפרדים לשלב B ושלב D). למעשה, שלבים C ו-D הינם תוצאה של פיצול של שלב המוצא המלא, B, ושל שלב היעד, A, לשני שלבים חלקיים כל אחד, אשר כוללים מופעים אשר אינם בניגוד. תרשים 6.11 מציג את השלבים החלקיים אשר פוצלו משלבים B ו-A. שלב C הינו הרכבה של שלבים חלקיים BX5 ו-AX1. שלב D הינו הרכבה של שלבים חלקיים BX6 ו-AX2.

תמונת חלקיות II	תמונת חלקיות I	תמונת אב
<p>BX5</p>	<p>BX6</p>	B
<p>AX2</p>	<p>AX1</p>	A

תרשים 6.11: שלבים חלקיים (מדריך למשתמש במערכת ענבר, משרד התחבורה, 2022)

מסיום שלב מלא B ועד תחילת שלב מלא A מתרחשים שני תהליכים במקביל, כפי שמוצג בתרשים 6.12. בתהליך אחד ישנו מעבר משלב חלקי BX5 לשלב חלקי AX2, ובתהליך השני ישנו מעבר משלב BX6 לשלב AX1. משכי הירוק שמקבל כל שלב חלקי נקבעים לפי זמני הירוק המזערי, משכי מצבי המעבר והזמנים הבין-ירוקים.



תרשים 6.12: תהליך מעבר מקבילי (מדריך למשתמש במערכת ענבר, משרד התחבורה, 2022)

ייצוג מצב המעבר המקבילי בתרשים הזרימה הסדרתי מבוצע באמצעות ענף מקבילי. ענף מקבילי איננו מכיל שלבים חלקיים, אלא שלבי מעבר (ראה לעיל שלבים C ו-D). שלבי מעבר בענף המקבילי מורכבים משלבים חלקיים אשר אינם בניגוד. שלבי מעבר בענף המקבילי מייצגים בפועל מופע נמשך, כאשר השיקול לבחירת הענף המקבילי נובע מדרישות התנועה ומתנאים של גלאי הארכה. המעבר המקבילי (שלא כמו הענף המקבילי) לא מיוצג בתרשים הזרימה הסדרתי.

עבור כל מעבר מקבילי יש להציג שלושה מצבי מעבר אפשריים בין שלב המוצא לשלב היעד:

- מעבר ישיר בין שלב המוצא המלא לשלב היעד (בדוגמה מעבר בין B ל-A).
- הארכה בשנייה אחת של המופע המסתיים הנמשך בענף מקבילי 1 – מייצג מעבר מקבילי דרך שלב מעבר אחד (בדוגמה שלב C).
- הארכה בשנייה אחת של המופע המסתיים בענף מקבילי 2 – מייצג מעבר מקבילי דרך שלב מעבר 2 (בדוגמה שלב D).

דוגמה למצב מעבר חלקי מסוג נוסף (המכונה "פנטום"), הינו מצב מעבר לשלב עם מופע מתמשך ומופע חדש, אשר תנאי המעבר הוא הארכה למופע המתמשך. במידה ובאמצע מצב המעבר המופע המתמשך מפסיק לדרוש, עוברים לתפעול לפי מופעים, סוגרים את המופעים המסתיימים, ועוברים ישירות לשלב הבא ללא מעבר דרך השלב עם המופע המתמשך.

6.6 פריסת מצבי שלד

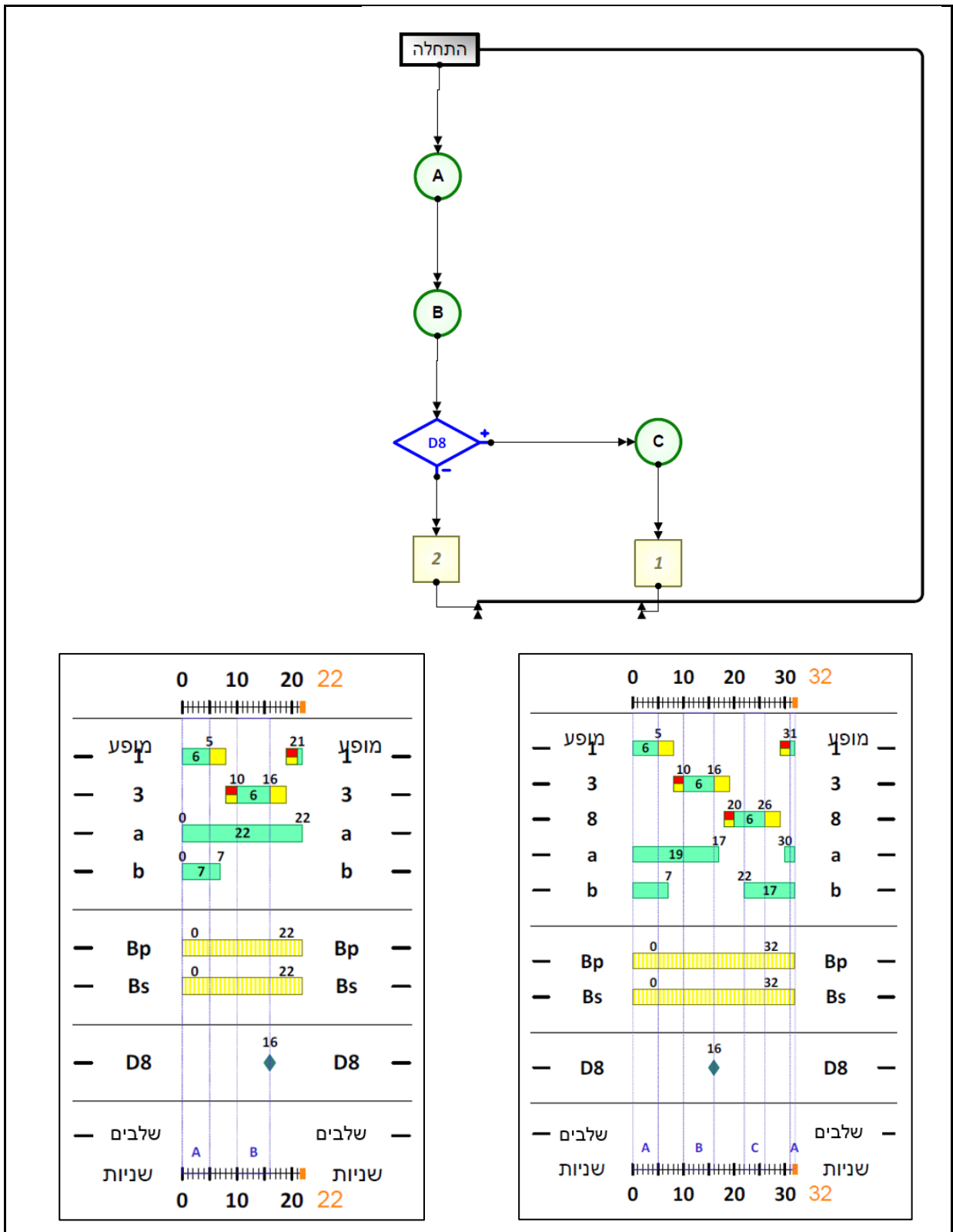
6.6.1 הגדרה

מצבי השלד הינם הצגה גרפית של מהלך הזמנים של כל מופעי הצומת המרומזר, וקציבת משך הזמן המינימלי של כל אחד מהם במחזור אחד, לפי הענפים הנגזרים ממבנה תרשים הזרימה. מצבי השלד מייצגים צירופים שונים של מצבי המעבר בין השלבים, בהתאם לענפים המוגדרים בתרשים הזרימה הסדרתי, או בהתאם לאפשרויות צירופי מצבי המעבר בלוגיקה המפורטת. מצבי השלד מציגים חלוקת ירוק בסיסית למופעים, ללא התייחסות להארכות, במהלך מחזור בסיסי.

מספר מצבי השלד נגזר ממספר ומסדר צירופי השלבים האפשרי על פי הלוגיקה של הרמזור. תרשים 6.13 מציג לדוגמה תרשים זרימה סדרתי של תוכנית רמזור פשוטה, הכוללת שני ענפים בלבד (A-B, C-). ושתיהן פריסות למצבי שלד בהתאמה. בדוגמה זו משך הירוק המזערי נכלל במשך השלב. ניתן לבנות את פריסות השלד כך שמשך מצב המעבר יכלול את משך הירוק המזערי ומשך השלב יהיה מינימלי (1 שני').

6.6.2 עקרונות פריסת מצבי שלד

פריסת מצבי השלד משקפת את המשך המינימלי של המופעים (הקובעים) בתוספת הזמנים הבין-ירוקים. בהתאם לכך נקבע משך המחזור המינימלי הבסיסי. במהלך פריסת מצבי השלד יש להתייחס לעקרונות הבאים:



תרשים 6.13: דוגמה לתרשים זרימה סדרתי ופריסות מצבי שלד

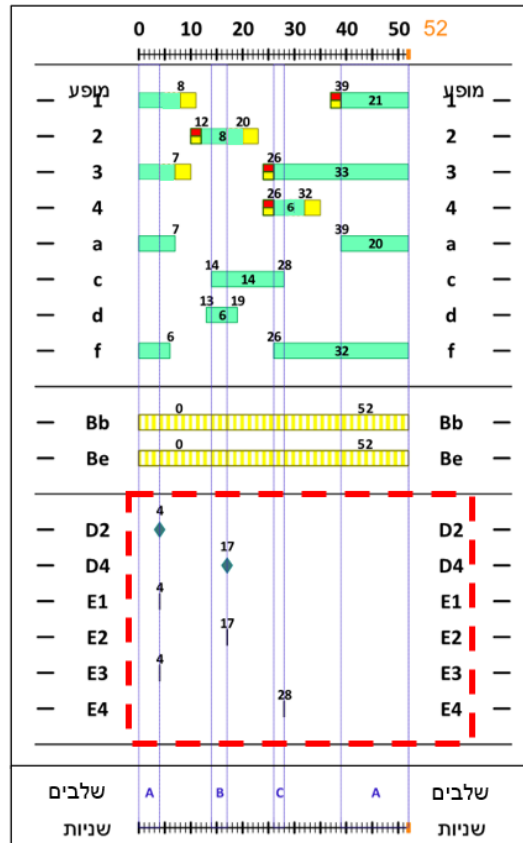
- יש לשאוף למשך פריסות מצבי שלד קצר ככל האפשר, על מנת לאפשר גמישות תכנונית מרבית. משכי השלד מייצגים את המחזור ואת חלוקת הירוק המינימלית, כלומר ללא הארכות שלב. ככל שמשך זה קצר יותר, כך מגוון האפשרויות להארכת המחזור וחלוקת הירוק בפריסות המקסימום גדל, והגמישות התכנונית עולה. בנוסף, משכי פריסות שלד קצרים מאפשרים לתכנן מחזורים קצרים בשעות השפל, ולייעל את תפקוד הצומת בהתאם. על מנת לקבל משכי פריסות שלד מינימליים, נדרש תהליך אופטימיזציה הלוקח בחשבון את המינימום הנדרש עבור המופעים הקריטיים.
- המצב הרצוי הינו שפריסת השלד המייצגת את ה"ענף הראשי" (ענף עם דרישות מלאות) היא בעלת המחזור הארוך ביותר. במידה שלא, יש להתייחס בשלבי תכנון פריסות המקסימום לענף בו משך המחזור הבסיסי הוא הארוך ביותר, לצורך קביעת פרמטרי המינימום והמקסימום ולמניעת חריגה מזמן המחזור המקסימלי.
- במהלך פריסת מצבי השלד, יש לוודא שאין חריגות בזמנים הבין-ירוקים בין שלבים שאינם עוקבים. חישוב תקין של מצבי המעבר מבטיח שלא יהיו חריגות בזמנים הבין-ירוקים בין שני שלבים עוקבים. עם זאת, ייתכנו מקרים בהם יתקבלו חריגות בזמנים הבין-ירוקים בין מופעים שאינם כלולים בשלבים עוקבים. על פריסות השלד למנוע חריגות אלה ע"י הארכת השלב הרלוונטי בהתאם.
- בפריסות מצבי שלד בהן משך הירוק המזערי נכלל במצבי המעבר, וכאשר קיימים מופעים אשר נמשכים על פני יותר משלב אחד, ייתכנו משכי ירוק שגדולים ממשך הירוק המזערי. במצבים אלה משך השלד מתארך ללא כל הצדק, ולכן נדרשת הגדרה ועריכה מחדש של מצבי המעבר.
- בקר הרמזור בודק מדי שנייה את ההחלטה על הפעולה הנדרשת בשנייה הבאה, וזאת בהתאם ללוגיקת התכנון, לפרמטרים ולמידע המתקבל מהגלאים. לפיכך, פריסות מצבי השלד צריכות להיות זהות, עד לזמן בו מתקבלת החלטה על פיצול לענפי השלד השונים.

6.6.3 נקודות החלטה

נקודות החלטה מייצגות את נקודות הזמן בתוכנית הזמנים של הרמזור, בהן מתבצעות הפעולות הלוגיות, ומתקבלת החלטה על אופן פעולתו של הרמזור. בנקודה זו מתקבלת ההחלטה אם להאריך את השלב או לעבור לשלב הבא, בהתאם לתנאים הלוגיים בתרשים הזרימה ולערכי הפרמטרים. נקודות החלטה נקבעות כחלק מפריסות מצבי השלד ומיקומן המיטבי הינו בסוף השלב המסתיים.

בקביעת נקודות החלטה יש לשאוף שההחלטה על המהלך הבא (פסיחה, הארכה וכו') תהיה בסמוך ככל האפשר לביצוע מהלך ההחלטה עצמו. הדבר חשוב כדי ליצור מרווח זמן קצר ככל האפשר בין ההחלטה לביצוע, כדי שההחלטה שהתקבלה תהיה רלוונטית למצב הביקושים העדכני.

במצבים בהם לא ברור שנקודות החלטה מתקבלת בסיום השלב, נדרש למקם את נקודות החלטה לכל שלב בכל פריסות מצבי השלד. בנוסף, נדרש לתת שמות שונים גם לשלבים זהים, אם מצב המעבר אינו זהה בין ענפים שונים, או שהמשך המינימלי של השלבים אינו זהה בין פריסות מצבי השלד, וכתוצאה מכך מיקום נקודות החלטה אינו מתקבל באותה השנייה של השלב. תרשים 6.14 מתאר תוכניות שלד עם סימון נקודות החלטה.



תרשים 6.14: דוגמה לפריסת מצב שלד עם מיקום נקודות החלטה

6.7 פריסות מינימום

6.7.1 עקרונות ומטרות פריסות המינימום

פריסות מינימום הינן הצגה גרפית של מהלך הזמנים המינימלי של כל מופעי הצומת המרומזר, בדומה לפריסות מצבי השלד. הפריסה מציגה חלוקת ירוק למופעים במהלך מחזור בסיסי, ללא התייחסות להארכת שלבים כתוצאה מפעולות לוגיות התלויות בהפעלת גלאים לאחר פתיחת השלב. עם זאת, בשונה מפריסות מצב השלד, פריסות המינימום כוללות הארכה של שלבים המוגדרים בלוגיקת הרמזור בפרמטר מינימום, ולכן מהווה מעין הארכה "קשיחה" ומחייבת, אשר לא תלויה בביקושים הקיימים מרגע פתיחת אותו שלב. הצגת ההארכות הקשיחות מאפשרת לבחון אלמנטים שונים של תכנית הזמנים וחלוקת הירוק, אשר מחד תלויים בפעולות לוגיות מסויימות (הפעלת גלאי דרישה לרכב, הפעלת לחצני הולכי-רגל, קבלת פולסי תיאום, פעולות העדפה לתח"צ, אי שימוש בגלאי הארכה וכיוצ"ב), ופתיחת שלבים בהתאם, ומאידך אינם תלויים בהפעלת גלאים הנבדקים בלוגיקה לאחר פתיחת השלבים (בד"כ גלאי הארכה לרכב).

הגדרת פריסות המינימום הינה בהתאם לצורך התכנוני ולמאפיינים התנועתיים בצומת, תוך התחשבות בשונות לאורך היום (בדומה לפריסות מקסימום), ובמצבים לוגיים שונים (העדפה לתח"צ, ענפים ללא דרישה מלאה).

6.7.2 מינימום ירוק לשלבים

הגדרת מינימום ירוק לשלבים באמצעות הארכות קשיחות, נקבעת בהתאם למאפיינים התנועתיים בצומת, ומיושמת כפרמטר תכנוני עבור כל שלב ולא כחלק מהשלד. מינימום ירוק לשלב יכול להיות מוגדר לצורך מתן חצייה רציפה (עם או בלי תלות בדרישה לחציית הולך-רגל), מנגנון הארכה קשיחה (למשל במצבים של קירבה לצומת אחר ותיאום של גל ירוק, מתן "עדיפות תכנונית" למופעים), פיצוי למופע רכב (במצבים של העדפה לתח"צ) ומצבי תנועה נוספים. הגדרת מינימום ירוק לשלב יכולה להשתנות כתלות בזמן במהלך היום בהתאם לשיקולים תכנוניים. ככלל, הגדרת מינימום ירוק לשלב מפחיתה את גמישות תוכנית הרמזור, ולכן מומלץ להימנע ממנה אלא אם היא מחוייבת מבחינה תפעולית (כמו במקרים של חצייה רצופה). במידה ולא מוגדר מינימום ירוק לשלב (כלומר פרמטר התכנון הינו אפס), אזי המינימום שיתקבל למופעים הינו בהתאם לפריסת מצבי השלד.

6.8 פריסות מקסימום

6.8.1 הגדרה

פריסות מקסימום הינם הצגה גרפית של מהלך הזמנים ברמזור באמצעות פריסה מורחבת על בסיס פריסות מצבי השלד (בד"כ ענף הדרישות המלאות, וללא מצבי תפעול מיוחדים של העדפה לתח"צ). פריסת המקסימום כוללת את חלוקת הירוק המלאה לשלבי הרמזור, בהתאם לפרמטר המקסימום המוגדר עבור כל שלב. הפריסה מציגה את חלוקת הירוק למופעים בהתאם לנתונים על נפחי התנועה של משתמשי הדרך השונים (ספירות, תחזיות), או מאפייני תנועה אחרים בצומת (תנועת אופניים או ה"ר), ובהתאם לזמן המחזור המוגדר (השפעה הדידית).

מאפייני התפעול העיקריים הנקבעים בפריסות המקסימום הינם זמן המחזור המקסימלי, תפעול בזמן מחזור קבוע/משתנה, חלוקת הירוק למופעים, ובדיקת גלאי הארכה לרכב (במידה וקיימים).

6.8.2 קביעת זמן מחזור

זמן המחזור עבור פריסות המקסימום מוגדר כמשך הזמן בין תחילת שלב ראשי במחזור זה לתחילת שלב ראשי במחזור הבא. זמן זה נקבע בהתאם למאפייני התנועה בצומת, כדוגמת נפחי התנועה במופעים הקובעים, מספר השלבים ומשך הזמנים הלא מנוצלים, כפי שמפורט בסעיף 4.6.1.

זמן המחזור משפיע על קיבולת ומאפייני תפקוד הצומת. מחד, ככל שזמן המחזור גדל, קטן יחס הזמנים הלא מנוצלים ביחס לזמן הירוק האפקטיבי, ולכן גדלה קיבולת הצומת, ומאידך, זמני ההמתנה ברמזור מתארכים, וכן נפגעת יכולת ניצול הירוק בעקבות פיזור השיירה עם הגידול במשך הירוק. לפיכך, יש לקבוע את זמן המחזור הקטן ביותר האפשרי התואם לנפחי התנועה בצומת, למניעת בזבז זמן ירוק זמני המתנה ארוכים של כלל משתמשי הדרך, ובפרט הולכי-רגל ורוכבי אופניים.

זמן המחזור המיטבי (מבחינת הרכב הפרטי) מחושב לפי:

$$C = \frac{K}{1-r \cdot \frac{V_{cr}}{3600}}$$

כאשר:

- C – זמן המחזור המיטבי (שניות)
- K – סך הזמן הלא מנוצל לרכב (שניות)
- r – קצב מעבר כלי-רכב בצומת על פי רמת השירות לתכנון (שניות/ית"ן) לפי טבלה 4.7 (2.1) לרמת שירות A-C; 1.9 לרמת שירות D; 1.7 לרמת שירות E)
- V_{cr} – נפח קובע (ית"ן/שעה/נתיב).

זמן המחזור המרבי לתכנון הינו 120 שניות. חריגה מזמן מחזור זה תינתן במקרים מיוחדים ובאישור רשות התימור המקומית. באופן עקרוני, יש לחשב את זמן המחזור המיטבי, ולקבוע את זמן המחזור לתכנון כך שתפקוד הצומת יהיה ברמת שירות C, ללא חריגה מזמן המחזור המרבי. במידה שתפקוד ברמת שירות C אינו אפשרי, ניתן לתכנן מחזורים אשר יתפקדו ברמת שירות נמוכה יותר (D או E), ובליט ברירה, לדוגמה בצמתים לשלבי ביצוע, או בדרכים ורחובות בהיררכיה נמוכה, גם ברמת שירות נמוכה יותר. זמן המחזור לתכנון יכול להיות שונה מזמן המחזור המיטבי המחושב, עקב מאפיינים תנועתיים, שיקולים של הולכי-רגל ורוכבי אופניים, העדפה לתח"צ, תיאום צמתים בגל ירוק, מדיניות תכנונית וכיוצ"ב. בצמתים, בעיקר במרחב העירוני, המאופיינים בתנועה משמעותית של רוכבי אופניים והולכי-רגל, יש לשקול קיצור זמני מחזור גם במחיר של פגיעה בקיבולת הרכב. מחזורים קצרים יאפשרו למשתמשים אלה המתנות קצרות ורמת שירות טובה (התלויה בעיקר בזמן האדום למופע). בנוסף, זמני המתנה קצרים צפויים לשפר את בטיחות הולכי-הרגל עקב הפחתת תופעת אי-הציות לרמזור.

6.8.2.1 מחזור משתנה

תפעול תכנית הרמזור במחזור משתנה, מאפשר את פעולת הרמזור בצומת בהתאמה מלאה להפעלת הגלאים (דרישה לה"ר/רכב, הארכה, תור). בתפעול זה, במידה שאין ניצול מלא של הירוק המקסימלי לשלבים השונים (דילוג או אי ניצול הארכה), יתקצר המחזור ביחס למחזור המקסימלי המוגדר בתוכנית. תפעול זה מומלץ מאחר שהוא מותאם למצב התנועה בפועל, ללא בזבז זמן ירוק ללא דרישה. לפיכך, יש להשתמש בתפעול זה בכל הצמתים המתופעלים באופן עצמאי. במקרה של צמתים המתופעלים בגל ירוק, יש לשקול את שיטת תכנון הגל הירוק, ובהתאם לכך לקבוע האם המחזור קבוע או משתנה, כמפורט בפרק 7.

6.8.2.2 מחזור קבוע

תפעול תכנית רמזור במחזור קבוע מאפשר שמירה על משך המחזור, גם במצבים שבהם אין ניצול מלא של זמן הירוק המקסימלי לשלבים. בתפעול זה עשויים להתקבל "עודפים" של זמן ירוק כתוצאה מקיצור של שלבים או דילוג עליהם, כאשר "עודפים" אלה מועברים לשלבים אחרים בהתאם לפרמטרי התפעול (ברירת המחדל היא העברת עודפי ירוק בסוף המחזור אל השלב הראשי), עד להשלמת זמן המחזור המקסימלי המוגדר בתוכנית. החיסרון העיקרי של תפעול זה הינו הארכת המחזור שלא לצורך (והארכת זמני המתנה בהתאם), כאשר קיימת התאמה חלקית בלבד למצב הגלאים/פולסים. לכן, במרבית

המקרים, ובמיוחד בצמתים המתוכננים בתפעול עצמאי, מחזור קבוע אינו מומלץ לשימוש. מחזור קבוע נפוץ בצמתים המתופעלים בגל ירוק (תוך התאמת זמני המחזור בין הצמתים), לאור הקושי בסנכרון צמתים בעלי מחזור משתנה, ובהסדרי תנועה זמניים בהם יש קושי בביצוע גלאים.

6.8.3 חלוקת ירוק למופעים

בהתאם לקביעת זמן המחזור לתכנון, נפח התנועה לתכנון לכל מופע ורמת השירות, מחושב זמן הירוק המקסימלי הנדרש לכל אחד מהמופעים. חישוב הזמן מבוצע לכל אחד מהמופעים, על פי הנוסחה הבאה:

$$g_i = r \cdot \frac{v_i \cdot C}{3600}$$

כאשר:

- g_i – משך ירוק נדרש במחזור למופע i (שניות)
- r – קצב מעבר כלי-רכב בצומת על פי רמת השירות לתכנון (שניות/ית"ן) לפי טבלה 4.7 (2.1) לרמת שירות A-C; 1.9 לרמת שירות D; 1.7 לרמת שירות E)
- v_i – נפח תנועה לנתיב למופע i (ית"ן/שעה/נתיב)
- C – זמן המחזור לתכנון (שנ')

הנוסחה המתוארת לעיל מתייחסת לזמן הנדרש עבור כלי-רכב בלבד, ועל בסיס רמת שירות. תהליך הקצאת האות הירוק לשלבים השונים ברמזור יכול להיעשות מתוך שיקולים שונים, לרבות התייחסות למשתמשי דרך אחרים, לדוגמה:

- השוואת יחסי נפח-קיבולת ו/או רמת שירות בכל המופעים – ירוק יחסי על פי נפח התנועה.
- מתן עדיפות לכיוונים הראשיים על חשבון המשניים – הגדלת הירוק לכיוונים הראשיים לשיפור רמת-השירות.
- מתן עדיפות לכיוונים עם תנועת תח"צ.
- מתן ירוק קצר המקטין את רמת-השירות של תנועות המזוהות עם תנועה עוברת בלתי רצויה.
- הפחתת העיכוב להולכי-רגל (ע"י הבטחת חצייה ברצף של מספר מעברי חצייה על ידי הולכי-רגל).
- מתן עדיפות לכיוונים שהתור בהם עלול לגרום לחסימת צומת נוסף במעלה הזרם.

בחלוקת הירוק, יש לשים לב שנפחי תנועה לא בהכרח מיצגים את הביקוש, כאשר הביקוש גדול מההיצע – קיבולת הצומת או המופע הרלוונטי. במקרה זה מומלץ לבצע מדידה של אורכי התורים, ולהעריך את הביקוש הקיים לקביעת חלוקת ירוק מיטבית. ספירות תנועה אינן מדד מייצג במקרים אלה, ותכנון לפי ספירות עלול להנציח את המצב הקיים בו הביקוש גדול מההיצע.

מומלץ לתכנן את חלוקת הירוק למופע בהתאם לרמת שירות C . עם זאת, במקרים רבים תכנון זה אינו אפשרי במסגרת זמן המחזור המרבי לתכנון, או לחילופין קיימת עדיפות תכנונית ברורה לקיצור זמני מחזור, כמו במצב של העדפת משתמשי הדרך הרכים (הולכי-רגל, ואופניים). במקרים אלה ניתן לתכנן את הזמנים השונים לרמות שירות נמוכות יותר לרכב (D או E), בהתאם למדיניות התכנון. ניתן לתכנן רמות שירות שונות לכל מופע כתלות בתצורת הצומת ובמשתמשי הדרך שבו.

6.8.4 הצגת פריסות המקסימום

פריסות המקסימום מציגות את חלוקת הירוק למופעים, את זמן המחזור ואת תזמון פעולת גלאי הארכה. פרמטרים אלה עשויים להשתנות בין תכניות התפעול של אותו צומת בזמנים שונים, בהתאם למאפייני התנועה האופייניים, לרמת השירות המתוכננת ולמשתנים נוספים, כגון מתן משך לחצייה רצופה להולכי-רגל.

הדרישה הבסיסית בפריסות המקסימום הינה הצגה של חלוקת הירוק למופעים (וזמן המחזור המקסימלי) עבור ענף הדרישות המלאות בלבד (ענף מקסימלי), עבור כל אחד מהזמנים השונים המתוכננים במסגרת תוכנית ההפעלה של הרמזור. על בסיס זה נגזרים ערכי פרמטרי המקסימום המתייחסים לאותם מופעים בענפים המשניים. במידת הצורך ועל מנת להדגיש מקרים מיוחדים וערכי פרמטרים לשלבים שאינם חלק מהענף המקסימלי, ניתן להציג פריסות מקסימום גם עבור ענפים משניים. אין צורך להציג פריסות מקסימום במקרים אלה, כאשר משתמשים בטבלת פרמטרים המציגה את פרמטר המקסימום לתוכנית.

בנוסף למשך הירוק, פריסות המקסימום מציגות את התזמון הרציף של בדיקת גלאי הארכה ומיקום נקודות ההחלטה. נדרש להציג את אות הגלאי עבור כל מופע הכולל תכנון של גלאי זה מרגע סיום השלד, כפי שמוצגות בפריסות מצבי השלד, ועד משך הירוק המקסימלי לשלב, בהתאם למשך הירוק הדרוש לאותו מופע כפי שנקבע כמפורט מעלה.

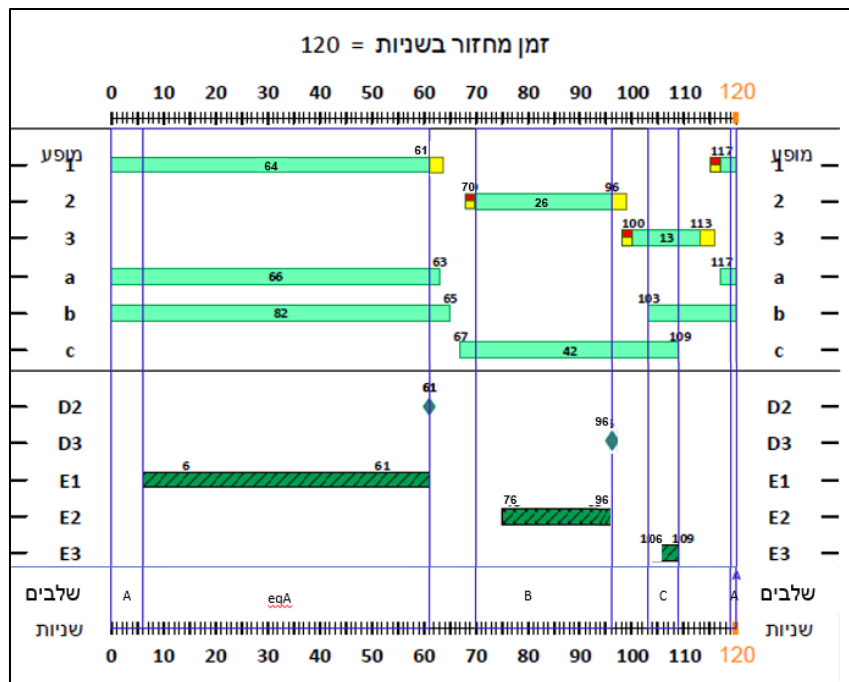
טבלה 6.6 מציגה ניתוח חלוקת אור ירוק למופעים השונים ברמזור על בסיס ספירות תנועה ומשך מחזור של 120 שניות.

תרשים 6.15 מציג את פריסת המקסימום התואמת לניתוח חלוקת הירוק עבור תפעול הצומת ברמת שירות C, כולל סימון בדיקת גלאי הארכה.

טבלה 6.6: ניתוח חלוקת אור ירוק למופעים השונים ברמזור

על בסיס ספירות תנועה ומשך מחזור של 120 שניות

ירוק בפועל [שנ']	אור ירוק דרוש g רמת שרות E [שנ']	אור ירוק דרוש g רמת שרות D [שנ']	אור ירוק דרוש g רמת שרות C [שנ']	ית"ן/נתיב/מחזור	ית"ן/נתיב/שעה	מס' נתיבים למופע	ית"ן מקס' לשעה לפי ספירות	מס' מופע
64	51	57	63	30	900	2	1,800	1
26	20	23	25	12	350	2	700	2
13	10	12	13	6	175	2	350	3



* הערה: שלב eqA זהה לשלב A

תרישים 6.15: דוגמה לתוכנית מקסימום עם סימון בדיקת גלאי הארכה

6.8.5 תוכניות הפעלה

השונות הקיימת במאפייני התנועה במהלך היום, מצריכה גמישות בתפעול הרמזור, ע"י הגדרה של פריסות מקסימום בעלות מאפיינים שונים, בעיקר זמן מחזור וחלוקת ירוק, עבור שעות שונות במהלך היממה. תוכניות הפעלה מייצגות את פריסות המקסימום למצבי התפעול השונים של הרמזור, ולעתים גם פריסות מינימום שונות בהתאם לצרכים המיוחדים של תוכנית הפעלה.

תוכניות הפעלה מוגדרות עבור מצבי תפעול שוטף בהתאם למאפיינים התנועתיים המשתנים בצומת במהלך היום (בוקר, צהרים, אחה"צ, ערב, לילה וכיוצ"ב), במהלך השבוע (יום חול, שישי, שבת) ולמועדים קבועים במהלך השנה (ערב חג, חג).

קביעת חלוקת התוכניות ומספר התוכניות הנדרשות על פני היממה וימות השבוע צריכה להתבצע בהתאם להומוגניות יחסית בנפחי התנועה לתכנון, כך שלא ייווצר מצב של תוכנית אשר לא תואמת למצב התנועה. בכל אחת מתקופות היממה וימות השבוע בהן נקבעת תוכנית הפעלה, יש לקחת את נפחי התנועה המקסימליים לכל מופע לצורך קביעת חלוקת הירוק. במועדים בהם לא קיימים ספירות או תחזיות תנועה (שעות הלילה, סופי שבוע וחגים), ניתן לבצע הערכה מושכלת של נפחי התנועה על בסיס תצפיות, מצב קיים, או כל מידע תנועתי רלוונטי אחר. לוח הזמנים להפעלה יתוכנן בד"כ לימים א'-ה', לשישי וערבי חג, לשבת וחג ולוחות נוספים במידת הצורך. ניתן לתכנן לוח שונה ליום חול מסויים בעקבות התנהגות תנועתית דומה ביום קבוע בשבוע (כדוגמת יום שוק, או יום פעילות של תנועת הנוער).

את נפחי התנועה לתכנון מומלץ לבסס על מועד הפעלת הרמזור בצומת, ולא על פי תחזיות לטווח ארוך.

יש לבצע תחזיות תנועה / ספירות תנועה התואמים למועד ההפעלה. עדכון התוכניות צריך להתבצע מעת לעת כאשר מזוהים שינויים בדפוסי הנסיעות, בנפחי התנועה, בהתפלגות כיווני התנועה וכיוצ"ב, כך חלוקת הירוק לתוכניות התפעול השוטף בהתאם לזמנים השונים, תתאים ככל האפשר לנפחי התנועה בצומת.

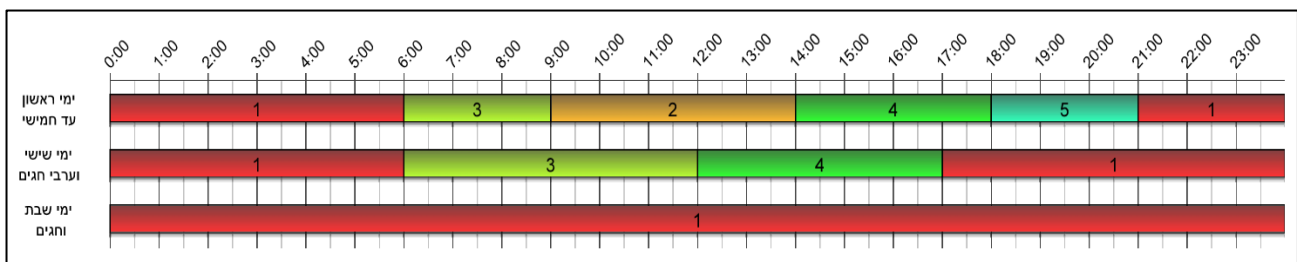
תרשים 6.16 מציג חלוקה מוצעת של תוכניות הפעלה לתפעול שוטף על פי נתוני תנועה. טבלה 6.7 מתארת את רשימת תוכניות ההפעלה עבור התפעול השוטף, בהתאם לנתוני התנועה, ותרשים 6.17 מציג את שיבוץ תוכניות ההפעלה במהלך היממה.

מס' הדרג / כיוון מ-שעה	דרך מס' רפאל מצפון			דרך מס' 0 מדרום			דרך מס' ירושלים ממזרח			ירושלים ממערב			סה"כ בצומת	
	צפון ימנה	צפון ישר	צפון שמאלה	דרום ימנה	דרום ישר	דרום שמאלה	מזרח ימנה	מזרח ישר	מזרח שמאלה	מערב ימנה	מערב ישר	מערב שמאלה		
06:00-07:00	0	0	0	0	0	0	12	713	0	0	635	17	652	1,377
07:00-08:00	0	0	0	0	0	0	305	922	0	1,227	1,061	319	1,380	2,607
08:00-09:00	0	0	2	0	0	0	131	885	0	1,016	951	210	1,161	2,179
09:00-10:00	0	0	0	0	0	0	0	647	0	647	0	754	754	1,401
10:00-11:00	1	2	0	0	0	0	1	637	0	638	0	679	679	1,320
11:00-12:00	0	1	0	0	0	0	1	665	0	666	0	688	688	1,355
12:00-13:00	0	0	0	0	0	0	0	689	0	689	0	734	734	1,423
13:00-14:00	0	0	0	0	0	0	0	757	0	757	0	705	705	1,462
14:00-15:00	1	0	0	0	0	0	2	709	0	711	0	860	860	1,572
15:00-16:00	28	21	49	0	0	0	1	742	0	743	0	1,008	1,008	1,800
16:00-17:00	138	0	290	0	0	0	0	873	0	873	0	1,017	1,017	2,180
17:00-18:00	178	0	368	0	0	0	0	912	0	912	0	1,086	1,086	2,366
18:00-19:00	140	0	229	89	0	0	0	709	0	709	0	883	883	1,821
19:00-20:00	24	0	58	34	0	0	0	689	0	689	0	797	797	1,544
סה"כ	510	0	1,001	491	0	0	453	10,549	0	11,002	0	11,858	546	24,407

תרשים 6.16: תוכניות הפעלה לפי נתוני תנועה (סה"כ ית"ן בזרועות כניסה לצומת)

טבלה 6.7: דוגמה לרשימת תוכניות הפעלה בתפעול שוטף

שם תוכנית	מספר תוכנית
לילה	1
צהריים	2
בוקר	3
אחרי הצהריים	4
ערב	5



תרשים 6.17: לוח זמנים להפעלת הרמזור עם שיבוץ תוכניות הפעלה שונות במשך היממה

בנוסף, ניתן להגדיר תוכניות הפעלה למצבי תפעול מיוחדים, אשר תפקידם לאפשר מענה למצב תנועתי החורג מהמצב השגרתי. מענה זה יכול להיות בגין אירועי תנועה מתוכננים מראש (כדוגמת אירועי תרבות המוניים), או בעקבות אירועים לא צפויים (כדוגמת חסימת נתיב בגין תאונה). בתוכניות למצבי תפעול מיוחדים יש להתייחס למצבים קיצוניים בצומת, כולל אפשרות לפינוי גישות משניות. בדומה להגדרת תוכניות התפעול השוטף, התוכניות המיוחדות ייקבעו עם זמני מחזור וחלוקת ירוק שונים. משכי המחזור וחלוקת הירוק של תוכניות מצבי התפעול המיוחדים ייקבעו בהתאם למדיניות המזמין ולצרכיו. אחת האפשרויות לדוגמה היא תוספת של 10 שניות ירוק למופע המפנה ביחס למשכו המקסימלי בתוכניות התפעול השוטף, על חשבון מופעים אחרים. בתוכניות למצבי תפעול מיוחדים ניתן לחרוג מזמן מחזור מקסימלי של 120 שניות, בהתאם למדיניות רשות התימרוור המקומית.

6.9 פרמטרים

מערך פרמטרי תכנון הרמזור הינם הערכים המשמשים לשליטה בתפעול תוכניות הרמזור. מערך הפרמטרים הינו למעשה תרגום של כלל תוכניות ההפעלה על פי ערכי המינימום והמקסימום של השלבים השונים. ערכים אלה מוזנים לבקר הרמזור, ועל פיהם פועל הרמזור.

בנוסף, מערך הפרמטרים מהווה ממשק בין תכנית הרמזור לבין מערכת הבקרה לצורך יצירת שפה אחידה, שאינה תלויה בתוכנת התכנון, ותוצר אחיד וברור למפעילי מרכז ניהול התנועה. תכנון תוכניות רמזור המבוסס פרמטרים מאפשר גמישות מרבית בתפעול תוכניות התפעול השוטף, ומקרים מיוחדים בהם מזוהים דפוסי תנועה חריגים, ע"י שליטה בבקר הרמזור דרך מערכת הבקרה והתאמה של חלוקת הירוק לתנאי התנועה המשתנים.

כאמור, גם כאשר הרמזור אינו מחובר למרכז בקרה, שימוש בפרמטרים כחלק מתוכנית הרמזור מאפשר יעילות בהצגת תוכניות הזמנים השונות, ואפשרויות פשוטות לעדכון תוכניות הפעלה ע"י שינוי ערכי הפרמטרים.

הפרמטרים הנפוצים בתכנון רמזור ללא העדפה לתחבורה ציבורית כוללים מינימום ומקסימום לכל שלב (יכול להיות מוגדר כמשך, שנייה במחזור או עודף משלב קודם), זמן המחזור המקסימלי, פרמטרי גל ירוק בין צמתים מתואמים (היסט, האם התכנית עובדת בגל, צומת שולט או נשלט), פרמטרים של גלאי דרישה/הארכה/לחצני הולכי-רגל, ופרמטרי בקרה נוספים המותאמים לצרכים הרלוונטיים לכל רמזור. כלל הפרמטרים יכולים להשתנות בין תוכניות ההפעלה השונות.

מערך הפרמטרים נקבע בהתאם לדרישות הפרויקט, למדיניות המזמין, למערכת ניהול התנועה בצומת, לסוג הבקר ועוד.

כל פרמטר הינו חד-חד ערכי, ולא יכול לשמש בשני תפקידים שונים. בכל תוכנה בה מתכננים יש להקפיד להגדיר את שמות הפרמטרים כפי שהוגדרו על ידי מרכז ניהול התנועה, לשם יצירת אחידות ולצרכי תחזוקה לאורך חיי הרמזור. בהתאם לכך יש לבצע שיוך של הפרמטר ומספרו לפי הגדרות מרכז ניהול התנועה, בהתאם לתפקיד ולמשמעות הפרמטר.

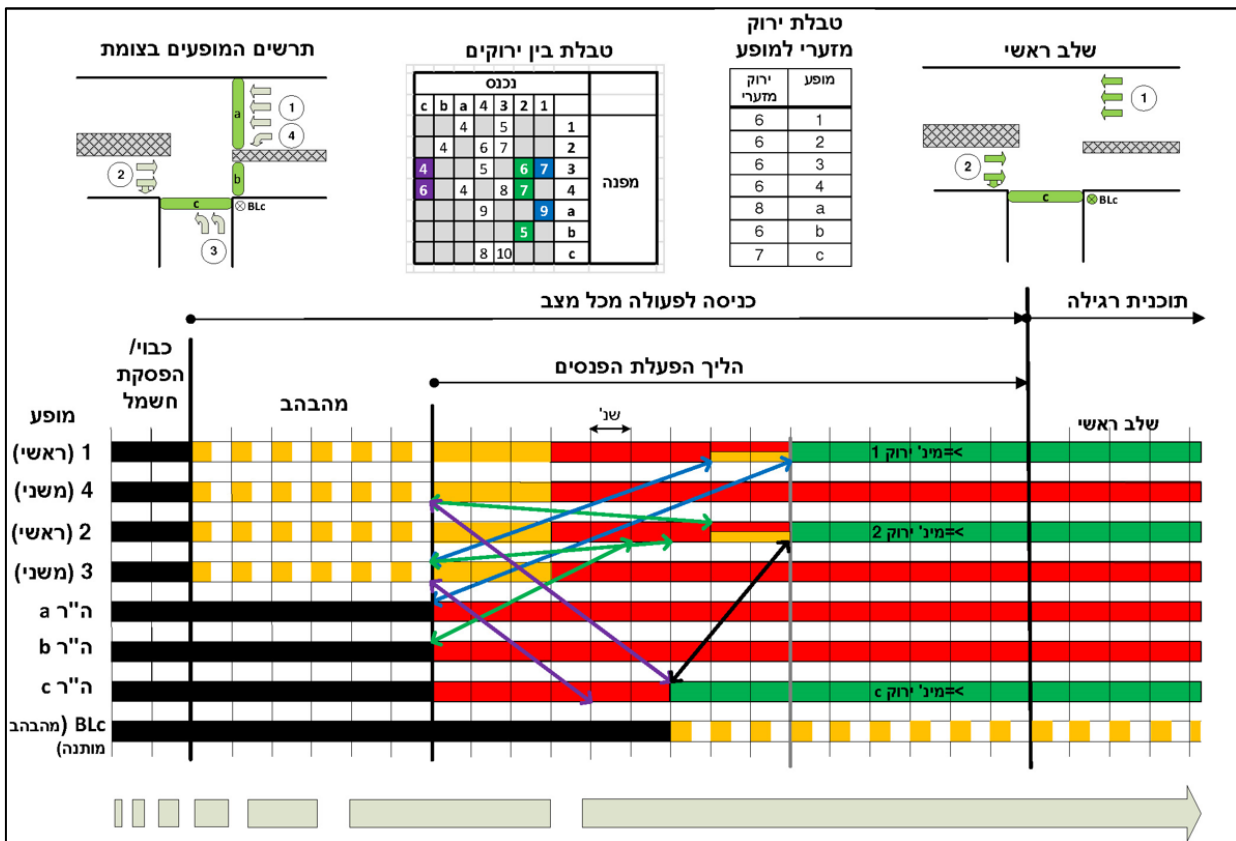
מומלץ לכלול את רשימת הפרמטרים בהתאם להגדרות הפרויקט, כחלק מהתכנון המפורט בכל רמזור.

6.10 תוכניות מיוחדות

6.10.1 תוכנית כניסה לפעולה

המעבר ממצב שהרמזור אינו מופעל (חשוק), או ממצב של הבהוב צהוב בכל הפנסים לרכב, למצב פעולה סדירה של הרמזור, יבוצע באופן מבוקר ובהתאם לתוכנית כניסה לפעולה. המטרה של תוכנית כניסה לפעולה היא לתת התראה למשתמש הדרך על כך שפעולת הרמזור התחדשה, וכן להבטיח זמנים בין ירוקים מרגע הפסקת הבהוב (או חושך במקרה של מופע הולך-רגל) לירוק במופע נוגד לו. בנוסף, התוכנית תכלול זמן ירוק מזערי במופעים של השלב הראשון המופעל ברמזור. תוכנית הכניסה לפעולה תתכנן לכל רמזור בהתאם למאפייניו ולזמנים הבין-ירוקים שלו.

להגדרת תוכנית כניסה לפעולה עבור רמזור נייד ועבור רמזור מקדים למפגש רכבת ראו פרק 9. תרשים 6.18 מציג דוגמה לתוכנית כניסה לפעולה. שלבי הכניסה לפעולה מתוארים בטבלה 6.8.



תרשים 6.18: תוכנית כניסה לפעולה

טבלה 6.8: שלבי הכניסה לפעולה של מופעי הרמזור

שלב	מופעי רכב	מופעי הולכי-רגל
א	6 שניות הבהוב צהוב	חושך
ב	3 שניות צהוב קבוע	אדום
ג	מופעים שיהיו ירוקים בשלב הראשי: אדום (ואדום צהוב) עד השלמת משך בין-ירוקים מרבי לכניסת המופע מול המופעים הנוגדים לו, מרגע תחילת הליך הפעלת הפנסים (ראו הערה). מופעים שאינם חלק מהשלב הראשי: אדום	בדומה למופעי רכב
ד	השלמת ירוק מזערי בכל המופעים שהם חלק מהשלב הראשי. המעבר משלב זה יהיה רק לאחר השלמת כל הירוקים המזעריים בכל המופעים הלוקחים חלק בשלב הראשי.	בדומה למופעי רכב
ה	תחילת שלב ראשי בתוכנית הרגילה. בתחילת התוכנית הרגילה תחל ספירת המחזור.	תחילת שלב ראשי בתוכנית הרגילה

הערה: רגע המעבר לצהוב קבוע במופעי הרכב, ולאדום במופעי הולכי-רגל, ייחשב כ"תחילת הפעלת הפנסים". לדוגמה, לצורך פתיחת ירוק במופע 1, יבחן זמן הבין-ירוקים מול מופע 3 (7 שניות) ומול מופע a (9 שניות), וייבחר הזמן המרבי (מופע 1 יפתח 9 שניות לאחר "תחילת הפעלת פנסים").

6.10.2 תוכנית יציאה מפעולה

לא תהיה תוכנית מיוחדת ליציאה מפעולה, וניתן לעבור מיידית למצב של הבהוב צהוב, או ישירות לחושך (במקרה של הפסקת חשמל). במקרה של פעולה יזומה, רצוי להעביר ידנית את הרמזור להבהוב למספר שניות, ורק לאחר מכן למצב חושך.

6.10.3 תפעול ידני (תוכנית שוטר)

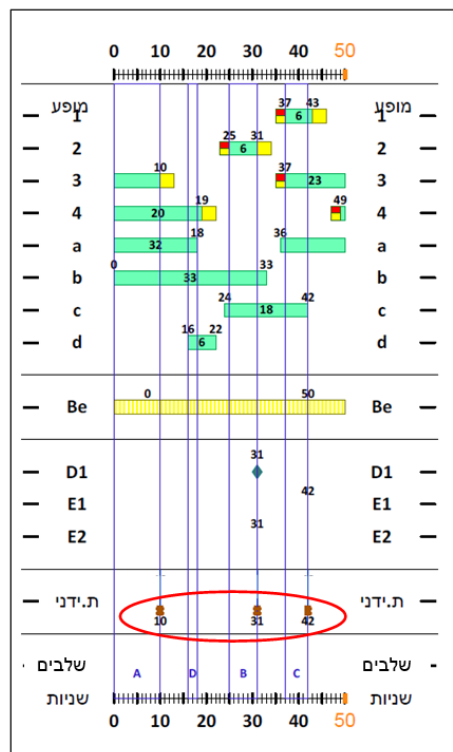
תפעול ידני של הרמזור (נקרא לעיתים "תוכנית שוטר"), מאפשר להחליף שלבים ברמזור באופן ידני על ידי בחירת מצב "תפעול ידני" בתא צדדי של הבקר, וקידום התוכנית באמצעות לחיצה על הכפתור המתאים בתא זה.

תפעול מסוג זה נועד לסייע בהכוונת התנועה פיזית בצומת באירועים מיוחדים ובמצבים קיצוניים. תוכנית תפעול ידני תתבסס בדרך כלל על התוכנית הרגילה, תוך ציון "נקודות" עצירה/קידום. הבקר יעצור

ב"נקודת עצירה", וימתין ללחיצה על כפתור הקידום בבקר. עם קבלת אות הקידום, הבקר יתקדם לשלב הבא בהתאם לתוכנית (פתיחה וסגירת מופעים בהתאם לתוכנית) עד לנקודת העצירה הבאה, שם ימתין לקבלת אות קידום נוסף.

בדרך כלל תוכנית התפעול הידני תהיה פשוטה ולא תכלול אלמנטים מופעלי תנועה. עם זאת, כאשר נמצא כחשוב, ניתן לשלב בתכנון זה פסיחות, ואף להכין לוגיקה מיוחדת לתפעול הידני. במקרה כזה נקודות העצירה יוצגו בכל הענפים הרלוונטיים. כאשר שני צמתים (או יותר) מופעלים מבקר אחד, נדרשת תוכנית תפעול ידני משותפת לכל הצמתים.

דוגמה לתיאור תפעול ידני מוצגת בתרשים 6.19.



תרשים 6.19: דוגמה לתפעול ידני

6.11 חוברת תוכנית הזמנים

- חוברת תוכנית הרמזור תכלול לכל הפחות את המרכיבים הבאים:
- דף שער של תוכנת התכנון (שם צומת, גרסה, תאריך, מספר צומת, מספר ותאריך הסדר הנדסי, גל ירוק/עצמאי, שם מתכנן ובקר משרד התכנון + חתימה).
 - תכנית הסדר הנדסי ורימזור בקנ"מ 1:500.
 - דף הסבר על עקרון תפעול הרמזור, כולל פירוט פרמטרים מיוחדים (יש לכלול בין היתר תיאור של חצייה רצופה מתוכננת והזמן הדרוש לקיומה במקרים הרלוונטיים).
 - תרשים הצומת בתוכנת התכנון המאושרת, כולל סימון מופעים, גלאים ולחצני הולכי-רגל.

- טבלת חישוב זמנים בין ירוקים ופרמטרים לחישוב.
- מטריצת זמנים בין-ירוקים.
- טבלת מופעים הכוללת משכי ירוק מזערי למופעי הרמזור.
- שלבי הרמזור.
- תרשים זרימה ולוגיקת התכנון.
- פריסות מצבי שלד לכל ענפי התכנון.
- תפעול ידני.
- פריסות מקסימום על פי ענף הדרישה המקסימלי עבור תוכניות ההפעלה. במידת הצורך הצגת ענפים נוספים.
- לוח זמנים להפעלה.
- ניתוח תנועה (רמת שירות) על פי ספירות/תחזיות.
- טבלת פרמטרים.
- דף הסבר מפורט לגל הירוק, תרשימי גל ירוק.
- טבלת חישוב הגלאים.
- ספירות/תחזיות תנועה.

6.12 תכנון מפורט לרמזור הכולל העדפה לתחבורה ציבורית

6.12.1 מרכיבי התכנון

התכנון המפורט של רמזור העדפה לתחבורה ציבורית הינו הטמעה של עקרונות התכנון המוקדם ותרשים הזרימה התפעולי בתוכנת התכנון, ותרגום שלהם למערך שלם של פונקציות, תנאים לוגיים ופרמטרים תכנוניים.

התכנון המפורט של רמזור העדפה לתחבורה ציבורית יכולול בנוסף לרכיבי התכנון המפורט של רמזור רגיל, את המרכיבים הבאים:

- הגדרת כלל הגלאים הנדרשים לזיהוי הרכב המועדף וקביעת מיקומם, כמפורט בפרק 8.
- הגדרת פרמטרים לצורכי העדפה לתחבורה הציבורית, ופרמטרים נוספים בהתאם להגדרות הפרויקט.
- כתיבת לוגיקה מפורטת המגדירה את התנאים הלוגיים לתפעול הרמזור לצורך מתן העדפה לרכב התחבורה הציבורית בהתאם למדיניות הפרויקט, עבור כל מצבי המעבר כפי שהוגדרו בתרשים הזרימה התפעולי בשלב התכנון המוקדם. הלוגיקה המפורטת נכתבת לצורך קבלת החלטות מדי שנייה במחזור במצבי הגעה שונים של רכב התצ"ם, ובהתאם למידע המתקבל מהגלאים ולחצני הדרישה עבור כלל משתמשי הדרך בצומת (כלי הרכב, הולכי-רגל, אופניים).
- הגדרת כלל המרכיבים הנדרשים לתפעול גל ירוק (פולסים יוצאים ונכנסים), במידה שרלוונטי לצומת המתוכנן, והטמעתם כחלק מהלוגיקה המפורטת, בהתאם למפורט בפרק 7 ולעקרונות התכנון המוקדם.

6.12.2 מסמך הלקסיקון

כשלב מקדים לקידום תכנון מפורט לרמזור העדפה לתחבורה ציבורית, נדרשת הכנה של מסמך לקסיקון. מסמך זה מוגדר לכל פרויקט תצ"ם באופן פרטני, ומבטא את מדיניות ההעדפה בפרויקט, את שיטת התכנון, והעקרונות התכנוניים לכלל הרמזורים בפרויקט.

