

משרד התחבורה  
מנהל היבשה/אגף תכנון תחבורתי

# הנחיות לתכנון נתיבים לתחבורה ציבורית

ירושלים, שבט תשנ"ח - ינואר 1998

**מתו"פ מהנדסים**

מחקר תכנון ופיקוח בהנדסת תחבורה ודרכים



מצפה טל אל, ד.ג. אשרת, 25167 טל: 04-9965825, 04-9963395 פקס: 04-9560199  
זכרון יעקב, ת.ד. 1144, 30900 טלפקס: 06-6396772



י"ג בשבט התשנ"ח  
9 בפברואר 1998

מספר: 1500

### פ ת ח ד ב ר

הצורך וההכרח בעדיפות לתחבורה הציבורית במערך התחבורתי הכללי הפך לנכס צאן ברזל בכל מסגרת של תכנון, ביצוע ותפעול תחבורתי.

אחד האמצעים המרכזיים ליישום עדיפות זו הוא "הנתיב המיוחד" לנסיעת כלי הרכב המפעילים תחבורה ציבורית לסוגיה, קרי: אוטובוס, מונית ורכב רב תפוסה.

כאן מובאות "הנחיות לתכנון נתיבים לתחבורה ציבורית" אשר כוללות את ההיבטים המרכזיים הכרוכים בנושא, דהיינו: ההיבט החוקי, הגיאומטרי, התנועתי והכלכלי/סביבתי.

אנו מניחים ומקוים כי מסמך זה יביא ליתר הבנה של הנושא וגם לפישוט וזירוז הליכי התכנון וההקמה.

בהצלחה.

אלקס לנגר  
סמנכ"ל בכיר יבשה

## ביצוע ועריכה:

מתו"פ מהנדסים - מחקר תכנון ופיקוח בהנדסת תחבורה ודרכים

אינג' ישראל רשטיק

פרופ' אבישי פולוס

פרופ' יעקב ממן

חברת יזמה - יעוץ כלכלי בע"מ

מר אהוד חסון

מר רונן סידי

## ועדת היגוי

צוות כלכלי	צוות הנדסי
אינג' ישעיהו רונן - יו"ר	אינג' ישעיהו רונן - יו"ר
גבי הילה אייל	אינג' שמואל בורובסקי
מר רם אשר	אינג' סימונה גולדנברג
אינג' סימונה גולדנברג	ד"ר יהודה גור
ד"ר יהודה גור	אינג' מריה כהן-אדגר
מר צירלי סלומון	אינג' אורנה להמן
גבי עמליה פדון	אינג' ליאור ליבלר
מר יעקב קולניק	אינג' אירית מירון
מר מרק קנטור	אדרי' מתיה עינב
	אינג' שלמה פלדמן
	אינג' אורן צמיר
	אינג' טניה קליין
	אינג' ויקטוריה קרוק
	אינג' בן ציון קריגר
	רפ"ק אינג' חזי שוורצמן

**הנחיות לתכנון  
נתיבים לתחבורה ציבורית**

**חלק א'  
מבוא ורקע כללי**

## תוכן עניינים

### עמוד

### פרק

	<b>1. מבוא</b>
1.1	1.1 הקדמה
1.2	1.2 מושגים והגדרות
1.3	1.3 מבנה ההנחיות
	<b>2. סוגי הנת"צ העיקריים</b>
2.1	2.1 נת"צ עם כוון התנועה
2.3	2.2 נת"צ נגד כוון התנועה
2.4	2.3 מסלולים לרכב רב-נוסעים (מת"צ)
2.6	2.4 שילוב נת"צ ומת"צ בכבישים ממוחלפים
2.7	2.5 רחובות מיוחדים לתחבורה ציבורית
	<b>3. אכיפה</b>
3.1	3.1 כללי
3.1	3.2 אכיפה באמצעות שוטר ואכיפה אלקטרונית
	<b>4. תפעול הנת"צ בחלק מן היממה</b>
	<b>5. קווים מנחים לבחינת הצורך בנת"צ ובסיווג</b>
5.1	5.1 כללי
5.2	5.2 נת"צ עם כיוון התנועה
5.2	5.3 נת"צ נגד כיוון התנועה
5.2	5.4 מת"צ
5.3	5.5 רחובות לתחבורה ציבורית (רת"צ)

נספח א': כללים מנחים למתן פטור מציות לתמרורים האוסרים כניסה לנת"צ

## 1. מבוא

### 1.1. הקדמה

מגבלות תקציביות וזמינות קרקעות במרכזי הערים, מצמצמות מאוד את יכולת המשך פיתוח של רשתות דרכים קיימות. מאידך, מתרחשים בערים, תהליך גידול של הפעילות הכלכלית ותהליך של הצטופפות האוכלוסייה, ולאור הניסיון העולמי, סביר להניח שמגמה זו תמשך. הדרישה ההולכת וגדלה של האוכלוסייה לניידות בתוך מרקם אורבני צפוף אינה יכולה להיות משורתת באמצעות התחבורה הפרטית, ה"בזבזנית" בתשתית הדרכים, והפתרון חייב להיות הסעה של יותר אנשים באמצעות כלי רכב מעטים יותר.

נתיבים בלעדיים לתחבורה ציבורית (נת"צים) מהווים את אחד האמצעים לעידוד השימוש בתחבורה הציבורית ותחבורה רבת תפוסה. נתיבים אלה באים לשרת את המטרות הבאות:

א. סיוע ביצירת מערכת תחבורה ציבורית שתספק שרות תחבורה בסיסי אמין באזורים הסובלים מבעיית גודש.

ב. הקטנה של משכי נסיעה למספר גדול יותר של נוסעים;

ג. הגדלה של הנגישות למרכזי הערים למספר גדול יותר של נוסעים מבלי להגדיל את רמת הגודש;

ד. ייעול השרות בתחבורה הציבורית וצמצום עלויות התפעול;

ה. הקטנה של כמות הנסיעות ברכב פרטי והורדה של רמת הגודש ופליטת מזהמים.

מטרות אלה ניתנות להשגה מכיוון שלנת"צ, בהיבט המערכתי שלו, השפעה על פיצול הנסיעות בין הרכב הפרטי לתחבורה הציבורית.

הקצאת נת"צ ברשת הדרכים יכולה להיעשות על ידי:

א. סלילת נתיב נוסף, בצמוד לנתיבי התנועה הקיימים;

ב. ייעוד של נתיב מתוך הנתיבים הקיימים;

ג. בניית מסלול המופרד פיזית, מנתיבי התנועה הרגילים.

התנועה בנת"צ, יכולה להתבצע עם כיוון התנועה הרגילה או נגד כיוון התנועה הרגילה. סוגים מסוימים של נת"צ יכולים גם להיות מופעלים, רק בחלק משעות היממה.

עבודה זו משקפת את הנחיות משרד התחבורה לתכנון תנועת-גיאומטרי (חלק ב' בעבודה) וכן הנחיות להערכה תנועתית, כלכלית וסביבתית של נת"צים (חלק ג' בעבודה). חלק ב' של ההנחיות, הודן בתכנון תנועת-גיאומטרי, פותח מתוך מגמה להגיע לאחידות ארצית בתמרור, סימון ושילוט ובכך לתרום להבנת,

התכנון המבוצע, על ידי הנהגים, ולהעלאת רמת הבטיחות. מטרת חלק ג', הדן בהערכה תנועתית, כלכלית וסביבתית של נת"צים הינו יצירת בסיס משותף לניתוח חלופות ולהקצאה יעילה של משאבים. חלק זה פותח גם כהרחבה של נוהל הבדיקה הקיים (נוהל פר"ת) לנושא נת"צים.

בדומה להנחיות האחרות המקובלות בארץ גם הנחיות אלה מחייבות את המתכננים, מעצם היותן מרכזות את מיטב הידע הקיים בנושא. יחד עם זאת ניתן לתכנן אחרת במידה וקיימים הצדקים ונימוקים לכך.

## 1.2 . מושגים והגדרות

להלן מובאים מושגים והגדרות המופיעים בהנחיות והייחודיים לעבודה זו:

**נת"צ** - "נתיב לתחבורה ציבורית" המיועד לנסיעת כלי רכב מורשים כגון אוטובוסים, מוניות ורכב נוסעים שבו מספר הנוסעים שווה או גדול, מן המצוין בתמרוך.

**מת"צ** - "מסלול לתחבורה ציבורית" הינו נת"צ אחד או יותר המופרדים מן הנתיבים האחרים בדרך. התנועה במסלול יכולה להיות חד-כוונית או דו-כוונית והנסיעה בו מותרת לכלי הרכב המורשים בלבד.

**רכב מורשה** - רכב שמותר לו לנסוע בנת"צ בין אם בכל שעות היממה ובין אם בשעות המצוינות בתמרוך.

**רכב רב-נוסעים** - רכב ציבורי או פרטי המסיע מספר רב של נוסעים, כגון אוטובוס, מונית ולעתים גם רכב פרטי, המוביל נוסעים בכמות העולה על המצוינת בתמרוך.

**נת"צ עם כוון התנועה** - נת"צ הצמוד לנתיבים הרגילים ושכיוון התנועה בו זהה לכיוון התנועה בנתיבים הצמודים באותו מסלול או רחוב.

**נת"צ נגד כוון התנועה** - נת"צ שכיוון התנועה בו מנוגד לכוון התנועה בנתיבים הרגילים, הצמודים לו באותו מסלול או רחוב.

**מת"צ חד-כיווני הפיך** - מת"צ בו כיוון התנועה אינו קבוע ומשתנה כתלות בשעת היממה.

**הסגה (SETBACK)** - קטע דרך, לפני הכניסה לצומת, בו מופסק הנת"צ וכל הנתיבים הופכים להיות רגילים ומורשים לתנועת כלל כלי הרכב. לרוב ניתנת ההסגה בהתקרבות לצמתים קריטיים במערכת המהווים צווארי בקבוק.

**שיעור פיצול נסיעות בתח"צ** - אחוז הנסיעות המתבצעות בתחבורה הציבורית מתוך כלל הנסיעות המתבצעות בכל אמצעי הנסיעה.

**מקדם מילוי** - מספר הנוסעים הממוצע באמצעי התחבורה הנבחר. המספר כולל את הנוהג ברכב.

**אמינות שרות של תח"צ** - מידת ההיצמדות של התחבורה הציבורית ללוחות הזמנים שנקבעו.

### 1.3 . מבנה ההנחיות

ההנחיות מורכבות משלושה חלקים כדלהלן:

א. חלק א' - מבוא ותאור כללי, כולל:

- סוגי נת"צ עיקריים
- שיטות לאכיפת הסדרי התנועה
- שיקולים בהפעלת הנת"צ בחלק משעות היממה
- הצדקים מקדמיים להפיכת נתיב תנועה לנת"צ

ב. חלק ב' - תכן תנועתי וגיאומטרי, הכולל:

- עקרונות סימון ותמרור של נת"צים
  - תכן גיאומטרי של אלמנטים גיאומטריים יסודיים המשותפים לכל סוגי הנת"צים
  - תכן גיאומטרי ותנועתי של נת"צים ומת"צים בהתאם לסוגם
- ג. חלק ג' - מתודולוגיה להערכה תנועתית, כלכלית וסביבתית של חלופות בפרויקטים המשלבים נת"צ או מת"צ, הכוללת:

- הנחיות כלליות להגדרת החלופות
- הערכה תנועתית של חלופה
- הערכה כלכלית של חלופה
- הערכת סביבתית של חלופה (רמת פליטת מזהמים)

## 2. סוגי הנת"צ העיקריים

### 2.1 . נת"צ עם כוון התנועה

#### א. רקע ומיקום

סוג זה של נת"צ הינו הצורה הנפוצה ביותר להעדפת התחבורה הציבורית. בנת"צ עם כוון התנועה התחבורה הציבורית ורבת הנוסעים היא באותו כוון עם שאר התנועה, אך בנתיב המיועד לה בלבד. בדרך כלל ימוקס הנת"צ מסוג זה בנתיב החיצוני (ימני) של הכביש בצמוד לאבן השפה אך לעיתים - ובעיקר בדרכים מהירות - הוא ימוקס בצד הפנימי (שמאלי) של הכביש, ליד המפרדה או גדר ההפרדה, שבין המסלולים. במקרים נדירים, כאשר קיימות תנועות רבות הפונות שמאלה וימינה יכול היווצר גם נת"צ עם כיוון התנועה במרכז המסלול.

נת"צ שמאלי או מרכזי ברחוב עורקי יוצר בעיה במיקום התחנות ומצריך זכויות דרך גדולות יותר לצורך בניית מפרדות באזור התחנות.

נת"צ עם כיוון התנועה יכול לפעול בשתי צורות:

א. נת"צ המשמש למעקף של צווארי בקבוק - שימוש זה יוצר העדפה ברורה מאוד לתחבורה הציבורית אולם גורם להפסדי קיבולת מכיוון שבדרך כלל נפח התחבורה הציבורית קטן מלמלא את הנתיב. השימוש בשיטה זו מקובל בתוך מרכזים עירוניים, בהם מועטה כמות התנועה העוברת והתחבורה הציבורית היא החלופה הרצויה והסבירה. במקומות אלה ניתן לשלב רכב רב-נוסעים בנת"צ לניצול טוב יותר של הקיבולת העודפת.

ב. נת"צ המשמש ל"הקפצת" התחבורה הציבורית לראש התור, לפני צווארי הבקבוק - שימוש זה מעדיף את התחבורה הציבורית בצורה מתונה יותר ואינו פוגע בקיבולת הצמתים הקריטיים. בשיטה זו מופסק הנת"צ לפני הצומת הקריטי באמצעות יצירת "הסגה" (Setback). השיטה מקובלת ליישום בדרכים עורקיות בגישה לערים, בהן קיימים המרחקים הדרושים בין הצמתים, לצורך יצירת ההסגה, וכמות גדולה של תנועה עוברת בציר.

לרוב מוקצה הנת"צ על חשבון אחד מנתיבי התנועה הרגילים בתוך מסלול הנסיעה, אולם, בקטעים בין עירוניים, ניתן לעתים לסלול את הנת"צ כנתיב חדש, נוסף.

## ב. יתרונות נת"צ עם כוון התנועה

להלן היתרונות העיקריים של נת"צ עם כוון התנועה:

1. כיוון התנועה בנת"צ "טבעי" וברור ועל כן בדרך כלל אין פגיעה בבטיחות התנועה ובבטיחות הולכי הרגל;
2. תחנות האוטובוס ממוקמות במדרכות ובכך מתאפשרת גישה ישירה של נוסעים לתחנות.
3. ביצוע הנת"צ אינו כרוך לרוב בהתאמות גיאומטריות מורכבות ויקרות;
4. קיימת גמישות מרבית בהפעלת הנת"צ ויכולת לווסת את שעות ההפעלה (למשל לשעות שיא בלבד);
5. יצירת "הסגות" מאפשרת ליצור העדפה של התחבורה הציבורית תוך צמצום הפגיעה בכלי הרכב האחרים, ומצדיקה בניית הנת"צ גם בכמויות אוטובוסים קטנות;
6. קיימת אפשרות לשילוב רכב רב-נוסעים בנת"צ במקומות בהן קיימת קיבולת עודפת.

## ג. חסרונות נת"צ עם כוון התנועה

לנת"צ עם כוון התנועה יש מספר חסרונות:

1. יש צורך באכיפה קבועה ומתמדת על מנת למנוע מכלי רכב, שאינם מורשים, לנסוע בנת"צ;
2. נת"צ ימני מגביל את הנגישות לשימושי קרקע בצד הדרך, דבר המחייב מתן פתרונות לפריקת סחורות לכלי הרכב המסחריים ופתרונות חנייה;
3. בדרכים מהירות, נת"צ מימין לדרך, יוצר קונפליקט בין התנועה בנת"צ לתנועה הפונה ימינה ביציאות ובכניסות ממחלפים.

## ד. נת"צ שמאלי עם כיוון התנועה

הקצאת נת"צ בצידו השמאלי של מסלול הנסיעה באה להתגבר על בעיית הנגישות לצידה הימני של הדרך הנוצרת בנת"צ ימני. שני החסרונות העיקריים במתן נת"צ שמאלי הם:

- א. הצורך בזכויות דרך רחבות יותר באזור התחנות (יצירת תחנה מחייבת לרוב בניית שתי מפרדות);
- ב. אכיפה אפשרית בדרך כלל באמצעים אלקטרוניים בלבד וזאת בגלל שלרוב אין אפשרות "להוריד" את הרכב העבריין בבטחה מהנתיב השמאלי.

## 2.2 . נת"צ נגד כיוון התנועה

### א. רקע ומיקום

נת"צ נגד כיוון התנועה נפוץ לרוב, כפתרון להעדפת תחבורה ציבורית, אוטובוסים ומוניות, בלבד. הנת"צ מיושם לרוב במערכת רחובות חד-סטריים אולם, בעולם ידועים מקרים בהם ניתן נת"צ נגד כיוון התנועה ברחוב דו-סטרי ליד מפרדה.

ניתן למנות שתי סיבות עיקריות המצדיקות יצירת נת"צ נגד כיוון התנועה:

- א. קיימת אפשרות ברשת רחובות חד-סטריים לקצר את מסלולי הנסיעה של התחבורה הציבורית ובכך לתת לה העדפה נוספת מעבר לזו המושגת באמצעות יצירת נת"צ;
  - ב. ברשת קיימים, רחובות בהם יש קיבולת "עודפת" בכיוון המנוגד לכיוון שעת השיא, וקיים הרצון לנצל קיבולת זו להעברת התחבורה הציבורית.
- יישום עקרונות אלה בצורה נכונה, במהלך התכנון, מביא לרוב לכך שנת"צ נגד כיוון התנועה מוצדק כלכלית בנפחים נמוכים יחסית, של תחבורה ציבורית.

רחובות בהן מותקן נת"צ נגד כיוון התנועה יכולים להיתפס ע"י הולכי הרגל כרחובות חד-סטריים בעוד שבפועל קיימת בהם תנועה דו-סטריים. על מנת להימנע מבעיות בטיחות יש לתכנן את הנת"צ במשנה זהירות ולדאוג שהסדרי התנועה ברחוב יהיו נראים וברורים. מיקום נת"צ נגד כיוון התנועה ברחובות דו-סטריים מצריך פתרונות ואמצעי הגנה ייחודיים ועל כן תיאורו אינו נכלל בעבודה זו.

### ב. יתרונות הנת"צ נגד כיוון התנועה

- בדומה לכל סוגי הנת"צ, מקנה הנת"צ נגד כיוון התנועה את היתרונות הבסיסיים של מתן עדיפות לתחבורה מרובת הנוסעים, הגדלת מהירות הנסיעה (וחסכון בזמן) ושפור באמינות השרות. יתרונות נוספים הם:
1. האכיפה קלה יחסית כיון שמתקבלת אכיפה "אוטומטית" על ידי התנועה ממול;
  2. במערכת רחובות חד סטריים ניתן לקצר את מרחקי הנסיעה של האוטובוסים;
  3. הנת"צ אינו מונע נגישות לשימושי הקרקע ולחנייה בצידו הימני של הרחוב.

### ג. חסרונות הנת"צ מנוגד לכיוון התנועה

- לנת"צ שכוונו מנוגד לכיוון שאר התנועה יש מספר חסרונות בולטים שהעיקריים שבהם הם כדלקמן:
- א. הרעה במצב הבטיחות של הולכי הרגל בגין סכנה מוגברת לבלבול, וזאת מאחר והתנועה בנת"צ נוסעת בניגוד לכיוון התנועה האחרת (לרוב בניגוד לכיוון ברחוב חד-סטרי);

- ב. בניית נת"צ נגד כיוון התנועה מחייבת איבוד רב יותר של מערכות הרמזור, בניית איים ותוספת שילוט, דבר המייקר את הביצוע;
- ג. קיים הצורך לתכנן קפדני יותר של צמתים לאורך הרחוב עם נת"צ מנוגד תנועה, למניעת פניות שגויות ולעתים מחייב הדבר ביצוע שינויים גיאומטריים ותנועתיים, דבר המעלה שוב את העלויות;
- ד. ברחובות בעלי חזית מסחרית קיים הצורך למתן פתרונות לטעינה ופריקה בצד הקרוב לנת"צ.

### 2.3 . מסלולים לרכב רב-נוסעים (מת"צ)

#### א. כללי ומיקום

מסלול לרכב רב-נוסעים (מת"צ) מתוכנן בדרך כלל כרחוב נפרד או כמספר נתיבים המופרדים משאר נתיבי הדרך ע"י מפרדה בנויה. התפעול יכול להיות דו-כווני, למשל נתיב לכל כוון, או חד-כווני. במקרים מסוימים ניתן לתכנן מת"צ חד-כווני הפיך, המשנה כוון בהתאם לעומס בשעות השיא.

מת"צ ימוקם לרוב במרכז הדרך במקומות כדלהלן:

- א. במרכזי ערים בהם הנגישות לשימושי הקרקע מחייבת בניית נת"צ במרכז הדרך מחד, וכמות רבה של תחנות מחייבת בניית מפרדות;
- ב. במקומות בהם צפיפות הצמתים היא רבה ולא ניתן לבצע אכיפה יעילה של הסדרי התנועה בנת"צ;
- ג. בכבישים מהירים באזור מחלפים, שם יש צורך לדאוג להסדרי כניסה ויציאה מיוחדים, אל ומן הנת"צ.

מיקום מת"צ באחד מצידי הדרך נדיר יותר ומתאפשר במקרים בהם אין צורך בנגישות לשימושי הקרקע הגובלים וכן כאשר התנאים הגיאומטריים והסדרי התנועה ברשת הדרכים מתאימים למת"צ זה.

בניית מת"צ זורשת פתרונות גיאומטריים ותנועתיים מיוחדים ומחייבת איסור פניות, הסדרי רמזור מיוחדים, פתרונות חצייה להולכי הרגל וכד'. בנוסף קיים קושי לתנועה, הנעה במת"צ, לבצע פניות לצורך עזיבת מת"צ. כתוצאה מסיבות אלו מיועד המת"צ, בד"כ, לתנועת כלי רכב ציבוריים, בעלי מסלולים מוגדרים (אוטובוסים ומוניות) ושילוב רכב רב-נוסעים פרטי בו, אינו מקובל.

ההוצאה הכספית לבניית מת"צים גבוהה יחסית להסדרי נת"צ אחרים. מסיבה זו מת"צ מוצדק כלכלית רק במקומות בהן קיימת כמות גדולה של אוטובוסים או במקומות בהן מדיניות העדפה נקבעת משיקולים אורבניים כוללים. בתנאים אלה, למת"צ ההפיך, יתרון בולט וברור באספקת קיבולת נוספת לכוון העמוס, תוך חסכון בזכויות דרך.

## ב. יתרונות המת"צ

למת"צ שלושה יתרונות עיקריים:

1. הפרדה מוחלטת של תנועת האוטובוסים והמוניות מתנועת שאר הרכב - דבר הגורם לשיפור הבטיחות והמגביר את הציות להסדר;
2. שיפור משמעותי מאוד ברמת השרות לרכב הנע במת"צ ולנוסעים;
3. מיקום המת"צ במרכז הדרך אינו מונע נגישות לשימושי הקרקע בצד הדרך ומאפשר בניית תחנות על ידי הרחבות מקומיות.

## ג. חסרונות המת"צ

למת"צ חמישה חסרונות עיקריים:

1. המת"צ מעריך את מרחקי ההליכה לתחנות ומקשה על נגישות הולכי הרגל לתחנות האוטובוסים, כתוצאה ממיקומו במרכז הרחוב;
2. הגבלה של אפשרויות הפניה לכלי הרכב שצריכים לעזוב את המת"צ בצמתים;
3. שימוש בזכויות דרך גדולות יחסית או פגיעה גדולה בקיבולת הציר במקומות בהן לא ניתן להבטיח את זכויות הדרך הנדרשות;
4. ריבוי המיפרדות מקשה על חציית הולכי הרגל ומחייב התקנת גדרות הגנה, רמזורים להולכי רגל, וגשרים;
5. מצריך תכנון קפדני ומורכב הכולל: איסורי פניות ושינוי הסדרי תנועה ברשת הסמוכה, שלוב מתאים ברמזורים, פתרון כניסות ויציאות אל ומהמת"צ וכד'.

למת"צ הפיך יתרון בצריכת זכויות הדרך תוך הבטחת הקיבולת הדרושה בכיוון העומס, אולם בנייתו דורשת שימוש בשילוט מתחלף ותכנון תנועת מורכב יותר של הצמתים.

עלות הבנייה הגבוהה יחסית של המת"צ וחסרונותיו התפעוליים מחייבים תכנון קפדני ושיקול מעמיק באם קיים הצדק לקיומו.

## 2.4 . שילוב נת"צ ומת"צ בכבישים ממוחלפים

### א. כללי ומיקום

בכבישים המובילים למע"ר, בהם שיקולי הקיבולת מנתיבים כי בקרת הכניסות והיציאות תיעשה באמצעות מחלפים, ניתן לשלב נתיבים לתחבורה ציבורית במטרה לעקוף את צווארי הבקבוק. ניתן לשלב נת"צ באחת מארבעת השיטות הבאות: נת"צ עם כוון תנועה, מת"צ דו-כווני במרכז הדרך, מת"צ הפיך, ומת"צ בדרך נפרדת מצד אחד או משני צידי הדרך. לרוב יינתן הנת"צ בכביש המהיר בצד השמאלי, ליד המפרדה, שכן בצד הימני מתבצעות הכניסות והיציאות באמצעות נתיבי האטה והאצה.

בסמוך למחלפים בדרך כלל יהיה צורך להפריד את הנת"צ משאר הנתיבים וליצור מת"צ, זאת בגלל הצורך בפתרון גיאומטרי מיוחד לביצוע יציאה או כניסה. פתרון יציאה או כניסה למת"צ במחלפים מבוצע על ידי יצירת רמפות מיוחדות המשתלבות, בהמשך, במערכת הרחובות העורקיים, שאליה מתחבר הכביש הממוחלף.

השיקולים לבחירת השיטה לשילוב נת"צ או מת"צ בכביש ממוחלף תלויים בעיקר בנפחי התנועה, רמות השרות אותה רוצים להבטיח, צורות המחלפים וזכויות הדרך העומדות לרשות המתכנן.

### ב. תפעול

תפעול של נת"צ בכביש ממוחלף יכול להיות לכל שעות היממה או מוגבל לשעות השיא בלבד. בשעות בהן הנת"צ אינו פעיל יש לסגור את הכניסות והיציאות מהמת"צים בסמוך למחלפים וזאת למניעת קונפליקטים מיותרים עם התנועה הרגילה.

בכבישים ממוחלפים רצוי לשקול לשלב רכב רב-נוסעים בתוך הנת"צ והמת"צ, שאילמלא כן, יהיה קשה להצדיק כלכלית את השימוש בו, ע"י אוטובוסים בלבד. שלוב של רכב רב-נוסעים יקל על העומס וישפר את רמת השרות בנתיבים העוברים המיועדים לשאר התנועה ללא הורדה משמעותית של רמת השרות לרכב הציבורי.

בכבישים ממוחלפים עירוניים, מונהג לעתים קרובות קיצוב ברמפות הכניסה (ramp metering). ברמפות אלו, ניתן לתת עדיפות לאוטובוסים, מוניות ורכב פרטי רב-נוסעים, על ידי יצירת נתיב מצידו הימני של הנתיב הרגיל, המבוקר על ידי רמזור. העדפה בקיצוב מונהגת בכבישים ממוחלפים בהם אין נת"צ בקרבת המחלף (אחרת הכניסה לנת"צ זה היא נפרדת מן התנועה הרגילה).

## 2.5 . רחובות מיוחדים לתחבורה ציבורית

רחובות מיוחדים לתחבורה ציבורית יתאימו למספר מצומצם של מקומות, כגון במרכזי ערים או ליד תחנות מרכזיות. הם יהיו בעלי אורך מוגבל למדי ומטרתם לשפר את נגישות האוטובוסים ליעדי הביקוש העיקריים. לרוב מותר השימוש בהם גם למוניות אך לא לרכב רב נוסעים אחר.

יצירת רחובות לתחבורה ציבורית בלבד, מחייבת לפתור בעיות נגישות לשימושי הקרקע לאורך הרחוב. דוגמאות של רת"צ ידועות גם בארץ (רחוב אלנבי, רחובות בקרבת התחנה המרכזית החדשה) וגם בעולם (שדרות שאמס אליסה בפריס, רחוב אוקספורד בלונדון ועוד). ברוב המקרים מדובר ברחובות הראשיים של המעי"ר בהם קיבולת הרחוב מושפעת במידה רבה על ידי הצורך להבטיח חצייה להולכי הרגל הרבים. הוצאת התחבורה הפרטית מן הצירים הנ"ל, לא רק מעודדת את השימוש בתחבורה הציבורית אלה גם משפרת את תפקודו התנועתי של הרחוב ומעלה את רמת הבטיחות.

### 3 . אכיפה

#### 3.1 . כללי

אכיפה הינה אחת הבעיות הקשות בה נתקלים בעת יישום נת"צים. פערים ברמת השירות, בין הנת"צ לנתיבים הגובלים, יוצרים פיתוי לקבוצות מסוימות של נהגים לעבור עבירות. הבעיה קשה יותר ברחובות בהם בנוי נת"צ עם כיוון התנועה באופן שאינו מופרד משאר הנתיבים. ההתמודדות עם "רמת הציות", להסדרי הנת"צ, הינה יום-יומית והניסיון בארץ מראה כי בקטעים בהם לא מתבצעת אכיפה במשך מספר שבועות, רמת הציות יורדת בצורה משמעותית.

בקטעים עירוניים בהם רבה צפיפות הצמתים ומותרות פניות, קשה מאוד האכיפה בגלל היכולת של הנהג לחמוק מעונש ע"י ביצוע פניה או בתירוץ של אי יכולת להשתלב בנתיב הרגיל לאחר ביצוע פניה. קושי גדול נוסף, באכיפה, הוא חוסר מקום להורדת רכב עבריין מהכביש ורישום דו"ח. במספר מקומות בעולם מקובל לבנות מפרצים מיוחדים לעצירת רכב עבריין. מעבר לחסרון בכך שהאכיפה תתבצע בנקודות קבועות וידועות, בארץ קיימות מעט מאוד עתודות קרקע בתוך זכויות הדרך של הרחובות וביצוע מפרצי אכיפה הינו בעייתי. במקומות בהם אין שוליים, המאפשרים עצירה של הרכב העבריין, תכנון נכון של נת"צ עם כיוון התנועה מחייב יצירה של מפרצים נפרדים לביצוע האכיפה. אין להשתמש בתחנות האוטובוס עצמן כמפרצים לאכיפה הן משיקולי בטיחות והן משיקולים של פגיעה ברמת השירות של התחבורה הציבורית (כתוצאה מחסימת תחנות).

שיקולי יכולת ביצוע האכיפה, מהווים חלק מהשיקולים, לבחירת סוג הנת"צ המועדף בקטע דרך מסוים. באזורים עירוניים צפופים רצוי להימנע מנת"צ עם כיוון התנועה ולבצע נת"צים נגד כיוון התנועה ברחובות חד סטריים או מת"צים ברחובות דו-סטריים. במקרים מסוימים ניתן לשקול נת"צ שמאלי עם כיוון התנועה ברחובות בהן אסורות הפניות שמאלה. נת"צ עם כיוון התנועה אפקטיבי בעורקי הגישה לעיר בהם גדולים המרחקים בין הצמתים ולעתים קיימים שוליים המאפשרים את הורדת הרכב מן הכביש. במקומות בהם אין שוליים יש להגדיל את תחנות האוטובוס ולשלב בהם שתי מקומות לעצירת רכב פרטי (ראה חלק ב' ציור 3.4).

#### 3.2 . אכיפה באמצעות שוטר ואכיפה אלקטרונית

אכיפה באמצעות שוטר יעילה יותר ונלמדת מהר יותר על ידי הנהגים. נוכחות שוטר מרתיעה את העבריינים הפוטנציאליים מלהיכנס לנת"צ בעוד אכיפה אלקטרונית נלמדת על ידי העבריינים לאחר מעשה ובהפרש זמן ניכר. מעבר לכך קיימות באכיפה אלקטרונית בעיות של איתור הנהג העבריין, אי יכולת

טיפול ברכב גנוב, רכב שכור וכד'. חסרון נוסף של האכיפה האלקטרונית הוא ביצועה בנקודות קבועות ומוגדרות אותן יכולים הנהגים ללמוד ולהימנע. בנת"צ בו משולב רכב רב-נוסעים אכיפה אלקטרונית אינה אפשרית.

למרות האמור לעיל, אחד התנאים לביצוע אכיפה באמצעות שוטר, הוא היכולת להוריד את הרכב מן הכביש מבלי לגרום לנזק לתנועה המורשה לנוע בנת"צ. עצירת הרכב העבריין על הנת"צ או סתימת תחנות האוטובוס עשויה לנטרל את העדפה ניתנת לנת"צ. במקומות בהם אין אפשרות להורדת הרכב העבריין בצורה בטוחה מהדרך אין מנוס משימוש באמצעים אלקטרוניים לזיהוי הרכב המורשה לנוע בנת"צ.

שיטת האכיפה האלקטרונית מבוססת על מצלמה המחוברת לגלאי רכב או המצלמת באופן מתמיד. במצלמה המצלמת באופן מתמיד יש צורך בפענוח הסרט ע"י אדם ועל כן השיטה מתאימה לצירים בהם קטנה יחסית כמות העבירות. במצלמה המחוברת לגלאי מתבצע זיהוי של הרכב המורשה לנוע בנת"צ. כאשר הרכב אינו מזוהה מופעלת המצלמה והעבריין מצולם. קיימות שתי שיטות של גילוי רכב:

- א. שיטה פסיבית - ציוד הגילוי נמצא כולו מחוץ לרכב. בשיטה זו גלאים מיוחדים מסוגלים לזהות אוטובוס על פי אורכו, צורת השדה המגנטי או ניתוח תמונה ולהפעיל את המצלמה לכל רכב אחר.
- ב. שיטה אקטיבית - הרכב נושא רכיב זיהוי אלקטרוני המזוהה על ידי ציוד הגילוי מחוץ לרכב. השיטה האקטיבית יקרה יותר מן השיטה הפסיבית בגלל הצורך להתקין את רכיבי הזיהוי בתוך הרכב.

שימוש בשיטות אכיפה אלקטרוניות מגביל לרוב את סוגי הרכב המורשים לנועה בנת"צ. השימוש בשיטות גילוי פסיבית לא תאפשר להכניס מוניות לתוך הנת"צ מכיוון שלא ניתן יהיה להבחין בינם לבין הרכב הפרטי. השימוש במצלמה המצלמת באופן מתמיד, או בשיטות גילוי אקטיביות, יאפשר את זיהוי המוניות (בתנאי שהן מצוידות ברכיב הזיהוי) אולם לא יאפשר להכניס לנת"צ רכב רב-נוסעים, בגלל בעיית ההבחנה בינו לבין רכב פרטי אחר.

#### 4. תפעול הנת"צ בחלק מן היממה

תפעול הנת"צ במשך היממה כולה אינו רצוי תמיד. נתונים שונים מהעולם מצביעים על כך שתקופות השיא בתחבורה הציבורית נמשכות פחות זמן מתקופות השיא ברכב הפרטי והירידה בנפח התנועה גדולה יותר. אפשרות השימוש בנת"צ לתנועת כלל כלי הרכב תקטין גם את משך שעות העומס לכלי הרכב הפרטי ותמנע עיכובים מיותרים.

במנוגד לשיקול של מזעור הנזק לכלל כלי הרכב, עומד הרצון להסיט את המשתמשים מן הרכב הפרטי לרכב הציבורי ובכך לצמצם את כמות כלי הרכב הנכנסים למע"ר. הפעלת הנת"צ לתקופת שיא קצרה מדי, תגביר תהליך של הקדמה או איחור נסיעות ותקטין את מידת המעבר לתחבורה הציבורית.

משך זמן הפעלת הנת"צ יישקל על ידי המתכנן כתלות במדיניות העדפה הרצויה וחלופות התחבורה ברכב הפרטי. בכל מקרה, מאחר והמעבר, בין מצב רגיל לנת"צ, מחייב פרקי זמן מינימליים להסדר מומלץ לא להפעיל נת"צ לתקופה הקטנה משעה. בנת"צ עם "הסגה" לפני צמתים קריטיים, ניתן לאפשר לרוב תקופות הפעלה ארוכות יותר ובמקרים רבים אין מניעה שהנת"צ יפעל לכל אורך היממה.

## 5. קווים מנחים לבחינת הצורך בנת"צ ובסיווג

### 5.1. כללי

מטרת פרק זה היא לספק למתכנן קווים מנחים ומקדמיים לאותם המקרים בהם יש לשקול חלופה של בניית נת"צ. המקומות הבאים בחשבון חייבים לעמוד בשלושה קריטריונים בסיסיים:

1. רמת שירות נמוכה מספיק לכלל התנועה ברשת - כאשר קיבולת רשת הדרכים מספיקה להעברת הביקוש, העיכובים הנגרמים לרכב קטנים יחסית ולא מצדיקים יצירת פערים ברמת השירות בין התחבורה הציבורית לרכב הפרטי. משמעות הדבר הוא שהנת"צ יהיה מוצדק בדרגות רוויה (יחס נפח-קיבולת) הגדולות מ-1.0.

2. מספר מזערי של נוסעים בתחבורה ציבורית - יש טעם לבניית נת"צ כאשר כמות הנוסעים בו משמעותית ומצדיקה העדפה. המדד העיקרי למספר הנוסעים בציר הינו נפח האוטובוסים העוברים.

3. אפשרות לתפעול סביר של ההסדרים - כאן יש להתחשב בכמות הנתיבים, אפשרויות אכיפה, אפשרויות לביצוע סוג הנת"צ הנדרש וכד'.

באופן כללי, יש טעם לדון בחלופה המשלבת נת"צ או מת"צ כאשר קיימת ציפייה להקטנה של זמן הנוסעים הכולל, כתוצאה מביצוע ההסדר. במקרים מסוימים ניתנים נת"צים גם כאשר תרומתם להקטנת זמן הנסיעה אינה כה ודאית, אך קיים הרצון לשפר את האמינות ולעודד שימוש בתחבורה ציבורית, או להגביל את כמות כלי הרכב הנכנסים לאזור מסוים.

טבלה 5.1 להלן מביאה ערכים העשויים לסייע למתכנן לקבוע באופן ראשוני את סוג הנת"צ הנחוץ.

טבלה 5.1: קווים מנחים לבחירה ראשונית של סוג הנת"צ

דרגת רוויה בצוואר הבקבוק, המצדיק בנייה של:				מספר אוטובוסים ממוצע בשעת השיא
נת"צ <sup>1</sup>	נת"צ נגד כיוון התנועה	נת"צ עם כיוון התנועה ללא הסגה	נת"צ עם כיוון התנועה עם הסגה	
אין הצדק	אין הצדק	אין הצדק	אין הצדק	עד 20
אין הצדק	אין הצדק	אין הצדק	<sup>2</sup> 1.20-1.30	20 - 40
1.20 <	1.15 <	1.20 <	<sup>2</sup> 1.10-1.20	40 - 80
1.15 <	1.10 <	1.15 <	<sup>2</sup> 1.05-1.15	80-120
1.05 <	1.00 <	1.05 <	<sup>2</sup> 1.00-1.05	120-150
1.00 <	1.00 <	1.00 <	אין לבצע הסגה	מעל 150

הערות: 1. מת"צ יהיה מוצדק בגישה למע"ר שם קיימת אפשרות לשינוי פיצול הנסיעות וסיכוי להקטנה של תקני חנייה.

2. מתחת לתחום התחתון הנת"צ לרוב אינו מוצדק. מעל לתחום העליון יש לשקול הפעלת נת"צ ללא הסגה.

## 5.2 . נת"צ עם כיוון התנועה

סוג נת"צ זה מתאים יותר לדרכים בגישות אל המע"ר באזורים בהם הפעילות העסקית אינה אינטנסיבית והצמתים מרוחקים יחסית. הנת"צ מתאים פחות למרכזים עירוניים צפופים הן בגלל קשיי אכיפה והן בגלל מגבלות הנגישות לשימושי הקרקע הגובלים.

כאשר קיים, בכל זאת, הרצון לשלב נת"צ עם כיוון התנועה בתוך מרכז עירוני, עדיף לתכננו כנת"צ שמאלי ולא כנת"צ ימני. מכיוון שנת"צ שמאלי מחייב למקס תחנות במרכז הרחוב (ראה חלק ב' פרק 5) הוא יופעל בכל שעות היממה.

## 5.3 . נת"צ נגד כיוון התנועה

סוג זה של נת"צ מתאים מאוד למע"ר, במיוחד כאשר קיימת רשת מאספת או עורקית חד-סטריית. הנת"צ לא מתאים להפעלה ברשת רחובות דו-סטריית. בדומה לנת"צ עם כיוון התנועה ניתן להפעיל נת"צ נגד כיוון התנועה בחלק משעות היממה אולם לרוב הדבר אינו תורם להגדלת הקיבולת ונועד בעיקר לפתרון בעיות נגישות לשימושי הקרקע הגובלים. רמת הציות להסדרים של נת"צ נגד כיוון התנועה היא גבוהה והוא נוח מאד לאכיפה. נת"צ נגד כיוון התנועה נוח גם לנוסעים ומתקיימת נגישות טובה לתחנות.

## 5.4 . מת"צ

מת"צ מתאים לבניה הן בדרכים ממוחלפות, פרבריות והן במרכזי הערים. השיקול בבניית מת"צ איננו קיצור זמני נסיעה בלבד, אלא מדיניות תחבורתית כוללת יותר המותאמת לפיתוח אזורים צפופים והמשולבת במדיניות חנייה. יש לשקול בניית מת"צ כאשר ברור מעל לכל ספק כי לא כלכלי או לא ניתן לשרת את שימושי הקרקע המתפתחים בהתבסס על נסיעות הרכב הפרטי ויש להעדיף את אמצעי הסעה המוניים. חשוב לזכור כי בניית מת"צ דורשת תכנון רחב היקף ופתרון בעיות כניסה ויציאה, מעבר ברמזורים, נגישות הולכי רגל ועוד. מאידך מאפשר המת"צ (וגם רת"צ) לשלב אמצעי תחבורה נוספים להסעת המוניים, כגון רכבת קלה.

בניית נת"צ או מת"צ בדרכים ממוחלפות מתאימה לאזורים בהם דרכים ממוחלפות המובילות תנועה מערי לוין למע"ר מטרופולי. השיקולים שוב הינם מערכתיים וחייבים להיות משולבים במדיניות תחבורתית רחבה לפתרון בעיות הנגישות למ"ר.

### 5.5 . רחובות לתחבורה ציבורית (רת"צ)

סוג זה של הסדר נדיר יחסית ומתאים לגישות לתחנה מרכזית או לאזורים מאוד מוגדרים במע"ר הרוויים בפעילות הולכי רגל. ההסדר מחייב פתרון לבעיות הנגישות הנגרמות לשימושי הקרקע הגובלים (למשל גישה מרחובות סמוכים או גישה תת קרקעית).

# נספח א'

כללים מנחים למתן פטור מציית  
לתמורים האוסרים כניסה לנת"צ

משרד התחבורה  
המפקח על התעבורה  
המשרד הראשי  
ירושלים

ח' בטבת התשנ"ח  
6 בינואר 1998

מספר: 9088

אל: -המפעתי"ם המחוזיים (X3)  
-המתנמי"ם המחוזיים (X3)  
-מרכזים מחוזיים לתחבורה ציבורית (X3)

הנדון: כללים מנחים למתן פטור מציות לתמורים האוסרים כניסה  
לגתיבים המיוחדים לתחבורה ציבורית (ע"פ תקנה 16 (2))  
נוסח מתוקן 1/98

1. רקע

- א. מתקבלות אצלנו בקשות למתן פטור בנדון לכלי רכב מסוגים שונים כגון: רכב אבטחה, פיקוח, רופאים וכו'.
- ב. ברשומות פורסמה האצלת סמכות לפי תקנה 16 (2) למתן פטורים אלה ע"י המפעתי"ם המחוזיים.
- ג. לאור זאת מובאים להלן "כללים מנחים" שיביעו לשיקול דעת מסודר ואחיד בבחינת הבקשות וההתייחסות אליהן.

2. מטרתו של הנת"צ/מת"צ

כידוע, הנת"ב המיוחד לתחב"צ נועד לייצר ולתת עדיפות לתחבורה הציבורית ולא לגורמים אחרים.

זו גם הסיבה לחתייחסות המועדפת שלנו אל הנושא מכל הבחינות.

מתן פטור לסוגים נוספים של כלי רכב עלול להוריד את רמת השרות בנת"צ עד כי אבדן העדיפות והשמטת הבסיס לעצם הרעיון. כאן המקום להדגיש כי "עדיפות" צריכה להיות הן מן ההיבט התפעולי (רמת השרות), והן מן ההיבט התצונתי, אשר יחד עשויים להביא למעבר נוסעים מן הרכב הפרטי אל הציבורי.

**3. הינצאים מן הכלל**

עם הזמן נוצרו ומוסדו "מוסכמות" אשר על פיהן ניתן היתר לרכב בטחון" (ע"פ הגדרתו בתקנה 1 בת"ת) שלא לציית לתמרורים שונים, כולל התמרורים בנדון.

**4. "הכלל המנוחה"**

הכלל המנוחה לבחינת בקשות לפטור (בנדון) יהיה כדלקמן:

**תנייחות בתיב:**

א. "רכב בטיחותי" המיועד להסעת נכים, אשר פועל במתכונת של "תחבורה ציבורית".

ב. "רכב לאכיפה" על תפעולו של הנת"צ (משטרה, עירוני, משרד התחבורה, קואופרטיבים וכו').

ג. רכב המבקש להגיע ליעד מסוים (או לצאת ממנו) והנת"צ היא הדרך האפשרית היחידה לכך.

"דרך אפשרית" - הן מבחינה פיזית והן מבחינת הסדרי התנועה.

**עירוב:**

א. "רכב בטחון" אשר ממילא פטור מן החובה לציית לתמרורים בנדון, ואינו צריך לפטור.

ב. רכב לחילוץ, תחזוקה, פיקוח וכו'. יוכל להכנס לתחום הנת"צ ע"פ תיאום מוקדם עם המשטרה.

5. כל השאר - ייאלצו לנסוע בנתיבים "הרגילים" או לעבור ולנסוע בתחבורה הציבורית.

בכבוד רב  
רונן ישעיהו  
מהנדס תנועה ראשי

העתקים: -המפקח הארצי על התעבורה  
-ס/בכיר למפקח הארצי על התעבורה

**הנחיות לתכנון  
נתיבים לתחבורה ציבורית**

**חלק ב'  
תכן הנדסי של נת"צ**

# תוכן עניינים

## עמוד

## פרק

### 1. הגדרות ותקנות תעבורה

- 1.1.1. הגדרת נתיב תחבורה ציבורית (נת"צ)..... 1.1
- 1.1.2. כלי רכב המורשים להשתמש בנת"צ..... 1.1
- 1.1.3. תימרור וסימון..... 1.2
- 1.1.4. הנחיות להצבת תמרורים וסימון נת"צ..... 1.5
- 1.1.12. הנחיות לאופן הצבת רמזורים בנת"צ..... 1.12
- 1.1.6. תמרורים ב-49א וג-6א..... 1.12

### 2. תכן של פרטים גיאומטריים יסודיים של הנת"צ

- 2.1.1. כללי..... 2.1
- 2.1.2. כלי רכב לתכנון..... 2.1
- 2.2.3. רוחב נתיב הנסיעה..... 2.2
- 2.2.4. רדיוס שפה מזערי..... 2.7
- 2.2.5. תכנון מעל למינימום של נתיבים לפניות ימינה חופשיות..... 2.9
- 2.2.6. נתיבים בלעדיים לפנייה שמאלה..... 2.12
- 2.2.7. מרווח גובה חופשי..... 2.15

### 3. תכן תחנות בנת"צ

- 3.1.1. כללי..... 3.1
- 3.1.2. אזור המתנה לנוסעים..... 3.1
- 3.3.3. קביעת מספר העמדות לעצירה של אוטובוסים..... 3.4
- 3.3.4. תכן גיאומטרי של תחנה בעלת עמדה אחת..... 3.5
- 3.3.5. מרווחים בין עמדות ופיזור קווים בין העמדות..... 3.6
- 3.3.6. שיקולים למיקום תחנות..... 3.8
- 3.3.7. תחנות למוניות ולהורדת נוסעים..... 3.8
- 3.3.8. מיקום תחנות במת"צ..... 3.10

**4. נת"צ עם כיוון התנועה**

- 4.1 כללי ..... 4.1
- 4.1 תכן גיאומטרי של נת"צ ימני ..... 4.2
- 4.3 תכן גיאומטרי של נת"צ שמאלי ..... 4.3
- 4.3 תכן גיאומטרי של נת"צ מרכזי ..... 4.4
- 4.6 הפסקת נת"צ לפני צמתים קריטיים ..... 4.5
- 4.10 שילוב ההסגה עם פניות ימינה "חופשיות" ..... 4.6

**5. נת"צ נגד כיוון התנועה**

- 5.1 כללי ..... 5.1
- 5.1 מיקום הנת"צ מנוגד תנועה ..... 5.2
- 5.1 שיקולים גיאומטריים כללים ..... 5.3
- 5.2 סימון נת"צ נגד כיוון התנועה ..... 5.4
- 5.3 תמרורים ..... 5.5
- 5.3 אמצעי הגנה על הולכי הרגל ..... 5.6
- 5.3 שילוב נת"צ מנוגד תנועה בצמתים מרומזרים ..... 5.7

**6. רחובות ומסלולים לתחבורה ציבורית**

- 6.1 כללי ..... 6.1
- 6.1 רחובות בלעדיים לתחבורה ציבורית (רת"צ) ..... 6.2
- 6.3 מסלול לתחבורה ציבורית (מת"צ) ..... 6.3

**7. שילוב נת"צ ומת"צ בכבישים ממוחלפים**

- 7.1 כללי ..... 7.1
- 7.1 החתך לרוחב ..... 7.2
- 7.2 כניסה אל ויציאה מהמת"צ ..... 7.3
- 7.6 תמרורים ..... 7.4
- 7.6 תפעול ..... 7.5
- 7.6 קיצוב הכניסה לכביש מהיר ..... 7.6

**8. שיטות להעדפת נת"צ ברמזורים**

8.1 כללי ..... 8.1

8.1 שיטות להעדפת נת"צ ברמזורים ..... 8.2

8.2 הרחבת הסימנים בתרשים הזרימה ..... 8.3

## 1 . הגדרות ותקנות תעבורה

### 1.1 . הגדרת נתיב תחבורה ציבורית (נת"צ)

נתיב תחבורה ציבורית (נת"צ) - נתיב או נתיבים שיועדו, תומררו וסומנו לכלי רכב ציבוריים ולעתים כלי רכב אחרים, המסיעים נוסעים, והמפורטים בתמרור ב-35. מסלול תחבורה ציבורית (מת"צ) - כביש שיועדו וסימונו כנ"ל.

### 1.2 . כלי רכב המורשים להשתמש בנת"צ

נתיבים לתחבורה ציבורית נועדו לתת עדיפות לכלי רכב המסיעים כמויות נוסעים גדולות במטרה:  
א. להגדיל את יכולת העברה של נוסעים ברשת דרכים נתונה, על ידי עידוד הגידול בתפוסה של כלי הרכב.  
ב. לשפר את רמת השרות של התחבורה הציבורית ולהגדיל את אמינותה, ועל ידי כך למשוך נוסעים.  
ג. להקטין את משכי הנסיעה הכוללת (לכמות גדולה יותר של משתמשים) ברשת הדרכים.  
ד. להפחית את כמות כלי הרכב הנעה בדרכים ולהוריד את רמת הגודש.

השאיפה של מתכנני הנת"צ היא לנצל בצורה מרבית את יכולתו להעביר נוסעים, כל עוד לא נפגעת רמת השירות של המשתמשים בו. על מנת להשגת מטרה זו דורגו כלי הרכב על פי קיבולתם. דרוג זה מאפשר למתכנן למצוא את התמהיל המיטבי של צי הרכב המורשה לנוע בנת"צ.

לשם שמירת הפשטות והבהירות של התמרור חולקו כלי הרכב המורשים להשתמש בנת"צ, לשלוש קבוצות:

1. אוטובוס - כל האוטובוסים לסוגיהם המוגדרים ע"י פקודת התעבורה.
2. מונית - לרבות אוטובוס זעיר ורכב ציבורי אחר, כמוגדר בפקודת התעבורה.
3. רכב רב-נוסעים - רכב נוסעים פרטי המסיע נוסעים (כולל הנהג), בכמות הגדולה או שווה לזו המצוינת בתמרור ב-35.

### 1.3 . תימרור וסימון

#### א. תימרור

קביעת הנת"צ תעשה באמצעות תמרור הוריה ב-35 חדש. ניתן להגדיר בתמרור עד שלושה מרכיבים (כולם או חלקם):

1. סוג הרכב המורשה להשתמש בנת"צ (אוטובוס ו/או מונית ו/או רכב רב נוסעים).
2. ימים ושעות להפעלת הנת"צ. הימים יכתבו באופן הבא: "א עד ה". השעות יהיו שלמות ויכתבו באופן הבא: "06 עד 09" ו/או "15 עד 18".
3. תמרורי מודיעין מסוג א-43 או א-45 (לפני פניות לדרך המיועדת לכלי רכב מורשים בלבד). כוחו של התמרור יהיה תקף מן המקום בו הוא הוצב ועד לצומת הקרוב או עד סוף הסימון ד-22 על פני הדרך.

גודל הכתיב בתמרור ב-35 יהיה כדלהלן:

- א. אותיות בגודל 20 ס"מ - בתמרור המוצב בדרך מהירה;
- ב. אותיות בגודל 15 ס"מ - בתמרור המוצב בדרך לא עירונית;
- ג. אותיות בגודל 10 ס"מ - בתמרור המוצב בדרך עירונית;
- ד. אותיות בגודל 7 ס"מ - בתמרור המוצב לפני פניה לרחוב המוגבל לנסיעת כלי רכב מורשים בלבד.

תאור התמרור מובא בציור 1.1.

#### ב. סימון על פני הדרך

סימון נתיבים לתחבורה ציבורית, יעשה ע"י קו קטעים כפול בצבע צהוב. סימון זה יצורף ללוח התמרורים כתמרור ד-3 המתואר בציור 1.2. המידות המומלצות של הסימון מובאות בטבלה 1.1 להלן.


בתחילת הנת"צ יסומן אלכסון (Taper) בשיפוע הנע בין 1:8 עד 1:20. הסימון יעשה בקו ד-3 צפוף. בהמשך לאלכסון, יסומנו שניים או שלושה חצים בצבע צהוב (תמרור ד-13). סימון זה נועד להבהיר לרכב, שאינו מורשה לנוע בנת"צ, כי עליו לצאת ולהשתלב בנתיבים הרגילים, מהר ככל האפשר. בהמשך הנת"צ, לאחר כל צומת, יסומן לפחות חץ צהוב אחד, מיד בכניסה לקטע הדרך.

בהתקרבות לצמתים בהם קיימים נתיבי פניה יש לסמן חצים בצבע צהוב, להכוונת התנועה המגיעה לצומת מהנת"צ, וחצים בצבע לבן להכוונת התנועה המגיעה לצומת מהנתיבים האחרים. יתכן גם מצב של חצים מעורבים בנת"צ, בו מותרות תנועות מסוימות לכלל כלי הרכב.

**ציור 1.1: דף החלפה לתמרור ב-35 בלוח התמרורים**

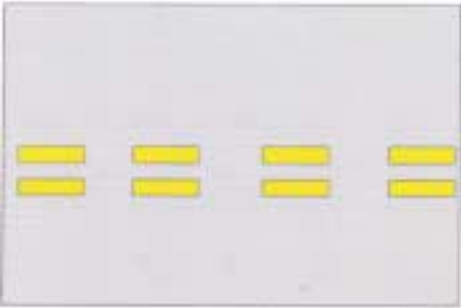
מידות מרביות של התמרור :

בדרך עירונית : 85\*110 ס"מ  
 בדרך לא-עירונית : 125\*165 ס"מ  
 בדרך מהירה : 170\*220 ס"מ

.5 עומד בדרך בצידה	.4 כוחו יפה ממקום הצבתו	.3 פירושו	.2 מספרו	.1 צורת התמרור וצבעו
הימני או השמאלי או מעל לנתיב.	עד לצומת הבא או לקצה סימון ד-3.	הנסיעה מותרת מונית ורכב רב-נוסעים, כמפורט בו. צוינו ימים ושעות בתמרור, יחולו הוראות התמרור על פי המצוין בו.	ב-35	

הערה: תוקפם של תמרורי ב-35 הקיימים וכן תימרור נת"צים קיימים, שאושרו ע"י המפקח על התעבורה על ידי הסימון הקיים, יהיה עד 31.12.1999.

**ציור 1.2: הגדרת הסימון ד-3 בלוח התמרורים**

3. הסבר ופירוש הסימון	2. מספרו	1. צבע הסימון וצורתו
<p>קו קטעים כפול בצבע צהוב המשמש לסימון נתיב תחבורה ציבורית: הנסיעה בנתיב מותרת לרכב על פי המצוין בתמרור ב-35 ו/או רכב הפונה בצומת הקרוב. עצירה וחניית כלי רכב בנתיב, אסורים אלא אם צוין אחרת.</p>	<p>ד-3</p>	 <p>רוחב הקו 20 ס"מ (7-6-7) לפחות</p>

**טבלה 1.1: מידות מומלצות לסימון ד-3**

צפיפות הסימון (מטר)	מקום הסימון	סוג הקו	מהות הסימון
1:2	נתיב בדרך עירונית	ד-3	סימון נתיב רב-נוסעים
1:1	נתיב המשכי בצומת עירוני		
1:0.5	נתיב פניה בצומת עירוני		
3:12	נתיב בדרך לא-עירונית		
3:3	נתיב המשכי בצומת לא-עירוני		
3:1.5	נתיב פניה בצומת לא-עירוני		

**הערות:** \* המספר הראשון מציין את אורך קווי הצבע והמספר השני את המרווח ביניהם; \*\* עוביו המינימלי של הסימון יהיה 20 ס"מ בחלוקה 7-6-7.

#### 1.4 הנחיות להצבת תמרורים וסימון נת"צ

מומלץ לשמור על עקרונות סימון ושילוט אחידים עד כמה שניתן בעת תכנון הנת"צ. אחידות זו תורמת להבנת הסדרי התנועה, על ידי הנהג, ומאפשרת ניצול יעיל של ההסדרים.

#### א. הנחיות לתימרון:

1. נתיבים ומסלולים לתחבורה ציבורית יתמררו בתמרור ב-35 קבוע או מתחלף.
2. מומלץ כי תמרור ב-35 מתחלף, יינתן אחרי צמתים מסוג א' ( כמוסבר בטבלה טבלה 1.2 הלקוחה מתוך ה"הנחיות לתכנון רחובות בערים - חלק 2"), באותם מקרים בהם הנת"צ מוגבל לשעות פעולה מסוימות. בשעות בהן אין הנת"צ פועל יש לכתוב על התמרור **"מותר לכל כלי הרכב" ו-ALL** **"VEHICLES ALLOWED"** באותיות שחורות על רקע צהוב. התמרור המתחלף ימוקם על עמוד שוט, מעל לנתיב הנסיעה, ויכלול את החלק המתייחס לכלי הרכב המורשים להשתמש בנת"צ בלבד. גובה תחתית התמרור יהיה 5.50 מטר מפני המסעה ומרכז התמרור יבלוט למרחק של 1.50 מטר לכל היותר לתוך הנתיב. דוגמא לאופן הצבתו של התמרור המתחלף מובאת בצירור 1.3.
3. בשטחים בנויים, בעלי צפיפות צמתים גבוהה, ניתן להעמיד אחרי צמתים מסוג א', תמרור ב-35 קבוע. תמרור זה יבלוט כ-1.50 מטר לתוך הנתיב ותחתיתו תהיה בגובה של 5.50 מטר מפני המסעה. אחרי צמתים בעלי חשיבות פחותה, ניתן להעמיד תמרור על עמוד גבוה כך שקצהו יהיה במרחק של 0.50 מטר מחוץ לנתיב ותחתיתו תהיה בגובה 4.50 מטר מפני המסעה. התמרורים הקבועים אחרי צמתים מסוג א' מתוארים בצירור 1.4.
4. אחרי צמתים מסוג ב' או ג' יתמרר הנת"צ בתמרור ב-35 קבוע. התמרור ימוקם על עמוד, במרחק של 0.50 מטר מקצה המסעה והגובה, מפני המדרכה ועד תחתית השלט, יהיה 2.50 מטר לכל הפחות. אחרי צמתים מסוג ג' יינתן תמרור ב-35 במידות המינימליות המותרות גם אם סוג הדרך מצריך תמרור גדול יותר. התמרור אחרי צמתים מסוגים ב' וג' מתואר ציור 1.5.
5. כאשר הצמתים, לאורך ציר, צפופים והמרחק ביניהם לא עולה על 300 מטר, יש לתת תמרורים בגודל אחיד וזאת משיקולים של אחידות התימרון לאורך ציר. גודלם וצורתם של התמרורים יקבע על פי התמרור הגדול ביותר הנדרש.

6. כאשר מתבצעת פניה לרחוב בו מותרת תנועה של כלי רכב מורשים בלבד, יינתן לפני הפניה תמרור ב-35 בתוספת התמרור א-45 בגוף השלט. גודל הכתיב במקרה זה יהי 7 ס"מ והתמרור א-45 יינתן בגובה של 30 ס"מ, לכל הפחות, בצד הכיתוב. צורת התמרור מתוארת בציור 1.5.

**טבלה 1.2: זיהוי סוג הצומת על פי מפגש בין רחובות**

ציר משני			ציר ראשי
מקומי	מאסף	עורקי	
סוג ב	סוג ב' או א'	סוג א'	עורקי
סוג ג' או ב'	סוג ב'	-	מאסף
סוג ג'	-	-	מקומי

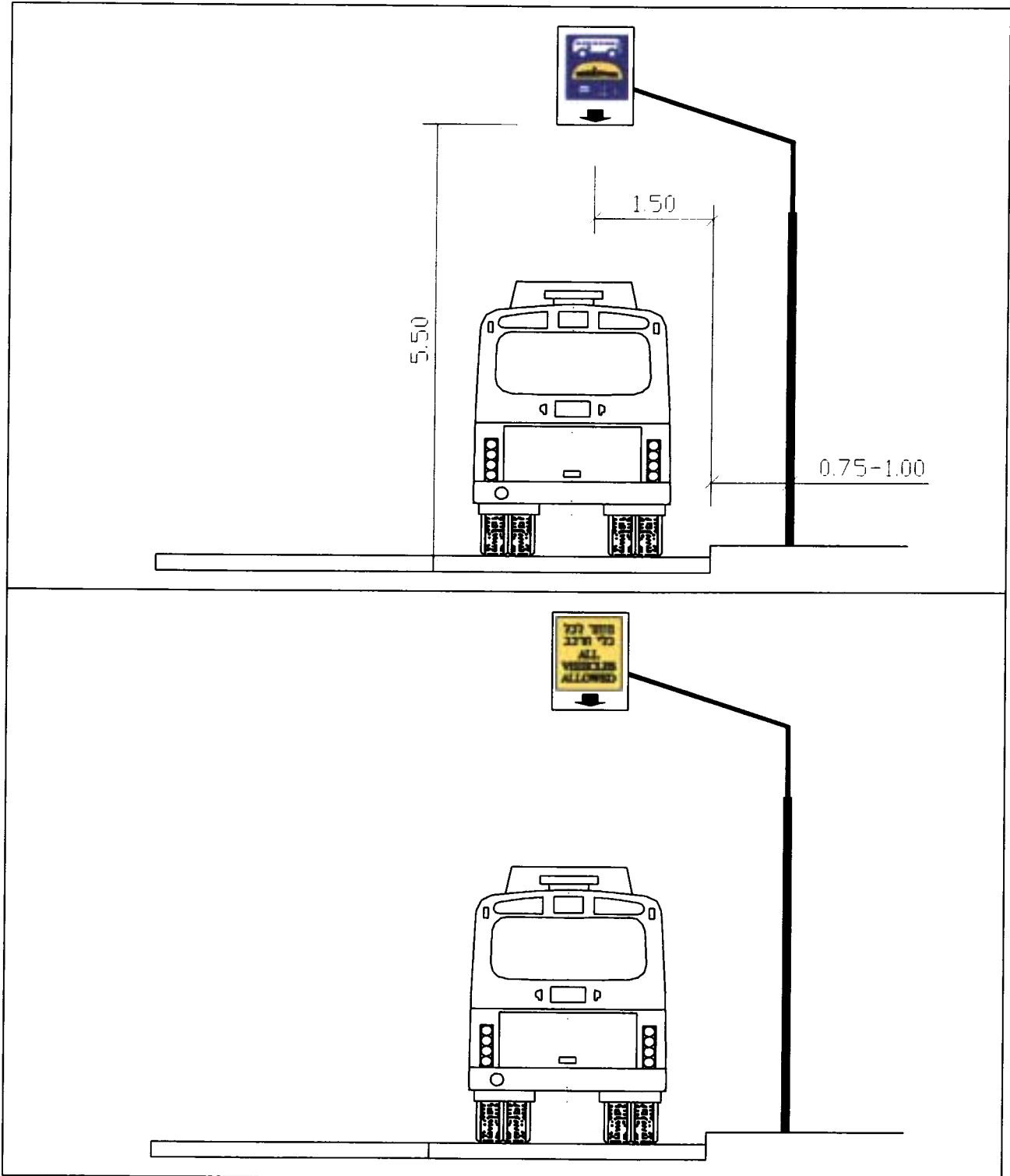
הערה: צומת המסומן ב-\*, בין כביש מקומי לבין כביש עורקי אינו צריך להתקיים מבחינת עקרונות תכנון מערכת נאותים, אולם הוא קיים במציאות בכמה מקרים.

