משרד התחבורה
התשתיות הלאומיות והבטיחות בדרכים
מינהל יבשה/ אגף תכנון תחבורתי

הנחיות לתכנון מערכות בקרת נתיבים לדרכים בישראל



חלק ג: הנחיות לתכנון מערכת נתיבים מתחלפים

ריכז וערך: יובל בלום
מרץ 2013

איתות 80 בע"מ | יובל בלום הנדסת תנועה | יואב זקס הנדסה בע"מ

תוכן העניינים

פרק 1: רקע כללי ג-5

1.1 מבוא ג-5

1.2 מונחים בתחום נתיבים מתחלפים ג-6

1.3 התכונות הפיזיות של נתיבים מתחלפים ג-8

1.4 מאפייני זמן של נתיבים מתחלפים ג-9

1.5 יישומים של מערכות נתיבים מתחלפים ג-10

1.5.1 יישומים זמניים ג-10

1.5.2 יישומים קבועים ג-10

1.5.3 דוגמאות למערכות של נתיבים מתחלפים ג-11

פרק 2: שיקולים תכנוניים להקמת מערכות נתיבים מתחלפים ג-20

2.1 שיקולי זרימת התנועה ג-20

2.1.1 ההתפלגות הכיוונית של התנועה ג-20

2.1.2 תנאי גודש תנועה ג-21

2.1.3 קיבולת אזורי הכניסה והיציאה ג-22

2.2 שיקולי תנועה אחרים ג-22

2.2.1 הקצאת הנתיבים ג-22

2.2.2 איסור פניות שמאלה ג-25

2.2.3 איסור חנייה ברחוב ג-25

2.3 שיקולי בטיחות התנועה ג-26

2.3.1 בטיחות התנועה של כלי-הרכב ג-26

2.3.2 בטיחות הולכי-הרגל ג-26

2.3.3 הבלבול האפשרי בין הוריית הרמזורים לבין הוריית תמרורי בקרת הנתיבים ג-27

2.3.4 סיכום שיקולי הבטיחות ג-27

2.4 שיקולי הנדסת אנוש וצרכי המידע של הנהג ג-28

2.4.1 השפעת רמת היכרות הנהג עם מערך הנתיבים על עומס המידע ג-28

2.4.2 צרכי המידע של הנהג ג-30

2.4.3 השפעת שיקולי דרישות המידע ועומס המידע על תכנון הנתיבים המתחלפים ג-32

2.5 שיקולים סביבתיים ג-32

2.6 שיקולי מדיניות וחברה ג-33

2.7 שיקולים כלכליים ג-33

2.8 הערכת ביצועים ג-34

2.8.1 מדדי ביצוע ג-34

2.8.2 הערכה תפעולית ג-34

2.9 קבלה ע"י הציבור ג-36

2.10 שיקולים תכנוניים אחרים ג-36

פרק 3: פרטי התכן של נתיבים מתחלפים ג-37
3.1 החתך לרוחב הדרך ג-37
3.1.1 החתך לרוחב בדרך בין-עירונית ג-37
3.1.2 החתך לרוחב בדרך עירונית ג-40
3.2 מרחק ראות, תוואי אופקי ואנכי ג-44
3.3 אזורי כניסה ויציאה ג-45
3.3.1 סוגים של אזורי כניסה ויציאה ג-45
3.3.2 קיבולת אזורי הכניסה והיציאה ג-60
3.4 צמתים ומחלפים ג-60

פרק 4: הסדרים והתקנים לבקרת התנועה ג-61
4.1 סימון על פני הדרך ג-61
4.1.1 סימון לאורך הנתיבים ג-61
4.1.2 סימון אזורי הכניסה והיציאה ג-62
4.2 תמרורים ושלטים קבועים ג-64
4.2.1 תמרור מידע מוקדם ג-64
4.2.2 תמרורים לאיסורים הגבלות ומודיעין ג-64
4.3 תמרורי בקרת נתיבים עבור נתיבים מתחלפים ג-65
4.3.1 הנחיות לשימוש בתמרורי בקרת נתיבים ג-66
4.3.2 הנחיות להצבת תמרורי בקרת נתיבים ג-66
4.4 צמתים מרומזרים ג-67
4.4.1 כללי ג-67
4.4.2 הצבת תמרורי בקרת נתיבים בסמיכות לרמזורים ג-68
4.5 התקנים אחרים לבקרת תנועה ג-69
4.5.1 מעקות בטיחות ג-69
4.5.2 מחסומים ג-70
4.5.3 שלטים מילוליים למסרי תנועה מתחלפים ג-70
4.6 תמרורים עבור נתיבי פנייה מתחלפים בצמתים מרומזרים ג-71
4.7 בחינת דרישות המידע ועומס המידע של הנהג ג-71

פרק 5: תפעול מערכת נתיבים מתחלפים ג-73
5.1 ניהול התנועה במערכת נתיבים מתחלפים ג-73
5.1.1 מערכת איסוף נתוני תנועה ג-73
5.1.2 מרכז בקרת תנועה ג-73
5.1.3 ניהול אירועים ג-74
5.2 עקרונות התפעול של מערכת נתיבים מתחלפים ג-74
5.2.1 שיטות תפעול טיפוסיות ג-74
5.2.2 כללי התפעול ומצבי המעבר ג-75
5.2.3 זמני המעבר להפיכת כיוון התנועה ג-78
5.3 תפעול התחבורה הציבורית ג-79
5.4 ניטור ואכיפה ג-79

מראי מקום ג-80

רשימת טבלאות

טבלה 1-2 : פרטי מידע הנדרשים לנהג כתלות ברמת ההיכרות שלו עם מערכת הנתיבים המתחלפים, ומקור המידע.....ג-29

טבלה 1-3 : הגדרת סוגי הדרכים הבין-עירוניות בהתייחס לנתיבים מתחלפים.....ג-38

טבלה 2-3 : מהירויות ייעוד וממ"מ מומלצות בסוגי רחובות ודרכים עירוניים ג-40

טבלה 1-4 : אורך קטעי המעבר בין נתיבים ג-63

טבלה 2-4 : מסרים שניתן להציג על תמרורי בקרת נתיבים במערכת נתיבים מתחלפים ג-65

טבלה 3-4 : סיכום פרטי המידע הנדרשים לנהג כתלות ברמת ההיכרות שלו עם מערכת הנתיבים המתחלפים, ומקור המידע ג-72

טבלה 1-5 : מצבי המעבר של תמרורי בקרת הנתיבים המתחלפים.....ג-77

רשימת תרשימים

תרשים 1-1 : האזורים השונים במערכת נתיבים מתחלפים "פתוחה" ע"פ ההנחיות הקנדיות.....ג-9

תרשים 1-2 : נתיב מתחלף לכ"ר עתירי-תפוסה ואגרה בסאן-דייגו, קליפורניה ג-12

תרשים 1-3 : דרך I-10 ביוסטון, טקסס, עם מסלול של נתיבים מתחלפים.....ג-13

תרשים 1-4 : דרך I-10 ביוסטון, טקסס, בעת מילוט.....ג-13

תרשים 1-5 : נתיב מתחלף זמני בגשר McClugage באילינוי, ארה"ב.....ג-14

תרשים 1-6 : נתיב מתחלף לכ"ר עתירי-תפוסה באוטווה, קנדה ג-15

תרשים 1-7 : נתיב מתחלף ב- Lions Gate בוונקובר, קנדה ג-16

תרשים 1-8 : מערכת נתיבים מתחלפים ב- Heerstrasse בברלין בשעות השפל ג-17

תרשים 1-9 : מערכת נתיבים מתחלפים ב- Heerstrasse בברלין בשעות השיא ג-17

תרשים 1-10 : מערכת נתיבים מתחלפים בדרך A38M בקרבת ברמינגהם, בריטניה ג-18

תרשים 1-11 : נתיב מתחלף ברחוב יצחק שדה – מבט מצומת טברסקי מערבה.....ג-19

תרשים 2-1 : תצורות בסיסיות של נתיבים מתחלפים ג-23

תרשים 2-2 : פרטי המידע הנדרשים לנהג לצורך קבלת החלטות בשלבים השונים של תהליך קבלת ההחלטות.....ג-31

רשימת תרשימים (המשך)

תרשים 3-1 : כניסה אל מסלול דו-נתיבי מתחלף ויציאה ממנו בדרך ממוחלפת באמצעות רמפות ישירות במחלף מעוין ג-46

תרשים 3-2 א : כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בדרך עורקית באמצע קטע – דוגמא I ג-49

תרשים 3-2 ב : כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בדרך עורקית באמצע קטע – דוגמא I תימרור של נתיב מתחלף הפתוח לתנועה לכיוון צפון ג-50

תרשים 3-2 ג : כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בדרך עורקית באמצע קטע – דוגמא I תימרור של נתיב מתחלף הפתוח לתנועה לכיוון דרום ג-50

תרשים 3-3 א : כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בדרך עורקית באמצע קטע – דוגמא II ג-51

תרשים 3-3 ב : כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בדרך עורקית באמצע קטע – דוגמא II תימרור של נתיב מתחלף הפתוח לתנועה לכיוון צפון ג-52

תרשים 3-3 ג : כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בדרך עורקית באמצע קטע – דוגמא II תימרור של נתיב מתחלף הפתוח לתנועה לכיוון דרום ג-52

תרשים 3-4 : כניסה ויציאה של נתיבים מתחלפים בדרך עורקית בצומת מרומזר – דוגמא I ג-56

תרשים 3-5 : כניסה ויציאה של נתיבים מתחלפים בדרך עורקית בצומת מרומזר – דוגמא II ג-57

תרשים 3-6 : תיאור סכמתי של הנתיב המתחלף החוצה את צומת המסגר-יצחק שדה בת"א ג-58

תרשים 3-7 : נתיב מתחלף בגשר McClugage באילינוי – הסטת התנועה בכניסה לגשר ג-59

תרשים 4-1 : מעקה בטיחות מבטון Zipper המוזז מנתיב לנתיב, בדרך I-95 בארה"ב ג-69

1. רקע כללי

1.1 מבוא

הגידול באוכלוסייה בתוך וסביב האזורים העירוניים מביא לגידול הביקושים בתשתיות התחבורה הקיימות, במיוחד בדרכים העירוניות הראשיות. התוספת של קיבולת נתיבים מספקת, אשר תשביע את הביקושים הקיימים והעתידיים בשעות השיא, נתפסת כלא אפשרית, לאור העלות או מגבלות זכות הדרך, או לחילופין המטרות ארוכות הטווח לתחבורה וסביבה ברות-קיימא.

שיטה אפשרית אחת לעמוד בדרישות הניידות והקיימות, במסגרת זכויות דרך ותקציבים מוגבלים, היא רעיון "ניהול נתיבים פעיל" **(11)**. ניהול נתיבים פעיל כולל אסטרטגיות המביאות לאופטימום את היעילות התפעולית של התשתית הקיימת, באמצעות תגובה גמישה ודינאמית לביקושי תנועה משתנים, באופן המתאים לצרכי ורמות העדיפות של הקהילה.

ניהול נתיבים פעיל יכול להיות מיושם בכל סוגי הדרכים, בפרוזדורים בודדים או על פני רשת שלמה, על מנת ליישם אסטרטגיות שמגבירות את הניידות, ובו-זמנית מקטינות את גודש התנועה.

במונחים של תכנון תפקודי, "נתיבים מנוהלים" (Managed Lanes) יכולים לכלול את אסטרטגיות תכנון התנועה הבאות:

- הגבלות על חנייה ברחוב במהלך שעות השיא.
- מדיניות ותקנות עבור כ"ר עתירי-תפוסה (High Occupancy Vehicles = HOV).
- מודלי תמחור עבור נתיבים לכ"ר עתירי-תפוסה/ אגרה (High Occupancy Toll = HOT).
- מתקנים בלעדיים עבור קבוצות משתמשים פרטניות (רכבי חירום, הסעת המונים).
- הפיכה של שוליים סלולים לנתיבי נסיעה, עבור שימוש פרטני או כללי.
- מתקנים המפרידים בין נסיעות מקומיות וארוכות-טווח.
- מערכות נתיבים מתחלפים – Reversible Lane Systems.

הגמישות בזמן היא המפתח המאפשר את רעיון הנתיבים המנוהלים. ניתן ליישם את האסטרטגיות הנ"ל תוך התחשבות בגורמי הזמן הבאים:

- על בסיס תגובה לביקושים
- על בסיס זמנים קבועים – שעות ביום ו/או ימים בשבוע
- באופן לא תדיר, כתגובה לאירועים המתוכננים מראש
- כתגובה למצבי חירום של הטבע או מעשה ידי אדם.

בחלק זה של ההנחיות מפורטות ההנחיות למערכת נתיבים מתחלפים. תפעול מערכות נתיבים מתחלפים נתפס באופן רחב כאחד מהאמצעים הכדאיים ביותר להגדלת הקיבולת של דרכים קיימות. העיקרון של נתיבים מתחלפים (Reversible Lanes) הוא ליצור תצורה של נתיבים בדרך, שתתאים בין הקיבולת הזמינה לבין הביקוש התנועתי. אמצעים כאלה הם אפקטיביים במיוחד, מאחר שהם מנצלים את הקיבולת הלא מנוצלת של הנתיבים בכיוון הנגדי (הכיוון ההפוך לכיוון הראשי בשעות השיא), על מנת להגדיל את הקיבולת בכיוון הראשי העמוס, וע"י כך למנוע את הצורך לסלול נתיבים נוספים (ראה הגדרות המונחים בסעיף 1.2 להלן). נתיבים מתחלפים הם אפקטיביים ביותר כאשר יש חוסר איזון גבוה בנפחי התנועה בין שני הכיוונים, כמו אלה המתרחשים בשעות השיא באופן יומיומי, או לפני אירועים גדולים, או במקרים של פינוי אזורים בשעת חירום.

ההנחיות הקנדיות לתכנון, תפעול והערכה של מערכות נתיבים מתחלפים **(11)** מגדירות נתיב, מסלול או דרך מתחלפים כנתיב, מסלול או דרך בהם כיוון הנסיעה של זרם התנועה של נתיב אחד או יותר, או שול, מתהפך לכיוון הנגדי, לתקופה זמנית.

למרות הפשטות לכאורה של רעיון הנתיבים המתחלפים, יישום של מערכת נתיבים מתחלפים מצליחה (בטוחה ויעילה) דורש תכנון, יישום וניהול זהירים. הזמינות המוגבלת של הנחיות ותקנים בתחום זה הביאה לשונות רבה בתכנון, תפעול וניהול באתרים השונים בהם מופעלים מערכות נתיבים מתחלפים.

לחוסר האחידות יש השלכות במונחים של הבנה, ביצועים, יעילות ובטיחות של משתמש הדרך. רוב העלויות והתועלות של מערכות הנתיבים המתחלפים לא תועדו. נראה שאין תמימות דעים על מדדי הביצוע, בשלב התכנון כמו גם בשלב שאחרי היישום. הנחיות שונות כוללות התייחסות לשילוט, תימרור, רימזור וסימון של נתיבים מתחלפים, וכן לשיקולים התכנוניים. ואולם, במקרים רבים בעולם התפתחו יוזמות מקומיות, ויש חוסר עקביות בין השיקולים התכנוניים השונים.

הנחיות אלה מהוות "ארגז כלים" למתכנן, בכך שהן מתארות מגוון של תצורות ליישומים של מערכות נתיבים מתחלפים, ומפרטות את השיקולים שיש לקחת בחשבון כאשר מתכננים מערכת כזו. ואולם יש לשקול כל פתרון ע"פ התנאים הפרטניים של המקרה והמקום, ולקבל החלטה על מידת ההתאמה של הפתרון המאומץ לתנאי הדרך.

להלן פירוט התכנים בחלק זה:

- פרק 1: רקע כללי והגדרת מונחים לנושא נתיבים מתחלפים, כולל דוגמאות מן העולם.
- פרק 2: שיקולים תכנוניים להקמת מערכת נתיבים מתחלפים.
- פרק 3: הגדרת פרטי התכן של נתיבים מתחלפים.
- פרק 4: הסדרים והתקנים לבקרת תנועה הנמצאים בשימוש במערכות נתיבים מתחלפים, כולל: סימון על פני הדרך, שלטים ותמרורים קבועים, תמרורי בקרת נתיבים, רמזורים, מעקות בטיחות, מחסומים, ושלטים מילוליים למסרי תנועה מתחלפים.
- פרק 5: עקרונות התפעול של מערכת נתיבים מתחלפים.

1.2 מונחים בתחום נתיבים מתחלפים

מסמך NCHRP 340 **(12)** סוקר את המונחים השונים שהתפתחו במשך השנים, בהתייחס למערכות נתיבים מתחלפים. מאחר שקיימים מונחים רבים הדומים זה לזה, ואין להם תרגום מוסכם בעברית, מובאים המונחים בשם המקורי באנגלית, וכן הם מוסברים בעברית.

Convertible Operations and Facilities:
למרות שאין בספרות הגדרה פרטנית למונח "מתקן הפיך" - convertible, במערכות אלה מתרחשים שינויים בתפעול התנועה, על בסיס הזמן. שינויים אלה יכולים להתייחס לכיוון התנועה, לפניות ותנועות מותרות, לסוגי כלי-רכב מותרים, או לאגרה הנגבית עבור השימוש בהם. שינויים אלה יכולים להתרחש בנתיבי הנסיעה או בשוליים.

Managed Lanes and Facilities:
משרד התחבורה של טקסס **(13)** מגדיר מתקן של "נתיבים מנוהלים" כמתקן המגדיל את יעילות הדרך באמצעות חבילה של פעולות תכנון ותפעול שונות. ניתן להתאים ולכוונן את התפעול של ניהול נתיבים, כך שיותאם בכל זמן ליעדים האזוריים. בהגדרה זו כלולים נתיבים מתחלפים, כמו גם סוגים אחרים של מתקנים עם שימוש מיוחד ועדיפות, כגון נתיבים לרכב עתיר-תפוסה (HOV), נתיבי תחבורה ציבורית (נת"צ), ונתיבי אגרה. ניתן לעשות שימוש בנתיבים מנוהלים על מנת להגביל גישה בשעות השונות של היום, או לצורך אגרות גודש בשעות מסוימות של היום. בין היעדים של נתיבים מנוהלים: הגדלת הקיבולת, ניהול הביקוש, ושיפור הבטיחות **(13)**. דוגמאות לנתיבים מנוהלים הן דרך I-15 בסן-דייגו, קליפורניה, וקטעים של I-5 ו- I-90 בסיאטל.

Reversible Operations and Facilities:
המונח "נתיבים מתחלפים" הוא מקרה פרטי של מתקן הפיך (convertible), בכך שזרם התנועה בנתיב, או במסלול, או בקטע הדרך, נע בכיוונים הפוכים בזמנים שונים.

Tidal Operations and Facilities:
המונח Tidal או Tidal Flow הינו בשימוש בעיקר באירופה ובאוסטרליה, ומקביל למונח האמריקאי Reversible Lanes – "נתיבים מתחלפים".

תפעול לא-סימטרי (Off-Center Operation):
"תפעול לא-סימטרי" מוגדר כמצב בו מספר הנתיבים המוקצה לתנועה בכיוון אחד, אינו שווה למספר הנתיבים בכיוון השני. במצב כזה, שלושה נתיבים יכולים לשמש כיוון אחד, ורק שני נתיבים בכיוון שני. חוסר האיזון יכול להיות קבוע, או יכול להתבסס על השעה ביום. יישום זה נראה נדיר, מאחר וזרם התנועה נחשב בד"כ כתהליך מאוזן, בו הביקוש בכיוון אחד הינו שווה-ערך לביקוש בכיוון הנגדי, בשעות אחרות של היום. ואולם, במערכת של נתיבים חד-סטריים ייתכן מצב בו בדרך חד-סטרית מוקצים נתיבים בכיוון ההפוך בשעות מסוימות ביום.
שימוש לא שגרתי של תפעול לא-סימטרי תועד ע"י Thorpe **(18)** בקטעי דרך במלבורן, אוסטרליה, בשנות השישים של המאה העשרים. כלי-רכב הופנו לנסוע מחוץ לנתיביהם המסומנים, על מנת למקסם את השימוש ברוחב חתך-הדרך. כך למשל, ניתן להשתמש ברוחב של שני נתיבים רגילים על מנת לשאת שלושה נתיבי תנועה, בשעות מסוימות של היום.

תפעול בכיוונים מתהפכים (Contra-flow Operations and Facilities):
המונח Contra-flow הוא סוג מסוים של זרימה נגדית (Reverse Flow), המוגדרת כהיפוך הזרימה בדרך רב-מסלולית. האבחנה נעשית מאחר ש- Reverse Flow נתפס כקשה יותר לנהל ולבקר, במיוחד בקרבת צמתים, כאשר יש ניגודים עם רחובות חוצים ועם פניות, וכאשר יש נוכחות הולכי רגל.
בדרך מהירה, נתיב (או נתיבי) Contra-flow הוא נתיב בכיוון השפל, שמשמש לנסיעת כ"ר בכיוון השיא. לדוגמא, נתיב בכיוון אל תוך האזור העירוני משמש את התנועה אל מחוץ לאזור העירוני בתקופת שיא אחה"צ. נתיב Contra-flow הוא בד"כ הנתיב השמאלי ביותר של כיוון הנסיעה (במדינות בהם נוסעים בשגרה בצד ימין), והוא מופרד משאר הנתיבים בכיוון הנגדי ע"י מעקה בטיחות.

היישום הקיצוני ביותר של Contra-flow הוא התפתחות חדשה יחסית, בה תנועה בכיוון הפוך מתוכננת לצורך פינוי אזורי חוף רגישים, הנמצאים בסכנת הוריקן. עוד על תפעול של זרימה נגדית מובא בסעיף 1.5 להלן.

מחקר אחר מגדיר Contra-flow כרעיון, בו כלי-רכב עתירי-תפוסה נוסעים בדרך עורקית בכיוון המנוגד לכיוון הזרימה השגרתי, כאשר רעיון זה יכול להיות ממומש בדרך דו-מסלולית, כמו גם בדרך חד-מסלולית. היפוך הזרימה (Contra-flow) שימש באופן נרחב עבור נתיבי תחבורה ציבורית וכלי-רכב עתירי-תפוסה בדרכים מהירות בניו-ג'רסי, בוסטון, ניו-יורק, לוס-אנג'לס וחבל מרטין בקליפורניה [ד"ר דן לינק, 1975 **(19)**].

נתיב ייעודי (Concurrent Flow):
המונח Concurrent Flow Lane מוגדר כנתיב המיועד לסוג מיוחד של כלי-רכב, כגון תחבורה ציבורית, כ"ר עתיר-תפוסה או משאיות, באותו כיוון כמו שאר התנועה, אבל אינו מופרד פיזית משאר נתיבי התנועה באותו כיוון **(13)**. כ"ר "מיוחדים" רשאים לנסוע בנתיב זה כל היום או רק חלק ממנו. נתיב Concurrent מופרד בד"כ ע"י אזור חיץ או סימון ברור על פני המיסעה.

כיוון זרימה ראשי וכיוון זרימה נגדי:
הכיוונים "ראשי" ו- "נגדי" הם מונחים שבד"כ מקושרים לתפעול של נתיבים מתחלפים. כיוון הזרימה הראשי בדרך הוא זה שזורם בו נפח התנועה הגבוה ביותר, במהלך תקופת המדידה. בדרך עירונית טיפוסית כיוון הזרימה הראשי יהיה פנימה לתוך המע"ר, בשעות הבוקר, והחוצה בשעות אחה"צ. כיוון הזרימה הנגדי יהיה הכיוון ההפוך (נא תשומת הלב לכך שהמונחים "כיוון ראשי" ו"כיוון נגדי" מתייחסים לכיוון העמוס והכיוון הפחות עמוס, בהתאמה, בזמן מסוים, <u>באותו ציר תנועה</u>, ולא בכיוונים מצטלבים). כיוון הזרימה הראשי יקבל את הנתיבים הנוספים במהלך תקופת "ההיפוך". לדוגמא, דרך בת שישה נתיבים תפעל בתצורת 3:3 בשעות השפל, ובתצורת 2:4 בשעות השיא.

Zipper Lanes:
מתקנים אלה, המכונים "נתיבי רוכסן (ריצ'רץ')", קיבלו את שמם בגלל פעולת ההזזה הצדית של מעקה מקצה נתיב אחד לקצה נתיב סמוך. נושא זה נדון בהרחבה בסעיף 4.5.1 להלן.

Counter-flow:
במונח זה יש שימוש לחילופין עם Contra-flow. לא נמצאו בספרות הגדרות למונח זה.

1.3 התכונות הפיזיות של נתיבים מתחלפים

ע"פ ההנחיות הקנדיות לתכנון, תפעול והערכה של מערכות נתיבים מתחלפים **(11)**, המאפיינים הפיזיים העיקריים של דרך בתצורת נתיבים מתחלפים כוללים:

- מאפיינים גיאומטריים כגון: אורך כללי, חתך הדרך, תוואי (alignment) אופקי ואנכי, נקודות ביניים לכניסה ויציאה, מספר נתיבי הנסיעה הראשיים לאורך הדרך, קיום של נתיבי עזר, צמתים ומחלפים, דרכי גישה לבתים, חצייה של הולכי רגל, והתצורה והאורך של מעברי הכניסה אל הנתיבים המתחלפים והיציאה מהם.
- התקנים לבקרת תנועה המשרתים באופן ישיר את מערכת הנתיבים המתחלפים, כולל רמזורים, שלטים ותמרורים להוריה, אזהרה ומידע (קבועים ולמסרי תנועה מתחלפים), תמרורי בקרת נתיבים, וסימון על פני הדרך.
- מחסומים המונעים תנועות בניגוד לכיוון המותר.

נתיבים מתחלפים כוללים בד"כ חמישה אזורים, המתוארים באופן גרפי בתרשים 1-1:

1) **אזור הגישה (Approach Zone)** – התחום בו יש להתריע על קיום נתיב מתחלף / נתיבים מתחלפים, ועל קיום הקריטריונים לשימוש (מספר הנוסעים, סוג הרכב, אגרה, וכו').

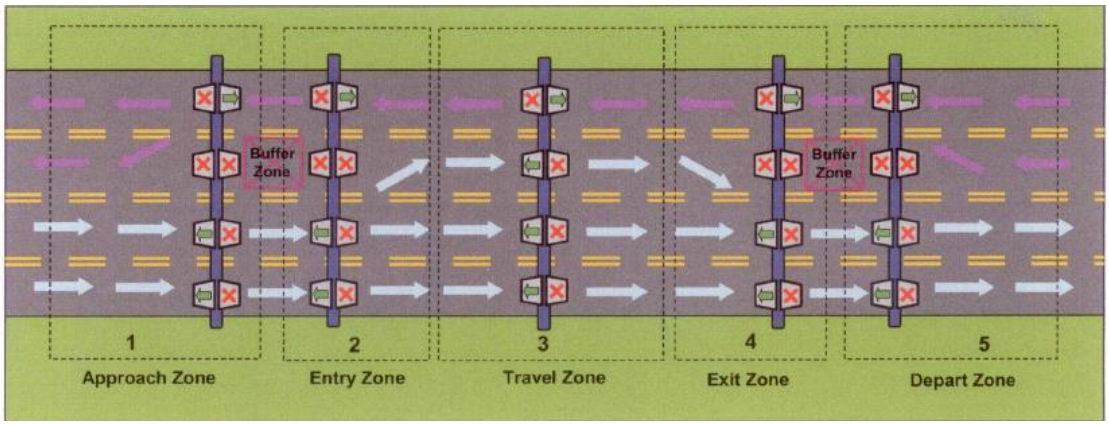
2) **אזור הכניסה (Entry Zone)** – הנקודה בה על הנהג להחליט האם להיכנס לנתיב המתחלף, או להישאר בזרם התנועה הכללי. אזור זה מתאפיין באופן טיפוסי בתנועות התפצלות, בו יש פוטנציאל גבוה יותר להתנגשויות. על מנת למזער את הניגודים, ניתן לשקול אזור חיץ (Buffer Zone), בתחילת אזור הכניסה, שיכלול את קטע הדרך בו נסיעת כלי-רכב אסורה בשני הכיוונים (ראה תרשים 1-1).

3) **אזור הנסיעה (Travel Zone)** – האזור של הנתיבים המתחלפים בו החלפת הנתיבים כבר התבצעה, והקיבולת של הכיוון הראשי כבר מוגברת ע"י הנתיבים הנוספים. קיימים שני סוגים של אזורי נסיעה: סוג אחד הוא אזור נסיעה "סגור", בו המסלול של הנתיבים המתחלפים הוא חד-סיטרי ומופרד מהנתיבים האחרים, וניתן לצאת ממנו בצמתים או במחלפים בלבד. בסוג זה קיימים הסדרי תנועה מתחלפים בצמתים ובמחלפים, בהם ממוקמות הכניסות והיציאות לנתיבים ה-"סגורים". סוג שני הוא אזור נסיעה "פתוח" (ראה תרשים 1-1), בו הנתיבים המתחלפים מופרדים מהנתיבים המקבילים באמצעות סימוני צבע. כאשר הנתיבים המתחלפים הם מהסוג ה-"פתוח", המשתמשים יכולים לקבל החלטה האם להיכנס אל או לצאת מן הנתיבים המתחלפים, כאשר הם נמצאים לאורך אזור הנסיעה. לנהגים מוצג מידע לסירוגין על הנתיבים הפתוחים לשימוש, ועל הקריטריונים לשימוש. מידע זה הוא קריטי, שכן נתיבים סמוכים עשויים להיות פתוחים לתנועה בכיוונים מנוגדים, וקיים סיכון לתאונות חזית-חזית, עבור הנהגים שלא מפרשים נכונה את המידע המוצג להם.

4) **אזור היציאה (Exit Zone)** – אזור המעבר בו תנועה בנתיב המתחלף משולבת בחזרה עם התנועה בנתיבים הראשיים. הנהג חייב לצאת מהנתיב המתחלף ולהצטרף לזרם התנועה הכללי. באזור זה חובה שיהיו תמרורים ואמצעי בקרת תנועה אחרים, על מנת להודיע לנהגים על הגעתם לקצה הנתיבים המתחלפים. אזור זה מאופיין ע"י תנועות מיזוג והשתזרות, ופוטנציאל גבוה יותר להתנגשויות. על מנת למזער את הניגודים, ניתן לשקול אזור חיץ (Buffer Zone) בסוף אזור היציאה, שיכלול את קטע הדרך בו נסיעת כלי-רכב אסורה בשני הכיוונים.

5) **אזור העזיבה (Departure Zone)** – הנקודה בה מסתיימת מערכת הנתיבים המתחלפים. הנתיב המתחלף מסתיים והתנועה חוזרת לדפוס הנסיעה הרגיל.

תרשים 1-1 : האזורים השונים במערכת נתיבים מתחלפים "פתוחה" ע"פ ההנחיות הקנדיות (11)



מנקודת מבט תפעולית, האזורים הקריטיים ביותר בקטעי נתיבים מתחלפים הם אזורי המעבר : אזור 2 – אזור הכניסה, ואזור 4 – אזור היציאה. כדי שמערכת נתיבים מתחלפים תהיה אפקטיבית, הקיבולת של אזורי המעבר צריכה לאפשר את הנפחים הנוספים, אחרת המאמץ חסר ערך. אם הקיבולת של הקטעים במורד הזרם פחותה מזו של הקטעים המתחלפים, התוצאה הצפויה היא היווצרות של גודש תנועה בתוך הקטע המתחלף, שיקטין או יקזז את התועלת המצופה של הנתיב הנוסף.

היבט חשוב נוסף של מערכת נתיבים מתחלפים הוא "המצב הבסיסי", בו אין צורך בתגבור קיבולת לאחד הכיוונים. עבור דרכים שנושאות בשגרה תנועה דו-כיוונית זו אינה בעיה, שכן המצב הבסיסי הוא התבנית הדו-כיוונית. ואולם, עבור דרכים מהירות בהן קיים מסלול "סגור" של נתיבים אמצעיים המשמשים עבור תנועה בכיוון מתחלף, המצב מורכב יותר, במיוחד בתקופות שפל כגון לילה או סוף שבוע. ניתן למשל להקצות נתיבים אלה עבור התנועה לתוך מרכז העיר.

1.4 מאפייני זמן של נתיבים מתחלפים

ע"פ הגדרה, כיוון התנועה של זרם התנועה בדרך ובה נתיבים מתחלפים אינו קבוע בנתיבים אלה. מאחר שרוב מערכות הנתיבים המתחלפים מתייחסות בד"כ לצרכים תקופתיים יומיים, רוב התצורות משמשות לתקופות קצרות, בד"כ 3-4 שעות בתקופת שעות השיא של הבוקר ואחה"צ. ואולם יש גם דוגמאות רבות שמערך הנתיבים מתקיים למשך ימים ואף חודשים. מערכות רבות בדרכים מהירות פועלות במחזורים של מחצית היום, כאשר כיוון אחד הוא עבור שעות הבוקר, וכיוון שני הוא עבור אחה"צ והערב. תנאים כגון עבודות סלילה או פינוי מאזורי אסון יכולים לדרוש תפעול למשך ימים **(12)**.

ע"פ ההנחיות הקנדיות **(11)**, מאפייני הזמן העיקריים של מערכות נתיבים מתחלפים הם :

- תדירות ומשך של תצורה מסוימת :

  - רוב המערכות פועלות על בסיס "זמן קבוע", כלומר הן מתחילות ומסתיימות באותו הזמן, בד"כ בימי השבוע.
  - חלק מן המערכות הן ידניות, כלומר הן מיושמות ע"י מפעיל (או צוות שטח), כאשר נראה שהן מועילות.
  - חלק מן המערכות הן אוטומטיות, כלומר הן מיושמות כאשר קריטריונים מסוימים מתקיימים, כמו למשל ערכי סף של נפח תנועה / יחס נפח-קיבולת / אורך תור. על מערכות אוטומטיות אלה להתחשב בהתמשכות של ערכי סף אלה, על מנת להבטיח שהמערכות לא תפעלנה במשך תקופת שיא קצרה בלבד.

- הזמן הדרוש למעבר התנועה מתצורה אחת לשנייה:

  - רוב המערכות משתמשות בזמן מעבר המחושב על בסיס האורך של הקטע המתחלף, ומהירות הנסיעה.
  - סווג מערכת הנתיבים המתחלפים כ"פתוחה" או "סגורה" משפיע על זמן המעבר.
  - חלק מן המערכות עוברות למצב המתחלף ע"י הזזת מחסומים פיזיים.
  - חלק מן המערכות מנטרות את התנועה בנתיב המתחלף (ע"י מצלמות טלוויזיה במעגל סגור או ע"י מפעיל) בזמן אמת, ומבצעות את המעבר כאשר הנתיב פנוי.

