

מדינת ישראל

מחלקת עבודות ציבוריות



משרד התחבורה

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות, צמתים ומחלפים



תכן גיאומטרי של מחלפים

יולי 2000

תמוז תש"ס

הנחיות לתכנן גיאומטרי של מחלפים

ל.ק.י - מהנדסי תחבורה יועצים

L.C.I – TRANSPORTATION ENGINEERS CONSULTANTS



ביצוע ועריכה :

חיבור וכתובה :
ד"ר יוסף קראוס
ד"ר משה ליבנה
ד"ר בני פרישר

תרשימים : ש. קרני מהנדסים

ועדת ההיגוי :
אינג' טולו שנירר - יו"ר
אינג' אפרים וינהבר
אינג' ראובן יום טוב (חלקית)
אינג' יעקב כדיר (חלקית)
אינג' עמי לקס
אינג' משה עובד
אינג' יוסף קופ
אינג' בן-ציון קריגר
אינג' ישעיהו רונן

מדינת ישראל



משרד התחבורה מחלקת עבודות ציבוריות לשכת המנכ"ל

פתח דבר

קוראים יקרים,

הכרך שלפניכם הוא כרך שלישי ואחרון מתוך "טרילוגיה" של הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות. הכרך דן בתכן הגיאומטרי של מחלפים ומשלים את הכרכים הקודמים, שהוקדשו לתכן דרכים ולתכן צמתים ברשת הבין-עירונית.

מחלפים הם בין המרכיבים ההנדסיים המורכבים ביותר ברשתות הדרכים והם מחייבים השקעה כלכלית ניכרת ושטחים נרחבים יותר מהצמתים אותם הם מחלפים. יחד עם זאת, מחלפים הם שלב הכרחי בהתפתחות של רשת תחבורתית מתקדמת ויעילה: השפעתם רבה על העלאת רמת הבטיחות, קיצור זמני הנסיעה, הקטנת העיכובים והעלאת רמת-השירות של המשתמשים בדרך ועל קיבולת הרשת כולה. יש לזכור כי ארצנו לא נתברכה בשטחים פתוחים רבים וכל תכנון חייב לקחת זאת בחשבון, הן מבחינת התאמת התכנון לסביבה והן מבחינת שמירה על איכות סביבת הכביש ומתקניו.

בהנחיות אלה נקבעו קריטריונים מנחים לתכן בהתאם לסיווג הדרכים ולאופיין, במטרה להשיג אחידות בתכנון באמצעות קריטריונים אלה, תוך התחשבות בכך, שהן השיקולים הכלכליים והן השיקולים הסביבתיים הם שיקולים מכריעים בתהליך התכנון של הדרך.

העבודה נעשתה בצוות שהורכב ממומחים בעלי ניסיון בתכן דרכים ואשר כלל את מע"צ, אגף תכנון תחבורתי במשרד התחבורה וגופי תכנון פרטיים ובראשות אינג' טולו שנירר, לשעבר סגן בכיר למנהל מע"צ. ההנחיות מבוססות על שילוב הידע התיאורטי והניסיון שנצבר בארץ עם ניסיונם של אחרים, כפי שהוא משתקף בהנחיות ממדינות שונות, כגון AASHTO ו-HCM מארה"ב, RTAC הקנדי, NAASRA מאוסטרליה, CSIR מדרום אפריקה, DOT מבריטניה, OECD של השוק המשותף, RAL-K הגרמני והנחיות נוספות ממדינות שונות של ארה"ב, מצרפת, מאירלנד וכד'.

ההנחיות הן קו מנחה והנכם מתבקשים לנצל ניסיונכם ולפעול מתוך יצירתיות ומיצוי הידע המקצועי שלכם, על-מנת ליצור מוצר מקצועי, חדשני ובעל מעוף, שישרת את קהל משתמשי הדרך ויהווה אבן דרך להמשך פיתוח תשתיות הכבישים בארץ. בהכנת ההנחיות הושקע מאמץ רב במטרה להפכן לכלי עזר לליווי שוטף בתהליך התכנון והתכן. המבחן המעשי של ההנחיות יהיה בהפעלתן הלכה למעשה ולשם כך דרוש שיתוף פעולה מצידכם. הניסיון שירכש בשימוש בהנחיות, יאפשר את שיפורן והפיכתן לכלי תיכנוני יעיל יותר. לכן, נשמח באם תביאו לידעת צוות ההיגוי את הערותיכם והצעותיכם השונות.

ברצוני להודות לצוות "ל.ק.י" עבור חיבור ההנחיות, כתיבתן ועריכתן, ולחברי ועדת ההיגוי על המאמץ הרב שהשקיעו בליווי ההנחיות. כמו-כן, ראוי לציון משרד "קרני מהנדסים", אשר ביצע את השרטוטים המלווים הנחיות אלה.

אני משוכנע שהנחיות אלו תהיינה לתועלת רבה ומקווה שתעודכנה בעתיד באורח שוטף, על-פי הניסיון שיצטבר והלקחים שיופקו מהן.

אינג' עמי לקש
מנכ"ל מע"צ

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

תוכן עניינים

IX..... רשימת טבלאות

XI..... רשימת ציורים

פרק 1 – מבוא

1-1	כללי	1.1
1-1	מטרות ההנחיות	1.2
1-2	מבנה ההנחיות	1.3
1-3	תחולת ההנחיות ותקפותן	1.4

פרק 2 – הגדרות ומושגים כלליים בתכן מחלפים

2-1	מחלף ומיפרד	2.1
2-1	מחלף ודרכים ממוחלפות - הגדרה ועקרונות תפעול	2.1.1
2-2	מיפרד - הגדרה ומאפיינים	2.1.2
2-2	מרכיבי המחלף	2.2
2-2	מרכיבים בסיסיים	2.2.1
2-3	רמפות (כבשים)	2.2.2
2-5	מחברי רמפה	2.2.3
2-5	כבישים מאספים-מחלקים	2.2.4
2-5	דרכי (כבישי) שירות	2.2.5
2-8	סיווג פניות ורמפות	2.3
2-8	סוגי הפניות באמצעות הרמפה	2.3.1
2-8	סוגי רמפות	2.3.2
2-10	סיווג מחלפים	2.4
2-10	קריטריונים לסיווג	2.4.1
2-10	מספר הזרועות במחלף	2.4.2
2-12	חלקיות המחלף	2.4.3
2-12	סיווג תפקודי	2.4.4
2-12	תצורות בסיסיות של מחלפים	2.4.5

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פרק 3 – שיקולים מנחים ועקרונות בתכן מחלפים

3-1	יתרונות והצדקים לבניית מחלף	3.1
3-1	אפשרויות למפגש בין דרכים	3.1.1
3-3	יתרונות המחלף והשיקולים בהקמתו	3.1.2
3-3	הצדקים הנובעים מסיווג הדרכים ובקרת הגישות	3.1.3
3-4	הצדקים תנועתיים	3.1.4
3-4	הצדקים בטיחותיים	3.1.5
3-7	הצדקים כלכליים	3.1.6
3-7	הצדקים טופוגרפיים	3.1.7
3-7	הצדקים של המשכיות ועקביות	3.1.8
3-7	הצדקים של מפגש עם מסילת-ברזל	3.1.9
3-8	שלבי התהליך בתכן מחלף	3.2
3-9	נתוני רקע לתכן	3.3
3-9	נתוני האתר	3.3.1
3-10	נתוני תנועה	3.3.2
3-13	עקרונות תכן ושיקולים מערכתיים במחלפים ובדרכים ממוחלפות	3.4
3-13	תחומי השיקולים המנחים בתכן מחלף	3.4.1
3-13	תפקיד השיקולים המערכתיים בדרכים ממוחלפות	3.4.2
3-14	פירוט העקרונות בתכן מחלף	3.4.3
3-18	פירוט השיקולים המערכתיים בדרכים ממוחלפות	3.4.4
3-20	מעבר עילי או תחתי במפגש ומפלסי הדרכים	3.5
3-20	שיקולים עיקריים להחלטה	3.5.1
3-21	חלופות מפלסי הדרכים במפגש	3.5.2
3-21	ריכוז שיקולים לקביעת הדרכים כעליונה ותחתונה	3.5.3
3-23	שיקולים נוספים	3.5.4
3-23	מרחקים מזעריים בין מחלפים	3.6
3-23	הקשר בין המרחקים לשאר המאפיינים	3.6.1
3-24	הגדרת סוגי הדרכים המהירות בהנחיות אלה	3.6.2
3-25	מרחקים מזעריים בין מחלפים וקריטריוני תכן נלווים	3.6.3
3-25	מדיניות מרחקי הראות	3.7

פרק 4 – סוגי מחלפים ויישומם במערכת

4-1	בחירת המחלף המתאים	4.1
4-2	מחלפי מערכת בני שלוש זרועות	4.2

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

4-3	מחלפי-גישה בני שלוש זרועות.....	4.3
4-3	מחלפים ללא צמתים.....	4.3.1
4-6	מחלפים עם צמתים.....	4.3.2
4-6	מחלפי-מערכת בני ארבע זרועות.....	4.4
4-12	מחלפי יהלום.....	4.5
4-12	כללי.....	4.5.1
4-12	יהלום רגיל.....	4.5.2
4-14	יהלום צר.....	4.5.3
4-17	יהלום מפוצל.....	4.5.4
4-19	יהלום בפיצול מרובע.....	4.5.5
4-21	יהלום חד-נקודתי.....	4.5.6
4-21	השוואת סוגי מחלפי היהלום.....	4.5.7
4-23	מחלפי עלה-תלתן חלקיים.....	4.6
4-23	כללי.....	4.6.1
4-24	תלתן חלקי A.....	4.6.2
4-26	תלתן חלקי B.....	4.6.3
4-26	תלתן חלקי חד-צדדי (AB).....	4.6.4
4-28	סיכום מחלפי עלה-תלתן חלקיים.....	4.6.5
4-29	מחלף סיבובי.....	4.7
4-31	סיכום הבחירה בסוג המחלף.....	4.8
4-32	מחלפים משולבים.....	4.9
4-33	מחלפים בין שתי דרכים מבוקרות-חלקיות.....	4.10

פרק 5 – רמפות

5-1	כללי.....	5.1
5-1	יישומים וצורות של רמפות.....	5.2
5-1	יישומם במחלפים של סוגי הרמפות העיקריים.....	5.2.1
5-2	צורות גיאומטריות אופייניות של רמפות.....	5.2.2
5-6	מהירויות התכן ברמפות.....	5.3
5-6	עקרונות כלליים.....	5.3.1
5-6	עקרונות ליישום מהירות התכן ברמפות.....	5.3.2
5-7	חתך הרוחב ברמפה.....	5.4
5-7	רוחב המיסעה.....	5.4.1

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

5-9	רוחב השוליים	5.4.2
5-10	חתכים אופייניים	5.4.3
5-10	מרכיבי התוואי האופקי ברמפות	5.5
5-10	רדיוסים והגבהות	5.5.1
5-12	עקומי מעבר ברמפות	5.5.2
5-13	מעבר השיפועים ברמפות	5.5.3
5-13	עקומים מעגליים המורכבים ממספר רדיוסים	5.5.4
5-13	מרחקי ראות ברמפות	5.6
5-14	התוואי האנכי ברמפות	5.7
5-14	שיפועים לאורך הרמפה	5.7.1
5-15	עקומים אנכיים	5.7.2
5-16	מירווח הגובה החופשי (בגבריט)	5.7.3

פרק 6 – מחברי זרימה ברמפות

6-1	סוגי מחברים ויישומיהם	6.1
6-2	כיווני היציאות והכניסות	6.2
6-2	מחברי יציאה חד-נתיביים	6.3
6-2	כללי	6.3.1
6-3	תכן אזור אף היציאה	6.3.2
6-6	צורת מחבר היציאה	6.3.3
6-6	מרכיבי המחבר – נתיב ההאטה והחיבור לרמפה	6.3.4
6-9	מחברי יציאה בעקום אופקי	6.3.5
6-12	מחברי יציאה דו-נתיביים	6.4
6-12	כללי	6.4.1
6-12	תכן המחבר	6.4.2
6-16	מחברי כניסה חד-נתיביים	6.5
6-16	כללי	6.5.1
6-17	צורת מחבר הכניסה	6.5.2
6-17	מרכיבי המחבר – נתיב ההאצה והחיבור לרמפה	6.5.3
6-21	מחבר כניסה בעקום אופקי	6.5.4
6-21	מחברי כניסה דו-נתיביים	6.6
6-21	כללי	6.6.1
6-26	תכן המחבר	6.6.2
6-26	ראות במחברי-כניסה	6.7

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

6-28.....	מעברי שיפועים במחברים וברמפות	6.8
6-28	כללי	6.8.1
6-28	כללי התכן	6.8.2
6-31	תכנון חתך אורכי רציף לקצות המיסעה	6.8.3
6-31	צורות מעברי שיפועים במחברים	6.8.4

פרק 7 – מאפייני תפעול במחלפים

7-1	מבוא	7.1
7-1	שיקולי ניתוב במחלפים	7.2
7-1	כללי	7.2.1
7-2	מספר בסיסי של נתיבים	7.2.2
7-2	איזון נתיבים	7.2.3
7-4	שילוב השיקולים הקודמים ושימוש בנתיבי-עזר	7.2.4
7-7	תהליך קביעת הניתוב ופיתוח בשלבים	7.2.5
7-9	המרווח בין מחברי-רמפה עוקבים	7.3
7-11.....	קיבולת ורמת שירות במחברי-זרימה ברמפות	7.4
7-11	כללי	7.4.1
7-11	עקרונות השיטה לחישוב רמת השירות	7.4.2
7-13	שלבי תהליך החישוב המפורט לקביעת רמת השירות	7.4.3
7-13	הנתונים הדרושים לחישוב רמת השירות	7.4.4
7-14	המרת נפחים לשיעורי זרימה	7.4.5
7-15	הערכת הזרימה באזור ההשפעה בהפרדות (מחבר יציאה)	7.4.6
7-16	הערכת הזרימה באזור ההשפעה בהתמזגות (מחבר כניסה)	7.4.7
7-17	השוואת קיבולת המחבר לזרימה בגבולות אזור ההשפעה	7.4.8
7-18	חישוב הצפיפות באזורי ההשפעה	7.4.9
7-18	הגדרת הקריטריונים לרמות השירות באזור ההשפעה	7.4.10
7-20	רמות השירות לתכן	7.4.11
7-20	הערכת המהירות באזורי ההשפעה	7.4.12
7-21	יישום החישוב במחברי יציאה דו-נתיביים	7.4.13
7-22	יישום החישוב במחברי כניסה דו-נתיביים	7.4.14
7-23.....	קיבולת של רמפות	7.5
7-25.....	מספר הנתיבים ברמפה ובמחברים	7.6
7-25	אפשרויות הניתוב ברמפות עם שני מחברי זרימה	7.6.1
7-26	הכללים לקביעת הניתוב ברמפות ובמחברי-זרימה	7.6.2
7-27	רמפות עם מחבר עצירה אחד	7.6.3

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פרק 8 – השתזרויות במחלפים

8-1	מבוא	8.1
8-2	השתזרויות בתחומי מחלף	8.2
8-4	השתזרות בין מחלפים	8.3
8-4	השתזרויות בכביש מאסף-מחלק	8.4
8-5	חישוב רמת השירות באזורי השתזרות	8.5
8-5	8.5.1 עקרונות השיטה לחישוב רמת השירות	
8-6	8.5.2 תהליך החישוב	
8-6	8.5.3 הנתונים הדרושים	
8-7	8.5.4 המרת נפחים לשיעורי זרימה	
8-7	8.5.5 בניית דיאגרמת ההשתזרות	
8-9	8.5.6 חישוב "מקדמי עוצמת ההשתזרות"	
8-9	8.5.7 חישוב מהירות התנועות	
8-10	8.5.8 בדיקת הנחת ההשתזרות הלא-מאולצת	
8-10	8.5.9 חישוב המהירות והצפיפות באזור ההשתזרות	
8-11	8.5.10 בדיקת תנאי הגבול	
8-11	8.5.11 הקריטריונים לרמות השירות באזורי השתזרות	
8-12	8.5.12 רמות השירות לתכן	

פרק 9 – תצורות מחלפים שונות – מרכיבי תכן ייחודיים

9-1	מבוא	9.1
9-2	מחלפי-מערכת בני שלוש זרועות	9.2
9-2	9.2.1 מחלפים ישירים "T"	
9-2	9.2.2 מחלפים ישירים "Y"	
9-3	מחלפי-מערכת בני ארבע זרועות	9.3
9-3	9.3.1 מחלפים ישירים	
9-9	9.3.2 מחלפי עלה-תלתן מלא	
9-11	9.3.3 מחלפים ישירים משולבים עם לולאה אחת	
9-11	9.3.4 מחלפים ישירים למחצה: עלה-תלתן עם שתי רמפות ישירות-למחצה	
9-16	9.3.5 מחלפי עלה-תלתן משולבים עם רמפה ישירה-למחצה	
9-19	מחלפי-גישה בני שלוש זרועות	9.4
9-19	9.4.1 מחלפי חצוצרה (חד-צדדיים)	
9-20	9.4.2 מחלפי אגס	
9-20	מחלפי יהלום	9.5

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

9-20	כללי	9.5.1
9-23	תכן הרמפות ומחבריהן	9.5.2
9-23	תכן ההסתעפויות בדרך המשנית	9.5.3
9-24	יהלום רגיל – מאפיינים ייחודיים	9.5.4
9-25	יהלום צר – מאפיינים ייחודיים	9.5.5
9-31	יהלום מפוצל – מאפיינים ייחודיים	9.5.6
9-31	יהלום בפיצול מרובע – מאפיינים ייחודיים	9.5.7
9-31	יהלום חד-נקודתי – מאפיינים ייחודיים	9.5.8
9-35	יהלום עם צמתים סיבוביים – מאפיינים ייחודיים	9.5.9
9-35	אפשרויות לפיתוח עתידי	9.5.10
9-35	מחלף יהלום עם לולאה אחת	9.5.11
9-39	מחלפי עלה-תלתן חלקיים	9.6
9-39	כללי	9.6.1
9-39	תכן הרמפות ומחבריהן	9.6.2
9-41	תכן ההסתעפויות בדרך המשנית	9.6.3
9-42	מאפיינים ייחודיים – תצורות A	9.6.4
9-44	מאפיינים ייחודיים – תצורות B	9.6.5
9-48	מאפיינים ייחודיים – תצורה חד-צדדית	9.6.6
9-52	אפשרויות לפיתוח עתידי	9.6.7
9-52	מחלף סיבובי	9.7
9-54	כבישים מאספים-מחלקים	9.8
9-54	הגדרות ומושגים	9.8.1
9-54	יישום כבישים מאספים-מחלקים	9.8.2
9-57	מפגשים וחיבורים לאורך כבישים מאספים-מחלקים	9.8.3
9-57	רמפות-מעבר ורמפות שזורות	9.8.4
9-59	קריטריונים לתכן גיאומטרי	9.8.5
9-62	חתך הרוחב	9.8.6
9-63	מחברי-זרימה בכבישים מ-מ וברמפות-מעבר	9.8.7
9-63	מאפייני תפעול	9.8.8
9-64	תחבורה ציבורית	9.8.9
9-64	דרכי-שירות	9.9

פרק 10 – מתקני דרך במחלפים

10-1	תחנות אוטובוסים והסעה בתחומי מחלפים	10.1
10-1	מדיניות כללית	10.1.1
10-2	כללים עקרוניים למיקום תחנות	10.1.2
10-3	תחנות בתחומי הדרך הממוחלפת	10.1.3

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

10-4	10.1.4 תחנות בדרכי-שירות ובכבישים מאספים-מחלקים
10-5	10.1.5 תחנות במחלפי-גישה
10-11	10.2 תכנון להולכי רגל באזורים המותרים
10-15	10.3 אביזרים ומתקנים
10-17	10.4 תימרור ושילוט
10-17	10.4.1 תפקידי התימרור והשילוט
10-18	10.4.2 תפקידי שלטי ההדרכה
10-19	10.4.3 מטרות תכנון ועיצוב שלטי ההדרכה
10-19	10.4.4 עקרונות לתימרור במחלפים
יופץ בהמשך	<u>פרק 11 – תאורה</u>
מ.מ/1	<u>רשימת מקורות</u>
מ-1	<u>מילון מונחים</u>

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

רשימת טבלאות

פרק 1 – מבוא

אין טבלאות בפרק זה

פרק 2 – הגדרות ומושגים כלליים בתכן מחלפים

אין טבלאות בפרק זה

פרק 3 – שיקולים מנחים ועקרונות בתכן מחלפים

טבלה 3.1	הסוג המומלץ של מפגש הדרכים הבין-עירוניות בשלבי הביניים והפיתוח הסופי, בהתאם למידרג הדרכים	3-5
טבלה 3.2	הסוג המומלץ של מפגש בין דרך בין-עירונית לבין רחוב עירוני בשלבי הביניים והפיתוח הסופי, בהתאם למידרג הדרכים	3-6
טבלה 3.3	שיקולים נוספים להעדפת הדרך העיקרית כעליונה או כתחתונה	3-22
טבלה 3.4	מרחקים מזעריים בין מחלפים וקריטריונים נלווים	3-25

פרק 4 – סוגי מחלפים ויישומם במערכת

טבלה 4.1	השוואה איכותית-יחסית של הצורות השונות של מחלפי היהלום	4-23
טבלה 4.2	ריכוז סוגי המחלפים המתאימים למפגש בין שתי דרכים המשכיות	4-31

פרק 5 – רמפות

טבלה 5.1	מהירויות תכן מומלצות לרמפות מסוגים שונים	5-7
טבלה 5.2	הרוחב הדרוש ברמפות	5-9
טבלה 5.3	הגבהות רוחביות מירביות ורדיוסים מזעריים ברמפות	5-12
טבלה 5.4	ערכים תכנוניים לעקומי מעבר ברמפות	5-12
טבלה 5.5	שיפועים מירביים מומלצים לאורך הרמפות	5-15

פרק 6 – מחברי זרימה ברמפות

טבלה 6.1	האורך הדרוש להאטה בשיפועים הקטנים מ-2.5%	6-8
טבלה 6.2	מקדמי תיקון לחישוב אורך קטע ההאטה בשיפועים גדולים	6-9
טבלה 6.3	ערכי מודול הקלוטואידה (K) לעקום מעבר במחברי יציאה	6-9
טבלה 6.4	האורך הדרוש להאצה בשיפועים הקטנים מ-2.5%	6-22
טבלה 6.5	מקדמי תיקון לחישוב אורך ההאצה בשיפועים	6-22
טבלה 6.6	הפרש שיפוע מירבי לאורך בין השפות ברמפה במעבר השיפועים	6-30
טבלה 6.7	תחום מותר להפרש המירבי בין השיפועים לרוחב של נתיבים	6-30
טבלה 6-30	סמוכים במחברי-רמפה	6-30

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פרק 7 – מאפייני תפעול במחלפים

7-15	ערכי מקדם הפילוג P_{FD} לחישוב V_{12} ביציאה חד-נתיבית	טבלה 7.1
7-16	ערכי מקדם הפילוג P_{FM} לחישוב V_{12} בכניסה חד-נתיבית	טבלה 7.2
7-17	ערכי הקיבולת האידיאלית בגבולות אזור ההשפעה של היפרדות ושל התמזגות, ביר"ם לשעה	טבלה 7.3
7-19	הקריטריונים לרמות השירות באזורי ההשפעה של מחברי רמפות	טבלה 7.4
7-25	ערכים משוערים לקיבולת רמפות	טבלה 7.5

פרק 8 – השתזרויות במחלפים

8-12	הקריטריונים לרמות השירות באזורי השתזרות	טבלה 8.1
------	---	----------

פרק 9 – תצורות מחלפים שונות – מרכיבי תכן ייחודיים

9-28	מרחק-הראות הדרוש שמאלה לפנייה ממצב עצירה בצמתי מחלף יהלום	טבלה 9.1
9-62	מאפייני התכן הגיאומטרי לכבישים מאספים-מחלקים נמשכים עבור דרך ממוחלפת שמהירות התכן שלה 110 קמ"ש	טבלה 9.2
9-63	ערכי-תכן מזעריים מומלצים למחברי-זרימה בכבישים מאספים-מחלקים וברמפות-מעבר	טבלה 9.3

פרק 10 – מתקני דרך במחלפים

אין טבלאות בפרק זה

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

רשימת ציורים

פרק 1 – מבוא

אין ציורים בפרק זה

פרק 2 – הגדרות ומושגים כלליים בתכן מחלפים

2-3	ההבדל בין מחלף למיפרד	ציור 2.1
2-4	מרכיבי המחלף ומקרא לסימונם בהנחיות	ציור 2.2
2-6	מרכיבי הרמפה	ציור 2.3
2-7	שני סוגי מחברי הרמפה ויישומם ברמפות	ציור 2.4
2-9	הגדרת סוגי הפניות המבוצעות ברמפות	ציור 2.5
2-11	סוגים בסיסיים של רמפות	ציור 2.6

פרק 3 – שיקולים מנחים ועקרונות בתכן מחלפים

3-2	הפטרונות ההנדסיים האפשריים למפגש בין דרך ממוחלפת במלואה לבין דרך אחרת	ציור 3.1
3-12	דוגמא לסכימת נפחי הפניות במחלף	ציור 3.2
3-15	סוגי רמפות שאינם מיועדים לשימוש	ציור 3.3
3-16	יצירת אחידות ביציאות במחלפים	ציור 3.4
3-19	תכנון מחלף-מערכת לפי עקרון רציפות המסלול	ציור 3.5

פרק 4 – סוגי מחלפים ויישומם במערכת

4-4	מחלפי-מערכת ישירים בתצורת "T"	ציור 4.1
4-5	מחלפי-מערכת ישירים בתצורת "Y"	ציור 4.2
4-7	מחלפי חצוצרה חד-צדדיים	ציור 4.3
4-7	מחלפי חצוצרה דו-צדדיים	ציור 4.4
4-8	מחלפי אגס	ציור 4.5
4-9	מחלפי-גישה בין שלוש זרועות, עם צמתים	ציור 4.6
4-11	מחלפי-מערכת ישירים במלואם או בחלקם	ציור 4.7
4-13	מחלף עלה-תלתן מלא עם כבישים מאספים-מחלקים מקבילים לשתי הדרכים	ציור 4.8
4-15	מחלף יהלום רגיל	ציור 4.9
4-16	מחלף יהלום כשלב ראשון למחלף עלה-תלתן	ציור 4.10
4-18	מחלף יהלום צר	ציור 4.11
4-20	מחלף יהלום מפוצל עם חיבורים לדרכים דו-סיטריות ואפשרות לדרכי-שירות	ציור 4.12
4-20	מחלף יהלום מפוצל עם חיבורים לדרכים חד-סיטריות ודרכי-שירות	ציור 4.13
4-22	מחלף יהלום בפיצול מרובע	ציור 4.14
4-22	מחלף יהלום חד-נקודתי	ציור 4.15

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

4-25	מחלפי עלה-תלתן חלקיים מסוג A	ציור 4.16
4-27	מחלפי עלה-תלתן חלקיים מסוג B	ציור 4.17
4-30	מחלף עלה-תלתן חלקי חד-צדדי	ציור 4.18
4-30	מחלף סיבובי (דו-קומתי)	ציור 4.19
4-32	מחלף יהלום בו משולבים צמתים סיבוביים	ציור 4.20
4-34	צורות של מחלפים משולבים	ציור 4.21
4-35	צורות אפשריות למחלפים בין שתי דרכים מבוקרות-חלקית	ציור 4.22

פרק 5 – רמפות

5-4	רמפת לולאה ואלכסון משולבים	ציור 5.1
5-4	צורות אופייניות של רמפה אלכסונית	ציור 5.2
5-4	רמפה אלכסונית המתחברת לדרך-שירות מקבילה	ציור 5.3
5-5	צורות אופייניות של לולאה ורמפה חיצונית ברביע אחד	ציור 5.4
5-5	צורות של רמפה ישירה-למחצה שמאלה	ציור 5.5
5-11	חתך טיפוסי לרוחב רמפה חד-נתיבית בקטע ישר	ציור 5.6
5-11	חתך טיפוסי לרוחב רמפת לולאה חד-נתיבית ברדיוס 45-50 מטר	ציור 5.7
5-11	חתך טיפוסי לרוחב רמפה דו-נתיבית בקטע ישר	ציור 5.8

פרק 6 – מחברי זרימה ברמפות

6-4	תיאור סכמתי של מרכיבי אזור אף היציאה	ציור 6.1
6-5	תכן אזור האף במחבר יציאה	ציור 6.2
6-10	צורות מחבר יציאה אלכסוני חד-נתיבי בקטע ישר	ציור 6.3
6-11	שימוש בעקום מעבר במחבר יציאה	ציור 6.4
6-13	דוגמא לפיתוח מחבר יציאה אלכסוני בקטע ישר, ובעקום אופקי שמאלה ברדיוס גדול	ציור 6.5
6-14	מחבר יציאה מקביל בתוך עקום אופקי שמאלה	ציור 6.6
6-15	מחבר יציאה מקביל לתפנית ימינה, משולב בעקום אופקי שמאלה	ציור 6.7
6-18	מחבר יציאה דו-נתיבי (בדרך מהירה)	ציור 6.8
6-19	אפשרויות התנועה באזור אף היציאה במחבר דו-נתיבי	ציור 6.9
6-23	צורות מחבר כניסה חד-נתיבי בקטע ישר	ציור 6.10
6-24	מחבר כניסה מקביל בעקום אופקי ימינה	ציור 6.11
6-25	מחבר כניסה מקביל בעקום אופקי שמאלה	ציור 6.12
6-27	מחבר כניסה דו-נתיבי	ציור 6.13
6-29	קו הראות הדרוש הצידה במחברי-זרימה בכניסה	ציור 6.14
6-32	מעבר השיפועים במחבר יציאה	ציור 6.15
6-33	תיאור סכמתי של מעברי השיפועים במספר מקרים אופייניים של מחברי-רמפה	ציור 6.16

פרק 7 – מאפייני תפעול במחלפים

7-5	הכללים הבסיסיים לאיזון נתיבים במחברי רמפות	ציור 7.1
-----	--	----------

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

7-5	מקרים אופייניים של איזון נתיבים במחברי רמפות	ציור 7.2
7-6	שמירה על איזון הנתיבים בהפרדות של רמפה מרמפה	ציור 7.3
7-8	התאמה בין מספר הנתיבים הבסיסיים לבין איזון הנתיבים	ציור 7.4
	דוגמא לפיתוח בשלבים של מספר הנתיבים בדרך ממוחלפת וברמפות	ציור 7.5
7-10	בהתאם לכללי איזון הנתיבים ומספר הנתיבים הבסיסי	ציור 7.6
7-12	מרווחים מזעריים בין מחברי רמפה עוקבים בדרך ממוחלפת	ציור 7.7
	הגדרת אזור ההשפעה והנפחים הרלוונטיים במחבר יציאה	ציור 7.8
7-22	(היפרדות) חד-נתיבי, לפי HCM 1997	ציור 7.8
	הגדרת אזור ההשפעה והנפחים הרלוונטיים במחבר כניסה (התמזגות)	ציור 7.9
7-22	חד-נתיבי, לפי HCM 1997	ציור 7.10
7-24	הגדרת המאפיינים במחבר יציאה דו-נתיבי, לפי HCM 1997	
7-24	הגדרת המאפיינים במחבר כניסה דו-נתיבי, לפי HCM 1997	

פרק 8 – השתזרויות במחלפים

8-3	תאור עקרוני של השתזרות	ציור 8.1
8-3	קטעי השתזרות בתחומי מחלף עלה-תלתן	ציור 8.2
	תצורה A של אזור השתזרות לחישוב רמת השירות והגדרת	ציור 8.3
8-8	אורכו, על-פי HCM (1997)	ציור 8.4
8-8	דוגמא ליצירת דיאגרמת השתזרות, על-פי HCM (1997)	

פרק 9 – תצורות מחלפים שונות – מרכיבי תכן ייחודיים

9-4	מחלפים ישירים בתצורת "Y"	ציור 9.1
9-5	מחלפים ישירים בתצורת טחנת-רוח	ציור 9.2
9-7	מחלפים ישירים בתצורת צלב-מלטזי	ציור 9.3
9-8	מחלף ישיר בתצורת טורבינה	ציור 9.4
9-8	מחלף ישיר סיבובי תלת-קומתי	ציור 9.5
9-10	מחלפים ישירים בתצורת "X"	ציור 9.6
9-12	מחלף עלה-תלתן מלא עם כבישים מאספים-מחלקים לאורך אחד הצירים	ציור 9.7
9-13	אפשרות לתכן מאולץ של רביע במחלף עלה-תלתן מלא	ציור 9.8
9-14	מחלף עלה-תלתן מלא עם לולאות שטוחות וכבישים מאספים-מחלקים	ציור 9.9
9-15	מחלף ישיר משולב עם לולאה אחת	ציור 9.10
9-17	אפשרויות שונות למחלפים ישירים-למחצה	ציור 9.11
9-18	אפשרויות למחלפי עלה-תלתן משולבים עם רמפה אחת ישירה-למחצה	ציור 9.12
9-21	מחלף חצוצרה ימנית	ציור 9.13
9-22	מחלף חצוצרה שמאלית	ציור 9.14
9-26	מחלפי יהלום עם דרך משנית חד-מסלולית (לא מרומזרת)	ציור 9.15
9-27	מחלף יהלום כפיתוח של צומת בפיצול יהלום מרומזר	ציור 9.16
9-29	אזור הצמתים במחלף יהלום צר מרומזר	ציור 9.17
9-30	מרחק הראות הדרוש לכיוון הגשר בהסתעפויות מחלף היהלום	ציור 9.18

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

9-32	שתי אפשרויות למחלף יהלום מפוצל עם רחובות עירוניים סמוכים	9.19	ציור
9-33	מחלף יהלום בפיצול מרובע מרומזר	9.20	ציור
9-34	מחלף יהלום חד-נקודתי	9.21	ציור
9-36	מחלף יהלום עם צמתים סיבוביים	9.22	ציור
9-37	מחלפי יהלום תלת-קומתיים	9.23	ציור
9-38	מחלפי יהלום עם לולאה אחת	9.24	ציור
9-40	מחלף יהלום עם רמפה ישירה-למחצה לפנייה שמאלה	9.25	ציור
9-43	אזור ההסתעפויות המרומזרות בדרך המשנית במחלף עלה-תלתן חלקי A-4	9.26	ציור
9-45	מחלף עלה-תלתן חלקי A-2	9.27	ציור
9-46	דוגמה נוספת לפתרון ההתמזגות בלולאת מחלף עלה-תלתן חלקי A-2	9.28	ציור
9-47	מחלף עלה-תלתן חלקי B-4	9.29	ציור
9-49	מחלף עלה-תלתן חלקי B-2	9.30	ציור
9-50	מחלף עלה-תלתן חלקי חד-צדדי	9.31	ציור
9-51	מחלף עלה-תלתן חלקי A-4 עם כבישים מאספים-מחלקים בתחומי המחלף	9.32	ציור
9-51	מחלף עלה-תלתן חלקי חד-צדדי עם רמפות לפניית ישירות ימינה וכבישים מאספים-מחלקים בתחומי המחלף	9.33	ציור
9-51	מחלפים סיבוביים (דו-קומתיים)	9.34	ציור
9-53	הגדרת המרכיבים בכבישים מאספים-מחלקים	9.35	ציור
9-55	יישומי כבישים מאספים-מחלקים	9.36	ציור
9-58	שימוש בכביש מאסף-מחלק בתחומי מחלף, ליצירת יציאה יחידה ומניעת השתזרויות	9.37	ציור
9-60	מידות אופייניות לרמפות-מעבר	9.38	ציור
9-60	איזון נתיבים ברמפות-מעבר	9.39	ציור
9-61	הפרדה מפלסית בין רמפות-מעבר באמצעות רמפות שזורות	9.40	ציור
9-61	דרכי-שירות (דו-סיטריות)	9.41	ציור

פרק 10 – מתקני דרך במחלפים

10-6	תחנות בדרך ממוחלפת במפלס הדרך : במפרץ-הסעה מופרד או בכביש-שירות מעבר לשול	10.1	ציור
10-6	מפרץ תח"צ הנשען על כביש מאסף-מחלק במחלף עלה-תלתן חלקי חד-צדדי	10.2	ציור
10-8	התאמת מחלף עלה-תלתן חלקי A-4 לתחנות אוטובוס לקווי הדרך הממוחלפת	10.3	ציור
10-8	אפשרויות למיקום תחנות לאוטובוסים הממשיכים בדרך הממוחלפת, ברמפות במחלף יהלום	10.4	ציור
10-9	מיקום התחנות של קווי הדרך המשנית על הגשר במחלף עלה-תלתן חלקי A-4 (פעילות תח"צ מועטה)	10.5	ציור
10-10	שתי דוגמאות למיקום מסופי תח"צ במחלף יהלום צר	10.6	ציור
10-12	דוגמה למסוף תח"צ הנשען על הרמפות במחלף תלתן חלקי A-4	10.7	ציור
10-13	שתי אפשרויות למיקום מסופי תח"צ במחלפי יהלום מפוצלים עם דרכי-שירות	10.8	ציור

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פרק 1

מבוא

תוכן עניינים

1-1	כללי	1.1
1-1	מטרות ההנחיות	1.2
1-2	מבנה ההנחיות	1.3
1-3	תחולת ההנחיות ותקפותן	1.4

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פרק 1

מבוא

1.1 כללי

אוגדן זה, האחרון בסדרה בת שלושה אוגדנים, מכיל הנחיות לתכן גיאומטרי של מחלפים בדרכים בין-עירוניות, ולתכן מרכיביהם השונים. האוגדנים הקודמים עוסקים בתכן הגיאומטרי של התוואי (I) ובתכן צמתים (II).