במידה והיררכית שני הרחובות הנפגשים אינה זהה, סוג הצומת יקבע על פי ההיררכיה של אחד הרחובות בלבד, בהתחשב בנפח התנועה הקיים ברחוב המשני. כאשר נפח התנועה ברחוב המשני נמצא בחלקו העליון של תחום נפחי התנועה (במוסבר בטבלה 1.3 טבלה 1.3 הלקוחה מתוך ה"הנחיות לתכנון רחובות בערים - חלק 1"), ייקבע סוג הצומת על פי היררכית הרחוב הראשי. אחרת, יקבע סוג הצומת על פי היררכית הרחוב המשני.

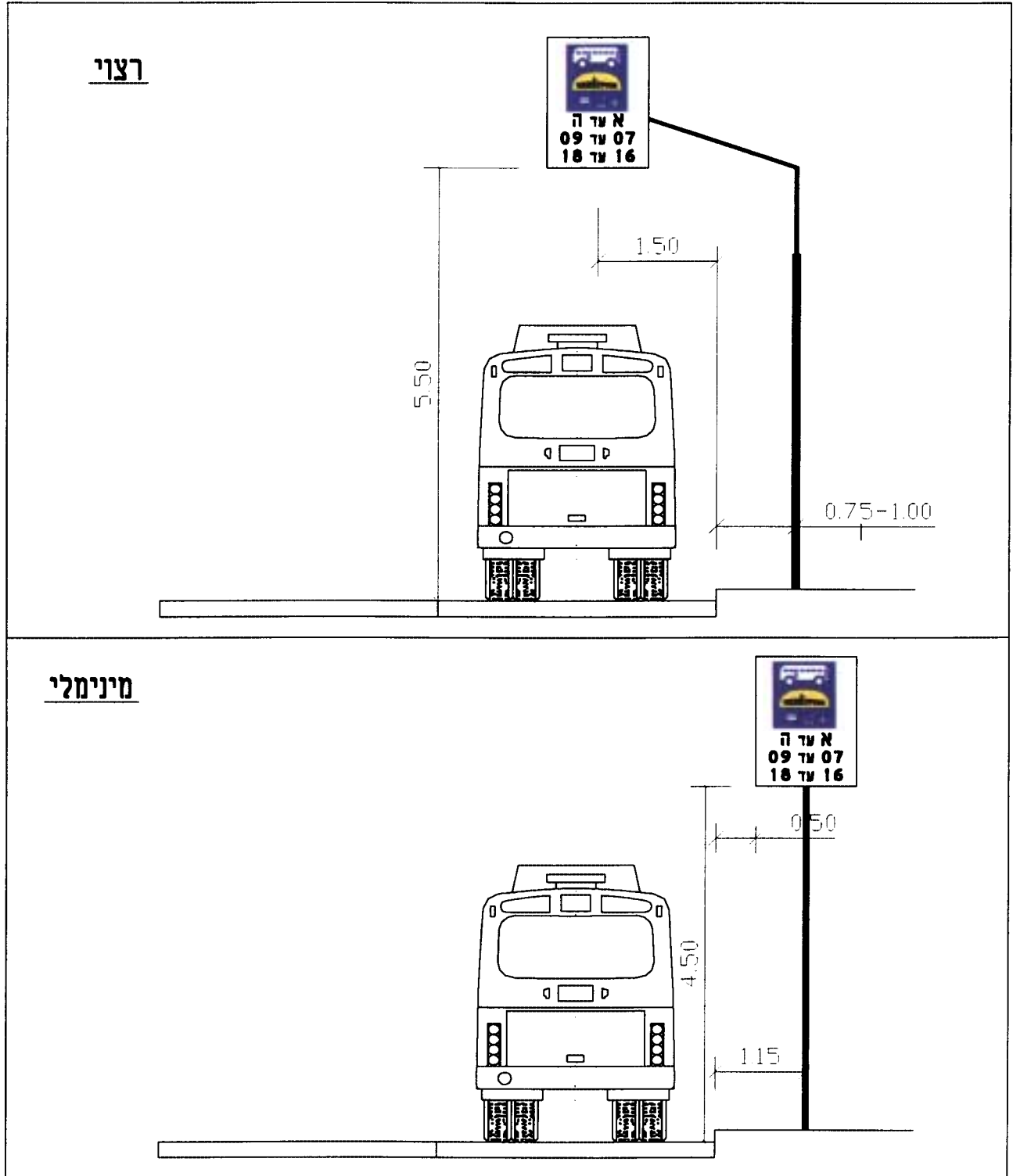
**טבלה 1.3: תחום נפחי התנועה ברחובות בערים**

נפח תנועה יומי (כלי רכב לשעה)	סוג הרחוב
10,000 עד 30,000	עורקי
1,000 עד 10,000	מאסף
קטן מ-1,000	מקומי

ציור 1.3: תמרור ב-35 מתחלף, מעל נת"צ אחרי צמתים מסוג א' (קנ"מ 1:75)

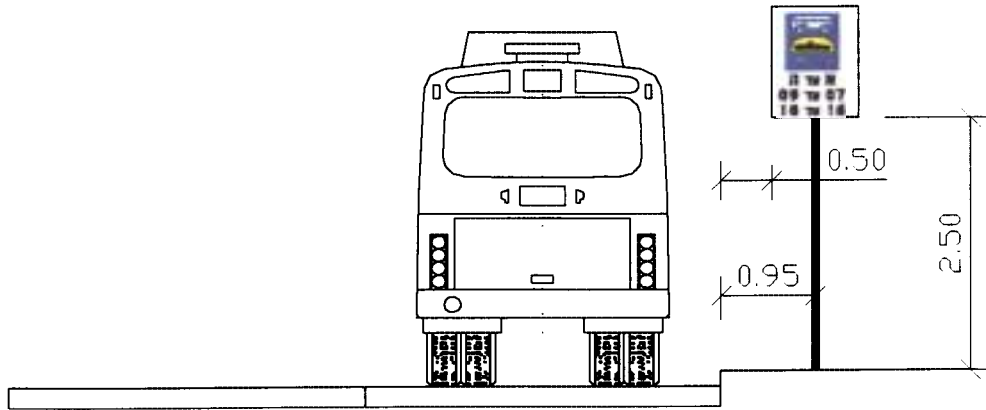


ציור 1.4: תמרור ב-35 קבוע אחרי צמתים מסוג א' בשטח בנוי (קנ"מ 1:75)

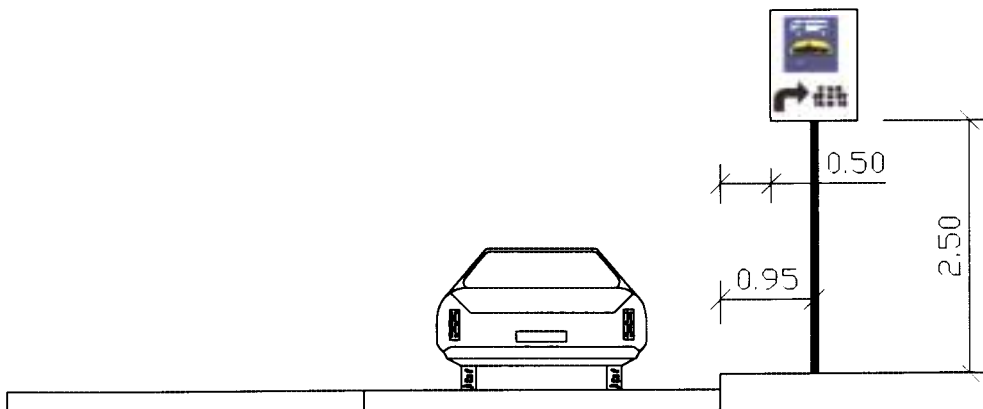


ציור 1.5: תמרורים ב-35 אחרי צמתים מסוג ב' וג' ולפני פניה (קנ"מ 1:75)

תמרור קבוע המומלץ בנר"ן אחרי צמתים מסוג ב' או ג'



תמרור קבוע המומלץ לפני פניה  
לדרך המיועדת לכלי רכב מורשים בלבד



## ג. הנחיות לסימון:

1. הנת"צ יסומן בקו קטעים ד-3 בין עם הוא נמצא מימינם של הנתיבים האחרים ובין עם הוא נמצא משמאלם. אופן סימון זה נועד לאפשר ביצע פניות תוך חציית הנת"צ מחד, ולא לכבול את הרכב המורשה לשימוש בנת"צ מאידך גיסא.

2. התחלת נת"צ תסומן בקו ד-3 כאלכסון בשיפוע התלוי במהירות המותרת ברחוב, כדלהלן:

מהירות של 50 קמ"ש או פחות - 1:8

מהירות 60 קמ"ש - 1:10

מהירות 70, 80 קמ"ש - 1:15

מהירות 90, 100 קמ"ש - 1:20

צפיפות הסימון באלכסון תהיה 1:0.5 מטר, בדרך עירונית ו- 3:1.5 מטר, בדרך לא עירונית. בהמשך לאלכסון, יסומנו שניים או שלושה חצים בצבע צהוב (תמרור ד-13) במרווחים 20-20-30 מטר.

3. בהמשך הנת"צ, לאחר כל צומת, יסומן לפחות חץ צהוב אחד, מיד בכניסה לקטע הדרך.

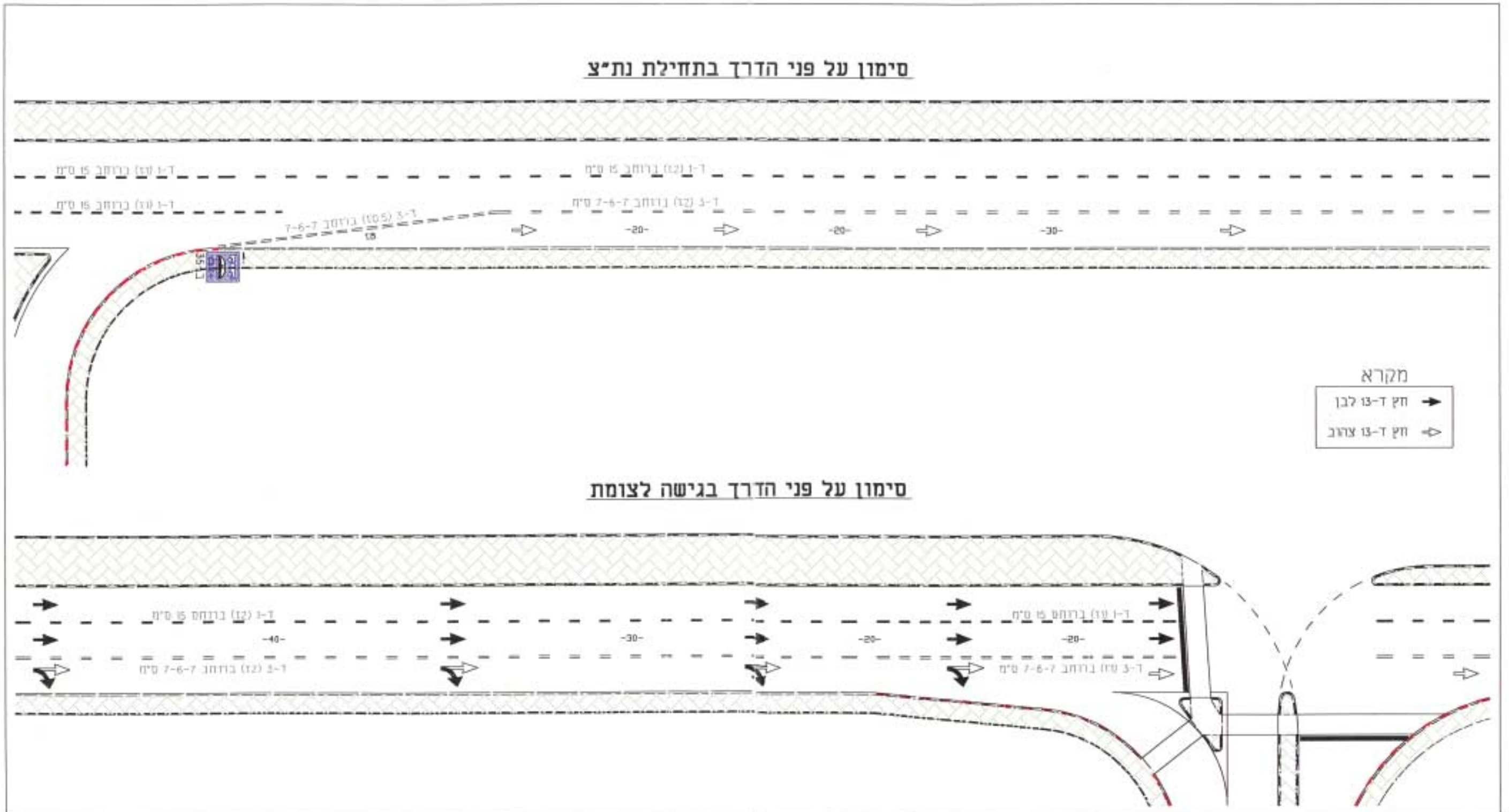
4. מומלץ להדגיש את הסימון על הדרך ב"עיני חתול" או כפתורים בצבע צהוב. עין החתול או הכפתור יינתנו בתחילת הקווים (עם כיוון הנסיעה) בתדירות התואמת את ההנחיות לאופן הצבת עיני חתול.

5. קווי ההדרכה לפנייה בצמתים (סימון ד-12) יסומנו בצבע לבן ויכוונו את התנועה לנתיבים הרגילים בלבד וזאת בכדי לא ליצור בלבול אצל הנהג ברכב הפרטי.

6. בסמוך לצמתים יסומנו על הדרך חצים (תמרור ד-13) בצבעים לבן וצהוב, בהתאם לכיווני הנסיעה המותרים מתוך הנת"צ. בדרכים בין עירוניות רצוי לסמן חמש מערכות חצים עוקבות במרווחים של 20-20-30-40 מטר. ראשו של החץ הראשון יתחיל 0.50 מטר מקו העצירה או מהכניסה לשטח הצומת. בדרכים עירוניות רצוי לסמן לפחות שלוש ובשום מקרה לא פחות משתי מערכות של חצים.

עקרונות הסימון של נת"צים מתוארים בציר 1.6.

ציור 1.6: סימון עקרוני של נת"צ על פני הדרך



## 1.5 הנחיות לאופן הצבת רמזורים בנת"צ

פנסי הרמזורים המיועדים לשרת את הנת"צ (הקרוב והרחוק), בד"כ יותקנו על עמודים רגילים. גובה תחתית הפנסים, מפני המדרכה, יהיה 3.00 מטר. פנסי רמזור על עמודי שוט יותקנו לרוב בנת"צ חד-כיווני הפיך או כאשר גיאומטרית הצומת מחייבת את הבלטת הפנס.

בראש הפנס יינתן מכוון תנועה (תמרור ב-40 עד ב-47) המראה על כיווני הנסיעה המותרים. מתחת לפנס הרמזור יינתן תמרור ב-35 במידות 50x50 ס"מ הכולל את כלי הרכב המורשים לנוע בנת"צ (לרוב אוטובוסים ומוניות בלבד). באותם מקרים בהם לא ניתן לתלות את התמרור ב-35 מתחת לפנס הרמזור, יש למקמו בצמוד לפנס, מצידו הימני. בצמתים עם מהירות התקרבות העולה על 80 קמ"ש, כאשר פנס הרמזור ממוקם על שוט, ניתן להגדיל את גודל התמרור ב-35, ל-80x80 ס"מ.

בנת"צ עם כיוון התנועה, המקבל את האור הירוק ביחד עם כלל התנועה, אין צורך בפנסי רמזור מיוחדים.

אופן המיקום וצורתם של פנסי הרמזור המשרתים נת"צ מנוגד תנועה מתוארים בציר 1.7.

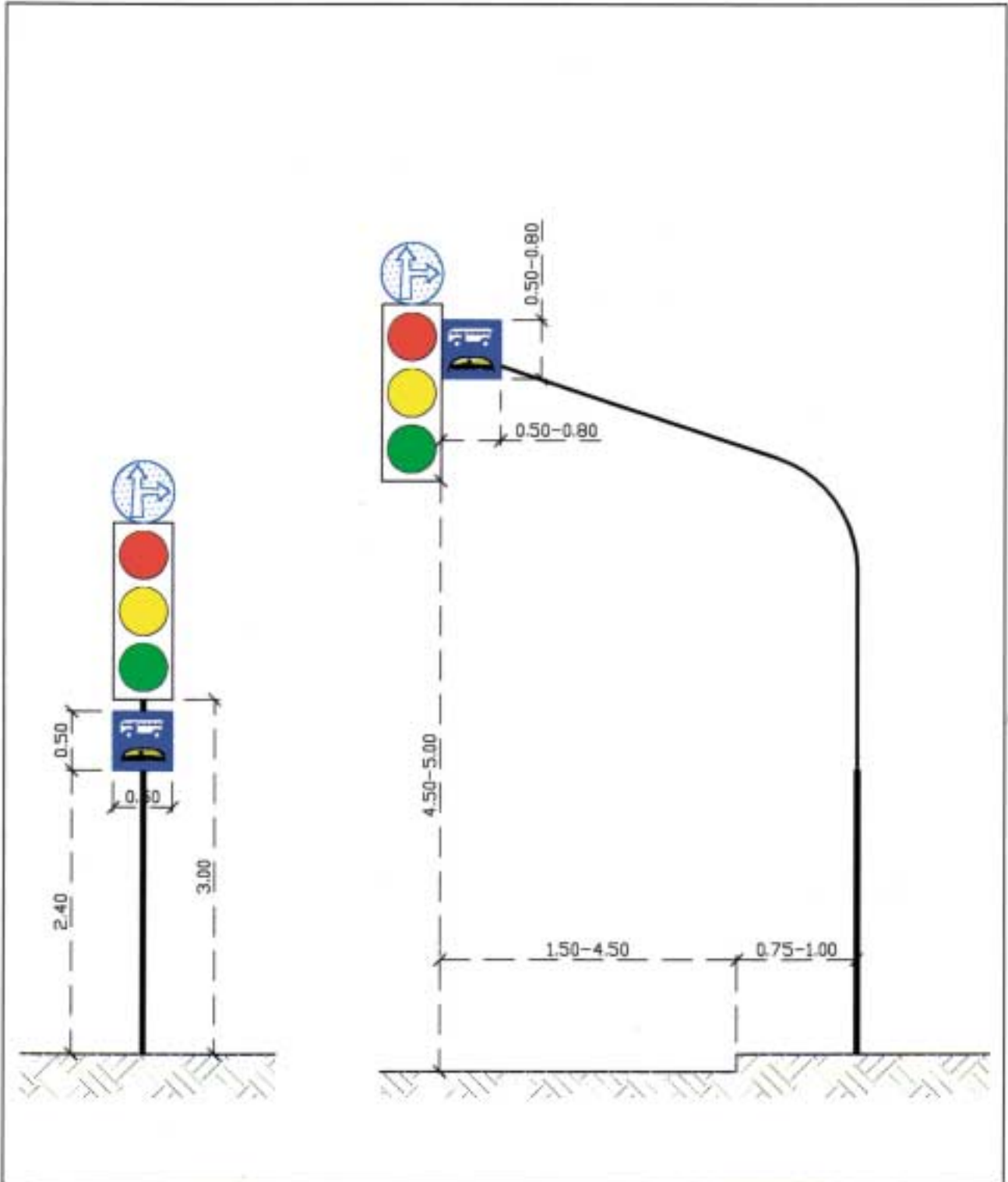
## 1.6 תמרורים ב-49א וג-6א

תמרור ב-49א משמש בעיקר לתימרור מיפרדה המפרידה בין נתיב רגיל לנת"צ. זרימת התנועה משני צידי המיפרדה הינה לאותו הכיוון.

תמרור ג-6א נועד לרחובות חד-סטריים בהם התנועה בכיוון הנגדי מותרת לרכב המוגדר על ידי התמרור ב-35, בלבד. בצידו השני של קטע הרחוב בו הוצב התמרור ג-6א יינתן התמרור ב-35 בצידו הימני של הרחוב ולא תמרורי ב-2, כמקובל ברחובות חד-סטריים רגילים.

בציר 1.8 מובא דף השלמה לתקנות התעבורה עבור התמרורים ב-49א וג-6א.

ציור 1.7: אופן ההצבה של פנסי רמזור המשרתים נת"צ



ציור 1.8: דף השלמה לתמרורים ב-49א וג-6א בלוח התמרורים

.5 מקום הצבתו	.4 כוחו יפה ממקום הצבתו	.3 פירושו	.2 מספרו	.1 צורת התמרור וצבעו
לפני המכשול או גבי על גבי או לפני	עד לביצוע הוראת התמרור	<p>עבור את המקום המסומן בתמרור מהצד המסומן בחץ הלבן.</p> <p>מותר לעבור את התמרור מן הצד המסומן בחץ הצהוב, לרכב המורשה לנסוע במסלול לתחבורה ציבורית והמוגדר בתמרור ב-35 הסמוך.</p>	ב-49א	
מצידה הימני של הדרך	עד לצומת הקרוב	<p>כניסה לקטע כביש שבו התנועה מותרת עד הצומת הקרוב רק בכיוון המסומן בחץ, למעט תחבורה ציבורית, שהוגדרה על ידי התמרור ב-35 ושתנועתה מותרת גם בכיוון הנגדי.</p>	ג-6א'	

## 2 . תכן של פרטים גיאומטריים יסודיים של הנת"צ

### 2.1 . כללי

תכן גיאומטרי של הנת"צ לכל אורכו ובמיוחד של פרטי הכניסה אליו והיציאה ממנו, נועד לאפשר מעבר נוח ובטוח לכלי הרכב המשתמשים בו. האלמנטים הגיאומטריים השונים נועדו להבטיח תנועה בנתיבים מוגדרים, ברורים והמשכיים. הגיאומטריה של הנת"צ תלויה במידה רבה בסוג הנת"צ (ראה פרק 1) אולם, קיימים פרטי תכן המשותפים לכל הסוגים.

בפרק זה של ההנחיות יידונו פרטי התכן הבאים:

א. נתיבי הנסיעה

ב. שפת המסעה

ג. תכנון מעל למינימום של נתיבים לפניות ימינה חופשיות.

ד. נתיבים לפניות שמאלה

ה. מרווח חופשי

במקרים רבים תכנון גיאומטריה המבוסס על "ההנחיות לתכנון רחובות בערים" (פרקים 1 ו-2) יענה גם לדרישות המעבר של אוטובוסים. יחד עם זאת, בערים, במקומות בהם הנת"צ משמש בעיקר את התחבורה הציבורית לסוגיה, ניתן להשתמש בסוגי האוטובוסים השונים ככלי רכב לתכנון.

### 2.2 . כלי רכב לתכנון

השימוש באוטובוס ככלי רכב לתכנון מחייב להתייחס לשלושה סוגי אוטובוסים עיקריים העשויים לנוע בנת"צ. סוגים אלה הינם: אוטובוס רגיל, אוטובוס דו-קומתי ואוטובוס מפרקי. מידות האוטובוסים השונים מובאות בטבלה 2.1 ומתוארים בציור 2.1.

המידות שבטבלה מהוות מיצוע קריטי לתכנון של מגוון מייצג של האוטובוסים הנעים בדרכי הארץ ואינן תואמות במדויק את מפרטי היצרנים השונים. הרדיוס המינימלי לתכנון של מסלול הגלגל החיצוני השמאלי הינו 12.00 מטר וזאת בגלל הצורך במהירות מינימלית של 10 קמ"ש בעת ביצוע פניות.

בציור 2.2 וציור 2.3 מובאים שקפים (טמפלטים) של האוטובוסים, המשמשים לתכנון תנוחה של דרכים. האוטובוס הדו-קומתי מהווה כלי רכב לתכנון המרווח החופשי מתחת לגשרים ובתוך מנהרות.

**טבלה 2.1: סוגי כלי הרכב לתכנון נת"צים**

מספר נוסעים	רדיוס גלגל חיצוני לתכנון (מטר)	בלט אחורי (מטר)	בלט קדמי (מטר)	גובה כולל מזגן (מטר)	רוחב (מטר)	אורך כללי (מטר)	סימון	סוג האוטובוס
55+(13)	12.00	3.20	2.60	3.50	2.50	12.00	RBUS	רגיל
82	12.00	2.65	2.40	4.25	2.50	12.00	DBUS	דו-קומתי
61+(69)	12.00	3.15	2.70	3.50	2.50	17.65	ABUS	מפרקי

הערה: מספר הנוסעים בסוגריים מציין את מספר המקומות בעמידה

**2.3 . רוחב נתיב הנסיעה**

נתיב התחבורה הציבורית משמש בעיקר אוטובוסים שרוחבם 2.50 מטר. קיים קשר בין רוחב הנתיבים לבין מהירות הנסיעה בדרך כמתואר ע"י נוסחה 2.1:

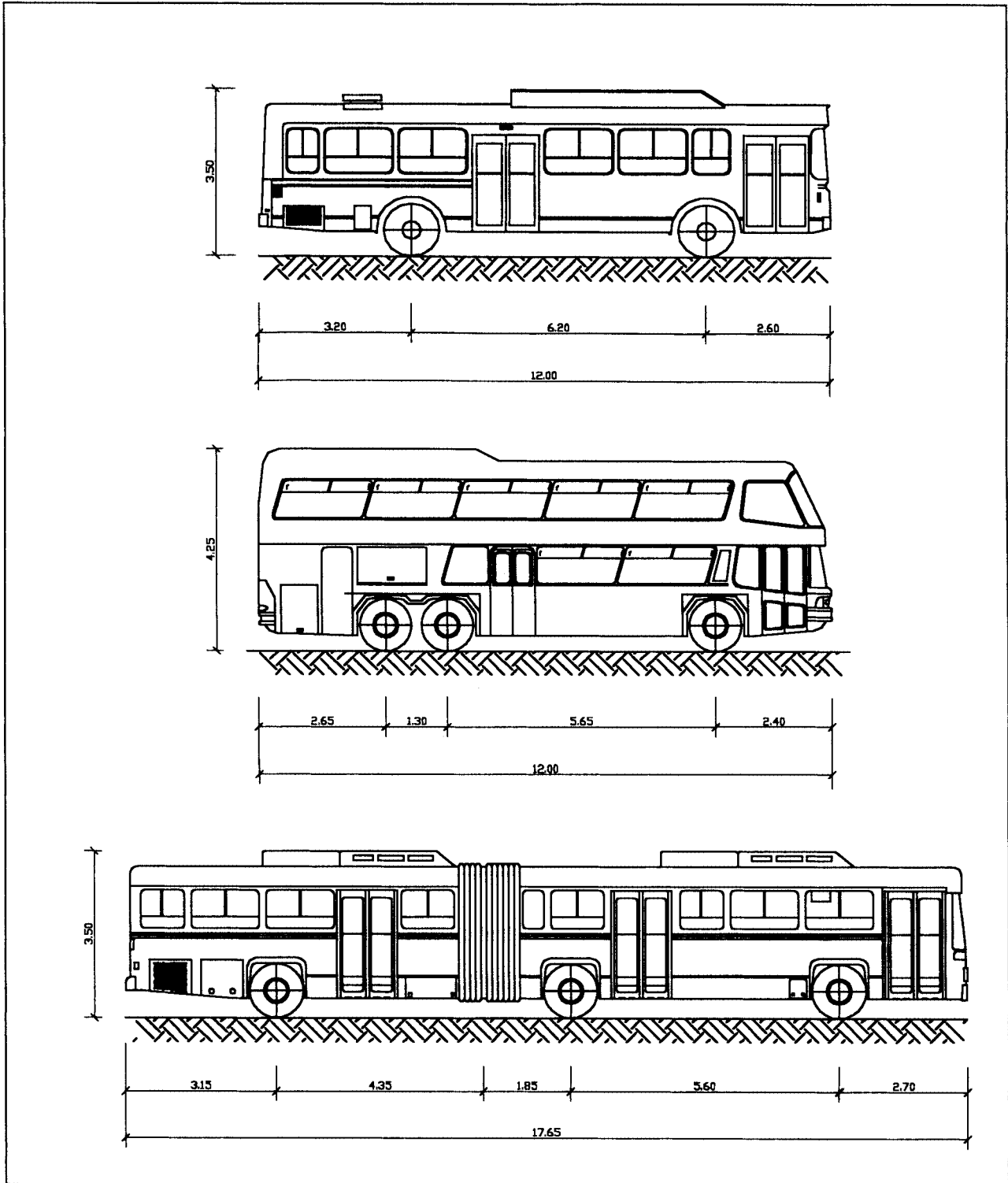
$$b = 1.5 \cdot (0.5 + 0.004 \cdot S) + W \quad 2.1$$

כאשר:  $b$  - רוחב הנתיב (מטר)  
 $S$  - מהירות התכן בנתיב (קמ"ש)  
 $W$  - רוחב הרכב לתכנון (מטר)

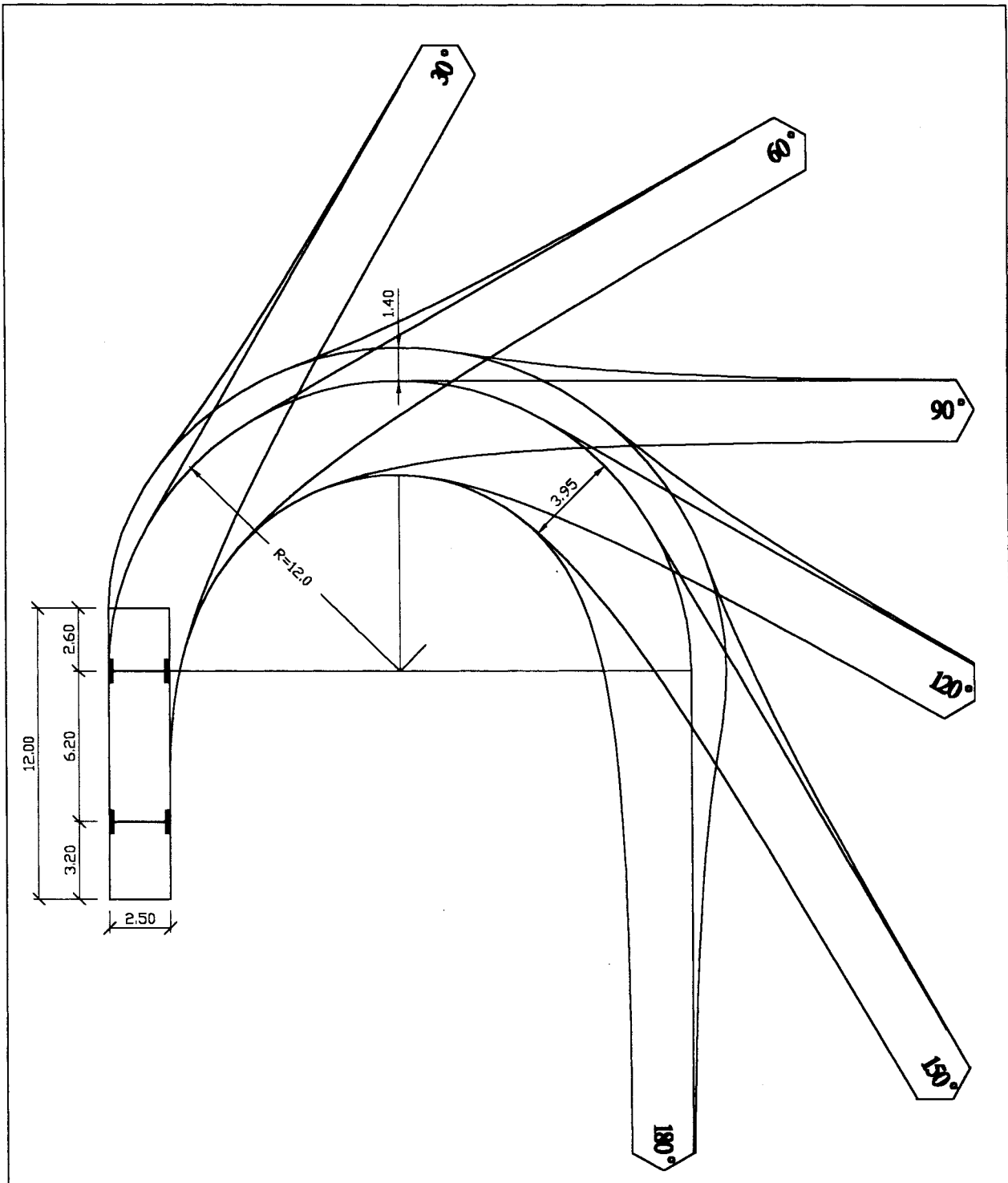
ע"פ נוסחה זו נע הרוחב המומלץ של נת"צ בין 3.50 מטר (בדרכים בהם מהירות התכן הינה 50 קמ"ש או פחות) לבין 3.75 מטר (בדרכים בהם מהירות התכן הינה 80 קמ"ש). קשר זה מתואר בציור 2.4. במקרים מיוחדים של מחסור במקום, ברחובות בעלי מהירות נסיעה נמוכה מ-50 קמ"ש, ניתן להקטין את רוחבו של הנת"צ ל-3.25 מטר.

בדרך כלל, רוחב הנתיבים הרגילים יהיה כרוחב הנת"צ. במקומות בהן זכות רוחב הדרך מוגבל מאוד ואין אפשרות לשמור על המידות המומלצות יש לשמור על רוחבו של הנת"צ על חשבון הנתיבים הסמוכים. כאשר נפח כלי הרכב הכבדים ברחוב נמוך, ניתן להקטין את רוחבם של הנתיבים, שאינם נת"צ, עד ל-3.00 מטר בדרכים מאספות ועד ל-3.25 מטר בדרכים העורקיות.

**ציור 2.1: סוגי האוטובוסים המשמשים לתכנון נת"צים (קני"מ 1:125)**



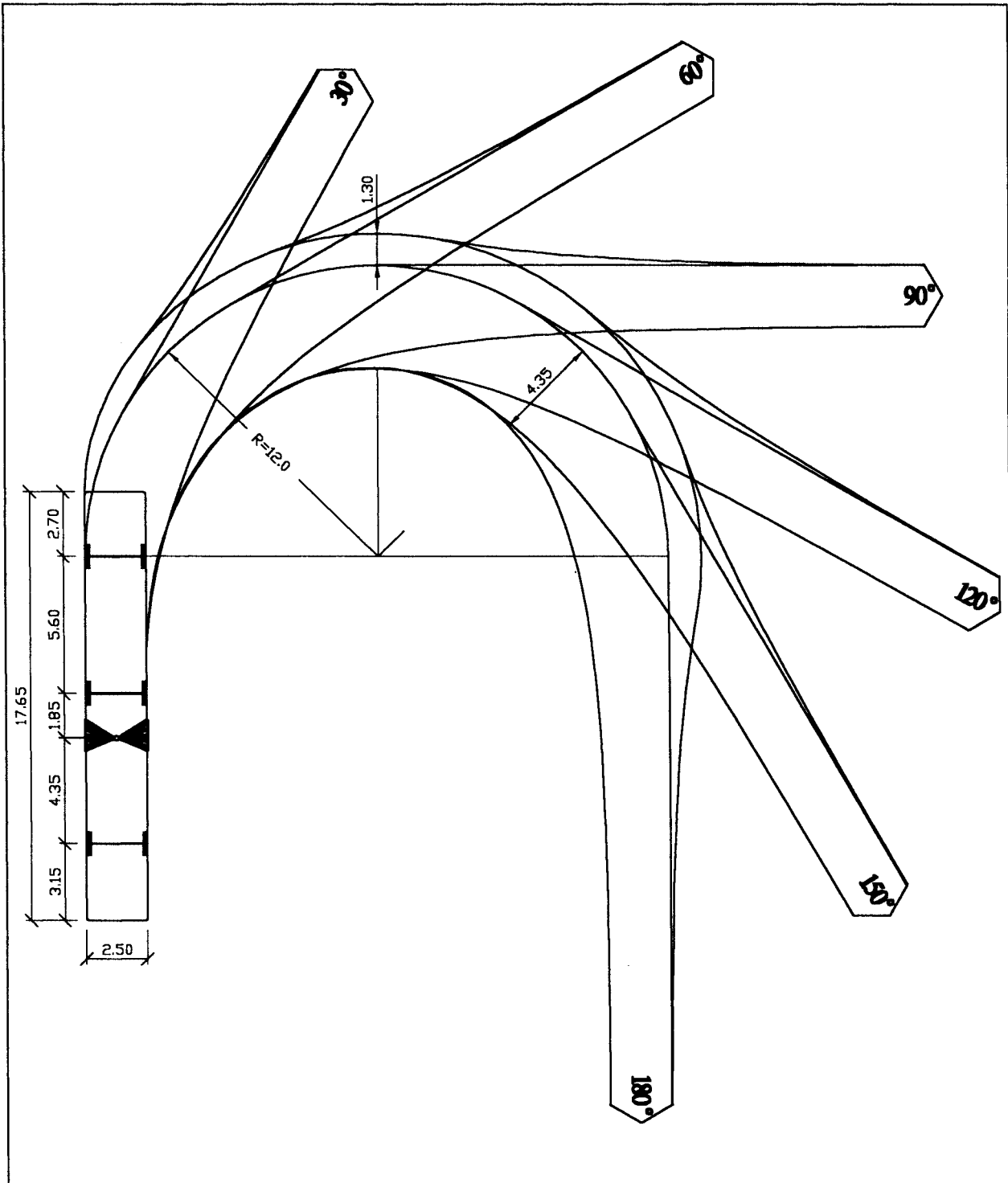
ציור 2.2: שקף לתכנון של אוטובוס בין עירוני רגיל - RBUS (קנ"מ 1:250)



חלק ב', עמוד 2.4

הנחיות לתכנון נח"צ, 1998

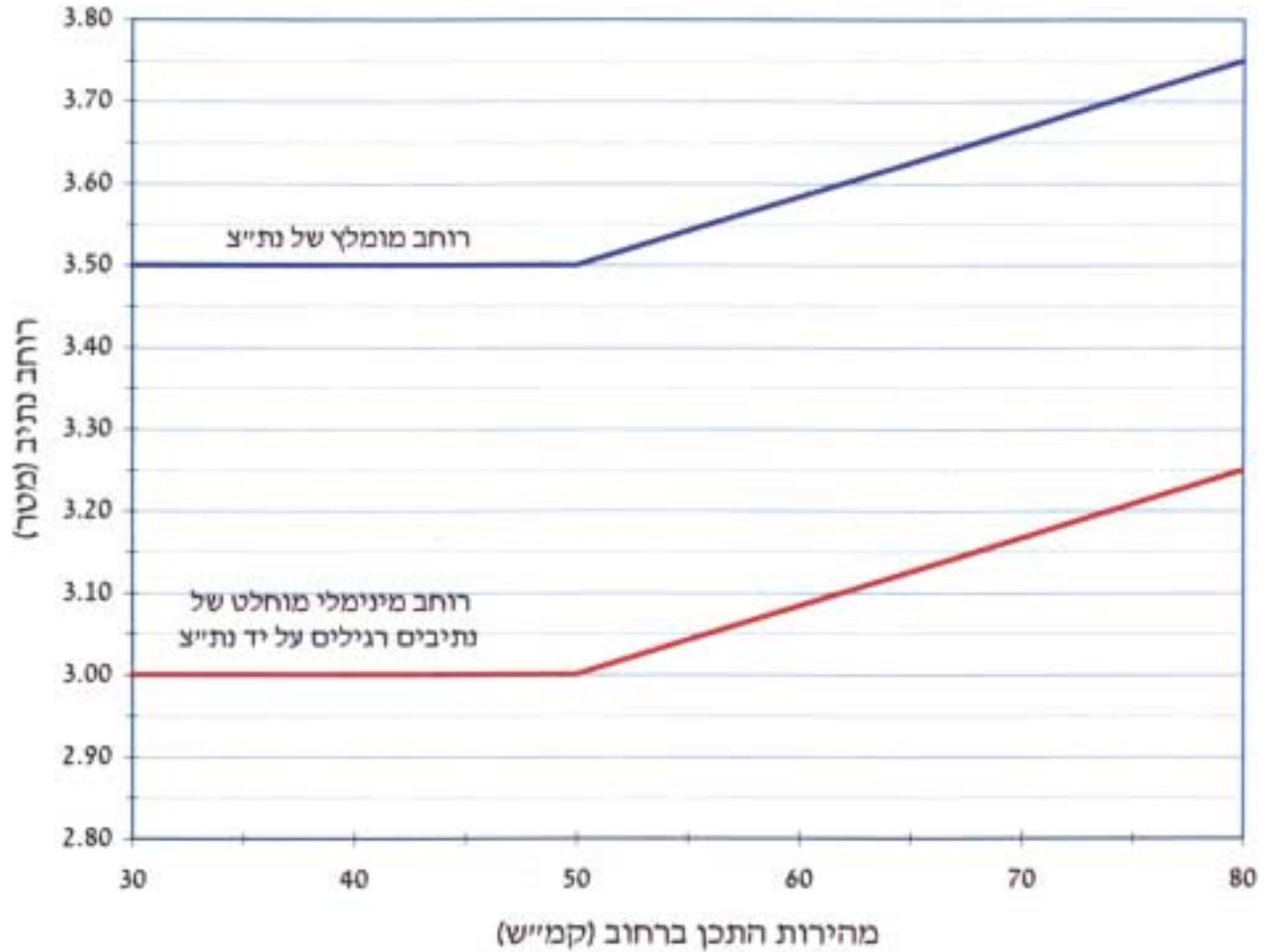
ציור 2.3: שקף לתכנון של אוטובוס מפרקי - ABUS (קנ"מ 1:250)



חלק ב', עמוד 2.5

הנחיות לתכנון נח"צ, 1998

ציור 2.4: הקשר בין הנתיבים לבין מהירות התכן ברחוב



$b = 1.5 \cdot (0.5 + 0.004 \cdot S) + W$	2.1
כאשר:	$b$ - רוחב הנתיב (מטר)
	$S$ - מהירות התכן בנתיב (קמ"ש)
	$W$ - רוחב הרכב לתכנון (מטר)

#### 2.4 . רדיוס שפה מזערי

רדיוס שפת המסעה בפניות ימינה הינו אלמנט גיאומטרי בסיסי בתכנון צמתים. כאשר כלי הרכב הגדול ביותר המשתמש בפניות מהנת"צ או אליו, הינו אוטובוס מסוג מסוים, יבחר אוטובוס זה ככלי הרכב לתכנון. בד"כ רצוי לתכנן את שפת המסעה בפניות ימינה במידות הגדולות מעט מן המזעריות וזאת על מנת לשפר את קיבולת הפניה ולהימנע מירידה חדה במהירות הנסיעה. טבלה 2.2 מתארת את המלצה לבחירה של כלי הרכב לתכנון.

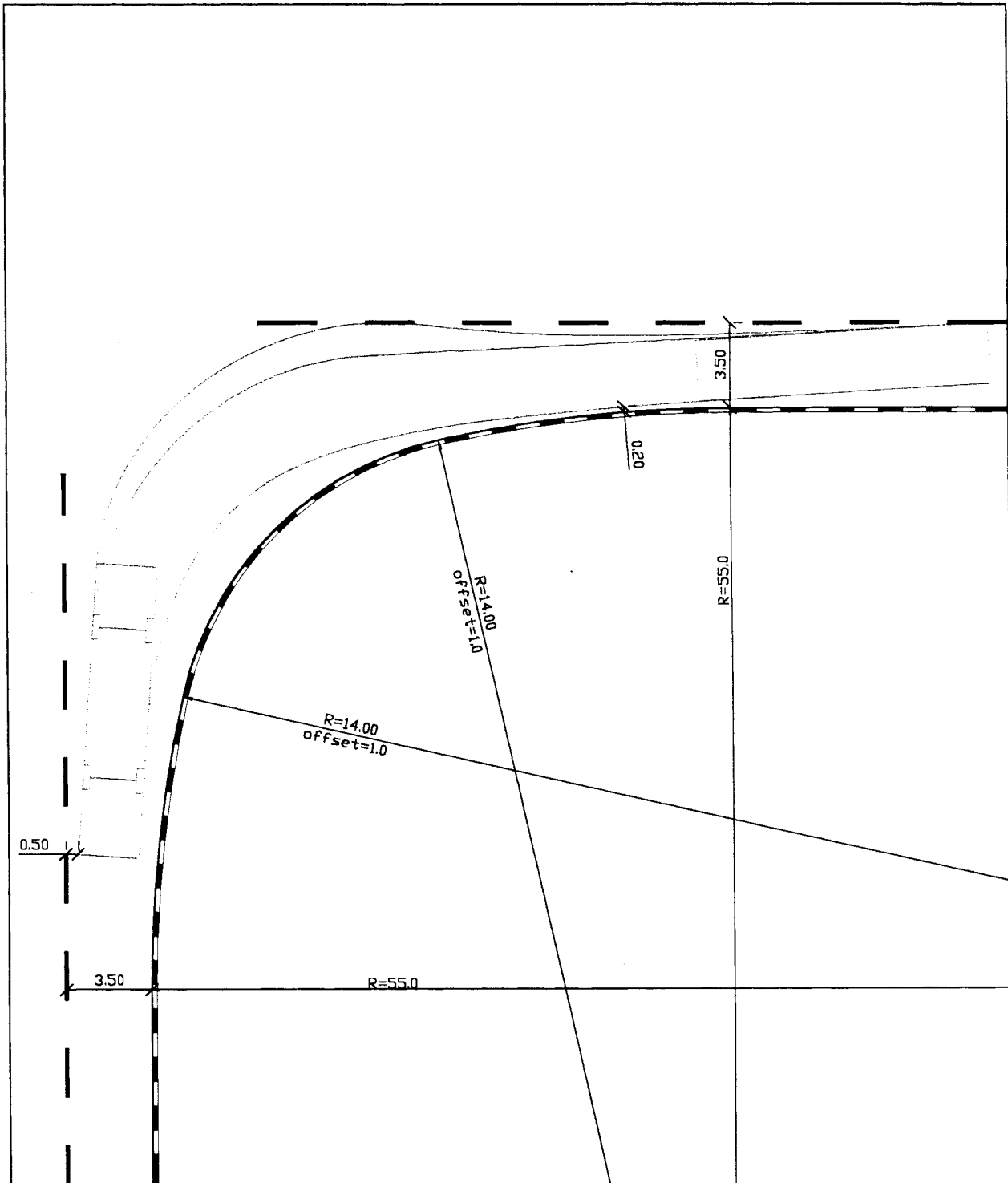
**טבלה 2.2: בחירת כלי הרכב לתכנון שפת המיסעה**

הערות לתכנון	סוג הרכב לתכנון	פניה אל	פניה מ
תכנון מעל המינימום	ABUS	נת"צ	רחוב עורקי
תכנון מעל המינימום	RBUS	נת"צ	רחוב מאסף
תכנון מעל המינימום	ABUS	רחוב עורקי	נת"צ
תכן שפה מזערי	RBUS	רחוב מאסף	נת"צ
תכן שפה מזערי	ABUS	נת"צ	נת"צ

הערה: כאשר נפח האוטובוסים המפרקים בפניה עולה על 12 אוטובוסים בשעת השיא, יבחר האוטובוס המפרקי ככלי הרכב לתכנון בכל מקרה.

- אופן בניית רדיוס שפה מזערי מתואר בצירור 2.5 והדבר מתבצע תוך שמירה על העקרונות הבאים:
- מהירות הפניה של כלי הרכב קטנה מ-15 קמ"ש ורדיוס הסיבוב של הגלגל הקדמי החיצוני הינו מינימלי.
  - רוחב הנתיבים בכניסה וביציאה מהפניה הינו 3.50 מטר וכלי הרכב לתכנון יכול להשלים את הפניה מבלי לחרוג לנתיבים הסמוכים.
  - בזמן התחלת הפניה מרווח הביטחון המזערי מהדופן השמאלית של הרכב עד קצה הנתיב הוא 0.50 מטר.
  - במהלך הפניה יכול הרכב לתכנון להגיע עד קצה נתיב הנסיעה אך לא לחרוג ממנו.
  - מרווח הביטחון המזערי מהדופן הימנית של הרכב עד שפת המסעה הוא 0.20 מטר ובשום מקרה לא יפגע כלי הרכב בשפת המסעה.
  - העקום המותאם של שפת המסעה מביא לשטח לא מנוצל קטן ככל האפשר.

ציור 2.5: אופן הבנייה של שפת מיסעה ברדיוס מזערי, עבור אוטובוס רגיל



חלק ב', עמוד 2.8

הנחיות לתכנון נח"צ, 1998

שפת המסעה יכולה להיבנות באחת מארבעת הדרכים המקובלות :

א. עקום מעגלי ברדיוס יחיד (לא מקובל בתכנון עבור אוטובוסים וכלי רכב כבדים)

ב. עקום מעגלי הנשען על שני לוכסנים סימטריים

ג. עקום תלת-מרכזי סימטרי

ד. עקום תלת-מרכזי בלתי סימטרי

כאשר מדובר ברכב כבד, תכנון עקום מעגלי ברדיוס יחיד גורם לשטח מסעה בלתי מנוצל גדול ועל כן אינו מומלץ. טבלה 2.3 מביאה את הרדיוסים המזעריים המומלצים עבור שיטות תכנון שונות של שפת המסעה.

**טבלה 2.3: רדיוסים מזעריים מומלצים עבור שיטות תכנון שונות של שפת המסעה**

עקום תלת מרכזי בלתי סימטרי		עקום תלת-מרכזי סימטרי		עקום מעגלי נשען על לוכסנים			כלי רכב לתכנון	זווית פניה (מעלות)
היסטים (מטר)	רדיוסים (מטר)	היסט (מטר)	רדיוסים (מטר)	היסט (מטר)	שיפוע הלוכסן	רדיוס (מטר)		
-	-	1.5	55-12-55	1.5	1:10	10.0	RBUS	75°
-	-	1.5	60-13-60	1.0	1:10	15.0	ABUS	
-	-	1.0	55-14-55	1.0	1:10	13.0	RBUS	90°
0.8-2.0	55-12-60	1.5	60-13-60	1.2	1:10	14.0	ABUS	
-	-	1.0	36-12-36	1.2	1:10	10.0	RBUS	105°
1.5-2.0	40-10-65	1.5	60-12-60	1.2	1:10	12.0	ABUS	

**2.5 תכנון מעל למינימום של נתיבים לפניות ימינה חופשיות.**

תכנון מעל למינימום מאפשר לכלי הרכב לתכנון להגיע, בעת ביצוע הפנייה, למהירות של 20-25 קמ"ש מבלי לחרוג לנתיבים הסמוכים. לרוב מקובל תכנון מעל למינימום ברחובות עורקיים (כמוסבר בטבלה 2.2) ובצמתים מרומזרים בהם יש צורך להבטיח פניה ימינה חופשית.

פניה ימינה חופשית מופרדת מן הנתיבים ההמשכיים על ידי אי משולש. בניית האי מונעת שטח מסעה גדול, המקשה על החצייה על הולכי הרגל. שטחו המזערי של אי זה יהיה 5.0 מטר מרובע, ומידתה המזערית של צלעו תהיה 3.0 מטר (בהתאם ל"הנחיות לתכנון רחובות בערים - חלק 2").

בניית השפה הפנימית לתכנון מעל למינימום מתבצע על פי העקרונות הבאים:

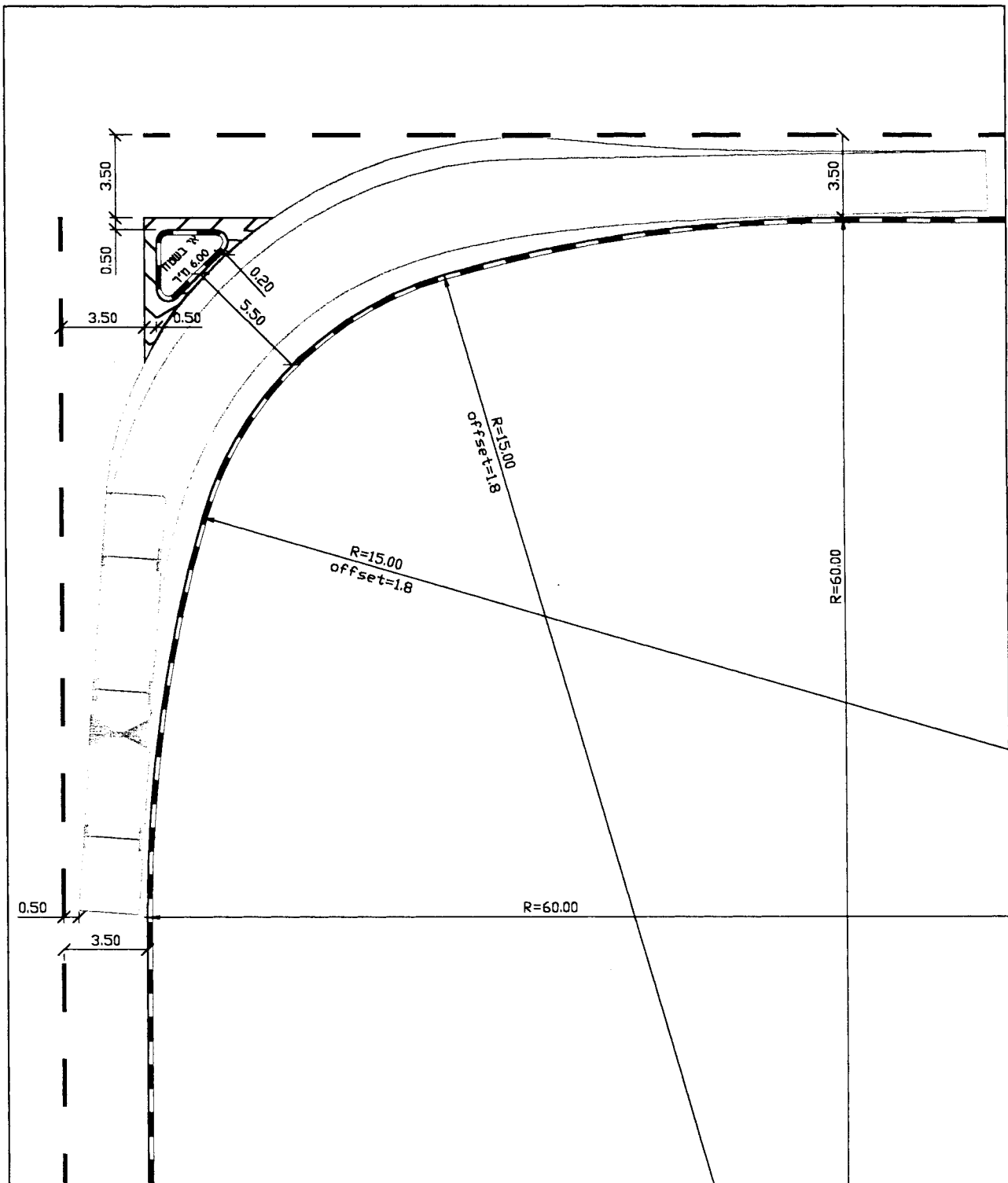
- א. הצורה הבסיסית של שפת המסעה היא עקום תלת-מרכזי סימטרי.
- ב. לתוך השטח שאינו מנוצל ע"י התנועות השונות ניתן להכניס לפחות אי משולש בגודל מזערי.
- ג. רוחב הנתיבים בכניסה וביציאה מהפניה הינו 3.50 מטר וכלי הרכב לתכנון יכול להשלים את הפניה מבלי לחרוג לנתיבים הסמוכים.
- ד. בעת ביצוע הפניה המרחק המזערי, בין כלי הרכב לתכנון לשפת המסעה או לאי הבנוי, יהיה גדול מ-0.20 מטר ובשום מקרה לא יפגע הרכב בשפת המסע או באי.
- ה. העקום המותאם של שפת המסעה מביא לשטח לא מנוצל קטן ככל האפשר.

ציור 2.6 מתאר את יישום העקרונות הנ"ל לבניית שפת מסעה, לפניה מעל למינימום ב-90°, עבור אוטובוס מפרקי. טבלה 2.4 מביאה ערכים מומלצים לתכנון מעל למינימום של פניות ימניות.

**טבלה 2.4: רדיוס שפת המסעה המומלץ לתכנון מעל למינימום של פניות ימינה חופשיות**

שטח האי המשולשי (מ"ר)	רוחב נתיב הנסיעה (מטר)	עקום מורכב סימטרי		כלי הרכב לתכנון	זווית הפניה (מעלות)
		היסט (מטר)	רדיוס (מטר)		
6.3	4.5	1.2	45-20-45	RBUS	75°
6.3	5.0	1.5	45-23-45	ABUS	
6.0	5.0	1.5	50-15-50	RBUS	90°
6.0	5.5	1.8	60-15-60	ABUS	
6.0	5.5	1.8	50-10-50	RBUS	105°
6.0	6.0	2.0	50-10-50	ABUS	

ציור 2.6: אופן הבנייה של שפת מסעה לפנייה מעל למינימום עבור אוטובוס מפרקי



חלק ב', עמוד 2.11

הנחיות לתכנון נת"צ, 1998

## 2.6 . נתיבים בלעדיים לפנייה שמאלה

רוחב נתיב המומלץ לנת"צ, המשמש גם כנתיב לפנייה בלעדית שמאלה, הינו 3.50 מטר ולא קטן מ-3.25 מטר. שיפוע אלכסון הכניסה הינו 1:15. רדיוס הפניה המינימלי שמאלה, יהיה 12.0 מטר במידה וכלי הרכב לתכנון הינו אוטובוס רגיל (RBUS) ו-14.0 מטר במידה וכלי הרכב לתכנון הינו אוטובוס מפרקי (ABUS).

אורכו של נתיב האחסון לפנייה שמאלה מוגדר מקו העצירה ועד תחילת האלכסון. אורך זה תלוי בכמות האוטובוסים ובכלי רכב נוספים הפונים או הצפויים לפנות שמאלה ומחושב כך שתמנע גלישה של התנועה הפונה לנתיבים העוברים ב-90% מהמקרים לכל הפחות. אורכו המינימלי של נתיב האכסון נקבע ל-35 מטר והוא מסוגל להכיל שני אוטובוסים: רגיל ומפרקי. תכנון אורכו של נתיב לפנייה שמאלה מתבצע תחת ההנחות הבאות:

א. מקדם היר"מ לשימוש ברמזורים של אוטובוס רגיל או דו-קומתי הינו 2 ושל אוטובוס מפרקי 3.

ב. זרימת הרוויה האידיאלית בפניה שמאלה בנת"צ הינה 1650 יר"מ.

ג. הזמן הירוק המוקצה לפינוי הפניה שמאלה מתאים לפינוי כל כלי הרכב המצטברים במהלך המחזור.

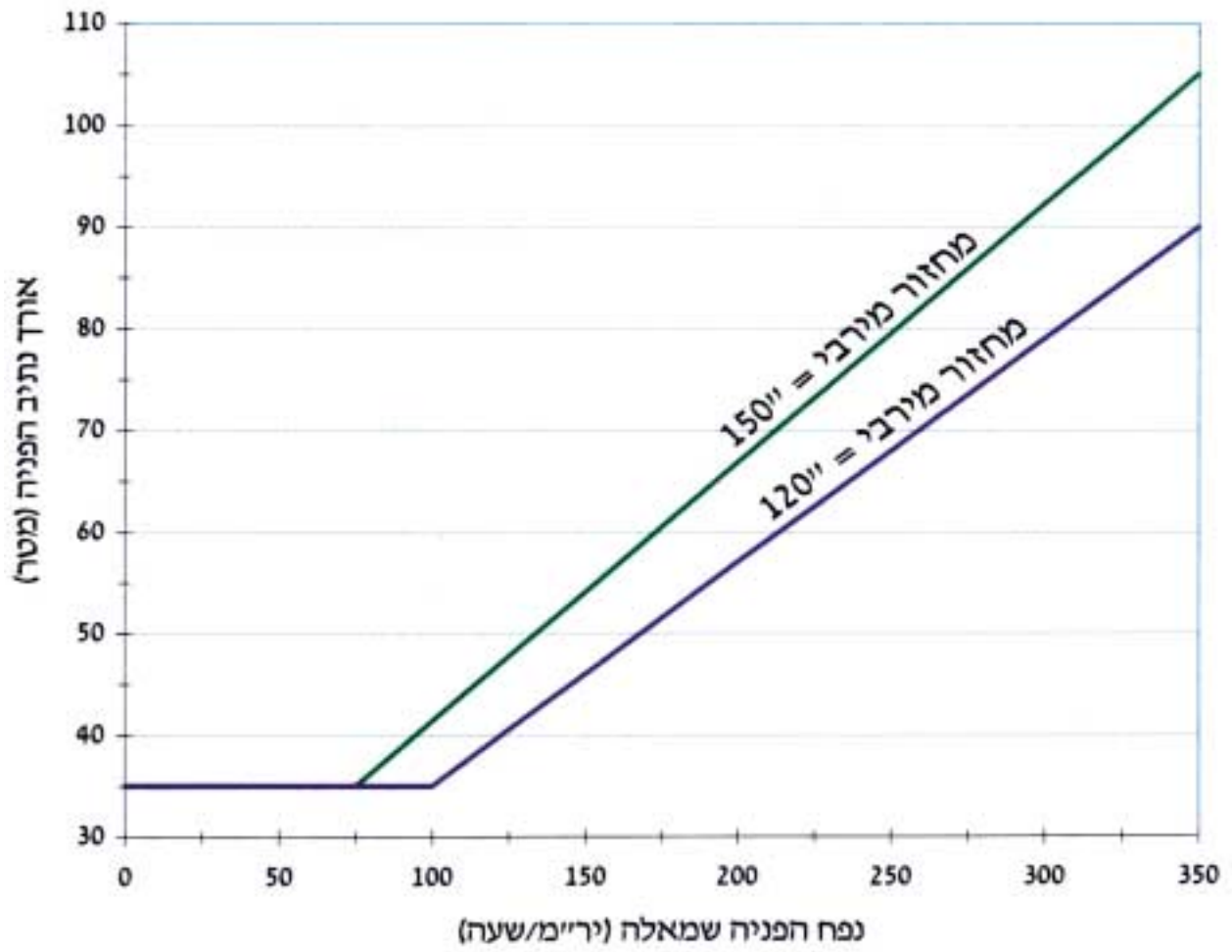
ד. המרווח הממוצע בין ראשים של שתי יחידות רכב מושווה הינו 7.0 מטר.

ה. התור המרבי של כלי הרכב בפניה מצטבר בסיום האור האדום.

ציור 2.7 מתאר את אורך האחסון המומלץ של הנתיב לפנייה שמאלה כתלות במספר יר"מ הפונים שמאלה ובהנחה של משכי מחזור מרביים של 120 ו-150 שניות.

דוגמא לתכנון נתיב בלעדי לפנייה שמאלה מתוארת בציור 2.8.