מסמך הלקסיקון שומר על אחידות התכנון, והינו בעל חשיבות הן עבור שלב ההטמעה בבקר הרמזור, והן עבור אחידות בתפעול ובתחזוקה השוטפת, ולכן יש חשיבות שהוא יחול על כל הצמתים הכלולים בפרויקט העדפה לתחבורה ציבורית.

מסמך הלקסיקון מכיל שני מרכיבים עיקריים המתבססים על מדיניות הפרויקט:

- ספריית הפונקציות לפרויקט לצורך תפעול ומתן העדפה, והגדרת הפרמטרים השונים שעל בסיסם מבוצע התכנון המפורט. השימוש בספריית פונקציות מוסכמת מראש מאפשרת אחידות במאפייני התכנון בין מתכננים שונים בפרויקט, ומקלה על בדיקה ויישום התוכנית בבקר.
- הגדרות התפעול ואופן התפעול של כל מרכיבי המערכת המתועדת מבחינת מערכים וגלאים המהווים בסיס לספריית הפונקציות.

ספריית הפונקציות מתייחסות בדרך כלל ל-4 קבוצות עיקריות:

- פונקציות המתייחסות למופעים / שלבים (לדוגמה: פונקציה הבודקת משכי ירוק).
- פונקציות המתייחסות לגלאים (לדוגמה: פונקציה הבודקת האם גלאי מסוים דרוך, תקלות גלאים).
- פונקציות המתייחסות למערך רכבי התצ"ם על פי זמן הגעתם לקו העצירה (לדוגמה: זמן ההגעה הצפוי של התצ"ם לקו העצירה).
- פונקציות המתייחסות למשכי זמן הקשורים להגעת הרכב המועדף (לדוגמה: משך הזמן הנותר עד לסיום זמן המחזור).

הבסיס לכתיבת לוגיקת התפעול של הרמזור מורכב משילוב פונקציות שונות הבודקות את זמן הגעת התצ"ם לקו העצירה אל מול נקודת הזמן במחזור לפתיחת מופע ירוק לרכב התצ"ם, מהמידע מהגלאים השונים, ומרכיבים נוספים כגון מנגנון הפיצוי וזמני המתנה מרביים.

ניתן לייצר פונקציות עבור מסמך הלקסיקון על פי צורך ועל פי דרישות הפרויקט.

מסמך הלקסיקון מתורגם לקבצי עבודה המתאימים לתכנת התכנון כפי שהוגדרה בפרויקט, כאשר התכנון המפורט של רמזור תצ"ם, מתבסס על קבצי עבודה אלו.

6.12.3 סוגיות עיקריות בתכנון תוכנית הזמנים של הרמזור

תכנון רמזור העדפה לתחבורה ציבורית הינו הליך מורכב המשלב תנאים לוגיים רבים, בחינת אילוצים שונים וריבוי פרמטרי תכנון. אחד העקרונות החשובים בתכנון רמזורי העדפה הינו שמירה על גמישות רבה בתכנון, שתאפשר מתן העדפה במצבי תפעול שונים. לפיכך, הכללים לכתיבת הלוגיקה מותאמים לצרכי ומדיניות הפרויקט, ואינם בהכרח זהים מצומת לצומת או מפרויקט לפרויקט. חלק זה מציג מספר סוגיות מרכזיות אליהן יש להתייחס בעת כתיבת התכנון המפורט של רמזורי העדפה לתחבורה ציבורית.

6.12.3.1 זמן המתנה מרבי להולכי-רגל/רוכבי אופניים

זמני המתנה מרביים של הולכי-רגל/רוכבי אופניים מוגבלים באופן עקרוני על ידי שימוש בזמן המחזור המרבי. עם זאת, השינויים במהלך הרמזור בעקבות מתן העדפה, מייצרים לעיתים פערים גדולים בין פתיחת מופע ירוק למשתמשי דרך שונים בין מחזורים עוקבים. מצב זה יכול להתרחש לדוגמה עקב שימוש באסטרטגיית הקדמת פתיחת הירוק לשלב במחזור אחד, ושימוש באסטרטגיית הארכת הירוק לשלב במחזור העוקב אחריו. לכן, בתכנון רמזורי העדפה לתחבורה ציבורית יש לתת תשומת לב לזמני ההמתנה המרביים להולכי-הרגל ולרוכבי האופניים, כדי להימנע ככל האפשר מהגדלת ההסתברות לאי ציות לרמזור. בדיקה זו יכולה להתבצע באמצעות בחינת משך האדום המרבי המתקבל על פי לוגיקת התכנון. במידת הצורך, ניתן לשלב בדיקות אלה כחלק מלוגיקת התכנון לשם קיצור משך ההמתנה המרבי, וזאת על פי מדיניות רשות התימור המקומית. ניתן ליישם פתרונות כדוגמת החלפת סדר השלבים, הגבלות מסוימות על השימוש באסטרטגיות העדפה, קיצור משך ירוק לחלק מהשלבים וכיוצ"ב.

6.12.3.2 ירוק מקדים

בתכנון רמזור העדפה לתחבורה ציבורית ניתן להקדים את פתיחת האות הירוק לרכב התצ"ם במספר שניות ביחס למועד ההגעה הצפוי לקו העצירה בצומת. מטרת הקדמת הירוק הינה שהנהג המתקרב לצומת יראה את ירוק ברמזור, ולא יצטרך להאט את מהירות נסיעתו. נוסף לכך, זמן ההגעה לקו העצירה של רכב התצ"ם הינו משתנה בעל שונות טבעית הנובעת ממהירויות נסיעה ומזמני המתנה שונים בתחנות. מתן ירוק מקדים יכול לעזור באותם מקרים בהם רכב התצ"ם הקדים במעט את זמן ההגעה הצפוי, ולמנוע את עצירתו בצומת.

משך זמן הירוק המקדים נקבע על פי מדיניות הפרויקט ורשות התימור המקומית. ערכים מקובלים בפרוייקטי תאום הינם 3 עד 5 שניות. בפרוייקטי רק"ל הערך המקובל הינו 3 שניות, אך עקב הצבתו של הפנס המקדים הנותן מידע לנהג הרק"ל על פתיחה צפויה של האות הירוק, ועקב שונות קטנה יחסית בזמני הנסיעה של הרק"ל, לעיתים אין צורך בשימוש בירוק המקדים כלל.

במקרים מיוחדים, כגון תחנה לפני הצומת (בהם רכב התח"צ בכל מקרה מאט לצורך עצירה בתחנה), או צמתים המתפקדים מעל גבול הקיבולת (בהם השימוש בירוק מקדים יפחית את משך הירוק למשתמשי הדרך האחרים), ניתן לשקול לא ליישם ירוק מקדים. ניתן ליישם ירוק מקדים רק בחלק מתוכניות ההפעלה או בחלק ממופעי התצ"ם.

6.12.3.3 מנגנון "פיצוי"

הפרעה למהלך הרגיל של פעולת הרמזור על מנת לתת העדפה לתחבורה ציבורית פוגעת במקרים רבים ברמת השירות לכלי הרכב האחרים בצומת. הפגיעה היא כתוצאה מקיצור זמן הירוק המוקצה לכיוונים האחרים, וייתכן שגם בתיאום הגל הירוק עם צמתים סמוכים. לצורך הגבלת ה"פגיעה", ניתן לקבוע מנגנון אשר יפצה על זמן הירוק המקוצר כתוצאה מפעולות העדפה לרכב התצ"ם. ניתן לקבוע מנגנון פיצוי שונה לכל מופע ולכל תוכנית הפעלה, בהתאם לצורך.

- ניתן להגביל את מידת הפגיעה בכיוונים השונים וכן ליישם מנגנון פיצוי במגוון אופנים, לדוגמה:
- הגבלה קבועה של מידת הפגיעה בכיוונים המנוגדים למופעי התצ"ם על ידי הפעלת כללים, כגון ירוק מזערי ארוך יחסית למופע, או ביטול האפשרות לדילוג על שלב כחלק מהלוגיקה. כללים מסוג זה מגבילים את הגמישות במתן העדפה.
 - קביעת משך ירוק מצטבר נדרש על פני מספר מחזורים. בקביעת זו ניתנת גמישות תפעולית רבה, מאחר שכאשר מקוצר משך הירוק במחזור מסויים, ניתן להשלים את המשך המצטבר הנדרש במחזור או במחזורים העוקבים. מנגנון זה מחייב ניהול מערך הבודק את זמני הירוק מדי מחזור בפועל אל מול ערכי הפיצוי הנדרש (משך הירוק המצטבר הנדרש על פני מספר מחזורים שהוגדר). משך הירוק המצטבר לצורכי פיצוי ייקבע על פי מדיניות רשות התימרו המוקומית (מקובל לתכנן עבור רמת שירות E לכלי-הרכב).

6.12.3.4 חריגה מזמן מחזור מרבי בפרויקט רק"ל בלבד

תותר חריגה מזמן המחזור המרבי במקרים בהם זוהתה רק"ל באזור הדילמה, ולא מתאפשרת בלימת שירות. משך הזמן המרבי לחריגה ממחזור יוגדר באמצעות פרמטר מתאים בהתאם למדיניות רשות התימרו המקומית והפרויקט.

6.12.3.5 מצבי מעבר בין שלבים ברמזורי העדפה לרק"ל

על מנת לאפשר שימור של האות הירוק לרכבת באזור הדילמה, נדרש כי האות הירוק של כל מופעי הרק"ל ייסגרו ביחד בשנייה האחרונה של השלב הנסגר, ולא במשך מצב המעבר בו לא מתקבלות החלטות על שינויי אורכי ירוק. כמו כן אות "סימן קריאה" המודיע לנהג הרק"ל כי האות "התקדם" יפתח בעוד 4 שניות יהיה חלק ממצב המעבר.

6.12.3.6 צמתים סמוכים לאורך ציר רק"ל

המונח 'צמתים סמוכים' מתייחס למצב שבו המרחק בין צמתים לאורך ציר הרק"ל אינו מאפשר אחסנה מלאה של אורך הרק"ל ללא גלישה לצומת הסמוך במעלה הזרם. במצבים אלה יש לאפשר לרק"ל ככל הניתן לחצות את שני הצמתים, ולהימנע מעצירתה ביניהם.

תכנון תוכנית הזמנים של הרמזור במצב של צמתים סמוכים יכול להתבצע בשתי דרכים עיקריות – תכנון כצומת אחד, או תכנון כשני צמתים נפרדים:

תכנון צמתים סמוכים כצומת אחד מאפשר להבטיח שהרק"ל לא תעצור בין שני הצמתים. עם זאת, עלולה להיפגע הגמישות התפעולית והיכולת למתן העדפה מיטבית, או לחילופין תיתכן פגיעה ביעילות הרמזור למשתמשי הדרך האחרים.

תכנון של שני צמתים נפרדים מאפשר גמישות תפעולית מרבית, אך מחייב העברת מידע בין הצמתים למניעת סגירת הירוק כאשר הרכבת נמצאת ביניהם. כמו כן, על המתכנן לתת התייחסות למצב של תקלות תקשורת בין הצמתים, כדוגמת פתיחת שלב רכבת בכל מחזור, הסדרת גל ירוק קשיח בין הצמתים במידה ומתאפשר וכיוצ"ב.

6.12.3.7 תכנון צמתים מורכבים בפרויקט רק"ל

הגדרה של צומת מורכב מתייחסת לשני המצבים הבאים:

- צומת מרומזר הכולל הצטלבות של שתי מסילות רק"ל או יותר.
- צומת מרומזר הכולל מפלג סמוך לצומת, המאפשר יותר משתי תנועות רכבת ברמזור, לדוגמה כאשר מתאפשרת תנועת רכבת במסלול הנגדי (מסילה דו-כיוונית).

עקרונית, תכנון העדפה בצמתים מורכבים יכול להיות מבוסס על שתי שיטות שונות: ירוק משותף לכל מופעי הרק"ל ("all green"), או תכנון בו נפתח הירוק למופע הרק"ל הרלוונטי בהתאם למידע המתקבל מהגלאים ומערך התפעול הרכבתי.

שיטת הירוק המשותף לכל מופעי הרק"ל ("all green") מתייחסת לפתיחה של כל מופעי הרק"ל באותו שלב, למרות שקיים ניגוד ביניהם. ניהול תנועת הרק"ל בצומת יתבצע באמצעות מערכת האיתות הרכבתית, כך שבפועל לא ייתכן מעבר בצומת של שני מופעי רק"ל הנמצאים בניגוד. שיטה זו מאפשרת פשטות תכנונית, אך מנגד עלולה לפגוע בשאר משתמשי הדרך, מאחר שפתיחת שלב לכל מופעי הרק"ל יחד מחייב אות אדום לכל המופעים האחרים שבניגוד לכל מופעי הרק"ל.

השיטה לפיה נפתח הירוק למופע הרק"ל הרלוונטי, מצריכה מורכבות טכנולוגית ותכנונית גבוהה, אך מאפשרת גמישות תנועתית רבה יותר לשאר משתמשי הדרך, ללא מתן אדום למופעים שאינם בניגוד למופעים אחרים.

השיטה שתיבחר בכל פרויקט תושפע מהאמצעים הטכנולוגיים הרכבתיים ומהיכולת להעביר מידע בין מערך התפעול הרכבתי לבין בקר הרמזור, ועל פי היתרונות והחסרונות התנועתיים והתפעוליים של כל שיטה.

6.12.3.8 פרופיל מהירות בפרויקט רק"ל

פרופיל המהירות הינו איפיון מהירות הרכבת המתוכננת בפועל באינטרוולים לאורך תוואי המסילה. הוא מהווה את הקשר בין מיקומו של הרכב המועדף לבין זמן ההגעה לנקודה מסוימת. פרופיל המהירות מאפשר שמירה על תפעול יעיל ואמינות השירות, בשמירה על תדירויות ותפעול המערך הרכבתי. בתכנון הרמזורים, פרופיל המהירות משמש הן לקביעת המהירויות לצורך חישוב הזמנים הבין-ירוקים (ראו פירוט בפרק 5), והן לחישוב מיקום גלאי התצ"ם (ראו פירוט בפרק 8).

טבלה 6.9 מציג דוגמה לפרופיל מהירות על פי נקודת מיקום לאורך ציר הרק"ל (KP), מרחק הנסיעה המצטבר מתחילת הקו (Distance), הזמן המצטבר מתחילת הנסיעה (Time), ומהירות הנסיעה (Train Speed). על בסיס מידע זה ניתן לקבוע את מיקום הגלאים בהתאם לזמן הנדרש לביצוע שינויים בתוכנית הרמזור לצורך מתן העדפה.

טבלה 6.9: דוגמה לפרופיל מהירות לרק"ל

PK_R (km)	Distance (km)	Time (sec)	Speed Train (km/hr)	Speed Limit (km/hr)
1.681	17.589	3021.361	30.492	35.00
1.682	17.590	3021.478	30.621	35.00
1.683	17.591	3021.596	30.765	35.00
1.684	17.592	3021.712	30.922	35.00
1.685	17.593	3021.828	31.093	35.00
1.686	17.594	3021.944	31.278	35.00
1.687	17.595	3022.059	31.475	35.00
1.688	17.596	3022.173	31.686	35.00
1.689	17.597	3022.286	31.909	35.00
1.690	17.598	3022.398	32.144	35.00

6.12.3.9 מערכת ה-SIT בתכנון רמזורי רק"ל

לצורך העברת מידע מגלאי העדפה לבקר הרמזור ניתן להשתמש במערכת ייעודית (נקרא לעיתים מערכת SIT), המקשרת בין המידע המתקבל מהמערך הרכבתי (גלאי הרכבת, מערך האיתות) לבין בקר הרמזור. קיומו של ה-SIT מאפשר שימוש בנתונים המגיעים מהמערך הרכבתי בצורה ישירה, או ע"י עיבוד לוגי של מידע זה (שילוב של גלאי פיסו ותנאי לוגי לדוגמה אות ירוק למופע הרכבת). היכולת לבצע עיבוד לוגי מאפשרת כיוול וגמישות תפעולית של המידע המגיע מגלאי הרכבת. מנגנון זה אינו מחויב, וייתכן כי בפרויקטים מסוימים גלאי הרכבת יחוברו ישירות לבקר הרמזור. במקרה זה ניתן לשלב לוגיקה מתאימה בתכנון הרמזור.

במקרה של תקלת תקשורת בין בקר הרמזור לבין המערך הרכבתי, אין למעשה מידע לגבי תנועת הרכבות בקו, ולכן לא תתאפשר מתן העדפה בצומת. עם זאת יש לוודא שרכבת שמגיעה לצומת תוכל לחצות אותו ולהמשיך בנסיעתה, ובמקביל לאפשר את התפקוד התקין של הצומת בהתאם לשעת היום ולעומסי התנועה הקיימים. לשם כך, במצב של תקלת תקשורת, ימשיך הרמזור לעבוד ע"פ התכנית המתאימה לשעת היום, עם פתיחת תמונת רכבת באופן קבוע במחזור עד לסיום התקלה. תפעול זה מאפשר בדרך כלל שמירה על סנכרון הגל הירוק במידה שקיים.

6.12.3.10 תקלות גלאים

נקודת המוצא בתכנון היא שהגלאים תקינים בכל זמן, וכשיש תקלה בגלאים היא מדווחת לבקר הרמזור. בעת קבלת חייווי על תקלה מגלאי, אין להמתין לאות מגלאי זה. בכל מצב אחר, יש לטפל במסגרת מדיניות הפרויקט (לדוגמה איחור משמעותי של תצ"ם בהגעה לגלאי לעומת הערך המתוכנן).

טיפול מקובל (אך לא מחויב) בתקלות גלאים יכול להיות:

- תקלה בגלאי רחוק – תוכנית הרמזור תמשיך לעבוד בהתאם לגילוי על גלאי קרוב.
- תקלה בגלאי קרוב – תוכנית הרמזור תמשיך לעבוד בהתאם לגילוי על גלאי רחוק ולאילו שאחריו, ובהתאם למערך הכללים של הפרויקט (הלקסיקון).
- תקלה בגלאי דילמה (רק"ל בלבד) – תוכנית הרמזור תמשיך לפעול בהתאם למערך הכללים של הפרויקט (הלקסיקון).
- תקלה בגלאי קו עצירה – תוכנית הרמזור תמשיך לעבוד בהתאם לגילוי על גלאים קודמים ולגלאי הביטול, ובהתאם למערך הכללים של הפרויקט (הלקסיקון).
- תקלה בגלאי ביטול – תוכנית הרמזור תמתין עד לנקודת זמן שתוגדר, ובהתאם למערך הכללים של הפרויקט (הלקסיקון), לדוגמה: מקסימום שלב או ערך פרמטרי אחר.

6.12.3.11 גלאי דילמה בפרויקט רק"ל

גלאי דילמה מאפשר לרמזור לקבל את האינפורמציה על הימצאותה של רכבת באזור הדילמה. יש להשתמש בגלאי זה כדי לאפשר שמירתו של אות ירוק פתוח עבור רכבת הנמצאת באזור הדילמה, לשם מניעת בלימה שאינה בלימת שירות. סגירת הירוק תבצע ע"י דריכה על גלאי הביטול, או הגעה לערך מקסימלי.

6.12.4 בדיקת התכנון

כמות וסיבוכיות התנאים הלוגיים, האילוצים השונים, מספר הפרמטרים ומצבי התפעול בתכנון של רמזור העדפה, הופכים את תהליך ההערכה של תוכנית רמזור עם העדפה לתחבורה ציבורית להליך מורכב. לפיכך, נדרש לבצע תהליך של בדיקת התכנון, ולוודא שהלוגיקה המפורטת נכתבה ללא שגיאות ועומדת בקנה אחד עם מטרות התכנון.

מטרותיה העיקריות של הבדיקה הינם:

- לוודא שהתכנון עומד במדיניות העדפה לתחבורה הציבורית.
- לוודא שהתכנון עומד בהנחיות התכנון.
- לוודא שהמימוש של התכנון המפורט תואם את עקרונות התכנון המוקדם.
- לוודא שהוגדרו כל האלמנטים הנדרשים לתכנות בקר הרמזור והפעלתו.

מאחר שלא קיים מודל אנליטי פשוט המאפשר לבחון את התכנון (בדומה למודל Highway Capacity Manual), התפתחו בשנים האחרונות שני כלים מרכזיים לבחינת תפקוד והערכה של תוכניות רמזור, בהם ניתן להשתמש:

- אמולטור תרחישים – בשיטה זו בוחנים את התכנון על ידי יצירת מספר רב של תרחישי תכנון קבועים מראש. התרחישים מייצגים מצב נתון של הפעלת גלאים לכלל משתמשי הדרך, ותוכנית הזמנים המתקבלת מהפעלה זו. באמצעות התרחישים ניתן לבחון האם הלוגיקה נכתבה לשביעות רצון המתכנן, ולבצע שיפורים בלוגיקה במידת הצורך. ניתן לבחון מספר רב של תרחישים, ולבחון את כל המצבים המתקבלים בעת זיהוי כל מופע תצ"ם בכל שנייה במחזור. ניתן תוצאות התרחישים מאפשר לבצע שיפורים ללוגיקת התכנון, ולטייב אותה בהתאם לנדרש. החסרונות המרכזיים בשיטה

זו הינם קושי בבחינת מדדי ביצוע לשאר משתמשי הדרך (זמני עיכוב ואורכי תורים לרכב, זמני המתנה להולכי-רגל/אופניים וכיוצ"ב). בנוסף, שיטה זו אינה מתחשבת בשונות הקיימת בזרימת התנועה, ולכן לא בהכרח מייצגת נאמנה את המצב כפי שיתקבל בפועל.

▪ סימולציה מיקרוסקופית – בשיטה זו בונים מודל סימולציה מיקרוסקופית לצומת הנבדק, כאשר תכנון הרמזור מוטמע במודל הסימולציה. באמצעות הרצת הסימולציה ניתן לבחון את תפקוד הצומת במצב המדמה את המציאות. יתרונה המרכזי של שיטה זו היא היכולת לבחון את התפקוד הכולל של מערכת הדרכים, החל מצומת בודד ועד רשת רחובות שלמה. החיסרון המרכזי בשיטת זו הינו המורכבות באיתור טעויות בכתיבת הלוגיקה והאמצעים לשיפורה.

6.12.5 חברת תוכנית הזמנים

תוצרי התכנון המפורט, יכלול בנוסף לפרטים בחוברת רמזור הרגילה גם:

- גרסת הלקסיקון.
- הגדרה של מאפייני אסטרטגית העדפה.
- לוגיקת התכנון.
- הדגשת פונקציות שהוגדרו על ידי המתכנן ואינן מופיעות בלקסיקון.
- רשימת הפולסים והגדרתם (לוגיקת הפעלת האותות).
- הגדרת גלאי התצ"ם, מיקומם ואופן החישוב + תכנית מיקום הגלאים.
- טבלת הפרמטרים, הכוללת ערכים לכל תוכנית הפעלה. מערך הפרמטרים בתכניות העדפה, מאפשר, בנוסף לשינויים באורכי זמנים, גם שינוי בערכים הקשורים למערך ההעדפה (כדוגמת אורך פיצוי מקסימלי נדרש, זמן הגעה צפוי מגלאי וכיוצ"ב).
- תוצאות הרצת תוצרי התכנון, להוכחת פעולת הרמזור במצבים השונים (יוגדר לכל פרויקט), ומדדים נדרשים על פי הגדרת הפרויקט.
- תוצאות הרצת תוצרי התכנון עם גל ירוק, במידת הצורך.
- חוברת המציגה את אופן פעולת הרמזור (חוברת תרחישים) + מדדים מסכמים.

6.13 עתיד תכנון תוכניות הרמזור

סעיף זה הינו סעיף אינפורמטיבי הצופה פני עתיד ואינו מחייב. עם התקדמות יכולות חישה, ניטור ועיבוד תמונה בשיטות המבוססות לרוב על (Artificial Intelligence) AI, המסוגלות לנתח בזמן אמת את נתוני הביקוש של משתמשי הדרך בצומת, צפוי שינוי בתחום תכנון הרמזורים. נתונים בזמן אמת יאפשרו למתכנן ולמרכזי ניהול תנועה לייעל את חלוקת הירוק למופעים (שלבים בצומת), על בסיס נתוני הביקוש ומדדי ביצוע שונים. הנחיות אלה אינן דנות בשיטות ובטכנולוגיות שמפותחות כיום וצפויות להתפתח בעתיד. כל שיטת תכנון חדשה מחייבת הוכחה לפוטנציאל השיפור שלה ביחס לשיטות התכנון המקובלות. במידה שמשולבים התקנים חדשים, שימוש בהם כפוף לאישור משרד התחבורה.

עם זאת, ככלל, ניתן יהיה לייצר גמישות רבה יותר בתוכניות הרמזור על ידי אימוץ של תוכניות רמזור אדפטיביות המבוססות על מדדי ביצוע בזמן אמת. בתוכניות אלה ניתן יהיה לבצע חלוקת ירוק (ואף

התאמת הגל הירוק) באופן התואם ככל האפשר לביקוש המשתנה בזמן אמת, ולא בכפוף לתוכניות תפעול שוטף המגדירות ערכי פרמטרים לתקופת זמן ביממה.

בתוכניות אלה יוגדרו אילוצים שלא ניתן לחרוג מהם:

- זמנים בין-ירוקים
- משך ירוק מזערי למופעים
- זמני המתנה מרביים למשתמשי הדרך.

ברירת המחדל למצב בו הביקושים אינם נאספים באופן תקין (למשל כתוצאה מתקלה באמצעי החישה) תהיה תוכנית קבועת זמן כאשר חלוקת הירוק תואמת את הביקושים המתוכננים לפי שעות היום השונות.

פרק 7: תיאום בין אותות (גל ירוק)

תוכן עניינים

7-1.....	רקע ומטרות הגל הירוק	7.1
7-2.....	מושגי יסוד בגל ירוק.....	7.2
7-2.....	דיאגרמת זמן-מרחק (Time-Space Diagram)	7.2.1
7-2.....	מהירות הייעוד לתכנון הגל הירוק	7.2.2
7-3.....	רוחב הפס	7.2.3
7-3.....	צומת שולט (מאסטר)	7.2.4
7-3.....	היסט (offset)	7.2.5
7-4.....	"חבורות" (שיירות) של כלי רכב (Platoons)	7.2.6
7-4.....	שיקולים לבחינת הצדק לתיאום צמתים בגל ירוק.....	7.3
7-4.....	מאפייני תוכנית הזמנים ונפחי התנועה	7.3.1
7-5.....	מרחק בין צמתים	7.3.2
7-5.....	אורך האחסנה	7.3.3
7-6.....	זמני עיכוב להולכי-רגל ורוכבי אופניים	7.3.4
7-6.....	התאמה לתחבורה ציבורית	7.3.5
7-6.....	נפחי תנועה ומקדם תועלת התיאום	7.3.6
7-8.....	סוגי תיאום גל ירוק.....	7.4
7-8.....	תיאום גל ירוק דו-כיווני	7.4.1
7-9.....	תיאום גל ירוק חד-כיווני	7.4.2
7-9.....	תיאום גל ירוק לפי מועד תחילת האות הירוק	7.4.3
7-10.....	תיאום גל ירוק לפי מועד סיום האות הירוק	7.4.4
7-10.....	תיאום גל ירוק בקטעים	7.4.5
7-11.....	תפעול גל ירוק בין צמתים סמוכים	7.4.6
7-11.....	שיטות תיאום גל ירוק	7.5
7-11.....	תיאום צמתים בגל ירוק עם משך מחזור קבוע	7.5.1
7-12.....	תיאום צמתים ב"גל ירוק נושם"	7.5.2
7-14.....	גל ירוק בפרוייקטי העדפה לתצ"ם.....	7.6
7-14.....	עקרונות העדפה	7.6.1
7-15.....	העדפה לתצ"ם במסגרת גל ירוק עם משך מחזור קבוע	7.6.2
7-15.....	העדפה לתצ"ם במסגרת "גל ירוק נושם"	7.6.3



7-16.....	מידע בין צמתיים המתואמים בגל ירוק וטיפול בתקלות	7.7
7-17.....	תהליך תכנון גל הירוק	7.8

פרק 7: תיאום בין אותות (גל ירוק)

7.1 רקע ומטרות הגל הירוק

מערכת תיאום בין אותות (גל ירוק) הינה מערכת של שני צמתים מרומזרים או יותר לאורך ציר מסויים, אשר זמניהם מתואמים. תיזמון זמני האות הירוק מאפשר שיפור זרימת תנועה כיוונית, אחת או יותר, לצורך הגדלת ההסתברות למעבר רציף של קטע דרך בין צמתים ללא עצירה.

תיאום צמתים בגל ירוק הינו, במידה רבה, אמצעי ליישום מדיניות המאפשרת עמידה ביעדים תנועתיים המטיבים עם זרימת תנועת הרכב המנועי, לצורך צמצום זמני הנסיעה, מספר העצירות וזמני העיכוב. מנגד, תיאום צמתים בגל ירוק עלול לפגוע במשתמשי הדרך האחרים, כדוגמת הולכי-הרגל ורוכבי האופניים, ובמרבית המקרים אינו מתחשב בצרכי התחבורה הציבורית. לפיכך, השיקולים לתכנון צמתים מרומזרים מתואמים בגל ירוק, צריכים להיבחן אל מול היתרונות והחסרונות שבתכנונם, כמפורט להלן:

יתרונות:

- תיאום צמתים מרומזרים בגל ירוק, מאפשר לשפר את זרימת התנועה, הקיבולת ורמת השירות לרכב המנועי בכיוון או בכיוונים המתואמים. שיפור זה מושג על ידי הקטנת מספר העצירות הממוצע בצומת, צמצום זמני העיכוב בצומת, והפחתת זמן הנסיעה הכולל.
- תיאום צמתים מרומזרים בגל ירוק, יכול לשמש ככלי לניהול תנועה ולהקטנת פגיעה סביבתית ברחובות מקומיים: שיפור רמת השירות לאורך צירים ראשיים עשוי לעודד את כלי-הרכב להישאר לאורך צירים אלה, ולהימנע מנסיעה כתנועה עוברת בצירים מקומיים מקבילים.
- תיאום צמתים מרומזרים בגל ירוק, מאפשר להקטין את השונות במהירות הנסיעה, ובכך להקטין את "החיוך" בין כלי-הרכב. כתוצאה מכך, קטנה ההסתברות לתאונות כתוצאה ממצבים של אי-ציות לאות האדום, בלימת חירום, חוסר ריכוז וחוסר דריכות של הנהג בנסיעה.
- תיאום צמתים מרומזרים בגל הירוק, משפר את היכולת להתגבר על מחסור באורך אחסנה מספק בין הצמתים המתואמים.
- בעקבות התיאום, הקטנת כמות העצירות וזמן הנסיעה הכולל מביאים להקטנת צריכת הדלק, להפחתת פליטות מזהמים, ולצמצום הרעש.

חסרונות:

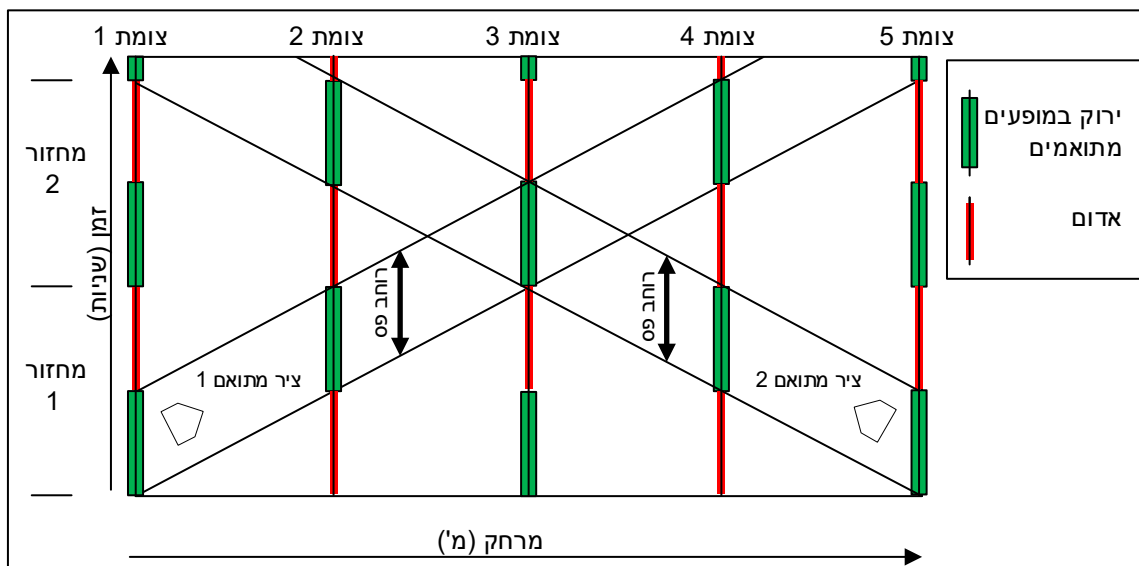
- כתוצאה מהצורך בזמני מחזור זהים של כלל הצמתים המתואמים בציר בהתאם לאותו צומת הקובע את זמן המחזור, עלולה להתרחש פגיעה ברמת השירות (בעיקר להולכי-רגל ואופניים).
- הגל הירוק עלול להגביל את הגמישות הנדרשת ברמזור, לצורך מתן העדפה לתחבורה הציבורית.
- אופי זרימת תנועת כלי-הרכב גורם לכך, ששיירה היוצאת מצומת במעלה הזרם, מתפזרת ככל שמרחקה מהצומת גדל, וזאת עקב השונות בהתנהגות של כל אחד מהנהגים. עקב כך, ייתכן כי על מנת לספק גל ירוק מיטבי, משך האות הירוק הנדרש בצומת במורד הזרם גדול מזה הנדרש בצומת במעלה הזרם, כלומר, פיזור החבורה בין הצמתים גורם לירידה בקיבולת הצומת במורד הזרם.

- תיאום צמתים מרומזרים בגל ירוק לאורך ציר, עלול לעודד נסיעה במהירויות גבוהות, במיוחד כאשר הנהג מבחין באות הירוק בצומת שבמורד הזרם. תופעה זו ניתנת לבקרה ע"י התאמה טובה של הגל הירוק למהירויות הנסיעה המותרות.

7.2 מושגי יסוד בגל ירוק

7.2.1 דיאגרמת זמן-מרחק (Time-Space Diagram)

'דיאגרמת זמן-מרחק' מתארת את המהירות המתוכננת לנסיעת שיירה לאורך ציר נסיעה של צמתים מרומזרים מתואמים כפונקציה של הזמן, ומקנה למתכנן תמונה כוללת של תיאום זמני האות הירוק של צמתים מרומזרים עוקבים בגל ירוק. תרשים 7.1 מציג דוגמה של דיאגרמת זמן-מרחק טיפוסית עבור חמישה צמתים מרומזרים מתואמים. ציר ה-X מתאר את המרחק בין הצמתים לאורך הדרך בה ממוקמים הצמתים המרומזרים המתואמים (ראשית הצירים בקו העצירה של צומת 1). ציר ה-Y מתאר את הזמן כשניות במחזור הרמזור. השיפוע של כל קו מייצג את מהירות הנסיעה המתוכננת לאורך ציר הנסיעה (במ'/שנ'). בתרשים זה מוצג תיאום דו-כיווני מיטבי (מצומת 1 לצומת 5, ולהיפך) המראה התקדמות שיירה ברוחב-פס נתון (ראו הגדרה בסעיף 7.2.3 להלן) לאורך ציר נסיעה, בציר זמן משותף לכל הצמתים המתואמים.



תרשים 7.1: דוגמה טיפוסית של דיאגרמת זמן-מרחק דו-כיוונית מיטבית לאורך צמתים מרומזרים

7.2.2 מהירות הייעוד לתכנון הגל הירוק

'מהירות תכנון הגל הירוק' הינה מהירות הייעוד לאורך ציר הצמתים המרומזרים המתואמים. מהירות זו נקבעת על פי מאפייני הדרך שלאורכה מתוכננים הצמתים המרומזרים. השאיפה הינה שתהיינה התאמה מרבית בין מהירות הייעוד על פיה תוכנן הגל הירוק, לבין מהירות הנסיעה של כלי-הרכב בפועל.

7.2.3 רוחב הפס

'רוחב הפס' (Bandwidth) מוגדר כהפרש הזמן בין הרכב הראשון בשיירה (בחבורה) שיכול לעבור במהירות הייעוד את כל מערכת הצמתים המתואמים בגל ירוק, לבין הרכב האחרון בשיירה שיכול לעשות זאת, ללא עצירה. רוחב הפס מייצג מדד ביצוע לבחינת יעילות הגל הירוק וליכולת העברת התנועה. ככל שרוחב הפס גדל, גדל גם מספר כלי רכב שיכולים לעבור את מערכת הצמתים ללא עצירה, וזרימת התנועה לרכב המנועי משתפרת.

רוחב הפס מוצג בתרשים 7.1. הוא נקבע למעשה כמרווח הזמן בין שני קווים מקבילים המייצגים את מהירות התכנון בדיאגרמת זמן-מרחק, ומהווה תצוגה של "חלון" האור הירוק המתואם בגל באופן ברור.

7.2.4 צומת שולט (מאסטר)

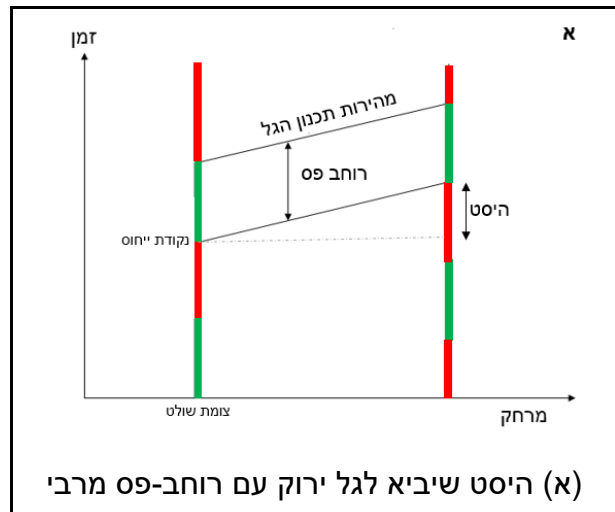
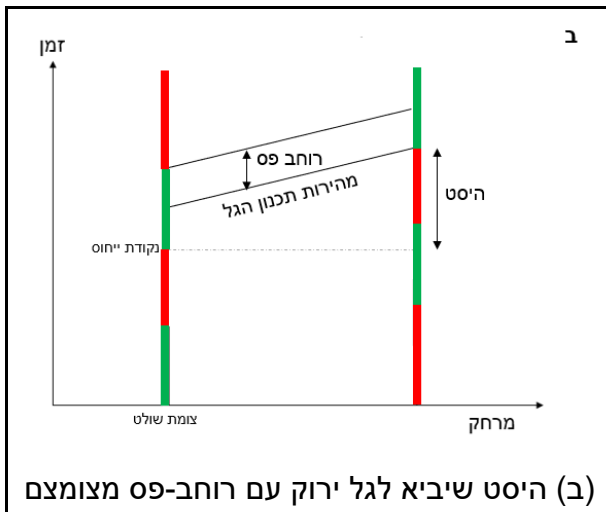
'הצומת השולט' הוא הצומת לפיו נקבע זמן המחזור של הצמתים המתואמים בגל, ובהתאם לכך היסט הזמן לצמתים אחרים. בדרך-כלל זה יהיה הצומת העמוס ביותר מבחינת נפחי התנועה. תיאום צמתים בגל ירוק לא מחייב הגדרה של צומת שולט, במיוחד כאשר שיטת התיאום הינה "גל ירוק נושם" (ראו סעיף 7.5)

7.2.5 היסט (offset)

'היסט' (offset) הינו הפרש הזמן בין נקודה מסויימת בצומת המתואם (בדרך כלל התחלה או סיום של מופע או שלב מתואם), לבין נקודת ייחוס בצומת השולט, המבוטא בשניות שלמות בין אפס לזמן המחזור (ההיסט לצומת השולט הינו אפס). כאשר לא מוגדר צומת שולט, הגדרת נקודת הייחוס יכולה להתבצע ביחס לשעון מרכזי, באמצעות מרכז ניהול התנועה.

ההיסט המתוכנן נקבע בהתאם למהירות הייעוד לתכנון הגל הירוק, ובהתאם לאופן התיאום הרצוי. באמצעות קביעת ההיסט ניתן לשלוט ברוחב הפס, כאשר במקרים רבים המטרה הינה לקבוע היסט אשר יאפשר רוחב-פס מרבי לצורך שיפור זרימת התנועה לאורך הציר. תרשים 7.2 מציג את המשמעות של קביעת ההיסט לאופן תכנון הגל הירוק. במצב א' מתקבל רוחב-פס מרבי, כלומר, כל זרם התנועה העובר באות הירוק בצומת במעלה הזרם, עובר את הצומת במורד הזרם באות הירוק ללא עצירה. ההיסט מחושב על ידי חלוקה של מהירות הייעוד לתכנון הגל הירוק (ביחידות של מטר/שנייה), במרחק בין קווי העצירה של המופעים המתואמים בשני הצמתים (ביחידות של מטר). במצב ב' מתקבל רוחב-פס מצומצם יותר, כלומר, חלק מזרם התנועה העובר באות הירוק בצומת במעלה הזרם, נדרש לעצור באות האדום בצומת במורד הזרם.

קביעת ההיסט מאפשרת לבנות דיאגרמת זמן-מרחק בה מופיע משך האות הירוק למופעים המתואמים, כאשר הזמן בו נפתחים המופעים, מוצג על פי ההיסט המתוכנן לכל אחד מהצמתים בציר הזמן של מחזור הרמזור.



תרשים 7.2: דיאגרמת זמן-מרחק להצגת תיאום בגל ירוק בשני היסטים שונים

7.2.6 "חבורות" (שיירות) של כלי רכב (Platoons)

אופי פעולת הרמזור גורם ליצירת קבוצות כלי רכב המכונות "חבורות". החבורות מתקבצות בזמן ההמתנה באות האדום סמוך לקו העצירה, ומתפזרות ככל שהן מתרחקות, בגלל פוטנציאל התנהגות שונה של כל אחד מכלי-הרכב הבודדים, ופערי מרחק בין כלי-רכב הגדלים בעת האצה.

משך החבורה הוא הזמן העובר מהופעת הרכב הראשון בחתך, ועד להופעת הרכב האחרון. משך החבורה תלוי במיקום המדידה ביחס ליציאה מהצומת, בסוג הדרך, במהירות הנסיעה, במשך האות הירוק של המופע הרלוונטי בצומת, ובנפחי התנועה.

אופי פיזור החבורה גורם לכך, שיעילות הגל הירוק עלולה לרדת ככל שהמרחק בין הצמתים גדל, ומכאן שהמרחק בין צמתים מהווה שיקול מרכזי בתועלת הגל הירוק, כמוסבר בסעיף 7.3 להלן.

7.3 שיקולים לבחינת הצדק לתיאום צמתים בגל ירוק

ההחלטה ליישום גל ירוק בצמתים מרומזרים מבוססת על מכלול של שיקולים, אשר ברובם הינם שיקולים איכותיים, ולא כמותיים מדויקים. ההחלטה תלויה במידה רבה במטרות התכנון וביעדיו, כפי שהוגדרו על ידי רשות התימרון, וזאת לאור היתרונות והחסרונות בתיאום צמתים בגל ירוק כמפורט לעיל. בהחלטה על תכנון גל ירוק יש להתייחס מצד אחד לתועלת עבור הרכב המנועי, ומנגד למידת הפגיעה במשתמשי הדרך האחרים, במיוחד בהולכי-הרגל וברוכבי האופניים. בפרויקטים המיועדים למתן העדפה לרכב תצ"ם, מכלול השיקולים כולל בחינת האפשרויות למתן ההעדפה בעת יישום גל ירוק, או לחילופין מידת ההשפעה של מתן העדפה על תפעול הגל הירוק. בתת-הסעיפים להלן פירוט השיקולים אשר יסייעו בהחלטה על הצורך בתיאום צמתים מרומזרים בגל ירוק.

7.3.1 מאפייני תוכנית הזמנים ונפחי התנועה

תכנון צמתים בגל ירוק עלול להגביל את הגמישות התפעולית של הרמזורים לאורך הציר המתואם.

בצמתים המתואמים בזמן מחזור קבוע, הגבלה זו הינה תוצאה של אילוץ משך מחזור זה בכל הצמתים, בהתאם לצומת בו נקבע משך מחזור מרבי (לרוב של צומת המאסטר), ובהתאם לחלוקת הירוק למופעים המתואמים. כתוצאה מכך, גדלים זמני העיכוב בצמתים אשר תפעולם העצמאי אפשרי במשך מחזור קטן יותר ועל פי חלוקת משכי ירוק המותאמת לנפחי התנועה.

בצמתים אשר מתואמים באמצעות העברת אותות הדדיים ביניהם ולא במחזור קבוע ("גל ירוק נושם"), תיתכן המתנה ארוכה של אחד הצמתים בנקודת התיאום לאות המתקבל מצומת אחר ובכך תפגע רמת השירות למשתמשי הדרך.

לפיכך, קיים יתרון תפעולי לתיאום צמתים בגל ירוק, כאשר נפחי התנועה ומאפייני תוכנית הזמנים דומים בין הצמתים לאורך הציר המיועד לתיאום. יעילות תפעולית מתקבלת כאשר מספר השלבים זהה, וכאשר זמני המחזור המרביים וחלוקת הירוק למופעים המיועדים לתיאום אינם שונים מהותית.

7.3.2 מרחק בין צמתים

למרחק בין הצמתים השפעה על יעילות התיאום בגל ירוק, והוא מהווה שיקול נוסף בהחלטה על תיאום בין צמתים. ככל שהמרחק בין הצמתים גדל, פיזור החבורה היוצאת מהצומת במעלה הזרם גדל, ויעילות התיאום נפגעת כתוצאה מהצורך בהקצאת ירוק ארוך יותר בצומת שבמורד הזרם.

טבלה 7.1 מציגה את המרחקים המרביים המקובלים בין צמתים לתיאום בגל ירוק, בהתאם לסיווג הרחוב או הדרך. ברחוב עירוני, המרחק המרבי בין הצמתים לצורך החלטה על תיאום גל ירוק הינו 300 מטר, כאשר בדרך עירונית או בדרך בין-עירונית, בהן מהירויות הנסיעה המותרות גבוהות יותר, המרחק המרבי בין הצמתים לצורך החלטה על תיאום גל ירוק הינו 500 מטר.

טבלה 7.1: מרחקים מרביים מקובלים בין צמתים לתיאום גל ירוק

מרחק בין צמתים	סיווג הרחוב / הדרך
עד 300 מ'	רחוב עירוני
עד 500 מ'	דרך עירונית/בין-עירונית

7.3.3 אורך האחסנה

כאשר אורך האחסנה בין שני צמתים לאורך הציר המיועד לתיאום קטן מהנדרש על פי נפחי התנועה, גדלה ההסתברות לגלישת תור ולחסימת הצומת במעלה הזרם. במקרה זה, קיימת תועלת לגל הירוק בהפחתת מספר העצירות וזמני העיכוב של המופע המתואם בצומת שבמורד הזרם.

חישוב אורך האחסנה הנדרש מבוסס על הגעת כלי-הרכב על פי התפלגות "פואסון", בהנחת הסתברות לכישלון של 5% (כלומר, אורך האחסנה הנדרש מתאים להתפלגות הגעת כלי-הרכב בהסתברות של 95%). לצורך החישוב אורך רכב פרטי הינו 6 מטר, ואורך רכב כבד (משאית או אוטובוס) הינו 13 מטר. האורכים כוללים מרווח של 1 מטר בין כלי-הרכב. פירוט מלא למתודולוגיית החישוב מוצג בסעיף 4.6.4 להנחיות אלה.

7.3.4 זמני עיכוב להולכי-רגל ורוכבי אופניים

זמני העיכוב להולכי-רגל ולרוכבי אופניים תלויים באופן ישיר במשך המחזור המרבי: ככל שמשך המחזור גדל, כך גדלים באופן ממוצע זמני העיכוב. מאחר שתכנון גל ירוק מאלץ תפעול בזמני מחזור זהים על פי המחזור המרבי לאורך הציר המתואם, או לחלופין המתנה לקבלת אותות בין הצמתים, זמני העיכוב עלולים להתארך ביחס לתפעול עצמאי.

לפיכך, בעת ההחלטה על יישום גל ירוק, יש לבחון את מידת ההשפעה של התיאום על זמני העיכוב להולכי-רגל ולרוכבי אופניים, ולמזער עיכובים אלה ככל האפשר, גם במחיר של פגיעה בגל הירוק.

7.3.5 התאמה לתחבורה ציבורית

תכנון של גל ירוק המיועד לרכב הפרטי, מנוגד לעתים קרובות לצרכים של התחבורה הציבורית. מהירות הנסיעה התפעולית של רכב תחבורה ציבורית שונה מזו של הרכב הפרטי, במיוחד לאור העצירה בתחנות. ברמזורי העדפה אקטיבית לרכב תצ"ם, נדרשת גמישות תפעולית רבה, אשר עלולה להיות מוגבלת באילוצי הגל הירוק.

לפיכך, בהחלטה על יישום גל ירוק המיועד עבור הרכב הפרטי, יש לבחון את מידת הפגיעה בתחבורה הציבורית. לחילופין, ניתן לתכנן גל ירוק המותאם לתחבורה הציבורית (שעלול לפגוע בגל הירוק לרכב הפרטי), או לשחרר את בקר הרמזור מאילוצי גל ירוק בעת העדפה אקטיבית לרכב תצ"ם. למידע נוסף על גל ירוק לתחבורה ציבורית ראו סעיף 7.6.

7.3.6 נפחי תנועה ומקדם תועלת התיאום

ככלל, ככל שנפח תנועת כלי-הרכב בכיוון מסויים לאורך ציר של צמתים מרומזרים גבוה יותר, וככל שהמרחק בין הצמתים קטן יותר, כך גדלה התועלת בתיאום גל ירוק בכיוון זה. מקדם תועלת התיאום הינה שיטה כמותית לאומדן ראשוני ליעילות תפעול צמתים בגל ירוק על פי נפחי תנועה. שיטה זו מהווה כלי-עזר למתכנן, אך אינה מהווה תנאי מספיק המצדיק את הצורך בתיאום צמתים בגל ירוק. לשיטה חסרון משמעותי בכך, שהיא מחשבת באופן כללי את היחס בין נפחי התנועה בקטע הדרך בין הצמתים (מכל כיווני התנועה כולל אלה שאינם מיועדים לתיאום) לבין סך נפח התנועה בצמתים, ואינה מתייחסת באופן מפורש למופעים המיועדים לתיאום ולנפחי התנועה בהם. לפיכך וכאמור לעיל, ההחלטה על תועלת הגל ירוק תתקבל בהתאם למכלול השיקולים ההנדסיים, ולא בהתאם לחישוב כמותי זה בלבד.

חישוב מקדם התועלת מבוסס על הנוסחה הבאה:

$$CR = \frac{TC}{TT} \cdot \frac{1}{d^2}$$

כאשר:

CR – מקדם תועלת התיאום

TC – סה"כ נפחי התנועה הנכנסים לקטע הדרך בין הצמתים המיועדים לתיאום (ית"ן/שעה)

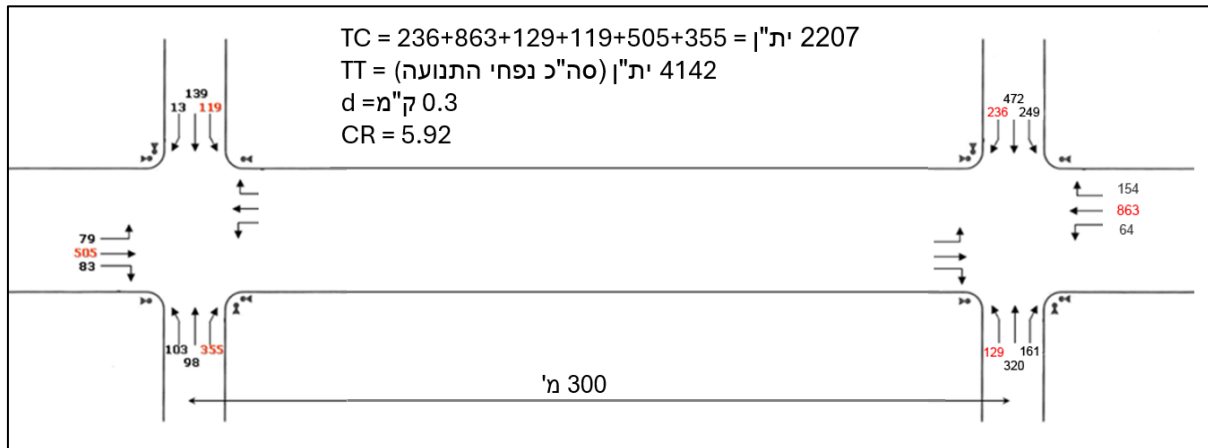
TT – סה"כ נפחי התנועה בשני הצמתים המיועדים לתיאום, למעט הגישות היוצאות מקטע הדרך בין הצמתים (ית"ן/שעה)
 d – המרחק בין מרכזי הצמתים (ק"מ).
 משמעות מקדם תועלת התיאום (CR) לגבי אומדן ראשוני לבחינת הצורך בתיאום גל ירוק, מוצגת בטבלה 7.2.

טבלה 7.2: אומדן ראשוני לתיאום גל ירוק על פי מקדם התועלת וסיווג הדרך

סיווג הרחוב/דרך	מקדם תועלת התיאום (CR)	אומדן ראשוני לצורך בתיאום*
רחוב עירוני / דרך עירונית	CR < 5	מומלץ לשקול שלא לתאם בגל ירוק
	CR > 10	מומלץ לשקול תיאום בגל ירוק
דרך בין-עירונית	CR < 2	מומלץ לשקול שלא לתאם בגל ירוק
	CR > 5	מומלץ לשקול תיאום בגל ירוק

*ההחלטה על גל ירוק תעשה תוך התייחסות למכלול השיקולים, ולא באופן בלעדי על פי אומדן ראשוני זה.

תרשים 7.3 מציג דוגמה לחישוב מקדם תועלת התיאום בין שני צמתים הממוקמים ברחוב עירוני. מקדם התועלת המתקבל הינו 5.92. במקרה זה לא מתקבל אומדן ראשוני להחלטה על הצורך בתיאום גל ירוק בין שני הצמתים.