התשתית התחבורתית הבין-עירונית היא בעלת חשיבות ראשונה במעלה בקיום הפעילות הכלכלית והחברתית במשק. הקצב המהיר של עליית רמת המינוע ושל הפיתוח המשקי מחייבים תכנון נאות של תשתית זו, כך שתענה הן לצורכי הניידות והנגישות, הנוחות, בטיחות המשתמשים בדרך, ויעילות התפעול השוטף, והן לדרישות סביבתיות ולשמירה על עקרונות כלכליים. ההנחיות המובאות להלן ניבנו כך, שימלאו במידת האפשר את הדרישות הללו.

מחלפים הם בין המרכיבים ההנדסיים המורכבים ביותר ברשתות הדרכים, והם מחייבים השקעה כלכלית ניכרת, ושטחים נרחבים יותר מהצמתים אותם הם מחליפים. יחד עם זאת, מחלפים הם שלב הכרחי בהתפתחות של רשת תחבורתית מתקדמת ויעילה, והשפעתם רבה על העלאת רמת הבטיחות, קיצור זמני הנסיעה, הקטנת העיכובים והעלאת רמת-השירות של המשתמשים בדרך, ועל קיבולת הרשת כולה.

הצורך בהנחיות לתכן מחלפים נובע מהמורכבות הגיאומטרית שלהם, ממגוון סוגי המחלפים הקיימים, ומהידע המועט, באופן יחסי, הקיים בנושא זה בישראל. אומנם, בשל מגוון התנאים המשפיעים על תכן המחלף, אין שני מחלפים זהים, אולם ניתן לשייך כמעט כל מחלף לתצורה העקרונית המתאימה לו ביותר מבחינת שיקולי התכן.

הנחיות אלה מבוססות על ההנחיות המעודכנות ביותר ממדינות בהן קיימות הנחיות מסוג זה, ועל המחקרים החדשים ביותר בארץ ובעולם, אשר עסקו בנושאים המובאים בהן. הסטנדרטים שאומצו בהנחיות אלה, מבוססים על ניתוח קריטריונים המתאימים לתנאי הארץ, ועל הניסיון שנצבר בארץ.

1.2 מטרות ההנחיות

מטרתן העיקרית של הנחיות בנושא תכן דרכים היא השגת אחידות בתכנון באמצעות קביעת ערכים מנחים. ההנחיות מציגות בפני המתכנן את האפשרויות העומדות בפניו. יחד עם זאת, אין ההנחיות מיועדות להגביל את מחשבות המתכנן, אלא להגדיר לו מסגרת מחד, ולהרחיב את אופקו מאידך, כדי לסייע בידיו להתמודד עם בעיות שאינן סטנדרטיות.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

- מטרת ההנחיות לתכן מחלפים היא ליצור למתכנן מסגרת מנחה בתחומים הבאים:
- מסגרת לקיום תהליך תכנון מסודר, שבעזרתו ניתן יהיה לשחזר את התהליך ולעמוד על ההחלטות שהתקבלו על-ידי המתכנן לאורך שלבי התכנון השונים.
 - מסגרת להבחנה בין סוגי המחלפים – מתוך הבנה שמחלף מסוים המתאים למפגש דרכים אחד, יכול להיות בלתי מתאים למפגש דרכים אחר.
 - יצירת מערכת מומלצת של עקרונות ופרטי תכן של מרכיבי המחלף, אשר יתאימו ליצירת המחלף הכולל לפי התפישה התכנונית שהתגבשה.
- מאחר שמחלפים רבים כוללים בתוכם גם צמתים, מופנה המתכנן, בשלבים המתאימים, לעקרונות ולפרטי התכן שהוצגו בכרך הקודם, המוקדש לצמתים.

1.3 מבנה ההנחיות

- כרך זה של ההנחיות מורכב משלושה חלקים עיקריים:
- החלק הראשון (פרקים 2 עד 4), כולל הגדרות ומושגים עיקריים בתכן מחלפים, עיקרי תהליך התכן של מחלפים, פרוט הסוגים השונים והתצורות העקרוניות, השיקולים המנחים וההצדקים בתהליך התכן ובבחירת המחלף המתאים.
- החלק השני (פרקים 5 עד 8), מפרט נושאים שונים בתכן הגיאומטרי והתפעולי של מחלפים ומרכיבי המחלף.
- החלק השלישי (פרקים 9 ו-10), מפרט את המאפיינים הייחודיים לכל תצורה, מבין הסוגים והצורות השונים של המחלפים, המקובלים במערכת הבין-עירונית, וכן את אופן היישום של המרכיבים השונים שפורטו בפרקים הקודמים לקבלת המחלף השלם. כמו-כן, נכללים בחלק זה עקרונות לשילוב תחבורה ציבורית במחלפים.
- בהמשך יתווסף פרק 11, המתייחס לתאורה במחלפים.
- אופי ההנחיות הוא יישומי, כאשר כל פרק כולל: רקע כללי; הגדרת המושגים והמונחים; הסבר תמציתי של השיקולים וההנחות שביסודן של ההנחיות שבפרק; הצדקים, המלצות והנחיות לתכן; טבלאות לערכי תכן ושרטוטים מתאימים.
- תהליך התכן של מחלפים מחייב שילוב ההנחיות מהפרקים השונים למיקשה אחת. להלן פרוט הפרקים המרכיבים את ההנחיות:
- פרק 1 – מבוא (הפרק הנוכחי).**
- פרק 2 – הגדרות ומושגים כלליים בתכן מחלפים:** הגדרות ומושגים בסיסיים; מרכיבי המחלף; סיווג בסיסי של מחלפים.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

- פרק 3 – עקרונות ושיקולים בתכן מחלפים:** יתרונות והצדקים למחלף; פרוט תהליך התכן ושלביו; נתוני הרקע לתכן; עקרונות תכן ושיקולים מערכתיים; שיקולים בקביעת המפלסים היחסיים; מרחקים בין מחלפים.
- פרק 4 – סוגי מחלפים ויישומם במערכת:** התצורות העיקריות של מחלפי-מערכת ומחלפי-גישה בני שלוש או ארבע זרועות; יתרונות וחסרונות מובהקים לכל תצורה; השוואות עקרוניות ושיקולים לבחירה.
- פרק 5 – רמפות:** הצורות השונות של רמפות; עקרונות התכן הגיאומטרי של התוואי האופקי ושל התוואי האנכי ברמפות, דהיינו: רדיוסים, הגבהות, חתכי-רוחב, מעברי שיפועים ועקומי מעבר, שיפועים לאורך ועקומים אנכיים.
- פרק 6 – מחברי רמפות לזרימה (שוטפת):** עקרונות התכן הגיאומטרי של מחברי יציאה וכניסה חד-נתיביים ודו-נתיביים – צורות וערכי-תכן, לרבות מרכיבי ההאטה וההאצה; מעברי שיפועים במחברים.
- פרק 7 – מאפייני תפעול במחלפים:** עקרונות הניתוב במחלפים וברמפות; מרווחים בין רמפות; קיבולת של רמפות; תהליך החישוב של קיבולת ורמת-שירות במחברי-רמפה.
- פרק 8 – השתזרויות במחלפים:** הטיפול בהשתזרויות בתוך מחלפים ובין מחלפים; תהליך החישוב לרמת-שירות באזורי השתזרויות.
- פרק 9 – תצורות מחלפים שונות – מרכיבי תכן ייחודיים:** פרוט הסוגים השונים של המחלפים המיועדים לשימוש ברשת הבין-עירונית; מאפייני-התכן הייחודיים לכל תצורה בגרסאותיה השונות; שילוב מרכיבי התכן מהפרקים הקודמים לקבלת צורות מגוונות של מחלפי-מערכת ומחלפי-גישה; כבישים מאספים-מחלקים ושירות בתחומי מחלפים ובין מחלפים.
- פרק 10 – מתקני דרך במחלפים:** שיקולים עקרוניים בשילוב מרכיבים נוספים הדרושים להשלמת המערך הגיאומטרי והתפעולי בצומת – תחנות אוטובוסים ותחנות הסעה; הולכי-רגל; אביזרים ומתקנים; תמרור ושילוט.
- פרק 11 – תאורה:** ישולב בהנחיות בהמשך. לנושאי הניקוז הרלוונטיים, ראה פרק 10 בכרך I של הנחיות אלה.

1.4 תחולת ההנחיות ותקפותן

ההנחיות תיכנסנה לתוקף מיד עם פרסומן. הנחיות אלה נועדו בראש וראשונה לתכן מחלפים חדשים, ויש ליישמן גם כאשר מתכננים שיפורים במחלפים קיימים. ההנחיות מקיפות את המקרים השכיחים והצפויים בתכן מחלפים, אולם ייתכנו מצבים חריגים ואילוצים אשר יחייבו חריגה מן ההמלצות שבהנחיות. חריגות אלה יבוצעו רק לפי הנחיות מיוחדות של מנכ"ל מע"צ.

חשוב להדגיש, שההנחיות מציינות בדרך-כלל ערכים **מזעריים** (מינימליים) או ערכים **מירביים** (מקסימליים) לתכן המרכיבים השונים, ואין לראות בכך המלצה למתכנן להיצמד לערכים קיצוניים אלה. יש לשאוף תמיד לתכנון מאוזן המשתמש בערכים המיטביים לתנאים הנתונים. על המתכנן לבדוק

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

- פרק 3 – עקרונות ושיקולים בתכן מחלפים:** יתרונות והצדקים למחלף; פרוט תהליך התכן ושלביו; נתוני הרקע לתכן; עקרונות תכן ושיקולים מערכתיים; שיקולים בקביעת המפלסים היחסיים; מרחקים בין מחלפים.
- פרק 4 – סוגי מחלפים ויישומם במערכת:** התצורות העיקריות של מחלפי-מערכת ומחלפי-גישה בני שלוש או ארבע זרועות; יתרונות וחסרונות מובהקים לכל תצורה; השוואות עקרוניות ושיקולים לבחירה.
- פרק 5 – רמפות:** הצורות השונות של רמפות; עקרונות התכן הגיאומטרי של התוואי האופקי ושל התוואי האנכי ברמפות, דהיינו: רדיוסים, הגבהות, חתכי-רוחב, מעברי שיפועים ועקומי מעבר, שיפועים לאורך ועקומים אנכיים.
- פרק 6 – מחברי רמפות לזרימה (שוטפת):** עקרונות התכן הגיאומטרי של מחברי יציאה וכניסה חד-נתיביים ודו-נתיביים – צורות וערכי-תכן, לרבות מרכיבי ההאטה וההאצה; מעברי שיפועים במחברים.
- פרק 7 – מאפייני תפעול במחלפים:** עקרונות הניתוב במחלפים וברמפות; מרווחים בין רמפות; קיבולת של רמפות; תהליך החישוב של קיבולת ורמת-שירות במחברי-רמפה.
- פרק 8 – השתזרויות במחלפים:** הטיפול בהשתזרויות בתוך מחלפים ובין מחלפים; תהליך החישוב לרמת-שירות באזורי השתזרויות.
- פרק 9 – תצורות מחלפים שונות – מרכיבי תכן ייחודיים:** פרוט הסוגים השונים של המחלפים המיועדים לשימוש ברשת הבין-עירונית; מאפייני-התכן הייחודיים לכל תצורה בגרסאותיה השונות; שילוב מרכיבי התכן מהפרקים הקודמים לקבלת צורות מגוונות של מחלפי-מערכת ומחלפי-גישה; כבישים מאספים-מחלקים ושירות בתחומי מחלפים ובין מחלפים.
- פרק 10 – מתקני דרך במחלפים:** שיקולים עקרוניים בשילוב מרכיבים נוספים הדרושים להשלמת המערך הגיאומטרי והתפעולי בצומת – תחנות אוטובוסים ותחנות הסעה; הולכי-רגל; אביזרים ומתקנים; תמרור ושילוט.
- פרק 11 – תאורה:** ישולב בהנחיות בהמשך. לנושאי הניקוז הרלוונטיים, ראה פרק 10 בכרך I של הנחיות אלה.

1.4 תחולת ההנחיות ותקפותן

ההנחיות תיכנסנה לתוקף מיד עם פרסומן. הנחיות אלה נועדו בראש וראשונה לתכן מחלפים חדשים, ויש ליישמן גם כאשר מתכננים שיפורים במחלפים קיימים. ההנחיות מקיפות את המקרים השכיחים והצפויים בתכן מחלפים, אולם ייתכנו מצבים חריגים ואילוצים אשר יחייבו חריגה מן ההמלצות שבהנחיות. חריגות אלה יבוצעו רק לפי הנחיות מיוחדות של מנכ"ל מע"צ.

חשוב להדגיש, שההנחיות מציינות בדרך-כלל ערכים מזעריים (מינימליים) או ערכים מירביים (מקסימליים) לתכן המרכיבים השונים, ואין לראות בכך המלצה למתכנן להיצמד לערכים קיצוניים אלה. יש לשאוף תמיד לתכנון מאוזן המשתמש בערכים המיטביים לתנאים הנתונים. על המתכנן לבדוק

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

היטב את כל החלופות האפשריות. מצד שני יש לזכור, כי הנחיות אינן מסוגלות לצפות את כל התנאים האפשריים, ולכן הן בגדר המלצות, ואינן מהוות תקן או חוק.

מבנה ההנחיות מאפשר עדכון מעת לעת לפי הצורך, בהתאם לניסיון הנרכש עם הזמן ובהתאם למדיניות הנקבעת על-ידי מע"צ, והמהדורה העדכנית של ההנחיות היא המחייבת את המתכנן.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פרק 2

הגדרות ומושגים כלליים בתכן מחלפים

תוכן עניינים

2-1	מחלף ומיפרד	2.1
2-1	2.1.1 מחלף ודרכים ממוחלפות – הגדרה ועקרונות תפעול	
2-2	2.1.2 מיפרד – הגדרה ומאפיינים	
2-2	מרכיבי המחלף	2.2
2-2	2.2.1 מרכיבים בסיסיים	
2-2	2.2.2 רמפות (כבשים)	
2-5	2.2.3 מחברי רמפה	
2-5	2.2.4 כבישים מאספים-מחלקים	
2-5	2.2.5 דרכי (כבישי) שירות	
2-8	סיווג פניות ורמפות	2.3
2-8	2.3.1 סוגי הפניות באמצעות הרמפה	
2-8	2.3.2 סוגי רמפות	
2-10.....	סיווג מחלפים	2.4
2-10	2.4.1 קריטריונים לסיווג	
2-10	2.4.2 מספר הזרועות במחלף	
2-12	2.4.3 חלקיות המחלף	
2-12	2.4.4 סיווג תפקודי	
2-12	2.4.5 תצורות בסיסיות של מחלפים	

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פרק 2

הגדרות ומושגים כלליים בתכן מחלפים

2.1 מחלף ומיפרד

2.1.1 מחלף ודרכים ממוחלפות – הגדרה ועקרונות תפעול

המחלף (Interchange) הוא מתקן המסדיר פגישת דרכים בשני מפלסים או יותר, ושב המעבר מדרך לדרך הוא רק באמצעות רמפות (Ramps). המחלף מאפשר תנועה שוטפת באזור הפגישה, והוא האפשרות היחידה למעבר בין דרך מסויגת-גישה לחלוטין (בעלת בקרת-גישות מלאה) לבין דרכים אחרות. כן עשוי המחלף לשמש לאחדים מהמפגשים לאורך דרכים מסויגות-גישה באופן חלקי (בעלות בקרת-גישות חלקית).

(דרך מסויגת-גישה היא דרך בה נהוגה בקרת-גישות מלאה או חלקית, כמפורט בסעיף 3.5.2 בכרך II של הנחיות אלה. דרך מסויגת-גישה לחלוטין תיקרא בכרך זה של הנחיות גם "דרך ממוחלפת במלואה", ואילו דרך מסויגת-גישה באופן חלקי תיקרא "דרך ממוחלפת בחלקה").

העקרונות של תפעול מחלפים ודרכים ממוחלפות הם:

- א. הפרדת תנועות נוגדות בקומות – התנועות החוצות את הדרך הממוחלפת מתנהלות במישורים נפרדים, כלומר, מעל הדרך הממוחלפת או מתחתיה.
- ב. כל היציאות מהדרך הממוחלפת וכל הכניסות אליה מתבצעות בנתיבים לשינוי מהירות, שמטרתם להקטין את המהירויות היחסיות בין כלי-הרכב בניגודים של היפרדות והתמזגות (ראה הגדרת מהירות יחסית בסעיף 2.2.4 בכרך II של הנחיות אלה).
- ג. בתחום דרך ממוחלפת במלואה אין תנועות היוצרות ניגודי היחטכות.
- ד. בדרך ממוחלפת בחלקה, אפשריות גם יציאות וכניסות באמצעות צמתים במפלס אחד, על כל צורותיהם הגיאומטריות.

בהתאם לעקרונות אלה, כל הכניסות והיציאות בדרך מהירה תהיינה רק באמצעות מחלפים. בדרכים ראשיות, וכן בדרכים אזוריות דו-מסלוליות, יהיו המחלפים תחליף לאחדים מהצמתים. המחלף מבטא העדפה מוחלטת לשיקולי הניידות על-פני שיקולי הנגישות. הוא מהווה שיפור משמעותי מבחינה תעבורתית ובטיחותית, ביחס לצומת במפלס אחד, באשר הוא מבטל לחלוטין את ניגודי ההיחטכות בדרך הממוחלפת, וממיר אותם בניגודי היפרדות, התמזגות והשתזרות, שהסיכון בהם נמוך יותר (ראה הגדרת התנועות והניגודים בסעיף 2.2.3 בכרך II של הנחיות אלה). בנוסף, מבטל המחלף את מגבלות הקיבולת האופייניות לצומת, וממתן את העיכובים, לפחות בחלק מהדרכים הנפגשות.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

הגדרת המחלף בתקנות התעבורה: "מפגש דרכים במפלסים שונים הכולל את הדרכים המחברות בין המפגש".

2.1.2 מיפרד – הגדרה ומאפיינים

המיפרד (Grade separation) הוא הצטלבות דרכים במפלסים שונים, ללא אפשרות מעבר מדרך לדרך. ייתכן גם מיפרד בין דרך לבין מסילת ברזל. המיפרד נוצר כאשר דרך מסויגת-גישה חוצה דרך אחרת, ואין הצדק למעבר של תנועה בין הדרכים במקום זה, כמפורט בסעיף 3.1 בהמשך ההנחיות, ולכן נוצר מעבר עילי או מעבר תחת, ללא רמפות מקשרות. ההבדל בין מחלף למיפרד מוצג בציור 2.1.

2.2 מרכיבי המחלף

2.2.1 מרכיבים בסיסיים

המרכיבים הבסיסיים של מחלף, המוצגים בציור 2.2, הם:

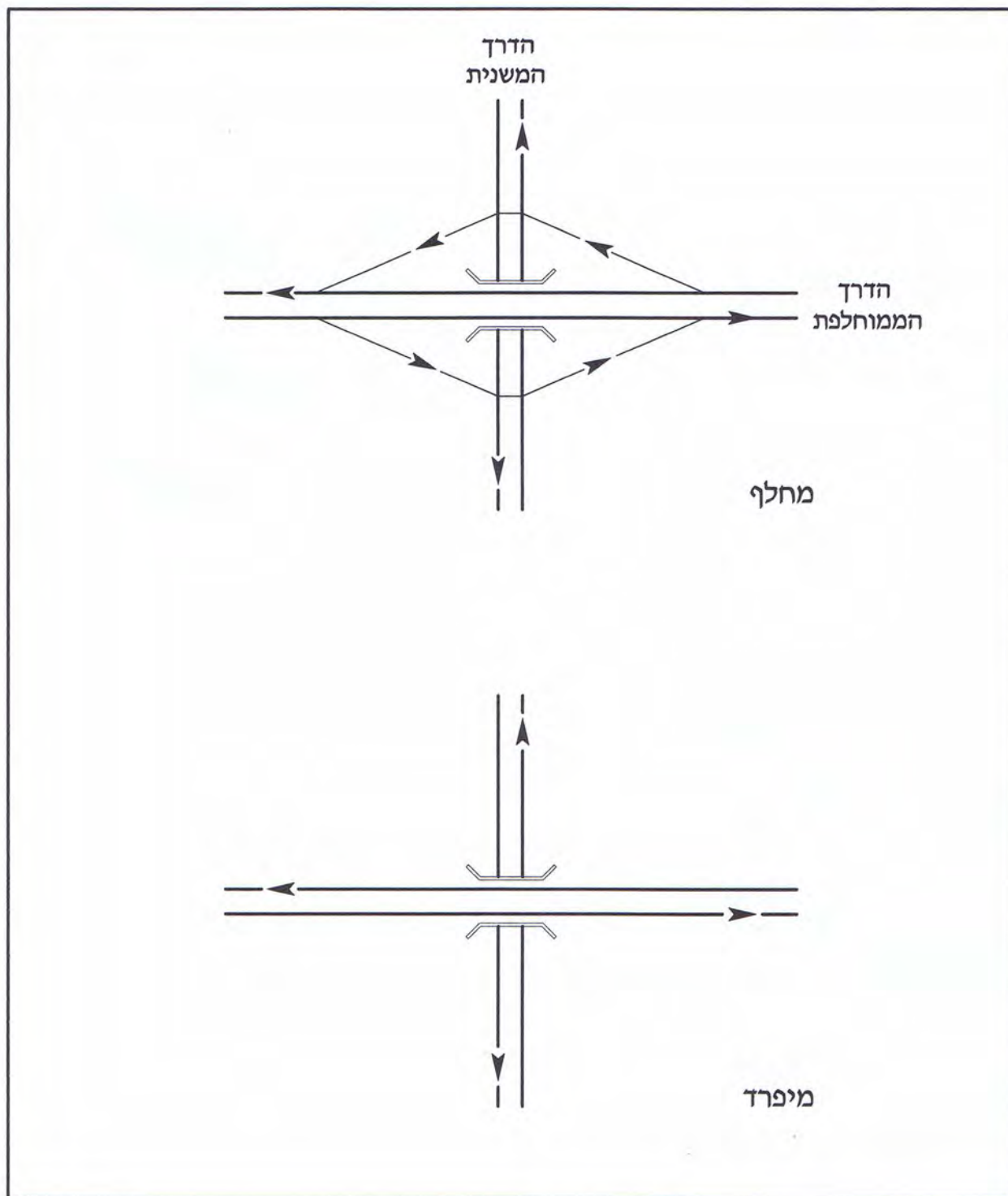
- א. דרך מסויגת-גישה (הדרך הממוחלפת או העיקרית).
- ב. הדרך המשנית הנפגשת עם הדרך הממוחלפת.
- ג. גשרים.
- ד. רמפות (כבשים) – פרוט בסעיף 2.2.2.
- ה. מחברי הרמפה, לרבות הנתיבים לשינוי-מהירות ונתיבי-העזר, ולרבות צמתים בחלק מהמקרים – פרוט בסעיף 2.2.3.
- ו. כבישים מאספים-מחלקים – פרוט בסעיף 2.2.4.
- ז. דרכי-שירות – פרוט בסעיף 2.2.5.

יש לציין, כי חמשת המרכיבים הראשונים נכללים בכל מחלף. שני האחרונים אינם נכללים בהכרח בכל מחלף.

2.2.2 רמפות (כבשים)

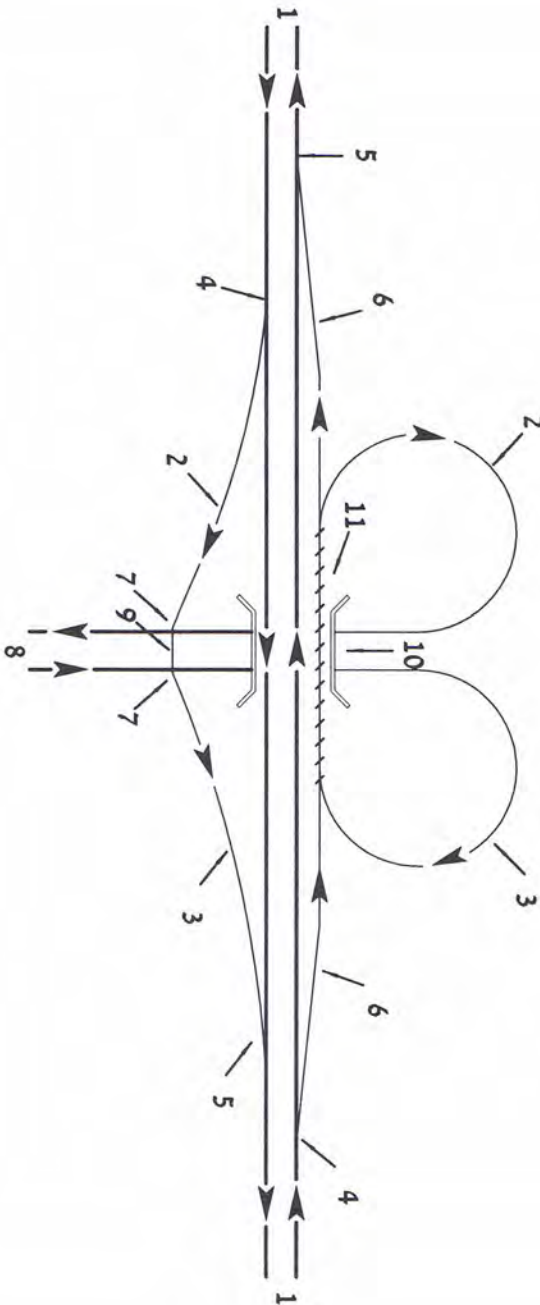
הרמפות (Ramps) הם מערכת החיבורים המשמשים למעבר כלי-רכב בין שתי דרכים המצויות באותו מחלף, ברום שונה. לרמפות צורות גיאומטריות שונות, וכתוצאה משילוב הצורות מתקבל המבנה העקרוני של המחלף, כמפורט בהמשך הפרק. מבנה הרמפה הוא תפנית-דרך המצויה בין שני מחברים: מחבר היציאה (מהדרך האחת) ומחבר הכניסה (לדרך האחרת), כמתואר בציור 2.3 (בהנחיות אלה לא ייעשה שימוש במונח "כבש" שהוא התרגום המילוני ל"רמפה").

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 2.1 ההבדל בין מחלף למיפרד

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



1	הדרך הממוחלפת/הדרך העיקרית	6	כביש מאסף - מחלק (בתחומי המחלף)
2	רמפות יציאה מהדרך הממוחלפת	7	מחברי הרמפה בדרך המשנית
3	רמפות כניסה לדרך הממוחלפת	8	הדרך המשנית
4	מחברי יציאה מהדרך הממוחלפת	9	צומת (חד - מפלסי)
5	מחברי כניסה לדרך הממוחלפת	10	גשר
		11	קטע השתרזרות (בכביש מאסף-מחלק)

מרכיבי המחלף ומקרא לסימונם בהנחיות

ציור 2.2

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

2.2.3 מחברי רמפה

מחבר-הרמפה (Ramp terminal) הוא אזור החיבור של הרמפה, בכל אחד מקצותיה, לדרכים העוברות, לשם יציאה מהן וכניסה אליהן, כמתואר בציור 2.3 (המונח "מחבר" מחליף בהנחיות אלה את המונח "מסוף" שהיה רווח עד כה). מחבר-הרמפה כולל את הנתיבים לשינוי מהירות, את הלוכסנים ואת איי-התנועה. קיימים שני סוגים עקרוניים של מחברים, כמתואר בציור 2.4 וכמפורט להלן:

א. מחבר לזרימה (שוטפת), או מחבר-זרימה (Free-flow terminal) – מיועד לאפשר היפרדויות והתמזגויות תוך כדי זרימה במהירויות גבוהות, המתקרבות למהירויות התנועה בדרך העוברת. המחבר מתוכנן באופן שהניגודים יהיו בזוויות קטנות מאוד, ולכן המהירויות היחסיות נמוכות (ראה הגדרת מהירות יחסית בסעיף 2.2.4 בכרך II של הנחיות אלה).

מחברי זרימה מתחייבים תמיד בחיבור של רמפה לדרך ממוחלפת במלואה.

ב. מחבר לעצירה (Stop-condition, or at grade, terminal) – מיועד רק לקצה רמפה המתחבר לדרך שאיננה ממוחלפת במלואה. מחבר זה מתפקד, מבחינה הנדסית ותנועתית, כצומת. הוא עשוי להיות מרומזר, ומתכוונתו תהיה בהתאם לאחת מצורות הצמתים ורמות הבקרה המתוארים בכרך II של הנחיות אלה.

2.2.4 כבישים מאספים-מחלקים

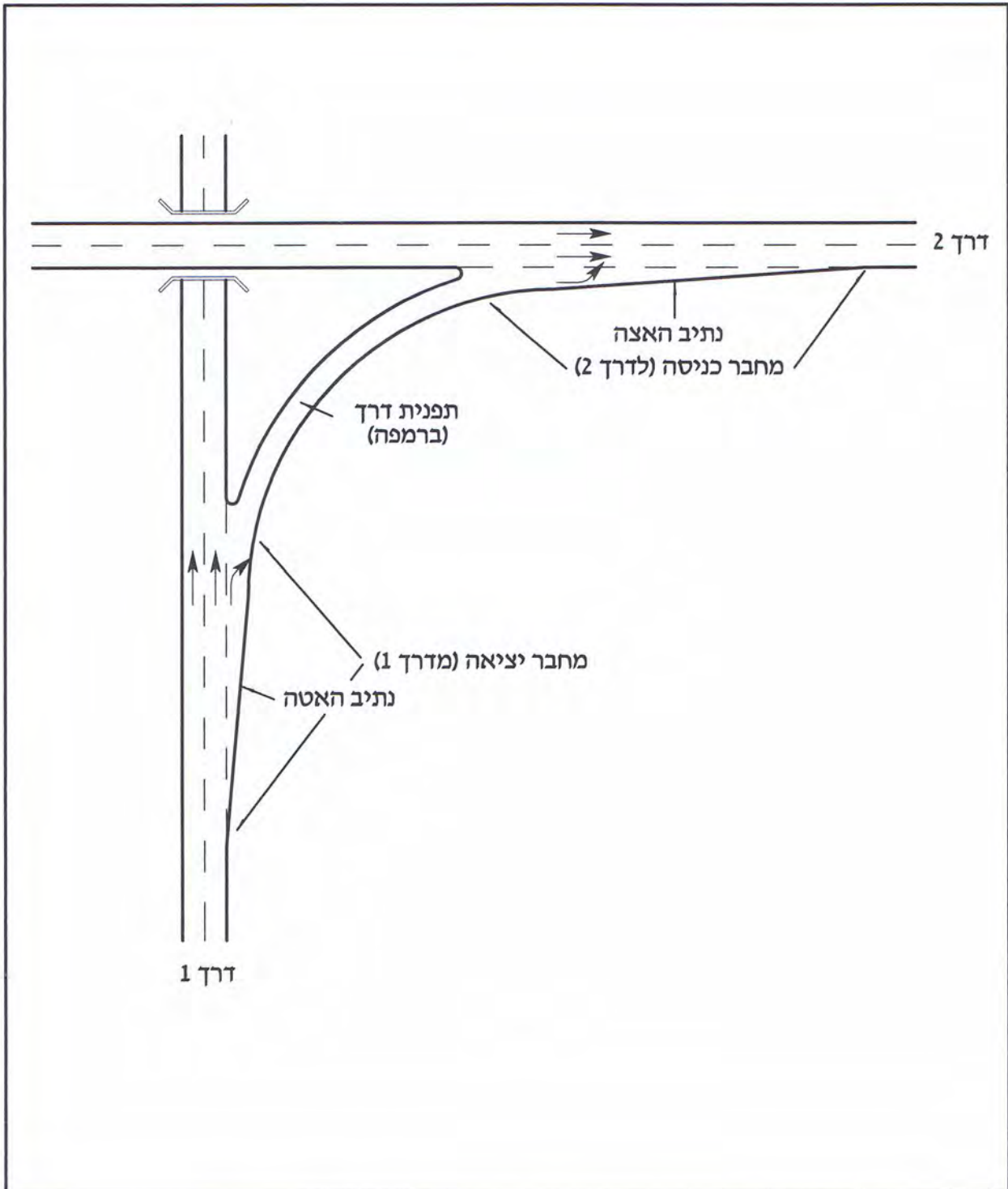
כביש מאסף-מחלק (Collector-Distributor, C-D, road) הוא כביש חד-סיטרי מסויג-גישה במלואו, העובר במקביל למסלולי הדרך הממוחלפת ומופרד מהם, בתחומי המחלף, כמתואר בציור 2.2, או בין מחלפים סמוכים, כמתואר בציור 9.36 בהמשך ההנחיות. חיבורי הכביש המאסף-מחלק אל מסלולי הדרך הממוחלפת מבוצעים באמצעות מחברי-זרימה, כמתואר בציור 2.2.

כביש זה עוזר בתפעול המחלף, ותפקידו העיקריים הם להוציא את ההשתזרויות מתוך הדרך העוברת, ולהקטין את מספר הכניסות והיציאות במחלף או בדרך הממוחלפת. מכביש מאסף-מחלק אין התחברויות לשימושי קרקע סמוכים, ואין בו צמתים במפלס אחד, אלא רק היפרדויות והתמזגויות, כדי לאפשר זרימה חופשית לאורכו. ראה פירוט נוסף בסעיף 9.8.

2.2.5 דרכי (כבישי) שירות

דרך-שירות או כביש-שירות (Service road, Frontage roadway) הינם דרך או כביש, בהתאמה, המקבילים לדרך הממוחלפת, בתחומי המחלף או בין מחלפים, כמתואר בציור 9.41 בהמשך ההנחיות. דרך-השירות מיועדת לשרת את התנועה המקומית ולרכז את הגישות לשימושי הקרקע הסמוכים, שאין לחברם ישירות לדרך מסויגת-הגישה, וכן לשימושי-קרקע ולדרכים קיימות שהגישה אליהם נותקה עקב סלילת הדרך מסויגת-הגישה. דרכי-שירות מיועדות גם לריכוז מבני-שירות, תחבורה ציבורית, תחנות הסעה וכד', שרוצים להוציאן מהדרך הממוחלפת. ההתחברויות לדרך השירות מבוצעות כהסתעפויות

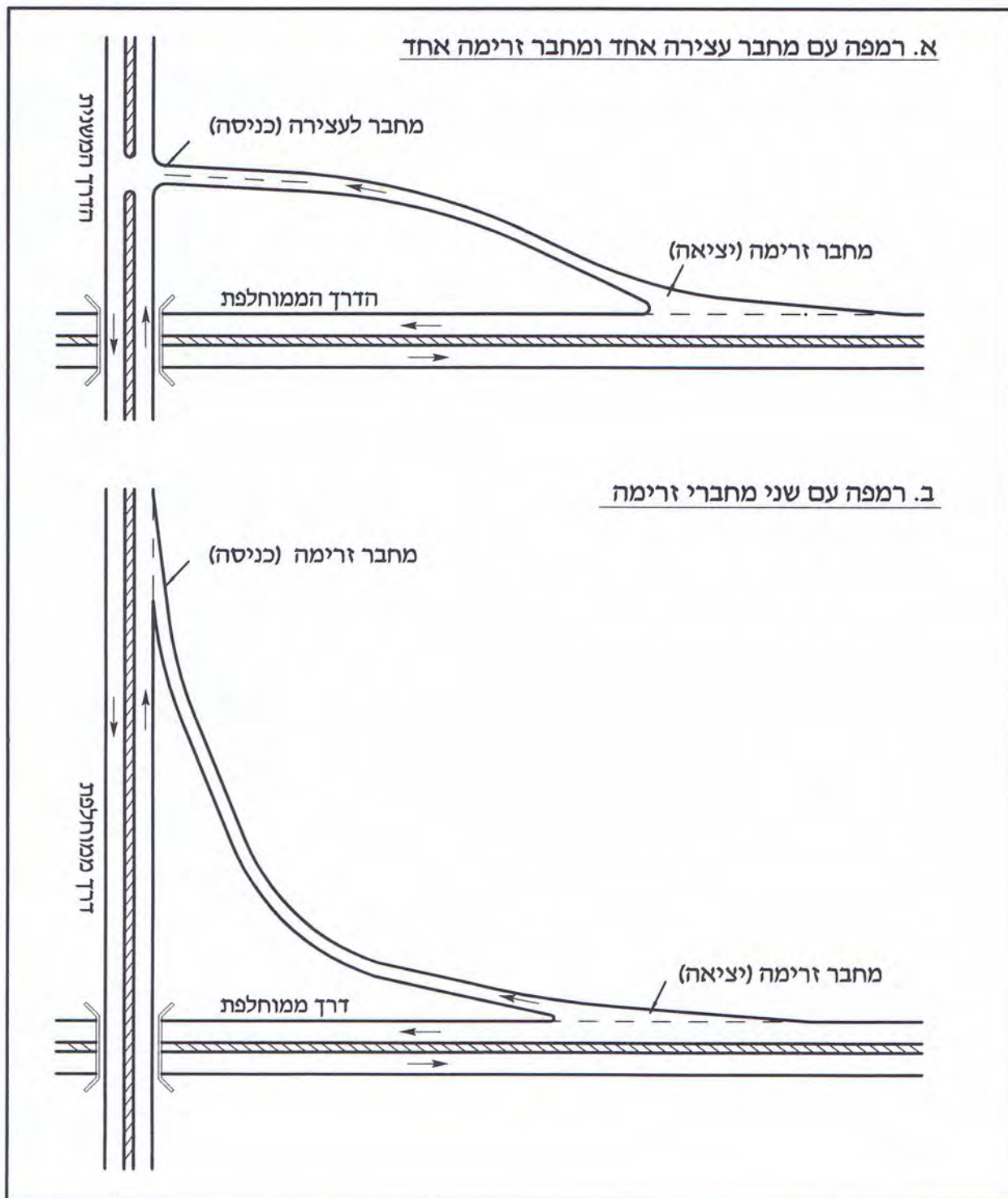
הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



מרכיבי הרמפה

ציור 2.3

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



שני סוגי מחברי הרמפה ויישומם ברמפות

ציור 2.4

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

והתמזגויות מהרמפות במחלפים, וכן בצמתים במפלס אחד עם הדרכים הנפגשות, אם אלה אינן ממוחלפות במלואן. דרכי-השירות מתוכננות למהירויות נסיעה נמוכות מהכבישים המאספים-מחלקים. כבישי-שירות יהיו בדרך-כלל חד-סיטריים, ואילו דרכי-שירות עשויות להיות חד-סיטריות או דו-סיטריות, בהתאם לפתרון המערכתי הכולל של המחלפים. ראה פירוט נוסף בסעיף 9.9.