ברור שהתקופות הקריטיות ביותר עבור תפעול מערכות נתיבים מתחלפים הן תקופות המעבר בהן זרם התנועה "מתהפך" מכיוון אחד למשנהו. בעוד שבתקופה זו יש פוטנציאל סיכון לתאונות חזית-חזית במערכות בהן אין מחסום פיזי, תקופה זו פגיעה ורגישה בכל מערכות הנתיבים המתחלפים.

מהיבט היעילות - תקופת המעבר צריכה להיות קצרה ככל האפשר. מהיבט בטיחות - המעבר חייב להיות ארוך מספיק על מנת לאפשר לנהגים לתפוס, להבין ולהגיב לשינוי בהקצאת הנתיבים. זמן זה חייב לאפשר לנהגים לפנות את הנתיב או הנתיבים לפני השינוי בכיוון, בטרם ייווצר ניגוד.

לסיכום, מאפייני זמן הם שיקולים חשובים, הן מבחינת השינויים בתצורת הדרך, והן מבחינת תקופות המעבר. מערכות אוטומטיות של תימרור, הפועלות בתקופות המעבר, מאפשרות מעבר מדורג של הקצאת הנתיבים, ובכך מקצרות את תקופת המעבר. פרק 5 עוסק בהרחבה בהיבטי תפעול אלה.

1.5 יישומים של מערכות נתיבים מתחלפים

אסטרטגיות של נתיבים מתחלפים הן פתרון פופולארי בהורדת גודש התנועה, שכן הם מאפשרות גמישות של השימוש בנתיבים, המתהפכים בכיוונם, כדי להתאים לדפוסי ביקוש משתנים. אסטרטגיה זו מאפשרת לשפר את התפעול כאשר לא ישים, כלכלית או פיזית, להוסיף נתיבים. בד"כ נעשה שימוש בתפעול נתיבים מתחלפים כאשר יש ביקוש גבוה, הנובע מנפחי תנועה המשתנים משמעותית בשעות השונות, עבודות סלילה, אירועים חריגים מתוכננים, או פינוי חירום. שני סוגי היישומים של מערכות קיימות הם יישומים זמניים ויישומים קבועים **(11)**.

1.5.1 יישומים זמניים

יישומים זמניים של מערכות נתיבים מתחלפים הם יישומים המבוצעים לטווח קצר, ומיושמים באמצעים זמניים. הם יכולים להיות מופעלים כתוצאה מביקוש גבוה במקרים הבאים:

- תקופות של עבודות סלילה – שימור הקיבולת כאשר חלק מהדרך הוא אזור עבודה.
- אירועים מיוחדים ו/או לא תדירים– מתן האפשרות להעביר נפח תנועה גדול בכניסה אל או ביציאה מיעד / כיוון מוגדר (לדוגמא אירוע ספורט או תרבות).
- פינוי חירום – הפיכת רוב קיבולת הדרך זמינה ליציאה.

1.5.2 יישומים קבועים

יישומים קבועים של מערכות נתיבים מתחלפים הם יישומים המבוצעים לטווח ארוך, ונבנים לתוך תשתית הכבישים באמצעים קבועים.

קיימים שני סוגים עיקריים של יישומים קבועים קיימים: יישומים עם הפרדה פיזית, ויישומים לא-סימטריים (Off-Center). שניהם מתייחסים לזרימה כיוונית לא-מאוזנת (כלומר בשעות השיא):

- מערכות עם הפרדה פיזית יכולות להיות משולבות לתוך התשתית, תוך שימוש ברמפות ומחסומים.

- יישומים לא-סימטריים מתייחסים להקצאה של נתיבים מהכיוון הלא עמוס אל הכיוון העמוס. היישום הטיפוסי כולל היפוך הכיוון של נתיבים בשעות מוגדרות מראש. ואולם, לעיתים השינוי תלוי בנפח התנועה ולא בשעה. תנאים לא-סימטריים יכולים להיות מיושמים בדרכים עורקיות, כמו גם בדרכים מהירות, וניתן לתכננם ברשתות קיימות, ללא תוספת נתיבים או שינוי תצורת הדרך.

1.5.3 <u>דוגמאות למערכות של נתיבים מתחלפים</u>

מערכות נתיבים מתחלפים הינן נפוצות ביותר במגוון תצורות **(20)**:

- Concurrent, Contra-flow או מתחלף (מתהפך).
- פרויקט סלילה חדש, הרחבת פרויקט קיים, שינוי תצורה של פרויקט קיים.
- הפרדה ע״י מעקות בטון קבועים, מעקות בטון ניידים, מפרדת צבע, או ללא הפרדה כלל.
- סימון הפרדת צבע ע״י קו קטעים כפול או ע״י קו רצוף.
- מסלול אמצעי או מסלול בצד הדרך.
- פעולה בשעות השיא בלבד, או במשך 24 שעות ביממה.
- נתיבים המיועדים לת״צ בלבד, או כ״ר עתירי-תפוסה +2, +3, +4.
- רמפות גישה מיוחדות למסלול המתחלף לכ״ר עתירי-תפוסה או גישות מדרך מהירה לדרך מהירה.
- כניסה לנתיב עם הגבלה או ללא הגבלה.
- פרוזדורים ארוכים או הקפצה לראש התור.
- גישה חופשית או רק למשלמי אגרה.

להלן מפורטות מספר דוגמאות טיפוסיות מן העולם למערכות נתיבים מתחלפים.

מודגש, שהדוגמאות המוצגות בפרק זה אינן מייצגות את התצורות המומלצות לשימוש בארץ.

התצורות וההנחיות המומלצות לשימוש בארץ נדונות בפרקים 5-2 להלן.

דוגמא א: מסלול מתחלף בדרך מהירה בקליפורניה, ארה"ב

תצורה נפוצה למדי של מערכת נתיבים מתחלפים בארה"ב כוללת מסלול נפרד ובו נתיבים מתחלפים, המשמש את התנועה הנכנסת לעיר בשעות הבוקר, ואת היוצאת מן העיר בשעות אחה"צ. כדי למקסם את התועלת, במקרים רבים המסלול המתחלף מיועד לשילוב בין ת"צ וכ"ר עתירי-תפוסה (HOV), ולעיתים אף בשילוב עם נתיב אגרה (HOT). זהו סוג של נתיב מתחלף "סגור", בו הגישה אל המסלול המופרד, שהוא בד"כ אמצעי, נעשית ע"פ רוב באמצעות רמפות גישה מיוחדות, כדי לאפשר לתנועה שלא להיכנס לנתיבי הנסיעה הגדושים.

דוגמא למערכת כזו היא מערכת נתיבים מתחלפים בדרך I-15 בסאן-דיאגו, קליפורניה. בדרך זו הוקם בקטע דרך באורך 13 ק"מ מסלול אמצעי מופרד, הכולל שני נתיבים מתחלפים **(20, 21)**. המסלול מופרד פיזית ע"י מעקה בטון. הנתיבים מיועדים לכ"ר עתירי-תפוסה חינם, וכן לכ"ר אחרים המוכנים לשלם אגרה דינאמית. חלק מתשלומי האגרה מוקדשים לשיפור שירותי הת"צ בדרך זו. הפרויקט עובד משנת 1996. ראה תרשים 2-1.

תרשים 2-1: נתיב מתחלף לכ"ר עתירי-תפוסה ואגרה בסאן-דייגו, קליפורניה (20)



דוגמא ב: מסלול מתחלף בדרך מהירה, המשמש גם למילוט, בטקסס, ארה"ב

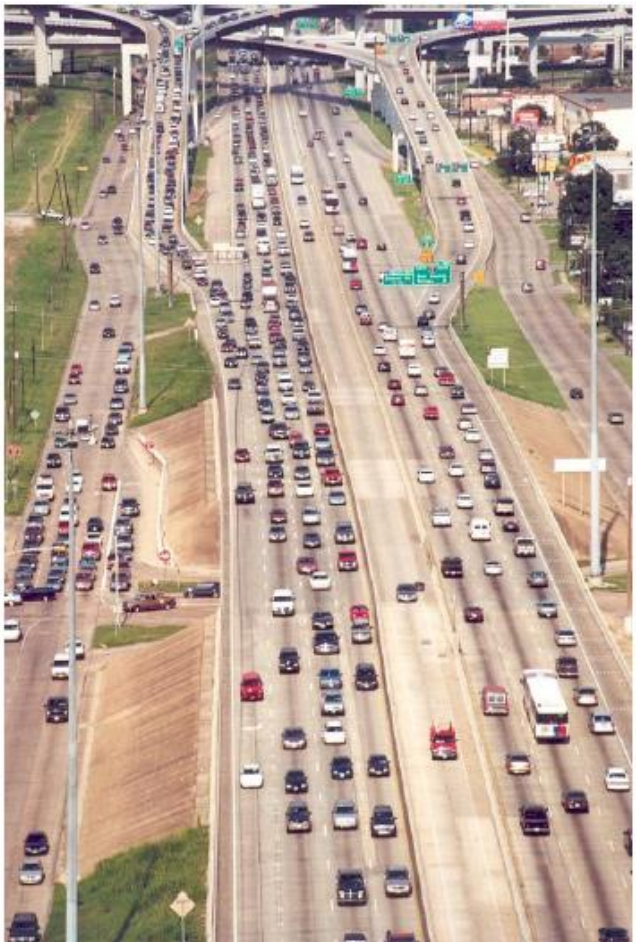
יישום טיפוסי בארה"ב הוא הפיכת הכיוון של מסלולים בדרך מהירה, על מנת שכל המסלולים יוכלו לשמש לתנועה בכיוון אחד. יישום זה נעשה בעיקר לצורך פינוי אזורים בעקבות סופות הוריקן ופגעי טבע אחרים.

בתרשים 3-1 ניתן לראות את דרך I-10 ביוסטון, טקסס **(12, 11)**. קטע הדרך עם הנתיבים המתחלפים הוא באורך 21 ק"מ, מתוך סך של 41 הק"מ של הדרך. חתך הדרך כולל חמישה מסלולים:

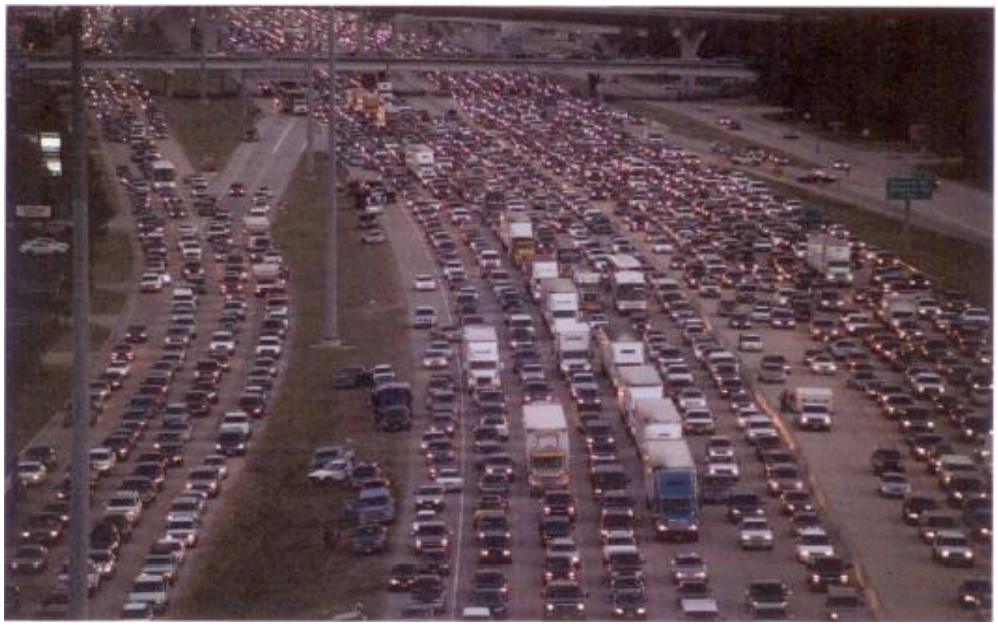
- שני מסלולים של שלושה נתיבים - אחד לכל כיוון.
- מסלול מרכזי אחד ובו שני נתיבים מתחלפים "סגורים" המיועדים לכלי-רכב עתירי-תפוסה, ומופרד באמצעות מעקות בטון.
- שני מסלולים של שלושה נתיבים כל אחד – אחד לכל כיוון - המיועדים כדרכי שירות.

בנוסף לנתיב המתחלף עבור כ"ר עתירי-תפוסה, הדרך כולה יכולה לשמש למילוט בעת אסון טבע, ע"י הקצאת כל נתיבי התנועה וגם השוליים לתנועה בכיוון החוצה מן העיר. בתרשים 4-1 ניתן לראות דרך זו בעת ששמשה לפינוי של העיר יוסטון.

תרשים 1-3 : דרך I-10 ביוסטון, טקסס, עם מסלול של נתיבים מתחלפים (13)



תרשים 1-4 : דרך I-10 ביוסטון, טקסס, בעת מילוט (11)



דוגמא ג: נתיבים מתחלפים זמניים במהלך עבודות בגשר, באילינוי, ארה"ב

שימוש נפוץ נוסף של נתיבים מתחלפים בארה"ב הוא בעת עבודות בדרך. נתיבים מתחלפים מתאימים למטרה זו, שכן נדרשת קיבולת במקום בו זכות הדרך מצומצמת, במיוחד בגשרים ובמנהרות. משרד התחבורה של אילינוי הקים מערכת של נתיב מתחלף "סגור" באמצעות מעקה בטון נייד בעת עבודות שיקום של גשר McClugage מעל נהר אילינוי, בסמוך ל- Peoria, אילינוי **(12)**.

הגשר נושא נפח תנועה יומי של 42,500 כ"ר, ובשעות השיא 6-9 ו- 15-18 יש בו נפחים לא מאוזנים. מאחר שהגשר כולל רוחב המתאים לשלושה נתיבי נסיעה, הוחלט שהנתיב האמצעי יהיה מתחלף, כך ששני נתיבים יוקצו בשעות השיא לכיוון הראשי.

הוחלט על שימוש במעקה בטון נייד באורך 1,800 מ', שניתן להזיזו מנתיב לנתיב בתוך כ- 25 דקות, עם הפרעה קלה לתנועה. המכונה, שמשקלה 16 טון, מזיזה את המעקה למרחק של 3.60 מ', במהירות נסיעה של 16 קמ"ש. הזזת המעקה נעשית פעמיים ביום, בשעה 11:00 בבוקר ובשעה 21:00 בערב, שעות שהינן מחוץ לשעות השיא. משרד התחבורה של אילינוי דיווח שהסדר זה פתר את גודש התנועה שהיה במקום בעת עבודות קודמות.

תרשים 1-5 מציג את הסטת התנועה מן הגשר בו בוצעו העבודות אל הגשר ששימש את התנועה הדו-סטרית.

תרשים 1-5: נתיב מתחלף זמני בגשר McClugage באילינוי, ארה"ב (12)



דוגמא ד: נתיב מתחלף לכ"ר עתירי-תפוסה באוטווה, קנדה

בקנדה, כמו בארה"ב, מערכות נתיבים מתחלפים נפוצות למדי, בעיקר בהקשר של נתיבים לתחבורה ציבורית או כ"ר עתירי-תפוסה (HOV). תרשים 1-6 מראה נתיב לכ"ר עתירי-תפוסה בדרך עורקית באוטווה, בירת קנדה **(20)**. הדרך כוללת שלושה נתיבים, כאשר הנתיב האמצעי הוא נתיב מתחלף "פתוח". הנתיב מיועד לכ"ר עם שני נוסעים ויותר. הנתיב מסומן בקו קטעים כפול בצבע צהוב, ומעל שלושת הנתיבים מוצבים תמרורי בקרת נתיבים, המציגים מסרי X אדום וחץ ירוק.

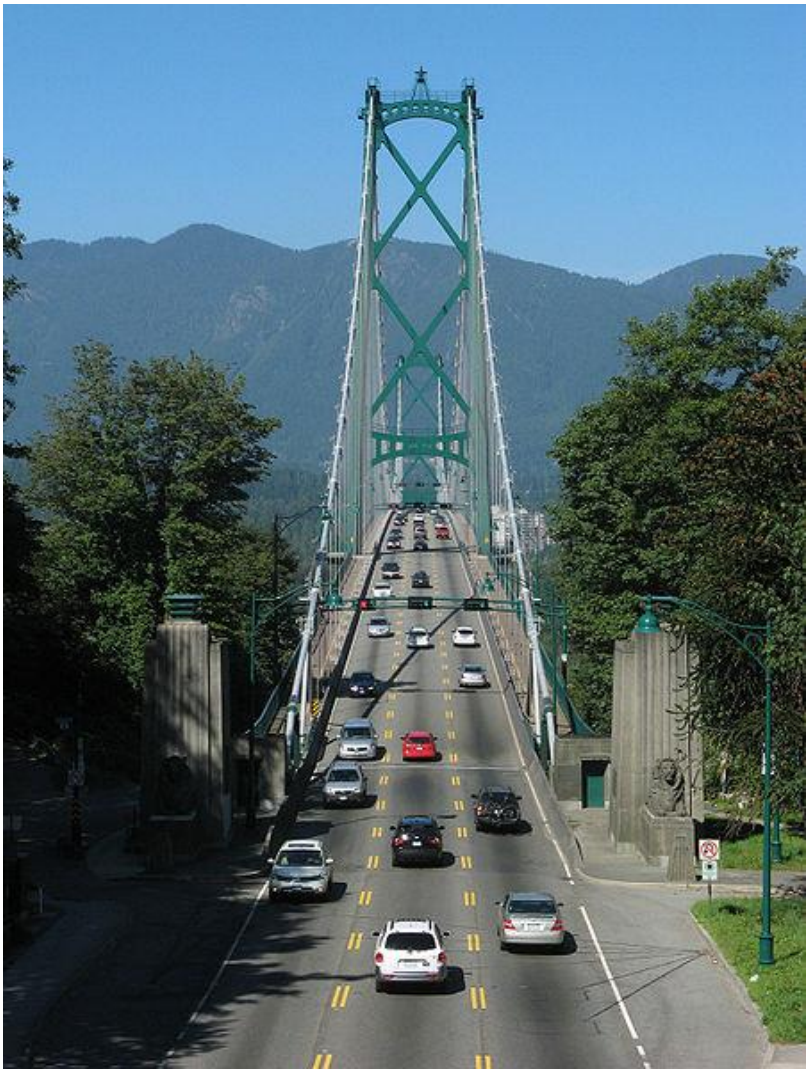
תרשים 1-6: נתיב מתחלף לכ"ר עתירי-תפוסה באוטווה, קנדה (20)



דוגמא ה: נתיב מתחלף בגשר Lions Gate בוונקובר, קנדה

תרשים 1-7 מראה את גשר Lions Gate המוביל לסטנלי פארק בוונקובר, קנדה **(22)**. זהו גשר תלוי, שאורכו כ- 1,800 מ', והוא חלק מדרכים 99 ו-A1. בגשר שלושה נתיבים, כאשר הנתיב האמצעי הוא נתיב מתחלף "פתוח", שכיוונו משתנה ע"פ נפחי התנועה. בגשר עוברים כ- 70,000 כ"ר ביום. הנתיב מסומן בקו קטעים כפול בצבע צהוב, ומעל שלושת הנתיבים מוצבים תמרורי בקרת נתיבים, המציגים מסרי X אדום וחץ ירוק.

תרשים 7-1: נתיב מתחלף ב- Lions Gate בוונקובר, קנדה (22)



דוגמא ו: נתיב מתחלף ברחוב Heerstrasse בברלין

ברחוב Heer (Heerstrasse) בברלין מותקנת מערכת נתיבים מתחלפים מהסוג ה-"פתוח", לאורך כ- 10 ק"מ. תצורת הרחוב כוללת חמישה נתיבים, שני נתיבים המשמשים באופן קבוע את כל אחד מהכיוונים צפון-דרום, ונתיב מרכזי מתחלף. הנתיב המרכזי משמש בשעות השפל לפניות שמאלה בלבד (ראה תרשים 8-1), ואילו בשעות השיא מצטרף כנתיב שלישי לכיוון צפון או לדרום, תוך ביטול הפניות שמאלה (ראה תרשים 9-1). חשוב להדגיש, שבישראל לא מקובל להשתמש בנתיב מרכזי לצורך פניות שמאלה לשני הכיוונים.

ישנן שלוש שיטות הפעלה אפשריות:

- ידנית ע"י מפעיל
- ע"פ שעות מוגדרות מראש – שעות השיא הן: 6:00-9:00 וכן 15:30-19:00
- כתגובה לנפחי התנועה.

סימון הנתיבים – רגיל, כלומר קו קטעים.

כדי שלא ייווצר בלבול בין הצבע הירוק של תמרור החץ לבין הרמזור הירוק, שונה הגוון של החץ והוא ירוק-צהבהב.

תרשים 1-8: מערכת נתיבים מתחלפים ב- Heerstrasse בברלין בשעות השפל



תרשים 1-9: מערכת נתיבים מתחלפים ב- Heerstrasse בברלין בשעות השיא



דוגמא ז: נתיבים מתחלפים בברמינגהם, בריטניה

דוגמא למערכת נתיבים מתחלפים בבריטניה מהסוג ה-"פתוח" ממוקמת בדרך A38M (Aston Expressway), דרך פרברית מהירה המשתרעת מצומת 6 של דרך M6 ועד מרכז העיר ברמינגהם, לאורך של כשלושה ק"מ **(23, 24)**. ראה תרשים 1-10.

תרשים 1-10: מערכת נתיבים מתחלפים בדרך A38M בקרבת ברמינגהם, בריטניה (24)



בדרך יש שבעה נתיבי נסיעה, כאשר שישה משמשים לנסיעה, ונתיב אחד המשמש כנתיב חיץ (buffer lane). בדרך אין מפרדה בנויה. מספר הנתיבים המשמשים לנסיעה בכל כיוון יכול להשתנות, כאשר בכל עת נשמר נתיב חיץ אחד שסגור לתנועה בשני כיווני הנסיעה. בדרך מותקנים שבעה גשרי שילוט עליהם מוצבים תמרורי בקרת הנתיבים.

המערכת כוללת שלושה מצבי תנועה:

- שגרתי - 3 נתיבים בכל כיוון, בשעות 9:45 עד 15:30 ו- 18:30 עד 7:00.
- אל העיר - 4 נתיבים אל העיר ו-2 נתיבים מן העיר והחוצה, בשעות 7:00 עד 9:45.
- מן העיר - 2 נתיבים אל העיר ו-4 נתיבים מן העיר, בשעות 15:30 עד 18:30.

במערכות נתיבים מתחלפים בבריטניה יש שימוש בתמרורי בקרת נתיבים פולטי-אור, הדומים לאלה המופיעים בלוח התמרורים הישראלי. התמרורים מציגים ביישום זה מסר של חץ ירוק לציון נתיב פתוח לתנועה, או X אדום לציון נתיב סגור לתנועה, או חץ אלכסוני לציון הסטה מנתיב. לעיתים יש הצגת מהירות נמוכה.

חשוב להדגיש, שע"פ הנחיות התכנון בישראל חובה להתקין מפרדה בנויה בדרך פרברית מהירה, בין נתיבי נסיעה בכיוונים מנוגדים. התצורות המומלצות של נתיבים מתחלפים לשימוש בארץ יידונו בהרחבה בפרק 2 להלן.

דוגמא ח: מערכת נתיב מתחלף ברחוב יצחק שדה בתל אביב-יפו

ברחוב יצחק שדה בתל אביב-יפו, פועלת מערכת נתיבים מתחלפים מהסוג ה-"פתוח", בקטע דרך שאורכו כ- 500 מטרים, בין צומת רחוב טברסקי (בסמוך לגשר מעל דרך 20) לבין צומת דרך מנחם בגין. מלבד שני צמתי קצה אלה כולל קטע הדרך עוד שני צמתים, עם רחוב שונצינו (צומת קמץ) ועם רחוב המסגר (צומת צלב). כלומר, קטע דרך באורך של כ- 500 מ' מחולק לשלושה תת-קטעים: טברסקי-שונצינו (כ- 170 מ'), שונצינו-המסגר (כ- 70 מ'), והמסגר-דרך מנחם בגין (כ- 260 מ'). המרחקים מדודים בין מרכזי הצמתים. כל הצמתים מרומזרים.

החתך הטיפוסי של רחוב יצחק שדה בקטע זה כולל שני נתיבים המוקצים באופן קבוע לכל כיוון, ונתיב חמישי אמצעי שהוא מתחלף. באופן שגרתי, הנתיב האמצעי מוקצה לכיוון ממזרח למערב (כניסה לעיר) משעה 6:00 עד שעה 12:00, ולכיוון ממערב למזרח (יציאה מן העיר) בשאר השעות. בעת אירועים מיוחדים (כמו למשל אירוע גדול בהיכל נוקיה) משתנה כיוון הנתיב בהתאם לשעות האירוע.

לאורך קטע דרך זה מוצבים 4 גשרי שילוט, עליהם מוצבים תמרורים קבועים של חץ ירוק (724) ו-X אדום (723) מעל ארבעת הנתיבים שאינם מתחלפים, ותמרורים פולטי-אור שמציגים מסרי (724פ) / (723פ) לסירוגין, לציון העובדה שמותר / אסור לנסוע בנתיב זה. התמרורים מחוברים לבקר הנמצא בשטח.

התמונה שבתרשים 1-11 מציגה את הנתיב המתחלף ברחוב יצחק שדה, במבט מצומת טברסקי מערבה.

תרשים 1-11: נתיב מתחלף ברחוב יצחק שדה – מבט מצומת טברסקי מערבה



2. שיקולים תכנוניים להקמת מערכות נתיבים מתחלפים

ע״פ ההנחיות הקנדיות לתכנון, תפעול והערכה של נתיבים מתחלפים **(11)**, תהליך תכנון התחבורה של פרויקט כולל את השלבים הבאים:

- זיהוי והגדרת הבעיה.
- הגדרת יעדים, מטרות ומדדי ביצוע לפרויקט.
- הערכה של המצב הקיים והמגבלות הקיימות.
- פיתוח של חלופות לפתרון.
- הערכת החלופות.
- בחירת החלופה המועדפת שמתאימה ביותר לדרישות.
- הפתרון הנבחר מפותח לרמה של תכנון פונקציונאלי ואסטרטגיית תפעול, ונבחן בפירוט רב יותר בהתייחס לעלויות ותועלות, לפני התכנון המפורט והיישום.

ההתייחסות למערכת נתיבים מתחלפים כחלופה תכנונית מתאימה לתהליך הכללי שמתואר לעיל, אלא שיש להתייחס למכלול רחב של שיקולים, שחלקם ייחודיים למערכות נתיבים מתחלפים. הפרק הנוכחי כולל סקירה של השיקולים התכנוניים שיש לקחת בחשבון בתהליך תכנון של מערכת נתיבים מתחלפים.

שיקולי התכנון העיקריים מחולקים לקטגוריות הבאות:

א. שיקולי זרימת התנועה
ב. שיקולי תנועה אחרים
ג. שיקולי בטיחות התנועה
ד. שיקולי הנדסת אנוש וצרכי המידע של הנהג
ה. שיקולים סביבתיים
ו. שיקולי מדיניות וחברה
ז. שיקולים כלכליים
ח. הערכת ביצועים
ט. קבלה ע״י הציבור
י. שיקולים תכנוניים אחרים.

שיקולים אלה מהווים קווים מנחים, לצורך קבלת ההחלטה האם להקים מערכת נתיבים מתחלפים ובאיזה תצורה, ואולם אינם יכולים לשמש כהצדקים כמותיים חד-משמעיים.

השיקולים התכנוניים מתוארים להלן בסעיפים 2.1 עד 2.10.

2.1 שיקולי זרימת התנועה

שיקולי זרימת התנועה, המכונים גם שיקולי ניידות (Mobility Considerations), הם התבחינים (קריטריונים) העיקריים לשקילה ראשונית האם להתקין מערכת נתיבים מתחלפים.

מבחינה היסטורית, הצורך בנתיבים מתחלפים נבע מיעדים כגון השאיפה להגדיל את קיבולת הדרך ואת מהירויות הנסיעה, כמו גם להפחית את גודש התנועה וזמני הנסיעה. תבחינים אלה פותחו על מנת להצדיק את היישומים שהתבססו על אותם יעדים.

2.1.1 <u>ההתפלגות הכיוונית של התנועה</u>

שקילת הצורך בנתיבים מתחלפים מתחילה בדרך כלל בבחינה של ההתפלגות הכיוונית של נפחי התנועה.

א. כללי

ככלל, הקמת מערכת של נתיבים מתחלפים הינה מוצדקת וכדאית, כאשר נפח התנועה בכיוון הזרימה הראשי בשעות השיא גדול משמעותית מנפח התנועה בכיוון הזרימה הנגדי (להגדרות מושגים אלה ראה סעיף 1.2 לעיל).

אם תוקם מערכת נתיבים מתחלפים ללא שיתקיים תנאי זה, צפוי שהתקנת נתיב מתחלף תגרום לבעיה תנועתית אחרת בכיוון הנגדי.

על מנת לבחון את כדאיות הקמת מערכת נתיבים מתחלפים, יש לערוך ספירות תנועה במיקומים שונים לאורך התוואי המוצע.

אם וכאשר יוחלט להקים מערכת נתיבים מתחלפים, ספירות תנועה אלה ישמשו גם על מנת להעריך את היחס בין נפחי התנועה בכיוונים השונים, על מנת לקבוע מה מספר הנתיבים (סך הקיבולת) שיש להקצות לכל כיוון, והיכן יתחיל ויסתיים הנתיב המתחלף.

ב. חישוב נפחי התנועה

את חישוב נפחי התנועה מומלץ לבסס על נפח שעתי ממוצע לשלוש שעות שיא ולבחון כדלקמן:

- אם היחס בין נפח התנועה הממוצע בכיוון הראשי הוא פי 2 לפחות מנפח התנועה בכיוון הנגדי (כלומר נפח התנועה בכיוון הראשי הוא 66% לפחות מתוך סך התנועה בשני כיווני הנסיעה), אזי מבחינת שיקול ההתפלגות הכיוונית של התנועה **מוצדק מאד** להקים מערכת של נתיבים מתחלפים, ואז יש להמשיך לבחון את השיקולים הנוספים.

- אם היחס בין נפח התנועה הממוצע בכיוון הראשי הוא פי 1.7-1.8 מנפח התנועה בכיוון הנגדי (כלומר נפח התנועה בכיוון הראשי הוא 63%-64% לפחות מתוך סך התנועה בשני כיווני הנסיעה), אזי מבחינת שיקול ההתפלגות הכיוונית של התנועה **מוצדק למדי** להקים מערכת של נתיבים מתחלפים, ויש להמשיך ולבחון את השיקולים הנוספים.

- במצבים מסוימים ניתן אף לקבל שהיחס בין נפח התנועה הממוצע בכיוון הראשי הוא פי 1.5 מנפח התנועה בכיוון הנגדי (כלומר נפח התנועה בכיוון הראשי הוא 60% לפחות מתוך סך התנועה בשני כיווני הנסיעה). לדוגמא, כאשר נשקל לעבור לתצורה של סה"כ 5 נתיבים, עם נתיב מתחלף אחד (כלומר חלוקת נתיבים של 3+2 נתיבים שהופכת ל: 2+3 נתיבים (ראה תצורה 4ב בסעיף 2.2.1 / תרשים 1-2 להלן).

- כאשר היחס בין נפח התנועה הממוצע בכיוון הראשי הוא פחות מפי 1.5 מנפח התנועה בכיוון הנגדי (כלומר נפח התנועה בכיוון הראשי הוא פחות מ- 60% מתוך סך התנועה בשני כיווני הנסיעה), **לא מומלץ** להקים מערכת נתיבים מתחלפים, ללא קשר למספר הנתיבים שיוקצו לכיוונים השונים.

את הבחינה הנ"ל יש לערוך לכל הצמתים בקטע בו נשקלת הקמת מערכת נתיבים מתחלפים, ועל כל צומת לעמוד בדרישה זו.

יחד עם זאת, ההחלטה על יישום מערכת נתיבים מתחלפים הינה ע"פ שיקולי ניהול תנועה רחבים לאזור, ולא לכל צומת בנפרד. לפיכך ניתן לקבל מצב בו מקצת הצמתים בקטע הנבחן אינם עומדים בדרישה המספרית המפורטת לעיל.

בכל מקרה, על המתכנן ורשות הדרך להפעיל שיקול דעת הנדסי בעת תהליך הבחינה.

2.1.2 תנאי גודש תנועה

תבחין הכרחי נוסף הוא קיומו של גודש תנועתי. יתר על כן, הגודש צריך להתקיים באופן מחזורי, באותם מקומות ובאותם זמנים, באופן שהוא ניתן לחיזוי.

גודש תנועתי קיים אם הביקוש גדול מהקיבולת. במונחים כמותיים, ניתן לבחון את קיומו של הגודש התנועתי ע״י בחינה של המהירות הממוצעת:

- בדרך מהירה - אם המהירות הממוצעת יורדת ב- 25% לפחות מהמהירות השגרתית, במהלך תקופות בעיתיות.
- בצמתים מרומזרים - אם יש תורים משמעותיים, באופן שכלי-רכב ממתינים למופע ירוק יותר ממשך מחזור אחד.

2.1.3 <u>קיבולת אזורי הכניסה והיציאה</u>

כפי שתואר במבוא לעיל (סעיף 1.3), האזורים הקריטיים ביותר בקטעי נתיבים מתחלפים הם אזורי המעבר – אזור הכניסה ואזור היציאה. כדי שמערכת נתיבים מתחלפים תהיה אפקטיבית, הקיבולת של אזורי המעבר צריכה לאפשר את הנפחים הנוספים, אחרת צפוי להיווצר צוואר בקבוק, שיקטין או יקזז את התועלת המצופה של הנתיב הנוסף.

לאור זאת, שיקול תכנוני בסיסי הוא האפשרות לתכנן קיבולות מתאימות בכניסות וביציאות, וכן מעבר נוח בין זרימה בכיוון אחד לבין הזרימה בכיוון ההפוך.

2.2 שיקולי תנועה אחרים

2.2.1 <u>הקצאת הנתיבים</u>

ההחלטה החשובה ביותר בתהליך תכנון מערכת נתיבים מתחלפים, היא ההחלטה על הקצאת הקיבולת הזמינה של הדרך.