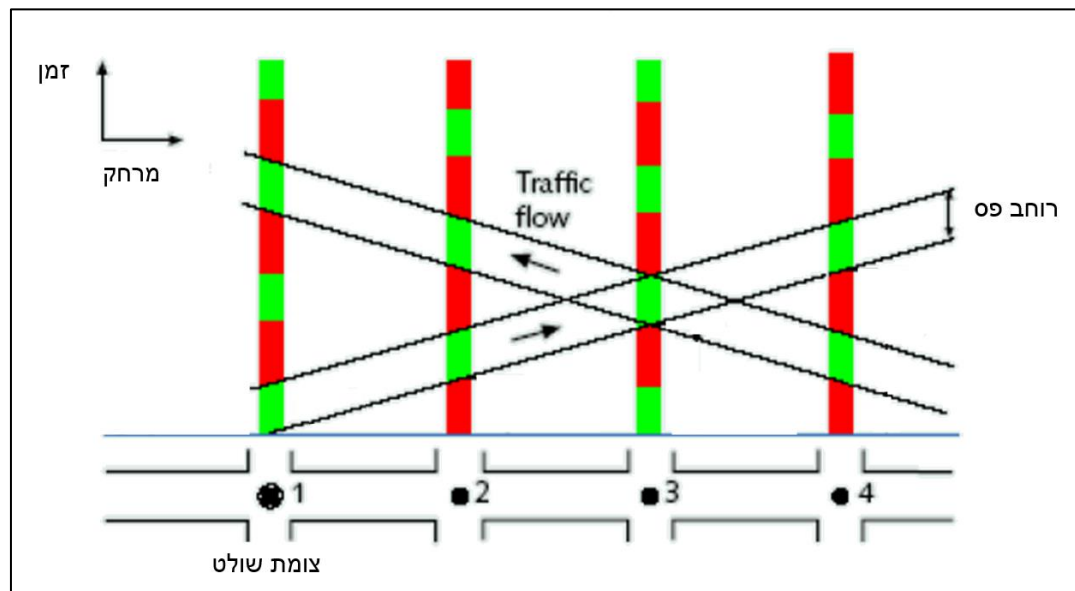
תרשים 7.3: דוגמה לחישוב מקדם תועלת התיאום בגל ירוק בין שני צמתים

7.4 סוגי תיאום גל ירוק

הסעיף שלהלן מציג אופנים מקובלים לתיאום גל ירוק בין צמתים. תפעול הגלים הירוקים כמוצג להלן, מנתח מצב מיטבי שאין בו תורים ברמזור במורד הזרם. באופן מעשי תורים יכולים להיווצר כתוצאה מעצירת כלי-הרכב באחד הרמזורים במחזור הקודם, וכן כתוצאה מכלי-רכב בגישות המשניות של הצומת במעלה הזרם, הנכנסים לגישה בזמן האות האדום. מצב זה הוא כמובן לא אידיאלי, ומהווה הפרעה להתקדמות השיירה בתפעול הרמזורים העוקבים בגל ירוק, ויש לקחת אותו בחשבון בעת החלטה על אופן תיאום הגל וקביעת ההיסט בין הצמתים.

7.4.1 תיאום גל ירוק דו-כיווני

תיאום גל ירוק בין צמתים יכול לכלול כיוון נסיעה מתואם אחד או יותר. במרבית המקרים השאיפה הינה לתאם שני כיווני תנועה מנוגדים לאורך הציר המתואם (לדוגמה תנועה מזרח-מערב ותנועה מערב-מזרח), תוך מיקסום רוחב הפס לשני הכיוונים. היכולת למקסם את רוחב הפס בתיאום מסוג זה תלויה במרחק בין הצמתים, במהירות הייעוד לתכנון הגל, במספר השלבים וסדרם, במשך המחזור ובחלוקת הירוק. תרשים 7.4 מציג דוגמה לתיאום דו-כיווני בו מתקבל רוחב-פס מרבי על פני משך כל האות הירוק לשני כיווני התנועה. הצמתים המוצגים בתרשים זה מתופעלים בשני שלבים בלבד, כאשר חלוקת הירוק למופעים המתואמים זהה בין כל הצמתים, ומהירות תכנון הגל זהה לאורך כל הציר בשני הכיוונים. התיאום מושג על ידי קביעת היסט מתאים לכל הצמתים המתואמים לאורך הציר.



תרשים 7.4: דיאגרמת זמן-מרחק לתיאום דו-כיווני מיטבי של צמתים בגל ירוק (מבוסס על: Austroads)

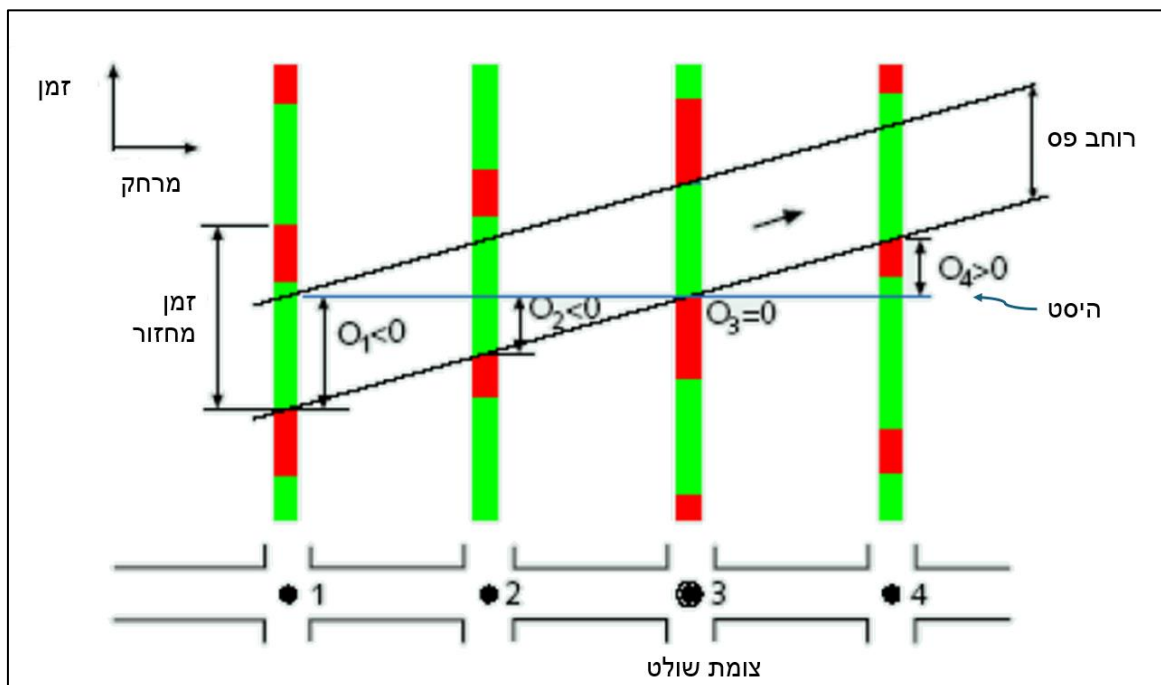
7.4.2 תיאום גל ירוק חד-כיווני

במרבית המקרים לא ניתן להשיג תיאום דו-כיווני מיטבי. במקרים אלה ניתן לשלב מדיניות העדפה לכיוון מסוים, ולקבוע היסט הממקסם את רוחב הפס בכיוון זה בתוכנית ההפעלה המתאימה. בחירת הכיוון המתואם תיעשה על פי שיקולי תועלת הגל ירוק, לרבות נפחי התנועה, תחבורה ציבורית, ואורך האחסנה הנדרש, כפי שמפורט בסעיף 7.3. ניתן לשנות את הכיוון המתואם בין תוכניות ההפעלה בהתאם לתקופות היממה והשבוע, ע"י שינוי סדר השלבים ו/או קביעת היסט אחר.

7.4.3 תיאום גל ירוק לפי מועד תחילת האות הירוק

בתיאום מסוג זה נקבע ההיסט בין הצמתים על פי תחילת האות הירוק במופעים המתואמים, כך שכלי-הרכב הראשונים היוצאים באות הירוק בצומת שבמעלה הזרם, יעברו את הצמתים במורד הזרם עם פתיחת האות הירוק בהם (סוג תיאום זה מכונה "ראש לראש"). במקרה זה תיאום הגל הירוק אינו מתוכנן עבור כלי-הרכב אשר עברו את הצומת במעלה הזרם לקראת סיום האות הירוק, כלומר תיתכן עצירה שלהם באחד הצמתים במורד הזרם.

תיאום מסוג זה מתעדף את זרימת התנועה במופעים המתואמים, ומפחית את כמות העצירות בהם. מנגד, עקרון פיזור "החבורה" בין הצמתים עלול לגרום לצורך בהארכת משך הירוק במופעים המתואמים במורד הזרם (עקב זרימה תנועה הנמוכה מזרימת רוויה האופיינית לשחרור מתור), ולהקטנת קיבולת הצומת. תרשים 7.5 מציג דיאגרמת זמן-מרחק ליישום תיאום גל ירוק לפי מועד תחילת האות הירוק.

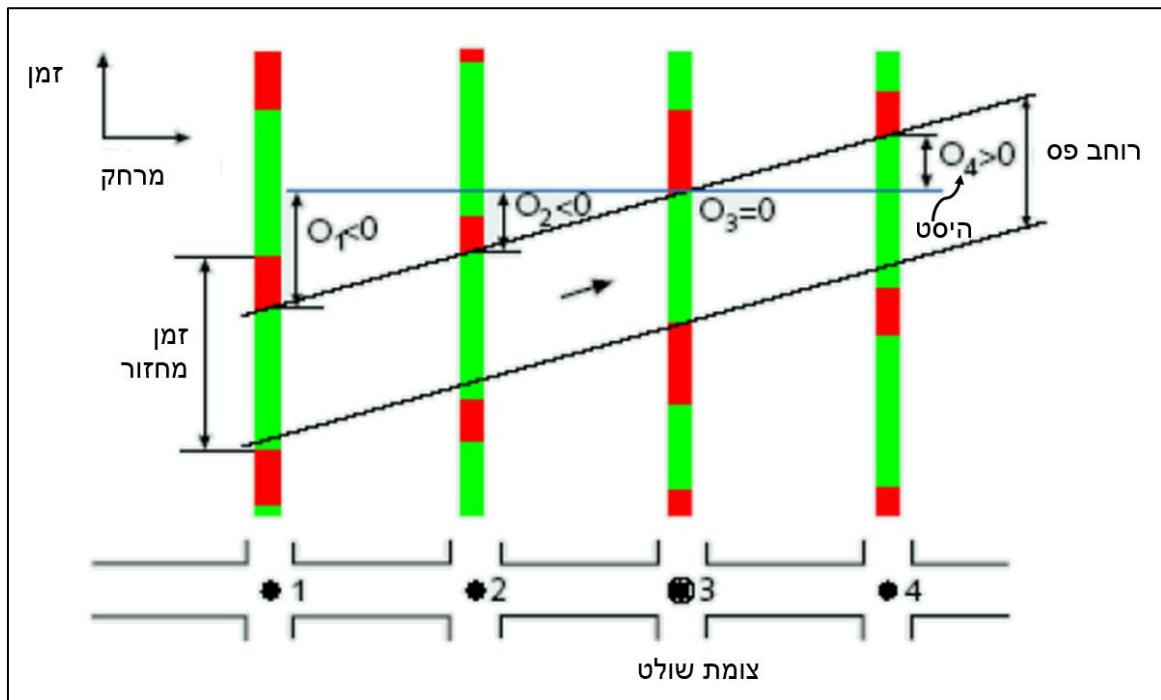


תרשים 7.5: דיאגרמת זמן-מרחק לתיאום חד-כיווני לפי מועד תחילת האות הירוק (מבוסס על: Austroads)

7.4.4 תיאום גל ירוק לפי מועד סיום האות הירוק

בתיאום מסוג זה נקבע ההיסט בין הצמתים על פי סיום האות הירוק במופעים המתואמים, כך שכלי-הרכב האחרונים היוצאים באות הירוק בצומת שבמעלה הזרם, יגיעו לצמתים במורד הזרם לפני סגירת האות הירוק בהם (תיאום מסוג זה מכונה "זנב לזנב"). במקרה זה תיאום הגל הירוק אינו מתוכנן עבור כלי-הרכב הראשונים אשר יצאו באות הירוק בצומת שבמעלה הזרם, כלומר תיתכן עצירה שלהם באחד הצמתים במורד הזרם.

תיאום זה מונע את פיזור "החבורה" בעצירתם של כלי-הרכב היוצאים מהצומת במעלה הזרם, ובכך עשוי להתאים בעיקר לצמתים עמוסים, בהם קיימת חשיבות רבה לניצול מלא של הקיבולת. בנוסף, תיאום זה מתאפיין בתועלת בטיחותית בהגבלת מהירות הנסיעה בין הצמתים, עקב הצורך בעצירה. מנגד, תיאום מסוג זה מגדיל את מספר העצירות בצומת, ופוגע בזרימת התנועה הרציפה של המופעים המתואמים. תרשים 7.6 מציג דיאגרמת זמן-מרחק ליישום תיאום גל ירוק לפי מועד סיום האות הירוק.



תרשים 7.6: דיאגרמת זמן-מרחק לתיאום חד-כיווני לפי מועד סיום האות הירוק (מבוסס על: Austroads)

7.4.5 תיאום גל ירוק בקטעים

כאשר לא ניתן לתכנן תיאום יעיל של גל ירוק לאורך ציר שלם, ניתן לפצל את תפעול הגל הירוק לקטעים לאורך הציר. בתכנון מסוג זה יש לבחור בצמתים קריטיים כצמתי מעבר בין הקטעים המתופעלים בגל ירוק, ולוודא שלא נוצרת גלישת תור בין הצמתים.

7.4.6 תפעול גל ירוק בין צמתים סמוכים

לתיאום גל ירוק בין שני צמתים סמוכים חשיבות רבה לצורך תפעול בטיחותי המונע בלבול בין ראשי הרמזור, ולצורך תפעול יעיל המונע את חסימת המקטע בין הצמתים.

ככלל, מומלץ לתאם את סיום האות הירוק במופעים המתואמים כך, שהרכב האחרון היוצא באות הירוק מהצומת במעלה הזרם, יעבור את הצומת במורד הזרם בסיום האות הירוק בו. ההיסט ייקבע לפי מהירות ייעוד הגל הירוק והמרחק בין הצמתים.

מבחינה בטיחותית, מומלץ לפתוח יחד את האות הירוק במופעים המתואמים בשני הצמתים הסמוכים. לחילופין, מבחינה תפעולית, מומלץ לפתוח את האות הירוק בצומת שבמורד הזרם לפני האות הירוק בצומת שבמעלה, לצורך פינוי התור המצטבר לפני הגעת "החבורה".

7.5 שיטות תיאום גל ירוק

אופן התיאום בין צמתים תלוי במידה רבה במאפייני התיאום (הגל הירוק) הרצוי. התיאום בין כיווני נסיעה מסוימים בשני צמתים או יותר, מחייב תיאום בין מועדי הפתיחה והסגירה של הירוק במופעים הרלוונטיים. קיימות שתי קטגוריות עיקריות בתכנון גל ירוק, הבאות לידי ביטוי בצורת התיאום בין הצמתים והמשפיעות מאוד על גמישות ויעילות התכנון:

- תיאום צמתים בגל ירוק עם משך מחזור קבוע.
- תיאום צמתים ב"גל ירוק נושם" עם משך מחזור משתנה.

התיאום בין המופעים הרלוונטיים בצמתים השונים יכול להתבצע במספר שיטות, כפי שיוסבר בהמשך.

7.5.1 תיאום צמתים בגל ירוק עם משך מחזור קבוע

בקטגוריה זו, הצמתים המתואמים יפעלו עם משך מחזור קבוע ומשותף לכולם. משך המחזור עשוי להשתנות בהתאם לשעות היום ולמאפייני התנועה, אך בכל עת יהיה משותף לכל הצמתים.

היתרון העיקרי בכך שקיים מחזור קבוע, הוא בפשטות התיאום בין הצמתים. מועד הירוק במופעים המתואמים בכל אחד מהצמתים ידוע (יחסית לתחילת המחזור באותו צומת), ולכן כל שנותר הוא לדאוג להפרש הזמנים (היסט) הנכון בין תחילת המחזורים בצמתים, כך שיתקיים התיאום הנדרש בין האות הירוק במופעים המתואמים. שיטה זו מאפשרת תיאום בין מספר רב של צמתים.

החיסרון הגדול בהפעלת משך מחזור קבוע, הוא בהגבלת הגמישות התפעולית של הרמזור ברמת הצומת הבודד. קיבוע משך המחזור עלול להוות מגבלה גדולה ביעילות התפעול, ולגרום להגדלה משמעותית בעיכובים לחלק מהתנועות בצומת. החיסרון גדול במיוחד כאשר מדובר בצמתים השונים מהותית זה מזה במאפייני ובעומסי התנועה.

הגדלת הגמישות התפעולית במסגרת המחזור הקבוע

אומנם משך המחזור בשיטה זו קבוע, אך ניתן לתכנן גמישות פנימית ברמת הרמזור הבודד, על ידי שילוב אלמנטים מופעלי תנועה ברמזור. בדרך זו ניתן לשפר את יעילות התפעול של הרמזורים הבודדים. עם

זאת, יש לוודא שהגמישות המתאפשרת ברמת הצומת הבודד, אינה פוגעת בתיאום הרצוי בין הכיוונים המתואמים, וכי משך המחזור אומנם נותר קבוע. בשיטה זו יש לתכנן את העברת זמני הירוק העודפים, ככל שקיימים, כדי לשמור על משך המחזור הקבוע.

תיאום ההיסט בין הצמתים

תיאום ההיסט בין הצמתים יכול להתבצע בדרכים שונות כגון:

- קביעת אחד הצמתים כצומת שולט (Master), והעברת פולס סינכרון (Sy) מצומת זה לשאר הצמתים הנשלטים (Slaves), בנקודת זמן קבועה וידועה מראש. כל אחד מהצמתים הנשלטים ימתין לאות זה בנקודת זמן קבועה במחזור שלו, עד להשגת ההיסט הרצוי בינו לבין הצומת השולט. משך ההמתנה יוגבל, כדי למנוע המתנה ארוכה מדי במקרה של תקלה, ו/או בעת סינכרון ראשוני כמתואר בהמשך.
- תיאום מועד תחילת המחזור וההיסט הרצוי של הצמתים זה מזה, באמצעות שעון זמן משותף לכולם (כל צומת יפעל בהיסט הנדרש בהשוואה לשעון הזמן המשותף). שיטה זו מבוססת על סנכרון מול שעון עולמי, כדוגמת שעון GPS או מול שעון מרכז הבקרה (כשהצמתים מחוברים למרכז כזה).

סינכרון ראשוני של הצמתים המתואמים

המעבר מתפעול עצמאי לתפעול בגל ירוק (כמו גם החלפת תוכניות הפעלה במהלך תפעול בגל ירוק), מחייב להשיג את ההיסט הרצוי בין מועדי הירוק של הכיוונים המתואמים. כדי להשיג תיאום זה, הצמתים ימתינו בנקודה שנקבעה מראש בתוכנית, עד להשלמת ההיסט הרצוי לאותו צומת יחסית לצומת השולט, או יחסית לשעון הזמן המשותף. משך ההמתנה הדרוש עשוי להשתנות בהתאם למאפייני התוכניות השונות, ועלול להיות ארוך במיוחד בעת החלפת תוכניות הפעלה. רצוי להגביל את משך ההמתנה המרבית, על מנת למנוע מחזורים ארוכים מדי (וזמני עיכוב מוגזמים), ולאפשר להגיע לסינכרון לאחר מספר סביר של מחזורים. משך ההמתנה מרבי מקובל לסינכרון הוא כשליש מחזור.

7.5.2 תיאום צמתים ב"גל ירוק נושם"

הפעלה של "גל ירוק נושם" מאפשר תיאום בין תנועות נבחרות בצמתים שונים, תוך שמירה על גמישות ויעילות מרבית ברמת הצומת הבודד. בשיטה זו מועבר מידע מסוגים שונים בין הצמתים, וכך ניתן לתכנן כל צומת באופן מיטבי, ותוך התחשבות במידע המתקבל מגלאים בצומת ובמידע המתקבל משאר הצמתים המתואמים.

הגמישות והשימוש במידע המועבר בין הצמתים, יכולים לבוא לידי ביטוי בתיאום פרטני בפתיחה ובסגירה של מופעים מתואמים, תוך משכי מחזור משתנים בהתאם לעומסי התנועה בפועל ושיקולים נוספים.

מספר הצמתים שניתן לתאם בגל ירוק נושם מוגבל בדרך כלל, לאור מורכבות התכנון והצורך בשמירה על התיאום בתוך גמישות תכנונית בכל אחד מהצמתים (נהוג ליישם "גל ירוק נושם" על שלושה צמתים לכל היותר).

תיאום בין הצמתיים בגל ירוק נושם

התיאום בין הצמתיים מתבצע באמצעות שליחת אותות בין הצמתיים, וזאת לפי מאפייני התיאום הנדרשים. מגוון האותות שניתן ליישם רחב ביותר, ותלוי במטרת התכנון. ייתכנו אותות המודיעים על סיום שלב באחד הצמתיים, על הצורך בפתיחת שלב בצומת אחר, על סיום מחזור וכדומה. בשיטה זו אין בדרך כלל צומת שולט וצומת נשלט, אין משך מחזור קבוע, ומהלך התוכנית תלוי במידע הדדי בין הצמתיים.

סינכרון ראשוני של הצמתיים המתואמים

בדומה לסינכרון בין צמתיים המתואמים במחזור קבוע, הרי שגם ב"גל ירוק נושם" יש להתייחס לאופן התיאום הראשוני בעת כניסת הצמתיים לפעולה מתואמת, ובעת החלפת תוכניות במשך שעות היום. יש לכלול בתכנון מנגנונים שימנעו המתנה ארוכה במיוחד באחת מנקודות התיאום, או המתנה הדדית בין הצמתיים ללא תכלית.

דוגמה לתיאום ב"גל ירוק נושם"

בתרשים 7.7 מוצגת דוגמה לתיאום בין שני צמתיים ב"גל ירוק נושם". בתרשים מוצגות לוגיקות ההפעלה (בצורת תרשים זרימה) בשני הצמתיים (צומת X, צומת Y).

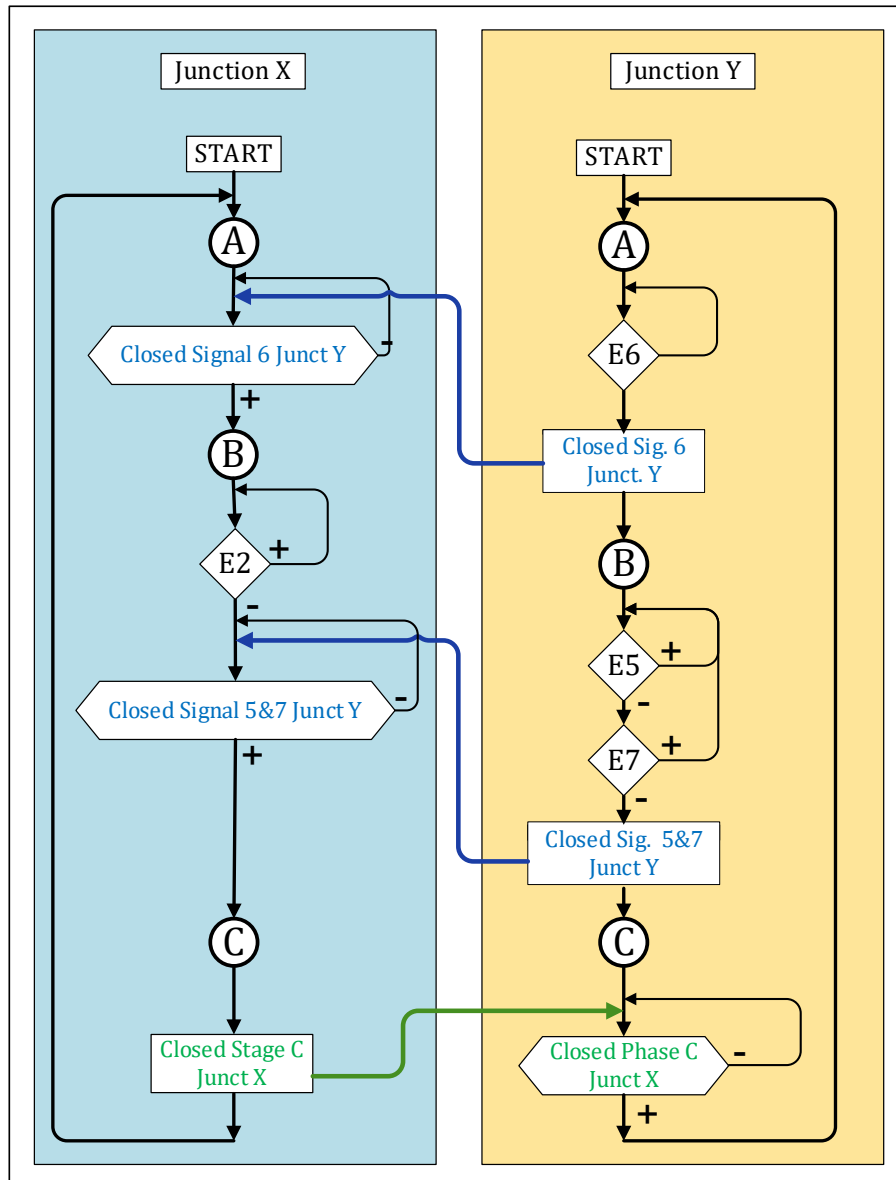
עקרונות תכנון הגל בדוגמה זו:

צומת Y:

- תחילת מחזור היא בשלב A של הצומת.
- הצומת מאריך את שלב A בהתאם לגלאי הארכה במופע 6.
- עם סיום ההארכה מועבר מידע זה (פולס) לצומת X, והצומת עובר לשלב B.
- הצומת מאריך את שלב B בהתאם לגלאי הארכה במופעים 5 ו-7.
- עם סיום ההארכה, מועבר מידע זה (פולס) לצומת X, והצומת עובר לשלב C.
- הצומת ממתין בשלב C עד לקבלת אות מצומת X, שהסתיים שלב C בצומת X. עם קבלת המידע, הצומת עובר לשלב A, לתחילת מחזור.

צומת X:

- תחילת מחזור היא בשלב A של הצומת.
- הצומת ממתין בשלב A עד לקבלת אות מצומת Y על סיום ההארכה במופע 6 (של צומת Y). עם קבלת המידע, הצומת עובר לשלב B.
- הצומת מאריך את שלב B בהתאם לגלאי הארכה במופע 2.
- הצומת ממתין בשלב B עד לקבלת אות מצומת Y על סיום ההארכה במופעים 5 ו-7 של צומת Y. עם קבלת המידע, הצומת עובר לשלב C.
- עם סיום שלב C בצומת X, מועבר מידע זה (פולס) לצומת Y, והצומת עובר לשלב A לתחילת מחזור.



תרשים 7.7: דוגמה לתיאום בין שני צמתים "בגל ירוק נושם"

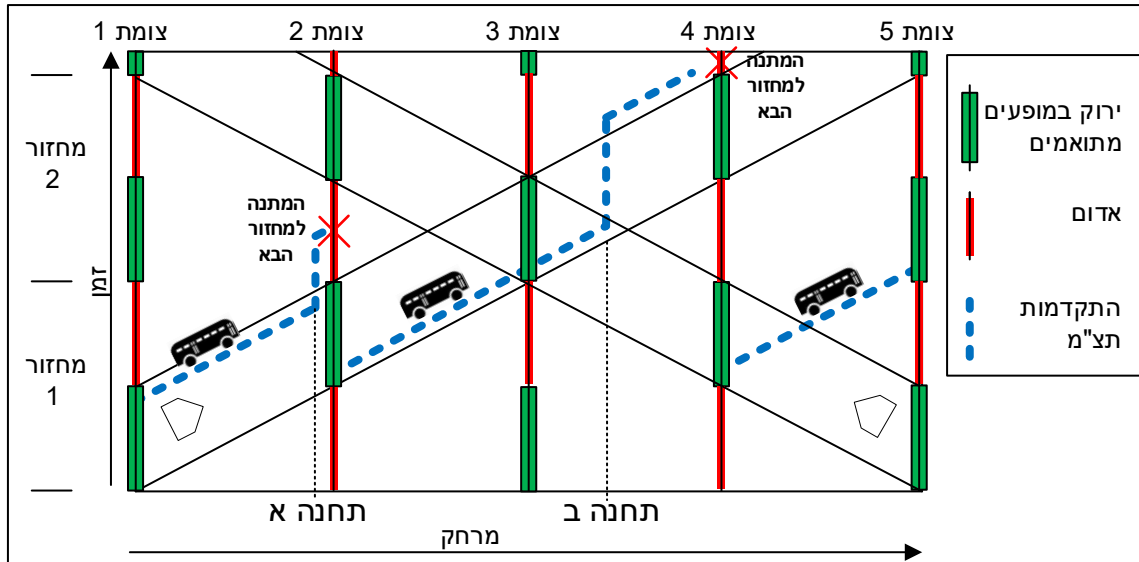
7.6 גל ירוק בפרוייקטי העדפה לתצ"ם

7.6.1 עקרונות העדפה

תכנון העדפה מנוגד לעיתים קרובות בעקרונותיו לתכנון גל ירוק לכלל הרכב המנועי. כללית, כדי לאפשר העדפה ברמה גבוהה, נכון יהיה לשחרר את בקר הרמזור ככל האפשר מאילוצים שונים, ובכלל זה אילוצי תיאום גל ירוק.

בנוסף, קצב התקדמות תצ"ם לאורך ציר, לעיתים קרובות אינו תואם את התקדמות כלי-רכב הנוסעים במקביל, וזאת בעיקר לאור עצירת התצ"ם בתחנות לאורך הדרך.

בתרשים 7.8 מוצגת התקדמות רכב תצ"ם הנוסע במקביל לתנועת רכב במופעים המתואמים בגל ירוק. רכב התצ"ם עוצר בשתי תחנות לאורך הציר. העצירה בתחנות גורמת לעיכובים גדולים לרכב התצ"ם, אשר נאלץ להמתין לעיתים לקבלת ירוק במחזור הרמזור הבא.



תרשים 7.8: התקדמות תצ"ם לעומת התקדמות כלי רכב הנוסעים במקביל

7.6.2 העדפה לתצ"ם במסגרת גל ירוק עם משך מחזור קבוע

כאמור, יישום העדפה לתצ"ם עומד לעיתים קרובות בניגוד לתכנון גל ירוק לשאר כלי-הרכב. עם זאת, ובמידה שנדרש לשמור ככל האפשר על הגל לשאר כלי-הרכב, ניתן לשלב בין השניים באמצעות תכנון גמישות במשך המחזור שנשמר קבוע. הגמישות תהיה במועד ובמשך הקצאת הירוק, כך שבמידה שמופיע רכב תצ"ם, מועדי הירוק ישתנו כדי להקטין את העיכוב לרכב זה. השינוי במועדי הירוק יגרמו להפרעה בגל, ותידרש תקופה לייצוב המערכת ולחזרה לתיאום הרצוי. השיטה מתאימה למקרים בהם תדירות התצ"ם נמוכה יחסית, והפגיעה בגל תהיה יחסית מצומצמת ונשלטת.

7.6.3 העדפה לתצ"ם במסגרת "גל ירוק נושם"

תכנון 'גל ירוק נושם' מאפשר גמישות מרבית ואפשרות להשגת רמת העדפה גבוהה, תוך שמירה סבירה על התיאום הנדרש בין כיוונים נבחרים. התיאום נעשה באמצעות העברת מידע מסוגים שונים בין הצמתים, והתאמת התקדמות בקר הרמזור בהתחשב במידע זה. תכנון גל כזה מתאים במיוחד במקרה של צמתים קרובים, בהם נדרש תיאום הדוק, הן במעבר רכב תצ"ם, והן בין כיווני נסיעה עיקריים אחרים. התכנון בשיטה זו לעיתים מורכב, ולכן באופן מעשי מוגבל בכמות הצמתים הניתנים לתיאום.

7.7 מידע בין צמתים המתואמים בגל ירוק וטיפול בתקלות

התיאום בין צמתים מחייב העברת מידע החיוני ליישום התיאום שתוכנן. במקרה של תקלה בהעברת המידע (מכל סיבה שהיא), יש למנוע פגיעה בתפקוד הצמתים הנובעים מהעדר מידע, או ממידע לקוי שעלול לגרום להמתנות ועיכובים מיותרים.

המידע הנדרש משתנה מיישום ליישום ומאופי התיאום בין הצמתים. ביישומים פשוטים של גל ירוק בין צומת שולט וצמתים נשלטים, עם משך מחזור קבוע, נהוג להעביר בין הצמתים לפחות: אות תקינות גל ירוק, מספר תוכנית הפעלה, ואות סינכרון. ביישומים מורכבים יותר יתכנו מידע ואותות נוספים.

בכל מקרה, התכנון יכלול התייחסות למצבים בהם יש תקלה בהעברת המידע/אותות בין הצמתים.

להלן דוגמה למנגנון תיאום אפשרי בין צמתים המתוכננים בגל ירוק במחזור קבוע, עם צומת שולט וצמתים נשלטים:

א. הבקר של הצומת השולט (מאסטר) שולח אותות לצמתים הנשלטים ובכלל זה:

- אות תקינות רציף המעיד על תקינות המערכת וההפעלה בגל ירוק.
- אות מספר תוכנית המעיד על מספר התוכנית המופעלת בצומת השולט, בהתאם ללוח זמנים להפעלה של צומת זה.
- אות תיאום גל ירוק (Sy, אחד או יותר), המיועד ליצירת ההיסט הרצוי בין הצומת השולט לצמתים הנשלטים.

ב. תקלות:

- במידה שלא מגיע אות תקינות ו/או אות מספר תוכנית לצומת נשלט – הצומת הנשלט יעבור לפעולה עצמאית.
- במידה שלא מגיע אות סינכרון (Sy) לצומת הנשלט מעבר לזמן המתנה מרבי שנקבע – הצומת הנשלט יעבור לפעולה עצמאית.

ג. מעבר מפעולה עצמאית לפעולה בגל:

- כאשר צומת מקבל את כל האותות הנדרשים לתפעול בגל, והוא נמצא בפעולה עצמאית, הוא יעבור לפעולה בגל.
- רצוי לקבוע את התנאים המדויקים לקביעת תקינות האותות, וזאת כדי למנוע מצב בו המידע אינו תקין/רציף, ונוצר מצב בו הצומת עובר מפעולה עצמאית לפעולה בגל ולהיפך, בפרק זמן קצר.

כאמור, מנגנון התיאום עשוי להשתנות מיישום ליישום, ולכלול אותות ותנאים שונים בהתאם למקרה, הן להפסקת פעולת הגל והן לחידוש פעולת הגל. כמו כן, ניתן לדוגמה לקבוע צומת חלופי לצומת השולט במקרה של תקלה בצומת הראשון.

7.8 תהליך תכנון גל הירוק

תהליך תכנון גל ירוק בין צמתיים לאורך ציר כולל מספר פעולות עיקריות, וזאת בנוסף לשלבי התכנון הרגילים בכל צומת:

- (1) יש לבחון את מאפייני התנועה לאורך הציר, ולקבוע באופן ראשוני אילו תנועות יתואמו בין הצמתיים, ובאיזו שיטה (מחזור קבוע, "גל ירוק נושם").
- (2) רצוי לבדוק מספר חלופות תכנון, וזאת הן ברמת הצומת הבודד והן ברמת הציר. לדוגמה, הרכב השלבים וסדר השלבים בצמתיים השונים, עשוי להשפיע משמעותית על אפשרות תיאום התנועות בין הצמתיים. דוגמה נוספת היא משך המחזור המשותף, אשר משפיע משמעותית על עיכובים ויעילות התכנון.
- (3) הערכת החלופות השונות יכול להתבצע בשיטה גרפית (דיאגרמת זמן-מרחק), וכן באמצעות תוכנות ייעודיות המסייעות בתכנון מסוג זה. לאחר יצירת החלופות, יש לבחור את החלופה המיטבית.
- (4) עבור החלופה המיטבית ייקבעו האותות שיישלחו / יתקבלו בצמתיים המתואמים.
- (5) בשלב האחרון יש להשלים תכנון מפורט לגל, ובכלל זה תרשימי זרימה מפורטים, הכוללים את אותות התיאום וההיסטים הנדרשים, הוראות הפעלה לגל לכל שעות היממה, כולל התייחסות לתקלות אפשריות, ודיאגרמות זמן-מרחק לתוכניות השונות.

פרק 8: גלאים

תוכן עניינים

8-1.....	רקע ומטרות.....	8.1
8-2.....	שימושים אופייניים בגלאים.....	8.2
8-2.....	גלאי דרישה (רכב מנועי).....	8.2.1
8-2.....	גלאי הארכה (רכב מנועי).....	8.2.2
8-2.....	גלאי תור (רכב מנועי).....	8.2.3
8-2.....	לחצן להולך-רגל/ רוכב אופניים.....	8.2.4
8-2.....	גלאי העדפה.....	8.2.5
8-3.....	יישום באמצעות גלאים המבוססים על לולאות אלקטרומגנטיות.....	8.3
8-3.....	כללי.....	8.3.1
8-3.....	הצורה והמימדים של לולאות אלקטרומגנטיות.....	8.3.2
8-4.....	גלאי דרישה לכלי-רכב (Dx).....	8.3.3
8-6.....	גלאי הארכה לכלי-רכב (Ex).....	8.3.4
8-17.....	גלאי תור.....	8.3.5
8-19.....	לחצני דרישה להולכי-רגל / אופניים.....	8.4
8-19.....	לחצן דרישה להולכי-רגל.....	8.4.1
8-21.....	לחצן דרישה לאופניים במופע משותף עם הולך רגל.....	8.4.2
8-21.....	לחצן דרישה לאופניים במופע נפרד.....	8.4.3
8-21.....	גלאי העדפה.....	8.5
8-21.....	תפקידם של גלאי העדפה השונים.....	8.5.1
8-23.....	דוגמא – גלאי הארכה.....	8.6
8-23.....	כיסוי אזור גילוי באמצעות מספר לולאות (שיטה 1).....	8.6.1
8-24.....	כיסוי אזור גילוי באמצעות לולאה קצרה ויחידת הארכה ארוכה (שיטה 2).....	8.6.2

פרק 8: גלאים

8.1 רקע ומטרות

שילוב גלאים בתכנון רמזור מאפשר התייחסות בלוגיקת ההפעלה של הרמזור למצב התנועה בפועל, במטרה להגביר את יעילות הרמזור ולקצר ככל האפשר את זמני העיכוב בצומת. לדוגמא, שילוב גלאים מאפשר להתנות פתיחת ירוק במופע משני בהמתנה בפועל של כלי-רכב במופע זה, או לשנות את משך הירוק בהתאמה למספר כלי-הרכב המעוניינים לחצות את הצומת.

קיימות טכנולוגיות שונות לזיהוי ולאיסוף המידע המתייחס לכלי-רכב ולמשתמשי דרך אחרים, כגון גלאים המבוססים על לולאות אלקטרומגנטיות, מצלמות, רדאר, משדרים אלחוטיים, לחצנים להולכי-רגל ועוד.

פרק זה דן בשימושים השונים בגלאים, המאפשרים שיפור בתפעול הרמזור ועמידה ביעדים התואמים את מדיניות התכנון, כפי שנקבעה על ידי רשות התימרו. הפרק מציג את העקרונות העומדים מאחורי השימושים השונים בהתאם לתפקיד הגלאי, וללא תלות בטכנולוגית היישום.

הפרק מתאר שימוש בסוגי הגלאים העיקריים המשמשים בתכנון רמזורים, והכוללים: גלאי דרישה, גלאי הארכה, גלאי תור, לחצני הולך-רגל/אופניים, וגלאי העדפה. בנוסף לגלאים אלה, ניתן להשתמש בגלאים הנותנים מידע תנועתי נוסף כגון גלאי מהירות, גלאי ספירה וכדומה. ניתן לשלב גלאים הן ברמת תכנון הצומת הבודד והן כחלק מניהול תנועה אזורי.

האופן ופרטי היישום בפועל של גלאים עשויים להשתנות בהתאם לטכנולוגיה באמצעותה מיושם הגלאי. הפרק מתייחס בשלב זה ליישום באמצעות הטכנולוגיות הבאות:

- גלאים המבוססים על לולאות אלקטרומגנטיות – השיטה הנפוצה היום בארץ ומאפשרת לשימוש השיטה מבוססת על לולאות השקועות באספלט (לולאות אלקטרומגנטיות) ומוזנות במתח חילופין, המחולל שדה מגנטי בסביבת הלולאה. מעבר רכב על הלולאה מחולל שינוי בשדה המגנטי של הלולאה, אשר מנוטר ע"י כרטיס גלאי בבקר הרמזור. כרטיס הגלאי מזהה נוכחות/מעבר רכב על הגלאי. מידע זה ניתן לעיבוד בבקר הרמזור בהתאם לתפקיד הגלאי.
- לחצני הולכי-רגל ואופניים.

ככל שיאשרו לשימוש טכנולוגיות נוספות, ניתן יהיה להשתמש בטכנולוגיות אלו לקבלת המידע הנדרש ולעיבודו בבקר הרמזור, בהתאם לתפקיד הגלאי בתפעול הרמזור. פיתוחים עתידיים בתחום הגילוי עשויים אף לאפשר שימושים נוספים לגלאים, מעבר לשימושים המצויינים בפרק זה, ובכך להביא להגדלת יעילות הרמזור.

8.2 שימושים אופייניים בגלאים

8.2.1 גלאי דרישה (רכב מנועי)

- תפקיד: גילוי נוכחות רכב מנועי בקו העצירה או בקרבתו.
- המידע המחושב: יש/אין רכב מנועי הממתין לירוק.
- שימוש במידע: ישמש בדרך כלל בהחלטה על הצורך בפתיחת ירוק למופע רכב מנועי, או לחילופין, יאפשר פסיחה על המופע במידה שאינו נדרש.

8.2.2 גלאי הארכה (רכב מנועי)

- תפקיד: גילוי כלי-רכב מנועיים הנמצאים בדרכם לקו העצירה.
- המידע המחושב בבקר הרמזור: מרווח הזמן בין כלי-הרכב הנעים בשיירה במהלך מופע ירוק (פער החילוף).
- שימוש במידע: ישמש בדרך כלל בהחלטה על הצורך בהארכת האות הירוק במופע הרלוונטי, עד למשך זמן מרבי מתוכנן.

8.2.3 גלאי תור (רכב מנועי)

- תפקיד: זיהוי הצטברות של תור בגישה אל הצומת.
- המידע המחושב בבקר הרמזור: יש/אין תור באזור הגלאי.
- שימוש במידע: ישמש בדרך כלל לביצוע שינויים בתפעול הרמזור, כגון הארכת מופע ירוק רלוונטי, או שינוי אחר שנועד למנוע חסימת צמתים וכדומה.

8.2.4 לחצן להולך-רגל/ רוכב אופניים

- תפקיד: זיהוי הולך-רגל/רוכב אופניים הרוצה לחצות במופע הרלוונטי.
- המידע שמתקבל: יש/אין הולך-רגל/רוכב אופניים הממתין למופע ירוק.
- שימוש במידע: ישמש בדרך כלל בהחלטה על הצורך בפתיחת ירוק למופע הולך-רגל/אופניים, או לחצייה רציפה של מספר מעברים על ידי הולך-רגל/אופניים. יאפשר פסיחה על מופעים במידה שאינם נדרשים.

8.2.5 גלאי העדפה

- תפקיד: זיהוי מיקום רכב מנועי מועדף בדרך אל/מ הצומת.
 - המידע שמתקבל: יש/אין רכב מועדף במיקום שנקבע מראש, וכן פרטי זיהוי נוספים לפי הצורך (כדוגמת קוד קו, רמת המילוי ברכב, מבקש או לא מבקש העדפה וכדומה...)
 - שימוש במידע: ישמש בדרך כלל לחיזוי זמן ההגעה וזמן העזיבה של הרכב המועדף, ולקביעת אסטרטגיית ההעדפה המתאימה למועדים אלה.
- פירוט נוסף על תפקידי גלאי ההעדפה השונים מוצג בסעיף 8.5.

8.3 יישום באמצעות גלאים המבוססים על לולאות אלקטרומגנטיות

8.3.1 כללי

פרק זה מתאר את אופן היישום של גלאים המבוססים על לולאות אלקטרומגנטיות עבור השימושים השונים בתוכנית הרמזור. הפרק מתאר את אופן חישוב איזור הגילוי הנדרש, מימדי הלולאות, צורתן ומיקומן.

כאשר נדרש למקם מספר לולאות אלקטרומגנטיות כדי לאפשר גילוי במספר נתיבים ובמיקומים שונים בנתיב, רצוי לשמור על העקרונות הבאים:

- הלולאות האלקטרומגנטיות תמוקמנה בכל נתיב בנפרד.
 - כל לולאה תחובר לערוץ נפרד בכרטיס הגלאי שבבקר הרמזור.
- הגלאי והלולאות הנלוות יאפשרו גילוי של כל סוגי הרכב המנועי, ובכלל זה רכב דו-גלגלי המכיל יחסית מעט אלמנטים מתכתיים ("דל מתכת").
- דרישות פרטניות ומחייבות להתקנת לולאות גלאים ובדיקתן מובאות ב"מפרט הכללי להצבה ואחזקה של רמזורים, פרק 7: כרטיס הגלאי האלקטרומגנטי והלולאות":
- נספח א' כולל קווים מנחים להתקנת לולאות גלאים.
 - נספח ב' כולל את פירוט הבדיקות הנדרשות בעת הפעלת הגלאי באתר התקנתו.

8.3.2 הצורה והמימדים של לולאות אלקטרומגנטיות

הצורך בזיהוי הרכב ברמת וודאות גבוהה, באמצעות לולאות אלקטרומגנטיות, מכתוב במידה רבה את הצורה והמימדים של הלולאה, ואת מספר הליפופים של כבל הלולאה.

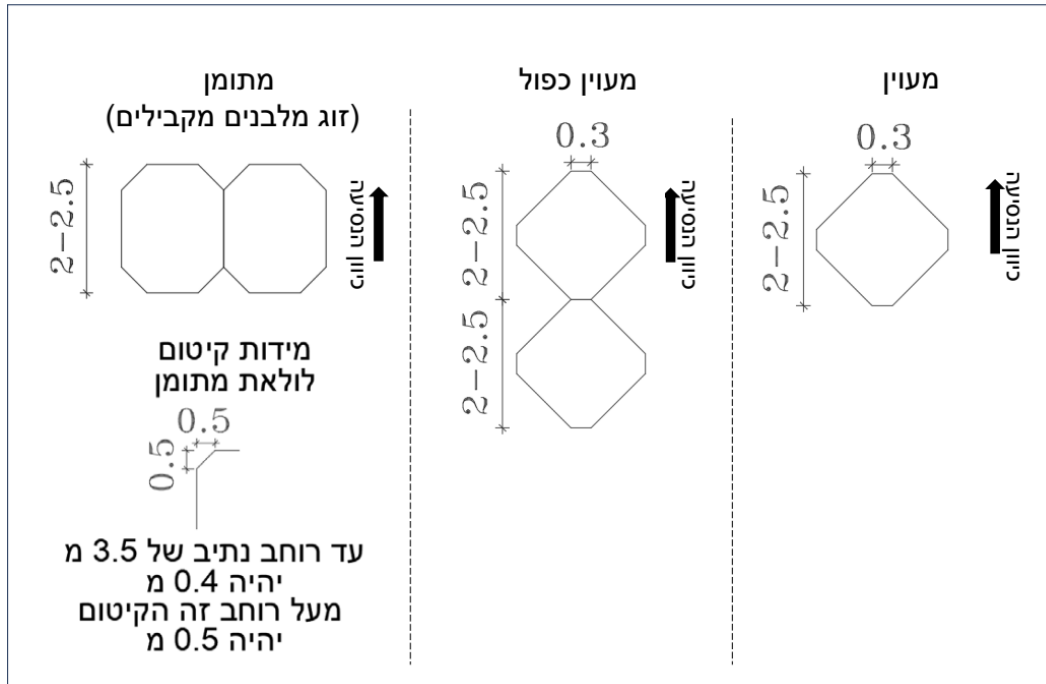
פרק זה מתאר שלוש צורות אופייניות של לולאות:

- לולאה בצורת מעוין;
- לולאה בצורת שני מעוינים צמודים;
- לולאה בצורת מתומן.

תרשים 8.1 מציג את הצורה ותחום המימדים של שלוש הצורות האלו.

ניתן להשתמש גם בלולאות בצורות אחרות, כמפורט ב"מפרט הכללי להצבה ואחזקה של רמזורים, פרק 7: כרטיס הגלאי האלקטרומגנטי והלולאות", נספח ג', ובתנאי שמושגת רמת הגילוי הדרושה.

כיוון הליפופים ומס' הליפופים של הלולאה יבוצע בהתאם למפרט זה, כדי להשיג את רמת הגילוי הדרושה.



תרשים 8.1: לולאות אלקטרומגנטיות אופייניות

8.3.3 גלאי דרישה לכלי-רכב (Dx)

גלאי דרישה (Dx) נועד לזיהוי רכב הממתין לירוק ברמזור. הגלאי משמש בדרך כלל כדי לאפשר פסיחה על ירוק במופע הרלוונטי, כאשר אין דרישה לפתיחתו.

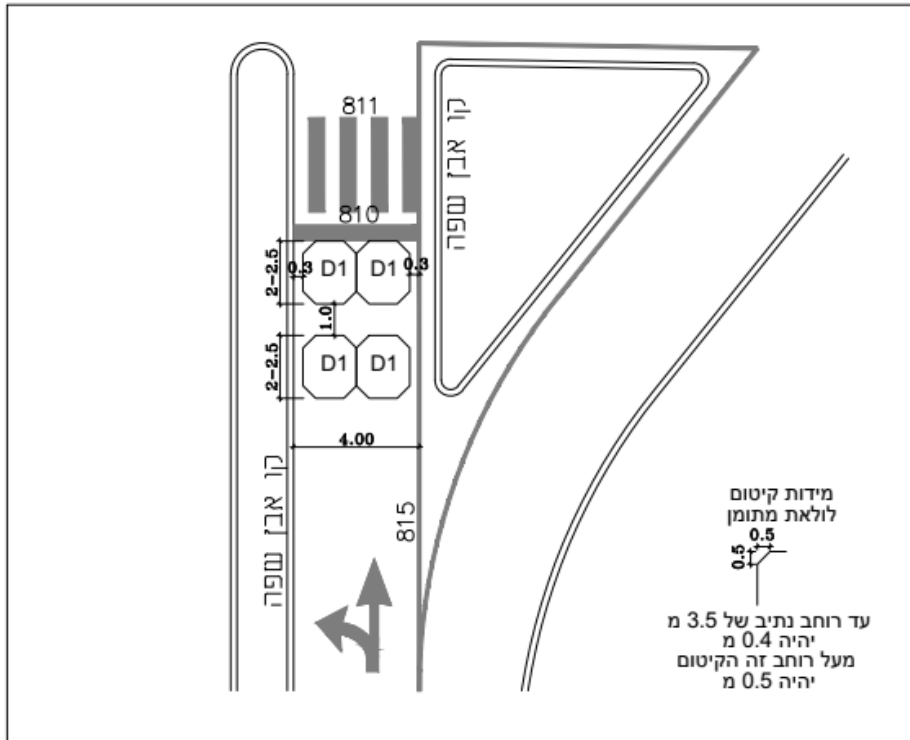
פרטי הביצוע של הלולאה ייקבעו כך שיבטיחו מצד אחד גילוי רכב הממתין לקבלת ירוק במופע, ומצד שני לא יציגו בטעות גילוי של כלי-רכב במופעים אחרים בצומת.

אזור הגילוי יהיה ממוקם תמיד לפני קו העצירה ובסמוך לו, כך שיכסה את התחום בו הרכב הראשון עומד וממתין לקבלת האות הירוק (בין 5 ל-6 מ' מקו העצירה).

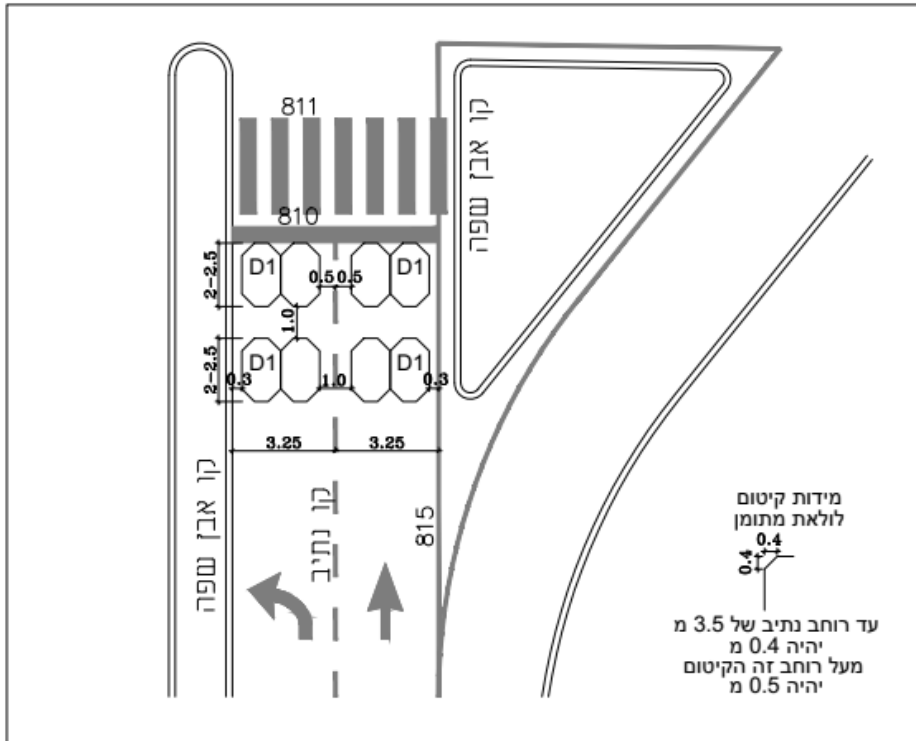
בגלאי דרישה יש להשתמש בלולאות בתצורת מתומן, אשר מכסות איזור רחב יותר, ויותר רגישות לגילוי רכב ממתין.

תקלה בלולאות/גלאי תיחשב כדרישה למופע (הקצאת ירוק בכל מחזור ולפי לוגיקת התכנון).

תרשימים 8.2, 8.3, 8.4 מציגים מידות ומיקום לולאות של גלאי דרישה בתלות במספר הנתיבים בגישה.

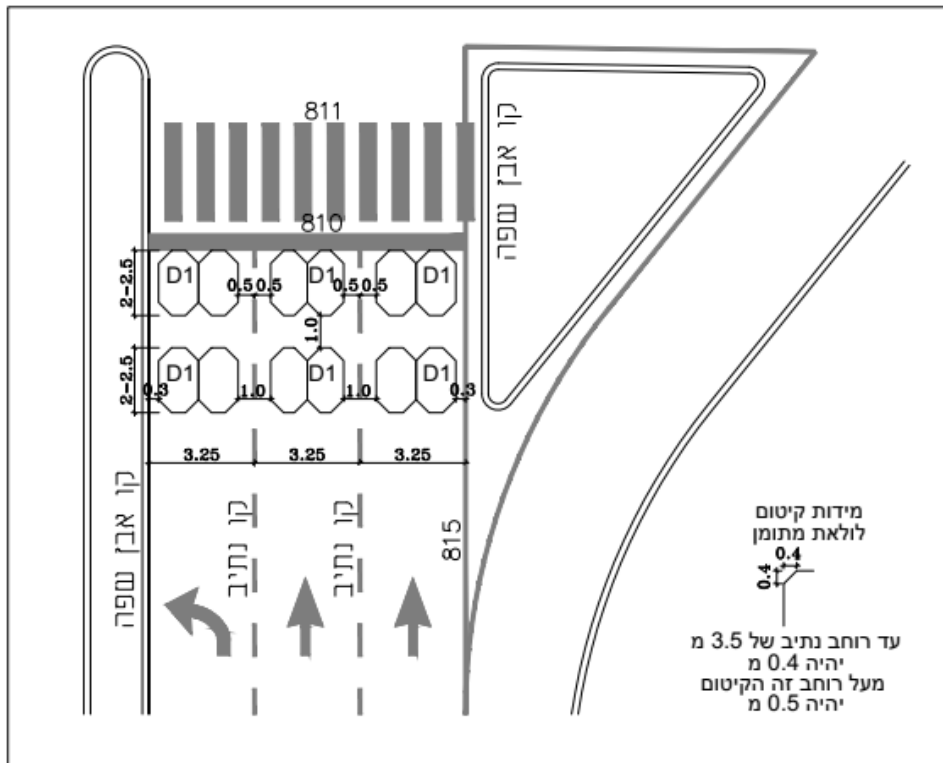


תרשים 8.2: לולאות של גלאי דרישה בגישה עם נתיב אחד



תרשים 8.3: לולאות של גלאי דרישה בגישה עם שני נתיבים

הערה לתרשימים 8.3-8.4: המרחק בין הלולאות המוצבות בנתיבים השונים יהיה דומה, בין אם הן משרתות את אותו מופע או מופעים שונים.