2.3 סיווג פניות ורמפות

2.3.1 סוגי הפניות באמצעות הרמפה

חלק מהאפיון של המחלף נקבע בהתאם לאופן החיבור בין הדרכים באמצעות הרמפות לשם ביצוע הפניות ימינה ושמאלה. קיימים שלושה סוגי פניות, המוגדרים לפי השילוב בין אופן היציאה מהדרך האחת ואופן הכניסה לדרך השניה, כמפורט להלן, וכמתואר בציור 2.5:

א. פנייה ישירה (Direct turn) – חיבור שמבוצע ישירות בכיוון הנסיעה המיועד: הן היציאה מהדרך האחת (במחבר הראשון), והן הכניסה לדרך האחרת (במחבר השני), מבוצעות מהצד התואם את כיוון הנסיעה לאחר הפנייה (דהיינו, יציאה ימינה וכניסה מימין לשם נסיעה ימינה, או יציאה שמאלה וכניסה משמאל לשם נסיעה שמאלה).

הפנייה הישירה שמאלה אינה מומלצת מבחינה בטיחותית, ולכן סוגי הרמפות המבוססות עליה אינם מקובלים בתכנון, כמפורט בהמשך ההנחיות.

ב. פנייה ישירה-למחצה (Semidirect turn) – חיבור הסוטה מעט מכיוון הנסיעה המיועד. ייתכנו שני מקרים:

- 1) כיוון היציאה מהדרך האחת במחבר הראשון הפוך מכיוון הכניסה לדרך האחרת במחבר השני.
- 2) היציאה והכניסה מבוצעות בשני מחברי-זרימה, המצויים בצד המנוגד לפנייה, אך הנסיעה לאורך הרמפה בין המחברים היא בכיוון הנסיעה המיועד.

ג. פנייה עקיפה (Indirect turn) – הן כיווני היציאה והכניסה בשני המחברים, והן כיוון הנסיעה ביניהם, מנוגדים לכיוון הנסיעה הסופי, כך ששינוי כיוון של 90° מחייב נסיעה של 270° בכיוון הנגדי (דהיינו, הפנייה שמאלה מבוצעת באמצעות יציאה ימינה, נסיעה בלולאה מלאה ימינה, וכניסה לדרך השנייה מימין).

לכל אחד מסוגי הפניות אפשריים צירופים שונים של מחברי עצירה ומחברי זרימה, כמתואר בציור 2.5.

2.3.2 סוגי רמפות

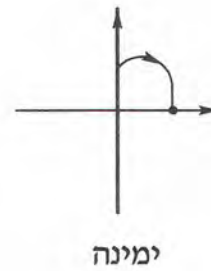
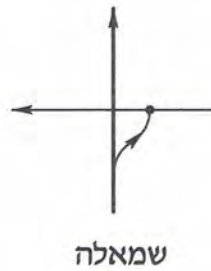
הסוגים הבסיסיים של רמפות מפורטים להלן ומתוארים בציור 2.6:

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

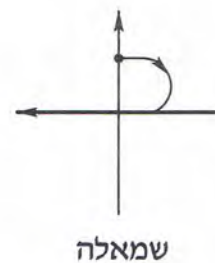
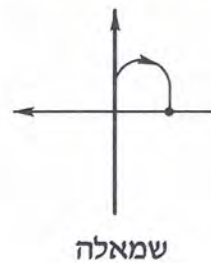
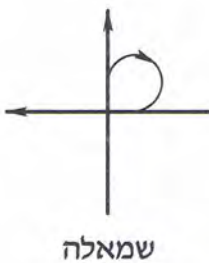
פניות ישירות



פניות ישירות למחצה



פניות עקיפות



רמפה
מחבר לעצירה
מחבר זרימה



מקרא:
דרך ממוחלפת
דרך משנית

הגדרת סוגי הפניות המבוצעות ברמפות ציור 2.5

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

- א. **רמפה אלכסונית** (Diagonal) – רמפה ברביע אחד של המחלף, שבאחד מקצותיה ייתכן מחבר לעצירה. רמפה זו מיועדת לפנייה ישירה ימינה, וכן לפנייה ישירה-למחצה שמאלה לדרך שאינה ממוחלפת. רמפה זו אינה מצריכה גישור.
- ב. **לולאה** (Loop) – רמפה בת 270° ברביע אחד של המחלף, שבאחד מקצותיה ייתכן מחבר לעצירה. הלולאה מיועדת לפנייה עקיפה שמאלה בין שתי דרכים, שלפחות אחת מהן ממוחלפת במלואה. כן ניתן להשתמש בה לפנייה ישירה-למחצה ימינה כאשר אחת מהדרכים אינה ממוחלפת במלואה, כתחליף לרמפה אלכסונית ברביע אחר. הלולאה מחברת בין מפלסים שונים ללא שימוש בגשר נפרד, אלא משתלבת בגשרים הקיימים במחלף לצורך ההפרדה המפלסית (השימוש בלולאה מחייב בדרך-כלל שימוש ברמפה נוספת באותו רביע במחלף, כמפורט בסעיף 5.2.1 בהמשך ההנחיות).
- ג. **רמפה חיצונית** (Outer connection) – רמפה אלכסונית ברביע אחד של המחלף, כאשר היא חיצונית ללולאה באותו רביע. רמפה זו מיועדת לפנייה ישירה ימינה, כשבשני קצותיה מחברי-זרימה, וכן לעיתים לפנייה ישירה-למחצה שמאלה באמצעות מחבר אחד לעצירה. הרמפה מחברת בין מפלסים שונים, ללא צורך בגישור.
- ד. **רמפה ישירה שמאלה** (Direct left-turn) – רמפה בה שני מחברי-זרימה, המאפשרת פנייה ישירה שמאלה בין שתי דרכים ממוחלפות. משיקולים בטיחותיים, **רמפה זו אינה מיועדת לשימוש**, מאחר שפעולות ההיפרדות וההתמזגות, ולכן ההאטה וההאצה, מבוצעות בנתיב השמאלי ביותר בשתי הדרכים.
- ה. **רמפה ישירה-למחצה שמאלה** (Semidirect left-turn) – רמפה בת 270° בה שני מחברי-זרימה, המיועדת לפנייה ישירה-למחצה שמאלה בין שתי דרכים ממוחלפות. משיקולים בטיחותיים, **רק הצורה בעלת יציאה ימינה וכניסה מימין מיועדת לשימוש**, כתחליף לרמפה ישירה שמאלה, למרות שהיא מחייבת לעיתים שימוש במספר גשרים.
- היישומים העיקריים של כל אחד מסוגי הרמפות וצורותיהם המקובלות מפורטים בסעיף 5.2 בהנחיות.

2.4 סיווג מחלפים

2.4.1 קריטריונים לסיווג

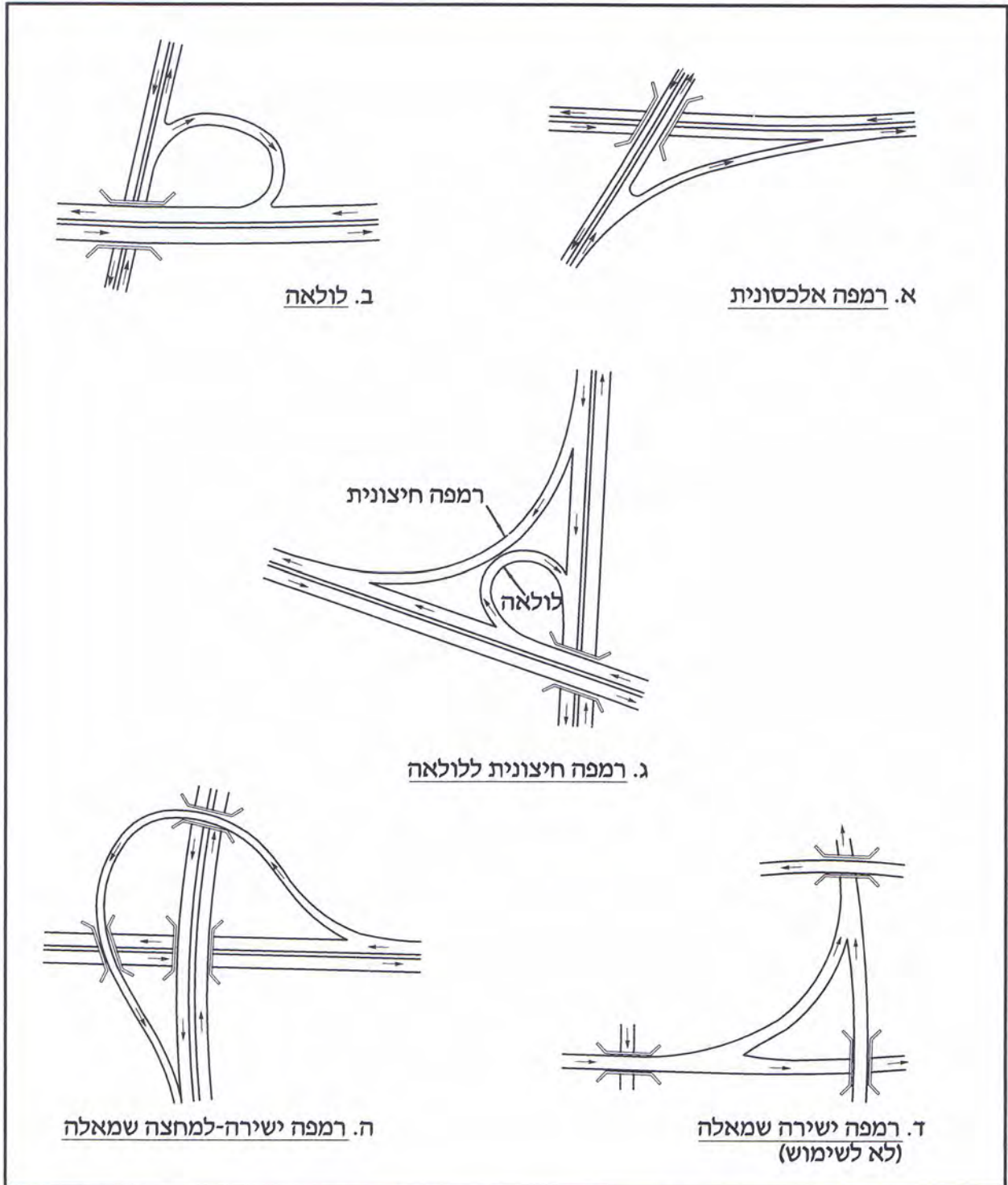
הקריטריונים המקובלים לסיווג מחלפים הם: מספר זרועותיהם, תפקודם במערכת הדרכים וחלקיותם. כל האפשרויות מפורטות להלן. שילוב האפשרויות ישמש לאפיון ולסיווג תצורות המחלפים השונות.

2.4.2 מספר הזרועות במחלף

הצורה הבסיסית של המחלף מוכתבת בראש ובראשונה על-ידי מספר זרועות הדרכים הנפגשות במחלף, כמפורט:

- א. **מחלפים בעלי שלוש זרועות:** בהם אחת מהדרכים הנפגשות מסתיימת במחלף זה.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 2.6 סוגים בסיסיים של רמפות

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

- ב. **מחלפים בעלי ארבע זרועות:** בהם שתי הדרכים המשכיות משני צידי המחלף.
- ג. **מחלפים בעלי יותר מארבע זרועות:** בהם נפגשות במחלף יותר משתי דרכים. למחלפים אלה פתרונות ייחודיים לכל מקרה לגופו, והם שילוב של צורות מהסוגים הקודמים. מחלף כזה אינו מומלץ, ויש לנקוט באמצעים שונים להקטנת מספר הזרועות הנפגשות במחלף, כמפורט בהמשך ההנחיות.

2.4.3 חלקיות המחלף

- המחלף מוגדר כחלקי או כמלא, בהתאם לתנועות שהוא מאפשר:
- א. **מחלף חלקי** (Partial interchange) – מחלף המאפשר רק חלק מן התנועות בין הזרועות.
- ב. **מחלף מלא**, או **מחלף שלם** (Full interchange) – מחלף המאפשר נסיעה מכל זרוע לכל הזרועות האחרות.

2.4.4 סיווג תפקודי

אחד הגורמים המשפיעים על צורת המחלף הוא סיווגו התפקודי במערכת הדרכים. קיימים שני סוגים עקרוניים, כמפורט להלן:

א. **מחלף-גישה** (Access, or minor, or service, interchange) – מחלף המיועד לקשר בין שתי דרכים, שלפחות אחת מהן אינה ממוחלפת במלואה. המחלף מיועד לשרת אזורים הסמוכים אליו, באפשרו להם חיבור למערכת הדרכים מסוייגות-הגישה. הדרך המשנית במחלף היא בעלת רמת בקרת גישות חלקית או מצומצמת, כך שאפשרויות התחברויות אליה באמצעות צמתים חד-מפלסיים, ולמחברי הרמפה עשוי להיות קצה אחד לעצירה. במקרה זה, מחברי הרמפה מתפקדים כזרועות הצומת, ותכנית אזור הצומת, לרבות בחירת סוג הצומת המתאים, תבוצע גם בהתאם למפורט בכרך II של הנחיות אלה, המוקדש לצמתים.

ב. **מחלף-מערכת** (System, or major, interchange) – מחלף המיועד לקשר בין שתי דרכים ממוחלפות במלואן, דהיינו – במחלף-מערכת לא יהיו צמתים באף אחת משתי הדרכים. כל מחברי-הרמפה יהיו מחברי-זרימה, והרמפות יתוכננו לנפחי תנועה גבוהים יחסית, ולמהירויות תכן גבוהות יותר מאשר הרמפות במחלפי-הגישה.

ההבדל בין הסוגים הוא בסיסי, ומשפיע על תצורת המחלף הנבחרת ועל סוגי הרמפות המתאימות, כמפורט בפרקים הבאים בהנחיות.

2.4.5 תצורות בסיסיות של מחלפים

התצורות העיקריות של המחלפים המיועדים לשימוש בישראל, מאפייניהן, תכונותיהן העיקריות וההצדקים לבחירתן, וכן תרשימים עקרוניים, מפורטים בפרק 4 בהמשך ההנחיות.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

תצורות המחלפים העיקריות, בסיווג לפי מספר הזרועות והתפקוד, הן:

א. מחלפים בני שלוש זרועות:

- 1) מחלפי-מערכת – ישירים מתצורות "T" ו-"Y" (סעיף 4.2).
- 2) מחלפי-גישה – חצוצרה, אגס, "T" עם צומת, חצי יהלום (סעיף 4.3).

ב. מחלפים בני ארבע זרועות:

- 1) מחלפי-מערכת – ישירים במלואם או בחלקם, עלה תלתן מלא (סעיף 4.4).
- 2) מחלפי-גישה – יהלום (סעיף 4.5), עלה-תלתן חלקי (סעיף 4.6), סיבובי (סעיף 4.7).

לחלק מהתצורות מספר גרסאות שונות, כאשר התצורה המדויקת של המחלף נקבעת בכל מחלף לגופו, בהתאם לשיקולי התכן, לאפשרויות ולאילוצים העומדים בפני המתכנן, כמפורט בהמשך ההנחיות.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פרק 3

שיקולים מנחים ועקרונות בתכן מחלפים

תוכן עניינים

3-1	יתרונות והצדקים לבניית מחלף.....	3.1
3-1	אפשרויות למפגש בין דרכים.....	3.1.1
3-3	יתרונות המחלף והשיקולים בהקמתו.....	3.1.2
3-3	הצדקים הנובעים מסיווג הדרכים ובקרת הגישות.....	3.1.3
3-4	הצדקים תנועתיים.....	3.1.4
3-4	הצדקים בטיחותיים.....	3.1.5
3-7	הצדקים כלכליים.....	3.1.6
3-7	הצדקים טופוגרפיים.....	3.1.7
3-7	הצדקים של המשכיות ועקביות.....	3.1.8
3-7	הצדקים של מפגש עם מסילת-ברזל.....	3.1.9
3-8	שלבי התהליך בתכן מחלף.....	3.2
3-9	נתוני רקע לתכן.....	3.3
3-9	נתוני האתר.....	3.3.1
3-10	נתוני תנועה.....	3.3.2
3-13.....	עקרונות תכן ושיקולים מערכתיים במחלפים ובדרכים ממוחלפות.....	3.4
3-13	תחומי השיקולים המנחים בתכן מחלף.....	3.4.1
3-13	תפקיד השיקולים המערכתיים בדרכים ממוחלפות.....	3.4.2
3-14	פירוט העקרונות בתכן מחלף.....	3.4.3
3-18	פירוט השיקולים המערכתיים בדרכים ממוחלפות.....	3.4.4
3-20.....	מעבר עילי או תחתי במפגש ומפלסי הדרכים.....	3.5
3-20	שיקולים עיקריים להחלטה.....	3.5.1
3-21	חלופות מפלסי הדרכים במפגש.....	3.5.2
3-21	ריכוז שיקולים לקביעת הדרכים כעליונה ותחתונה.....	3.5.3
3-23	שיקולים נוספים.....	3.5.4

המשך...

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

3-23.....	מרחקים מזעריים בין מחלפים	3.6
3-23	הקשר בין המרחקים לשאר המאפיינים	3.6.1
3-24	הגדרת סוגי הדרכים המהירות בהנחיות אלה	3.6.2
3-25	מרחקים מזעריים בין מחלפים וקריטריוני תכן נלווים	3.6.3
3-25.....	מדיניות מרחקי הראות	3.7

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פרק 3

שיקולים מנחים ועקרונות בתכן מחלפים

3.1 יתרונות והצדקים לבניית מחלף

3.1.1 אפשרויות למפגש בין דרכים

כאשר התוואי של דרך מסויגת-גישה לחלוטין נפגש עם תוואי של דרך אחרת, לא ניתן להפגישן בצומת, ולכן יש לבחור את הפתרון ההנדסי למפגש, מבין אחת מן האפשרויות המתוארות בציור 3.1:

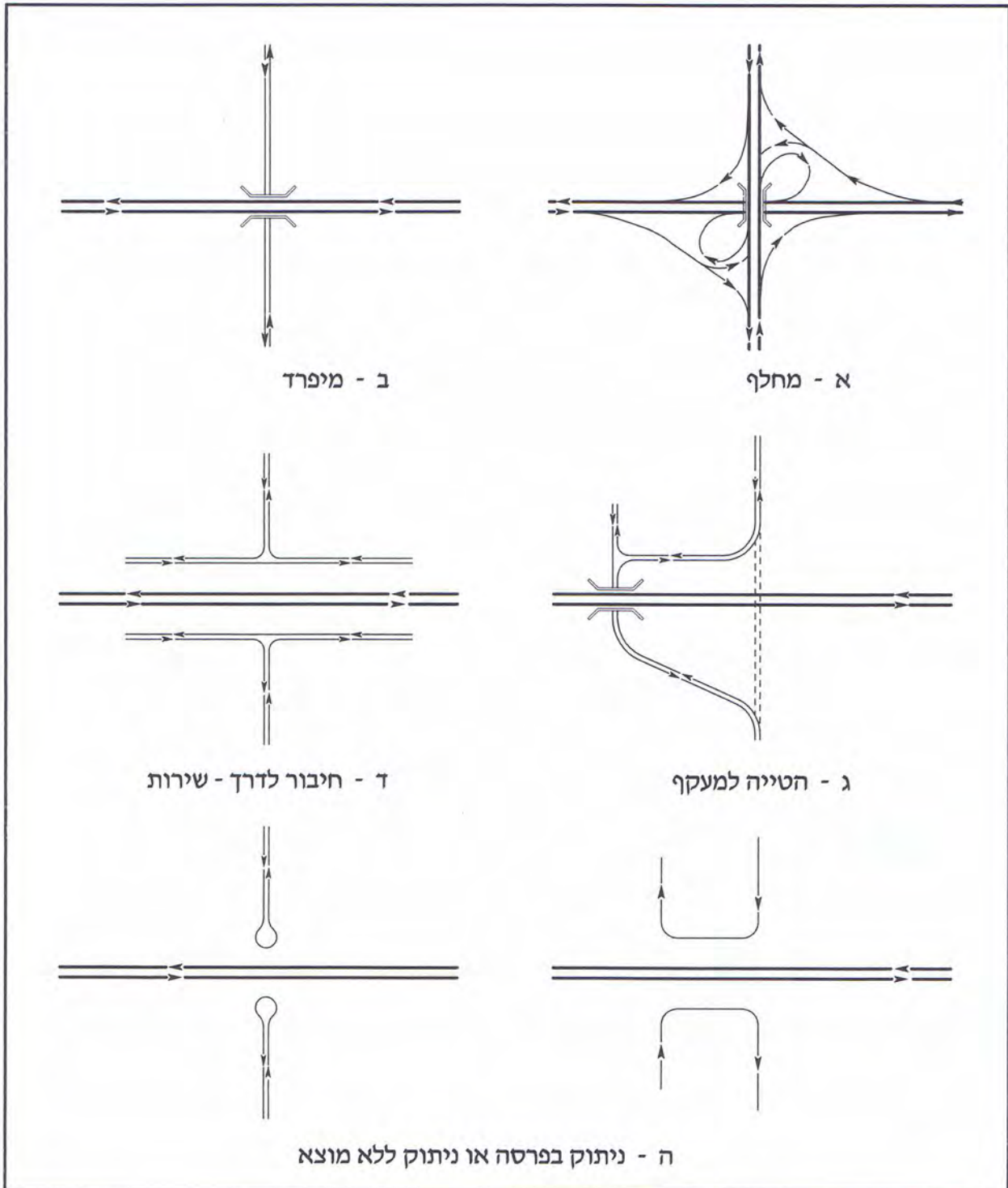
- א. בניית מחלף.
- ב. בניית מיפרד.
- ג. הטיית הדרך המשנית וחיבורה לתוואי סמוך קיים (מעקף).
- ד. חיבור הדרך המשנית לדרכי-שירות מצדי הדרך מסויגת-הגישה.
- ה. ניתוק הדרך המשנית וסיומה בצורת פניית פרסה או ללא מוצא.

רק אם שתי הדרכים אינן מסויגות-גישה לחלוטין, ניתן, בנוסף לאפשרויות לעיל, גם להפגישן בצומת.

בדרכים מהירות ובדרכים נוספות שייקבעו כממוחלפות במלואן, אין צמתים, ולכן יש לבחור בכל מפגש-דרכים בין אחת מאפשרויות א'-ה' המפורטות לעיל. כאשר הדרך המשנית חייבת להישאר המשכית, הבחירה היא בין מחלף למיפרד בלבד, בעיקר לפי השיקולים המערכתיים של נגישות והצורך בחיבורים בין הדרכים: המיפרד ייבחר כאשר קיים ביקוש משמעותי להמשכיות הדרך המשנית (כלומר, לתנועה החוצה את הדרך המועדפת), לעומת ביקוש מועט לפניות בין הדרכים, או כאשר יש הבדל גדול בסיווג הדרכים, ואין הצדק מערכתי לחיבור ביניהן, כמפורט בסעיף 3.1.3 להלן. במקרים בהם נדרש חיבור הדרך המשנית לרשת, אך חיבור ישיר לדרך הממוחלפת אינו רצוי, ניתן לבחור בין חיבור הדרך המשנית לדרך משנית אחרת, לבין חיבורה לדרכי-שירות לאורך הדרך הממוחלפת. כאשר לדרך המשנית תפקידי נגישות מקומית בלבד, היא תנותק מהדרך הממוחלפת.

כאמור, בדרכים מסויגות-גישה חלקית, אפשרית גם הבחירה בין מחלף לצומת, בהתאם לשיקולים המפורטים בסעיפים הבאים. האפשרות הסופית תיבחר משיקולים מערכתיים של נגישות וניידות ברשת הדרכים, ובהתאם להצדקים לביצוע מחלפים, כמפורט בסעיף 3.1.3 ואילך.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 3.1 הפתרונות ההנדסיים האפשריים למפגש בין דרך ממוחלפת במלואה לבין דרך אחרת

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

3.1.2 יתרונות המחלף והשיקולים בהקמתו

- המחלף הוא פתרון מעשי ויעיל למרבית הבעיות המתעוררות בצומת. היתרונות של מחלף לעומת צומת, הם:
- א. קיבולת הכיוונים המועדפים במחלף תואמת את קיבולת הדרכים המובילות אליו.
 - ב. המחלף מונע את העצירות ואת שינויי המהירות, ולכן את העיכובים, בכיוונים המועדפים, ומצמצם במידה רבה בכיוונים האחרים.
 - ג. למחלף רמה גבוהה יותר של בטיחות ונוחות לנהגים, עקב הקטנת מספר הניגודים, והפיכת ניגודי היחתכות לניגודי התמזגות והיפרדות.
 - ד. למחלף גמישות בתכנון, ואפשרות התאמה למגוון תצורות ותנאים של מפגש בין דרכים.
 - ה. המחלף מאפשר להתגבר על מגבלות טופוגרפיה ותוואי, שהיו הופכות צומת למסוכן.
 - ו. המחלף מאפשר פיתוח בשלבים, בהפרעה מזערית לתנועה.

עקב העלויות הכרוכות בהקמתו של מחלף (לרבות הגשרים, הרמפות, המדרונות, הטיפול הסביבתי והשטח הדרוש), ובאחזקתו השוטפת, הבחירה במחלף כתחליף לצומת מיועדת למקרים בהם ההוצאה הנוספת מוצדקת. כימות מדויק של התנאים וההצדקים למחלף באופן כולל הוא בלתי אפשרי, בגלל השונות הגדולה בתנאים האפשריים של דרך, סביבה ותנועה בין מפגשי הדרכים, ובשל מגוון סוגי המחלפים האפשריים. השיקולים וההצדקים ייבחנו בכל מקרה לגופו, כאשר השיקול הבסיסי להקמת המחלף הוא מיקומו של מפגש הדרכים במידרג הדרכים הכללי, מבחינת הניידות והנגישות במערכת, כמפורט בסעיף 3.1.3 להלן. לאחר בדיקת הצדק זה, הקובע אם מחלף הוא הכרחי או אפשרי, ייבדקו שאר השיקולים וההצדקים להחלטה על בחירה במחלף, אשר מבוססים על נפחי התנועה, כושר העברה ועיכובים, בטיחות (לרבות ניגודים וסיכונים), חסכון למשתמשים ולמשק, שיקולים טופוגרפיים ומכשולים טבעיים ומלאכותיים, שימושי קרקע והתפתחות עתידית, כמפורט בסעיפים 3.1.4 עד 3.1.9 בהמשך.

3.1.3 הצדקים הנובעים מסיווג הדרכים ובקרת הגישות

הקריטריון הבסיסי הקובע את הצורך בבניית המחלף הוא סיווג הדרכים הנפגשות ורמת בקרת הגישות בהן, בהתאם לעקרונות שהוצגו בסעיף 3.1.1 ולפירוט להלן:

טבלה 3.1 מפרטת את סוג המפגש המומלץ בין שתי דרכים בין-עירוניות, בהתאם למידרג (היררכיה) של הדרכים הנפגשות, כתוצאה מרמת בקרת הגישות בהן (הנובעת מהסיווג), ולפי חתך הרוחב האופייני שלהן. טבלה 3.2 מפרטת, לפי עקרונות מקבילים, את סוג המפגש המומלץ בין דרך בין-עירונית לבין רחוב עירוני הנפגש איתה. שתי הטבלאות מפרטות את הפתרונות העקרוניים למפגש בין הדרכים, כאשר מצוינים הן פתרונות המיועדים לשלב הסופי, והן פתרונות המיועדים לשלב הביניים, במקרה שהפתרונות שונים. הפתרונות המוצגים בטבלאות אלה נקבעו בעיקר משיקולי הניידות והנגישות ברשת הדרכים הכללית, וללא אילוצים או הצדקים נוספים. סוג המפגש המופיע בטבלאות 3.1 ו-3.2 לשלב הסופי, נקבע בהתאם לעקרונות המנחים את הכנת תכנית המתאר הארצית לדרכים (לשלב הפיתוח החזוי לסוף

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

תקופת היעד לתכן, והוא תואם גם את סוג המפגש, כפי שהוא מופיע בסעיף 3.5 בכרך II של הנחיות אלה, המוקדש לצמתים. במקרים בהם המחלף הוא השלב הסופי לטווח הארוך, מציגה הטבלה את האפשרויות ההנדסיות המתאימות לשלב הביניים, עד שיתקיימו שאר ההצדקים למעבר למחלף, כמפורט בסעיפים הבאים.

סוג המפגש לפי טבלאות 3.1 ו-3.2 הינו עקרוני ואינדיקטיבי בלבד, ומייצג מקרים כלליים ואופייניים. הציון של אפשרות מסוימת בטבלה אינו שולל שימוש באפשרויות אחרות, פרט לדרכים מהירות, בהן הבחירה היא בין מחלף למיפרד בלבד. בתהליך התכן מעורבים גורמים נוספים שעשויים להשפיע על היבטים שונים של סוג המפגש, לדוגמה: מחלף בין דרך מהירה לבין דרך אזורית בעלת נפח נמוך אינו רצוי (כמצוין בטבלה 3.1), אולם עשוי להיות מוצדק אם מרחקי הנסיעה הנוספים שיידרשו כדי להתחבר לדרכים אחרות, בהעדר המחלף, יהיו גדולים. הטבלאות מציגות את הדרישות המזעריות, והמתכנן נדרש לבדוק באופן מפורט את שלבי ההתפתחות הצפויים בכל מפגש לגופו, כגון: האם נדרש מחלף בשלב הפיתוח הסופי גם בצמתים בהם אין הדבר מופיע בטבלאות.

3.1.4 הצדקים תנועתיים

מגבלות הקיבולת של הצומת המרומזר הן אחד ההצדקים העיקריים להחלפתו במחלף. ההצדק הנפחי המדויק אינו ניתן לקביעה, אולם המחלף מוצדק כאשר רמת השירות של חלק מהתנועות בצומת יורדת לרמת שירות E או מתחתיה, ומוצו כל האפשרויות ההנדסיות להגדלת הקיבולת, המפורטות בכרך II של הנחיות אלה (הפרדת הפניות ימינה, תוספת נתיבים, דירוג הצומת, פיצול הצומת). במקרים כאלה, יש לשקול את הקמת המחלף בעוד מועד, כך שפתיחתו לתנועה תהייה לפני שהעיכובים והתורים בצומת יגיעו לרמה בלתי נסבלת. כן מוצדק מחלף, כאשר הנפחים בדרך המועדפת גבוהים מאוד, וביטולו של הצומת תשפר את זרימת התנועה בדרך המועדפת, או שתסיר צוואר-בקבוק מהציר המועדף, כגון צומת מרומזר בודד בציר המשכי עמוס.

3.1.5 הצדקים בטיחותיים

הצדק נוסף למחלף הוא תרומתו הכוללת לבטיחות: רמת הבטיחות של מחלף גבוהה בהרבה משל צומת המעביר נפחי-תנועה דומים. המחלף עשוי להחליף צומת קיים, אשר עדיין מתפקד מבחינת כושר ההעברה ורמות השירות, ואינו מחייב מיחלוף מבחינת העיכובים, אולם מהווה נקודת-תורפה עקב שכיחות גבוהה של תאונות, ובמיוחד תאונות חזית-צד וצד-צד. מקרה זה אופייני במיוחד לדרכים ראשיות עמוסות באזורים מפותחים. ניתן לשקול את המחלף כפתרון לבעיות הבטיחות, כאשר הסיבות לתאונות בצומת הן מהירויות גבוהות בדרך העוברת, קבלת פערים קטנים, מגבלות ראות, פניות קשות או שילוב של מגבלות בתוואי האופקי והאנכי בסמוך לצומת, אשר קשה לפתור באמצעים הנדסיים אחרים.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

טבלה 3.1 הסוג המומלץ של מפגש הדרכים הבין-עירוניות בשלבי הביניים והפיתוח הסופי, בהתאם למידרג הדרכים

					מהירה ↓	סוג הדרך ⁽¹⁾
				ראשית דו- מסלולית ↓	מחלף- מערכת	מהירה
			ראשית חד- מסלולית ⁽⁷⁾ ↓	מחלף- מערכת או צומת מרומזר ⁽³⁾	מחלף- מערכת	ראשית דו- מסלולית
		אזורית דו- מסלולית ↓	צומת ⁽²⁾	מחלף-גישה או צומת מרומזר ⁽³⁾⁽⁴⁾	מחלף-גישה	ראשית חד- מסלולית ⁽⁷⁾
	אזורית חד- מסלולית ↓	מחלף-גישה או צומת מרומזר ⁽³⁾	צומת ⁽²⁾	מחלף-גישה או צומת מרומזר ⁽³⁾	מחלף-גישה	אזורית דו- מסלולית
מקומית ↓	צומת ⁽²⁾	צומת ⁽²⁾	צומת ⁽²⁾	מחלף-גישה או צומת מרומזר ⁽³⁾⁽⁴⁾	מיפרד ⁽⁵⁾	אזורית חד- מסלולית
צומת ⁽²⁾	צומת ⁽²⁾	צומת ⁽²⁾	צומת ⁽²⁾	מיפרד ⁽⁶⁾⁽⁵⁾	מיפרד ⁽⁶⁾⁽⁵⁾	מקומית וגישה ליישוב

(1) מאפייני סיווג הדרכים – ראה בסעיף 2.1.5 בברך I של הנחיות אלה.

(2) סוג הצומת – ראה טבלה 3.2 בברך II של הנחיות אלה.

(3) הקמת המחלף בהתאם להצדקים המפורטים בסעיפים 3.1.3-3.1.9. במקרה של צומת, יש להשאיר שטח למחלף בשלב הפיתוח הסופי.

(4) ההערכה לגבי רימזור הצומת הינה ראשונית, ומבוססת על נפחי התכן האופייניים בהתאם לסיווג הדרך. ההחלטה לגבי רימזור בפועל תתקבל בהתאם להצדקים לרימזור שבהנחיות המפקח על התעבורה.

(5) חיבור אינו רצוי. אם כן – מחלף גישה.

(6) לחילופין – הטיית הדרך המשנית, חיבורה לדרכי שירות או ניתוקה, בהתאם לנסיבות הייחודיות.

(7) דרך ראשית חד-מסלולית היא בדרך-כלל שלב-ביניים לדרך דו-מסלולית, ולכן יש להשאיר שטח למחלפים בשלב הפיתוח הסופי.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

טבלה 3.2 הסוג המומלץ של מפגש בין דרך בין-עירונית לבין רחוב עירוני בשלבי הביניים והפיתוח הסופי, בהתאם למידרג הדרכים

סיווג דרך עירונית ⁽¹⁾					
מקומי רחוב	רחוב מאסף	רחוב עורקי	פרברית מהירה		
ניתוק ⁽⁹⁾	מיפרד או ניתוק ⁽⁹⁾	מחלף-גישה או מיפרד ⁽⁶⁾	מחלף-מערכת	מהירה	ס י ו ו ג ד ר ד ב י ו ע י ר ו נ י ת (2)
ניתוק ⁽⁹⁾	מיפרד או ניתוק ⁽⁹⁾	מחלף-גישה ⁽⁶⁾ או צומת מרומזר ⁽⁴⁾	מחלף-מערכת	ראשית דו-מסלולית	
ניתוק ⁽⁹⁾	צומת ⁽³⁾⁽⁴⁾	מחלף-גישה ⁽⁶⁾ או צומת מרומזר ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	מחלף-גישה	ראשית חד-מסלולית ⁽⁸⁾	
ניתוק ⁽⁹⁾	צומת ⁽³⁾	מחלף-גישה ⁽⁶⁾ או צומת מרומזר ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	מחלף-גישה	אזורית דו-מסלולית	
ניתוק ⁽⁹⁾	צומת ⁽³⁾	מחלף-גישה ⁽⁶⁾ או צומת מרומזר ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	מיפרד ⁽⁷⁾	אזורית חד-מסלולית	
צומת ⁽³⁾	צומת ⁽³⁾	צומת ⁽³⁾	ניתוק ⁽⁹⁾	מקומית וגישה ליישוב	

- (1) מאפייני סיווג הרחובות העירוניים – ראה ב"הנחיות לתכנון רחובות בערים" של משרד הבינוי והשיכון ומשרד התחבורה.
- (2) מאפייני סיווג הדרכים הבין-עירוניות – ראה בסעיף 2.1.5 בכרך I של הנחיות מע"צ לתכן גיאומטרי.
- (3) סוג הצומת – ראה טבלה 3.2 בכרך II של הנחיות אלה.
- (4) הקמת המחלף בהתאם להצדקים המפורטים בסעיפים 3.1.3-3.1.9. במקרה של צומת, יש להשאיר שטח למחלף בשלב הפיתוח הסופי.
- (5) ההערכה לגבי רימזור הצומת הינה ראשונית, ומבוססת על נפחי התכן האופייניים בהתאם לסיווג הדרך. ההחלטה לגבי רימזור בפועל תתקבל בהתאם להצדקים לרימזור שבהנחיות המפקח על התעבורה.
- (6) מיפרד כאשר המרחק למחלף סמוך קטן מדי.
- (7) חיבור אינו רצוי. אם כן – מחלף-גישה.
- (8) דרך ראשית חד-מסלולית היא בדרך-כלל שלב-ביניים לדרך דו-מסלולית, ולכן יש להשאיר שטח למחלפים בשלב הפיתוח הסופי.
- (9) לחילופין – מיפרד, הטיית הרחוב, או חיבורו לדרכי-שירות, בהתאם לנסיבות הייחודיות.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

3.1.6 הצדקים כלכליים

העלויות למשתמשים ולמשק בשל עיכובים בצומת מרומזר עמוס, הן גדולות. בעקבות המעבר מצומת למחלף צפוי חסכון ניכר למשתמשים ולמשק במרכיבי העלויות של זמן, תיפעול ואחזקה לרכב (דלק, צמיגים, תיקונים, בלאי) ותאונות. החסכון נובע מהקטנת ההפרעות והעיכובים לתנועה בעקבות פתיחת המחלף, לרבות הפחתת הצורך בהאצות, האטות, בלימות וכיו"ב, והקטנת הנזק מתאונות. המחלף, מצידו, גורם רק להגדלה קלה של העלויות למשתמשים עקב הגדלת מרחקי-הנסיעה לתנועות הפונות ולעיתים גם לשאר התנועות בדרך המשנית.