ככלל, יש להקצות את מספר הנתיבים על בסיס היחס בין נפחי התנועה בכיוונים השונים. יחד עם זאת יש להשאיר קיבולת מספקת בכיוון הנגדי. כאשר יחס הנפחים מכתיב נתיב אחד בלבד בכיוון הנגדי, יש לבחון לפני ההחלטה השפעות של מאפיינים נוספים העלולים לשבש את הזרימה בנתיב יחיד, כגון שיעור גדול של פונים בצמתים, או מספר גדול של כלי-רכב כבדים. הקצאת נתיב בודד לכיוון מתאימה לנפח תנועה נמוך מאד בתקופת השפל, בדרך לא מחולקת.

קיימות מספר תצורות בסיסיות של נתיבים מתחלפים, והן מפורטות להלן. התצורות האלה אפשריות באמצע קטע, וחלקן גם בצומת. דיון מפורט בנושא אזורי הכניסה והיציאה מובא בסעיף 3.3.1 להלן. מאחר שקיים קשר בין התצורה הנבחרת של הנתיבים המתחלפים באמצע קטע לבין התצורה הנבחרת באזורי הכניסה והיציאה, יש לשקול את החלופות התכנוניות של הקטע במשולב עם החלופות התכנוניות של אזורי הכניסה והיציאה.

התצורות הבסיסיות של נתיבים מתחלפים באמצע קטע:

1. היפוך כל הנתיבים של דרך חד-סטרית מכיוון אחד לכיוון שני, כך שנוצרת דרך חד-סטרית חד-כיוונית באופן מלא (ראה **תצורה 1** בתרשים 1-2). זהו סוג של נתיבים מתחלפים ״סגורים״.

2. היפוך כל הנתיבים של מסלול אחד בדרך דו-מסלולית, מכיוון אחד לכיוון שני, כך שמסלול זה הופך לדו-כיווני באופן מלא, והמסלול השני נשאר ללא שינוי (ראה **תצורה 2** בתרשים 1-2). תצורה זו תקפה על תנאי פתרון מתאים בצומת. זהו סוג של נתיבים מתחלפים ״סגורים״.

3. היפוך התנועה בכל הנתיבים בכיוון אחד של דרך דו-סטרית, כך שנוצרת דרך דו-סטרית בחלק מן הזמן, ודרך חד-סטרית בחלק אחר של הזמן (ראה **תצורה 3א ותצורה 3ב** בתרשים 1-2). זהו סוג של נתיבים מתחלפים ״סגורים״.

4. היפוך של אחד או יותר מן הנתיבים בדרך דו-סטרית:

א. כאשר מספר הנתיבים זוגי: תפעול לא-סימטרי (לא מאוזן) בחלק מן הזמן, ותפעול סימטרי (מאוזן) בשאר הזמן (ראה **תצורה 4א** בתרשים 2-1).

ב. כאשר מספר הנתיבים אי-זוגי: תפעול לא-סימטרי (לא מאוזן) כל הזמן, אך בכיוונים שונים (ראה **תצורה 4ב** בתרשים 2-1). תצורה זו, הכוללת נתיב אמצעי המשנה את כיוונו, הינה פופולארית ביותר (ראה בפרק 1 דוגמאות ד', ה', ו', ח', בסעיף 1.5.3 לעיל, ובהתאמה תרשימים 1-6, 1-7, 1-8, 1-11). הדוגמא האחרונה היא מערכת נתיב מתחלף ברחוב יצחק שדה בתל אביב-יפו.

תצורה זו מהווה סוג של נתיבים מתחלפים "פתוחים".

5. היפוך של אחד או יותר מן הנתיבים של מסלול אחד בדרך דו-מסלולית מכיוון אחד לכיוון שני, כך שנוצר תפעול לא-סימטרי (לא מאוזן) בחלק מן הזמן, ותפעול סימטרי (מאוזן) בשאר הזמן (ראה **תצורות 5א ו-5ב** בתרשים 2-1).

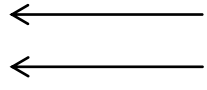
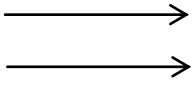
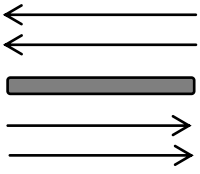
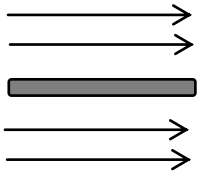
- **תצורה 5א**, הכוללת נתיב המתחלף לכיוון הנגדי וממוקם מעבר למפרדה, מיועדת לשימוש רק בנסיבות מיוחדות, ולא לרכב פרטי. לדוגמא, נסיעה בכיוון הנגדי לתחבורה ציבורית. חלופה זו אפשרית גם ברחוב וגם בדרך.

- **תצורה 5ב** כוללת הקצאת נתיבים משתנה, כך שהנתיב שכיוונו הפוך לכיוון שאר הנתיבים במסלול מופרד באמצעות "מעקה בטיחות מנוידי" מסוג כלשהו. המעקה המפריד בין שני כיווני הנסיעה צריך להיות מאושר לשימוש בארץ ע"י הוועדה הבין-משרדית להתקני תנועה ובטיחות.

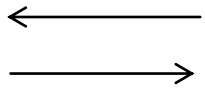
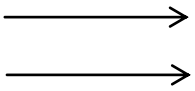
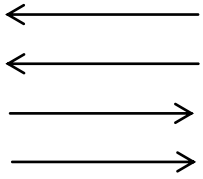
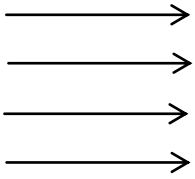
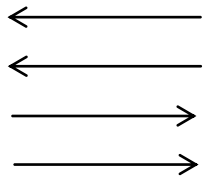
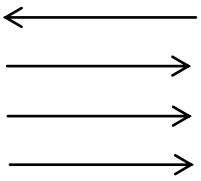
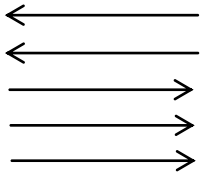
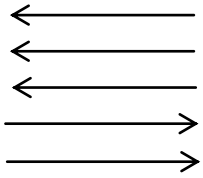
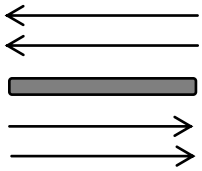
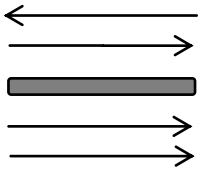
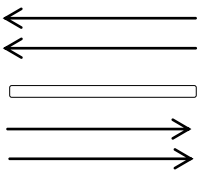
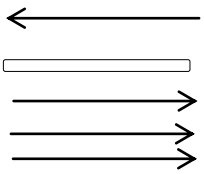
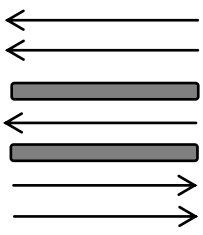
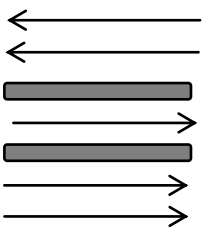
תצורה זו מהווה סוג של נתיבים מתחלפים "פתוחים".

6. היפוך כל הנתיבים (אחד או יותר) של מסלול שלישי בדרך תלת-מסלולית, מכיוון אחד לכיוון שני, כך שהכיוון של שני המסלולים הבסיסיים נשאר ללא שינוי, אחד לכל כיוון, והכיוון של המסלול השלישי מתהפך (ראה **תצורה 6** בתרשים 2-1, ואת דוגמא ח' בסעיף 1.5.3 ותרשים 1-11 לעיל). זהו סוג של נתיבים מתחלפים "סגורים".

תרשים 2-1: תצורות בסיסיות של נתיבים מתחלפים

תצורה	מצב 1	מצב 2
1		
2		

תרשים 2-1 : תצורות בסיסיות של נתיבים מתחלפים (המשך)

תצורה	מצב 1	מצב 2
3א		
3ב		
4א		
4ב		
5א		מפרדה מרכזית 
5ב	מעקה בטיחות מנויד 	מעקה בטיחות מנויד 
6		

כאשר נוצר מצב בו יוקצה רק נתיב אחד לכיוון בחלק מן הזמן (יחס נתיבים 1:3), יש להתייחס לניהול האירועים באותו נתיב, במיוחד עבור רכבי חירום. כלומר, יש לוודא שאירוע שיתרחש בנתיב הבודד לכיוון יתגלה ויפונה במהירות, כדי שלא יחסום את התנועה באותו כיוון נסיעה. לצורך הזרמת התנועה בעת התרחשות אירוע, או לצורך הגעת רכבי חירום, ניתן לשקול בדרכים עורקיות את השימוש בנתיבי חנייה (מצריך איסור חנייה בנתיב החנייה בשעות בהן מוקצה נתיב בודד לנסיעה ליד נתיב החנייה). בדרכים מהירות יש לשקול את השימוש בשול הדרך.

לסיכום, בהתייחס להקצאת הנתיבים, היתרונות של תפעול מתחלף של נתיבים הם:

- קיבולת נוספת לתנועה בכיוון הראשי
- קיבולת נוספת יכולה לשמש באותו רחוב עבור שעות השיא של הבוקר ואחה"צ כאחד
- מניעת הצורך בזוגות של רחובות, כנדרש בתפעול רחובות חד-סטריים
- שימוש יעיל יותר בדרכים מקבילות
- מניעת הצורך של התנועה לעבור לרחוב אחר.

החסרונות של תפעול מתחלף של נתיבים הם:

- קיבולות מופחתות לתנועה בכיוונים הנגדיים
- קשיי תפעול באזורי המעבר
- הצורך באכיפה מוגברת כדי למנוע שימוש לא-חוקי בנתיבים
- מנקודת המבט של רשות הדרך: תוספת במערכת מורכבת של בקרה ושילוט
- מנקודת המבט של הנהג: תוספת מטלה מורכבת - הבנת הסדרי תנועה המשתנים בזמן.

2.2.2 איסור פניות שמאלה

אחד האמצעים הנפוצים ביותר בקטעים של נתיבים מתחלפים "פתוחים", הממוקמים במרכז דרך רב-נתיבית דו-סטרית עם צמתים, הוא איסור פניות שמאלה בקטעים בהם מספר הנתיבים לא מאוזן. איסור פניות שמאלה חשוב הן מבחינה תפעולית והן מבחינה בטיחותית. מבחינה תפעולית, פניות שמאלה דורשות נתיב פנייה מיוחד. בהסדר בו הנתיב המרכזי מתחלף - נתיב הפנייה שמאלה משנה את מיקומו. בנוסף, הפנייה שמאלה מנוגדת לתנועה שבאה ממול, ועל כן כרוכה באובדן קיבולת שיכולה הייתה לשמש להזרמת התנועה העוברת (הדבר נכון לכל צומת).

מבחינה בטיחותית, באין מפרדה, נתיב פנייה שמאלה בציר הראשי מבלבל את הנהג באשר לשאלה מהו הנתיב השמאלי ביותר שניתן לנסוע עליו, במיוחד בצמתים מרומזרים.

פנייה שמאלה מהרחוב החוצה אל הציר הראשי בו יש נתיבים מתחלפים - גם היא בעייתית מבחינה בטיחותית. הדבר נכון בעיקר בתצורה הנפוצה של תפעול לא-סימטרי, בו נתיב אמצעי משנה את כיוונו (ראה סעיף 2.2.1 –דוגמא ד' לעיל), שכן הרכב הפונה שמאלה אינו רשאי להיכנס אל הנתיב האמצעי בציר הראשי. אם סימוני 809 על המיסעה דוהים או נמחקים, עלולה להיווצר אי בהירות לאיזה נתיב על הרכב הפונה שמאלה להיכנס, וקיימת אף סכנה שהרכב ייכנס אל הנתיב האמצעי המשמש באותה העת לנסיעה בכיוון הנגדי.

על כן מומלץ לבחון ביטול של פניות שמאלה מהציר הראשי ואליו, במקרים בהם מתוכנן נתיב מתחלף אחד או יותר בדרך דו-סטרית, או באותו מסלול נסיעה של דרך רב-מסלולית.

2.2.3 איסור חנייה ברחוב

הסיבה העיקרית שלא לאפשר חנייה ברחוב, היא על מנת לפנות זכות דרך עבור התנועה העוברת. כאשר מתכננים מערכת נתיבים מתחלפים ברחוב קיים, ניתן לבטל נתיב חנייה ולהפכו לנתיב נסיעה נוסף, כתלות ברוחב נתיב החנייה. תוספת הקיבולת מאפשרת הקצאת נתיב נוסף לכיוון הראשי ו/או לכיוון הנגדי. למרות שלאיסור חנייה יש בד"כ השפעה חיובית על התנועה, הדבר עלול ליצור קשיים לתושבים המקומיים ולסוחרים. מומלץ לטפל בהיבטי הקשר עם התושבים לפני יישום הנתיב המתחלף.

2.3 שיקולי בטיחות התנועה

ליישום של נתיבים מתחלפים מתלווה חשש לעלייה במספר תאונות הדרכים, עם מעורבות של כלי-הרכב ושל הולכי הרגל.

2.3.1 <u>בטיחות התנועה של כלי-הרכב</u>

בהתייחס לתנועת כלי-הרכב, קיים חשש להגדלה במספר תאונות הדרכים העצמיות (תאונות בהן מעורב רק רכב יחיד).

נקודות התורפה הבטיחותיות הן:

- ניגוד בין תנועות בכיוונים מנוגדים, ללא מפרדה.
- פניות פרסה לאורך קטע דרך, בהעדר מפרדה וסימון המונעים זאת.
- כלי-רכב הפונים שמאלה מרחובות צדדיים, מחצרות ומבתים אל הציר הראשי, וכלי-רכב הפונים שמאלה מן הציר הראשי (ראה דיון בנושא בסעיף 2.2.2 לעיל).
- בלבול כללי של נהגים הנובע מחוסר ההיכרות עם תפעול הנתיבים המתחלפים, ואמצעי הבקרה שלהם.

ע"פ המסמך Handbook of Road Safety Measures של המכון לכלכלת תחבורה של נורבגיה **(28)**, ההשפעה הכוללת של הקמת מערכת נתיבים מתחלפים היא גידול לא מובהק של מספרי התאונות.

ע"פ החוקרים מרקוביץ' ושות' **(25)**, נתיבים מתחלפים בדרכים עורקיות מתאפיינים בשלושה סוגים טיפוסיים של תאונות:

- פניות שמאלה מהנתיבים המתחלפים
- פניות שמאלה אל הנתיבים המתחלפים
- פניות שמאלה מהנתיבים הסמוכים לנתיבים המתחלפים.

מחקר נוסף **(26)** מצא שתמרונים של פניות שמאלה גרמו לרוב הניגודים. במחקר זה נמצא גם שהתאונות הנפוצות ביותר היו תאונות בהן מעורבים הפונים שמאלה, מנתיב המיועד לכיוון ישר בלבד. על כן, מספר התאונות בהן מעורבים כ"ר הפונים שמאלה יכול להיות מייצג טוב לרמת הבטיחות של מערכות נתיבים מתחלפים.

נתיבים מתחלפים בדרכים מהירות שונים בהיבטי הבטיחות ממערכות כאלה בדרכים עורקיות, מאחר שהגישה אליהם יותר מבוקרת. ואולם, אף בדרכים מהירות יש פוטנציאל סיכון, מתאונות חזית-אחור ומניגודים בקטעי הכניסה והיציאה.

2.3.2 <u>בטיחות הולכי-הרגל</u>

שיקול בטיחותי חשוב נוסף במערכת נתיבים מתחלפים המיושמת בדרך עורקית, הוא **בטיחות הולכי הרגל**. יש עדויות מיישומי נתיבים מתחלפים בעולם על כך שהולכי רגל, ואף רוכבי אופניים, עשו טעויות בשיפוט בהתייחס לכיוון שממנו באה התנועה. הדבר הוביל למצבים מסוכנים.

שיקול הבטיחות של הולכי הרגל צפוי להיות משמעותי בעיקר כאשר נבחרת תצורה בה כיוון הנסיעה בכל הנתיבים בדרך או במסלול נסיעה מתהפך, וכתוצאה מכך התנועה בנתיבים על יד המדרכה נעה לכיוונים שונים בשעות שונות של היום. על כן, מספר התאונות בהן מעורבים הולכי רגל יכול להיות מזוהה כמדד בטיחות נוסף למערכת נתיבים מתחלפים.

2.3.3 <u>הבלבול האפשרי בין הוריית הרמזורים לבין הוריית תמרורי בקרת הנתיבים</u>

לשימוש באמצעי בקרת תנועה שונים (שלטים, תמרורים, סימון על פני הדרך ומחסומים) יש היבטי בטיחות נוספים, שצריכים להיבדק.

מערכות נתיבים מתחלפים מיושמות לעיתים בדרכים עורקיות וברחובות מאספים, בהם מותקנים תמרורי בקרת נתיבים וגם רמזורים. בשני סוגי התקני בקרת תנועה אלה נעשה שימוש, לחילופין, באור האדום והאור הירוק, והם מותקנים לעיתים זה בסמוך לזה. על כן הם עלולים לגרום לבלבול הנהג. דוגמא למסרים סותרים המועברים לנהג ועלולים ליצור אצלו קושי משמעותי מאד בקבלת החלטה ניתן לראות, כאשר נתיב מתחלף פתוח לתנועה ומוצב מעליו סמל החץ הירוק, אולם הרמזור המוצב בסמוך לו מציג אור אדום.

ע"פ לוח התמרורים הישראלי הגדרות התמרורים הן:

- רמזור אדום (701): עצור לפני קו העצירה. אם אין קו עצירה עצור לפני מעבר חצייה להו"ר.
- רמזור ירוק (703): התקדם.
- X אדום (723): הנסיעה בנתיב זה אסורה.
- חץ ירוק אנכי (724): מותר לנסוע בנתיב זה.

במקומות שונים בעולם קיימת מודעות לסתירה האפשרית בין שני התקני בקרת תנועה אלה, לדוגמא:

- **ארה"ב:** ב- MUTCD האמריקאי **(15)** נאמר: "בקטעים של נתיבים מתחלפים בהם יש צמתים מרומזרים, תמרורי בקרת הנתיבים יוצבו במרחק מספיק מהרמזורים, כדי למנוע בלבול בין שני אמצעי בקרת התנועה".
- **קנדה:** בהנחיות הקנדיות לתכנון מערכות נתיבים מתחלפים **(11)** נאמר: "יעשה כל מאמץ למקם תמרורי בקרת נתיבים, כך שהם אינם סותרים את רמזורי הצמתים".
- **אוסטרליה:** ב- MUTCD של מדינת קווינסלנד באוסטרליה **(16)** נאמר: "זהירות נדרשת כאשר ממקמים תמרורי בקרת נתיבים, תוך שימוש בחץ ירוק, בקרבת צמתים מרומזרים. מומלץ למקם את הסט האחרון של התמרורים העיליים במרחק ניכר לפני רמזורי הצומת".

לסיכום נושא זה, בעת תכנון מערכת נתיבים מתחלפים, יש להתייחס לעניין הבלבול האפשרי בין הוריית הרמזורים והוריית תמרורי בקרת הנתיבים, בעיקר כאשר הרמזורים והתמרורים מותקנים אלה בקרבת אלה.

המלצות תכנוניות בעניין זה מפורטות בפרק 4, סעיף 4.4.2.

2.3.4 <u>סיכום שיקולי הבטיחות</u>

לאור דברים אלה, שיקולי הבטיחות המומלצים הם כמפורט להלן:

- יש למזער פוטנציאל תאונות חזית-חזית.
- יש למזער את הפניות שמאלה, מרחובות צדדיים אל הנתיבים המתחלפים, ומהנתיבים המתחלפים אל הרחובות הצדדיים.
- יש לתכנן אזורי התמזגות / התפצלות נאותים.
- יש להתייחס לבטיחות הולכי הרגל.
- יש למזער את הבלבול בין אמצעי בקרת התנועה השונים.
- יש למזער את עומס המידע על הנהג (הנושא נדון בהרחבה בסעיף 2.4).
- יש לאסור פניות פרסה בקטעי דרך דו-סטריים עם נתיבים מתחלפים, ללא מפרדה.

2.4 שיקולי הנדסת אנוש וצרכי המידע של הנהג

מסמך Managed Lanes Handbook **(13)** סוקר בהרחבה את צרכי המידע של הנהג הנוסע במערכת של "נתיבים מנוהלים", הכוללת מגוון יישומים וביניהם מערכת של נתיבים מתחלפים. מאחר שיישומי נתיבים מתחלפים מסוג זה לא קיימים בישראל, מן הראוי להציג באופן מפורט גם את היבטי הנדסת האנוש שיש להתחשב בהם בשלב תכנון.

נהג הנוסע בנתיבים מתחלפים זקוק למשאבי קשב רבים יותר יחסית לנהיגה בנתיב רגיל ושגרתי, כדי לעבור בהצלחה את כל שלבי קבלת ההחלטות והביצוע של המשימה. הנהג אוסף את המידע הנדרש, ובעיקר מידע חזותי של הדרך שלפניו, ממקורות רבים, כגון:

- שילוט הכוונה והדרכה מסוגים שונים
- תימרור
- הגיאומטריה של הכביש
- התנהגות התנועה מסביב.

לנהג יש מגבלת יכולת לבצע פעילויות של סריקה אחר מידע, קליטתו החושית, ארגונו התפיסתי, עיבודו, קבלת החלטות וביצוע התגובות הנדרשות – כל זאת במקביל לפעילויות הנהיגה השוטפות. ע"פ גישת "ההנחיה החיובית" (Positive Guidance) המסבירה את היבטי הנדסת האנוש של תפקיד הנהיגה, כל המידע הנ"ל מעובד בשלוש רמות היראַרכיה שונות של פעולות בקרה אנושית:

- בקרה פיזית של הרכב
- הנחיית הרכב
- ניווט.

הרמה הבסיסית והחשובה מכולן היא הרמה של פעולות הבקרה הפיזית של כלי הרכב. רמת בקרה גבוהה יותר נדרשת להנחיית הרכב, ומתייחסת למהירות הבטוחה ובחירת הנתיב. לבסוף - רמת הבקרה הגבוהה ביותר נדרשת לפעולות הניווט, ומתייחסת לבחירת הנהג את הדרך המובילה מנקודת המוצא לנקודת היעד.

כאשר הנהג חש עומס יתר מבחינת המידע שעליו לקלוט ולהגיב לו - הוא מקטין את העומס ע"י התעלמות מהמידע ברמת הניווט, במטרה להפנות את הקשב שלו לתחזוקה השוטפת של רמת הבקרה הפיזית של הרכב, כדי להימנע מסיכונים בכביש. כלומר במצב עומס מידע, הנהג יתמקד במידע שיאפשר לו לעבור בשלום את קטע הדרך המיידי שלפניו, ולא יעבד מידע מרמה גבוהה יותר, כגון זה המגיע משילוט המציג מידע לצרכי ניווט או מידע כללי.

2.4.1 <u>השפעת רמת היכרות הנהג עם מערך הנתיבים על עומס המידע</u>

המסקנה העיקרית העולה מניתוח צרכי המידע ותהליך קבלת ההחלטות של הנהג היא, שצרכי המידע של הנהג השוקל להשתמש בנתיבים מתחלפים תלויים בניסיון המוקדם שלו. החוקרים מסווגים את הנהגים לשלוש קבוצות מבחינת רמת ההיכרות שלהם עם מערך הנתיבים הפרטני בו מדובר:

- **נהג חסר היכרות עם מערך הנתיבים:** נהג זה יתכן ואינו מודע כלל לעובדה שלפניו מערכת נתיבים מתחלפים, ויתכן שכלל לא חווה נסיעה במערכת נתיבים דומה בעבר. על מנת לקבל החלטה על הנתיב המתאים עבורו, על הנהג להשיג את כל המידע הדרוש לו מסביבת הכביש. נהג מסוג זה יזדקק לכמות המידע הרבה ביותר המוצגת לו בכביש, ולכן יהיה ברמת הסיכון הגבוהה ביותר לחוות עומס-יתר מבחינת כמות המידע המוצג. מצב זה יתרחש בעיקר במקומות בהם נדרש לבצע באופן אינטנסיבי יותר מטלות מסוג בקרת הנהיגה הפיזית ובקרת הנחיית הרכב.

- **נהג ברמת היכרות בינונית עם מערך הנתיבים:** נהג זה התנסה לעתים במערכת הנתיבים הפרטנית, או נוסע לעתים קרובות בנתיבים הכלליים הסמוכים למערכת הנתיבים, ושוקל להשתמש בו בפעם הראשונה. נהג זה מכיר כבר חלק מהמידע הרלוונטי, כגון הגיאומטריה של הכביש, המהירות, או הכיוון, אך צריך להשיג מידע נוסף. גם נהג זה עלול להיכנס למצב של עומס יתר מבחינת כמות המידע שעליו להשיג ממקורות חיצוניים (מהכביש). כמות המידע הפרטני לה יידרש תשתנה מאוד מנהג אחד לשני.

- **נהג ברמת היכרות גבוהה:** נהג זה מכיר מקרוב את מערכת הנתיבים הפרטנית, ומשתמש בה לעתים קרובות מאוד. הנהג הינו מנוסה, ובדרך כלל יהיה גם בעל ידע על מערכות נתיבים מתחלפים אחרות. נהג זה יזדקק למידע נוסף מועט יחסית על הגיאומטריה של הכביש, ומעט ידע ממערכות השילוט. במקרה הקיצוני נהג כזה יתמרן במערכת הנתיבים הפרטנית בלא שיסתכל על אף שלט, תוך שמיעת רדיו, וכדומה. נהג מסוג זה לא יגיע, בדרך כלל, למצב של עומס יתר מבחינת המידע.

טבלה 2-1 מציגה ניתוח של סוגי המידע להם נזקקים שלושת סוגי הנהגים, בבואם לקבל החלטה להשתמש במערכת נתיבים מתחלפים.

טבלה 2-1: פרטי מידע הנדרשים לנהג כתלות ברמת ההיכרות שלו עם מערכת הנתיבים המתחלפים, ומקור המידע

מקור המידע	רמת היכרות הנהג עם מערך הנתיבים המתחלפים			רלוונטיות המידע ל"נתיבים מתחלפים"
	חסר היכרות	היכרות בינונית	היכרות גבוהה	
מידע שמקורו <u>חיצוני</u> (במערך הנתיבים הפרטני):				
• מצב תנועה נוכחי	X	X	X	
• קיום נתיב מנוהל וסוגו	X			
• מידע על "פתוח/סגור"	X	X		
• שעות השרות	X			
• מידע על "כניסה/יציאה"	X	X		
• הגבלות על סוג רכב	X			
• הערכת החיסכון בזמן	X	X		
מידע שמקורו <u>פנימי</u> (בנהג עצמו):				
• ערך הזמן	X	X	X	
• גובה הקנס על איחור	X	X	X	
• תפיסת נוחות/אי-נוחות	X	X	X	
• קיום נתיב מנוהל וסוגו		X	X	מקור פרטי מידע אלה השתנה: ממידע שמקורו חיצוני (במערך הנתיבים המתחלפים) למידע שמקורו אישי (פנימי) כתוצאה מהיכרות וניסיון עבר
• שעות השרות		X	X	
• הגבלות סוג רכב		X	X	
• מידע על "פתוח/סגור"			X	
• מידע על "כניסה/יציאה"			X	
• הערכת החיסכון בזמן			X	

עיון בטבלה מעלה את המסקנות הבאות:

- כמות המידע הנדרש שמקורו חיצוני (מהכביש ומערכותיו) גדולה ביותר אצל הנהג חסר ההיכרות עם מערכת הנתיבים הפרטנית, וקטנה ביותר אצל הנהג בעל רמת ההיכרות הגבוהה. לחילופין, כמות המידע הנדרש שמקורו פנימי (ניסיון וידע מוקדם של הנהג) גדולה ביותר אצל הנהג בעל רמת ההיכרות הגבוהה, ונמוכה ביותר אצל הנהג חסר ההיכרות.
- ככל שהנהג בעל היכרות טובה יותר עם מערכת הנתיבים המתחלפים - מספר פריטי המידע להם הוא זקוק ממערכות הכביש יורד, והוא מאחזר אותם מזיכרונו. לפיכך, רמת העומס התפיסתי-קוגניטיבי עליו נמוכה יותר.

2.4.2 <u>צרכי המידע של הנהג</u>

להלן פירוט סיווג פרטי המידע העשויים להיות רלוונטיים לנהג במערכת של נתיבים מתחלפים:

א. **Entrance Information:** מידע כגון כיצד הנהג נכנס למערכת הנתיבים המתחלפים, האם זוהי ההזדמנות היחידה של הנהג להיכנס, או שיש בהמשך הזדמנויות נוספות.

ב. **Exit Information:** מידע על נקודות יציאה פוטנציאליות, והאם הן ידרשו מרחק נסיעה גדול יותר בהשוואה למצב בו יישאר לנסוע בנתיב הרגיל.

ג. **Hours of Service:** מידע על שעות השירות. יש חשיבות למידע זה במערכות נתיבים מתחלפים הפתוחות רק בשעות מסוימות, או כאלה בהן הנתיבים הופכים כיוון בזמנים שונים של היום.

ד. **Incident Management Information:** מידע בזמן אמיתי על קיומם של אירועי תנועה במורד הזרם, או עיכובים בלתי צפויים מסוג כלשהו, בנתיבים מתחלפים או בנתיבים לשימוש כללי.

ה. **Occupancy Requirements:** המספר המזערי של נוסעים שחייבים להיות בכלי-הרכב לצורך שימוש נאות בנתיבים המתחלפים. מידע זה מתייחס בעיקר למערכים המיועדים ל-HOT או HOV.

ו. **Open/Closed Information:** מידע על "פתוח / סגור", דומה למידע אודות שעות השירות, אך ניתן לפשט אותו רק למילים "פתוח" -"OPEN" או "סגור" - "CLOSED", ללא מידע נוסף כגון זמנים.

ז. **Time Savings:** כמות הזמן שניתן לחסוך לצורך הגעה ליעד הסופי של הנתיבים המתחלפים, כאשר בוחרים להשתמש בהם ולא בנתיבים לשימוש כללי.

ח. **Tolling Information:** מידע על אגרה. מידע זה רלבנטי אם הנתיבים המתחלפים הם גם נתיבי אגרה. המידע יכול להיות קבוע, או להשתנות כתלות בשעות היום, בניסיון "להזיז" נהגים מזמני שיא (Peak Time) לזמני שפל (Off-Peak Time).

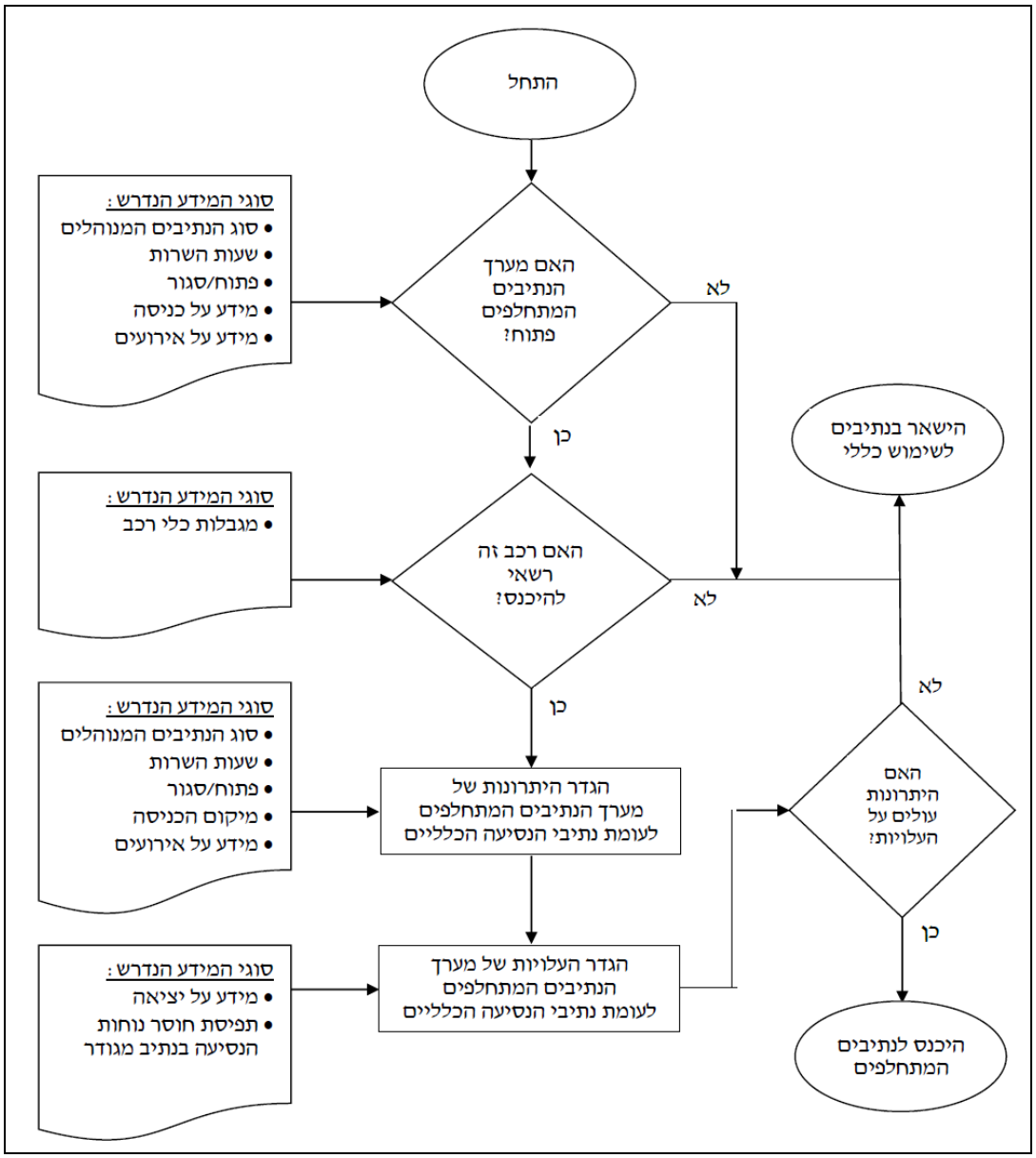
ט. **Travel Time:** משך הזמן הכולל שאורכת נסיעה לנקודה במורד הזרם, תוך שימוש בנתיבים המתחלפים או בנתיבים לשימוש כללי. לדוגמא: "23 Minutes to Downtown". מידע זה מוצג בזמן אמיתי על שילוט למסרי תנועה מתחלפים.