תרשים 8.4: לולאות של גלאי דרישה בגישה של שלושה נתיבים

8.3.4 גלאי הארכה לכלי-רכב (Ex)

8.3.4.1 כללי

גלאי הארכה (Ex) נועד לזיהוי כלי-רכב במופע תנועה לצורך הארכת ירוק. הבקר מזהה, באמצעות הגלאי, שיירה של כלי-רכב הנמצאת בקרבת הצומת ומעוניינת לחצות אותו. הזיהוי מאפשר לבקר להאריך את האות הירוק במופע הרלוונטי (עד משך מרבי שנקבע בתוכנית), כל עוד קיימת שיירה.

התבחין לזיהוי שיירה הוא פער החילוף בין כלי-הרכב (ראו פירוט בהמשך). השימוש בתבחין זה, ויישומו בגלאי הארכה, מאפשר ניצול יעיל של האות הירוק בהתאם למאפייני זרימת כלי-הרכב במופע. ערך התבחין להארכת הירוק נקבע באמצעות פער החילוף לתכנון.

עקרונית, ישנן שתי שיטות מקובלות לכיסוי אזור הגילוי הנדרש של כלי-רכב, ולפריסת לולאות בהתאם (ראו פירוט בהמשך):

- א. שיטה 1: כיסוי מלא או חלקי של איזור הגילוי באמצעות מספר לולאות אלקטרומגנטיות.
 - ב. שיטה 2: הצבת לולאה אלקטרומגנטית קצרה שתזהה מעבר רכב, והשלמת פער החילוף לתכנון באמצעות יחידת הארכה.
- הפרמטרים ומאפייני התכנון העיקריים ליישום גלאי הארכה מוצגים להלן.

8.3.4.2 פער החילוף (t)

פער החילוף בפועל (t) הוא מרווח הזמן בין שני כלי-רכב עוקבים בשיירה (משך הזמן החולף בין מעבר הקצה האחורי של הרכב הראשון מעל נקודת הבדיקה, לבין מעבר הקצה הקדמי של הרכב העוקב מעל נקודה זו).

פער החילוף לתכנון נקבע במסגרת תכנון הרמזור, ומשמש כערך-סף בהחלטה על הארכת האות הירוק. בקר הרמזור מחשב את פער החילוף בפועל. כאשר ערכו של פער זה קטן מפער החילוף לתכנון, יוארך האות הירוק (עד משך מירבי שנקבע בתוכנית). כאשר ערכו של פער זה גדול מפער החילוף לתכנון, תיפסק ההארכה של האות הירוק.

ערכים מומלצים לפער חילוף לתכנון, בהתאם למאפייני הדרך ולסוג המופע, מוצגים בטבלה 8.1. במופעים בהם ההתקרבות לרמזור מתבצעת בפערים גדולים מהרגיל כתוצאה משיפוע עולה, גשר צר, סיבוב חד וכדומה, יש לשקול את הגדלת ערכי פער החילוף מעל הערכים המצוינים בטבלה זו.

טבלה 8.1: ערכים מומלצים לפער חילוף לתכנון

איפיון הדרך	פער החילוף לתכנון (שניות)
מופעים ראשיים בצמתים בין-עירוניים	3.0-4.0
מופעים ראשיים בצמתים עירוניים, או מופעים משניים בצמתים בין-עירוניים	2.0-3.0
מופעים משניים בצמתים עירוניים	1.5-2.5

פער חילוף לתכנון המשתנה עם הזמן

מרווחי הזמן בין כלי-הרכב בשיירה משתנים במהלך האות הירוק. בדרך כלל, בתחילת הנסיעה של שיירה בירוק, מרווחי הזמן בין כלי-הרכב הראשונים הינם קצרים, וככל שהאות הירוק מתמשך, השיירה מתפזרת, ומרווחי הזמן גדלים. עם זאת, בתחילת הירוק ייתכן לעיתים עיכוב בתחילת הנסיעה של אחד מכלי-הרכב, כך שנוצר פער חילוף ארוך יחסית. במקרה כזה, רצוי שפער החילוף לתכנון בשלב הראשון של הירוק יהיה ארוך יחסית (פער לתכנון מרבי), אך לאחר משך זמן מסויים (משך זמן להפחתה) רצוי לקצר את פער החילוף (פער לתכנון מזערי), למניעת בזבז זמן ירוק כאשר השיירה מתפזרת.

ביישום פער חילוף משתנה לתכנון, נדרש לקבוע מהו פער החילוף המרבי לתכנון, פער החילוף המזערי לתכנון, ומשך הזמן להפחתה, שהוא פרק הזמן לאחריו יופחת פער החילוף לתכנון מערכו המרבי לערכו המזערי.

ניתן ליישם פערי חילוף לתכנון המשתנים מתוכנית הפעלה אחת לשנייה, ואף במהלך הפעלת הירוק למופע. השימוש בפער חילוף משתנה לתכנון, מהווה כלי נוסף לשליטה על הארכת ירוק, ולהעדפת מופע מסוים על פני מופעים אחרים.

יישום פער חילוף משתנה יבוצע באמצעות שינוי יחידת ההארכה, ויש להתחשב בכך בפריסת לולאות הגילוי כמוסבר בהמשך.

8.3.4.3 יחידת הארכה (Δg)

יחידת הארכה מוגדרת כמשך הזמן (שניות) שבו בקר הרמזור מאריך את הדרישה להארכה (ובהתאם את הירוק למופע), למרות שהרכב עזב את הלולאה של הגלאי. במשך זמן זה, הבקר ממתין לאות נוסף מהגלאי. אם הגיע אות נוסף, ימתין הבקר פעם נוספת, וייתן הזדמנות לאות נוסף להתקבל - וחוזר חלילה, עד לזמן הירוק המרבי שנקבע למופע זה.

במידה שלא הגיע אות חדש מהגלאי עד לסיומה של יחידת ההארכה, יסתיים האות הירוק למופע הרלוונטי, והבקר יעבור לשלב הבא, בהתאם ללוגיקת התכנון.

מצד אחד רצוי לקצר ככל האפשר את יחידת ההארכה, כדי למזער את בזבוז הזמן בסוף האות הירוק (בהמתנה לרכב שעלול בסופו של דבר לא להגיע). מצד שני, השימוש ביחידת הארכה מאפשר להקטין את מימדי ואת כמות הלולאות האלקטרומגנטיות הנדרשות, ובכך מאפשר להתגבר על מגבלות פיזיות שקיימות בשטח, וכן להקטין את עלויות הביצוע והתחזוקה של הלולאות. בנוסף, השימוש ביחידת הארכה מאפשר יישום פער חילוף לתכנון המשתנה בזמן אמת.

יחידות ההארכה המקובלות הינן בתחום שבין 0-4.0 שניות.

8.3.4.4 אורך אזור הגילוי הנדרש

כאמור, התבחין להארכת האור הירוק הוא פער החילוף בפועל בין כלי-הרכב. ערך הסף להארכת הירוק הוא פער החילוף לתכנון, כפי שנקבע על ידי מתכנן הרמזור.

פער החילוף לתכנון, ביחד עם מהירות הנסיעה, מגדירים למעשה את המרחק המרבי בין כלי-רכב בשיירה עבורו יוארך האות הירוק. אם המרחק בפועל גדול ממרחק זה, יופסק האות הירוק.

אפשרות אחת היא לכסות את כל המרחק המרבי הנדרש באמצעות לולאות, וכך, במידה שיש זיהוי של כלי-רכב, המשמעות היא שהמרחק בין כלי-הרכב קטן מהמרחק המרבי, כלומר פער החילוף בפועל קטן מפער החילוף לתכנון, ויש להמשיך בהארכת הירוק (עד לערך מרבי שנקבע).

אפשרות נוספת ומעשית יותר, היא להשתמש ביחידת הארכה. שימוש זה מאפשר לקצר את המרחק שיש לכסות בלולאות גלאים. במקרה כזה, כדי למדוד את פער החילוף בפועל, נדרש לגלות רכב לאורך אזור גילוי שאורכו נתון בנוסחה הבאה:

$$L = \frac{(tp - \Delta g) \cdot S}{3.6}$$

כאשר:

L – אורך אזור הגילוי (מטר)

tp – פער החילוף לתכנון (שניות), בהתאם לטבלה 8.1

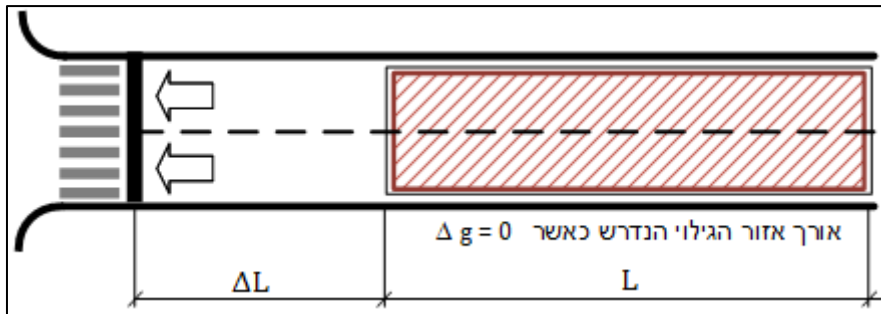
Δg – יחידת הארכה (שניות)

S – מהירות התקרבות (קמ"ש), בהתאם לטבלה 8.2.

מהירות ההתקרבות לצורך חישוב אורך הגילוי, בהתאם לסוג הדרך ולסוג התנועה, מוצגת בטבלה 8.2.

א. כיסוי אזור הגילוי באמצעות לולאות (שיטה 1)

כאשר משך יחידת ההארכה שווה ל-0, אורך אזור הגילוי הנדרש (האזור המכוסה על ידי לולאות) שווה למכפלת פער החילוף לתכנון במהירות ההתקרבות, כמתואר בתרשים 8.5. במקרה כזה יש לכסות את כל אזור הגילוי הנדרש באמצעות לולאות אלקטרומגנטיות. אורך הלולאות וכמותן במקרה זה יהיה רב.

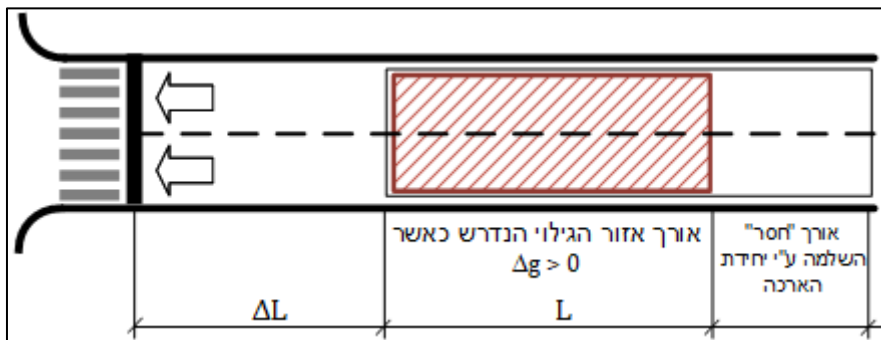


תרשים 8.5: אורך אזור הגילוי הנדרש ללא יחידת הארכה

השימוש ביחידת הארכה מאפשר לקצר את אורך אזור הגילוי הנדרש. קיצור אזור גילוי נדרש לעיתים לאור מגבלה פיזית במיקום לולאות, וכן מאפשר שימוש בפחות לולאות.

הערה: כאשר יש כוונה ליישם פער חילוף לתכנון המשתנה עם הזמן, יש להשתמש ביחידת הארכה משתנה, ולחשב את אזור הגילוי בהתאם ליחידת ההארכה המתוכננת הארוכה ביותר.

בתרשים 8.6 מוצג מקרה בו השימוש ביחידת הארכה מאפשר לקצר את אורך הגילוי הנדרש.



תרשים 8.6: אורך אזור הגילוי הנדרש עם יחידת הארכה

פיצול לולאות ללא יחידת הארכה ($\Delta g=0$)

כאשר נדרשות יותר מלולאה אחת לכיסוי אזור הגילוי, יש לקרב את הלולאות עד כדי 2.0 מטר לערך ביניהן (מהקצה האחורי של לולאה אחת לקצה קדמי של לולאה שאחריה). על ידי כך יכול הרכב הנוסע ליצור אות בגלאי דרך לולאות סמוכות, מבלי לאבד את הארכת האור הירוק במעבר מלולאה אחת לשנייה.

פיצול לולאות עם יחידת הארכה ($\Delta g > 0$)

השימוש ביחידת הארכה מאפשר לפצל לולאות לאורך אזור הגילוי, ובכך להקטין את מספר הלולאות הנדרשות. יחידת הארכה מאפשרת למעשה לשמור על הארכת המופע בעת מעבר הרכב מלולאה אחת לשנייה.

בעת פיצול אזורי הגילוי למספר אזורים (לולאות), יש לחשב את המרחק המרבי בין אזורי הגילוי (1) עפ"י הנוסחה הבאה:

$$l = \frac{\Delta g \cdot S1}{3.6} + X$$

כאשר:

l – המרחק בין לולאות של אותו גלאי (מטר)

Δg – משך יחידת הארכה (שניות)

S1 – מהירות התקרבות לחישוב פיצול לולאות (קמ"ש), בהתאם לטבלה 8.2

X – מרחק הקטן מאורך רכב אחד (2 מטר עבור רכב, 1 מטר עבור אופניים).

הערה: כאשר יש כוונה ליישם פער חילוף משתנה לתכנון, יש להשתמש ביחידת הארכה משתנה, ולחשב את המרחק בין לולאות בהתאם ליחידת הארכה הקצרה יותר.

טבלה 8.2: מהירויות ההתקרבות לצומת לחישוב אורך אזור הגילוי ולפיצול לולאות

סוג הרכב	סוג הדרך	סוג התנועה	מהירות התקרבות S לחישוב אורך אזור גילוי (קמ"ש)	מהירות נסיעה S1 לחישוב פיצול לולאות (קמ"ש)
רכב מנועי	דרך בין עירונית	ישר	מהירות מותרת	הקטן מבין 35 או מחצית המהירות המותרת
		פנייה	20 קמ"ש פחות מהמהירות המותרת, ולא פחות מ-50 קמ"ש	הקטן מבין 35 או מחצית המהירות המותרת
	דרך עירונית	ישר	המהירות המותרת או 50 קמ"ש (הגבוה מביניהם)	25
		פנייה	50	25
אופניים		ישר ו/או פנייה	25	15

ב. כיסוי אזור הגילוי באמצעות לולאה קצרה ויחידת הארכה ארוכה (שיטה 2)

בשיטה זו תותקן לולאה אחת קצרה, וכיסוי אזור הגילוי יושלם כולו באמצעות יחידת הארכה. שיטה זו היא למעשה מקרה פרטי של נוסחת חישוב אזור הגילוי שהוצגה לעיל.

לאחר שימוש בלולאה קצרה (בדרך כלל 2-3 מ' L), יושלם חישוב יחידת ההארכה באמצעות הנוסחה:

$$\Delta G = tp - 3.6 \frac{L}{S}$$

כאשר:

ΔG – יחידת הארכה (שניות)

L – אורך אזור הגילוי (מטר)

tp – פער החילוף לתכנון (שניות), בהתאם לטבלה 8.1

S – מהירות התקרבות (קמ"ש), בהתאם לטבלה 8.2.

הלולאה תמוקם בקצה הקדמי של שטח הגילוי, ובמרחק של ΔL מקו העצירה (ראו בהמשך).

יתרון השיטה הינו חיסכון בעלות ובתחזוקה של הגלאים. החיסרון עלול להיותו איבוד זמן בסוף הירוק, וזאת כאשר הירוק מוארך בגלל יחידת ההארכה, למרות שלא צפוי להגיע רכב לגלאי במשך זמן ההארכה (השיירה הסתיימה).

יש לשקול שימוש בשיטה זו בהתאם לרמת השירות בצומת, עקב החיסרון של איבוד הזמן.

תרשים 8.11 בהמשך מציג דוגמא למיקום לולאות בשיטה זו.

8.3.4.5 מיקום איזור הגילוי – המרחק מקו העצירה (ΔL)

מרחק הקצה הקדמי של אזור הגילוי מקו עצירה (ΔL) נקבע כך שהרכב האחרון, עבורו מוארך האות הירוק, יוכל לעבור את קו העצירה בירוק. מיקום קרוב מדי לקו העצירה, יגרום לבזבז זמן בסוף המופע (הרכב האחרון יחצה את קו העצירה לפני סוף הירוק). לעומת זאת, מיקום רחוק מדי, יגרום לכך שהרכב האחרון לא יגיע לקו העצירה לפני סגירת הירוק.

המרחק מקו העצירה (ΔL) נקבע על פי משך הזמן שבין נקודת ההחלטה ליציאה מהשלב, לבין תחילת האות הצהוב.

חישוב המרחק מבוצע בהתאם לנוסחה הבאה:

$$\Delta L = S_p \cdot (\Delta t + \Delta g) + D$$

כאשר:

ΔL – המרחק מקו העצירה לקצה הקדמי של הלולאה (מטר)

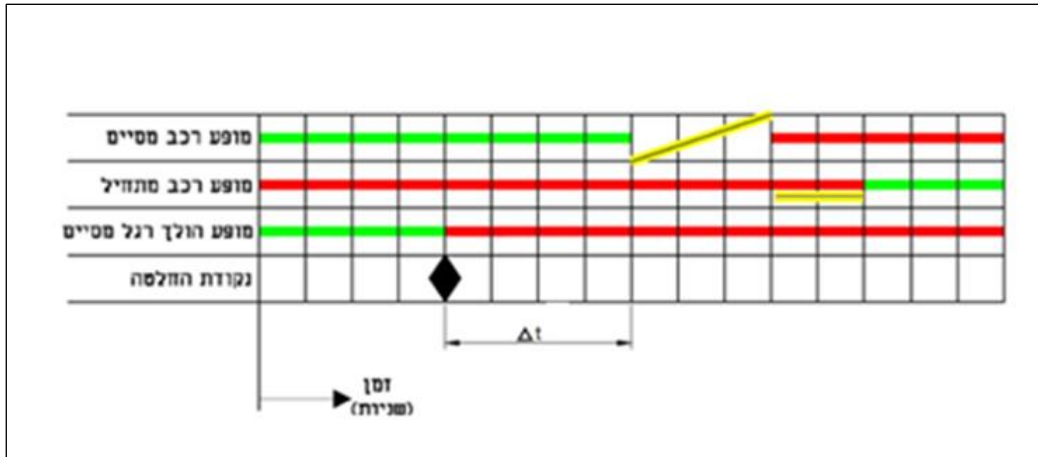
S_p – מהירות נסיעה בשיירה בזרימת רוויה (2.4 מ' לשנייה)

Δt – משך הזמן המזערי, בתוכניות השונות, בין נקודת ההחלטה ליציאה מהשלב לבין התחלת האות הצהוב במופע הרכב הרלוונטי (שניות)

Δg – משך יחידת ההארכה (שניות)

D – אורך מכונית (5 מטר), אופניים (2 מטר).

תרשים 8.7 מדגים באופן גרפי את משך הזמן (Δt) בין נקודת ההחלטה על יציאה מהשלב (בדוגמא: סוף ירוק של מופע הולך-רגל מסיים), לבין תחילת האות הצהוב של מופע רכב מסיים. בדוגמא: 4 שניות = Δt .



תרשים 8.7: Δt – משך הזמן בין נקודת ההחלטה והתחלת האות הצהוב

הערה: כאשר יש כוונה ליישם פער חילוף משתנה לתכנון, יש להשתמש ביחידת הארכה משתנה, ולחשב את המרחק מקו העצירה בהתאם ליחידת הארכה הקצרה ביותר.

לאחר חישוב מרחק ΔL יש לבדוק האם משך האות הירוק המזערי במופע הרלוונטי מאפשר לפנות את כלי-הרכב הממתינים בתחילת הירוק כמפורט בסעיף 8.3.4.6 להלן.

תרשימים 8.8, 8.9, 8.10 מציגים מיקום לולאות של גלאי הארכה עבור מקרים של נתיב אחד, שני נתיבים או שלושה נתיבים בגישה לצומת.

8.3.4.6 משך אות ירוק מזערי בתלות במיקום לולאות גלאי הארכה

משך הירוק המזערי למופע נדון בפרק 4 לעיל, שם מוצג המשך הירוק המזערי ללא תלות במיקום לולאות גלאי הארכה (בעת שימוש בגלאי הארכה). יש לוודא שמשך הירוק המזערי, מספיק לפחות לפינוי של כלי-הרכב המצטברים בזמן האות האדום בין קו העצירה לבין תחילת לולאת גלאי הארכה (ΔL). כלי-רכב באזור זה לא יגרמו להארכת הירוק, ולכן לא יספיקו לעבור את קו העצירה (במידה שאין רכב אחריהם).

מספר כלי-הרכב בין קו העצירה לבין לולאת הגלאי, שלא יגרמו להארכת האות הירוק, יחושב לפי הנוסחה הבאה:

$$n = \text{int}(\Delta L/d)$$

כאשר:

- n – מספר כלי-הרכב המצטברים
- ΔL – המרחק קו העצירה לבין לולאת הגלאי (מטר)
- int – הערך השלם מעוגל כלפי מטה
- d – אורך מכונית (5 מטר), אופניים (2 מטר).

משך הזמן המזערי הנדרש לאות הירוק יחושב לפי הנוסחה הבאה:

$$t(\text{minreq}) = n \cdot 2.1 + 2.0$$

כאשר:

$t(\text{minreq})$ – משך הירוק המזערי הנדרש (שניות)

n – מספר כלי-רכב שהצטברו לאורך ΔL

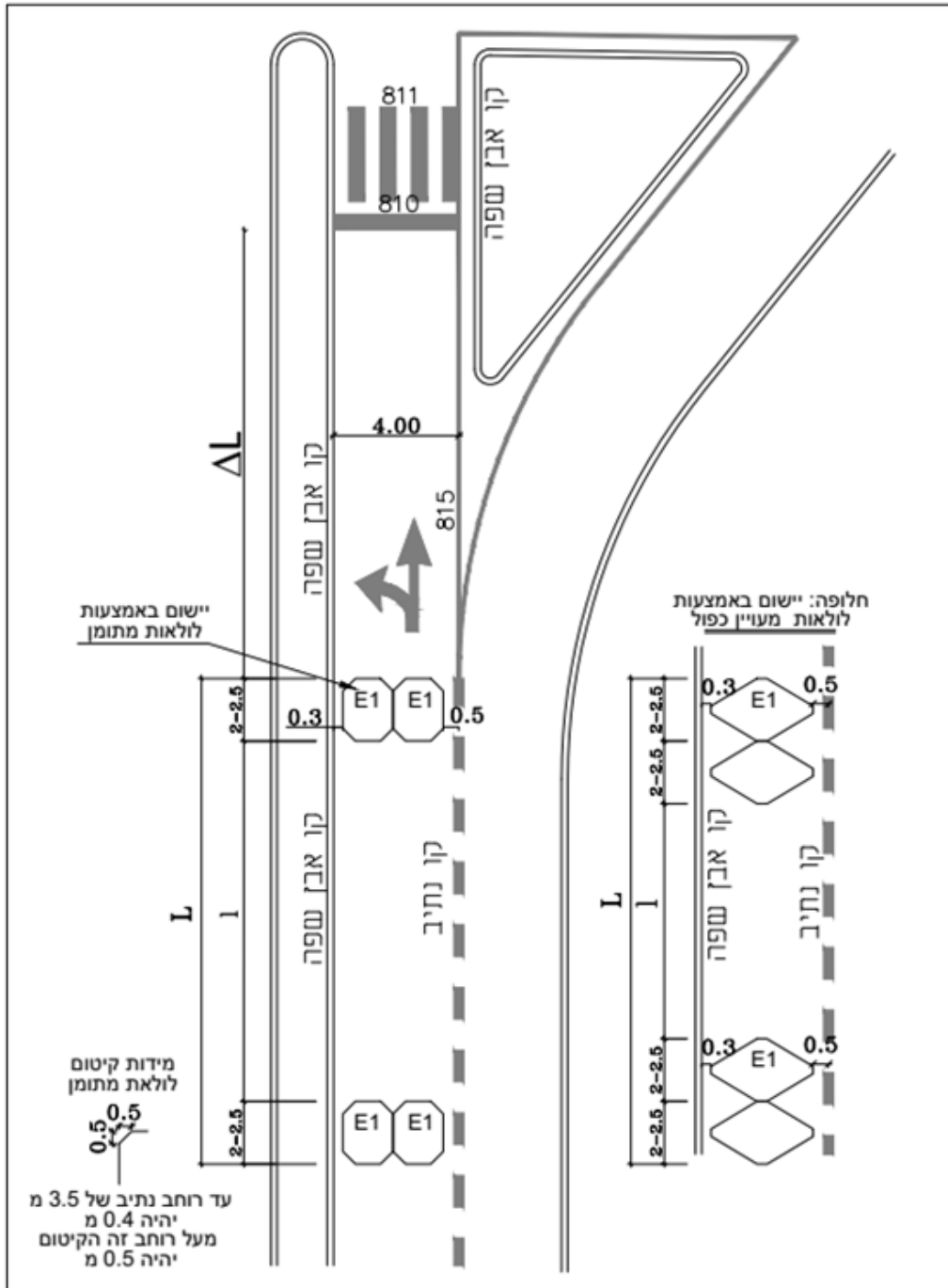
2.1 – פער זמן בין כלי-רכב ברמת שירות C (שניות)

2.0 – זמן זינוק לרכב (שניות).

במקרה שמשך הירוק המזערי הנדרש המעוגל כלפי מעלה, גדול ממשך הירוק המזערי המוחלט של המופע כפי שמוצג בטבלה 4.1 בפרק 4, יש לאמץ את משך הירוק המזערי הנדרש, מעוגל כלפי מעלה, כזמן הירוק המזערי של המופע.

שינוי משך האות הירוק המזערי בזמן אמת

כאשר משך הירוק המזערי המתקבל מחישוב מיקום לולאות הגלאי הוא ארוך, ניתן לקצר משך זה (עד לערך שנקבע בפרק 4), באמצעות ספירת כלי-הרכב הממתינים בפועל בקו העצירה, והקצאת משך ירוק בהתאם לזמן הנדרש בפועל. במקרה כזה ניתן להשתמש במידע המתקבל מלולאת גלאי ההארכה הקרובה לקו העצירה, ועיבודו בבקר הרמזור, לחישוב מספר כלי-הרכב הממתינים בקו העצירה. לשם כך, יש לוודא שכל לולאה מחוברת לערוץ גלאי נפרד בכרטיס הגלאי, לצורך ספירת כלי-הרכב בנפרד לכל נתיב.



תרשים 8.8: לולאות גלאי הארכה – נתיב אחד (שיטה 1)

זמינות המידע על אורך התור בזמן אמיתי, מאפשר לשלב בתרשים הזרימה פתרונות רלוונטיים בהתאם למקרה.

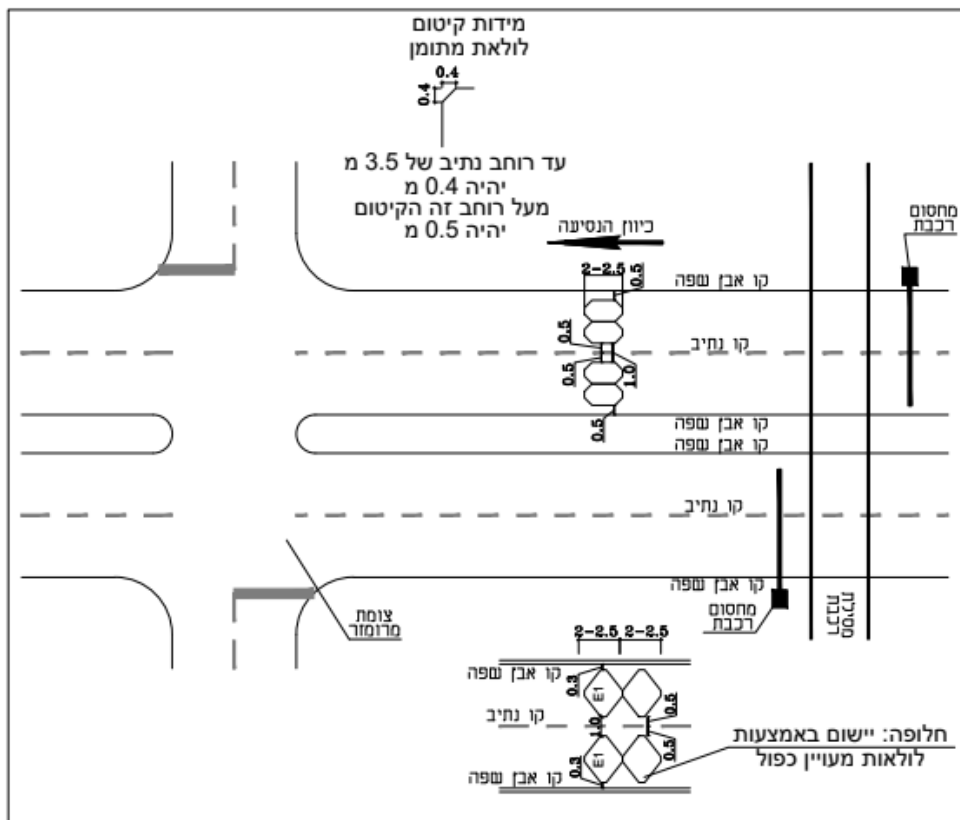
גלאי תור טיפוסי הינו בדרך כלל לולאה קצרה יחסית באורך 2.5-5.0 מ', המותקנת במרחק מתאים לפי הצורך בהתקרבות לצומת ו/או ביציאה ממנו. זיהוי תור בגלאי יהיה במקרה של אות קבוע (נוכחות רכב) הנמשך לפחות 3-5 שניות. אורכה של הלולאה ומשך האות הקבוע הנדרש לקביעה שקיים תור, ייקבעו בהתאם למקרה לפי מאפייני התנועה הצפויה על פני הגלאי.

במקרה של תקלה בגלאי תור, ההתייחסות למידע ממנו תהיה "אין תור".

דוגמה למיקום גלאי תור כחלק מרמזור מקדים למפגש מסילת ברזל מוצגת בפרק 9 (תרשים 9.1).

תרשים 8.12 מציג דוגמא למיקום לולאות גלאי לאיתור תור ברמזור, העלול לגרום לחסימת מסילת הרכבת.

תרשים 8.13 מציג דוגמא למיקום גלאי לאיתור תור ברמזור, העלול לחסום כניסה לשירות חיוני.



תרשים 8.12: מיקום לולאות גלאי לזיהוי תורים הנוצרים

בצומת מרומזר ועלולים לחסום מסילת רכבת

עקרונות ההצבה של התקני השמע וכן ההתקנים המשלבים שמע ולחצני דרישה, מפורטים בסעיף 3.7 בהנחיות אלו, ומוצגים שם בתרשים 3.37. ההתקנים לסוגיהם יהיו בהתאם למפרטי הוועדה להתקני תנועה ובטיחות.

כאשר הלחצן מותקן באי תנועה או במפרדה, הוא ימוקם כך שיימצא בכיוון ההליכה המבוקש, כדי להמעיט ככל הניתן בהפעלות סרק של לחצנים שלא בכיוון החצייה המבוקש.

8.4.2 לחצן דרישה לאופניים במופע משותף עם הולכי-רגל

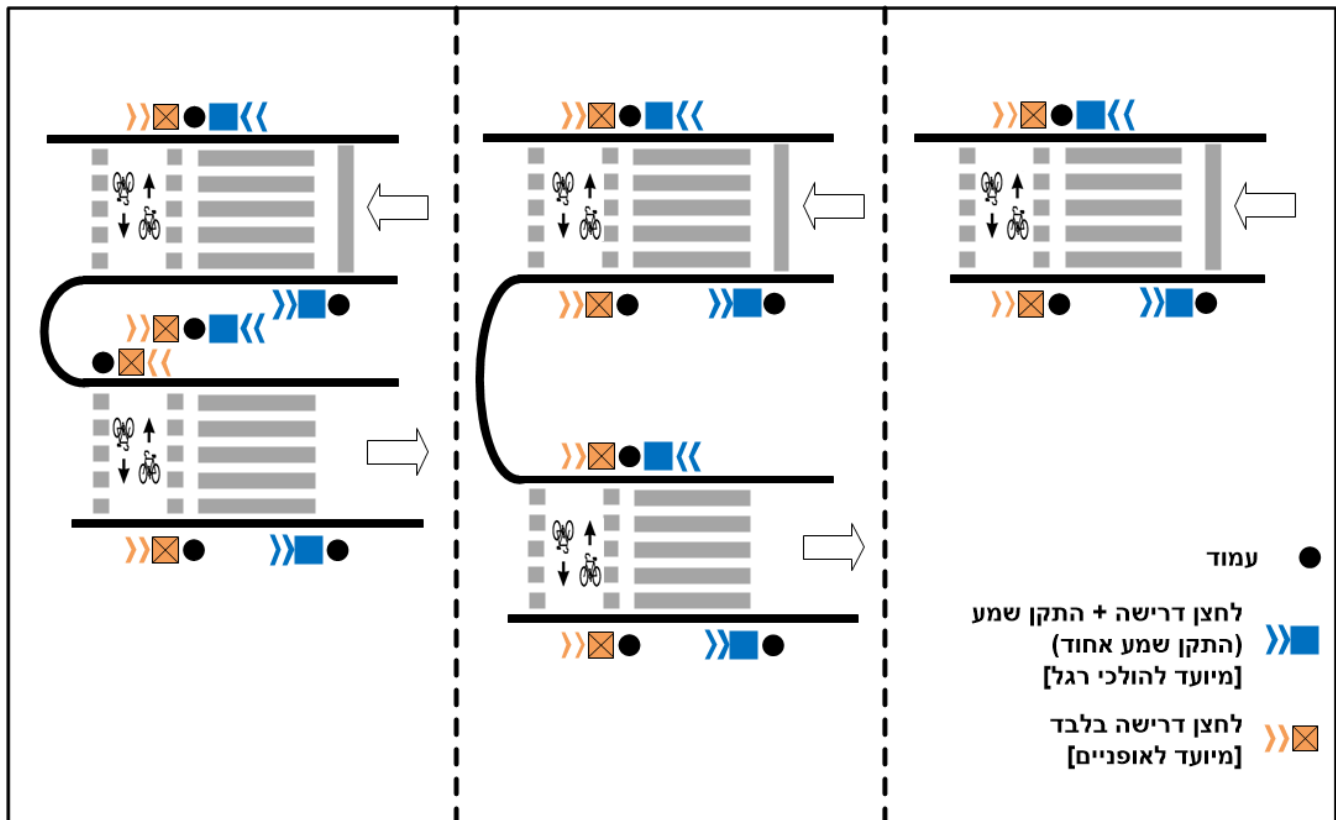
כאשר תנועת אופניים חוצה במעבר חצייה במופע משותף עם הולכי-רגל, והחצייה מופעלת על ידי לחצן, יותקנו במידת הצורך לחצנים נוספים לשימוש רוכבי האופניים.

ככלל, לחצנים להולכי-רגל יוצבו מצד ימין של כיוון ההליכה במעבר החצייה כמתואר בסעיף 3.7.

כדי למנוע את הצורך של אופניים לחצות את מסלול ההליכה של הולכי-רגל, יוצב לרוכבי האופניים לחצן נוסף בצמוד למעבר האופניים (רצוי, אך לא מחויב, מימין לכיוון הנסיעה).

לחצן דרישה לאופניים (אשר אינו התקן שמע אחוד) יכלול לחצן דרישה בלבד, כמפורט במפרט הטכני ומאושר על ידי משרד התחבורה.

מיקום אופייני של התקני השמע האחודים ולחצני הדרישה לאופניים מתואר בתרשים 8.14.



תרשים 8.14: מיקום לחצני דרישה לחצייה במופע משותף להולכי-רגל ואופניים

8.4.3 לחצן דרישה לאופניים במופע נפרד

מתן ירוק למופע אופניים על-פי דרישה (כאשר האופניים הם במופע נפרד), יתאפשר על-ידי שימוש בגלאים מתאימים המסוגלים לזהות אופניים, ובטכנולוגיה שתאפשר על ידי משרד התחבורה. לחילופין, ניתן להשתמש בלחצן דרישה לאופניים (אשר אינו התקן שמע אחוד), הכולל לחצן דרישה בלבד כמפורט במפרט הטכני ומאפשר על ידי משרד התחבורה.

לחצן הדרישה לאופניים ימוקם בסמוך לקו העצירה על עמוד הפנס הקרוב, או על עמוד נפרד במקרה שלא קיים כזה.

בתא-אופן, אין להציב לחצן דרישה לאופניים.

8.5 גלאי העדפה

תפקידם של גלאי העדפה הוא לספק מידע לבקר הרמזור על מיקומו של הרכב המועדף (ולעיתים גם מידע נוסף), וזאת לצורך התחשבות במיקום זה כחלק ממהלך ביצוע שינויים בתוכנית הרמזור לטובת ההעדפה.

זיהוי המיקום של הרכב המועדף, וכן מידע נוסף על מצבו, יכולים להתבצע במגוון שיטות וטכנולוגיות, ובלבד שאושרו לשימוש על ידי משרד התחבורה.

סעיף זה אינו מתייחס לטכנולוגיה מסוימת, אלא מגדיר את סוגי הגלאים הנדרשים בהיבט תפקידם הפונקציונלי בתהליך ההעדפה ברמזור. הסעיף כולל את השיקולים העיקריים בקביעת המיקום הרצוי לזיהוי (ללא קשר לטכנולוגיה), על מנת לנצל מידע זה בתהליך ההעדפה. כאמור, לעיתים נבקש להשתמש במידע נוסף (מספר קו של התצ"ם, מרווח זמן בין כלי-רכב, כמות נוסעים ועוד) בתהליך ההעדפה. במקרים אלה, תידרש פונקציונליות נוספת לגלאים, מעבר ליכולת זיהוי מיקום.

8.5.1 תפקידם של גלאי העדפה השונים

בכל פרויקט ייקבעו הכללים ומתווה פריסת גלאים (או שימוש בטכנולוגיה אחרת). ניתן להשתמש בכל הגלאים או בחלקם, וזאת בהתאם למאפייני הפרויקט.

סוגי הגלאים ותפקידם מפורט להלן:

גלאי רחוק:

יסומן כ-DLI או כ-DPT_i_1-1 (i מסמן את שם המופע אליו משויך הגלאי).

מטרתו של הגלאי הרחוק היא להודיע לבקר הרמזור כי רכב מועדף מזוהה במרחק יחסית גדול מהצומת, לאפשר להעריך את מועד הגעתו אל קו העצירה, ולהתחיל בהיערכות לקבלתו.

ככל שהגלאי הרחוק נמצא רחוק יותר מהצומת, המידע לגבי רכב התצ"ם המתקרב מגיע מוקדם יותר, ומערכת הבקרה/ בקר הרמזור יכולים להיערך טוב יותר למתן ירוק לרכב זה. מצד שני, ככל שהזמן הדרוש למעבר הקטע שמנקודת הגילוי ועד לקו העצירה גדול יותר, רמת הוודאות של חיזוי מועד ההגעה יורדת, לאור הפרעות ואירועים העלולים להתרחש בין הגלאי לצומת.

מיקומו של הגלאי יחושב בדרך כלל כך שיאפשר לרמזור את הזמן הדרוש להיערך בצורה המיטבית

להעדפה, עם פגיעה קטנה ככל האפשר במופעים האחרים בצומת. החישוב מתבסס, בדרך כלל כך, על הזמן הדרוש מסיום האות הירוק לתצ"ם ברמזור ועד לפתיחתו מחדש, תחת האילוצים הפרוייקטליים (בדרך כלל הנתבי הקריטי המרבי מבין האופציות השילדיות, כולל משך ירוק מקדים ואילוצים אחרים הנדרשים בהתאם להנחיות הפרוייקט).

בשלבי תכנון מוקדמים, או במידה שאין מידע על מהירויות התקדמות התצ"ם, ימוקם הגלאי במרחק של כ-60 שניות נסיעה מקו העצירה. יש לעדכן מיקום זה ככל שמתקבל יותר מידע במהלך התכנון המפורט.

גלאי קרוב:

יסומן כ-DPi או כ-DPT_i_2 (i מסמן את שם המופע אליו משויך הגלאי). מטרתו של הגלאי הקרוב היא לדייק את זמן ההגעה הצפוי של הרכב המועדף, ולקבוע את אסטרטגיית ההעדפה המתאימה.

מיקומו של הגלאי יחושב בדרך כלל כך, שיאפשר לרמזור את הזמן הדרוש מסיום שלב הכולל מופע נוגד תצ"ם, ועד לפתיחת ירוק במופע התצ"ם בשלב הבא (כולל ירוק מקדים ואילוצים אחרים הנדרשים בהתאם להנחיות הפרוייקט).

בשלבי תכנון מוקדמים, או במידה שאין מידע על מהירויות התקדמות התצ"ם, ימוקם הגלאי במרחק של כ-20 שניות נסיעה מקו העצירה. יש לעדכן מיקום זה ככל שמתקבל יותר מידע במהלך התכנון המפורט.

גלאי קו עצירה:

יסומן כ-DSi או כ-DPT_i_3 (i מסמן את שם המופע אליו משויך הגלאי). מטרתו של גלאי קו עצירה היא להודיע לבקר על נוכחות רכב מועדף בקו העצירה, לצורך ביצוע פעולות נוספות במידת הצורך.

מיקומו של הגלאי יהיה בסמוך לקו העצירה, כך שיזהה את רכב התצ"ם העומד בקו העצירה. במידה שניתן לזהות "עלייה" ו"רידה" של התצ"ם על גלאי קו העצירה, ניתן להשתמש בגלאי זה גם כגלאי ביטול.

גלאי ביטול:

יסומן כ-DQi או כ-DPT_i_4 (i מייצג את שם המופע אליו משויך הגלאי). מטרתו של גלאי ביטול היא להודיע לבקר הרמזור שניתן לסגור את האות הירוק למופע התצ"ם. מיקום הגלאי יהיה מעבר לצומת או בשטח הצומת, בתלות במאפייני התכנון ובמדיניות הפרוייקט, וכך שתוכנית הרמזור תבטיח פינוי בטוח של הצומת על ידי התצ"ם.

גלאי דילמה (לפרוייקטי רק"ל בלבד):

יסומן כ-DMi (i מייצג את שם המופע אליו משויך הגלאי). מטרתו של גלאי דילמה היא להודיע לבקר הרמזור על כניסתה של רכבת קלה לאיזור ה"דילמה" שלפני קו העצירה. מידע זה ישמש כחלק מהתנאים הנדרשים לסגירת מופע רק"ל.

גלאים נוספים:

בנוסף לסוגי הגלאי שצוינו לעיל ניתן לשלב בתכנון העדפה גם מידע נוסף המתקבל מסוגי גלאים אחרים כגון:

- גלאי יציאה מתחנה:

מידע על יציאת תצ"ם מתחנה עשוי לשפר את דיוק חיזוי מועד הגעת הרכב לצומת, ובכך לשפר את ההעדפה בצומת. המידע יכול להתקבל בטכנולוגיות שונות.

- גלאי דרישה בקו העצירה המופעל ידנית:

יסומן כ-DFi (i מייצג את שם המופע אליו משויך הגלאי). מטרתו של גלאי דרישה בקו עצירה הוא ליזום בקשה להעדפה (פתיחת ירוק) עבור תצ"ם הממתין בקו העצירה. הצורך בדרישה מיוחדת זו עלול לנבוע ממגוון סיבות, כגון: תקלה במנגנון ההעדפה הרגיל, יציאה מתחנת קצה ועוד. היישום של גלאי זה יהיה בדרך כלל באמצעות לחצן / משדר הגורם לדרישה בבקר, או בדרישה המגיעה ממרכז בקרה.

הערה לסימון גלאים:

מכיוון שבפרוייקטי תח"צ ייתכן שפריסת הגלאים תתפרס על מספר צמתים, מומלץ להוסיף את שם הצומת/תיאור אליו מקושר הגלאי לוגית. לדוגמא, גלאי רחוק של מופע 20, המשוך לצומת 80, יסומן: DL20_80 או DPT_80_20_1.

8.6 דוגמא – גלאי הארכה

נתונים:

סוג המופע: מופע ראשי בצומת עירוני;
מהירות מותרת: 50 קמ"ש;
משך הזמן בין נקודת ההחלטה לבין סגירת הירוק: $\Delta t = 4.0$ שניות;
מהירות התקרבות: 50 קמ"ש $S = 8.2$ (טבלה 8.2);
פער חילוף לתכנון: 3.0 שניות $t_p = 8.1$ (טבלה 8.1).

8.6.1 כיסוי אזור גילוי באמצעות מספר לולאות (שיטה 1)

חישוב אורך הגילוי (עם יחידת הארכה):

משך יחידת הארכה: $\Delta g = 1.0$ שניות

$$L = \frac{(t_p - \Delta g) \cdot S}{3.6} \quad \text{אורך הגילוי הנדרש:}$$

$$L = (3.0 - 1.0) \cdot 50 / 3.6 = 28 \text{ מטר}$$

חישוב מרחק מקו העצירה: $\Delta L = S_p \cdot (\Delta t + \Delta g) + D$

$$\Delta L = 2.4 \cdot (4.0 + 1.0) + 5 = 17 \text{ מטר}$$

חישוב מרחק מרבי בין לולאות (לצורך פיצול):

מהירות הנסיעה לחישוב הפיצול: 25 קמ"ש = S1 (טבלה 8.2)

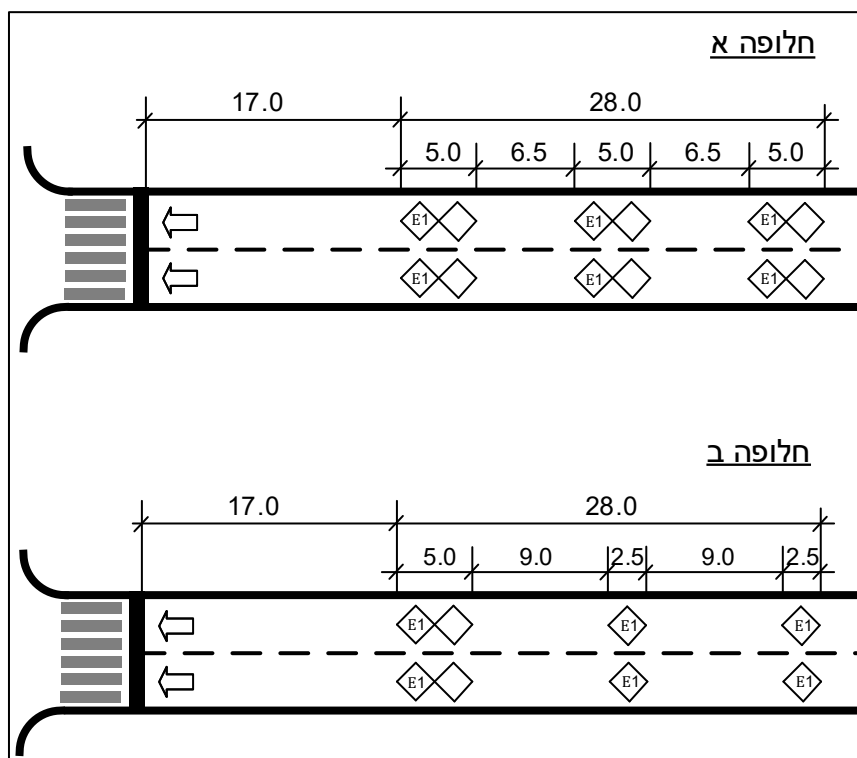
משך יחידת ההארכה: $\Delta g = 1.0$ שניות

$$l = \frac{\Delta g \cdot S1}{3.6} + X$$

מרחק מרבי בין לולאות:

$$l = 1.0 \cdot 25 / 3.6 + 2 = 9 \text{ מטר}$$

בתרשים 8.15 מוצגות שתי חלופות לכיסוי אזור הגילוי הנדרש באמצעות לולאות אלקטרומגנטיות.



תרשים 8.15: דוגמא למיקום לולאות גלאי הארכה (שיטה 1)

8.6.2 כיסוי אזור גילוי באמצעות לולאה קצרה ויחידת הארכה ארוכה (שיטה 2)

$$L = 2.5 \text{ מטר}$$

$$\Delta G = t_p - \frac{3.6 \cdot L}{S}$$

$$\Delta G = 3.0 - \frac{3.6 \cdot 2.5}{50}$$

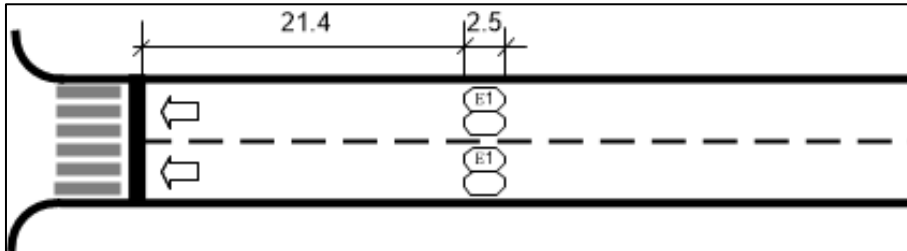
$$\Delta G = 2.82 \text{ שניות}$$

$$\Delta L = S_p \cdot (\Delta t + \Delta g) + D$$

$$\Delta L = 2.4 \cdot (4.0 + 2.82) + 5$$

$$\Delta L = 21.4 \text{ מטר}$$

בתרשים 8.16 מוצג מיקום לולאות גלאי ההארכה (שיטה 2)



תרשים 8.16: דוגמא למיקום לולאות גלאי הארכה (שיטה 2)

פרק 9: רמזורים מיוחדים

תוכן עניינים

9-1.....	מבוא	9.1
9-1.....	רמזור מקדים למפגש מסילת ברזל	9.2
9-1.....	רקע	9.2.1
9-2.....	עקרונות תכנון רמזור מקדים	9.2.2
9-9.....	רמזור נייד לקטע דרך	9.3
9-9.....	רקע	9.3.1
9-10.....	התנאים הנדרשים להסדרי התנועה השונים בקטע דרך בעבודות	9.3.2
9-11.....	מיקום הרמזורים הניידים ותימרון נלווה	9.3.3
9-12.....	אופן ההתקנה: עמודים, פנסים	9.3.4
9-12.....	שיטת הפעלה	9.3.5
9-13.....	תיכנון הזמנים	9.3.6
9-14.....	חישוב זמן בין-ירוקים עבור רמזור נייד בקטע דרך	9.3.7
9-15.....	תקלות	9.3.8
9-15.....	דוגמה לרמזור נייד קצוב-זמן בקטע דרך	9.3.9
9-16.....	רימזור צמתים בשדרה	9.4
9-16.....	רקע	9.4.1
9-17.....	איפיון מצבים בחציית שדרה והמלצות	9.4.2

פרק 9: רמזורים מיוחדים

9.1 מבוא

הרמזור מזוהה בד"כ עם צומת, ומהווה אמצעי להפרדה בזמן בין תנועות נוגדות ולמניעת נקודות חיכוך בין משתמשי הדרך השונים. עם זאת, "כוחו יפה" גם במקומות בהם יש סוגיות בטיחותיות שאינן בצומת. פרק זה יסקור שימושים שונים לרמזור הרגיל במקומות כאלה.

הפרק עוסק בשלושה נושאים: ניהול תנועה במפגשים בין רכבת ישראל לבין משתמשי דרך אחרים, לצורך שיפור הבטיחות ומניעת הצטברות תורים בתחום המפגש – סעיף 9.2; הסדרי תנועה זמניים בקטע דרך חד-מסלולית, כאשר בזמן העבודות נאלצים להשאיר נתיב אחד בלבד, ולהזרים בו את התנועה לשני הכיוונים לסירוגין – סעיף 9.3; רימזור צמתים בשדרה עירונית רחבה, שם מתקבלים שני 'חצאי צומת' מוכים – סעיף 9.4.

9.2 רמזור מקדים למפגש מסילת ברזל

9.2.1 רקע

במצבים של דרך החוצה את מסילת הברזל של רכבת ישראל במפגש, מתקיים אזור עם ניגוד בטיחותי משמעותי.

במפגש מסילת הברזל עצמו מותקן רמזור מהבהב כפול 722, עם אמצעים נוספים כגון תימרור (תמרורים 128-134), ולרוב גם פעמון ומחסום (תמרור 404). כל אלה מוסברים בתקו"ה ובהנחיות למפגשי מסילה, ואינם בתחום העיסוק של הסעיף שלפניכם.

עם זאת, במפגשים בהם נצפו סיכונים, ולשם שיפור הבטיחות באזור המפגש, ניתן גם לשלב התקנה של רמזור רגיל לכלי-רכב באזור המפגש.

הבעיות שנצפו במפגשי כביש / מסילת ברזל:

- ציות נמוך לתמרורים, לרמזורים המהבהבים ולמחסום, עד כדי פריצת מחסומים.
- גלישת תור ועמידת רכב על המסילה.

על מנת להתגבר על בעיות אלה, יש להגביר את הנראות והבולטות של המפגש בהתקרבות למסילה, להעלות את רמת הציות ולמנוע גלישת תורים.

במסגרת המאמצים והאמצעים הטכנולוגיים להפחית את מספר התאונות והפגיעות במחסומים, הוצע, הותקן ונבדק רמזור תנועה רגיל, שמוצב 12-24 מטר לפני מחסום ("רמזור מקדים"), ותפקידו להדגיש בפני הנהג המתקרב את קיומה של מסילת הברזל.

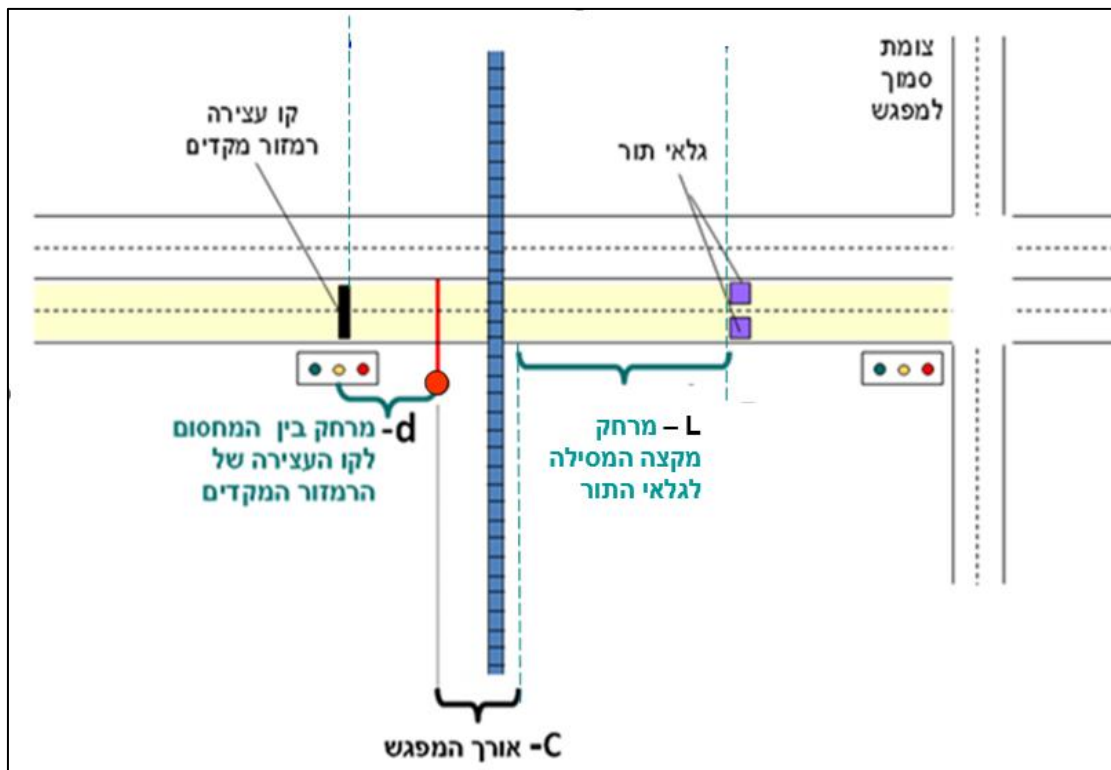
במסגרת הבחינה נמצא שרמזור מקדים יעיל להפחתת הסיכונים שתוארו.