בחישוב כלכלי, יש להשוות את העלויות ההנדסיות הכרוכות בבניית המחלף ובאחזקתו, עם החסכון הכולל למדינה, לקהילה ולמשתמשים במהלך תקופת-התכן שלו, לקבלת התשואה השנתית של המחלף. מחישוב כלכלי מפורט, ניתן גם לקבל החלטה על האפשרויות לבניית המחלף בשלבים.

ניתוח הכדאיות הכלכלית של המחלף יבוצע בהתאם לכללים המפורטים ב"נוהל פר"ת – הנחיות לבדיקת כדאיות כלכלית של פרויקטים בתחבורה יבשתית", של אגף התקציבים במשרד האוצר.

3.1.7 הצדקים טופוגרפיים

במפגש דרכים בו קיים הפרש בין מפלסי הדרכים הנפגשות בהתקרבות לצומת, בניית צומת בהתאם לקריטריונים הנדרשים בכרך II של הנחיות אלה עשויה להיות מורכבת ויקרה מבחינה הנדסית. המחלף מהווה במקרים כאלה פתרון עדיף מבחינה כלכלית והנדסית, גם אם אין הצדק לכך משיקולי מידרג המפגש או נפחי התנועה. גם הימצאות של מכשולים טבעיים או מלאכותיים, הסמוכים למפגש הדרכים, עשויה להכתיב העדפת פתרון דו-מפלסי אם המכשול מקשה על פתרון חד-מפלסי.

3.1.8 הצדקים של המשכיות ועקביות

בצירים המיועדים לנסיעות ארוכות במהירויות גבוהות, יש לשאוף לתכן אחיד ועקבי מבחינה גיאומטרית ומערכתית. מניעת הסדרים חריגים משפרת את כושר ההתמצאות של הנהג. צמתים בודדים ומרוחקים, גם בדרך שאינה מהירה אך מסויגת-גישה בדרך-כלל, עשויים להפגיע את הנהג, ותכנונם כמחלף עשוי לשרת את העקביות והבטיחות הכוללת של התוואי.

3.1.9 הצדקים של מפגש עם מסילת-ברזל

כל מפגש חדש של דרך עם מסילת-ברזל מחייב הפרדה מפלסית (מיפרד), בהתאם להנחיית "ועדת ההיגוי למפגשים", כמפורט בפרק 15 בכרך II של הנחיות אלה. מפגש כזה מטיל מגבלות בתוואי האופקי והאנכי של הדרך, כמפורט בסעיפים 15.3-15.5 באותו פרק. כאשר בסמיכות למיפרד הדרך והמסילה מצוי מפגש עם דרך אחרת, יש לשקול מבחינה הנדסית האם להפוך את המכלול למחלף, בו ישולב גם פתרון המיפרד עם מסילת הברזל.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

3.2 שלבי התהליך בתכן מחלף

סדר השלבים העקרוני בתכן מחלף הוא כמפורט להלן:

- א. קביעת סוג המפגש בין הדרכים, משיקולים מערכתיים (כמפורט בסעיף 3.1.3), ובהתאם לשאר ההצדקים המפורטים בסעיפים 3.1.4-3.1.9 לעיל.
- ב. ריכוז נתוני התכן, המרכיבים והמאפיינים של רשת הדרכים הקיימת והמתוכננת באזור (כמפורט בסעיף 3.3.1 ב').
- ג. ריכוז נתוני האתר – טופוגרפייה, שימושי קרקע, זכויות דרך, מכשולים ותשתיות (כמפורט בסעיף 3.3.1 א'-ד').
- ד. ניתוח תחזיות נפחי התנועה לכל התנועות הממשיכות והפונות לתקופת היעד לתכן (כמפורט בסעיף 3.3.2).
- ה. הכנת תרשימי התנועה וסכמת הפניות לשעות השיא לתכן (כמתואר בציור 3.2).
- ו. הכנת תרשימים עקרוניים לתצורות המחלף האפשריות (בהתאם לעקרונות המוצגים בפרק 4 בהמשך), אשר עונים בצורה המיטבית לדרישות המוצגות בשלבים א'-ה' לעיל.
- ז. ניתוח התצורות העקרוניות האפשריות ובחירת מספר מצומצם של חלופות להמשך תכנון.
- ח. הכנת תכניות ראשוניות לחלופות הנבחרות, לרבות תכן התוואי האופקי והאנכי של הדרכים ושל הרמפות, בהתאם לכללים המפורטים בפרק 5 בהמשך ההנחיות, ותכן מחברי הרמפות, כמפורט בפרק 6 בהמשך ההנחיות.
- ט. הערכת החלופות הנבדקות משיקולי קיבולת ורמת שירות באזורי הפרדוויות, התמזגויות והשתזרויות, כמפורט בפרקים 7 ו-8 בהמשך ההנחיות.
- י. בדיקת המרחקים בין מחברי רמפה, הסדרי הניתוב ואיזון הנויבים כמפורט בפרק 7 בהנחיות.
- יא. הכנת תכניות שילוט ותמרור לחלופות הנבדקות, לבדיקת אפשרויות יישומן, כמפורט בסעיף 10.4 בהמשך ההנחיות.
- יב. הערכת החלופות הנבדקות מהשיקולים הבאים: התאמה כוללת; הסדרי תנועה במהלך הביצוע; אפשרויות לפיתוח בשלבים; זכות-הדרך הנדרשת; השפעה על שימושי קרקע סמוכים ועל מערכת התחבורה באזור.
- יג. הכנת הערכה ראשונית לעלות של כל אחת מהחלופות, לרבות הבטחת זכויות הדרך, הכשרת האתר, בניה וסלילה, אחזקה, תפעול, בקרת תנועה, תשתיות נלוות וכיו"ב.
- יד. חישוב עלויות וחיסכון למשתמשים ויחסי עלות-תועלת ותשואה לכל חלופה.
- טו. בדיקה משולבת של סעיפים יי-יד' לעיל, לבחירת החלופה המועדפת.
- טז. תכן מפורט לחלופה הנבחרת, בהתאם לכל שאר העקרונות והכללים המפורטים בהנחיות אלה, ובהתאם לפירוט לסוגי המחלפים השונים בפרק 9 בהמשך ההנחיות.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

החלופה הנבחרת כמתאימה ביותר היא תמיד הפשרה המיטבית, מאחר שלכל אחת מהחלופות יש יתרונות וחסרונות ביחס לאחרות.

יש לציין, כי תהליך התכן המוקדם המתואר בסעיף זה, הוא תהליך עקרוני אופייני. היקפו של שלב התכן המוקדם תלוי במאפייני המחלף, בסיווגו ובחשיבותו במערכת, ולכן מספר השלבים הנכללים בתהליך התכן עשוי להיות שונה מהמתואר, והפרוט המצוין כאן הוא אינדיקטיבי בלבד.

לתהליך התכן המוקדם על שלביו השונים יתלווה תהליך התאום מול רשויות התכנון הסטטוטוריות השונות.

3.3 נתוני רקע לתכן

3.3.1 נתוני האתר

נתוני האתר הדרושים בשלב התכן הם:

- א. **טופוגרפיה** – מדידה מפורטת של הטופוגרפיה באזור המחלף, ושל החתכים לאורך תוואי הדרכים הנפגשות. המדידה דרושה לצורך בדיקת מיקומים אפשריים למחלף ולרמפות, קביעת שיפועים לאורך הדרכים הנפגשות והרמפות, בחירת הדרך העליונה, מיקום עקומים אופקיים ואנכיים, בדיקת מרחקי-ראות ומגבלות הראות עקב תנאי השטח.
- ב. **סיווג וצורתן של הדרכים הנפגשות** – תכנית המחלף, החל משלביה הראשונים, צריכה להביא בחשבון את אופיין וצורתן של הדרכים הנפגשות, כפי שהן מתוכננות להתפתח במהלך תקופת היעד אליה מתכננים. זאת, כדי שניתן יהיה להתאים את מרכיבי המחלף ופרטי התכן שלהם לחתכי הרוחב ולנפחי התנועה החזויים של הדרכים הנפגשות (סיווג הדרכים ייקבע לפי סעיף 2.1 בכרך I של ההנחיות, ואילו חתך הרוחב האופייני ייקבע לפי פרק 7 באותו כרך). בנוסף לכך, ישמש סיווג הדרכים הנפגשות לבחירת הצורה הבסיסית של המחלף, כמפורט בסעיף 3.1.3 לעיל.
- ג. **שימושי קרקע וזכויות דרך באזור המחלף** – נתונים על שימושי הקרקע הקיימים והמתוכננים באזור המחלף ועל פיתוח האזור, יתקבלו מתכנית המתאר המחוזית והמקומית, וכן מתכנית בניין עיר ותוכניות אב לאזור המחלף (במידה שקיימות), או מתכנית מפורטת אחרת. חשוב לקבל נתונים ביחס לדרכים מתוכננות ולתוספת מוקדי פעילות (גם מחוץ לאזור המיידית), אשר ישפיעו על התפתחות התנועה באזור המחלף. יש לבדוק את שימושי הקרקע הקיימים והמתוכננים ברדיוס של 300 מטר לפחות ממפגש צירי הדרכים, להבטחת זכויות-הדרך למחלף עצמו לרבות כל הרמפות, בכל שלבי הפיתוח.
- ד. **מכשולים ותשתיות באזור המחלף** – יש להכין מיפוי מפורט של כל המרכיבים הפיזיים הקיימים באזור המחלף ובגישות אליו: מבנים, קירות תומכים, עצים, עמודים, וכל נתוני המשק העל-קרקעי והתת-קרקעי (מתקני חשמל, טלפון, כבלים, מים, ביוב, ניקוז) וכיו"ב. במקרה של מיחלוף צומת קיים, יש לכלול במיפוי את כל פרטי הצומת, כגון: איי-תנועה, מדרכות, מעברי חצייה, מפרצי

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

אוטובוס, שיפועים לאורך ולרוחב, מיקום רמזורים וכד', כדי לשלבם במידת הצורך בפתרון התכנוני של המחלף על מרכיביו.

3.3.2 נתוני תנועה

נתוני התנועה הדרושים לצורך תכן המחלף כוללים את נפחי התנועה בזרועות הצומת, נפחי הפניות, הרכב התנועה, מהירויות הגישה, תאונות, פעילות תחבורה ציבורית ומשתמשים אחרים, בהתאם לפרוט להלן:

א. נפחי תנועה במחלף – ספירה וחיזוי

נפחי התנועה לתכן המחלף ומרכיביו נקבעים בעזרת ספירות תנועה (בדרכים קיימות) וחיזוי תנועה (בדרכים קיימות ומתוכננות). הנפחים החזויים ייקבעו בעזרת מודלים להצבת נסיעות על הרשת הרלוונטית. נתוני התנועה הדרושים הם (בהתאם להגדרת המונחים התנועתיים בסעיף 3.1.2 בכרך I של ההנחיות):

- 1) הנפח היומי בממוצע שנתי (AADT), כאשר ניתן להסתפק בנפח התנועה האופייני במשך 16 השעות העמוסות ביממה. כמו-כן, יש צורך בספירות התנועה במשך 8 השעות העמוסות ביממה במשך יום מייצג, לשם קביעת ההצדק לרימזור הצמתים במחברי-הרמפה במחלפי-גישה.
- 2) הנפח השעתי לתכן (DHV).
- 3) היחס בין הנפח השעתי לנפח היומי (K).
- 4) מקדם שעת השיא (PHF), המבוסס על 15 הדקות העמוסות ביותר בשעת השיא.

מאחר שחישובי קיבולת ורמת שירות למחלף יהיו למשך תקופת היעד לתכן, יש לשלב את ספירות התנועה עם חיזוי גידול התנועה וההצבות לתקופה המקבילה. חיזוי התנועה בא ללמד האם צפוי גידול בכמות התנועה או שינוי בפילוג התנועה במחלף. שינויים אלה יכולים לנבוע מהסיבות הבאות:

- 1) גידול התנועה במערכת כולה כתוצאה מעליה בשיעור הבעלות על כלי-הרכב והשימוש בהם (שינויים בפיצול הנסיעות).
- 2) שינויים בשימושי הקרקע באזור – פיתוח ובינוי בסביבת המחלף (שינויים בפילוג הנסיעות בין האזורים).
- 3) תוספת תנועה העוברת את המחלף עקב סלילת דרכים חדשות ושיפורים בדרכים קיימות המובילות אליו (שינויים בהצבת הנסיעות).

כאשר המחלף מתוכנן בשלבים, השינויים הצפויים תוך 4-5 שנים חייבים להיכלל בתכן השלב הראשון שלו. שינויים העתידיים להתרחש במשך השנים לאחר מכן יילקחו בחשבון לצורך שמירת זכויות הדרך להבטחת אפשרויות פיתוח עתידי.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

ב. סכימת נפחי הפניות במחלף

בסכימת נפחי הפניות במחלף, המתוארת בציור 3.2, גלומה כל האינפורמציה לגבי נפחי התנועה בכל כיווני הפנייה המיועדים במחלף. את הסכימה ניתן לערוך עבור כל שעות הספירה, עבור שעת השיא או עבור כל פרק זמן אחר, בהתאם לצורך. כמו-כן, ניתן להראות בסכימה את ההתפלגות לסוגי כלי-רכב.

בדומה לנפחי התנועה בדרכים המובילות למחלף, גם בנפחי התנועה של הפניות יש להתחשב בחיזוי הגידול במהלך תקופת היעד: כאשר לא צפוי שינוי יחסי בפיתוח שימושי הקרקע באזור המשפיע על המחלף, ניתן לבסס את הגידול בנפחי הפניות על הגידול החזוי בתנועה בדרכים הנפגשות או בדרכים דומות. כאשר צפוי פיתוח אשר ישפיע באופן מיוחד על פניות מסוימות, יש לחזות את נפחי פניות אלה באופן נפרד.

סכימת נפחי הפניות דרושה לצורך בחירת סוג המחלף, קביעת הכיוון הראשי, קביעת הסדרי התנועה במחברים, חישובי עיכובים ורמות שירות, חישוב אורכי השתזרות, תכנון הרמפות וכד'.

ג. הרכב התנועה

במקביל להכנת סכימת הפניות במחלף, יש לחזות גם את החלק היחסי שיהוו בתנועות אלה כלי-הרכב הכבדים (אוטובוסים, משאיות רגילות, מורכבות ומחבורות). סוג כלי-הרכב לתכן עבור האלמנטים הגיאומטריים ייקבע לפי הרכב התנועה, בשילוב עם סיווג הדרכים הנפגשות. תכן המחלף צריך להתחשב במאפייני כלי-רכב אלה, בעיקר במרכיבים הגיאומטריים של הרמפות ומחברי-הרמפה. התכן עבור כלי-רכב גדולים מתבטא ברוחב הנתיבים, ברדיוסי הפניות, בהרחבות הדרושות, באורכי האצה והאטה, וכן בחישובי קיבולת ורמות שירות באמצעות מקדמי היר"מ.

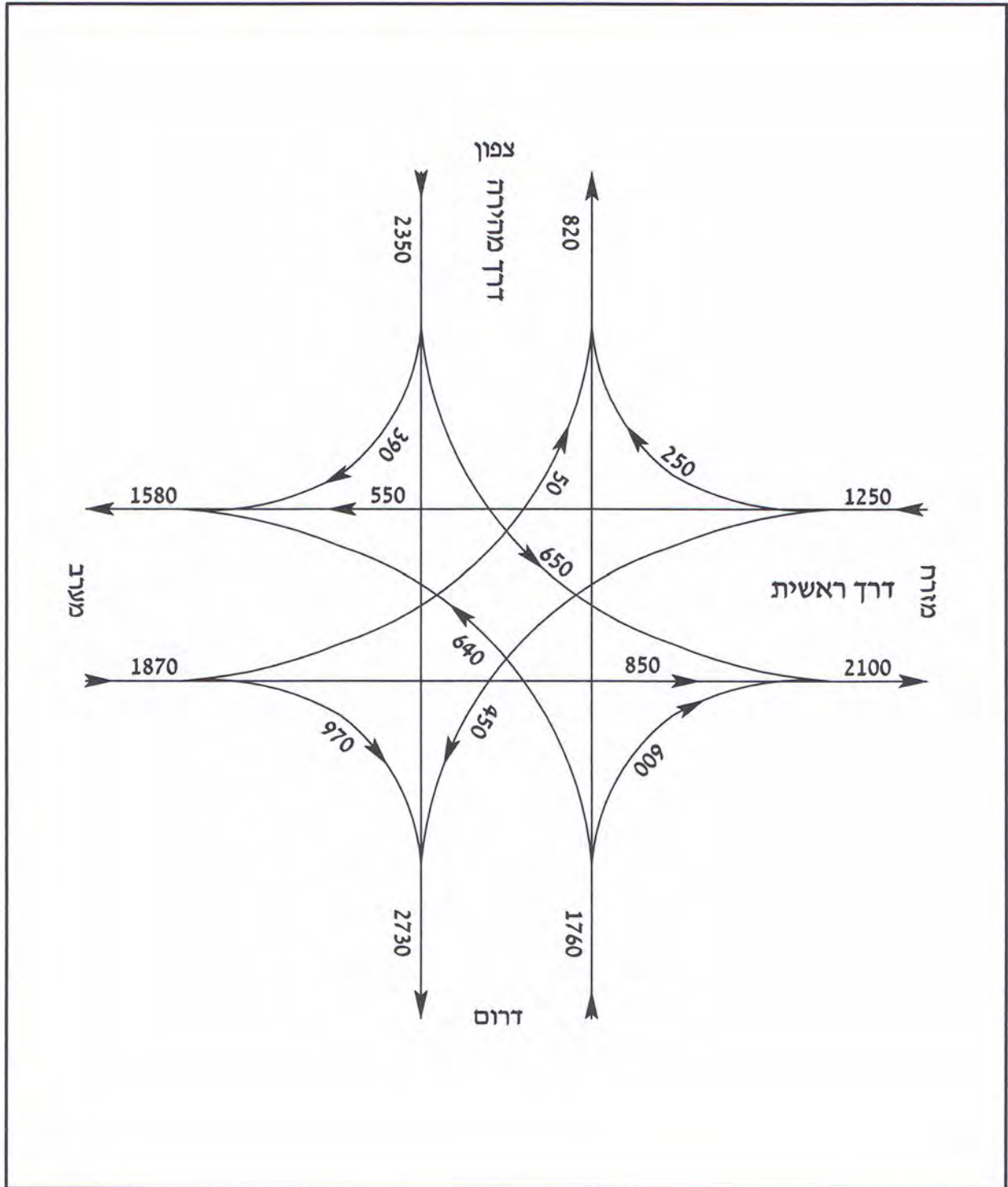
ד. תאונות

במקרה של מיחלוף צומת קיים, יש לאסוף נתונים לגבי מספר תאונות הדרכים וסוגיהן, במשך שלוש השנים האחרונות לפחות. נתונים אלה ניתן להשיג מפרסומי הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. ניתוח גורמי התאונה יכול להצביע על בעיות תכנוניות שאינן נראות לעין ממבט ראשון, כגון ראות בלתי מספיקה או הפרעות לראות ביום או בלילה, מהירות ההתקרבות לצומת גבוהה מן המשוער, חוסר תאורה, הכוונה בלתי מספקת, בקרה בלתי מתאימה וכיו"ב, ועשוי להיות שיקול בהצדקים למחלף (ראה סעיף 3.1.5 לעיל).

ה. תחבורה ציבורית

הנתונים הדרושים הם לגבי קווי האוטובוסים העוברים דרך המחלף, ואשר בתכנון המחלף יש להביא בחשבון את פעילותם בסביבתו: סוגי האוטובוסים ומידותיהם, מיקום התחנות הדרוש, מסלולי הקווים, תדירויות השירות, הביקוש לשירות, קיום מסופים סמוכים, ומידת הצורך בהסדרי תנועה ייחודיים לתחבורה ציבורית.

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



דוגמה לסכימת נפחי הפניות במחלף

ציור 3.2

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

1. פעילות הולכי-רגל

במחלפים בין-עירוניים, פעילות הולכי-רגל מתרכזת בעיקר בצמתים עם הדרך המשנית במחלפי-גישה. בנוסף לכך, קיימת פעילות הולכי-רגל הנובעת ממעבר בין תחנות תחבורה ציבורית, הממוקמות באזור המחלף. ספירות תנועת הולכי-הרגל יבוצעו בשעות שיא, ויכללו בדיקה של כיווני ההליכה ומיקום החצייה. במסגרת בדיקת הצדקים לרימזור הצמתים במחברי-הרמפות יש לערוך גם ספירות הולכי-רגל במשך 8 השעות העמוסות ביותר.

3.4 עקרונות תכן ושיקולים מערכתיים במחלפים ובדרכים ממוחלפות

3.4.1 תחומי השיקולים המנחים בתכן מחלף

השיקולים העיקריים המנחים את המתכנן בעת גישתו לתכן הגיאומטרי והתפעולי של המחלף על מרכיביו, קשורים בתחומים העיקריים הבאים:

- א. התאמת המחלף לתפקידו במערכת הדרכים, הן מבחינת תפקידי הנגישות והן מבחינת זרימת התנועה, והקיבולת.
- ב. התאמת המחלף על כל מרכיביו לנפחים ולסוגים השונים של כלי-הרכב המהווים את התנועה העוברת בו, למידותיהם ולתכונותיהם, ולשאר המשתמשים בדרך.
- ג. התאמת המחלף לכללי תכן המבוססים על הנדסת-אנוש.
- ד. שמירה על כללי בטיחות ומניעת תאונות.
- ה. היבטים כלכליים.
- ו. היבטים סביבתיים.

מתחומי השיקולים המפורטים לעיל נובעת שורה של עקרונות תכן, המפורטים בסעיף 3.4.3 בהמשך. בנוסף, מושפע תכן המחלף גם משיקולים מערכתיים כמפורט בסעיף הבא.

3.4.2 תפקיד השיקולים המערכתיים בדרכים ממוחלפות

בדרכים מהירות ובדרכים מסויגות-גישה אחרות, תכנון המחלף איננו עומד רק בפני עצמו, אלא הוא חלק ממערכת שיקולים תכנוניים ותפעוליים של התוואי כולו. מטרתם של שיקולים אלה להקל על הנהגים בכך, שהסדרי התכן והתפעול לאורך כל הדרך יעבירו להם מסר ברור, פשוט, סדיר ואחיד ביחס לפעולות המתחייבות מהם, וימנעו ככל האפשר החלטות ופעולות שגויות. התכן צריך להתאים לציפיותיהם של נהגים בעלי דפוסי שימוש שונים בדרך, כגון יוממיים, מזדמנים וזרים, להקל ככל האפשר על התנהגותם והתמצאותם, ובכך להבטיח תפעול שוטף, יעיל ובטיחותי של הדרכים הממוחלפות. שיקולים אלה של אחידות תכנונית ותפעולית מבוססים על כללי הנדסת-אנוש, בשילוב לקחים מעשרות שנות תפעול של דרכים מהירות וממוחלפות אחרות במדינות שונות. השיקולים המערכתיים מפורטים בסעיף 3.4.4 בהמשך. יישום שיקולים אלה הינו חלק הכרחי בתהליך בחירת סוג המחלף המתאים, כמפורט גם בפרק 4 בהמשך.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

3.4.3 פירוט העקרונות בתכן מחלף

מפירוט תחומי השיקולים המנחים בתכן המחלף בסעיף 3.4.1 לעיל, נובעת שורת עקרונות תכן, המתייחסים לתכן המחלף מן ההיבטים הגיאומטריים, התפעוליים, הנדסת-אנוש, בטיחות, כלכליות ודרישות המשתמשים בדרך ובמתקניה, כמפורט להלן:

א. שמירת הכיוון הראשי – יש להבטיח המשכיות טבעית וישירה של הציר הראשי בתוך המחלף, להעדפת הזרימה והקיבולת של התנועות העיקריות, ולשיפור ההתמצאות לנהג.

ב. שמירה על המשכיות הנתיבים – המחלפים מהווים את נקודות התורפה של מערכת הדרכים הממוחלפות מבחינת הזרימה והקיבולת, ולכן יש לשמור על המשכיות הנתיבים העוברים בתחומי המחלף, תוך תוספת של נתיבי-עזר במידת הצורך, להבטחת מקום לביצוע פעולות של השתזרות והתמזגות. ראה פירוט בסעיף 7.2 בהמשך ההנחיות.

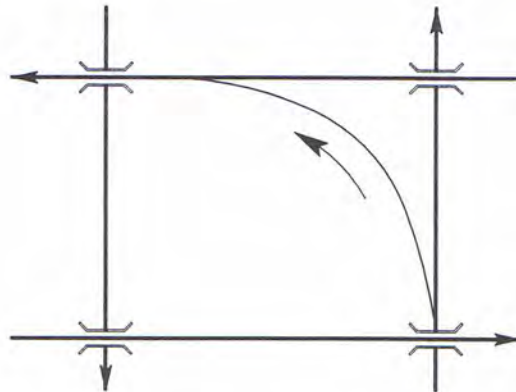
ג. האטה והאצה בנתיבים ייעודיים ויחסי מהירויות ברמפה – כל פעולות האטה וההאצה בדרך הממוחלפת יבוצעו בנתיבים ייעודיים מיוחדים לשינוי מהירות (האטה והאצה), כך שיצומצמו ככל האפשר ניגודי המהירויות בין כלי-רכב עוקבים בנתיבים המשכיים. ההפרעה לנהגים הממשיכים לאורך הדרך צריכה להיות מועטה ככל האפשר. נתיבי האטה וההאצה יהיו חלק ממחברי-הרמפות, כמפורט בפרק 6 בהמשך ההנחיות. תכן המאפיינים הגיאומטריים המגבילים של הרמפות (רדיוסים, שיפועים), יבוצע לפי יחסי מהירויות שיאפשרו את ביצוע התאמת המהירויות הנדרשת מחוץ לתחומי הדרך הממוחלפת, כמפורט בפרק 5 בהמשך ההנחיות.

ד. יציאות וכניסות מימין בלבד – בדרך הממוחלפת תהיינה כל היציאות במחלפים ימינה בלבד, וכל הכניסות מימין. אין לאפשר יציאות שמאלה וכניסות לצד שמאל, משום שהן יוצרות חוסר-אחידות תכנוני, מנוגדות לציפיות הנהג, וגורמות לפעולות האצה והאטה בנתיב השמאלי (המהיר). בהתמזגות משמאל גם קיימות מגבלות בשדה-הראיה של הנהג ביחס לתנועה הראשית, המגיעה מימינו. כתוצאה ממגרעות אלה, הכניסות והיציאות השמאליות מסוכנות יותר מהימניות, ולכן אין להשתמש בשלושת סוגי הרמפות שבציור 3.3.

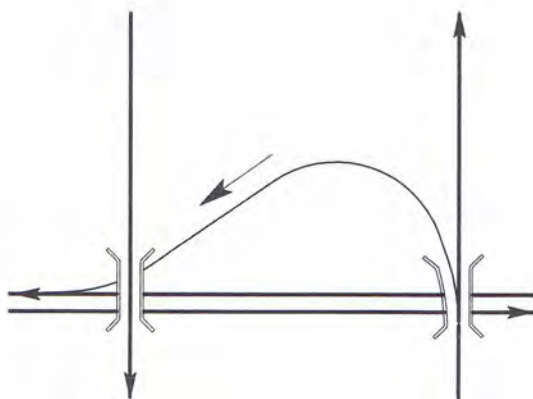
ה. יציאה יחידה במחלף, שתמוקם לפני הגשר – השילוב של שני קריטריונים אלה בתכן הדרך הממוחלפת, נועד להבטיח לנהגים עקביות ואחידות בהתנהגות במחלפים, קיום נקודת-החלטה אחת בלבד בכל מחלף בדרך העיקרית, ושיפור האבחנה ממרחק בקיום היציאה. שמירה על כלל זה גם מפשטת את עקרונות תימרור ההדרכה במחלף. כאשר התצורה הבסיסית של המחלף אינה תואמת את עיקרון היציאה היחידה, ניתן לשפר את המחלף באמצעות הארכת רמפת היציאה, וביצוע כל שאר ההתפצלויות מרמפת היציאה העיקרית, או שימוש בכבישים מאספים-מחלקים, כמתואר בציור 3.4.

ו. מניעת השתזרות בתחומי המחלף – יציאה סמוכה לאחר כניסה באותו מחלף יוצרת השתזרות בתחום המחלף. ההשתזרות גורמת למגבלות קיבולת ולקשיים תפעוליים ובטיחותיים בדרך הממוחלפת, ואלה משפיעים גם על התנועה המשכית העוברת. את היווצרות קטעי ההשתזרות בדרך העיקרית יש למנוע באמצעות שינוי תצורת המחלף, או שימוש בכבישים מאספים-מחלקים,

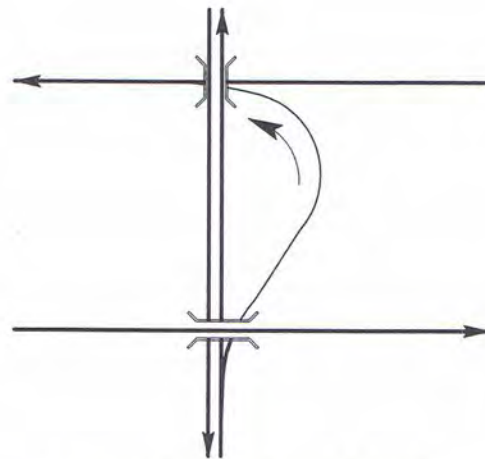
הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



פנייה ישירה שמאלה -
יציאה שמאלה וכניסה משמאל

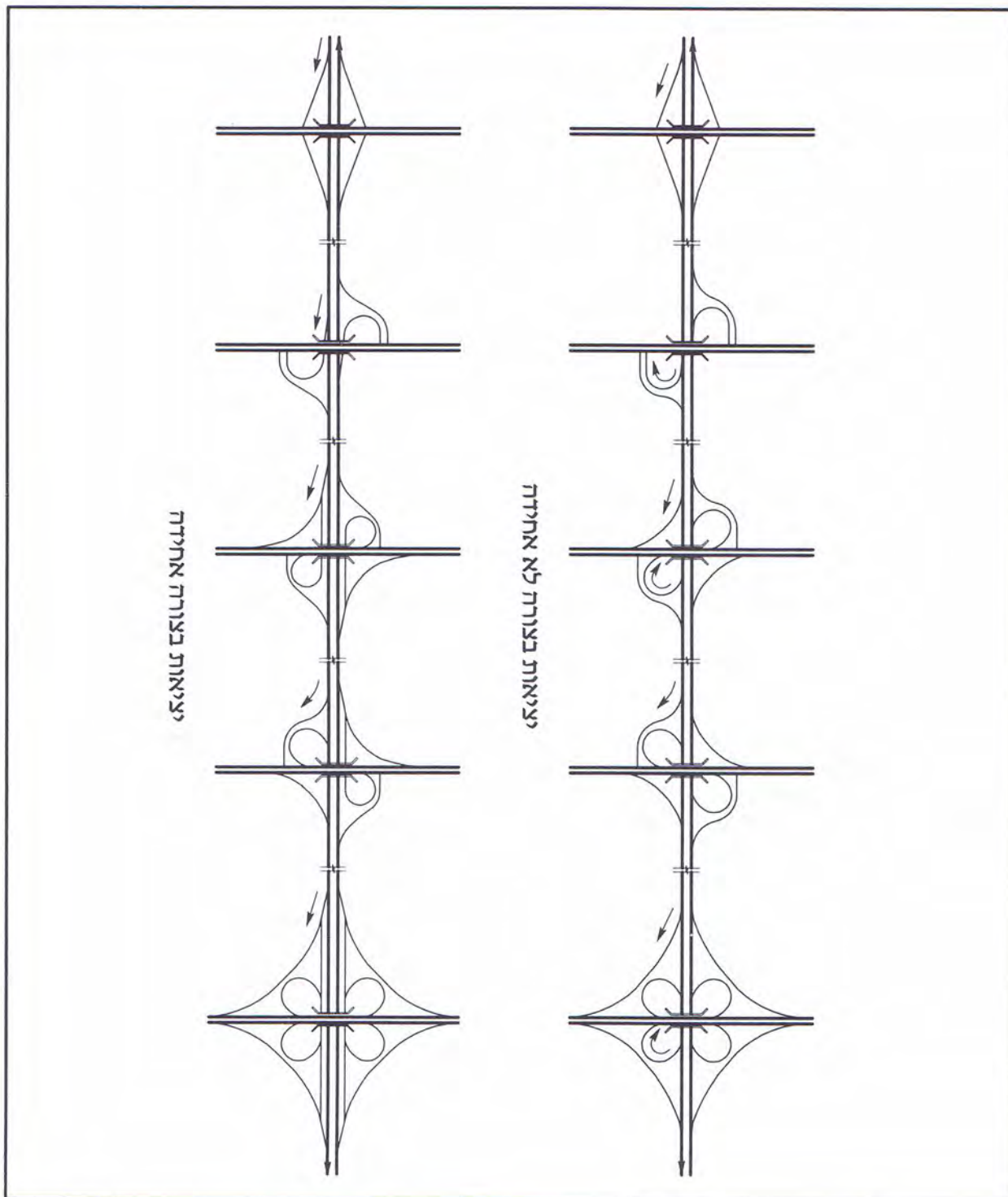


פנייה ישירה-למחצה שמאלה -
יציאה שמאלה וכניסה מימין



פנייה ישירה-למחצה שמאלה -
יציאה ימינה וכניסה משמאל

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 3.4 יצירת אחידות ביציאות במחלפים

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

כמפורט בפרק 8 בהמשך ההנחיות, המוקדש להשתזרויות, ובסעיף 9.8, המוקדש לכבישים מאספים-מחלקים.

ז. הבטחת הראות – יצירת המפגש הדו-מפלסי עלולה ליצור מגבלות בפרופיל התוואי של הדרכים הנפגשות, המשפיעות בעיקר על הבטחת מרחקי-הראות הנדרשים. יש לתכנן את המחלף כך שיתקיימו בו מרחקי-ראות, המאפשרים לנהגים המתקרבים למחלף בשתי הדרכים להבחין ב-:

(1) קיומו של המחלף.

(2) צורת המחלף והסדרי התנועה בו.

(3) מיקומם ותנועתם של כלי-הרכב האחרים.

(4) המשך מסלול נסיעת הרכב מעבר למחלף.

פירוט נוסף בסעיף 3.7 בהמשך.

ח. תכן צמתים – מחלפי-גישה כוללים צמתים במחברי-הרמפה עם הדרך המשנית. התכן הגיאומטרי של הצמתים והסדרי התנועה בהם ייעשו לפי כל השיקולים והעקרונות המקובלים בתכן צמתים, כמפורט בכרך II של הנחיות אלה.

ט. הבלטת אזורי הניגוד – יש להבליט את אזורי הניגוד במחלף ולרכזם בשטח ברור, כדי לאפשר לנהג להגיב באופן מבוקר ושקול. התנועות המתנגדות (היפרדות, השתזרות והתמזגות) יופגשו במקומות מוגדרים ובולטים לעין הנהג, כך שיוכל לצפות את תנועת כלי-הרכב הנוגדים.

י. חד-משמעיות ההוראות לנהג – על המחלף להיות מוסדר בצורה המסייעת לפישוט תגובת הנהג והמאפשרת לו לקבל החלטה יחידה בכל פעם, ובחירה מתוך שתי אפשרויות בלבד, ללא צורך באפשרויות מורכבות. עקרון חד-המשמעיות יכול להיות מושג באמצעות בחירת תצורת המחלף, בשילוב הסדרי ניתוב ותימרוור ברורים ומתאימים.