י. **Type of Managed Lines:** סוג הנתיבים המנוהלים. מידע זה מסייע לנהג להבין אם הוא רשאי להשתמש במערכת נתיבים מתחלפים פרטנית. לדוגמא: נתיב לאוטובוסים בלבד - "Bus Only Lane", או נתיב מהיר - "Toll Lane", או נתיב לרכב עתיר-תפוסה - "HOV Lane".

יא. **Vehicle Restrictions:** אם סוגי כלי-רכב מסוימים אינם מורשים להיכנס למערכת נתיבים מתחלפים פרטנית, יש להציג זאת באופן בולט כדי למנוע בלבול. לדוגמא: משאיות, כלי-רכב עם נגררים, כלי-רכב עם מטען חורג.

תרשים 2-2 מציג את הרלוונטיות של פרטי המידע שצוינו לעיל, הנדרשים לנהג לצורך קבלת החלטות, לשלבים השונים של תהליך קבלת ההחלטות.

תרשים 2-2: פרטי המידע הנדרשים לנהג לצורך קבלת החלטות בשלבים השונים של תהליך קבלת ההחלטות



2.4.3 <u>השפעת שיקולי דרישות המידע ועומס המידע על תכנון הנתיבים המתחלפים</u>

א. רשות הדרך נדרשת לתכנן את מערכת הנתיבים המתחלפים עבור נהג החסר כל היכרות עם מערכת הנתיבים הפרטנית. עבור כל מערכת נתיבים מתחלפים פרטנית אשר נדרש לתכננה - יש לבחון, על סמך ניתוח דרישות המידע בטבלה 1 ובתרשים 2-2, האם ניתן יהיה לספק את כל דרישות המידע של הנהג חסר ההיכרות.

היה והניתוח יעלה כי לא ניתן לעמוד בדרישה זאת - רשות הכביש עשויה לבחור לתכנן את מערכת הנתיבים המתחלפים ואת מערכת המידע התומכת בו - עבור נהגים בעלי רמת היכרות גבוהה. אולם, במקרה כזה יש להקפיד על כך שנהגים בעלי רמת היכרות נמוכה מאוד לא יוכוונו בשוגג לתוך מערך כזה, אם אינם מעוניינים בכך.

ב. האינטראקציה בין רמת ההיכרות של הנהג את המערכת הפרטנית של הנתיבים המתחלפים לבין צרכי המידע שלו, משמעותה שיש לשקול את צרכי המידע של הנהגים במערכת נתיבים מתחלפים פרטנית כבר בשלב מוקדם של תהליך התכנון. כלומר - בשלב מוקדם מספיק, כאשר המתכננים כבר מקבלים החלטות בהקשר לנקודות כניסה ויציאה, סוגי התקני האגרה, ותפוסת הנוסעים בכלי-הרכב.

ג. המענה לדרישות המידע של הנהגים לצורך קבלת החלטות לגבי השימוש בנתיבים המתחלפים יסופק ע״י התקנים שונים לבקרת תנועה. התקנים אלה ייבחרו ע״פ מידת התאמתם להצגת המידע הנדרש, ויוצבו בשטח במקומות המתאימים, כך שיספקו לנהגים את המידע הנדרש באופן אפקטיבי (במקום, בזמן ובתצורה הנדרשת).

מוצעים חמישה עקרונות בסיסיים לבחירת אמצעי אפקטיבי לבקרת תנועה:

1. האמצעי ימלא צורך
2. האמצעי ימשוך את הקשב של הנהג
3. האמצעי יעביר מסר ברור ופשוט לנהג
4. האמצעי יעורר ״תחושת כבוד״ אליו מצד הנהג במטרה להעלות את ההסתברות לציות
5. האמצעי ייתן זמן מספק לצורך התגובה המתאימה.

במטרה למצות את פוטנציאל היכולת של האמצעי להשיג את חמשת הדרישות הנ״ל, יש לשקול בכובד ראש היבטים של תכנון, מיקום, תפעול, תחזוקה ואחידות.

שיקולי הנדסת האנוש וצרכי המידע של הנהג יילקחו בחשבון בשלב תכן המערכת, ובעיקר בשלב תכנון ההסדרים וההתקנים לבקרת התנועה. ראה סעיף 4.7 להלן.

2.5 שיקולים סביבתיים

שיקולים סביבתיים בפרויקטים תחבורתיים מתקשרים להקטנה בזיהום האוויר ובצריכת דלק. בנוסף לכך שנתיבים מתחלפים מורידים את רמת הגודש ומאפשרים מהירויות נסיעה גבוהות יותר, הרי שהם תורמים גם להורדת זיהום האוויר, להקטנת בזבוז הדלק, ולהקטנת רמת הרעש. אולם, מצד שני, תוספת של נתיבים מתחלפים מגדילה את קיבולת הדרך, ובכך מעודדת את השימוש ברכב הפרטי.

נתיבים מתחלפים מאפשרים שימוש טוב ויעיל יותר בתשתית הקיימת. שימוש בהם מביא אף להקטנה במשאבי האנרגיה הדרושים לסלילת נתיבים נוספים, ולעיכוב או מניעת הצורך להשתמש בשטחים נוספים מתוך המאגר המצומצם הקיים עבור כבישים חדשים. לשימוש המוקטן בשטחים נוספים לצורך סלילת כבישים או נתיבים נוספים יש גם יתרון נופי-סביבתי.

לעיתים רבות נתיבים מתחלפים משמשים את התחבורה הציבורית, בתצורה של מת״צ / נת״צ שכיוון הנסיעה בו מתהפך במהלך שעות היום. ליישום זה תועלת סביבתית משמעותית.

2.6 שיקולי מדיניות וחברה

הקמת מערכת נתיבים מתחלפים כרוכה בקבלת החלטות של מדיניות וחברה, בדבר אופי השימוש במערכת וזהות המשתמשים המורשים.

א. <u>מדיניות לשימוש זמני ולשימוש חירום</u>

כאשר נתיבים מתחלפים מיועדים לשמש כצירי פינוי בעת חירום, על רשויות הדרך והמשטרה להכין את תוכניות הפינוי מראש, הכוללות תנועה מכל נקודות הכניסה אל קטעי הנתיבים שישמשו למילוט (בתצורת Contra-flow, ראה הגדרה בסעיף 1.2). מאחר שמדובר במצב חירום, על התוכניות להתחשב במידה מעטה בלבד בנוחות הנהג והרצון שלו לבחור מסלול נסיעה. ואולם, ברור שחלק מן המפונים יצטרכו לצאת, לצורך הצטיידות בדלק, מזון וכו'. על כן, כל תוכניות הפינוי שעושות שימוש בנתיבים "מתהפכים" צריכות לאפשר יציאות מנתיבים אלה, למרות שהכניסה חזרה תהיה אל הנתיבים הרגילים.

ב. <u>מדיניות איסור שימוש של סוגי כלי-רכב מסוימים</u>

לעיתים השימוש בנתיבים המתחלפים מיועד לסוגי כלי-רכב מסוימים, או שנאסר על סוגי רכב מסוימים. מדיניות תחבורתית נפוצה היא להגביל את השימוש לתחבורה ציבורית (ת"צ) ולכלי-רכב עתירי-תפוסה (HOV). מדיניות אחרת היא להגביל את השימוש בנתיבים מתחלפים למשתמשים משלמי אגרה, או אף שילוב בין ת"צ למשלמי אגרה ("נתיב מהיר"). אמצעי מדיניות אלה מגבילים את מספר כלי-הרכב המשתמשים בנתיבים מחד-גיסא, אך מאידך-גיסא מגדילים את סך הנוסעים העוברים, ובכך עשויים להקטין את הגודש הכולל ואף להוות מקור הכנסה לרשויות.

ג. <u>היבטים חברתיים</u>

לנתיבים מתחלפים יכולה להיות השפעה על בתי העסק בפרוזדור, כתוצאה ממגבלות חנייה, מגבלות נגישות, או הגבלות על תנועת מטענים. הגישה לשכונות מגורים יכולה להיות מושפעת ע"י איסור פניות, באופן קבוע או בשעות מסוימות.

לחילופין, האיסורים וההגבלות שיוצרת תצורת הנתיבים המתחלפים עלולה לעודד כלי-רכב לעשות קיצורי דרך ע"י מעבר בשכונות מגורים או ברחובות מקומיים.

2.7 שיקולים כלכליים

ניתן ליישם נתיבים מתחלפים עם השקעות מזעריות, ביחס להשקעות הדרושות לתוספת נתיבים.

העלויות הישירות של מערכות נתיבים מתחלפים:

- הקמה
- אחזקה
- תפעול
- אכיפה של השימוש בנתיבים והמגבלות הקשורות בהן.

העלויות העקיפות של מערכות נתיבים מתחלפים:

- השפעות סביבתיות (הנובעות מהגדלת הקיבולת)
- השפעות חברתיות הנובעות מן האיסורים בשימוש, ומשינוי ההרגלים הקיימים.

התועלות הצפויות ממערכת נתיבים מתחלפים:

- הגדלת הקיבולת בכיוון הראשי והקטנת הגודש וזמני הנסיעה. קיבולת נוספת יכולה לשמש באותו רחוב עבור שעות השיא של הבוקר ואחה"צ כאחד.
- דחייה או הימנעות מהשקעות בתשתית לתוספת נתיבים.
- שיפור בהובלת משאות.
- שיפור באיכות האוויר (באמצעות הקטנה בפליטות).

יש לזהות ולכמת את העלויות והתועלות של יישום נתיבים מתחלפים, על מנת להצדיק את המערכת. למרות שהעלויות הראשוניות של מערכת בקרת נתיבים יכולות להיות משמעותיות, התועלות של מערכת כזו עשויות להיות פי כמה וכמה.

אם עורכים ניתוח איכותי, יש לזהות את היתרונות והחסרונות של יישום נתיבים מתחלפים ולנתחם.

לעיתים נדרש ניתוח מפורט של עלות-תועלת, או בדיקת כדאיות כלכלית, תוך שימוש במודלים תחבורתיים. במקרה זה, יהיה צורך לכמת את העלויות והתועלות, ע"פ שיטות העבודה המקובלות.

2.8 הערכת ביצועים

הערכת הביצועים חיונית על מנת להצדיק ולהביא לאופטימום את תכנון המערכות של נתיבים מתחלפים, ולהעריך בדיעבד את ביצועי מערכת שהוקמה.

2.8.1 מדדי ביצוע

ע"פ Managed Lanes Handbook **(13)**, מדדי הביצוע עבור מערכות נתיבים מתחלפים צריכים לענות על הדרישות הבאות:

- מוגבלים במספרם.
- פשוטים ומובנים, עם הגדרות ופירושים עקביים, כדי לענות על צרכיו של קהל רחב, ויחד עם זאת להיות מדויקים ומפורטם דיים.
- קלים לחישוב, עם הכנסת נתונים ועיבודים מזעריים, כדי להפיק תוצאות שימושיות.
- רגישים לשינויים ומאפשרים לקלוט שינויים במערכת או בביצועים שלה.
- מתאימים מבחינה גיאוגרפית לצרכי קבלת ההחלטות, בתחום הפרוזדור / חבל ארץ / מדינה.

היעד הכללי של נתיבים מתחלפים היה עקבי במשך השנים, והוא להגדיל את הקיבולת הכיוונית של הדרך בתקופות זמן שונות, כדי לספק ביקוש לא מאוזן, ללא הצורך לסלול דרכים נוספות או נתיבים נוספים. על כן, יעדים הקשורים בניידות, כגון חסכון בזמני נסיעה ואמינות הם בעלי חשיבות גדולה.

2.8.2 הערכה תפעולית

ההערכה התפעולית מתייחסת להערכת הניידות והאמינות. הערכת הביצועים של מערכת נתיבים מתחלפים אינה שונה מהותית מההערכה של כל מערכת תחבורתית כגון צומת, קטע דרך, או דרך עורקית. על כן, המתודולוגיות המקובלות, כגון HCM, תקפות גם כאן.

באופן כללי, במונחי תפעול, מערכת נתיבים מתחלפים משיגה רמה גבוהה יותר של העברת נוסעים (Passenger Throughput) ומהירויות נסיעה.

מדדי הביצוע המומלצים למדידת הניידות והיעילות של מערכת נתיבים מתחלפים [מבוסס על מסמך NCHRP 340 **(12)**] הם:

- **נפח תנועה** לכל 15 דקות, שעה, או שעות השיא. זהו מדד הביצוע הנפוץ ביותר.

- **זמן נסיעה, מהירות, עיכובים:** מדדים אלה מובנים בקלות ע"י הציבור. יעילות התנועה, כולל של רכבי ת"צ, יכולה להימדד ע"י מהירות ועיכובים. בבחינה של פרוזדור תנועה, ניתן לבחון את הזרימה של קטע הנתיבים המתחלפים כולו. זמן נסיעה בין נקודות מפתח הוא מדד שימושי לבחינה - האם ההיפוך אכן משפר את הזרימה. שילוב של זמן הנסיעה עם נתוני ספירות התנועה מאפשר לחשב את סה"כ העיכובים למתקן.

- **קיבולת:** מדידת קיבולת עבור מערכת נתיבים מתחלפים תהיה מבוססת על מדידה כיוונית. שני הכיוונים - הראשי והנגדי – יימדדו. מדידת הכיוון הנגדי חשובה, שכן יש בו קיבולת מופחתת בגלל היפוך הנתיבים. חשובה הקיבולת הכוללת לכיוון, ולא לכל נתיב ונתיב. מאחר שיישום של מערכת נתיבים מתחלפים כרוך לעיתים בביטול פניות שמאלה, יש לערוך ניתוח של ההשפעה של הפניות שמאלה שיתאפשרו. ככלל, מערכת של נתיבים מתחלפים אמורה להגדיל את הקיבולת, אולם לתוספת / הורדת נתיבים אין בהכרח השפעה קווית.

- **רמת שירות (LOS):** המתודולוגיות המקובלות, כגון חישוב רמת שירות ע"פ HCM, תקפות גם כאן. במערכת נתיבים מתחלפים יש לערוך ניתוח רמת השירות עבור נקודות ההתמזגות / התפצלות ונקודות הכניסה / יציאה של המתקן, וכן צמתים בהם מתאפשרות פניות. הדרישה היא לחישוב רמת שירות לכל נקודה קריטית, ולא חישוב ממוצע כללי למתקן כולו (אין לו משמעות). השתזרות בין נתיבים במערכת נתיבים מתחלפים תשפיע על התפעול, ובכך על הקיבולת הכללית של המערכת. התכנון של המערכת יתחשב בטבלת המוצא-יעד של כלי-הרכב במתקן. יש לבחון בשלב התכנון את המיקומים הקריטיים של השתזרות והתמזגות.

- **השפעה על פעולת הרמזורים לתנועת כלי-רכב והולכי הרגל:** היפוך הנתיבים אמור להשפיע על תנועת כלי-הרכב אך לא אמור להשפיע על תנועות הולכי הרגל, אם הולכי הרגל משתמשים במעברי החצייה המתאימים. זמני האדום / ירוק להולכי רגל לא מושפעים מכיוון הנסיעה. על כן, לא אמור להיות שינוי בזמנים המוקצים לחציית הולכי הרגל. לעומת זאת, תפעול התחבורה הציבורית עשוי להיות מושפע אם המערכת כוללת נתיבים חד-סטריים. היפוך הנתיבים יכול להגביר את המורכבות של השתזרות כלי-הרכב הציבוריים, כתלות במסלולם ובמיקום התחנות. כאשר נאסרות הפניות שמאלה, ניתן לשקול להוציא מכלל זה את ת"צ, אולם לא מומלץ לעשות כן.

ההערכה צריכה לכלול ניתוח "לפני-אחרי" של המדדים הנ"ל, וכן בחינת:

- אורכי תורים
- תאונות
- ההשפעה של מערכת נתיבים מתחלפים במעלה הזרם ובמורד הזרם.

לסיכום, יש לבצע הערכה תפעולית עבור דרכים עורקיות ומהירות. עבור הסדרים זמניים לצורכי עבודות או אירועים מיוחדים אין צורך בביצוע הערכה תפעולית מפורטת.

כאשר התכנון כולל ת"צ, יש לבחון את ההשפעה של מערכת הנתיבים המתחלפים על השינוי בפיצול הנסיעות.

בכל מקרה חשוב לבצע ניתוח אמינות של המערכת.

2.9 קבלה ע"י הציבור

בדיקה של ההבנה והקבלה של הציבור חשובה מאד. השימוש באמצעי בקרת תנועה אחידים ועקביים מסייע להעביר את המסרים לנהגים. ע"פ הניסיון בעולם, בתחילה מקבלים הנהגים את המערכת ברגשות מעורבים, אך בהמשך משתנה דעתם והופכת לחיובית. מאחר שהקמת מערכת נתיבים מתחלפים אינה פעולה שגרתית, מספר משמעותי של נהגים אינם מכירים את שיטת תפעולה. התוצאה היא שבתחילה קיים בלבול אצל הנהגים, אך בהמשך משתנה היחס לקבלה והתלהבות. זה קורה כאשר הנהגים נוכחים בתועלות המערכת.

2.10 שיקולים תכנוניים אחרים

מספר שיקולים תכנוניים אחרים שיש לקחת בחשבון:

- הסכמים והסדרים בין רשויות, במקרים שמערכת נתיבים מתחלפים חוצה בין תחומי רשויות תימרור
- האחריות הקשורה בבטיחות המערכת
- ולאחרונה, גם שיקולי קיימות וחיי הקהילה.

3. פרטי התכן של נתיבים מתחלפים

התבחינים (קריטריונים) לתכן (Design) של דרכים בהן מותקנות מערכות נתיבים מתחלפים דומים לתבחיני התכן של דרכים רגילות. סקירת הספרות הראתה שבארה״ב ובקנדה התכנון המפורט של הנתיבים המתחלפים, הכולל התייחסות להיבטים כגון רדיוסי פנייה, מרחקי ראות, אורכי אלכסונים, רוחבי נתיבים, וכו׳, היה בכל המקרים שנסקרו - בהתאמה לכללים והסטנדרטים המוגדרים בהנחיות התכנון האמריקאיות והקנדיות. ואכן, מאפייני כלי-הרכב והנהגים זהים, בלא קשר לאופן תפעול המתקן. ממצאים אלה הגיוניים גם מאחר שרוב הנתיבים המתחלפים יושמו בדרכים שבמקור יועדו לשימוש שגרתי.

על אף שתבחיני התכן דומים, התכנון של מתקני נתיבים מתחלפים שונה מהותית מזה של דרכים רגילות. ההבדלים קשורים בעיקר לצורך באזורי מעבר, אזורי כניסה ויציאה, ורוחב מספיק של הדרך.

3.1 החתך לרוחב הדרך

המרכיבים העיקריים של חתך הדרך הם הנתיבים, השוליים (בדרכים בין-עירוניות) או המדרכות (בדרכים עירוניות), והמפרדות. התכנון של מרכיבים אלה מתרכז בצורך להזרים את התנועה, ולשמור על הבטיחות ע״י הפרדת זרמי תנועה מנוגדים, והקטנת האפשרות לעזיבת הנתיבים.

תכנון חתך הדרך של נתיבים מתחלפים דורש שיקול מיוחד, מאחר שכיוון הנסיעה בחלק מן הנתיבים משתנה על ציר הזמן. לפיכך, השיפועים ותנאי השטח צריכים להתאים לשני כיווני הנסיעה.

בעת תכנון השיפועים בדרכים, וכן בעת תכנון אביזרי בטיחות כגון מעקות בטיחות, סופגי אנרגיה והתקנים שבירים, המתוכננים בד״כ עבור כיוון נסיעה אחד, עשוי להיווצר הצורך לתכנון עבור כלי-רכב הנוסעים בשני הכיוונים. ייתכן שיידרש רוחב נוסף לנתיבים, על מנת להפריד בין זרמי תנועה בכיוונים שונים, ע״י מעקות בטיחות קבועים, או ע״י אמצעי בקרת תנועה ניידים כגון חרוטים או מעקות בטיחות מנוידים.

בסעיפים 3.1.1 ו- 3.1.2 להלן, יפורטו פרטי התכן של הנתיבים המתחלפים עבור דרכים בין-עירוניות ודרכים עירוניות, בהתאמה.

3.1.1 <u>החתך לרוחב בדרך בין-עירונית</u>

א. <u>סיווג הדרכים הבין-עירוניות</u>

סוגי הדרכים הבין-עירוניות הוגדרו בהנחיות לקביעת מהירויות ברשת הדרכים של משרד התחבורה **(7)**, ובהנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות, צמתים ומחלפים, של משרד התחבורה והחברה הלאומית לדרכים **(8)**.

סוגי דרכים אלה פורטו בטבלה 3-1 שבחלק ב׳ של הנחיות אלה, והם מוצגים שוב בטבלה 3-1 להלן.

טבלה 3-1 : הגדרת סוגי הדרכים הבין-עירוניות בהתייחס לנתיבים מתחלפים (7)

סוג הדרך	מהירות הייעוד המרבית	סוג הדרך בהתייחס לנתיבים מתחלפים
דרך בין-עירונית מהירה	110	א׳
דרך מעוירת (פרבריה) מהירה	100	ב׳
דרך בין-עירונית דו-מסלולית ממוחלפת	100	ג׳
דרך בין-עירונית דו-מסלולית שאינה ממוחלפת	90	ד׳
דרך בין-עירונית חד-מסלולית	70	ה׳

כל דרך מסוג ב׳ (מעוירת מהירה), או דרך מסוג ג׳ (ממוחלפת) שהינה מעוירת באופייה, הן מועמדות טיפוסיות להתקנת מערכת נתיבים מתחלפים.

דרך מסוג א׳ (בין-עירונית מהירה) וכן דרך מסוג ד׳ או סוג ה׳ אינן מועמדות טיפוסיות להתקנת נתיבים מתחלפים. אולם אין מניעה עקרונית לעשות זאת, ע״פ נסיבות העניין וע״פ שיקולי רשויות התימרור המוסמכות.

השיקולים להקמת מערכת נתיבים מתחלפים פורטו בפרק 2 לעיל.

לאחר שהוחלט לתכנן מערכת נתיבים מתחלפים בדרך מסוימת, יש לתכנן את מרכיבי הדרך בהתאם לסיווג הדרך, ע״פ ההנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין עירוניות, צמתים ומחלפים של משרד התחבורה והחברה הלאומית לדרכים **(8)**, כמפורט בסעיפים ב׳-ה׳ להלן.

ב. <u>רוחב הנתיבים</u>

רוחבי הנתיבים בסוגים השונים של הדרכים הבין-עירוניות מוגדרים בטבלה 3.1 בהנחיות שצוינו לעיל **(8)**. רוחבי נתיבים אלה יהיו תקפים גם לדרך ובה נתיבים מתחלפים.

ג. <u>רוחב השוליים</u>

רוחב השוליים בדרכים בין-עירוניות מוגדר בטבלה 3.2 בהנחיות שצוינו לעיל **(8)**. ככלל, רוחבי שוליים אלה יהיו תקפים גם לדרך ובה נתיבים מתחלפים.

במקרה המיוחד של דרך דו-מסלולית מחולקת ובה מסלול הכולל נתיב אחד או שני נתיבים, שכיוונו מתחלף (תצורה 2 או 6 בתרשים 1-2), ניתן להסתפק בשול ימני ושול שמאלי שרוחבם 1.2 מ׳ בלבד. לרוחב השול יש להוסיף את הרוחב הפעיל הדרוש להצבת מעקה בטיחות, ע״פ סוג המעקה הנדרש. לדוגמא: אם המסלול כולל נתיב אחד ברוחב 3.6 מ׳, ושני שוליים ברוחב 1.2 מ׳ כל אחד, מתקבל רוחב של 6.0 מ׳, המאפשר עקיפת רכב במקרה חירום של רכב תקוע.

ד. <u>מפרדה</u>

ע״פ ההנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין עירוניות, צמתים ומחלפים של משרד התחבורה והחברה הלאומית לדרכים **(8)**, ייעודה של המפרדה בדרך בין-עירונית הוא ליצור מרווח בין שני מסלולים שכיווני הנסיעה בהם מנוגדים.

ע״פ ההנחיות אין לסלול דרך מחולקת (רב-נתיבית) ללא מפרדה.

ע״פ ההנחיות שצוינו לעיל **(8)**, רוחב המפרדה נקבע כך שיכלול את השול השמאלי של כל אחד משני המסלולים, ואת רוחב מעקה הבטיחות המפריד בין הכיוונים. על רוחב המפרדה לכלול גם את הרוחב הפעיל של מעקה הבטיחות (שווה ערך לרוחב המעקה ועוד סטייה דינמית של המעקה).

הרוחב המזערי של מפרדה ללא תאורה ומכשולים:

- בדרך בין-עירונית מחולקת בת 2 נתיבים למסלול ובדרך מעוירת מהירה בת 3 נתיבים למסלול: 2.4 מ׳ בתוספת רוחב המעקה.
- בדרך בין-עירונית מחולקת בת 3 נתיבים למסלול ובדרך מעוירת מהירה בת 4 נתיבים למסלול: 6.0 מ׳ בתוספת רוחב המעקה.

כאשר יש מכשול במפרדה, יש להוסיף למידות לעיל את המידה הדרושה להצבת מכשול עצמו, וכן רוחב פעיל (רוחב מעקה ועוד סטייה דינמית של המעקה) של שני מעקות חד-צדדים.

לסיכום:
מהנחיות אלה נובע שבכל דרך בין-עירונית דו-מסלולית (דרכים מסוג א׳ – ד׳ בטבלה 1-3), יש הכרח בקיום מפרדה פיזית בין נתיבים בכיווני נסיעה שונים. רוחב המפרדה המוגדר בהנחיות **(8)** יהיה תקף גם לדרך ובה נתיבים מתחלפים.

כפועל יוצא מהנחיות אלה, ניתן להקים מערכת נתיבים מתחלפים בדרך בין-עירונית ולאפשר היפוך של כיוון הנסיעה של הנתיבים המתחלפים, רק באחת מהתצורות הבאות (ראה פירוט התצורות בתרשים 1-2):

- תצורה 1
- תצורה 2
- תצורה 3א
- תצורה 5ב (הכוללת מעקה בטיחות מנויד, שמוצב בין נתיבי הנסיעה בכיוונים מנוגדים, המתאים לסוג הדרך).
- תצורה 6.

דרך בין-עירונית בת ארבעה נתיבים או יותר חייבת להיות מחולקת, לכן מערכת נתיבים מתחלפים בדרך כזאת תהיה מערכת ״סגורה״. תצורות 3ב, 4א ו- 5א אינן אפשריות מאחר שקיימת הפרדה פיזית בין נתיבים בכיוונים שונים.

ראה גם דיון בנושא מעקות בטיחות בסעיף 4.5.2.

ה. <u>החתך לרוחב בדרך מעוירת מהירה</u>

דרך מעוירת מהירה מוגדרת בהנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין עירוניות, צמתים ומחלפים **(8)**, פרק 11, כדרך מסויגת גישה במלואה, העוברת באזורים מטרופוליניים ועירוניים, משרתת נפחי תנועה גבוהים, ומחברת בין רשת הדרכים הארצית לבין רשת הדרכים העירונית.

לדרך מעוירת מהירה (סוג ב׳, ובמקרים מסוימים סוג א׳ וסוג ג׳ בטבלה 1-3 לעיל) תפקיד משמעותי בהזרמת נפחי תנועה גבוהים של יוממים. באמצעות יישום של נתיבים מתחלפים בדרך מסוג זה, ניתן להגדיל את הקיבולת הזמינה בכיוון שעת השיא (אל תוך אזורים עירוניים בשעות הבוקר, ואל מחוץ לאזורים העירוניים בשעות אחה״צ), ע״י שימוש באותם נתיבי נסיעה בכיוונים מתהפכים. דרך מסוג זה היא, על כן, מועמדת פוטנציאלית להתקנת מערכת נתיבים מתחלפים.

ע״פ ההנחיות שצוינו לעיל **(8)**, פרק 11, מהירות הייעוד של דרך מעוירת מהירה היא 100 קמ״ש. רוחבי הנתיבים והשוליים בדרך מעוירת מהירה מוגדרים בהנחיות אלה, ויהיו תקפים גם לדרך ובה נתיבים מתחלפים.

ניתן לשלב בין יישום הנתיבים המתחלפים לבין יישום העדפה לתחבורה ציבורית. בדרך מעוירת מהירה העדיפות לתחבורה הציבורית תינתן תוך שמירת הפרדה מוחלטת בין משתמשי הת״צ לבין מסלולי הנסיעה של הדרך המעוירת המהירה. כפי שפורט לעיל, בדרך מסוג זה יש גם לשמור על

הפרדה פיזית בין נתיבים בכיווני נסיעה שונים. מכאן יוצא, שנתיב או מסלול המופרד משאר נתיבי הנסיעה בדרך מעורית מהירה יכול לשמש כנתיב ת״צ מתחלף, המשמש את תנועת הת״צ בשעות הבוקר בכיוון אל האזור העירוני, ובשעות אחה״צ בכיוון אל מחוץ לאזור העירוני.

מאחר שהדרך המעורית המהירה נפגשת עם דרכים עורקיות עירוניות, יש לתכנן את נקודות ההתקשרות של הרמפות עבור כניסת הרכב אל הנתיבים המתחלפים או יציאה מהם. אם הנתיבים המתחלפים משמשים את התחבורה הציבורית, יש לתכנן מעברים להולכי הרגל מהתחנות בנתיבי הת״צ אל הרחובות העירוניים.

כאשר זכות הדרך מוגבלת מאד, ניתן לשקול בנייה של שני נתיבים מתחלפים עיליים מעל המפרדה המרכזית.

<u>לסיכום</u>: דרך מעורית מהירה היא דרך רב-נתיבית מחולקת, עם הפרדה פיזית בין נתיבי נסיעה בכיוונים מנוגדים. על כן, הנחיות התכן עבור דרך מעורית מהירה, בהתייחס לנתיבים מתחלפים, דומות להנחיות התכן של דרך בין-עירונית.

כפועל יוצא מהנחיות אלה, ניתן להקים מערכת נתיבים מתחלפים בדרך מעורית מהירה, ולאפשר היפוך של כיוון הנסיעה של הנתיבים המתחלפים, רק באחת מהתצורות ה-״סגורות״ הבאות (ראה פירוט התצורות בתרשים 1-2):

- תצורה 2
- תצורה 5ב (הכוללת מעקה בטיחות מנוידשמוצב בין נתיבי הנסיעה בכיוונים מנוגדים, המתאים לסוג הדרך)
- תצורה 6.

3.1.2 <u>החתך לרוחב בדרך עירונית</u>

א. <u>סיווג הדרכים העירוניות</u>

סוגי הדרכים העירוניות הוגדרו בהנחיות לתכנון רחובות בערים – תנועת רכב מנועי, של משרד התחבורה **(9)**, בטבלה 2.3, והם מוצגים בטבלה 2-3 להלן.

טבלה 2-3: מהירויות ייעוד וממ״מ מומלצות בסוגי רחובות ודרכים עירוניים (9)

סוג הדרך	תיאור	מהירות הייעוד וממ״מ	סוג הדרך בהתייחס לנתיבים מתחלפים
רחוב מקומי	רחוב עם היקף תנועה מזערי או מתון, המכיל 2 נתיבי תנועה, ותנועת אופניים משולבת	30	I
רחוב מקומי / מאסף 1	רחוב עם היקף תנועה נמוך-בינוני, המכיל 2 נתיבי תנועה לרכב מנועי, ותנועת אופניים מופרדת בנתיבי אופניים	50 / 30	II
רחוב מאסף 2	רחוב עם היקף תנועה בינוני-גבוה, המכיל 2 מסלולי תנועה לרכב מנועי, ותנועה אופניים מופרדת פיסית בשבילי אופניים	50	III
דרך 1 – עורק בסיסי	דרך עירונית משנית דו-מסלולית, 2 נתיבי תנועה למסלול, ושבילי אופניים	70 / 50	IV
דרך 2 – עורק רב- נתיבי	דרך עירונית ראשית דו-מסלולית, 2 נתיבי תנועה ויותר למסלול, ושבילי אופניים	70	V

(*) מתוך מ.מ. 9, טבלה 2.3 בעמוד 55

דרכים מסוג I או II, שהינן רחובות חד-מסלוליים עם היקף תנועה נמוך, ואף בעלי סטנדרטים גיאומטריים נמוכים, אינן מועמדות להתקנה של מערכת נתיבים מתחלפים בהן.

דרכים מסוג III, IV, V, שהינן רחובות ודרכים דו-מסלוליים, עם היקף תנועה בינוני וגבוה ובעלי סטנדרטים גיאומטריים גבוהים, הן מועמדות להתקנת מערכת נתיבים מתחלפים. המהירות המרבית המותרת בהן היא בד"כ 50 או 70 קמ"ש.

השיקולים להקמת מערכת נתיבים מתחלפים פורטו בפרק 2 לעיל.

לאחר שהוחלט לתכנן מערכת נתיבים מתחלפים בדרך מסוימת, יש לתכנן את מרכיבי הדרך בהתאם לסיווג הדרך, ע"פ ההנחיות לתכנון רחובות בערים של משרד התחבורה **(9, 10)**, כמפורט בסעיפים ב-ח להלן.

ב. <u>רוחב הנתיבים</u>

רוחבי הנתיבים בדרכים ורחובות עירוניים מוגדרים בטבלה 3.3 שבהנחיות שצוינו לעיל **(9)**. רחבים אלה מספיקים לכל סוגי הרכב, ואף כדי לשמר הפרדה צידית בין זרמי תנועה באותו כיוון ובכיוונים מנוגדים. רוחבי נתיבים אלה יהיו תקפים גם לדרך ובה נתיבים מתחלפים.

ג. <u>רוחב נתיב חנייה</u>

ע"פ ההנחיות שצוינו לעיל **(9)**, סעיף 3.3.4 (פרטי תכנון חנייה), רוחב נתיבי החנייה (המידה הניצבת לכיוון הנסיעה) הוא כדלקמן:

- חנייה מקבילה ברחוב עירוני – 2.0-2.25 מ'
- חנייה אלכסונית – 4.3-4.6 מ'
- חנייה ניצבת – 4.25 מ'.