ציור 2.7: אורך הנתיב בלעדי לפנייה שמאלה בצמתים מרומזרים





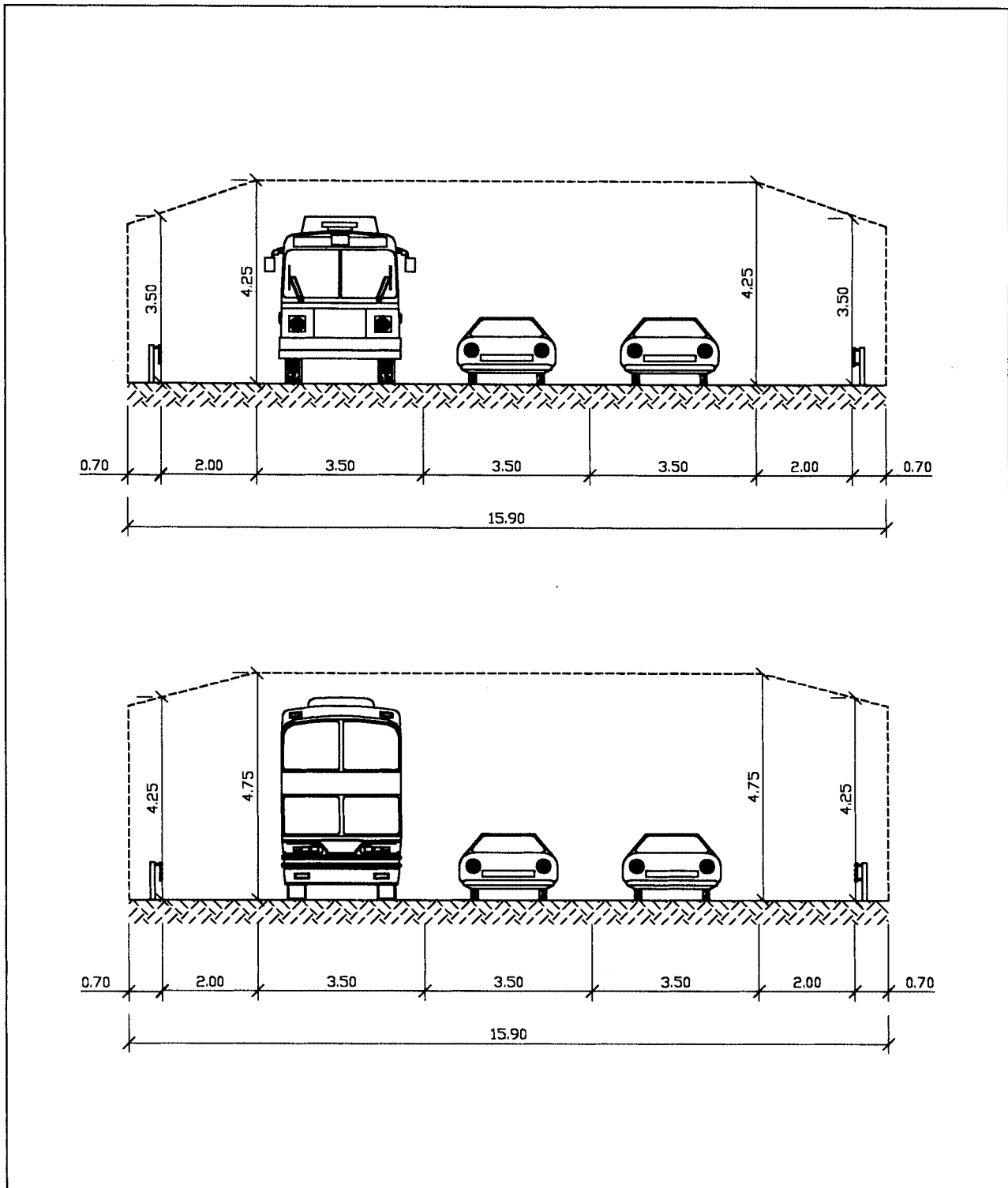
## 2.7 . מרווח גובה חופשי

מרווח הגובה החופשי המבטיח יכולת מעבר למרבית סוגי הרכב הינו 5.50 מטר. יחד עם זאת לפעמים קיימים תנאים פיסיים שאינם מאפשרים להבטיח את המרווח המומלץ. כאשר קיים הרצון להעדיף תחבורה ציבורית תוך מתן אפשרות מעבר מתחת לגשר או מנהרה יש להבטיח מרווח גובה חופשי של 4.25 מטר לכל הפחות.

בדרכים פרבריות בהן קיים נפח של 10 אוטובוסים דו-קומתיים (DBUS) בשעת השיא יש להבטיח מרווח גובה חופשי של 4.75 מטר לכל הפחות. מרווח זה יובטח בכל מקרה, בו לא קיימת אפשרות לאוטובוס הדו-קומתי לעקוף את המכשול.

תאור המרווחים החופשיים לתכנון מובא בציור 2.9.

ציוור 2.9: מרווח גובה חופשי מתחת לגשר בדרך חד-מסלולית עם נת"צ (קנ"מ 1:125)



### 3. תכנ תחנות בנת"צ

#### 3.1. כללי

תחנות להורדה והעלאה של נוסעים בנת"צ, יכולות להיות מתוכננות בתוך נתיב הנסיעה או על ידי מתן מפרצים לצידו. התחנות כוללות את האלמנטים הגיאומטריים הבאים:

- א. אזור המתנה לנוסעים (על המדרכה)
- ב. אזור עצירה לרכב
- ג. אלכסונים לכניסה וליציאה מהתחנה (עבור תחנות במפרץ בלבד)

לרוב תתוכננה התחנות לאוטובוסים בלבד אולם במקומות, בהם רב מספר הנוסעים וקיימת תנועת מוניות, רצוי לאפשר גם תחנה למוניות. בתחנות בהן מתרחשת התפצלות רבה של נסיעות ליעדים שונים, או שמתקיימת בהן החלפת קווים (טרנספרים) רצוי להבטיח גם מקום הורדה מסודר לכלי רכב פרטיים.

פרק זה יתמקד באלמנטים הגיאומטריים של תחנות הממוקמות בצדי נת"צ ולא יפרט פתרונות של תחנות מורכבות (טרמינלים) בהן רבה תנועת התחבורה הציבורית ויש להבטיח אפשרות הורדה לסוגי רכב שונים.

#### 3.2. אזור המתנה לנוסעים

יש לתכנן את אזור המתנה לנוסעים (מדרכה) בתחנה, כך שתובטח רמת שרות סבירה לנוסעים הממתינים לאוטובוס. רוחב המדרכה תלוי במספר הנוסעים הממתינים בקרבת עמדת העצירה של האוטובוסים וברמת השרות אותה רוצים לספק. לצורך הערכת רמת השרות, נבחרה, בהנחיות אלה, המתודולוגיה המוצעת ע"י HCM 1995 עבור צפיפויות ממוצעות של הולכי רגל.

רמת השרות של הנוסעים הממתינים בתחנה מוגדרת על פי השטח הממוצע העומד לרשות נוסע בודד כמתואר בטבלה 3.1 להלן. רמת השרות המומלצת לתכנון הינה C או טובה יותר וזאת על מנת לא לגרום לצפיפות יתר מחד, ולפיזור נוסעים לאורך רב בתחנה, מאידך. רמות שרות הנמוכות מ-C (D ו-E) מתרחשות רק בתוך סככות או לפני העלייה לאוטובוס.

**טבלה 3.1: הגדרת רמת השירות לממתינים בתחנה**

תאור הצפיפות באזור ההמתנה	שטח ממוצע לנוסע ממתין	רמת השירות
תנועת הולך רגל בתוך אזור ההמתנה אפשרית ללא גרימת הפרעה לממתינים האחרים	שטח של 1.20 מ"ר לנוסע או יותר (עד 0.85 נוסעים למ"ר)	A
תנועת הולך רגל בתוך אזור ההמתנה אפשרית תוך גרימת הפרעה קלה לממתינים האחרים	שטח של 0.90 עד 1.20 מ"ר לנוסע (0.85 עד 1.10 נוסעים למ"ר)	B
תנועת הולך רגל בתוך אזור ההמתנה מוגבלת אולם צפיפות הממתינים סבירה	שטח של 0.65 עד 0.90 מ"ר לנוסע (1.10 עד 1.50 נוסעים למ"ר)	C
תנועת הולך רגל בתוך אזור ההמתנה קשה וגורמת להפרעה. ההמתנה לפרקי זמן ארוכים גורמת לאי נוחות לממתינים.	שטח של 0.30 עד 0.65 מ"ר לנוסע (1.50 עד 3.30 נוסעים למ"ר)	D
נוצר מגע בין הממתינים. התנועה אפשרית רק בעת תנועת התור ובכיוונו.	שטח של 0.20 עד 0.30 מ"ר לנוסע (3.30 עד 5.00 נוסעים למ"ר)	E
מגע הדוק בין הממתינים ודוחק.	שטח של פחות מ-0.20 מ"ר לנוסע (מעל 5.00 נוסעים למ"ר)	F

לצורך קביעת רוחב אזור ההמתנה יש להניח את אורכו. נטיית הנוסעים היא להצטבר קרוב ככל האפשר לדלת הכניסה לאוטובוס, לפני עמוד התחנה. רצוי להבטיח כי אורך ההמתנה של הנוסעים לא "יגלוש" מעבר לדלת האחורית וזאת על מנת למנוע הפרעה והפסדי זמן לנוסעים היורדים בעת עצירת האוטובוס. לצורך תכנון יש להניח שהתור מצטבר בתחום המרוחק עד 6.00 מטר (מרחק בין הדלתות) מעמוד התחנה. ציור 3.1 מתאר את רוחב המדרכה המומלץ בעת תכנון תחנות.

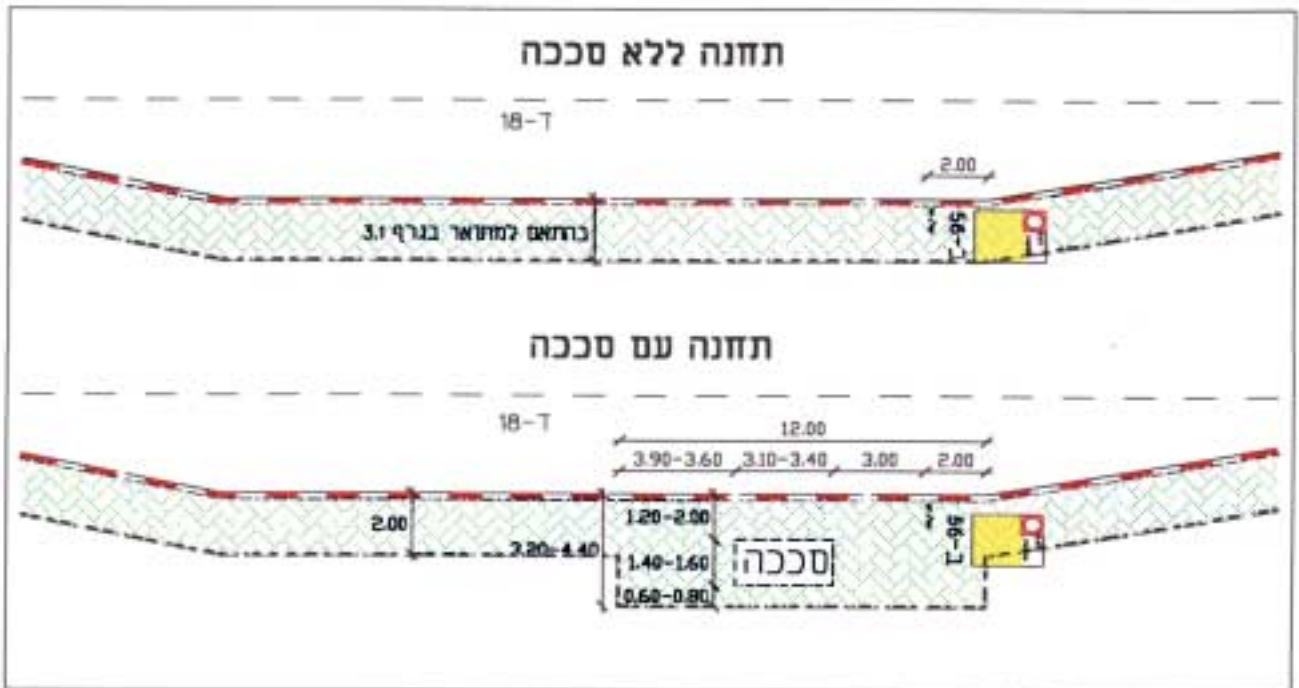
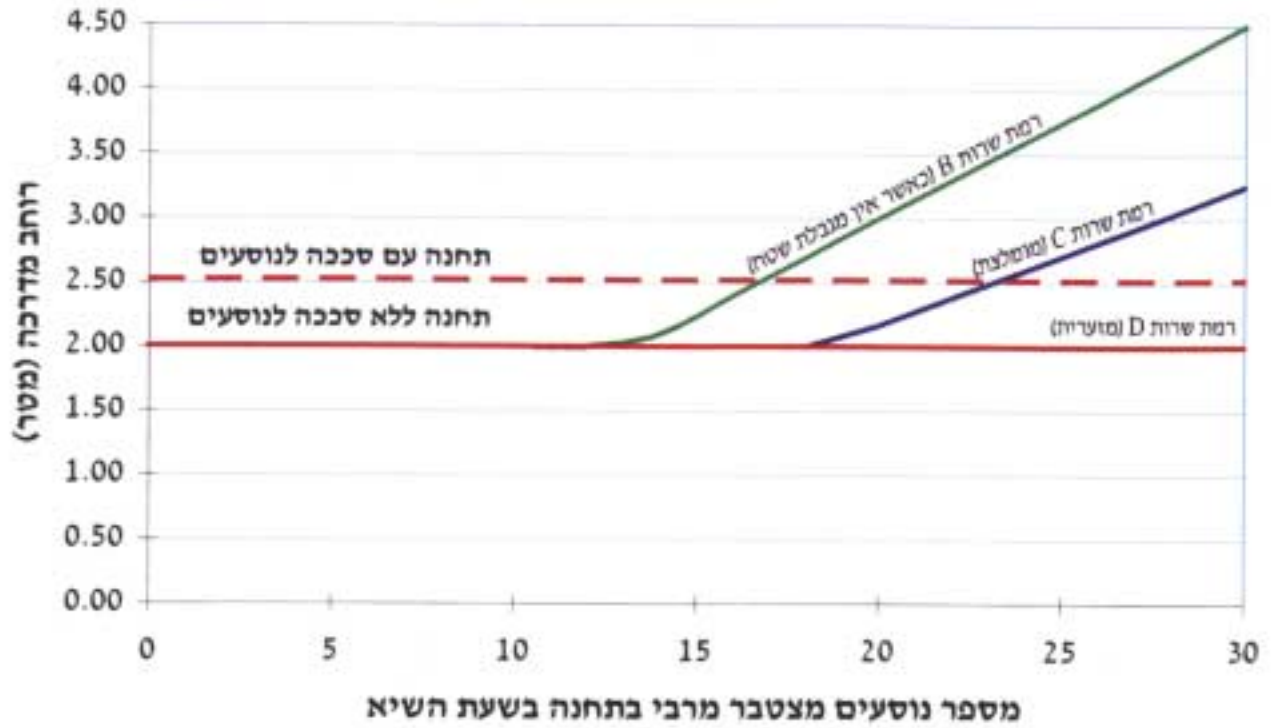
רוחבו המינימלי של אזור ההמתנה לנוסעים לא יפחת מ-2.00 מטר. כאשר בתחנה מוצבות סככות מומלץ להבטיח את המידות הבאות:

רוחב סככה	- 1.40 עד 1.60 מטר
רוחב מעבר אחורי	- 0.60 עד 0.80 מטר (המעבר מאפשר גישה לצורך ניקוי הסככה)
<u>רוחב המעבר הקדמי</u>	<u>- 1.20 עד 2.00 מטר</u>
רוחב כולל של המדרכה	- 3.20 עד 4.40 מטר

כאשר משתמשים בסככות צרות יותר או כאשר אין הכרח במעבר האחורי, גם אז, לא יקטן רוחב המדרכה המזערי בתחנה בה מוצבת סככה מ-2.50 מטר או מן הנדרש על פי ציור 3.1.

יישום ההמלצות לעיל מתואר בציור 3.1 להלן.

**ציור 3.1: רוחב אזור ההמתנה המומלץ לנוסעים בתחנות**



### 3.3 קביעת מספר העמדות לעצירה של אוטובוסים

מומלץ לתכנן את מספר עמדות העצירה בתחנה בודדת באופן שלא תיווצר גלישה מן התחנה ב:

- יותר מ-5% מן המקרים כאשר הצפי הינו לעמדה אחת או שתיים;
- יותר מ-10% מן המקרים כאשר מתוכננות יותר משתי עמדות.

הסיבה לאחוזי הכשל הנמוכים נעוצה בעובדה שהגעת האוטובוסים אינה פואסונית (כפי שמניח המודל) וקיימת הצטופפות כתוצאה מנוכחות רמזורים וצווארי בקבוק ברשת הדרכים (תופעת Bunching). חישוב מספר העמדות הדרוש בתחנה מתבצע על ידי חישוב הערך  $EN$  תוך שימוש בנוסחה 3.1, ושיוך מספר העמדות המתאים מתוך טבלה 3.2.

$$EN = \frac{N_B \cdot T_B}{3600 \cdot R} \Rightarrow N = f(EN) \quad 3.1$$

- כאשר:  $N$  - מספר העמדות הדרוש בתחנה
- $EN$  - מקדם יעילות הפעלה של תחנה מרובת עמדות (ראה טבלה 3.2)
- $N_B$  - מספר האוטובוסים העוצרים בתחנה (אוטובוסים לשעה)
- $R$  - מקדם התלוי באחוז הכשל הרצוי ((ראה טבלה 3.2)
- $T_B$  - משך העצירה הממוצע הכולל של אוטובוס בתחנה (שניות)

באותם המקומות בהם תופעת ההצטופפות חמורה יותר או שקיימת הפרעה כתוצאה מעצירה של מוניות וכלי רכב פרטיים יש להגדיל את מספר העמדות מעבר למתקבל מהנוסחה, בהתאם לניסיון שהצטבר. תחום הערכים המקובל בחישוב מספר העמדות, כתלות בכמות האוטובוסים העוצרים מובא בטבלה 3.3.

#### טבלה 3.2: ערכי המקדמים $EN$ ו- $R$

תחנה במפרץ		תחנה בנתיב נסיעה				מספר העמדות בתחנה
מקדם EN	יעילות ניצול עמדה	מקדם EN	יעילות ניצול עמדה			
1.00	100%	1.00	100%			1
1.85	85%	1.75	75%			2
2.60	75%	2.25	50%			3
3.25	65%	-	-			4
3.75	50%	-	-			5
50%	30%	20%	10%	5%	2.50%	1%
1.000	0.833	0.750	0.667	0.575	0.500	0.400
						ערך R

**טבלה 3.3: קביעת מספר עמדות לאוטובוסים בתחנה**  
(משך העצירה הממוצע הכולל של אוטובוס בתחנה = 90 שניות)

מספר עמדות	נפח שעתי ממוצע של אוטובוסים		קיבולת שעתית של עמדה בודדה (אוטובוסים)	
	תחנה בנתיב	תחנה במפרץ	תחנה בנתיב	תחנה במפרץ
1	15-25	15-25	15-25	15-25
2	30-40	30-45	15-20	15-20
3	45-60	55-70	10-15	15-20
4	-	65-85	-	10-15
5	-	75-100	-	10-15

הערות: \* לצורך השימוש בטבלה אוטובוס מפרקי יחושב כ-1.5 אוטובוסים רגילים.  
\*\* התחום העליון הינו פרי חישוב מהנוסחה. בפועל תתכננה הפרעות ושונות רבה בין הקווים. בתחנות עמוסות בנוסעים מומלץ לא להגיע לחלקו העליון של תחום האוטובוסים.

**3.4. תכן גיאומטרי של תחנה בעלת עמדה אחת**

- לרוב ניתנים נתונים בצירים בהם רבה תנועת הנוסעים וקיים אחוז לא מבוטל של אוטובוסים מפרקיים. תכן גיאומטרי של תחנה מינימלית במפרץ עירוני, מפותח תחת ההנחות הבאות:
1. כלי הרכב לתכנון התחנה הוא אוטובוס מפרקי.
  2. הפניה לתוך התחנה מבוצעת ברדיוס גלגל חיצוני של 15.00 מטר (פניה ברדיוס גדול מהמינימלי).
  3. בזמן ביצוע תמרון הפניה המרווח בין אבני השפה לרכב אינו קטן מ-0.20 מטר.
  4. בתוך התחנה מתיישר הרכב במרחק של כ-0.20 מטר ליד שפת המדרכה.
  5. היציאה מהתחנה מתבצעת ברדיוס פניה מינימלי של 12.00 מטר וביציאה מהתחנה לא חורג הרכב לתכנון לנתיב שמעבר לנת"צ.
  6. לפני כניסתו לתחנה ואחרי יציאתו ממנה ממוקם כלי הרכב לתכנון במרחק 0.50 מטר מקצה הנת"צ.

כאשר התחנה הינה בנתיב הנסיעה מחושב האורך מתחילת הסימון ד-21 ועד סופה של העמדה הראשונה, ע"פ ההנחות הבאות:

1. אוטובוס הנכנס לתחנה מתאים את נסיעתו באופן שבכניסה לתחנה מהירותו הינה 40 קמ"ש.
2. האטת האוטובוס ממהירות של 40 קמ"ש ועד לעצירה מתבצעת בתאווה נוחה של 2.03 מ"שנ<sup>2</sup> (המקור - י.קראוס, א.פולוס, מ.ליבנה, "ייסודות בתכן גיאומטרי של דרכים" עמ' 58).

הנחות אלה מביאות לאורך סימון של 30.00 מטר. בנוסף, ביציאה מן העמדה האחרונה יש לתת מרווח חופשי באורך של 6.00 מטר לפחות על מנת לאפשר עקיפה של רכב חונה.

תכן תחנות בין עירוניות יהיה בהתאם ל"הנחיות לתכן גיאומטרי של צמתים בין עירוניים", של מ.ע.צ.

בתחנות בתוך מפרצים שיפועי האלכסונים יהיו כדלקמן:

אלכסון כניסה - 1:8 בכביש בין עירוני

- 1:6 בכביש עירוני

אלכסון יציאה - 1:5 בכבישים בין עירוניים ועירוניים

פרטים של התחנות בתוך נתיב הנסיעה ובתוך מפרץ מובאות בציר 3.2 להלן.

### 3.5 . מרווחים בין עמדות ופיזור קווים בין העמדות

בתחנות בהם קיימת יותר מעמדת עצירה אחת יש להבטיח כי לא תיווצר חסימה של אוטובוס ע"י אוטובוס קדמי יותר. על מנת להבטיח שכלי הרכב האחורי יוכל לעקוף את כלי הרכב שחוסם אותו מבלי לחדור לנתיב הנגדי יש להשאיר מרווח של 8.00 מטר לפחות בין סוף העמדה הקדמית לתחילת העמדה שאחריה. פרטי התכן הגיאומטרי של תחנות מרובות עמדות מובאות בטבלה 3.4 להלן.

**טבלה 3.4: פרטי התכן הגיאומטרי של תחנות מרובות עמדות**

תחנת בנתיב נסיעה		תחנה במפרץ			מספר עמדות
מרווחים נוספים		שיפוע אלכסונים		אורך אזור עצירה	
יציאה	כניסה	עצירה	יציאה	כניסה	
6	12	18	1:6	1:5	1
6	18	12-8-12 ...	1:6	1:5	2 ומעלה

פיזור הקווים בין העמדות הינו הליך מורכב מדי לחישוב תיאורטי ותלוי בכמות הקווים, בתדירותם ובמשכי העמידה של כל קו וקו בתחנה. מומלץ להרכיב את חבילות הקווים כך ש:

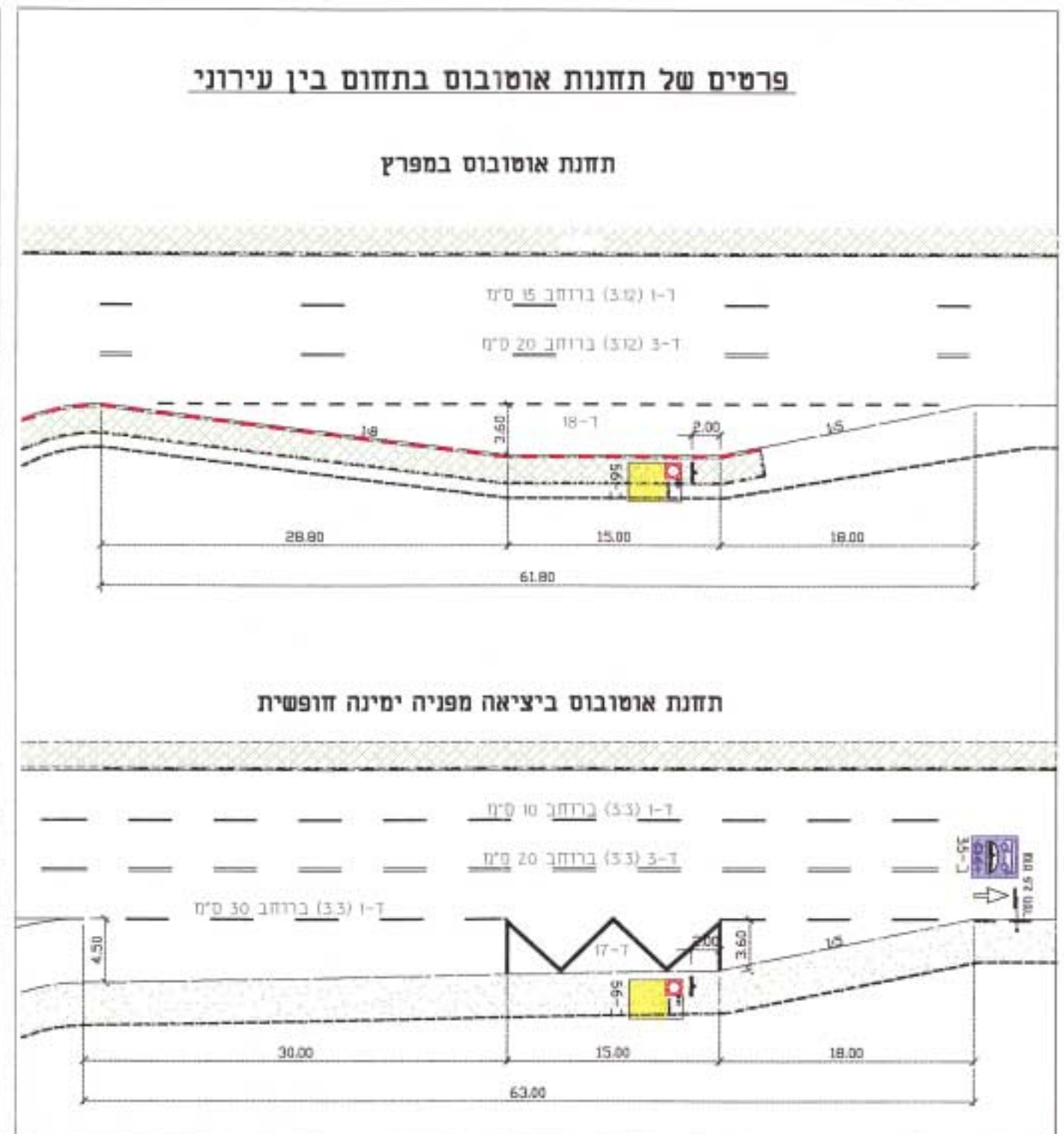
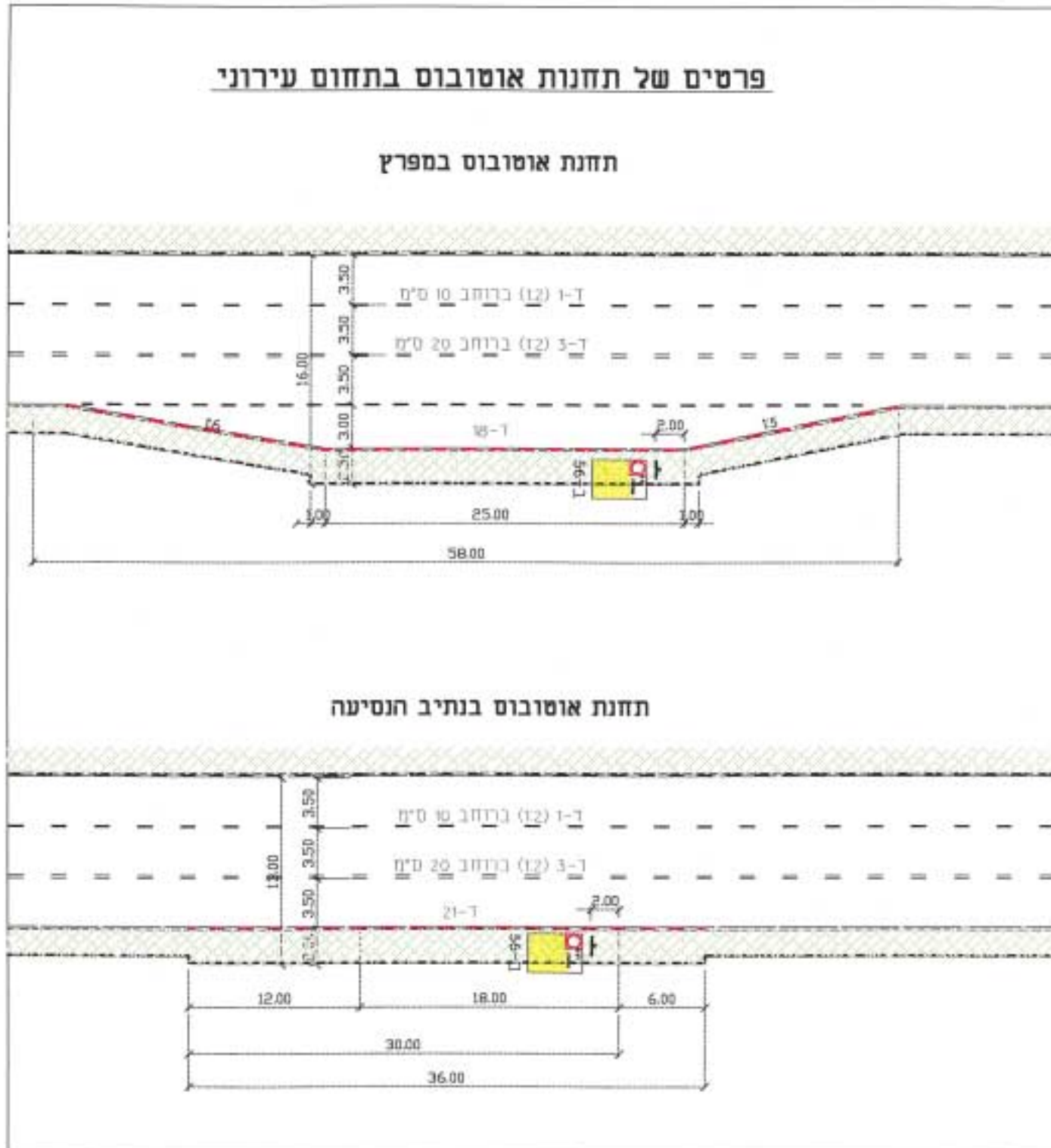
1. הקווים בעלי התדירות הגבוהה יותר ימוקמו בעמדות היותר קדמיות וזאת משיקולים של מניעת

חסימה של הכניסה לתחנה וצבירת כמות נוסעים רבה יותר בראש התחנה.

2. הקווים בעלי משך המתנה קצר יותר ימוקמו בעמדות היותר קדמיות וזאת כדי למנוע עיכוב ועקיפה

בלתי רצויה של אוטובוס נחסם ע"י אוטובוס חוסם.

ציור 3.2: פרטים של תחנות אוטובוס בתוך מפרץ ובתוך נתיב התחבורה



3. יש לצבור כמות קווים גדולה יותר בעמדות הקדמיות ופחות בעמדות האחוריות וזאת בגלל הקיבולת הגבוהה יותר של תחנות אלה (כמוסבר בטבלה 3.3 לעיל).
4. יש לקבץ קווים הנוסעים לאותם היעדים וזאת על מנת לא לגרום להתרוצצות נוסעים בין העמדות.

דוגמא לתכנון תחנה מרובת עמדות מובאת בציור 3.3.

### 3.6 שיקולים למיקום תחנות

בדרך כלל, יש לשאוף ולמקם את תחנות האוטובוס, בנת"צ, בתוך מפרצים, בכל מקום בו התנאים הפיסיים של הרחוב מאפשרים זאת. יצירת מפרצים מגדילה את בטיחות הנסיעה ומאפשרת לצמצם את ההפרעה לאוטובוסים החולפים או היוצאים מאחורי אוטובוס שעצר. בנוסף, מאפשרת בניית המפרצים, להגדיל את קיבולת הנת"צ ולנצלו לתנועת מוניות וכלי רכב רבי תפוסה.

במקומות בהם אין כל אפשרות ליצור תחנה בתוך מפרץ, יש לשקול הטלה של מגבלות על הרכב התנועה הנעה בנת"צ ובשום מקרה, אין לאפשר כניסה של כלי רכב פרטיים או מסחריים לתוכו. השיקולים להטלת מגבלות על תנועת כלי הרכב הפרטיים, מוניות ואפילו אוטובוסים (למשל: הגבלת התנועה לקווים סדירים בלבד) תלויים בסוג הנת"צ.

תחנות אוטובוסים ימוקמו לרוב אחרי צמתים, ובפרט אחרי צמתים מרומזרים, וזאת בכדי לצמצם את ההפרעה לתנועה הנגרמת כאשר האוטובוס משתלב בחזרה לנתיב הנסיעה. כאשר התחנות ממוקמות בנתיב הנסיעה יש להקפיד למקמם במרחק המונע את גלישת האוטובוסים שעצרו, לתוך הצומת.

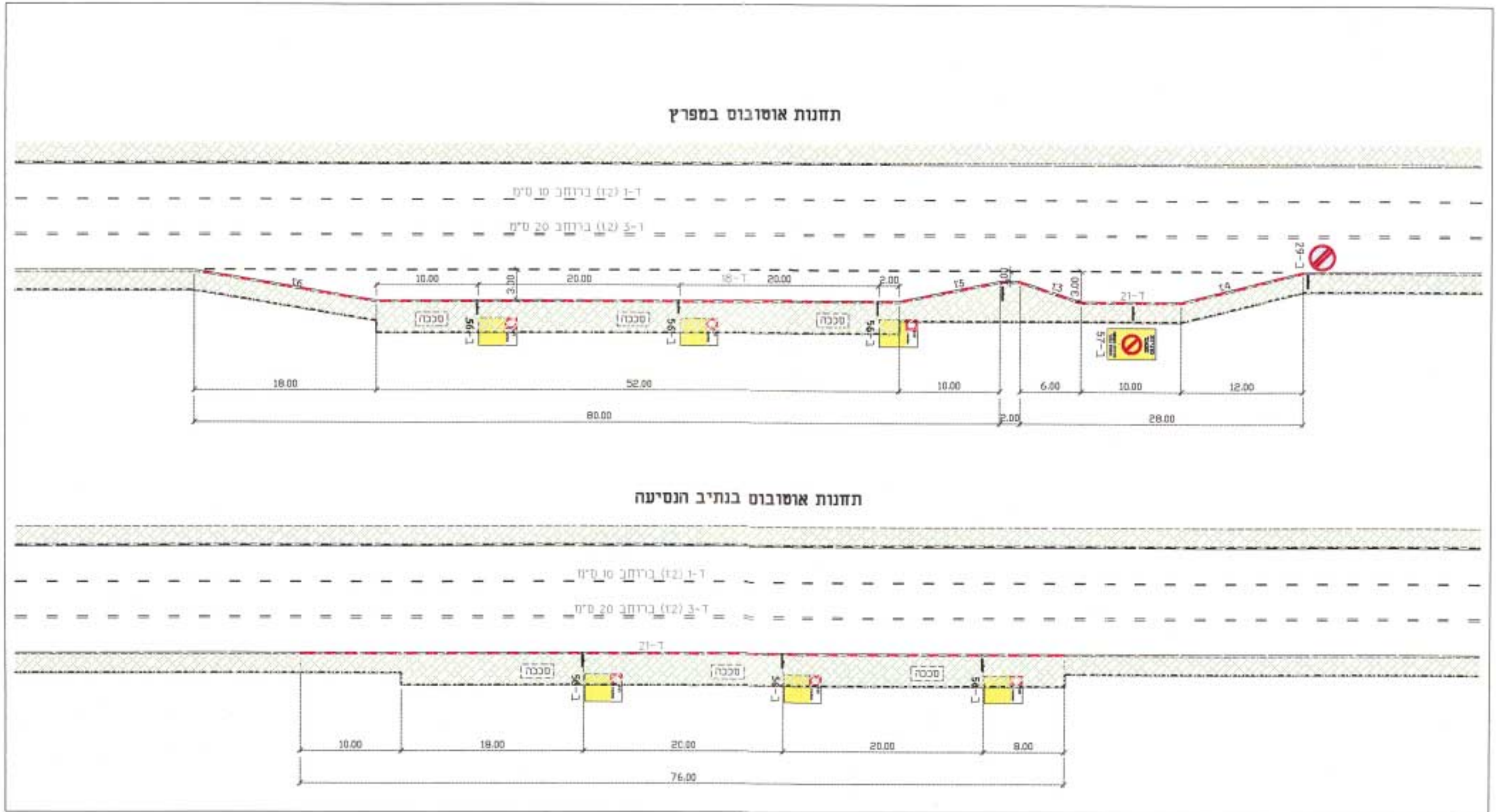
### 3.7 תחנות למוניות ולהורדת נוסעים

בתחנות הראשיות לאורך הנת"צ וליד מוקדים עתירי נוסעים יש לתכנן מקומות עצירה למוניות וכלי רכב פרטיים המורידים נוסעים. מספר העמדות הדרוש להורדת הנוסעים תלוי בכמות כלי הרכב העוצרים בתחנה בשעת השיא ומובא בטבלה 3.5 להלן.

התחנה לכלי הרכב הפרטיים תינתן תמיד אחרי התחנה לאוטובוסים בכיוון הנסיעה. משיקולי בטיחות יש להפריד בין תחנת האוטובוסים ותחנת המוניות והרכב הפרטי. הכניסה לתחנת ההורדה תתבצע בשיפוע 1:3 והיציאה ממנה בשיפוע 1:4. הסיבה למתן שיפוע יציאה מתון יותר הוא הרצון להביא להאצה גבוהה יותר, של כלי הרכב הקלים על מנת להרחיקם במהירות מהאוטובוסים היוצאים מהתחנות מאחור.

שילוב של התחנות לרכב פרטי עם התחנות לאוטובוסים מתואר בציור 3.3.

ציור 3.3: תכנן גיאומטרי של תחנות מרובות עמדות



**טבלה 3.5: קביעת מספר עמדות דרוש למוניות ורכב פרטי**

מס' עמדות	מספר כלי הרכב המרבי בשעת השיא	אורך התחנה (מטר)
1	60	10
2	110	18
3	150	26

\*הערה: מספר עמדות גדול יותר מחייב תכנון מסוף לנוסעים

**3.8 . מיקום תחנות במת"צ**

מסלולים דו-כיווניים לרכב רב-נוסעים מאופיינים לרוב ע"י נפחי תנועה נמוכים יחסית, המאפשרים עקיפה. מסיבה זו ניתן במקרים רבים לאפשר מת"צ ללא תחנות במפרצים. כאשר נפח התנועה במת"צ גדול בשני הכיוונים ניתן לבצע נתיב עקיפה באזור התחנות.

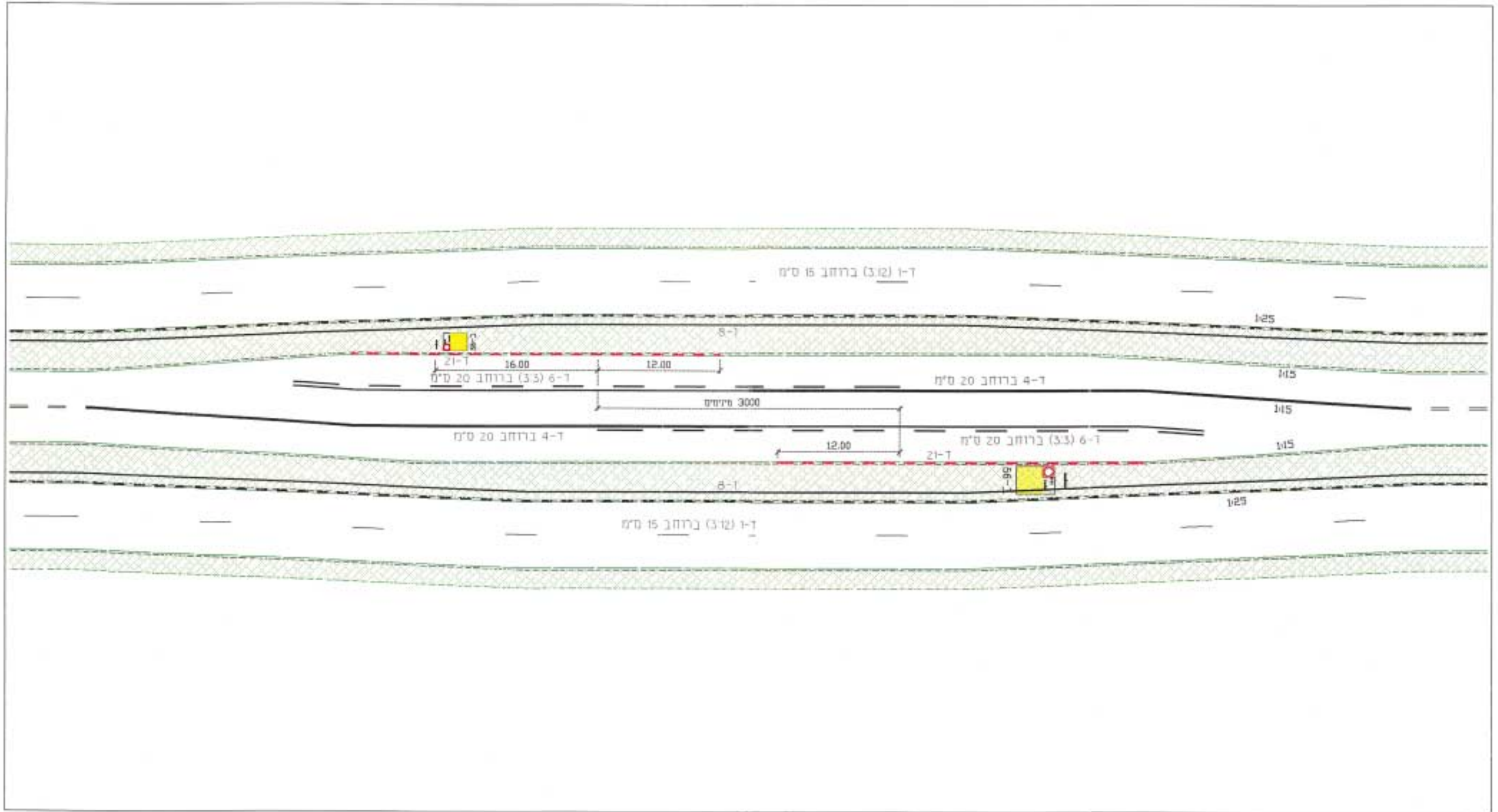
טבלה 3.6 מביאה את נפח התנועה הקריטי הנע בכיוון הנגדי, המצדיק התקנת נתיב עקיפה באזור התחנות. הנפחים בטבלה מאפשרים לרכב, הנתקע מאחורי אוטובוס עומד, לבצע עקיפה מיידית בהסתברות של 90%.

**טבלה 3.6: חישוב הנפח הקריטי בתנועה המגיעה ממול והמחייבת בניית תחנות במפרצים או נתיב עקיפה**

מספר העמדות בתחנה	אורך התחנה (מטר)	נפח קריטי בתנועה ממול (כ"ר/שעה)
1	18	300
2	32	260
3	52	220
4	72	185

תחנות האוטובוס בכיוונים הנגדיים במת"צ ימוקמו האחת מאחורי השניה כאשר המרחק בין קצה תחנה אחת לקצה התחנה שמולה לא יפחת מ-30 מטר. אופן מיקום התחנות במת"צ מתואר בצירור 3.4.

ציור 3.4: מיקום תחנות במת"צ ופרט של נתיב עקיפה



## 4 . נת"צ עם כיוון התנועה

### 4.1 . כללי

נת"צ עם כיוון התנועה יכול להופיע בשתי צורות עיקריות:

- א. נת"צ מצידו הימני של מסלול הנסיעה
- ב. נת"צ מצידו השמאלי של מסלול הנסיעה

נת"צ בצידו הימני של נתיב הנסיעה נפוץ יותר ואינו דורש אמצעים גיאומטריים מיוחדים. נת"צ בצידו השמאלי של מסלול הנסיעה יוצר בעיה במיקום התחנות ולרוב מצריך תכנון היוצר מגבלות לתנועה. השיקולים לבחירת סוג הנת"צ מובאים בחלק א' של ההנחיות.

במקרים נדירים, לאורך קטעים קצרים, יכול להופיע גם נת"צ במרכז מסלול הנסיעה. הדבר קורה לרוב כאשר קיימת פניה חזקה מאוד ימינה מימיו של נת"צ ימני, או פניה חזקה מאוד שמאלה, משמאלו של נת"צ שמאלי. בקטעים בהם קיים נת"צ מרכזי, לא יהיו תחנות אלא אם יש כוונה לתכנן מפרדות מיוחדות. בנת"צ מרכזי קיים הצורך לדאוג, במשנה זהירות, לסימון ותמרור ברור של הסדרי התנועה.

### 4.2 . תכן גיאומטרי של נת"צ ימני

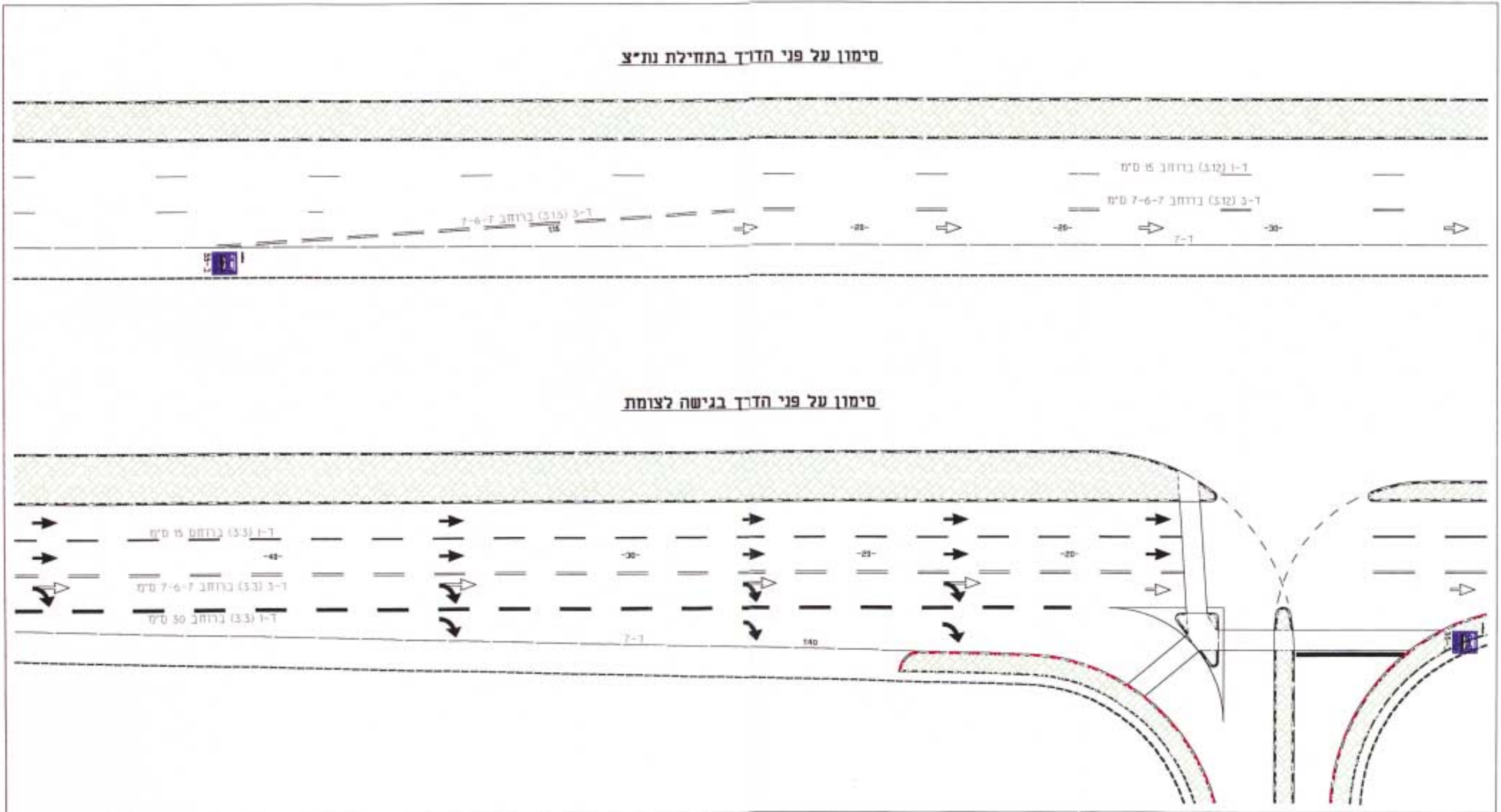
רוחבו של הנת"צ מצידו הימני של המסלול ינוע בין 3.50 ל-3.75 מטר בהתאם למוסבר בחלק ג', פרק 2, סעיף 2.3. הנת"צ יסומן בקו קטעים ד-3 מצידו השמאלי ובקו ד-7 (כאשר יש שוליים) בצידו הימני. אבני השפה במדרכה יסומנו בסימונים הרגילים המתאימים לתקופה בה הנת"צ אינו פעיל.

בכניסה לתחנות יופסק הסימון ד-7 ויוחלף בסימון ד-18 כמקובל. רוחב הנתיב בתוך תחנה הממוקמת בדרך עירונית יהיה 3.00 מטר ו-3.60 מטר בתחנה הממוקמת בדרך בין-עירונית. אין לתת תחנות עמוקות יותר וזאת בגלל האורך הגדול שיידרש לתחנה והקושי בהשתלבות חזרה לנתיב הנסיעה.

יש להימנע מלהתחיל נת"צ בקטע דרך בין צמתים. כאשר חייבים להתחיל את הנת"צ בתוך קטע דרך יש לדאוג כי הוא יתחיל כ-100 מטר לכל הפחות מן הנקודה אליה מגיעים התורים המצטברים לפני הרמזור בשעת השיא. הכניסה בתחילת נת"צ, בין עם בצומת ובין עם בתוך קטע הדרך, תסומן בקו ד-3 כאלכסון בשיפוע בין 1:8 ל-1:20, התלוי במהירות המותרת ברחוב (ראה חלק ב', סעיף 1.4, ב'). בהמשך לאלכסון, יסומנו שניים או שלושה חצים בצבע צהוב (תמרור ד-13) במרווחים 20-20-30 מטר. לאחר מכן, לאורך הנת"צ יש לחזור ולתת חץ ד-13 צהוב, יחיד, לאחר כל צומת.

בתחילת הנת"צ אחרי כל צומת יינתן תמרור ב-35, בהתאם למוסבר בחלק ב', סעיף 1.4, א'.

ציור 4.1: תכן גיאומטרי של נת"צ ימני בדרך בין עירונית



### 4.3 . תכנן גיאומטרי של נת"צ שמאלי

נת"צ מצידו השמאלי של נתיב הנסיעה ניתן כאשר :

1. קיים הרצון לצמצם את הפרעה הנגרמת לרכב המשתמש בנת"צ כתוצאה מגישות רבות לשימושי הקרקע הממוקמים בצידו הימני של המסלול.
2. לאורך הציר, במרכז הדרך, קיים מסלול לרכב רב-נוסעים (מת"צ) המופסק בחלק מן הדרך, בגלל העדר מקום, או בגלל הצורך לאפשר לכלי הרכב, הפונים שמאלה, להיכנס לנת"צ בסמוך לצומת.

כאשר קיימים בצומת מספר נתיבים לפני שמאלה, מומלץ ליצור הפרדה פיסית בינם לבין הנתיבים ההמשכיים. הנת"צ יהפוך להיות הנתיב הימני ביותר, בתוך קבוצת נתיבי הפניה שמאלה. במקרים מיוחדים, כאשר הפניה מהנת"צ הינה שמאלה בלבד, ניתן לשקול להשאיר את הנת"צ בצידו השמאלי של המסלול (במיוחד אם אין תחנות מאחורי הצומת).

יש להקפיד לא למקם תחנות לפני צומת שמאחוריו מתחיל נת"צ שמאלי וזאת על מנת למנוע מהקווים העוצרים בתחנות לחצות נתיבים עמוסים לצורך הכניסה לנת"צ. הסימון והתימרון בכניסה לנת"צ שמאלי יהיו דומים לסימון ותימרון בכניסה לנת"צ ימני.

פרטי הנת"צ הממוקם בצידו השמאלי של מסלול הנסיעה מתוארים בציר 4.2.

### 4.4 . תכנן גיאומטרי של נת"צ מרכזי

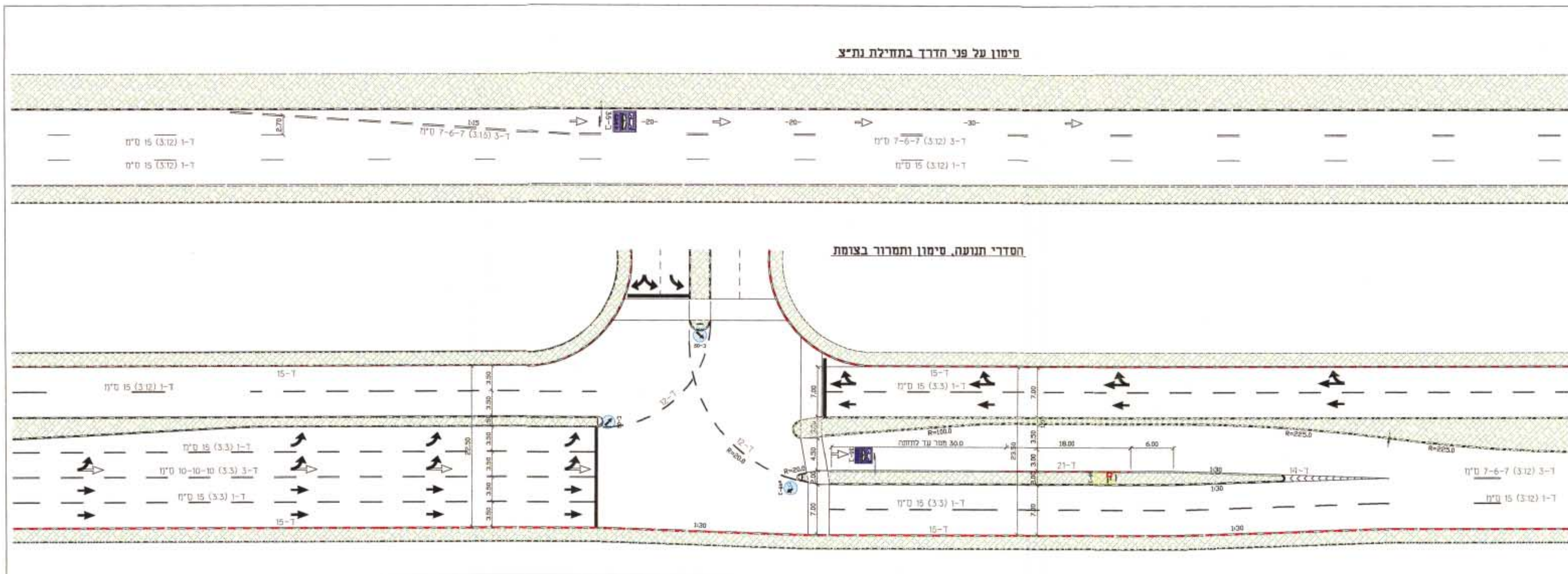
כאמור נת"צ עם כיוון התנועה במרכז מסלול הנסיעה נדיר ונוצר כאשר קיימת פניה חזקה מימינו או משמאלו.

נת"צ מרכזי יסומן משני צדדיו בקו קטעים ד-3. מעל לנתיבים, על גבי גשר, יינתנו תמרורי הכוונה לנתיבים ותמרור הנת"צ. הכניסה לנת"צ מרכזי תינתן מנתיב המשכי תוך יצירת אלכסון המסיט את התנועה הרגילה שמאלה.

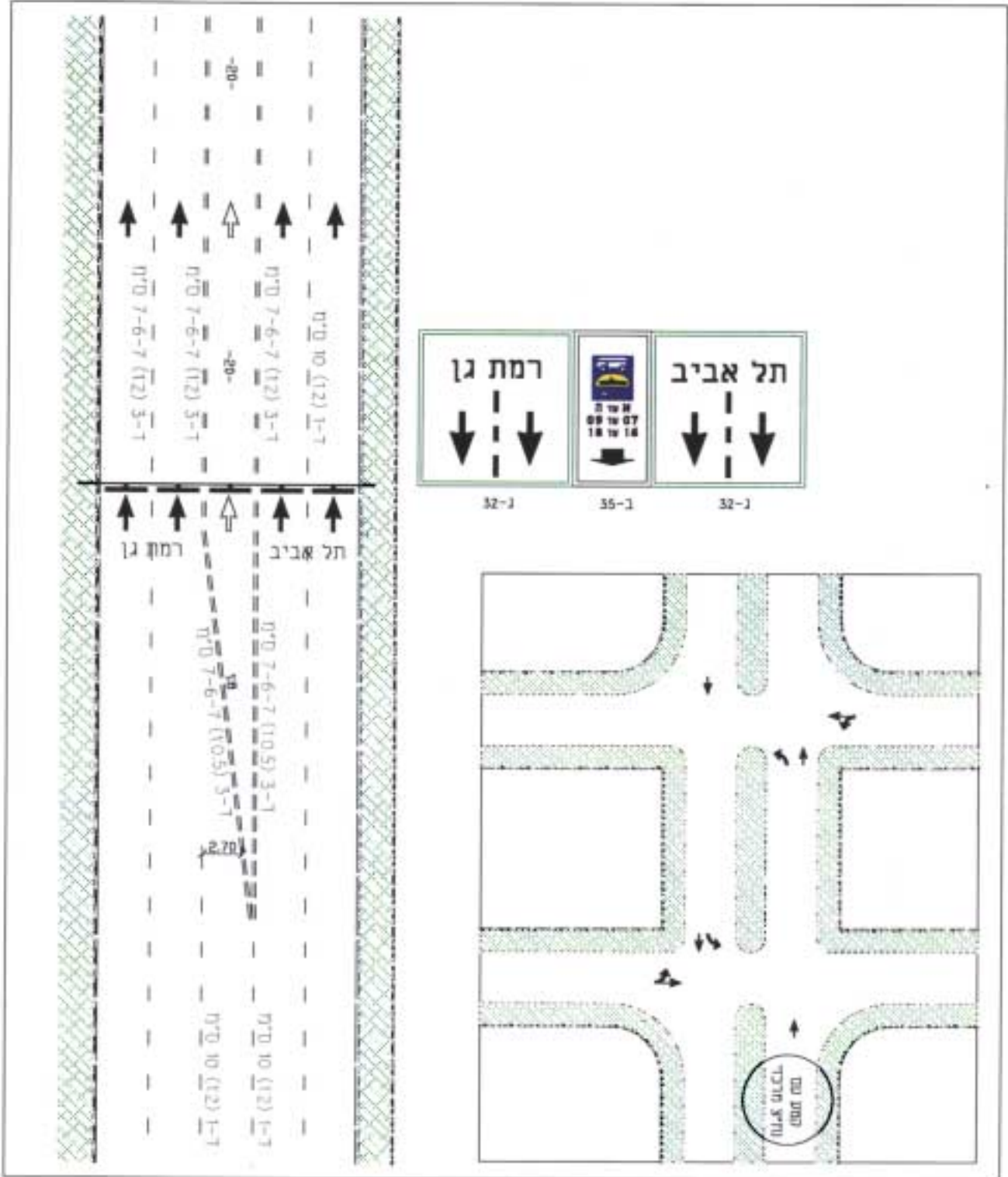
בקטעים בהם קיים נת"צ מרכזי בדרך כלל לא ייבנו תחנות אלא אם ניתן ליצור מפרדות מיוחדות הנגישות להולכי הרגל.

פרטי הנת"צ הממוקם במרכזו של מסלול הנסיעה מתוארים בציר 4.3

ציור 4.2: דוגמא לביצוע נת"צ שמאלי עם כיוון התנועה



ציור 4.3: דוגמא לביצוע נת"צ מרכזי עם כיוון התנועה



## 5.4 . הפסקת נת"צ לפני צמתים קריטיים

### א. כללי

בכל מערכת תחבורתית רוויה, קיימים מספר צמתים קריטיים המהווים את "צווארי הבקבוק" והקובעים את קיבולת המערכת. בצמתים אלה קיימת חשיבות רבה לניצול מרבי של הקיבולת ולכן, במידה וקיימים "עודפי קיבולת" בנת"צ, מומלץ מאד לנצלם. הדבר תלוי בראש וראשונה בצפיפות בין הצמתים וכמו כן בנפחי האוטובוסים, המוניות ורכב רב-הנוסעים המתוכננים לעבור בנת"צ.

### ב. הפסקת הנת"צ וחידושו

על מנת לנצל את הקיבולת הפנויה, רצוי להפסיק את הנת"צ לפני צמתים קריטיים במערכת הדרכים. הפסקה זו תכונה להלן "הסגה" (Setback). במקרה של מתן "הסגה", העדיפות לאוטובוסים, למוניות ולרכב רב-נוסעים נובעת "מהקפצתם" לראש התור ומתן אפשרות לעבור במחזור הראשון. הצומת במקרה כזה מתפקד "ביעילות" רבה יותר והתורים והעיכובים לכלל התנועה יקטנו, מבלי לגרום לנזק משמעותי לתנועה בנת"צ. מאחר ומשתמשים בכל אורך הנת"צ בצורה יעילה יותר, נובע מכך, שההצדק להפעלת נת"צ יושג מוקדם יותר, דהיינו בנפחי אוטובוסים קטנים יותר.

חידוש הנת"צ, לאחר הפסקתו ב"צוואר הבקבוק", מתאפשרת כאשר מתקיימים ביחד, שני התנאים הבאים:

- א. קיימת ירידה בנפחי התנועה בציר (כתוצאה מהתפצלויות ופניות) והנתיבים הנותרים מסוגלים להעביר את הביקוש.
  - ב. כאשר המרחק בין הצמתים גדול מ-500 מטר. מרחק זה יאפשר, בדרך כלל, יציאה מהנת"צ של כלי הרכב "הבלתי מורשים" והשתלבותם בנתיבים הרגילים (לאחר הצומת) לפני הגעתם לסוף התור ברמזור הבא.
- מסיבות אלה, יצירת הסגה מתאימה לדרכים עורקיות בגישה לעיר, בהן צפיפות הצמתים קטנה יחסית.

### ג. אורך ההסגה

אורך ההסגה צריך להיות באורך שיאפשר לקיים שני פרמטרים תכנוניים בו זמנית:

- א. לאפשר לאוטובוסים, מוניות ורכב הפונה ימינה, לפנות את הצומת במחזור אחד (רצוי);
- ב. לאפשר לתנועה "רגילה" עוברת (הנוסעת ישר), לנצל את עודף הקיבולת לאחר נסיעת הרכבים המועדפים והרכבים הפונים ימינה.

הסגה קצרה מדי תביא לאי-ניצול מלא של האור הירוק בנתיב המופסק והסגה ארוכה מדי תביא לעיכובים לרכב המועדף (רב נוסעים) ולאי יכולת לפנות את הצומת במחזור אחד, כמתוכנן.

אורך ההסגה האופטימלי יחושב ע"פ נוסחה 4.1 להלן :

$$L = \frac{(s \cdot g \cdot X - V_e \cdot C) \cdot h}{3600} \quad 4.1$$

כאשר :	$L$	- אורך ההסגה (מטרים)
	$s$	- זרימת הרוויה בנת"צ (יר"מ/שעה)
	$g$	- משך ירוק אפקטיבי המוקצה לנת"צ (שניות)
	$X$	- דרגת הרוויה הרצויה בנת"צ (כמוסבר בהמשך)
	$C$	- אורך המחזור (שניות)
	$h$	- מרווח בין ראשים של יר"מ (בד"כ $h = 7$ מטר)
	$V_e$	- נפח התנועה בנת"צ בסמוך לצומת (יר"מ). נפח זה יחושב על פי נוסחה 4.2 להלן

$$V_e = V_b + V_H + V_r \quad 4.2$$

כאשר :	$V_b$	- נפח האוטובוסים (יר"מ/שעה).
	$V_H$	- נפח המוניות ורכב רב הנוסעים (יר"מ/שעה).
	$V_r$	- נפח התנועה הפונה ימינה (יר"מ/שעה).

על מנת להשאיר רזרבה, למקרה של הגדלת המחזור בציר, תכנון ההסגה יבוצע תמיד למחזור של 150 שניות זרימת רוויה של 1600 יר"מ/שעה ודרגת רוויה  $X=0.80$ . תוצאות החישוב מובאות בטבלה 4.1 להלן.

במקומות בהם לא ניתן להגיע למחזורים גדולים בגלל אילוצים גיאומטריים והעדר אורכי איחסון, יש לתכנן הסגה למחזורים קטנים יותר ולדרגת רוויה  $X=0.90$ . תכנון אורך ההסגה לפי דרגת רוויה נמוכה יותר, תוביל לאורך הסגה קצר יותר ולכן גם ליעילות מופחתת של הצומת. דרגת רוויה גבוהה יותר, תביא לאורכים גדולים יותר של ההסגה אך תגדיל את ההסתברות שאוטובוסים מסוימים יתעכבו בצומת מעבר למחזור אחד.

אורך ההסגה המזערי יהיה 50 מטר. בסמיכות לצומת מתבצעת התפצלות הפניות וריבוי התמרונים עלול להרע את בטיחות הצומת. מסיבה זאת, כאשר אורך ההסגה, המתקבל מהחישוב, קטן מ-50 מטר, עדיף שלא לתיתה כלל.