יא. תכניה סלחנית – המחלף כולל מספר מרכיבים מבניים, כגון גשרים, מעקות, סוללות וכד', אשר עשויים להוות מגבלה בטיחותית. יש לתכנן את המחלף וכל סביבותיו באופן סלחני, אשר יבטיח הגנה על המשתמשים בדרך מפני התנגשות בעצמים קשיחים. גדרות בטיחות בחפירה, במילוי ובקרבת עצמים קשיחים יוצבו בהתאם למפורט בסעיף 7.7 בכרך I של הנחיות אלה. לפירוט נוסף ראה סעיף 10.3 בהנחיות.

יב. מתקני שירות – לעיתים נוצר הצורך למקם בתחומי המחלף או בסביבתו מתקני-שירות המיועדים למשתמשים בדרך, כגון תחנות תדלוק, או מתקני-שירות שאינם לשימוש הציבור ואינם מחוללי תנועה, כדוגמת מבני משאבות, או תחמ"שים של חברת החשמל. הגישה למתקנים אלה תהיה אך ורק מתוך הרמפות או מהדרך הבלתי-ממוחלפת, ותתוכנן כך שלא תגרום להפרעות בתנועה או לסיכונים בטיחותיים. לפירוט נוסף ראה פרק 14 בכרך II של הנחיות.

יג. טיפול בתחבורה ציבורית ותחנות הסעה – כאשר בסביבת המחלף נפגשים קווי אוטובוסים ונדרש מעבר נוסעים בין תחנות הקווים השונים, או שבאזור המחלף יש צורך בתחנות הסעה, תכן המחלף צריך להתחשב בפעילות זו. את התחנות והמפוצים הדרושים להן יש לאתר במקומות, אשר מצד אחד קרובים למחלף ככל הניתן, ומצד שני אינם מצויים בתחומי הדרך הממוחלפת, וממזערים את ההפרעה לתנועה השוטפת, תוך התחשבות במאפייני ההאטה וההאצה של הרכב הציבורי. יש לוודא

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

גם, שפעילות הולכי-הרגל הנוצרת עקב הגישה אל התחנות לא "תגלוש" לתחומי הדרך הממוחלפת. ראה פירוט בפרק 10 בהמשך ההנחיות.

יד. התאמה למצב עתידי – במקרה שביצוע המחלף ייעשה בשלבים, יש לבדוק בעת התכן של כל אחד משלבי הביניים, איך יוכל להשתלב בפתרון הסופי של המחלף, ושלא יבוצעו בשלבי הביניים צעדים שימנעו את הפיתוח המלא של המחלף בעתיד. כמו-כן, יש לדאוג להסדרי העברת התנועה במחלף במהלך העבודה, במקרה שחלק מהשלבים יבוצעו תוך-כדי קיום התנועה במחלף.

3.4.4 פירוט השיקולים המערכתיים בדרכים ממוחלפות

השיקולים המערכתיים העקרוניים, המתייחסים לתכנון ולתפעול הדרך והמחלפים כמכלול, מפורטים להלן:

א. מספר נתיבים בסיסי – מספר הנתיבים הנמשכים ברציפות לאורך התוואי ודרך המחלף צריך להיות עקבי וקבוע. מספר זה ייקבע לפי נפחי התכן החזויים לאורך קטע ארוך, ולא ישתנה כתוצאה משינויים מקומיים. אם נדרשים שינויים בקטעים עמוסים במיוחד כדי לשמור על רמת-השירות, יבוצע השינוי באמצעות תוספת נתיבי-עזר בין מחלפים, באיזון עם נתיבי הכניסה והיציאה, כמפורט בסעיף ב' להלן. הפחתת נתיב המשכי תבוצע רק לאחר סדרת יציאות במחלפים, היוצרת הפרש ניכר בין הנפחים היוצאים והמצטרפים. ראה פירוט בסעיף 7.2 בהמשך ההנחיות.

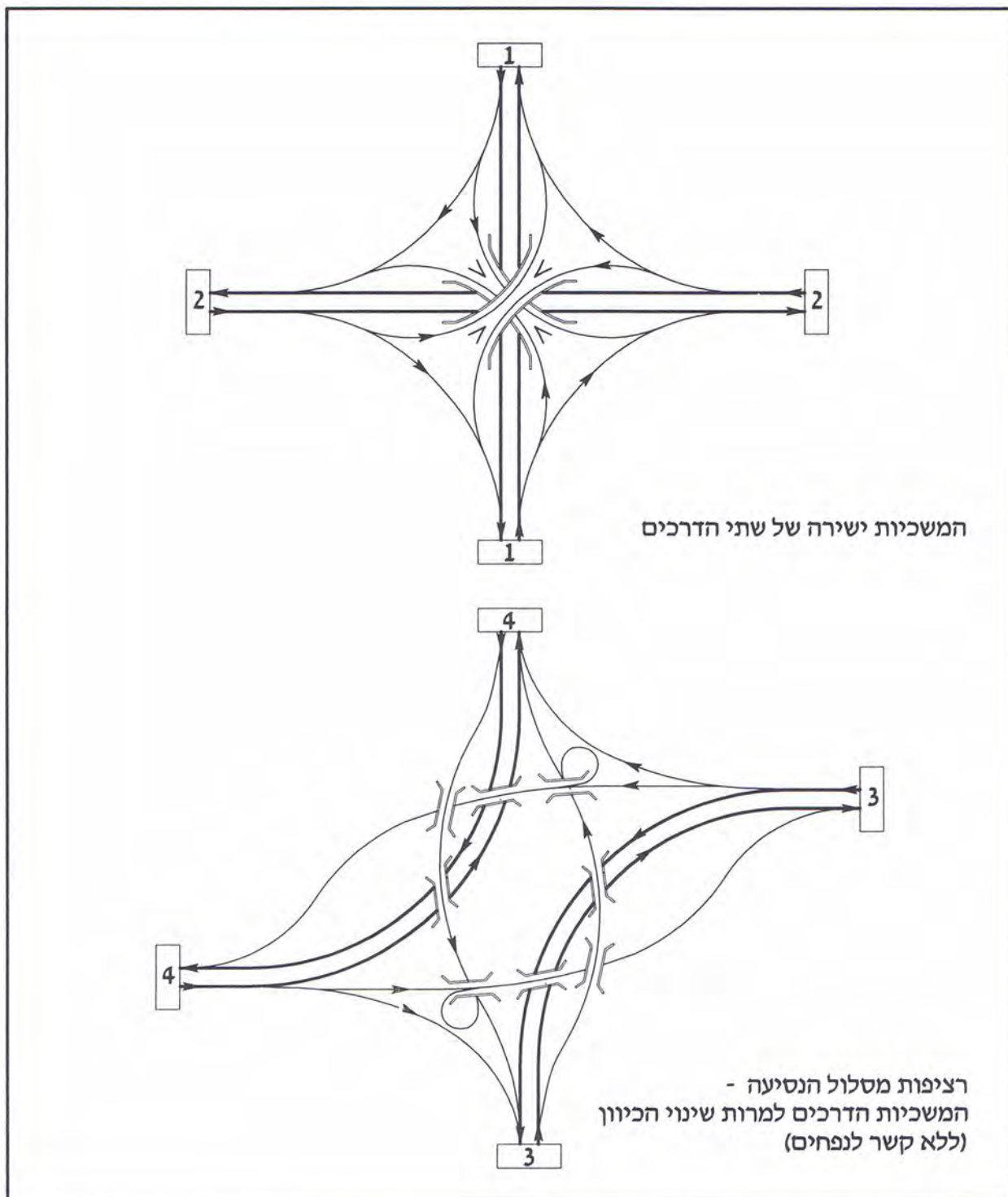
ב. איזון נתיבים ושימוש בנתיבי עזר – באזורי היפרדות, התמזגות והשתזרות בקרבת מחלפים עשוי להתעורר צורך בהוספת נתיבים לצד מספר הנתיבים הבסיסי בדרך המשכית. מספר הנתיבים הדרוש ברמפות היציאה או הכניסה, והיחס ביניהם לבין מספר הנתיבים הנמשכים, ייקבע כך שיובטח תפעול רציף, תוך שמירה על רמת-השירות ועל בקרת הניגודים. בנוסף לכך, קיימות השפעות הדדיות בין כניסות ויציאות עוקבות ובין מחלפים סמוכים, ועשויים להידרש נתיבי-עזר בקטעים מסוימים. מדיניות הניתוב הכוללת תיקבע בהתאם לכללים המפורטים בסעיף 7.2 בהמשך ההנחיות.

ג. רציפות מסלול הנסיעה – המחלפים לאורך ציר נמשך ארוך יתוכננו כך, שאופן מעבר התוואי דרך המחלפים יבהיר לנהג הממשיך באותו ציר, שאיננו סוטה ממסלולו (גם כאשר הציר עצמו משנה כיוון). לעומת זאת, לנהג המעוניין במעבר לדרך אחרת במחלף, צריכה להיות תחושה ברורה של סטייה מהמשך המסלול. הרציפות תושג על-ידי שילוב של תכן גיאומטרי, הסדרי תיפעול, ותימרור. המחלפים יתוכננו לפי העדפת הרציפות על-פני העדפת נפחי-הפנייה הגדולים, בהתאם לדוגמה המוצגת בציור 3.5.

ד. אחידות ההסדרים – יש לשאוף לתכן אחיד ועקבי, עד כמה שאפשר, של המחלפים. מניעת הסדרים חריגים מאפשרת לנהג להכיר בקלות את המחלף שלפניו, ומגבירה את כושר התמצאותו בהסדרי התנועה המתוכננים.

ה. מרחקי ראות להחלטה – מרחק הראות להחלטה (ולא לעצירה) הוא המרחק הבסיסי בתכן דרכים מהירות. לאורך הדרך הממוחלפת יש לשמור על מרחק הראות להחלטה לכל אורך הדרך או לפחות

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 3.5 תכנון מחלף-מערכת לפי עקרון רציפות המסלול

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

בקרב מחלפים, ובכל מעבר תחתי, עילי או בשינוי של מספר הנתיבים, בהתאם לסיווג הדרך. ראה פירוט בסעיף 3.7 בהמשך הפרק.

1. **שמירה על מרחק מתאים בין מחלפים** – המרחק בין המחלפים צריך להיקבע תוך התחשבות בהבטחת הקשר לדרכים אחרות מחד, ומניעת הפרעות, נהיגה מאולצת וסיכונים בעקבות ריבוי יציאות וכניסות, מאידך. יחד עם זאת, אין לצמצם את מספר המחלפים בלי לוודא, שעומס הפניות במחלפים הנותרים ובדרכי-הגישה אליהם אינו הופך בלתי-נסבל, או שהנהגים אינם נדרשים לבצע נסיעות ארוכות מדי. מדיניות קביעת המרחקים המזעריים בין מחלפים מפורטת בסעיף 3.6 בהמשך.

2. **מרחקים בין רמפות** – המרחקים שבין מחברי-רמפה עוקבים באותה דרך, ובין כניסות או יציאות מאותה רמפה, ייקבעו משיקולי תפעול ורמת-שירות, כמפורט בסעיף 7.3 בהמשך ההנחיות.

3. **הבטחת כל התנועות** – רצוי לאפשר בכל מחלף את ביצוע כל התנועות משתי הדרכים, כדי להתאים את תכנון המחלף לציפיות הנהג ולמנוע סכנה של בלבול לנהגים וביצוע פניות אסורות או נגד הכיוון. במקרים מיוחדים, בעיקר במחלפי-מערכת, ניתן להשמיט חלק מהפניות אם הביקוש להן קטן ואין הצדק לביצוען במחלף, ויש להן תחליף סמוך במערכת הדרכים. במקרים כאלה יש להבהיר לנהגים את אפשרויות בחירת המסלול בעוד מועד. בכל מקרה, לכל פנייה הקיימת במחלף, רצוי לאפשר גם את הפנייה ההפוכה.

4. **אחידות השילוט** – שמירה על הכללים המפורטים לעיל מאפשרת שימוש בשילוט הדרכה סכמתי, מופשט ואחיד, השומר על הכלל של הצגת הצורך בהחלטה אחת בכל פעם לנהג בדרך העיקרית, כאשר ההדרכה המפורטת לשאר התפצלויות-המשנה תבוצע בתחומי הרמפה, במהירויות ובנפחים נמוכים יותר. ראה פירוט עקרונות תימרון ההדרכה בסעיף 10.3 בהמשך ההנחיות.

בנוסף, יש לציין כי חלק מהעקרונות בתכן מחלף, כפי שפורטו בסעיף 3.4.3 לעיל, הינם גם בעלי השפעה מערכתית, למשל: **שמירת הכיוון הראשי, שמירה על המשכיות הנתיבים, יציאות וכניסות מימין בלבד, יציאה יחידה במחלף הממוקמת לפני הגשר, מניעת השתזרויות בתחומי המחלף, וחד-משמעיות ההוראות לנהג.** שילוב העקרונות והשיקולים הללו בתהליך התכן מבטיח תפעול אחיד ובטיחותי של הדרך הממוחלפת.

3.5 מעבר עילי או תחתי במפגש ומפלסי הדרכים

3.5.1 שיקולים עיקריים להחלטה

הגורמים המשפיעים על ההחלטה איזו מהדרכים הנפגשות במחלף או במיפרד תהיה עליונה (על הגשר) ואיזו תחתונה (תחת הגשר), ועל קביעת הרומים הסופיים, כוללים: מידרג, טופוגרפיה, שיקולים סביבתיים לרבות רעש, שימושי קרקע סמוכים, תכן גיאומטרי של הדרכים הנפגשות, עלויות, תפעול תנועתי, פיתוח בשלבים, חזות התוואי, דרישות חוסמת (גבריט), שיקולים מערכתיים, אחזקה, ניקוז, הנדסת אנוש – כמפורט בהמשך הסעיף.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

בכל מפגש, השיקולים לקביעת המפלסים ההדדיים משתייכים לאחת משלוש האפשרויות הבאות (א), (ב) או (ג) כמפורט:

- (א) השפעת הטופוגרפיה דומיננטית, ומכתיבה את הפתרון.
- (ב) הבדלי המידרג בין הדרכים, או כללי בקרת התוואי וההשפעות הסביבתיות של אחת מהדרכים, חשובים דיים כדי להכתיב הסדר, גם אם הוא מנוגד להעדפה הטופוגרפית, או שמחייב התאמה משמעותית של הדרך האחרת.
- (ג) הטופוגרפיה והבדלי המידרג אינם מובילים להעדפת הסדר מסוים, והפתרון ייקבע לפי שיקולים נוספים, כמפורט בסעיפים 3.5.2 - 3.5.4 להלן.

3.5.2 חלופות מפלסי הדרכים במפגש

כאשר יש הבדל בסיווג הדרכים ואין אילוצים אחרים, בחלופה המועדפת הדרך העיקרית תהייה תחתונה, וכיוון הנסיעה הראשי בדרך העיקרית יהיה בלתי-מופרע ככל האפשר. כאשר אין הבדל בסיווג הדרכים, אפשרות התכן המתאימה ביותר לטופוגרפיה ולסביבה היא המועדפת מבחינה כלכלית וחזותית, ולכן בדרך-כלל נשקלת ראשונה. החריגה המקובלת מכך היא, כאמור בסעיף 3.5.1 לעיל, כאשר הבדלי המידרג בין הדרכים הנפגשות גדולים, ומהווים משקל-נגד לשיקולים הטופוגרפיים, למשל: במחלף בין דרך מהירה או ראשית לבין דרך אזורית, או במיפרד בין דרך מהירה או ראשית לבין דרך מקומית. כאשר אין העדפה מיוחדת, יש לשקול גורמים נוספים, כמפורט להלן. בדרך כלל, יש צורך בתכן ראשוני של מספר חלופות לפני קבלת החלטה על ההסדר הרצוי ביותר.

במשולב עם בחירת המצב ההדדי של הדרכים, ייקבעו המפלסים הסופיים של שתי הדרכים ביחס לפני הקרקע מבין שש האפשרויות הבאות, המצוינות בסדר העדפה יורד משיקולי מידרג, כלכליות ותפעול:

- א. הדרך העיקרית תחתונה ובמפלס הקרקע, הדרך המשנית עליונה ומוגבהת במלואה.
- ב. הדרך העיקרית תחתונה ומשוקעת חלקית, הדרך המשנית עליונה ומוגבהת חלקית.
- ג. הדרך העיקרית תחתונה ומשוקעת במלואה, הדרך המשנית עליונה ובמפלס הקרקע.
- ד. הדרך העיקרית עליונה ובמפלס הקרקע, הדרך המשנית תחתונה ומשוקעת במלואה.
- ה. הדרך העיקרית עליונה ומוגבהת חלקית, הדרך המשנית תחתונה ומשוקעת חלקית.
- ו. הדרך העיקרית עליונה ומוגבהת במלואה, הדרך המשנית תחתונה ובמפלס הקרקע.

הבחירה בין החלופות תהייה גם משיקולים של עלות, שימושי קרקע באזור המחלף והתאמה לסביבה ולאילוצים הנדסיים, בשילוב עם שאר השיקולים המפורטים בסעיף זה. כאשר הדרך המשנית משרתת שימושי קרקע סמוכים למחלף, יש להשאירה במפלס הקרקע.

3.5.3 ריכוז שיקולים לקביעת הדרכים כעליונה ותחתונה

בנוסף לשיקולי המידרג והטופוגרפיה, המצוינים בסעיף 3.5.1 לעיל, ולשיקולי המפלסים, המפורטים בסעיף 3.5.2 לעיל, קיימים שיקולים נוספים המוליכים להעדפת פתרון מסוים, כמפורט בטבלה 3.3

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

ובסעיף 3.5.4 להלן. השיקולים המצוינים בטבלה הם כלליים, ויש לשקול אותם באופן ייחודי לכל מחלף בהתאם לתפקידו וייעודו במערכת הדרכים הכוללת, ובהתאם לתנאים הממשיים בשטח, לרבות האפשרויות המעשיות לשינוי תוואי הכביש בדרך המשנית.

טבלה 3.3 שיקולים נוספים להעדפת הדרך העיקרית כעליונה או כתחתונה

שיקולים	הדרך העיקרית תחתונה	הדרך העיקרית עליונה
תכן גיאומטרי וחתך לאורך	יתרון: כאשר דרך זו במפלס המקורי ללא שינוי תוואי. חסרון: כאשר דרך זו משוקעת.	חסרון: כאשר דרך זו מורמת, ונדרשים שינויים בחתך לאורך ומגבלות ראות. יתרון: כאשר הדרך המשנית משוקעת.
תפעול	יתרון: נתיבי ההאטה ביציאה ממנה הם בעלייה, ונתיבי ההאצה בכניסה אליה בירידה, ולכן מתקצרים. (פרט למקרה שהדרך משוקעת)	חסרון: נתיבי ההאצה וההאטה בדרך זו המשנית משוקעת במלואה.
ניקוז	חסרון: פתרון קשה יותר כשדרך זו משוקעת.	יתרון: פתרון קל יותר.
חוסמת (גבריט)	חסרון: מגבלות גובה ורוחב בדרך זו. מטען חורג יידרש לעקוף דרך הרמפות.	יתרון: אין מגבלות גובה, מגבלות הרוחב פחותות.
עומס מירבי	יתרון: מגבלות העומס הן בדרך המשנית.	חסרון: מגבלות לעומס חריג בגשרים.
רגישות סביבתית	יתרון: קל יותר לטפל בהשפעות סביבתיות ורעש. הפחתת רעש, במיוחד ממשאיות, בעיקר בדרך משוקעת. פחות רעש וזיהום עקב האצה והאטה.	חסרון: דרך זו בולטת חזותית לתושבי הסביבה; הטיפול ברעש קשה יותר.
נוחות נסיעה ואחזקה	יתרון: העדר גשרים בדרך זו.	חסרון: ריבוי גשרים בדרך זו.
הנדסת אנוש	יתרון: הגשר העילי שובר מונוטוניות, מהווה אתרעה לקיום מחלף ומסייע להתמצאות.	חסרון: מונוטוניות התוואי, אין אתרעה חזותית להתקרבות למחלף.
מרחקי ראות	יתרון: רמפות היציאה מדרך זו נראות ממרחק גדול יותר לנהג העומד לצאת בהן; המשך הדרך נראה למרחק גדול יותר לנהג העומד להיכנס אל דרך זו.	חסרון: אבחנה מאוחרת יותר ברמפות היציאה מדרך זו; ראות מוגבלת ברמפות הכניסה אליה.
שיקולים חזותיים למשתמשים כלכליות	חסרון: אפשרויות צפייה ומרחב מוגבלים בקרבת המחלף.	יתרון: הרגשת נוף פתוח ומרחב בקרבת המחלף.
תחבורה ציבורית	יתרון: כאשר דרך זו משוקעת.	חסרון: כאשר דרך זו מורמת ממפלס הקרקע.
תחבורה ציבורית	יתרון לדרך המרכזת את פעילות הולכי-הרגל הקשורה לתח"צ, במפלס הקרקע.	

הערה: השיקולים בטבלה אינם מסודרים לפי סדר העדיפות. סדר זה ישתנה בכל מחלף לפי שיקולים יחסיים הייחודיים לו. ראה גם שיקולים נוספים בסעיף 3.5.4.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

3.5.4 שיקולים נוספים

- א. **מרחקי ראות** – כאשר אין העדפה ברורה לאחת משתי האפשרויות, יועדף ההסדר המבטיח מרחקי-ראות גדולים יותר בדרך העיקרית.
- ב. **ביצוע בשלבים והפרעות לתנועה** – הדרך העליונה קלה יותר לביצוע בשלבים ללא הגדלת ההשקעה הכוללת, ובמיזעור ההפרעות לתנועה בשתי הדרכים במהלך העבודה. לכן, עדיף להעביר דרך חדשה מעל דרך קיימת.
- ג. **עלויות** – כאשר אין העדפה ברורה, יש להשוות את העלויות הכוללות של החלופות. החישוב הכלכלי יבוצע לא רק לדרכים הנפגשות, אלא למכלול הרמפות המחוברות ביניהן, כולל המדרונות והשטחים הכלולים במערך ומבני הגשרים הדרושים, לרבות סוגי הגשרים, מפתחיהם, חתכי הרוחב, זוויות המפגש, תנאי הקרקע והביסוס ועבודות העפר הנלוות.
- ד. **שיקולים מערכתיים ומדיניות** – לעיתים נקבעת המדיניות במחלף מסוים לא רק מהשיקולים הספציפיים לו, אלא גם בהתאמה למדיניות הכוללת של התוואי, המעדיפה אחידות בהסדרים במחלפים סמוכים או השגת אחידות סביבתית, כגון שיקוע הדרך העיקרית באזורים בנויים.

3.6 מרחקים מזעריים בין מחלפים

3.6.1 הקשר בין המרחקים לשאר המאפיינים

המרחק המזערי (המרווח) בין מחלפים עוקבים בדרכים מהירות וממוחלפות אחרות הוא אחד הקריטריונים העיקריים בתכנון ובתפעולה של הדרך הממוחלפת. לקריטריון זה השפעה רבה הן על אופן תפקודה של דרך זו במסגרת המערך הכולל של רשת הדרכים, והן על מאפייני זרימת התנועה בדרך הממוחלפת עצמה, לרבות הבטיחות בדרך.

ככל שהמחלפים צפופים יותר, מאפשרת הדרך הממוחלפת, מצד אחד, קשר לדרכים חוצות רבות יותר, ומשרתת טוב יותר את המערכת הכוללת. מצד שני, התנועה בדרך הממוחלפת מושפעת יותר מכניסות ויציאות של נפחי תנועה, ולכן עשויה להיפגע החופשיות של זרימת התנועה בה, וצפויה ירידה ברמת השירות של הדרך, ועלייה בשיעור התאונות.

הדרכים המהירות ושאר הדרכים הממוחלפות במלואן בטוחות יותר, באופן יחסי, מיתר הדרכים במערכת. בדרכים המהירות והממוחלפות מרוכזים הניגודים בקרבת המחלפים. פעולות ההיפרדות, ההתמזגות וההשתזרות, על שינויי המהירות הכרוכים בהן, מהוות הפרעה ומוקד סיכון לתנועה העוברת בדרך. תופעות אלה משפיעות על זרימת התנועה במרחק של מאות מטרים משני צידי המחלף. עקב כך, המחלפים מהווים נקודת-תורפה מבחינת הפרעות ובטיחות לאורך הדרכים המהירות, ויש להגביל את תדירותם.

כתוצאה מהאמור לעיל, לא ניתן לקבוע את המרחק המזערי בין מחלפים מתוך חישוב טכני בלבד, המנותק מקריטריונים ומאפיינים אחרים של הדרך הממוחלפת. הקריטריונים לקביעת המרחק בין

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

מחלפים צריכים להיות קשורים במערכת עקבית לשאר קריטריוני התכן של הדרך, כגון מהירות התכן, נפחי התכן, רמת השירות לתכן, המהירות המירבית המותרת, רוחב זכות הדרך ומרכיביה, והאמצעים ההנדסיים הדרושים להקמתה.

מיקום המחלפים ייקבע בראש ובראשונה בהתאם לשיקולים המערכתיים של ניידות ונגישות ובשילוב עם מידרג מפגשי הדרכים, כמפורט בסעיף 3.1.3 לעיל. שאר הקריטריונים המשפיעים על בחירת מיקום המחלפים ותדירותם הם:

- א. אפשרות לפיתוח מלא של הרמפות ומחבריהן, לרבות מרחקי ההאטה וההאצה הדרושים.
- ב. התחשבות בהשפעת ההשתזרות בין מחלפים סמוכים.
- ג. המרחקים הדרושים להצבת מערך התימרור וההדרכה המקדימה לקראת היציאות, להבטחת ריווח נקודות ההחלטה של הנהגים ולשיפור ההתמצאות.
- ד. מניעת השימוש בדרך מהירה לנסיעות קצרות מאוד, המחייבות כניסה ויציאה במחלפים סמוכים.
- ה. התאמת הקיבולת של הדרכים החוצות לביקושים, למניעת הצטברות נפחים גדולים מדי ברמפות ובדרכים החוצות.
- ו. איזון נפחים וקיבולות בדרך הממוחלפת וברמפות.

3.6.2 הגדרת סוגי הדרכים המהירות בהנחיות אלה

כפי שנקבע כבר בסעיף 3.1.3 לעיל, ובטבלאות 3.1 ו-3.2, קיים הבדל בין מדיניות המפגשים של דרכים מהירות באזור בין-עירוני מובהק, אשר נפגשות במחלפים רק עם דרכים בין-עירוניות אחרות, לבין המדיניות בדרכים מהירות אשר שייכות לרשת הבין-עירונית, אך **משיקות לאזורים עירוניים**, ולכן חלק ממחלפיהן נוצרים כתוצאה ממפגש עם רחובות עירוניים ראשיים. דרכים מהירות העוברות באזורים אלה, משמשות גם כדרכים מטרופוליניות, ותוגדרנה להלן כ"**דרכים פרבריות מהירות (בין-עירוניות)**".

"**דרכים פרבריות מהירות (בין-עירוניות)**" יוגדרו בהנחיות אלה קטעים של דרכים מהירות בין-עירוניות, אשר מקשרות יחידות עירוניות בתוך גושים מטרופוליניים גדולים, באזורים המצויים במבואות הערים, אך לא בתחומי העיר עצמה. דרכים אלה עוברות באזורים שהם מעוררים כבר כיום, או שמצויים בתהליכים מתקדמים של עיור ויהיו מעוררים בעתיד התכנוני הקרוב (20 שנה). בדרכים הפרבריות המהירות הבין-עירוניות יש לנקוט במדיניות תכן, שהקריטריונים שלה מצויים בתחום שמעבר ל'עירוני' המובהק ולקראת ה'בין-עירוני' המובהק, כמפורט להלן. ה'דרך הפרברית המהירה הבין-עירונית' היא חלק מהרשת הבין-עירונית לפי ת/מ/א/3, והיא נפגשת הן עם דרכים בין-עירוניות והן עם צירים עירוניים עורקיים, לסירוגין, במפגשים המצדיקים מחלף.

חשוב לציין, שחלק מהדרכים המוגדרות בת/מ/א/3 כ"**דרך פרברית מהירה**" הוא בעל מאפיינים הנוטים לעירוניים, ואינו באחריות מע"צ, ויוגדרו בהנחיות אלה כ"**דרכים פרבריות מהירות (עירוניות)**". הדרכים הפרבריות המהירות העירוניות אינן מטופלות בהנחיות אלה, אשר עוסקות רק ברשת הבין-עירונית (כדאי לציין, כי ההבדל בת/מ/א/3 בין הדרכים המהירות הפרבריות לשאר הדרכים המהירות מתבטא רק ברוחב רצועת הדרך, ובמרחקי קו בניין מציר הדרך).

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

3.6.3 מרחקים מזעריים בין מחלפים וקריטריוני תכן נלווים

ההמלצות לקריטריוני תכן עיקריים ולמרחקים מזעריים בין מחלפים בדרכים מהירות ובדרכים ממוחלפות במלואן שבאחריות מע"צ, מרוכזים בטבלה 3.4.

המרחקים בין מחלפים יימדדו בין מפגשי צירי שתי הדרכים בתחומי המחלף. מרחקים אלה נקבעו בין היתר גם על-סמך המרחקים המזעריים הדרושים בין כניסות ויציאות סמוכות. כאשר הדרך המהירה נפגשת עם דרכים חוצות בתדירות גבוהה יותר, יבוטלו חלק מהחיבורים, והחציות יבוצעו באמצעות מיפרד. קשרים הכרחיים בין דרכים, שהמרחק ביניהן קטן מהמרחק המזערי בין מחלפים, יובטחו על-ידי כבישי או דרכי-שירות וכבישים מאספים-מחלקים מקבילים לדרך הממוחלפת, ועל-ידי שילוב בין חיבורים סמוכים כדוגמת מחלף היהלום המפוצל.

טבלה 3.4 מרחקים מזעריים בין מחלפים וקריטריונים נלווים

ממוחלפת אחרת	מהירה בין-עירונית	פרברית מהירה (בין-עירונית) ⁽¹⁾	
2.5	5.0	3.0	מרחק מזערי ממחלף-מערכת, ק"מ
1.5	4.0	2.0	מרחק מזערי בין מחלפי-גישה, ק"מ
כמפורט בכרך I	C	D	רמת שירות לתכן
כמפורט בכרך I	15-17	18-20	צפיפות ברמת השירות לתכן, יר"ם/ק"מ/נתיב
כמפורט בכרך I	120	110	מהירות תכן באזור מישורי, קמ"ש

(1) כהגדרתה בסעיף 3.6.2.

3.7 מדיניות מרחקי הראות

מרחק הראות הבסיסי לתכן דרכים מהירות הוא מרחק הראות להחלטה, כמפורט בסעיף 4.3 ובטבלה 4.6 בכרך I של הנחיות אלה. מרחק הראות להחלטה הוא מרחק התואם את טווח הראייה הממוקד של הנהג ואת ציפיותיו, ומאפשר לו:

- לחוש את הכיוון הכללי והצורה של תוואי נסיעתו.
- להתכונן ולבצע מבעוד מועד ובביטחה את כל התמרונים הדרושים לנהיגה, כגון האצה, האטה, שינוי נתיב, פניות וכד'.
נתיב, פניות וכד'.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

ערכי התכן של מרחק הראות להחלטה נתונים בטבלה 4.3 בכרך I של הנחיות אלה. מרחק הראות נמדד מגובה 1.05 מ' לגובה 0.15 מ'. כאמור, דרכים מהירות יתוכננו לפי מרחק הראות להחלטה לכל אורכן, לרבות תכן הציר הראשי בקרבת המחלפים. כן רצוי ליישם מרחק זה לאורך הרמפות, כדי לאפשר הבחנה ממרחק בהסדרי התנועה וההכוונה ובמבנה המחלף. בדרכים ממוחלפות אחרות, יש ליישם את מרחק הראות להחלטה לקראת מחלפים, במיוחד בדרך העיקרית לה ניתנת העדיפות במבנה המחלף. בצמתים הנוצרים במחברי הרמפה עם הדרך המשנית, יש ליישם את מרחקי הראות המתאימים להסדרי התנועה והבקרה המתוכננים, כמפורט בפרק 4 – "מרחקי ראות", בכרך II של הנחיות אלה.

יש לשים לב במיוחד למגבלות הראות שיוצרים התוואי האופקי והתוואי האנכי ברמפות, בגשרים ובמחברים, ולשילוב ביניהם. ראה פירוט הבעיות הייחודיות בהמשך ההנחיות, בפרקים המוקדשים לתכן הגיאומטרי של רמפות (פרק 5) ולמרכיבי התכן הייחודיים של מחלפים לסוגיהם השונים (פרק 9).

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פרק 4

סוגי מחלפים ויישומם במערכת

תוכן עניינים

4-1	בחירת המחלף המתאים	4.1
4-2	מחלפי מערכת בני שלוש זרועות	4.2
4-3	מחלפי-גישה בני שלוש זרועות	4.3
4-3	מחלפים ללא צמתים	4.3.1
4-6	מחלפים עם צמתים	4.3.2
4-6	מחלפי-מערכת בני ארבע זרועות	4.4
4-12	מחלפי יהלום	4.5
4-12	כללי	4.5.1
4-12	יהלום רגיל	4.5.2
4-14	יהלום צר	4.5.3
4-17	יהלום מפוצל	4.5.4
4-19	יהלום בפיצול מרובע	4.5.5
4-21	יהלום חד-נקודתי	4.5.6
4-21	השוואת סוגי מחלפי היהלום	4.5.7
4-23	מחלפי עלה-תלתן חלקיים	4.6
4-23	כללי	4.6.1
4-24	תלתן חלקי A	4.6.2
4-26	תלתן חלקי B	4.6.3
4-26	תלתן חלקי חד-צדדי (AB)	4.6.4
4-28	סיכום מחלפי עלה-תלתן חלקיים	4.6.5
4-29	מחלף סיבובי	4.7
4-31	סיכום הבחירה בסוג המחלף	4.8
4-32	מחלפים משולבים	4.9
4-33	מחלפים בין שתי דרכים מבוקרות-חלקיות	4.10

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פרק 4

סוגי מחלפים ויישומם במערכת

4.1 בחירת המחלף המתאים

כל מחלף מתוכנן הן מתוך השיקולים המערכתיים המתאימים לדרך העיקרית אותה הוא משרת, והן מתוך שיקולי התאמה ואילוצים ייחודיים למיקום בו הוא נמצא, כפי שפורט בסעיף 3.4 לעיל. כתוצאה מכך, אין כמעט שני מחלפים זהים. עם זאת, ניתן לשייך כל מחלף לתצורה עירונית אופיינית אחת מבין התצורות המוזכרות בסעיף 2.4.5 בהנחיות, ומפורטות בהמשך בפרק זה.

קיימים מספר שיקולים עקרוניים, המשפיעים על מידת התאמתה של כל אחת מהתצורות האפשריות השונות, למחלף המתוכנן. הבחירה הראשונית תבוצע בהתאם לשיקולים העקרוניים הבאים:

- א) סיווג התפקודי של המחלף (מערכת או גישה, כהגדרתם בסעיף 2.4.4 בהנחיות) – אשר נקבע בראש ובראשונה מתוך סיווג הדרכים הנפגשות ורמת בקרת הגישות בהן, כמפורט בסעיף 3.1.3 לעיל.
- ב) מאפייני האזור – עירוני, פרברי או בין-עירוני, כמפורט בטבלאות 3.1 ו-3.2.
- ג) מספר הזרועות הנפגשות במחלף והזווית ביניהן.

המתכנן יבחר את סוג המחלף ואת התצורה המתאימה ביותר לתנאים הנתונים, כתוצאה משילוב השיקולים העקרוניים לעיל עם שיקולי התכן הנוספים הבאים:

- ניצול מיטבי (מזערי) של השטח, במסגרת זכות-הדרך הקיימת.
- טופוגרפייה והפרשי רום בין הדרכים.
- שימושי קרקע סמוכים והקשר אליהם.
- השפעה סביבתית.
- שיקולים מערכתיים.
- נפחי הפניות והרכבן.
- מהירויות התכן בדרכים וברמפות.
- בטיחות.
- אמצעי בקרת התנועה באזור המחלף.
- דרישות המשתמשים בדרכים, לרבות תחבורה ציבורית והולכי-רגל.
- שיקולים כלכליים.

החשיבות היחסית של השיקולים השונים משתנה ממחלף למחלף, ולכן, לכל מפגש דרכים, יישקלו צורות המחלפים האפשריות בהתאם לחשיבות היחסית של השיקולים השונים באותו מקום.

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

בסעיפים הבאים מפורטים המאפיינים העיקריים, היתרונות והחסרונות של תצורות המחלפים העיקריות, מידת התאמתן לשיקולים המפורטים לעיל, והנחיות נוספות שיסייעו למתכנן לבחור את המחלף המתאים ביותר, לפי הפירוט:

- סעיף 4.2 – מחלפי-מערכת בני שלוש זרועות (Y, T);
- סעיף 4.3 – מחלפי-גישה בני שלוש זרועות (חצוצרה, אגס, T עם צומת, חצי יהלום);
- סעיף 4.4 – מחלפי-מערכת בני ארבע זרועות (ישירים במלואם או בחלקם, עלה-תלתן מלא);
- סעיף 4.5 – מחלפי-יהלום;
- סעיף 4.6 – מחלפי עלה-תלתן חלקי;
- סעיף 4.7 – מחלף סיבובי;
- סעיף 4.8 – סיכום הבחירה בסוג המחלף;
- סעיף 4.9 – מחלפים משולבים;
- סעיף 4.10 – מחלפים בין שתי דרכים מבוקרות-חלקיות.