מאחר שלעיתים הוספת נתיב מתחלף היא על חשבון נתיב חנייה, מידות רוחב אלה הן המידות שניתן להוסיף לנתיבי הנסיעה, אם יבוטל נתיב חנייה מאחד הסוגים האלה. אם מבוטל נתיב חנייה מקבילה ברוחב 2.0-2.25 מ', יש עדיין להוסיף כ- 1.0-1.5 מ' כדי להגיע לרוחב הנתיב הנדרש (3.0-3.5 מ'), על חשבון מרכיב אחר בזכות הדרך.

ד. <u>מפרדה</u>

ע"פ ההנחיות לתכנון רחובות בערים – תנועת רכב מנועי, של משרד התחבורה **(9)**, סעיף 3.4.2, יש הצדק תנועתי להתקנת מפרדה בנויה בדרך עירונית במקרים הבאים (רשימה חלקית):

- בכל דרך עירונית (עורק) שבה שני נתיבי נסיעה לרכב מנועי לכל כיוון.
- בכל רחוב עירוני בו שלושה נתיבים או יותר של רכב מנועי לכיוון.
- ברחובות עירוניים בעלי שני נתיבים לפחות לרכב מנועי לכיוון, כאשר אחד מתוך התנאים הבאים מתקיים (רשימה חלקית):
  - בצמתים.
  - כאשר קיים ממשק הדוק בין שני צידי הרחוב, וקיימת או צפויה תנועת הו"ר ערה בקטעי דרך בין שתי גדות הרחוב.
  - כאשר נפחי התנועה הקיימים או החזויים גדולים מ- 1,000 תנועות לכיוון או מ- 1,500 בשני הכיוונים, בממוצע שעתי המדוד על פני שלוש שעות שיא.
  - כאשר נדרש למנוע מהנהגים לבצע תמרונים כגון: פניות פרסה, תמרונים לחנייה, חציית נתיב תחבורה ציבורית וכד'.

- כאשר מתוכנן מסלול לתחבורה ציבורית (מת״צ) בסמוך למסלולי תנועה אחרים, הסדרת מפרדות בין מסלולי ת״צ לבין מסלולי תנועה של רכב מנועי רצויה, אך לא הכרחית.

ע״פ ההנחיות שצוינו לעיל **(9)**, סעיף 3.4.3.3, הרוחב המזערי של המפרדה (רשימה חלקית):

- כאשר יש חצייה של הרחוב ע״י הולכי-רגל ואופניים, הרוחב המזערי של המפרדה הוא 2.5 מ׳. רוחב מזערי זה נדרש לכל אורך המפרדה, בהנחה בסיסית שקיימת חצייה של הולכי רגל לכל אורך המפרדה.

- ברחוב או בדרך עירונית, במפרדה שלא מותקנת בתוכה כל תשתית קשיחה, בקטעים בהם אין שימושי קרקע או תנועת אוטובוס שיגרמו לחציית הולכי רגל, הרוחב המזערי המוחלט של המפרדה הוא 1.0 מ׳.

מהנחיות אלה נובע שבחלק ניכר מהדרכים והרחובות העירוניים, שהם המועמדים להתקנת מערכת נתיבים מתחלפים, מתקיים הצדק תנועתי לקיום מפרדה בנויה בין נתיבים בכיווני נסיעה שונים. בהקשר זה, ההתייחסות לדרך עירונית שונה מההתייחסות לרחוב עירוני, כמפורט להלן. רוחב המפרדה המוגדר בהנחיות **(9)** יהיה תקף גם לדרך / רחוב ובו נתיבים מתחלפים.

1) דרך עירונית:

מההנחיות שצוינו לעיל **(9)** נובע שבכל דרך עירונית דו-מסלולית, שבה שני נתיבים לפחות בכל כיוון (סוגים IV, V, ע״פ טבלה 2-3), יש הכרח בקיום מפרדה פיזית בין נתיבים בכיווני נסיעה שונים.

כפועל יוצא מהנחיות אלה, ניתן להקים מערכת נתיבים מתחלפים בדרך עירונית ולאפשר היפוך של כיוון הנסיעה של הנתיבים המתחלפים, רק באחת מהתצורות הבאות (ראה פירוט התצורות בתרשים 1-2):

- תצורה 1
- תצורה 2
- תצורה 3א
- תצורה 5א (רק בנסיבות מיוחדות, ראה סעיף 2.2.1 לעיל)
- תצורה 5ב (הכוללת מעקה בטיחות מנויד, שמוצב בין נתיבי הנסיעה בכיוונים מנוגדים, המתאים לסוג הדרך)
- תצורה 6.

תצורות 3ב, 4א ו- 4ב אינן אפשריות בדרך עירונית (בדומה לדרך בין-עירונית), שכן דרך עירונית שבה שני נתיבים לפחות בכל כיוון חייבת להיות מחולקת, כך שקיימת הפרדה פיזית בין נתיבים בכיוונים שונים.

2) רחוב עירוני:

למרות האמור בהנחיות שצוינו לעיל **(9)**, ברחוב עירוני שמהירות הנסיעה המרבית בו 50 קמ״ש, ללא תלות במספר הנתיבים בו (סוג III ע״פ טבלה 2-3), ניתן יהיה להקים מערכת נתיבים מתחלפים, ולאפשר היפוך של כיוון הנסיעה של הנתיבים המתחלפים בכל אחת מהתצורות הבאות (ראה פירוט התצורות בתרשים 1-2):

- תצורה 1
- תצורה 2
- תצורה 3א / 3ב
- תצורה 4א / 4ב
- תצורה 5א (רק בנסיבות מיוחדות, ראה סעיף 2.2.1 לעיל).

ניתן ליישם ברחוב עירוני גם את תצורה 5ב, אלא שלא סביר שיהיה מוצדק להפעיל מעקה בטיחות מנויד ברחוב עירוני.

עקרונית אין מניעה להקים מערכת נתיבים מתחלפים גם ברחוב עירוני מסוג II, ע"פ נסיבות העניין, וע"פ שיקולי רשויות התימרור המוסמכות.

ה. <u>רוחב רצועת ההליכה במדרכות</u>

ע"פ ההנחיות לתכנון רחובות בערים – תנועת הולכי רגל **(10)**, סעיף 4.3.3, רוחב רצועת ההליכה יותאם ככל האפשר להיקף תנועת הולכי-הרגל הצפוי בה. רוחבי רצועת ההליכה מוגדרים בטבלה 4.2 שבהנחיות אלה **(10)**. רוחב רצועת ההליכה המוגדר בהנחיות **(10)** יהיה תקף גם לדרך / רחוב ובו נתיבים מתחלפים.

כפועל יוצא, בעת תכנון נתיבים מתחלפים יש לשמור על רוחב רצועת ההליכה כמפורט לעיל. זאת, גם אם יש צורך בהגדלת רוחב המיסעה, לצורך הוספת נתיב מתחלף.

ו. <u>מקומות חצייה להולכי רגל</u>

ע"פ ההנחיות לתכנון רחובות בערים – תנועת הולכי רגל **(10)**, פרק 6, מקום חצייה הוא כל מקום שבו נקבע ע"י המתכנן כי תתקיים הצטלבות תנועות של הו"ר עם משתמשים אחרים. ההצדקים לקביעת מקומות חצייה עירוניים מוגדרים בטבלה 6.7 שבהנחיות שצוינו לעיל **(10)**.

כפועל יוצא, בעת תכנון נתיבים מתחלפים, יש לקבוע מקומות חצייה להולכי-רגל ע"פ ההנחיות שצוינו לעיל **(10)**. התכנון של מקומות חצייה אלה צריך להשתלב בתכנון הנתיבים המתחלפים.

ז. <u>מעקות וגדרות בטיחות להולכי רגל</u>

ע"פ ההנחיות לתכנון רחובות בערים – תנועת הולכי רגל **(10)**, סעיף 7.4, מעקות בטיחות להולכי-רגל מוצבים במדרכה ומיועדים למנוע את ירידת הולכי הרגל לכביש. גדרות בטיחות מוצבות במפרדה, במקומות שבהם תנועת הולכי-רגל או חציית הכביש מסכנות את הולכי-הרגל, או כאשר מעוניינים לנתב אותם למקום חצייה מוסדר בסמוך.

ע"פ ההנחיות שצוינו לעיל **(10)**, ההתייחסות למעקות ולגדרות הבטיחות היא מעורבת: מחד-גיסא הם מפחיתים את היקף תאונות הולכי הרגל בכ- 15%-20%, מאידך גיסא, יש להם מגבלות, כמפורט להלן:

- הפרעה לשדה הראייה של הנהגים והולכי הרגל
- תפיסת חלק משטח המדרכה
- הגבלת נגישות הולכי הרגל
- עומס חזותי
- מכשול פיזי שרכב עלול לפגוע בו.

על כן, יש לשקול כל רחוב, כל קטע של רחוב וכל צומת לגופו של המקום המתוכנן.

כפועל יוצא, בעת תכנון נתיבים מתחלפים, תכנון מעקות בטיחות להולכי רגל וגדרות במפרדות (היכן שיש מפרדות) צריך להשתלב בתכנון הנתיבים המתחלפים, ע"פ ההנחיות **(10)**.

דגש מיוחד צריך להינתן בעת תכנון של תצורות נתיבים מתחלפים, בהן כיוון הנתיבים הסמוכים למדרכה מתהפך מעת לעת, וחציית הולכי-רגל אינה רצויה. במקרים כאלה יש לשקול הצבת מעקות בטיחות להולכי-רגל.

ח. סיכום

ככלל, הנחיות התכנון לדרכים ולרחובות עירוניים לשימוש רגיל, תקפות גם לנתיבים מתחלפים. ואולם, כפי שפורט בסעיפים א׳-ז׳ לעיל, ישנם מספר היבטים עבורם ההתייחסות לנתיבים מתחלפים מעט שונה, או שיש להקדיש להם תשומת לב מיוחדת.

3.2 מרחק ראות, תוואי אופקי ואנכי

א. מרחק ראות בדרך עירונית

ע״פ ההנחיות לתכנון רחובות בערים – תנועת רכב מנועי **(9)**, סעיף 4.4.2, מרחק הראות המזערי לעצירה הינו המרחק שנהג הנוסע במהירות הייעוד צריך להיות מסוגל לראות לפניו, כך שיספיק לעצור לפני מכשול בו הבחין בנתיב נסיעתו (רכב תקוע, בנתיב נסיעה, חפץ על הדרך, הולך רגל חצה, וכו׳). מרחק זה חייב להתקיים לכל אורך הקטע. מרחק הראות עצמו, המהווה קו ישר בין עיני הנהג לבין ראש העצם הנצפה, עשוי להיות קצר ממרחק הנסיעה לראות, העוקב אחר תוואי הכביש.

בהתייחס לצמתים, מרחק הראות בצומת וחישוב משולשי הראות בצומת עירוני מתוארים בהנחיות לתכנון רחובות בערים – תנועה בצמתים **(27)**.

ב. מרחק ראות בדרך בין-עירונית

בהתאמה לסעיף א׳ לעיל, מרחקי הראות בדרכים בין-עירוניות נדונים בהנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין עירוניות, צמתים ומחלפים **(8)**, פרק 4.

ג. שיקולי תכן של מרחק הראות

ככלל, חישוב מרחק הראות והתוואי האופקי והאנכי של דרך עם נתיבים מתחלפים, אינו שונה מחישוב מרכיבים אלה של דרך רגילה. זאת מאחר שהדרישות מנתיבים מתחלפים אינן שונות מהדרישות מדרכים רגילות. על כן, הנחיות התכנון הסטנדרטיות לדרכים בין-עירוניות **(8, 27)** ולדרכים עירוניות **(9, 10)**, תקפות במלואן.

בנוסף לאמור לעיל, שיקולי התכן עבור מערכת נתיבים מתחלפים הם:

- כאשר כיוון הנתיבים מתהפך, יש להבטיח שחישובי קווי הראות (מרחק ראות לעצירה ומרחק ראות להחלטה) מתאימים גם לכיוון ההפוך של הנסיעה.
- יש להבטיח שרדיוסי הסיבוב ומיקום האף של המפרדה ממוקמים בהתאמה לתפעול נתיבים מתחלפים, בכל צומת לאורך התוואי.

3.3 אזורי כניסה ויציאה

שני אזורי מפתח שיכולים להשפיע משמעותית על האפקטיביות הכוללת של קטעי נתיבים מתחלפים הם אזורי הכניסה והיציאה (ראה תיאור והגדרה כללית של האזורים בסעיף 1.3 ובתרשים 1-1 לעיל).

3.3.1 <u>סוגים של אזורי כניסה ויציאה</u>

ככלל, יכולים להיות שלושה סוגים עיקריים של אזורי כניסה ויציאה:

- כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בדרך ממוחלפת - באמצעות רמפות ישירות (עם או בלי הפרדה מפלסית).
- כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בדרך עורקית - באמצע קטע.
- כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בצומת מרומזר.

כל סוגי הכניסה והיציאה יכולים להיות מיושמים במסגרת הסדרי תנועה בזמן עבודות.

סוגים אלה יידונו בתת-הסעיפים א-ד להלן.

א. <u>כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בדרך ממוחלפת</u>

תצורת הנתיבים המתחלפים בדרך ממוחלפת היא, בדרך כלל, מסלול חד-סיטרי מופרד שכיוונו מתחלף (תצורה 6 בתרשים 1-2). בדרך ממוחלפת הנתיבים המתחלפים הם נתיבים "סגורים".

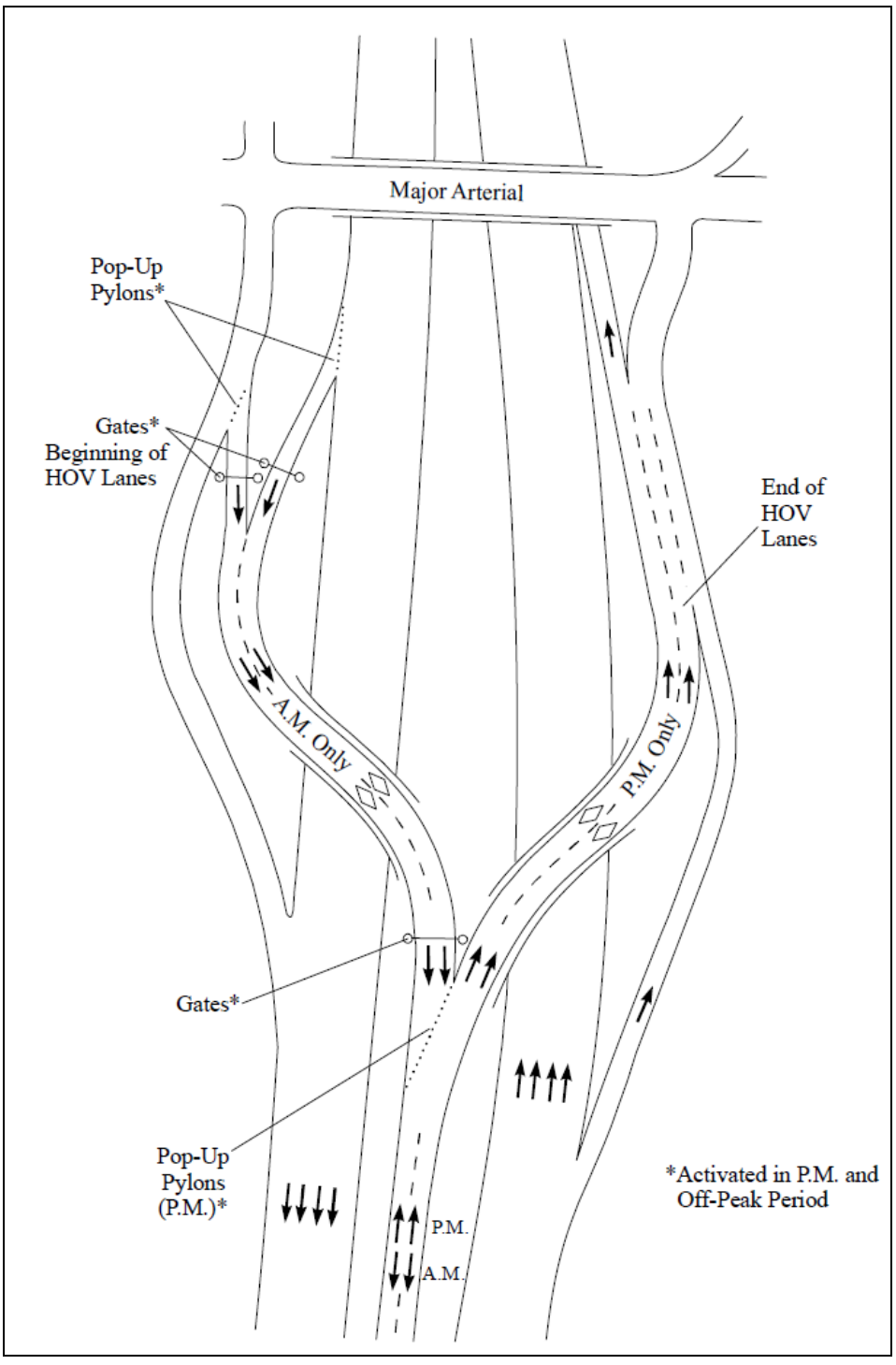
כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בדרך ממוחלפת נעשית, בד"כ, באמצעות רמפות כניסה ויציאה סטנדרטיות של דרך ממוחלפת. ואולם, אין מניעה לתכנן רמפות ישירות גם בדרך עורקית.

עבור כל אחד משני מצבי הנסיעה (בו כיוון אחד פתוח לתנועה וכיוון שני סגור), חלק מן הרמפות פתוחות וחלק מהן סגורות. כאשר כיוון התנועה מתהפך, הרמפות בכיוון הסגור תחסמנה ע"י אמצעי בקרת תנועה, ובנוסף גם באמצעות אביזרי תנועה ובטיחות (כגון מחסומים). סוג זה מתאים לתצורות 5ב ו- 6 (כמתואר בסעיף 2.2.1, תרשים 1-2).

רמפות כניסה ויציאה אלה יתוכננו ע"פ ההנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין עירוניות, צמתים ומחלפים **(8)**. ואולם, רמפות אלה יכולות להתפצל או להתמזג גם מצד שמאל. במקרה זה רצוי שהכניסה / יציאה תהיה באמצעות מעבר נתיב ולא נתיב המשכי.

ראה תרשים 3-1, המציג דוגמת תכנון של כניסה אל התחלה של מסלול דו-נתיבי מתחלף (מצוין בתרשים ככיוון AM), ויציאה מקצהו של המסלול המתחלף בכיוון הנסיעה ההפוך (מצוין בתרשים ככיוון PM) בדרך ממוחלפת. התכנון כולל מסלול מתחלף מרכזי בן שני נתיבים המחובר באמצעות רמפות ישירות עם הפרדה מפלסית אל המערכת העורקית.

תרשים 3-1 : כניסה אל מסלול דו-נתיבי מתחלף ויציאה ממנו בדרך ממוחלפת
באמצעות רמפות ישירות במחלף מעוין



ב. <u>כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בדרך עורקית באמצע קטע</u>

כניסה ויציאה באמצע קטע מתאפשרת בנתיבים מתחלפים מהסוג ה-"פתוח" ומתאימה בדרך כלל לדרך רב-נתיבית דו-סיטרית, כאשר כיוון הנסיעה בחלק מן הנתיבים מתחלף, תוך שמירה על תנועה דו-סטרית. מקרים אלו מתוארים בתצורה 4א, 4ב (ראה תרשים 2-1). זו התצורה המועדפת של כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בקטע דרך, במרחק סביר מצומת, וזאת מן הסיבות הבאות:

- עבור נהג הרכב רצוי לפצל בין מטלת ההבנה של הצומת לבין מטלת ההבנה של הניתוב המתחלף, והכניסה אליו או יציאה ממנו. כאשר הכניסה / יציאה מרוחקת מן הצומת, הנהג יכול להתמודד עם כל אחת משתי המטלות בנפרד, ובהדרגה. במקרה זה הסדרי התנועה בצומת אינם משתנים בזמן.

- כאשר הכניסה אל הנתיב המתחלף והיציאה ממנו היא בצומת, תנועות מסוימות ברמזור יפעלו רק חלק מהזמן - בגלל התחלפות הכיוון של הנתיבים, ואותם הנתיבים עשויים לשמש לסירוגין למופע רמזור אחד ולמופע רמזור שני (לדוגמא, פנייה אל הנתיב המתחלף שתהיה אפשרית לסירוגין רק כאשר הנתיב המתחלף פתוח לתנועה בכיוון א', אך לא אפשרית כאשר הנתיב המתחלף פתוח לתנועה בכיוון ב'). הדבר עלול ליצור בלבול אצל הנהגים.

- עבור הולך הרגל, לא רצוי שבעת חצייה במעבר חצייה, כיוון תנועת כלי-רכב שהוא פוגש באותו נתיב ישתנה לסירוגין, מימין ומשמאל.

- הימצאות נתיבים מתחלפים בצומת תביא לכך שבנתיבים אלה לא יסומנו חיצים על פני הדרך (813). חסרונם של הסימונים עלול להקשות על הנהגים להתמצא בצומת ולהגדיל את הסיכוי שלהם לשגות (אם כי מותקנים תחליפים, כגון תמרורי הוריה עיליים).

בסוג זה של כניסה ויציאה, הנתיבים המתחלפים יתחילו ויסתיימו באמצע קטע בלבד באופן הבא:

- בכיוון הכניסה אל הנתיב (איזור הכניסה) יש לכוון את התנועה להיכנס אל הנתיב שמתווסף, באמצעות סימון על פני הדרך ו/או תמרורי בקרת נתיבים.

- בכיוון היציאה מן הנתיב (איזור היציאה) יש לכוון את התנועה לצאת מן הנתיב שמסתיים, באמצעות סימון על פני הדרך ו/או תמרורי בקרת נתיבים. בהמשך, הנתיב המתחלף שהסתיים יכול להפוך לנתיב פנייה בצומת.

תרשים 3-2 ותרשים 3-3 מציגים שתי דוגמאות לתכנון של אזורי כניסה ויציאה טיפוסיים באמצע קטע - המומלצים ליישום, כפי שיפורט להלן.

תרשים 3-2 מציג את דוגמא I. בתרשים 3-2 א' ניתן לראות דרך דו-מסלולית מחולקת בת שלושה נתיבים לכל כיוון, ההופכת לדרך חד-מסלולית בת חמישה נתיבים, הכוללת שני נתיבי נסיעה בכל כיוון ונתיב אמצעי מתחלף (תצורה 4ב בתרשים 2-1). בקטע דרך זה מוצבים שלושה גשרים של תמרורי בקרת נתיבים. רוב התמרורים קבועים, ומיעוטם מתחלפים (תכנון תמרורי בקרת הנתיבים נדון בסעיף 4.3, ואילו תפעול תמרורי בקרת הנתיבים נדון בסעיף 5.2 להלן).

כאשר הנתיב המתחלף פתוח לכיוון צפון, הנתיב השלישי מימין לכיוון צפון פתוח לתנועה (תחת גשר שילוט 2), והתנועה בו **רשאית** לחצות את סימון 806 ולהיכנס אל הנתיב האמצעי המתחלף (תחת גשר שילוט 3). בו בזמן, התנועה לכיוון דרום מתנהלת בשני הנתיבים הימניים בלבד (תחת גשר שילוט 3), ומונחית להישאר בשני הנתיבים הימניים גם בהגיעה אל תחילת המפרדה הפיזית (תחת גשר שילוט 2). רק לאחר מעבר גשר שילוט 1 ניתן לתנועה לעבור גם אל הנתיב השלישי משמאל, הסמוך למפרדה (לכיוון דרום). תרשים 3-2 ב' מדגים את התימרור של הנתיב המתחלף הפתוח לתנועה לכיוון צפון.

תצורת תימרור מחמירה זו מומלצת על מנת למנוע מקרים, בהם נהג הנוסע לכיוון דרום רואה מרחוק את התימרור על גשר שילוט 2 - עוד לפני שהוא מגיע אל גשר שילוט 2, ומתחיל להיכנס אל הנתיב האמצעי (שמשמש באותה עת את התנועה לכיוון צפון). ע"פ הסדר זה, תנועה הנוסעת לכיוון דרום **רשאית** להשתמש בכל שלושת הנתיבים לכיוון דרום, רק לאחר מעבר גשר שילוט 1, ולא אחרי מעבר גשר שילוט 2. הקטע בין שני גשרים אלה נשמר כחיץ לצורך הבטחת הבטיחות.

כאשר הנתיב המתחלף פתוח לכיוון דרום, הנתיב השלישי מימין לכיוון צפון סגור לתנועה (תחת גשר שילוט 2), והתנועה לכיוון צפון **אינה רשאית** לחצות את סימון 806 ולהיכנס אל הנתיב האמצעי המתחלף (תחת גשר שילוט 3). בו בזמן, התנועה לכיוון דרום מתנהלת בשלושת הנתיבים הימניים (תחת גשר שילוט 3), **ורשאית** להישאר בשלושת הנתיבים הימניים גם בהגיעה אל תחילת המפרדה הפיזית (תחת גשר שילוט 2). תרשים 3-2 ג' מדגים את התימרור של הנתיב המתחלף הפתוח לתנועה לכיוון דרום.

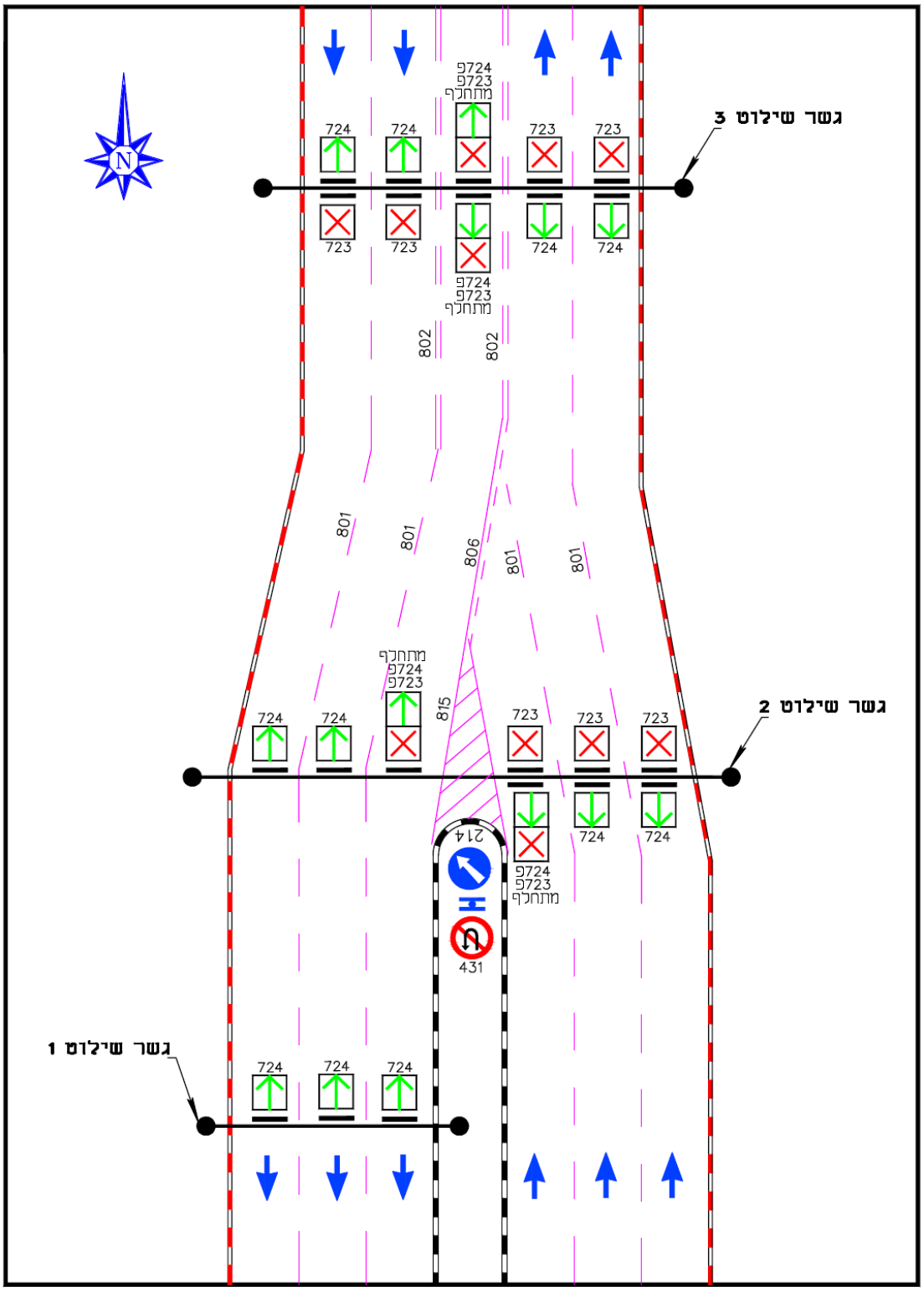
תרשים 3-3 מציג את דוגמא II, השונה מעט מדוגמא I בתצורת הנתיבים. בתרשים 3-3 א' ניתן לראות דרך דו-מסלולית מחולקת בת שני נתיבים לכיוון צפון, ושלושה נתיבים לכיוון דרום, ההופכת לדרך חד-מסלולית בת חמישה נתיבים, הכוללת שני נתיבי נסיעה בכל כיוון ונתיב אמצעי מתחלף. מספר גשרי השילוט ומיקומם דומה למתואר בתרשים 3-2.

כאשר הנתיב המתחלף פתוח לכיוון צפון, שני הנתיבים לכיוון צפון פתוחים לתנועה (תחת גשר שילוט 2), והתנועה בנתיב השני מימין **רשאית** להמשיך בנתיב השני, או לחצות את סימון 806 ולהיכנס אל הנתיב האמצעי המתחלף (תחת גשר שילוט 3). בו בזמן, התנועה בכיוון לדרום מתנהלת בשני הנתיבים הימניים בלבד (תחת גשר שילוט 3), ומונחית להישאר בשני הנתיבים הימניים גם בהגיעה אל תחילת המפרדה הפיזית (תחת גשר שילוט 2). רק לאחר המעבר של גשר שילוט 1 ניתן לתנועה לעבור גם אל הנתיב השלישי משמאל, הסמוך למפרדה (בכיוון לדרום). גם כאן נשמר חיץ לצורך הבטחת הבטיחות. תרשים 3-3 ב' מדגים את התימרור של הנתיב המתחלף הפתוח לתנועה לכיוון צפון.

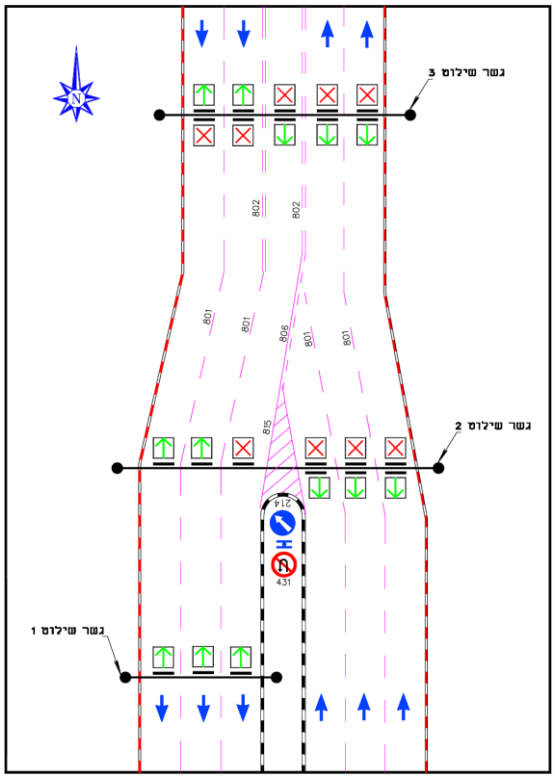
כאשר הנתיב המתחלף פתוח לכיוון דרום, שני הנתיבים לכיוון צפון פתוחים לתנועה (תחת גשר שילוט 2), והתנועה **אינה רשאית** לחצות את סימון 806 ולהיכנס אל הנתיב האמצעי המתחלף (תחת גשר שילוט 3). בו בזמן, התנועה לכיוון דרום מתנהלת בשלושת הנתיבים הימניים (תחת גשר שילוט 3), **ורשאית** להישאר בשלושת הנתיבים הימניים גם בהגיעה אל תחילת המפרדה הפיזית (תחת גשר שילוט 2). תרשים 3-3 ג' מדגים את התימרור של הנתיב המתחלף הפתוח לתנועה לכיוון דרום.

על מנת שניתן יהיה לקיים הסדרי תנועה אלה, המרחק של שלושת גשרי השילוט זה מזה צריך להיות כזה, שנהג הנוסע לכיוון צפון או דרום **יראה בבירור** את התימרור על גשר השילוט הבא בכיוון נסיעתו, כבר בעת שהוא חוצה את גשר השילוט הקודם. זאת כדי שהנהג יוכל להבין אם מותר לו להיכנס אל הנתיב המתחלף. כך למשל, כאשר הנתיב המתחלף פתוח לתנועה מצפון לדרום, הנהג הנוסע לכיוון צפון יראה בבירור את התימרור על גשר שילוט 3 כבר בעת שהוא חוצה את גשר שילוט 2, על מנת שיידע שעל אף שיש סימון 806 (המאפשר חצייתו), נאסר עליו לחצות את הסימון ולהיכנס אל הנתיב האמצעי המתחלף (שכן מעל הנתיב האמצעי תחת גשר שילוט 3 מוצג X אדום).