9.2.2 עקרונות תכנון רמזור מקדים

9.2.2.1 תיאור כללי

כאמור, ניתן לתכנן רמזור מקדים לפני מסילת ברזל לצורך הבלטה ושיפור הציות של הנהגים ולצורך מניעת גלישת תורים למפגש הרכבת.

תרשים 9.1 מסביר את מיקום הרמזור המקדים והגלאים.



תרשים 9.1: מיקום הרמזור המקדים למפגש מסילת ברזל

א. מיקום רמזור מקדים

- הצבת קו העצירה של הרמזור המקדים נקבע בין 12-24 מטר לפני המחסום (d).
- ככלל, המרחק של 24 מטר נקבע כך שמשאית/אוטובוס שעברו את קו העצירה של הרמזור המקדים בירוק ורואים הבהוב פנסי המחסום 722, יוכלו לעמוד בתחום שבין קו העצירה של הרמזור המקדים, לבין קו העצירה של המחסום.
- צמצום המרחק עד ל-12 מטר, מתבצע כאשר קיימים אילוצים שונים כגון צומת/כניסה צמוד למפגש, חיבור סמוך למפגש וכו', ללא תנועת אוטובוסים סדירה.

ב. מיקום גלאי תור

- גלאי תור יותקנו בין המסילה לצומת או לגורם גלישת התור.
- מיקום גלאי התור נמדד מסיום מעבר המפגש.

- הערך L (בין גלאי התור למפגש) מחושב כך, שכלי-רכב שעברו עד השנייה הראשונה של האות הצהוב ברמזור המקדים, לא יעמדו באזור המפגש (בין המחסום לבין היציאה מאזור הקונפליקט עם המסילה).

לפיכך:

$$L \geq d + C + B$$

כאשר:

- d – המרחק בין הרמזור המקדים למחסום.
- C – אורך המפגש (המרחק מהמחסום ועד קצה רצועת המסילה). במסילה כפולה, הערך C הוא כ-14 מטר.

- B – המרחק שיעברו הרכבים עד לזיהוי התור.

$$B = \frac{T}{2} \cdot S$$

- T – משך הזמן שהוגדר כזיהוי תור עקב עמידת רכב על גלאי התור ברציפות.

- S – אורך רכב כתלות בהרכב התנועה.

לדוגמה: בחישוב B עבור 5 שניות זיהוי תור ואורך רכב ממוצע של 7 מטר, יתקבל מרחק של כ-18 מטר. במידה שיש מספר נתיבים, יותקנו גלאים על כל אחד מהנתיבים, והתנאים הנדרשים ייבדקו על כל גלאי בנפרד.

9.2.2.2 רמזור מקדים ללא גלאי תור

א. שיקולים לתכנון

במפגש מסילת ברזל הממוקם בקטע דרך שאינו בקרבת צומת, ניתן לתכנן רמזור מקדים ללא גלאי תור, עקב הסיבות הבאות:

- להדגשת ההתקרבות למפגש הרכבת.
- לצורך שיפור הבטיחות, במיוחד אם נצפו אירועים במפגש של שבירת מחסום.

ב. עקרונות התכנון

- הגדרת תכנית הרמזור כוללת שני שלבים: שלב של ירוק לכלי-רכב, ושלב של אדום לכלי-רכב.
- המחסום והרכבת אינם משנים את אופן פעולתם עקב הרמזור המקדים.
- הרמזור המקדים מקבל נתונים מקדימים על הגעת רכבת וירידת מחסום (אות מהמחסום), ואינו מתערב בפעולות המחסום ובמעבר הרכבת במפגש.
- הרמזור המקדים מקבל מהמחסום אות ועובר לאות צהוב ולאחר מכן לאות אדום, בתיאום עם ירידת המחסום והבהוב פנסי המחסום.

ג. תיאור אופן תפעול הרמזור

שלב A: ירוק ברמזור המקדים (אין אות מהמפגש על הגעת רכבת).

שלב B: אדום ברמזור המקדים (מתקבל אות מהמחסום על רכבת מתקרבת).

המעבר מירוק לאדום ברמזור המקדים יהיה בהתאם למעבר אותות

רגילים ברמזור (מעבר לצהוב ואח"כ לאדום).

Ppsh1 (פולס להגעת רכבת): הפולס מתקבל מהמחסום בעת תחילת המהבהב הכפול של הרכבת (תמרור 722), ולכן הוא מסונכרן עם סגירת המחסום.

Delay: מאפשר הכנסת ערך של המתנה בסיום קבלת פולס מחסום הרכבת לפני מעבר לאות ירוק ברמזור המקדים, לצורך התאמה בין אותות המחסום לאותות פנסי הרמזור המקדים.

Time From Train Pulse: מונה את השניות מסיום פולס הרכבת, על מנת להשוות לפרמטר ה-Delay.

ד. משך ירוק מזערי ברמזור המקדים

עבור המצב הבטיחותי של מעבר לאדום עקב התקרבות רכבת למפגש, יוגדר משך מזערי של 1 שנייה.

ה. משך צהוב

3 שניות בדומה לרמזור רגיל.

ו. משך אדום מזערי ברמזור המקדים

יוגדר משך אדום מזערי של 5 שניות.

9.2.2.3 רמזור מקדים מלווה בגלאי תור בקרבת צומת

א. שיקולים לתכנון

ניתן לתכנן רמזור מקדים עם גלאי תור מהסיבות הבאות:

- זיהוי תורים הגולשים למפגש מסיבות כגון קרבת המפגש לצומת המייצר גלישת תורים.
- היצרות הדרך הגורמת להיווצרות תור.
- חיבור למגרש בקרבת המפגש שמייצר תורים ועוד.

ב. עקרונות התכנון

- הגדרת תכנית הרמזור כוללת שני שלבים: שלב של ירוק לכלי-רכב ושלב של אדום לכלי-רכב.
- המחסום והרכבת אינם משנים את אופן פעולתם עקב הרמזור המקדים.
- הרמזור המקדים מקבל נתונים מקדימים על הגעת רכבת וירידת מחסום (אות מהמחסום), ואינו מתערב בפעולות המחסום ובמעבר הרכבת במפגש.
- הרמזור המקדים מקבל אות מהמחסום או מגלאי תור ועובר לאות צהוב ולאחר מכן לאות אדום. במקרה של הגעת רכבת, המעבר יהיה בתיאום עם ירידת המחסום והבהוב פנסי המחסום.

ג. תיאור אופן תכנון הרמזור

שלב A: ירוק ברמזור המקדים (אין אות מהמפגש על הגעת רכבת).

שלב B: אדום ברמזור המקדים (מתקבל אות מהמחסום על רכבת מתקרבת או אות מגלאי תור). המעבר מירוק לאדום ברמזור המקדים יהיה בהתאם למעבר אותות רגילים ברמזור (מעבר לצהוב ואח"כ לאדום).

Ppsh1 (פולס להגעת רכבת): הפולס מתקבל מהמחסום בעת תחילת המהבהב הכפול של הרכבת (תמרור 722), ולכן הוא מסונכרן עם סגירת המחסום.

Q1, Q2 Qn: גלאי תור לפי כיוון ולפי נתיב.

Delay: מאפשר הכנסת ערך של המתנה בסיום קבלת פולס מחסום הרכבת לפני מעבר לאות ירוק ברמזור המקדים, לצורך התאמה בין אותות המחסום לאותות פנסי הרמזור המקדים.

Time From Train Pulse: מונה את השניות מסיום פולס הרכבת, על מנת להשוות לפרמטר ה-Delay.

ד. משך ירוק מזערי ברמזור המקדים

1 שנייה ירוק מזערי – יוגדר עבור המצב הבטיחותי של מעבר לאדום עקב התקרבות רכבת למפגש (לדוגמה במצב שהרמזור עבר למופע ירוק אחרי תור, ומיד לאחר שנייה התקבל אות על הגעת רכבת).

ירוק מזערי עקב זיהוי תור – יתאפשר לתכנן משך ירוק מזערי של 4 שניות (לשיקול דעת רשות התמרוך כתלות בגיאומטריה ובאחוז רכב כבד). לדוגמה במצב שעברנו לירוק לאחר מעבר רכבת, וזוהו תור לאחר מספר שניות.

ה. משך אדום מזערי ברמזור המקדים

יוגדר משך אדום מזערי של 5 שניות.

ו. משך צהוב

3 שניות בדומה לרמזור רגיל.

ז. משכי זיהוי תור מקובלים

יוגדרו משכי זיהוי תור מקובלים של 3 עד 5 שניות. כאשר צפויה נסיעה רציפה ואיטית מומלץ להשתמש במשך של 3 שניות לזיהוי התור.

ח. תקלה בגלאי התור

כאשר יש תקלה בגלאי התור, הרמזור המקדים יעבור לתוכנית הבהוב צהוב (מצב זה לא יאובטח בבקר הרמזור). אם במהלך התקלה מגיעה רכבת, הרמזור המקדים יעבור לאדום. לאחר מעבר הרכבת יבדק גלאי התור: אם גלאי התור עדיין בתקלה, הרמזור המקדים יעבור לתוכנית הבהוב צהוב. תקלה בגלאי תיקבע כאשר הגלאי תפוס מעל פרק זמן שיוגדר כפרמטר (ערך לדוגמה: 360 שניות).

תרשים 9.2 מציג תרשים זרימה לדוגמה, המתאר את אופן הצגת התכנון של הרמזור המקדים למפגש מסילה כולל גלאי תור. תרשים זה מציג דוגמה אפשרית אחת לאופן הצגת התכנון.

אופן פעולת הרמזור המקדים – הסברים לתרשים הזרימה

1. בקר הרמזור המקדים יימצא במופע ירוק לכלי-רכב כל עוד לא מתקבל אחד מהפולסים הבאים:

- פולס (PSH1) ממנגנון המחסום – מתאר הגעת רכבת.

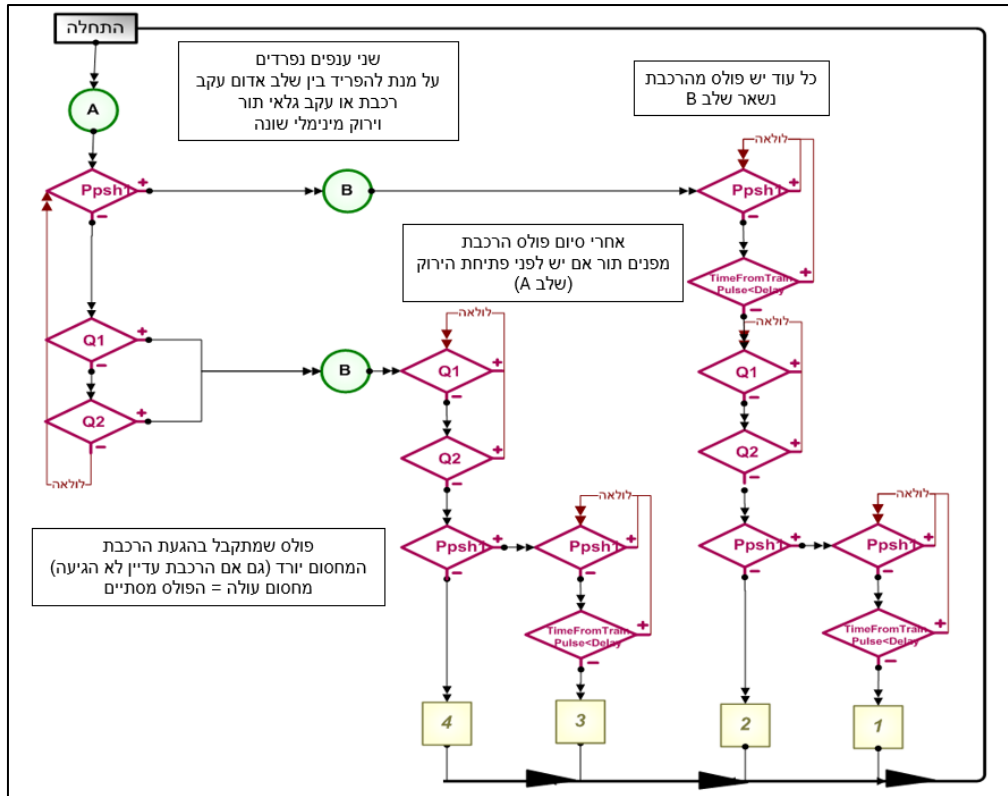
- אות מאחד מגלאי התור – מתריע על הצטברות תור.

2. כשמתקבל פולס (PSH1) מבקר המחסום, או מתקבל אות מאחד מגלאי התור, עוברים למופע אדום לכלי-הרכב.

3. שלב B (אדום לכלי-רכב) נשאר עד שמתקבל אחד מהאותות הבאים:

- סיום פולס ממנגנון המחסום PSH1.

- מצב בו אין אות על תפוסה בגלאי התור.
- לפני מעבר למופע ירוק לאחר המשך שהייה בשלב אדום עקב תור, תיערך בדיקה שאין אות על התקרבות רכבת למפגש.



9.2 תרשים זרימה (לוגיקה) המיועד לרמזור מקדים במפגש מסילה עם גלאי תור

תוצרי התכנון של הרמזור המקדים צריכים לכלול, מלבד תרשים זרימה ושלבים, גם תרחישים אשר מתארים מגוון של בדיקות שנערכו בכדי לוודא שהתכנון נותן מענה למצבים בטיחותיים שונים. בניית התרחישים כחלק מתכנית הזמנים של הרמזור מבוצעת באמצעות תוכנת הרמזורים המאושרת לשימוש המתכננים על ידי משרד התחבורה.

להלן מספר מצבים טיפוסיים אשר צריכים להיכלל בתרחישים הבסיסיים לבדיקה:

- תרחישים של מעבר לאדום עקב גלאי תור.
- תרחישים של מעבר לאדום עקב פולס מחסום.
- הפעלת תהליך שמתאר זיהוי סיום התור ופתיחת ירוק לתנועה, כולל תהליך ווידוא שהתור אכן התפזר ולא מדובר בירידה מגלאי התור כשהתור עדיין קיים.
- תרחישים המתארים מינימום ירוק עקב רכבת, ותור.
- תרחישים של מעבר לאדום עקב מצב שונה בגלאי תור בנתיבים השונים.
- תרחישים משולבים של תור ופולס על הגעת רכבת.

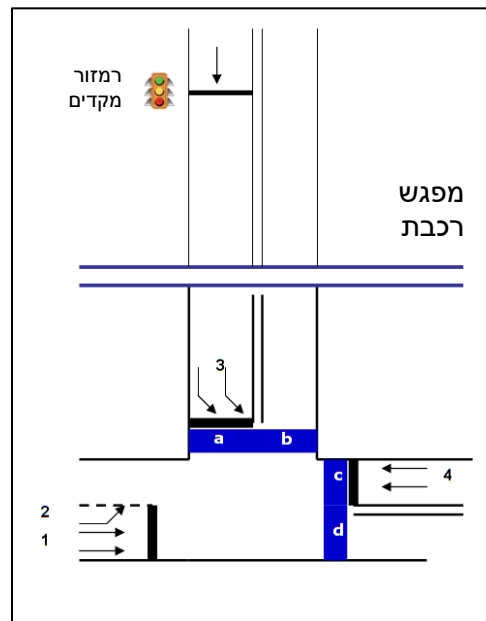
9.2.2.4 רמזור מקדים מלווה בגלאי תור בתיאום עם צומת סמוך

כאשר המפגש הינו בסמיכות לצומת מרומזר, וקיים חשש ששיווצר תור שיגלוש מהצומת המרומזר למפגש הרכבת, יש לתכנן רמזור מקדים לפי הכללים שתוארו בסעיפים הקודמים של תכנון רמזור מקדים עם / ללא גלאי תור. בנוסף, יש להתייחס להשפעות הצומת הסמוך על המפגש:

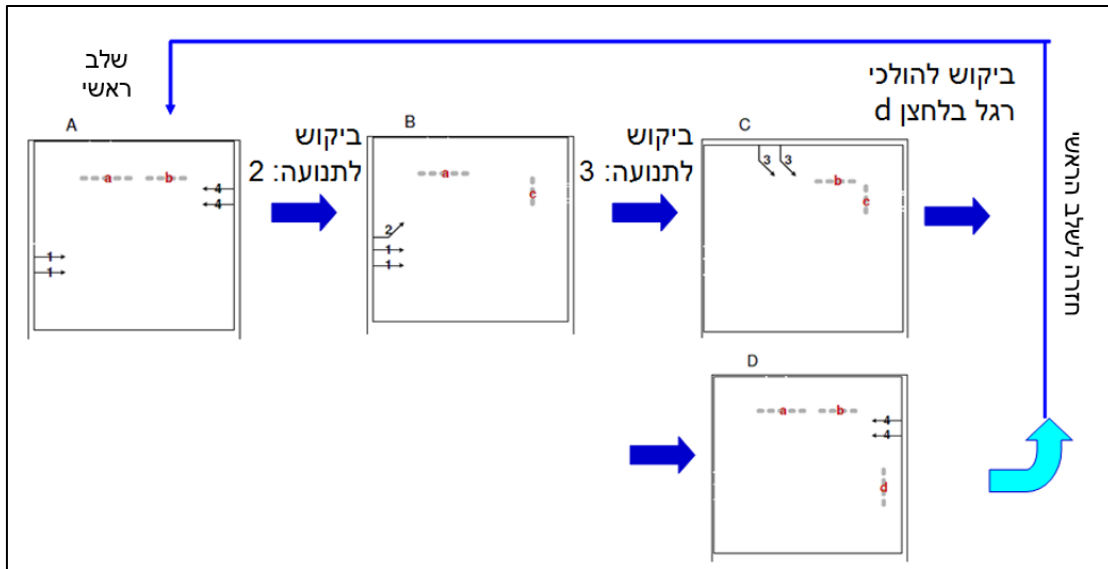
- הצבת רמזור מקדים לפני המחסום לכיוון הצומת.
- התקנת גלאי תור בין הצומת לבין מפגש מסילת הברזל.

מספר דגשים חשובים לתכנון בתיאום בין מפגש מסילת ברזל לצומת הסמוך:

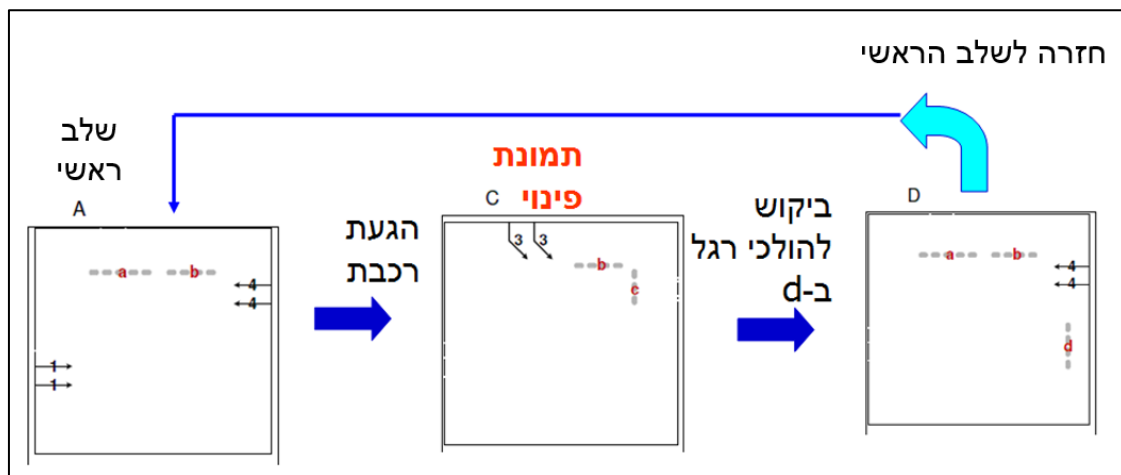
- הרמזור המקדים עובד ללא תיאום עם הצומת הסמוך.
 - הצומת הסמוך מקבל אות מהמחסום על הגעת רכבת.
 - כאשר מתקבל אות מהמחסום על הגעת רכבת, מופעל בצומת שלב פינוי של תחום המפגש.
 - לאחר הפעלת שלב פינוי מכיוון המפגש, הצומת עובר לשלבים שאינם מזרימים תנועה לכיוון המפגש, עד לקבלת אות על סיום מעבר הרכבת ופתיחת המחסום.
 - בדרך כלל אין צורך ברמזור מקדים נוסף בכיוון מהצומת אל המסילה, רק אם נצפה תור מסיבות שונות כגון כניסה למגרש, היצרות דרך וכו'.
- תרשימים 9.3 ו-9.4 מציגים צומת דוגמא עם הרכב השלבים והסדר שלהם, בתפעול רגיל ללא רכבת, ובתפעול בעת הגעת רכבת.



תרשים 9.3: דוגמה לסכימת תנועות ברמזור סמוך למסילה ולרמזור מקדים



תרשים 9.4א: סדר שלבים ברמזור הסמוך – תפעול רגיל ללא רכבת



תרשים 9.4ב: סדר שלבים ברמזור הסמוך – תפעול עם הגעת רכבת

9.2.2.5 תוכנית כניסה לפעולה

בתוכנית כניסה לפעולה הרמזור המקדים יעבור לאות אדום למשך 5 שניות ולאחר מכן ייבדקו התנאים למעבר לאות הירוק (רכבת אינה מגיעה ואין הצטברות תור), והמשך בהתאם לתרשים הזרימה. ראה פירוט במפרט כללי להצבה ואחזקה של רמזורים, פרק 6 – בקר הרמזור, סעיף 6.4.3.

9.3 רמזור נייד לקטע דרך

9.3.1 רקע

עבודות בכבישים, או אירועים מיוחדים, נעשים לעיתים תוך אילוצים הגורמים להפרעה של ממש בזרימת התנועה. במקרים כאלה אין מנוס מהורדת רמת השירות, תוך שמירה, ככל הניתן, על תנאי זרימה סבירים.

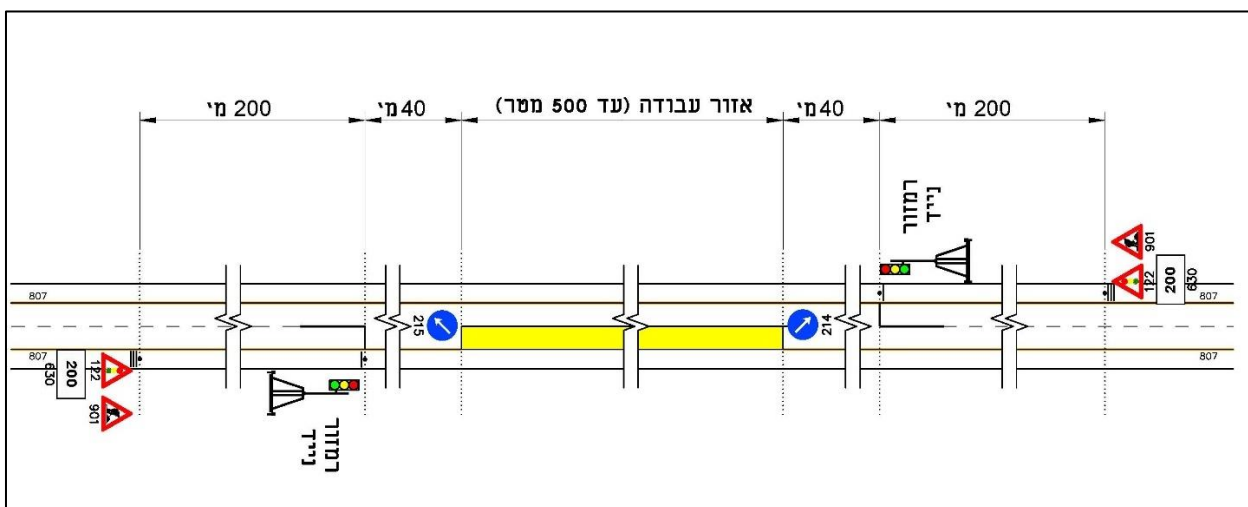
ההנחיות בסעיף זה מתייחסות לרמזור נייד לקטע דרך. מדובר ברמזור נייד עם שני מופעים בלבד, המאפשר תנועה לסירוגין ובנפרד לכל כיוון נסיעה (Shuttle Control). הצורך ברמזור מסוג זה יעלה בדרך כלל בזמן עבודות, כאשר אין אפשרות לנסיעה בו-זמנית בשני כיווני הנסיעה. הרמזור הנייד מיועד לקטעי דרך באורך מרבי של 500 מטר, ומאפשר הסדרה של התנועה בתקופת ההפרעה, תוך שמירה על בטיחות הנסיעה ועל מזעור זמני ההמתנה ככל הניתן. הסדרי תנועה בזמן עבודות בתחומי צומת, יתוכננו כצומת מרומזר רגיל.

רמזור נייד עשוי להחליף את עבודת השוטר / פקח תנועה באזור עבודה (תרשים 9.5). עם זאת, בכל מקרה של תקלה ברמזור נייד, נדרשת נוכחות של גורם מורשה להכוונת תנועה בשני צידי הקטע (עם אמצעי קשר ביניהם).

רמזור נייד אינו מיועד להחליף רמזור קבוע בצמתים אשר תוחמים קטע דרך של עבודות. במצבים כאלה, הצומת ימשיך לעבוד עם הרמזור הקבוע, תחת פרמטרי תכנון של רמזורים רגילים, ובהתאמה להסדר החדש.

הסעיף מפרט את אופן התיכנון ועקרונות התפעול של רמזור נייד בקטע דרך.

תוכניות רמזור נייד (זמנים והסדרי תנועה) יוגשו לרשות התמרור המקומית ולמשטרה ויקבלו את אישורם. פורמט הגשת התוכניות יהיה דומה לפורמט הגשת תוכניות של רמזור קבוע.



תרשים 9.5: רמזור נייד בקטע דרך

9.3.2 התנאים הנדרשים להסדרי התנועה השונים בקטע דרך בעבודות

א. הסדרת זכות קדימה באמצעות תמרור קבוע

כאשר נפחי התנועה קטנים, קטע הדרך שבעבודה קצר, וקיימת ראות מלאה של הקטע משני כיווני הנסיעה, ניתן להסדיר תנועה דו-כיוונית באמצעות תמרורים קבועים, ואז לא נדרש שימוש ברמזור נייד. התמרורים הרלוונטיים לעניין זה הם:



תמרור 308: לך זכות קדימה בקטע דרך צרה לגבי התנועה מהכיוון הנגדי



תמרור 307: תן זכות קדימה בקטע דרך צרה לתנועה מהכיוון הנגדי

התמרורים יוצבו בקצוות הכניסה לקטע העבודות הצר, מכל כיוון נסיעה בהתאם לשיקול הנדסי, ובתיאום עם המשטרה ורשות התימרור המקומית. אם הקטע בשיפוע לאורך, רצוי שכלי הרכב בעלייה יקבלו זכות קדימה.

אורך קטע הדרך ונפח התנועה שבהם סביר להשתמש בפתרון באמצעות שילוט קבוע, ובתנאי שקיימת ראות מלאה בשני הכיוונים, מתוארים בתרשים 9.6.

ב. הסדרת התנועה באמצעות שוטר/פקח תנועה מורשה (מכוון) או באמצעות רמזור נייד לקטע דרך

כאשר אורך הקטע בעבודה ארוך, או שלא קיימת ניראות מלאה מקצה לקצה, או שנפחי התנועה גבוהים, אזי פתרון באמצעות תמרור קבוע אינו ישים, ונדרשת בקרה חיצונית שתפריד בין כיווני הנסיעה. הפרדה זו יכולה להתבצע על ידי הצבת מכוונים (שוטרים או פקחי תנועה מורשים) משני צידי הקטע. המכוונים מתאמים ביניהם את כיוון הנסיעה המותר בכל זמן, ומנחים את התנועה בהתאם.

ניתן להחליף את המכוונים האנושיים ברמזור נייד לקטע דרך, וזאת כאשר מתקיימים כל התנאים הבאים:

- מדובר באתר עבודה בו לא ניתן לאפשר נסיעה דו-כיוונית באותו זמן.
- אורך הקטע אינו עולה על אורך הקטע המרבי בהתאם לנפח התנועה כמתואר בטבלה 9.1.
- קיימת ראות טובה בלפחות 70% מאורך קטע הנסיעה.

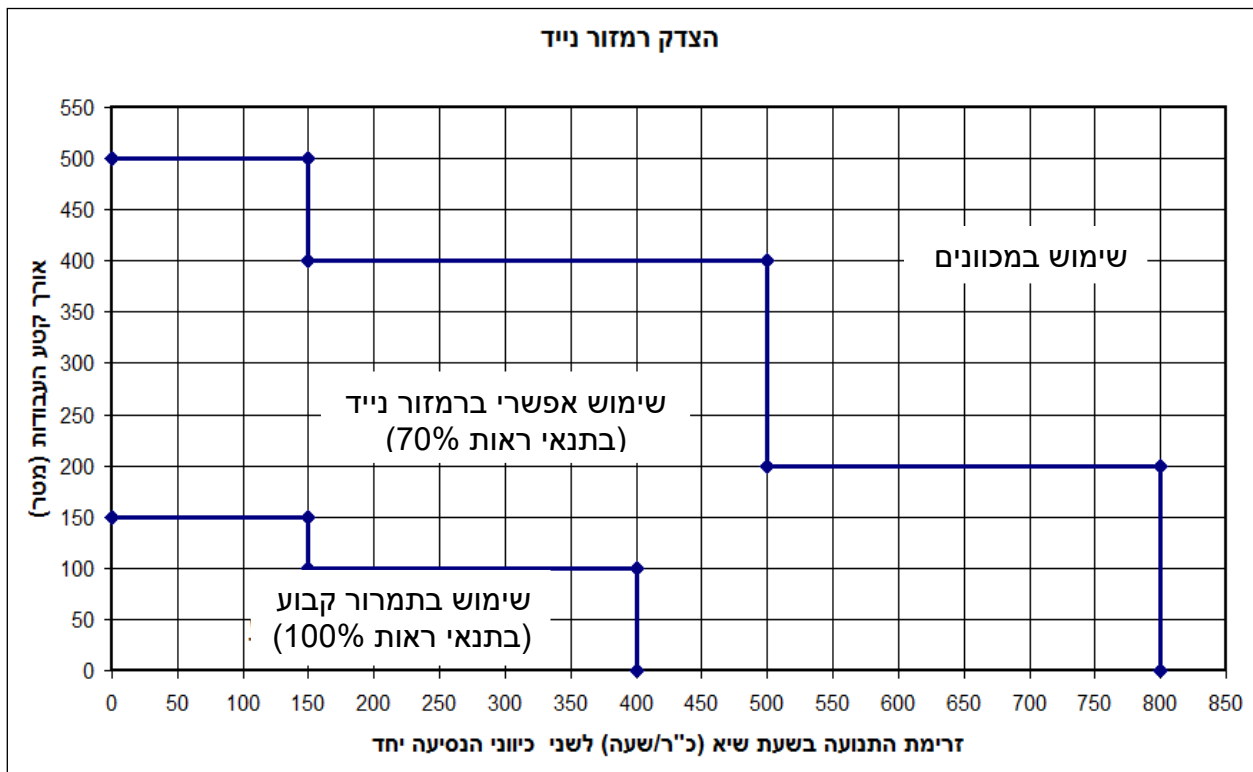
טבלה 9.1: אורך הקטע המרבי המאפשר שימוש ברמזור נייד

אורך הקטע המרבי לשימוש ברמזור נייד (מ')	נפח התנועה בשעת שיא ל-2 כיווני הנסיעה (כ"ר/שעה)
500	0-150
400	151-500
200	501-800

- תחילת הקטע נמצאת במרחק של לפחות 100 מטר מהצומת הקרוב, או פחות מכך אם לא צפויה חסימה של הצומת בעקבות הפעלת ההסדר.
 - פרק הזמן לתפעול של רמזור נייד לקטע דרך הינו עד 6 חודשים. מעבר לתקופה זו נדרש התקן קבוע.
- אורך קטע הדרך ונפח התנועה שבהם ניתן להשתמש ברמזור נייד, ובתנאי שקיימת ראות טובה של לפחות 70% מאורך קטע הנסיעה, מתוארים בתרשים 9.6.

ג. הרחבה מקומית לאורך קטע הדרך

מומלץ לתכנן הרחבת הדרך ליצירת מקום המתנה באמצע הקטע, למקרה של תקלה ואירוע של רכבים נפגשים.



תרשים 9.6: בקרה על תנועה דו-כיוונית באתר עבודה בתלות באורך הקטע ונפח התנועה

9.3.3 מיקום הרמזורים הניידים ותימרור נלווה

עבור כל קטע דרך בעבודה יוקצו שני רמזורים ניידים, אחד לכל כיוון נסיעה, אשר יוצבו בכניסות לקטע הדרך:

- יש למקם את הרמזור באזור בטוח אשר לא יהווה סכנה לכלי הרכב.
- יש למקם עפ"י תנאי השטח ובשילוב תימרור מתאים, באזור עם ראות טובה גם לרכב הראשון בתור.
- המיקום המדויק יקבע עפ"י שיקול דעת המתכנן, ויבדק בשטח כחלק מתכנון כלל הסדרי התנועה בפועל.

תימרוך וסימון נלווים:

- א. יש לסמן קווי עצירה (810) במקום בו נדרשים כלי הרכב לעצור באדום. במידה שלא ניתן לצבוע, יש להשתמש ביריעת סימון הניתנות להסרה.
- ב. יש להציב תמרורי 122 (רמזור בדרך שלפניך) לפני הרמזורים.
- ג. יש להציב תמרורי אזהרה ותמרורי זכות קדימה על פי הצורך.

9.3.4 אופן ההתקנה: עמודים, פנסים

מערכת שלושת הפנסים של הרמזור הנייד תהיה תואמת את לוח התמרורים ואת המפרט להצבה והתקנת רמזורים בגרסותיהם העדכניות.

- יוצב עמוד פנס בסמוך לקו העצירה בכל כיוון. במקרה של תפעול אוטומטי מופעל תנועה (גלאי דרישה), יוצב העמוד לפחות 3 מ' לפני קו העצירה, על מנת לאפשר לגלאי העילי המוצב על עמוד הרמזור לזהות כלי רכב העומדים באזור קו העצירה.
- גובה תחתית מערכת הפנסים יהיה 2.5 מטר.
- מערכת הפנסים של הרמזור הנייד תכלול פנסי רכב בלבד, בעלי עדשות בקוטר 300 מ"מ (ללא חיצים בעדשות), ועומדים בדרישות המפרט.
- מערכת הפנסים של הרמזור הנייד לא תכלול פנסי תצ"מ, הולכי רגל או אופניים.
- לא יותקן תמרור הוריה מואר מעל מערכת הפנסים.

9.3.5 שיטת ההפעלה

ניתן יהיה להפעיל את הרמזור הנייד כרמזור קצוב-זמן ו/או רמזור מופעל תנועה, וכן בתפעול ידני, כמפורט להלן:

9.3.5.1 תפעול אוטומטי – רמזור קצוב-זמן

בהפעלה כרמזור קצוב-זמן יופעל ירוק במשך זמן קבוע לכל כיוון נסיעה. בסיום הירוק לכיוון האחד, יופעל צהוב למשך 3 שניות, ואח"כ אדום לשני הכיוונים, להבטחת משך זמן בין-ירוקים לפני כניסת הכיוון הנגדי, כמפורט בהמשך.

ניתן להפעיל מספר תוכניות עם משכי ירוק שונים לכיוונים השונים, בהתאם לעומסי התנועה הרלוונטיים לכל כיוון בשעות שונות של ההפעלה. הרמזור יאפשר הפעלה לפי לוח זמנים שבועי, ויאפשר לפחות עשר תוכניות זמנים שונות.

9.3.5.2 תפעול אוטומטי – מופעל תנועה (גלאי דרישה)

אם נדרש תפעול אוטומטי – מופעל תנועה, יש לעשות שימוש אך ורק בדגם "רמזור נייד מופעל תנועה" שאושר ע"י הוועדה הבין-משרדית, המכיל גלאי ייעודי משולב, ונמצא ברשימת ההתקנים המאושרים. השימוש בגלאי זה יאפשר תפעול יעיל יותר של הרמזור, והפעלה באחת משתי השיטות:

א. 'אדום לכל' (אדום לשני הכיוונים) עד לקבלת דרישה מכיוון כלשהו. עם קבלת הדרישה, ייפתח ירוק למשך הזמן שנקבע בתוכנית, לכיוון הנדרש, וזאת בתנאי שקויים זמן הבין-ירוקים הנדרש לפני כניסת הכיוון הרלוונטי.

משך האדום לשני הכיוונים לא יעלה על 10 דקות. במידה שלא התקבלה כל דרישה במשך זמן זה, ייפתח ירוק לכיוון א', למשך הזמן שנקבע בתוכנית, ולאחר מכן ירוק למשך הזמן שנקבע בתוכנית לכיוון ב', תוך שמירה על בין-ירוקים כנדרש ביניהם. לאחר מכן, הרמזור יחזור למצב של אדום לשני הכיוונים, בהמתנה נוספת כאמור.

ב. ירוק קבוע (כערך מזערי) לכיוון שיוגדר כראשי, וירוק קבוע לכיוון שיוגדר כמשני, לפי דרישה על ידי גלאי:

משך הירוק לכיוון הראשי לא יעלה על 10 דקות. במידה שלא התקבלה דרישה מהכיוון המשני בפרק זמן זה, יעבור הרמזור לירוק בכיוון המשני (למרות שלא קיימת דרישה), למשך הזמן שנקבע בתוכנית, ולאחר מכן יחזור לירוק בכיוון הראשי, וימתין לדרישה בכיוון המשני, וחוזר חלילה. המעבר בין הכיוונים יבוצע תוך הבטחת זמן בין-ירוקים כנדרש.

9.3.5.3 הפעלה ידנית:

תהיה אפשרות להפעלה ידנית של הרמזור הנייד כאשר המעבר בין השלבים מבוצע על ידי קידום באמצעות לחצן ידני. בהתאם לכך, יהיו בתוכנית הזמנים 4 נקודות עצירה:

- בסוף ירוק מזערי למופע בכיוון א'.
- בסוף האדום המשותף שבא אחרי הירוק במופע א'.
- בסוף ירוק מזערי למופע בכיוון ב'.
- בסוף האדום המשותף שבא אחרי הירוק במופע ב'.

נקודות העצירה בזמן האדום המשותף יאפשרו להאריך את זמן הבין-ירוקים, במידה שאחד הכיוונים אינו מתפנה במשך זמן הבין-ירוקים שנקבע.

9.3.5.4 הבהוב צהוב

תהיה אפשרות להפעלת הרמזור בהבהוב צהוב במצב פעולה שנבחר ידנית. במצב זה חובה לעבור להכוונה על ידי שוטר/פקח תנועה מורשה.

9.3.6 תיכנון הזמנים

סדר ומשך האותות

סדר האותות ברמזור הנייד יהיה בדומה לרמזור רגיל:

א. סדר אותות:

אדום ← אדום צהוב ← ירוק ← צהוב

ב. משך האותות:

- אות אדום מזערי: 5 שניות.
- אות אדום צהוב: 2 שניות.
- אות ירוק מזערי: 10 שניות.
- אות צהוב: 3 שניות.

זמן המתנה מרבי

תכנון זמני הירוק ברמזור הנייד יהיה כזה, שזמן ההמתנה המרבי לכיוון בהפעלה אוטומטית (קצוב-זמן או מופעל תנועה כשקיימת דרישה), יהיה 240 שניות (זמן מסוף הירוק בכיוון ועד תחילת הירוק הבא באותו כיוון).

הרמזור יאפשר למפעיל לשנות את זמן הירוק לכיוון בתוכניות ההפעלה השונות, ובתנאי שקיבל לכך אישור מראש מרשות התימרוך המקומית.

כניסה לפעולה והפסקת הפעולה

תהליך הכניסה לפעולה של הרמזור הנייד יכלול הצגת אדום לשני הכיוונים, כך שיובטח משך זמן בין-ירוקים הארוך ביותר שחושב לשני כיווני הנסיעה, ואז מעבר לירוק בכיוון הראשון המקבל ירוק. באופן דומה, לפני כיבוי הרמזור יופעל אדום לשני הכיוונים, כך שיובטח משך זמן בין-ירוקים הארוך ביותר שחושב לשני כיווני הנסיעה, ואז כיבוי הרמזור.

9.3.7 חישוב זמן בין-ירוקים עבור רמזור נייד בקטע דרך

זמן בין-ירוקים יבטיח פינוי קטע העבודות על ידי כלי-רכב שנכנס בכיוון אחד, לפני כניסת רכב בכיוון השני. מכיוון שמאפייני הנסיעה עשויים להשתנות בין הכיוונים, הרי שזמן בין-ירוקים יחושב בנפרד לכל כיוון נסיעה (מופע 1 מפנה ומופע 2 נכנס ולהיפך).

מהירות פינוי S_c

המהירות לחישוב הזמן בין-ירוקים תהיה מהירות הנסיעה בפועל באזור העבודה בהתאם לכיוון הנסיעה, ולא יותר מ-25 קמ"ש. בדרך כלל מהירות הנסיעה לשני הכיוונים תהיה זהה, אולם ייתכנו מקרים בהם מהירות הנסיעה בפועל שונה (לדוגמה במקרה של ירידה/עלייה), ולכן יש לבדוק את שני כיווני הנסיעה בנפרד.

משך בין-ירוקים

משך בין-ירוקים לכיוון המפנה יהיה שווה למשך הפינוי של הקטע על ידי אותו כיוון, ויחושב בדומה לחישוב משך הפינוי בצומת מרומזר (ללא תאוצה בפינוי). משך הבין-ירוקים יחושב באמצעות הנוסחה הבאה, ותוצאת החישוב תעוגל כלפי מעלה:

$$T = t + \frac{S^2/2a + L + l}{S}$$

כאשר:

- T – משך בין-ירוקים (שניות)
- t – זמן תגובה (שניות, ברירת מחדל = 1.0)
- S – מהירות פינוי לכיוון הנבדק (מ'/שנ', מהירות בפועל ולא יותר מ-25 קמ"ש (6.94 מ'/שנ'))
- a – תאווה בבלימה (מ'/שנ', ברירת מחדל = 3.5)
- L – אורך קטע הדרך בין קווי עצירה (מטר)
- I – אורך הרכב (מטר, ברירת מחדל = 12)

9.3.8 תקלות

הגדרת "תקלה ראשית" ו-"תקלה משנית" תהיינה כמוגדר ב"מפרט כללי להצבה ואחזקה של רמזורים", פרק 11.

במקרה של "תקלה ראשית" הרמזור הנייד יעבור לצהוב מהבהב.
במקרה של תקלה כנ"ל יש לעבור להכוונה על ידי שוטר/פקח תנועה מורשה.

9.3.9 דוגמה לרמזור נייד קצוב-זמן בקטע דרך

נתונים:

דרך דו-נתיבית חד-מסלולית בה נחסם נתיב הנסיעה בכיוון אחד (תרשים 9.7), והתנועה אינה מתאפשרת בו זמנית לשני הכיוונים.

- אתר עבודה באורך של 200 מטר.
- מהירות הפינוי לשני הכיוונים: 25 קמ"ש (6.94 מ'/שנ').
- נפח תנועה: 320 כ"ר לשעה לכל כיוון (סך הכל 640 כ"ר לשעה לשני הכיוונים).

חישוב זמן בין-ירוקים (זהה בשני כיווני הנסיעה)

$$T = 1.0 + \frac{6.94^2 / (2 \cdot 3.5) + 200 + 12}{6.94} = 32.5 \rightarrow 33 \text{ שניות}$$

זמן מחזור

הנחה: שניות C = 130

חלוקת הירוק

התפעול האוטומטי יכלול שני שלבים. שלב אחד לכל כיוון נסיעה:

שלב A: מופע 1 (ממזרח למערב)

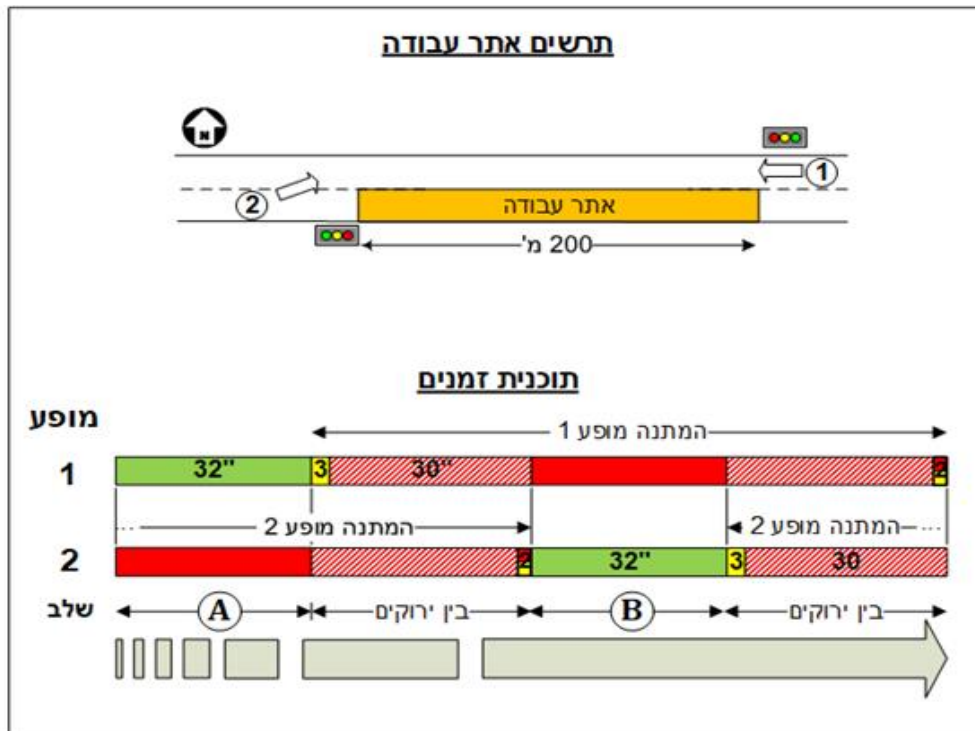
שלב B: מופע 2 (ממערב למזרח)

זמן בין-ירוקים כולל: $66 = 33 \cdot 2$ שניות

סך זמן ירוק לחלוקה: 64 שניות שיחולקו בין המופעים (32 שניות למופע).

בדיקה:

- במשך ירוק של 32 שניות ניתן להעביר כ-16 כלי-רכב (ממוצע כלי-רכב לכיוון במחזור הוא כ-13 כלי-רכב).
 - העיכוב המרבי לכלי-רכב הינו 98 שניות (עבור כלי-רכב שהגיע בשנייה שנסגר הירוק).
- תרשים 9.7 מציג את תכנית הזמנים לדוגמה לעיל.



תרשים 9.7: דוגמה לתוכנית זמנים לרמזור נייד קצוב-זמן באתר עבודה

9.4 רימזור צמתים בשדרה

9.4.1 רקע

בצמתים לאורך ציר עירוני ראשי בהם קיימת שדרה רחבה, נוצרת לעיתים גיאומטריה העשויה לגרום לנהג לתחושה של חציית שני צמתים נפרדים כאשר הוא חוצה את השדרה.

הקירבה בין שני הצמתים הנוצרים משני צידי השדרה עשויים לייצר "בלבול פנסים" עקב סמיכות הצמתים, כך שנהג הרואה את ראש הרמזור הקרוב של הצומת המרוחק, עלול לחשוב שמדובר בראש הרמזור החוזר שלו. מצד שני, במקרים של חוסר ברמזור בצומת השני, נצפו מצבים בהם כ"ר במרכז השדרה האטו עד עצירה עקב חיפוש ראש רמזור המורה על אופן המשך הנסיעה.

הנסיבות המיוחדות דורשות חשיבה על פתרונות מותאמים לאופן הצבת ראשי רמזור ולתכנון מופעים החוצים את השדרה.

9.4.2 איפיון מצבים בחציית שדרה והמלצות

סעיף זה סוקר מצבים גיאומטריים שונים בחציית השדרה, וממליץ על פתרונות לאופן הצבת ראשי הרמזור ותכנון המופעים החוצים.

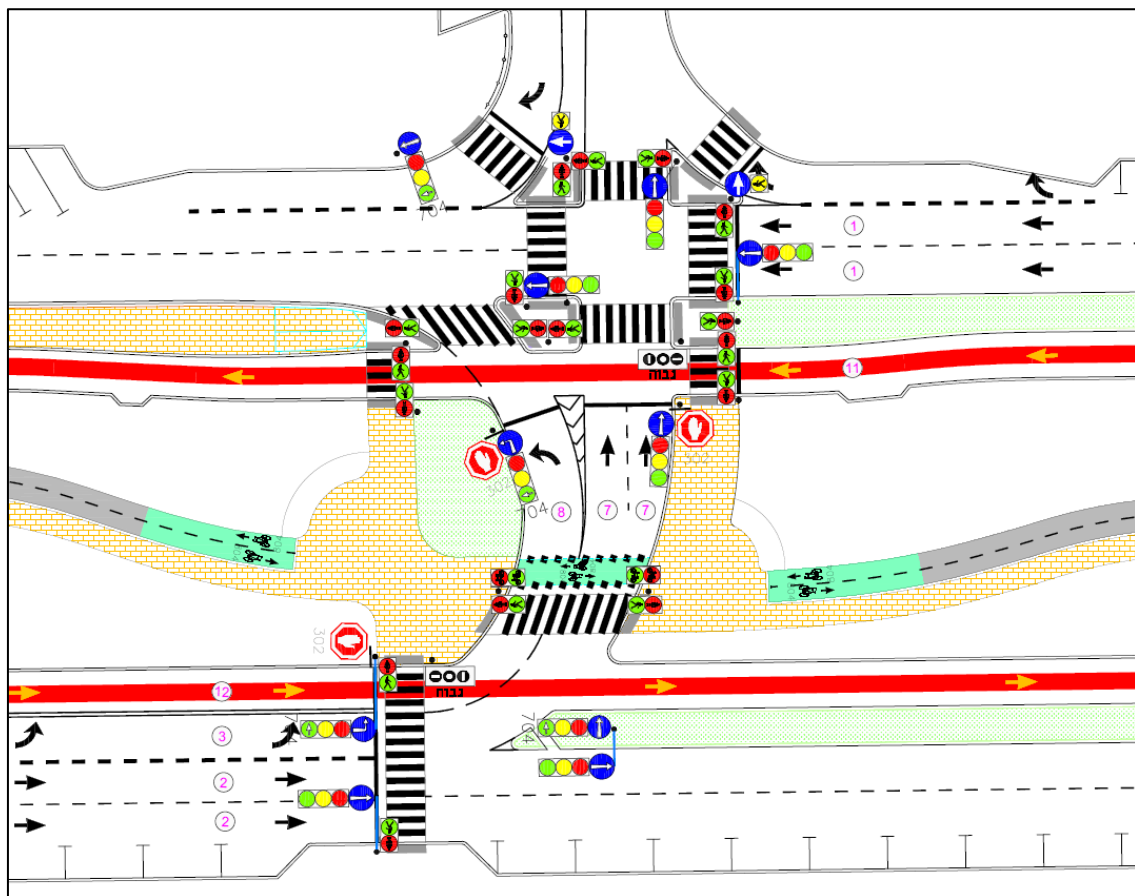
9.4.2.1 התנועה החוצה את השדרה מוזנת מפנייה שמאלה מהמסלול השני בשדרה

תרשים 9.8 מציג דוגמא המאפיינת מצב זה:

- שדרה רחבה במרכז הדרך.
- רוחב השדרה מאפשר עמידת כ"ר במרכז השדרה.
- התנועה החוצה את מרכז השדרה מוזנת מפנייה שמאלה המבוצעת ממסלול הרכב שבשדרה.

המלצות לאופן הצבת ראשי רמזור

- למופעים המתוכננים בתחום השדרה (מופעים 7,8 בתרשים) יוגדר ראש רמזור קרוב וראש רמזור חוזר, ויסומן קו עצירה.
- לתנועה הפונה שמאלה (מופע 3 בתרשים) יוצב ראש רמזור קרוב וראש רמזור חוזר מול נתיב הפנייה בצומת הראשון.



תרשים 9.8: צומת 3 זרועות בשדרה, תנועה החוצה את מרכז השדרה מוזנת מהפנייה שמאלה מהמסלול השני בשדרה, ללא חצייה ממול

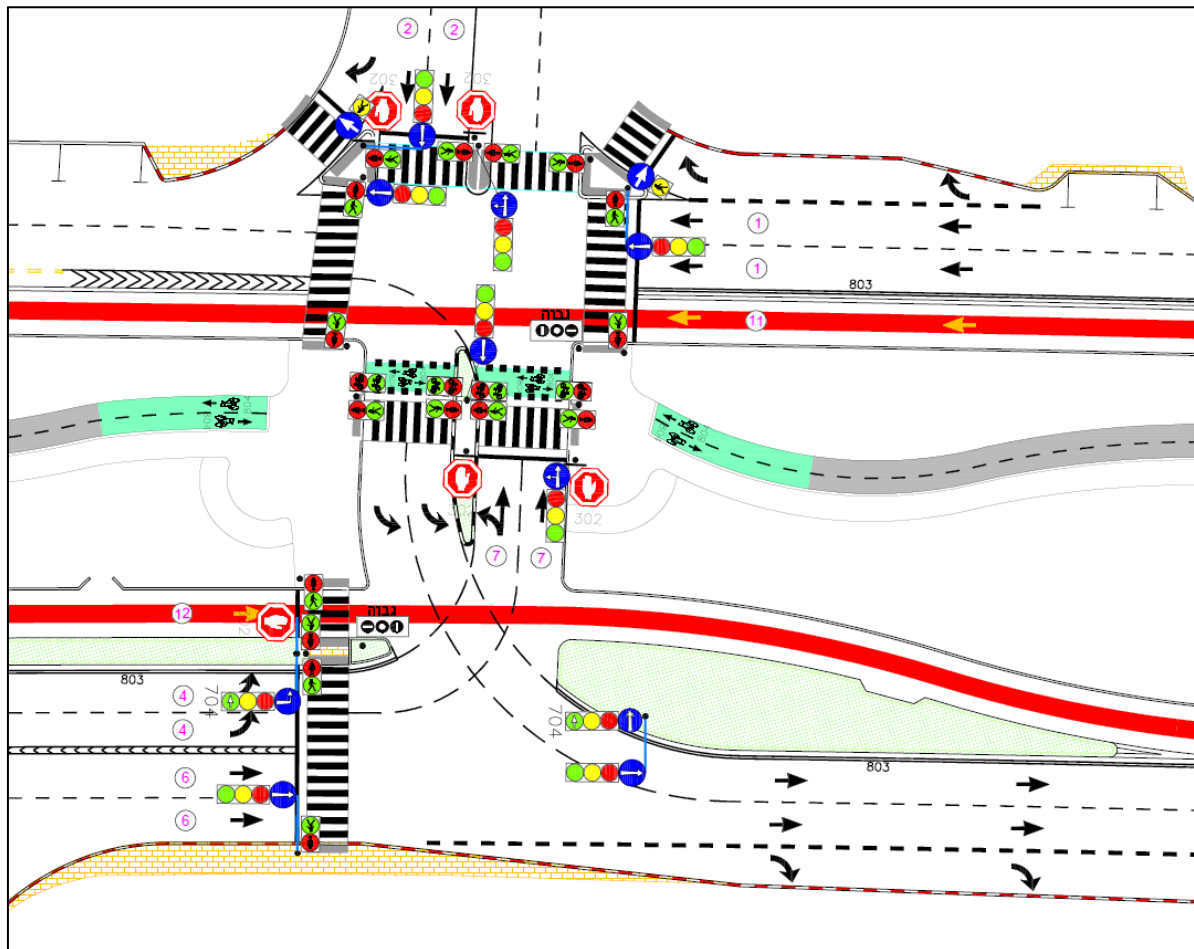
המלצות לאופן תכנון המופעים בשדרה

- יתוכנן תיאום בפתיחת המופע הירוק לתנועה הפונה שמאלה (3) ולתנועות ההמשכיות בשדרה (7,8), כלומר הירוק למופעים בשדרה ייפתח יחד או מספר שניות לאחר הירוק של הפניה שמאלה.
- סיום המופע הירוק בשדרה מספר שניות לאחר סיום המופע המזין (ניתן בשילוב גלאי הארכה), בכדי לוודא פינוי של תחום השדרה.