פרק 9 בהמשך ההנחיות מוקדש לתיאור מפורט של מרכיבי התכנן הייחודיים של המחלפים השונים, ומיועד להנחות את המתכנן, לאחר שבחר את המחלף המיועד לפי השיקולים שבפרק הנוכחי.

4.2 מחלפי מערכת בני שלוש זרועות

מחלפי-מערכת בני שלוש זרועות מיועדים למפגש בין שתי דרכים ממוחלפות במלואן, שאחת מהן המשכית והשנייה מסתיימת במחלף זה, או להתפצלות של שתי דרכים ממוחלפות. למחלפים אלה קשה לבצע תוספות בעתיד, ולכן ייועדו רק למקרים בהם הצורך בהשלמת הרביע החסר אינו מתוכנן בעתיד הנראה לעין. אחרת, יתוכנן מראש מחלף בן ארבע זרועות אשר יבוצע בשלבים באופן חלקי, בהתאם לצורך.

המחלפים האופייניים מסוג זה יהיו בתצורת **מחלף ישיר** (Fully directional) מסוג "T" או "Y", בהתאם לזווית המפגש בין הדרכים, כמפורט:

א. מחלף ישיר "T" (קמץ) – ציור 4.1 – למפגש בין דרכים ממוחלפות שהוא בזווית ישרה או קרובה לה, מתאימה אחת מתצורות "T" המוצגות בציור. בכל התצורות, שתי הפניות שמאלה מבוצעות על רמפות ישירות-למחצה, המאפשרות פניה של נפחים גדולים במהירויות-תכן גבוהות יחסית. בצורות א' ו-ב' שבציור נדרשות שלוש קומות, ואילו בצורה ג' – שתי קומות בלבד. האפשרויות דומות מבחינה תפעולית, והבחירה ביניהן תעשה משיקולי עלות ואפשרות הביצוע.

ראה פירוט נוסף בסעיף 9.2.1 בהנחיות.

ב. מחלף ישיר "Y" – ציור 4.2 – מחלף חלקי או מלא, המיועד למפגש בין שתי דרכים ממוחלפות אשר נפגשות בזווית קטנה או מתמזגות לאחר המחלף לתוואי משותף. כאשר אין צורך בקשר בין הדרך המתמזגת לבין אחד מכיווני הדרך ההמשכית, הצורה המתאימה היא מחלף "Y" חלקי כדוגמת א' שבציור. הצורה החלקית מחייבת שתי רמפות: האחת ישירה לפנייה ימינה, והשנייה ישירה-למחצה לפנייה שמאלה. כאשר יש צורך ברמפות לכל הפניות, הצורות המתאימות הן ב' או ג' בציור. בצורה

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

ב' הדו-קומתית שלושה גשרים נפרדים, ובצורה ג' אחד הגשרים תלת-קומתי. שתי האפשרויות דומות מבחינה תפעולית, והבחירה ביניהן תעשה משיקולי עלות ואפשרויות הביצוע. בכל החלופות של מחלפי "ז" יש להקפיד, שהפניות שמאלה מהדרך ההמשכית תהיינה ישירות-למחצה ולא ישירות, ושהדרך המסתיימת במחלף זה תתפצל ותתמזג רק מצדה הימני של הדרך ההמשכית. ראה פירוט נוסף בסעיף 9.2.2 בהנחיות.

4.3 מחלפי-גישה בני שלוש זרועות

4.3.1 מחלפים ללא צמתים

מחלפי-גישה בני שלוש זרועות מיועדים למפגש בין דרך ממוחלפת לבין דרך אחרת, המסתיימת במחלף זה, או בין שתי דרכים לא ממוחלפות. הצורות המקובלות למחלפים אלה הן:

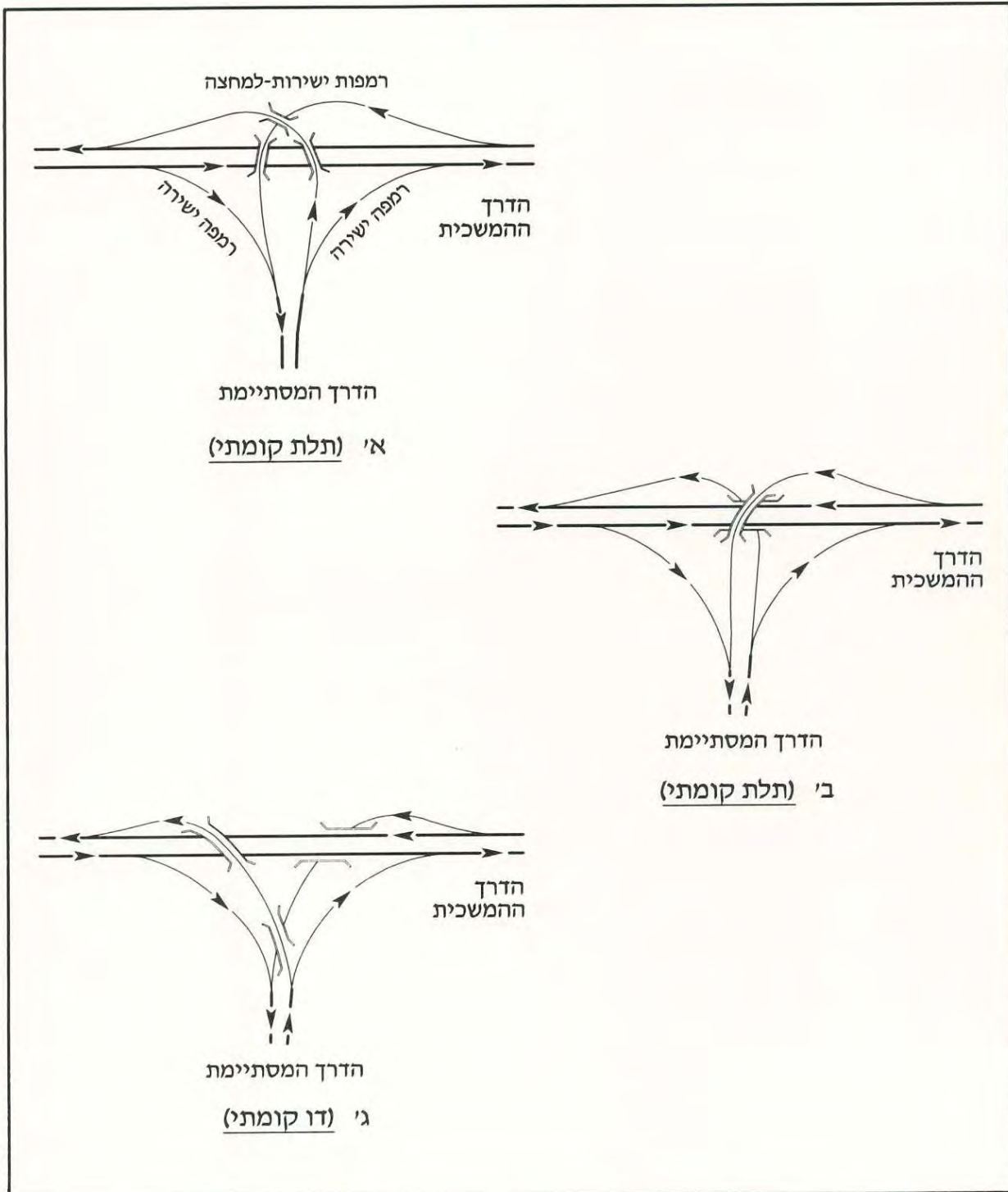
א. **מחלף חצוצרה (חד-צדדי) (Trumpet)** – ציור 4.3 – מחלף-גישה ללא צמתים, המיועד למפגש בין דרך המשכית ממוחלפת לבין דרך חד-מסלולית המסתיימת באותו מחלף. לדרך מסתיימת דו-מסלולית יועדף מחלף האגס, המפורט ב-ג' להלן. שתי הפניות ימינה הן ברמפות אלכסוניות, ושתי הפניות שמאלה מבוצעות האחת בלולאה והשנייה ברמפה ישירה-למחצה. המחלף מחייב גשר יחיד. לחצוצרה שתי גרסאות עיקריות:

- 1) בחצוצרה הימנית (A) – א' בציור 4.3 – רמפת הלולאה מימין לגשר (לפני הגשר בכיוון התנועה בדרך ההמשכית), ומשמשת לפנייה שמאלה מהדרך המסתיימת (כניסה לדרך ההמשכית).
- 2) בחצוצרה השמאלית (B) – ב' בציור 4.3 – רמפת הלולאה משמאל לגשר (לאחר הגשר בכיוון התנועה בדרך ההמשכית), ומשמשת לפנייה שמאלה מהדרך ההמשכית (יציאה לדרך המתחילה).

בשל מגבלות המהירות והנפח בלולאה, רצוי לבחור בין החצוצרה הימנית לשמאלית, לפי הגירסה שבה הלולאה משמשת עבור הפנייה שמאלה, שנפחה הוא הקטן יותר מבין שתי הפניות שמאלה בין הדרכים. כשאין הבדל בנפחים, תועדף החצוצרה השמאלית, כי החצוצרה הימנית היא פחות טבעית לנהג ומורכבת יותר להדרכה, היות ושתי הפניות מהדרך המסתיימת הן לאותו כיוון. בחצוצרה השמאלית רצוי להאריך את המחבר המשמש ליציאה מהדרך ההמשכית אל הלולאה, כך שיתחיל לפני הגשר, כמתואר בציור, בהתאמה לעקרונות התכנן המפורטים בסעיף 3.4.3 לעיל. ראה פירוט נוסף בסעיף 9.4.1 בהנחיות.

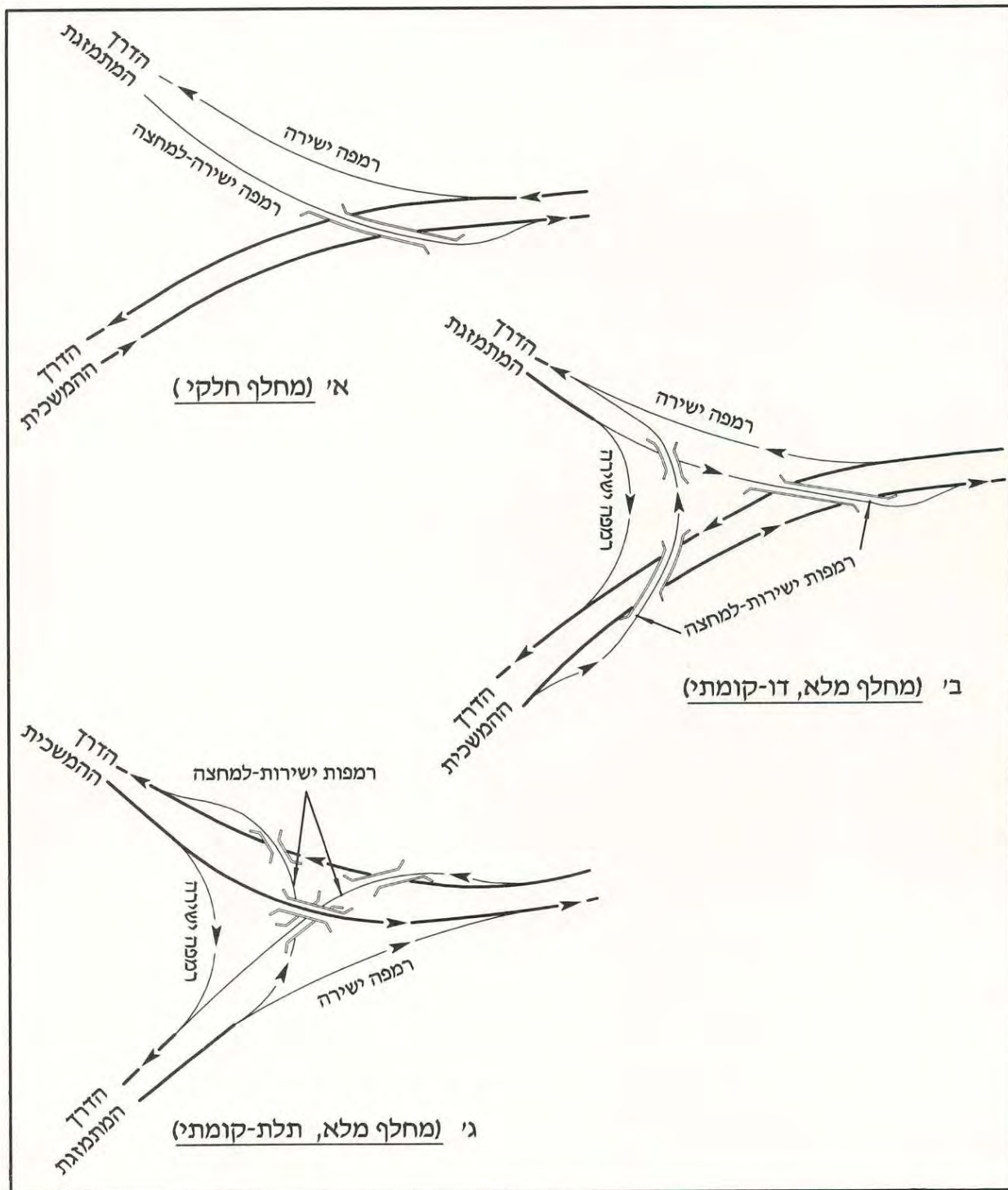
ב. **מחלף חצוצרה דו-צדדי (AB)** – ציור 4.4 – החצוצרה הדו-צדדית יעילה פחות ודורשת שטח גדול יותר מהחצוצרות החד-צדדיות. בנוסף, היא יוצרת השתזרויות לאורך הדרך ההמשכית, כמתואר בצורה א' בציור. לכן מיועדת החצוצרה הדו-צדדית, כפתרון סופי, רק למחלף בין שתי דרכים בסיווג נמוך, בו אין אפשרות לביצוע חצוצרה חד-צדדית, או כפתרון-ביניים לאתר בו יפותח בעתיד מחלף

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



מחלפי-מערכת ישירים בתצורת "T" ציור 4.1

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



מחלפי-מערכת ישירים בתצורת "Y"

ציור 4.2

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

עלה-תלתן מלא או חלקי חד-צדדי. במקרה זה, יש להתוות את הרמפות של המחלף כך, שיתאפשר ביצוע שתי הרמפות האלכסוניות הנוספות בשלב השני, ושתי הלולאות הנוספות במידת הצורך, כמתואר בצורה ב' בציור. כן רצוי כביש מאסף-מחלק מצד אחד של הדרך ההמשכית, כמתואר בציור.

פרטי התכנן הגיאומטרי למחלף זה הם בדומה למפורט ביחס למחלף עלה-תלתן חלקי חד-צדדי בסעיף 9.6.6 בהנחיות.

ג. מחלף אגס – ציור 4.5 – בהשוואה למחלפי החוצרה החד-צדדיים, דורש מחלף האגס יותר שטח וגשר נוסף מעל הדרך ההמשכית. האגס מאפשר קיבולת גבוהה יותר לחיבור בין הדרכים, ולכן מהווה תחליף לחוצרה, כאשר הדרך המסתיימת היא דו-מסלולית. לאגס שתי רמפות אלכסוניות לפניו ימינה, ושתי רמפות ישירות-למחצה לפניו שמאלה. לאגס שתי צורות עקרוניות – ימנית (א' בציור) ושמאלית (ב' בציור). לאגס השמאלי יתרון על-פני הימני מבחינה תפעולית, בגלל הרדיוסים הגדולים יותר לתנועה הממשיכה שמאלה מהדרך המסתיימת, כמתואר בצורה ב' בציור. גירסה נוספת (ג' בציור) מכילה אזור השתזרויות, ואינה מומלצת.

ראה פירוט נוסף בסעיף 9.4.2 בהנחיות.

4.3.2 מחלפים עם צמתים

א. "T" עם צומת – כאשר הדרך המסתיימת היא בסיווג נמוך או בעלת אופי עירוני, ניתן להשתמש בצורה מיוחדת של מחלף "T", בו שתי הפניות שמאלה הן ברמפות כדוגמת ישירות-למחצה, אלא שהן נפגשות בצומת, כמתואר בצורה א' בציור 4.6. צורה זו מתאימה לשימוש כאשר לשתי הפניות שמאלה שעות-שיא שונות (מחלף המשרת תנועת יוממים חזקה), או כשלב-ביניים לפני פיתוח מחלף חוצרה או אגס.

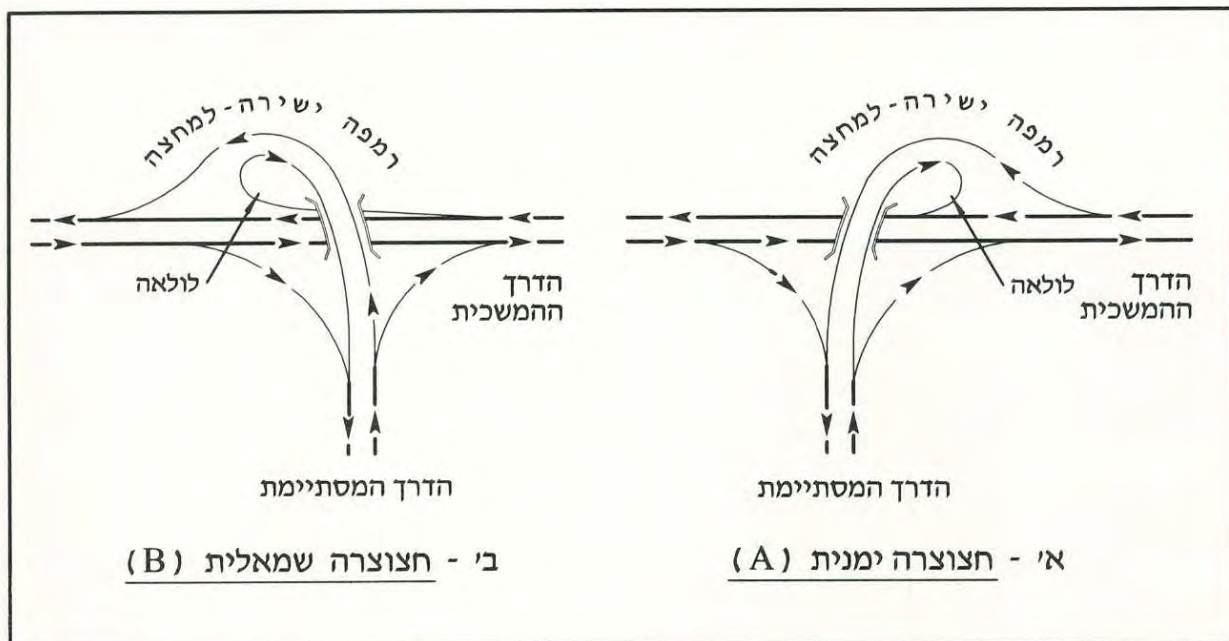
ב. חצי יהלום – במקום "T" עם צומת, ניתן להשתמש בחצי מחלף יהלום, המתואר בצורה ב' בציור 4.6. צורה זו מתאימה למחלף בו הדרך המסתיימת היא בסיווג נמוך, או בעלת אופי עירוני, ונפחי הפניות שמאלה נמוכים. כמו-כן, ניתן להשתמש במחלף זה כאשר צפויה בעתיד המשכת הזרוע המסתיימת, ופיתוח המחלף ל"יהלום" שלם, כמתואר בציור.

פרטי התכנן של שני סוגי המחלפים עם צמתים (ד' ו-ה' לעיל) הם בדומה למפורט ביחס למחלפי יהלום רגיל/צר בסעיף 9.5 בהנחיות, בהשמטת זרוע משנית אחת.

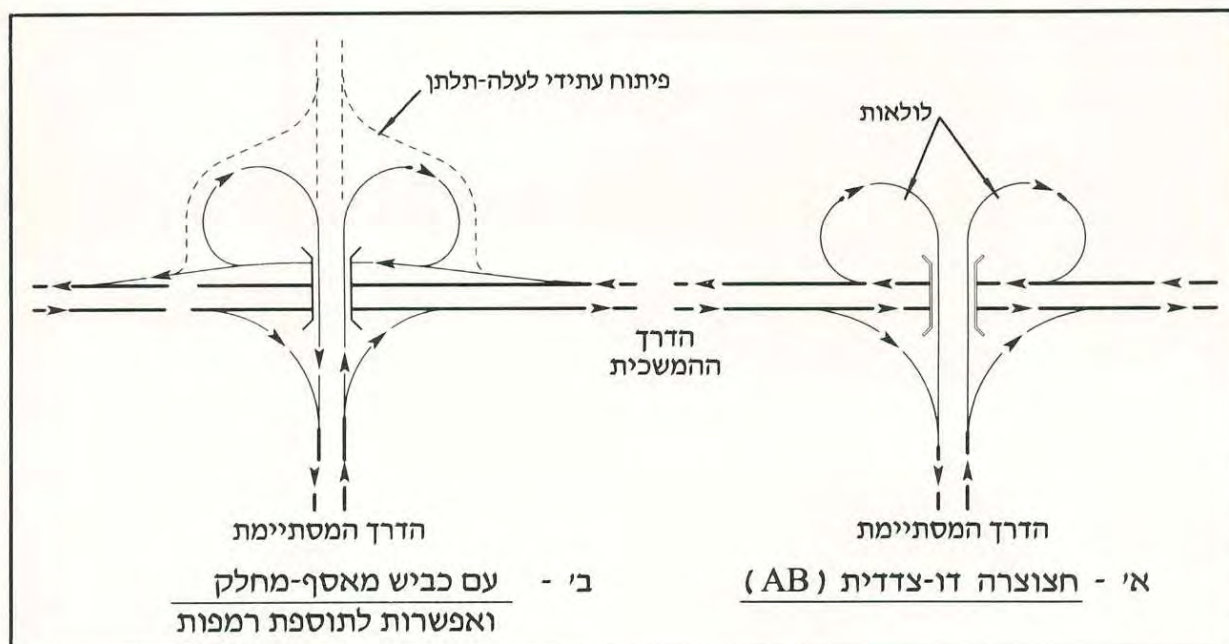
4.4 מחלפי-מערכת בני ארבע זרועות

מחלפי-מערכת בני ארבע זרועות מיועדים למפגש בין שתי דרכים מהירות או ממוחלפות במלואן, כגון בין דרך מהירה לבין דרך ראשית ממוחלפת, או בין שתי דרכים ראשיות ממוחלפות. מחלפי-המערכת מיועדים להעברת נפחים גדולים של פניות בעיכובים מועטים, תוך הקטנת ההפרעות לתנועות הממשיכות ישר, ככל האפשר. מחלפי-מערכת יקרים יותר ממחלפי-גישה, ודורשים שטח גדול יותר.

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

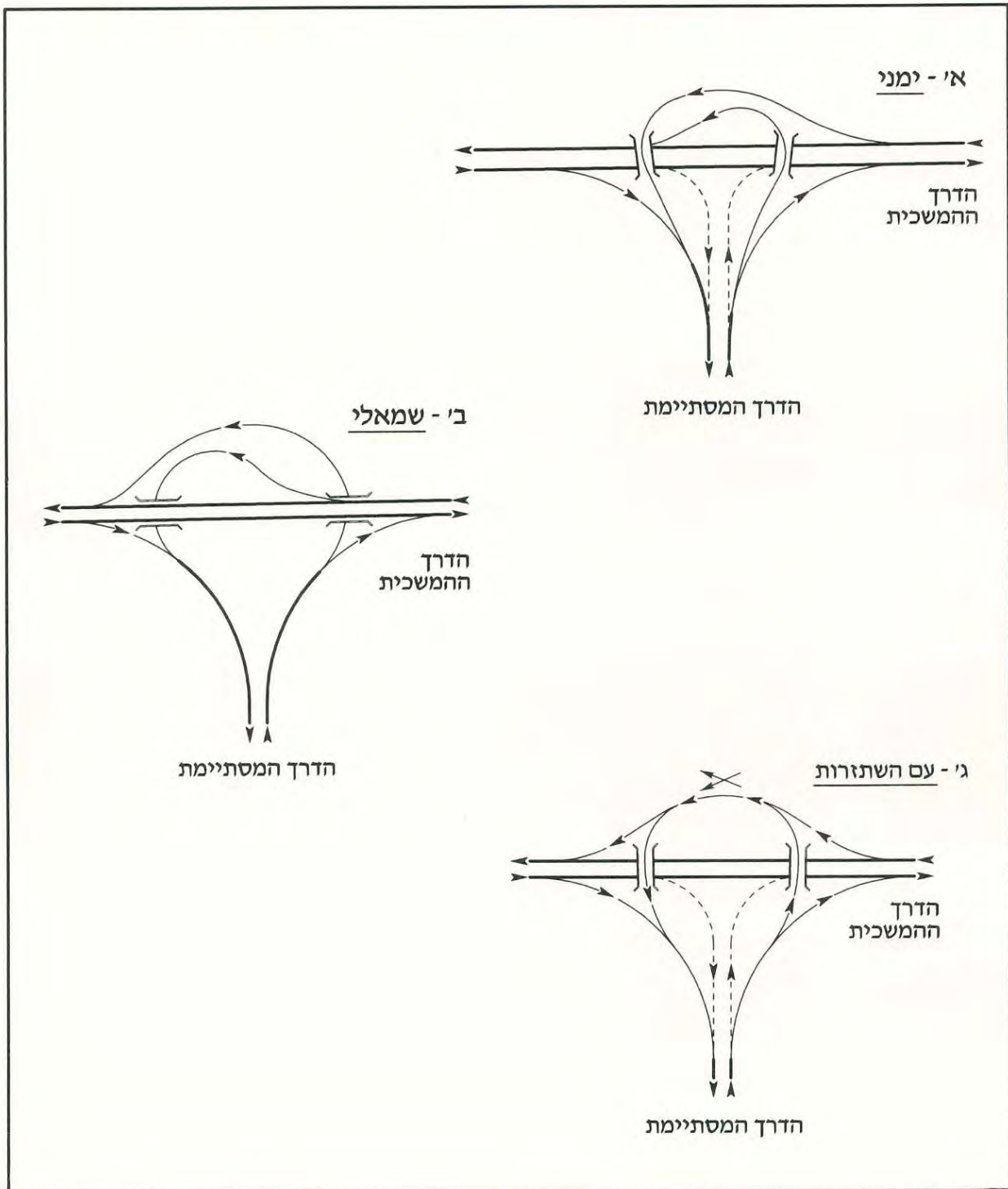


ציור 4.3 מחלפי חצוצרה חד-צדדיים



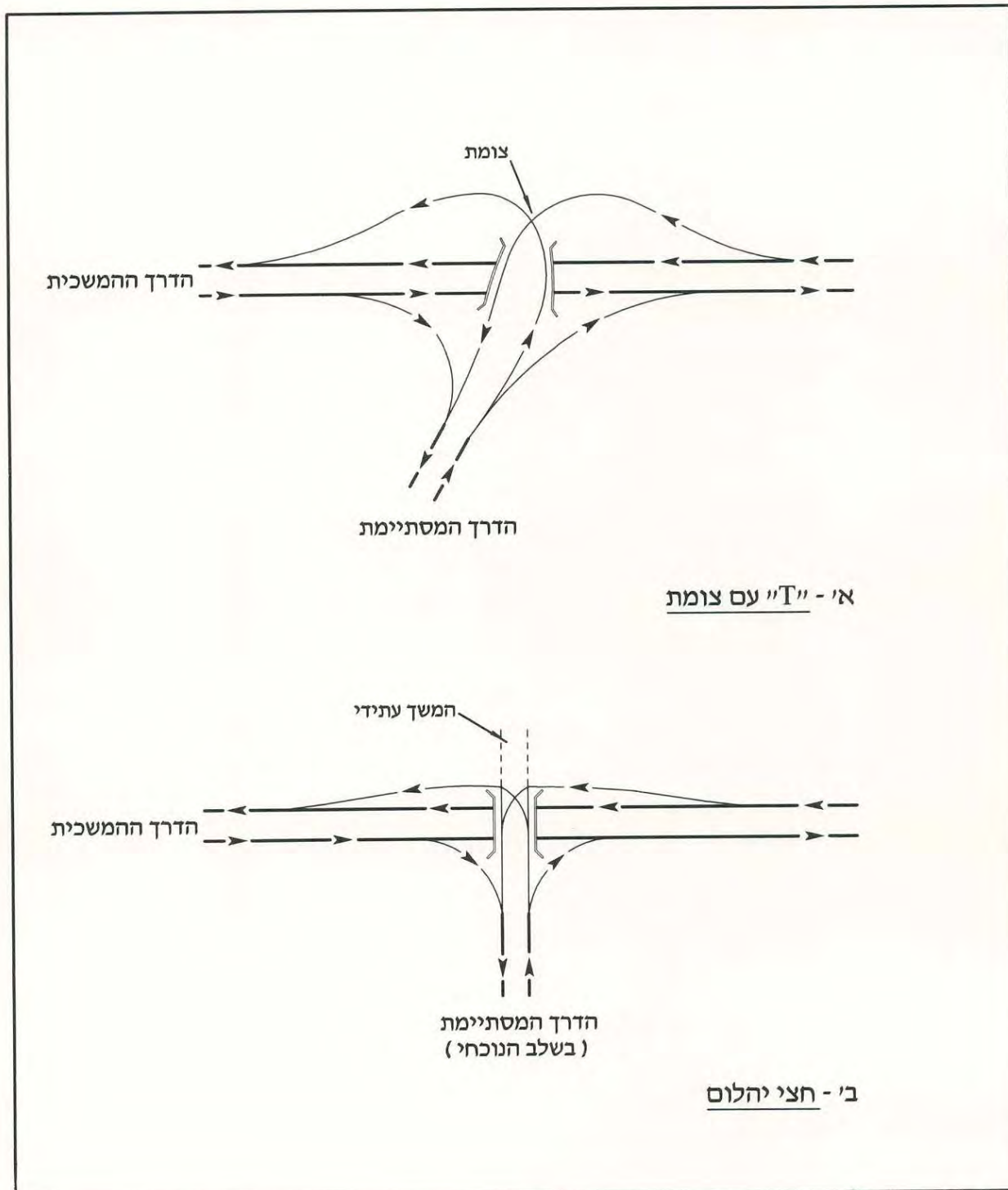
ציור 4.4 מחלפי חצוצרה דו-צדדיים

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



מחלפי אגס ציור 4.5

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



מחלפי-גישה בין שלוש זרועות, עם צמתים 4.6 ציור

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

לכל מחלפי-המערכת עקרונות תכנון ותפעול דומים:

- העדר מוחלט של צמתים בשתי הדרכים.
- יציאות וכניסות מימין בלבד, בשתי הדרכים.
- יציאה יחידה ימינה מכל דרך, והתפצלויות נוספות מהרמפה הראשונה, או מכביש מאסף-מחלק.
- העדר השתזרויות בתחומי המחלף.

הסוגים העיקריים של מחלפי-מערכת בני ארבע זרועות הם:

א. מחלפים ישירים במלואם (Fully directional) – מחלף בו כל הפניות ימינה מבוצעות ברמפות ישירות, והפניות שמאלה – ברמפות ישירות-למחצה. לכל הרמפות רדיוסים גדולים, המאפשרים פניות במהירויות של עד 75% ממהירויות התכנן בדרכים (ראה סעיף 5.3 בהמשך). המחלפים הישירים במלואם מיועדים למחלפים העמוסים ביותר בין שתי דרכים מהירות, ומחייבים הפרדה לארבעה מפלסים, כמתואר בצורה א' בציר 4.7.

ב. מחלפים ישירים בחלקם (Partially directional) – מבוססים על מחלפים ישירים, אך חלק מהפניות שמאלה מבוצעות באמצעות לולאות, במקום ברמפות ישירות-למחצה, כמתואר בצורות ב' ו-ג' בציר 4.7. מיועדים למחלפי מערכת מאולצים, בעלי מגבלות שטח, ופניות שמאלה עמוסות פחות מאשר במחלף הישיר המלא. הלולאות יותאמו לפניות שמאלה הפחות עמוסות, ורצוי שהנסיעה בהן תהיה בעלייה. תוספת הלולאות מאפשרת להפחית את מספר הגשרים והקומות הדרושים: בצורה ג' בציר 4.7, תוספת שתי הלולאות מקטינה את מספר המפלסים לשלושה. מאידך, תוספת הלולאות מגדילה את מספר היציאות והכניסות בשתי הדרכים, ועשויה להוסיף קטעי השתזרות, שיחייבו כבישים מאספים-מחלקים.

פירוט נוסף למחלפים ישירים במלואם או בחלקם מופיע בסעיף 9.3 בהנחיות.

ג. מחלפי עלה-תלתן מלא (Full cloverleaf) – ציר 4.8 – כל ארבע הפניות שמאלה הן עקיפות ומבוצעות באמצעות לולאות. בגלל המגבלות הגיאומטריות והתפעוליות של הלולאות, מחלף עלה-תלתן אינו מיועד לדרכים מהירות, אלא למחלף בין שתי דרכים לא מהירות, שאין לבצע בהן צמתים, ואשר נפח הפניות שמאלה ביניהן אינו מתקרב למגבלות הקיבולת של הלולאות (ראה חסרונות להלן).

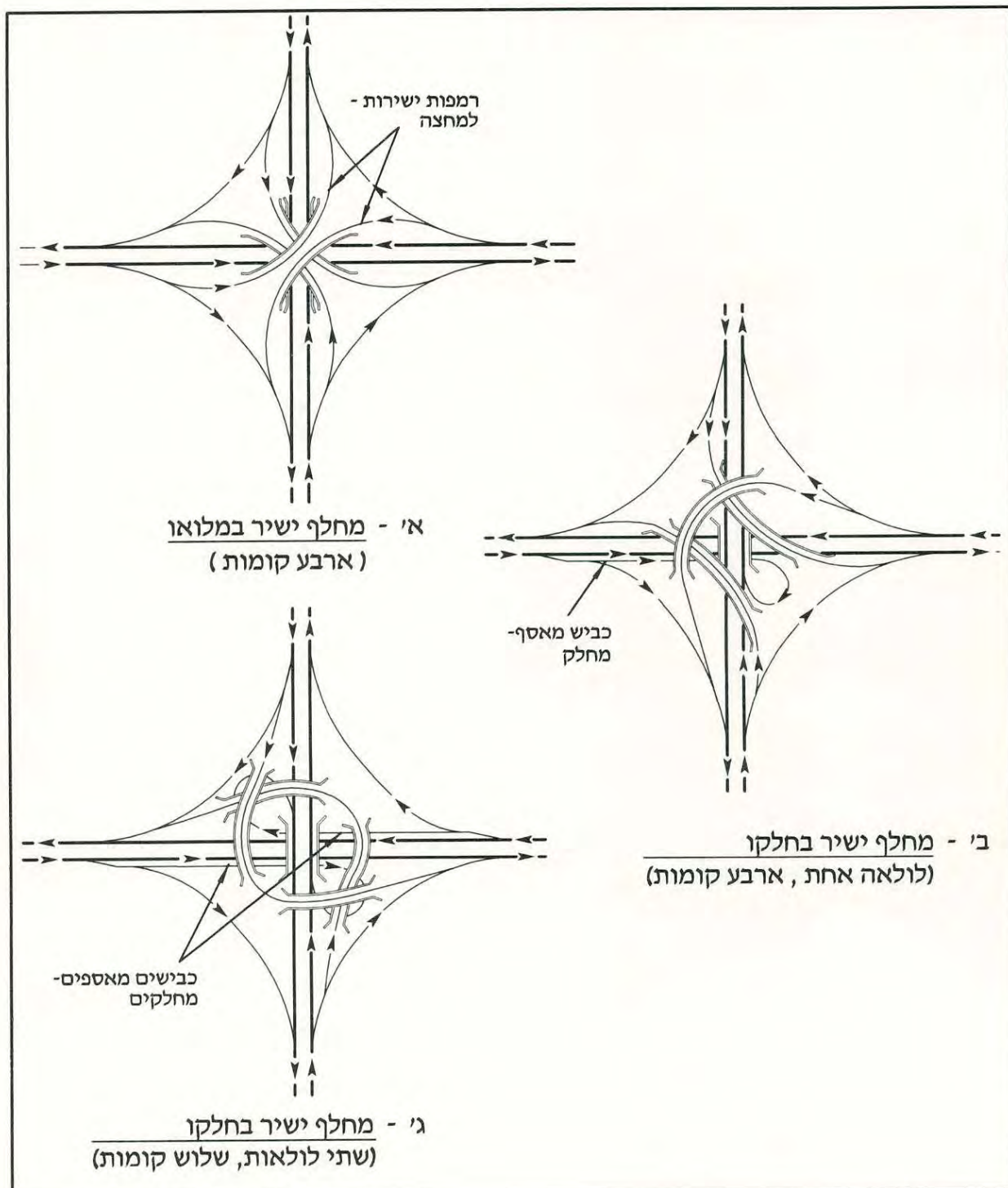
יתרונות מחלף עלה-תלתן:

- דורש שני מפלסים בלבד.
- מחלף-המערכת המצומצם ביותר.
- ניתן לפיתוח בשלבים ממחלף עלה-תלתן חלקי.

חסרונות מחלף עלה-תלתן:

- דורש שטח גדול, יחסית למחלפי-גישה.
- קשיי תמרון לכלי-רכב כבדים.
- מאריך את הפניות שמאלה.
- ללולאות מגבלות תפעוליות: מאפשרות פניה רק במהירויות נמוכות (עד 50 קמ"ש ברדיוס 75 מ') ולכן מיועדות רק לנפחים מוגבלים של פניות שמאלה, אחרת נגרמות הפרעות לתנועה העוברת (ראה נתוני קיבולת לולאות בסעיף 7.5 בהמשך ההנחיות).