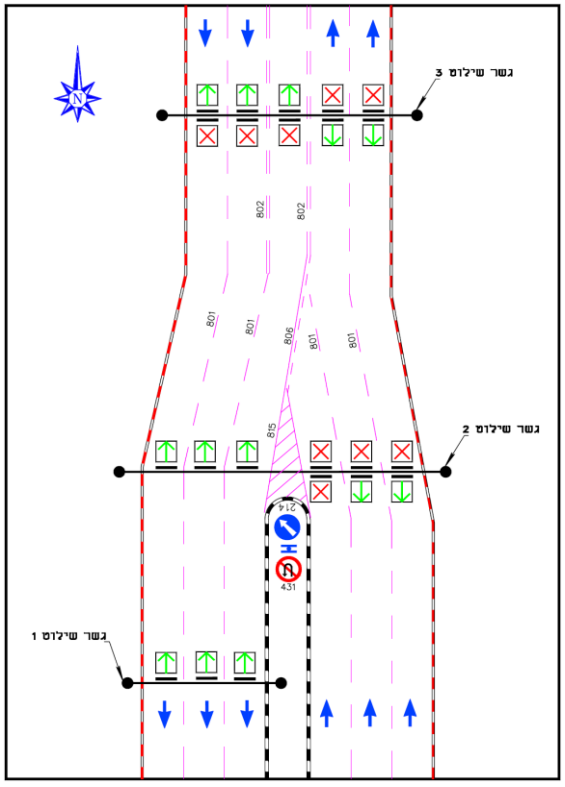
תרשים 3-2 א : כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בדרך עורקית באמצע קטע – דוגמא I



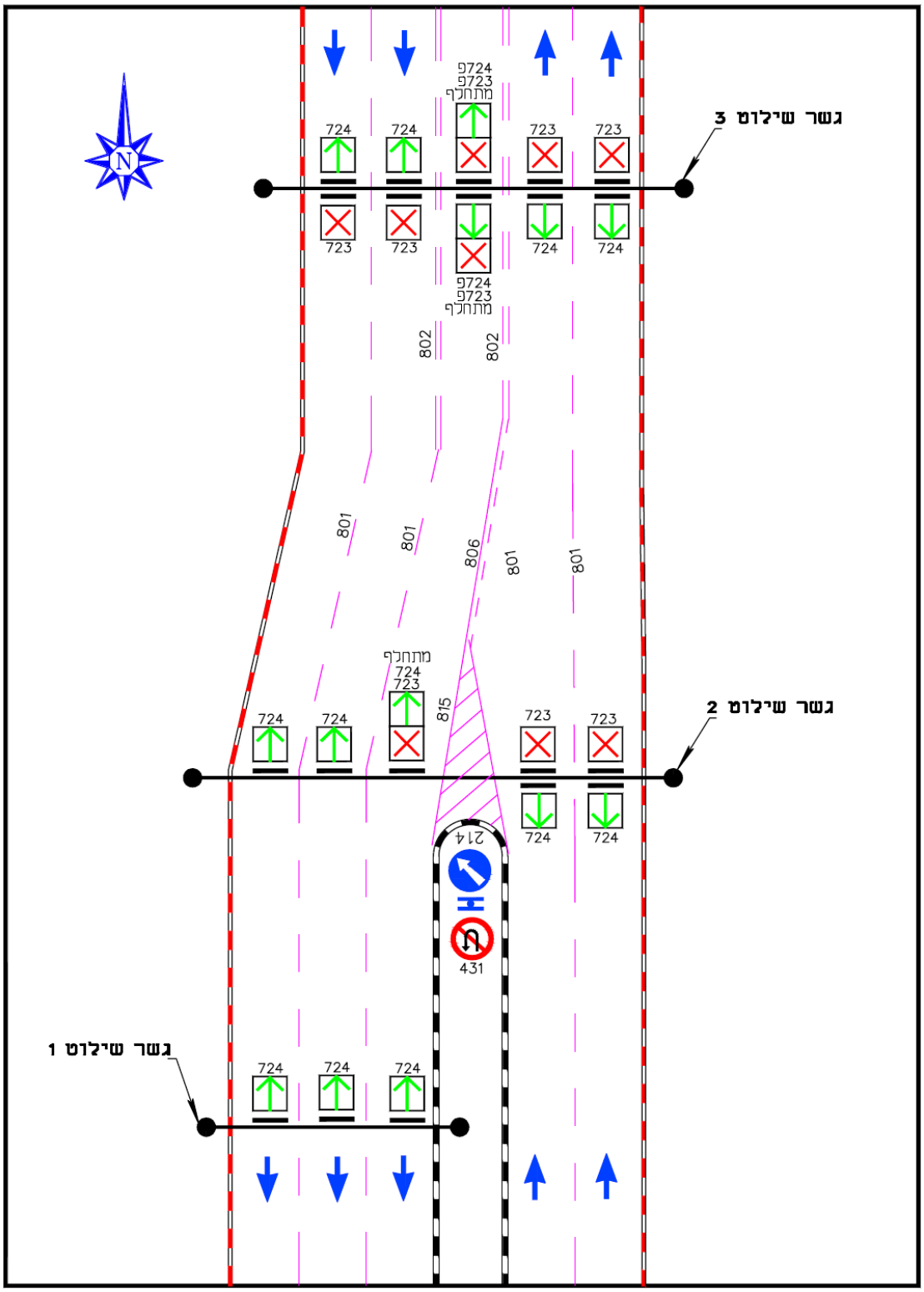
תרשים 3-2 ב: כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בדרך עורקית באמצע קטע – דוגמא I
תימרור של נתיב מתחלף הפתוח לתנועה לכיוון צפון



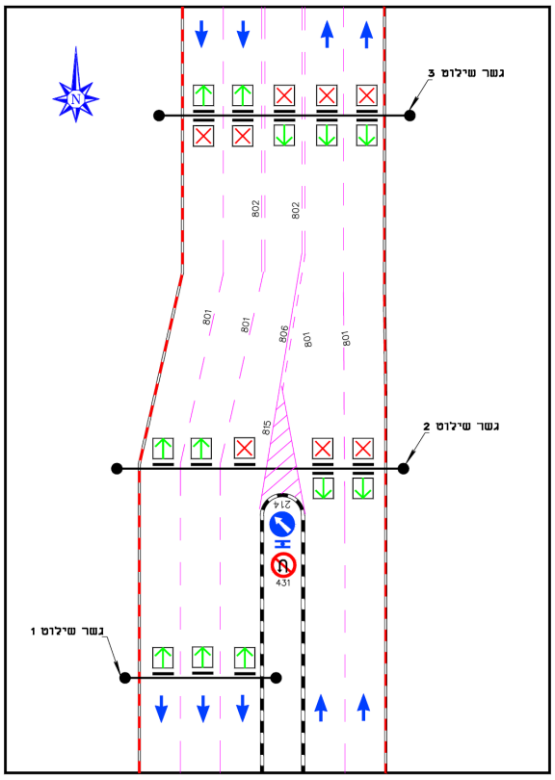
תרשים 3-2 ג: כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בדרך עורקית באמצע קטע – דוגמא I
תימרור של נתיב מתחלף הפתוח לתנועה לכיוון דרום



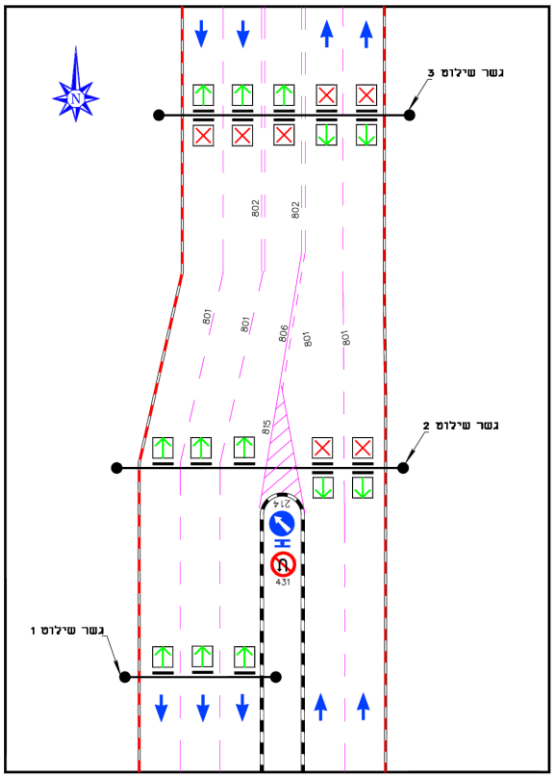
תרשים 3-3 א : כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בדרך עורקית באמצע קטע – דוגמא II



תרשים 3-3 ב: כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בדרך עורקית באמצע קטע – דוגמא II
תימרור של נתיב מתחלף הפתוח לתנועה לכיוון צפון



תרשים 3-3 ג: כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בדרך עורקית באמצע קטע – דוגמא II
תימרור של נתיב מתחלף הפתוח לתנועה לכיוון דרום



ג. <u>כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בדרך עורקית - בצומת מרומזר</u>

אזורי כניסה ויציאה בצומת מרומזר מתאימים בעיקר לתצורות נתיבים מהסוג ה- "סגור", בהן יש היפוך של כל הנתיבים של דרך חד-סטרית, או כל הנתיבים של מסלול אחד בדרך דו-מסלולית, לדוגמא - תצורה 1, 2 (כמתואר בסעיף 2.2.1, תרשים 1-2).

הצמתים בדרך עורקית בדרך כלל מרומזרים. כאשר מתהפך כיוון הנסיעה של כל הנתיבים בדרך חד-סטרית, או כל הנתיבים במסלול נסיעה בדרך מחולקת, ניתן לסגור את הדרך או המסלול במלואם באמצעות הרמזור בצומת שבקצה הקטע המתחלף. במקרה זה, כאשר כיוון הנסיעה סגור, הפנייה אל הדרך או מסלול הנסיעה לא תתאפשר ע"י מופע אדום ברמזור לכיוון זה. בנוסף, יהיה שימוש באמצעי בקרת תנועה נוספים כגון:

- תמרורי הוריה עיליים מקבוצת 201-212. תמרורים אלה יוצבו בגישה אל הצומת שכיוון הנסיעה בו מתחלף, במקום החיצים על המיסעה ובמקום קו עצירה. לעיתים יישומו תמרורים אלה כמנסרתיים מתחלפים, כמו למשל כאשר נעשה בתמרורים אלה שימוש בנתיבי פנייה שנסגרים כאשר כיוון הנסיעה בדרך מתהפך (פירוט בהמשך).

- תמרורים הוריה מנסרתיים שיוצבו מעל הרמזורים.

- מחסומים שיותקנו לפני נקודות ההחלטה אל הפניות האסורות, על מנת לחזק את הוראת הרמזור האדום והתמרורים המנסרתיים, ולוודא שנהגים אינם עוברים אותם בטעות ונכנסים אל נתיבים המשמשים את התנועה בכיוון ההפוך.

ככלל, תמרורי בקרת הנתיבים המציגים לסירוגין חץ ירוק (724פ) או X אדום (723פ) מוצבים רק במורד הדרך מעל הנתיבים המתחלפים עצמם, אך לא בצומת.

תרשים 3-4 מציג דוגמא I של כניסה ויציאה בצומת מרומזר אל דרך חד-מסלולית חד-סיטרית שכיוון הנסיעה בכל הנתיבים שבה מתחלף (תצורה 1). הבקרה על הכניסה והיציאה מהדרך נעשית באמצעות הרמזור שבצומת, ואמצעי בקרת תנועה נוספים כגון תמרורים מתחלפים מנסרתיים ומחסומים המותקנים בו. תפקוד הצומת המתואר בתרשים 3-4 יהיה כמפורט להלן.

כאשר כיוון הנסיעה של הנתיבים המתחלפים הוא לצפון:

- התמרורים על גשר בקרת הנתיבים יציגו לכיוון צפון מסרי 724פ (חץ ירוק), ולכיוון דרום מסרי 723פ (X אדום).

- הרמזורים בגישה מכיוון דרום יציגו אור ירוק לסירוגין ע"פ תוכנית הזמנים. שאר כיווני הצומת שאינם מזרימים תנועה אל המסלול המתחלף (למשל בכיוון מזרח-מערב) יקבלו אור ירוק בתורם. הרמזור בפנייה ימינה החופשית מדרום יציג אור צהוב מהבהב.

- בנתיבים בגישה מכיוון דרום לא מסומנים סימוני 813 (חיצים על פני הדרך המציגים את כיווני הנסיעה המותרים בנתיב), שכן נתיבים אלה משמשים לסירוגין לשני כיווני הנסיעה. במקומם מותקנים מעל הנתיבים תמרורי הוריה קבועים 203 (סע ישר) ו- 207 (סע שמאלה), לבאים מדרום.

- הרמזורים בגישה ממזרח (מצד ימין) שמאלה יציגו אור אדום. תמרורי ההוריה המנסרתיים מעל רמזורים אלה יציגו מסר 429 (אסורה הפנייה שמאלה). המחסום בנתיב הפנייה יהיה סגור. אם הוחלט לאפשר פניית פרסה, לפחות חלק מן הזמן, אין לסמן על הנתיב סימוני חיצים שמאלה, ובמקומם יש לסמן נתיב פניה זה בסימון 802 (נתיב מתחלף) ולהציב תמרורי הוריה מנסרתיים מעל נתיב הפנייה, שיציגו מסר 212 (סע בפניית פרסה שמאלה) במקום מסר 429. הרמזורים יציגו אור ירוק על פי תוכנית הזמנים, ותמרורי ההוריה המנסרתיים מעל הרמזורים יציגו מסר 212. יש לשקול הצבת מחסום בכניסה לזרוע הדרומית, על מנת לחסום את הכניסה בפנייה שמאלה אל המסלול הסגור, בזמן שמנתיב זה מותרת פניית פרסה.

- הרמזורים בפנייה החופשית ממערב (מצד שמאל) ימינה יציגו אור אדום (הרמזור שיותקן בפנייה ימינה יהיה בעל שלושה פנסים). תמרורי ההוריה המנסרתיים מעל רמזורים אלה יציגו מסר 428 (אסורה הפנייה ימינה). המחסום בנתיב הפנייה יהיה סגור.

- הרמזורים בגישה מצפון לכיוון ישר יציגו אור אדום. תמרורי ההוריה המנסרתיים מעל רמזורים אלה יציגו מסר 402 (אסורה הכניסה). תמרורי ההוריה המנסרתיים מעל שני הנתיבים ישר יציגו מסרי 723 (X אדום). תמרורי ההוריה הקבועים על גשר השילוט מעל הנתיבים ימינה ושמאלה יציגו מסרי 206 (סע ימינה) ו- 207 (סע שמאלה), בהתאמה. המחסום בנתיבים ישר יהיה סגור.

- תמרור ההוריה המנסרתי המוצב בצד שמאל של הכניסה אל הזרוע הדרומית יציג מסר 402 (אסורה הכניסה).

כאשר כיוון הנסיעה של הנתיבים המתחלפים הוא לדרום:

- התמרורים על גשר בקרת הנתיבים יציגו לכיוון דרום מסרי 724פ (חץ ירוק), ולכיוון לצפון מסרי 723פ (X אדום).

- הרמזורים בגישה מכיוון דרום יציגו אור אדום קבוע. כל שאר כיווני הצומת יקבלו אור ירוק בתורם. הרמזור בפנייה ימינה החופשית יציג אור צהוב מהבהב, ויאפשר פינוי אחרוני כלי-הרכב שהגיעו אחרי שהרמזור ישר הפך לאדום.

- בנתיבים בגישה מכיוון דרום לא מסומנים סימוני 813 (חיצים על פני הדרך המציגים את כיווני הנסיעה המותרים בנתיב), שכן נתיבים אלה משמשים לסירוגין לשני כיווני הנסיעה. במקומם מותקנים מעל הנתיבים תמרורי הוריה קבועים 203 (סע ישר) ו- 207 (סע שמאלה), לבאים מדרום.

- הרמזורים בגישה ממזרח (מצד ימין) שמאלה יציגו אור ירוק לסירוגין ע״פ תוכנית הזמנים. תמרורי ההוריה המנסרתיים מעל רמזורים אלה יציגו מסר 205 / 207 (סע שמאלה). המחסום בנתיב הפנייה יהיה פתוח.

- הרמזורים בפנייה החופשית ממערב (מצד שמאל) ימינה יציגו אור צהוב מהבהב (הרמזור שיותקן בפנייה ימינה יהיה בעל שלושה פנסים). תמרורי ההוריה המנסרתיים מעל רמזורים אלה יציגו מסר 204 / 206 (סע ימינה). המחסום בנתיב הפנייה יהיה פתוח.

- הרמזורים בגישה מצפון לכיוון ישר יציגו אור ירוק לסירוגין ע״פ תוכנית הזמנים. תמרורי ההוריה המנסרתיים מעל רמזורים אלה יציגו מסר 203 (סע ישר). תמרורי ההוריה המנסרתיים על גשר השילוט מעל שני הנתיבים ישר יציגו מסרי 203 (סע ישר). תמרורי ההוריה הקבועים מעל הנתיבים ימינה ושמאלה יציגו מסרי 206 (סע ימינה) ו- 207 (סע שמאלה), בהתאמה. המחסום בנתיבים ישר יהיה פתוח.

- תמרור ההוריה המנסרתי המוצב בצד שמאל של הכניסה אל הזרוע הדרומית יציג מסר 618 (כביש חד-סיטרי, התנועה מותרת רק בכיוון המסומן בחץ).

תרשים 3-5 מציג דוגמא נוספת (II), של כניסה ויציאה בצומת מרומזר אל דרך חד-מסלולית חד-סיטרית שכיוון הנסיעה בכל הנתיבים שבה מתחלף (תצורה 1). בדומה לתרשים 3-4, הבקרה על הכניסה והיציאה מהדרך נעשית באמצעות הרמזור שבצומת ואמצעי בקרת התנועה הנוספים המותקנים בו.

יש לשים לב לכך שתצורת הצומת בדוגמא זו שונה בכך שהכניסה אל הנתיבים המתחלפים והיציאה מהם נעשית באמצעות זרוע דו-מסלולית (הזרוע הדרומית), וקצה הנתיב המתחלף אינו נמצא בצומת אלא בקטע דרך הסמוך לצומת. פתרון זה מאפשר זרימת תנועה בין הנתיבים המתחלפים לבין הצומת באופן שגרתי יותר (שכן התנועה בשני כיווני הנסיעה אינה נוסעת באותם נתיבים בזרוע חד-מסלולית). במעבר בין הקטע הדו-מסלולי לבין הקטע החד-מסלולי חד-סיטרי, על התנועה הנוסעת מהצומת אל הנתיבים המתחלפים לכיוון דרום לחצות סימון 806 ולעבור את הנתיבים שמעבר לסימון זה.

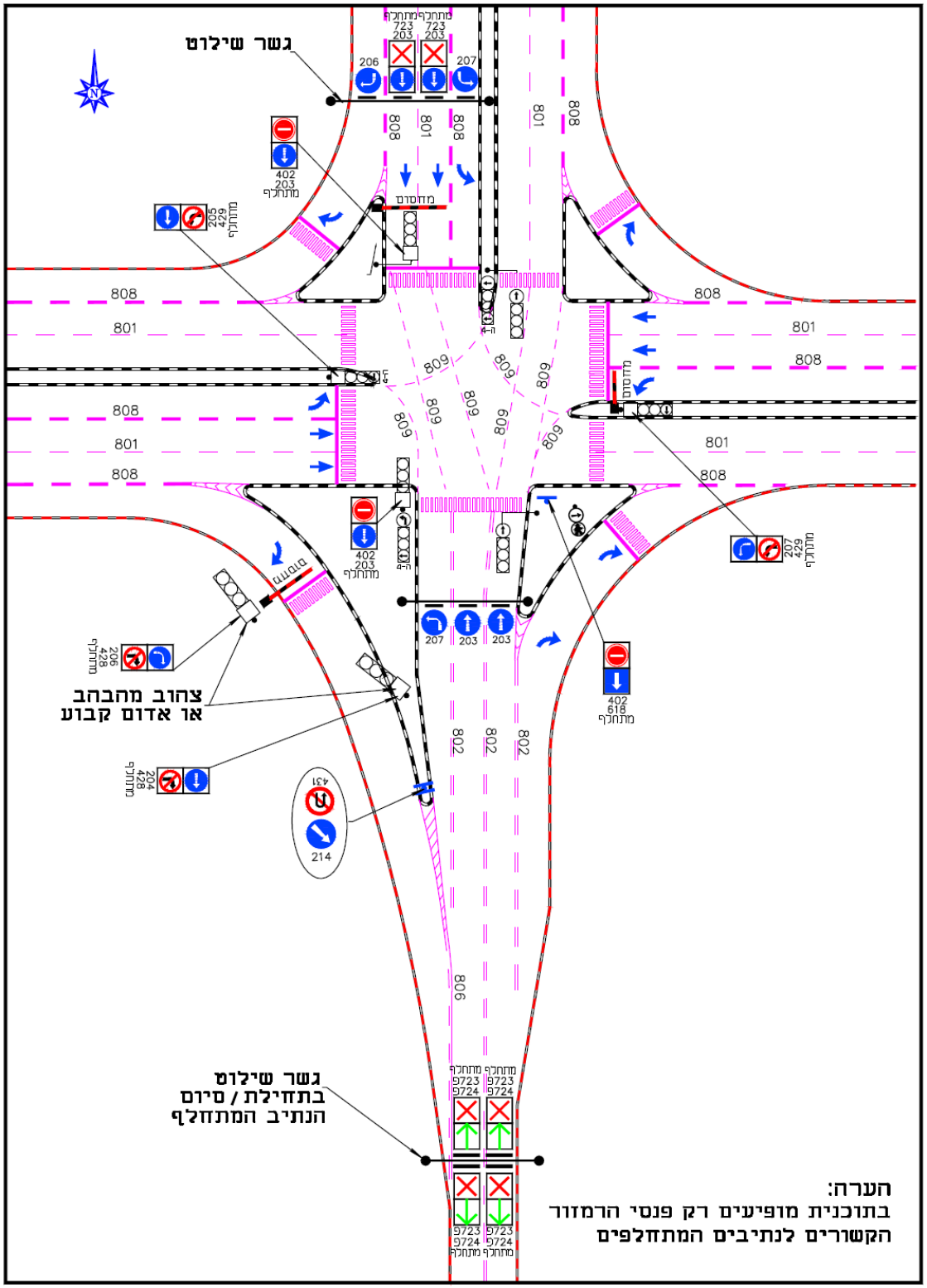
תפקוד הצומת המרומזר המתואר בתרשים 3-5 וכן אמצעי בקרת התנועה הנוספים המותקנים בו דומים מאד לאלה המתוארים בדוגמא שבתרשים 3-4, ועל כן לא יתוארו בפירוט בשנית. אולם ישנם מספר הבדלים:

- בגישה מכיוון דרום מותקן מחסום, הנסגר כאשר כיוון הנסיעה של הנתיבים המתחלפים הוא לדרום.

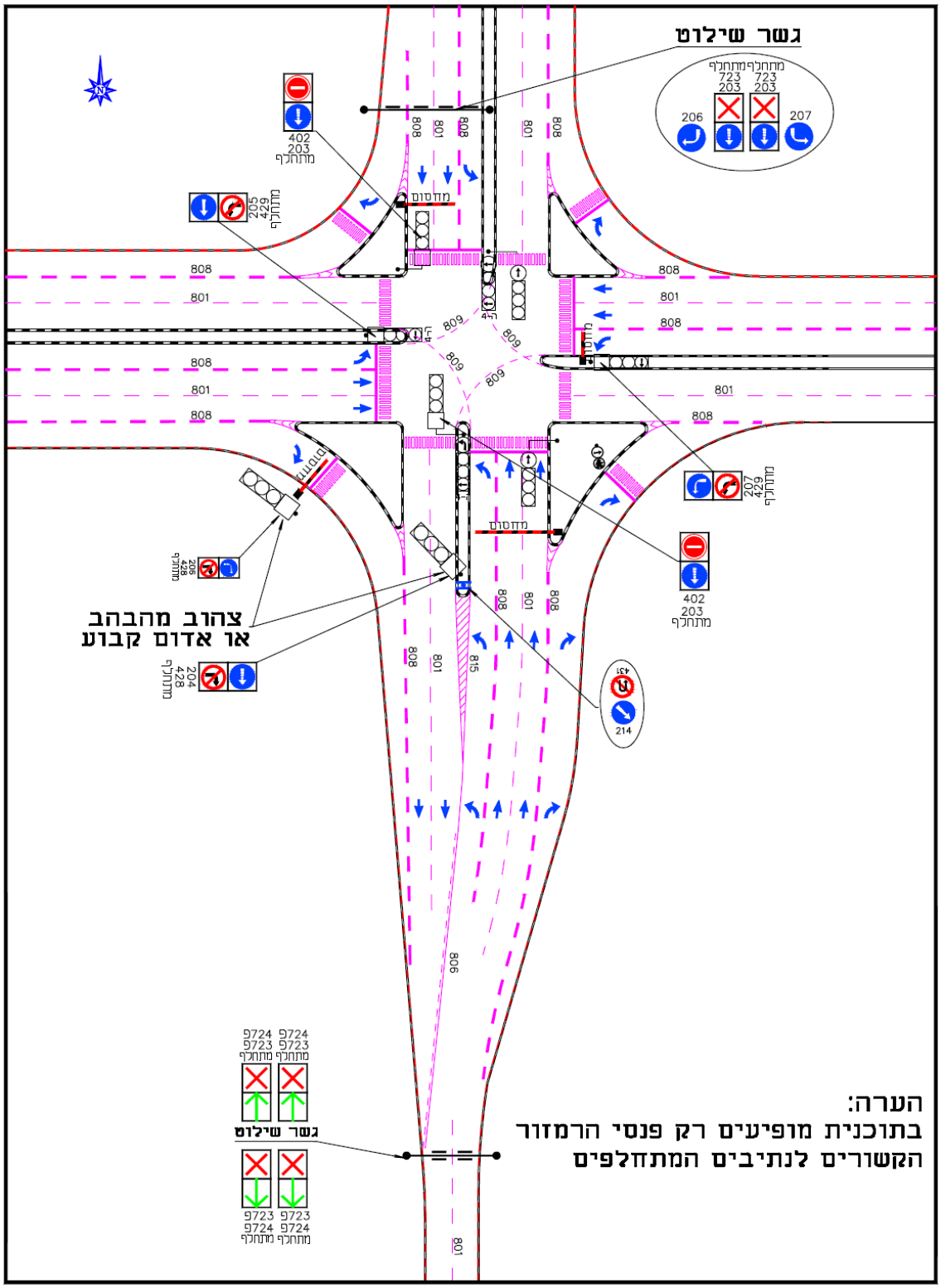
- בנתיבים בגישה מכיוון דרום מסומנים חיצים על פני הדרך המציגים את כיווני הנסיעה המותרים בנתיב, ואין צורך בתמרורי הוריה מעל הנתיבים. זאת מאחר שנתיבים אלה משמשים בדוגמא זו אך ורק לתנועה לכיוון צפון.

- אין צורך בתמרור ההוריה המנסרתי המוצב בצד שמאל של הכניסה אל הזרוע הדרומית, ואין צורך בתמרורי ההוריה המנסרתיים על גשר השילוט מכיוון צפון לדרום.

תרשים 3-4 : כניסה ויציאה של נתיבים מתחלפים בדרך עורקית בצומת מרומזר – דוגמא I

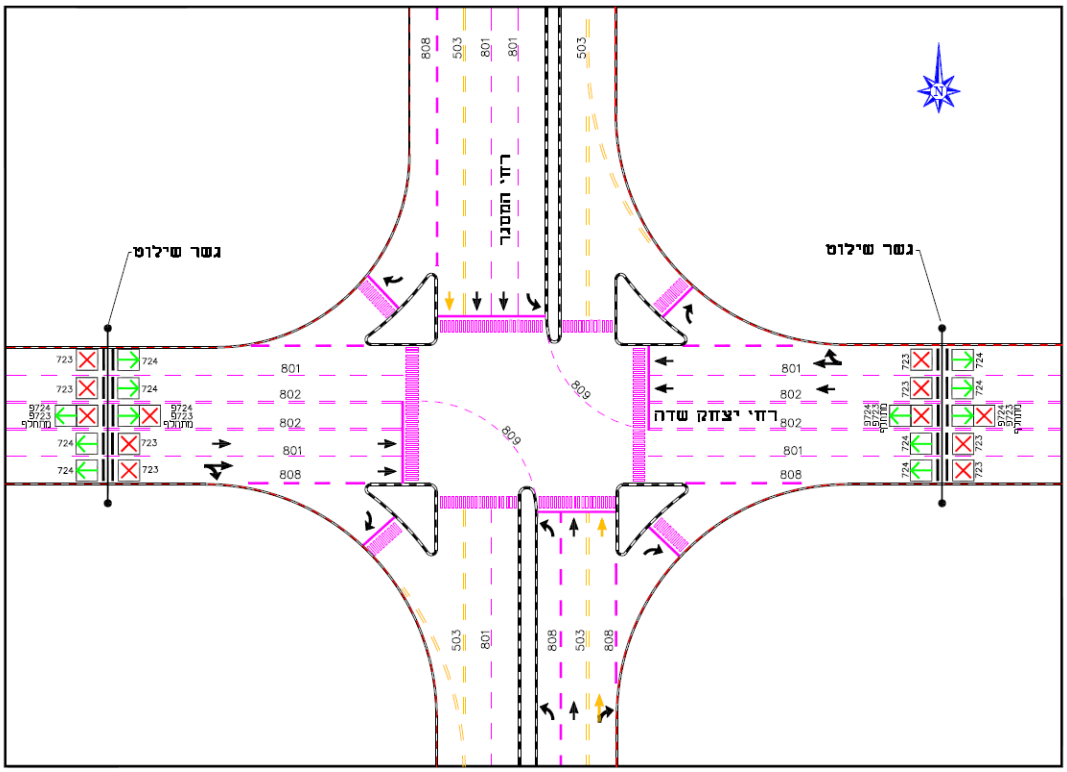


תרשים 3-5 : כניסה ויציאה של נתיבים מתחלפים בדרך עורקית בצומת מרומזר – דוגמא II



נתיב מתחלף עשוי לחצות צומת, אף אם אין הוא מתחיל או מסתיים בצומת. במקרה זה מומלץ לאפשר בצומת רק תנועות ישר של הנתיב המתחלף, ולא פניות שמאלה ממנו. אין מניעה לאפשר פניות ימינה ושמאלה אל הכיוונים של הנתיב המתחלף. פתרון זה מתאים בעיקר לנתיבים מתחלפים בתצורה 4א או 4ב (כמתואר בסעיף 2.2.1, תרשים 2-1). מאחר שאזורי הכניסה והיציאה אינם בצומת, והנתיבים המתחלפים רק חוצים את הצומת, אין צורך באמצעי בקרת תנועה מיוחדים בצומת המרומזר. ראה תרשים 3-6 המציג תיאור סכמתי של הנתיב המתחלף החוצה את צומת המסגר-יצחק שדה בתל אביב-יפו ממזרח למערב. במקרה זה, המופעים ממזרח למערב וממערב למזרח מתקיימים בכל מחזור, אך נתיב אחד מרכזי משמש לסירוגין את הכיוונים השונים.

תרשים 3-6 : תיאור סכמתי של הנתיב המתחלף החוצה את צומת המסגר-יצחק שדה בת"א



ד. <u>כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו במסגרת הסדרי תנועה בזמן עבודות</u>

כאשר יש צורך בהסטת תנועה אל נתיבים שכיוונם מתהפך, במסגרת של הסדרי תנועה בזמן עבודות, ייעשה הדבר תוך שימוש באביזרי תנועה תקניים ומאושרים לשימוש בארץ, ע"פ המדריך להסדרי תנועה באתרי עבודות (בדרכים בין-עירוניות או עירוניות, לפי המקרה).

אם מיושמים הסדרי תנועה בזמן עבודה, אין הכרח בהתקנת התקנים קבועים, כגון תמרורי בקרת נתיבים, אם הם דרושים רק למשך העבודה. לדוגמא, ייעשה שימוש במעקות בטיחות, עגלות חץ, חרוטים, וכו'. בתרשים 3-7 מוצגת דוגמא של נתיב מתחלף באתר עבודות בגשר בארה"ב.

תרשים 3-7 : נתיב מתחלף בגשר McClugage באילינוי – הסטת התנועה בכניסה לגשר (12)



<u>סיכום</u>

פרטי התכן של אזורי הכניסה והיציאה יתוכננו ע״פ הנחיות התכנון הסטנדרטיות לדרכים בין-עירוניות **(8)** ולדרכים עירוניות **(9, 10)**, ע״פ סוג הדרך המתוכננת ומהירות הייעוד המפורטים בסעיף 3.1 לעיל.

הסדרי תנועה, רימזור, בקרת תנועה ובטיחות לכל סוג של אזור כניסה ויציאה - יפורטו בפרק 4 להלן.

אופן הסימון והניתוב של אזורי המעבר מתואר בסעיף 4.1.2 להלן.

3.3.2 <u>קיבולת אזורי הכניסה והיציאה</u>

קיבולת מספקת ותפעול חלק באזורי הכניסה והיציאה של נתיבים מתחלפים הם קריטיים שכן הם מכתיבים את הקיבולת ואת איכות השירות לכל הקטע של הנתיבים המתחלפים. אם קיים גורם המגביל את הזרימה של כ״ר לתוך הקטע, אזי הקטע לא ינוצל באופן מרבי. קיבולת מוגבלת בכניסה תביא להקטנת הקיבולת של קטע הנתיבים המתחלפים כולו. באותו אופן, אם יש מגבלה לזרימת כ״ר אל מחוץ לקטע (כמו למשל התמזגות של נתיב), ייווצר גודש שלבסוף יגלוש אל הקטע עצמו, ויקטין את האפקטיביות שלו.

קיבולת הכניסה והיציאה של קטע הנתיבים המתחלפים מושפעת מן התכנון המפורט, כמו גם מאמצעי בקרת התנועה.

את הקיבולת של אזורי ההתמזגות וההתפצלות, והמעברים בין הנתיבים, יש לחשב ע״פ מדריך HCM **(14).**

3.4 צמתים ומחלפים

בנתיבים מתחלפים המוקמים בדרכים מהירות - אזורי המחלפים הינם מורכבים יותר מאשר צמתים ומחלפים רגילים, ודורשים רמה גבוהה יותר של הנחיית הנהגים, המיושמת באמצעות התכנון. התכנון של נקודות הכניסה והיציאה של נתיבים מתחלפים בדרך מהירה יהיה דומה לתכנון של רמפות בדרכים מהירות רגילות, כמפורט בהנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין עירוניות, צמתים ומחלפים של משרד התחבורה והחברה הלאומית לדרכים **(8)**. מומלץ לשקול חלופות שונות לתכנון רמפות כניסה אל ויציאה מן הנתיבים הראשיים, או ישירות מן / אל הרשת העורקית. כן מומלץ לבחון את מעבר הנתיבים המתחלפים דרך המחלפים.

במערכות נתיבים מתחלפים בדרכים עורקיות - אזורי הכניסה והיציאה יהיו בקטע דרך או בצומת מרומזר, כפי שנדון בסעיף 3.3 לעיל. על כן, אזורי הכניסה והיציאה יהיו מבוקרים בד״כ ע״י אמצעי בקרת תנועה, כגון סימון על פני הדרך, תמרורים ושלטים קבועים, תמרורי בקרת נתיבים והתקנים אחרים לבקרת תנועה. נושאים אלה נדונים בהרחבה בפרק 4 להלן.