**טבלה 4.1: אורך הסגה לפני צמתים קריטיים**

אחוז ירוק אפקטיבי (g/C)				נפח תנועה בנת"צ (יר"מ לשעה)
60%	50%	40%	30%	
210	170	135	100	50
195	160	120	85	100
180	145	105	70	150
165	130	90	55	200
150	115	75	-	250
140	100	60	-	300
125	85	50	-	350
110	70	-	-	400
95	55	-	-	450
80	-	-	-	500
65	-	-	-	550
50	-	-	-	600

הערה: הטבלה חושבה למחזור של 150 שניות, זרימת רוויה של 1600 יר"מ/שעה ודרגת רוויה של 80%

**ד. אורך האלכסון**

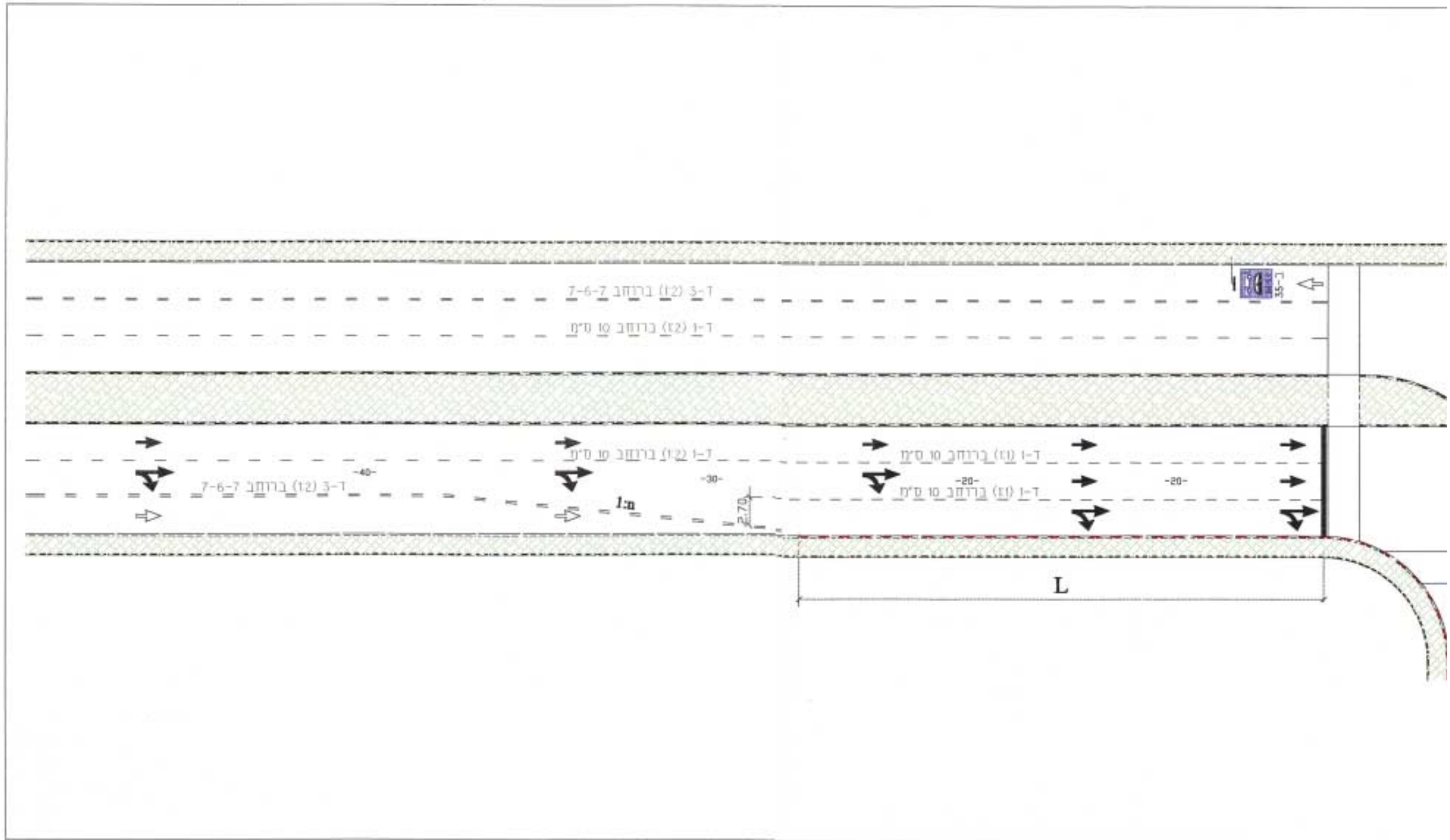
משיקולי בטיחות יש לתכנן ולצבוע את אלכסון הכניסה להסגה באורך התלוי במהירות התכן. האורך המומלץ ינוע בין 1:8 ל-1:15 בהתאם לטבלה 4.2 להלן:

**טבלה 4.2: אורך לוכסן ההסגה**

שיפוע הלוכסן (l:n)	מהירות התכן (קמ"ש)
1:8	50
1:10	60
1:15	70 או 80

אורך ההסגה L ימדד מקו העצירה לפני הרמזור בצומת ועד לתחילת האלכסון, כמתואר בציור 4.4.

ציור 4.4: מיקום ההסגה לפני צומת קריטי



#### 4.6 . שילוב ההסגה עם פניות ימינה "חופשיות"

בצמתים מסוימים קיימים נתיבים לפנייה ימינה חופשית. במידה ואורך נתיבי הפניה קצר מאורך ההסגה, המובא בטבלה 4.1, אזי השפעתו זניחה והחישובים המתוארים בסעיף 4.5 ג', תקף. במקומות בהם רוצים להבטיח תפקוד יעיל של הנתיבים לפנייה ימינה חופשית, יש להאריכו אל מעבר לתחילת ההסגה. במקרה זה, חישוב אורך ההסגה יעשה ע"פ הנוסחאות 4.1 ו-4.2 לעיל, ללא האיבר  $V_r$ .

על מנת לשמור על יעילות התפעול של הצומת, יש להבטיח שהתור המצטבר לפני הרמזור לא יחסום את אזור הכניסה לנתיב הפניה ב-90% מן המקרים. תור זה מורכב מכלי הרכב הפרטיים שמלאו את ההסגה ורכב רב הנוסעים שהתמקם מאחוריהם. הצורך למנועה את חסימת נתיב הפניה, מכתוב את המרחק מתחילת נתיב הפניה ועד לתחילת ההסגה. מרחק זה מובא בטבלה 4.3, כאשר נפח התנועה בנת"צ מחושב ע"פ נוסחה 4.3 להלן:

$$V_e = V_b + V_H \quad 4.3$$

כאשר:  $V_b$  - נפח האוטובוסים (יר"מ/שעה).

$V_H$  - נפח המוניות ורכב רב הנוסעים (יר"מ/שעה).

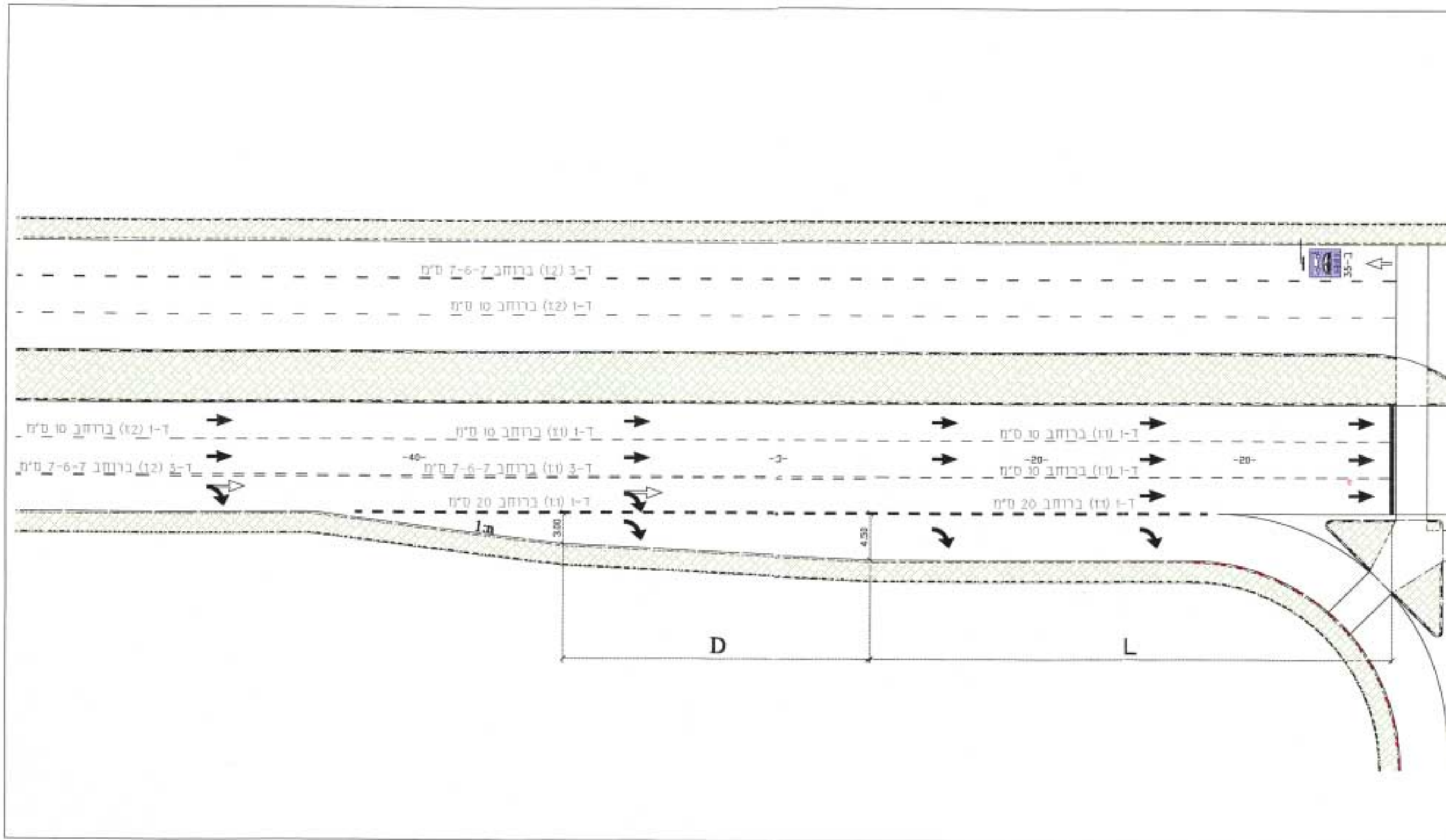
באותם המקומות בהם לא ניתן להבטיח את התחלת נתיב הפניה במקום הדרוש, יש להקטין את אורך ההסגה. במידה ואורך ההסגה, לאחר ההקטנה, קטן מ-50 מטר יש לשקול:  
 א. לתכנן את ההסגה ללא ההתחשבות בכך שיש נתיב פניה (כמוסבר בסעיף 4.5);  
 ב. לבטל את ההסגה כליל.

#### טבלה 4.3: המרחק מתחילת הנתיב לפנייה ימינה חופשית ועד לתחילת ההסגה, D (מטר)

אחוז ירוק אפקטיבי (g/C)				נפח תנועה בנת"צ (יר"מ לשעה)
60%	50%	40%	30%	
20	30	30	35	100
30	35	45	50	150
45	50	60	65	200
50	60	65	80	250
60	65	80	85	300

בצמתים בהם קיימת פנייה ימינה חופשית בצד נתיב עם הסגה, אין לתכנן אלכסון כניסה לתוך ההסגה. במקרה זה יהיה מעבר מידי מסימון ד-3 לסימון ד-1 כמתואר בצירוף 4.5 להלן.

ציור 4.5: שילוב של פניה חופשית ימינה ביחד עם נת"צ ימני בכיוון התנועה



## 5 . נת"צ נגד כיוון התנועה

### 5.1 . כללי

נת"צ נגד כיוון התנועה יתוכנן תוך הקפדה על הסדרי הבטיחות הנדרשים. מטרת הנת"צ היא, מתן נגישות יתר לנוסעים אל מרכזים מיוחדים. נת"צ נגד כיוון התנועה מאפשר, במקרים מסוימים, לנצל קיבולת "בלתי מנוצלת" בכיוון המנוגד לכיוון השיא ולקצר את מסלולי קווי התחבורה הציבורית, במערכת רחובות חד-סטריים. רמת האכיפה הנדרשת בנת"צ נגד כיוון התנועה, קטנה משמעותית מאשר בנת"צ עם כיוון התנועה ועל כן הוא יעיל יותר במרכזים עירוניים צפופים בהם קטנים המרחקים בין הצמתים.

### 5.2 . מיקום הנת"צ מנוגד תנועה

נת"צ נגד כיוון התנועה יתוכנן לרוב, ברחובות חד-סטריים בסמוך למדרכה שמאלית (ביחס לכיוון התנועה הרגילה).

ידועים מקרים בהם תוכנן נת"צ נגד כיוון התנועה ברחוב דו-סטרי בסמוך למפרדה. מקרים אלה מורכבים, נדירים ומצריכים אמצעים מיוחדים להפרדת נתיבים (קונוסים, שערים וכד'). נת"צ נגד כיוון התנועה ברחוב דו-סטרי יוצר בעיות בטיחות והתמצאות, המחייבות פתרון, הן בקטע הדרך ובמיוחד בצמתים ובנקודת הכניסה והיציאה מהנת"צ. הנחיות אלה לא תטפלנה בנת"צ נגד כיוון התנועה ברחוב דו-סטרי אולם אין מניעה לתכננו בכפוף לפתרון הבעיות הנוצרות.

### 5.3 . שיקולים גיאומטריים כלליים

להלן מובאים השיקולים לתכנון האלמנטים הגיאומטריים של נת"צ מנוגד תנועה:

#### א. מספר נתיבים רגילים

המספר המומלץ של הנתיבים הרגילים, בכיוון המנוגד לכיוון נסיעת התחבורה הציבורית, יהיה שני נתיבים. במקרים מסוימים ניתן לתכנן נתיב אחד, אולם יש לוודא שהנתיב הבודד יהא בעל קיבולת מספקת להעברת התנועה הרגילה וברמת שרות סבירה ולא יצור תורים העלולים לחסום צמתים סמוכים.

## ב. רוחב הנת"צ

רוחב נתיב המומלץ לנת"צ נגד כיוון התנועה יהיה:

3.65 מטר למהירויות עד 50 קמ"ש;

3.75 מטר למהירויות של 60 או 70 קמ"ש;

3.85 מטר למהירויות של 80 קמ"ש או יותר.

ברחובות בהם הנת"צ מופרד ע"י מפרדה בנויה, רוחבו יהיה 5.50 מטר לכל הפחות.

## ג. רוחב הנתיבים הרגילים

במקומות בהם קיים נת"צ נגד כיוון התנועה, הרוחב המומלץ של נתיבי תנועה רגילים יהיה:

3.50 מטר למהירויות עד 50 קמ"ש;

3.60 מטר למהירויות של 60 או 70 קמ"ש;

3.70 מטר למהירויות של 80 קמ"ש או יותר.

## ד. הפרדת הנת"צ מהנתיבים הרגילים

נת"צ נגד כיוון התנועה, ברחוב חד-סטרי, יופרד מן הנתיבים הרגילים באמצעות קו ד-3 כדלהלן:

ברוחב של 20 ס"מ (7-6-7) למהירויות עד 50 קמ"ש;

ברוחב של 35 ס"מ (10-15-10) למהירויות של 60 או 70 קמ"ש;

ברוחב של 50 ס"מ (15-20-15) למהירויות של 80 קמ"ש או יותר.

## **5.4 . סימון נת"צ נגד כיוון התנועה**

נת"צ נגד כיוון התנועה, הפועל בחלק משעות היממה, יסומן בקו ד-3 ברוחב שנקבע בסעיף 5.3 לעיל. בסמוך לצומת במרחק של כ-20.0 מטר מקו העצירה, או מגבול הצומת (כמוגדר בתקנות התעבורה), יופסק הסימון ד-3 ובמקומו יינתן קו ד-4, לבן רצוף. בהתקרבות לצומת וביציאה ממנו יש לסמן מערכות של חיצו ד-13 צהובים כמוסבר בחלק זה, פרק 1, סעיף 1.4. בקטעי נת"צ הארוכים מ-200 מטר רצוי לסמן חיצו ד-13 נוספים לאורך הנת"צ במרווחים שאינם עולים על 150 מטר.

נת"צ נגד כיוון התנועה הפועל במשך היממה כולה יופרד מן הנתיבים הרגילים ע"י מפרדה או קו ד-4. בהתקרבות לצומת וביציאה ממנו יש לסמן מערכות של חיצו ד-13 צהובים כמוסבר בחלק זה, פרק 1, סעיף 1.4. בקטעי נת"צ הארוכים מ-200 מטר רצוי לסמן חיצו ד-13 נוספים לאורך הנת"צ במרווחים שאינם עולים על 150 מטר.

במידה וקיימות לאורך הנת"צ תחנות האוטובוס, שאינן במפרצים, מספיק לסמן בסימון ד-21 או ד-17 בלבד.

## 5.5 . תמרורים

נת"צ נגד כיוון תנועה יתומרר בהתאם לעקרונות המובאים בחלק זה, פרק 1, סעיף 1.4. בכניסה לנת"צ ייתן תמרור ב-35 המתאים לסוג הצומת. בקצהו השני של קטע הדרך יוצב תמרור ג-6 המסביר לנוהגים בכיוון הנגדי את הסדרי התנועה ברחוב.

ציור 5.1 להלן, מביא דוגמאות להסדרת נת"צ נגד כיוון התנועה בהתאם לעקרונות המובאים בסעיפים 5.3, 5.4 ו-5.5.

## 5.6 . אמצעי הגנה על הולכי הרגל

במקומות בהם מתוכנן נת"צ נגד כיוון התנועה יש להקפיד הקפדה יתרה על בטיחות הולכי הרגל ויש לרכז את חצייתם לצמתים המרומזרים או למעברי חצייה מוגדרים ובולטים. תשומת הלב להכוונה מפורטת, של הולכי הרגל אל מקומות החצייה, נדרשת עקב הצורה הלא שגרתית של "התנועה נגד הכיוון". ברחובות בהם נדרשת חצייה של שלושה נתיבים בלתי מופרדים, או יותר, מומלץ לכוון את הולכי הרגל למעברים המוגנים באמצעות מעקות בטיחות.

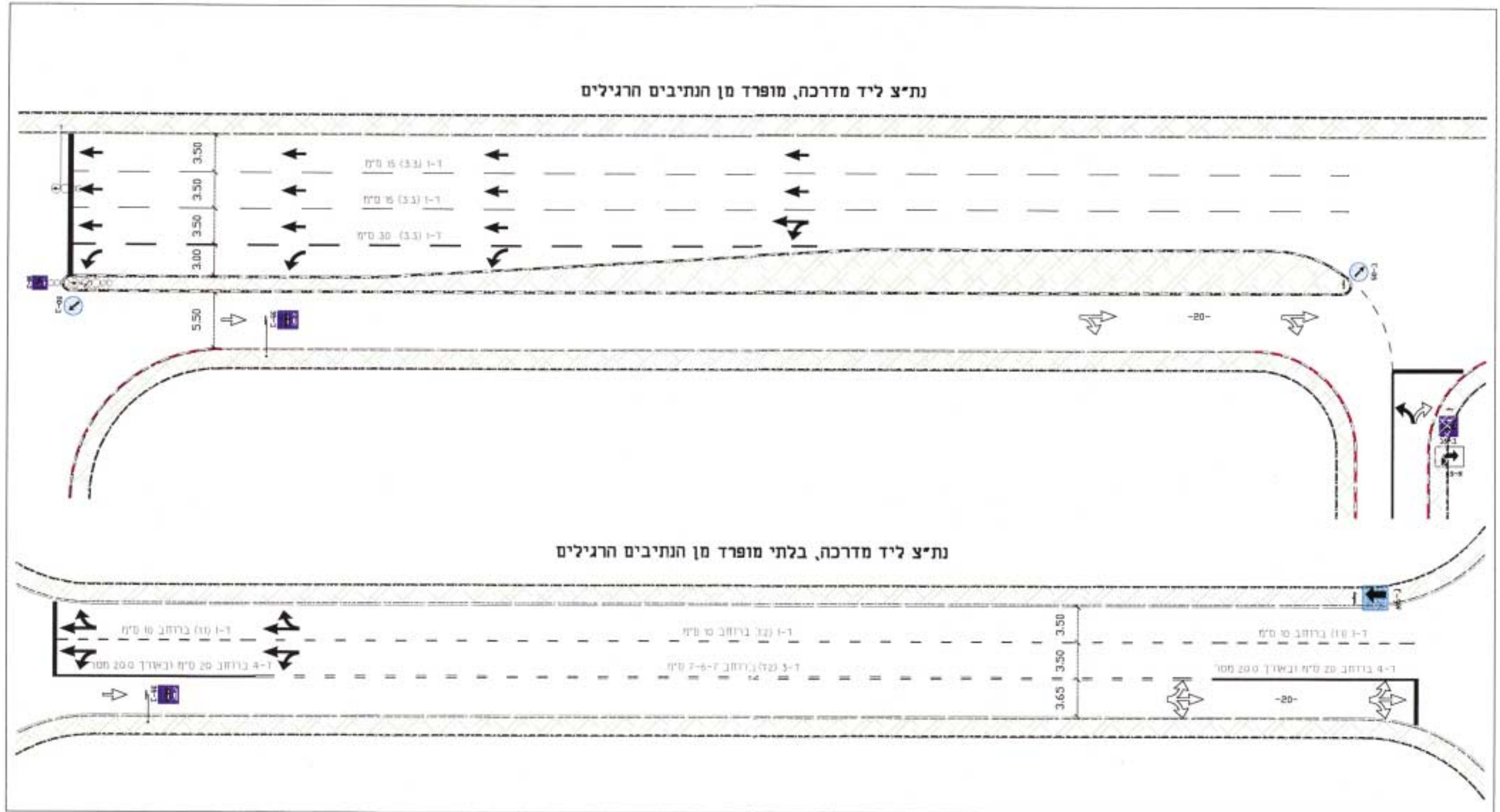
מומלצת מאוד בניית אי מפלט להולכי רגל במעברי החצייה. אי המפלט ייבנה באופן שיפריד בין הנת"צ לבין נתיבי התנועה הרגילים. ככלל יבנה אי המפלט בהתאם ל"הנחיות לתכנון מעברי חצייה". יחד עם זאת, ברחובות בהם נפח התנועה נמוך ויכולה להיווצר אשליה של חד-סטרייות, ניתן לשקול בניית אי מפלט בהתאם למתואר בציור 5.2.

ברחובות חד-סטריים בהן קיים נת"צ נגד כיוון התנועה יתכן ולא יהי ברור כיוון התנועה בנת"צ (נת"צ נגד כיוון התנועה או נת"צ שמאלי עם כיוון התנועה). מסיבה זו יש למוקם, בהתקרבות למעבר החצייה, מערכת חיצונית ד-13, אחת מכל צד, במרחק של 2.00 מטר ממנו. באותם המקומות בהם ההסדר אינו ברור מעל לכל ספק ניתן למקם, משני צידי מעבר החצייה, תמרורי א-43 בהם ייכתב "זהירות-אוטובוסים משמאל" או "זהירות-אוטובוסים מימין".

## 5.7 . שילוב נת"צ מנוגד תנועה בצמתים מרומזרים

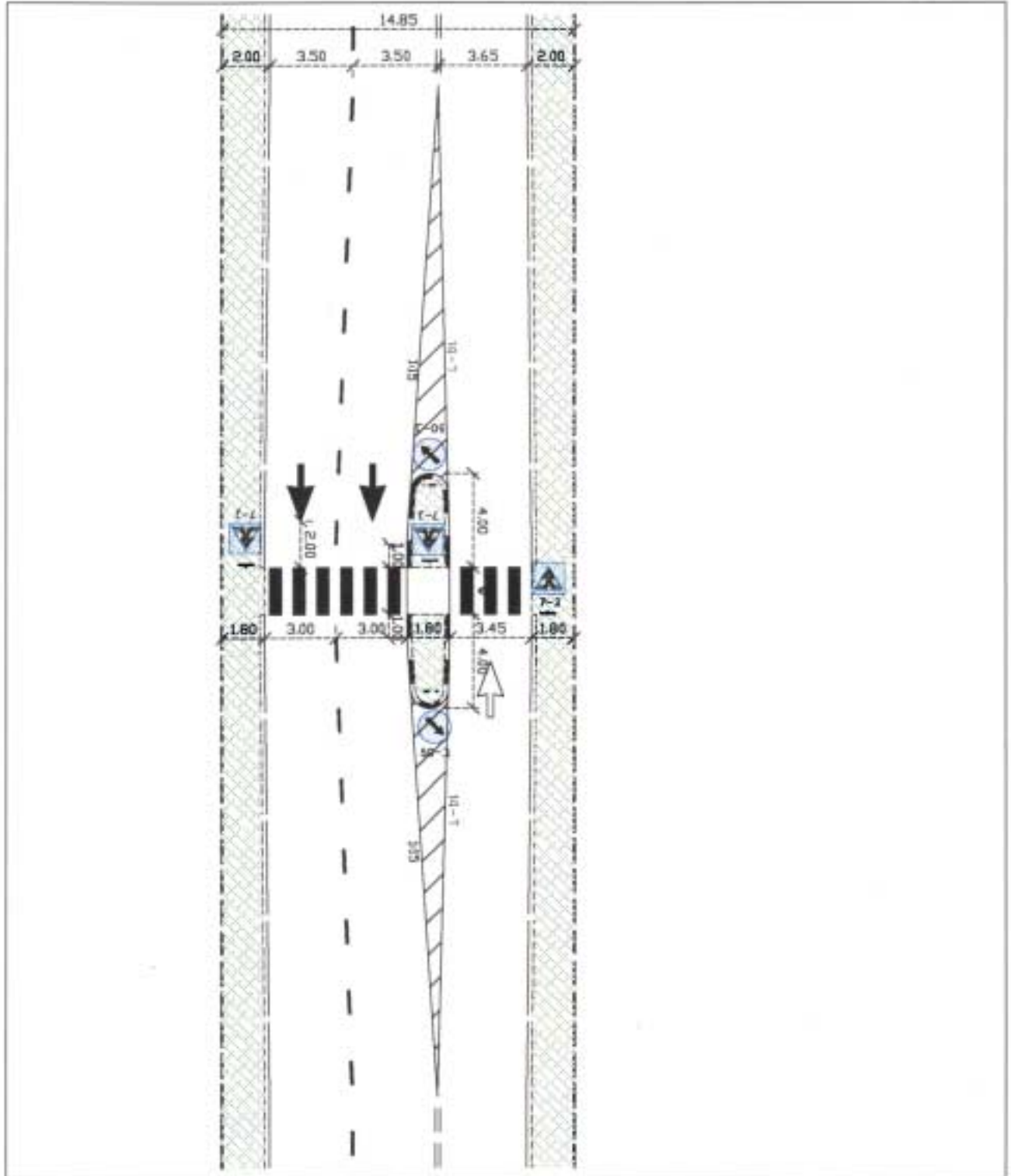
נת"צ נגד כיוון התנועה, בצמתים מרומזרים, מהווה, במקרים מסוימים, את אחת מקבוצות הנתיבים הקריטיות הקובעות את מחזור הרמזור בצומת. במיוחד נכון הדבר כאשר מתוך הנת"צ מבוצעות פניות הצולבות את התנועה בנתיבים הרגילים. בצירים בהם קיים נת"צ נגד כיוון התנועה רצוי למנוע פניות ישירות מתוך הנת"צ, וזאת ע"י הכוונה של האוטובוסים הפונים לרחובות צדדיים וצירופן לתנועה החוצה.

ציור 5.1: סימון ותמרור נת"צ נגד כיוון התנועה



חלק ב', עמוד 5.4

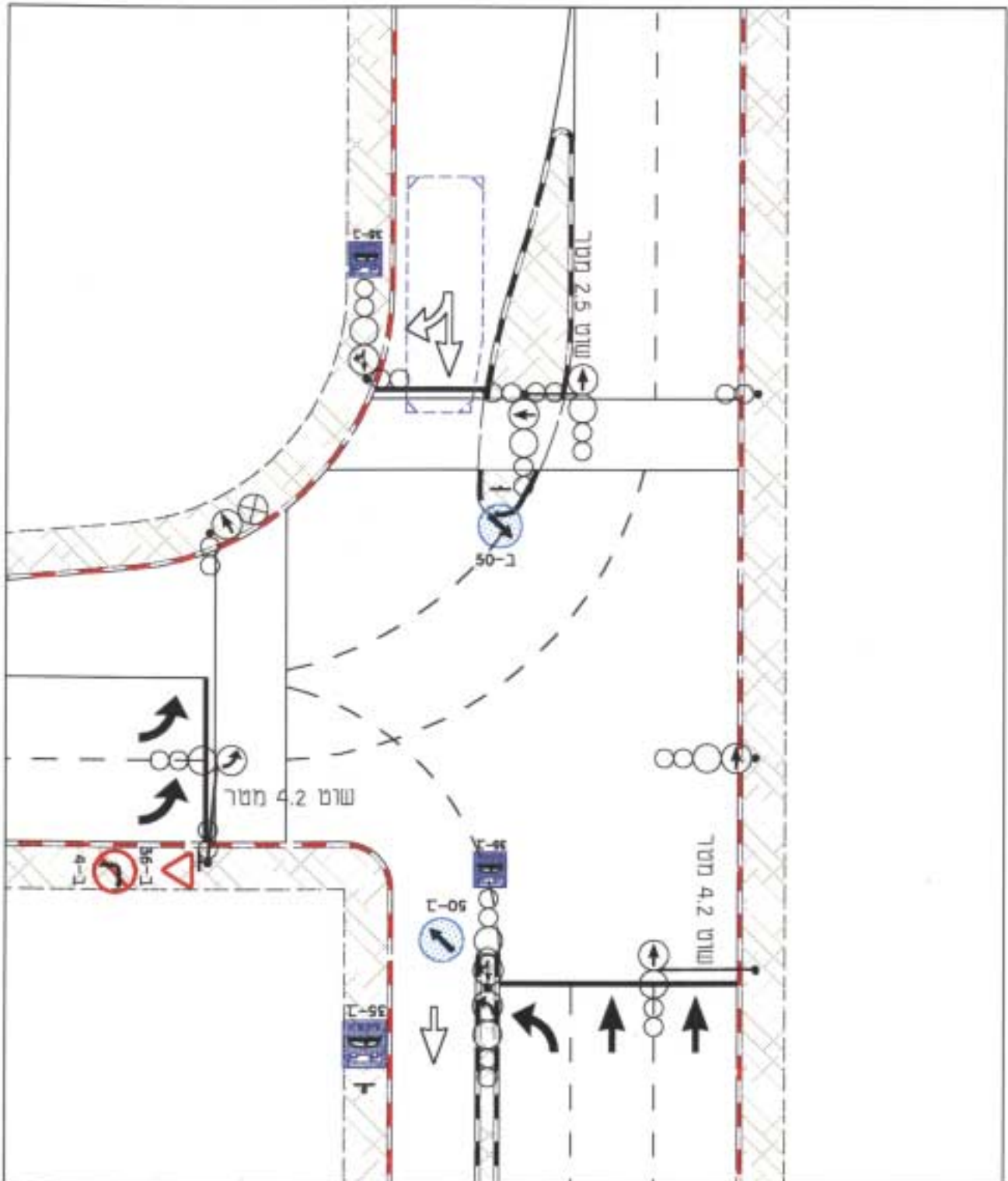
ציור 5.2: פרט של אי מפלט להולכי רגל ברחוב בו קיים נת"צ נגד כיוון התנועה



כאשר דבר זה בלתי אפשרי יש לשקול איסורי פניות לצורך צמצום מספרן של קבוצות הנתיבים הקריטיות בצומת.

ככלל, לא משולבים כלי רכב פרטיים בנת"צ המנוגד תנועה ועל כן נפחי התנועה הקטנים מצדיקים את שילובם של גלאי תנועה בכיוון זה. באזורים עירוניים צפופים, בהם השאיפה היא לתת העדפה בולטת לשימוש בתחבורה ציבורית, ניתן לשלב שיטות להעדפת הנת"צ בהתאם למוסבר בחלק זה של ההנחיות, בפרק 8.

ציור 5.3: דוגמא להסדרת צומת מרומזר עם נת"צ נגד כיוון התנועה



## 6. רחובות ומסלולים לתחבורה ציבורית

### 6.1 כללי

מסלול לתחבורה ציבורית (מת"צ) יכול להיות מתוכנן כרחוב נפרד או כמספר נתיבים המופרדים משאר נתיבי הדרך ע"י מפרדה בנויה. מת"צים מאופיינים בכך שהם מעבירים תנועה לשני הכיוונים כאשר, התפעול יכול להיעשות במסלול דו-כיווני, או חד-כיווני הפיך (Reversible), או ברחוב המיועד באופן בלבדי לתחבורה הציבורית. מספר הנתיבים במסלול יכול להשתנות בהתאם לדרישות התפעול ונתוני חתך-הרוחב ברחוב שבו הוא מתוכנן.

העלאה והורדה של נוסעים בתחנות המת"צ, דורשת תכנון קפדני המחייב התייחסות ל:

- א. מיקום התחנות
- ב. אורך התחנה ומספר העמדות
- ג. גודל שטח "הצטברות" והמתנה של נוסעים
- ד. אופן הנגישות של הנוסעים לתחנות
- ה. הסדרי בטיחות למניעת ירידה של הנוסעים לכביש
- ו. אפשרות לעקיפה של האוטובוס המעלה או מוריד נוסעים

תכן גיאומטרי של מת"צ וכן אופן סימונו ותמרורו יתאימו למפורט בחלק זה של ההנחיות, פרקים 1 עד 3.

### 6.2 רחובות בלעדיים לתחבורה ציבורית (רת"צ)

#### א. כללי

רחובות בלעדיים לתחבורה ציבורית (Busways) יהיו בדרך כלל בעלי אורך מוגבל ויתאימו לביצוע באזורים מרכזיים כגון מרכז עיר (מע"ר) או מרכז פעילות ראשי אחר. מטרתם בדרך כלל לשפר את הנגישות ליעדי הביקוש העיקריים (למשל לתחנות אוטובוס ראשיות) ולשפר את זרימת התנועה של האוטובוסים. לרוב מותר השימוש ברחובות המיוחדים לאוטובוסים גם למוניות, אך לא לרכב רב-נוסעים אחר. בעת התכנון, יש לדאוג גם לזרימת התנועה והמשכיות הרחובות המוליכים את התנועה הרגילה. בנוסף יש להבטיח פתרונות נגישות חלופיים לשימושי הקרקע הגובלים.

ציור 6.1 מציג שתי דוגמאות לשימוש ברחובות מיוחדים לאוטובוסים, ליד תחנת אוטובוסים ראשית או בסמיכות למע"ר.

**ציור 6.1: דוגמא לשימוש ברחובות מיוחדים לאוטובוסים**



### ב. תכן גיאומטרי

ככלל לא יקטן רוחב המסעה ברחובות לאוטובוסים מ-7.00 מטר. במקרים חריגים, ברחובות בהם נפח האוטובוסים והמוניות קטן מ-100 כלי רכב לכיוון, בשעת השיא, ניתן לתת מסעה ברוחב קטן יותר, אולם לא פחות מ-6.50 מטר.

### ג. רוחב מדרכות

המדרכות, ברחובות מיוחדים לאוטובוסים, חייבות להיות ברוחב שיאפשר לנוסעים להמתין בבטחה ובנוחות מבלי לגרום להפרעה להולכי הרגל האחרים ברחוב. רמת השרות המומלצת ברת"צ תהיה B ורוחב המדרכה הרצוי, יהיה על פי המפורט בחלק ב' פרק 3, ציור 3.1. מומלץ לא לתכנן מדרכות הצרות מ-2.50 מטר.

### ד. צמתים עם רחובות חוצים

כאשר אורך הרת"צ קצר, רצוי לתת לו עדיפות מוחלטת ולמנוע לחלוטין חצייתו ע"י תנועה אחרת. במקרים בהם אורך הרת"צ גדול יותר וקיים הצורך לאפשר חצייה, יש לאסור פניות של כלי רכב שאינם אוטובוסים או מוניות לתוכו. כאשר אין פניות של אוטובוסים מתוך הרחוב החוצה לתוך הרת"צ, מומלץ להקטין את רדיוס הפניה מתחת לרדיוסים המזעריים המקובלים, וזאת על מנת שכניסתם של כלי הרכב "הרגילים" תהיה יותר "קשה" ותיוצר הפרעה פיזית ממשית.

ברחוב הרגיל, לפני צומת עם רחוב מיוחד לאוטובוסים יש לתת תמרור ב-35 ומתחתיו תמרור א-45, המבהירים את הסדרי הנסיעה והפניה בדרך החוצה (ראה חלק ב', פרק 1, ציור 1.5)

## **6.3. מסלול לתחבורה ציבורית (מת"צ)**

### א. כללי

מסלול לתחבורה ציבורית (מת"צ) יינתן, בדרך כלל, ברחובות ראשיים עמוסי תנועה, המובילים לכוון המע"ר או מרכזי פעילות אחרים. לרוב ימוקם המת"צ במרכז הדרך אולם, ניתן למקמו גם באחד מצדי הדרך, במידה ולא קיימת בעיית נגישות לשימושי הקרקע. לא רצוי לתת מת"צ במקומות בהם יש צורך לאפשר פניות שמאלה או ימינה של האוטובוסים לצורך היציאה מהמת"צ. כניסות ויציאות, הינן החלק הבעייתי בתכנון המת"צ ומחייבים תשומת לב מיוחדת.

תפעול המת"צ דומה לתפעול רחובות מיוחדים לאוטובוסים, למעט אופן השילוב ברמזורים. המסלול המרכזי יהיה לרוב דו-כיווני או במקרים מסוימים חד-כיווני הפיך (Reversible). למסלול ההפיך יש יתרון בולט בחסכון בשטח והוא מאפשר לספק קיבולת ורמת שרות גבוהה לאוטובוסים בכוון השיא. חסרונו של המסלול ההפיך הוא בסרבול מערכות הרמזורים והבקרה האחרות, המסבכות את אופן התפעול. במקומות בהם תנועת האוטובוסים בשעת השיא הינה עמוסה לשני הכוונים, אין הצדקה ליצירת מסלול הפיך.

המת"צ יהיה מיועד, ברוב המקרים, רק לאוטובוסים. ניתן לבחון שילוב מוניות ורכב רב-תפוסה אחר, בהתאם לאילוצים ההנדסיים הקיימים.

### ב. רוחב נתיבים

מספר הנתיבים המזערי במת"צ דו-כיווני הוא 2 נתיבים. כאשר נפח האוטובוסים גדול והתחנות אינן במפרץ, יש להוסיף נתיב עקיפה באזור התחנה (ראה חלק זה, פרק 3, סעיף 3.8). רוחב הנתיב המזערי יהיה 3.50 מטר ולכן רוחב המסלול יהיה 7.00 מטר לכל הפחות.

במת"צ חד-כיווני או הפיך, רוחב הנתיב המזערי יהיה 5.50 מטר וזאת על מנת לאפשר עקיפה בטוחה ואפשרות שימוש גם במקרה של תקלה באחד האוטובוסים.

### ג. הפרדת תנועה

משיקולי בטיחות הולכי רגל ואכיפה, המת"צ חייב להיות מופרד משאר הנתיבים על ידי מפרדות בנויות ותחומות על ידי אבני שפה, ברוחב מזערי כדלקמן:

- א. לכל אורך המת"צ למעט באזור תחנות ומעברי חצייה: 1.0 מטר;
- ב. באזור תחנות: על פי דרישות תכן התחנות (לרמת שרות C), כמוסבר בחלק זה, פרק 3, סעיף 3.2;
- ג. באזור מעברי החצייה: 2.0 מטר.

למניעת חצייה מסוכנת של הנתיבים וריצה לתחנות, יש להציב בקצה המיפרדות מעקות או גדרות בטיחות ההולכי רגל. הנגישות לתחנות תתאפשר באמצעות הסדרת מעברי החצייה הקיימים בצמתים או באמצעות מעברים עיליים או תחתיים.

#### ד. התחלה וסיום של מת"צ

רצוי להתחיל מת"צ בתוך הקטע בין שני צמתים. לצורך כך יש לבחור קטע דרך מספיק ארוך על מנת שתאפשר הסטה נאותה של הנתיבים המשכיים על פי השיפועים המומלצים הבאים:

1: 15 למהירות עד 50 קמ"ש ;

1: 30 למהירות של 60-70 קמ"ש ;

1: 45 למהירות של 80 קמ"ש או יותר.

כניסה למת"צ מצומת מרומזר מחייבת יצירת נת"צ עם כיוון התנועה בקטע מוקדם יותר, בהתקרבות לצומת.

סיום מת"צ תעשה בדרך כלל בצמתים תוך ניצול המופע הירוק הנפרד הניתן למת"צ. במקומות בהם יש צורך לסיים מת"צ בתוך קטע דרך יש לעשות זאת בהקפדה יתרה ותוך שמירה על שיפועי ההתכנסות הבאים:

1: 30 למהירות עד 50 קמ"ש ;

1: 45 למהירות של 60-70 קמ"ש ;

1: 60 למהירות של 80 קמ"ש או יותר.

דוגמא להתחלה וסיום מת"צ בתוך קטע, מוצגת בציור 6.2.

#### ה. הרחבה והצרה של המפרדה

במקומות בהן יש צורך לבצע הרחבה או הצרה של המפרדה לצורך מיקום תחנות או מעברי חצייה (כמוסבר בסעיף ג' לעיל), יש לבצע את שינוי הרחב והסטת הנתיבים (כאחד), בשיפועים כלהלן:

1: 15 למהירות עד 50 קמ"ש ;

1: 30 למהירות של 60-70 קמ"ש ;

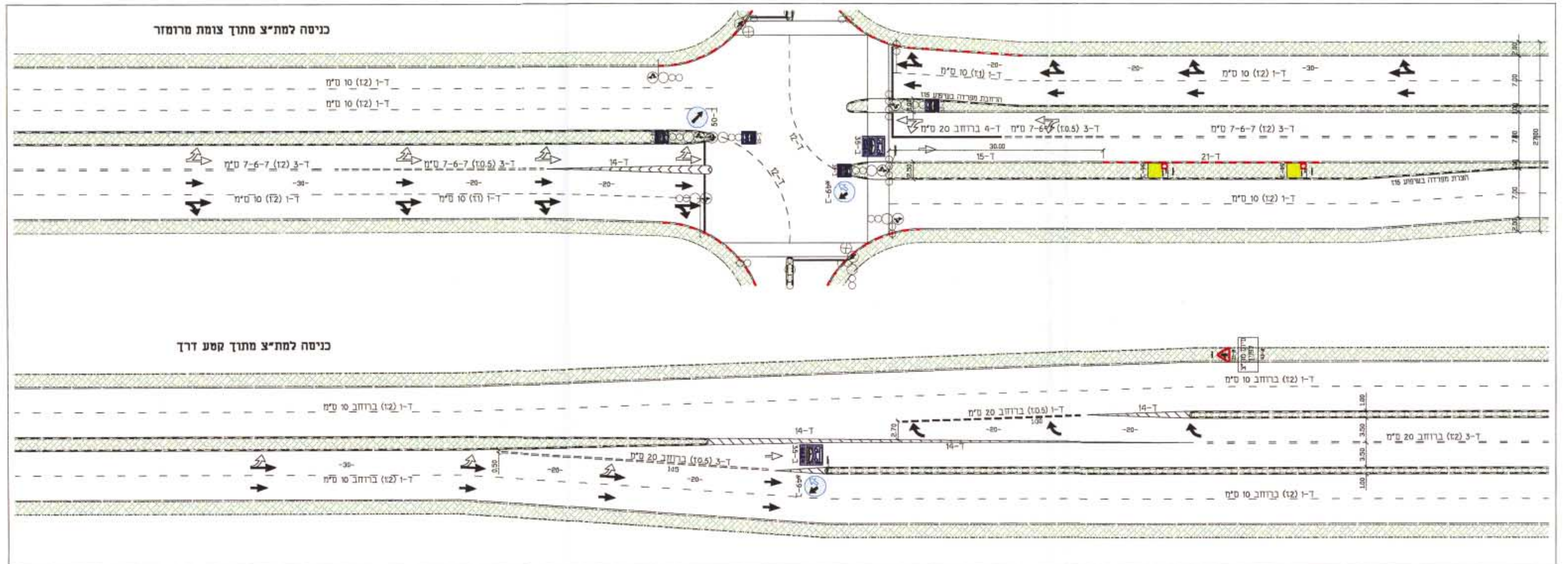
1: 45 למהירות של 80 קמ"ש או יותר.

דוגמא להרחבה והצרה של מפרדה, מוצגת בציור 6.3.

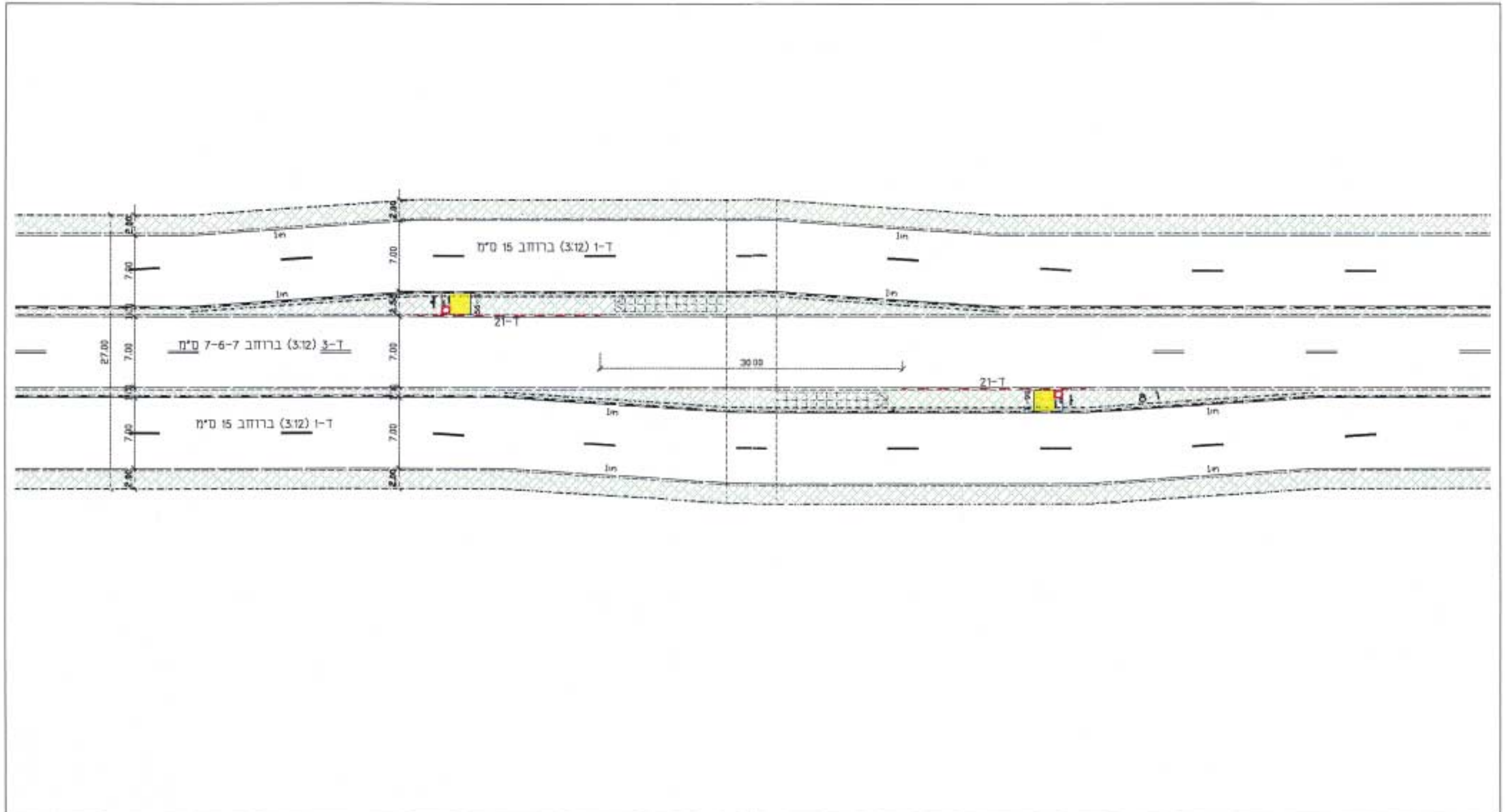
#### ו. תמרור וסימון מת"צ

מת"צ יתומרר ע"י תמרורי ב-35 המגדירים את כלי הרכב המורשים להשתמש בו בהתאם כמוסבר בחלק זה של ההנחיות, בפרק 1.

ציור 6.2: דוגמא להתחלה וסיום מת"צ



ציור 6.3: דוגמא לביצוע הרחבה וחצרה של המפרדה



מת"צ הפיך יתומרר באמצעות תמרורי ב-35 וב-2 המתחלפים ביניהם על פי כיווני התנועה. התמרורים יוצבו על עמוד שוט בצמוד לפנסי הרמזור המיועדים להכוונת התנועה במת"צ ההפיך. הפנסים יינתנו לשני כיווני התנועה (פנסים "גב אל גב") וימוקמו על אותם עמודי השוט. (ראה ציור 6.4).

מת"צ דו-כיווני יסומן במרכזו בקו ד-3 ברוחב 20 (7-6-7) ס"מ ובצפיפות המתאימה לסוג הדרך (ראה בחלק ב', פרק 1, טבלה 1.1). לקראת צמתים יוחלף הקו ד-3 בקו ד-4 ברוחב 20 ס"מ ובאורך מינימלי של 20 מטר מקו העצירה. קווי הדרכה לפנייה (סימון ד-12) יכוון את התנועה אל ומן הנתיבים הרגילים בלבד. באזור הצמתים יסומנו, בהתאם לצורך, חיצי הכוונה לנתיבים (סימון ד-13) בצבע צהוב, כמוסבר בחלק ב', פרק 1, סעיף 1.4.

#### ז. תחנות האוטובוס

במקומות בהם ימתינו נוסעים ותתקיים פעילות של הורדה והעלאה של נוסעים, יש לתת רוחב מספיק למפרדה על מנת שבטיחות ונוחות הנוסעים לא תפגע, כמוסבר בחלק ב', פרק 3, סעיף 3.1.

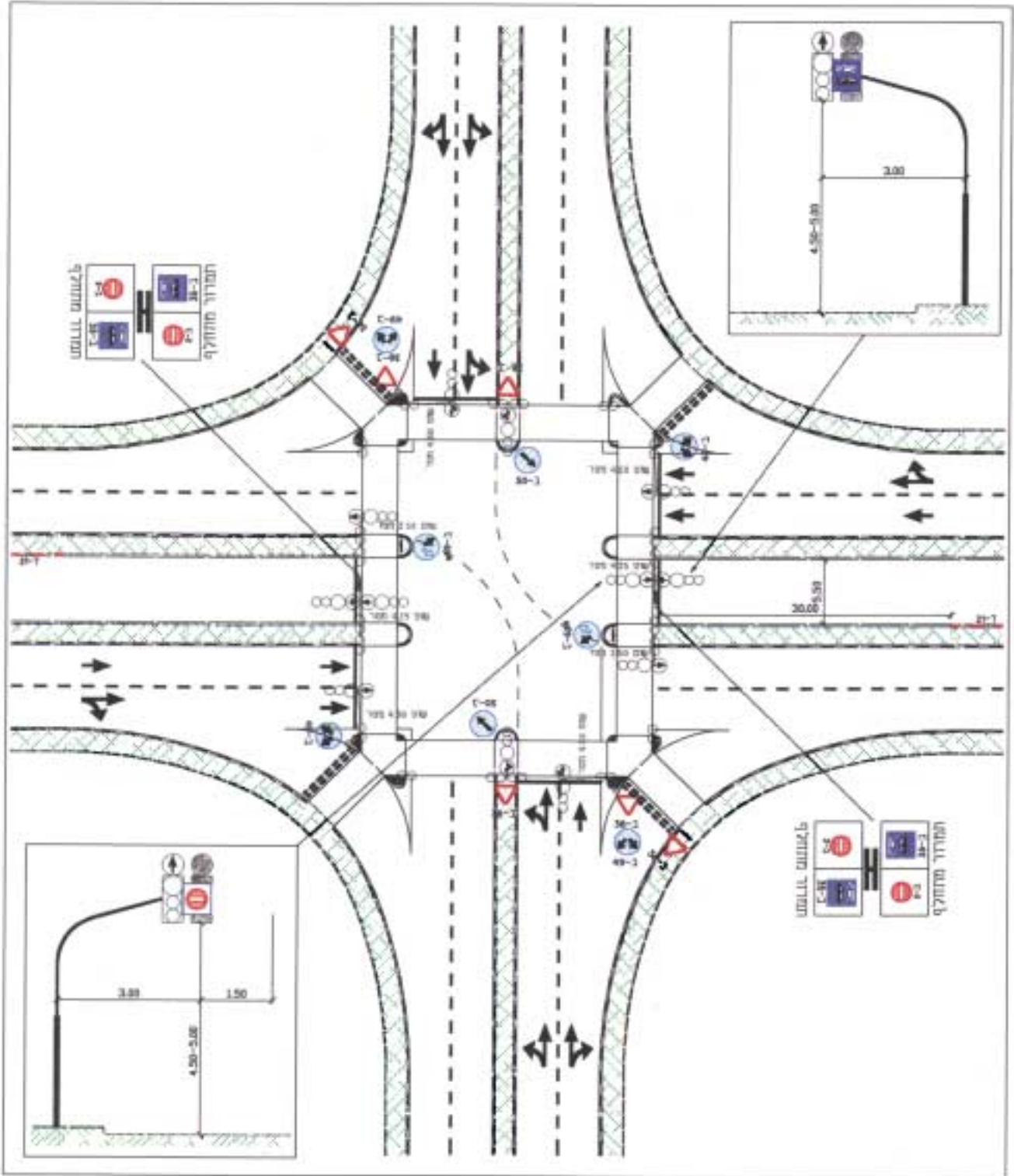
לאורך המפרדה יינתן מעקה בטיחות להולכי רגל אשר ימנע חצייה. לרוב, תמוקמנה התחנות בצמתים במרחק מזערי של 30.0 מטר מגבול הצומת ועד לתחילת התחנה. הגישה לתחנה תעשה באמצעות מעברי חצייה המרומזרים של הצומת או באמצעות, מעברים עיליים או תחתיים.

במקומות בהם יש צורך לתת תחנות בקטע הדרך יש למקם את התחנות של כיווני התנועה המנוגדים, האחת מאחורי השניה, במרחק העולה על 30.0 מטר. חציית הולכי רגל במקרה זה, תקבל תשומת לב מיוחדת ותחייב בדיקת האפשרות למתן מעבר חצייה מרומזר או מעברים במפלס שונה, בהתאם להצדקים וההנחיות שפורסמו על ידי המפקח על התעבורה.

#### ח. שילוב מת"צ בצמתים מרומזרים

בניית מת"צ אינה מאפשרת בדרך כלל הקצאת נתיב מיוחד לפנייה שמאלה מן הנתיבים הרגילים. בנוסף, שילוב מת"צ ברמזור עלול להגדיל את כמות המופעים מעבר לרצוי. מן הסיבות הללו, וגם על מנת לא לגרום לעיכובים יתרים, מומלץ לאסור פניות שמאליות מהנתיבים הרגילים בציר הראשי. פניות אלה תבוצענה על ידי פניות ימינה ברחובות הסמוכים.

ציור 6.4: תמרור וסימון מת"צ הפיך



במקרים מיוחדים ונדירים בדרך כלל, בהם אין אפשרות לאסור את הפניות שמאלה מן הנתיבים הרגילים בציר הראשי, יש להתירן אך ורק בפאזה נפרדת ברמזור. במקרים אלה יש לאסור בצומת, פניות ימינה ושמאלה מתוך המת"צ.

בדרך כלל מומלץ לא לתכנן צמתים עם פניות שמאלה וימינה מתוך המת"צ. במקומות בהם נדרשות פניות רבות, מומלץ להימנע מתכנון מת"צ.

מת"צ במרכז הרחוב אינו מאפשר בדרך כלל לתכנן גיאומטריה שתאפשר פניה ימינה לתוכו מתוך הדרך המשנית. הסיבה לכך נעוצה בצורך למקם קווי עצירה קרוב ככל האפשר לצומת ולשמור על רציפות מעברי החצייה. מתן רדיוס פניה ימינה, המתאים לאוטובוס ירחיק את מעברי החצייה מהצומת או יפגע ברציפותם.

כניסה למת"צ מהנתיבים הרגילים בתוך קטע דרך אפשרית באמצעות פתחים מיוחדים. פתחים אלה יינתנו במרחק של 30 מטר לפחות מאחורי תחנות האוטובוס. יש להקפיד לא למקם את פתחי הכניסה למת"צ, משני צידי, האחד מול השני, וזאת על מנת למנוע הרגשה כאילו מדובר בצומת. אורך הפתח ושיפועי האלכסונים יתאימו למהירות המותרת ברחוב, כמתואר טבלה 6.1. בתחילת הפתח ובסופו תסומנה סדרות של חיצים (סימון ד-13) צהובים.

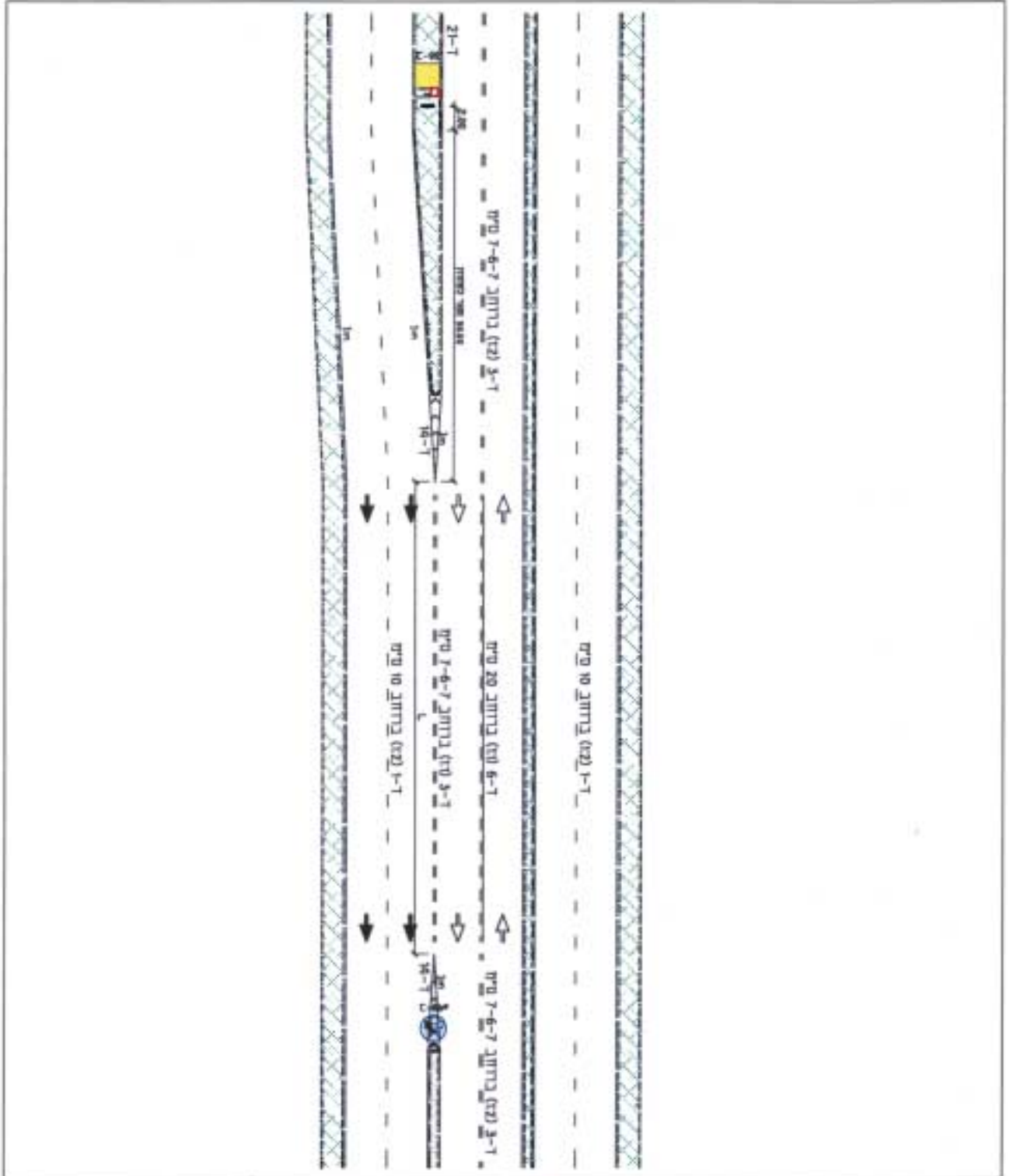
#### **טבלה 6.1: מידות אלמנטים גיאומטריים לתכנון פתחי כניסה למת"צ**

מהירות מותרת	אורך פתח הכניסה (L)	שיפוע אלכסונים (l:n)
עד 50 קמ"ש	45 מטר	1:15
60 או 70 קמ"ש	75 מטר	1:30
80 קמ"ש או יותר	95 מטר	1:45

פרט של פתח כניסה למת"צ במרכז הקטע מוצג בציר 6.5.

שיטות להעדפת תחבורה ציבורית ברמזורים ישימות לרוב בצמתים בהם מופע המת"צ ניתן בתמונה נפרדת ברמזור. כאשר האור הירוק למת"צ ניתן ביחד עם האור הירוק של הנתיבים הרגילים, ניתן להאריך את הירוק המשותף, מעבר לנדרש, במידה ומזוהה אוטובוס הנמצא בטווח נתון מהצומת.

ציור 6.5: דוגמא לפרט כניסה למת"צ בתוך קטע דרך



## 7 . שילוב נת"צ ומת"צ בכבישים ממוחלפים

### 7.1 . כללי

בכביש ממוחלף, מהיר, מקובל לשלב נת"צ באחת מארבעת השיטות הבאות: נת"צ עם כיוון התנועה, מת"צ דו-כיווני במרכז הדרך, מת"צ הפיך ומת"צ בדרך נפרדת מצד אחד או משני צידי הדרך. משיקולי בטיחות, אין לתכנן מת"צ נגד כיוון התנועה בדרכים מהירות.

בניית מת"צ בדרך נפרדת היא היקרה ביותר ומצריכה הגדלה ניכרת של זכויות הדרך. נת"צ עם כיוון התנועה בכביש מהיר יינתן לרוב בסמיכות למיפרדה, וזאת כיוון שבצד הימני מתבצעות הכניסות והיציאות אל ומן הכביש המהיר. בכביש מהיר לא יינתנו תחנות אוטובוס למעט המקומות בהם ממוקם טרמינל מסודר הכולל נתיבי האטה ונתיבי האצה תקינים.

השיקולים לבחירת השיטה לשילוב נת"צ או מת"צ בכביש מהיר תלויים בעיקר בצורת המחלפים, נפחי וכיווני התנועה של כלי הרכב הציבוריים והפרטיים, וזכויות הדרך העומדות לרשות המתכנן.

### 7.2 . החתך לרוחב

מהירות התכן, לפיה יש לתכנן נת"צ או מת"צ, תהיה זהה לזו של הכביש הממוחלף עצמו. תכנון של האלמנטים הגיאומטריים, של נת"צים או מת"צים בכבישים אלה, יבוצע בהתאם להנחיות מ.ע.צ. לתכנון דרכים בין-עירוניות.

רוחבו המזערי של נתיב המיועד לרכב רב-נוסעים, בכבישים ממוחלפים, יהיה 3.75 מטר. רוחב הנתיבים המוליכים תנועה רגילה, גם כן לא יפחת מ-3.75 מטר. נת"צ עם כיוון התנועה יופרד מן הנתיבים הרגילים בסימון ד-3 ברוחב 0.35 מטר (10-15-10).

לפחות מצידו האחד של הנתיב המיועד לרכב רב-נוסעים יינתנו שוליים ברוחב מזערי מומלץ של 3.00 מטר ולא פחות מ-2.50 מטר. שוליים אלה מיועדים לעצירה של רכב תקוע ומניעת הפרעה לרכב הנוסע בנתיב. מצידו האחר של הנתיב ניתן להסתפק בשוליים צרים יותר, אולם בשום מקרה, ברוחב שלא יקטן מ-1.00 מטר.

מת"צ הפיך יתוכנן ברוחב מזערי של 6.50 מטר כאשר רוחב הנתיב יהיה 4.00 מטר ורוחב השוליים יהיה 1.25 מטר מכל צד.