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 4.7 מחלפי-מערכת ישירים במלואם או בחלקם

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

• למחלף במצבו הבסיסי (ללא כביש-מאסף מחלק) חסרונות תפעוליים: (1) בכל זרוע נוצרות שתי יציאות נפרדות – לרמפה הישירה ימינה וללולאה שאחריה, ושתי כניסות נפרדות; (2) לולאת הכניסה לדרך קודמת ללולאת היציאה ממנה, ובקטע ביניהן נוצרת השתזרות בלתי רצויה, במקביל לתנועה העוברת. הפתרון המומלץ לשתי הבעיות הוא ארבעה כבישים מאספים-מחלקים – כל צמד מקביל לאחת מהדרכים הנפגשות, משני צידיה, בתחומי המחלף, כמתואר בציור 4.8. הכבישים המאספים-מחלקים מחייבים את הארכת הגשר והרחבתו.

ראה פירוט נוסף ביחס למחלפי עלה-תלתן מלאים בסעיף 9.3.2 בהנחיות.

4.5 מחלפי יהלום

4.5.1 כללי

מחלף היהלום (או "מעויין") הוא מחלף הגישה הפשוט ביותר בין שתי דרכים המשכיות, אשר דורש את השטח המצומצם ביותר וניתן להתאמה למגוון של תנאי שטח, סביבה ותנועה. היהלום מתאים הן למחלף עם דרך בין-עירונית והן למחלף עם רחוב עירוני, כמפורט בהמשך.

ליהלום ארבע רמפות אלכסוניות חד-סיטריות, המסתיימות בצמתים במפלס אחד עם הדרך המשנית. קיבולת הפניות שמאלה בצמתים אלה היא המגבלה העיקרית לקיבולת המחלף. כאשר נפחי הפניות שמאלה גבוהים, יש לרמזר את הצמתים.

למחלף היהלום מספר צורות אפשריות, המתוארות בתתי-הסעיף 4.5.2 עד 4.5.6 להלן: יהלום רגיל; יהלום צר; יהלום מפוצל; יהלום בפיצול מרובע; יהלום חד-נקודתי. לכל אחת מהצורות מפורטים המאפיינים, היתרונות והחסרונות, וכן הכללים העיקריים ליישום, כאשר בתת-סעיף 4.5.7 מובאת השוואה איכותית-יישומית של חמש הצורות.

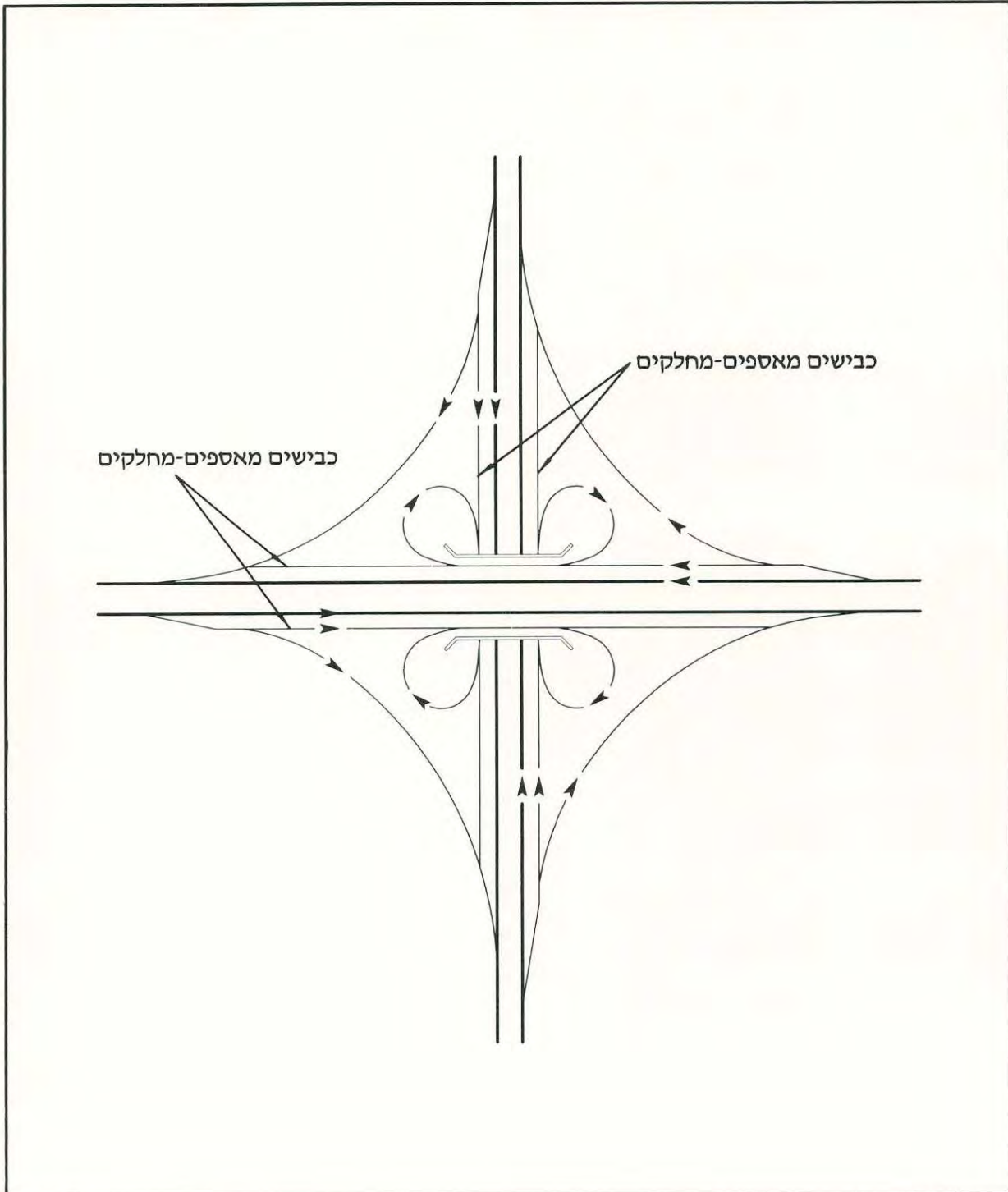
4.5.2 יהלום רגיל

מחלף היהלום הרגיל (Simple diamond) – ציור 4.9 – מתאים למקרה בו תנאי השטח והסביבה מאפשרים הרחקת הצמתים בדרך המשנית מהגשר, כך שהצמתים מצויים באותו מפלס של מפגש שתי הדרכים; אין צורך בשיפועים ניכרים ברמפות, ודרושות עבודות עפר מעטות.

יתרונות היהלום הרגיל:

- יציאה יחידה וכניסה יחידה בדרך העיקרית; רמפות היציאה מהדרך הממוחלפת והכניסה אליה מתאימות למהירויות גבוהות.
- חסכוני יחסית בשטח ובהוצאות ההקמה, ומחייב גשר אחד בלבד.
- נתיבי ההאטה וההאצה בדרך העיקרית מרוחקים מהגשר.
- התימרון וההדרכה פשוטים.
- מאפשר שימוש ברמפות לנסיעה במקביל לדרך העיקרית לצורך חציית הדרך המשנית, ולכן פתרון פשוט לעקיפת המחלף עבור תחבורה ציבורית ומטענים חורגים.

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



מחלף עלה-תלתן מלא עם כבישים מאספים-מחלקים מקבילים
לשתי הדרכים

ציור 4.8

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

- נוח לביצוע בשלבים, בהפרעה מועטה לשתי הדרכים.

חסרונות היהלום הרגיל:

- גורם עיכוב לפניית שמאלה מהדרך הממוחלפת.
- קיבולת הצמתים ברמפות היציאה מהדרך העיקרית מוגבלת, בעיקר בפנייה שמאלה. חשש להצטברות תור לאורך הרמפה ולכן "גלישה" לדרך העיקרית.
- קיבולת הדרך המשנית באזור המחלף מוגבלת. תוספת לקיבולת מחייבת הגדלת מספר הנתיבים ולכן הרחבת הגשר.
- ייתכנו מגבלות ראות בצמתים של הדרך המשנית עם מחברי-הרמפות המגיעות מהדרך הראשית, עקב פרופיל התוואי האנכי באזור הגשר.
- סכנה לפניית לא נכונות מהדרך המשנית לרמפות החד-סיטריות, בעיקר כשהדרך המשנית אינה מחולקת.

היהלום הרגיל מתאים לשימוש במחלפים עם דרך משנית בסיווג נמוך, כאשר השימוש ברמפות מועט או בינוני. כן מתאים היהלום כאשר לקווי האוטובוסים העוברים בדרך העיקרית נדרשות תחנות באזור המחלף.

מחלף היהלום מוקם לעיתים כשלב שני לאחר צומת בפיצול יהלום, כמתואר בסעיף 10.6.4 בכרך II של הנחיות אלה.

במחלף היהלום בו הרמפות רחוקות מהגשר ניתן להוסיף, בשלב מאוחר יותר, לולאות של מחלף מסוג תלתן חלקי עבור הפניות שמאלה שנפחן גדול, כדי לשפר את הקיבולת ולהקטין את העיכובים באזור הצמתים. כדי להבטיח את אפשרות הפיתוח העתידית, יש לתכנן מלכתחילה את המחלף כעלה-תלתן חלקי A-4 או B-4 (ראה סעיף 4.6 להלן), ולבצע בשלב הראשון רק את ארבע הרמפות החיצוניות, כמתואר בציור 4.10. ניתן אף לבצע יהלום כשלב ראשון למחלף עלה-תלתן מלא.

4.5.3 יהלום צר

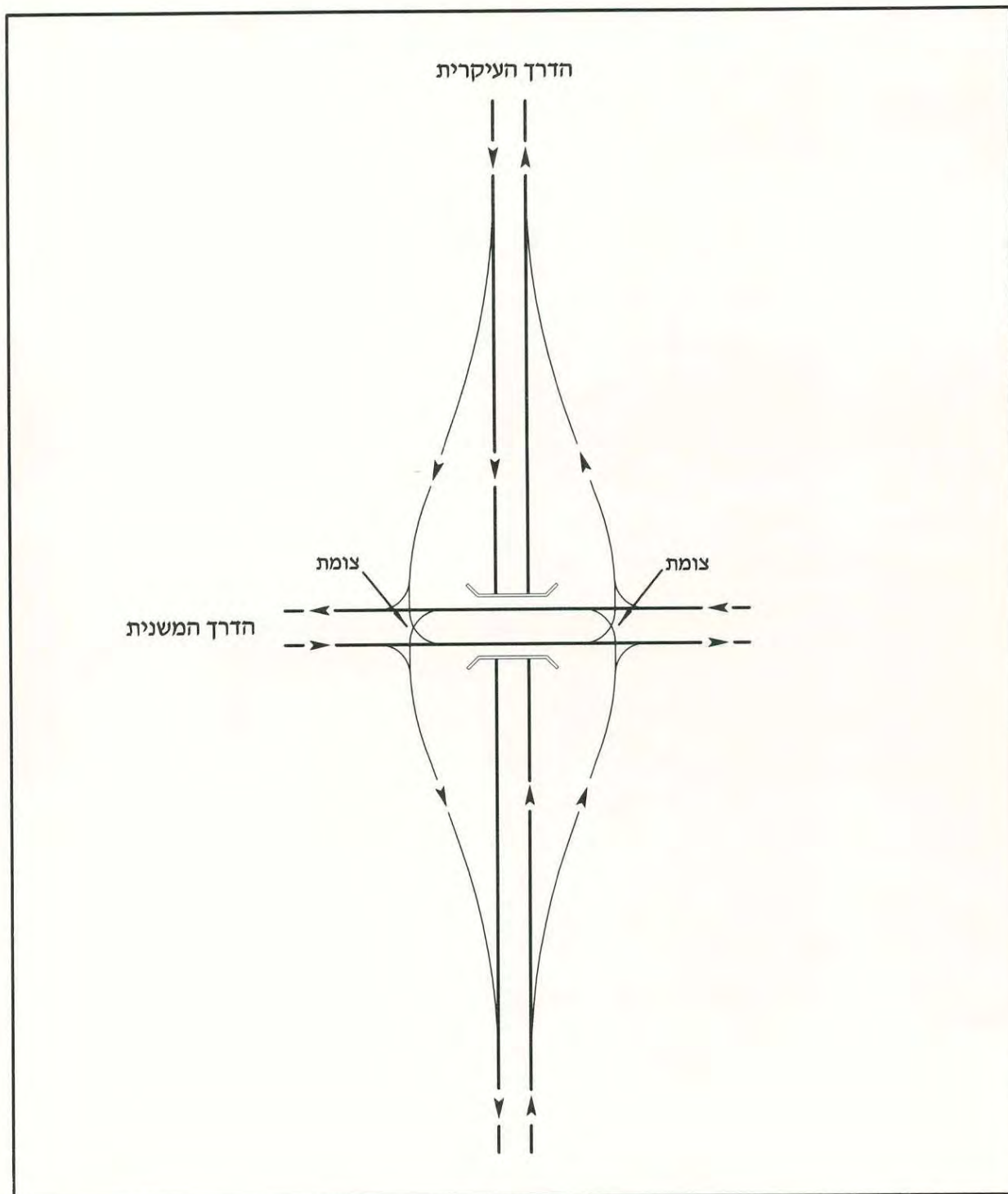
ביהלום הצר (Compact diamond) – ציור 4.11 – המרחק בין הרמפות לבין הדרך הממוחלפת הוא קטן, והצמתים בדרך המשנית קרובים זה לזה (עד 120 מטר), סמוכים לצידי הגשר, ובמפלס קרוב למפלס הגשר.

יתרונו העיקרי של היהלום הצר (ביחס ליהלום הרגיל) הוא באפשרות להקמתו בזכות דרך צרה במיוחד, בעיקר כאשר הדרך העיקרית משוקעת. עקב המרחק הקצר בין שני המחברים לעצירה בדרך המשנית, מתאים היהלום הצר כמחלף בין דרך בין-עירונית לבין רחוב עירוני, בעיקר כאשר זכות הדרך מוגבלת, או שהקרע יקרה, ואפשרויות השינויים בחתך האורך של הרחוב החוצה מוגבלות. במקרה כזה, הרחוב החוצה יישאר במפלס המקורי, והדרך הממוחלפת תהייה מוגבהת או משוקעת, בהתאם לנסיבות.

חסרונות היהלום הצר (ביחס ליהלום הרגיל):

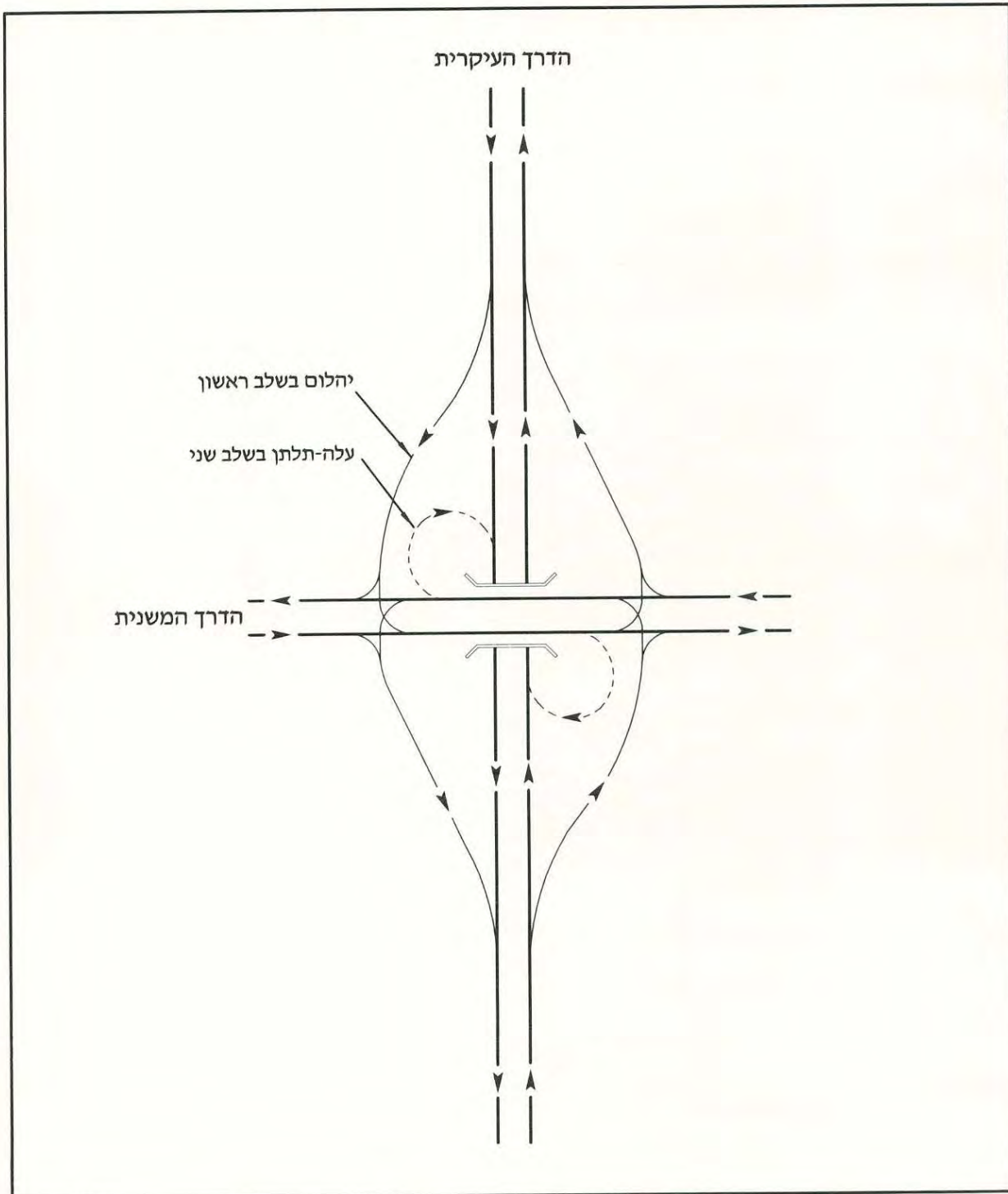
- מוגבל באפשרויות לפיתוח נוסף או לביצוע שינויים בתצורת המחלף.

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



מחלף יהלום רגיל ציור 4.9

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 4.10 מחלף יהלום כשלב ראשון למחלף עלה-תלתן

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

- המרחק הקטן בין הצמתים בדרך המשנית, וקירבתם לגשר, צפוי לגרום מגבלות ראות בצמתים ולאורך הדרך המשנית.
- נפחי האחסנה לפניות שמאלה מהדרך המשנית מוגבלים. תוספת נתיבים לפניות מחייבת הרחבת הגשר.
- מחייב סוללות גבוהות או קירות-תמך גבוהים.

בתפעול מרומזר של יהלום צר נדרש תאום בין שני הצמתים, באמצעות הפעלתם המשותפת במנגנון מרומזר בן ארבע פאזות. כאשר שני הצמתים בדרך המשנית קרובים מאוד (20-30 מטר) ומרומזרים, צפויות מגבלות גיאומטריות, תפעוליות ובטיחותיות, ויש לבחון את אפשרות המעבר ליהלום החד-נקודתי (ראה 4.5.6 להלן).

4.5.4 יהלום מפוצל

מחלף היהלום המפוצל (One-way split diamond) – מורכב משני חצאי יהלום, בהם כל זוג רמפות מתחברות בהסתעפויות קמץ לשתי דרכים מקבילות סמוכות או לשני רחובות מקבילים סמוכים, כאשר בכל אחת מהדרכים המשניות מתבצעות חלק מהתנועות במערכת.

קיימות שתי אפשרויות עקרוניות לתפעול של מחלף יהלום מפוצל:

- (1) חיבור לשתי דרכים דו-סיטריות (ציור 4.12).
- (2) חיבור לשתי דרכים חד-סיטריות (ציור 4.13).

באפשרות השנייה מתחייבת תוספת דרכי-שירות חד-סיטריות מקבילות לדרך הממוחלפת בין שני חלקי המחלף, כמתואר בציור 4.13, כדי לאפשר את קיום כל הפניות. גם בחיבור לדרכים דו-סיטריות רצויה תוספת של דרכי-שירות, במידת האפשר, מאחר שהיא מאפשרת את עקיפת המחלף לתחבורה ציבורית ולמטענים חורגים, מאפשרת חזרה לדרך לנהג שטעה, ומונעת תנועה עוברת במערכת הדרכים המקומית.

יתרונות היהלום המפוצל (ביחס ליהלום הרגיל):

- הגדלת הקיבולת של הפניות שמאלה ושל התנועה העוברת בדרך המשנית.
- גמישות של פתרון דו-מפלסי במקום בו לא מתאפשר מחלף אחר.

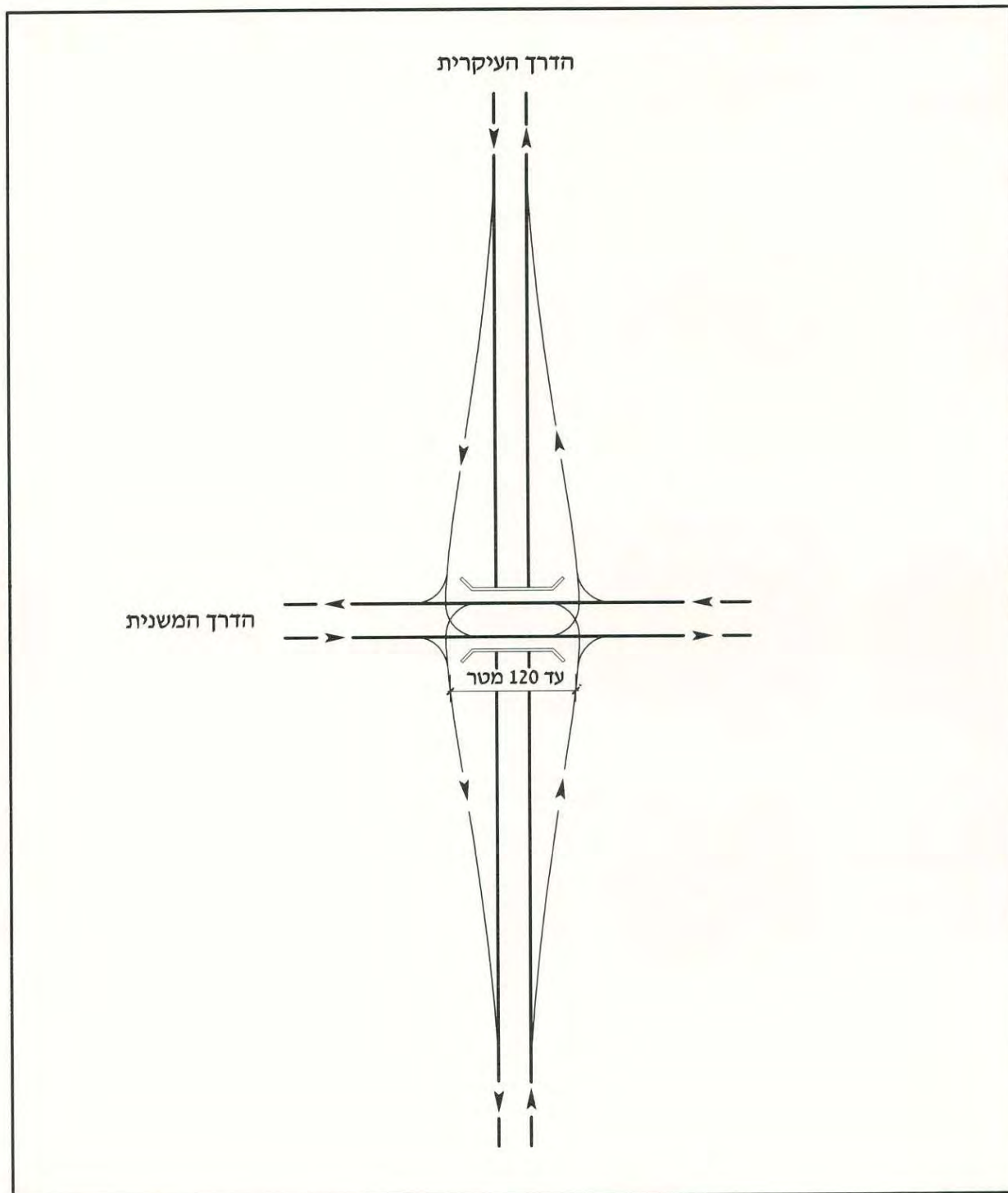
חסרונות היהלום המפוצל (ביחס ליהלום הרגיל):

- הצורך בגשר נוסף.
- ההדרכה וההתמצאות מורכבות יותר.
- הארכת מרחקי הנסיעה לחלק מהתנועות המיועדות לפניות שמאלה והגדלת נפחי התנועה בדרכים המשניות ובדרכים סמוכות (בעיקר כשאין דרך שירות).

היהלום המפוצל אופייני בעיקר למפגש עם רחובות עירוניים, ומיועד למקרים הבאים:

- (1) קיימות מגבלות קיבולת ברשת הדרכים המשנית (הרחובות הנפגשים אינם רחבים דיים לתנועה דו-סיטרית שוטפת).
- (2) מגבלות בזכות הדרך מונעות בניית מחלף יהלום מלא או גשר ברוחב המלא הדרוש.

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 4.11 מחלף יהלום צר

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

3) יש שתי דרכים מקבילות החוצות את הדרך הממוחלפת שרצוי לחברן אליה, אך המרחק ביניהן אינו מאפשר שני מחלפים נפרדים.

4.5.5 יהלום בפיצול מרובע

מחלף יהלום בפיצול מרובע (Two-way split diamond) – ציור 4.14 – הוא גירסה מיוחדת של מחלף יהלום, המיועדת להעלאת הקיבולת של הדרך המשנית ושל הפניות שמאלה בין שתי הדרכים. הפיצול מתקבל על-ידי הרחקת שני המסלולים של הדרך המשנית זה מזה: במקום שני הצמתים בין הדרך המשנית לבין מחברי-הרמפה של הדרך הראשית, מתקבלים ארבעה צמתי-משנה סמוכים, במרחקים בסדר-גודל של 100-200 מטרים ביניהם. בשל הסדרי החד-סיטריות המתקבלים, מספר כיווני הנסיעה האפשריים בכל אחד מצמתי-המשנה קטן מזה שבצומת המקורי. בכל אחד מצמתי-המשנה מותקן רמזור, כאשר כל הרמזורים מופעלים על-ידי מנגנון משותף, כך שכל צמתי-המשנה מהווים מכלול תכנוני ותפעולי אחד. כל כלי-הרכב הפונים שמאלה מכל אחת משתי הדרכים במחלף, יעברו דרך שלושה צמתי-משנה מרומזרים. כמו-כן, כל כלי-הרכב הממשיכים ישר בדרך המשנית, יעברו דרך שני צמתי-משנה. הזמן הירוק האפקטיבי גדל, עקב צמצום מספר המופעים בכל אחד מצמתי-המשנה לשניים. עקב כך, ניתן להקצות מספר גדול יותר של נתיבים לפניות שמאלה ולנסיעה ישר בדרך המשנית, ולהקטין את הזמן הירוק הדרוש לפינוי. כתוצאה מכך, גדלה קיבולת המחלף המפוצל וקטנים העיכובים, בעיקר בדרך המשנית.

יתרונות היהלום בפיצול מרובע (ביחס ליהלום הרגיל):

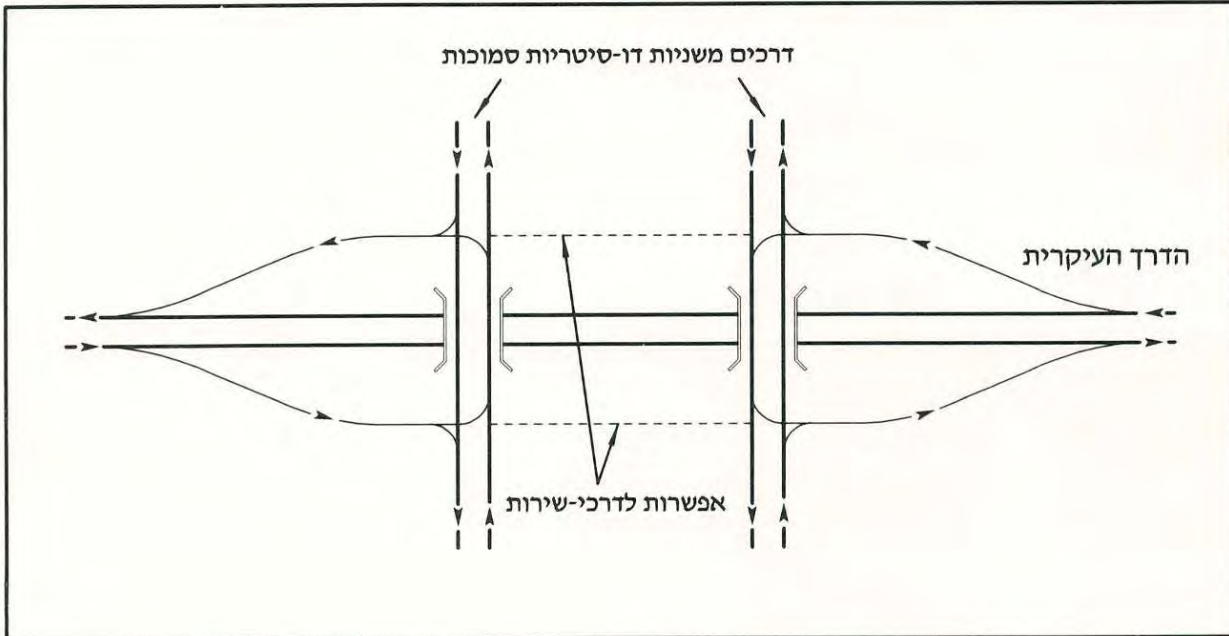
- הגדלת הקיבולת של המחלף.
- הקטנת העיכובים הנגרמים לנהגים ושיפור ברמת השירות.

חסרונות היהלום בפיצול מרובע (ביחס ליהלום הרגיל):

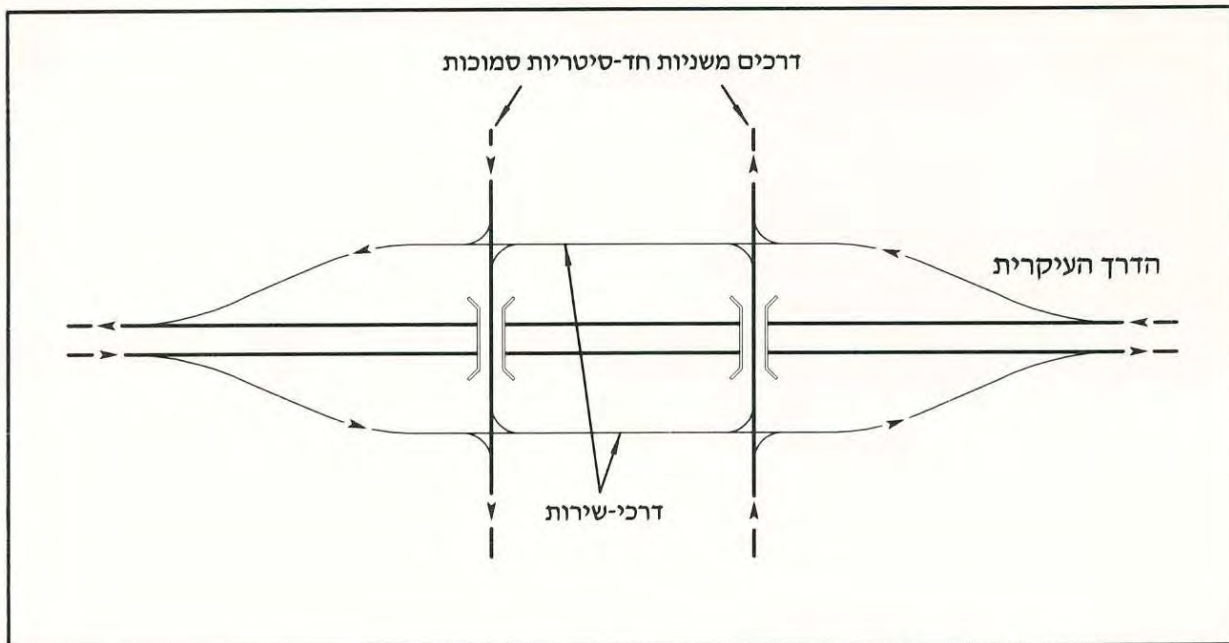
- הגדלת שטח המחלף הכולל, המחייב גם גשר נוסף, ולכן הגדלת העלות.
- התמצאות הנהגים במחלף המפוצל קשה יותר, בגלל שכל הפונים במחלף עוברים שלושה צמתים במקום שניים. יותר סיכון לטעויות.
- הצורך לעבור בשלושה צמתים גורם עצירה נוספת לחלק מהתנועות. בעזרת תאום בין הרמזורים (גל ירוק) ניתן להקטין את העיכובים הללו ואת סך כל העיכובים במחלף המפוצל בהשוואה למחלף הרגיל.
- מערכת הפיצול המרובע רגישה לשיבושים בפעולת הרמזור, וסתימת הקטע המרכזי גורמת לסתימת הדרך המשנית. הרימזור במערכת המפוצלת לא ניתן להפעלה ידנית.

היהלום בפיצול מרובע מיועד למחלפי-גישה בעלי נפח גבוה של פניות בין שתי הדרכים ונפחי תנועה גדולים בדרך המשנית. מצב זה אופייני למפגש של דרך מהירה או ראשית דו-מסלולית עמוסה, עם דרך דו-מסלולית עמוסה אחרת, או עם רחוב עורקי באזור מטרופוליני או פרברי, המהווה ציר-כניסה חשוב לאזור זה מהמערכת הבין-עירונית. מחלף יהלום בפיצול מרובע מוקם לעיתים כשלב שני לאחר צומת בפיצול מרובע, כמתואר בסעיף 10.6.4 בכרך II של הנחיות אלה.

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 4.12 מחלף יהלום מפוצל עם חיבורים לדרכים דו-סיטריות ואפשרות לדרכי-שירות



ציור 4.13 מחלף יהלום מפוצל עם חיבורים לדרכים חד-סיטריות ודרכי-שירות

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

4.5.6 יהלום חד-נקודתי

במחלף היהלום החד-נקודתי (Single-point interchange, SPNI) – ציור 4.15 – נפגשות כל ארבע הרמפות בצומת מרומזר אחד, בו מבוצעות כל הפניות באמצעות רמזור בעל שלוש פאזות.

יתרונות היהלום החד-נקודתי (ביחס ליהלום הרגיל):

- דורש שטח מצומצם.
- שתי הפניות שמאלה מהדרך הראשית מבוצעות בו-זמנית ומאפשרות רמזור יחיד בן שלוש פאזות.
- הפניות שמאלה מבוצעות ברדיוסים גדולים ולכן נוחות למשאיות ולאוטובוסים.

חסרונות היהלום החד-נקודתי (ביחס ליהלום הרגיל):

- לצומת היחיד שטח גדול, ולכן נדרשים זמני פינויים ארוכים ברמזור. בשל השטח הגדול בלאו-הכי של הצומת, הוא אינו מתאים לפניות כפולות שמאלה מהדרך המשנית או ליותר מארבעה נתיבים המשכיים לאורכה (בשני הכיוונים ביחד).
- אינו ניתן לתוספות או שינויים.
- מסובך לתנועת הולכי-רגל.
- המבנה הסטנדרטי של הצומת אינו מאפשר את חציית הדרך המשנית. אם נדרשת חצייה יש להוסיף פאזה לרמזור, וקיבולת הצומת קטנה.
- כאשר הצומת על הגשר, נדרש גשר יקר. רצוי שהצומת יישאר במפלס הקרקע.
- כאשר זכות הדרך צרה, נדרשים קירות-תמך יקרים.

המחלף החד-נקודתי מתאים לאזורים מטרופוליניים, למחלף של דרך מהירה או ראשית ממחלפת עם מאסף ראשי או עורקי משני, כאשר נפחי שתי הפניות שמאלה מהדרך הראשית בינוניים ומאוזנים בכיוונים הנגדיים (הפונים ביחד). היהלום החד-נקודתי מיועד למחלפים בהם זכות-הדרך מוגבלת במיוחד, והמרחק בין שני הצמתים ביהלום הצר יהיה קטן וייצור מגבלות בתפעול משותף, בהסדרים הגיאומטריים ובקיבולת.

בשל עלותו הגבוהה באופן יחסי, והמגבלות המתחייבות מהמבנה הייחודי של הצומת ביהלום החד-נקודתי, אין להחליט על ביצועו לפני השוואתו מבחינה כלכלית ותפעולית ליהלום הצר, במקרים בהם זכות-הדרך הקיימת מאפשרת את ביצוע שניהם.