תכנון הצמתים הבין-עירוניים והעירוניים, יהיה ע״פ הנחיות התכנון הרלבנטיות **(8, 27)**.

4. הסדרים והתקנים לבקרת התנועה

האמצעים הנפוצים ביותר להכוונת התנועה ובקרתה, אל הקטעים המתחלפים ומהם, הם ההסדרים וההתקנים לבקרת תנועה, הכוללים:

- סימונים על פני הדרך.
- תמרורים ושלטים הקבועים.
- תמרורי בקרת נתיבים, מנסרתיים ופולטי-האור.
- רמזורים.
- התקני תנועה ובטיחות כגון מעקות בטיחות, מחסומים, ושלטים מילוליים למסרי תנועה מתחלפים.

פרק 4 סוקר את מגוון ההסדרים וההתקנים לבקרת תנועה במערכות נתיבים מתחלפים. סעיף 4.7 מסכם את דרישות המידע ועומס המידע של הנהג, בהתייחס לכל ההסדרים וההתקנים להם יש תפקיד במערכת נתיבים מתחלפים.

4.1 סימון על פני הדרך

הסימון על פני הדרך משמש במערכות נתיבים מתחלפים לשתי מטרות:

- סימון לאורך הנתיבים שכיוון הנסיעה בהם מתחלף / מתהפך מעת לעת.
- סימון אזורי הכניסה והיציאה, כדי להדריך את התנועה אל הנתיבים המתחלפים ומהם.

הסימון על פני הדרך בדרכים עורקיות ומהירות נעשה בצבע לבן. באתרי עבודה יש שימוש בסימון זמני - בצבע כתום.

4.1.1 <u>סימון לאורך הנתיבים</u>

ע"פ לוח התמרורים **(1)** נתיב מתחלף מסומן באמצעות קו קטעים כפול בצבע לבן - תמרור 802. בהתאמה, נתיב מתחלף באתר עבודה מסומן באמצעות קו קטעים כפול בצבע כתום - תמרור 919.

כפי שמצוין בלוח התמרורים, ההרשאה לנסוע בנתיב זה היא ע"פ התמרורים 201 עד 203, 206 עד 212, או 723 עד 724פ.

ההנחיות לסימון 802 ו- 919 מפורטות בתקנות והנחיות להצבת תמרורים **(2)**.

אם הנתיב המתחלף ממוקם באמצע הדרך וכיוונו מתהפך, הרי שכל אחד משני סימוני קו הקטעים הכפול (802) ישמש כקו אמצע במשך תקופה מסוימת, ויחליף את קו הקטעים (801) או קו ההפרדה הרצוף (803).

בסעיף 2.2.1 ובתרשים 1-2 מתוארות תצורות 1, 2 או 6, הכוללות דרך חד-סטרית או מסלול נסיעה, שכיוונם מתהפך. במקרה זה, יסומנו הדרך החד-סטרית או מסלול הנסיעה בסימון 802 משני צדי הכביש. ואולם, כאשר קיימת אבן שפה בצד הדרך (צד אחד או יותר), לא יסומן סימון 802 כלל.

4.1.2 סימון אזורי הכניסה והיציאה

כפי שצוין בסעיף 3.3 לעיל, אזורי מפתח שיכולים להשפיע משמעותית על האפקטיביות הכוללת של קטעי נתיבים מתחלפים הם אזורי הכניסה והיציאה. קיבולת מספקת ותפעול חלק באזורים אלה הם קריטיים, שכן הם מכתיבים את הקיבולת ואת איכות השירות לכל הקטע של הנתיבים המתחלפים.

ארבעה סוגים עיקריים של אזורי כניסה ויציאה הוזכרו בסעיף 3.3.1. להלן יפורט אופן הסימון של אזורי הכניסה והיציאה של כל אחד מארבעה סוגים אלה.

א. כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בדרך ממוחלפת

כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בדרך ממוחלפת נעשית, בד"כ, באמצעות רמפות כניסה ויציאה סטנדרטיות של דרך ממוחלפת. סימון אזורי כניסה ויציאה מסוג זה יהיה ע"פ הנחיות התכנון הרלבנטיות, בהתאם לסוג הדרך וע"פ התקנות והנחיות להצבת תמרורים **(2)**.

ב. כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בדרך עורקית באמצע קטע

סימון אזורי הכניסה מסוג זה תואר בסעיף 3.3.1 ב', ובפרט בתרשים 3-2 ובתרשים 3-3. כפי שמוצג בתרשימים, אזור המעבר, בו התנועה רשאית לעבור לנתיב המתחלף הסמוך, יסומן בסימון 806 (קו קטעים ליד קו רצוף בצבע לבן). כפי שמוגדר בלוח התמרורים: "מותר לעבור את הקווים אם קו הקטעים הוא מצידו הימני של הקו הרצוף, והדרך פנויה". השימוש בסימון 806 הוא על מנת לאפשר את כניסת כ"ר אל הנתיב המתחלף, בכיוון אחד בלבד, אך לא לאפשר את הכניסה של התנועה בכיוון הנגדי, כפי שמוצג בתרשימים.

בכל מקרה, ההנחיה לנהג האם הנתיב המתחלף פתוח או סגור לנסיעה בכיוון ההתקרבות שלו (או במילים אחרות: האם הנהג רשאי להיכנס לנתיב זה או עליו לפנות אותו), נעשית באמצעות תמרורי בקרת הנתיבים, והצגת מסרי 723פ (X אדום) או 724פ (חץ ירוק). (ראה סעיף 4.3 להלן).

בתקנות והנחיות להצבת תמרורים **(2)** מפורטת ההנחיה לאורך קטעי המעבר, כאשר מספר הנתיבים גדל או קטן. אורך המעבר מבוטא באמצעות היחס L / W, כאשר L הוא האורך בכיוון הנסיעה ו- W הוא ההפרש ברוחב בין הקטעים משני הצדדים.
לחישוב האורך L ניתן להיעזר בנוסחה: L / W = 2/3 * V, כאשר V היא המהירות בקמ"ש.

טבלה 4-1 מסכמת הנחייה זו, ומציגה את אורך נתיב המעבר המתקבל עבור נתיב ברוחב 3.0 מ', ונתיב באורך 3.5 מ'.

טבלה 4-1: אורך קטעי המעבר בין נתיבים (2)

מהירות (קמ"ש) (*)	L / W (*)	L (מ') כאשר רוחב הנתיב הוא 3.5 מ'	L (מ') כאשר רוחב הנתיב הוא 3.0 מ'
צמתים עירוניים	10	35	30
60	40	140	120
70	45	160	140
80	50	180	150
90	60	210	180
100	65	230	200
110	75	260	230

(*) הטורים מבוססים על מ.מ. 2

ג. כניסה אל נתיב מתחלף ויציאה ממנו בדרך עורקית - בצומת מרומזר

סימון אזורי הכניסה מסוג זה תואר בסעיף 3.3.1 ג', ובפרט בתרשים 3-4 ובתרשים 3-5. ככלל, ייעשה שימוש בסימונים סטנדרטיים של צומת, ע"פ ההנחיות התכנון הרלבנטיות, בהתאם לסוג הדרך וע"פ התקנות והנחיות להצבת תמרורים **(2)**. ואולם, כפי שתואר לעיל, הימצאות הנתיבים המתחלפים בקרבת הצומת מביאה ליישום לא שגרתי של הסימון:

- בנתיבים בגישה לצומת המשמשים לסירוגין לשני כיווני הנסיעה, לא יסומנו סימוני 813 (חיצים על פני הדרך המציגים את כיווני הנסיעה המותרים בנתיב). במקומם יותקנו מעל הנתיבים תמרורי הוריה 203 (סע ישר), 206 (סע ימינה) או 207 (סע שמאלה), לפי המקרה.

- אם חלק מהנתיבים בגישה לצומת משמשים לכיוונים מתחלפים, הם יסומנו בסימון 802 במקום סימוני 801 / 808 (ראה דיון בסעיף 4.6). הוא הדין כאשר הפניות המותרות מנתיב זה משתנות. למשל, הכוונה לישר + שמאלה הופכת להכוונה ישר בלבד. במקרה זה יותקנו מעל הנתיבים תמרורי הוריה (201-212 לפי המקרה).

ד. כניסה אל נתיבי מתחלף ויציאה ממנו במסגרת הסדרי תנועה בזמן עבודות

סימון אזורי הכניסה מסוג זה תואר בסעיף 3.3.1 ד'. סימון אזורי כניסה ויציאה מסוג זה יהיה ע"פ המדריך להסדרי תנועה באתרי עבודות (בדרכים בין-עירוניות או עירוניות, לפי המקרה).

4.2 תמרורים ושלטים קבועים

4.2.1 תמרור מידע מוקדם

מאחר שמערכות נתיבים מתחלפים אינן בשימוש נפוץ ברשת הדרכים, יש צורך בהצגת מידע מוקדם באמצעות תמרורים ושלטים קבועים. זאת, גם כאשר נעשה שימוש בתמרורי בקרת נתיבים ובשלטים למסרי תנועה מתחלפים.

בהתקרבות אל קטע הנתיבים המתחלפים, בשני כיווני הנסיעה, מומלץ להציב תמרור מקדים 613, כמוגדר בלוח התמרורים. מטרת התמרור היא לספק התרעה מוקדמת על תחילת קטע שבו מופעלת מערכת בקרת נתיבים.

השימוש בשלט מסוג זה יהיה בעיקר בדרכים עורקיות, בהן צפוי שימוש בתמרורי בקרת נתיבים (ראה סעיף 4.3 להלן). מומלץ לשקול הצבת תמרורים מקדימים גם בדרכים המובילות אל דרך ובה קטע של נתיבים מתחלפים, בצירוף תמרור 632 עם חץ ימינה או שמאלה.

מידע על שעות התפעול של הנתיבים המתחלפים לא יוצג על גבי תמרור או שלט קבוע, וזאת לאור ההמלצה בסעיף 4.3 להלן לעשות שימוש בתמרורי בקרת נתיבים דינאמיים, המציגים בכל עת את הקצאת הנתיבים העדכנית בכל כיוון נסיעה.

4.2.2 תמרורים לאיסורים הגבלות ומודיעין

איסורים, הגבלות, הרשאות או תנאים מיוחדים לשימוש יוצגו ע"ג התמרורים הרלבנטיים מתוך לוח התמרורים. אם לא קיים תמרור מתאים, ניתן להשתמש במסר מילולי ע"ג תמרור 439 או 629, בהתאם לתקנות וההנחיות להצבת תמרורים.

דוגמא למסר שעשוי להיות נדרש בכניסה למתקן נתיבים מתחלפים, הוא הגבלה על סוג הרכב שרשאי להשתמש במתקן. איסור כניסת רכב מעל משקל מסוים, יוצג ע"י תמרור 406. אם איסור זה משתנה במשך היום, יש להתקין תמרור 406 מנסרתי מתחלף.

מאחר שלעיתים לאורך נתיבים מתחלפים אין מפרדה פיזית, וסימון 802 אינו אוסר חצייתו, יש צורך בשימוש באמצעי אחר כדי למנוע מנהגים לבצע פניות פרסה לאורך הנתיבים המתחלפים. מומלץ להציב תמרורי איסור פניית פרסה (430 / 431) לאחר כל צומת, שכן תוקף תמרורים אלה הוא עד הצומת הקרוב, כולל הצומת.

4.3 תמרורי בקרת נתיבים עבור נתיבים מתחלפים

תמרורי בקרת נתיבים המוצבים בנתיבים מתחלפים, הם תמרורים למסרי תנועה מתחלפים המציינים, באופן דינאמי, האם כל נתיב בחתך הדרך פתוח או סגור לתנועה, בכיוון נסיעה מסוים.

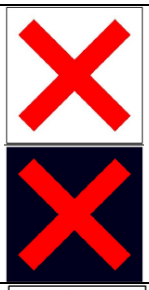
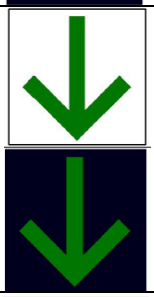
תמרורי בקרת נתיבים מציגים בזמן אמת מידע אודות הזמינות של כל נתיב ונתיב, ובכך מספקים לנהג תמונה מלאה על הנתיבים הפתוחים והסגורים לנסיעה. מידע זה מיועד למנוע ככל הניתן בלבול, שכחה או חוסר תשומת לב, באשר למידע שהוצג בשלטים ותמרורים שהוצבו במעלה הזרם.

כפועל יוצא מגישה זו, **יש להתקין תמרורי בקרת נתיבים** בכל מערכת נתיבים מתחלפים בישראל, ללא תלות בסוג הדרך, מספר הנתיבים המתחלפים, תצורת הדרך, או מידת המורכבות של הסדרי התנועה.

טבלה 4-2 מציגה את התמרורים בהם ניתן לעשות שימוש במערכת נתיבים מתחלפים. מודגש, שתמרור 725פ המיועד לשימוש במערכות נתיבים מתחלפים כולל חץ ימינה בלבד, ורק בגרסה הפולטת אור. בסעיף 4.3.1 להלן מפורטות הדרישות להצבת תמרורים פולטי-אור.

ראה התייחסות ודרישות כלליות לנושא תמרורי בקרת נתיבים בחלק א' של ההנחיות. הדרישות הטכניות עבור תמרורי בקרת הנתיבים מוגדרות בתקן האירופי לשלטים למסרי תנועה מתחלפים EN 12966 **(4)**, והמפרט הטכני לשילוט בדרכים באמצעות מסרי תנועה מתחלפים של משרד התחבורה משנת 2009 **(5)**, שנערך על בסיס התקן האירופי.

טבלה 4-2 : מסרים שניתן להציג על תמרורי בקרת נתיבים במערכת נתיבים מתחלפים

מס' תמרור	צורת התמרור וצבעו	פירוש התמרור
723 723פ		נתיב סגור : אסור לנסוע בנתיב שמעליו הוצב תמרור זה, ממקום הצבת התמרור ועד תמרור 426פ או 724 או 724פ או עד הצומת הקרוב.
724 724פ		נתיב פתוח : מותר לנסוע בנתיב שמעליו הוצב תמרור זה.
725פ		מעבר לנתיב סמוך : השתלב בתנועה שבנתיב הסמוך לנתיב שמעליו הוצב התמרור מימין או משמאל, בהתאמה, כאשר תנאי התנועה מאפשרים זאת. רק חץ לימין יהיה בשימוש במערכות נתיבים מתחלפים.

4.3.1 <u>הנחיות לשימוש בתמרורי בקרת נתיבים</u>

השימוש בתמרורי בקרת נתיבים יהיה בכל סוגי הדרכים, ובכל תצורות הנתיבים המתחלפים המתוארות בהנחיות אלה.

תמרורי בקרת נתיבים יוצבו גם בדרכים בהן יש מפרדה או מעקה בטיחות בין נתיבים בכיווני הנסיעה השונים, ובכלל זה בדרכים ממוחלפות. בדרכים ממוחלפות חשובה במיוחד התקנת תמרורי בקרת נתיבים באזורי כניסה ויציאה - ברמפות הכניסה והיציאה, אך גם לאורכן.

ההנחיות לשימוש בתמרורי בקרת נתיבים, במערכת נתיבים מתחלפים, מפורטות להלן:

א. בחתך דרך בו יש לפחות נתיב מתחלף אחד, יוצבו תמרורי בקרת נתיבים מעל כל הנתיבים בחתך הדרך. זאת, על מנת להעניק לנהג תמונה של כל הנתיבים הפתוחים בכיוון נסיעתו.

ב. מעל הנתיבים שכיוון הנסיעה בהם אינו משתנה, יש להציב תמרורים קבועים מחומר מחזיר אור (מסרי 723 או 724).

ג. מעל הנתיב או הנתיבים שכיוון הנסיעה בהם משתנה, **יש להציב תמרורים פולטי-אור** שיכולים להציג מסרי 723פ, 724פ, 725פ. השילוב בין הצגת מסרי 723 / 724 באמצעות תמרורים מחזירי-אור, לבין הצגת מסרי 723פ, 724פ, 725פ באמצעות תמרורים פולטי-אור, יביא להדגשת הנתיבים שכיוונם מתחלף.

ד. מידות התמרורים יהיו ע"פ סוג הדרך בה הם מוצבים, כמפורט בטבלה 1-4 בחלק א' של ההנחיות. התמרורים מחזירי-האור המוצבים מעל הנתיבים שכיוון הנסיעה בהם אינו משתנה, יהיו בגודל זהה לתמרורים פולטי-האור המוצבים מעל הנתיבים שכיוון הנסיעה בהם משתנה.

4.3.2 <u>הנחיות להצבת תמרורי בקרת נתיבים</u>

ההנחיות להצבת תמרורי בקרת נתיבים במערכת נתיבים מתחלפים מפורטות להלן. ההנחיות הן במצטבר:

א. תמרורי בקרת נתיבים יוצבו מעל מרכז כל נתיב.

ב. כל התמרורים בחתך דרך אחד יוצבו בגובה אחיד. גובה ההצבה יהיה כמוגדר בהנחיות להסדרי תנועה בסביבת מכשולי גובה של משרד התחבורה **(17)**, טבלה 2.1: סיפים מומלצים לתכנון. ככלל, הגובה המומלץ לתכנון בדרך בין-עירונית ובדרך מעוירת מהירה הוא 5.5 מ', ובדרך עירונית הגובה המומלץ לתכנון הוא 5.0 מ'. אם התמרור מוצב על מבנה קיים מעל המיסעה, גובהו יכול להיות נמוך מהגבהים המצוינים לעיל, אך לא נמוך מגובה המבנה.

ג. התמרורים יוצבו גב אל גב, באופן כזה שכאשר תמרור הפונה לכיוון אחד יציג מסר חץ ירוק או מסר אחר המורה על נתיב פתוח, התמרור הפונה לכיוון השני יציג מסר X אדום. התמרורים לעולם לא יאפשרו נסיעה בו-זמנית באותו נתיב בשני כיווני הנסיעה. כללי התפעול של תמרורי בקרת הנתיבים נדונים בהרחבה בפרק 5.

ד. התמרורים יוצבו באופן כזה שייראו ממרחק של 700 מ' לפחות. הכלל המנחה הוא שלפחות תמרור אחד, עדיף שניים, ייראו מכל נקודה בדרך, ובכל עת.

ה. כפועל יוצא ממרחק הקריאה הנדרש של התמרורים, המרווח המרבי הנדרש בין תמרורי בקרת הנתיבים יהיה 700 מ'. ברוב המקרים המרווח המרבי יהיה קטן יותר, כתלות במרחק הראות של התמרורים, ובתצורת הדרך (מיקום צמתים ורמזורים).

ו. לפחות סט אחד של תמרורי בקרת נתיבים יוצב בכל קטע בין שני צמתים. התמרורים ימוקמו בריחוק ככל האפשר מרמזורים (ראה התייחסות פרטנית לנושא זה בסעיף 4.4.2 להלן).

ז. תמרורי בקרת הנתיבים יוצבו לכל אורך אזור הנסיעה של הנתיבים המתחלפים, שבו מסומן קו קטעים כפול (802). תמרורי בקרת נתיבים יוצבו באזורי הכניסה והיציאה (כלומר באזור בו מתחיל / נפסק סימון 802), על מנת לציין לנהגים האם הנתיב המתחלף פתוח לנסיעה בכיוון התקרבותם. לעיתים יוצבו תמרורי בקרת הנתיבים אף לפני ואחרי הקטע המסומן בסימון 802 (ראה סעיף 3.3.1 ב׳ ותרשימים 3-4 ו- 3-5).

ח. בדרכים בהן אין מפרדה, או שיש מפרדה צרה, מומלץ להציב את תמרורי בקרת הנתיבים על גשר שילוט שיימתח מעל כל נתיבי הדרך.

ט. כללים להצבת תמרורי בקרת נתיבים בסמיכות לרמזורים – ראה סעיף 4.4.2 להלן.

4.4 צמתים מרומזרים

4.4.1 <u>כללי</u>

ראה התייחסות ודרישות כלליות לנושא רמזורים בחלק א׳, סעיף 5.3.

בסעיף 3.3.1 ב׳ לעיל תוארה כניסה אל מסלול / נתיב מתחלף ויציאה ממנו בדרך עורקית – בצומת מרומזר. כמו כן, בתרשים 3-4 ובתרשים 3-5 הוצגו שתי דוגמאות לצמתים כאלה, כולל אמצעי בקרת התנועה הנוספים הנדרשים להתקנה בצומת מרומזר המהווה אזור כניסה / יציאה של נתיבים מתחלפים.

יש לתכנן בצומת כזה תוכניות זמנים מיוחדות המתחשבות בכל המצבים האפשריים של זרימת התנועה בצומת. לדוגמא, ישנם פרקי זמן בהם הנתיבים המתחלפים פתוחים לתנועה בכיוון מסוים ובו-זמנית נתיבי פנייה מסוימים סגורים לתנועה, וישנם פרקי זמן אחרים בהם הנתיבים המתחלפים פתוחים לתנועה בכיוון הפוך, ונתיבי התנועה שהיו סגורים לתנועה נפתחים לתנועה.

דגש מיוחד יינתן לנקודת הזמן בה משתנה תוכנית הרמזור, מתוכנית רמזור המתאימה לכיוון נסיעה אחד בנתיבים המתחלפים (כיוון א׳), לתוכנית המתאימה לכיוון הנסיעה ההפוך בנתיבים המתחלפים (כיוון ב׳). מועד החלפת התוכניות צריך לחפוף למועד סיום ״זמן המעבר״ בין כיוון א׳ לבין כיוון ב׳ (ראה דיון בנושא מצבי המעבר וזמני המעבר בסעיף 5.2.3 להלן). במילים אחרות, במהלך זמן המעבר בין כיוון א׳ לבין כיוון ב׳, הרמזור ימשיך לפעול בתוכנית הזמנים המתאימה לכיוון א׳ (כדי לאפשר לאחרוני המגיעים מכיוון א׳ לעבור). רק כאשר מסתיים זמן המעבר והתנועה מתחילה לזרום בכיוון ב׳, עובר הרמזור לתוכנית המתאימה לכיוון ב׳.

כאשר הניתוב בצומת משתנה בעת הפיכת כיוון הנתיבים המתחלפים (וכתוצאה מכך סגירת כיוונים מסוימים בצומת), הרי שעבור כל נתיב שכיוונו משתנה אין לסמן סימון 813 (חיצי הכוונה על פני הדרך). במקומם יש לסמן את הנתיב כנתיב מתחלף עם סימון 802, ולהציב מעליו, לפני קו העצירה, תמרור הוריה מנסרתי מתחלף, שיציג לסירוגין את הכיוונים המותרים במצבים השונים.

לדוגמא, כאשר נתיב מיועד לנסיעה ישר ושמאלה במצב אחד ומותר לנסיעה ישר בלבד במצב שני, יסומן הנתיב בסימון 802 ויוצב מעליו תמרור הוריה מנסרתי שיציג לסירוגין מסר 202 (ישר ושמאלה) ומסר 203 (ישר בלבד). תמרורי ההוריה מעל הרמזורים יציגו גם הם מסרים אלה לסירוגין.

הסדרי תנועה מתחלפים נוספים המוצגים בתרשים 3-4:

- כאשר נתיב המיועד לנסיעה ישר – פתוח לתנועה במצב אחד וסגור לתנועה במצב שני, יוצב מעל הנתיב תמרור הוריה מנסרתי, שיציג לסירוגין מסר 203 (סע ישר) ומסר 723 (נתיב סגור). כמו כן יש להתקין תמרורי הוריה מנסרתיים מעל הרמזורים, והם יציגו לסירוגין מסרי 203 (סע ישר) ומסר 402 (אסורה הכניסה).

- כאשר נתיב פניה שמאלה פתוח לתנועה במצב אחד וסגור לתנועה במצב שני, אין צורך בתמרור הוריה מנסרתי מעל הנתיב או בצידו. אולם יש להתקין תמרורי הוריה מנסרתיים מעל הרמזורים, והם יציגו לסירוגין מסרי 205 / 207 (סע שמאלה) ומסר 429 (אסורה הפניה שמאלה).

בשתי הדוגמאות האחרונות יסומנו סימוני 813 (חיצי הכוונה על פני הדרך), וכן אין צורך בסימון הנתיב בסימון 802, שכן כיווני הנסיעה מהנתיב אינם משתנים (אלא רק מותרים ואסורים).

התקני בקרת התנועה הפועלים בצומת, כגון תמרורים מנסרתיים ומחסומים, יופעלו ישירות ע״י בקר הרמזור באופן כזה שפעולתם תהיה קשורה לתוכנית הזמנים של הרמזור. לדוגמא, מסר מסוים בתמרור המנסרתי יהיה קשור למצב פעולה מסוים של המחסום, ולאור מסוים בפנס הרמזור הרלבנטי (intrelocking). הקשר בין אמצעים אלה יהיה דומה לקשר בין מופעים בטבלת הזמנים הבין-ירוקים, וימנע צירופים לא-בטיחותיים.

4.4.2 <u>הצבת תמרורי בקרת נתיבים בסמיכות לרמזורים</u>

במקרים רבים, מערכות נתיבים מתחלפים מיושמות בדרכים עורקיות, בהן מותקנים תמרורי בקרת נתיבים וגם רמזורים. שני הסוגים של התקני בקרת תנועה אלה משתמשים לחילופין באור האדום ובאור הירוק, ומותקנים לעיתים זה בסמוך לזה. על כן, השימוש בהם בו-זמנית עלול לגרום לבלבול הנהג. הסתירה הגדולה ביותר נוצרת לכאורה כאשר נתיב מתחלף פתוח לתנועה, ומוצב מעליו סמל החץ הירוק, אולם הרמזור המוצב בסמוך לו מציג אור אדום.

ע״פ לוח התמרורים ההגדרות הן:

- רמזור אדום: עצור. סומן קו עצירה – עצור לפני קו העצירה, סומן מעבר חצייה – עצור לפני מעבר החצייה.
- רמזור ירוק: התקדם.
- X אדום: נתיב סגור. אסור לנסוע בנתיב שמעליו הוצב תמרור זה, ממקום הצבת התמרור ועד תמרור 426פ (תמרור מהירות), או 724 או 724פ (חץ ירוק), או עד הצומת הקרוב.
- חץ ירוק: נתיב פתוח. מותר לנסוע בנתיב שמעליו הוצב תמרור זה.

לאור בעייתיות זו, ההנחיות להצבת תמרורי בקרת נתיבים בקרבת רמזורים מפורטות להלן:

א. כאשר תמרורי בקרת נתיבים מוצבים בדרך מרומזרת, ובעיקר בדרך בה צפיפות הצמתים גבוהה, ייעשה כל מאמץ למקם את תמרורי בקרת הנתיבים במרחק מספיק מרמזורים, כדי למנוע בלבול בין שני אמצעי בקרת תנועה אלה, המשתמשים לחילופין בצבעים אדום וירוק. יש להימנע מהוראות סותרות לנהג באמצעות פנסי הרמזורים ותמרורי בקרת הנתיבים.

ב. לעיתים מותקנים תמרורי בקרת נתיבים בקרבת רמזורים ולא ניתן להרחיקם, או מערכת נתיבים מתחלפים מותקנת ברחוב קיים בו לא מתאפשר לשמור על מרחק מספיק. במקרה זה ניתן לשקול, כפתרון אחרון, ליישם גם את תמרורי בקרת הנתיבים מעל הנתיבים המתחלפים באמצעות תמרורים מנסרתיים למסרי תנועה מתחלפים העשויים מחומר מחזיר אור, במקום כתמרורים פולטי-אור (וזאת בניגוד לאמור בסעיף 4.3.1 לעיל). הרחקת התמרור פולט האור מהרמזור תקטין את הסיכוי לבלבול ביניהם.

4.5 התקנים אחרים לבקרת תנועה

מלבד השימוש בסימון על פני הדרך, בתמרורים ובשלטים קבועים ובתמרורי בקרת נתיבים - במערכת נתיבים מתחלפים, ייתכן גם הצורך בשימוש בהתקנים אחרים לבקרת תנועה. התקנים אלה עשויים לכלול מעקות בטיחות, מחסומים ושלטים מילוליים למסרי תנועה מתחלפים.

4.5.1 מעקות בטיחות

ראה התייחסות ודרישות כלליות לנושא מעקות בטיחות בחלק א', סעיף 5.4.

סוגים שונים של מעקות בטיחות עשויים לשמש עבור מערכות נתיבים מתחלפים. כפי שתואר לעיל בהרחבה, בדרכים ממוחלפות, בהן כל הנתיבים במסלול נסיעה יכולים להפוך את כיוונם, על הנתיבים המתחלפים להיות מופרדים פיזית מן הנתיבים במסלולים האחרים. ההפרדה תיעשה בד"כ באמצעות מעקות בטיחות.

כאשר בדרכים דו-מסלוליות, ממוחלפות ולא ממוחלפות, קיים חוסר איזון בנפחי התנועה הכיווניים, ואין אפשרות להפוך את הכיוון של כל הנתיבים במסלול נסיעה, נוצר הצורך במעקה בטיחות, המאפשר הפרדה פיזית בין זרמי תנועה בכיוונים מנוגדים, ומאפשר גם הזזה מהירה של מיקומו (ראה תצורה 5ב בסעיף 2.2.1 / תרשים 1-2). במקרה זה ניתן לשקול את השימוש ב"מעקה בטיחות מנויד" (Moveable Barrier).

דרישות הביצוע של מעקה בטיחות מנויד צריכות להיות זהות לדרישות הביצוע של מעקות בטיחות קבועים. ההבדל העיקרי הוא שמעקה בטיחות מנויד מאפשר לכלי-הרכב המנייד להרים את המעקה, להזיזו הצידה ולמקמו מחדש. מהירות טיפוסית של כלי-הרכב כזה היא כ- 16 קמ"ש, והוא מסוגל להרים מעקות למרחק צידי של עד שני נתיבים. בד"כ מעקה הבטיחות המנויד מוזז רק פעמיים ביום, בשעות השפל, כך שפעולה זו אינה גורמת להפרעה ממשית לתנועה.

ראה דוגמא למעקה בטיחות קשיח מנויד בארה"ב, בתרשים 1-4.

תרשים 1-4: מעקה בטיחות מבטון Zipper המוזז מנתיב לנתיב, בדרך I-95 בארה"ב



4.5.2 מחסומים

ראה התייחסות ודרישות כלליות לנושא מחסומים בחלק א', סעיף 5.5.

ניתן לעשות שימוש במחסומים כדי לסמן לנהג שהכניסה לנתיב המתחלף סגורה בכיוון מסוים. במערכות נתיבים מתחלפים המותקנות באופן קבוע (להבדיל מיישומים במסגרת הסדרי תנועה בזמן עבודות), כאשר כיוון התנועה משתנה מספר פעמים ביום, ניתן לעשות שימוש במחסומים אוטומטיים, כמתואר בחלק א' של ההנחיות, סעיף 5.5.

השימוש במחסומים הוא על מנת לסמן באופן פיזי שהמעבר סגור, ולהבליט את האיסור שמצוין בתמרור. ואולם, המחסומים הם בד"כ קלים, ומתוכננים שלא לגרום נזק לרכב הפוגע בהם.

4.5.3 שלטים מילוליים למסרי תנועה מתחלפים

ראה התייחסות ודרישות כלליות לנושא בחלק א', סעיף 5.1.

שלטים למסרי תנועה מתחלפים המיועדים להצגת הודעות מילוליות עשויים לקחת חלק במערכות נתיבים מתחלפים, בהתאם לקריטריונים להצבתם. הצבת שלטים כאלה מתאימה בעיקר לדרכים ממוחלפות, אך תיתכן גם בדרכים בין-עירוניות ועירוניות ראשיות.

שלטים מילוליים למסרי תנועה מתחלפים יוצבו, בד"כ, באזורי הכניסה לנתיבים המתחלפים, אך הצבתם תיתכן אף לאורך תוואי הנתיבים המתחלפים, אם התוואי ארוך.

המידע שיוצג בכניסה לנתיבים המתחלפים מיועד לסייע לנהג לקבל החלטה, האם להיכנס לנתיבים המתחלפים או לנסוע בדרך חלופית.

כפי שתואר בסעיף 4.3 לעיל, תמרורי בקרת הנתיבים המותקנים באזור הכניסה מציגים מידע בזמן אמיתי אודות הזמינות של כל נתיב ונתיב, ובכך מעניקים לנהג תמונה מלאה על הנתיבים הפתוחים והסגורים לנסיעה. מידע זה מייתר את הצורך להציג מידע מילולי אודות כיוון הנסיעה, הקצאת הנתיבים, ושעות התפעול, בנקודת הכניסה לנתיבים המתחלפים. אולם השלטים המילוליים למסרי תנועה מתחלפים יכולים להציג מידע תומך נוסף, בהתייחס להיבטים הבאים:

א. מידע מקדים המשתנה בזמן אודות מערכת הנתיבים המתחלפים. המידע יוצג במעלה הזרם מנקודת ההחלטה שלפני אזור הכניסה, על מנת לסייע לנהג לקבל החלטה האם להיכנס לנתיבים המתחלפים. המידע יוצג בעיקר בדרכים ממוחלפות, אך ייתכן שגם בדרכים ראשיות. למשל איסור או הרשאת השימוש ברמפות גישה בדרכים ממוחלפות, כאשר הנסיעה מותרת בכיוון הנגדי. כאשר נסגר מחסום פיזי - רצוי להציג מסר מקדים במעלה הזרם ממנו.

ב. מצב התנועה בקטע הנתיבים המתחלפים, על בסיסו יוכל הנהג להעריך את החיסכון בזמן הכרוך בנסיעה בנתיבים המתחלפים. סוג ותצורת המסרים יהיה כמפורט בהנחיות לתכנון שילוט בדרכים באמצעות מסרי תנועה מתחלפים **(3)**.

4.6 תמרורים עבור נתיבי פנייה מתחלפים בצמתים מרומזרים

עיקר העיסוק של הנחיות אלה הוא בנתיבים שכיוון הנסיעה בהם מתחלף לסירוגין. יישום אפשרי נוסף של נתיבים מתחלפים הוא כזה בו כיוון הנסיעה נשאר קבוע, אך התנועות המותרות ממנו מתחלפות. בתקנות והנחיות להצבת תמרורים **(2)** מוסבר, שיישום זה מתאים בעיקר בהתקרבות לרמזורים, ואז יש לתמרר מעל הנתיב בכניסה אליו (מן הכיוון המותר) באמצעות תמרורים מן הסדרה 201-212, אשר מגדירים את התנועות המותרות.