דוגמאות של חתכים טיפוסיים לרוחב של נת"צ ומת"צ בכבישים מהירים מוצגים בציור 7.1.

### 7.3 . כניסה אל ויציאה מהמת"צ

החיבור הפשוט ביותר של המת"צ לנתיבים הרגילים מתבצע באמצעות קטעי מעבר קצרים במפלס אחד (ראה ציור 7.2). חיבור זה על אף היותו פשוט לביצוע חייב להתבצע במרחק מספיק מן המחלפים ולאפשר לכלי הרכב הנעים במת"צ לבצע החלפת נתיבים לפני הכניסה למת"צ או ביציאה ממנו לקראת המחלפים. אפשרויות חיבור מורכבות יותר כוללות הפרדה מפלסית שצורתה המיטבית תלויה בנפחי התנועה במחלף. מספר צורות מקובלות של הפרדה מפלסית מתוארות בציור 7.3.

התחברות לנת"צ מחייבת לרוב תוספת נתיבים באזור הכניסה אליו והפחתת נתיבים באזור היציאה ממנו. יש לבצע הוספה והורדה של נתיבים או הסטה של נתיבים תוך שמירה על שיפועי אלכסונים המובאים בטבלה 7.1 להלן.

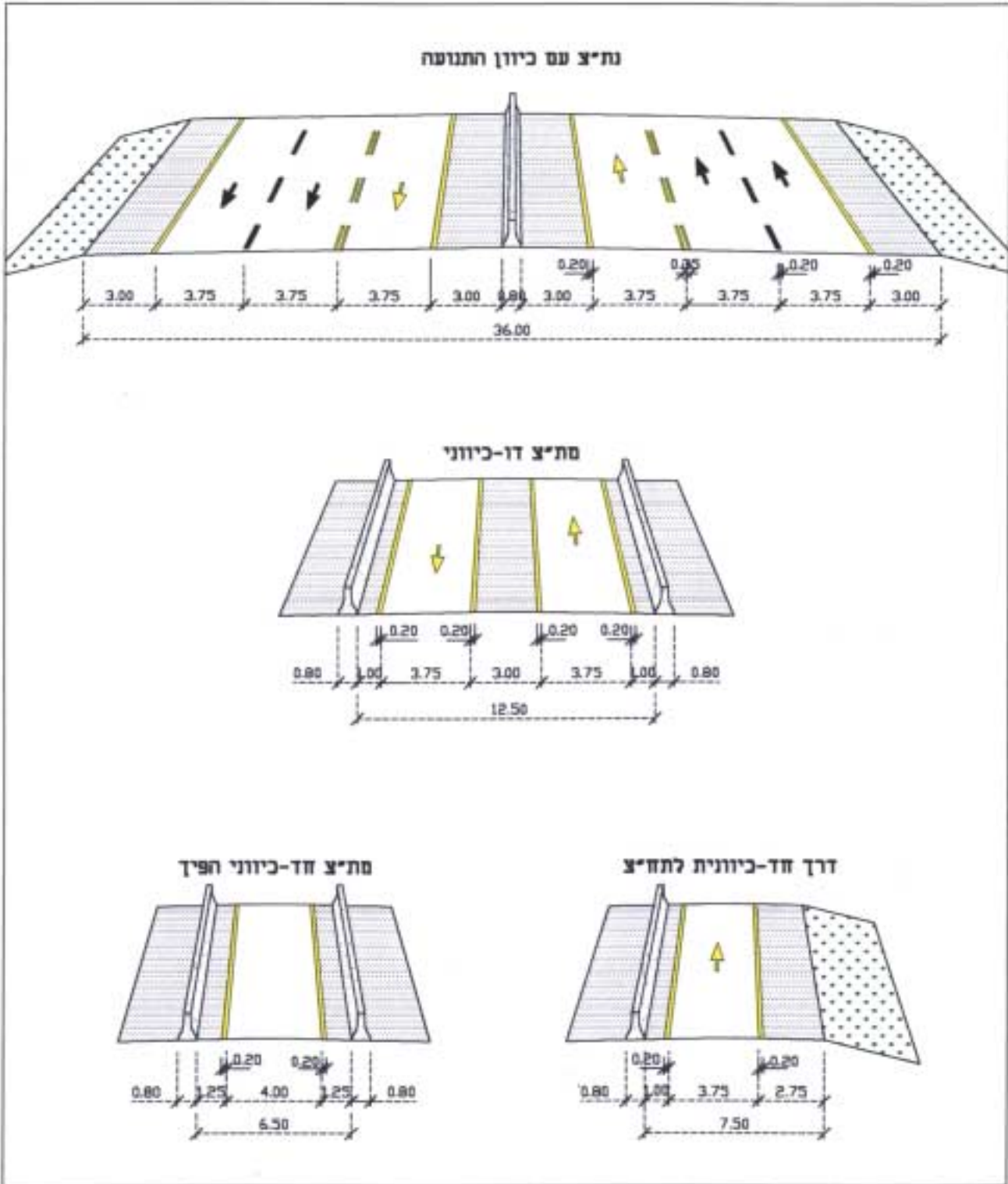
**טבלה 7.1: שיפוע אלכסונים בהוספת או הורדת נתיב (1:n)**

שיפוע אלכסון	תוספת נתיב בכניסה למת"צ	הפחתת נתיב ביציאה ממת"צ
מינימלי מוחלט	1:60	1:80
מומלץ	1:80	1:100

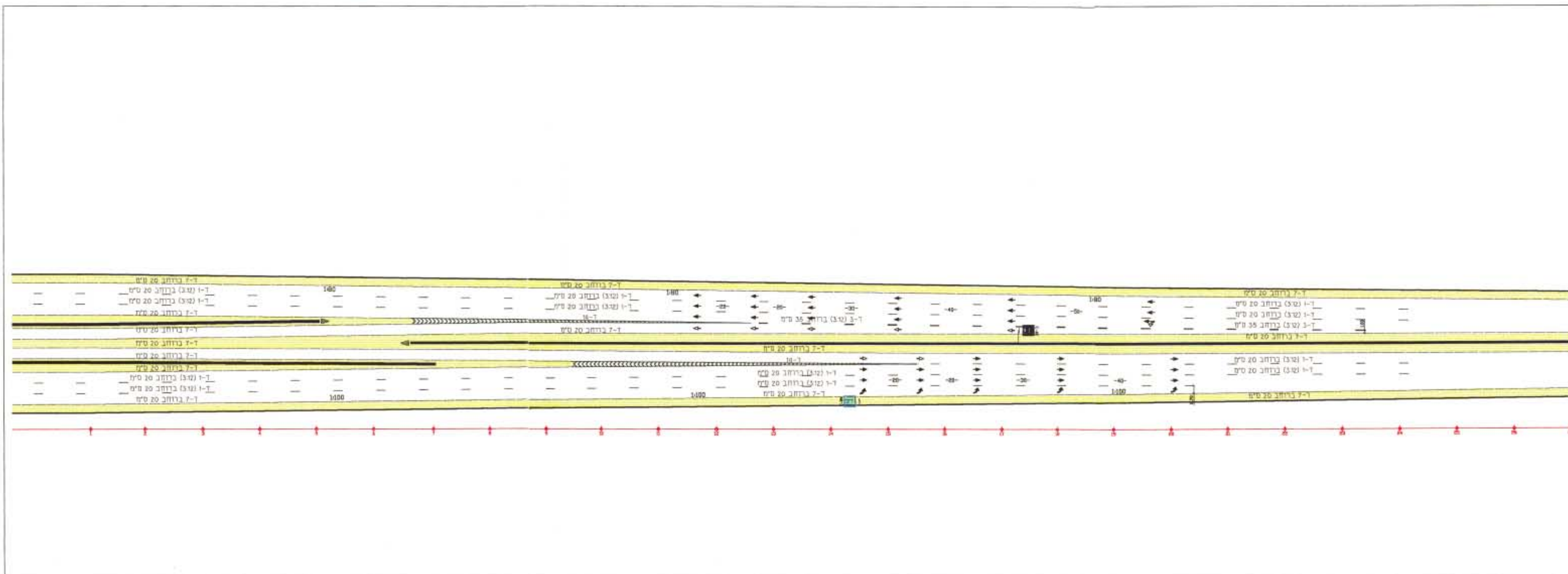
במקרה של הפרדה מפלסית השיפוע האורכי בכבישים המתחברים למת"צ לא יעלה על 6%. יש לשים לב לתכנון העקום האנכי ברמפות כך שישמר מרווח הגובה החופשי הנדרש מעל לנתיבים.

יש להגן על אף ההתחברות (Gore Nose) ועל קצוות גדרות הבטיחות מסוג G.M. באמצעות מחסומים סופגי אנרגיה תקינים.

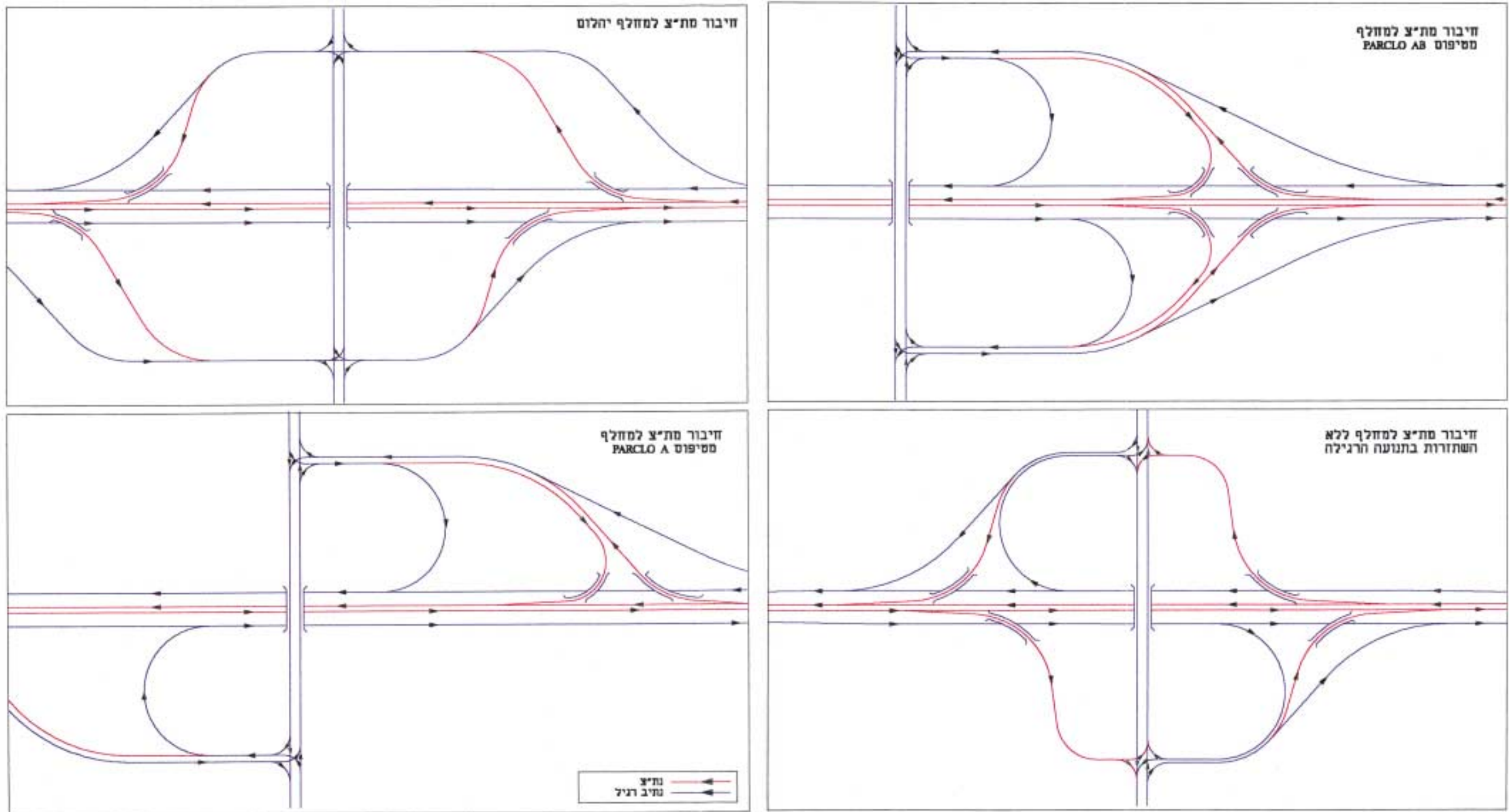
**צורף 7.1: חתכים טיפוסיים לרוחב של נת"צ ומת"צ בכבישים ממוחלפים**



ציור 7.2: התחברות למת"צ בכביש ממוחלף במפלס הכביש



ציוור 7.3: תיאור סכמתי של חיבור מת"צ באמצעות הפרדה מפלסית



#### 7.4 . תמרורים

תימרור הכניסה לנת"צ או מת"צ, בכביש ממוחלף, יכול להיות עילי או צידי. גודל הכתיב יהיה 20 ס"מ וגודל התמרור וצורתו יהיו בהתאם למוסבר בחלק ב', פרק 1.3. עקב מהירויות הנסיעה הגבוהה, יש להציב שני תמרורי ב-35 מקדימים בנוסף על התמרור המוצב בנקודת הכניסה לנת"צ. התמרורים המקדימים יהיו זהים בגודלם, צורתם ואופן הצבתם לתמרור המוצב בכניסה לנת"צ והם יוצבו במרחקים 400 ו-800 מטר ממנו. מתחת לתמרורים המקדימים יינתן תמרור א-41 המציין את המרחק עד לנקודת הכניסה.

#### 7.5 . תפעול

תפעול של נת"צ עם כיוון התנועה, בדרך ממוחלפת, יכול להיות מוגבל לשעות השיא בלבד. במקומות בהם הנת"צ אינו מופעל במשך כל היממה, וצפיפות המחלפים רבה (פחות מ-2.0 ק"מ בין מחלף למחלף), יש לתמרר את הנת"צ בתמרורים מתחלפים. לעומת זאת, הפעלת מת"צ תיעשה במהלך היממה כולה.

מומלץ מאוד לשלב רכב רב-נוסעים בתוך נת"צ או מת"צ, וזאת על מנת לנצל את הקיבולת הגבוהה של הנתיבים בכביש הממוחלף. בגלל מהירות הנסיעה הגבוהה וההצטופפות ליד המחלפים קשה לתנועה הנעה בנת"צ להחליף נתיבים בקרבת המחלף לפני היציאה מהכביש המהיר. בכבישים בהם קיים נת"צ עם כיוון התנועה מומלץ להפכו באזור המחלף למת"צ ולהתחבר באמצעות רמפות.

תפעול מת"צ הפיך מצריך הערכות מיוחדת. בכבישים מהירים, מומלץ לא להסתפק בשילוט המתחלף בלבד אלא לסגור ע"י שערים או קונוסים את הכניסות שאינן בשימוש. תכן פרט כניסה-יציאה אופייני למת"צ הפיך מתואר בציור 7.4.

#### 7.6 . קיצוב הכניסה לכביש מהיר

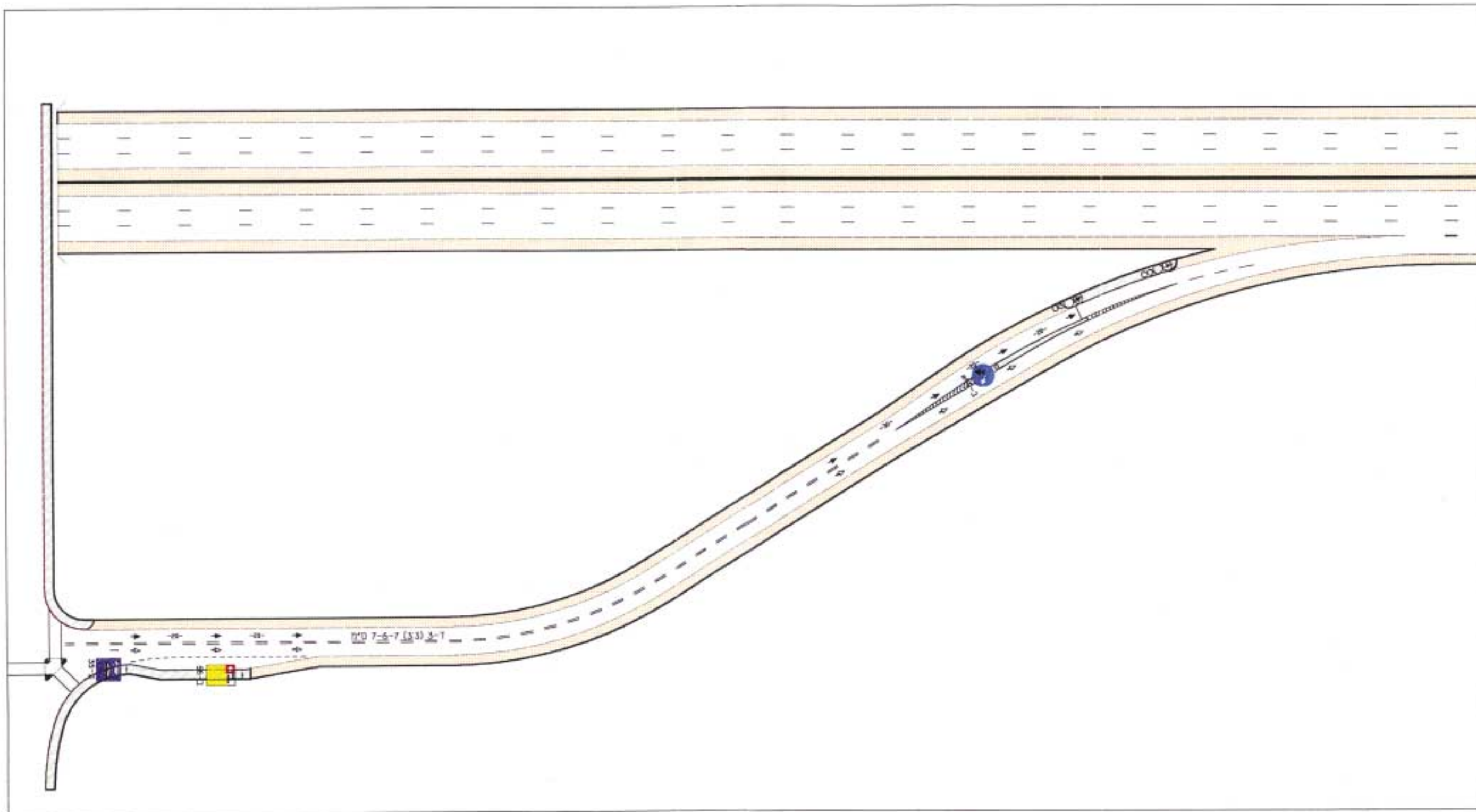
קיצוב הכניסה ברמפות (Ramp Metering) ניתן במקרים רבים של כבישים מהירים עירוניים, על מנת למזער את ההפרעה שגורמת התנועה הנכנסת לתנועה העוברת. רמת השרות המתוכננת בכביש הממוחלף קובעת את קצב הכניסה מהרמפות לאורכו.



ברמפות בהן מונהג קיצוב ניתן לתת עדיפות לאוטובוסים, למוניות ולעתים גם לרכב פרטי רב-נוסעים. עדיפות זו מושגת ע"י מתן נתיב לתחבורה ציבורית מצידו הימני של הנתיב הרגיל. כאשר הנת"צ משמש אוטובוסים ומוניות בלבד, לרוב אין צורך לבקרו. כאשר נפח התנועה בנת"צ משמעותי ביחס לנפח הכניסה המוקצב יש לווסת את הביקוש בו ע"י רמזור נפרד.

דוגמא לנת"צ ברמפה בה מונהג קיצוב מוצגת בציר 7.5.

ציור 7.5: נת"צ ברמפה בה מונהג קיצוב בכניסה לכביש ממחלף



חלק ב', עמוד 7.9

הנחיות לתכנון נת"צ, 1998

## 8 . שיטות להעדפת נת"צ ברמזורים

### 8.1 . כללי

העדפת נתיבים לתחבורה ציבורית, בצמתים מרומזרים, מקובלת לרוב במרכזי ערים צפופים בהם קיימת פעילות גבוהה וקיימת תנועה רבה של הולכי הרגל. במקומות בהם ניתנת העדפה לנת"צ ברמזורים, בנוסף לעצם בניית הנת"צ, המטרה המרכזית היא להפחית, ככל הניתן, את כמות התנועה הפרטית ולעודד בצורה מוחלטת את השימוש בתחבורה הציבורית. העדפה ברמזורים, ניתנת לרוב, ברחובות בהן מתוכנן מופע ירוק, בלתי נגרר, המבקר נת"צ נגד כיוון התנועה או מת"צ.

### 8.2 . שיטות להעדפת נת"צ ברמזורים

העדפת נת"צ יכולה להיעשות בשלוש צורות בסיסיות:

- א. מתן אור ירוק לנת"צ מספר פעמים במהלך המחזור;
- ב. קיצור זמני ההמתנה של הרכב המועדף, הממתין לאור הירוק;
- ג. הארכת האור הירוק לרכב המועדף, המתקרב לצומת.

קיצור זמן ההמתנה לאוטובוס הממתין ליד קו העצירה יכול גם הוא להינתן בשתי שיטות:

- א. הפסקה של הירוק למופע כלשהו וכניסה מיידית לתמונה בה ניתן הירוק למופע המבקר נת"צ;
  - ב. שינוי זמני הארכה המרביים בתמונות השונות והגעה מהירה יותר לתמונה בה ניתן הירוק לנת"צ.
- השיטה הראשונה מתאימה לצמתים בהם קטן מספר תמונות (שלוש לכל היותר, כולל תמונת העדפה) והחזרה מתמונת ההעדפה מתבצעת לאותה התמונה ממנה בוצעה היציאה או לתמונה שלאחריה. השיטה השנייה מתאימה לצמתים מורכבים יותר בהם קשה לשנות את סדר התמונות.

לרוב, ברגע שמזוהה הגעה של רכב בנת"צ, מופעלים אמצעי העדפה פשוטים כמו:

- א. כניסה לתמונת העדפה לפני הפעלת תמונה אחרת כלשהי;
  - ב. יציאה מהתמונה הפעילה לאחר פרק זמן שנקבע כירוק הכרחי;
  - ג. קיצור זמני המקסימום של התמונות השונות בגודל הקבוע לכל תמונה.
  - ד. קיצור זמני מקסימום של התמונות השונות בגודל המשתנה כתלות בנפחי התנועה, ותפוסות.
- אמצעים אלה יכולים להתבסס על גלאי נוכחות (Presence Detectors) וספירה רגילים ואינם נזקקים לזיהוי סוג הרכב.

צורת העדפה מקובלת אחרת הינה להאריך את משך מופע הנת"צ (ושל המופעים הנגררים) כאשר מזוהה אוטובוס המתקרב לצומת בטרם הסתיים האור הירוק. מטרת העדפה זו היא למנוע התעכבות של אוטובוס למשך מחזור נוסף. בצורת העדפה זו ימוקם גלאי האוטובוסים במרחק מה מקו העצירה. מרחק זה יתאים למשך הזמן הנוסף אותו שואפים להבטיח לאוטובוס המתקרב (ראה "הנחיות לשילוב גלאים ברמזורים", 1986).



גלאים מיוחדים לזיהוי אוטובוס יכולים לפעול בשתי שיטות:

- א. שיטה סבילה (פסיבית) - הגלאי הינו גלאי סיווג המסוגל להבחין בין כלי הרכב השונים על פי אורכם או על פי הדפוס המגנטי של המסה המתכתית.
- ב. שיטה פעילה (אקטיבית) - המערכת מורכבת ממשדר הממוקם ברכב וממקלט הממוקם ברחוב. השיטה מאפשרת זיהוי מדויק לא רק של סוג הרכב אלא גם של הרכב עצמו (מספרו). השיטה הפעילה מתאימה למקומות בהם כלי הרכב הציבוריים נושאים זיהוי אלקטרוני. הפעלת השיטה האקטיבית מאפשרת גם לתת העדפה רק לאוטובוסים שאינם עומדים בלוח זמנים ולהגדיל בכך את אמינות התחבורה הציבורית.

### 8.3 הרחבת הסימנים בתרשים הזרימה

תכנון העדפה ברמזור של נת"צ מצריכה להגדיר דרכים חדשות לבניית תוכנית הרמזור והצגתה בתרשים הזרימה. לצורך הרחבת אפשרויות התכנון להלן מוגדרים בטבלה 8.1, סימונים חדשים בתרשים הזרימה.

**טבלה 8.1: הרחבת הסימון בתרשימי הזרימה לרמזורים**

תאור הסימן	סימן				
- דרישה בגלאי הנת"צ ( $x = \text{שם קבוצת הנתביים}$ ).					
- הארכה בגלאי הנת"צ ( $x = \text{שם קבוצת הנתביים}$ ).					
- שינוי משך הארכה מרבי של גלאי $E_j$ לערך $t_i$ ( $t_i=0$ ) מציין עזיבה מיידית של התמונה, $n$ - מספר סידורי של הפעולה).	<table border="1" data-bbox="1081 1560 1232 1654"> <tr> <td rowspan="3" style="vertical-align: middle;"><math>R_n</math></td> <td><math>E1 &lt; t1</math></td> </tr> <tr> <td><math>E2 &lt; t2</math></td> </tr> <tr> <td>...</td> </tr> </table>	$R_n$	$E1 < t1$	$E2 < t2$	...
$R_n$	$E1 < t1$				
	$E2 < t2$				
	...				

בתוכנית הזמנים יבואו לידי ביטוי נקודות החלטה של גלאי הדרישה השונים ואפשרויות הארכה הנוספות. לצורך כך יש להשתמש בסימנים המוסכמים הבאים:

**טבלה 8.2: הרחבת הסימון בתוכניות הזמנים להפעלה**

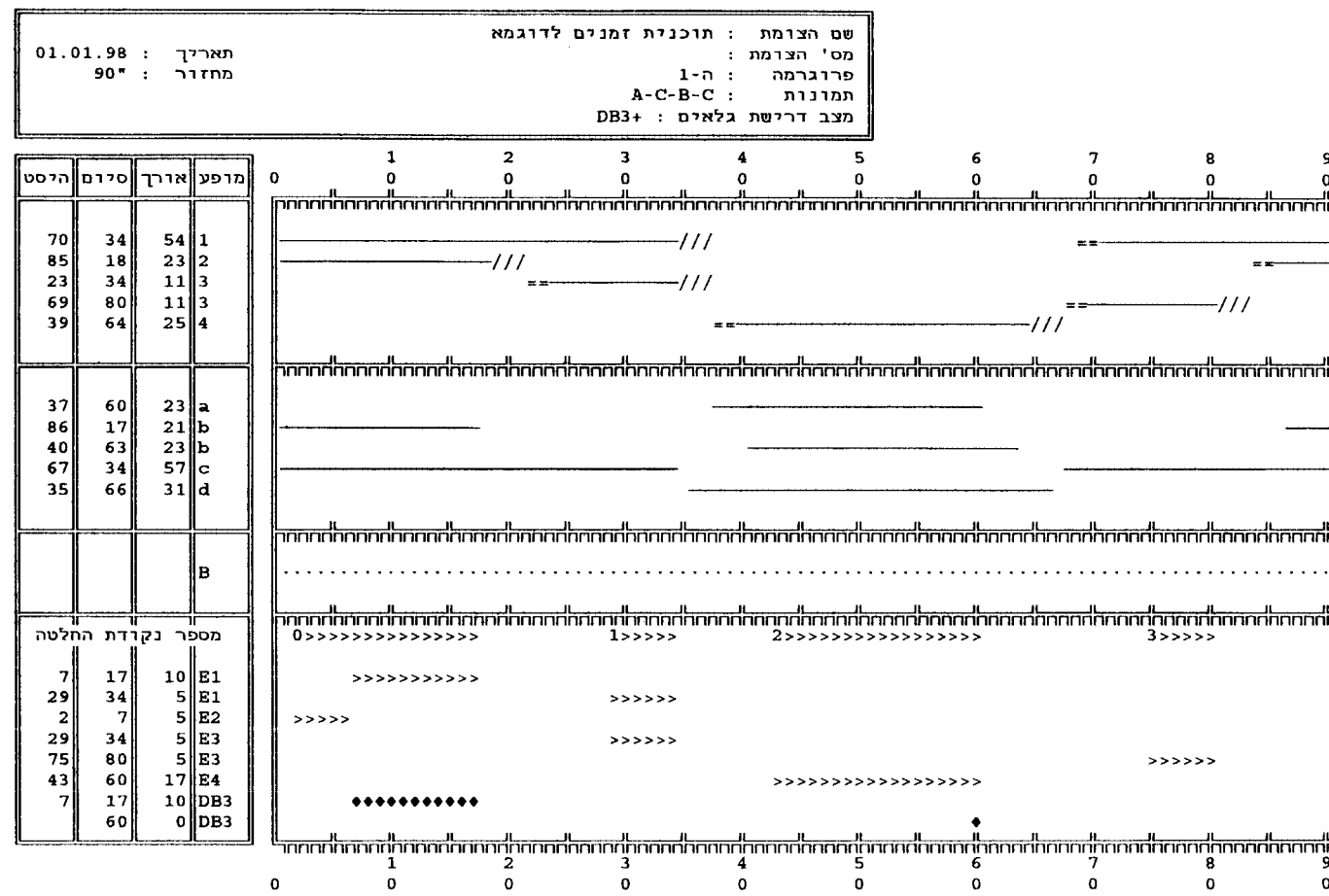
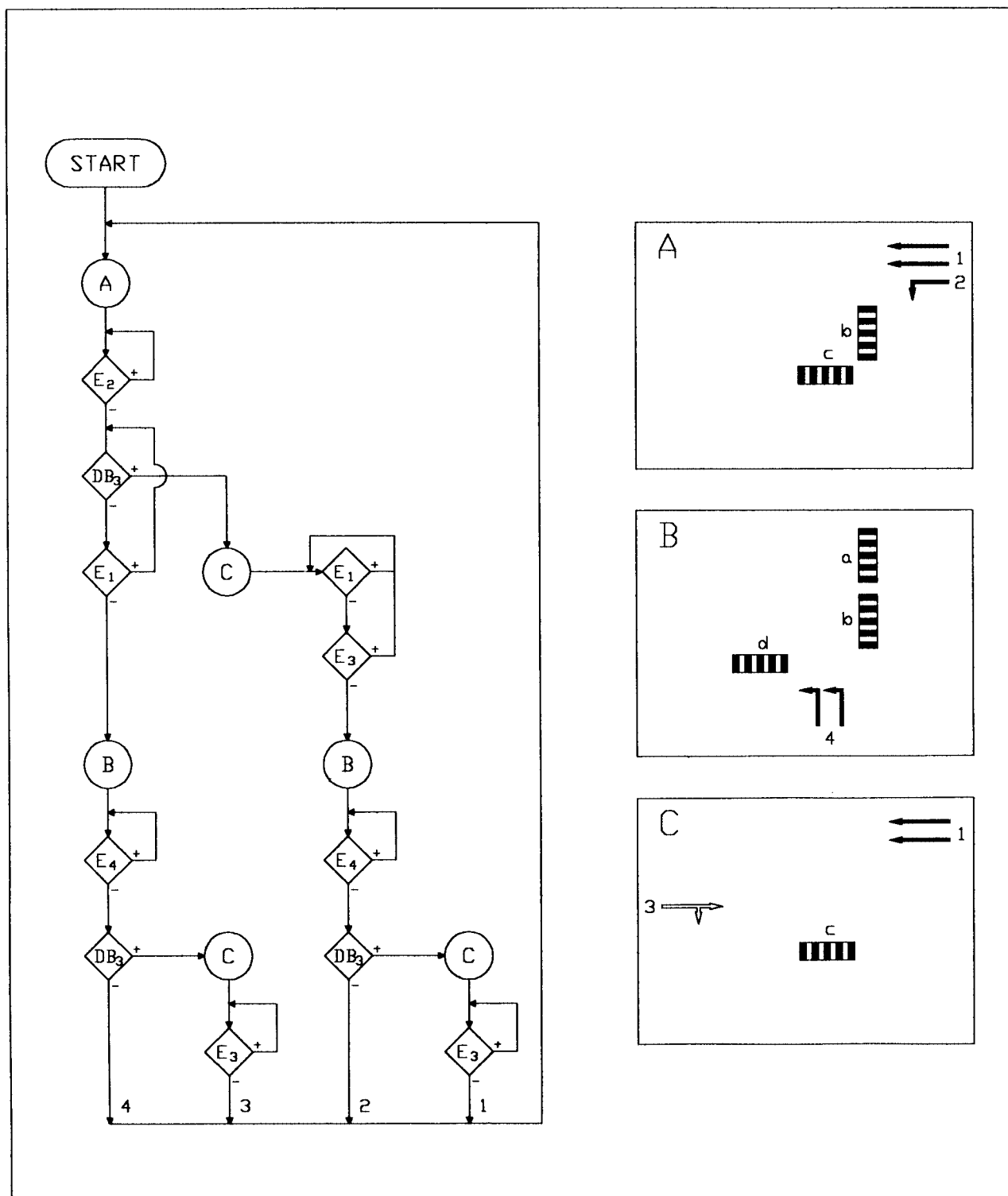
סימון נקודת החלטה	סימון מופע	תאור
◆	$DB_x$	דרישה בגלאי תח"צ
>	$EB_x$	הארכה בגלאי תח"צ
>	$R_n$	הארכה מרבית בגלאי לאחר שינוי

דוגמאות לשימוש בסימונים החדשים מובאות בציורים 8.1 ו-8.2.

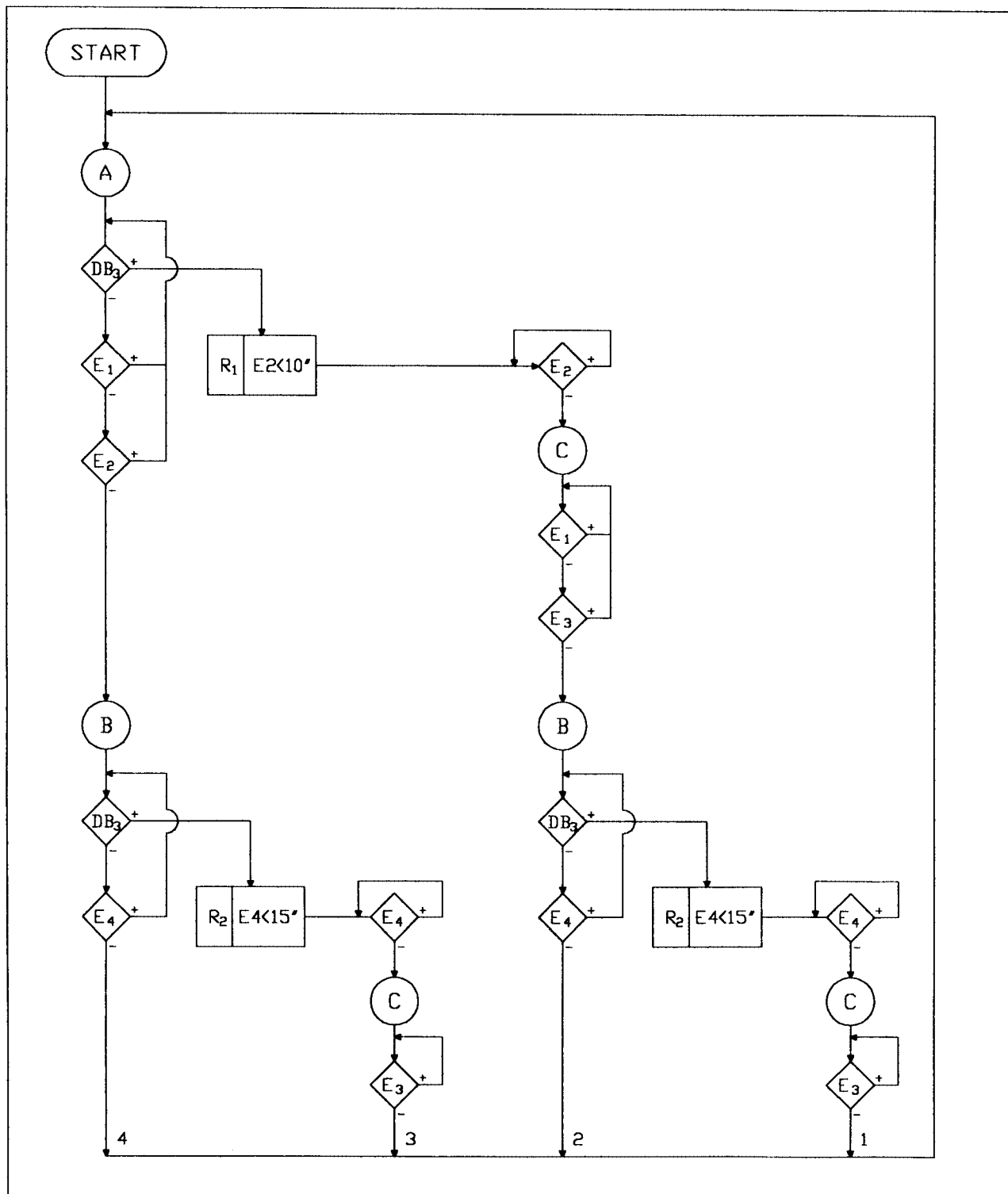
ציור 8.1 מתאר את שיטת העדפה הפשוטה ביותר לפיה, בסוף התמונה הפעילה, נבדק האם יש אוטובוס הממתין לירוק בנת"צ. במידה והתשובה חיובית, מתבצעת הכניסה לתמונה המקצה ירוק למופע הנת"צ.

ציור 8.2 מתאר את הצומת שבציור 8.1, בו הופעלה העדפה יותר נמרצת, הכוללת: קיצור הירוק המרבי של התמונה הפעילה וכניסה מיידית לתמונה המקצה ירוק למופע הנת"צ. ניתן לשכלל שיטה זו ע"י קשירה בין גודל הקיצור של הירוק המרבי לנפח התנועה במופע המתקצר, נפח האוטובוסים הממתינים, עמידה בלוחות זמנים ועוד.

ציור 8.1: דוגמה להעדפת נת"צ על ידי כניסה לתמונת העדפה לפני הפעלת תמונה אחרת כלשהי



ציור 8.2: דוגמא להעדפת נת"צ ע"י קיצור תמונות וכניסה מהירה לתמונת העדפה



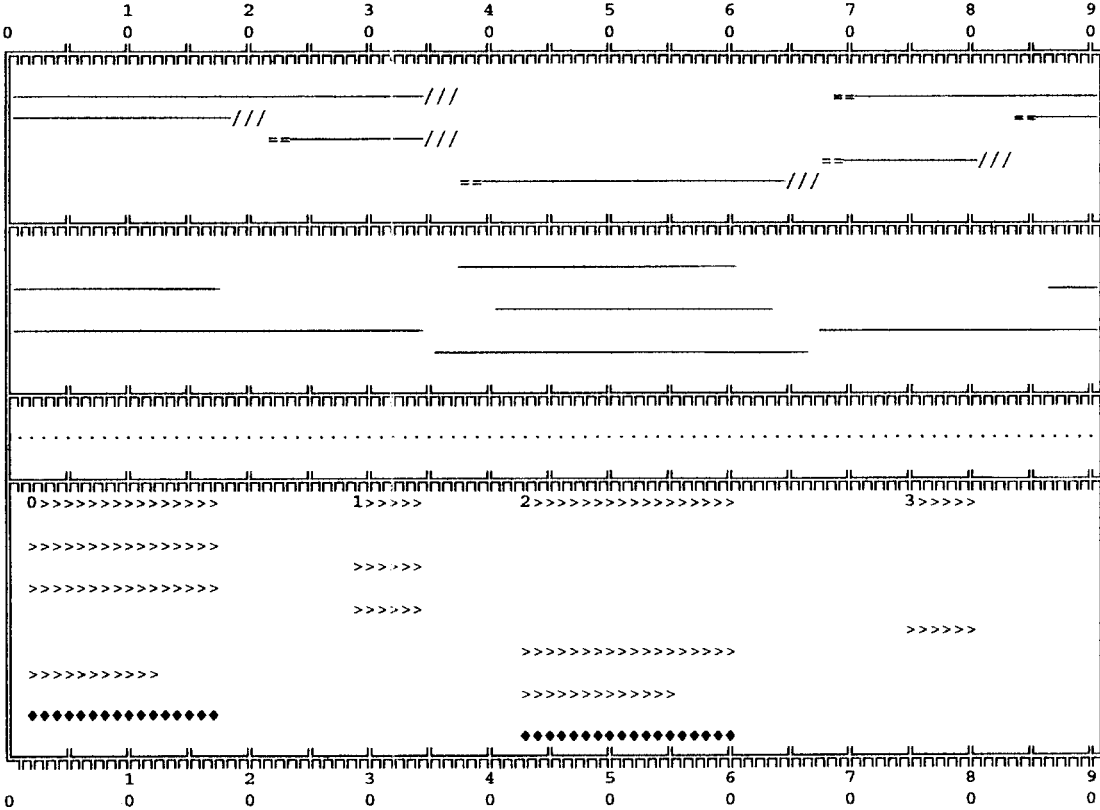
שם הצומת : תוכנית זמנים לדוגמא  
 מס' הצומת :  
 פרוגרמה : ה-1  
 תמונות : A-C-B-C  
 מצב דרישת בלאים : DB3+

תאריך : 01.01.98  
 מחזור : 90"

מופע	אורך	סיום	היסט
1	54	34	70
2	23	18	85
3	11	34	23
3	11	80	69
4	25	64	39
a	23	60	37
b	21	17	86
b	23	63	40
c	57	34	67
d	31	66	35

מספר נקודת החלטה	מספר	אורך	סיום	היסט
E1	15	17	2	29
E1	5	34	2	29
E2	15	17	2	29
E3	5	34	2	29
E3	5	80	75	43
E4	17	60	43	2
RE1	10	12	43	2
RE2	12	55	43	2
DB3	15	17	2	43
DB3	17	60	43	2



**הנחיות לתכנון  
נתיבים לתחבורה ציבורית**

**חלק ג'  
הערכה תנועתית, כלכלית  
וסביבתית של פרויקטים**

# תוכן עניינים

## עמוד

## פרק

	<b>1. כללי</b>	
1.1	מבוא ומטרות הנוהל	1.1
1.1	הגדרת הפרויקט והחלופות	1.2
1.2	שלביות הפרוייקט	1.3
1.3	סוג הבדיקה התחבורתית	1.4
1.3	טווחי התכנון ותקופות בדיקה	1.5
1.4	סוגי הרכב הנבדקים	1.6
1.5	נתונים הדרושים לביצוע הערכה של פרויקט	1.7
1.5	תיאור המתודולוגיה להערכת חלופה	1.8
	<b>2. זמני נסיעה ומהירות התנועה ברשת</b>	<b>2.</b>
2.1	כללי	2.1
2.2	מודלים ושיטות לאומדן משכי הנסיעה	2.2
2.3	זמן נסיעה בקטע	2.3
2.4	זמני עכבה בצמתים	2.4
2.6	זמני עצירה בתחנות	2.5
2.8	ניתוח השפעה מערכתית של החלופה	2.6
2.9	ריכוז נתוני תנועה	2.7
	<b>3. מדדים תחבורתיים נוספים</b>	<b>3.</b>
3.1	כללי	3.1
3.1	שיפור באמינות השירות	3.2
3.4	שינוי במקדמי פיצול של נסיעות	3.3
3.6	שינוי בביקוש מאולץ הקיבולת	3.4

## 4. מודל להערכה כלכלית

4.1	כללי	4.1
4.1	שלבי הבדיקה הכלכלית	4.2
4.2	אומדני עלויות הקמה	4.3
4.2	עלות תפעול ואחזקה שנתית של הפרוייקט	4.4
4.3	עלויות אכיפה שנתיות	4.5
4.3	סיכום העלויות	4.6
4.3	תועלות הנובעות מהפרוייקט	4.7
4.5	סיכום מרכיבי הבדיקה	4.8
4.5	תוצאות הבדיקה וסיכום	4.9
4.6	סיכום ומסקנות	4.10
4.6	השוואת חלופות	4.11

## 5. מקדמים סטנדרטיים וערכי מחדל

5.1	כללי	5.1
5.1	מקדמי מילוי	5.2
5.2	ערכים כלכליים בבדיקה הכלכלית	5.3

## 6. הערכה סביבתית של נת"צים

6.1	כללי	6.1
6.1	זיהום אויר מרכב מנועי	6.2
6.3	נפח התנועה בנתיב לתחבורה ציבורית	6.3
6.3	מודלים להערכת ריכוזי מזהמים	6.4
6.7	בחירת המזהם הקריטי	6.5
6.7	הנחיות מפורטות להערכה סביבתית של נת"צ (איכות אויר)	6.6

נספחים**א. טפסים להערכת פרויקט**

- 1.א ..... טופס 1 : תאור הפרוייקט והחלופות
- 2.א ..... טופס 2 : הערכה תנועתית של פרוייקט תחבורתי
- 4.א ..... טופס 3 : ריכוז נתוני תנועה לצורך הערכת פרויקט תחבורתי
- 5.א ..... טופס 4 : ריכוז השקעות
- 6.א ..... טופס 5 : ריכוז עלויות אחזקה, תפעול ואכיפה
- 7.א ..... טופס 6 : סה"כ אומדני עלויות
- 8.א ..... טופס 7 : שינויים בזמן נוסעים
- 9.א ..... טופס 8 : שינויים ברמת אמינות השירות
- 10.א ..... טופס 9 : שינויים בעלויות התפעול של כלי רכב
- 11.א ..... טופס 10 : שינויים בתאונות דרכים
- 11.א ..... טופס 11 : שינוי בפיצול נסיעות ובביקוש מאולץ הקיבולת
- 12.א ..... טופס 12 : סיכום התועלות בפרוייקט - באלפי ש"ח
- 13.א ..... טופס 13 : תזרים עלויות ותועלות נטו
- 14.א ..... טופס 14 : ריכוז מדדים כלכליים
- 15.א ..... טופס 15 : ניתוח רגישות לפרמטרים כלכליים
- 16.א ..... טופס 16 : הערכה סביבתית של פרויקט

**ב. זמן למעבר קטעי דרך****ג. עיכוב וקיבולת בצומת מרומזר**

- 1.ג ..... 1.ג כללי
- 3.ג ..... 2.ג קביעת זרימת רוויה
- 7.ג ..... 3.ג קיבולת קבוצת נתיבים
- 7.ג ..... 4.ג מקדמי ירי"מ
- 9.ג ..... 5.ג עיכוב עצירה של רכב בודד
- 12.ג ..... 6.ג קביעת משך תקופת הזרימה העודפת

- 7.ג. תופעות הדורשות תשומת לב מיוחדת..... 12.ג
- 8.ג. מודלים אנליטיים נוספים..... 13.ג

**ד. משוואות לחישוב ערך זמן נוסעים ועלות תפעול כלי רכב**

- 1.ד. אופן חישוב ערך זמן נוסעים..... 1.ד
- 2.ד. משוואות תפעול רכב..... 3.ד

**ה. מקדמי פליטה מרכב בנוזין ודיזל**

- 1.ה. כללי..... 1.ה
- 2.ה. מקדמי פליטה מרכב בנוזין..... 1.ה
- 3.ה. מקדמי פליטה מרכב דיזל..... 4.ה
- 4.ה. סריקה של מקדמי פליטה בעולם..... 5.ה
- 5.ה. מודלים להערכת הפליטות מרכב דיזל..... 8.ה

**ו. תקנות למניעת מפגעים (איכות אוויר), התשנ"ב 1992**

## 1. כללי

### 1.1. מבוא ומטרות הנוהל

נוהל להערכת נת"צים הינו הליך חישובי, שמטרתו העיקרית הינה עריכת בדיקה השוואתית בין חלופות הנדסיות אפשריות, לצורך בחירת החלופה המיטבית. לנוהל בדיקת הכדאיות הכלכלית, גם חשיבות ברמת המאקרו שכן הוא יאפשר השוואה על בסיס שווה בין הפרוייקטים השונים במיקומים השונים, והקצאת מקורות בהתאם לעדיפות הפרוייקטים, למרות הקושי לחזות ולאמוד את כל ההשפעות הישירות והעקיפות של הפתרון הנבחר.

- הערכת פרויקטים תחבורתיים, כולל פרויקט המשלב נת"צ, מורכבת משלושה תחומים הניתנים להשוואה:
1. הערכת התרומה התחבורתית-אורבנית של הפרוייקט בכל הקשור לשיפור זמני נסיעה, עיכובים, תאוונות וכד';
  2. הערכת התועלת הכלכלית של פרויקט, הנובעת מהתרומה התחבורתית-אורבנית, בהשוואה לעלויות ההקמה והאחזקה.
  3. הערכת התרומה הסביבתית של הפרוייקט בכל הקשור לשיפור רמת הפליטה של מזהמים.

חלק ג' של ה"הנחיות לתכנון נת"צים" כולל את המתודולוגיה לביצוע הערכת פרויקטים על פי תחומי ההשוואה לעיל. חלק זה של ההנחיות מרחיב ומפרט את נוהל ההערכה של פרויקטים תחבורתיים של משרד האוצר (נוהל פר"ת). המתודולוגיה המוצגת בהנחיות, מתאימה גם להשוואת חלופות שאינן נת"צ או מת"צ.

### 1.2. הגדרת הפרוייקט והחלופות

- השלב הראשוני לביצוע עבודת הערכה תחבורתית-כלכלית, של פרויקט נת"צ הינה הגדרת הפרוייקט ושיטת הבדיקה. שלב זה יכלול את הפרקים הבאים:
1. תיאור הפרוייקט וחלופותיו;
  2. מטרות ויעדים אותם רוצים להשיג;
  3. תיאור של תהליך הבדיקה (ללא נתוני רקע).

לצורך הבדיקה הכלכלית על המתכנן להגדיר את החלופות הבאות:

1. חלופת המחדל (Do Minimum) - חלופת המחדל כוללת שיפורים חלופיים ברשת כאשר עלותם קטנה בהרבה מעלות הפרוייקט המוצע והם עשויים להשיג חלק מיעדי הפרוייקט.  
2. חלופת הפרוייקט - ביצוע פרוייקט נת"צ או מת"צ. במצב בו קיימות מספר חלופות אפשריות מבחינה הנדסית או תפעולית יש לבחון את החלופות הישימות.  
בבדיקה הכלכלית החלופות המוצעות לפרוייקט יבחנו בהשוואה לחלופת המחדל (Do Minimum).  
במסגרת הגדרת חלופה המשלבת נת"צ ניתן לבחון סוגים ושיטות תפעול שונות של נת"צ, כדלהלן:

1. נת"צ עם כיוון התנועה, מצידו הימני או השמאלי של מסלול

• עם הסגה (Setback)

• ללא הסגה

2. נת"צ נגד כיוון התנועה

3. מת"צ

• דו-סטרי

• חד-סטרי

• הפיך

4. רחוב לתחבורה ציבורית (רת"צ)

• דו-סטרי

• חד-סטרי

• הפיך

בנוסף יש לבחון שיטות שונות להפעלת הנת"צ:

1. האם הנת"צ ישמש אוטובוסים בלבד, אוטובוסים ומוניות או שניתן לשלב בתוכו גם רכב

רב-נוסעים המוביל יותר מ-4 או 3 נוסעים.

2. האם הנת"צ יופעל במהלך כל השבוע במשך היום כולו או שיופעל בימים מסוימים, או בשעות

השיא בלבד.

השיקולים המקדמיים לבחירת סוג הנת"צ והדרכים להפעלתם מובאים בחלק אי של ההנחיות.

תיאור הפרוייקט וחלופותיו השונות יעשה על גבי טופס 1 המובא בנספח אי לחלק זה.

### 1.3 . שלביות הפרוייקט

פרוייקטים רבים, עתירי השקעה, מתבצעים בשלבים הפרוסים על מספר שנים. חלופות פרויקט, מסוימות יכולות לכלול בניית נת"צ או מת"צ בחלק מן השלבים. פרויקטים אחרים יכולים לכלול בנייה הדרגתית של מערכת נת"צים.

במקומות בהם פרוייקט הנת"צ מהווה חלק מתוכנית תחבורה ציבורית כוללת יותר, אין לבחון את הפרוייקט כפרוייקט יחיד. המשמעות העיקרית הינה הכללה של פרויקטי תח"צ עתידיים, בתהליך הבדיקה, והתייחסות להשפעות התחבורתיות והכלכליות.

המקורות לנתונים אודות תכנון ופיתוח עתידי של פרויקטים הינם: צוותי תוכנית אב לתחבורה, עירויות, ועדות מחוזיות, ומשרד התחבורה או כל מוסד תכנון סטטוטורי אחר.

### 1.4 . סוג הבדיקה התחבורתית

סיווג הפרוייקט כבדיד או מערכתי יעשה בהתאם להנחיות נוהל פר"ת, פרק א סעיף 4.3.1. ניתן להבחין בין פרוייקטים לפי מידת השפעת הפרוייקט על מצב התנועה בצירים אחרים במערכת.

כאשר השפעת הפרוייקט על מצב התנועה בצירים הסמוכים הינה משמעותית יש להגדיר את הפרוייקט כ"מערכתי". נפחי התנועה בפרוייקטים מערכתיים יחושבו תוך שימוש בכלים של הצבת תנועה, כאשר, במודל ההצבה תיכלל כל רשת הדרכים המושפעת מן הפרוייקט.

פרוייקטים שאינם משפיעים על צירים אחרים במערכת מוגדרים כ"בדידים". פרוייקטים אלה יבחנו בצורה מצומצמת והניתוח יהיה ניתוח פרטני לציר הנבחן בלבד. אומדן נפחי התנועה יתבסס על ניתוח הציר. זמני הנסיעה בצירים יחושבו בהתאם למתודולוגיה המוסברת בפרק 2 של חלק זה.

### 1.5 . טווחי התכנון ותקופות בדיקה

כל אחת מן החלופות שהוגדרו תיבדק לאורך תקופה של 15 שנה. לפרוייקט לו נדרשת השקע בהיקף מצומצם, מספיק טווח תכנון של 2-5 שנים. לניתוח התנועתי הנדרש לבדיקה הכלכלית יש שתי רמות אפשריות:

א. בדיקה כללית - הניתוח התנועתי יתבצע ל-1-2 שנות יעד בנוסף לשנת הבסיס. תקופות היום שתיבדקנה הן שעת שיא בוקר או שעת שיא אחה"צ, הקריטית בין השניים להפעלת הנת"צ (או שתיהן).

ב. בדיקה מפורטת - הניתוח תנועתי יתבצע ל 2-3 שנות יעד בנוסף לשנת הבסיס. תקופות היום שתיבדקנה בשלב הבדיקה זה תכלולנה את שעות השיא של הבוקר ואחה"צ וכן שעת לא שיא מייצגת באמצע היום. מומלץ לבסס את שני סוגי הבדיקה על אומדן עלויות מפורט ככל האפשר.

בפרוייקט נת"צ או מת"צ, עתיר השקעה, תידרש בדיקה בשני שלבי התכנון. בשלב התכנון הראשוני תידרש בדיקה כללית, ובשלב התכנון המפורט תיבחנה החלופות שלא נפסלו בבדיקה מפורטת, כמצוין לעיל. לפרוייקטים להם נדרשת השקעה בהיקף מצומצם, מספיק לבצע בדיקה כללית בלבד. ביתר הפרוייקטים יש לבצע בדיקה מפורטת בלבד.

### 1.6 . סוגי הרכב הנבדקים

בנוהל פרי"ת של משרד האוצר סווגו כלי הרכב המרכיבים את הצי כולו, לשלושה סוגים עיקריים: רכב פרטי, משאיות ואוטובוסים. פרויקט המשלב נת"צ או מת"צ עשוי לחייב הפרדה נוספת של צי הרכב הפרטי ותוספת של שני סוגי רכב: מוניות ורכב רב-נוסעים.

במקומות בהם קיים הרצון לשלב מוניות או רכב רב נוסעים בתוך הנת"צ, יש לאסוף נתונים על נפחי התנועה של כלי רכב אלו באמצעות ספירות.

ספירת כמות כלי הרכב רבי הנוסעים, מתבצעת לרוב בסמוך לצמתים מרומזרים, במקום בו כלי הרכב מאיטים את מהירותם עד כדי עצירה. באותם המקרים בהם קשה לאסוף נתונים על רכב רב-הנוסעים, ניתן להשתמש בערכי המחדל המובאים בטבלה 1.1 להלן.

#### טבלה 1.1: התפלגות כלי הרכב בצי התנועה על פי מספר הנוסעים

מספר נוסעים ברכב	שעת שיא בוקר	שאר היממה
1	80%	70%
2	13%	18%
3	5%	7%
4+	2%	5%

### 1.7 . נתונים הדרושים לביצוע הערכה של פרויקט

הערכת פרויקט דורשת מן המתכנן איסוף נתונים מוקדם על מאפייני הפרויקט, מאפייני רשת הדרכים, הרכב והתנהגות התנועה וכד'. מומלץ כי הנתונים הניתנים למדידה ימדדו בפועל ולא יחושבו מתוך מודלים. יחד עם זאת, מתוך הבנה כי לא כל הנתונים ניתנים למדידה או למדידה בעלות סבירה, מביאות ההנחיות המלצות לשימוש במספר מודלים מקובלים בתחום כלכלת והנדסת תחבורה.

השימוש במודלים המומלצים אינו מחייב, ומתכנן הסבור כי מודל שונה מתאר טוב יותר את הפרויקט הספציפי, רשאי להשתמש בו, תוך הנמקה. לצורך הערכת כדאיות כלכלית של פרויקט מומלץ בכל זאת לבצע את החישוב גם לפי השיטות המומלצות להלן וזאת לצורך השמירה על אחידות הבדיקה. במקרה של הבדלים בין שיטות החישוב יציין המתכנן את המקור להבדלים וימליץ על ההתאמות הדרושות.

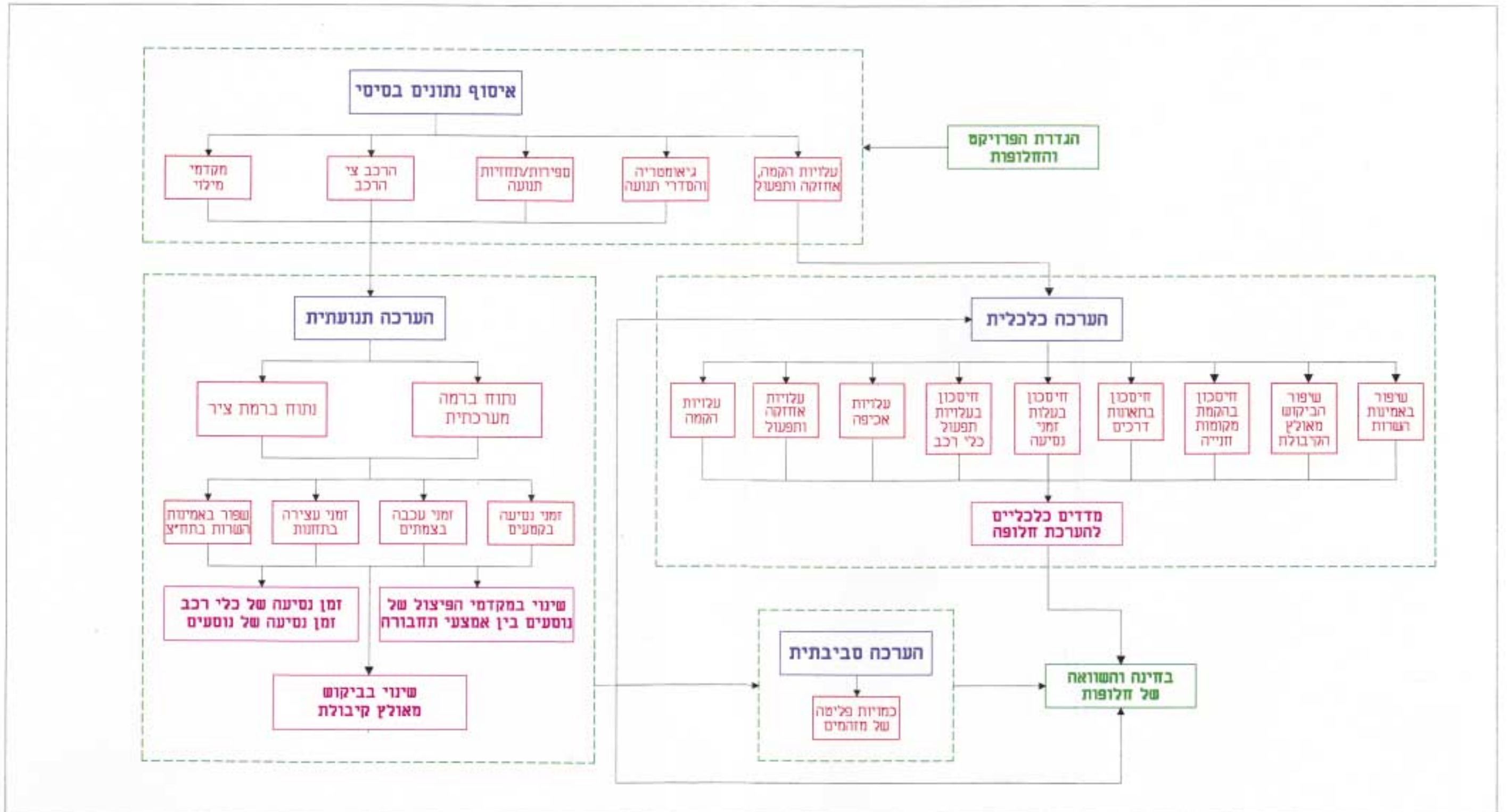
הנתונים שישווקו על ידי מתכנן הפרויקט, לצורך ביצוע הערכה יכללו:

1. עלויות הקמה, אחזקה והפעלה;
2. זמני נסיעה ומהירות התנועה ברשת הדרכים;
3. שינויים באמינות השרות;
4. שינוי במקדמי הפיצול ומידת הסטת נוסעים לתחבורה רבת-הנוסעים;
5. שינויים בביקוש מאולץ הקיבולת.

### 1.8 . תיאור המתודולוגיה להערכת חלופה

ציור 1.1 מביא תיאור סכמתי המסכם את המתודולוגיה להערכת פרויקטים תחבורתיים המשלבים נת"צ או מת"צ. ההערכה כוללת את כל שלושת מרכיבי ההשוואה שפורטו בסעיף 1.1 לעיל.

ציור 1.1: המתודולוגיה לביצוע הערכה של חלופה בפרויקטים המשלבים נת"צ



## 2 . זמני נסיעה ומהירות התנועה ברשת

### 2.1 . כללי

זמן נסיעה כולל ברשת הדרכים הוא אחד הפרמטרים החשובים להערכת חלופה תחבורתית. מעבר לערך הכלכלי המשויך לחסכון בזמן הנסיעה, אומד מדד זה את איכות הפתרון התחבורתי, כאשר השאיפה הכללית היא למזער את זמן הנסיעה ככל שניתן.

בעת הערכת פרויקט המשלב נת"צ או מת"צ, חשוב לדעת בנפרד מהם משכי הנסיעה של הרכב המועדף ושל הרכב שאינו מועדף. אומדנים אלו משמשים למספר מטרות:

1. אמדן השינויים בשעות נוסע לחישוב החסכון בזמן;
2. אמדן השינויים במשכי הנסיעה לצורך אמדן שינויים בפיצול נסיעות;
3. אמדן השינויים במהירות הנסיעה לצורך אמדן שינויים בהוצאות תפעול ובפליטות מזהמים.

ברוב המקרים נת"צים פועלים בתנאי גודש, שם חלק ניכר מזמן הנסיעה מוקדש להמתנה בתורים. חשוב מאוד שהמודלים המשמשים לחישוב זמן הנסיעה הכולל יביאו בחשבון מצבים של תנועה בתוך תור ויתחשבו בצורה נכונה ככל האפשר בעיכובים הנגרמים. מודלים לחישוב העיכוב בתורים נזקקים לעתים קרובות לנתונים נוספים, על המקובלים במודלים המנתחים זרימת תנועה חופשית. נתונים אלה יכולים להיות:

1. גודל התור במספר נקודות זמן לאורך שעת השיא (בדרך כלל כל 5 עד 15 דקות). חשוב להביא בחשבון גם מצבים של "גלישת תור" אל קטעים במעלה הזרם, הגורמים לעיכובים ניכרים שאינם תלויים במאפייני הקטעים עצמם.
2. משך שעת השיא המוגדרת כמצב מהרגע בו התור מתחיל להבנות ועד לרגע בו הוא נעלם.
3. נפח "ביקוש", הנבדל מנפח התנועה הנמדד, והמתאר את שיעור כלי הרכב המגיעים לקצה התור. בניית מצב עתידי, שאינו ניתן למדידה, הערכת התורים מתבצעת באמצעות תחזית של נפחי הביקוש.

חשוב לציין כי איסוף הנתונים על גודל התור במצב הקיים, יכול להיות בעייתי, במיוחד כאשר קיימות תנועות המצטרפות לצוואר הבקבוק מכיוונים שונים בצמתים. אחת השיטות המקובלות להערכת אורכי התורים, במקרה זה, היא מדידה של העיכוב בתור (בשיטת הרכב הצף או בשיטת התאמת לוחיות זיהוי) וחישוב "הפוך" של אורך התור בעזרת מודלים מקובלים של תור-עיכוב.