9.4.2.2 התנועה החוצה את השדרה מוזנת, בכיוון אחד, מציר הניצב לשדרה, ובכיוון השני, מהפנייה שמאלה מהמסלול השני בשדרה (3 זרועות)

תרשים 9.9 מציג דוגמא המאפיינת מצב זה:

- שדרה רחבה במרכז הדרך.
- רוחב השדרה מאפשר עמידת כ"ר במרכז השדרה.
- התנועה החוצה את מרכז השדרה, מוזנת מצידה האחד מפנייה שמאלה המבוצעת מהמסלול שבשדרה, ומצידה השני, מרחוב ניצב לשדרה. לתנועה היוצאת מהרחוב הניצב (מופע 2) עלול להיווצר "בלבול פנסים" אם נמקם בתחום השדרה מופע עם ראשי רמזור משלו.



תרשים 9.9: צומת 3 זרועות בשדרה, התנועה החוצה את מרכז השדרה מוזנת, בכיוון אחד, מציר הניצב לשדרה, ובכיוון השני, מהפנייה שמאלה מהמסלול השני בשדרה

המלצות לאופן הצבת ראשי רמזור

- למופע המתוכנן בתחום השדרה (7 בתרשים) יוגדר ראש רמזור קרוב וחוזר, ויסומן קו עצירה.
- הכיוון הנגדי בשדרה (המשך מופע 2) לא יוגדר כמופע נפרד.
- ראש הרמזור הקרוב של מופע 2 הניצב לשדרה וחוצה אותה יוצב סמוך לקו העצירה, ראש הרמזור החוזר יוצב לאחר חציית המסלול הראשון שהתנועה פוגשת, ולא לאחר מעבר כל תחום הפינאי. בהתאם לשיקולים נוספים, ניתן שלא לתכנן ראש רמזור חוזר במצב זה, בהתאם להנחיות לתכנון ראש רמזור יחיד לתנועת כלי רכב.

המלצות לאופן תכנון המופעים בשדרה

- לתנועה הפונה שמאלה (מופע 4 בתרשים) מהמסלול שבשדרה, יתוכנן תיאום בפתיחת המופע הירוק עם התנועה ההמשכית בשדרה (מופע 7), כלומר הירוק למופע בשדרה ייפתח יחד או מספר שניות לאחר הירוק של הפנייה שמאלה. המופע הירוק בשדרה יסתיים מספר שניות לאחר סיום המופע המזין (ניתן בשילוב גלאי הארכה), בכדי לוודא פינאי של תחום השדרה.
 - לתנועה המזינה מהרחוב הניצב לשדרה (מופע 2), לא יתוכנן מופע המשכי בתחום השדרה, למניעת בלבול פנסים. זמן הפינאי עבור מופע זה יוגדר עד לאחר סיום חציית שני המסלולים.
- במצב זה, חשוב להסדיר גיאומטריה הנותנת תחושה ששני החלקים שייכים לאותו צומת, ואינם צמתים נפרדים.**

9.4.2.3 התנועה החוצה את השדרה מוזנת מפניות מציר ניצב לשדרה ומפניות ממסלול הרכב שבשדרה (4 זרועות)

תרשים 9.10 מציג דוגמה המאפיינת מצב זה:

- שדרה רחבה במרכז הדרך.
- רוחב השדרה מאפשר עמידת כ"ר במרכז השדרה.
- התנועה החוצה את השדרה מוזנת מפנייה שמאלה המבוצעת מהמסלול שבשדרה, וכן מרחובות ניצבים, עבורם עשוי להיווצר "בלבול פנסים" אם נמקם בתחום השדרה מופע עם ראשי רמזור משלו. במצב שלא נמקם ראש רמזור בתחום השדרה, הנהג עשוי לחפש את ראש הרמזור, ועקב כך להתעכב בפינאי תחום הצומת ואף לעצור. **במצב זה, חשוב להסדיר גיאומטריה הנותנת תחושה ששני החלקים שייכים לאותו צומת, ואינם צמתים נפרדים.**

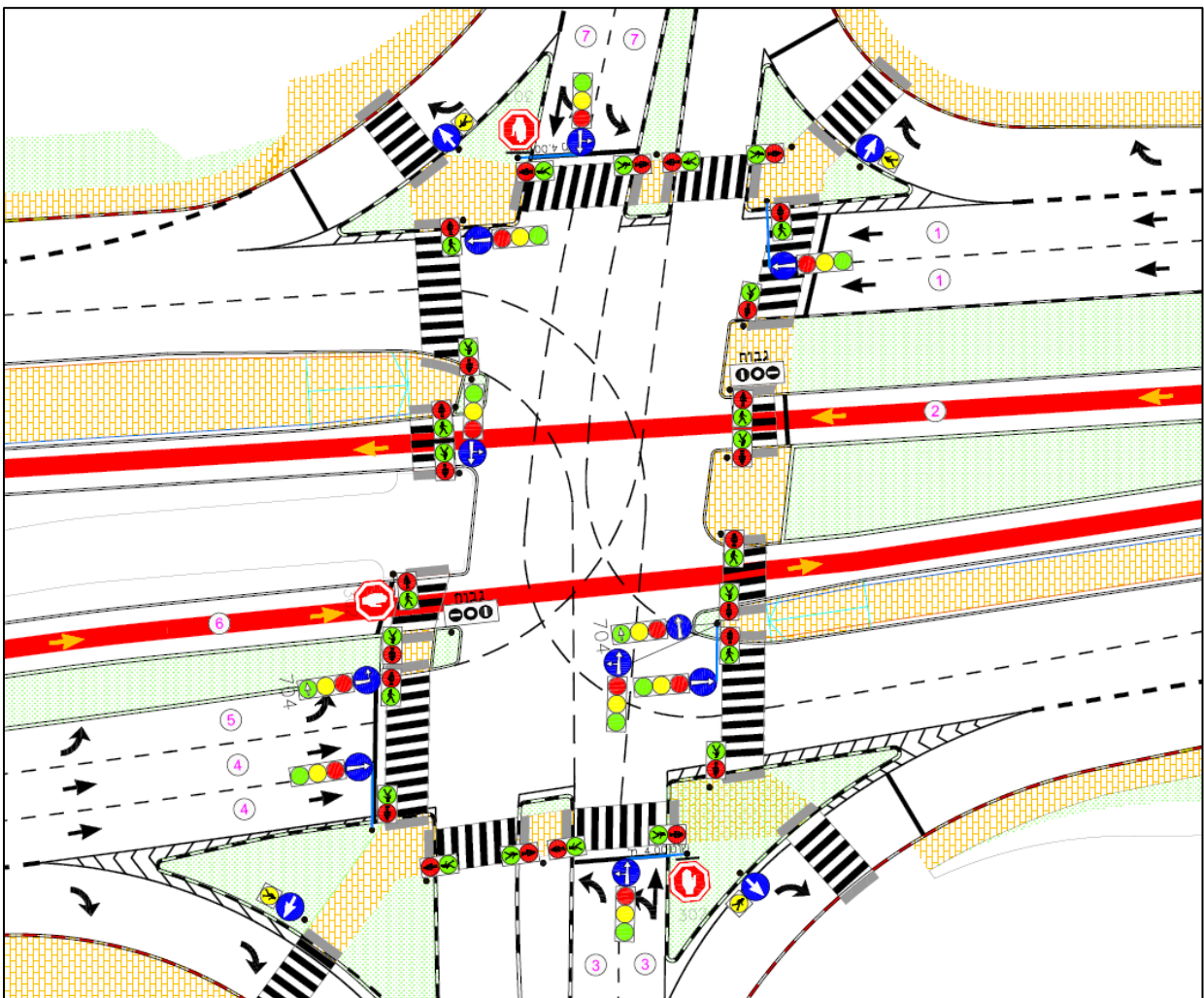
המלצות לאופן הצבת ראשי רמזור

- למופעים המזינים תנועה בניצב לשדרה, יוצב ראש רמזור קרוב סמוך לקו העצירה, וראש רמזור חוזר לאחר חציית המסלול הראשון שהתנועה פוגשת, ולא לאחר מעבר כל תחום הפינאי של שני המסלולים. הסיבה למיקום ראש הרמזור החוזר לאחר המסלול הראשון, ולא לאחר מעבר תחום שני המסלולים, היא על מנת לא לייצר מצב בו הנהג עובר את המסלול הראשון ורואה בראש הרמזור החוזר צהוב, ולכן עוצר במרכז השדרה מתוך תחושה שהגיע לצומת נוסף, חדש. במצב זה ניתן שלא לתכנן ראש רמזור חוזר, בהתאם להנחיות לתכנון ראש רמזור קרוב בלבד לתנועת כלי רכב.

- למופע הפונה שמאלה וחוצה את השדרה (מופע 5 בתרשים), יוגדר פנס קרוב סמוך לקו העצירה (5), ויוגדר פנס חוזר ממול. לא יוגדר מופע נוסף המשכי, וזאת בכדי למנוע "בלבול פנסים" לתנועה המגיעה בניצב לשדרה.

המלצות לאופן תכנון המופעים בשדרה

- לכל התנועות החוצות את השדרה לא יתוכנן מופע נוסף בתחום השדרה, למניעת בלבול פנסים.
 - זמן הפינוי עבור כל המופעים החוצים יוגדר עד לאחר סיום חציית שני המסלולים.
- הכללים שהוצגו בסעיף זה יכולים לשמש גם בתכנון הצמתים הסמוכים המתקבלים בציר המשני במחלף יהלום צר, כאשר הם המהווים 'צמתים סמוכים' כהגדרתם בסעיף 'מחלפי יהלום' בהנחיות לתכנן מחלפים.



תרשים 9.10: צומת 4 זרועות בשדרה – התנועה החוצה את מרכז השדרה מוזנת מפניות מציר ניצב לשדרה, ומפניות ממסלול הרכב שבשדרה

פרק 10: תצורות מורכבות של צמתים מרומזרים

תוכן עניינים

10-1.....	מבוא	10.1
10-1.....	תצורות מיוחדות של צמתים מרומזרים	10.2
10-1.....	רקע	10.2.1
10-1.....	עקרונות מנחים וקריטריונים לבחינתם	10.2.2
10-2.....	סוגי הצמתים המורכבים	10.2.3
10-17.....	ניתוח תנועת השוואתי	10.2.4
10-17.....	שיקולים להתאמה של כל צומת	10.2.5
10-20.....	סיכום	10.2.6
10-21.....	עקרונות לתכנון צמתים מעגליים מרומזרים	10.3
10-21.....	רקע	10.3.1
10-21.....	הנסיבות בהם מומלץ לשקול צומת מעגלי מרומזר	10.3.2
10-23.....	צומת מעגלי מרומזר בכל הזרועות	10.3.3
10-25.....	רימזור של חלק מהזרועות של צומת מעגלי	10.3.4
10-25.....	רימזור מעבר חצייה סמוך למעגל תנועה	10.3.5
10-26.....	סיכום	10.3.6

פרק 10: תצורות מורכבות של צמתים מרומזרים

10.1 מבוא

פרק זה עוסק בצמתים מרומזרים בתצורות מורכבות יותר מאשר ההסתעפויות / הצטלבויות שהוצגו בפרקים הקודמים, ובפתרונות שונים לרימזור צמתים מעגליים. מטרתו העיקרית של הפרק הינה לחשוף את מהנדסי התנועה ומתכנני הרמזורים לאפשרות של פתרון בעיות תנועתיות ובטיחותיות בתצורה גיאומטרית שאינה סטנדרטית, לרבות רימזור של מעגלי תנועה והפיכתם לצומת מעגלי.

בשונה מפרקים אחרים בהנחיות אלו, פרק זה עוסק בעקרונות בלבד, ללא שיקולים כמותיים והנחיות מדויקות לקביעת התצורה המועדפת, ומאפשר למתכנני התנועה והרמזורים שיקול דעת רב בבחינת החלופות התכנוניות.

10.2 תצורות מיוחדות של צמתים מרומזרים

10.2.1 רקע

צמתים מרומזרים, בעיקר בעורקי תנועה ראשיים ובשעות השיא, סובלים מעומסי תנועה אשר הולכים וגדלים במשך השנים. עומסי תנועה אלה נגרמים בעיקרם מעלייה בביקוש לנסיעות, וממדיניות התכנון המקנה עדיפות להולכי-רגל, לרוכבי אופניים ולתחבורה ציבורית, בניסיון לעודד נסיעה באמצעים חלופיים לרכב הפרטי. עומסי התנועה גורמים לעלייה בזמני הנסיעה ובזמני העיכוב לרכב המנועי בצומת, לתורים ארוכים ולירידה ברמת השירות. בניסיון להפחית את הגודש, מהנדסי תנועה מאמצים לרוב שיטות מקובלות כדוגמת שינוי בתוכניות הרמזור, תוספת נתיבים, ובמקרים מיוחדים אפילו הפרדות מפלסיות לתנועות העיקריות.

אחד האמצעים לשפר את רמת השירות של הרכב המנועי הינה על ידי הפחתת הזמנים הבלתי מנוצלים לרכב בצומת המרומזר, והגדלת זמני הירוק האפקטיבי. הפחתת הזמנים הבלתי מנוצלים ניתנת ליישום ע"י ביטול חלק ממופעי הרמזור, וכתוצאה מכך להפחתה במספר השלבים. בתוכניות רמזור בהן מתוכננת העדפה לרכב תצ"מ, הפחתת השלבים הינה בעלת חשיבות מכרעת לצורך גמישות תוכנית הרמזור במתן העדפה.

בסעיף זה מוצגות שמונה תצורות מיוחדות של צמתים מרומזרים, אשר מפחיתות את מספר השלבים בצומת, תוך מתן פתרון תנועתי למופעי הרמזור המבוטלים. בכך, כלל התצורות המוצגות בסעיף זה הינן צמתים מרומזרים המתופעלים ב-2 עד 3 שלבים במקום צומת הכולל 4 שלבים (עבור כל התנועות האפשרויות). מצויינים היתרונות והחסרונות של כל תצורה. בסעיף 10.2.4 מוצגת טבלה מרכזת אשר משווה בין התצורות השונות המוצגות בחלק זה.

10.2.2 עקרונות מנחים וקריטריונים לבחינתם

העיקרון המרכזי המנחה את תכנון התצורות המיוחדות המוצגות להלן, הינו הפחתה במספר השלבים

לתפעול הצומת. הפחתה זו מושגת ע"י ביטולן של תנועות שמאלה בצומת הראשי, והעברתן לצומת נוסף בקרבתו. בכך מצטמצמים מספר מצבי המעבר, וגדל זמן הירוק האפקטיבי בצומת. תועלת נוספת מביטול הפניות שמאלה בתוך הצומת, היא הפחתה ניכרת במספר הניגודים בצומת. הפחתה זו עשויה לגרום לשיפור בבטיחות משתמשי הדרך.

עם זאת, להפיכתו של צומת רגיל לצומת מיוחד עלולות להיות גם מגרעות. לעתים, המרת תנועות שמאלה בתמרונים פחות מוכרים לנהגים, עשויה לגרום להשפעות שליליות על התנועה והבטיחות.

בעת תכנון צומת לא שגרתי מתחשבים במספר רב של קריטריונים המוצגים להלן:

- זמן ומרחק הנסיעה בצומת / זמני העיכוב;
- מספר עצירות בצומת;
- קיבולת הצומת;
- רמת הבטיחות למשתמשי הדרך;
- צריכת דלק וזיהום אוויר;
- התמצאות/אוריינטציה עקב שינוי הרגלי הנהיגה;
- השפעה על תיאום בין הצמתים בגל ירוק;
- שטח נדרש ורוחב זכויות דרך;
- התאמת הצומת להיררכיית הדרכים;
- השתלבות ברשת הדרכים;
- השפעת הצומת על תנועת הולכי-הרגל ובטיחותם;
- התאמת הצומת למיקום תחנות אוטובוסים;
- נראות ראשי הרמזור.

בסעיפים הבאים יוצגו תצורות הצמתים עם התייחסות לקריטריונים אלה, ועם סיכום היתרונות והחסרונות של כל תצורה.

10.2.3 סוגי הצמתים המורכבים

להלן התצורות המיוחדות של הצמתים המרומזרים המורכבים המוצגים בפרק זה:

- צומת מדורג (Staggered Intersection)
- צומת מפוצל (Split Intersection)
- Crossover Displaced Left-Turn (XDL) / Continuous Flow (CFI)
- Median U-Turn (MUT)
- Super-Street Median (SSM)
- Double Jug-Handle
- Bowtie
- Quadrant Roadway

בתיאורים להלן יוצג רק הדגם הבסיסי של כל צומת, ללא התייחסות לחלופות שונות הקיימות עבור כל דגם, אשר עשויות להשפיע על תוצאות הניתוח התנועתי.

10.2.3.1 צומת מדורג (Staggered Intersection)

מבנה הצומת

צומת מדורג נוצר משתי הסתעפויות (צמתי קמץ) סמוכות לכיוונים מנוגדים, כאשר הדרך המשנית מוסטת לשני צידי הצומת, ולפיכך נמנע מפגש של ארבע הזרועות בנקודה אחת. כלי הרכב הנעים בדרך המשנית, חייבים לפנות לדרך העיקרית ולהשתלב בתנועה שבה, ולפנות פעם נוספת לכיוון הנגדי להמשך נסיעתם בדרך המשנית. כלי רכב הממשיכים ישר בדרך העיקרית חייבים לעבור דרך שני צמתי הסתעפות (צמתי קמץ) במקום לעבור בצומת הצטלבות אחד.

קיימות שתי אפשרויות למיקום יחסי של זרועות הכביש המשני בצומת מדורג: "דירוג שמאלי" (המכונה גם "ל", בתמרוך 120 "שמאלה ולאחר מכן ימינה") ו"דירוג ימני" (המכונה גם "ל" הפוכה, בתמרוך 119 "שמאלה ולאחר מכן ימינה"), כמתואר בתרשים 10.1, בהתאם לצד של ההסתעפות הראשונה בה נתקלים הנוסעים בדרך העיקרית, שהוא גם כיוון הפנייה הראשונה מהדרך המשנית לצורך חציית הדרך העיקרית.

יתרונות הצומת המדורג:

- הפחתה במספר נקודות הניגוד, במיוחד נקודות ההיחטכות.
- הרחקה ופיזור של נקודות הניגוד בצומת.
- הפחתה במספר השלבים בצומת (שני צמתיים של 3 שלבי רמזור), ולכן הפחתה בזמנים הבלתי מנוצלים לרכב.
- מתאפשרת הגדלה של קיבולת הצומת, לעומת צומת הצטלבות, כאשר קיים תיאום מיטבי בין שתי ההסתעפויות.
- התאמה והדגשת ההיררכיה התפקודית של הדרכים הנפגשות.

חסרונות הצומת המדורג:

- המרחק בין ההסתעפויות לא תמיד מספיק למתן האורך המלא הדרוש לנתיבי העזר לפניית ימינה ושמאלה ולאחסנה הדרושה. תיתכן גלישת תורים, במיוחד בדירוג ימני בו נתיבי הפנייה שמאלה נמצאים בקטע בין שתי ההסתעפויות.
- סכנה לבלבול בין ראשי הרמזור של שתי ההסתעפויות.
- בקטע בין ההסתעפויות, נפח החוצים בדרך המשנית מתווסף לנפח בדרך העיקרית. נפח זה מורכב מכלי-רכב המבצעים פעולות האצה והאטה, ועשויים להגדיל את זמני העיכוב בדרך העיקרית.
- הגדלת מרחקי הנסיעה וזמני הנסיעה של התנועה החוצה בדרך המשנית.
- מקשה על מיקום תחנות אוטובוס (בין ההסתעפויות) ומעבר נוסעים ביניהן, ומאריך את מרחקי ההליכה של הולכי הרגל.

צורת הדירוג

קיימים הבדלים משמעותיים מבחינה תפעולית בין שתי תצורות הדירוג כמפורט להלן:

דירוג ימני

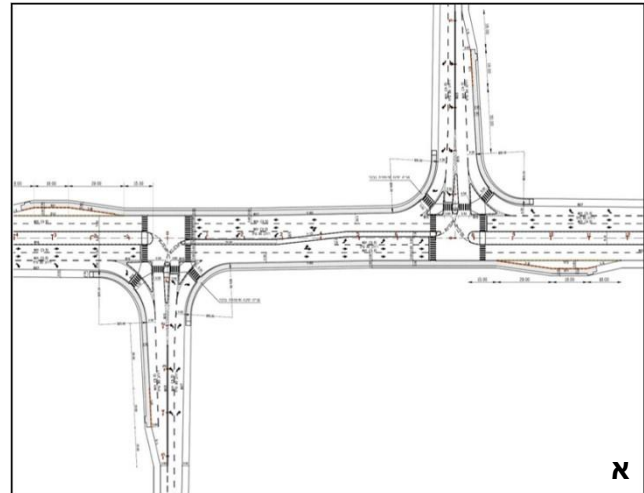
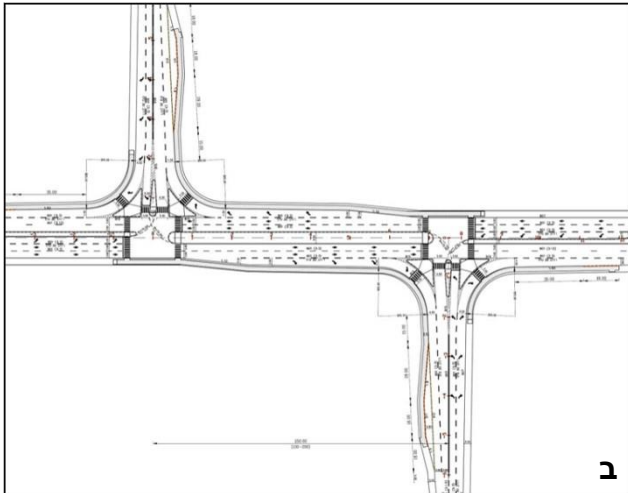
- הדירוג הימני מאפשר תכנון גל ירוק מיטבי בין הצמתים, עם רוחב פס ההולך ומתרחב עם כיוון הנסיעה, ללא "בזבז" זמן ירוק.
- מאפשר הגדלת הקיבולת והקטנת זמני העיכוב לתנועות שמאלה מהדרך המשנית.
- מרחק קצר בין ההסתעפויות פוגע באורך האחסנה לפניות שמאלה מהדרך העיקרית, ועלול לגרום לגלישת תורים ולחסימת הדרך העיקרית. נתיבי הפנייה שמאלה נדרשים גם עבור התנועה הממשיכה בדרך המשנית.
- נדרשת הרחבה של המיסעה לצורך נתיבי העזר בדרך העיקרית בין הצמתים.

דירוג שמאלי

- לא קיימת בעיה של נתיבי אחסנה לפנייה שמאלה בין שתי ההסתעפויות.
 - הרחבת הצומת לנתיבי העזר לפנייה שמאלה מתבצעת מחוץ לקטע בין ההסתעפויות.
 - תכנון הגל הירוק מורכב ועלול ליצור בזבז זמני ירוק, עקב רוחב פס ההולך וצר.
 - קיבולת התנועה שמאלה מהדרך העיקרית למשנית קטנה, עקב תוספת נפח תנועה מתנגדת.
- לפירוט נוסף על מאפייני הצומת המדורג, מרכיביו, יתרונות וחסרונות, ראו סעיף 3.7 בהנחיות לתכנון דרכים לא-עירוניות – כרך 2 – צמתים (משרד התחבורה, 2023).

עקרונות תכנון הרמזורים

- בתכנון רמזורים בצומת מדורג קיימת חשיבות רבה לתיאום מיטבי ולמניעת בלבול בין ראשי הרמזור של הצמתים. שיקולים אלה רלוונטיים בקביעת סדר השלבים ובתיאום הנדרש בין שלבים שונים בצמתים קרובים, כדי לתפעל את הצומת באופן יעיל ובטיחותי, ולמנוע חסימת המקטע שבין הצמתים.
- עקרונות תכנון הרמזורים לצמתים מרומזרים מבוססים על מחקר הרלב"ד לבחינת תאונות דרכים בצמתים מדורגים בדרכים לא-עירוניות (בלשה ת., 2019) כמפורט להלן:
- הצנעת ראשי הרמזור (הקרוב והרחוק) בצומת שבמורד הזרם, ע"י הצבת ראשי רמזור נמוכים בלבד.
 - תכנון אורך נתיב אחסנה כנדרש על פי ניתוח נפחי התנועה וזמני המחזור (במיוחד בדירוג ימני), למניעת גלישת תור וחסימת הדרך העיקרית.
 - תיאום מיטבי של התנועות הישירות בדרך העיקרית. מומלץ כי סגירות האור הירוק בשני הצמתים יבוצעו בהיסט המתאים למרחק בין הצמתים ולמהירות הנסיעה בפועל (לא סגירה בו-זמנית). מומלץ להימנע ממצב בו האור הירוק בצומת הרחוק במורד הזרם פתוח זמן רב (מעבר לערך ההיסט) לאחר סגירת האור הירוק בצומת הקרוב.
 - תכנון תוכנית הזמנים של הרמזור יכולה להתבצע בשתי דרכים עיקריות: תכנון כצומת אחד, או תכנון כשני צמתים נפרדים המתואמים אחד עם השני. תכנון של צומת אחד יכול את שלבי הרמזור והלוגיקה לשני הצמתים יחד. תכנון זה מאפשר שליטה מרבית בתיאום הנדרש בין הצמתים. תכנון של שני צמתים נפרדים מפשט בדרך כלל את לוגיקת התכנון, ומאפשר גמישות מיטבית. שיטה זו מחייבת הקפדה מרבית על התיאום הנדרש בין הצמתים.



תרשים 10.1: תצורות של צומת מדורג: (א) דירוג ימני; (ב) דירוג שמאלי

10.2.3.2 צומת מפוצל (Split Intersection)

מבנה הצומת

צומת מפוצל הינו גרסה מיוחדת של צומת מרומזר, המתקבלת על-ידי הרחקת שני המסלולים של אחת מהדרכים הנפגשות או של שתיהן זו מזו. בהתאם לסוג הפיצול בצומת, מתקבלים שניים ("פיצול יהלום") או ארבעה ("פיצול מרובע") צמתי-משנה סמוכים, במרחקים של כעשרות מטרים זה מזה. כל אחד מצמתי-המשנה מרומזר בפני עצמו, וכל צמתי-המשנה מהווים מכלול תכנוני ותפעולי אחד. כל כלי-הרכב הפונים שמאלה משתי הדרכים הנפגשות, יעברו דרך שני צמתי-משנה מרומזרים לפחות, כאשר כל צומת הינו בעל מספר שלבים מופחת לעומת צומת הצטלבות. הצומת המפוצל מתאים כפתרון להגדלת הקיבולת בצמתים מרומזרים עמוסים, במיוחד כשלב ביניים עד להקמת מחלף. קיימת חשיבות רבה לתיאום מיטבי של הצמתים ולמניעת בלבול בין ראשי הרמזור.

יתרונות הצומת המפוצל:

- מפחית את מספר השלבים והזמנים הבלתי מנוצלים לרכב, לעומת צומת הצטלבות.
- מעלה את קיבולת הצומת ומקטין את זמני הנסיעה והעיכוב.
- אפשרות להגדלת מספר הנתיבים הפונים שמאלה לשניים ויותר.
- השקעות כספיות נמוכות בהשוואה להקמת מחלף, ומתן אפשרות נוחה להקמת מחלף עתידי.

חסרונות הצומת המפוצל:

- דורש שטח ורוחב זכויות דרך גדול יותר מאשר צומת ארבע זרועות (הצטלבות).
- עלות הקמה גבוהה, בעיקר עקב השטח הגדול והמרחק הנדרש בין שני הצמתים.
- הצורך של התנועות שמאלה וישר בדרך המשנית לעבור בשני צמתים במקום בצומת אחד. כתוצאה מכך, מספר העצירות בצומת וזמני העיכוב לתנועות שמאלה יכולים לגדול.
- מורכבות בהתמצאות הנהגים, מאחר שחלק ניכר מהם נדרשים לעבור דרך שני צמתים או יותר.
- קיימת אפשרות לגלישת תורים ולחסימת הקטע בין הצמתים, ובמיוחד בנתיבי הפנייה שמאלה מהדרך העיקרית.

סוגי פיצול

סוגי הפיצול מפורטים להלן ומתוארים בתרשים 10.2:

- פיצול הסתעפות – פיצול של צומת קמץ. אפשרי כפיצול של הדרך ההמשכית או של הדרך המסתיימת. הבחירה בין הסוגים תלויה בעיקרה בדרישות ובאפשרויות האחסנה של הפנייה שמאלה מהדרך המשנית. כאשר נפחי התנועה בפנייה זו גבוהים, עדיף לפצל את הדרך ההמשכית.
- פיצול יהלום – פיצול צומת הצטלבות, כך שאחת משתי הדרכים מופרדות לשני מסלולים חד-סיטרים, באופן דומה לרמפות במחלף "יהלום". בפיצול זה כל צומת יתוכנן בשלושה שלבי רמזור בלבד, וקיימת חשיבות רבה לתיאום בין שני הצמתים למניעת גלישת תורים וחסירת הצמתים בדרך ההמשכית.
- פיצול מרובע – פיצול של צומת הצטלבות, כך ששתי הדרכים מפוצלות לשני מסלולים חד-סיטרים כל אחת. בפיצול זה נוצרים 4 צמתי-משנה, כאשר כל אחד מהם מתופעל בשני שלבי רמזור בלבד. הסדר זה דורש תיאום מיטבי בין כל צמתי-המשנה על מנת לאפשר הגדלה משמעותית בקיבולת הצומת. כמו כן, יש לקחת בחשבון מניעה של גלישת תורים וחסירת הקטע בין הצמתים בתפעול הגל הירוק ובקביעת זמני המחזור וחלוקת הירוק.

לפירוט על מאפייני הצומת המפוצל, מרכיביו, יתרונות וחסרונות, ראו סעיף 3.8 בהנחיות לתכנון דרכים לא-עירוניות – כרך 2 – צמתים (משרד התחבורה, 2023)

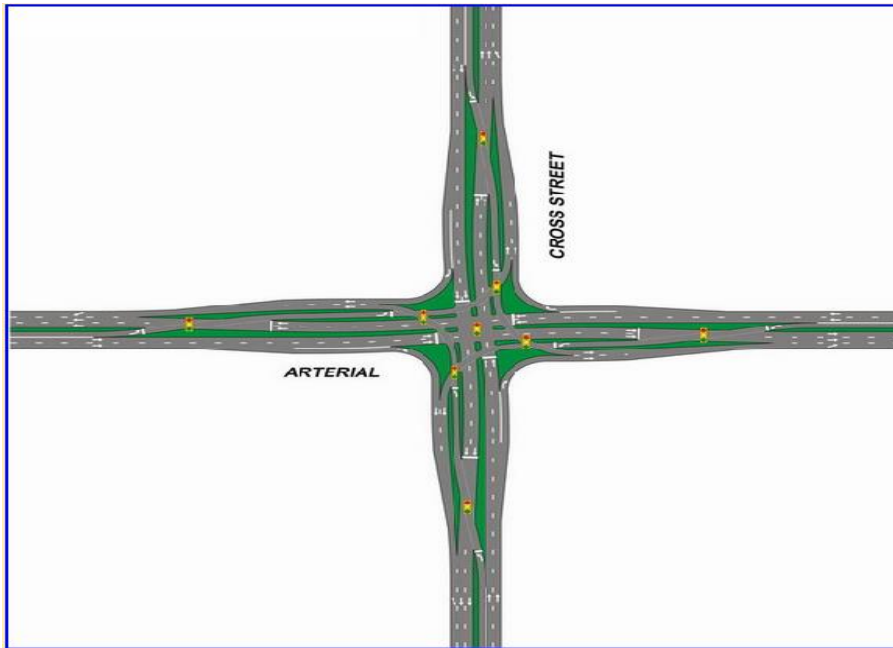
עקרונות תכנון הרמזורים

בדומה לצומת המדורג, העקרונות לתכנון צומת מפוצל, ולצמתים סמוכים בכלל, הינו שמירה על תיאום גל ירוק מיטבי ומניעת בלבול בין ראשי הרמזורים של הצמתים השונים. גם במקרה זה מומלץ להצניע את ראשי הרמזור של הצומת הממוקם במורד הזרם, וכן לתאם את הגל הירוק בדומה למפורט בסעיף 10.2.3.1 בנושא צמתים מדורגים, וזאת על מנת למנוע בלבול ע"י הנהגים. תכנון תוכנית הזמנים יכול להתבצע הן כצומת אחד והן כצמתים נפרדים, בהתאם לשיקולים תכנוניים.

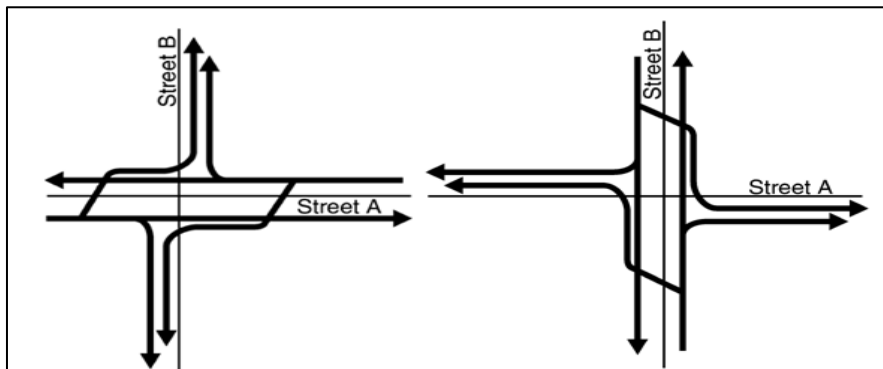
Continuous Flow Intersection (CFI) / Crossover Displaced Left-Turn (XDL) 10.2.3.3

מבנה הצומת

העיקרון בבסיס צומת זה, הינו הסטה של התנועה שמאלה לצד השני של הדרך לפני הצומת המרכזי, כך שהפנייה שמאלה בצומת המרכזי מתבצעת מצידו השמאלי של כיוון הנסיעה הנגדי, כמתואר בתרשימים 10.4 ו-10.5. המעבר לצידו השמאלי של כיוון הנסיעה הנגדי נעשה באמצעות צומת מרומזר נפרד, הממוקם מספר מאות מטרים לפני הצומת המרכזי. בצומת המרכזי מתאפשרות תנועות ישר ושמאלה משני כיוונים מנוגדים, כך שהוא מתופעל בשני שלבים בלבד.



תרשים 10.4: צומת מסוג CFI/XDL, (ATTAP 2007)



תרשים 10.5: פניות שמאלה בצומת CFI/XDL, (FHWA 2004)

יתרונות תצורה זו:

- הגדלת הקיבולת של הצומת המרכזי עקב תפעול בשני שלבים בלבד. מאפשר הפחתה בעיכוב של התנועות הישרות עקב זמן ירוק ארוך יותר.
- הפחתה ופיזור של נקודות הניגוד – הוצאת התנועה שמאלה מהצומת המרכזי.

חסרונות תצורה זו:

- דורש זכות דרך רחבה, ולרוב אינו מתאים באזורים עירוניים.
- בלבול וחוסר אוריינטציה לנהגים עקב מורכבות הסדרי התנועה בצומת.
- ריבוי עצירות לתנועות הפונות שמאלה (עד שלוש).
- בעייתיות בפניות פרסה.
- הגדלת מספר מסלולי החצייה ואורך החצייה של הולכי-הרגל.

- גידול בעלויות ההקמה והתחזוקה של צומת עם רמפות ורמזורים מרובים.
- עלות קניית עיצוב זה (סוג זה של צומת רשום כפטנט).



תרשים 10.6: צומת CFI במקסיקו (FHWA 2004)

10.2.3.4 Median U-Turn (Michigan Left)

מבנה הצומת

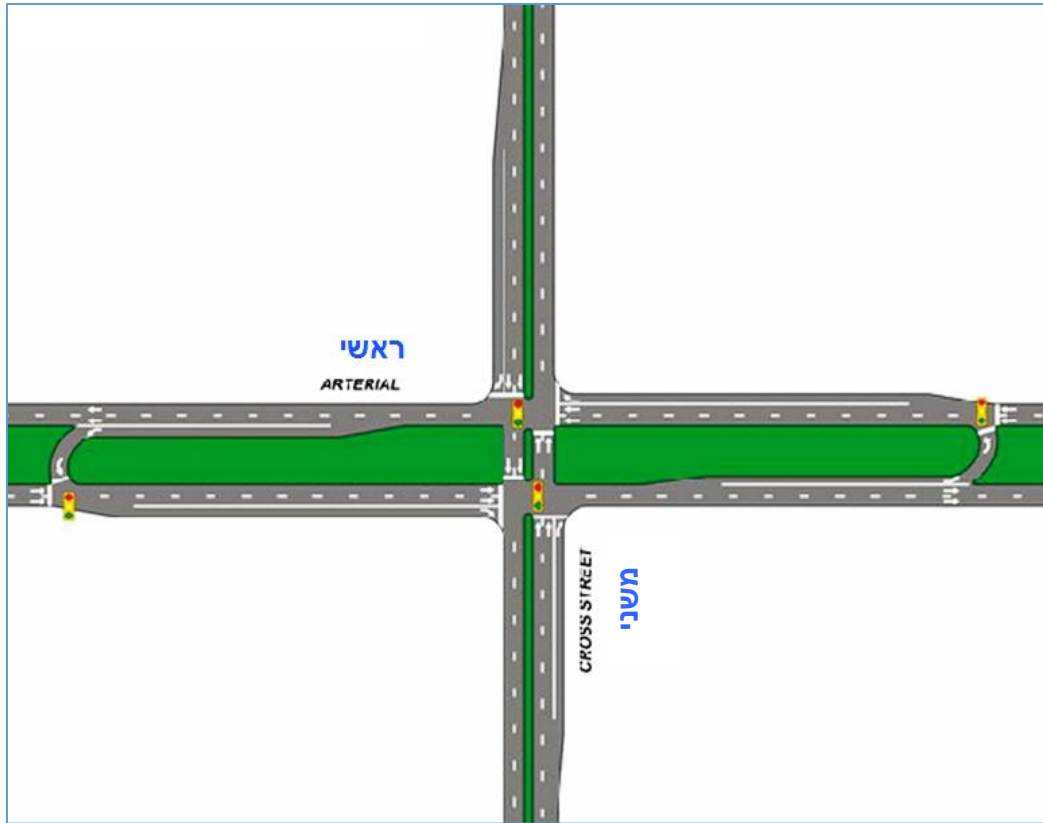
העיקרון העומד בבסיס סוג צומת זה הוא ביטול כל הפניות שמאלה בצומת. פניות שמאלה מתבצעות בהמשך הנסיעה, אם ע"י פנייה ימינה וביצוע פניית פרסה (מהדרך הראשית), או ע"י נסיעה ישרה וביצוע פניית פרסה (מהדרך המשנית). כל כלי הרכב הפונים שמאלה עוברים את הצומת פעמיים (פעם אחת בנסיעה ישרה ופעם נוספת בפנייה ימינה). ביטול כל הפניות שמאלה בצומת המרכזי מאפשר את תפעול הרמזור בשני שלבים בלבד, ובכך נחסכים הזמנים הבלתי מנוצלים בצומת. צומת זה שכיח ביותר בארה"ב, במיוחד במדינת מישיגן, ומתאים בעיקר כפתרון לשדרות רחבות.

יתרונות תצורה זו:

- הפחתה במספר השלבים לשניים בלבד, והגדלת הקיבולת של הצומת המרכזי.
- יכולת תיאום גל ירוק טובה בין הצומת המרכזי לצמתים המשניים.
- הפחתה בזמני העיכוב לתנועות הישרות.
- הפחתה ופיזור של נקודות הניגוד.
- קיצור אורכי החצייה של הולכי הרגל.

חסרונות תצורה זו:

- גידול במרחק הנסיעה ובזמני העיכוב לתנועות שמאלה.
- גידול במספר העצירות בצומת – מעבר בשני צמתים מרומזרים.
- הגדלת זכות הדרך, תוספת נתיבים לפניות פרסה.
- עלול לגרום לבעיות התמצאות ובלבול אצל הנהגים.



תרשים 10.7: צומת מסוג Median U-Turn (ATTAP 2007)

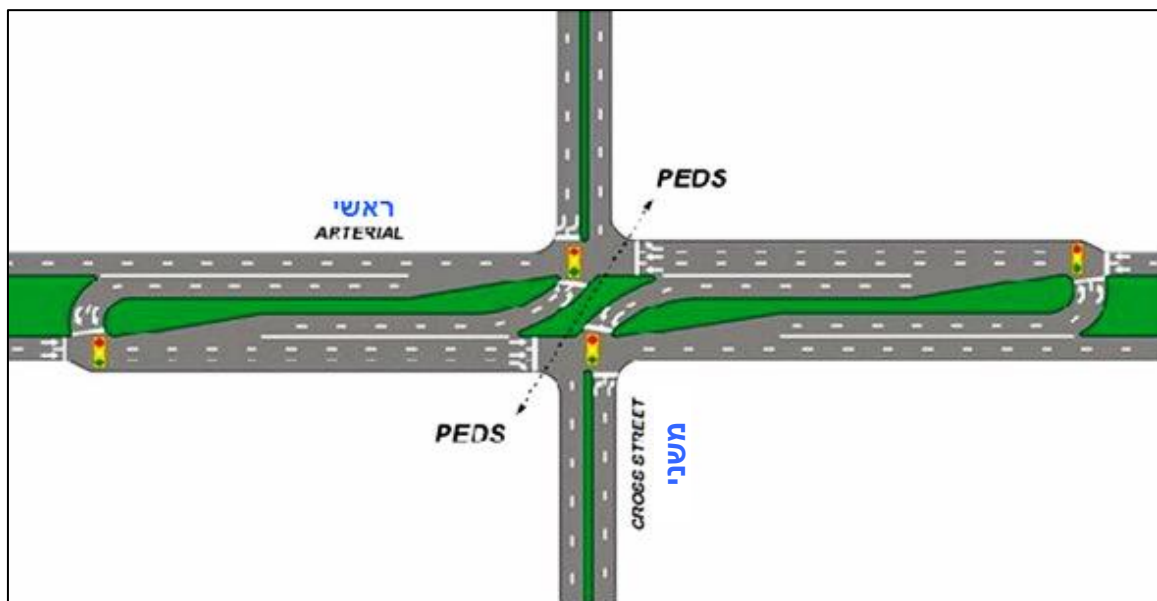


תרשים 10.8: צומת Median U-Turn בארצות הברית (ATTAP 2007)

10.2.3.5 Super-Street Median (SSM)

מבנה הצומת

סוג זה של צומת דומה במעט בתכנונו לצומת Median U-turn, אך מאופיין בכך שהפנייה שמאלה בדרך הראשית ניתנת בצומת המרכזי, כמוצג בתרשים 10.9. לעומת זאת, התנועות ישר ושמאלה מהדרך המשנית פונות ימינה בצומת המרכזי, ומשתמשות בפניות פרסה בדומה לצומת Median U-turn. ביטול התנועות ישר ושמאלה מהדרך המשנית מאפשר את תפעול הרמזור בשני שלבים בלבד, ובכך נחסכים הזמנים הבלתי מנוצלים בצומת. הסדר תנועה זה מתאים בעיקר בשדרות רחבות כאשר נפחי התנועה שמאלה בציר הראשי גבוהים.



תרשים 10.9: צומת מסוג Super-Street (ATTAP 2007)

יתרונות תצורה זו:

- הפחתה במספר השלבים לשניים בלבד, והגדלת הקיבולת של הצומת המרכזי.
- מאשר תכנון גל ירוק מיטבי לתנועות הראשיות.
- הפחתה בזמני העיכוב של התנועות ישר בדרך הראשית.
- הפחתה בזמני העיכוב של פניות שמאלה בדרך הראשית.
- הפחתה ופיזור של נקודות הניגוד.
- קיצור אורכי החצייה של הולכי הרגל.

חסרונות תצורה זו:

- גידול בזמני העיכוב ובמרחק הנסיעה בתנועות ישר ושמאלה מהדרך המשנית.
- עלול לגרום לבעיות התמצאות ובלבול אצל הנהגים במיוחד עקב חוסר המשכיות של הדרך המשנית.
- תיתכן חצייה של הולכי-רגל בציר הראשי בשני שלבי רמזור.
- גידול ברוחב זכויות דרך.



תרשים 10.10: צומת מסוג Super-Street בארצות הברית (ATTAP 2007)

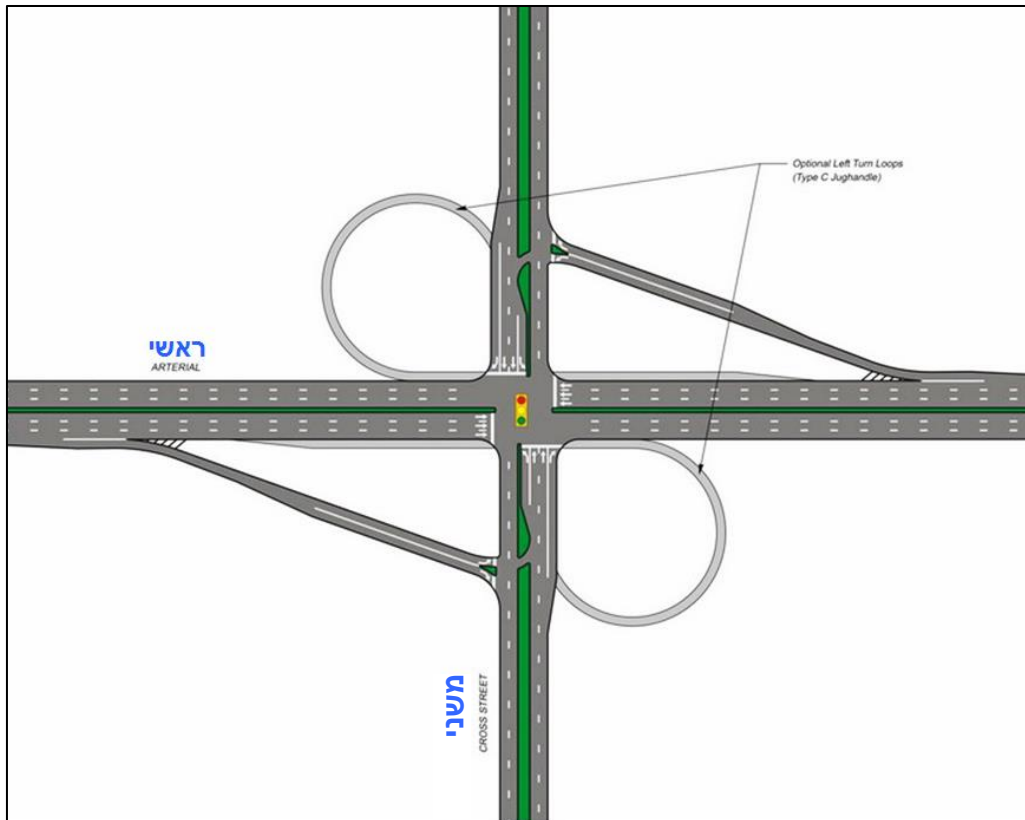
10.2.3.6 Double Jug-Handle

מבנה הצומת

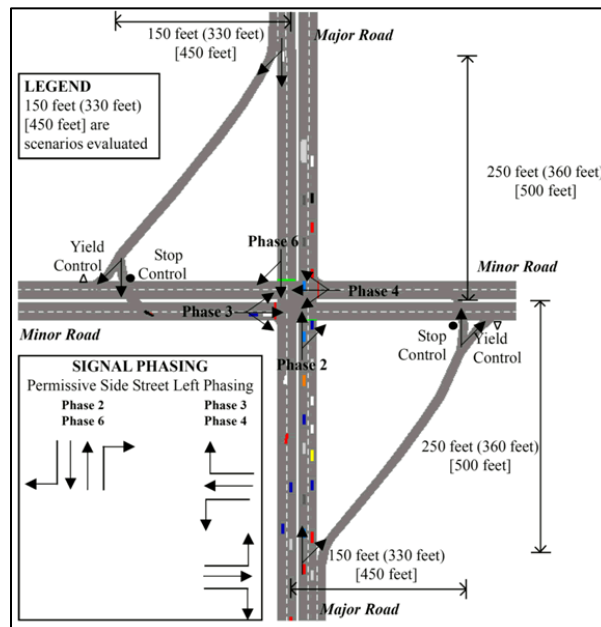
מבנה בסיסי של סוג צומת זה כולל פניות שמאלה מהדרך המשנית בתוך גבולות הצומת, אך הפניות שמאלה מהדרך הראשית אינן מתבצעות בצומת המרכזי, אלא ברמפה נפרדת מחוץ לגבולות הצומת, כמוצג בתרשים 10.11. רכב הרוצה לפנות שמאלה מהדרך הראשית פונה ימינה לרמפה האלכסונית, אשר בסופה הוא פונה שוב שמאלה ומשתלב עם התנועה שמגיעה ישר מהדרך המשנית. לחילופין, ניתן להפנות את הפניות שמאלה דרך לולאה הממוקמת אחרי הצומת. במקרה זה, נהג הרוצה לפנות שמאלה מהדרך הראשית ממשיך בנסיעה ישר ברמזור המרכזי, ולאחר שעבר את הצומת המרכזי פונה ימינה ונכנס ללולאה, אשר מסתיימת בדרך המשנית לפני הרמזור המרכזי (כלי רכב זה צריך לחצות פעמיים את הצומת, אך בשתי הפעמים בתנועות ישרות). הצומת המרכזי בתצורה זו מתופעל בשלושה שלבים כמוצג בתרשים 10.12.

יתרונות תצורה זו:

- הפחתה בעיכוב ובמספר העצירות של התנועות ישר.
- רוחב זכות דרך צר בדרך הראשית (הורדה של הנתיבים שמאלה).
- הפחתה ופיזור של נקודות הניגוד.



תרשים 10.11: צומת מסוג Jug-handle (ATTAP 2007)



תרשים 10.12: חלוקת השלבים בצומת מסוג Jug-handle

חסרונות תצורה זו:

- גידול בזמני העיכוב לתנועות שמאלה מהדרך הראשית, במיוחד כאשר תורים חוסמים את רמפת היציאה.
- גידול במרחק הנסיעה ובמספר העצירות לתנועות שמאלה.
- הגדלת רוחב זכות הדרך עבור הרמפות.
- הגדלת אורך החצייה של הולכי-הרגל, חצייה של הרמפות והצומת המרכזי.
- עלול לגרום לבעיות התמצאות ובלבול אצל הנהגים והולכי הרגל.
- גידול בעלויות ההקמה והתחזוקה של צומת עם רמפות ורמזורים מרובים.
- מחסור בגישה לעורק הראשי משטחים ליד הרמפה.



תרשים 10.13: צמתי Jug-handle בארצות הברית (ATTAP 2007)

Bowtie 10.2.3.7

מבנה הצומת

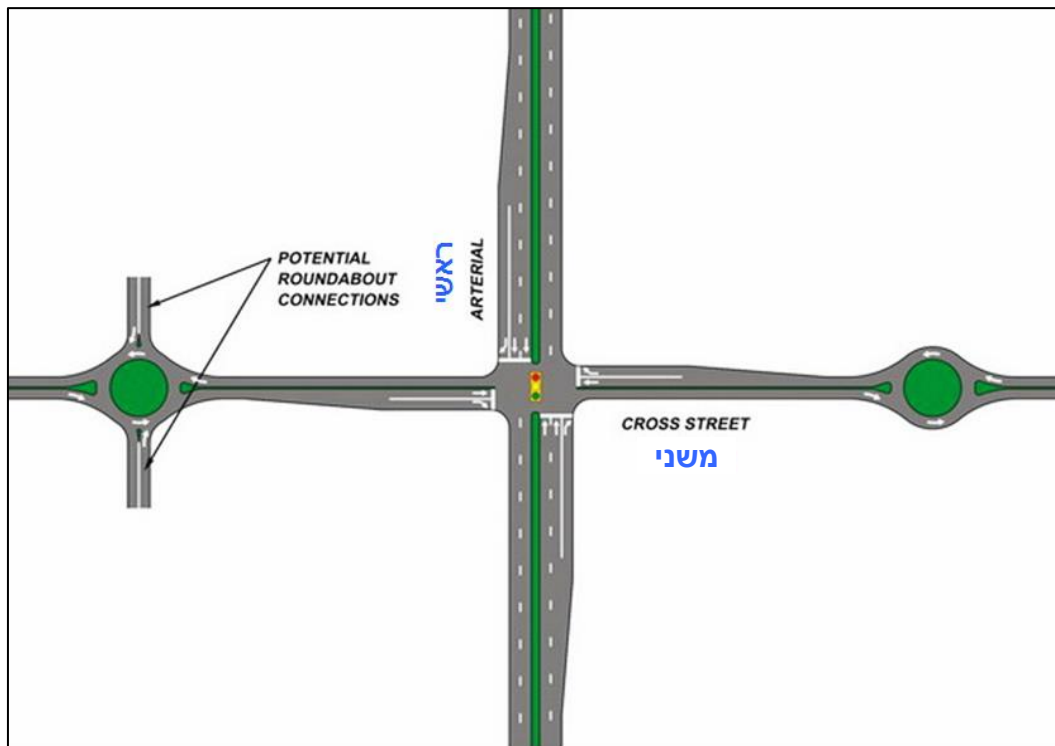
המאפיין הייחודי של צומת Bowtie הוא מעגלי התנועה משני עברי הצומת. הצומת מורכב מדרכים ראשית ומשנית שבהן מותרות פניות ישר וימינה בלבד, כמוצג בתרשים 10.14. בהמשך הדרך המשנית מוסדרים מעגלי תנועה במרחקים של עד 200 מ' מהצומת המרכזי. כלי-רכב המגיע מהדרך הראשית וברצונו לפנות שמאלה לדרך המשנית, יפנה ימינה ברמזור, יסתובב במעגל התנועה (פרסה), וברמזור של הדרך המשנית ימשיך ישר. כלי רכב המגיע מהדרך המשנית וברצונו לפנות שמאלה לדרך הראשית, ימשיך ישר ברמזור, יסתובב במעגל תנועה (פרסה), וברמזור הבא יפנה ימינה לדרך הראשית. הצומת המרכזי בתצורה זו מתופעל בשני שלבים בלבד. (בישראל פתרון כזה אפשרי, באחד או בשני הצדדים, למשל כאשר נדרש ביטול האפשרות לפניות שמאלה מהציר הראשי לצורך העדפת תח"צ).

יתרונות תצורה זו:

- הפחתת מספר השלבים ברמזור לשניים בלבד – חיסכון בזמנים לא מנוצלים לרכב והגדלת הקיבולת.
- הפחתת העיכוב בתנועות הישרות בדרך הראשית.
- סה"כ זמן הנסיעה במערכת קצר מאשר בצומת הצטלבות רגיל, למרות שמרחק הנסיעה לתנועות שמאלה גדל (פחות זמן בעצירה או האטה).
- הפחתה ופיזור של נקודות הניגוד.
- קיצור אורך החצייה להולכי הרגל.