הסימון לאורך הנתיבים יהיה בהתאמה למתואר בסעיף 4.1 לעיל, כולל אי סימון החיצים (813).

כאשר כיוון הנסיעה של הנתיב נשאר קבוע, אך התנועות המותרות ממנו מתחלפות, אין חובה להציב תמרורים מעל כל הנתיבים, אלא רק מעל הנתיבים שהתנועות המותרות מהן משתנות.

את המסרים מן הסדרה 201-212 יש ליישם באמצעות תמרורים מנסרתיים, ועל כן הם ייראו כפי שמוגדר בלוח התמרורים (בצבעי כחול-לבן). גודל התמרורים יהיה כפי שמוגדר בתקנות והנחיות להצבת תמרורים, עבור תמרורים עיליים.

4.7 בחינת דרישות המידע ועומס המידע של הנהג

בסעיף 2.4 לעיל נדונו שיקולי הנדסת האנוש וצרכי המידע של הנהג, ובטבלה 2-1 סוכמו פרטי מידע הנדרשים לנהג כתלות ברמת ההיכרות שלו עם מערכת הנתיבים המתחלפים, ומקור המידע. פרטי מידע אלה היוו בסיס להגדרת ההסדרים וההתקנים לבקרת תנועה שתוארו בסעיפים הקודמים של פרק זה.

טבלה 2-1 מוצגת להלן בשנית, כטבלה 3-4, אלא שעתה נוספו הסברים בטור השמאלי, שכותרתו: "רלבנטיות המידע לנתיבים מתחלפים". בטור זה מוסבר כיצד נענים צרכי המידע של הנהג ע"י ההסדרים וההתקנים לבקרת תנועה שמתוארים בפרק זה. טבלה 3-4 מדגימה שהסדרים והתקנים אלה הותאמו לדרישות המחמירות ביותר – כלומר לנהג חסר היכרות עם מערך הנתיבים (ראה הסברים לרמות ההיכרות של הנהג בסעיף 2.4.1 לעיל).

על המתכנן לעשות שימוש בטבלה 3-4 כרשימת ביקורת (check-list), על מנת להבטיח שכל צרכי המידע של הנהג מסופקים באמצעות התכנון של מערכת הנתיבים המתחלפים, ובפרט ההסדרים וההתקנים לבקרת תנועה.

אם הניתוח מראה שחלק מצרכי המידע אינם מסופקים, על המתכנן לחזור ולבחון את השיקולים התכנוניים להקמת המערכת (פרק 2), את פרטי התכן (פרק 3) ואת ההסדרים וההתקנים לבקרת תנועה (פרק 4), כל זאת במטרה לשפר את ההתייחסות לצרכי המידע של הנהג.

יחד עם זאת יש לבחון את כמות המידע המועברת אל הנהג, ולוודא שלא נוצר עומס מידע אשר הנהג יתקשה לקלוט ולהבין.

טבלה 4-3: סיכום פרטי המידע הנדרשים לנהג כתלות ברמת ההיכרות שלו עם מערכת הנתיבים המתחלפים, ומקור המידע (*)

מקור המידע	רמת היכרות הנהג עם מערך הנתיבים המתחלפים			רלוונטיות המידע ל"נתיבים מתחלפים" (בסוגריים מספר הסעיף בהנחיות בו מתואר ההתקן / ההסדר הרלבנטי)
	חסר היכרות	היכרות בינונית	היכרות גבוהה	
מידע שמקורו <u>חיצוני</u> (במערך הנתיבים הפרטני):				
• מצב תנועה נוכחי	X	X	X	מידע על מצב התנועה יוצג ע"ג שלטים מילוליים למסרי תנועה מתחלפים, ע"פ הקריטריונים להצבתם, בעיקר בדרכים ממוחלפות (סעיף 4.5.3)
• קיום נתיב מנוהל וסוגו	X			יוצג ע"ג תמרור מקדים (סעיף 4.2.1)
• מידע על "פתוח/סגור"	X	X		תמרורי בקרת נתיבים הפועלים כל העת מספקים מידע זה, כך שתמיד ברור איזה נתיבים פתוחים (סעיף 4.3)
• שעות השרות	X			תמרורי בקרת נתיבים הפועלים בזמן אמת מייתרים את הצורך במידע זה שכן תמיד מוצג איזה נתיבים פתוחים (סעיף 4.3)
• מידע על "כניסה/יציאה"	X	X		תמרורי בקרת נתיבים הפועלים בזמן אמת + סימון ע"פ הדרך + רמזורים + מחסומים (סעיפים 4.1, 4,3 4.4, 4.5.2)
• הגבלות על סוג רכב	X			אם יש הגבלות, תוצגנה ע"ג תמרורים רגילים או מנסרתיים (סעיף 4.2.2)
• הערכת החיסכון בזמן	X	X		מידע על החיסכון הצפוי בזמן יוצג ע"ג שלטים מילוליים למסרי תנועה מתחלפים, ע"פ הקריטריונים להצבתם, בעיקר בדרכים מהירות (ייתכן שהנהג יצטרך להעריך את החיסכון בזמן ע"פ תיאור מצב התנועה) (סעיף 4.5.3)
מידע שמקורו <u>פנימי</u> (בנהג עצמו):				
• ערך הזמן	X	X	X	
• גובה הקנס על איחור	X	X	X	
• תפיסת נוחות/אי-נוחות	X	X	X	
• קיום נתיב מנוהל וסוגו		X	X	מקור פרטי מידע אלה השתנה: ממידע שמקורו חיצוני (במערך הנתיבים המתחלפים) למידע שמקורו אישי (פנימי) כתוצאה מהיכרות וניסיון
• שעות השרות		X	X	
• הגבלות סוג רכב		X	X	
• מידע על "פתוח/סגור"			X	
• מידע על "כניסה/יציאה"			X	
• הערכת החיסכון בזמן			X	

(*) טבלה זו דומה לטבלה 2-1 לעיל, אלא שעתה הטור השמאלי מלא, על בסיס הפתרונות שהוצעו בפרק 4.

5. תפעול מערכת נתיבים מתחלפים

פרק זה דן בתפעול מערכת נתיבים מתחלפים, ובכלל זה השימוש באמצעים לניהול ובקרת תנועה. בסעיף 5.2 מפורטות שיטות התפעול של מערכת נתיבים מתחלפים.

5.1 ניהול התנועה במערכת נתיבים מתחלפים

מערכת ניהול ובקרת תנועה אחראית לאיסוף נתוני תנועה, עיבוד הנתונים, הפעלת אמצעי תגובה (כגון רמזורים, ותמרורים ושלטים למסרי תנועה מתחלפים), וניטור ציודי המערכת. מאחר שתפעול של מערכת נתיבים מתחלפים הוא תפעול לא שגרתי, ובמתקן כזה נערכים הליכי ניהול תנועה בזמן אמיתי, מומלץ שמערכת נתיבים מתחלפים תנוטר ותישלט ע״י מערכת ניהול תנועה. מרכיביה העיקריים של מערכת ניהול תנועה, ככל שהיא קשורה לנתיבים מתחלפים, מתוארים להלן.

5.1.1 <u>מערכת איסוף נתוני תנועה</u>

לגלאים לאיסוף נתוני תנועה עשוי להיות תפקיד מרכזי במערכת נתיבים מתחלפים. הם יכולים לאסוף מידע תנועתי אודות נפחי תנועה, מהירות ותפוסה, בנקודות שונות לאורך פרוזדור התנועה. מידע זה יכול לשמש לתפעול הנתיבים המתחלפים, על בסיס ערכי סף שהוגדרו מראש, או לשמש למטרות ניהול אירועים כדי להפעיל תוכנית תגובה לאירוע.

באזורי עבודה זמניים אין הכרח להתקין גלאי תנועה לצורך העבודות בלבד, אלא ניתן להיעזר בצוותים מקומיים כדי לתפעל את הנתיבים. ואולם, באזורי עבודה גדולים גלאים יכולים לסייע בהפעלת תוכניות מגיבות-תנועה של הנתיבים המתחלפים. ניתן לעשות שימוש במצלמות טלוויזיה במעגל סגור כדי לנטר אזורי עבודות גדולים.

איסוף נתוני התנועה יכול להתבצע באמצעות גלאים במגוון טכנולוגיות, כגון גלאי הלולאה המסורתיים, גלאי מיקרוגל, רדאר, וידאו או כל טכנולוגיה אחרת. מצלמות טלוויזיה במעגל סגור יכולות לשמש לצורך ניטור התנועה וניהול האירועים.

בדרכים עורקיות, מומלץ להתקין את הגלאים באמצע הקטע, במקום בו הם יכולים לנטר באופן מיטבי את מהירות וצפיפות התנועה, עם השפעה מזערית של קרבה לצמתים. יש להתקינם בכל נתיב, על מנת לזהות את נתוני התנועה והאירועים בכל נתיב. בדרכים עורקיות מומלץ גם להשתמש במצלמות טלוויזיה במעגל סגור לצורך ניטור התנועה.

בדרכים מהירות מומלץ להתקין גלאים בכל נתיב, במרווחים שאינם עולים על 500 מ׳ זה מזה, בד״כ כחלק ממערכת בקרת תנועה ובקרת נתיבים, כמפורט בחלק ב׳ של ההנחיות. מערכות בקרת תנועה כאלו כוללות בד״כ גם מערכת טלוויזיה במעגל סגור, וכן אלגוריתמים אוטומטיים לגילוי אירועים.

5.1.2 <u>מרכז בקרת תנועה</u>

מומלץ שמערכת נתיבים מתחלפים תהיה מחוברת למרכז בקרת תנועה. סביר שמרכז בקרת התנועה יהיה מרכז הבקרה העירוני או האזורי, ממנו מנוהלת התנועה בעיר או באזור, והוא ינהל אמצעי בקרת תנועה סטנדרטיים, כגון גלאי תנועה, טלוויזיה במעגל סגור, ושלטים ותמרורים למסרי תנועה מתחלפים.

מרכז בקרת תנועה זה יכול גם לאפשר ניהול מרכזי של מערכת הנתיבים המתחלפים. באמצעות מרכז בקרה יכול המפעיל לנטר את התנאים במערכת הנתיבים המתחלפים, להבטיח תנאים בטוחים בעת היפוך הנתיבים, ואף לאפשר התערבות ידנית.

מומלץ שתוכנת מרכז הבקרה תפעל בזמן אמיתי, ותבצע את המטלות הבאות:

- ניטור סטאטוס הציוד
- איסוף מידע על מצב הנתיבים
- שליחת אזעקות כדי להתריע על תקלות בציוד
- איסוף נתוני תנועה ואירועים
- בקרה על התקנים, והאפשרות להתערבות ידנית או החלפה ידנית של תוכניות.

המטרה העיקרית של מערכת בקרת התנועה, בהקשר של נתיבים מתחלפים, היא לנטר את תקינות הציוד, להפעיל באופן אוטומטי את ההתקנים בשטח, ולהבטיח שהתנאים המתאימים מתקיימים, לפני היישום של היפוך הנתיבים.

5.1.3 ניהול אירועים

כחלק מניהול ובקרת התנועה של נתיבים מתחלפים, יש לתפעל מערך ניהול אירועים, הדומה במהותו למערך ניהול האירועים בדרך רגילה. המאפיינים העיקריים של מערך זה עבור נתיבים מתחלפים הם:

- גילוי מהיר של אירועים וטיפול מהיר באירועים, כדי לצמצם את הגודש הלא-נשנה הנובע מאירועי תנועה.
- קיום קשר עם כל הרשויות וגורמי החירום המעורבים.
- אספקת מידע לציבור על אירועים, דרכים חלופיות, וכו'.
- לעיתים - אחזקת כלי-רכב ייעודיים, כגון רכבי גרר וניידות שירות.

כאשר האירוע מתרחש בנתיבים מתחלפים "סגורים", המופרדים פיזית משאר הנתיבים, על רכבי החירום להגיע למקום האירוע בנסיעה על השול. אם ההגעה היא מהכיוון ההפוך, יש להכין מראש פתחים במעקות הבטיחות.

מומלץ להכין "תוכניות הסטת תנועה", במסגרתן ייטלו חלק כל הגופים המעורבים, כולל מחלקת התנועה ברשות המקומית, משטרה, מפעילי התחבורה הציבורית, כיבוי אש, מגן דוד אדום, חברות גרירה, צוות חומרים מסוכנים, וכו'.

5.2 עקרונות התפעול של מערכת נתיבים מתחלפים

בסעיף להלן יפורטו כללי התפעול של מערכת נתיבים מתחלפים. כללים אלה מיועדים בעיקרם לשמירת הבטיחות של המערכת, ולמניעת ניגודים בין התנועות בכיווני הנסיעה המנוגדים.

5.2.1 שיטות תפעול טיפוסיות

ישנן שלוש שיטות תפעול טיפוסיות של מערכות נתיבים מתחלפים:

- תפעול ידני
- תפעול אוטומטי ע"פ זמן ביום (Time of Day)
- תפעול אוטומטי ע"פ מצב התנועה (Traffic-Responsive).

תפעול ידני מבוסס על מעקב של המפעיל אחר מצב התנועה בנתיב המתחלף, והחלטה אנושית על היפוך כיוון הנסיעה. לעיתים נעשה שימוש בתפעול הידני באזורי עבודה, במהלך אירועים מיוחדים, או בעת חירום. הדבר כרוך בהצבה פיזית של מעקות ושלטים, או הפעלה מרחוק של המערכת ממרכז הבקרה. כפי שמפורט בסעיף 5.2.3 להלן, תפעול ידני נדרש גם כאשר הנתיב המתחלף במסלול "סגור".

כאשר המערכת מופעלת באופן ידני, עדיין חייבת להיות רמה מסוימת של בקרה אוטומטית, שתימנע הפעלת צירופים ומעברים שאינם מותרים ע"פ כללי הבטיחות. במילים אחרות, המערכת לא תאפשר יישום של צירופים אסורים (כפי שיפורט להלן).

שיטת התפעול הנפוצה ביותר בעורקים עירוניים היא על בסיס זמן ביום. בשלבי התכנון המוקדם נקבעים הזמנים להפעלת הנתיבים, על בסיס של ניתוח דפוסים טיפוסיים של נפחי התנועה. שעות ההפעלה חופפות בד"כ את שעות השיא בבוקר ואחה"צ. כאשר הנתיבים המתחלפים מופעלים ע"פ זמן ביום, קבלת המערכת ע"י הנהגים יכולה להשתפר, מאחר שהם יודעים מה שעות הפעילות, ויכולים לתכנן את מסלולם בהתאמה.

מערכת נתיבים מתחלפים יכולה להיות מופעלת גם באופן אוטומטי, כתגובה לנתונים הנאספים מגלאי תנועה, כגון יחסי נפח / קיבולת, אורכי תורים, ומהירות תפעולית.

אם מופעלת הבקרה האוטומטית, חייבת להיות אפשרות לגבור עליה, ולנטרל אותה באמצעות הבקרה הידנית.

5.2.2 <u>כללי התפעול ומצבי המעבר</u>

כללי התפעול מתייחסים רק לתמרורי בקרת הנתיבים המוצבים מעל הנתיבים שכיוון הנסיעה בהם משתנה. במסגרת מערכת נתיבים מתחלפים, תמרורים אלה יכולים להציג מסרי 723פ, 724פ, או 725פ (חץ המופנה ימינה בלבד).

להלן פירוט כללי התפעול:

א. כל תמרורי בקרת הנתיבים בקטע של נתיבים מתחלפים צריכים להיות מתואמים, על מנת שיפעלו באחידות ובעקביות. לצורך כך, על כל התמרורים להיות מחוברים לבקר אחד הממוקם בשטח. הבקר יבטיח את קיום כללי הבטיחות המפורטים להלן, ואי הצגת תצוגות סותרות ברמת השטח.

ב. תמרורי נתיבים מתחלפים יוצבו גב אל גב, כך שהם פונים אל שני כיווני הנסיעה. מערכת הנתיבים המתחלפים צריכה להיות מתוכננת כך, שלא יוצגו צירופים אסורים, בזמן כלשהוא.

ג. הצירופים של הסמלים הבאים מותרים להצגה בשני כיווני הנסיעה בו-זמנית:

- חץ ירוק (724פ) בכיוון אחד יחד עם X אדום (723פ) בכיוון השני.
- X אדום (723פ), בשני כיווני הנסיעה.
- חץ אלכסוני לבן (725פ), ימינה בלבד, בכיוון אחד, יחד עם X אדום (723פ) בכיוון השני.

ד. הצירופים של הסמלים הבאים לא יוצגו בו-זמנית בשני כיווני הנסיעה:

- חץ ירוק (724פ) בשני כיווני הנסיעה.
- חץ אלכסוני לבן (725פ), ימינה, בשני כיווני הנסיעה.
- חץ ירוק (724פ) בכיוון אחד, יחד עם חץ אלכסוני לבן, ימינה, (725פ) בכיוון השני.

ה. המעבר (בזמן) בין כיווני הנסיעה יתבצע תוך מעבר בין המצבים הבאים:

- **מצב I:** המצב ההתחלתי כולל נסיעה מותרת בכיוון א' (בו מוצגים תמרורי חץ ירוק - 724פ), ונסיעה אסורה בכיוון ב' (בו מוצגים תמרורי X אדום - 723פ).

- **מצב II א':** במצב מעבר זה יתחלפו בכיוון א' תמרורי החץ הירוק לתמרורי חץ אלכסוני לימין - 725פ, בעוד שבכיוון ב' ימשיכו להיות מוצגים תמרורי X אדום. מצב זה רלבנטי רק כאשר הנתיב המתחלף נמצא במסלול פתוח, ואין הפרדה פיזית בין נתיב זה לבין הנתיב הרגיל שמימינו. כאשר הנתיב המתחלף נמצא במסלול סגור, המופרד פיזית, ושלא ניתן לצאת ממנו אל הנתיבים הרגילים אלא בקצה הנתיב, יהיה מעבר ישיר ממצב I למצב II ב'.

- **מצב II ב':** במצב מעבר זה יתחלפו בכיוון א' תמרורי החץ הירוק (או החץ האלכסוני) בתמרורי X אדום, בעוד שבכיוון ב' ימשיכו להיות מוצגים תמרורי X אדום. זהו המצב בו שני הצדדים סגורים לתנועה, על מנת להבטיח פינוי כיוון א' לפני שתגיע התנועה מכיוון ב'.

- **מצב III:** בסיום זמן המעבר תעבור המערכת למצב הכולל נסיעה מותרת בכיוון ב' (בו מוצגים תמרורי חץ ירוק -724פ), ונסיעה אסורה בכיוון א' (בו מוצגים תמרורי X אדום - 723פ).

- **מצב IV א':** במצב מעבר זה יתחלפו בכיוון ב' תמרורי החץ הירוק לתמרורי חץ אלכסוני לימין - 725פ, בעוד שבכיוון א' ימשיכו להיות מוצגים תמרורי X אדום. מצב זה רלבנטי רק כאשר הנתיב המתחלף נמצא במסלול פתוח, ואין הפרדה פיזית בין נתיב זה לבין הנתיב הרגיל שמימינו. כאשר הנתיב המתחלף נמצא במסלול סגור, המופרד פיזית, ושלא ניתן לצאת ממנו אל הנתיבים הרגילים אלא בקצה הנתיב, יהיה מעבר ישיר ממצב III למצב IV ב'.

- **מצב IV ב':** במצב מעבר זה יתחלפו בכיוון ב' תמרורי החץ הירוק (או החץ האלכסוני) בתמרורי X אדום, בעוד שבכיוון א' ימשיכו להיות מוצגים תמרורי X אדום. זהו המצב בו שני הצדדים סגורים לתנועה, על מנת להבטיח פינוי כיוון ב' לפני שתגיע התנועה מכיוון א'.

ראה טבלה 1-5.

ו. אחד מכיווני הנסיעה יוגדר כ-"מצב בסיסי", ויופעל כתוכנית גיבוי מקומית. המעבר למצב הבסיסי יהיה דרך מצב המעבר. בכל מקרה, תמרורי בקרת הנתיבים לא יהיו כבויים, ואם אין דרישה אחרת – יופעל המצב הבסיסי.

ז. מאחר שישנם מצבים בהם תמרורי בקרת הנתיבים הם מקור המידע היחיד לנהגים על כיוון הנסיעה בנתיב (לדוגמא נתיב מרכזי מתחלף במסלול דו-סטרי רב-נתיבי), יש להימנע ממצב בו עקב תקלה טכנית תמרורי בקרת הנתיבים פולטי-האור לא יפעלו. על כן יש לנקוט את האמצעים הבאים:

- כל הציוד האלקטרוני יגובה חשמלית
- כל הציוד אלקטרוני יהיה עם רמת אמינות גבוהה מאד
- הציוד האלקטרוני ינוטר, כך שתקלה טכנית תתגלה במהירות ותיקונה יתבצע בתוך זמן קצר.

ח. היפוך התנועה בנתיבים מתחלפים בתצורה 5ב (ראה סעיף 2.2.1 / תרשים 1-2 לעיל), ייעשה בד"כ ע"י סגירת ההפרדה בין הנתיבים ע"י מחסומים, תמרורי בקרת נתיבים, ושלטים למסרי תנועה מתחלפים, ובמקרים מסוימים שינויים במבנה תוכניות רמזור, ביחד עם מצלמות טלוויזיה במעגל סגור. כל זאת על מנת לוודא שהנתיבים ריקים מתנועה לפני שהם נפתחים בכיוון ההפוך.

טבלה 1-5 מציגה את מצבי המעבר של תמרורי בקרת הנתיבים המתחלפים. מודגש שנעשה שימוש בתמרורי 723פ, 724פ, ו- 725פ (בגרסא פולטת אור בלבד), שכן מדובר רק בנתיבים שכיוונם מתחלף (ראה סעיף 4.3.1 לעיל).

טבלה 1-5 : מצבי המעבר של תמרורי בקרת הנתיבים המתחלפים

מצב	תיאור	המסר המוצג ע"ג תמרור בקרת הנתיבים בכיוון א'	המסר המוצג ע"ג תמרור בקרת הנתיבים בכיוון ב'
I	הנסיעה מותרת בכיוון א'	 תמרור 724פ	 תמרור 723 פ
II א'	מצב מעבר מ- I ל- III : בכיוון א', עבור לנתיב הסמוך מימין, ובכיוון ב' הנסיעה אסורה	 תמרור 725 פ	 תמרור 723 פ
II ב'	מצב מעבר מ- I ל- III : הנסיעה אסורה בשני הכיוונים	 תמרור 723 פ	 תמרור 723 פ
III	הנסיעה מותרת בכיוון ב'	 תמרור 723 פ	 תמרור 724פ
IV א'	מצב מעבר מ- III ל- I : בכיוון ב', עבור לנתיב הסמוך מימין, ובכיוון א' הנסיעה אסורה	 תמרור 725 פ	 תמרור 723 פ
IV ב'	מצב מעבר מ- III ל- I : הנסיעה אסורה בשני הכיוונים	 תמרור 723 פ	 תמרור 723 פ

5.2.3 <u>זמני המעבר להפיכת כיוון התנועה</u>

מצבי המעבר II א׳ ו- II ב׳ (ובהתאמה, מצבים IV א׳ ו- IV ב׳) תוארו בסעיף 5.2.2 – ה׳ לעיל. ככלל, משך מצב II כולו, שהוא מצב המעבר להפיכת כיוון התנועה, צריך לאפשר לזרם התנועה לפנות את הנתיבים שכיוונם מתהפך, בתוספת מרווח זמן לבטיחות, בטרם ישוחרר זרם התנועה בכיוון הנגדי.

חישוב זמני המעבר נעשה באופן שמרני, על מנת להבטיח את רמת הבטיחות הנדרשת. את המעברים יש לבצע בשעות השפל, בהן אין גודש תנועה. מאחר שבד״כ נערכים שני מעברים ביום בלבד, והם ייערכו בשעות השפל, לא צפוי שמעברים אלה יגרמו להפרעה תנועתית משמעותית.

לפני ביצוע המעבר יש לוודא שכל הציוד האלקטרוני תקין.

חישוב זמני המעבר לוקח בחשבון את האורכים של ״אזור הכניסה״, ״אזור הנסיעה״, ו-״אזור היציאה״. אזורים אלה הוגדרו בסעיף 1.3 לעיל, ובתרשים 1-1.

ניתן להבחין בין שני מקרים השונים זה מזה:

א. <u>נתיב מתחלף במסלול סגור</u>

הנתיב המתחלף (או הנתיבים המתחלפים) נמצא במסלול סגור המופרד פיזית. על כן לא ניתן לצאת מן הנתיב המתחלף אל הנתיבים הרגילים, אלא בקצה הנתיב. במקרה כזה חייבים לוודא לפני היפוך כיוון הנסיעה - שהמסלול פנוי. על כן, המעבר ממצב בו הנתיב פתוח לנסיעה בכיוון מסוים למצב בו הנתיב סגור בכיוון זה יהיה **בתפעול ידני בלבד**.

במהלך התפעול הידני, יש לבצע בדיקה חזותית, המוכיחה שהקטע של הנתיבים המתחלפים פנוי לחלוטין.

הדרך הנוחה ביותר לביצוע הבדיקה החזותית היא באמצעות מערכת מצלמות טלוויזיה במעגל סגור. לחילופין או בנוסף, ניתן לבצע את הבדיקה החזותית באמצעות צוות מפעילים (למשל באזורי עבודות, או במהלך אירועים מיוחדים, או בעת חירום). במצבים מיוחדים ניתן לשקול את השימוש ברכב סיור על מנת להוביל את כלי-הרכב הראשונים הנכנסים אל הנתיב המתחלף, בעת היפוך כיוון הנסיעה.

כאשר בדיקה חזותית מוכיחה שהקטע של הנתיבים המתחלפים פנוי, ניתן להפוך את כיוון התנועה.

ב. <u>נתיב מתחלף במסלול פתוח</u>

הנתיב המתחלף (או הנתיבים המתחלפים) נמצא במסלול פתוח, שאינו מופרד פיזית. על כן ניתן לצאת מן הנתיב המתחלף בכל עת אל הנתיב הרגיל, שנמצא בסמוך. במקרה זה יהיו תקפים מצב מעבר II א׳ וגם מצב מעבר II ב׳ (ובהתאמה, בכיוון ההפוך, מצב IV א׳ ומצב IV ב׳). נתיב מתחלף במסלול פתוח מיושם בדרך עורקית בלבד, שכן דרך ממוחלפת מאופיינת תמיד במסלול סגור.

זמן המעבר הכולל של שני מצבי המעבר יחושב כדלקמן:

זמן המעבר II א׳: { [המרחק המרבי בין שני גשרים עוקבים של תמרורי בקרת נתיבים לאורך הקטע] + [הגדול מבין: אורך אזור הכניסה ואורך אזור היציאה] } מחולק ב- 25 קמ״ש (6.9 מ/ש), בתוספת סכום זמני המחזור של כל הרמזורים בין שני הגשרים האלה (אם רלבנטי).

זמן המעבר II ב׳: מרווח זמן לבטיחות בשיעור של 120 שניות (בהנחה שהמרחק המרבי בין שני גשרים עוקבים הוא 700 מ׳).

זמן המעבר הכולל: זמן מעבר II א׳ + זמן מעבר II ב׳.

ייתכן שצירופים שונים של מרחק בין שני גשרים עוקבים, וזמני המחזור של הרמזורים בין גשרים אלה, יביאו לתוצאות זמן שונות. במקרה זה יש לבחור את התוצאה המרבית של צמד הגשרים העוקבים הקריטי.

דוגמת חישוב:

- מרחק מרבי בפועל בין גשרים עוקבים: 630 מ'
- אורך אזור הכניסה: 130 מ'
- אורך אזור היציאה 110 מ'
- בין הגשרים ממוקם רמזור אחד עם זמן מחזור של 120 שניות.

<u>זמן המעבר II א'</u>: { 630 מ' + [הגדול מבין 130 מ', 110 מ'] } מחולק ב- 6.9 מ/ש + 120 שניות = 230 שניות.

<u>זמן המעבר II ב'</u>: 120 שניות.

<u>זמן המעבר הכולל</u>: 230 + 120 = 350 שניות = בקירוב 6 דקות.

5.3 תפעול תחבורה ציבורית

תפעול התחבורה הציבורית יכול להיות מושפע מכך שדרך מופעלת עם נתיבים מתחלפים, ובמיוחד אם הנתיבים הופכים לחד-סטריים. על כן, במסגרת הקמת מערכת נתיבים מתחלפים יש לבחון את מסלולי התחבורה הציבורית ואת מיקומי התחנות. כאשר התחבורה הציבורית נוסעת בנתיב יחיד - יש לאפשר תחנה עם מפרץ.

ההיפוך עלול להגדיל את הסיבוך של תנועות ההשתזרות עבור רכבי התחבורה הציבורית (כתלות במוצא-יעד שלהם). זמן הנסיעה של רכבי הת"צ יכול לשמש כמדד ביצוע עבור מערכות בקרת נתיבים.

5.4 ניטור ואכיפה

מתקן של נתיבים מתחלפים מחייב מדיניות אכיפה אפקטיבית. אכיפה "נראית" משפרת את אמון הציבור וקבלת המערכת. אכיפה מוצלחת דורשת משאבים, ורמתה יכולה לנוע בתחום שבין אכיפה רצופה לבין אכיפה אקראית.

שיטות אכיפה מסורתיות דורשות תכנון של מפרצי אכיפה ייעודיים, הממוקמים בסמיכות לנתיבים המתחלפים, ומאפשרים לאנשי האכיפה לעצור את מפירי החוק במקום. עם התפתחות יישומי טכנולוגיות עיליות בתחבורה, התפתחו גם שיטות אכיפה אוטומטיות.

הניטור המתמשך של מדדי הביצוע יסייע להצדיק מערכות של נתיבים מתחלפים בטווח הארוך, ויסייע גם לזהות צרכים לשינויים. אם המערכת עובדת על בסיס של שעה ביום, נתוני התנועה שנאספים יסייעו לזהות מתי יש להפעיל את המערכת.

ראה דיון בנושא מדדי הביצוע בסעיף 2.8 לעיל.

מראי מקום

1	לוח התמרורים, משרד התחבורה התשתיות הלאומיות והבטיחות בדרכים, הודעת התעבורה (קביעת תמרורים), תשע"א – 2010, ע"פ ק"ת 7139 מיום 9.7.2012.
2	תקנות והנחיות להצבת תמרורים 2012, משרד התחבורה התשתיות הלאומיות והבטיחות בדרכים, דצמבר 2012.
3	הנחיות לתכנון שילוט בדרכים באמצעות מסרי תנועה מתחלפים, משרד התחבורה, אוגוסט 2009.
4	BS EN 12966-1:2005, Road Vertical Signs – Variable Message Signs, Part 1: Product Standard.
5	מפרט טכני לשילוט בדרכים באמצעות מסרי תנועה מתחלפים, מבוסס על התקן האירופי EN 12966, הוועדה הבין-משרדית להתקני תנועה ובטיחות, משרד התחבורה, דצמבר 2009.
6	סמנים מחזירי אור ופולטי-אור לסימון בכבישים: הנחיות להתקנה ומפרט בדיקה ולאישור, משרד התחבורה והבטיחות בדרכים, ינואר 2008.
7	הנחיות לקביעת מהירויות ברשת הדרכים, משרד התחבורה, יולי 2010.
8	הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות, צמתים ומחלפים - כרך 1: תכן גיאומטרי של דרכים, משרד התחבורה ובטיחות בדרכים ומעצ - החברה הלאומית לדרכים, אוגוסט 2012.
9	הנחיות לתכנון רחובות בערים – תנועת רכב מנועי, משרד התחבורה והבטיחות בדרכים, מאי 2011.
10	הנחיות לתכנון רחובות בערים – תנועת הולכי רגל, משרד התחבורה והבטיחות בדרכים, אוקטובר 2009.
11	"Guidelines for the Planning, Design, Operation and Evaluation of Reversible Lane Systems", Transportation Association of Canada (TAC), February 2010.
12	"Convertible Roadways and Lanes", NCHRP Synthesis 340, Transportation Research Board, 2004.
13	"Managed Lanes Handbook", FHWA and Texas Transportation Institute, October 2005.
14	HCM 2000, מתורגם ומותאם לתנאי ישראל, משרד התחבורה, דצמבר 2005.
15	"Manual on Uniform Traffic Control Devices" (MUTCD), 2009 Edition, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., 2009.
16	"Manual of Uniform Traffic Control Devices" (MUTCD), 2003 Edition, Queensland Government, Australia, 2003.
17	הנחיות להסדרי תנועה בסביבת מכשולי גובה, משרד התחבורה והבטיחות בדרכים, ספטמבר 2006.

18	"Off-Center Street Operation in Melbourne", Thorpe J.D., Traffic Engineering, Vol. 36, No. 11, pp. 26-30, 1966.
19	"Freeway Contraflow Bus Lanes: Some Policy and Technical Issues", Link D., Traffic Engineering, Vol. 44, No. 1, pp. 31-34, 1975.
20	"High Occupancy Vehicle Lanes – Worldwide Lessons for European Practitioners", S. Schijns, McCormick Rankin Corp., Mississauga, Ontario, Canada.
21	"State of the Practice for Managed Use Lane Projects", Prepared by Texas Transportation Institute, for New York State Department of Transportation, May 2008.
22	Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Reversible_lanes
23	"HATMS Control Office Base System (COBS) Operator Handbook General Control Centre (Peek)", Part 3: Motorway Restrictions (UK), Highway Agency, MCH 0018 A, June 2007.
24	"HATMS Control Office Base System (COBS) Operator Handbook General Control Centre (Peek)", Part 12: Tidal Flow Subsystems (UK), Highway Agency, MCH 0018 B, March 2009.
25	"Leetsdale Drive Reversible Lane Design Study", Markovetz S., Royer D., & Dorroh R., Compendium of Technical Papers of the 65th Annual Meeting of the Institute of Transportation Engineers, Denver, CO, pp. 142-146, 1995.
26	Is a Reversible Lane System Safe?", Bretherton W.M. & Elhaj M., Compendium of Technical Papers of the 66th Annual Meeting of the Institute of Transportation Engineers, Minneapolis, MI, pp. 277-281, 1996.
27	הנחיות לתכנון רחובות בערים – תנועה בצמתים, משרד התחבורה והבטיחות בדרכים, אוקטובר 2011.
28	"The Handbook of Road Safety Measures", Seconds Edition, Part II, Elvik R., Hoye A., Vaa T. and Sorensen E., Emerald, pp. 481-487.