## 2.2 . מודלים ושיטות לאומדן משכי הנסיעה.

בשנים האחרונות ישנה פעילות מחקרית רבה בנושא של אומדן משכי נסיעה בכלל, ובתנאי תור בפרט. פותחו ושופרו שיטות אומדן שונות. ניתן לחלק את השיטות הקיימות לשתי קבוצות:

1. שיטות המתבססות על ניתוח מפורש רקורסיבי-איטרטיבי. בשיטות אלו, תיאור התנועה בקלט למודל כולל את התפלגות התנועה ("הביקושי") עם הזמן. המודל מבוסס על תצפיות ומתאר את תהליך בניית התור והעלמו.
2. שיטות ישירות מקורבות. שיטות אלו מתבססות על תיאור פשטני של התנועה במהלך תקופת השיא, ומספר הפשטות נוספות. בהתבסס על הנחות אלו מקבלים אומדן ישיר של העיכובים, ללא צורך ברקורסיה. השיטות הישירות המקורבות כוללות מודלים דוגמת HCM 1997, CSI 1996, Coba 1997 וכד'.

לצורך חישוב זמני הנסיעה ממליצות הנחיות אלה, על שימוש במודלים מעודכנים של HCM (גרסה 1997 ואילך). הסיבות להמלצה זו הן כדלהלן:

1. מתודולוגיה המוצגת ע"י HCM רחבה מאוד ומכסה מגוון רחב של אלמנטים גיאומטריים ברשת הדרכים. קיימות הנחיות מדויקות לחישוב קיבולות ועכבות בכבישים מהירים, מחלפים, עורקים עירוניים, צמתים תחנות וכד'.
2. המתודולוגיה של HCM מקובלת לשימוש במודלים ממוחשבים רבים בכל העולם, כולל אלה המנתחים רשתות של דרכים. המודלים משמשים לחישוב העכבה בתוכנות הצבה כגון: EMME-2, ASSIGN, TRIPS, וכד', וכן בתוכנות להערכת רשתות מרומזרות כגון TRANSYT, NETSIM, PHASER וכד'.
3. המתודולוגיה של HCM נבחנת ומתעדכנת באופן מתמיד ובכפוף לעדכונה מתעדכנות תוכנות מסחריות רבות. הנחיות אלה לא באות להגביל שימוש במודלים אחרים, על פי שיקול דעתו של המתכנן. יחד עם זאת, הצורך בשמירה על עקביות התוצאות, לצורך ביצוע השוואה של פרויקטים, מחייב להראות את התוצאה המתקבלת כתוצאה משימוש במודלים של HCM בצד נתונים ממודלים אחרים.

ככלל, מורכב זמן הנסיעה ברשת דרכים משלושה מרכיבים עיקריים:

1. זמן נסיעה בקטעי הדרך, בין צמתים או מחלפים;
  2. זמן למעבר צומת או מחלף;
  3. זמן עצירה בתחנות (לגבי תחבורה ציבורית בלבד).
- צרוף שלושת הזמנים הללו נותן את זמן הנסיעה של כלי הרכב במערכת הנבדקת.

בפרויקטים המשלבים נת"צ או מת"צ קיימת חשיבות רבה יותר לזמן הנוסעים וחשיבות פחותה לזמני נסיעה של כלי רכב בודדים. הפתרון התחבורתי המועדף הוא זה המביא לזמן נסיעה קטן יותר לכלל הנוסעים במערכת הנבדקת. הכפלת זמני הנסיעה במקדמי המילוי של כלי הרכב (ערך ממוצע או על פי קטעים בפרויקט) מאפשר לחשב את זמני הנסיעה של הנוסעים ברשת ולבצע השוואה בין חלופות התכנון השונות. מומלץ כי כל זמני הנסיעה יחושבו לשעת השיא ויוצגו בשעות רכב וזמן הנסיעה של נוסעים ביחידות של נוסעים-שעות.

### 2.3 . זמן נסיעה בקטע

הערכת זמני הנסיעה של כלי רכב בקטע מחייבת התייחסות לסיווג הרחוב ברשת הדרכים. בפרויקטים המשלבים נת"צ או מת"צ מקובל להתייחס לארבעה סוגי דרכים עיקריים (התואמות את הסיווג המוגדר ב-HCM):

1. רחוב מאסף ראשי (Arterial Class III);
2. רחוב עורקי עירוני (Arterial Class II);
3. דרך עורקית פרברית, בכניסה לעיר (Arterial Class I);
4. דרך עורקית ממוחלפת (Freeway).

לצורך סיווג הרחוב ניתן להיעזר בטבלה 2.1 להלן:

**טבלה 2.1: סיווג רחובות ומהירות הנסיעה בתנאי זרימה חופשית**

סוג הרחוב	מאסף ראשי	עורק עירוני	עורק פרברי	עורק ממוחלף
צפיפות התחברויות	גבוהה	בינונית	נמוכה	נמוכה
מספר מסלולים	1	2	2	2
מספר נתיבים במסלול	2	2 או 3	2 או 3	3 או 4
צידי הדרך	מדרכות	מדרכות	שוליים	שוליים
חנייה בצידי הדרך	רבה	מועטה	אסורה	אסורה
פעילות הולכי רגל	רבה	בינונית	מועטה	אין
עוצמת הנגישות לשימושי קרקע כמות צמתים לק"מ	רבה	בינונית	מועטה	אין
מרחק בין צמתים	4 עד 8	2 עד 5	1 עד 3	0.7 עד 0.2
מהירות מותרת	100 עד 400 מ'	200 עד 500 מ'	300 עד 1500 מ'	1500 עד 5000 מ'
טווח מהירויות בזרימה חופשית	50 קמ"ש	50 עד 60 קמ"ש	60 עד 70 קמ"ש	80 עד 100 קמ"ש
קיבולת אופיינית לנתיב	40 עד 55 קמ"ש	50 עד 60 קמ"ש	60 עד 75 קמ"ש	80 עד 110 קמ"ש
	1200-1500 יר"מ	1500-1800 יר"מ	1800-2000 יר"מ	2000-2200 יר"מ

מהירות התנועה לאורך קטעי הדרך הלא ממוחלפים תחושב בהתאם לטבלה 4-11 המובאת בפרק 11 של HCM 1994 או במהדורה האחרונה המעודכנת, שתהייה קיימת בעת הערכת הפרויקט. לנוחיות המשתמשים מובא התרגום של הטבלה וההתאמה ליחידות המטריות בנספח ב' לחלק זה של ההנחיות. מהירות התנועה לאורך קטעי דרך ממוחלפים תחושב בהתאם למתודולוגיה המתוארת בפרק 3 של HCM 1994.

חישוב זמן הנסיעה בקטע יבוצע מתוך מהירות הנסיעה ע"פ הנוסחה כדלהלן:

$$T_{0n} = L_n / S_n \quad 2.1$$

כאשר:  $T_{0n}$  - זמן נסיעה למעבר קטע  $n$ , בנפח נמוך (שעות)  
 $L_n$  - אורך הקטע (ק"מ)  
 $S_n$  - מהירות זרימה חופשית בקטע (קמ"ש)

הגידול בנפח התנועה משפיע בצורה מועטה על מהירות הזרימה בקטע. לרוב מתרחשים צווארי הבקבוק בצמתים או במחלפים בעוד הקטע רחוק מגבול הקיבולת. באותם המקרים בהם יש צורך לתקן את זמן הנסיעה בקטע כתלות בקיבולת ניתן להשתמש בנוסחת BPR:

$$T_{Vn} = T_{0n} \cdot [1 + 0.15 \cdot (V/c)^4] \quad 2.2$$

כאשר:  $T_{Vn}$  - זמן נסיעה למעבר קטע  $n$ , בעומס תנועתי (שעות)  
 $V$  - נפח התנועה בקטע (יר"מ)  
 $c$  - קיבולת הקטע (יר"מ)

#### 2.4 . זמני עכבה בצמתים

זמן העכבה בצמתים מהווה חלק משמעותי מזמן הנסיעה במערכת הדרכים של כלל כלי הרכב. בנוסף רגיש מאוד זמן העכבה לנפחי התנועה בצומת, במיוחד כאשר נפחים אלה עוברים את הקיבולת. הקטעים, גורמי העיכוב, במערכת הדרכים יכולים להיות משלושה סוגים עיקריים:

1. קטעי השתזרות באזור מחלפים

2. צמתים מרומזרים

3. צמתים לא מרומזרים

מהירויות הנסיעה בקטעי ההשתזרות באזור המחלפים תחושבנה בהתאם למתודולוגיה המתוארת בפרקים 4, 5 ו-6 של HCM 1994, או במהדורה המעודכנת האחרונה.

לרוב ניתנים נתונים ציפים בצירים הראשיים, המקבלים זכות קדימה. ניתן על כן להזניח את העכבה הנגרמת על ידי הצמתים הלא מרומזרים במערכת. במקומות נדירים בהם יש להתחשב בעכבה הנגרמת בתנועה המשנית של צומת בלתי מרומזר יש לפעול בהתאם למתודולוגיה המתוארת בפרק 10 של HCM 1994.

צמתים מרומזרים הם צווארי הבקבוק העיקריים והנפוצים במערכת הדרכים. העיכוב בצמתים אלה מחושב בהתאם למתודולוגיה המתוארת בעדכונים ל-HCM משנת 1997. לנוחיות המשתמשים פרק זה תורגם והותאם לתנאי הארץ, והוא מובא כנספח ג' לחלק זה של ההנחיות.

להלן מודגשות מספר התאמות חשובות שבוצעו:

1. זרימת הרוויה האידיאלית בצומת מרומזר נבחרה לערך של 1800 יר"מ לשעה (כפי שהיה ב-HCM 1985) ולא 1900 כמומלץ במהדורה של 1994 ואילך. ערך זה מבוסס על תצפיות שבוצעו בארץ והסיבה לערך המוקטן היא, בין השאר, שיעור גבוהה של רכב בעל תיבת הילוכים ידנית בעוד שבארה"ב שם שיעור זה הוא מזערי.
2. בצמתים בהם ניתנת הסגה (Setback) יש להקטין את זרימת הרוויה בנתיב המוסג, כתוצאה מייעילות נמוכה יותר הנגרמת ע"י הסטייה מן הנתיב ההמשכי לצורך הכניסה להסגה. כאשר ההסגה הינה אופטימלית או גדולה מן האופטימלית סביר להשתמש במקדם תיקון של 0.95. כאשר ההסגה קטנה יותר מן הנדרשת, יכול מקדם התיקון לקטון עד 0.80. למקדם תיקון היעילות השפעה חשובה על העכבה בצומת, במיוחד במצב על רוויה, ולכן מומלץ, בצמתים הקריטיים, לבדוק, בעזרת תצפיות, את זרימת הרוויה בפועל, בנתיב שבו יש הסגה.
3. בבדיקת החלופות בהן קיים נת"צ, יש להביא בחשבון, שהתחבורה הציבורית אינה מתפקדת בתנאי גודש. אי לכך יש לקחת במודל העיכוב, של התחבורה הציבורית בלבד, משך שעת שיא מזערי של ¼ שעה (מודל HCM 1994). לגבי שאר התנועה יש להביא בחשבון את התארכות משך שעת השיא מעבר לנצפה במצב הקיים.
4. דחיקת הרכב הפרטי מהנת"צ יוצרת לרוב בעיית גודש בנתיבים הסמוכים. לרוב מבוצעים חישובי העכבה בתחום יחסי נפח-קיבולת הגדולים מ-1.0. כאשר יחס נפח-קיבולת עובר ערכים של 1.15-1.25 העיכובים בצומת נעשים בלתי נסבלים במידה המספיקה לגרום לשינוי דפוסי נסיעה. מומלץ לא להתחשב בערכי נפח-קיבולת הגדולים מן הערכים הנ"ל ולטפל בביקוש העודף בצורה

שתוסבר בהמשך, בפרק 3, סעיף 3.3. במקומות בהן אין מסלולי נסיעה חלופיים, מומלץ להשתמש ביחסי נפח-קיבולת מרביים, גבוהים יותר.

## 2.5. זמני עצירה בתחנות

זמן העצירה בתחנה כולל שני מרכיבים עיקריים:

1. משך הזמן הדרוש להעלאה והורדה של נוסעים;
2. עיכוב כתוצאה מהכניסה לתחנה ומהצורך להשתלב חזרה בתנועה.

משכי העלאה והורדה של נוסעים מובאים בטבלה 2.2 להלן:

**טבלה 2.2: משכי זמן טיפוסיים להעלאת והורדת נוסעים בתחנות**

זמן להעלאת נוסע יחיד	
1.5 עד 2.5 שניות	תשלום מראש לפני עליה
2.0 עד 3.0 שניות	תשלום באוטובוס בכרטיסיה או באסימון
3.0 עד 5.0 שניות	תשלום באוטובוס במזומן בתעריף יחיד
6.0 עד 8.0 שניות	תשלום באוטובוס במזומן, תעריפים שונים
זמן להורדת נוסע יחיד	
1.5 עד 2.5 שניות	מעט חפצים ומיעוט עוברים בין אוטובוסים
2.5 עד 4.0 שניות	כמות חפצים סבירה או הרבה עוברים מאוטובוס לאוטובוס
4.0 עד 6.0 שניות	כמות גדולה של חפצים אישיים או חפצים גדולים

בדרך כלל מקובל להשתמש בערך ממוצע של 6.0 שניות כמשך הזמן הדרוש להעלאת נוסע לאוטובוס אולם באזורים עירוניים צפופים, בהם גדולה כמות היוממים, ניתן להקטין זמן זה גם ל-4.0 שניות, בממוצע. זמני העלאת והורדת נוסעים במונית גדולים יותר ויכולים להגיע עד 10.0 שניות לנוסע.

העיכוב הנוסף בכניסה וביציאה מהתחנה תלוי בסוג התחנה ובסוג הרכב, כדלהלן:

**טבלה 2.3: עיכוב בכניסה ויציאה מתחנה**

תחנה במפרץ	תחנה בנתיב	סוג הרכב
8 שניות	4 שניות	מונית או רכב פרטי
10 שניות	6 שניות	אוטובוס רגיל
15 שניות	8 שניות	אוטובוס מפרקי

זמן העצירה הכולל של כלי הרכב בתחנה יחושב ע"פ נוסחה 2.3 להלן:

$$t_B = t_c + \begin{cases} \max(A \cdot a, B \cdot b) & \text{הורדת והעלאת נוסעים בדלתות נפרדות} \\ A \cdot a + B \cdot b & \text{הורדת והעלאת נוסעים מתבצעת בדלת יחידה} \end{cases} \quad 2.3$$

- כאשר:
- $t_B$  - זמן העצירה (עיכוב) הכולל בתחנה (שניות)
  - $t_c$  - העיכוב בכניסה ויציאה מתחנה (שניות)
  - $A$  - מספר נוסעים יורדים בממוצע לרכב
  - $a$  - משך הזמן הממוצע להורדת נוסע (שניות)
  - $B$  - מספר נוסעים עולים בממוצע מרכב
  - $b$  - משך הזמן הממוצע להעלאת נוסע (שניות)

כאשר התחנה ממוקמת לפני צומת מרומזר, בתחום הצטברות התור לפני קו העצירה, ההשתלבות בתנועה יכולה להיעשות במהלך האור הירוק כאשר השיירה מתחילה לנוע. במקרה זה יש לתקן את הנוסחה 2.3 ולהשתמש בנוסחה 2.4 להלן:

$$t_B = \frac{t_c}{g/C} + \begin{cases} \max(A \cdot a, B \cdot b) & \text{הורדת והעלאת נוסעים מתבצעת בדלתות נפרדות} \\ A \cdot a + B \cdot b & \text{הורדת והעלאת נוסעים מתבצעת בדלת יחידה} \end{cases} \quad 2.4$$

- כאשר:
- $g$  - משך הירוק הניתן לתנועה בסמוך לתחנה (שניות)
  - $C$  - אורך מחזור הרמזור (שניות)

בתחנות בעלות עמדות מרובות, יש לתקן את העיכוב בתחנה כתוצאה מההסתברות שהתחנה תהיה חסומה ע"י כלי רכב אחר העומד בה וכתוצאה מההסתברות לחוסר יכולת לעקוף רכב העומד בעמדה קדמית. ערכי התיקון ( $F_B$ ) מובאים בטבלה 2.4.

**טבלה 2.4: מקדם תיקון לעיכוב בתחנה מרובת עמדות ( $F_B$ )**

מספר עמדות	תחנה בנתיב נסיעה	תחנה במפרץ
1	1.00	1.00
2	1.15	1.10
3	1.35	1.17
4	1.65	1.25
5	-	1.35

זמן העצירה הכולל של רכב בתחנה יחושב על פי נוסחה 2.5 להלן:

$$T_B = \frac{t_B \cdot F_B}{3600} \quad 2.5$$

כאשר:  $T_B$  - משך עצירה של כלי רכב בתחנה (שעות)  
 והפרמטרים  $t_B$  ו- $F_B$  הוגדרו לעיל.

**2.6 . ניתוח השפעה מערכתית של החלופה**

בהליך הגדרת החלופות על המתכנן לקבוע האם לחלופות השונות יכולה להיות השפעה על מערכת הדרכים הסמוכה. במידה וקיים חשש כי בניית הנת"צ תגרום להסטת כלי רכב לדרכים חלופיות ברשת (שיווי משקל חדש) יש לבחון את זמני הנסיעה ברשת כולה תוך שימוש בתוכנות להצבת נסיעות.

לתוכנות המסחריות המוכרות (ASSTRK, TRIPS, EMME-2) קיימות אפשרויות להצבה תוך התחשבות בכך שבקטעים מסוימים קיים נת"צ או שקטעים מסוימים מותרים לחלק מכלי הרכב. התוכנות, בהן אופציות אלה אינן קיימות, אינן מומלצות לשימוש לצורך הערכת נת"צ. למרות זאת, במקרי דחק, ניתן להציב את כלי הרכב הנעים בנת"צ כנפחי רקע ולהקטין את קיבולות הקטעים בשיעור של נפחי רקע אלה. במקרה זה יהיה צורך בחישוב נפרד לזמני הנסיעה של נפחי הרקע בהתאם למוסבר בסעיפים 2.3 עד 2.5 לעיל.

## 2.7 . ריכוז נתוני תנועה

הערכה תנועתית של כל אחת מן החלופות תרוכז בטפסים 2 ו-3 המתוארים בנספח א' לחלק ג' של ההנחיות. ההערכה התנועתית תתבצע בנפרד לכל אחת מן התקופות הנבדקות על פי המוסבר בחלק ג', סעיף 1.5.

### 3. מדדים תחבורתיים נוספים

#### 3.1. כללי

פרק זה של ההנחיות מטפל בשלושה נושאים תחבורתיים בעלי משמעות תנועתית-כלכלית, כדלהלן:

1. שיפור באמינות השירות המשפיע על קיצור זמן ההמתנה של נוסעים בתחנות;
2. שינוי במקדמי הפיצול המשפיעים על הסטה של נסיעות מהתחבורה הפרטית לתחבורה הציבורית;
3. הגדלת הביקוש מאולץ הקיבולת.

#### 3.2. שיפור באמינות השירות

##### א. כללי

איכות ורמת השרות של קווי תחבורה ציבורית נמדדים על פי זמני הנסיעה ואמינות השרות. האמינות הינה מדד קשה למדידה. המודלים המקובלים מגדירים אמינות של קווי תח"צ כמידת הצמדות הנסיעות ללוח הזמנים. לאמינות השפעה על זמני ההמתנה של הנוסעים בתחנות ועל הקדמת היציאה (ממקום המוצא), לצורך ביצוע הנסיעה בתח"צ. הביטוי לאמינות השירות ניתן באחת משתי הדרכים:

- א. מידת "הדמיון" והזהות בין משכי הנסיעה;
- ב. מידת העקביות בהופעת האוטובוסים לתחנה כל שהיא בציר.

שני הפרמטרים לעיל הינם מדדים מקובלים וטובים לאמינות השרות המשפיעים ישירות על זמן ההמתנה של הנוסעים בתחנות.

מעבר לקיצור זמני ההמתנה, גלומים בשיפור אמינות הקווים יתרונות נוספים, שאינם בהכרח ניתנים לכימות, כגון: צמצום מספר האוטובוסים המשרתים קו, כתוצאה מצמצום משך הנסיעה, הגדלת האטרקטיביות של התחבורה הציבורית וכד'.

##### ב. אמינות במשך הנסיעה

הגדלת אמינות משכי הנסיעה מקצרת את זמני ההמתנה בתחנות של הנוסעים המשתמשים בקו. אדם היודע כי משך נסיעתו אינו וודאי יקדים יציאתו ויבזבז זמן בהגעה מוקדמת ליעדו. למרות התועלת הברורה בהגדלת האמינות, כמות המשתנים המשפיעה על זמן ההמתנה הנחסך גדולה מכדי שניתן יהיה לכמתה. הנחיות אלה ממליצות לבטא את החסכון הצפוי בזמן ההמתנה בתחנה כפונקציה ליניארית של הפרש סטיות התקן, כמתואר בנוסחה 3.1 להלן:

$$\Delta W_1 = k \cdot \Delta \sigma \quad 3.1$$

- כאשר:  $\Delta W_1$  - זמן המתנה ממוצע בתחנה, הנחסך לנוסע בקו (דקות)
- $k$  - משקל הכופל את הפרש סטיות התקן והמבטא את השפעת השינוי באמינות הנסיעה על זמני ההמתנה של הנוסעים בתחנות
- $\Delta \sigma$  - שינוי בסטיית התקן של משך הנסיעה לאורך קטעי הפרויקט כתוצאה מביצועו (דקות)

למרות שהשפעת הנת"צ על אמינות השירות יכולה להיות מעבר לתחום בו הוא מבוצע, מומלץ לשם פשטות, לכפול את זמן ההמתנה הממוצע הנחסך, במספר הנוסעים הכולל, בתוך קטעי הפרויקט בלבד.

מומלץ שסטיות התקן של משכי הנסיעה ימדדו בתצפיות. באותם המקרים בהם אין הדבר אפשרי (למשל בפרויקטים מתוכננים), ניתן להעריך את סטיית התקן כתוצאה מביצוע פרויקט עתידי מתוך אומדן זמני הנסיעה כדלקמן:

$$\frac{\sigma_f}{\sigma_0} = \left( \frac{T_f}{T_0} \right)^2 \quad 3.2$$

- כאשר:  $\sigma_0$  - סטיית התקן של זמני הנסיעה במצב הקיים (דקות)
- $\sigma_f$  - סטיית התקן של זמני הנסיעה לאחר ביצוע הפרויקט (דקות)
- $T_0$  - משך הנסיעה לאורך קטעי הפרויקט במצב הקיים (דקות)
- $T_f$  - אמדן משך הנסיעה לאורך קטעי הפרויקט לאחר ביצועו (דקות)

הערה: נוסחה זו הינה אמפירית וכיולה מתוך מספר תצפיות קטן של פרויקטים שבוצעו בארץ

ערכו של המקדם  $k$  נקבע ל-1.0 עבור קווים שתדירותם קטנה מ-20 דקות, ל-2.0 עבור קווים שתדירותם נעה בין 20 ל-40 דקות ול-3.0 עבור קווים תדירים פחות מ-40 דקות. הבסיס לערכים אלה הינו רעיוני וצידוקם בכך שככל שהקו פחות תדיר, להקדמת הנסיעה כתוצאה מאמינות פחותה, צריך להיות משקל רב יותר.

### ג. אמינות בהגעה לתחנות

הגדלת האמינות בזמני ההגעה לתחנות מקצרת את זמני ההמתנה בתחנות של הנוסעים הממתינים בתחנות המסוימות המושפעות. בהנחה שהופעת נוסע בודד לתחנות הינה משתנה מקרי המתפלג פילוג אחיד בין 0 ל- $h$ , הרי שזמן ההמתנה הממוצע של נוסע בתחנה, מתקבל על ידי נוסחה 3.3 כלהלן (ללא קשר להתפלגות מופע האוטובוסים):

$$W = \frac{\bar{h}}{2} \cdot \left(1 + \frac{\sigma}{\bar{h}}\right) = \frac{\bar{h} + \sigma}{2} \quad 3.3$$

- כאשר:  $W$  - זמן ההמתנה הממוצע של נוסעים בתחנות (דקות)  
 $\bar{h}$  - מרווח הזמן הממוצע בין האוטובוסים בקו נתון (דקות)  
 $\sigma$  - סטיית התקן של המרווחים בקו נתון (דקות)

השינוי בזמן ההמתנה הממוצע של נוסעים כתוצאה מהפעלת הנת"צ נתון ע"י הנוסחה 3.4 להלן:

$$\Delta W_2 = \frac{\Delta \sigma}{2} \quad 3.4$$

נוסחאות 3.3 ו-3.4 ישימות בקווים תדירים בלבד, בהם המרווח בין האוטובוסים אינו עולה על 20 דקות. בקווים תדירים פחות, הופעת הנוסעים לתחנה מפסיקה להיות אחידה ומתקרבת יותר לנורמלית המותאמת ללוח הזמנים של הקו. באופן כללי ניתן להניח כי השיפור באמינות השרות לקווים ארוכים תורם לקיצור זמן ההמתנה של נוסע בודד ב- $\Delta \bar{h}$  שניות, כאשר  $\Delta \bar{h}$  הינו ממוצע ההפרשים בין זמני ההגעה בפועל של הקו לבין זמן ההגעה המתוכנן בלוח.

לצורך קבלת זמן ההמתנה הנחסך הכולל, יש לכפול את השינוי הממוצע לנוסע בודד במספר הנוסעים העולים בתחנות לאורך הנת"צ (להבדיל ממספר הנוסעים בתוך האוטובוס לאורך הנת"צ). במידה וכתוצאה מביצוע הנת"צ מושפעות תחנות מרובות נוסעים סמוכות, יש לכלול גם אותן.

רצוי לבצע את חישוב החסכון בזמני ההמתנה מתוך סקר של זמני הגעת הקווים השונים לתחנות העיקריות בתחום השפעת הנת"צ. כאשר אין אפשרות לבצע את סקר זמני הגעת הקווים כאמור, ניתן להשתמש בערכי המחזל הבאים:

א. בקווים קצרים תדירים -  $\Delta \sigma = 0.10 \div 0.15 \bar{h}$

ב. בקווים ארוכים תדירים -  $\Delta \sigma = 0.15 \div 0.25 \bar{h}$

ג. בקווים לא תדירים ניתן להניח כי ממוצע האיחורים של הקו (מהזמן המתוכנן) ירד לאחר הפעלת הנת"צ, ב-5 עד 15 דקות, ביחס לאיחור לפני ההפעלה.  
הבחירה בין התחום העליון לתחום התחתון תהיה כתלות באורך הקווים ובמידת העומס בדרכים לפני הכניסה לנת"צ.

א. רקע תיאורטי

המודל התיאורטי המקובל לחישוב התפלגות נסיעות בין כלי רכב פרטיים לתחבורה ציבורית הינו מודל לודגייט בינארי. המודל הכללי מתואר בנוסחה 3.5 להלן:

$$P_V = \frac{e^V}{e^V + e^T}; \quad P_T = \frac{e^T}{e^V + e^T}; \quad P_V + P_T = 1 \quad 3.5$$

- $P_V$  - כאשר:
- $P_T$  - פרופורציה הנסיעות המתבצעת בתחבורה ציבורית
- $V$  - התועלת לביצוע נסיעות ברכב פרטי
- $T$  - התועלת לביצוע נסיעות בתחבורה ציבורית

התועלות מבוטאות כסכום משוקלל, בד"כ ליניארי, של משתנים משפיעים, כגון: זמן נסיעה, עלות נסיעה, מספר החלפות הקווים (Transfers) וכד'. מודל לודגייט אינקרמנטלי מאפשר לחשב את השינוי בפרופורציות הנסיעות בין רכב פרטי לתחבורה ציבורית כתלות בשינוי התועלות, כאשר ידועות: הפרופורציות הראשוניות, ומידת השינוי בפונקציות התועלת. מודל הלודגייט האינקרמנטלי מתואר להלן:

$$\frac{\Delta P_V}{P_V} = \frac{(1 - P_V) \cdot (e^{\Delta V - \Delta T} - 1)}{1 + P_V \cdot (e^{\Delta V - \Delta T} - 1)} \quad 3.6$$

במקרים בהם שהתועלות הן קומבינציות לינאריות של הפרמטרים הרי שהשינוי בערך הפונקציה שווה לשינוי בערכי הפרמטרים המוכפלים במקדמיהם, כמתואר בנוסחה 3.7 להלן:

$$V + \Delta V = \alpha_1(x_1 + \Delta x_1) + \dots + \alpha_n(x_n + \Delta x_n) = \alpha_1 x_1 + \dots + \alpha_n x_n + \alpha_1 \Delta x_1 + \dots + \alpha_n \Delta x_n = V + \sum_1^n \alpha_i \Delta x_i \Rightarrow \Delta V = \sum_1^n \alpha_i \Delta x_i \quad 3.7$$

- $x_i$  - כאשר:
- $\alpha_i$  - פרמטר המשפיע על התועלת של  $V$
- $\alpha_i$  - מקדם הרגרסיה של הפרמטר

טבלה 3.1 מביאה מקדמים המקובלים בארץ לשימוש בפונקציות הפיצול. המקדמים כוילו ע"י המכון הישראלי לתכנון תחבורה בערים ירושלים, תל אביב וחיפה:

**טבלה 3.1: מקדמים לפרמטרים המשפיעים על פיצול הנסיעות**

מקדם רגרסיה כופל פרמטר		פרמטר תנועתי המשפיע על הפיצול
ערך מחדל	טווח ערכים	
-0.035	בין -0.025 ל -0.045	שינוי בזמן הנסיעה ברכב פרטי (דקות)
-0.025	בין -0.015 ל -0.045	השינוי בזמן הנסיעה בתח"צ (דקות)

יש לשים לב שנוסחת הפיצול מופעלת לא על כלל הנסיעות כי עם אך ורק על נסיעות "נוסעים עם זמינות גבוהה לרכב" להם יש אפשרות בחירה בין רכבם לבין התחבורה הציבורית.

### ב. יישום

לצורך קביעת שיעור הפיצול יש צורך לקבוע את הפרמטרים הבאים:

- א. שיעור הנוסעים בעלי זמינות גבוהה לרכב פרטי ושהשתמשו בתח"צ לפני הפעלת הנת"צ ( $P_T$ ). אמד זה ניתן לקביעה בסקר שדה על ידי תשאול הנוסעים בתוך האוטובוסים.
- ב. שינוי בזמן הנסיעה ברכב פרטי (ניתן לקביעה מתוך תצפיות או מתוך חישובים כמוסבר בפרק 2 של חלק ג').
- ג. שינוי בזמן הנסיעה בתחבורה ציבורית (ניתן לקביעה מתוך תצפיות או מתוך חישובים כמוסבר בפרק 2 של חלק ג').

בהעדר חלק מן התצפיות ניתן להעריך את שיעור המעבר מן הרכב הפרטי לתחבורה ציבורית מתוך טבלה 3.2. כאשר הנת"צ המתוכנן מהווה חלק ממערכת נת"צים רחבה יותר או כאשר קיימת מצוקת חנייה באזורי היעד, ניתן להניח אחוז גבוהה יותר של בעלי רכב פרטי המשתמשים בתחבורה ציבורית (15% או 20%). תחבורה ציבורית, המספקת רמת שרות גבוהה יותר בתוך שכונות המגורים, מגדילה אף היא את מידת השימוש בתחבורה הציבורית.

במקומות בהן כויל מודל פיצול ספציפי, המסוגל לחזות את שיעור המעבר לתחבורה ציבורית, כתוצאה מהתקנה של נת"צ, יש להעדיפו על פני ערכי המחדל המובאים לעיל.

**טבלה 3.2: אחוז העוברים מרכב פרטי לתחבורה ציבורית לאחר הפעלת נת"צ**

אחוז המשתמשים בתחבורה ציבורית מכלל בעלי הרכב הפרטי, לפני הפעלת הנת"צ				הפרש בזמן נסיעה בין רכב פרטי לתח"צ אחרי הפעלת הנת"צ
20%	15%	10%	5%	
3%	3%	2%	1%	5 דקות
7%	5%	4%	2%	10 דקות
11%	8%	6%	3%	15 דקות
15%	12%	8%	4%	20 דקות

**3.4 . שינוי בביקוש מאולץ קיבולת**

המושג "ביקוש מאולץ קיבולת" מוגדר בנוהל פר"ת. כל מערכת דרכים לא מסוגלת להעביר נפחי תנועה העולים על קיבולת צווארי הבקבוק בתוכה. כתוצאה מכך, ישנם ביקושים פוטנציאליים לנסיעות שאינם יכולים להתממש עקב מגבלות קיבולת המערכת. שיפור מערכת הדרכים, במידה וניתמך על ידי יכולת המשיכה של שימושי קרקע, מאפשר לחלק גדול יותר מהביקוש הפוטנציאלי להתממש.

במרכזים עירוניים צפופים ובמבואות הערים בשעות השיא, לא ניתן לשרת את מלוא הביקוש לנסיעות בהתבסס על רכב פרטי בלבד. בניית נת"צים ושיפור רמת השירות בתחבורה הציבורית יכולים להגדיל את קיבולת המערכת למעבר נוסעים, תוך ביצוע השקעות מזעריות בתשתית הקיימת. השיפור עשוי לא רק לגרום למעבר מרכב פרטי לתחבורה ציבורית אלא לאפשר ביצוע נסיעות שלא יכלו להתבצע קודם לכן.

נת"צ משפיע על קיבולת המערכת בשתי דרכים אפשריות:

1. תוספת נת"צ מסיטה את כלי הרכב המורשים מהנתיבים הרגילים ומתפנה בהם קיבולת נוספת (הדבר מתרחש לרוב בעת הוספת נת"צ לנתיבים קיימים);
2. השינוי בפיצול הנסיעות מקטין את נפח הרכב הפרטי הדרוש כדי לשרת את הביקוש הנוכחי. בשני המקרים נוצרת קיבולת פנויה.

כמתואר לעיל בסעיף 2.4, זרימה עד ליחס ביקוש-קיבולת של כ-1.2, יכולה להיות מטופלת כביקוש המשורת על ידי רשת הדרכים. בביקושים הגבוהים מערך זה יש לטפל כשינוי בביקוש מאולץ קיבולת.

הביקוש לנסיעות נוצר על ידי שימושי הקרקע ונגזר מתוך מודלי יצירה-משיכה ידועים. ההפרש בין הביקוש הכללי לבין הביקוש המשורת (1.15 עד 1.25 כפול קיבולת הרשת), יכול להיות משורת על ידי התחבורה הציבורית. מובן מאליו כי לא ניתן למשוך את כל ההפרש בביקוש, בעזרת בניית נת"צ בלבד ונדרשים שיפורים נוספים בתחום תדירויות, מקדמי מילוי, פריסת קווים, תעריפים וכד'.

במידה ומפעילי התחבורה הציבורית יתאימו את היקף השרות לגידול הביקושים (מבלי לבצע שיפורים ביחס למצב הקיים), ניתן להניח גידול של 5% עד 15% בביקושים לתחבורה הציבורית כתוצאה מסלילת הנת"צ. ככל שהאזור צפוף יותר וחלופות התנועה ברכב פרטי פחות טובות כן תגדל האטרקטיביות של האזור בו קיימים נת"צים לעומת האזורים הסמוכים בהם הנת"צים פחות מפותחים.

## 4 . מודל להערכה כלכלית

### 4.1 . כללי

בדיקת הכדאיות הכלכלית של נת"צ נסמכת על הניתוח התחבורתי. על סמך תוצאות הניתוח התחבורתי והנתונים הנגזרים תבוצע הבדיקה הכלכלית. הנתונים יתקבלו עבור "חלופת המחדל" - (Do Minimum) ועבור כל אחת מהחלופות התכנוניות שיבחנו.

### 4.2 . שלבי הבדיקה הכלכלית

השלב המקדמי לתהליך הבדיקה הכלכלית הינו הגדרת המטרות והיעדים אותם רוצים להשיג בפרוייקט התחבורתי המוצע, תוך הדגשת הבעיה התחבורתית/תנועתית אותה רוצים לפתור.

לתהליך הבדיקה הכלכלית ישנם מספר שלבים עיקריים :

1. הגדרת החלופות - זהו השלב הראשוני שבו מוגדרות החלופות על פי הגדרת מטרות הפרוייקט, אילוצים תכנוניים, הנדסיים ותנועתיים.
2. הגדרת סוג הפרוייקט - יש להגדיר באם הפרוייקט הינו פרויקט "בדיד" או פרויקט "מערכתי". בהתאם להגדרת הפרוייקט תבוצע בדיקה תחבורתית-כלכלית פרטנית לציר (פרוייקט "בדיד") או מערכתית לרשת (פרוייקט "מערכתי").
3. ניתוח תנועת - הניתוח יכלול חישוב הפרמטרים התנועתיים לתנועה המועדפת (שתעבור בנת"צ או במת"צ) ולתנועה הלא מועדפת (העוברת בציר הנבחן וברשת). הפרמטרים הנאמדים לחלופת המחדל ולכל חלופה נבחנת כוללים:
  - זמן נסיעה של נוסעים לפי סוג כלי הרכב;
  - שיפור באמינות השרות בתחבורה ציבורית (חסכון בזמני המתנה בתחנות ובזמן נסיעה);
  - שינויים בפיצול הנסיעות ומידת המעבר של הנוסעים מרכב פרטי לתחבורה ציבורית ;
  - נפחי תנועה לפי סוג רכב;
  - מהירות נסיעה לפי סוג רכב;
4. אומדן עלות ההשקעה - בהתאם לחלופות ההנדסיות הנבחנות יבוצע אומדן עלות להשקעה הנדרשת בכל חלופה וחלופה. האומדן יכלול אך ורק עלויות הנובעות מהפרוייקט.
5. הערכת עלויות אחזקה/תיפעול - בכל חלופה יחושבו עלויות האחזקה והתיפעול של התשתית והציוד (הוצאות קבועות ומשתנות).

6. הערכת תועלות הפרוייקט - בהסתמך על הפרמטרים מהניתוח התנועתי יכומתו ויחושבו בכל חלופה נבחנת בהשוואה לחלופת המחדל, בהתאם למודלים ולערכי המחדל המפורטים בהמשך. להלן פרוט התועלות:

- שינויים בזמני הנוסעים הנעים בנתיבים המועדפים והלא מועדפים;
- שינויים באמינות השירות;
- שינויים בהוצאות תיפעול כלי רכב הנעים בנתיבים המועדפים והלא מועדפים;
- שינויים בתאונות דרכים בציר הנבחן;
- שינויים בתועלות העקיפות (השפעות חיצוניות).

7. סיכום התוצאות - שלב זה הינו שלב אינטגרציה של סעיפים 4, 5 ו-6, ויכלול חישוב מדדים כלכליים שיאפשרו לבחון את כדאיות הפרוייקט, קביעת העיתוי להקמתו, בחינת שלביות, השוואת החלופות ומידת השגת מטרות הפרוייקט.

#### 4.3. אומדני עלויות הקמה

על סמך ההגדרה הפיזית/הנדסית של הפרוייקט ייגזר אומדן ההשקעה הנדרש על מנת להפוך נתיב קיים לנת"צ, או להוסיף נתיב כנת"צ, או להוסיף מסלול נוסף כמת"צ.

עלויות ההקמה יכללו אך ורק את העלויות הישירות הנובעות מביצוע הפרוייקט ויש לנכות מהן מסים עקיפים. לגבי פרויקטים המבוצעים בשלבים יש לכלול את פרוט העלויות לכל שלב בנפרד. עבור פרויקט המורכב ממספר מקטעים יש לציין את העלויות לכל אחד ממקטעי הפרוייקט.

פרוט הנתונים על עלויות ההקמה יעשה לכל חלופה בטופס 4 המובא בנספח א' לחלק ג' של ההנחיות.

#### 4.4. עלות תפעול ואחזקה שנתית של הפרוייקט

סעיף זה אף הוא תלוי בעיקר בהיקף ההשקעה בפרוייקט ואופן ההפעלה המתוכנן של הנת"צ. יש לקחת בחשבון הוצאות לאחזקת הנת"צ הנובעות מבלאי המיסעה, שילוט מתחלף, תמרור, תאורה, חיבור למרכז בקרה וכד'. כמו כן, יש לחשב את הוצאות התפעול השונות כגון: מערכת בקרה, תמרור מתחלף וכד'.

בסעיף עלויות האחזקה השנתיות, יש לציין רק את **ההפרש בעלויות האחזקה** (בתוספת או בהפחתה), הנגרם על ידי הפרוייקט ביחס לחלופת המחדל. עלויות אחזקה יחושבו לכל שנה, החל משנת הבסיס ובכל אחת משנות הבדיקה הכלכלית (15 שנה). בתחשיבים יש להניח רמת תחזוקה טובה.

יש להבחין בין שני סוגי עלויות :

1. עלויות קבועות, שאינן תלויות בנפח התנועה ובהרכבה.
2. עלויות משתנות, התלויות בנפחי התנועה ובהרכב התנועה.

דיווח הנתונים על עלויות האחזקה יעשה בטופס 5 המובא בנספח א' לחלק ג' של ההנחיות.

#### **4.5 . עלויות אכיפה שנתיות**

בהתאם לשיקול דעתו של עורך הבדיקה הכלכלית, ובמידה שקיימת מדיניות ו/או תוכנית לאכיפה בפרויקט הנבחן, יש לכלול את העלויות הקשורות לאכיפה. עלויות האכיפה יכללו כסעיף בטופס 5 המובא בנספח א' לחלק ג' של ההנחיות.

יש להציג בנפרד את אופן החישוב ואת הנחות מחבר הדו"ח, באם הן שונות מהמפורט בנוהל זה.

#### **4.6 . סיכום העלויות**

ריכוז העלויות יוצג בטופס 6 בנספח א' לחלק ג' של ההנחיות. בטופס יש להציג את סה"כ אומדני העלויות ברוטו לפי הסעיפים השונים לכל שנה, ולכל חלופה תכנונית.

#### **4.7 . תועלות הנובעות מהפרוייקט**

התועלות הנובעות מן הפרוייקט כוללות את :

##### א. שינוי בזמן נוסעים

השינוי בזמן הנוסעים לעומת חלופת המחדל ירוכז בטופס 7 כמובא בנספח א'. בטופס קיימת התייחסות נפרדת לכל אחד מסוגי כלי הרכב הרלוונטיים בניתוח פרויקטים של נת"צ/ס/מתצ"י. את הטבלה יש לערוך לכל שנת תכנון מפורטת ולכל חלופה נבחרת.

##### ב. אמינות השירות

פרוייקטים של נת"צ/צ/מת"צ משפרים את אמינות השרות של התחבורה הציבורית. החיסכון כתוצאה משיפור באמינות השרות מורכב משני מרכיבים אליהם יש להתייחס בבדיקה הכלכלית: הקטנת זמן

המתנה בתחנות לאורך נתיב והקטנת זמן הנסיעה. אופן חישוב החיסכון בעקבות שיפור באמינות השרות מפורט בטופס 8 בנספח א'.

ערך הזמן לחישוב החיסכון למשק בשל השיפור באמינות השירות יהיה זהה לערך הזמן המחושב לחיסכון בזמן נוסעים והמפורט בסעיף 5.3 א'.

### ג. שינוי בעלויות תפעול

שינויים בעלויות התפעול, הנובעים כתוצאה משינויים במהירות הנסיעה, יחושבו לכל סוג רכב בנפרד - רכב פרטי, מוניות ואוטובוסים. עלויות התפעול יחושבו באמצעות הפונקציות המצורפות בנספח ד'. התוצאות ירוכזו בטופס 9 המובא בנספח א'. טבלה זו יש לערוך לכל שנת תכנון מפורטת ולכל חלופה נבחרת.

### ד. תועלות נוספות

סעיף זה אינו בא לידי ביטוי בצורה מובהקת בספרות המקצועית, וכל פרויקט כולל תועלות אחרות על פי העניין. עם זאת, קיימים מספר תחומים שלגביהם ישנו פוטנציאל לתועלות הנובעות מהפרוייקט, אף כי לרוב קיים קושי לכמת תועלות אלו.

#### ◆ הקטנת רמת פליטה של מזהמים

המודלים הכלכליים המכמתים את התועלת הנגרמת ע"י הקטנת רמת הפליטה של מזהמים אינם מגובשים בצורה מספקת וקיימות מחלוקות לגבי מרכיביה השונים. פרק 6 מתאר את אופן החישוב של רמות הפליטה אולם הערך המתקבל הינו השוואתי בלבד ומומלץ להתחשב בו לצורך בחירת חלופות הקרובות במדדים התחבורתיים-כלכליים.

#### ◆ שינוי בכמות תאונות דרכים

פרוייקט סלילת נתיב או מת"צ אינו נושא אופי בטיחותי. נכון להיום אין ממצאים מובהקים לשיפור תנאי הבטיחות בצירים בהם נסללו נתיבים. למרות זאת בפרוייקטים, בהם למתכנן יש יסוד להניח, כי ייגרם שינוי בכמות התאונות ובחומרתן, יש לדווח על שינויים אלה בטופס המתואר בנוהל פרי"ת והמובא בנספח א' לחלק זה של ההנחיות (טופס 10).

#### ◆ חסכון בעלות ההקמה של מקומות חניה

פרוייקט נתיב יכול להפוך את השימוש בתחבורה הציבורית לחלופה בת תחרות כנגד חלופת השימוש ברכב הפרטי. סלילת נתיבים מאפשרת להקטין כניסת כלי רכב פרטיים למרכזים עירוניים ומגדילה את השימוש בתחבורה ציבורית, ובכך מצמצמת את כמות מקומות החניה הנבנים במרכזי הערים.

מספר מקומות החניה הנחסכים יתבסס על השינוי בפיצול הנסיעות. פרק 3, סעיף 3.3, מתאר שיטה אפשרית להערכת השינוי בפיצול הנסיעות בין רכב פרטי לתחבורה הציבורית. התועלת למשק הנובעת מחיסכון בבניה של מקומות חניה תחושב עפ"י עלות של מקום חניה תת-קרקעי. העלות תכלול את עלות הבניה בלבד (ללא עלות הקרקע). את השינוי בפיצול הנסיעות יש לדווח בטופס 11 המובא בנספח א' לחלק זה של ההנחיות.

#### ◆ שינוי הביקוש מאולץ הקיבולת

שינויים בביקוש מאולץ הקיבולת, יכללו בבדיקה הכלכלית כמצוין בנוהל פר"ת, סעיף ב.4.3. אופן הערכת השינוי בביקוש מאולץ הקיבולת מתוארת בפרק 3, סעיף 3.4. התועלת למשק הנובעת מהגדלת הקיבולת של מערכת הדרכים, הינה בהגדלת הביקושים לנסיעות לתוך מרכזי הערים ובניצול יעיל יותר של התשתיות האחרות הקיימות במרכזים אלה. השינויים בביקוש מאולץ הקיבולת ידווחו בטופס 11 המובא בנספח א' לחלק זה של ההנחיות.

#### 4.8 . סיכום מרכיבי הבדיקה

את סה"כ התועלות הנובעות מהפרוייקט יש לרכז בטופס 12 המובא בנספח א'. יש לפרט בטופס את השנים בהן בוצע הניתוח התחבורתי. חישוב התועלות בשנים שבהן לא בוצע ניתוח תחבורתי, יבוצע על ידי אינטרפולציה בין כל שנת תכנון בה נערך ניתוח תחבורתי לשנת התכנון העוקבת בה נערך ניתוח תחבורתי. שיעור הגידול השנתי יקבע בהתאם להחלטת עורך הדו"ח. יש לנמק את הסיבות לשיעור הגידול השנתי שנלקח בבדיקה.

#### 4.9 . תוצאות הבדיקה וסיכום

תוצאות הבדיקה הכלכלית על כל מרכיביה יסוכמו בטפסים 13, 14 ו-15, המובאים בנספח א'. על הבודק לערוך ניתוח רגישות לפרמטרים המרכזיים.

תזרים העלויות והתועלות נטו יוצגו לכל שנות הבדיקה הכלכלית בטופס 13 המתואר בנספח א'.

יש להציג את ריכוז הנתונים וערכי המדדים הכלכליים שבבדיקה הכלכלית, בטופס 14 שבנספח א'. המדדים יוצגו לכל חלופת תכנון הנבחנת בפרוייקט.

תוצאות ניתוח הרגישות לפרמטרים הכלכליים העיקריים יוצגו בטופס 15 שבנספח א'. ניתוח הרגישות יבוצע עבור הפרמטרים העיקריים הבאים:

- שינויים במחיר ההון - בדיקה לפי 5% ו-9% ;
  - שינויים באומדני ההשקעות - ככל שאומדן ההשקעות מבוסס על תכנון ראשוני, יש להגדיל את תחום ניתוח הרגישות לסעיף זה ;
  - ניתוח רגישות לשינוי באחוז הפיצול בנסיעות. מומלץ לבחון שלושה מצבים :
    - א. ללא פיצול
    - ב. 5% פיצול
    - ג. פיצול על פי המתואר בסעיף 3.3.
- סיכום תוצאות הבדיקה צריך להיעשות לכל אחת מחלופות התכנון המוצעות.

#### **4. 10 . סיכום ומסקנות**

בסיום הליך הבדיקה, של חלופה, יש לצרף לאוסף הטפסים דף סיכום של תוצאות הבדיקה. דף הסיכום יכלול את ניתוח תוצאות והמלצות מנומקות להמשך התהליך (כגון אי ביצוע הפרוייקט, ביצוע חלקי או בשלבים, ביצוע מלא אך ביעד מאוחר יותר וכדו'). בנוסף, יש להציג את מידת השגת מטרות ויעדי הפרוייקט, בכל אחת מהחלופות הנבחנות.

#### **4. 11 . השוואת חלופות**

דו"ח הערכת החלופות יסתיים בפרק סיכום והשוואת חלופות. השוואת החלופות תתבצע ע"פ מדדים תנועתיים, כלכליים וסביבתיים. יש לכלול בדו"ח את תיאור החלופות, את היתרונות והחסרונות העיקריים ונימוקים לבחירת החלופה המומלצת מהיבט הכלכלי והתנועתי.

## 5. מקדמים סטנדרטיים וערכי מחדל

### 5.1 . כללי

בפרק זה מוצגים ערכי המחדל לפרמטרים הנדרשים בבדיקה הכלכלית. ככלל, ככל שהיקף הפרוייקט הינו גדול יותר יש להשקיע מאמצים רבים יותר בחישוב הפרמטרים הנדרשים.

### 5.2 . מקדמי מילוי

פרמטר זה משמש לתרגום נפחי התנועה לפי סוגי כלי הרכב השונים לנסיעות אדם. סה"כ שעות נסיעת אדם משמשות לחישוב תרומת החסכון בזמן לתועלות. מומלץ שפרוייקט בעל השפעה מערכתית או כאשר ההשקעה בו גדולה יכול סקר מקדמי מילוי לציר הנבחן, כך שתתקבל תמונה קרובה יותר למציאות בעת הניתוח הכלכלי. עם זאת בפרוייקטים בדידים או בעלי השקעה נמוכה יחסית ניתן להשתמש במקדמי המילוי המופיעים בטבלה 5.1 שלהלן.

**טבלה 5.1: מקדמי מילוי**

שעת יום			סוג רכב
שעות שפל	שעת שיא אחה"צ	שעת שיא בוקר	
			<b>אוטובוס</b>
25	40	45	רגיל
50	75	85	מפרקי
60	70	75	דו-קומתי
10	15	20	זעיר
			<b>מונית</b>
3	4	5	קווי שירות
2.1	2.5	2.5	הסעות מיוחדות
1.4	1.7	1.2	<b>רכב פרטי</b>
1	1	1	<b>משאית</b>

הערה: \* מקדמי המילוי כוללים את הנהג

התפלגות סוגי האוטובוסים השונים בפרוייקט הנבחן יילקחו מספירות תנועה.

### 5.3 . ערכים כלכליים בבדיקה הכלכלית

#### א. ערך זמן בבדיקה הכלכלית

בשל מדיניות לעידוד השימוש ולהעדפת התחבורה הציבורית, ערך זמן הנוסעים יחושב לפני שני ערכים - ערך הזמן של נוהל פריית וערך זמן להעדפת תחבורה ציבורית. חישוב השינוי בזמן הנוסעים יבוצע על פי ערכי הזמן המפורטים להלן (במחירי 12/95):

#### טבלה 5.2: ערך זמן נוסעים בתחבורה ציבורית

ערך זמן להעדפת תח"צ	נוהל פריית	
43.3 ש"ח לשעה	43.3 ש"ח לשעה	ערך זמן לשעת אדם בענייני עבודה
26.2 ש"ח לשעה	4.2 ש"ח לשעה	ערך זמן לשעת אדם שלא בענייני עבודה

יש להניח גידול בערך הזמן לפי הגידול הריאלי בתמ"ג לנפש. ניתן להניח גידול של 2% לשנה.

#### ב. עלויות תפעול כלי רכב

חישוב השינוי בהוצאות תפעול כלי רכב יש להשתמש באחד מהכלים המקובלים, כגון: פונקציות עלויות התפעול של המכון הישראלי לתחבורה, פונקציות שפותחו במסגרת עבודה על כביש מס' 6, וכד'. עם זאת יש להתייחס לנקודות מיוחדות כגון: עלויות התפעול של סוגי אוטובוסים שונים (אוטובוסים רבי נוסעים ואוטובוסים קטנים), מוניות (שרות ואחרות) וערך שעת הנהגים המקצועיים (קואופרטיבים ומפעלים פרטיים).

להלן מובאות המשוואות לחישוב עלויות התפעול של כלי הרכב המעודכנות לחודש דצמבר 1995, במחירים כלכליים. המשוואות נלקחו מקובץ הנתונים של המכון לתחבורה (12/93) ועודכנו על פי המדדים הנדרשים. פירוט מרכיבי הפונקציות מובא בנספח ד' לחלק ג'.

#### טבלה 5.3: חישוב עלויות תפעול של כלי הרכב

$0.1155 + 6.831/S$	רכב פרטי (עלויות שוטפות בלבד) - בש"ח לק"מ
$0.9851 + 51.717/S$	מוניות - בש"ח לק"מ
$1.136 + 101.531/S$	משאיות - בש"ח לק"מ
$3.6555 + 216.178/S$	אוטובוסים - בש"ח לק"מ

S - מהירות הנסיעה בקמ"ש.

בפרוייקטים בעלי היקף השקעה גבוה על מבצע הבדיקה לבחון פרמטרים המשפיעים על פונקציות עלויות התפעול ולעדכן אותן בהתאם לסוג האוטובוסים ומפעיליהם (קואופרטיבים, חברות פרטיות/עירוניות).

נקודות עיקריות להן צריך לתת עורך הדו"ח את דעתו הינם:

- מרכיב ההון בפונקציה, המשתנה עקב שינוי בעלות האוטובוס במידה וקיימים מספר רב של אוטובוסים מפרקיים או דו-קומתיים או מיניבוסים בציר הנבחן.
- שינויים בהוצאות התפעול עבור סוגי האוטובוסים השונים הנעים בציר הנבחן.
- הבעלות על האוטובוסים (קואופרטיבים, חברות פרטיות/עירוניות) הנעים בציר הנבחן. על פי נתוני חשב והלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, עולה כי שכר הנהגים שאינם חברי קואופרטיב הינו כ- 50% משכר נהגים חברי קואופרטיבים. בצירים בהם נעים מספר רב של אוטובוסים פרטיים או אחרים יש לשקלל את שכר הנהגים בהתאם.

#### ג. עלויות אחזקת דרכים וציוד

שינוי בעלויות אחזקת דרכים יחושב על פי הגישות המקובלות ובהתאם לבחירת עורך הדו"ח, תוך ציון נימוק והסבר לבחירתו. לציוד המיוחד לנת"צ (מתקני בקרה ואכיפה) עלות האחזקה השנתית תחושב על פי 5% - 15% מערך הציוד, בהתאם לסוג ואופי הציוד.

#### ד. אכיפה

בהתאם למדיניות הרצויה והמתוכננת תחושב עלות האכיפה הנוספת בעקבות הפרוייקט. כבסיס לעלות האכיפה יש לקחת 60 ש"ח לשעה עבור שוטר, ו-80 ש"ח לשעה עבור שוטר וניידות. העלות השנתית בגין אכיפה תחושב לפי 3,600 ש"ח בשנה לקילומטר נת"צ. עלויות אכיפה אלקטרונית יחושבו בהתאם לנתונים שיתקבלו מהמשטרה. העלויות הינן במחירי פברואר 1997, והתקבלו מהמחלקה הכלכלית של משטרת ישראל.

#### ה. חסכון במקומות חנייה

במידה ועורך הדו"ח כולל כחלק מהתועלת העקיפות תועלות מאי בניית מקומות חניה יחושב ערך החסכון בהתאם לעלות מקום חניה תת-קרקעית (ללא קרקע): \$ 10,000-15,000 למקום. יש להתחשב בחסכון במקומות חניה כאשר הנת"צ משפר נגישות בתחבורה הציבורית למרכזים עירוניים גדולים.

## ו. ביקוש מאולץ קיבולת

התועלת למשתמשים כתוצאה מהגדלת הביקוש מאולץ הקיבולת תקבע תוך ביצוע תרגום לערך זמן נוסעים, בהתאם לנוסחה 5.1 להלן:

$$U = \Delta R \cdot ut_p \cdot k \quad 5.1$$

- כאשר:  $U$  - התועלת הכוללת למשתמשים כתוצאה משינוי בביקוש מאולץ קיבולת (ש"ח)  
 $\Delta R$  - שינוי בביקוש מאולץ הקיבולת (כמות כלי רכב בתקופת הניתוח)  
 $ut_p$  - ערך זמן לנוסע בודד (ש"ח לשעה)  
 $k$  - מקדם הנע בתחום בין 1.5 ל-4.0

ערכו של מקדם  $k$  לא נקבע במדויק בנוהל פר"ת כתוצאה מחוסר ניסיון מספיק בשימוש. בשלב זה מומלץ, בהערכת פרויקטים תחבורתיים, להשתמש בערך  $k=3.0$ .

## ז. מחיר הון - שער ריבית להיוון

ככלל שער הריבית להיוון בבדיקות כלכליות הינו 7% (על פי נוהל פר"ת), אך יש לבצע ניתוחי רגישות עבור 5% ו-9%.

## ח. עדכון ערכים כלכליים

כל הערכים הכלכליים יוצגו בש"ח לפי בסיס אחיד. על מנת להביא את הערכים הכלכליים לבסיס זהה יש לתאם את מחירי העבר לפי שינויים במדד המחירים לצרכן. יוצאים מן הכלל הינם ערכי עלויות ההקמה אשר אותם יש לתאם לפי מדד מחירי תשומה בסלילה, עלויות אכיפה המתעדכנות בהתאם לעדכוני משרד האוצר ומשטרת ישראל ועלויות תפעול כלי רכב המעודכנים על פי מדדים שונים בהתאם למרכיבי הפונקציה.

## 6 . הערכה סביבתית של נת"צים

### 6.1 . כללי

הקצאת נתיבים מיוחדים לאוטובוסים, מוניות ולרכב רב נוסעים, באה לעודד נסיעה ברכב ציבורי (או רכב רב תפוסה), ולצמצם ככל האפשר נסיעה של נוסע יחיד ברכב. ההנחה הבסיסית ביסוד הרעיון של עדיפות לנתיב מיוחד היא שיפור ברמת השירות של התחבורה הציבורית, ואולי גם ירידה ברמות הרעש, זיהום האוויר והשלכות סביבתיות אחרות. נושא זה מחייב בדיקה מעמיקה, ויותר מכך מחייב פיתוח כלים להערכה סביבתית של פליטות זיהום אויר מכלי הרכב בנתיב המיוחד.

להערכת מחברי הדו"ח השפעת הנת"צ על שינוי במפלס הרעש הינה זניחה וזאת בגלל:

1. נת"צים מופעלים לרוב בתחום עירוני במשולב עם התחבורה הפרטית. שינוי הרכיב התנועה בין הנתיבים אינו גורם מובהק להקטנת הרעש.
2. מהירויות התנועה של התחבורה הציבורית בנת"צ נעות סביב 30-40 קמ"ש, מהירויות התנועה של הרכב הפרטי נמוכות הרבה יותר. בהפרשי מהירויות אלה השינוי במפלס הרעש, כתוצאה מהפעלת הנת"צ אינו מובהק.
3. ההבדל העיקרי במהירות התנועה בנת"צ למהירות בנתיב תנועה רגיל הינה בשעות השיא. בשעות אלה ממילא תקני הרעש פחות מחמירים מאשר בשעות השפל בלילה, בהן לנת"צים אין כל השפעה.

מסיבה זו, בעבודה זו תוצג מתודולוגיה להשוואה בין רמות זיהום האוויר מכלי רכב הנוסעים במספר נתיבים עבור שתי חלופות: חלופה הכוללת נת"צ וחלופה ללא נת"צ. ההשלכות הכלכליות בשיפור ברמת פליטת המזהמים, במידה וקיימות, אינן ודאיות ומטרת הערכה הסביבתית היא לעזור בבחירה בין פרויקטים בעלי מאפיינים, תחבורתיים וכלכליים דומים.

למיקום צוואר הבקבוק כתוצאה מהפעלת הנת"צ יכולה להיות השפעה נקודתית על שימושי הקרקע הגובלים. במקומות בהם קיים חשש, למפגע סביבתי נקודתי כתוצאה מהפעלת הנת"צ, בדיקה מקומית יכולה גרום לשינוי ולהתאמת התכנון.

### 6.2 . זיהום אויר מרכב מנועי

זיהום אויר הנגרם ממקורות נייחים גדולים (תחנות כוח, בתי זיקוק לנפט, מפעלי מלט, מפעלי תעשייה...) מטופל באופן יחסי בצורה אינטנסיבית הן במסגרת החוק למניעת מפגעים או במסגרת החוק לרישוי

עסקים. אך פליטות זיהום אויר מרכב מנועי, הנחשבות לגורם העיקרי בזיהום האוויר באזורים עירוניים צפופים, זכו רק לאחרונה להתייחסות מתאימה מצד הרשויות:

- א. בסוף שנות ה-80 ירדה תכולת העופרת בבנוזין מ-0.42 גרם לליטר ל-0.30 ואח"כ ל-0.15 גרם לליטר.
- ב. התקנת ממירים קטליטיים ברכב בנוזין חדש החל משנת 1994, ודרישה כי הרכב החדש יעמוד בתקנות של השוק האירופאי המשותף. יעילות הממיר הקטליטי היא כ-85% בהרחקת פחמן חד-חמצני ופחמימנים, ו-63% בהרחקת תחמוצות החנקן. רכב עם ממיר קטליטי צורך בנוזין נטול עופרת ולכן יש שיפור ניכר גם בנושא זה.
- ג. הקצאת נתיבים מיוחדים לתחבורה ציבורית באזורים עירוניים על מנת לעודד את המעבר לנסיעה ברכב ציבורי. נושא זה לא נבדק מבחינת היעילות הסביבתית שלו.

בערים הגדולות בישראל ובעיקר בגוש דן, פליטות מזהמים מרכב מנועי הן המקור העיקרי לזיהום האוויר בערים אלה. הן תורמות לריכוזים הגבוהים של תחמוצות חנקן באוויר, חומרים אורגניים נדיפים ופחמן חד-חמצני. מזהמים אלה בנוכחות קרינת שמש יוצרים מזהמים שניוניים כגון האוזון, מזהם הפוגע בצורה קשה ביותר בראות האטמוספירה, בצמחיה ובאדם. כלי רכב בעלי מנוע בנוזין תורמים יותר לזיהום האוויר הן משום מספרם הרב והן משום כמות פליטות המזהמים הגבוהה המאפיינת את מנוע הבנוזין. במאמר סגור כדאי לציין ששרפת הדלקים ברכבים תורמת לפליטה משמעותית גם של  $CO_2$ , גז אשר עלול להשפיע על התחממות כדור הארץ בעתיד.

התורמים העיקריים המשפיעים על ריכוזי מזהמים מכלי רכב בקרבת הכביש הם:

- א. קצב פליטת המזהמים מכלי רכב שונים (ביחידות של גרם זיהום ליחידת זמן או ליחידת מרחק).
- ב. נפח והרכב התנועה בשעת שיא ובשעה ממוצעת.
- ג. תנאי הפיזור המזהמים בקרבת הכביש (גיאומטרית הרחוב, תנאים מטאורולוגיים וכו'...) בשעת השיא (שעות העומס בבוקר) ובשעה אופיינית (שעות הצהריים).