חסרונות תצורה זו:

- גידול בעיכוב לתנועות שמאלה, במיוחד בשעות שפל.
- גידול במרחק הנסיעה של התנועות שמאלה.
- גידול במספר העצירות בצומת של התנועה שמאלה.
- הגדלת זכות הדרך בעקבות הוספת מעגלי תנועה.
- סיכון בטיחותי באי-ציות לאיסור פנייה שמאלה בצומת המרכזי.
- עלול לגרום לבעיות התמצאות ובלבול אצל הנהגים.



תרשים 10.14: צומת מסוג Bowtie (ATTAP 2007)

10.2.3.8 Quadrant Roadway (QRI)

מבנה הצומת

צומת מסוג זה נראה כצומת רגיל, עם תוספת של זרוע בין הדרך המשנית לראשית, כמוצג בתרשים 10.15. כלי הרכב הרוצים לפנות שמאלה מהדרך הראשית או המשנית, עוברים דרך החיבור הנוסף שבו מוסדרים שני צמתים בעלי 3 שלבי רמזור, כאשר הרמזור בצומת המרכזי מתופעל בשני שלבים בלבד. הסדר תנועה זה יכול להתאים לרשת של רחובות עירוניים.



תרשים 10.15: צומת מסוג Quadrant Roadway (ATTAP 2007)



תרשים 10.16: צומת Quadrant Roadway בארצות הברית (ATTAP 2007)

יתרונות תצורה זו:

- הפחתת מספר השלבים בצומת המרכזי לשניים בלבד.
- הפחתה בזמני העיכוב הכולל בצומת.
- הפחתה בזמני העיכוב של התנועות ישר בשתי הדרכים.
- הפחתה ופיזור מספר נקודות הניגוד.
- אפשרות הקטנת רוחב זכות הדרך בדרכים עצמן (ביטול פניות שמאלה בדרכים).
- קיצור אורכי החצייה לחלק מהולכי-הרגל.

חסרונות תצורה זו:

- גידול במרחק, בעיכוב ובמספר העצירות בתנועות שמאלה משתי הדרכים.
- עלול לגרום לבעיות התמצאות ובלבול אצל הנהגים והולכי הרגל.
- תוספת זכות-דרך עבור הדרך המתווספת והשטח הכלוא.
- סיכון בטיחותי באי-צייות לאיסור פנייה שמאלה בצומת המרכזי.
- חלק מהולכי-הרגל צריכים לחצות גם את הדרך המקשרת.
- נדרש תיאום מיטבי בין הרמזורים בשתי הדרכים.

10.2.4 ניתוח תנועת השוואתי

ההשוואה בין הצמתים מתבססת על מיקרו-סימולציה תנועתית, ניתוח תפעולי של הרמזורים, ובחינת מספר נקודות הניגוד כאמון להערכת הבטיחות. ההשוואה מתייחסת לרכב הפרטי בלבד, ללא התייחסות למשתמשי הדרך הרכים. להלן המסקנות העיקריות מניתוח הסימולציה:

- מבחינת זמני נסיעה כוללים במערכת, קיים פתרון טוב יותר מאשר צומת הצטלבות רגיל. לפחות אחד מסוגי הצמתים המיוחדים משיג זמן נסיעה כולל נמוך יותר.
- אחוז העצירות בצומת הצטלבות רגיל יהיה נמוך יותר, ולכן הסיכון לתאונות חזית-אחור פוחת.
- צמתי Median U-turn ו-Quadrant Roadway יוצרים בדרך-כלל את זמן הנסיעה הכולל הקצר ביותר.
- צמתי Median U-turn ו-Quadrant Roadway יוצרים בדרך-כלל את מרחקי הנסיעה הגבוהים ביותר עבור פניות שמאלה מהדרך הראשית.
- צומת מפוצל (split) משיג את זמן הנסיעה הקצר ביותר מבין הדגמים השונים בשעות השפל.
- צומת מסוג Continuous Flow משיג תמיד את היחס הטוב ביותר ביחס זמן נסיעה (לא כולל עצירה) לזמן הכולל – זמן העצירה היחסי הוא הנמוך ביותר.
- צמתי Bowtie ו-Superstreet Median משיגים תוצאות טובות יותר עבור צמתים בהם הדרך המשנית חד-מסלולית.
- צומת מסוג Double Jug-handle לא מתפקד טוב יותר מצומת הצטלבות רגיל, בהיבט של זמן הנסיעה במערכת.

טבלה 10.1 מסכמת באופן איכותי את המאפיינים השונים לכל אחד מסוגי הצמתים.

10.2.5 שיקולים להתאמה של כל צומת

לאור הניתוח ההשוואתי לעיל, ולאור ניתוחים נוספים שבוצעו, ניתן לאמוד את השיקולים התכנוניים להתאמה של כל צומת.

א. צומת מדורג

- מתאים במיוחד כאשר הנפחים לתנועות הישרות בדרך הראשית גבוהים והתנועות הישרות בדרך המשנית נמוכים, כלומר כאשר קיימם הפרש מידרג ברור בין הדרך הראשית לבין הדרך המשנית.
- דירוג שמאלי עדיף מבחינת שיקולי אחסנת תורים וסכנה לחסימת צמתים.

טבלה 10.1: השוואת מאפייני הסוגים השונים לצמתים מיוחדים

התאמה לפיתוח בשלבים	התמצאות	עליות הקמה	תוספת זכויות דרך	חולכי רגל *	תיאום בין רמזורים	חסכון בזמן				מספר פאות	סוג הצומת
						לתנועה ישירות משניות	לתנועות שמאלה מהראשי	לתנועות ראשיות ישירות	למערכת		
	+			2						4	הצטלבות "רגלי"
	+			2						3	צומת מדורג (Staggered Intersection)
++	+	-		2		--	-	+	+	3	צומת מפוצל (Split Intersection)
	--		2 משולשים 120*90 מ'	5		++	++	++	+	2	Continuous Flow (CFI)
	-		9 מ' בדרך הראשית	2	++	++	--	++	++	2	Median U-Turn (MUT)
	-		9 מ' בדרך הראשית	3	++	--	++	++	+	2	Super-Street Median (SSM)
++	-	-	2 משולשים 120*90 מ'	3		+	--	+	-	3	Double Jug-handle
	-		שני מעגלי תנועה 30-50 מ'	2		+	+	++	++	2	Bowtie
	-			4		++	--	++	++	2	Quadrante Roadways (QRI)

++ טוב מאוד; + טוב; - לא טוב; -- רע * מספר מסלולים נחצים

- דירוג ימני עדיף מבחינת תפעול הגל הירוק.
- כאשר קיים צומת הצטלבות רגיל, הפיכתו לצומת מדורג דורשת תוספת משמעותית לזכות הדרך.

ב. צומת מפוצל

- מתאים במיוחד כאשר בעתיד מתוכנן מחלף במקום הצומת.
- מתאים עבור נפחי תנועה גבוהים בתנועות ישר בדרך הראשית.
- לא מתאים כאשר נפח התנועה שמאלה מהדרך המשנית גבוה.
- נדרש תיאום מיטבי בין שני הצמתים המרומזרים בדרך המשנית.
- המתאים ביותר לנפח תנועה כולל נמוך.
- הפיכת צומת הצטלבות רגיל לצומת מפוצל דורשת תוספת משמעותית לזכויות הדרך.

ג. Crossover Displaced Left-Turn (XDL) / Continuous Flow (CFI)

- אינו מתאים לרוב מצבי התנועה, אלא במקרים מיוחדים בהם נפח התנועה שמאלה גבוה, וכאשר ההיררכיה של שתי הדרכים המצטלבות דומה.
- נדרש רוחב זכות דרך גדול מספיק למפרדות ורמפות.
- עלול לגרום לבלבול נהגים.
- קשה מאוד לחציית הולכי-רגל.

ד. Median U-Turn (MUT)

- מתאים כאשר הנפחים בתנועות ישר גבוהים ובתנועות שמאלה נמוכים.
- מתאים כאשר הנפחים בתנועות ישר בכיוון המשני גבוהים.
- מתאים כשהמפרדה בדרך המשנית רחבה מספיק על מנת להעביר את נתיב הפרסה, או כשניתן להרחיב את רוחב זכות הדרך.

ה. Super Street Median (SSM)

- מתאים כאשר הנפחים בתנועות ישר ושמאלה בדרך הראשית גבוהים.
- מתאים כאשר הנפחים בתנועות ישר ושמאלה בדרך המשנית נמוכים.
- מתאים כאשר המפרדה בדרך המשנית רחבה מספיק כדי להעביר את נתיב הפרסה, או כשניתן להרחיב את זכות הדרך.
- מאפשר ליצור תכנון גל ירוק מיטבי.

ו. Double Jug-handle

- נמצא כבלתי מתאים לרוב מצבי התנועה.
- מתאים לפיתוח מחלף עתידי.

ז. Bowtie

- מתאים כאשר נפחי התנועה ישר בדרך הראשית גבוהים, ונפחי התנועה שמאלה נמוכים.
- מתאים כאשר ניתן לבצע שני מעגלי תנועה בדרך המשנית.
- מעגלי התנועה מהווים אמצעי לריסון התנועה לפני הצומת המרומזר.
- אין צורך בתיאום רמזורים.

ח. Quadrant Roadway

- נמצא כאחד מהפתרונות המתאימים ביותר עבור רוב מצבי התנועה זמן הנסיעה הכולל במערכת.
- מתאים כאשר נפחי התנועה בתנועות הישרות גבוהים, ונפחי התנועה שמאלה נמוכים.
- מתאים כאשר רוחב זכות הדרך מוגבל, אך יש רחוב לעקיפה באחד מרבעי הצומת, ולפיכך מתאים במיוחד לאזורים עירוניים בהם יש רשת רחובות.
- נדרש תיאום מיטבי בין הרמזורים בשתי הדרכים.

10.2.6 סיכום

חלק זה מביא סדרת רעיונות תכנוניים חלופיים לצומת הצטלבות הכולל ארבעה שלבי רמזור. העיקרון המנחה צמתים כאלה הוא הורדת מספר השלבים, בדר"כ ע"י ביטול הפניות שמאלה בצומת המרכזי והעברתן לצומת נוסף בקרבתו. בכך ניתן להשיג שיפור בקיבולת הרכב המנועי בצומת.

יתרונות תפעול הצמתים המיוחדים, הבאים לידי ביטוי בירידה בזמני העיכוב ובזמן הנסיעה בצומת, אינם הגורם היחיד המשפיע על התאמתם. הניתוחים התנועתיים שבוצעו הינם עבור נפחי תנועה וגיאומטריה ספציפיים, ואינם לוקחים בחשבון את משתמשי הדרך הרכים (הולכי רגל ואופניים), התאמה לתחבורה ציבורית, שיקולים בטיחותיים, שיקולי הנדסת אנוש, שיקולים כלכליים וכיוצ"ב. לפיכך, ברור מאליו כי הם אינם מעידים על כך שתצורה מיוחדת של צומת עדיפה תמיד על צומת הצטלבות רגיל.

לתשומת לב המתכננים, כאמור, גם הדרישות הייחודיות של ישראל לצרכים של שירותי התחבורה הציבורית בסביבות הצמתים, בהתאם לשיקולי התכנון המתוארים בהרחבה בפרקים המוקדשים להסדרי תנועה לנוסעי תח"צ בכרכים של הנחיות לתכן דרכים לצמתים ולמחלפים בדרכים הבין-עירוניות של משרד התחבורה. שיקולים אלו לא נכללו בגיבוש הפתרונות בעולם לתצורות ג'-ח' בסעיף 10.2.5 לעיל.

מבחינה בטיחותית, אף על פי שבכל תצורות הצמתים המיוחדים קטן מספר נקודות הניגוד, הסדרי תנועה שאינם סטנדרטיים והגידול במספר העצירות, עלולים להרע את המצב הבטיחותי. לפיכך, על מנת להסיק מסקנות ברורות יותר, יש לבדוק האם אכן מושג שיפור בטיחותי בצמתים לאחר הקמתם.

מבחינת תכנון הרמזורים, במרבית הצמתים תכנון הרמזורים דורש תשומת לב מיוחדת. קיימת חשיבות רבה לתיאום מיטבי בין הצמתים ולמניעת בלבול בין ראשי הרמזור של הצמתים. שיקולים אלה רלוונטיים בקביעת סדר השלבים ובתיאום הנדרש בין שלבים שונים בצמתים קרובים, כדי לתפעל את הצומת באופן יעיל ובטיחותי ולמנוע חסימת המקטע שבין הצמתים.

לסיכום, בעת תכנון של צומת מרומזר, מומלץ לשקול חלופות שונות בעת התכנון המתאימות לפתרון המותאם לפרויקט. על מהנדס התנועה לקחת בחשבון מכלול של שיקולים כמו רוחב זכויות הדרך, הולכי-רגל, נגישות, בטיחות, תכנון הרמזורים, ולשים דגש על סימון ושילוט ברור על מנת להקל את זמן הסתגלות הנהג לצומת, וזאת על מנת להשיג את מרבית יתרונותיו התפעוליים.

10.3 עקרונות לתכנון צמתים מעגליים מרומזרים

10.3.1 רקע

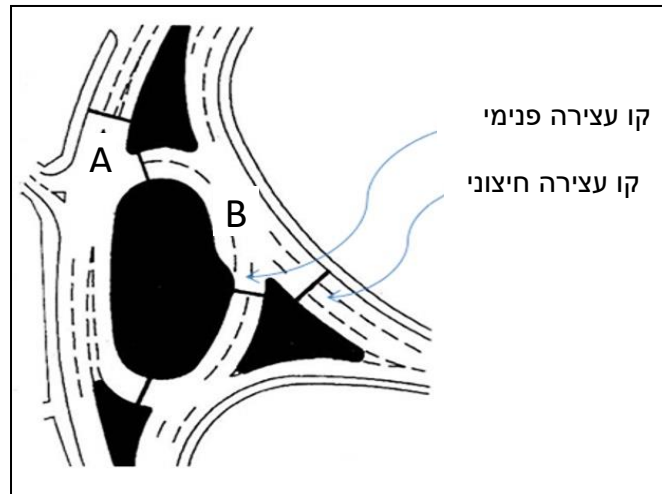
למעגלי תנועה בצמתים לא מרומזרים יתרונות רבים בהשוואה לצמתים רגילים, כגון ריסון מהירות נסיעה של כלי רכב בדרך הראשית, צמצום תאונות חזית צד, נוחות בפניות פרסה, יתרונות אורבניים ועוד. מעגל תנועה חד-נתיבי לא מרומזר מקובל ונפוץ בארץ לצמתים בעלי נפחי תנועה נמוכים או בינוניים. עבור צמתים עם נפחי תנועה גבוהים, פרט לחלופה הנפוצה של רימזור הצומת, קיימת אפשרות להסדרת מעגל תנועה רב-נתיבי. מעגל תנועה דו-נתיבי עדיין נפוץ למדי, אך מעבר לכך, כמעט שאין בישראל מעגלי תנועה רב-נתיביים לא מרומזרים. הסיבות לכך הן: חשש בטיחותי ועיכובים הנובעים מאי-ניצול מלוא הקיבולת (שימוש מועט בנתיבים השמאליים), וזאת בעיקר מהעדר הרגל. אפשרות לשיפור שני חסרונות אלה מוצעת באמצעות רימזור הזרועות. מעגלי תנועה רב-נתיביים מרומזרים נפוצים במדינות בהם מקובלים מעגלים לא מרומזרים מסוג זה, שם ציבור הנהגים רגיל להם, ואין לו קושי להתמצא בהם גם כאשר הם מרומזרים. לעומת זאת בארצנו בה ציבור הנהגים אינו רגיל לנסוע במעגלי תנועה רב-נתיביים בגלל נדירותם, עלולים חלק מהיתרונות של הסדר זה לא להתממש.

סעיף זה יעסוק בעקרונות התכנון של צמתים מעגליים מרומזרים, ובהתאמתם למצבים שונים ולתנאי מדינת ישראל. חשוב לזכור, שעם רימזור, הצומת המעגלי מפסיק להיות מעגל תנועה מבחינת הסדרי התימור וזכות הקדימה למעגל, ויש צורך לתכנן ולתמרר למקרה בו הרמזור תקול. צומת מעגלי מרומזר הוא למעשה מערכת צמתי קמץ סמוכים זה לזה הנמצאים בלולאה חד-סטריית. הייחוד הוא בכך שבצומת מעגלי מרומזר עם 4 זרועות, הצומת "החמישי" הוא למעשה הצומת הראשון, כך שבניגוד לפשטות ביצירת גל ירוק בציר חד-סטרי רגיל, אין אפשרות ליצירת גל ירוק שלם לכל, ותכנון הרימזור הוא מורכב למדי.

10.3.2 הנסיבות בהם מומלץ לשקול צומת מעגלי מרומזר

צמתים מעגליים מרומזרים מתייחסים בדרך כלל למעגלי תנועה רב-נתיביים בקוטר גדול.

על מנת להבטיח אחסון בין הצמתים לתנועות שלהן אין גל ירוק, ולא ליצור בלבול בנראות הפנסים, מוצע מרחק מזערי של 50 מטר בין קווי העצירה הפנימיים במעגל. מכאן שבמעגל עם 4 זרועות מתקבל רדיוס מזערי של כ-30 מטר.



תרשים 10.17: צומת מעגלי מרומזר (Hallworth 1992)

- במקרים הבאים קיימים יתרונות לצומת מעגלי מרומזר:
 - שימור כיכר קיימת מסיבות היסטוריות, אורבניות.
 - שיפור מצב תנועת ללא שינויים גיאומטריים דרסטיים.
 - שילוב רק"ל / תאו"מ במעגל תנועה קיים.
 - פתרון לצמתים עם שדרות רחבות.
 - פתרון לצמתים עם יותר מ-4 זרועות.
 - פתרון למעגלי תנועה עמוסים אך לא מאוזנים.
 - פתרון לצמתים עם הרבה פניות פרסה.
 - פתרון לבעיית השתזרויות.
 - פתרון למעגל תנועה כשרדיוס הנסיעה הישרה גדול מדי.
 - פתרון למחלפים מעגליים עם נפחי תנועה גבוהים ברמפות.
 - פתרון לחציית הולכי-רגל.

רימזור מעגלי תנועה עשוי לשפר בהיבטים הבאים:

קיבולת

מחסור בקיבולת באחת מכניסות המעגל נוצר מזרימה לא מאוזנת, או מזרימה רציפה ללא פערים במעגל. ויסות הזרימה באמצעות רמזורים יכולה לסייע לתפעול המעגל באופן חופשי יותר, ולהוסיף קיבולת בכניסות באמצעות הגדלת פערים במסלול הסיבוב. ניתן להגדיל קיבולת גם באמצעות שינויים גיאומטריים כגון תוספת נתיבים בכניסות, ביציאות ובמסלול הסיבוב יחד עם רימזור.

ביצועים של מעגלי תנועה גדושים יכולים להשתפר באמצעות רמזורים. רמזורים המוצבים בגישות לצומת מעגלי ובמסלול המעגלי מסדירים את זרימת התנועה, וכן מאפשרים בקרה של עדיפות למספר תנועות בצומת. רמזורים מאפשרים לשמור על זרימת התנועה המעגלית, וכן על איזון ושיפור קיבולת המעגל. צומת מעגלי מרומזר במחלף מעגלי של דרך בין-עירונית, מתמודד עם בעיית המהירות במעבר מנתיב רמפת היציאה מהדרך למסלול של הצומת המעגלי.

עיכובים

עיכובים באחת הכניסות הינם תוצאה ישירה של מחסור בקיבולת. רימזור לצורך ויסות באחת הכניסות יכול להקטין עיכובים בחלק מהכניסות, ולהגדיל עיכובים בכניסות אחרות. על ידי בקרת הרמזור, מתקבל תפעול יעיל יותר בכל נתיב בכל גישה, וצמצום העיכוב הכולל של כל גישות המעגל בזמן שהוא מתפקד ברמת רווייה.

בטיחות

במעגלי תנועה רגילים, רמת הבטיחות טובה בדרך כלל ביחס לסוגי צמתים אחרים. בצמתים מעגליים בהם מתרחשות תאונות רבות, התקנת רמזורים עשויה להפחית את מספרן. סוגי התאונות במעגלי תנועה שניתן לצמצם באמצעות הפיכתם לצומת מעגלי מרומזר הינם:

- תאונות הנגרמות משיפוט לקוי של פערים בזרם התנועה המסתובבת במעגל, על ידי נהג ברכב הנכנס למעגל.
- תאונות חזית-אחור בין כלי רכב הנכנסים למעגל (נובע מבעיה של הנהג העוקב אשר מזהה פער המאפשר כניסה, ובו בעת הוא נדרש לעקוב גם אחרי הרכב שלפניו).
- רימזור מפחית מהירות במסלול הסיבובי, ובכך משפר את הבטיחות.
- מעבר אופניים במעגל תנועה הינו קשה במיוחד ובעל פוטנציאל סיכון. רימזור מציע שיפור בבקרת רוכבי האופניים ועשוי להפחית סיכון לרוכבי רכב דו-גלגלי.

10.3.3 צומת מעגלי מרומזר בכל הזרועות

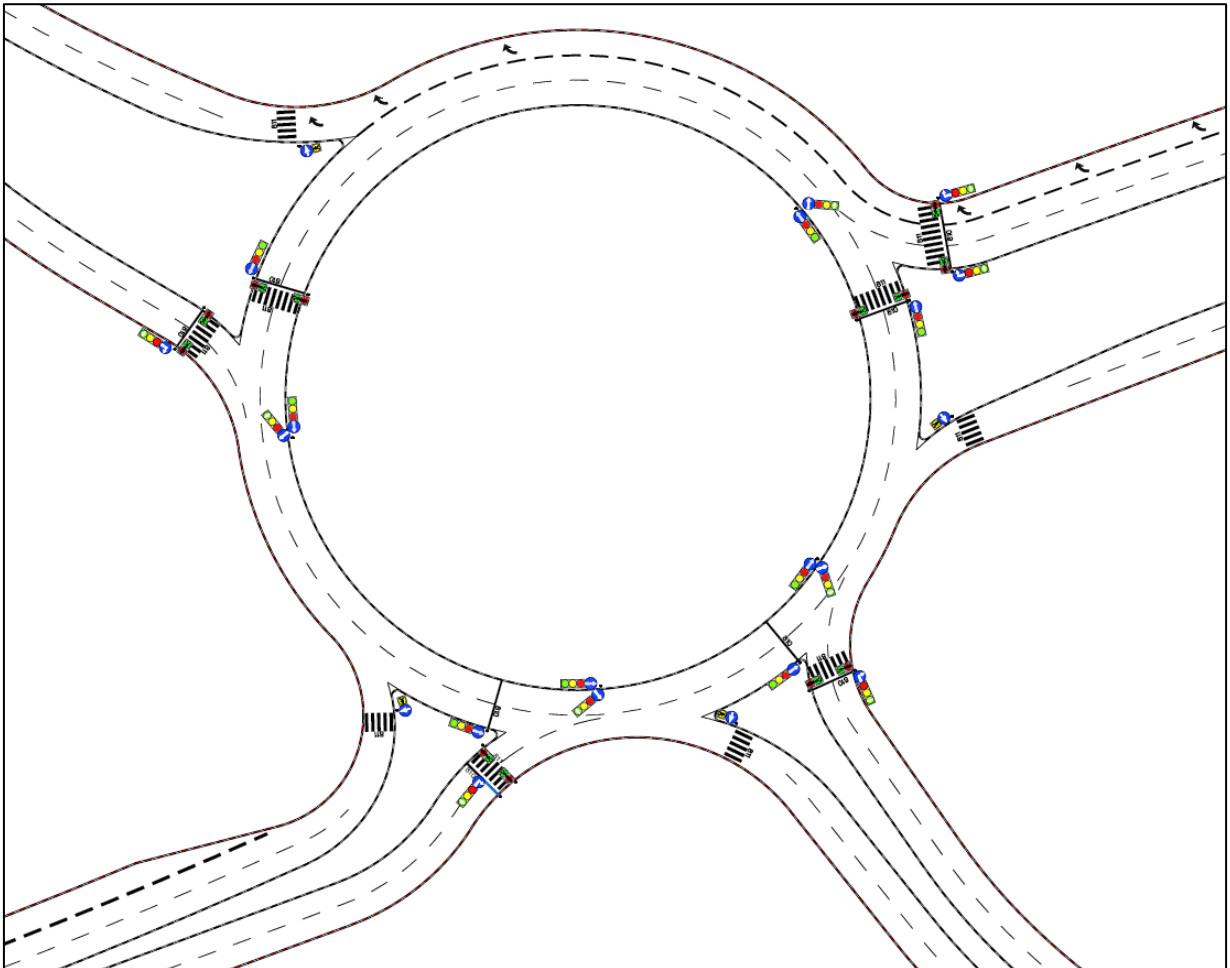
צומת מעגלי זה מורכב ממספר תת-צמתים מרומזרים במלואם, כמספר הגישות לצומת. הסדר תנועה זה יכול להתאים לקטרים גדולים של מעגל תנועה, ותפעולו דומה לצומת מפוצל מרובע (ראו סעיף 10.2.3.2). יישום ההסדר אינו מומלץ כאשר הצמתים נמצאים במרחק של פחות מ-50 מ' זה מזה, וזאת הן משיקולי אחסנה וגלישת תורים והן משיקולי בלבול בין הצמתים.

בצמתים מעגליים מרומזרים מתבצעות תנועות היפרדות והתמזגות על המסלול המעגלי. כדי לצמצם את ההפרעות לתנועה כתוצאה מתנועות אלו, יש לכוון את הנהגים בכניסה לצומת המעגלי אל הנתיב הנכון, כדי לצמצם את ההפרעות כתוצאה ממעבר נתיבים במסלול המעגלי. לכן מקובל להציב שילוט הדרכה מנחה לנתיבים בגישות לצומת המעגלי.

עקרונות תכנון הרמזורים

- כל הניגודים בין כלי-הרכב, ובינם לבין הולכי-רגל / אופניים בכניסה לצומת המעגלי ירומזרו. יוצבו ראשי רמזור לכל תת-צומת על פי המפורט בפרק 3 לעיל – הסדר הנדסי ורמזור. כאשר ביציאה מהצומת המעגלי קיים נתיב יחיד, לא נדרש רימזור הניגוד עם הולכי-רגל / אופניים. במקרה זה יש למקם ראש רמזור צהוב מהבהב עם צלמית הולך-רגל בתוכו (תמרור 707) עם תמרור הוריה 204 מעליו, בגובה ראש רמזור נמוך (2.5 מ'). ראש רמזור זה ימוקם מצד שמאל לנתיב הנסיעה ברדיוס.
- לצורך חישוב הזמנים הבין-ירוקים, הניגודים בצומת יוגדרו עבור כל תת-צומת בנפרד.
- תכנון תוכניות הזמנים של הרמזור ייעשה לכל תת-צומת על פי המפורט בפרקים 4 ו-6 לעיל.

- קיימת חשיבות רבה לתיאום מיטבי של תת-הצמתים במעגל. יש לתכנן גלים ירוקים בין הכניסות לצומת לבין הצומת הראשון אחרי הכניסה, וגם עם חלק מהצמתים השניים. בכל מקרה יש להבטיח שרכב הנכנס בירוק בגישה לצומת יחצה את קו העצירה הסמוך הראשון בצומת המעגלי. בצמתים מעגלים בינוניים וגדולים (המרחקים בין הצמתים הסמוכים עד 150 מטר), יש קשר בין אורך מחזור מיטבי לקבלת קיבולת מרבית, לבין אורך מסלול הנסיעה בצומת המעגלי. הקשר מושפע ממהירות הנסיעה.
 - את מעברי החצייה ניתן להסדיר באופן המקובל בצמתים מרומזרים, כלומר בסמוך לקו העצירה בגישה לצומת. ניתן להסדיר מעברי חצייה מרומזרים נוספים על מנת לאפשר כניסת הולכי-רגל / אופניים לתוך האי המרכזי.
- תרשים 10.18 מציג דוגמה לניתוב, סימון ולמיקום ראשי רמזור בצומת מעגלי מרומזר באופן מלא.



תרשים 10.18: צומת מעגלי רב-נתיבי מרומזר

10.3.4 רימזור של חלק מהזרועות של צומת מעגלי

כאשר קיים חוסר איזון בנפחי התנועה, ונוצר מצב שהכיוון העמוס או דווקא הכיוון דליל התנועה לא יכולים להיכנס לצומת (תלוי בסדר הזרועות ובנפחים המתנגדים), אזי ניתן לרמזר חלק מתת-הצמתים בצומת המעגלי, וכך ליצור משטר זרימה חדש שיאפשר לכל הזרועות להיכנס לצומת ללא תורים ארוכים.

הסדר תנועה זה מתאים בעיקר למעגלי תנועה עם נפחים מאוד לא מאוזנים (50% מזרוע אחת), או כאשר קיימת זרוע שבה הנפחים נמוכים במיוחד (10%). רימזור הזרוע העמוסה יצור פערים לכיוונים האחרים (לכלי רכב או להולכי-רגל), ומאפשר לבצע מספר רב של נתיבים בגישה זו. הזרוע הלא מרומזרת תוסדר עם נתיב כניסה אחד, ואין צורך לשמור על מרחק של 50 מטר בינה לבין הזרועות הסמוכות.

עקרונות תכנון הרמזורים

- ירומזרו רק הקונפליקטים הרלוונטיים לתת-צומת המרומזר. יוצבו ראשי רמזור על פי המפורט בפרק 3, הסדר הנדסי ורימזור.
- לצורך חישוב הזמנים הבין-ירוקים, הקונפליקטים בצומת יוגדרו עבור כל תת-צומת מרומזר בנפרד.
- תכנון תוכנית הזמנים של הרמזור ייעשה על פי המפורט בפרקים 4 עד 6 לעיל.

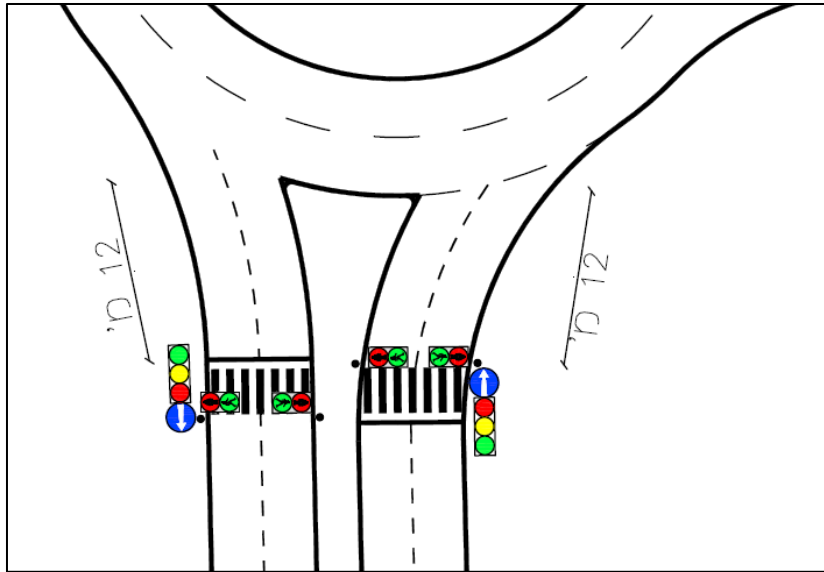
10.3.5 רימזור מעבר חצייה סמוך למעגל תנועה

ניתן לרמזר מעברי חצייה ומעברים להולכי-רגל ולאופניים סמוך למעגלים לא מרומזרים, בהתאם לנפחי תנועה ולנפחי הולכי-רגל. רימזור זה יכול להיעשות בשני מיקומים (ראו תרשים 10.19):

- בכניסה לצומת: אמצעי להשגת פערים כמו במקרה של רמזור וויסות. יש להרחיק את מעבר החצייה לפחות 12.0 מטר מהכניסה לאזור הניגוד במעגל, על מנת למנוע בלבול בין רמזור מעבר החצייה והסדר מעגל התנועה, וכן לאפשר המתנה של כלי הרכב בין מעבר החצייה לבין מעגל התנועה.
- ביציאה מהצומת: במידה שקיימת בעיית בטיחות הולכי-רגל עקב בעיות ראות או אי-מתן זכות-קדימה להולכי-רגל. במקרה זה יש להרחיק את מעבר החצייה לפחות 12 מטר מאזור הניגוד של המעגל על מנת לא לחסום את התנועה בו.

עקרונות תכנון הרמזורים

- תכנון הרמזור יהיה באופן דומה לתכנון רמזור של מעבר חצייה בקטע דרך. יוצבו ראשי רמזור לרכב ולהולכי הרגל/אופניים במעבר החצייה על פי המפורט בפרק 3 לעיל. ניתן להציב ראש רמזור יחיד לרכב ללא רמזור חוזר, בדומה לרמזור מעבר חצייה בקטע דרך.
- תוכנית הזמנים של הרמזור תתוכנן על פי המפורט בפרקים 4 עד 6 לעיל, עבור ניגוד בין רכב לבין הולך רגל במעבר החצייה.



תרשים 10.19: רימזור מעברי חצייה בסמוך למעגל תנועה

10.3.6 סיכום

בישראל קיים ניסיון מועט יחסית בתכנון ובביצוע של צמתים מעגליים מרומזרים. בין המעגלים המרומזרים שבוצעו בישראל ניתן למנות מעגלי תנועה בנצרת, באור עקיבא, במחלף וולפסון ובקרית אתא. למרות הניסיון המועט, לפתרון מסוג זה יכולים להיות יתרונות בהתאם לקווים המנחים המפורטים בפרק זה. נראה שפוטנציאל השימוש בצמתים מעגליים מרומזרים בארץ הוא בעיקר בעת מעבר רכב תצ"ם, ולפיכך פורסם בשנת 2021 מסמך "עקרונות לשילוב תחבורה ציבורית מועדפת במעגלי תנועה", בו מפורטות הנחיות נוספות לתכנון הרמזורים.

פרק 11: נהלי בדיקה של תוכניות רמזור

תוכן עניינים

11-1.....	תהליך בדיקת תוכנית רמזור	11.1
11-1.....	שלבי הבקרה התנועתית	11.2
11-1.....	בקרה על תכנון הרמזור	11.2.1
11-1.....	בקרה תנועתית של בקר הרמזור במעבדה	11.2.2
11-2.....	בקרה תנועתית של בקר הרמזור בשטח	11.2.3

פרק 11: נהלי בדיקה של תוכניות רמזור

11.1 תהליך בדיקת תוכנית רמזור

הקמת רמזור חדש או שינויים ברמזור קיים, הם תהליכים שכוללים מספר שלבים עיקריים: תכנון, הקמה (ביצוע), הפעלה ופיקוח עליון.

כל אחד משלבים אלה כולל פעולות הנדרשות לביצוע ע"י גורמים שונים: מתכנן התנועה של הרמזור, מתכנן התשתיות של הרמזור, קבלן הרמזורים וקבלן לעבודות פיזיות.

תהליך זה מלווה בתהליכי בקרה בכל אחד מהשלבים. סעיף זה מתייחס לתהליכי הבקרה התנועתיים בלבד. במקביל, קיימים תהליכי בקרה בנושאי חשמל ותשתיות רמזור, שאינם מפורטים כאן, מאחר שאינם חלק מהנחיות לתכנון רמזורים, ומפורטים במפרטים מתאימים אחרים – כלל המפרטים הנוגעים לרכיבים הטכנולוגיים השונים ברמזורים על בקרותיהם הטכניות, מתפרסמים מטעם הוועדה הבין-משרדית להתקני תנועה ובטיחות.

11.2 שלבי הבקרה התנועתית

להלן השלבים המזעריים הנדרשים של הבקרה התנועתית. ניתן לבצע שלבי בקרה נוספים לפי דרישת הפרויקט או רשות התימור.

11.2.1 בקרה על תכנון הרמזור

שלב תכנון הרמזור ילווה בבדיקת התכנון על ידי בודק שאינו מתכנן הרמזור עצמו. בהתאם להחלטת רשות תימור מקומית, ניתן למנות בקר חיצוני לבדיקת חלק מהסעיפים בלבד (לדוגמה, הסעיפים הנוגעים להיבטים בטיחותיים), ובקר איכות מטעם משרד המתכנן לשאר הסעיפים (לדוגמה, סעיפים הנוגעים להיבטים תפעוליים וטכניים). הבדיקה תכלול רשימה של מרכיבים שונים בתכנון הרמזור, כאשר בסופה מאשר הבודק את התכנון. לאחר אישור הבודק יש להעביר את התכניות לאישור רשות התימור ע"פ התקנות.

טפסי בדיקת התכנון הבאים מצורפים בהמשך פרק זה :

- טופס בדיקת תכנון לרמזור רגיל ללא העדפה לתחבורה ציבורית – טופס מס' 1.
- טופס בדיקת תכנון לרמזור העדפה לתאו"ם – טופס מס' 2.
- טופס בדיקת תכנון לרמזור העדפה לרק"ל – טופס מס' 3.

יודגש, שטפסים אלה מותאמים לבדיקת תכנון הרמזור בהתאם להנחיות אלו, על כל השינויים והחידושים שהונהגו בהם לעומת ההנחיות הקודמות.

11.2.2 בקרה תנועתית של בקר הרמזור במעבדה

קבלן הרמזור מקבל את תכנית הזמנים של הרמזור, ומטמיע אותה בבקר הרמזור. מתכנן הרמזור נדרש

לבצע בדיקה של התוכנה על בקר הרמזור. בדיקה זו כוללת בדיקת מרכיבי בטיחות בתכנית, וכן בדיקה תנועתית כי התוכנה תואמת באופן מלא לתכנון.

בקר הרמזור ייבדק במעבדה ע"פ נוהל הבדיקה הכלול ב-"מפרט כללי להצבה ואחזקה של רמזורים", פרק 6: בקר רמזור, נספח C – בדיקת בקר הרמזור במפעל היצרן / קבלן ע"י רשות תימרוור מקומית, במהדורתו העדכנית ביותר, כפי שמפורסמת באתר משרד התחבורה. הבדיקה בסעיף 14 (בדיקת בקר הרמזור ע"י מהנדס התנועה), תבוצע ע"י מתכנן הרמזור.

11.2.3 בקרה תנועתית של בקר הרמזור בשטח

בקרה זו כוללת את: בדיקת תקינות מרכיבי הרמזור בשטח (פנסי רמזור, גלאים, לחצני הולכי-רגל); בדיקת הסדרי התנועה בשטח (סימון ותימרוור); וכן בדיקת תפעול הרמזור. הבדיקה תבוצע ע"י מתכנן הרמזור, שיאשר את הפעלת הרמזור מבחינה תנועתית.

מערכת הרמזור בכללותה תיבדק בשטח, לאחר ההתקנה ולפני ההפעלה, ע"פ נוהל הבדיקה הכלול ב-"מפרט כללי להצבה ואחזקה של רמזורים", פרק 14: נוהל בדיקה להפעלת רמזור, במהדורתו העדכנית ביותר, כפי שמפורסמת באתר משרד התחבורה. הבדיקה התנועתית בסעיפים 2,3,4 הכלולה בנוהל הבדיקה, תבוצע ע"י מתכנן הרמזור.

לאחר ההפעלה, על מתכנן הרמזור לבצע פיקוח עליון על תפעול הרמזור בשעות היום השונות, וכן לספק מענה תנועתי לכיולים נדרשים ברמזור, ע"פ הצורך, בתקופה של מספר חודשים לאחר ההפעלה, ע"פ הנחיות הפרויקט.

טופס מס' 1 – בדיקת תכנון רמזור – מבנה רגיל (ללא העדפה)

שם המתכנן: _____ שם הצומת: _____ מס' הצומת: _____
 מס' תכנית הסדר הנדסי: _____ עדכון מתאריך: _____
 מס' תכנית זמנים – מבנה: _____ עדכון מתאריך: _____

הערות לבדיקה	אישור בדיקה	סוג בדיקה	
תכנית הסדר הנדסי ורימזור (קנ"מ 1:250)			
		שם הצומת	שדה כותרת
		תאריך העדכון	
		שם המתכנן	
		חץ צפון	
		ציון קנ"מ הגיליון	
		מסגרת קואורדינטות	
		תרשים סביבה	
		פרטי תכנית תנועה מאושרת	
		קיום מדידה ברקע התוכנית	הסדר הנדסי ורימזור
		שמות הרחובות בגישות	
		תכנון תנועת, גאומטריה, וקיום כלל מעברי-חצייה ותשתית אופניים	
		חלוקת נתיבים ע"פ נפחי התנועה לתכנון	
		מיקום עמודים, ראשי רמזור, פנסים, לחצנים, גלאים, התקני שמע, בקר רמזור	
		בדיקה תכנון מוצע אל מול גיאומטריה ופנסים קיימים	
		תמרורי הוריה (מכוונים) מעל פנסי הרמזור	
		בדיקת תימרון וסימונים על פני הדרך	
		קיום מספרים ושמות מופעים לפי הנחיות לתכנון, תואמים לתכנית רמזור ולמצב קיים	
		סימון גבול אישור תכנית והתחברות למצב קיים	
		טבלת גלאים ותקינות חישובים	גלאים
		התאמה בין טבלת הגלאים לשרטוט	
		תקינות שרטוט מידות הגלאים	

הערות לבדיקה	אישור בדיקה	סוג בדיקה	
תכנית זמנים			
		שם הצומת	דף שער
		שם ומס' מבנה	
		עדכונים	
		מספר צומת ברשות התימרו	
		מספר תכנית זמנים	
		צומת בודד או מתואם בגל ירוק	
		שם המתכנן	
		שרטוט הסדר הנדסי ורימזור בקנ"מ 1:500	תרשימי צומת
		בדיקת תיאום בין תכנית ההסדר הנדסי לתרשימי הצומת \ נתוני הצומת בתוכנת התכנון שמירה על מספרי מופעים קיימים (לפי הצורך)	
		פרמטרים לחישוב זמנים בין-ירוקים: מהירויות כניסה ופינוי, מהירויות הולכי-רגל ואופניים, אורך רכב לתכנון	זמנים בין-ירוקים
		בדיקת קיום כל הקונפליקטים האפשריים בצומת בחישוב הזמנים הבין-ירוקים	
		מדידת מרחקי פינוי וכניסה	
		בדיקת מטריצת בין-ירוקים לעומת מטריצה במצב קיים (בגיאומטריה זהה)	
		זמן בין-ירוקים לא יהיה קטן מ- 3 שניות	
		מרחק כניסה 0 בין כ"ר נכנס לה"ר מפנה סמוך	ירוק מזערי למופעים
		משך הירוק המזערי למופע רכב ע"פ הנחיות	
		משך הירוק המזערי לכל מופעי הולכי-רגל ואופניים ע"פ הנחיות	שלבים
		שמות השלבים	
		בדיקת הצדק למצב בו מופע שאינו בניגוד אינו כלול בשלב	תרשימי זרימה
		לוגיקת תפעול הרמזור	
		שימוש בפולסי סנכרון (לפי הצורך)	
		שמירה על חצייה רצופה של הולכי-רגל/אופניים בכל הענפים בהם קיימת דרישה (לפי הגדרות הפרויקט)	
		בדיקה עבור כל אחד מהענפים: כל מופע תנועה, הולך-רגל ואופניים שלא מקבל ירוק, נשאל ומתקבלת עבורו תשובה שלילית	
		שימוש בשלבים חלקיים וענפים מקביליים (לפי הצורך)	

הערות לבדיקה	אישור בדיקה	סוג בדיקה	
		תקינות פריסת מצבי השלד ומצבי מעבר	פריסת מצבי שלד ופריסות מינימום
		בדיקת משך ירוק מזערי למופעים במצבי השלד	
		בדיקת מיקומי נקודות החלטה (לפי הצורך)	
		ירוק משותף למופע רכב הפונה ימינה ולמופע הולך-רגל או/ו אופניים (עם מהבהב מותנה) – מופע ירוק הולך-רגל והאופניים נפתח לפחות 3 שניות לפני מופע תנועה.	
		מהבהב מותנה מתחיל ומסיים לפני ואחרי הקונפליקט, לפי ההנחיות	
		מופעים סמוכים מתחילים ומסיימים יחד או בהפרש גדול מ-1.	
		מימוש ירוק מזערי למופעים בשלב ראשי במעבר בין שלדים (מסוף שלד אחד לתחילת שלד אחר).	
		בדיקת מימוש ירוק מהבהב במופעים ע"פ הנחיות	
		תכניות הפעלה (שוטף + מצבי תפעול מיוחדים)	פריסות מקסימום
		בדיקת זמן מחזור וחלוקת זמני ירוק מתוכנן לפי ספירות תנועה, תחזיות תנועה או נפחים לתכנון	
		אורך מחזור מרבי ע"פ ההנחיות	
		בדיקת מיקומי נקודות החלטה (במידת הצורך)	
		סימון תקין של פולסים / פולסי גל ירוק	לוח זמנים להפעלה
		לפי ספירות / מצב קיים / גל ירוק	
		ניתוח רמת שירות ע"פ נפחי תנועה / תחזיות תנועה	נפחי תנועה וניתוח רמת שירות
		צרוף ספירות תנועה / תחזיות תנועה	
		לפי הנחיות הפרויקט (לפחות בענף דרישה מקסימאלי)	תפעול ידני
		בדיקת תוכנית כניסה לפעולה על פי ההנחיות	כניסה לפעולה
		הוספת טבלה לתכנית הזמנים, הזהה לטבלה המוגדרת בתכנית הסדר הנדסי	טבלת גלאים
		דף הסבר לתפעול הגל הירוק ורצועות הגל המתוכננות, ותרשים מופעי הגל בהתאם למדיניות הפרויקט	גל ירוק
		תקינות פריסות הגלים הירוקים וחישובי ההיסטים	
		רשימת פרקים מוגשת בחוברת ע"פ ההנחיות	הגשה

הערות לבדיקה	אישור בדיקה	סוג בדיקה	
		טבלת פרמטרים לפי הנחיות הפרויקט	טבלת פרמטרים
		הגדרת כל הפרמטרים הנדרשים	
		נכונות הפרמטרים בטבלה	
		תיאום בין טבלאות במבנים השונים	
<p>הערות:</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>המלצה: לאור האמור לעיל לבדיקת שערכתי, אני ממליץ על אישור תכנית הרמזור.</p>			
_____	_____	_____	
תאריך	חתימה וחותמת	שם הבודק	

טופס מס' 2 – בדיקת תכנון רמזור – מבנה העדפה לתא"ם

שם המתכנן: _____ שם הצומת: _____ מס' הצומת: _____
 מס' תכנית הסדר הנדסי: _____ עדכון מתאריך: _____
 מס' תכנית זמנים – מבנה: _____ עדכון מתאריך: _____

הערות לבדיקה	אישור בדיקה	סוג בדיקה	
תכנית הסדר הנדסי ורימזור (קנ"מ 1:250)			
		שם הצומת	שדה כותרת
		תאריך העדכון	
		שם המתכנן	
		חץ צפון	
		ציון קנ"מ הגיליון	
		מסגרת קואורדינטות	
		תרשים סביבה	
		פרטי תכנית תנועה מאושרת	
		קיום מדידה ברקע התוכנית	הסדר הנדסי ורימזור
		שמות הרחובות בגישות	
		תכנון תנועת, גאומטריה, וקיום כלל מעברי-חצייה ותשתית אופניים	
		חלוקת נתיבים ע"פ נפחי התנועה לתכנון	
		מיקום עמודים, ראשי רמזור, פנסים, לחצנים, גלאים, התקני שמע, בקר רמזור	
		בדיקה תכנון מוצע אל מול גיאומטריה ופנסים קיימים	
		תמרורי הוריה (מכוונים) מעל פנסי הרמזור	
		בדיקת תימרור וסימונים על פני הדרך	
		קיום מספרים ושמות מופעים לפי הנחיות לתכנון, תואמים לתכנית רמזור ולמצב קיים	גלאים
		סימון גבול אישור תכנית והתחברות למצב קיים	
		טבלת גלאים ותקינות חישובים	
		התאמה בין טבלת הגלאים לשרטוט	תכנית זמנים
		תקינות שרטוט מידות הגלאים	
		שם הצומת	דף שער
		שם ומס' מבנה	
		עדכונים	
		מספר צומת ברשות התימרור	
		מספר תכנית זמנים	
		צומת בודד או מתואם בגל ירוק	
		שם המתכנן	

הערות לבדיקה	אישור בדיקה	סוג בדיקה	
		הסבר מילולי לעקרונות ההעדפה המתוכננים	עקרונות העדפה
		שרטוט הסדר הנדסי ורימזור בקנ"מ 1:500	תרשימי צומת
		בדיקת תיאום בין תכנית ההסדר הנדסי לתרשים הצומת \ נתוני הצומת בתוכנת התכנון שמירה על מספרי מופעים קיימים (לפי הצורך)	
		תרשים הצומת בתוכנת התכנון – תאימות התרשים למבנה רגיל (במידה וקיימים מספר מבנים לתפעול באותו הסדר)	זמנים בין-ירוקים
		פרמטרים לחישוב זמנים בין-ירוקים: מהירויות כניסה ופינוי, מהירויות הולכי-רגל ואופניים, אורך רכב לתכנון	
		בדיקת קיום במטריצה של כל הקונפליקטים האפשריים בצומת	ירוק למופעים
		מדידת מרחקי פינוי וכניסה	
		בדיקת מטריצה לעומת מטריצה במצב קיים (בגיאומטריה זהה)	
		זמן בין-ירוקים לא יהיה קטן מ- 3 שניות	
		מרחק כניסה 0 בין כ"ר נכנס לה"ר מפנה סמוך	ירוק למופעים
		בדיקת תאימות למטריצה של מבנה רגיל (במידה וקיימים מספר מבנים לתפעול באותו הסדר)	
		משך הירוק המזערי למופע רכב מנועי ע"פ הנחיות	שלבים
		משך הירוק המזערי לכל מופעי הולכי-רגל ואופניים ע"פ הנחיות	
		תאימות משכי ירוק מזערי של מופעים למבנה רגיל, במידה שקיים בצומת מבנה נוסף	תרשים זרימה
		שמות השלבים, כולל תאימות בין המבנים	
		בדיקת הצדק למצב בו מופע שאינו בניגוד, אינו כולל בשלב	פריסת מצבי שלד מינימום
		לוגיקת תפעול הרמזור כולל העדפה שימוש בפולסי סינכרון (לפי הצורך)	
		שמירה על חצייה רצופה של הולכי-רגל/אופניים בכל הענפים בהם קיימת דרישה (לפי הגדרות הפרויקט)	פריסת מצבי שלד מינימום
		בדיקה עבור כל אחד מהענפים: כל מופע תנועה והולך-רגל שלא מקבל ירוק, נשאל ומתקבלת עבורו תשובה שלילית.	
		שימוש בשלבים חלקיים וענפים מקביליים (לפי הצורך)	פריסת מצבי שלד מינימום
		תקינות פריסת ענפי השלד ומצבי מעבר	
		בדיקת משך ירוק מזערי למופעים במצבי השלד	
		בדיקת מיקומי נקודות החלטה (לפי הצורך)	
		ירוק משותף למופע כ"ר הפונה ימינה עם מופע הולך-רגל או/ו אופניים צולב (עם מהבהב מותנה) – מופע ירוק הולך-רגל והאופניים נפתח לפחות 3 שניות לפני מופע תנועה.	