לכן להערכת ההשפעה של נתיב מיוחד לרכב ציבורי או לרכב רב נוסעים על איכות האוויר בקרבת הנתיב, או בכלל באזור, צריך כלים המאפשרים לכמת את שלשת הסעיפים לעיל, כגון שימוש במודלים לחישוב הריכוזים משני צידי הכביש, והשוואת הריכוזים המחושבים לתקני איכות אויר המעודכנים לאותה עת (כיום תקנות איכות אויר - 1992). מאחר שתקני איכות אויר בישראל לתחמוצות החנקן ולפחמן חד-חמצני מתייחסים לפרקי זמן של מחצית השעה, הרי שהערכות הריכוזים יתייחסו גם הם לפרק זמן זה (או כפולה פשוטה שלו).

### 6.3 . נפח התנועה בנתיב לתחבורה ציבורית

על מנת להעריך את כלל הפליטות של מזהמים באזור נסיעה נתון יש להכפיל את נפח התנועה בכל נתיב, ולכל סוג רכב (בנוזן, דיזל, רכב קטן רכב גדול) במקדמי הפליטה המתאימים, עבור חלופה עם נת"צ וחלופה ללא נת"צ. החישובים לקצבי פליטות המזהמים יעשו עבור כל נתיב ונתיב בנפרד. מקדמי הפליטה לסוגי הרכב השונים מסוכמים בהרחבה בנספח ה' לחלק זה של ההנחיות.

מאחר שתקני איכות האוויר מתייחסים לפרק זמן מוגדר של חצי שעה, כלומר ריכוז המזהמים המחושב מנתיבי הנסיעה בחלופות השונות צריך להיות נמוך מערך התקן, מומלץ להתחשב, לצורך ההערכה הסביבתית, בנפח התנועה לשעת השיא בלבד. יש להדגיש כי בשעת הבוקר התנאים המטאורולוגיים (מצב יציבות מטאורולוגית ורוח חלשה) יוצרים ריכוזים גבוהים יותר, ואילו בשעות הצהריים אותן פליטות יוצרות ריכוזים נמוכים יותר.

מכל הבחינות לעיל שעת השיא בבוקר היא השעה העדיפה, לגביה יש לעשות את כל חישובי הריכוזים עבור שתי החלופות. לצורכי השוואה אפשר לחשב את הריכוזים של המזהמים מרכב מנועי גם עבור שעה אופיינית ביום.

### 6.4 . מודלים להערכת ריכוזי מזהמים

נכון להיום, קיים מידע רב ומבוסס על אופן הפיזור וההסעה של המזהמים מרגע שנפלטו מכלי רכב בנתיב נתון ועד לאזור בו מצויים אנשים אשר עלולים להיות מושפעים מהמזהמים. מידע זה כלול במודלי פיזור מתמטיים-מטאורולוגיים, אשר מחשבים את הריכוזים במורד הרוח כפונקציה של התנאים המטאורולוגיים.

בספרות המקצועית מתועדים באופן מעמיק מודלים שונים, אולם בהנחיות אלה יבחנו שני מודלים כדלהלן:

א. מודל Hiway-2 המבוסס על המודל של Petersen (1980), והינו מודל גאוסי המומלץ לשימוש על ידי הרשויות האמריקאיות. זהו מודל פשוט ביותר.

ב. מודל Caline-4 אשר פותח במשרד התחבורה של מדינת קליפורניה, והינו מודל מורכב יותר המתחשב לא רק בקצבי הפליטה מהמכוניות, אלא גם בגיאומטריה של הכביש והצמתים, ובריאקציות כימיות של המזהמים באטמוספירה של תחמוצות החנקן.

מודל הפיזור המומלץ לבחינת פרויקט המשלב נת"צ הינו מודל Caline-4, המהווה מהדורה משופרת יותר של המודל Caline-3, שפותח ע"י Benson בארה"ב (Benson, 1984), ועודכן מחדש בשנת 1989. ניתן לקבל את המודל מ-Department of Transportation, Division of New Technology and Research שבמדינת

קליפורניה. המודל הינו מודל פיזור מזהמים ממקור קווי, המשתמש במקדמי פליטה, בגיאומטריה הכביש ובמטאורולוגיה של האזור על מנת לחזות את ריכוזי המזהמים לצידי הדרכים. התוכנה מחשבת את ריכוזי המזהמים עבור CO, NO<sub>2</sub> וחלקיקים מרחפים. האופציות של מודל זה כוללות חיזוי ריכוזים בקרבת צמתים, במגרשי חנייה ובכבישים מוגבהים או מונמכים. למודל רגישות גבוהה למספר רב של פרמטרים. לתכנה Caline-4 אופציות חישוביות רבות יותר, בהשוואה למודל Hiway-2 שהינו מודל גאוסי סטציונרי, המאפשר חישוב ריכוזי המזהמים הנפלטים מכלי רכב הנעים בכביש לא מוגבה בדרך בין עירונית.

מודל Hiway-2, מבוסס על נוסחאות הפיזור של פסקויל למקור קוי. המודל מתייחס לטופוגרפיה לא מסובכת. כל נתב בדרך המוצעת מחושב כאלמנט סופי, הפולט בצורה אחידה לאורך הנתב את המזהמים. הריכוזים המחושבים מייצגים ריכוזים לפרקי זמן קצרים של כשעה, והם מתקבלים מאינטגרציה של הריכוזים מהנתיבים ומקטעי הדרכים השונים.

המודלים Caline-4 ו-Hiway-2 מאפשרים:

- להתחשב בטורבולנציה הנגרמת על ידי תנועת המכוניות.
- לחשב ריכוזים בתנאי עוצמות רוח חלשות ביותר.
- סימולציה טובה יותר של הפיזיקה של הפיזור בדרך פתוחה או בדרך בין עירונית.
- חישוב ריכוזים בדיוק רב יותר בהשוואה למודלים דומים, אם כי דיוק זה הינו עד כדי פקטור של שניים.

הריכוזים במורד הרוח מקטע כביש  $dy$  ניתנים לחישוב בעזרת המודל הגאוסיני של פסקויל למקור קוי:

$$dc = \frac{q \, dy}{2\pi\sigma_y \sigma_z \bar{u}} \left[ \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \right] \left[ \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \quad 6.1$$

כאשר:

- $dc$  - תוספת הריכוז מקטע  $dy$  של הכביש
- $q$  - קצב פליטת הזיהום ליחידת אורך של הכביש.
- $\bar{u}$  - מהירות רוח ממוצעת
- $H$  - גובה מקור הפליטה (אפשר לקרב לגובה אפס).
- $\sigma_y, \sigma_z$  - סטיית התקן של הפיזור בציר  $y$  וציר  $z$ . מערכת הצירים  $x, y, z$  כמו זו המתוארת בציר 6.1 כאשר  $x$  הינו הכיוון במורד הרוח,  $y$  הינו הכיוון הניצב, ו- $z$  הינו בכיוון הציר האנכי (מעל הקרקע).

ניתן לחשב את אינטגרל הריכוז C על ידי הנוסחה 6.2 כדלכמן :

$$C = \frac{A q}{2\pi \sigma_y \sigma_z u} \int_{y_1}^{y_2} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) dy \quad 6.2$$

הנוסחה מבטאת את ריכוז המזהם במורד הרוח עקב פליטות מזהמים בקטעים dy מ-  $y_1$  ועד  $y_2$  כאשר A הוא ביטוי קבוע ביחס ל-y. ניתן להניח כי קצב הפליטה ליחידת אורך של כביש (q) הינו קבוע, כאשר, q הינו סכום המכפלות ( $q_k$ ) של נפחי התנועה (Veh/hr, TV-traffic volume) במקדמי הפליטה, לכל סוגי הרכב בכל אחד מנתיבי הדרך, כמתואר בנוסחה 6.3 להלן :

$$q_k = \frac{EF_i (g / veh \cdot km) \cdot TV (Veh / hr)}{1000 m / km \cdot 3600 s / hr} \quad 6.3$$

כאשר :

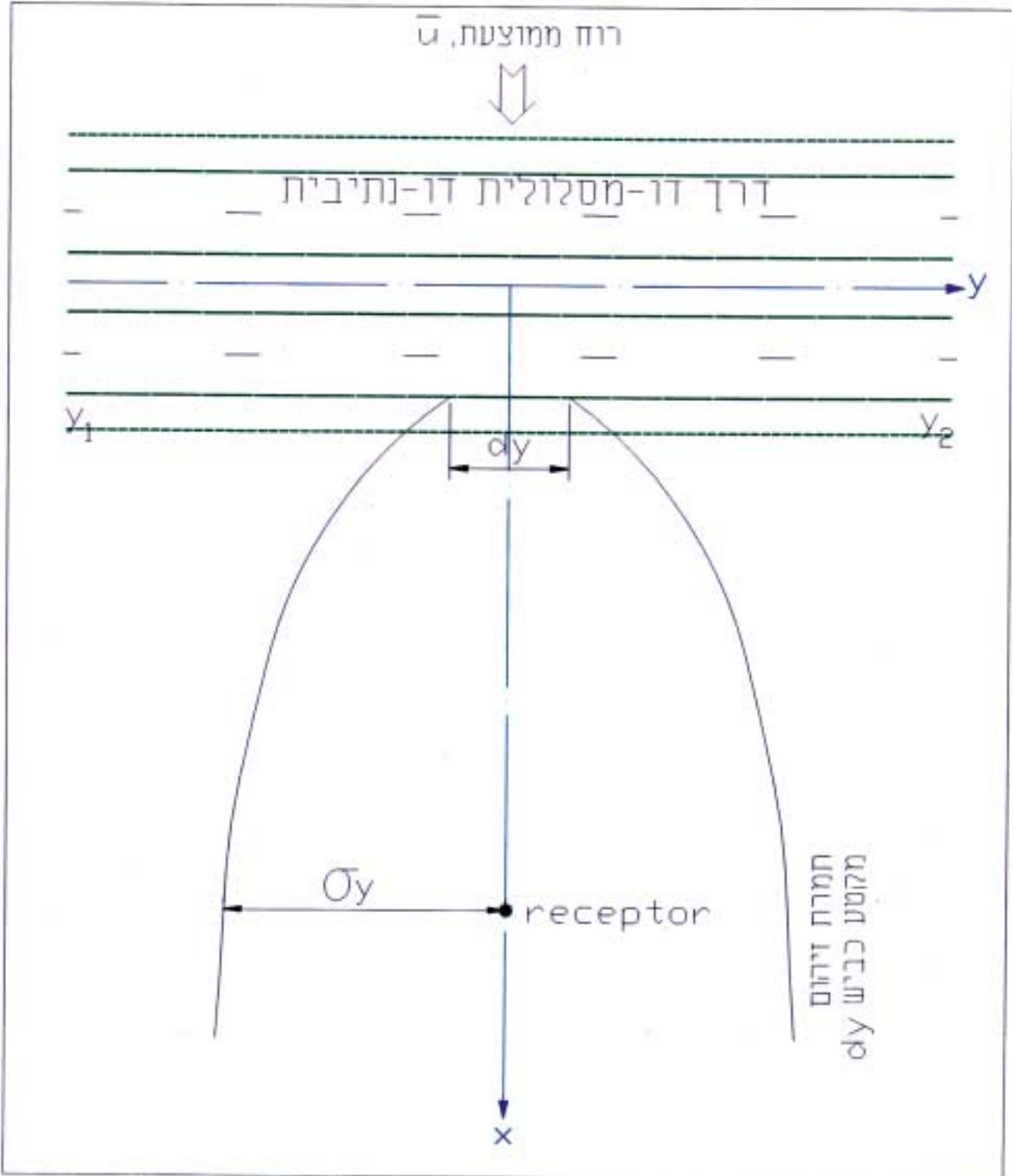
$q_k$  - קצב פליטת המזהם בנתיב k מכל סוגי הרכב הנעים בקט הדרך  $d_y$ .

למודלי הפיזור הגאוסיינים יש נטייה לחזות ריכוזים גבוהים יותר מן הנמדד במציאות. לרוב קיימת השפעה של הטופוגרפיה על ידי יצירת ערבול מכני המקטין את הריכוזים המחושבים. נושא זה מורכב ביותר ולא הוכנס למודלים של הערכות הריכוזים. בעיית השפעה של הטופוגרפיה על פיזור המזהמים לאורך הכביש, הינה שאלה מורכבת שיש לתת עליה את הדעת בכל מקרה לגופו.

נתוני הקלט במודלים כוללים :

- נתונים מטאורולוגיים, כגון : כוון רוח (מעלות) ומהירות הרוח (מ/ש) ;
- גובה שכבת העירוב (מ') - גורם שאינו משפיע בדרך כלל על הריכוזים המחושבים ;
- תנאי יציבות אטמוספריים (מצב יציבות A עד F).
- נתוני מקבל הזיהום כגון : קואורדינטות של המקבל (Receptor) מזרח וצפון לנקודת ייחוס (מ') ; גובה המקבל (מ').
- נתוני הדרך : קואורדינטות מזרח וצפון של קצות קטע הכביש (מ') ; גובה הכביש מעל לקרקע (מ') ; מספר הנתיבים ;
- עבור מודל Caline-4 ניתן להוסיף גם את הגיאומטריה של הצמתים.
- נתוני הפליטה : קצב הפליטה ליחידת אורך של הכביש עבור כל נתיב, או מכפלת נפח התנועה במקדם הפליטה (גרם לק"מ נסיעה לרכב).

ציור 6.1: סכימה של מערכת הצירים  $(y, x)$  קטע כביש דו-מסלולי  $y_1$  עד  $y_2$  ופלומת זיהום מקטע כביש  $dy$  המתפזרת במורד הרוח.



## 6.5 . בחירת המזהם הקריטי

המזהמים העיקריים הנפלטים מרכב מנועי הם פחמן חד-חמצני, תחמוצות חנקן, כלל פחמימנים וחלקיקים. מאחר ובשני המודלים הריכוז המחושב תלוי ליניארית בקצבי הפליטה, אין צורך לחשב את הריכוזים לכל המזהמים. מספיק להסתפק במזהם אחד כמדד למידת הבעיה או כמדד לרמת המזהמים הצפויה. היחס בין מקדם הפליטה של מזהם מסוים לערך התקן הישראלי לאותו מזהם (חצי שעותי, 100% של הזמן) מהווה מדד למידת חומרת ההשפעה של המזהם בו מדובר. חישוב היחס לגבי רכב בנוזן עבור שני המזהמים העיקריים מובא בטבלה 6.1 להלן:

**טבלה 6.1: מדד לבחירת המזהם הקריטי עבור השפעת תנועת רכב בכביש על הסביבה**

מזהם	מקדם פליטה היום	תקן ישראלי חדש	היחס
CO (היום)	37.2 גרם/ק"מ	60 מ"ג למ"ק	0.62
NO <sub>x</sub> (היום)	4.1 גרם/ק"מ	0.94 מ"ג למ"ק	4.40
CO (שנת 2000)	9.3 גרם/ק"מ	60 מ"ג למ"ק	0.155
NO <sub>x</sub> (שנת 2000)	1.9 גרם/ק"מ	0.94 מ"ג למ"ק	2.02

היחס הגבוה ביותר, וכן דרגת החומרה או חומרת ההשפעה של המזהם, מתקבל עבור תחמוצות חנקן גם היום וגם בעתיד. לגבי רכב דיזל כבד (משאיות, אוטובוסים) מתקבלים הערכים הבאים: 0.30 ו-16.0 עבור CO ו-NO<sub>x</sub> בהתאמה. מכאן כי לכל סוגי הרכב תחמוצות חנקן הינו המזהם הקריטי, ואם הריכוזים החזויים לגבי NO<sub>x</sub> יעמדו בתקן כי אז גם שאר המזהמים יעמדו בתקן. מסיבה זו מוצע להתמקד רק בחישובים עבור NO<sub>x</sub> בלבד.

## 6.6 . הנחיות מפורטות להערכה סביבתית של נת"צ (איכות אויר)

### א. כללי

סעיף זה מפרט את ההנחיות להערכת רמות זיהום האוויר מכבישים. החישובים יכולים להיות מבוצעים עבור חלופות הכוללת נת"צ וחלופות ללא נת"צ. הערכה סביבתית תבצע ע"י מהנדס או יועץ סביבתי בעל רקע באיכות אויר ובמטאורולוגיה, ובעיקר במודלים לפיזור מזהמים.

השוואה בין חלופות שונות יכולה להיעשות בשני אופנים :

א. השוואה יחסית, השוואה המתבססת על קצבי פליטות המזהמים,  $q$  (ללא חישובי ריכוזים) ;

ב. השוואה כמותית, השוואה בין הריכוזים המחושבים של מזהמי האוויר.

בנוסף ניתן להשוות את הריכוזים המחושבים לתקני איכות אויר ולבדוק באם הפליטות גורמות לחריגה מתקני איכות האוויר.

הערכת הריכוזים מתבססת על מידע מקיף הכולל:

א. תנאים מטאורולוגיים של האיזור ;

ב. נפחי התנועה לפי נתיבים, לפי סוגי הרכב והדלקים, ובהתאם לשעות היממה השונות ;

ג. הגיאומטריה של הכביש (רוחב ומספר הנתיבים, רוחב רצועת הפרדה, צמתים, כביש עילי או תחתית וכ'...).

ד. מיקום מקבל הזיהום (Receptor) ביחס לכביש.

בהתקבל מידע זה ניתן להשתמש בתכנה כמו Mobile 4.0 (או מהדורה מעודכנת יותר Mobile 5.0 או Mobile 6.0), או להשתמש בקצבי הפליטה כפי שתוארו בפרקים הראשונים, לחישוב קצבי הפליטה של המזהמים השונים לכל נתיב ונתיב בנפרד. על פי קצבי הפליטה ניתן לחשב בעזרת תוכנות לפיזור מזהמים כגון : Hiway-2 או Caline-4, את ריכוזי המזהמים החזויים בצדי הדרכים במרחקים שונים מהדרך.

את הריכוזים המחושבים (עם או בלי נת"צ) ניתן להשוות לתקני איכות אויר המקובלים בישראל (התקנים לפי החוק למניעת מפגעים תשכ"א - תקנות למניעת מפגעים (איכות אויר), תשנ"ב-ראה נספח ו' בהנחיות), ולבדוק באם פרוייקט המשלב נת"צ שיפר את איכות האוויר, ומהי מידת השיפור אם בכלל. מתודולוגית הבדיקה מתוארת בציר 6.2.

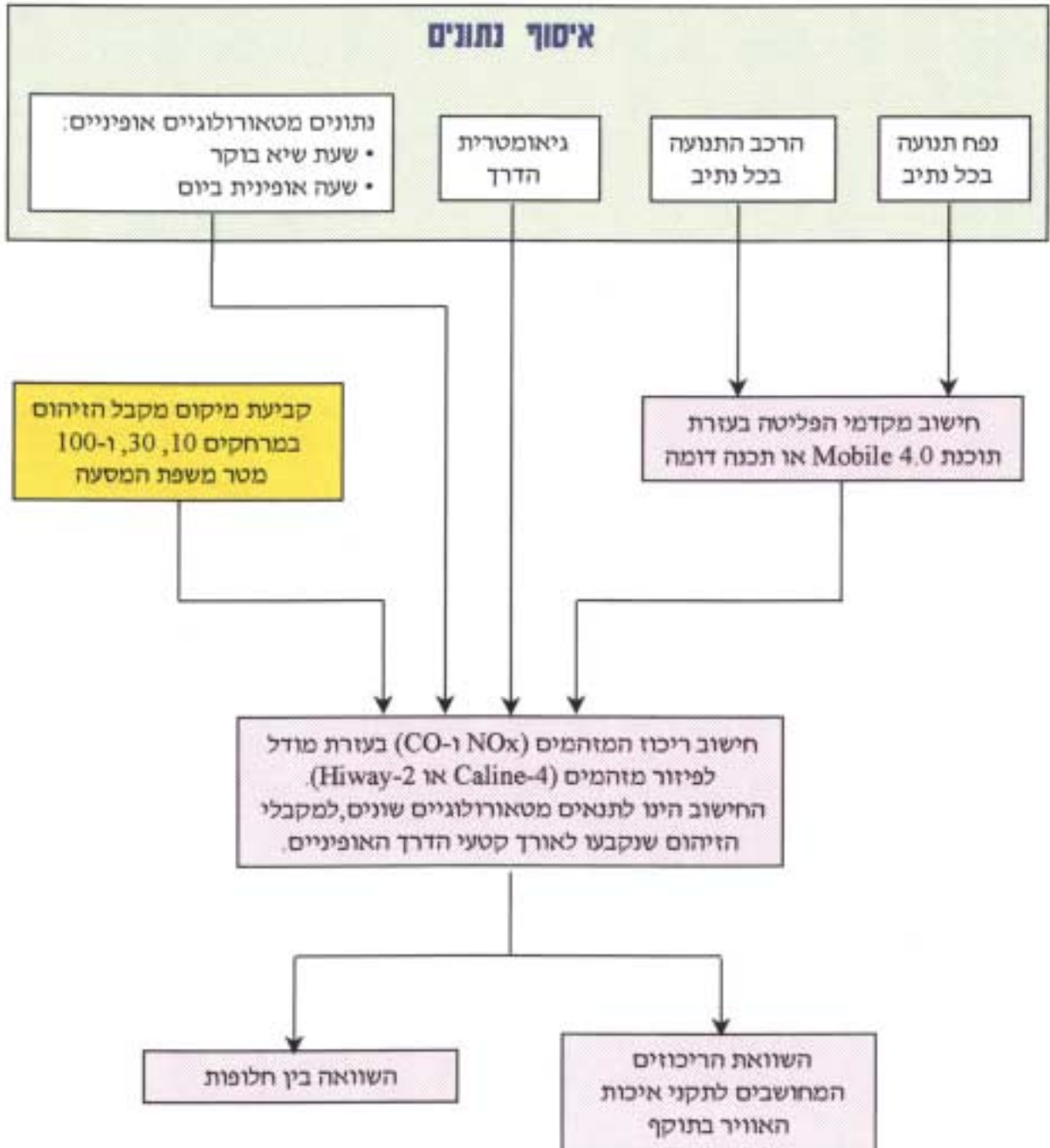
## ב. איסוף נתונים :

לפני תחילת ביצוע הערכה סביבתית יש לאסוף ולקבל את הנתונים המפורטים להלן :

1. נתונים גיאומטריים של הדרך :

- יש לקבוע מערכת צירים קרטזית  $(x, y)$ , ולבחור את ראשית הצירים בנקודה נוחה, כמו למשל באחד מקצוות הקטע המטופל  $(y$ -צפון,  $x$ -מזרח).
- יש להגדיר את מספר הנתיבים של הכביש ומיקומם במערכת הצירים, (כוון הנסיעה אינו חשוב מבחינת פיזור המזהמים), את רוחב רצועת הפרדה ומיקומה במערכת הצירים ואת גובה הכביש מעל פני הקרקע (או מתחת לקרקע, לגבי כביש משוקע כדוגמת צומת הכפר הירוק).
- יש להגדיר את מיקום הצמתים, את רוחבם, את גובהם מעל פני הקרקע (באם מדובר במיחלף).

צור 6.2: תרשים זרימה של השלבים לחישוב ריכוזי מזהמים בפרוייקטים תחבורתיים



## 2. נתונים על מיקום מקבל הזיהום :

- יש לקבוע את הקואורדינטות  $(x, y)$  של מקבל הזיהום (Receptor) ממזרח ומצפון לראשית הצירים. יש לקבוע את גובהו של מקבל הזיהום מעל פני הקרקע.
- יש לבדוק מקבל הזיהום הממוקם במרחק 10 מטר, 30 מטר ו-100 מטר, מקצה המסעה (בניצב לדרך).

## 3. נתונים מטאורולוגיים :

- יש לקבוע את הרוח האופיינית לשעות השיא של התנועה (בדרך כלל בשעות הבוקר) ולשעת היום (רק לצורך השוואה). נתונים על רוחות במקומות שונים בישראל ניתן למצוא באטלס האקלימי לתכנון פיסי וסביבתי בישראל (1991 עם עדכונים ב-1994).
- בשפלת החוף כוון הרוח בעונה החמה בשעות הבוקר הינו מדרום מערב עד דרום מזרח.
- בחורף נושבות רוחות מהגזרה הדרומית מזרחית.
- באזור בקעת הירדן הדרומית ובערבה הרוח הצפונית שכיחה במרבית ימי השנה.
- בעמקים שבגליל העליון והתחתון הרוח נושבת בבוקר לאורך הוואדיות והבקעות.
- יש לבחור לגבי כל אתר לפחות שני כווני רוח אופייניים ויש לשרטט את כוון הרוח במערכת הצירים של הכביש.
- עצמת הרוח לפיה יערך החישוב בשעות הבוקר תהיה בין 1 ל-2 מ/ש.
- גובה שכבת העירוב יקבע כ-1000 מ', כאשר יש להדגיש כי לערך זה אין השפעה גדולה על חישובי הריכוזים לגבי מקורות קרקעיים (כמו פליטה מרכב מנועי).
- יש לקבוע את מצב היציבות המטאורולוגי האופייני לשעות העומס בבוקר כמצב E או F. בשעות היום ניתן לבחור במצב יציבות B או C.
- הנתונים המטאורולוגיים ישמשו כנתוני קלט לחישוב שדה הריכוזים עבור 16 מצבים שונים (2-4 מצבי יציבות, 1-2 עצמת רוח שונות, 2 כווני רוח).

## 4. נתונים על נפחים והרכב התנועה :

- יש למצוא את נפח התנועה בשעת שיא (ולשם השוואה-בשעה ממוצעת ביום), ואת אחוז הרכב הכבד (משאיות ואוטובוסים דיזל), והחלוקה של הרכב הקל יותר לרכב בנזין ורכב דיזל. פירוט כזה דרוש לכל נתיב.
- מצא את אחוז רכב הבנזין שמוקן עליו ממיר קטליטי, או כל טכנולוגיה אחרת המצמצמת את פליטות המזהמים.

- בישראל סביר להניח כי בשנת 2000 בכ- 45%-50 מכלל רכב הבנוי יותקן ממיר קטליטי, ובשנת 2010 בכ-90%. אחוז הרכבים ללא ממיר קטליטי חשוב מאחר ורכב ישן יכול לפלוט מזהמים בכמות השקולה ל-10 מכוניות חדישות יותר.
- יש למצוא את מהירות הנסיעה הממוצעת בכל אחד מן הנהגים. מן הראוי להדגיש כי מקדמי הפליטה של מזהמים שונים אינם רגישים לסטיות של 10%-15% במהירות הנסיעה.

5. נתוני הפליטה של המזהמים:

- במרבית המקרים מוצע להתרכז בשני מזהמים עיקריים: CO ו-NOx. הראשון הוא גז רעיל שבמקומות צפופים יכול להגיע לריכוזים החורגים מן התקנים. במקומות פתוחים סביר להניח שהריכוזים יהיו נמוכים במידה ניכרת מתקני איכות אויר המקובלים למזהם זה. NOx הוא המזהם הבעייתי ביותר מבחינת עמידה בתקני איכות אויר, ולכן דגש רב יושם עליו בהערכת החישוביות. NOx משמש בעצם אינדיקטור להיווצרות ריכוזים גבוהים מפליטות הרכב.
- יש לחשב את קצבי הפליטה באמצעות התוכנה Mobile 4.0 (או מהדורה מעודכנת יותר), או על ידי שימוש בטבלאות של מקדמי פליטה לרכבים השונים שהוצגו בעבודה זו. החישוב יעשה לכל אחד מן הנהגים ולכל אחד מסוגי הרכב האופניים (כבד, פרטי, בנוזן, דיזל).
  - שימוש בתוכנת Mobile 4.0 מחייב ידע על שנת הדגם, מהירות נסיעת הרכב, ופרמטרים האופייניים יותר לארה"ב. מאחר שדרגת הבקרה ברכב ישראלי מאחרת במספר שנים, מומלץ להשתמש בקצבי הפליטה של מכוניות ישנות יותר בתוכנה (לפחות 10 שנים ישנות יותר).
  - לקבלת קצב הפליטה של מזהם נתון יש לכפול את מקדם הפליטה של רכב בודד (גרם לק"מ לרכב של מזהם מסויים), בנפח התנועה השעתי של כלי רכב מן הסוג הנבדק. קצב הפליטה הכולל לנהג יהיה הסכום של קצבי הפליטה מכלל כלי הרכב בנהג המסוים.

### ג. חישוב ריכוזי המזהמים

מומלץ להשתמש בתכנות לפיזור מזהמים בכבישים, כגון: Hiway-2 או Caline-4, לחישוב ריכוזי המזהמים במורד הרוח מקטע כביש נתון. הראשונה היא תכנה פשוטה יותר; האחרונה מאפשרת חישובי ריכוזים גם בצמתים והתחשבות בכימיה של תחמוצות החנקן באטמוספירה (בעיקר המעבר מ-NO ל-NO<sub>2</sub> כפונקציה של זמן ההסעה של המזהם במורד הרוח).

יש לחשב ריכוזים במספר נקודות בדיקה נבחרות (Receptor), או במרחקים של 10, 30 ו-100 מ' משפת הכביש. לריכוזים המחושבים יש להוסיף את ריכוזי הרקע של המזהם המסוים באזור, על פי מדידות

איכות האוויר באזורים עירוניים. לאחר הוספת ריכוז הרקע ניתן להשוות את התוצאות לתקני איכות אוויר הקיימים. התוצאות ידווחו על גבי טופס מספר 16 המצורף בנספח א' לחלק זה של ההנחיות.

יש לחזור על כל השלבים לעיל עבור כל קטע כביש שחל בו שינוי מהותי בנפח התנועה (למשל כתוצאה מקיום צומת גדול, התפצלות לכבישים, חניונים גדולים וכד'), או שינוי בהרכב התנועה (למשל הגדלת אחוז המשאיות/אוטובוסים). יש לערוך את חישובי הריכוזים עבור כל המצבים המטאורולוגיים השונים שתוארו לעיל.

בעת השוואת החלופות (הכוללות והלא כוללת נת"צ), מומלץ להתרכז בתוצאות שהתקבלו לשעת שיא בוקר, תחת הנחות של: תנאים מטאורולוגיים יציבים (מצב יציבות E/F), רוח חלשה (1-2 מטר לשניה) ואופיינית לשעות הבוקר, מבחינת הכוון, ומרחקים של 10 עד 100 מ' משפת המסעה.

#### ד. רמות השגיאה של הריכוזים המחושבים

הערכת ריכוזי מזהמי האוויר מכביש עם נתיב מיוחד מחייבת הנחות רבות, ושימוש במודלים מתמטיים-מטאורולוגיים עם רמת דיוק מוגבלת. אין ספק שאין צורך להתאמץ בפירוט רב של המידע המוזן למודלים (שני מודלים: חישוב מקדמי הפליטה וחישוב הריכוזים באוויר), כאשר למודלים יש רמת דיוק נמוכה. רמת הדיוק של התוצאה הסופית היא כסכום רמות הדיוק של כל השלבים שבדרך. הסכום יכול להתבטא כשורש סכום הריבועים, כסכום האבסולוטי של השגיאות, או כשגיאה המוחלטת הגדולה ביותר.

מן הראוי להדגיש כי רמת השגיאה של מודלי הפיזור (הן Caline-4 והן Hiway-2) המתבססים על משוואות פסקויל היא בין 20% ל-40%. רמת השגיאה המחשבת את מקדמי הפליטה של המזהמים השונים מכלי הרכב (Mobile 4.0), יכולה גם היא להגיע לערכים דומים. בנוסף Mobile 4.0 לא בהכרח מייצגת את קצבי הפליטות מהרכבים האירופאיים והיפניים שבישראל. שימוש בטבלאות של מקדמי הפליטה שהוצגו בעבודה זו לא משפרים במידה ניכרת את השגיאה.

שגיאות נוספות מצויות בנתוני נפח התנועה (המייצגים ימי מדידה מוגבלים) ובנתונים המטאורולוגיים. אם נעריך את השגיאות של הגורמים לעיל ב-30% ו-10%, הרי שהשגיאה המצטברת (שורש סכום הריבועים של השגיאות הבודדות) יכול להגיע ל-45%, וזוהי שגיאה לא מבוטלת.

מאחר והענין העיקרי בפרוייקט הנוכחי הינו השוואה בין רמות זיהום האוויר בין חלופות הרי שהשגיאה היחסית קטנה יותר במידה ניכרת. השגיאות המתייחסות למודלי הפיזור והתנאים המטאורולוגיים זהות בין החלופות כמו גם השגיאות בהערכת נפחי התנועה ומהירויות הנסיעה. סביר להניח כי בקביעת החלופה העדיפה מבחינה סביבתית, לא תתבצענה שגיאות ביותר מ-10% עד 15% מהמקרים.

**הנחיות לתכנון  
נתיבים לתחבורה ציבורית**

**נספחים**

## נספח א'

**טכסים להערכה תנועתית/כלכלית/סביבתית**

**של פרויקט בתחבורה ציבורית**

**טופס 1: תאור הפרוייקט והחלופות**

שם הפרוייקט: \_\_\_\_\_ שם המתכנן: \_\_\_\_\_  
 חלופה מספר: \_\_\_\_\_ משרד תכנון: \_\_\_\_\_  
 תאריך: \_\_\_\_\_

**א. נתונים כלליים**

סעיף	תאור
1. אופי השטח	עירוני / בין עירוני / בנוי / לא בנוי
2. סוג הכביש	ממוחלף/עורק פרברי/עורק עירוני/מאסף ראשי
3. אורך הקטע (ק"מ)	
4. מספר מסלולי נסיעה	
5. כיווני תנועה	חד-סטרי / דו-סטרי
6. מס' נתיבי נסיעה במסלול	
7. מספר הצמתים או המחלפים	
8. האם הפרוייקט משלב נת"צ	כן / לא
9. מטרת הפרוייקט	

**ב. תיאור נתיב לתחבורה ציבורית**

סעיף	תאור
1. סוג הנת"צ	עם כיוון התנועה / נגד כיוון התנועה / מת"צ / רת"צ
2. מיקום הנת"צ בכביש	
3. מס' הנתיבים המשמשים נת"צ	
4. כמות האוטובוסים בקווים הסדירים	
5. מספר מרבי של תחנות לכיוון	
6. מספר תחנות שלא בתוך מפרצים	
7. ימים ושעות בהן פועל הנת"צ	
8. הנת"צ משלב מוניות	כן / לא
9. הנת"צ משלב רכב רב-נוסעים	כן / לא
10. קיים שימוש בשיטות להעדפה ברמזורים	כן / לא
11. קימת הסגה (setback) לפני צמתים קריטיים	כן / לא

\* יש לפרט את מיקום הנת"צ ביחס לנתיבים הרגילים ואת שיטת התפעול, כמוסבר בחלק א' של ההנחיות.

## טופס 2: הערכה תנועתית של פרויקט תחבורתי

	:	שם המתכנן	:	
	:	משרד תכנון	:	
	:	שנה נבדקת	:	
	:	שעה נבדקת	:	

### א. זמני נסיעה ומהירויות למעבר מקטע

סעיף	אומדן
<b>1. זמן נסיעה ממוצע לרכב בקטע בין צמתים</b>	
1.1 זמן נסיעה בנת"צ	שעות
1.2 זמן נסיעה מחוץ לנת"צ	שעות
<b>2. עיכוב ממוצע לרכב במעבר צומת או מחלף</b>	
2.1 עיכוב לרכב הנע בנת"צ	שעות
2.2 עיכוב לרכב הנע מחוץ לנת"צ	שעות
<b>3. משך העצירה בתחנות</b>	
3.1 משך העצירה לאוטובוס	שעות
3.2 משך העצירה למונית	שעות
<b>4. זמן מעבר ממוצע כולל של הקטע</b>	
4.1 זמן מעבר ממוצע לאוטובוס	שעות
4.2 זמן מעבר ממוצע למונית	שעות
4.3 זמן מעבר לרכב רב-נוסעים	שעות
4.4 זמן מעבר לרכב אחר	שעות
<b>5. מהירות נסיעה ממוצעת למעבר הקטע</b>	
5.1 מהירות ממוצעת של אוטובוס	קמ"ש
5.2 מהירות ממוצעת של מונית	קמ"ש
5.3 מהירות ממוצעת של רכב רב-נוסעים	קמ"ש
5.4 מהירות ממוצעת של רכב אחר	קמ"ש

**טופס 2: הערכה תנועתית של פרויקט תחבורתי (המשך)**

שם הפרויקט: \_\_\_\_\_ שם המתכנן: \_\_\_\_\_  
 חלופה מספר: \_\_\_\_\_ משרד תכנון: \_\_\_\_\_  
 שלב מספר: \_\_\_\_\_ שנה נבדקת: \_\_\_\_\_  
 קטע מספר: \_\_\_\_\_ שעה נבדקת: \_\_\_\_\_

**ב. נתונים על נפחי התעבורה**

מקדם מילוי	מורשה לנוע בנת"צ	נפח תנועה שעתית	סוג הרכב
			1. אוטובוסים
			2. מוניות
			3. רכב כבד
			4. רכב פרטי
			5. % רכב המסיע 3 נוסעים
			6. % רכב המסיע 4 נוסעים ומעלה
			סה"כ נפח המורשה לנוע בנת"צ
			סה"כ נפח שאינו מורשה לנוע בנת"צ
			סה"כ נפח כולל בקטע

**ג. נתונים על תנועת אוטובוסים**

משך עמידה ממוצע משוקלל של אוטובוס בתחנה	ממוצע נוסעים משוקלל בשעה		מס' אוטובוסים עוצרים בשעה	תחנה מס'
	יורדים	עולים		
				1.
				2.
				3.
				4.
				5.
				6.

\* ממוצע משוקלל יביא בחשבון את מספר האוטובוסים בקו מסוים ( $N_B$ ) ואת מספר הנוסעים העולים (A) או היורדים (B) בכל קו בממוצע

$$\bar{A} = \frac{\sum N_B^i \cdot A^i}{\sum N_B^i}; \quad \bar{B} = \frac{\sum N_B^i \cdot B^i}{\sum N_B^i}$$

**טופס 3: ריכוז נתוני תנועה לצורך הערכת פרויקט תחבורתי**

שם הפרויקט : \_\_\_\_\_ : שם המתכנן \_\_\_\_\_  
 חלופה מספר : \_\_\_\_\_ : משרד תכנון \_\_\_\_\_  
 שלב מספר : \_\_\_\_\_ : שנה נבדקת \_\_\_\_\_  
 קטע מספר : \_\_\_\_\_ : שעה נבדקת \_\_\_\_\_

סה"כ	סוג הרכב					סעיף
	רכב אחר	רב-נוסעים	רכב כבד	מונית	אוטובוס	
						נפח תנועה שעתי
x						מקדם מילוי
						זמן למעבר קטע
x						מהירות נסיעה
						סה"כ שעות רכב
						סה"כ שעות נוסעים
						סה"כ שעות נהגים מקצועיים

**טופס 4: ריכוז השקעות**

שם הפרויקט: \_\_\_\_\_ : שם המתכנן \_\_\_\_\_  
 חלופה מספר: \_\_\_\_\_ : משרד תכנון \_\_\_\_\_  
 שלב מספר: \_\_\_\_\_ : תאריך \_\_\_\_\_  
 קטע מספר: \_\_\_\_\_

סעיף	עלות (ש"ח)	ראשוני/מפורט/תוצאות מכרז
<b>1. הנדסת דרכים</b>		
1.1 עבודות עפר		
1.2 עבודות מצע ותשתית		
1.3 עבודות בשכבה נושאת		
1.4 מבנים תומכים ועבודות ביסוס		
1.5 עבודות ניקוז		
1.6 גשרים, מחלפים וקונסטרוקציה		
1.7 העתקת תשתיות ופינוי מטרדים		
<b>סה"כ לסעיף 1</b>		
<b>2. הנדסת תנועה</b>		
2.1 רמזורים ומתקני בקרה		
2.2 תמרור וצביעה		
2.3 גדרות ומעקות בטיחות		
2.4 תאורה		
<b>סה"כ לסעיף 2</b>		
<b>3. עלויות נלוות</b>		
3.1 גינון		
3.2 מיגון אקוסטי		
3.3 עלויות מתקני אכיפה		
<b>סה"כ לסעיף 3</b>		
<b>4. שונות</b>		
4.1 תכנון, פיקוח וניהול		
4.2 פינויים והפקעות (עלות ישירה)		
4.3 בלתי צפוי מראש*		
<b>סה"כ לסעיף 4</b>		
<b>סה"כ כללי</b>		

\*שיעור הבצ"מ יחושב כפונקציה של רמת התכנון בהתאם למוצע משוקלל של המרכיבים השונים.

**טופס 5: ריכוז עלויות אחזקה, תפעול ואכיפה**

שם הפרויקט: \_\_\_\_\_ שם המתכנן: \_\_\_\_\_  
 חלופה מספר: \_\_\_\_\_ משרד תכנון: \_\_\_\_\_  
 שלב מספר: \_\_\_\_\_ תאריך: \_\_\_\_\_  
 קטע מספר: \_\_\_\_\_

רמת דיוק	עלות שנתית (ש"ח)	סעיף
		<b>אחזקה</b>
		צביעה ותימרור
		רמזורים ותימרור מתחלף
		אביזרים לאכיפה
		תאורה
		אחזקת מסעה
		<b>תיפעול</b>
		<b>אכיפה</b>
		<b>סה"כ כללי</b>

**טופס 6: סה"כ אומדני עלויות**

שם הפרויקט: \_\_\_\_\_ : שם המתכנן \_\_\_\_\_  
 חלופה מספר: \_\_\_\_\_ : משרד תכנון \_\_\_\_\_  
 שלב מספר: \_\_\_\_\_ : תאריך \_\_\_\_\_  
 קטע מספר: \_\_\_\_\_

עלויות במחירי שנת בסיס				שנה
סה"כ	אכיפה	אחזקה	הקמה	
				.1
				.2
				.3
				.4
				.5
				.6
				.7
				.8
				.9
				.10
				.11
				.12
				.13
				.14
				.15
				סה"כ

**טופס 7: שינויים בזמן נוסעים**

שם הפרויקט: \_\_\_\_\_ : שם המתכנן \_\_\_\_\_

חלופה מספר: \_\_\_\_\_ : משרד תכנון \_\_\_\_\_

שלב מספר: \_\_\_\_\_ : שנה נבדקת \_\_\_\_\_

קטע מספר: \_\_\_\_\_

הפרש בשעות נסיעה		שעות אדם		שעות אדם		אחוז נוסעים בענייני עבודה	מקדם מילוי	רשאי לנוע בנת"צ (כ/לא)	סוג הרכב	תקופת היום	
		אם פרויקט	אחר	ללא פרויקט	אחר					משקל מהסה"כ היומי	שעות היום
אחר	עבודה	אחר	עבודה	אחר	עבודה						
									אוטובוס		שעות שיא בוקר
									מונית		
									רכב כבד		
									רב-נוסעים		
									אחר		
									אוטובוס		שעות לא שיא באמצע היום
									מונית		
									רכב כבד		
									רב-נוסעים		
									אחר		
									אוטובוס		שעות שיא אחה"צ
									מונית		
									רכב כבד		
									רב-נוסעים		
									אחר		
											סה"כ יומי
											סה"כ שנתי

**טופס 8: שינויים ברמת אמינות השירות**

שם הפרויקט: \_\_\_\_\_ שם המתכנן: \_\_\_\_\_  
 חלופה מספר: \_\_\_\_\_ משרד תכנון: \_\_\_\_\_  
 שלב מספר: \_\_\_\_\_ שנה נבדקת: \_\_\_\_\_  
 קטע מספר: \_\_\_\_\_

**א. אמינות משך הנסיעה**

הפרש בשעות המתנת נוסעים		שעות אדם עם פרויקט		שעות אדם ללא פרויקט		אחוז נוסעים בענייני עבודה	מספר נוסעים ממוצע בנת"צ	תקופת היום	
								משקל מהסה"כ היומי	שעות היום
אחר	עבודה	אחר	עבודה	אחר	עבודה				
									שעות שיא בוקר
									שעות לא שיא באמצע היום
									שעות שיא ערב
									סה"כ יומי
									סה"כ שנתי

**ב. אמינות הגעת הקוים לתחנות**

הפרש בשעות המתנת נוסעים		שעות אדם עם פרויקט		שעות אדם ללא פרויקט		אחוז נוסעים בענייני עבודה	מספר נוסעים עולים בתחנות	תקופת היום	
								משקל מהסה"כ היומי	שעות היום
אחר	עבודה	אחר	עבודה	אחר	עבודה				
									שעות שיא בוקר
									שעות לא שיא באמצע היום
									שעות שיא ערב
									סה"כ יומי
									סה"כ שנתי

**טופס 9: שינויים בעלויות התפעול של כלי רכב**

שם הפרויקט : \_\_\_\_\_  
 שם המתכנן : \_\_\_\_\_  
 חלופה מספר : \_\_\_\_\_  
 משרד תכנון : \_\_\_\_\_  
 שלב מספר : \_\_\_\_\_  
 שנה נבדקת : \_\_\_\_\_  
 קטע מספר : \_\_\_\_\_

שינוי בהוצאות תפעול (ש"ח)	הוצאות תפעול (ש"ח)		מהירות נסיעה (קמ"ש)		רשאי לנוע בנת"צ (כ/לא)	סוג הרכב	תקופת היום	
	עם פרויקט	ללא פרויקט	עם פרויקט	ללא פרויקט			משקל מהסה"כ היומי	שעות היום
						אוטובוס		שעות שיא בוקר
						מונית		
						רכב כבד		
						רב-נוסעים		
						אחר		
						אוטובוס		שעות לא שיא באמצע היום
						מונית		
						רכב כבד		
						רב-נוסעים		
						אחר		
						אוטובוס		שעות שיא אחה"צ
						מונית		
						רכב כבד		
						רב-נוסעים		
						אחר		
								סה"כ יומי
								סה"כ שנתי

**טופס 10: שינויים בתאונות דרכים**

שם הפרויקט: \_\_\_\_\_ שם המתכנן: \_\_\_\_\_  
 חלופה מספר: \_\_\_\_\_ משרד תכנון: \_\_\_\_\_  
 שלב מספר: \_\_\_\_\_ תאריך: \_\_\_\_\_  
 קטע מספר: \_\_\_\_\_

שנת תכנון	שינוי במספר תאונות צפוי לשנה						
	קטלנית	פציעה קשה	פציעה קלה	נזק בלבד	קטלנית	פציעה קשה	פציעה קלה
בסיס							
5							
10							
15							

**טופס 11: שינוי בפיצול נסיעות ובביקוש מאולץ הקיבולת**

שם הפרויקט: \_\_\_\_\_ שם המתכנן: \_\_\_\_\_  
 חלופה מספר: \_\_\_\_\_ משרד תכנון: \_\_\_\_\_  
 שלב מספר: \_\_\_\_\_ תאריך: \_\_\_\_\_  
 קטע מספר: \_\_\_\_\_

שנת תכנון	כמות נוסעים ללא פרויקט		כמות נוסעים עם פרויקט		שינוי ביקוש מאולץ הקיבולת	
	רכב פרטי	תח"צ	רכב פרטי	תח"צ	רכב פרטי	תח"צ
בסיס						
5						
10						
15						

**טופס 12: סיכום התועלות בפרוייקט - באלפי ש"ח**

שם הפרוייקט: \_\_\_\_\_ : שם המתכנן \_\_\_\_\_  
 חלופה מספר: \_\_\_\_\_ : משרד תכנון \_\_\_\_\_  
 שלב מספר: \_\_\_\_\_ : תאריך \_\_\_\_\_  
 קטע מספר: \_\_\_\_\_

שנת תכנון	שינוי בזמן נוסעים	שינוי בזמן המתנה בתחנות	שינוי בעלויות תפעול	שינוי בתועלות עקיפות	שינוי בתאונות דרכים	סה"כ תועלות
.1						
.2						
.3						
.4						
.5						
.6						
.7						
.8						
.9						
.10						
.11						
.12						
.13						
.14						
.15						

**טופס 13: תזרים עלויות ותועלות נטו**

שם הפרויקט: \_\_\_\_\_ : שם המתכנן \_\_\_\_\_  
 חלופה מספר: \_\_\_\_\_ : משרד תכנון \_\_\_\_\_  
 שלב מספר: \_\_\_\_\_ : תאריך \_\_\_\_\_  
 קטע מספר: \_\_\_\_\_

שנת תכנון	עלויות הקמה	עלויות אחזקה ותפעול	סה"כ עלויות	סה"כ תועלות	סה"כ תזרים נטו	תזרים מהוון	תזרים מהוון מצטבר
.1							
.2							
.3							
.4							
.5							
.6							
.7							
.8							
.9							
.10							
.11							
.12							
.13							
.14							
.15							
סה"כ							
סה"כ בערך נוכחי							

**טופס 14: ריכוז מדדים כלכליים**

שם הפרויקט: \_\_\_\_\_ שם המתכנן: \_\_\_\_\_  
 חלופה מספר: \_\_\_\_\_ משרד תכנון: \_\_\_\_\_  
 שלב מספר: \_\_\_\_\_ תאריך: \_\_\_\_\_  
 קטע מספר: \_\_\_\_\_

פרמטר		ערך
<b>נתונים כלליים</b>		
שער ריבית להיוון		X%
שנת בסיס למחירים		שנה/חודש
תאריך תחילת עבודה		שנה/חודש
תאריך פתיחת הפרוייקט		שנה/חודש
אורך הבדיקה הכלכלית		X שנים
ערך הזמן לנסיעות בענייני עבודה	X ש"ח בשנת פתיחה	שיעור גידול שנתי
ערך הזמן לנסיעות שלא בענייני עבודה	X ש"ח בשנת פתיחה	שיעור גידול שנתי
<b>ערכים כלכליים מצרפיים</b>		
עלויות הקמה	סה"כ עלות	סה"כ עלות בערך נוכחי
עלויות אחזקה	סה"כ עלות	סה"כ עלות בערך נוכחי
עלויות אחרות	סה"כ עלות	סה"כ עלות בערך נוכחי
סה"כ עלויות	סה"כ עלות	סה"כ עלות בערך נוכחי
<b>מדדי הערכה</b>		
ערך נוכחי נקי		
שיעור תשואה פנימי		
יחס תועלת-עלות		
שנה ראשונה לכדאיות		
שנת החזר ההשקעה		

**טופס 15: ניתוח רגישות לפרמטרים כלכליים**

שם הפרויקט: \_\_\_\_\_ : שם המתכנן \_\_\_\_\_  
 חלופה מספר: \_\_\_\_\_ : משרד תכנון \_\_\_\_\_  
 שלב מספר: \_\_\_\_\_ : תאריך \_\_\_\_\_  
 קטע מספר: \_\_\_\_\_

מבחן רגישות	שינוי	ערך נוכחי נקי	שיעור תשואה פנימי	יחס תועלת-עלות	שנת החזר ההשקעה
מצב בסיס					

**טופס 16: הערכה סביבתית של פרויקט**

שם הפרויקט: \_\_\_\_\_ : שם המתכנן \_\_\_\_\_  
 חלופה מספר: \_\_\_\_\_ : משרד תכנון \_\_\_\_\_  
 שלב מספר: \_\_\_\_\_ : תאריך \_\_\_\_\_  
 קטע מספר: \_\_\_\_\_

טבלת ריכוז מזהמים לשעה: \_\_\_\_\_

תקן פליטת מזהמים (מ"ג/מ"ק)		ריכוז מזהמים כולל זיהומי רקע (מ"ג/מ"ק)		ריכוז מזהמים ללא זיהומי רקע (מ"ג/מ"ק)		מיקום מקבל הזיהום מציר הדרך (מטר)
CO	NOx	CO	NOx	CO	NOx	
						-100
						-30
						-10
						+10
						+30
						+100

**מסקנות והמלצות**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## נספח ב'

זמן למעבר קטעי דרך

בין צמתים

מהירות זרימה בקטע דרך מושפעת מצפיפות הצמתים המרומזרים והמחלפים לאורכו. השפעת צמתים לא מרומזרים, על מהירות הזרימה, קיימת, במיוחד בצפיפות תנועה גבוהה בדרך הראשית, אולם לא מובא נוהל מסודר ב-HCM, המאפשר לכמת השפעה זו.

זמן המעבר של קטע בין שני צמתים מחושב על פי מהירות הזרימה בקטע המתוארת בטבלה, עבור נפחי תנועה נמוכים.

**טבלה ב.1: אומדן למהירויות זרימה לאורך קטעי רחוב**

דרך פרברית			עורקי			מאסף			סוג הרחוב
75	65	55	60	55	50	55	50	40	מהירות זרימה חופשית מרבית (קמ"ש)
מהירות זרימה משוערת בקטע $S$ (קמ"ש)									אורך הקטע בין צמתים $L$ (ק"מ)
-	-	-	-	-	-	-	27	23	0.1
-	-	-	-	41	39	38	35	29	0.2
-	50	46	48	45	43	44	41	34	0.3
55	53	49	50	48	46	47	44	38	0.4
58	55	52	53	52	48	51	47	40	0.5
60	58	54	56	55	50	55	50	.	0.6
63	61	55	60	.	.	.	.	.	0.7
66	62	.	.	.	.	.	.	.	0.8
68	64	.	.	.	.	.	.	.	0.9
71	65	.	.	.	.	.	.	.	1.0
74	.	.	.	.	.	.	.	.	1.1
75	65	55	60	55	50	55	50	40	1.2

## נספח ג'

ע'כוב וק'בולת בצומת מרומזר

## ג.1. כללי

מודל לחישוב העיכוב בצמתים מרומזרים נכלל ב- Highway Capacity Manual מאז שנת 1985. המודל יושם בתחילה בעיקר עבור תנאי זרימה חופשית, עם הרחבה מקורבת למקרים של גודש קל. פיתוח ועידון המודל נמשך, תוך הדגשה על שיפור אמדן העיכוב עקב תור. לצורך יישום במסגרת ההנחיות אנו ממליצים להשתמש בשיטה של Fambro et al (1997), המיועד להיכלל בגרסה הבאה של HCM.

היתרון העיקרי של המודל הוא בפשטות יישומו. המודל מתבסס על מספר הפשטות ומספק אמדן ישיר של העיכוב הממוצע, על סמך נתונים על מאפייני הקטע והזרימה. המודל אינו מצריך איסוף נתונים על התפלגות הביקוש בזמן הנדרשים בניתוח רקורסיבי. נתוני הקלט הדרושים למודל הינם:

1. נתונים על קיבולת הזרועות הנגזרות ממאפיינים גיאומטריים ואופן פעולת הרמזור;
2. נתונים על נפחי הביקוש;
3. משך תקופת הזרימה העודפת (תקופה במהלכה נבנה תור כלי הרכב ומגיע לערכו המרבי).

ההפשטות בבסיס המודל משפיעות גם על צורת פעולתו ותוצריו:

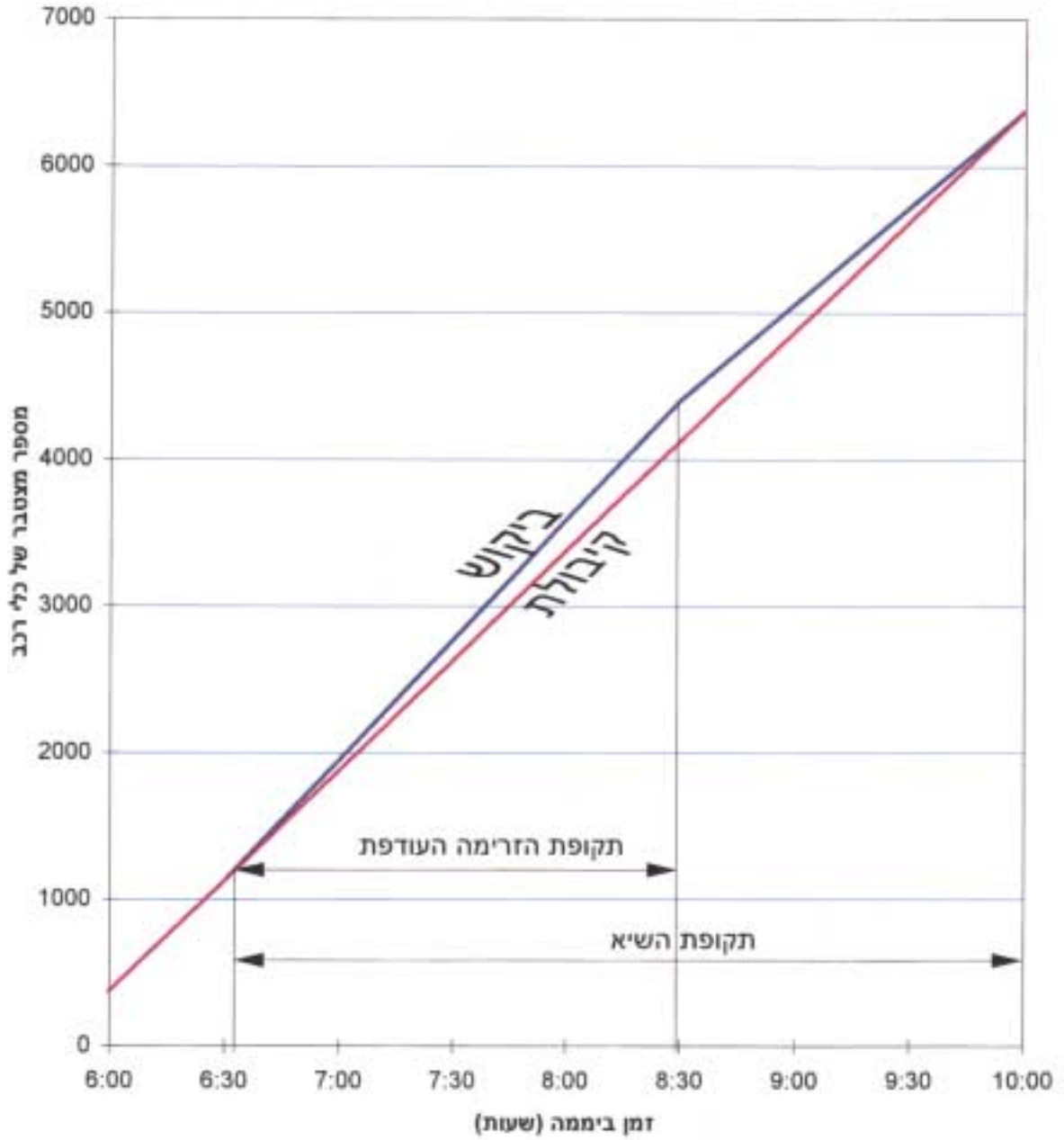
1. המודל מספק את אמדן העיכוב הממוצע לתקופה מאוד מסוימת, המכונה "תקופת הזרימה העודפת". זוהי התקופה בה נפח התנועה המגיע לצומת גדול מן הקיבולת (ראה ציור ג.1);
  2. המודל מניח כי במהלך תקופת הזרימה העודפת קצב הגעת כלי הרכב לצומת הינו קבוע;
  3. המודל מניח כי לפני תחילת הזרימה העודפת, אין תורים שיוריים בצומת.
- עקב הנחות אלו, המודל מאוד רגיש ליחס נפח-קיבולת בתקופת הזרימה העודפת וכן למשך תקופה זו. ביחסי נפח-קיבולת הקטנים מעט מ-1.0, העיכובים המחושבים נמוכים מאוד. העיכובים עולים בתלילות עם גידול קל בנפחים ועם התמשכות תקופת הזרימה העודפת.

תהליך החישוב של העיכוב הכולל לרכב בודד בצומת מרומזר כולל את השלבים הבאים:

1. חישוב זרימת הרוויה לקבוצות הנתיבים הנבדקות;
2. קביעת הקיבולת של קבוצת הנתיבים הנבדקת;
3. המרת הנפחים של סוגי הרכב השונים ליר"מ;
4. חישוב העיכוב הכולל לרכב בודד.

בהערכת פרויקטים המשלבים נת"צ מספיק לרוב לבצע הערכה של עיכובים לקבוצות הנתיבים היכולות להיות מושפעות מביצוע הנת"צ, בלבד.

ציון ג.1: תיאור גרפי של מודל התור המיושם ב-HCM 1997



ג.2 קביעת זרימת רוויה

זרימת רוויה הינו הנפח המרבי של כלי רכב פרטיים שמשוגל היה לעבור בקבוצת נתיבים אילו קבוצת נתיבים זו הייתה מקבלת ירוק מתמיד. חישוב זרימת הרוויה בקבוצת נתיבים מבוסס על הנחה של זרימת רוויה אידיאלית אפשרית של 1800 יר"מ לנתיב והכפלה במקדמי תיקון שונים, כמתואר בנוסחה ג.1 להלן:

$$s = s_0 \cdot N \cdot f_u \cdot f_w \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_a \cdot f_{RT} \cdot f_{LT} \quad \text{ג.1}$$

- כאשר:  $s$  - זרימת רוויה בקבוצת נתיבים (יר"מ לשעה)  
 $s_0$  - זרימת רוויה אידיאלית (1800 יר"מ לשעה)  
 $N$  - מספר נתיבים בקבוצת הנתיבים  
 $f$  - מקדמי תיקון שונים כמפורט בהמשך

$f_u$  - מקדם המתקן את זרימת הרוויה כתלות במספר הנתיבים בקבוצה. הערכים למקדם זה מובאים בטבלה ג.1 להלן:

**טבלה ג.1: ערכים של מקדם התיקון  $f_u$ .**

מקדם תיקון	מספר נתיבים בקבוצה	סוג קבוצת הנתיבים
1.00	1	המשכית או משולבת עם פניות
0.95	2	
0.90	3	
1.00	1	נתיב בלעדי לפני שמאלה
0.97	2	
1.00	1	נתיב בלעדי לפני ימינה
0.88	2	

$f_w$  - מקדם המתקן את זרימת הרוויה כתלות ברוחב הנתיבים בקבוצה. הערכים למקדם זה ניתנים לתיאור ע"י נוסחה ג.2 להלן ומובאים בטבלה ג.2:

$$f_w = 1 + \frac{W - 3.65}{30} \quad 3.0 \leq W < 4.5 \quad 2.g$$

כאשר:  $W$  - רוחב נתיב במטרים.

$f_g$  - מקדם המתקן את זרימת הרוויה כתלות בשיפוע בגישה אל הצומת. הערכים למקדם זה ניתנים לתיאור ע"י נוסחה ג.3 להלן ומובאים בטבלה ג.2:

$$f_g = 1 - \frac{G}{200} \quad -6\% \leq G \leq +10\% \quad 3.g$$

כאשר:  $G$  - שיפוע בגישה אל הצומת באחוזים.

$f_p$  - מקדם המתקן את זרימת הרוויה במידה ומתבצעים תמרונים כניסה ויציאה מחנייה בסמוך לצומת. הערכים למקדם זה ניתנים לתיאור ע"י נוסחה ג.4 להלן ומובאים בטבלה ג.2:

$$f_p = \begin{cases} 1 & \text{אין עצירה} \\ 1 - \frac{0.1 + 18N_m / 3600}{N} & 0 \leq N_m \leq 180 \quad f_p \geq 0.05 \end{cases} \quad 4.g$$

כאשר:  $N$  - מספר נתיבים בקבוצה הסמוכה לנתיב החנייה.

$N_m$  - מספר תמרונים חנייה המתבצעים במשך שעה בטווח של 75 מטר מקו העצירה.

$f_a$  - מקדם המתקן את זרימת הרוויה כתלות באופי האזור בו ממוקם הצומת. המקדם מבטא את ההפחתה ביעילות הזרמת התנועה באזורים רוויים פעילות מסחרית ועסקית. הערכים למקדם זה ניתנים לתיאור ע"י נוסחה ג.5 להלן:

$$f_a = \begin{cases} 0.90 & \text{מע"ר} \\ 1.00 & \text{אזור אחר} \end{cases} \quad 5.g$$

$f_{LT}$  - מקדם המתקן את זרימת הרוויה כתוצאה מנוכחות של תנועה הפונה שמאלה מקבוצת הנתיבים. הערכים למקדם זה ניתנים לתיאור ע"י נוסחה ג.6 להלן ומובאים בטבלה ג.2:

$$f_{LT} = \frac{1}{1 + 0.05 \cdot P_{LT}} \quad 6.ג$$

כאשר:  $P_{LT}$  - פרופורציה הפונים שמאלה מכלל התנועה בקבוצת הנתיבים  
(עבור נתיב בלעדי לפניו שמאלה  $P_{LT}=1.0$  ו-  $f_{LT}=0.95$ ).

$f_{RT}$  - מקדם המתקן את זרימת הרוויה כתוצאה מנוכחות של תנועה הפונה ימינה מקבוצת הנתיבים.  
הערכים למקדם זה ניתנים לתיאור ע"י נוסחה ג.7 להלן ומובאים בטבלה ג.2:

$$f_{RT} = 1 - P_{RT} \left[ 0.15 + (PEDS / 2100) \cdot (1 - P_{RTA}) \right] \quad PEDS \leq 1700, f_{RT} \geq 0.05 \quad 7.ג$$

כאשר:  $P_{RT}$  - פרופורציה הפונים ימינה מכלל התנועה בקבוצת הנתיבים  
(עבור נתיב בלעדי לפניו ימינה  $P_{RT}=1.0$ ).

$PEDS$  - כמות הולכי הרגל החוצה בזמן הירוק המוקצה לקבוצת הנתיבים הנדונה.  
בקרת המעבר מתבצעת ע"י פנס צהוב מהבהב (מהבהב מותנה).

$P_{RTA}$  - פרופורציה של זמן, מכלל הזמן הירוק, שבמהלכה אין חצייה של הולכי הרגל  
(המהבהב המותנה לא פועל ומעבר החצייה מקבל אדום).

**טבלה ג.2: ערכים מקובלים של מקדמי התיקון לזרימת הרוויה**

**מקדם תיקון לרוחב נתיב  $f_w$**

4.50	4.25	4.00	3.75	3.50	3.25	3.00	רוחב נתיב (מטר)
1.028	1.020	1.012	1.003	0.995	0.987	0.978	מקדם תיקון $f_w$

**מקדם תיקון לשיפוע בגישה לצומת  $f_g$**

6%	4%	2%	0%	-2%	-4%	-6%	שיפוע בגישה לצומת
0.970	0.980	0.990	1.000	1.010	1.020	1.030	מקדם תיקון $f_g$

**מקדם תיקון עקב תמרוני חנייה המתבצעים בסמוך לצומת  $f_p$**

מספר תמרוני חנייה בקרבת הצומת $N_m$						מספר נתיבים N
40	30	20	10	0	אין עזירה	
0.700	0.750	0.800	0.850	0.900	1.000	1
0.850	0.875	0.900	0.925	0.950	1.000	2
0.900	0.917	0.933	0.950	0.967	1.000	3

**מקדם תיקון עקב תנועה הפונה שמאלה  $f_{LT}$**

1.00	0.80	0.60	0.40	0.20	0.00	פרופורצית הפונים שמאלה
0.952	0.962	0.971	0.980	0.990	1.000	מקדם תיקון $f_{LT}$

**מקדם תיקון עקב תנועה הפונה ימינה  $f_{RT}$**

פרופורצית הפונים ימינה $P_{RT}$					$PEDS$ (ה"ר/שעה)	$P_{RTA}$
1.00	0.80	0.60	0.40	0.20		
0.850	0.880	0.910	0.940	0.970	1.000	0
0.826	0.861	0.896	0.930	0.965	1.000	50
0.755	0.804	0.853	0.902	0.951	1.000	200 (מעט)
0.660	0.728	0.796	0.864	0.932	1.000	400 (בינוני)
0.469	0.575	0.681	0.788	0.894	1.000	800 (גבוה)
0.279	0.423	0.567	0.711	0.856	1.000	1200
0.850	0.880	0.910	0.940	0.970	1.000	0
0.831	0.865	0.899	0.932	0.966	1.000	50
0.774	0.819	0.864	0.910	0.955	1.000	200 (מעט)
0.698	0.758	0.819	0.879	0.940	1.000	400 (בינוני)
0.545	0.636	0.727	0.818	0.909	1.000	800 (גבוה)
0.393	0.514	0.636	0.757	0.879	1.000	1200
0.850	0.880	0.910	0.940	0.970	1.000	0
0.836	0.869	0.901	0.934	0.967	1.000	50
0.793	0.834	0.876	0.917	0.959	1.000	200 (מעט)
0.736	0.789	0.841	0.894	0.947	1.000	400 (בינוני)
0.621	0.697	0.773	0.849	0.924	1.000	800 (גבוה)
0.507	0.606	0.704	0.803	0.901	1.000	1200
0.850	0.880	0.910	0.940	0.970	1.000	0
0.840	0.872	0.904	0.936	0.968	1.000	50
0.812	0.850	0.887	0.925	0.962	1.000	200 (מעט)
0.774	0.819	0.864	0.910	0.955	1.000	400 (בינוני)
0.698	0.758	0.819	0.879	0.940	1.000	800 (גבוה)
0.621	0.697	0.773	0.849	0.924	1.000	1200
0.850	0.880	0.910	0.940	0.970	1.000	0
0.845	0.876	0.907	0.938	0.969	1.000	50
0.831	0.865	0.899	0.932	0.966	1.000	200 (מעט)
0.812	0.850	0.887	0.925	0.962	1.000	400 (בינוני)
0.774	0.819	0.864	0.910	0.955	1.000	800 (גבוה)
0.736	0.789	0.841	0.894	0.947	1.000	1200
0.850	0.880	0.910	0.940	0.970	1.000	אין חציית ה"ר

### ג.3. קיבולת קבוצת נתיבים

קיבולת של קבוצת נתיבים נתונה היא פונקציה של זרימת הרוויה ומשך הזמן הירוק המוקצה לתנועה. משך הירוק הרלוונטי לקביעת הקיבולת אינו שווה לזמן הירוק המוקצה בפועל לקבוצת הנתיבים, בתוכנית הרמזור, כי אם זמן קצר יותר המבטא את הפסדים הנובעים מהעצירה והזינוק של כלי הרכב.

בחישוב קיבולת של קבוצת הנתיבים יש להתייחס למשך הזמן הירוק ה"אפקטיבי" הנתון ע"י נוסחה 8.ג. להלן:

$$g_i = G_i - t_L \quad 8.ג$$

- כאשר:  $g_i$  - משך הירוק ה"אפקטיבי" המוקצה לקבוצת נתיבים  $i$  (שניות)  
 $G_i$  - משך הירוק המוקצה לקבוצת נתיבים  $i$  בתוכנית הרמזור (שניות)  
 $t_L$  - הזמן האבוד כתוצאה מעצירה וזינוק (בארץ מקובל להתחשב בזמן אבוד של 2 שניות למרבית הצרכים המעשיים).

קיבולת קבוצת נתיבים  $i$  בצומת מרומזר נתונה ע"י נוסחה 9 להלן:

$$c_i = s_i \cdot (g_i / C) \quad 9.ג$$

- כאשר:  $c_i$  - קיבולת קבוצת הנתיבים  $i$  (יר"מ)  
 $s_i$  - זרימת רוויה בקבוצת הנתיבים  $i$  (יר"מ)  
 $g_i$  - משך הירוק ה"אפקטיבי" המוקצה לקבוצת נתיבים  $i$  (שניות)  
 $C$  - אורך מחזור הרמזור (שניות)

### ג.4. מקדמי יר"מ

השוואת נפחי תנועה קיימים עם הקיבולת יכולה להיעשות רק לאחר הפיכת נפחים מכלי רכב ליר"מ. מקדמי היר"מ של האוטובוסים וגם של כלי הרכב האחרים אינם אחידים ותלויים בתמרון המתבצע על ידם, בסמוך לצומת (לפני הרמזור ואחריו). נהוג להבחין בין שלושה מקרים:

א. אין עצירה של אוטובוסים וכלי רכב בתחנות בסמוך לצומת (במרחק הקטן מ-75 מטר, לפני או אחרי הצומת).

ב. אוטובוסים וכלי הרכב המורידים נוסעים עוצרים בסמוך לצומת בתוך מפרצים.

ג. אוטובוסים וכלי הרכב המורידים נוסעים עוצרים בנתיב הנסיעה.  
 ד. כאשר האוטובוסים וכלי רכב אחרים אינם עוצרים בסמוך לצומת יש להתחשב במקדמי היר"מ הבאים:

- 1 - עבור מוניות וכלי רכב פרטיים ומסחריים עד 4½ טון.
- 2 - עבור אוטובוסים ומשאיות באורך של עד 12 מטר.
- 3 - עבור אוטובוסים מפרקיים וכלי רכב מורכבים או מחוברים.

כאשר קיימת עצירה של אוטובוסים וכלי רכב בתוך מפרצים בסמוך לצומת נוצרת הפרעה כתוצאה מהאטה בעת הכניסה למפרץ ובעת יציאה ממנו. במידה והמפרץ ממוקם מאחורי הצומת המרומזר ההפרעה הנגרמת לתנועה היא קטנה ויכולה להוסיף יחידת רכב משווה אחת, לכל קטגוריה. כאשר המפרץ הוא לפני הצומת ההפרעה לתנועה משמעותית יותר. טבלה ג.3 מביאה את מקדמי היר"מ שמומלץ להתחשב בהם עבור כלי רכב העוצרים במפרצים בסמוך לצומת.

**טבלה ג.3: ערכי יר"מ מומלצים עבור כלי רכב העוצרים בתוך מפרצים בסמוך לרמזור**

מקום המפרץ	לפני הצומת	אחרי הצומת
מונית וכלי רכב פרטי	4 - 2	2
אוטובוס ומשאית	6 - 3	3
אוטובוס מפרקי ורכב מורכב	7 - 4	4

\* הערה: במידה ונפחי התנועה אינם גבוהים ומאפשרים לכלי הרכב להשתלב במהלך האור האדום בזרוע יש לבחור בערכים הנמוכים יותר

כאשר האוטובוסים וכלי הרכב הנוספים אינם עוצרים במפרץ נוצרת חסימה של הנתיב ונגרמים הפסדי זמן לתנועה. מקדם היר"מ לכלי רכב שעצר בנתיב מחושב ע"פ הזמן במהלכו הנתיב חסום לתנועה. חישוב משך החסימה יעשה במהלך הזמן הירוק בלבד (תנועה המקבלת אדום אינה מושפעת מחסימת הנתיב). מקדמי היר"מ לכלי רכב העוצרים בנתיב לצורך העלאת והורדת נוסעים נתונים ע"י נוסחה ג.10 ומובאים בטבלה ג.4:

$$pcph = \frac{g}{C} \cdot \frac{(D+L)}{h} \quad 10.ג$$

- כאשר: - g הזמן הירוק האפקטיבי המוקצה לקבוצת נתיבים נדונה (שניות).  
 - C אורך מחזור הרמזור (שניות).  
 - D זמן שהיה בתחנה (שניות).

- L זמן אבוד כתוצאה מעצירה וזינוק ( L=4 שניות למונית, L=6 שניות לאוטובוס ו L=8 שניות לאוטובוס מפרקי).
- h מרווח מקובל בין שני כלי רכב פרטיים (h=2 שניות).

**טבלה ג.4: דוגמא לערכי יר"מ מקובלים עבור אוטובוסים העוצרים בנתיב נסיעה**

אחוז הזמן הירוק ממשך המחזור (g/C)				משך עצירה בתחנה (שניות)
60%	50%	40%	30%	
5.0	4.0	3.0	2.5	10
8.0	6.5	5.0	4.0	20
11.0	9.0	7.0	5.5	30
14.0	11.5	9.0	7.0	40
17.0	14.0	11.0	8.5	50
20.0	16.5	13.0	10.0	60

השפעת כלי רכב עוצרים תחושב רק עבור אותן קבוצות נתיבים שבהן או בצמוד להן מתבצעים תמרוני העצירה.

**ג.5. עיכוב עצירה של רכב בודד**

העיכוב הממוצע הכולל לרכב בקבוצת נתיבים, בצומת מרומזר, מחושב ע"פ הנוסחאות האמורות להופיע בגרסת HCM 1997, כדלהלן:

$$d = d_1 \cdot PF + d_2 \quad 11.ג$$

$$d_1 = 0.50 \cdot C [1 - g/C]^2 / \{1 - (g/C) \cdot \text{Min}(X, 1.0)\} \quad 12.ג$$

$$d_2 = 900 \cdot T \cdot \left\{ (X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8 \cdot k \cdot X}{c \cdot T}} \right\} \quad 13.ג$$

- כאשר:
- d עיכוב עצירה ממוצע לרכב (שניות ליר"מ)
  - d<sub>1</sub> עיכוב אחיד ממוצע לרכב (שניות ליר"מ)
  - d<sub>2</sub> עיכוב אקראי ממוצע לרכב (שניות ליר"מ)

- $PF$  מקדם תיקון של העיכוב האחד בקבוצות נתיבים המתואמים בגל
- $T$  משך תקופת הזרימה העודפת (שעות)
- $v$  נפח תנועה בקבוצות נתיבים (יר"מ/שעה)
- $c$  קיבולת קבוצות נתיבים המחושבת ע"פ נוסחה ג.9 (יר"מ/שעה)
- $X$  דרגת רוויה ( $v/c =$ )
- $k$  מקדם תיקון של העיכוב האקראי כתוצאה מפעילות גלאים
- $g$  משך הירוק האפקטיבי המוקצה לקבוצות נתיבים (שניות)
- $C$  משך מחזור רמזור בצומת (שניות)

קביעת מקדמי התיקון  $PF$  מתבצעת על פי דפוס ההגעה של התנועה לרמזור. החל משנת 1994, מבחין HCM בין שישה דפוסי הגעה, כמתואר בטבלה ג.5 להלן.

**טבלה ג.5: דפוסי הגעה של כלי רכב לצומת מרומזר**

איכות הגל הירוק	יחס שיירות		דפוס הגעה
	ערך מיצג	טווח ערכים	
גל אדום	$R_p = 0.333$	$R_p \leq 0.50$	1
גל אדום חלקי	$R_p = 0.667$	$0.50 < R_p \leq 0.85$	2
הגעה לא מתואמת	$R_p = 1.000$	$0.85 < R_p \leq 1.15$	3
גל ירוק חלקי	$R_p = 1.333$	$1.15 < R_p \leq 1.50$	4
גל ירוק	$R_p = 1.667$	$1.50 < R_p \leq 2.00$	5
גל ירוק מושלם	$R_p = 2.000$	$2.00 < R_p$	6

$R_p$  הוא מקדם הגעת שיירות המחושב באופן מדויק לפי נוסחה ג.14 או מוערך על סמך תצפית בהתאם לטבלה ג.5.

$$R_p = \frac{P}{g/C} \quad 14.ג$$

כאשר:  $P$  - פרופורציה של כלי הרכב המגיעים במשך האור הירוק מכלל כלי הרכב המגיעים במהלך המחזור ושאר הפרמטרים מוגדרים לעיל.

התאמת מקדמי התיקון לעיכוב מתבצעת תוך שימוש במקדם  $f_p$ , המובא בטבלה ג.6, ונוסחה ג.15 להלן:

$$PF = \frac{1 - R_p \cdot g/C}{1 - g/C} \cdot f_p \quad \text{ג.15}$$

כל הפרמטרים האחרים מוגדרים לעיל.

**טבלה ג.6: ערכי מקדם  $f_p$**

דפוס הגעה						דרגת רוויה (X)
6	5	4	3	2	1	
1.00	1.00	1.30	1.00	0.85	1.00	$\leq 0.20$
1.00	1.00	1.12	1.00	0.89	1.00	0.40
1.00	1.00	1.11	1.00	0.93	1.00	0.60
1.00	1.00	1.06	1.00	0.96	1.00	0.80
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	$\geq 1.00$

קביעת ערכו של המקדם  $k$ , מתבצעת תוך שימוש בטבלה ג.7 להלן:

**טבלה ג.7: ערכי מקדם  $k$**

דרגת רוויה (X)						פער חילוף במופע (שניות)
$\geq 1.00$	0.90	0.80	0.70	0.60	$\leq 0.50$	
0.50	0.41	0.32	0.23	0.13	0.04	2.0
0.50	0.42	0.33	0.25	0.17	0.08	2.5
0.50	0.43	0.35	0.28	0.20	0.13	3.5
0.50	0.43	0.36	0.29	0.22	0.15	4.0
0.50	0.45	0.39	0.34	0.28	0.23	5.0

## ג.6. קביעת משך תקופת הזרימה העודפת

תקופת הזרימה העודפת הינו אלמנט הדורש תשומת לב מיוחדת והתאמה לנתוני הבעיה הספציפיים. יש להביא בחשבון שקיבולת המופע המטופל יכולה להשתנות במהלך תקופת השיא כתלות בעומס ובמידת ה"חיכוך".

קביעת תקופת הזרימה העודפת מתבצעת באמצעות זיהוי התקופה במהלכה התורים מגיעים לאורכס המרבי או באמצעות משכה של תקופת השיא. יש לחשב את הנפח הממוצע, ובמידת הצורך, גם את התפלגות צי הרכב (אוטובוסים, מוניות, רכב רב נוסעים, רכב פרטי וכד') במהלך תקופת הרימה העודפת. העיכוב הכולל הממוצע הינו העיכוב לכל תקופת הזרימה העודפת. מכיוון שהמודל לא מתאר תקופות אחרות, לפני ואחרי המצב האמור, יש להקפיד שתקופת הניתוח הכלכלי תקביל לתקופת הזרימה העודפת.

בנת"צ עצמו לא מצטברים תורים או שהם מצטברים במידה מועטה. כתוצאה מכך אין משמעות ל"משך תקופת הזרימה העודפת" בנת"צ. לניתוח העיכוב בנת"צ מומלץ להפעיל את המודל המתואר בסעיף ג.6 עם  $T=0.25$  שעות. התוצאה שתתקבל תהיה קרובה למודל העיכוב בתנאי הזרימה הלא רוויה של HCM 1994.

## ג.7. תופעות הדורשות תשומת לב מיוחדת

### א. יצירת הסגה והפרות ההסדרים

יצירת הסגה בגודל הקטן מן המיטבי עשויה לגרום להפחתה בקיבולת של הנתבי בהמשכו של הנת"צ. מאידך עקב בעיות אי ציות, קורה לעתים קרובות כי, באזור צווארי הבקבוק, חלק ניכר מנפח הנת"צ הוא של רכב לא מורשה. קיימים גם מקרים אחרים, בהם מותר להשתמש בנת"צ לצורך ביצוע פניות. חדירה זו של כלי רכב פרטיים, גורמת לעתים לחסכון כולל בעיכובים, כתוצאה מניצול עודפי קיבולת בנת"צ, בקטע הקריטי ובקרבתו.

על המתכנן לנסות ולהביא תופעות אלו בחשבון, אולם יש להקפיד על גישה שמרנית ולנסות לאומדן חסר של מידת הפרות.

### ב. היחסמות עצמית של צמתים במערכת

בהרבה מקרים, ציר הנת"צ מורכב ממספר קטעים וביניהם צמתים עם פניות. התור גולש מהקטע הקריטי אל קטעים במורד הזרם. למרות שניתן לערוך ניתוח מפורש של הפניות, ולקבל תמונה נאמנה של התורים והעיכובים בכל הזרועות. הדבר מסובך ויקר. במידה ותופעת היחסמות מזוהה על ידי המתכנן יש לתקן את קיבולת צוואר הבקבוק או לערוך ניתוח עיכובים המבוסס על מדידת משכי הנסיעה לאורך הציר המטופל. ניתן להניח, בקרוב ראשון, כי בקרת הצמתים מאוזנת, כך שמשכי העיכוב דומים בכל הפניות,

והשינויים בעיכוב למכונית בציר הראשי מהווה אמדן אמין של הקורה לכל המכוניות היוצאות מהקטע הקריטי. במקרים שהנחות אלו אינן נאמנות למציאות, יש לערוך ניתוח מפורט.

### ג. ביקוש קבוע לעומת עיכוב קבוע.

ניתן להניח שתי הנחות בסיסיות שונות על השפעת הנת"צ על התנועה:

1. הנחת "ביקוש קבוע": נפח נסיעות אדם בקטע, נשאר קבוע. שינויים בקיבולת כתוצאה מביצוע הנת"צ משפיעים על משך הנסיעה וגורמים למעבר של נוסעים לתחבורה ציבורית.
2. הנחת "עיכוב קבוע": ההנחה היא שהעיכוב של הרכב הלא מועדף נשאר קבוע בכל החלופות. נסיעות שאינן יכולות להיות משורתות, יבחרו במסלולים חלופיים, ישנו את זמן הנסיעה או שיתרחשו שינויים בתפרוסת שימושי הקרקע. הנחת הבסיס היא שהביקוש יתאים את עצמו לעיכוב. במסגרת נוהל פר"ת נושא זה מטופל ע"י כלי "הביקוש מאולץ הקיבולת".

### **ג. 8. מודלים אנליטיים נוספים**

#### א. מודל CSI (1996)

מודל CSI הינו מודל ממוחשב שתפקידו לנתח נתיבים רבי נוסעים (כולל נת"צים). המודל פותח עבור רשות הכבישים הפדרלית בארה"ב (FHWA) והוא מספק אמדן שיווי משקל של:

א. שינויים בפיצול הנסיעות בין רכב פרטי, רכב רב נוסעים ותח"צ לפי (ההגדרה בכל מקרה ספציפי).

ב. משכי נסיעה לפי סוג רכב.

המודל מניח ביקוש קבוע (במונחי נסיעות נוסע). המודל הוא רקורסיבי-איטרטיבי, ומחפש פתרון שיווי משקל למשתמש בין משכי הנסיעה ושיעורי הפיצול. מטרת פיתוח המודל הייתה לסייע בבדיקת הכדאיות של נתיבים מועדפים, שהפכו להיות מאוד פופולריים בארה"ב בשנים האחרונות. נכון להיום, אין בידי מחברי ההנחיות מידע על הניסיון ביישום.

המודל מנתח באופן מפורש את תהליך בניית התור והעלמו, ע"י חלוקת תקופת התכנון למספר "תקופות בדיקה", וניתוח רקורסיבי של גודל התור והעיכובים בכל תקופה. הקלט למודל כולל, בנוסף לנפח הממוצע, גם את ההתפלגות היחסית של "נפח הביקוש" בכניסה לקטע, לפי תקופות הבדיקה. במודל כוללה גם התפלגות "מחדל" אופיינית.

#### ב. מודל ה-AssQue

בארץ מתחיל להצטבר מידע, ידע, וניסיון בנושא הצבות תנועה במערכות מאולצות קיבולת. בניית רשת דרכים מקובל היום להשתמש במודלים להצבת תור דינמית (תוכנת AssQue, גור 1992), ולהצבה רבת סוגי

רכב (תוכנת AssTrk, גור 1996). סביר להניח כי בעתיד הקרוב תיראה התקדמות מתמדת ומהירה בנושא. ההנחיות מעודדות שימוש בכלים הטובים ביותר הזמינים לצורך הניתוח. בכל מקרה של שימוש בכלי חדש, יש ללוות את היישום בהוכחת הכלי (כיול ויישום), והסבר מלא של שיטת היישום.

## נספח ד'

**משוואות לחישוב ערך זמן נוסעים**

**משוואות עלות תפעול כלי רכב**

1.ד. אופן חישוב ערך הזמן נוסעים

א. ערך זמן על פי נוהל פר"ת

מבוסס על טבלאות ג.7.1.0.1, ג.7.1.0.2, ג.7.1.0.3 בנוהל פר"ת, פרק ג.

**טבלה ד.1: חישוב ערך הזמן לנסיעות בעבודה (נוהל פר"ת)**

נתון	ערך	מקור
הכנסה לאומית 1995 במחירי גורמי ייצור שוטפים	186,280 מיליון ש"ח לשנה	למ"ס
הכנסה לאומית במחירי 12/95	192,986 מיליון ש"ח לשנה	למ"ס
תמורה לעבודה במחירי 12/95	162,957 מיליון ש"ח לשנה	84.5% - אומדן למ"ס
מספר מועסקים במשק	1,937 אלף	למ"ס
שעות עבודה למועסק לשבוע	37.3 שעות עבודה לשבוע	למ"ס
שעות עבודה למועסק לשנה	1,938.8 שעות עבודה לשנה	
<b>ערך הזמן בעבודה (במחירי 12/95)</b>	<b>43.3 ש"ח לשעה</b>	

**טבלה ד.2: חישוב ערך הזמן לנסיעות שלא בעבודה (נוהל פר"ת)**

נתון	ערך	מקור
שכר ממוצע ברוטו למשרת שכיר	4,594 ש"ח לחודש	למ"ס
מקדם מעבר לשכר נטו	0.75	
שכר נטו	3,445.5 ש"ח לחודש	
מקדם ערך שעה שלא בעינייני עבודה	0.20	
שעות עבודה בחודש	163.9	
<b>ערך הזמן שלא בעבודה (במחירי 12/95)</b>	<b>4.20 ש"ח לשעה</b>	

ב. ערך זמן על פי משרד התחבורה

מבוסס על נוהל פר"ת, פרק ג ועל מכתבו של אלון אלגר מיום 6/2/96.

חישוב ערך הזמן לנסיעות בעבודה זהה לחישוב ערך הזמן כפי שמופיע בנוהל פר"ת ובטבלה ד.1 לעיל. חישוב ערך הזמן לנסיעות שלא בעבודה בהתאם לטבלה ד.3 להלן.

**טבלה ד.3: חישוב ערך הזמן לנסיעות שלא בעבודה (משרד התחבורה)**

נתון	ערך	מקור
שכר ממוצע ברוטו למשרת שכיר	4,594 ש"ח לחודש	למ"ס
מקדם מעבר לשכר נטו	0.75	
שכר נטו	3,445.5 ש"ח לחודש	
מקדם ערך שעה שלא בעינייני עבודה	1.25	
שעות עבודה בחודש	163.9	
ערך הזמן שלא בעבודה (במחירי 12/95)	26.25 ש"ח לשעה	

**2.ד. משוואות עלות תפעול כלי רכב**

משוואות עלות התפעול לכל כלי רכב (פרטי, אוטובוס, משאית) הוא סכום של משוואות חלקיות לכל אחד ממרכיבי העלות. עלויות התפעול מעודכנות לחודש דצמבר 1995, במחירים כלכליים. המשוואות נלקחו מקובץ הנתונים של המכון לתחבורה.

**א. רכב פרטי (עלויות שוטפות בלבד) - בש"ח לק"מ**

0.039 + 3.716/S	דלק
0.007 + 0.069/S	שמן
0.0060	צמיגים
0.0635 + 3.046/S	אחזקה
0.1155 + 6.831/S	סה"כ

S - מהירות הנסיעה בקמ"ש.

**ב. משאיות - בש"ח לק"מ**

0.12 + 9.078/S	דלק
0.028 + 0.235/S	שמן
0.047	צמיגים
0.129 + 5.714/S	אחזקה
0.137 + 21.009/S	פחת וריבית
0.06 + 10.476/S	ביטוח
0.336 + 55.019/S	שכר נהג
0.001	רישוי
0.278	כלליות
1.136 + 101.531/S	סה"כ

ג. אוטובוסים - בשי"ח לק"מ

0.1095 + 8.159/S	דלק
0.029 + 0.242/S	שמן
0.03	צמיגים
0.326 + 14.433/S	אחזקה
0.362 + 43.681/S	פחת וריבית
0.228 + 29.603/S	ביטוח
0.9 + 120.06/S	שכר נהג
0.001	רישוי
1.67	כלליות
3.6555 + 216.178/S	סה"כ

ד. מוניות - בשי"ח לק"מ

0.049+3.716/S	דלק
0.007+0.069/S	שמן
0.006	צמיגים
0.127+6.092/S	אחזקה
0.147	פחת וריבית
0.3121	ביטוח
0.336+41.84/S	שכר נהג
0.001	רישוי
0.9851+51.717/S	סה"כ

## נספח ה'

**מקדמי פליטה מרכב בנוזן ודיזל**

## ה.1. כללי

על מנת להעריך את השלכות נסיעת אוטובוסים, מוניות ורכב רב-נוסעים אחר בנתיבים לתחבורה הציבורית, יש צורך באינפורמציה על קצבי פליטות המזהמים מרכבים אלה. למידע הזה קוראים מקדמי פליטה, והוא מבוטא בגרם מזהם לק"מ נסיעה של כלי רכב נתון, או בגרם מזהם לשנייה (כאשר הרכב נמצא למשל במצב עומד, בפקק תנועה, ברמזור וכו'...).

## ה.2. מקדמי פליטה מרכב בניזין

פליטות מזהמים מרכב מנועי מבוטאות בספרות המקצועית הן כריכוזים בגזי הפליטה של המכונית, או במונחים של משקל המזהם ליחידת מרחק נסיעה אופייני, למשל ביחידות של גרם CO לק"מ. הדרך השנייה עדיפה מאחר וממנה ניתן להעריך את תרומת כלי הרכב לזיהום האוויר באזור. יש להדגיש כי פליטות המזהמים מכלי רכב מנועיים, למשל רכב בניזין, יכולות להיות שונות מכלי רכב אחד למשנהו אף כדי סדר גודל אחד (ראה דו"ח NATO/CCMS מס' 10).

כמויות הפליטות של המזהמים מבוטאות בגרם לק"מ נסיעה, כאשר הן מבטאות ממוצע על מספר רב של כלי רכב מנועיים מקבוצה מסוימת, מכונות מקדמי פליטה (EMISSION FACTORS) - EF. מקדם הפליטה לכלל כלי הרכב, EF, הינו מכפלה של הגורמים הבאים (ראה מסמך AP-42, 1975, או מהדורות אחרונות הכוללות מקדמי פליטה לכלי רכב מנועיים):

$$EF = \sum C_{in} \cdot Min \cdot Vis \cdot Zit \cdot Ritz \quad \text{ה.1}$$

כאשר:

Cin - הינו הפליטה הממוצעת במסלול נסיעה מוגדר (תקני) של רכב משנת ייצור בשנה קלנדרית n.

Min - אחוז הנסיעה של כלי רכב משנת ייצור i בשנה n.

Vis - גורם תיקון למהירות הנסיעה s.

Zit - גורם תיקון לטמפרטורת האויר t.

Ritz - גורם תיקון למנוע קר, ולטמפרטורת האויר, t.

בסקר של חתך רכב מייצג באירופה נבדקו הפליטות של המזהמים השונים כפונקציה של מחזור במהירות ממוצעת. הנתונים המובאים שם (NATO/CCMS מס' 10, עמ' 13-3) מראים כי השפעת המהירות הממוצעת על כמות הפליטות היא גדולה במיוחד במהירויות קטנות מ-20 קמ"ש, במהירויות בין 40 ל-70 קמ"ש הפליטות הן די קבועות לגבי CO, NOx ו-HC.

מעבר לפליטות של מזהמים דרך מערכת הפליטה, קיימות גם פליטות, אם כי זניחות יותר, של פחמימנים ממערכת אספקת הדלק ושל חלקיקי עופרת, חלקיקי צמיגים, וחלקיקים מהכביש כתוצאה מהרכב הכימי של הדלק ומעצם נסיעת המכונית על הכביש.

לאור כל זאת יש להתייחס בזהירות רבה לגבי חישובי ריכוזים המבוססים על מקדמי פליטה. דוגמאות למקדמי פליטה שונים לרכב בנוזן מובאות בטבלה ה-1. אם נשקלל את מקדמי הפליטה מארצות שונות לפי מפתח הרכבים בארץ נקבל את מקדמי הפליטה הבאים.

**טבלה ה-1: מקדמי פליטה לרכב מנועי עבור מזהמי האוויר השונים**

קצב פליטה ביחידות של גרם מזהם לק"מ נסיעה			
HC	NOx	CO	
3.1	4.1	37.2	פליטה מרכב בנוזן, משוקלל לשנות ה-80
-	1.9	9.3	פליטה מרכב בנוזן, משוקלל לשנות 2000
0.3	2.2	2.9	רכב דיזל קל, כיום ובשנת 2000
2.5-2.9	11.2-13.4	13.2-17.8	אוטובוסים ומשאיות דיזל בשנות ה-80

הערה: הטבלה מבוססת על נתונים שהוצגו בתסקיר השפעה על הסביבה של נחל גדורה, נתיבי אילון, 1989

בטבלה ה-2 מצוינים מקדמי פליטה חזויים לרכב עתידי, כולל תקנים מומלצים שבהם יצטרכו המכוניות בעתיד לעמוד. הטבלה מצביעה על ירידה ניכרת בפליטות המזהמים בהשוואה לרכבים משנות ה-80.

**טבלה ה.2: מקדמי פליטה חזויים לעתיד ביחידות של גרם מזהם לק"מ נסיעה**

רכב	NOx	CO	HC	ארץ, שנה
פרטי	0.63	2.1	0.25	ארה"ב, 1987
טנדר	0.75	6.3	0.5	ואילך
פרטי	0.25	2.1	0.16	ארה"ב, 1994
	0.13	1.1	0.08	(מוערך) 2004
ממוצע רכבים* אורך המסלול 4.05 ק"מ	2.6  (4 g/test)  1	22  (30 g/test)  15		ארצות השוק המשותף - EEC לפי 15 - ECE (בממוצע, כיום) בעתיד ירד ל-
דומה לתקנים האמריקאים	0.62	2.1	0.25	אוסטריה, שוודיה, שוויץ (החל משנת 1988 - 1989)
החל מ-1986	1.9 0.25	9.3 2.1	0.9 0.25	אוסטרליה יפן
Lean Combustion (60 km/hr)	1.45	0.08	0.15	מכוניות עם טכנולוגיות חדשות
Three Way Catalyst	0.30	0.18	0.09	

הערה: \* בשורה זו הפליטה הינה ביחידות של גרם מזהם ל-4.05 ק"מ נסיעה.

מכאן ניתן להסיק כי בשנים 2000-2010 קצב פליטת המזהמים מרכב מנועי בישראל ירד בצורה ניכרת ויגיע

לערכים המקובלים באירופה ובארה"ב:

CO - 2.1 גרם לק"מ נסיעה

NOx - 1.0 גרם לק"מ נסיעה

שהם כרבע מערך הפליטה של מזהמים מרכבים בשנות ה-80.

יש לזכור כי עם הירידה הצפויה בקצבי הפליטות, תחול עליה בנפחי התנועה ואיתן תנועת רכב במהירויות נמוכות, כך שהשיפור בריכוז המזהמים באוויר לא יורגש במלואו. יש להניח כי בשנת 2000 כלי רכב רבים בישראל לא יעמדו בתקנים הללו.

קצבי הפליטה שיש לקחת בהערכות סביבתיות מפורטים להלן:

- א. במצב הנוכחי (בשנת 1997) נניח כי 80% מהרכב הפרטי פולטים 4.1 גרם NO<sub>x</sub> לק"מ ול-20% יש ממיר קטליטי ביעילות של 75% אשר פולט כ-1 גרם NO<sub>x</sub> לק"מ.
- ב. בשנת 2000 נבחר בפליטה של 1.9 גרם NO<sub>x</sub> לק"מ לרכב פרטי (בנוזין). על פליטות אלה יש להוסיף פליטות מכלי רכב המונעים בסולר.
- ג. בשנת 2010 נבחר בקצבי הפליטה הבאים למזהם NO<sub>x</sub>: 90% מהרכב הפרטי לפי 1.0 גרם NO<sub>x</sub> לק"מ ו-10% מכלי הרכב לפי 4.1 גרם NO<sub>x</sub> לק"מ.

### ה.3. מקדמי פליטה מרכב דיזל

מנועי בנוזין ומנועי דיזל פולטים מזהמים דומים אך הפרופורציות היחסיות שונות לחלוטין. קצבי פליטת המזהמים משתנים כתלות בגורמים רבים כולל מצב תפעול הרכב (עמידה-Idling, האצה, שיוט והאטה).

למנועי דיזל יתרונות טכניים רבים. מנועי דיזל פועלים ביחס אוויר דלק של 1:14-20 (משקל) וכתוצאה מכך זמינים יותר לעודף חמצן ולכן פליטת המזהמים של CO ו-HC נמוכה יחסית, לעומת מנוע בנוזין הצורך יחס אוויר דלק של 1:14 כלומר מכיל יותר אדי דלק ביחס לחמצן ולכן מזהם יותר מבחינת CO ו-HC. מנועי בנוזין אחראים לסדר גודל של 85% מכלל פליטות ה-CO באזורים עירוניים.

הווצרות תחמוצות החנקן במנוע הרכב תלויה בטמפרטורה, בלחץ, ובחמצן זמין. מקור החנקן באוויר, ובתרכובות האמיניות בדלק. תהליך ההצתה ברכב, המהווה גורם חימום, יוצר ריאקציה בין החנקן לחמצן ונוצרים בין היתר NO ו-NO<sub>2</sub>. באופן כללי פליטות NO<sub>x</sub> ממנועי דיזל באזורים עירוניים הם כמחצית עד שליש ביחס למנועי בנוזין. פליטות חלקיקים ממנועי דיזל מהוות בעיה האופיינית למנועי דיזל. במנועי דיזל נוצרים חלקיקי פחמן אשר סופחים על פניהם פחמימנים לא שרופים ותרכובות אורגניות (כמו PAH). הללו כוללים עשן, אירוסולים הנוצרים דרך ריאקציה כימית ותרכובות מתכת.

דלק סולר מכיל פי עשר יותר גופרית מאשר בבנזין (0.15%-0.5%) ולכן פליטות  $SO_2$  מרובות יותר במנוע דיזל. בזמן השריפה הגופרית מתחמצנת ל- $SO_2$ , חלקיקי  $SO_4^{2-}$  (סולפאט) ומעט  $SO_3$ . רוב הגופרית הנוצרת משתחררת לאטמוספירה והנותרת יוצרת קורוזיה בפנים המנוע והמפלט.

פליטות ממנוע דיזל מכילות חומרים מסוכנים בעלי השפעות מזיקות כגון פליטות ה-PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons), ותרבות אורגניות הכוללות חמצן כגון אלדהידים וקטונים. פליטות של נגזרות ניטרו של PAH גבוהות במנועי דיזל בהשוואה למנועי בנזין. קיים חשש כי לחלקיקים הנפלטים ממנועי דיזל תכונות מסרטנות. יש חשיבות רבה לתכונות הפיסיקליות של דלק הסולר; צמיגות, צפיפות ונדיפות בדלק. דלק סולר נדיף פחות מדלק בנזין ולכן אין חשיבות לפליטות הנובעות מהתאיידות. תכולה גבוהה של הפחמימנים הארומטיים בדלק הדיזל משפיעה על פליטות גבוהות יותר של חלקיקים, פחמימנים, תחמוצות חנקן ועל עוצמת ריח, חזקה יותר. תוספים לדלק מוספים על מנת לדכא פליטות עשן. התוספים פועלים כקטליזטור להפיכת חלקיקי הפחמן לפחמן זו חמצני ומכילים בריום, קלציום ומגנז.

#### ה.4. סריקה של מקדמי פליטה בעולם

בעולם קיימים תקנים וחוקים מתוך מטרה לצמצם את פליטות המזהמים ולהביא לשיפור איכות האוויר. תקני זיהום אויר נקבעים באופן סטטיסטי תוך התחשבות בשאלות בריאותיות כלכליות, ופוליטיות. ישנה הבחנה בין סטנדרטים הנקבעים לטווח קצר המתחשבות בבעיות ייחודיות לארצות ספציפיות וסטנדרטים הנקבעים לטווח ארוך.

לפליטות מזהמים מרכבים מנועיים השפעות שונות על איכות האוויר בסקאלות שונות:

1. השפעת מיקרו על האוכלוסייה הנמצאת על שפת המדרכה או השכונה הקרובה לכביש (מספר מטרים).
2. השפעה של פליטות הרכב על עלייה בריכוזי הרקע העירוניים.
3. השפעה של פליטות מהרכבים על אזורים רגיונליים ומרוחקים.

#### א. מקדמי פליטה בארה"ב

לראשונה הוצגה בארה"ב בשנת 1969 תחיקה לפליטות מזהמים של רכבים כבדים. לשם כך היה צורך לפתח שיטות למדידת קצבי הפליטה במעבדה שייצגו את המציאות בדרכים. על פי חוק האוויר הנקי בארה"ב (Clean Air Act, Title 2) תקני הפליטה של רכב כבד (מעל 4 טון) למודלים משנת 1983 והלאה

חלים על כל סוגי הרכב הכבד. התחיקה מתייחסת למשקל הרכב, הספק המנוע (כוח סוס), סוג הדלק וכו'. תקני הפליטה שבתוקף מפורטים בטבלה ה-3 להלן.

בנוסף, במהלך פעולת המנוע, נמדדת אטימות לעשן (Opacity). נקבעים 3 ערכים לאטימות במהלך האצה, במהלך גרירה למנוחה, ובמהלך ההגעה לשיא.

החל משנת 1998, התקן לתחמוצות החנקן יוחמר עבור רכב כבד ויעמוד על:  $NO_x < 4 \text{ g/bhp.hr}$  (grams per brake horsepower. hour)

משנת 1991 הוגבל דלק סולר בתכולת הגופרית שלו עד 0.1% (משקלי) של גופרית. משנת 1993 חל איסור על ייצור, מכירה, אספקה, הטמנה והובלה של דלק סולר המכיל יותר מ-0.05% (משקלי) של גופרית. כמו כן משנת 1994 נדרשה הפחתה של 50% ברמות הפליטה המותרות של חלקיקים (PM).

החל משנת 1997, נקבע תקן משולב לרכב כבד:  $NO_x + NMHC \leq 3.15 \text{ g/bhp.hr}$  (Non Methane Hydrocarbons - NMHC)

**טבלה ה-3: תקני פליטה לרכב כבד החל משנות השישים (ביחידות של גרם לק"מ או גרם לכוח סוס לשעה)**

Date	HC		CO		NOx		Particles	
	g/bhp/hr	g/km/Veh	g/bhp/hr	g/km/Veh	g/bhp/hr	g/km/Veh	g/bhp/hr	g/km/Veh
1969	1.3	1.87	40.0	57.6	16.0 <sup>(a)</sup>	23	-	-
1985	1.3	1.87	25.0	36	10.7	15.4	-	-
1989	1.3	1.87	15.5	22.3	10.7	15.4	0.60	0.86
1991-3	1.3	1.87	15.5	22.3	5.0	7.2	0.25 <sup>(b)</sup>	0.36
							0.10 <sup>(c)</sup>	0.144
1994	1.3	1.87	15.5	22.3	5.0	7.2	0.10	0.144

(a) HC + NOx

(b) Trucks

(c) Buses

**הערה:** היחידות במקור נתונות כגרם מזהם להספק המנוע בכוח סוס (brake horse power) לשעה, והן הועברו ליחידות של גרם לק"מ נסיעה לרכב.

### ב. מקדמי פליטה באירופה

סדרת ההמלצות, החוקים, והתקנים הראשונה הופיעה בשנת 1968 ע"י United Nations Economic Commission for Europe (ECE), אשר אומצו על ידי מדינות אירופה השייכות לשוק המשותף (European Community). בשנת 1985 נקבעו תקנים עבור פליטות חלקיקים ממנועי דיזל, ועבור CO, NOx, HC. לרכבים כבדים על פי שיטת "Thirteen Mode Test" (שיטת בדיקה תקנית לפליטות מזהמים בתנאי נסיעה שונים). טבלה ה.4 מציגה את עיקר הערכים המומלצים.

#### טבלה ה.4: תקני פליטה מוצעים לרכב כבד דיזל באירופה

	CO		HC		NOx	
	g/kw/hr	g/km/Veh	g/kw/hr	g/km/Veh	g/kw/hr	g/km/Veh
Type Approval <sup>a</sup>	11.2	12.0	2.4	2.6	14.4	15.4
Conformity of production <sup>a</sup>	12.3	13.2	2.6	2.8	15.8	16.9
Type Approval <sup>b</sup>	14.0	15.0	3.5	3.7	18.0	19.3
Conformity of production <sup>b</sup>	14.0	15.0	3.5	3.7	18.0	19.3

הערות:

(a) הנחיה אירופאית 88/77/EEC ליישום החל משנת 1990. תקנים אלה יאומצו על בסיס וולונטרי בגרמניה והולנד.

(b) תקן 49 של השוק האירופאי המיושם כיום בצ'כיה, צרפת פינלנד איטליה וספרד. באוסטריה ושוויץ אומצו ערכים נמוכים יותר בין 20 ל-40%.

בנוסף נעשות בדיקות לדרגת אטימות (Opacity) עשן בהאצה חופשית. קיימות הגבלות נוספות של פליטות חלקיקים מרכבי דיזל. בנורווגיה הסטנדרט לחלקיקים הינו 0.4 g/kw.h כלומר 0.43 g/km/Veh. בשוויץ הסטנדרט לחלקיקים הינו 0.7 g/kw.h החל משנת 1991, כלומר תקן הפליטה יהיה נמוך מ-0.75 g/km/Veh.

### ג. מקדמי פליטה ביפן

התקנים הראשונים לרכבים הוצגו לראשונה ביפן בשנת 1973. פליטות מנועי דיזל נמדדו בדינמומטר בשיטת המדידה "Six Mode Cycle". בנוסף ישנן בדיקות עשן המבוססות על מסלול האצה חופשית ב-10 "Mode System". פרטים נוספים מובאים בטבלה ה.5.

**טבלה ה.5: תקני פליטה לרכבי דיזל ביפן (עד ל-10 נוסעים ללא הגבלת משקל)**

10 mode	g/km	max	mean
HC		0.62	0.40
CO		2.70	2.10
NO <sub>x</sub> >1265 kg vehicle weight		1.26	0.90
NO <sub>x</sub> <=1265 kg vehicle weight		0.98	0.70

**ה.5. מודלים להערכת הפליטות מרכב דיזל**

תקן הפליטה לרכב דיזל מהווה את הסף המותר לפליטת מזהמים מרכב כפי שנמדד במעבדה עבור רכב חדש. בפועל, היקף הפליטות במציאות הינו שונה במידה ניכרת מערכי התקן מהסיבות הבאות:

א. קצבי הפליטות של המזהמים במעבדה אינם יכולים לייצג את הפליטה בפועל של אוטובוסים וכלי רכב פרטיים הנוסעים ועוצרים לעתים קרובות בפקקי תנועה, בתנועה איטית בכבישים עירוניים צפופים.

ב. פליטת המזהמים של רכב משומש אינה יכולה להיות זהה לזה של רכב חדש.

ג. קצבי הפליטה בפועל תלויים בסוג הדלק (נדיפות, צמיגות, תכולת הגופרית) ובתנאים האקלימיים (בעיקר טמפרטורה של האוויר).

אי לכך פותחו (בעיקר בארה"ב) מודלים מתמטיים אשר מנסים לתת תשובה לשאלות לעיל.

MOBILE 4.0 היא תכנת מחשב המחשבת מקדמי פליטה עבור פחמימנים (HC), פחמן חד חמצני (CO), ותחמוצות חנקן (NO<sub>x</sub>) לרכבים הנוסעים בכבישים ומתודלקים בדלק בנזין או דיזל. הערכת מקדמי הפליטה ב-MOBILE 4.0 תלויה בתנאים רבים כמו טמפרטורת הסביבה, מהירות והיקף הנסיעה (mileage, accurral rates), וגיל הרכב. התוכנה גם כוללת התייחסות לעבר ולעתיד (בין השנים 1960 לבין 2020).

MOBILE 4.0 מחשבת מקדמי פליטות לרכבים הממונעים על ידי בנזין ודיזל מהסוגים הבאים:

- רכבים קלים - Light-duty vehicles (LDVs) -
  - משאיות קלות - Light-duty trucks (LDTs) -
  - רכבים כבדים (משאיות ואוטובוסים) - Heavy-duty vehicles (HDVs) -
- אופנועים ממונעי בנזין.

החידושים בתוכנה זו כוללים התחשבות בפליטות של פחמימנים הנובעים מהתאיידות דלק, במהלך הנסיעה ברכב, בפליטות הנובעות מהתאיידות של פחמימנים כאשר מתדלקים רכב בדלק. אדי דלק תופסים את נפח מיכל הדלק באזור הנותר מעל לנוזל הדלק. כאשר ממלאים דלק מוחלפים אדים אלו בדלק ומשתחררים לאטמוספירה. התכנה מתחשבת ברמת הנדיפות הדלקים הנמצאים בשימוש מסחרי בשנים האחרונות. נדיפות הדלק משפיעה על פליטות של פחמימנים (HC), פחמן חד חמצני (CO) ותחמוצות חנקן (NOx) במפלט הרכב, ועל פליטות שמקורן בהתאיידות דלק במהלך הנסיעה, בתדלוק הרכב, התורמות לשחרור אדי פחמימנים לאטמוספירה. התכנה מתחשבת בטמפרטורה היומית.

MOBILE 4.0 משתמשת בנתוני קלט שונים כדי להעריך את מקדמי הפליטה. מקדמים אלה הינם:

- מהירות נסיעה ממוצעת;
- נתונים על מרחקי הנסיעה המצטברים השנתיים;
- נתונים לגבי טמפרטורה יומית מכסימלית, טמפרטורה מינימלית, וטמפרטורת האויר הפתוח;
- סוג הרכב ושנת המודל;
- אופן התפעול: התנעה קרה, יציבה או התנעה חמה. בדרך כלל קצבי הפליטות של המזהמים גבוהים יותר כשהמנוע קר, נמוכים יותר כשמנוע מתחמם, ונמוכים ביותר כאשר הרכב מגיע למצב של נסיעה במהירות קבועה;
- לחות מוחלטת;
- נדיפות הדלק.

בטבלה ה-6 מפורטים קצבי הפליטה לרכבים פרטיים (בנוזן) ולרכבי דיזל כבדים (אוטובוסים ומשאיות) עבור המזהמים CO, HC ו-NOx, לשנים 1980, 1990 ותחזית לשנת 2000. קצבי הפליטה נתונים כפונקציה של מהירות הנסיעה.

**טבלה ה-6: דוגמאות למקדמי פליטה של CO ו-NOx HC כפונקציה של מהירות וסוג רכב הלקוחים מתוכנת Mobile 4.0**

לשנת 1980

Speed km/hr	Low Duty Gasoline Vehicle (LDGV)			Heavy Duty Diesel Vehicle (HDDV)		
	NOx g/km/Veh	HC g/km/Veh	CO g/km/Veh	NOx g/km/Veh	HC g/km/Veh	CO g/km/Veh
16	1.85	7.7	66.9	23.3	4.57	17.4
31.5	1.9	5.57	35.4	18.0	3.06	9.66
56.3	2.16	4.52	20.4	15.6	1.9	5.36
80.4	2.4	4.18	15.8	18.8	1.45	4.57
104	2.58	4.11	14.7	31.1	1.36	5.86

לשנת 1990

Speed km/hr	Low Duty Gasoline Vehicle (LDGV)			Heavy Duty Diesel Vehicle (HDDV)		
	NOx g/km/Veh	HC g/km/Veh	CO g/km/Veh	NOx g/km/Veh	HC g/km/Veh	CO g/km/Veh
16	1.09	3.84	29.3	14.9	2.34	13.7
31.5	1.0	2.73	16.1	11.5	1.56	7.64
56.3	0.94	2.2	8.94	10.0	0.97	4.23
80.4	0.98	2.01	6.52	12.0	0.75	3.6
104	1.04	1.98	5.95	19.9	0.7	4.63

לשנת 2000

Speed km/hr	Low Duty Gasoline Vehicle (LDGV)			Heavy Duty Diesel Vehicle (HDDV)		
	NOx g/km/Veh	HC g/km/Veh	CO g/km/Veh	NOx g/km/Veh	HC g/km/Veh	CO g/km/Veh
16	0.8	2.51	14.0	7.02	1.91	12.2
31.5	0.66	1.85	10.0	5.42	1.27	6.76
56.3	0.53	1.56	5.62	4.7	0.79	3.75
80.4	0.47	1.45	3.93	5.66	0.61	3.2
104	0.45	1.42	3.57	9.38	0.57	4.1

בימים אלה מתעדכנת התכנה ל-Mobile 6.0, אולם נראה שהתכנה Mobile 4.0 (של ארה"ב) יכולה להתאים יותר לצי הרכב בישראל כיום (שנת 1997) ולרמת אימוץ התקנים הנוכחית בישראל.

## נספח ו'

**תקנות לזניעת מפגעים (איכות אויר), התשנ"ב - 1992.**

**ק"ת 5435, התשנ"ב (16.4.1992) עמ' 972**

# תקנות למניעת מפגעים (איכות אוויר), התשנ"ב-1992<sup>1</sup>

בתוקף סמכותי לפי סעיפים 5 ו-18 לחוק למניעת מפגעים, התשכ"א-1961 (להלן - החוק), אני מתקין תקנות אלה:

1. **זיהום-אוויר חזק או בלתי סביר**  
זיהום-אוויר חזק או בלתי-סביר הוא הימצאות חומר מן המפורטים בטור א' בתוספת (להלן - מזהם) באוויר, בריכוז ממוצע העולה על הריכוז שנקבע לצידו בטור ב' בתוספת, במדידה הנמשכת בפרק הזמן הנקוב לצידו בטור ג'.
2. **סייג**  
על אף האמור בסעיף 1 לא ייחשב זיהום-אוויר חזק או בלתי-סביר הימצאות באוויר של המזהם גופרית דו-חמצנית בריכוז העולה על הריכוז הקבוע בתוספת, אם אינו עולה על 1.000 מיליגרם למטר מעוקב ואינו נמשך יותר מארבעים וחמישה פרקי זמן של חצי שעה במשך שנה רצופה.
3. **מדידת מזהמים**  
ריכוז המזהמים באוויר לעניין תקנות אלה יימדד בשיטות ובמכשירים שאישר המנהל הכללי של המשרד לאיכות הסביבה.
4. **שמירת הוראות ודינים**  
אין בתקנות אלה משום אישור לפליטת מזהם בריכוז הקבוע בתוספת מקום שניתנו הוראות אחרות לפי החוק, ואין בהן כדי לגרוע מסמכויות לפי כל דין לענין מניעת זיהום-אוויר חזק או בלתי-סביר.
5. **ביטול**  
תקנות למניעת מפגעים (איכות האוויר), התשל"ב-1971 - בטלות.
6. **תחילה**  
תחילתן של תקנות אלה שלושים ימים מיום פרסומן.

## תוספת (תקנות 1 ו-2)

בתוספת זו -  
"ריכוז במ"ג/מ"ק" - כמות מזהם המבוטאת במיליגרם ליחידת נפח של מטר מעוקב;  
"ריכוז בטון/קמ"ר" - כמות מזהם המבוטאת בטון ליחידת שטח של קילומטר מרובע;

1. ק"ת 5435, התשנ"ב (16.4.1992), עמ' 972.

חלק א - מזהמים גזיים

מס' סדורי	טור א' המזהם	נוסחה כימית	טור ב'		מס' סדורי
			ריכוז במ"ג/מ"ק	פרק זמן מדידה	
1.	Ozone	O <sub>3</sub>	0.230 0.160	חצי שעה 8 שעות	אחוז
2.	Sulfur Dioxide	SO <sub>2</sub>	0.500 0.280 0.060	חצי שעה 24 שעות 1 שנה	גופרית דו-חמצנית
3.	1, 2 Dichloroethane	CH <sub>2</sub> ClCH <sub>2</sub> Cl	6.0 2.0	חצי שעה 24 שעות	1, 2 דיכלורו-אתאן
4.	Dichloromethane	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	6.0 3.0	חצי שעה 24 שעות	דיכלורומתאן
5.	Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	10.0	24 שעות	טולואן
6.	Tetrachloroethylene	C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>	5.0	24 שעות	טטרכלורו-אתילן
7.	Trichloroethylene	C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub>	1.0	24 שעות	טריכלורו-אתילן
8.	Hydrogen Sulfide	H <sub>2</sub> S	0.045 0.015	חצי שעה 24 שעות	מימן גופר
9.	Styrene	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	0.100	חצי שעה	סטיורן
10.	Formaldehyde	CH <sub>2</sub> O	0.100	חצי שעה	פורמאלדהיד
11.	Carbon Monoxide	CO	60.0 11.0	חצי שעה 8 שעות	פחמן חד-חמצני
12.	Nitrogen Oxides (as NO <sub>2</sub> )	NO <sub>x</sub>	0.940 0.560	חצי שעה 24 שעות	תחמוצות חנקן (מחושבות כ-NO <sub>2</sub> )

חלק ב - מזהמים חלקיקיים מרחפים

מס' סדורי	טור א' המזהם	נוסחה כימית	טור ב' ריכוז במ"ג/מ"ק	טור ג' פרק זמן מדידה	המזהם	
					חומר חלקיקי	מרחף
.1	Suspended Particulate Matter	-	0.300	3 שעות	חומר חלקיקי מרחף	
			0.200	24 שעות		
			0.075	1 שנה		
.2	Respirable Particulate Matter	-	0.150	24 שעות	חומר חלקיקי עדין, שקוטר חלקיקיו קטן מ-10 מיקרומטר	
			0.060	1 שנה		
.3	Vanadium (in Suspended Particulate Matter)	V	0.001	24 שעות	ואנאדיום (בחומר חלקיקי מרחף)	
.4	Sulfate Salts	SO4	0.025	24 שעות	מילחי גופרה	
.5	Phosphate (in Suspended Particulate Matter)	P2O5	0.250	חצי שעה	פוספאט (בחומר חלקיקי מרחף)	
			0.100	24 שעות		
			0.040	1 שנה		
.6	Lead (in Suspended Particulate Matter)	Pb	0.0050	24 שעות	עופרת (בחומר חלקיקי מרחף)	
			0.0015	30 ימים		
			0.0005	1 שנה		
.7	Cadmium (in Suspended Particulate Matter)	Cd	0.000020	24 שעות	קדמיום (בחומר חלקיקי מרחף)	
			0.000006	30 ימים		
			0.000001	1 שנה		

חלק ג - מזהמים חלקיקיים שוקעים

מס' סדורי	טור א' המזהם	נוסחה כימית	טור ב' ריכוז במ"ג/מ"ק	טור ג'	
				פרק זמן מדידה	מדידה
1.	אבק שוקע	Settling Dust	20.0	30 ימים	
2.	פוספאט	Phosphate	0.25	24 שעות	
		$P_2O_5$	5.0	30 ימים	

א' בניסן התשנ"ב (9 באפריל 1992)

יצחק שמיר

ראש הממשלה והשר לאיכות הסביבה

**הנחיות לתכנון**

**נתיבים לתחבורה ציבורית**

**רשימת מראי מקום**

## רשימת מראי מקום לנושא הנדסת תנועה ותחבורה

### רשימת מראי מקום עבריים

1. משרד התחבורה, המפקח על התעבורה  
"הנחיות לתכנון מעברי חצייה להולכי רגל", מאי 1973.
2. משרד התחבורה, המפקח על התעבורה  
"הנחיות לתכנון רמזורים", אוגוסט 1981.
3. משרד הבינוי והשיכון, משרד התחבורה  
"הנחיות לתכנון רחובות בערים, חלק 1 - תכן גיאומטרי של רחובות עירוניים", אוגוסט 1983.
4. משרד התחבורה, המפקח על התעבורה  
"הנחיות לשילוב גלאים ברמזורים", נובמבר 1986.
5. משרד הבינוי והשיכון, משרד התחבורה  
"הנחיות לתכנון רחובות בערים, חלק 2 - תכן גיאומטרי של צמתים עירוניים", אוגוסט 1989.
6. ס. גולדנברג  
"מפריצים לתחנות אוטובוס - המלצות תכנוניות", תנועה ותחבורה, אפריל 1992.
7. מ. שובל, י. פרשק, ד. מהלאל  
"עקרונות תפעול ותכן גיאומטרי לאוטובוסים מפרקיים", המכון לחקר התחבורה, דו"ח מכון  
92-175, TRI, 1992.
8. י. גור, ל. חייפץ  
"ASSQUE - תוכנה להצבת תנועה בתנאי גודש, מדריך למשתמש", המכון לחקר התחבורה, דו"ח  
מכון 92-188, 1992.
9. משרד השיכון, מחלקת עבודות ציבוריות (מ.ע.צ.)  
"הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות, צמתים ומחלפים", יוני 1994.
10. י. שוורץ, י. איזנשטרק  
"אוגדן לדיני תעבורה - חוקים, תקנות, צווים", עידכון 1995.
11. חברת "תסקיר"  
"סקרי תנועה לאורך דרך 412 לאחר הוספת נת"צ", משרד התחבורה, מרץ 1997.

12. י. גור, י. קולניק

"תח"צ בכניסה לירושלים מדרך מספר 1, בדיקה תנועתית ותפקודית", משרד התחבורה, אגף תכנון  
וכלכלה, אפריל 1997.

13. "אגד" - היחידה לתכנון אסטרטגי,

"נת"צ ראשל"צ: תרומתו למערכת התחבורה", דוח 97-02, אוגוסט 1997.

1. F.V. Webster  
    **“Priority to Buses as part of Traffic Management”**, TRRL (448) 1972
2. L. Goodman and C.S. Selinger  
    **“The Exclusive Bus Lane on the New Jersey Approach to the Lincoln Tunnel”**, Highway Research Record (415)1972.
3. R. Lane  
    **“Bus Priority in Greater London”**, Traffic Engineering & Control 1973.
4. H.S. Levinson and D.B. Sanders  
    **“Reserved Bus Lanes on Urban Freeways: A Macromodel”**, TRR (513) 1974.
5. D.Link  
    **“Freeway Contraflow Bus Lanes: Some Policy and Technical Issues”**, Traffic Engineering 1975.
6. NATO  
    **“Bus Priority Systems”**, TRRL 1976
7. R.H. Oldfield, P.H. Bly and F.V. Webster  
    **“With Flow Bus Lanes: Economic Justification Using a Theoretical Model”**, TRRL 1977
8. Organization for Economic Development Co-Operation and Development  
    **“Bus Lane and Busway Systems”**, Paris, France, 1977.
9. R.J. Salter and A.A. Memon  
    **“Simulation of a Bus - Priority Lane”**, TRR (626) 1977
- 10.A. Poious and J.L. Schofer  
    **“Contraflow Bus Priority Lane Performance: A Case Study”**, Transportation Engineering 1979.
- 11.S.I. Schwartz, A. Holander, C. Louie R. Amoruso  
    **“Madison Avenue Dual - Width Bus Lane Project”**, TRR (854) 1982.

12.AASHTO

**“A Policy on Geometric Design of Highways and Streets”**, 1990.

13.AASHTO

**“Guide for the Design of High Occupancy Vehicle Facilities”**, 1992.

14.Overseas Centre

**“Design Guidelines for Busway Transit”**, TRL 1993.

15.Transportation Research Board

**“Highway Capacity Manual (HCM)”**, Special Report 209, Chapter 12, 1994.

16.Cambridge Systematics, Inc.

**“Predicting HOV Facility Demand – Methodology”**, final report, prepared for FHWA - DOT, March 1996.

17.D.B.Fambro and N.M.Rouphail

**“Generalized Delay Model for Signalized Intersections and Arterial Streets”**, presented at the 76th annual TRB meeting, Washington, DC, Jan. 1997.

18.S.Teply

**“Traffic Signal Planing Seminar - Notes”**, pp. 19-22, seminar held in Shefaim at March, 1997.

## רשימת מראי מקום לנושא כלכלה

### רשימת מראי מקום עבריים

1. המכון הישראלי לתיכנון ומחקר תחבורה  
"קובץ נתונים וניתוחים כלכליים של פרויקטים תחבורתיים ובדיקות כלכליות לבחינת כדאיות כלכלית של נתצ"ם".
2. משרד התחבורה, אגף תכנון וכלכלה  
"אומדן ערך זמן בנסיעות שאינן נסיעות בענייני עבודה", הוכן על ידי אלון אלגר, 1996.
3. צוות פיתוח רכבת ישראל  
"יתרונות סביבתיים של פיתוח הרכבת", הוכן על ידי אליהו חסון.
4. המכון הישראלי לתיכנון ומחקר תחבורה  
"ספירות חיץ ואומדן מקדמי מילוי באזור המטרופוליני של ירושלים", 1984.
5. המכון הישראלי לתיכנון ומחקר תחבורה  
"ספירות תנועה ואומדן מקדמי מילוי באזור המטרופוליני של ת"א", 1989.
6. חברת "דן-דוטן"  
"מערכת עורקית לתחבורה ציבורית באמצעות רכבת קלה (LRT) במטרופולין ת"א", פרופיל הפרוייקט ודו"ח היתכנות כלכלית, הוכן ע"י חברת "יוזמה בע"מ", 1994.
7. משרד האוצר אגף התקציבים  
"נוהל פר"ת: הנחיות לבדיקת כדאיות של פרויקטים בתחבורה יבשתית", מהדורה 2.0, ספטמבר 1996.

1. G. Macpherson,  
    **“Highway & Transportation Engineering & Planning”**, Chapter 25-26, pp.341-354, 1993.
2. P. Dutt and L. Willumsen  
    **“A Model For Screening Public Transport Technology for Cities in Developing Countries”**,  
    Traffic Engineering and Control, 1989.
3. U.S. Department of Transportation  
    **“High Occupancy Vehicle (HOV) Guidelines for Planning, Designing and Operations”**, June  
    1991.
4. A. Armstrong  
    **“Urban Transit System, Guide for the Destiny of High Occupancy Vehicle Facilities”**,  
    American Association of State Highway and Transportation Officials, World Bank Technical Paper  
    no.52, 1992.
5. R.H. Oldfield, P.H. Bly and F.V. Webster  
    **“With-Flow Bus Lanes: Economic Justification Using a Theoretical Model”**, Transport and  
    Road Research Laboratory, Report 809, 1997.

5. D.M.Colwill, A.J.Hickman and V.H.Waterfield  
**“Exhaust emissions from cars in service - changes with amendments to ECE Regulations 15”**  
TTRL report 840 , TTRL Berkshire U.K., 1985.
  
6. Report NO. FHWA/CA/TL-84/15 state of Carolina.  
**“A Dispersion Model For Predicting Air Pollutanat Concentrations Near Roadways”**,  
CALINE4, 1989
  
7. US EPA  
**“User`s guide to Mobile 4”**, EPA-AA-TEB-89-01 , Ann Arbor , Michigan 48105, 1989.
  
8. US EPA , Research Triangle Park , NC 27711 , USA ,  
**“Control of Motor Vehicle Emissions - the US Experience”** , Black F.M. 1991.
  
9. L.H.Watkins  
**“Air Poloooution From Roads”** , HMSO Publishing , London, 1991.