הערות לבדיקה	אישור בדיקה	סוג בדיקה	
		מהבהב מותנה מתחיל ומסיים לפני ואחרי הקונפליקט לפי ההנחיות	פריסת מצבי שלד ופריסות מינימום
		מופעים סמוכים מתחילים ומסיימים יחד או בהפרש גדול מ-1.	
		מימוש משך ירוק מזערי למופעים בשלב ראשי במעבר בין שלדים (מסוף שלד אחד לתחילת שלד אחר)	
		בדיקת מימוש ירוק מהבהב במופעים ע"פ הנחיות	פריסות מקסימום
		תכניות הפעלה (שוטף + מצבי תפעול מיוחדים)	
		בדיקת זמן מחזור וחלוקת זמני ירוק מתוכנן לפי ספירות תנועה, תחזיות תנועה או נפחים לתכנון אורך מחזור מרבי ע"פ ההנחיות	
		בדיקת מיקומי נקודות החלטה (במידת הצורך) סימון תקין של פולסים / פולסי גל ירוק	
		יש לוודא כי אין כפילות במספרי תכניות בין מבנים שונים, במידה שקיימים מספר מבנים בצומת.	תכנון מפורט העדפה – לוגיקה ותרשימים
		תאימות התכנון המפורט למסמך העקרונות או לשיטת התכנון בפרויקט	
		שימוש בספריית פונקציות ע"פ הנחיות הפרויקט (פיצוי, העדפה לכיוון וכו')	
		תקינות הגדרת הלוגיקה לכל מצבי המעבר לתכנון העדפה	
		שימוש בירוק מקדים למופע תצ"מ (לפי הצורך)	
		התייחסות לאופן תפעול עם גלאי העדפה תקולים	
		זמן המתנה מרבי להולך-רגל ע"פ ההנחיות	
		בדיקת כל התרחישים הנדרשים לתכנון העדפה, הן לצורך בדיקת הלוגיקה והתפעול, והן לצורך בדיקת אחוזי מתן העדפה.	לוח זמנים להפעלה
		לפי ספירות / מצב קיים / גל ירוק	
		ניתוח רמת שירות ע"פ נפחי תנועה / תחזיות תנועה / נפחי תנועה לתכנון	נפחי תנועה וניתוח רמת שירות
		צרוף ספירות תנועה / תחזיות תנועה	
		לפי הנחיות הפרויקט (לכל הפחות בענף דרישה מקסימאלי)	תפעול ידני
		בדיקת תוכנית כניסה לפעולה על פי ההנחיות	כניסה לפעולה
		הוספת טבלה לתכנית הזמנים הזזה לטבלה המוגדרת בתכנית הסדר הנדסי	טבלת גלאים רגילים
		שמות הגלאים ע"פ ההנחיות לתכנון	גלאי ההעדפה
		נכונות חישוב מיקום גלאי ההעדפה (חישובי מיקום בזמן / במרחב) ביחס לתכנית הרמזור	

הערות לבדיקה	אישור בדיקה	סוג בדיקה	
		תרשים מיקומי גלאי ההעדפה ושיוכם למנגנונים פסיים ע"פ הנחיות הפרויקט.	
		דף הסבר לתפעול הגל הירוק ורצועות הגל המתוכננות, ותרשים מופעי הגל בהתאם למדיניות הפרויקט	גל ירוק
		תקינות פריסות הגלים הירוקים וחישובי ההיסטים	
		תפעול גל ירוק במצבי ההעדפה השונים	הגשה
		רשימת פרקים מוגשת בחוברת ע"פ הנחיות הפרויקט	
		טבלת פרמטרים לפי הנחיות הפרויקט	טבלת פרמטרים
		הגדרת כל הפרמטרים הנדרשים	
		נכונות הפרמטרים בטבלה	
		תיאום בין טבלאות המבנים השונים	
הערות:			
<hr/> <hr/> <hr/>			
המלצה: לאור האמור לעיל לבדיקת שערכתי, אני ממליץ על אישור תכנית הרמזור.			
_____	_____	_____	
תאריך	חתימה וחותמת	שם הבודק	

טופס מס' 3 – בדיקת תכנון רמזור – מבנה העדפה לרק"ל

שם המתכנן: _____ שם הצומת: _____ מס' הצומת: _____
 מס' תכנית הסדר הנדסי: _____ עדכון מתאריך: _____
 מס' תכנית זמנים – מבנה: _____ עדכון מתאריך: _____

הערות לבדיקה	אישור בדיקה	סוג בדיקה	
תכנית הסדר הנדסי ורימזור (קנ"מ 1:250)			
		שם הצומת	שדה כותרת
		תאריך העדכון	
		שם המתכנן	
		חץ צפון	
		ציון קנ"מ הגיליון	
		מסגרת קואורדינטות	
		תרשים סביבה	
		פרטי תכנית תנועה מאושרת	הסדר הנדסי ורימזור
		קיום מדידה ברקע התוכנית	
		שמות הרחובות בגישות	
		תכנון תנועת, גאומטריה, וקיום כלל מעברי-חצייה ותשתית אופניים	
		חלוקת נתיבים ע"פ נפחי התנועה לתכנון	
		מיקום עמודים, ראשי רמזור, פנסים, לחצנים, גלאים, התקני שמע, בקר רמזור	
		בדיקה תכנון מוצע אל מול גאומטריה ופנסים קיימים	
		תמרורי הוריה (מכוונים) מעל פנסי הרמזור	גלאים
		בדיקת תימרור וסימונים על פני הדרך	
		קיום מספרים ושמות מופעים לפי הנחיות לתכנון, תואמים לתכנית רמזור ולמצב קיים	
		סימון גבול אישור תכנית והתחברות למצב קיים	
		טבלת גלאים ותקינות חישובים	תכנית זמנים
		התאמה בין טבלת הגלאים לשרטוט	
		תקינות שרטוט מידות הגלאים	
תכנית זמנים			
		שם הצומת	דף שער
		שם ומס' מבנה	
		עדכונים	
		מספר צומת ברשות התימרור	
		מספר תכנית זמנים	
		צומת בודד או מתואם בגל ירוק	
		שם המתכנן	

הערות לבדיקה	אישור בדיקה	סוג בדיקה	
		שרטוט הסדר הנדסי ורימזור בקנ"מ 1:500	תרשימי צומת
		בדיקת תיאום בין תכנית ההסדר הנדסי לתרשים הצומת / נתוני הצומת בתוכנת התכנון	
		שמירה על מספרי מופעים קיימים (לפי הצורך)	זמנים בין- ירוקים
		פרמטרים לחישוב בין-ירוקים: מהירויות כניסה ופינוי, מהירויות הולכי-רגל ואופניים, אורך רכב לתכנון, מהירויות רק"ל לפי פרופיל המהירות, אורך רק"ל	
		בדיקת קיום במטריצה של כל הקונפליקטים האפשריים בצומת	
		מדידת מרחקי פינוי וכניסה.	
		זמן בין-ירוקים לא יהיה קטן מ-3 שניות	משך ירוק מזערי
		מרחק כניסה 0 בין כ"ר נכנס לה"ר מפנה סמוך משך הירוק המזערי למופע רכב מנועי ע"פ הנחיות	
		משך הירוק המזערי למופעי הולכי-רגל ואופניים ע"פ הנחיות	שלבים
		שמות השלבים	
		בדיקת הצדק למצב בו מופע שאינו בניגוד אינו כלול בשלב	תרשימי זרימה
		לוגיקת תפעול הרמזור כולל העדפה שימוש בפולסי סינכרון (לפי הצורך)	
		שמירה על חצייה רצופה של הולכי-רגל/אופניים בכל הענפים בהם קיימת דרישה (לפי הגדרות הפרויקט)	פריסת מצבי שלד ופריסות מינימום
		בדיקה עבור כל אחד מהענפים: כל מופע תנועה והולך-רגל שלא מקבל ירוק, נשאל ומתקבלת עבורו תשובה שלילית.	
		שימוש בשלבים חלקיים וענפים מקביליים (לפי הצורך)	
		בדיקת מצבי מעבר	
		בדיקת משכי ירוק מזערי למופעים	
		בדיקת עמידה בזמנים בין-ירוקים	
		ירוק משותף למופע כ"ר הפונה ימינה עם מופע הולך-רגל או/ו אופניים צולב (עם מהבהב מותנה) - מופע ירוק הולך-רגל והאופניים נפתח לפחות 3 שניות לפני מופע תנועה.	
		מהבהב מותנה מתחיל ומסיים לפני ואחרי הקונפליקט לפי ההנחיות	
		מופעים סמוכים מתחילים ומסיימים יחד או בהפרש גדול מ-1.	
		מימוש ירוק מזערי למופעים בשלב ראשי במעבר בין שלדים (מסוף שלד אחד לתחילת שלד אחר) (למעט במצב של 2 שלבים ראשיים מתחלפים).	
		בדיקת מימוש ירוק מהבהב במופעים ע"פ הנחיות.	
		סגירת מופעי רכבת בנקודת ההחלטה (בשניה 0 של מצב המעבר)	
		בדיקת מופע מקדים לרק"ל לפי הנחיות	
הערות לבדיקה	אישור בדיקה	סוג בדיקה	

		תכניות הפעלה (שוטף + מצבי תפעול מיוחדים)	
פריסות מקסימום		בדיקת זמן מחזור וחלוקת זמני ירוק מתוכנן לפי ספירות תנועה, תחזיות תנועה או נפחים לתכנון אורך מחזור מרבי ע"פ ההנחיות	
תכנון העדפה מפורט – לוגיקה		שימוש בפונקציות לקסיקון תקינות הגדרת הלוגיקה לכל מצבי המעבר תאימות התכנון המפורט למדיניות שיטת התכנון בפרויקט שימוש בירוק מקדים למופע רק"ל (לפי הצורך) לוגיקת מעבר לתכנית מיוחדת בעת תקלות גלאים / תקלות SIT / איחור גלאים	
תרחישים		בדיקת כל התרחישים הנדרשים לתכנון העדפה, הן לצורך בדיקת הלוגיקה והתפעול, והן לצורך בדיקת אחוזי ההעדפה בהתאם להנחיות הפרויקט התייחסות לאופן תפעול עם גלאי העדפה תקולים זמן המתנה מרבי של הולך-רגל ע"פ ההנחיות בדיקת תרחישי בטיחות	
לוח זמנים להפעלה		לפי נפחי תנועה לתכנון / גל ירוק / הנחיות הפרויקט	
תפעול ידני		לפי הנחיות הפרויקט	
כניסה לפעולה		בדיקת תוכנית כניסה לפעולה על פי ההנחיות	
גלאי ההעדפה		שמות הגלאים ע"פ ההנחיות לתכנון נכונות חישוב מיקום גלאי ההעדפה (חישובי מיקום בזמן / במרחב) ביחס לתכנית הרמזור	
גל ירוק		דף הסבר לתפעול הגל הירוק ורצועות הגל המתוכננות, ותרשים מופעי הגל בהתאם למדיניות הפרויקט תקינות פריסות הגלים הירוקים וחישובי ההיסטים תפעול גל ירוק במצבי ההעדפה השונים	
הגשה		רשימת פרקים מוגשת בחוברת ע"פ הנחיות הפרויקט טבלת פרמטרים לפי הנחיות הפרויקט	
טבלת פרמטרים		הגדרת כל הפרמטרים הנדרשים נכונות הפרמטרים בטבלה	

הערות:

המלצה: לאור האמור לעיל לבדיקת שערכתי, אני ממליץ על אישור תכנית הרמזור.

תאריך

חתימה וחותמת

שם הבודק

נספח: שינויים נדרשים בהנחיות הכפופים לעדכון לוח התמרורים והתקנות וההנחיות להצבת תמרורים

תוכן עניינים

1. כללי.....נ-1
2. מופע רכב – ביטול אות אדום וצהוב יחד.....נ-1
3. מופע הולך רגל – הוספת אדום מהבהב בסיום האות הירוק.....נ-1
4. מופע תצ"ם – ביטול אות לבן מלבני אופקי ולבן עגול יחד.....נ-3
5. תמרור + 439 צהוב מהבהב – התראה מוקדמת בהתקרבות לרמזור.....נ-3
6. רמזור שני פנסים למופע רכב (תמרורים 730,731).....נ-4
 - 6.1. סוג ראש הרמזור.....נ-4
 - 6.2. סדר ומשך האותות.....נ-5
 - 6.3. זמנים בין-ירוקים.....נ-5
 - 6.4. תוכנית כניסה לפעולה.....נ-5
 - 6.5. יישומים לרמזור שני פנסים במעגלי תנועה.....נ-6

נספח: שינויים נדרשים בהנחיות הכפופים לעדכון לוח התמרורים והתקנות וההנחיות להצבת תמרורים

נ.1 כללי

נספח זה מציג שינויים נדרשים בהנחיות, אשר אושרו בוועדות ההיגוי של מת"ח, אך מחייבים עדכונים בלוח התמרורים ובתקנות ובהנחיות להצבת תמרורים (תקו"ה), עדכונים אשר טרם הושלמו במועד פרסום ההנחיות, ולכן אינם בעלי תוקף חוקי. עם השלמת עדכון לוח התמרורים והתקו"ה, והסדרת התוקף החוקי, יפרסם המפע"ת הארצי הודעה על עדכון תחולת ההנחיות ועל אופן יישום העדכונים המוצגים בנספח זה.

נ.2 מופע רכב – ביטול אות אדום וצהוב יחד

האות האדום וצהוב יחד (תמרור 702) לפני פתיחת האות הירוק בראש רמזור למופע רכב מבוטל בהנחיות אלה בכפוף לעדכון לוח התמרורים, ההנחיות והתקנות להצבת תמרורים, עדכון מפרט פנסי הרמזור ומפרט בקר הרמזור.

א. סדר אותות:

אדום ← ירוק ← [ירוק מהבהב] ← צהוב

ב. משך האותות:

- אות אדום מזערי: 3 שניות.
- אות ירוק מזערי: ראו טבלה 4.1 בפרק 4.
- אות ירוק מהבהב (אם קיים): 3 שניות.
- אות צהוב: 3 שניות.

נ.3 מופע הולך רגל – הוספת אדום מהבהב בסיום האות הירוק

יתווסף אות אדום מהבהב בסיום הירוק למופע הולך רגל בכפוף לעדכון לוח התמרורים, ההנחיות והתקנות להצבת תמרורים, עדכון מפרט פנסי הרמזור ומפרט בקר הרמזור.

א. סדר אותות:

אדום ← ירוק ← אדום מהבהב

ב. משך האותות:

- אות אדום מזערי: 3 שניות.
- אות ירוק מזערי: ראו טבלה 4.1 בפרק 4.
- אות אדום מהבהב: במהלך הפינול של מעבר החצייה (ראה הסבר בהמשך)

ג. אדום מהבהב

אות אדום מהבהב יופעל במהלך הפינוי של מעבר החצייה, עם סיום הירוק במופע, על מנת להתריע בפני הולכי-הרגל על הצורך בפינוי מיידי של מעבר החצייה. אות אדום מהבהב אינו נכלל במשך האדום המזערי.

משך הפינוי של מעבר החצייה יחושב על ידי חלוקת אורך מעבר החצייה במהירות החצייה. משך ההבהוב האדום יהיה משך הפינוי מעוגל כלפי מטה, אך לא יותר מ-6 שניות, כמתואר בנוסחה הבאה:

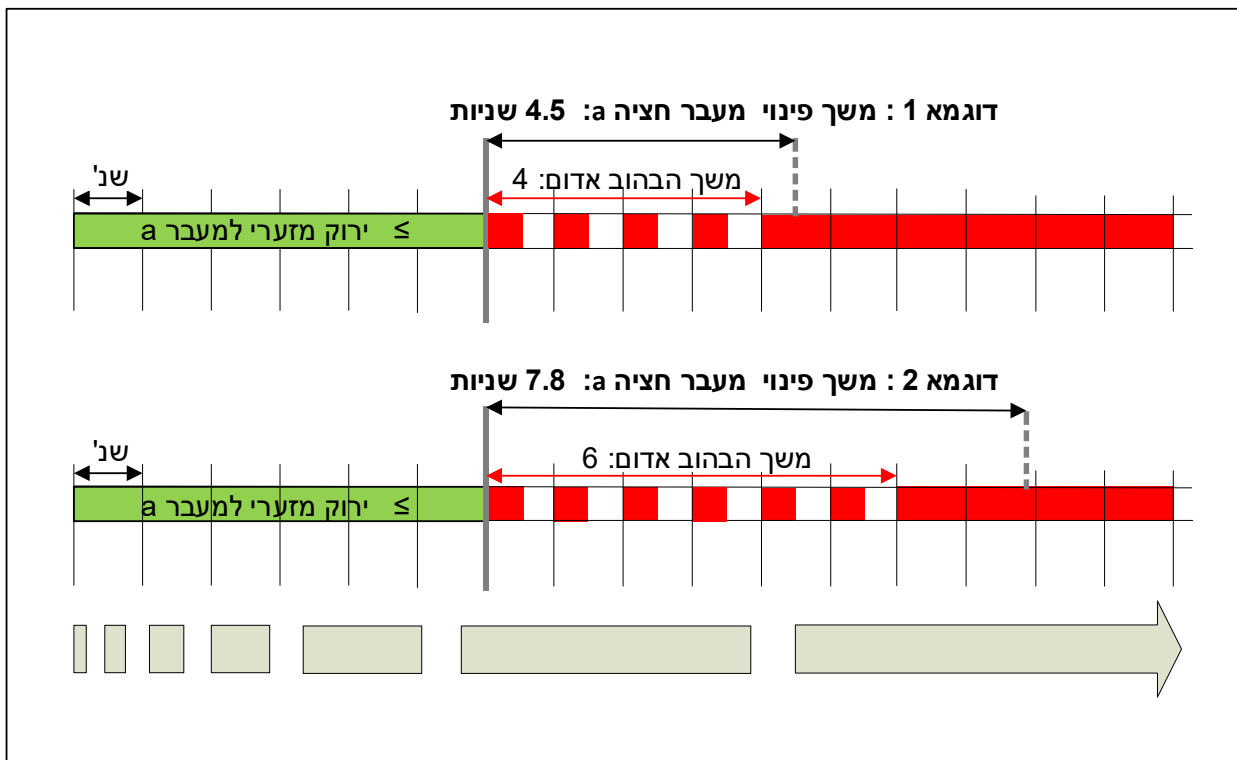
$$\text{משך הבהוב אדום (שנ')} = \text{Min} [\text{Round_Down} (L_{\text{ped}} / V_{\text{ped}}), 6]$$

כאשר:

L_{ped} – אורך מעבר החצייה (מ')

V_{ped} – מהירות החצייה (מ'/שנ')

תרשים נ.1 מציג דוגמאות לחישוב משך ההבהוב האדום במקרים של משכי פינוי שונים של מעבר החצייה.

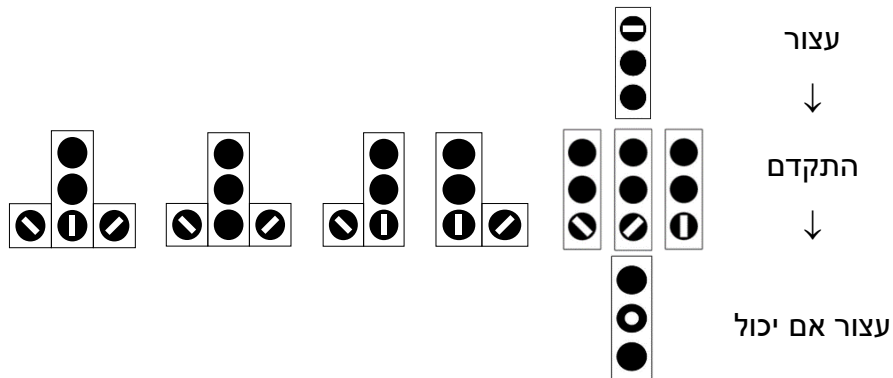


תרשים נ.1: דוגמאות להבהוב אדום לה"ר בהתאם למשך פינוי מעבר חצייה

4.נ מופע תצ"ם – ביטול אות לבן מלבני אופקי ולבן עגול יחד

האות הלבן מלבני אופקי ולבן עגול יחד (תמרור 709) בראש רמזור למופע תצ"ם מבוטל בהנחיות אלה בכפוף לעדכון לוח התמרורים, ההנחיות והתקנות להצבת תמרורים, עדכון מפרט פנסי הרמזור ומפרט בקר הרמזור.

א. סדר אותות:



ב. משך האותות:

אות עצור מזערי: 3 שניות.

אות התקדם מזערי לרק"ל: ראו טבלה 4.1 בפרק 4.

אות התקדם מזערי לתאו"ם: בדומה למופע רכב בטבלה 4.1 בפרק 4.

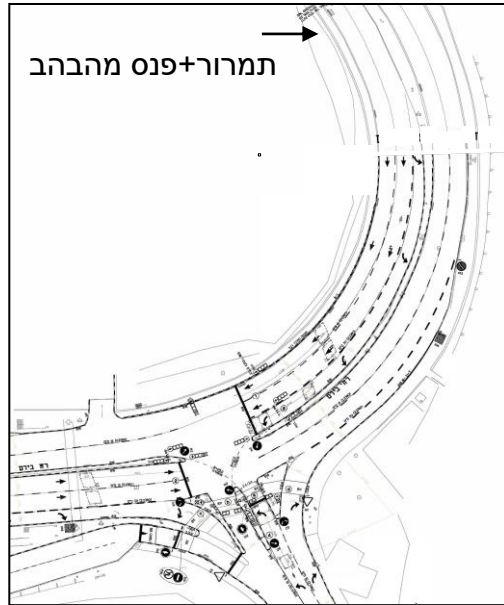
אות עצור אם יכול: 3 שניות.

5.נ תמרור 439 + צהוב מהבהב – התראה מוקדמת בהתקרבות לרמזור

מיקום פנסי הרמזור בצומת יהיה כזה שנראותם תאפשר עצירה בטוחה כאשר הרמזור אדום. עם זאת, עלולים להיות מקרים מיוחדים בהם טווח הנראות של רמזור מכיוון מסוים הינו קצר במיוחד (לדוגמה, עקב עקום אופקי חד).

במקרים כאלה, ובמידה שלא נמצא פתרון אחר, ניתן לשקול הצבת תמרור 439 (מסר מילולי) ופנס צהוב מהבהב, אשר יתריעו בהתקרבות לצומת במקרה שהרמזור אדום או צהוב. התמרור יוצב לפני העקום במיקום שבו פנסי הרמזור עדיין לא נראים. ההבהוב הצהוב ימשך כל עוד כלי-רכב בכיוון הרלוונטי צפויים להגיע לקו העצירה כשהרמזור אדום או צהוב. בשאר הזמן, המהבהב יהיה כבוי. לצורך התפעול, יוגדר מופע צהוב מהבהב מותנה לרכב שיוטמע בתוכנית הרמזור (בכל הענפים הרלוונטיים) כחלק מהתכנון. מועד תחילת ההבהוב וסיומו יוגדרו בעזרת פרמטרים מתאימים.

דוגמה למיקום הצבת תמרור ופנס מהבהב מוצגת בתרשים 2.נ:

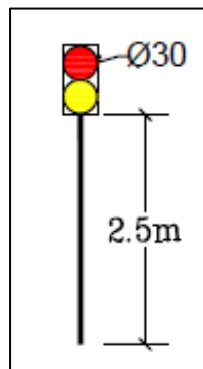


תרשים נ.2: מיקום התראה מוקדמת בהתקרבות לצומת

6.1.1 רמזור שני פנסים למופע רכב (תמרורים 731,730)

6.1.1.1 סוג ראש הרמזור

ראש רמזור שני פנסים למופע רכב כולל מערכת של שני פנסים בקוטר 30 ס"מ, בצבעים אדום וצהוב / צהוב מהבהב, ללא ירוק. משמעות האות הצהוב המהבהב הינה כי יש להתנהל לפי לוח התמרורים על מנת למנוע בלבול שעלול להיווצר במידה והיה מוצג ירוק. ראש רמזור זה יוצב בגובה תחתית של 2.50 מ', כמוצג בתרשים נ.3. השימוש בראש רמזור זה כפוף לעדכון לוח התמרורים, ההנחיות והתקנות להצבת תמרורים, עדכון מפרט פנסי הרמזור ומפרט בקר הרמזור.



תרשים נ.3: ראש רמזור שני פנסים לרכב וגובה הצבתו

6.2. סדר ומשך האותות

א. סדר אותות:

אדום ← צהוב מהבהב ← צהוב

ב. משך האותות:

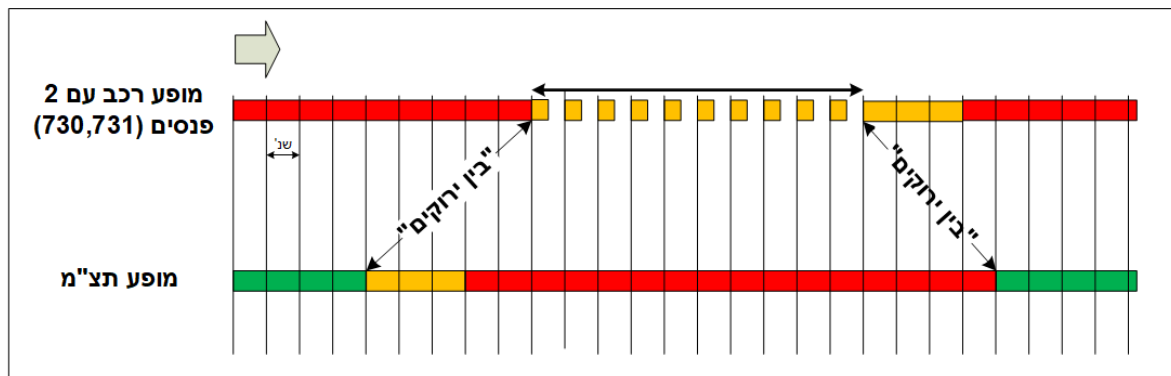
אות אדום מזערי: 3 שניות.

אות צהוב מהבהב מזערי: 6 שניות, בדומה לאות ירוק מזערי למופע רכב.

אות צהוב: 3 שניות.

6.3. זמנים בין-ירוקים

במקרים מיוחדים בהם מיושם מופע רכב באמצעות ראש רמזור עם שני פנסים, כאשר הוא נמצא בניגוד עם מופע אחר, יש לחשב את זמן "הבין-ירוקים" בהתחשב בכך שההבהוב הצהוב במופע הראשון שקול לאות הירוק. מאחר וזמן זה אינו כלול במטריצת הבין-ירוקים, יש להבטיח את יישומו באמצעות הגדרתו במצבי המעבר. תרשים נ.4 מציג דוגמה לזמן "הבין-ירוקים" שבין מופע רכב עם 2 פנסים, לבין מופע תצ"ם עם 3 פנסים.



תרשים נ.4: "בין-ירוקים" במקרה של מופע רכב עם 2 פנסים

6.4. תוכנית כניסה לפעולה

כניסה לפעולה של רמזור מופע רכב עם שני פנסים תהיה בדומה לרמזור רגיל, כך שהמופע עם שני הפנסים יחשב למופע ראשי וההתייחסות לצהוב מהבהב תהיה כמו לירוק (ראה פירוט במפרט כללי להצבה ואחזקה של רמזורים, פרק 6 – בקר הרמזור, סעיף 6.4.3).

6.5. נ. יישומים לרמזור שני פנסים במעגלי תנועה

6.5.1. נ. רימזור זרוע אחת לפני הגישה למעגל תנועה

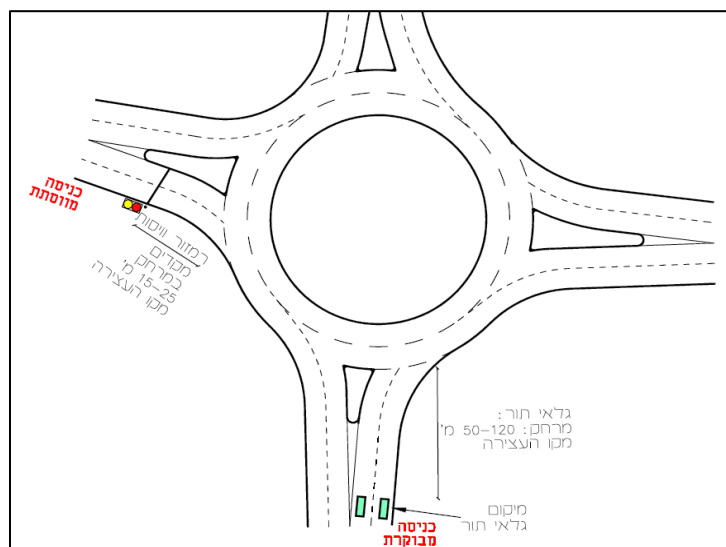
כאשר יש מצבים של העדר איזון בנפחים בשעות שיא, ניתן להתקין רמזור ויסות מסוג רמזור שני פנסים למופע רכב, לפני אחת הגישות למעגל, על מנת ליצור את הפערים הנדרשים להתמזגות במעגל התנועה. מעגל התנועה עצמו אינו מרומזר.

מעגל תנועה עם רמזור ויסות באחת הגישות מכיל את היסודות הבאים (תרשים נ.5):

- זרוע הכניסה המווסתת, בה מותקן רמזור הוויסות במרחק 15-25 מטר מצומת הכניסה למעגל.
- זרוע הכניסה המבוקרת, בה מותקנים גלאי תור על כל אחד מהנתיבים במרחק 50-120 מטר מהצומת.

עקרונות תכנון הרמזורים

- רמזור הוויסות יוצב לפני מעגל התנועה במרחק מקובל של 15-25 מ' מקו העצירה של מעגל התנועה. יוצב ראש רמזור נמוך שני פנסים בסמוך לקו העצירה מצד ימין. האות האדום משמש לעצירת כלי הרכב בגישה למעגל התנועה, והאות הצהוב המהבהב משמש למעבר כלי הרכב לפי חוקי התנועה במעגל תנועה. ניתן להציב ראש רמזור יחיד לרכב ללא רמזור חוזר, בדומה לרמזור בקטע דרך.
- יותקנו גלאי תור בכל אחד מהנתיבים בזרוע המבוקרת לזיהוי תור המחייב ויסות התנועה במטרה להקל על הכניסה למעגל מזרוע זו. משך הזמן לזיהוי תור עקב עמידת רכב על גלאי התור רצוף יוגדר על ידי המתכנן, האות הצהוב המהבהב יהיה פתוח ברמזור הוויסות כל עוד לא מזוהה תור מהגלאי הממוקם בזרוע המבוקרת.
- תוכנית הזמנים תכלול שני שלבים, שלב בו יש צהוב מהבהב ברמזור הוויסות, ושלב בו יש אדום ברמזור הוויסות. המעבר בין השלבים יהיה על פי מידע המתקבל מגלאי התור.



תרשים נ.5: וויסות תנועה בחלק מהזרועות במעגל תנועה (מבוסס על: Ackelik 2005)

נ.6.5.2 שילוב תחבורה ציבורית במעגלי תנועה מרומזרים

שימוש מקובל לרמזור שני פנסים למופע רכב הינו במעגלי תנועה הנחצים ע"י רכב תצ"ם. ההנחיות מבוססות על מסמך "עקרונות לשילוב תחבורה ציבורית מועדפת במעגלי תנועה" אשר פורסם ע"י משרד התחבורה בשנת 2021. המסמך בוחן 6 שיטות שונות להעדפת תחבורה ציבורית במעבר של מעגלי תנועה, יתרונות וחסרונות של כל שיטה, התאמתה למצבי תנועה שונים, לסוג התח"צ, מיקום הנת"צ/מת"צ, הצורך ושיטות הרימזור.

בארבע מהשיטות הנסקרות במסמך (שיטות 2 עד 5) נדרש רמזור כמפורט להלן:

- שיטה 2 – רימזור מקדים בזרוע – מתן העדפה לרכב תצ"ם בזרוע באמצעות רמזור לפני הכניסה למעגל התנועה.
- שיטה 3 – מעבר המת"צ מהאמצע לצד – הוצאת רכב התצ"ם מתחום מעגל התנועה ע"י מעבר רכב התצ"ם בעזרת הרמזור ממרכז הדרך הצידה.
- שיטה 4 – רמזור מעגל תנועה (נת"צ שמאלי או מת"צ). רכב תצ"ם מקבל עדיפות ע"י רמזור הכניסה.
- שיטה 5 – חציית האי המרכזי במעגל התנועה – נת"צ שמאלי הופך למת"צ מרכזי ומקבל עדיפות ע"י רמזור וחוצה את האי המרכזי של מעגל התנועה.

נ.7. תרשים 7 מציג את ארבע השיטות בהן נדרש תכנון רמזורים לצורך מעבר תחבורה ציבורית במעגל התנועה. בשתיים משיטות אלה נדרש שימוש ברמזור שני פנסים.

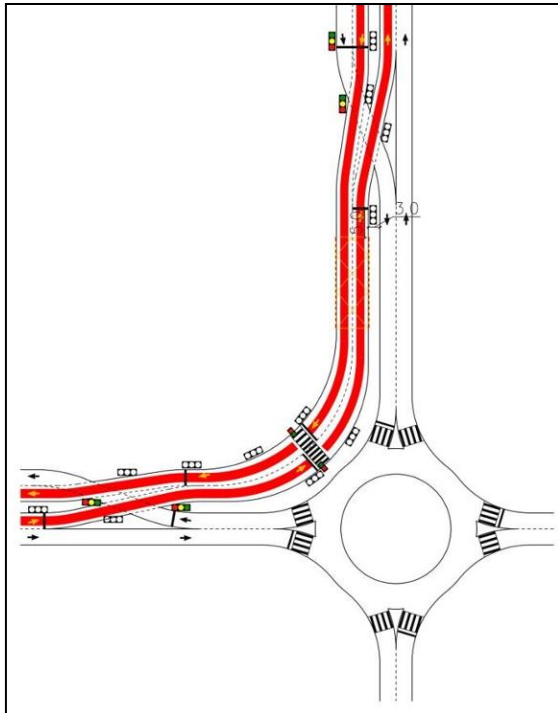
עקרונות תכנון הרמזורים

עקרונות הרימזור, לרבות מיקום ראשי הרמזור ועקרונות תכנון תוכנית הזמנים של הרמזורים עבור כל אחת מהשיטות השונות, מפורטים בסעיף 6.4 למסמך "עקרונות לשילוב תחבורה ציבורית מועדפת במעגלי תנועה" (משרד התחבורה, 2021).

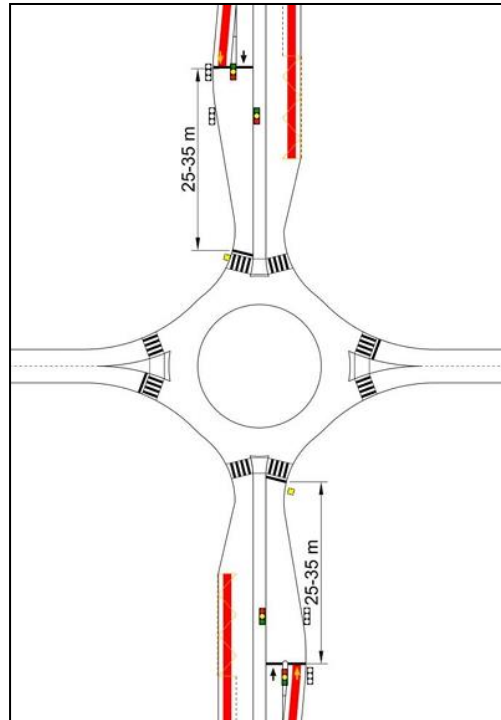
כאמור, בשיטות 4 ו-5 קיים שימוש בראש רמזור הכולל שני פנסים בלבד – אדום וצהוב מהבהב לתנועת הרכב. האות האדום משמש לעצירת כלי הרכב, והאות הצהוב מהבהב למעבר התנועה הכללית לפי חוקי התנועה במעגל תנועה.



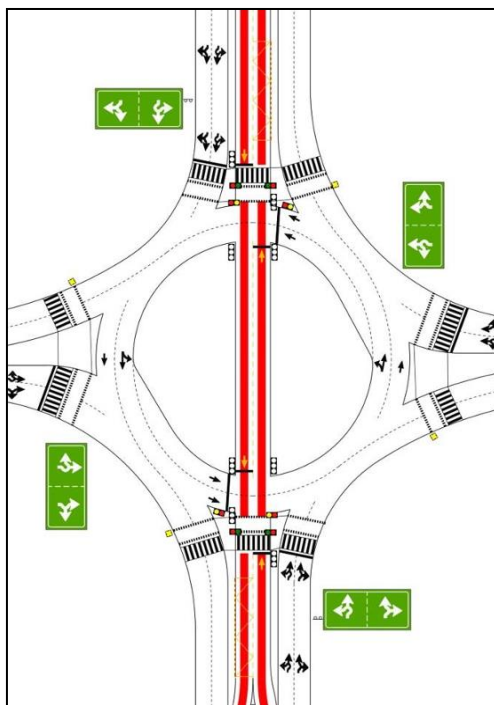
תרשים נ.6: רמזור חציית המטרונית במעגל תנועה ביאליק/התעלה, קריית אתא



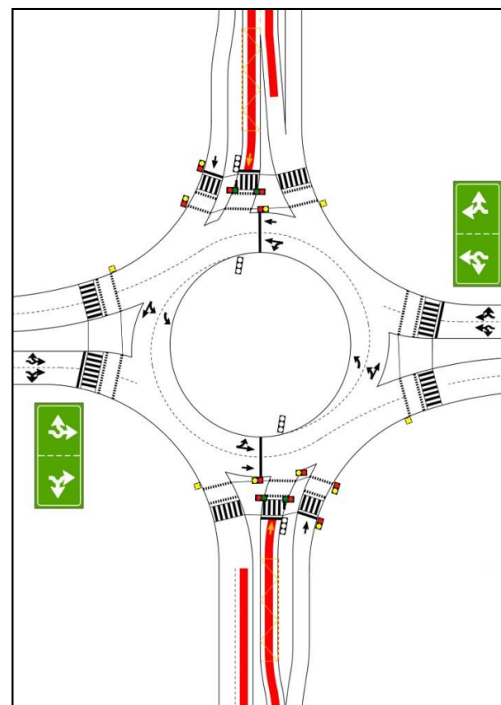
שיטה 3 – מעבר מת"צ מהאמצע לצד



שיטה 2 – רמזור מקדים בזרוע



שיטה 5 – חציית האי המרכזי



שיטה 4 – רימזור מעגל התנועה

תרשים 7: שיטות לשילוב העדפה לתחבורה ציבורית במעגלי תנועה באמצעות רמזורים (מקור: עקרונות לשילוב תחבורה ציבורית מועדפת במעגלי תנועה, מת"ח 2021)

רשימת מקורות

אשד ניהול והנדסה - מנהלת לתכנון תחבורתי (2024), **מדריך לתכנון תשתיות רכיבה במרקמים קיימים – טיוטה**

בלשה, ד. (1974), **רמזורים**, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל, הפקולטה להנדסה אזרחית, חיפה.

בלשה ד. (1976), **הנדסת תעבורה: עקרונות ותכן** – פרק 2: צמתים מרומזרים, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל, מכלול, חיפה.

בלשה ד., גיטלמן ו., כרמל ר., הנדל ל., פיסחוב פ. (2009), **פתרונות תשתית לשיפור בטיחותם של הולכי-הרגל בתנאי הארץ**, דו"ח מחקר S/2/2009, מרכז הן נאור לחקר הבטיחות בדרכים, טכניון.

בלשה ת. (2019), **בחינת תאונות דרכים בצמתים מרומזרים מדורגים בדרכים לא-עירוניות**, הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים.

בר ליאור (2011), **ניתוח תאונות דרכים בעיקבות התקנת רמזורים שבאחריות החברה הלאומית לדרכים בישראל, שנים 2003-2010**. החברה הלאומית לדרכים.

גיטלמן ו., דובא א., הקרט ש. (2008), **פיתוח מערכת לניהול הבטיחות בדרכים**, דו"ח מחקר, המכון לחקר התחבורה, הטכניון.

גיטלמן ו., הקרט ש., פיסחוב פ. (2009), **הערכת יעילות בטיחותית של שיפורי תשתית שיושמו בדרכים הלא עירוניות**, דו"ח מחקר 320/2009, המכון לחקר התחבורה, הטכניון.

גיטלמן ו., פיסחוב פ., הנדל ל., כרמל ר., בלשה ד. (2010), **התנהגות הולכי-רגל במעברי חצייה: סקר תצפיות ארצי 2008**, דו"ח מחקר מס' S/10/2009, מרכז הן נאור לחקר הבטיחות בדרכים, הטכניון.

זיידל ד. (1989), **התועלת הבטיחותית בהגברת היראות של רמזורים באמצעות זרועות "שוט"**, דו"ח מחקר 136-89, המכון לחקר התחבורה, הטכניון.

מהלאל ד. (1989), **יסודות הנדסת תעבורה**, המכון לחקר התחבורה, הטכניון, ומשטרת ישראל, מחלקת התנועה.

מהלאל, ד. אדרי, ס. (2011), **היבטי בטיחות ותנועה של האות הצהוב-אדום ברמזורים**.

מהלאל, ד., הקרט, ש. (1975), **בדיקת ההשפעה של רימזור והתקנת הבהוב ירוק על מספר התאונות עם נפגעים בצמתים**.

מהלאל, ד., זיידל, ד., קליין, ט. (1984), **תהליך קבלת החלטות של נהג בהתקרבות לצומת מרומזר**. דו"ח מחקר 84-53. הטכניון. המכון לחקר התחבורה. המרכז לבטיחות בדרכים.

מע"צ – החברה הלאומית לדרכים (2007), **שימוש בגלאים ובטכנולוגיות לצרכי ניטור תנועה בקטעי דרך ובצמתים מרומזרים**, דו"ח מסכם, הוכן ע"י אמי מתום מהנדסים ויועצים בע"מ.

- משרד התחבורה (1981), הנחיות לתכנון רמזורים.
- משרד התחבורה (1986), הנחיות לשילוב גלאים ברמזורים.
- משרד התחבורה (1986), הנחיות לתכנון ותפעולים רמזורים מיטלטלים.
- משרד התחבורה (1986), הנחיות לשילוב גלאים ברמזורים.
- משרד התחבורה (1987), פיצול צמתים מרומזרים.
- משרד התחבורה (1998), הנחיות לתכנון נתיבים לתחבורה ציבורית.
- משרד התחבורה (2001), הנחיות לתכנון לולאות לרכב דל-מתכת ברמזורים.
- משרד התחבורה, אגף תכנון תחבורתי (2002), פיתוח שיטה, הנחיות וכלים ממוחשבים למחקר אפקטיביות של שיפורים בטיחותיים בתשתית, הוכן על-ידי טי.אנ.אמ בע"מ.
- משרד התחבורה, אגף תכנון תחבורתי ואגף כלכלה ותכנון (2003), בדיקת כדאיות כלכלית לרימזור צמתים, הוכן על-ידי המכון הישראלי לתכנון ומחקר תחבורה ותוכנה בתנועה בע"מ.
- משרד התחבורה (2003), עקרונות לתכנון רכבת עירונית ושילובה בהסדרי התנועה.
- משרד התחבורה (2005), HCM 2000 מתורגם ומותאם לתנאי ישראל.
- משרד התחבורה (2006), הנחיות לתכנון מעברי חציה עתירי ביקוש.
- משרד התחבורה (2006), הנחיות לתכנון מפגשי מסילת ברזל.
- משרד התחבורה ומשרד האוצר (2006), נוהל פר"ת - נוהל לבדיקת כדאיות כלכלית של פרויקטים תחבורתיים, חלק 2, פרק 6 "בטיחות".
- משרד התחבורה והבטיחות בדרכים, (2008), כללים מנחים לשילוב מערכות להסעת המונים ברמזורים.
- משרד התחבורה והבטיחות בדרכים (2009), הצדקים להצבת רמזור – עדכון פרק 2.4 בהנחיות להצבת רמזורים.
- משרד התחבורה והבטיחות בדרכים (2013), הנחיות לתכנון מערכות בקרת נתיבים לדרכים בישראל.
- משרד התחבורה והבטיחות בדרכים (2014), הנחיות לתכנון רחובות בערים – עצמים וצמחייה.
- משרד התחבורה והבטיחות בדרכים, (2015), מפרט כללי להצבה ואחזקה של רמזורים: סעיף 3.2, מערכת הפנסים, עדכון המבוסס על התקן האירופי: EN 12368:2006.
- משרד התחבורה והבטיחות בדרכים, (2018), הנחיות לתכנון נתיבים לתעבורת אוטובוסים מהירה (תאו"ם – BRT).
- משרד התחבורה והבטיחות בדרכים (2020), הנחיות לתכנון רחובות בערים – מרחב הרחוב.
- משרד התחבורה והבטיחות בדרכים (2020), הנחיות לתכנון רחובות בערים – תנועת הולכי-רגל.

- משרד התחבורה והבטיחות בדרכים (2020), הנחיות לתכנון רחובות בערים – תנועת אופניים.
- משרד התחבורה והבטיחות בדרכים (2020), הנחיות לתכנון רחובות בערים – ספר הצמתים.
- משרד התחבורה והבטיחות בדרכים (2021), עקרונות לשילוב תחבורה ציבורית מועדפת במעגלי תנועה.
- משרד התחבורה והבטיחות בדרכים (2022), לוח התמרורים ותקנות והנחיות להצבת תמרורים (תקו"ה).
- משרד התחבורה והבטיחות בדרכים (2022), מערכת ענבר מדריך למשתמש, גרסה 16.05.22.
- משרד התחבורה ונתיבי ישראל (2023), הנחיות לתכנון צמתים בדרכים בין-עירוניות.
- צמח מ. שלמה י. (2008), בחינת השפעה של אמצעי התראה טכנולוגים על הופעת רכבת על התנהגות נהגים נוכח מחסום במפגש כביש מסילה, דוח מחקר עבור רכבת ישראל.
- קליין, ט., זיידל, ד., מהלאל, ד. (1983), השפעת הבהוב ירוק על החלטות עצירה ומעבר בגישה לצומת מרומזר. המרכז לבטיחות בדרכים, הטכניון, חיפה.
- שויער, ג. (1978), דפוסי תאונות בצמתים עירוניים מרומזרים בהתייחס להתקנת הבהוב ירוק. המרכז לבטיחות בדרכים, הטכניון, חיפה.
- Arizona DOT Traffic Signal Design (2014), Technical Design Manual #5, Chandler, Arizona, 2014
- Austrroads (2006), **Guide to Traffic Engineering Practice – Traffic Signals**, Part 7.
- Austrroads (2009), **Guide to traffic management. Part 9: Traffic operations**.
- Austrroads (2010), **Road Safety Engineering Risk Assessment**, Part 6: Crash Reduction Factors, Austrroads Ltd.
- Baguley C.J. (1988), **“Running the Red” at Signals on High-Speed Roads**, Traffic Engineering and Control, Vol. 29, 7/8, pp 415-420.
- Bar Gera H. (2007), **Evaluation of Cellular Phone Based System for Measurements of Traffic Speeds and Travel Times: A Case Study from Israel**, TR-C 15/6, pp. 380-391.
- British Columbia. Canada. (2007). **Guidelines on the Use of Portable Traffic Signals (PTS)**. Technical Circular T-04/07.
- Brüde, U. and Larsson, J. (1988), **Traffic safety effects of LHOVRA signals: Analysis and Results**. (trafiksakerhetseffekt av LHOVRA-signaler: Analysmetoder och Resultat), VTI Meddelande, 57.

CAL. DOT. Technical Committee Recommendations (2006), "**Proposed New Section 4C.10 Warrant 9, Intersection Near Highway-Rail Grade Crossing.**

Connecticut Department of Transportation (2009), **Traffic Control Signal Design Manual.**

CROW nl. (2022), **Handboek_Verkeerslichtenregelingen.** (הנחיות לתכנון רמזורים, הולנדית)

Day C.M., Premachandra H., Brennan T.M, Sturdevant J.R., Bullock D.M. (2010), **Operational Evaluation of Wireless Magnetometer Vehicle Detectors at Signalized Intersection.**

Department for Transport (2001), **Puffin Pedastrian Crossings**, Traffic Advisory Leaflet, London.

Department for Transport (2003), **Equestrian Crossings: Good Practice Guide**, Traffic Advisory Leaflet, London.

Department for Transport (2006), **Puffin Crossings**, Traffic Advisory Leaflet, London.

Department of Civil and Environmental Engineering University of Utah Traffic Lab (2004), **Evaluation of UDOT'S Video Detection Systems.**

Directorate of Traffic Operations (2007), **Design Standards for Signals Schemes in London.**

Dharmaraju, R., Noyce, D.A., & Lehman, J. (2001), **An Evaluation of Technologies for Automated Detection and Classification of Pedestrians and Bicycles**, in: Compendium of Technical Papers, the 71st ITE Annual Meeting, Chicago, IL.

Emergency Vehicle Preemption (EVP) (2009), from site: <http://www.dot.state.mn.us>,

Elvik R., Borger-Mysen A. and Vaa T. (1997), **Trafikksikkerhekshandbok** (Traffic Safety Handbook), Institute of Transport Economics, Oslo, Norway.

Elvik R. & Vaa T. (2004), **The Handbook of Road Safety Measures**, Elsevier.

Elvik R., Høy A., Vaa T. and Sørensen M. (2009), **The Handbook of Road Safety Measures**, 2nd Ed., Emerald Group Publishing Ltd.

FHWA-HRT-04-091: Principal Investigator: L. A. Rodegerdts (2004), Turner-Fairbank Highway Research Center (TFHRC) **Signalized Intersections: Informational Guide**, Kittelson & Associates, Inc.

FHWA – Federal Highway Administration (2006), **Traffic Detector Handbook**, Vol. I, 3rd Ed., FHWA-HRT-06-108.

FHWA – Federal Highway Administration (2007), **A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies used in Intelligent Transportation Systems**, Vehicle Detection Clearinghouse (VDC).

FHWA – Federal Highway Administration (2008), **Traffic Signal Timing Manual**.

FHWA – Federal Highway Administration (2023), **MUTCD – Manual on Uniform Traffic Control Devices**.

Garber N.J. and Hoel L.A. (1988), **Traffic and Highway Engineering**, Department of Civil Engineering, University of Virginia, West Publishing Company.

Georgia Department of Transportation (2003), **Traffic Signal Design Guidelines**.

German Road and Transportation Research Association (2015), **Guidelines for Traffic Signals – RiLSA – Traffic Lights for Road Traffic**, Edition 2015, Translation 2021, Germany.

Hallenbeck M. and Weinbatt H. (2004), **Equipment for Collecting Traffic Load Data**, NCHRP 509. 7.

Hakkert A.S., and Mahalel D. (1978), **The Effect of Signalization of Intersections on Road Safety with Special Reference to the Introduction of a Blinking Green Phase**, Traffic Engineering and Control, Vol. 19, pp. 212-215.

Haoui A., Kavalier R., P. Varaiya P. (2008), **Wireless Magnetic Sensors for Traffic Surveillance**, Transportation Research C Vol. 16, Issue 3, June 2008, pp. 294–306.

Hautala, R., Oinas, J. & Kulmala, R. (1996), **Korkealuokkaisten Väylien Liikennevalojen Turvallisuus** (Traffic Safety at Signal Controlled Junctions on High Speed Roads in Finland), The Finnish National Road Administration, Tielaitoksen selvityksiä 67.

Hummel T. (2001), **Intersection Planning in Safer Transportation Network Planning: Safety Principles, Planning Framework and Library Information**, D-2001-13, Leidschendam 2001, SWOV, Institute for Road Safety Research, The Netherlands.

ITE (2008), **Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections**, 3rd Edition.

Jerusalem Transportation Master Plan (2020), **GRS – Global Regulation Strategy for Jerusalem LRT Project**.

Klein L.A. (2001), **Sensor Technologies and Data Requirements for ITS**, Artech House, Norwood, MA.

Koonce P., Rodegerdts L., Lee K., Quayle S., Beaird S., Braud C., Bonneson J., Tarnoff P., Urbanik T. (2008), **Traffic Signal Timing**, FHWA Report: FHWO-HOP-08-024, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.

London Development Agency (2009), **Economic Impact of Traffic Signals**.

Mahalel, D. and Zaidel, D. M. (1985), **Safety Evaluation of a Flashing-Green Light in a Traffic Signal**, Traffic Engineering and Control, 26(2), 79-81.

Maxwell, A. York, I, (2005), **Review of the Red to Green Sequence at Traffic Signals**. From the European Transport Conference 2005.

McShane W.R. and Roess R.P. (1990), **Traffic Engineering**, Polytechnic University, Prentice Hall Polytechnic Series in Traffic Engineering.

MUTCD California (2014), **Part 4 – Highway Traffic Signals**.

NACTO (2012), **Urban Bikeway Design Guide**.

NACTO (2023), **Designing for Small Things with Wheels**.

NCHRP 617 (2008), **Accident Modification Factors for Traffic Engineering and ITS Improvements**, National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 617, Transportation Research Board, Washington, D.C.

Narrigan T.R., Chase M.J., Herr J.R. and Doherty T. (2007), **The Successful Deployment of a Transit Signal Priority System**, Summer Avenue, Springfield, Massachusetts.

Noyce D. (1999), **Human Factors Considerations in the Selection of a Uniform Protected/ Permitted Left-Turn Signal Display**, Wisconsin Traffic Operations and Safety (TOPS) Laboratory, <http://digital.library.wisc.edu/1793/54657>.

Ontario Ministry of Transportation (2021), **Cycling – Safety measures; Bicycle Trails – Design and Construction**.

Ontario Traffic Manual (2007), **Book 12 – Traffic Signals**.

Ontario Traffic Manual (2018). **Book 12A – Bicycle Traffic Signals**.

Ontario Traffic Manual (2021). **Book 18 – Cycling Facilities**.

Oregon Department of Transport (2007), **Traffic Signal Design Manual**.

Persaud B., Hauer E., Retting R., Vallurupalli R., Mucsi K. (1997), **Crash Reductions Related to Traffic Signal Removal in Philadelphia**, Accidents Analysis and Prevention 29(6), 803-810.

Pima County Department of Transportation (2008), **Traffic Signal Design Manual**.

Pline J.L. (1992), **Traffic Engineering Handbook**, Institute of Transportation Engineers, Part 9, Roy L. Wilshire, P.E. Traffic Signals, 4th Ed., Prentice Hall.

Polanis S.F. (2002), **Right Angle Crashes and Late-Night/Early-Morning Flashing Operation: 19 Case Studies**, ITE Journal, April 2002.

Roess R.P., Prassas E.S., McShane W.R. (2004), **Traffic Engineering**. Third Edition.

RTA – Road & Traffic Authority (2009), **Traffic Signal Design Guidelines**, NSW Australia.

Scottish Development Department (1973), **Criteria for Traffic Light Signals at Junctions**.

Suzuki, N. (2006), **Traffic Analyzer – The Integrated Video Image Processing System for Traffic Flow Analysis**; ITS World Congress, London, 10/2006.

Rouen, France – Brief: TEAR Optically Guided Bus (2003), in: TCRP Report 90, Vol. 1, BRT Case Studies.

Texas Transportation Institute (2008), **Guidelines for Conducting a Traffic Signal Warrant Analysis**, Texas D.O.T, March 2008.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2022), **Highway Capacity Manual 7th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis**, Washington, DC: The National Academies Press.

Transport for London (2006), **Bus Priority at Traffic Signals Keeps London's Buses Moving**.

Transport for London (2014), **Design and Installation of Low Level Cycle Signals**, Document reference: SQA-0651.

TRB (2000), **Highway Capacity Manual**, Chapter 16: Signalized Intersections.

TRL U.K. (1993), **Simplified Saturation Flow Data Collection Methods**.

TRL U.K. (2015), **Low Level Cycle Signals used as repeaters of the main traffic signals. Track trial report**. PUBLISHED PROJECT REPORT PPR732.

U.K. Highway Agency, **Design Manual for Roads and Bridges**, Vol. 8, Section 1: TD 24/97.

U.K. Highway Agency, **Design Manual for Roads and Bridges**, Vol. 6, Section 2: TD 50/04.

U.K. Highway Agency, **Design Manual for Roads and Bridges**, Vol. 8, Section 1: TA 84/01.

U.K. Highway Agency, **Design Manual for Roads and Bridges**, Vol. 8, Section 1: TA 82/99.

Utah Department of Transportation Research and Development Division (2003), **Detector Technology Evaluation**.

Vengular S., Koonce P., Urbanik II T. (1998), **PASSER TM III-98. Application and User's Guide**, Texas Transportation Institute, Texas A&M University System, College Station, Texas, USA.

Wang Y., Hallenbeck M., Zheng J., Zhang G., Ma X. and Corey J. (2008), **Comprehensive Evaluation of Transit Signal Priority System Impacts Using Field Observed Traffic Data**.

Webster F.V. and Ellson P.B. (1965), **Traffic Signals for High-Speed Roads**, Road Research Technical Paper No. 74, Road Research Laboratory, Crowthorne.

מקורות לפרק 10

Akcelik R. (2005), **Capacity and Performance Analysis of Roundabout Metering Signals**, Paper Presented at the TRB National Roundabout Conference, Vail, Colorado, USA.

Akçelik R. (2011) **Roundabout Metering Signals: Capacity, Performance and Timing**. 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service Stockholm, Sweden June 28 – July 1, 2011. Procedia Social and Behavioral Sciences 16 (2011) p. 686–696.

Bared J.G. and Kaiser E.I. (2000), **Benefits of Split Intersection**, Transportation Research Record 1737, Paper No. 00-1666.

Benjamin T. and Waldman P.E. (2007), **Eliminating Left-Turns at a Signalized Intersection with the Use of Nearby Roundabouts**, LSC Transportation Consultants, Inc.

Bernetti G., Dall'Acqua M. and Longo M. (2003), **Unsignalized vs. Signalized Roundabouts under Critical Traffic Conditions: A Quantitative Comparison**, Association for European Transport, Proceedings of the European Transport Conference (ETC) 8-10.10.2003, Strasbourg, France.

Department for Transport London TSO (2009), **Signal Controlled Roundabouts, Local Transport Note**, 1/09.

FHWA – Federal Highway Administration (2007), **Traffic Performance of Three Typical Designs of New Jersey Jughandle Intersection**, U.S. Department of Transportation.

Hughes W., Jagannathan R., Sengupta D. and Hummer J. (2010), **Alternative Intersections/ Interchanges: Informational Report (AIIR) FHWA-HRT-09-060**, US DOT, Federal Highway Administration.

Hallworth M. S. (1992), **Signaling Roundabouts 1, Circular Arguments**, Traffic Engineering and Control, Vol. 33, No. 6, June 1992.

Inman V.W. (2009), **Evaluation of Signs and Markings for Partial Continuous Flow Intersection**, Transportation Research Record 2138, TRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 66-74.

Inman V.W. and Davis G.W. (2007), **Synthesis of Literature Relevant to Roundabout Signalization to Provide Pedestrian Access, Final Report**, U.S. Department of

Transportation, Federal Highway Administration, <http://www.access-board.gov/guidelines-and-standards/streets-sidewalks/public-rights-of-way/guidance-and-research/synthesis-of-literature-on-roundabout-signalization>

Jagannathan R. and Bared J.G. (2004), **Design and Operational Performance of Crossover Displaced Left-Turn Intersection**, Transportation Research Record 1881, TRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 1-10.

Mahalel D., Craus J. and Polus A. (1986), **Evaluation of Staggered and Cross Intersections**, Journal of Transportation Engineering, Vol. 112, No. 5.

Office of Traffic & Safety, State Highway Administration, Maryland (2007), An Applied Technology and Analysis Program (ATTAP) **Unconventional Arterial Intersection Design**.

Polus A. and Cohen R. (1997), **Operational Impact of Split Intersection**, Transportation Research Record 1579, TRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 73-78.

Qian H., Li K. and Sun J. (2008), **The Development and Enlightenment of Signalized Roundabout**, International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation.

Reid J.D. and Hummer J.E. (1999), **Analyzing System Travel Time in Arterial Corridors with Unconventional Designs Using Microscopic Simulation**, Transportation Research Record 1678, TRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 208-215.

Reid. J.D. (2000), **Using Quadrant Roadways to Improve Arterial Intersection Operations**, ITE Journal, Vol. 70, No. 6, pp. 34-36, 43-45.

Reid J.D. and Hummer J.E. (2001), **Travel Time Comparison between Seven Unconventional Arterial Intersection Designs**, Transportation Research Record 1751, Paper No. 01-2957.

Intersection and Interchange Design Alternatives: A Primer for the US 64 Corridor Study Stakeholders Workshop Participants (2009),
http://www.teachamerica.com/accessmanagement.info/pdf/US64_Intersection_Options_Primer.pdf