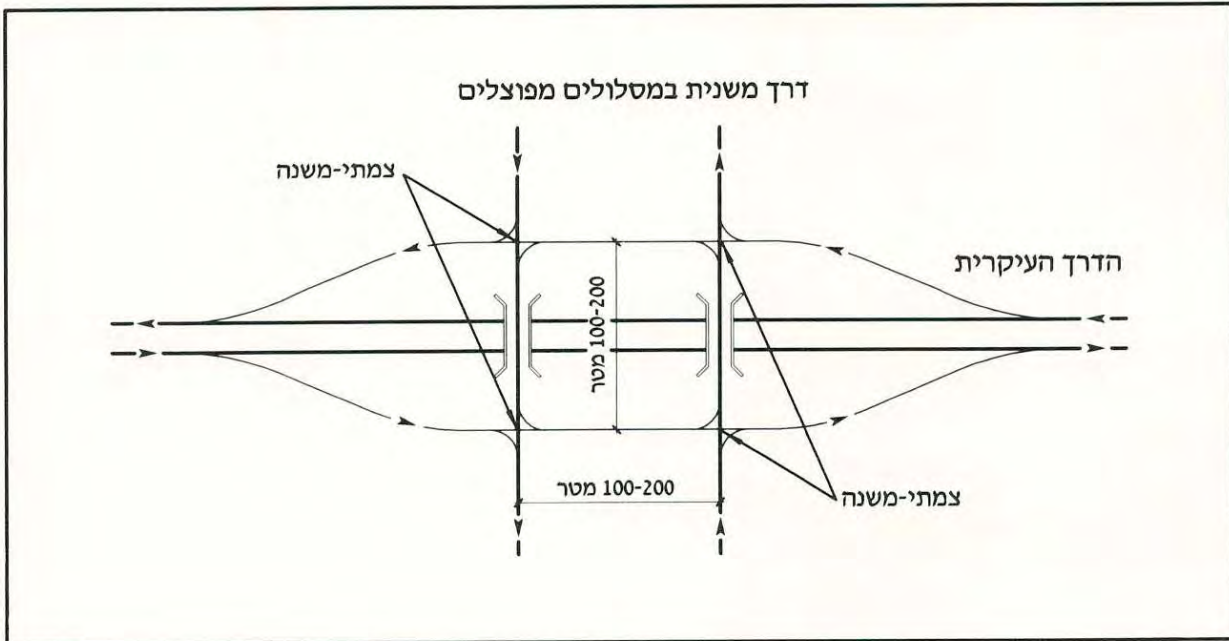
4.5.7 השוואת סוגי מחלפי היהלום

טבלה 4.1 מסכמת את ההשוואה האיכותית היחסית בין הצורות השונות של מחלפי היהלום שבוצעה בסעיף זה. ההשוואה מתייחסת לתכונות כושר ההעברה של הפניות במחלף, עלות הקמתו, השטח הנדרש, גמישותו לשינויים הנדסיים ולהמשך פיתוח, ומגבלות ייחודיות לצורה זו.

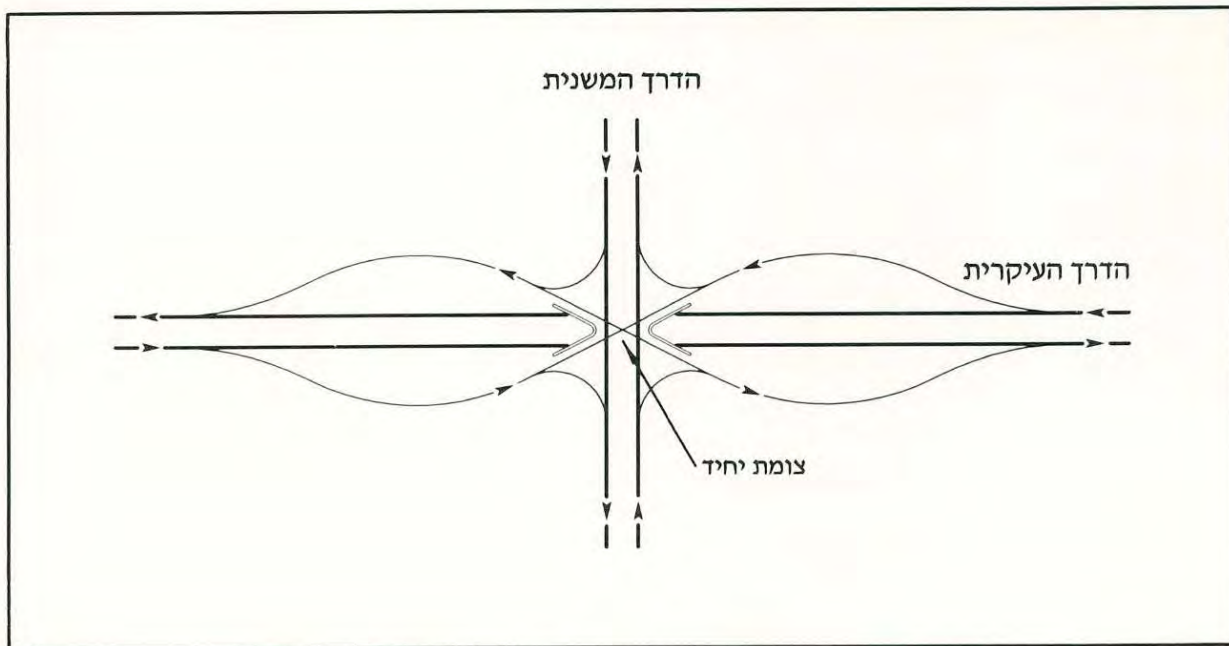
היישומים המקובלים במערכת למחלפי יהלום מרוכזים בטבלה 4.2 בסוף הפרק.

ראה פירוט נוסף למחלפי יהלום בסעיף 9.5 בהנחיות.

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 4.14 מחלף יהלום בפיצול מרובע



ציור 4.15 מחלף יהלום חד-נקודתי

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

טבלה 4.1 השוואה איכותית-יחסית של הצורות השונות של מחלפי היהלום

צורת היהלום	יהלום רגיל	יהלום צר	יהלום מפוצל	פיצול מרובע	חד-נקודתי	תכונות
						כושר העברה
עלות	בינוני	נמוך/בינוני	בינוני/גבוה	גבוה	נמוך/בינוני	כושר העברה
שטח	נמוכה/בינונית	בינונית/גבוהה	בינונית	גבוהה	גבוהה	עלות
גמישות לשינויים ולפיתוח	בינונית	נמוכה	נמוכה	גבוהה	נמוכה	שטח
מגבלות תפעוליות מיוחדות	נפחי הפניות שמאלה מוגבלים ביחס לסוגי מחלפים אחרים	מגבלות קיבולת ותפעול עקב קרבת הצמתים	הארכת נסיעות, קשיי הדרכה והשפעה על דרכים סמוכות	הדרכה מורכבת, רימזור מורכב	צומת יחיד גדול, קשיים לחצייה ולהולכי-רגל	גמישות לשינויים ולפיתוח

4.6 מחלפי עלה-תלתן חלקיים

4.6.1 כללי

מחלפי עלה-תלתן (או הלולאות) החלקיים (Partial Cloverleaf) על מבחר גרסאותיהם, הם מחלפי-גישה המבוססים על מחלף עלה-תלתן מלא (המתואר בסעיף 4.4 לעיל), אלא שבמקום חלק (בדרך-כלל שתיים) מארבע הלולאות יש רמפות אלכסוניות שבהן מחבר אחד לעצירה, המיועד לחלק מהפניות שמאלה, ולכן יש צמתים בדרך המשנית. המחלף מחייב גשר אחד בלבד, ומיועד למקרים בהם לא ניתן לבצע את מחלף היהלום, או שהיהלום אינו מספק מבחינה תפעולית, כגון מקרים בהם נפחי פניות מסוימות (בעיקר שמאליות) גדולים באופן משמעותי מנפחי פניות אחרות.

למחלף שתי תצורות עיקריות: A (ציור 4.16) – שתי רמפות הלולאה הן ברביעים שלפני הגשר עם כיוון התנועה בדרך העיקרית, ומיועדות לפניות העקיפות שמאלה (הכניסות) מהדרך המשנית אל הדרך העיקרית; B (ציור 4.17) – שתי רמפות הלולאה הן ברביעים שלאחר הגשר עם כיוון התנועה בדרך העיקרית, ומיועדות לפניות העקיפות שמאלה (היציאות) מהדרך העיקרית אל הדרך המשנית.

לכל אחת משתי התצורות שתי גרסאות עיקריות – אחת בת שני רביעים (A-2, B-2) והשנייה בת או ארבעה רביעים (A-4, B-4). היתרונות והחסרונות העיקריים של כל אחת מן התצורות והגירסאות מפורטים להלן בסעיפים 4.6.2 - 4.6.3.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

4.6.2 תלתן חלקי A (ציור 4.16)

א. תצורה A-4

יתרונות תצורה A-4:

- יציאה יחידה מהדרך העיקרית ברמפה אלכסונית לפני הגשר; אפשרית יציאה במהירות גבוהה.
- תימרון הדרכה פשוט בדרך העיקרית.
- היציאות מהדרך המשנית ימינה בלבד – פחות סיכון לטעויות; אין צורך בנתיבי המתנה לפניות שמאלה בדרך המשנית.
- הרמפות לפניות ימינה מהדרך המשנית לעיקרית אינן משותפות לפניות שמאלה.
- קיבולת גבוהה בדרך המשנית – אין פניות שמאלה בדרך זו; כאשר הצמתים מרומזרים, מספיקות שתי פאזות.
- ניתן להסדיר עקיפת המחלף על-ידי תחבורה ציבורית ומטענים חורגים.

חסרונות תצורה A-4:

- שתי כניסות לדרך העיקרית.
- נדרשים נתיבי האצה מהלולאות בדרך העיקרית באזור הגשר.
- קיבולת הפניות שמאלה מהדרך העיקרית למשנית מוגבלת על-ידי הצומת שבסוף הרמפה; בנפחי פניות גבוהים מהדרך הראשית נדרש רמזור.
- הפנייה העקיפה שמאלה בלולאה מהדרך המשנית לראשית אינה טבעית.

ב. תצורה A-2

תצורה A-2 נבדלת מ-A-4 בכך שהפניות ימינה מהדרך המשנית לעיקרית מבוצעות כפניות ישירות-למחצה, תוך פניה שמאלה לתוך הלולאות, כמתואר בציור 4.16.

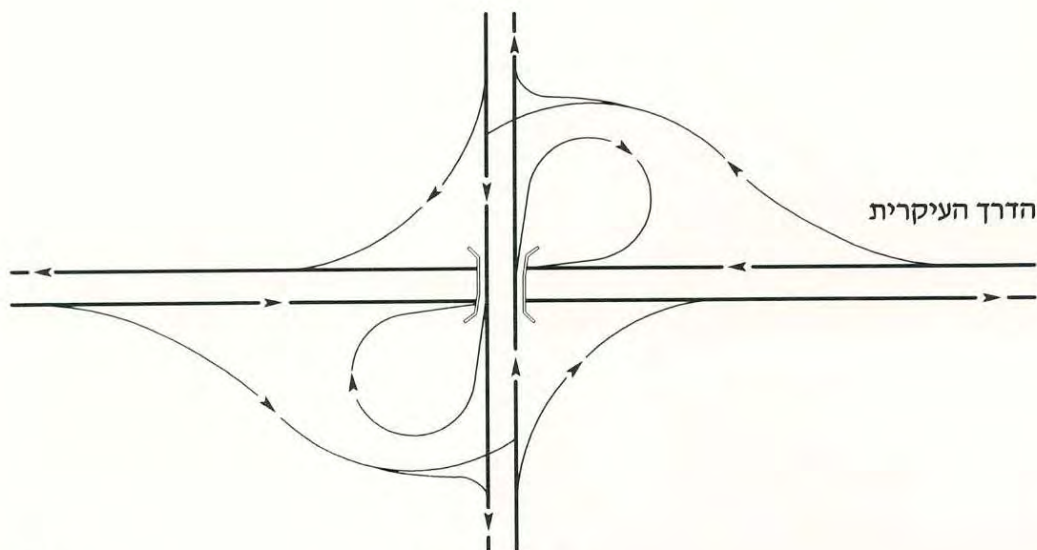
יתרונות תצורה A-2 (ביחס ל-A-4):

- נדרש פחות שטח.
- כניסה יחידה לדרך העיקרית.

חסרונות תצורה A-2 (ביחס ל-A-4):

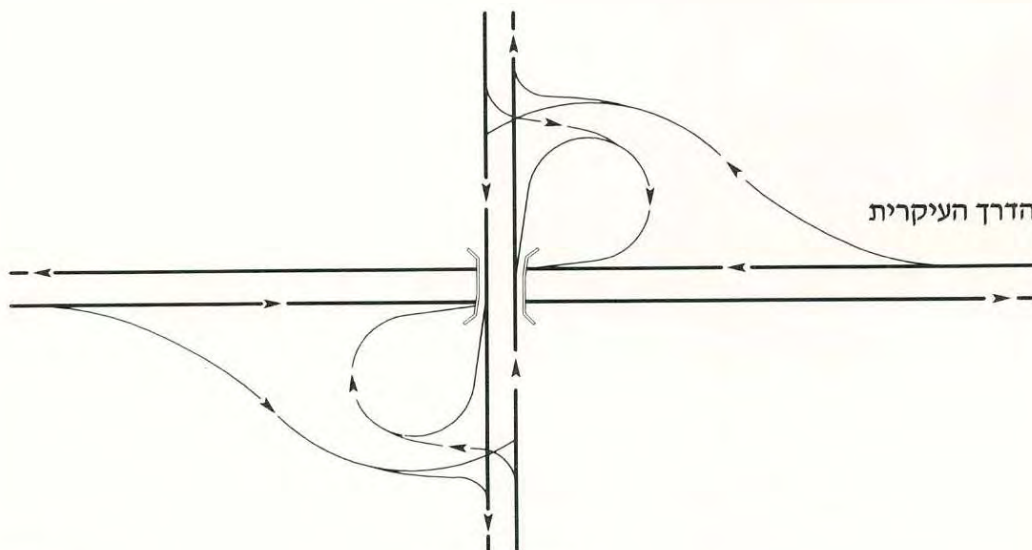
- כל הפניות מהדרך המשנית מנוגדות לטבעיות.
- עיכוב ומגבלות קיבולת לפניות ימינה מהדרך המשנית.
- יותר ניגודים ועיכובים ופחות קיבולת בדרך המשנית, עקב הצורך בפניות שמאלה, ושלוש פאזות בצומת מרומזר.
- בדרך המשנית נדרשים נתיבי המתנה לפניות שמאלה.
- סכנה לפניות נגד הכיוון לתוך רמפות היציאה מהדרך העיקרית למשנית.
- נדרש הסדר מיוחד כדי להחזיר תחבורה ציבורית ומטענים חורגים לדרך העיקרית.

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



A-4

הדרך המשנית



A-2

הדרך המשנית

מחלפי עלה-תלתן חלקיים מסוג A ציור 4.16

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

4.6.3 תלתן חלקי B (ציור 4.17)

א. תצורה B-4

יתרונות תצורה B-4 (ביחס ל- A-4):

- כניסה יחידה לדרך העיקרית.
- אין עיכוב לפניות שמאלה מהדרך העיקרית למשנית.
- היציאות מהדרך המשנית בכיוונים הטבעיים לנהג. פחות סיכון לטעויות.
- קיבולת גבוהה בדרך המשנית – נדרשים רמזורים בעלי שתי פאזות בלבד, בדומה ל- A-4.
- ניתן להסדיר עקיפת המחלף לתחבורה ציבורית ומטענים חורגים, בדומה ל- A-4.

חסרונות תצורה B-4 (ביחס ל- A-4):

- נדרשים כבישים מאספים-מחלקים בדרך העיקרית, למניעת יציאה כפולה.
- מורכב יותר לתימרוור הדרכה בדרך העיקרית.
- הפניות שמאלה מהדרך העיקרית למשנית מתבצעות על לולאות בעלות מגבלות מהירות וקיבולת.
- נדרשים נתיבי המתנה לפניות שמאלה מהדרך המשנית, שעלולים לדרוש תוספת נתיבים בגשר.
- שימוש לשתי פניות (ולכן ניגוד התמזגות) ברמפות היציאה מהדרך המשנית.

ב. תצורה B-2

תצורה B-2 נבדלת מ- B-4 בכך שהפניות ימינה מהדרך העיקרית למשנית מבוצעות כישירות-למחצה באמצעות יציאה משותפת ימינה ללולאות, ופניה שמאלה בצומת בהמשך הלולאה, כמתואר בציור 4.17.

יתרונות תצורה B-2 (ביחס ל- B-4):

- דורש פחות שטח.
- יציאה יחידה מהדרך העיקרית.

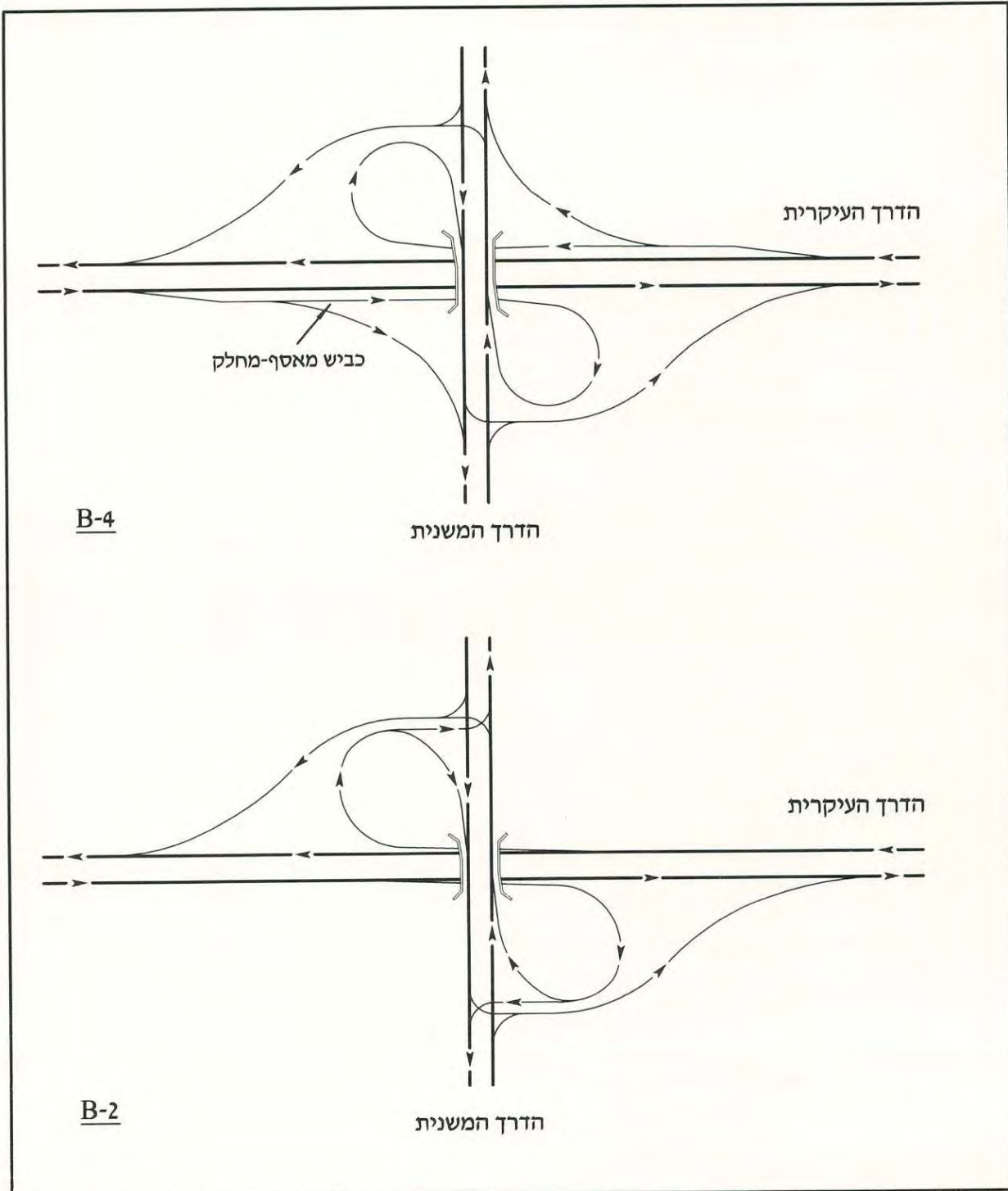
חסרונות תצורה B-2 (ביחס ל- B-4):

- עיכוב ומגבלות קיבולת לפניות ימינה מהדרך העיקרית למשנית, עקב השימוש בלולאה והצומת בקצה.
- עיכובים ומגבלות קיבולת בדרך המשנית עקב הצורך ברמזור תלת-פאזי.
- סכנה לפניות מוטעות לרמפות נגד הכיוון.
- נדרשים הסדרים מיוחדים לעקיפת המחלף לתחבורה ציבורית ומטענים חורגים.

4.6.4 תלתן חלקי חד-צדדי (AB)

סוג שלישי של מחלף עלה-תלתן חלקי הוא החד-צדדי (AB), בו שתי הלולאות מצויות מאותו צד של הדרך המשנית, כמתואר בציור 4.18. אחת מהלולאות משמשת לשתי היציאות (ימינה ושמאלה) מכיוון אחד של הדרך העיקרית, והשנייה – לפניות משני כיווני הדרך המשנית לאותו כיוון של הדרך העיקרית שנוכר

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 4.17 מחלפי עלה-תלתן חלקיים מסוג B

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

קודם. שתי הפניות מהדרך המשנית לכיוון השני של הדרך העיקרית, ושתי היציאות מאותו כיוון, מבוצעות באמצעות שתי רמפות חיצוניות ושני צמתים בדרך המשנית.

יתרונות תצורה חד-צדדית (ביחס לדו-צדדית מסוג A או B):

- נדרש שטח רק מצד אחד של הדרך המשנית.
- יציאה יחידה מהדרך העיקרית.

חסרונות תצורה חד-צדדית (ביחס לדו-צדדית מסוג A או B):

- קיבולת מוגבלת.
- פניות לא טבעיות ולא אחידות.
- השתזרות בקטע הגשר של הדרך המשנית.
- נדרשים נתיבי האטה והאצה בדרך העיקרית באזור הגשר.

לתצורה החד-צדדית מגבלות תפעוליות, ולכן היא תשמש רק במקרים של אילוצי שטח המונעים שימוש בשני הרביעים החסרים, כגון מכשולים או שימושי קרקע אשר נמשכים מצד אחד של הדרך המשנית (ערוץ, מסילת ברזל).

4.6.5 סיכום מחלפי עלה-תלתן חלקיים

היישומים המקובלים למחלפי-תלתן חלקיים מרוכזים בטבלה 4.2 בהמשך הפרק. השיקולים העיקריים להעדפת תצורה מסוימת מבין תצורות מחלפי התלתן החלקיים הם כמפורט:

- **תצורה A** תועדף, כאשר הפניות השמאליות העמוסות הן מהדרך המשנית לדרך העיקרית, שכן אז הן מבוצעות כפניות ימינה; **תצורה B** תועדף, כאשר הפניות השמאליות העמוסות הן מהדרך העיקרית לדרך המשנית; בנוסף, תעשה הבחירה בין **תצורה A לתצורה B** בעיקר משיקולי זכות הדרך, שימושי קרקע, ומגבלות טופוגרפיות.
- **תצורה A-4** היא היעילה ביותר מבין מחלפי-הגישה, ותשמש למחלפים בין דרך עיקרית ממוחלפת לבין דרך משנית עמוסה או בסיווג גבוה, כאשר הקרקע זמינה; קיבולתה גבוהה מהיהלום הרגיל; תצורה A-4 עשויה גם להחליף יהלום מפוצל במחלף עם רחוב עורקי עמוס (תצורה B-4 אפשרית גם היא, אך יעילה פחות, בשל הצורך בפניות שמאלה מהרחוב העורקי).
- **תצורה A-2** היא הפחות מומלצת, והשימוש בה יהיה כאשר האילוצים יגרמו להעדפת תצורה זו; תצורה A-2 עשויה להחליף את תצורה A-4 כאשר השטח אינו זמין, או כשלב-ביניים לתצורה A-4, וכן כשהדרך המשנית בסיווג נמוך יותר.
- **תצורה B-4** אפשרית, כאמור, במחלף בין דרכים עמוסות, כתחליף לתצורה A-4 משיקולים תכנוניים.
- **תצורה B-2** עשויה להחליף את תצורה B-4 כאשר השטח אינו זמין, או כשלב-ביניים לתצורה B-4; תצורה B-2 עשויה להחליף יהלום: היא יקרה יותר, אך יעילה ובטיחותית יותר; תצורה B-2 מתאימה למחלף בין דרך ראשית לדרך אזורית, בו אין בדרך-כלל הצדקה לשימוש במחלף בן ארבעה רביעים; הפניות בתצורה B-2 טבעיות יותר מאשר בתצורה A-2.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

• כאשר המחלף בן **ארבעה רביעים**, עדיפה **תצורה A (A-4)** בה יש יציאה אחת בלבד מהדרך הממוחלפת, ואילו בתצורה B-4 צריך לצמצם את מספר היציאות מהדרך העיקרית באמצעות כביש מאסף-מחלק. לעומת זאת, כאשר המחלף בן **שני רביעים**, עדיפה, כאמור, **תצורה B (B-2)**, בה ההשתלבות בדרך הממוחלפת קלה יותר והפניות טבעיות יותר מאשר בתצורה A-2.

ראה פירוט נוסף למחלפי עלה-תלתן חלקיים בסעיף 9.6 בהנחיות.

4.7 מחלף סיבובי

המחלף הסיבובי (Rotary interchange, or bridged roundabout) דומה למחלף היהלום, אלא שכל מערכת הצמתים בדרך המשנית והקטע שביניהם הוחלפו במעגל תנועה, המצוי במפלס שונה מהדרך העיקרית, כמתואר בציור 4.19.

יתרונות מחלף סיבובי (ביחס ליהלום):

- מקטין את מספר הניגודים ועוצמתם, ומשפר את הבטיחות בצמתי הדרך המשנית.
- כל היציאות ימינה – פחות חשש לטעויות.
- מקל על הפניות שמאלה מרמפות היציאה מהדרך העיקרית.
- עשוי לדחות צורך ברימזור מחלף יהלום.
- מאפשר פניות פרסה משתי הדרכים והמשך מסלולי תחבורה ציבורית.
- פתרון גמיש למפגש של יותר משתי זרועות משניות או של שינוי זווית.

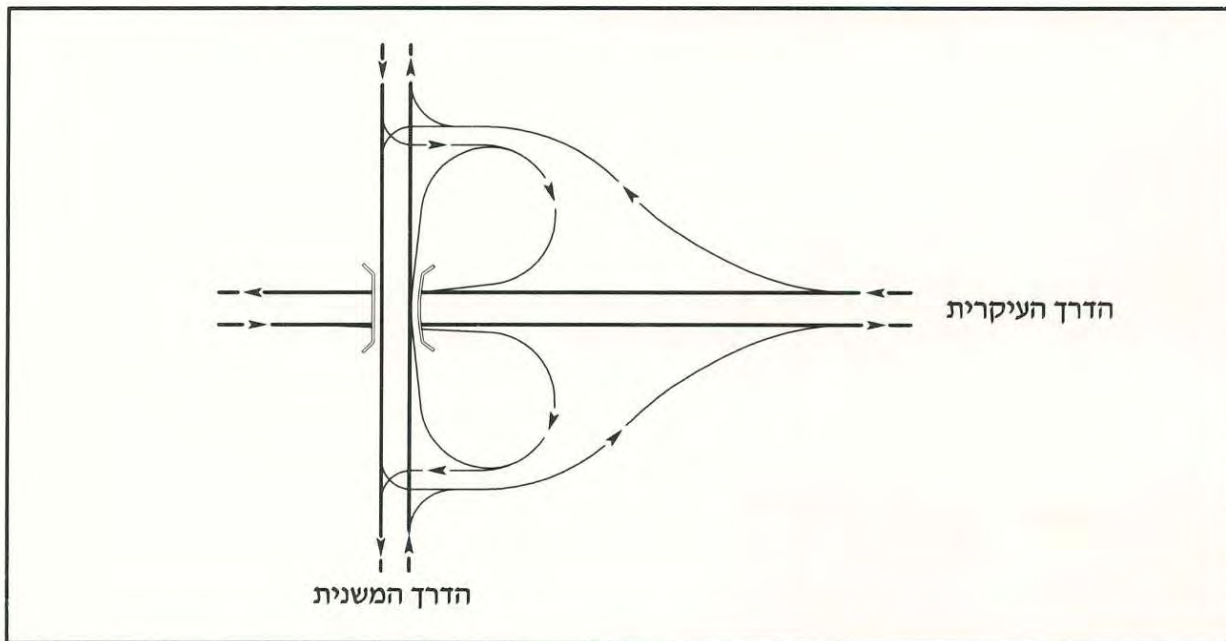
חסרונות מחלף סיבובי (ביחס ליהלום):

- קשיי תמרון לכלי-רכב מורכבים ומחוברים.
- מחייב שני גשרים ושטח גדול יותר מהיהלום.
- כל הפניות ימינה משתי הדרכים צריכות להשתלב במעגל.
- גורם עיכוב והפחתת מהירות לכל התנועה בדרך המשנית.
- קשה לפיתוח עתידי.
- מורכב להתמצאות ולתימרון.

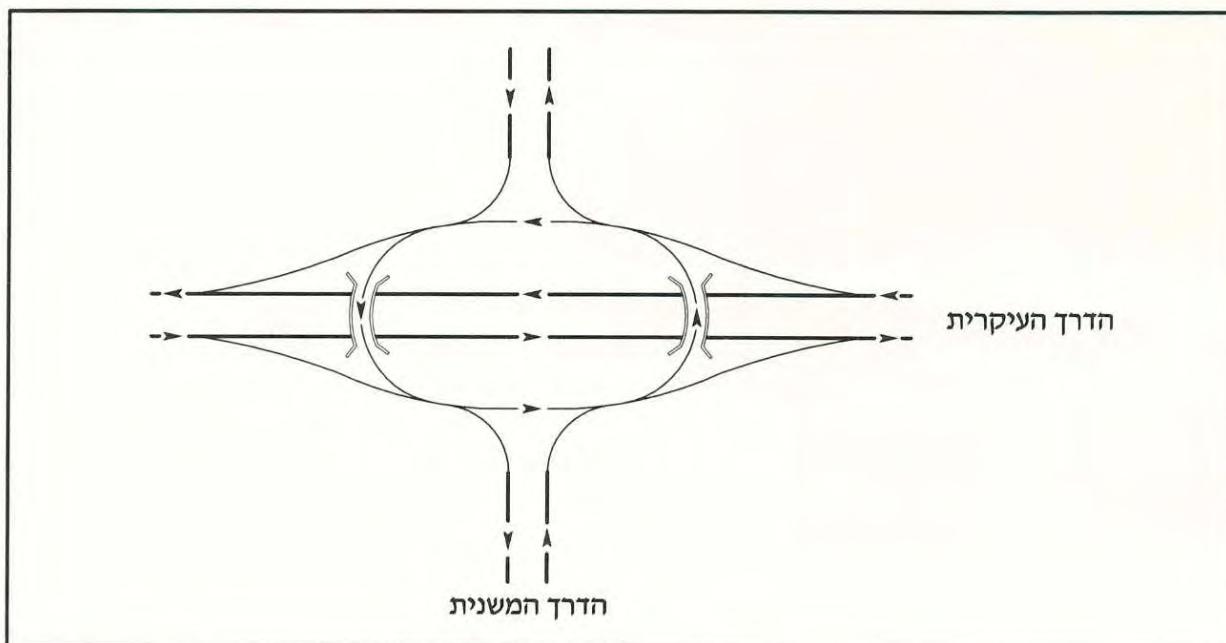
המחלף הסיבובי אפשרי ליישום במחלפי-גישה בין דרך מועדפת בין-עירונית לבין דרך בין-עירונית חד-מסלולית בסיווג נמוך, או לבין רחוב עירוני מאסף, כאשר נפחי התנועה והפניות שמאלה בינוניים, ומצדיקים את ההשקעה הנוספת לעומת יהלום, בעיקר בדחיית הצורך ברימזור הצומת. המחלף הסיבובי הינו פתרון אפשרי גם למחלף של דרך בין-עירונית עם רחוב עורקי, שנפח התנועה העיקרי בו הוא בין הדרך הבין-עירונית הממוחלפת, לבין הרחוב העירוני (ראה גם מאפיינים והצדקים לצומת סיבובי בסעיף 10.7 בכרך II של הנחיות אלה). בשל האפשרות המוגבלת לתוספת קיבולת למחלף זה בטווח הארוך, יש לתכנן את המחלף כך, שתישמר האופציה לשינוי סוג המחלף בעתיד, כגון ליהלום.

ראה פרטים נוספים בסעיף 9.7 בהנחיות.

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 4.18 מחלף עלה תלתן חלקי חד-צדדי



ציור 4.19 מחלף סיבובי (דו-קומתי)

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

גירסה נוספת של שילוב צמתי-סיבוב במחלפים היא מחלף יהלום, ששני הצמתים בו הוחלפו במעגלי-תנועה, כמתואר בציור 4.20. מחלף כזה הוא בעיקרון מחלף יהלום, ולא מחלף סיבובי. במחלף זה מספיק הגשר היחיד של היהלום, והוא אפשרי כתחליף למחלף היהלום הרגיל או הצר עם דרך משנית מקומית או עירונית, כאשר השיקולים להחלפת ההצטלבויות במעגלי התנועה יהיו כמפורט בסעיף 10.7 בכרך II של הנחיות אלה.

4.8 סיכום הבחירה בסוג המחלף

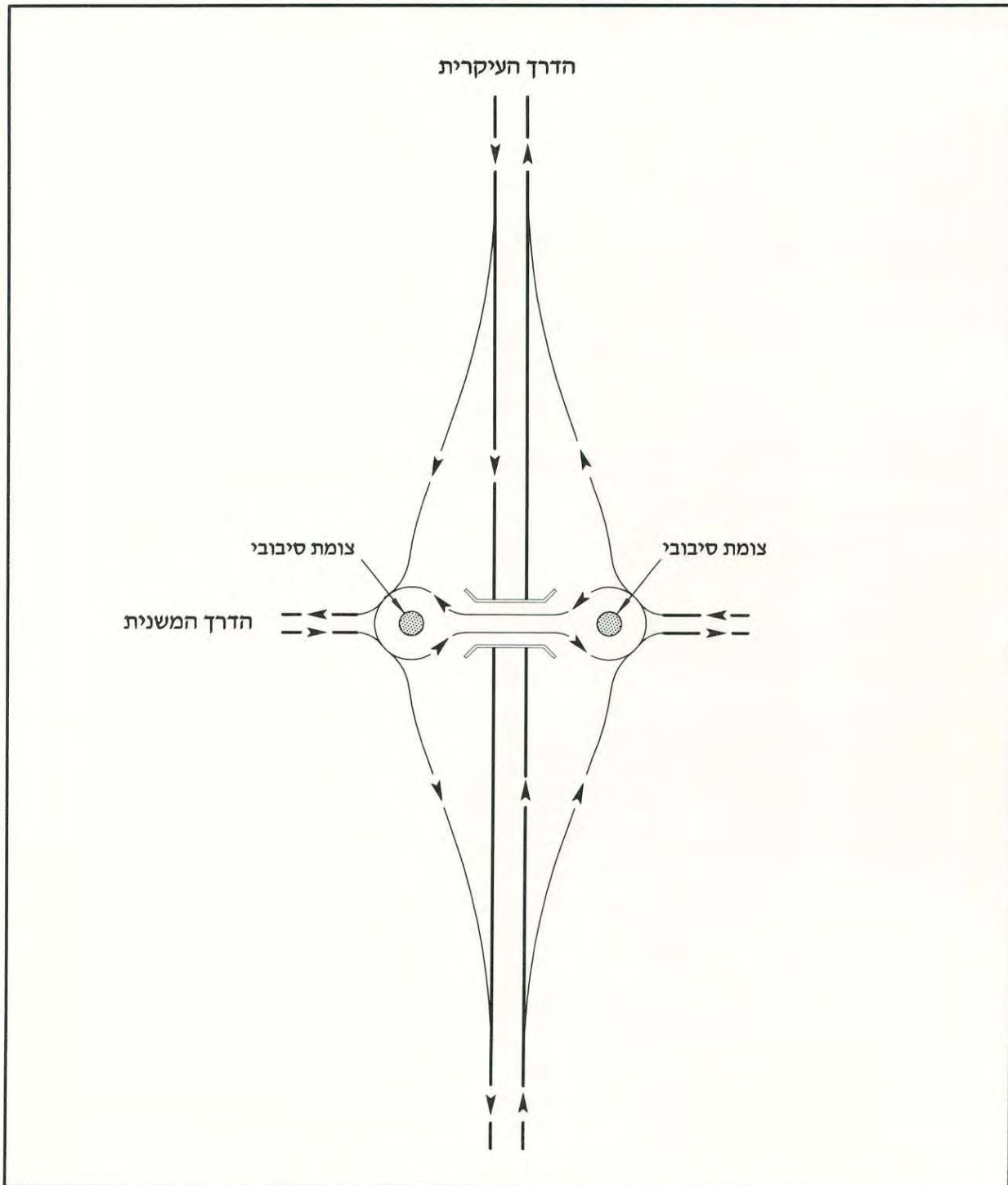
טבלה 4.2 מרכזת את הסוגים העיקריים של המחלפים הבאים בחשבון למפגש בין שתי דרכים המשכיות, בהתאם להיררכייה שלהן. המפורט בטבלה תואם את העקרונות שהוצגו בטבלאות 3.1 ו-3.2 בהנחיות אלה, ואת האמור בסעיפים 4.1 לעיל ואילך. הסדר בטבלה אינו מבטא העדפה יחסית של הסוגים השונים, אלא את סדר הופעתם בפרק זה.

טבלה 4.2 ריכוז סוגי המחלפים המתאימים למפגש בין שתי דרכים המשכיות

סוג הדרך	מהירה ופרברית מהירה ↓	ראשית דו-מסלולית ↓
מהירה	ישיר במלואו או בחלקו	
ראשית דו-מסלולית	ישיר במלואו או בחלקו ; יהלום רגיל או בפיצול מרובע	ישיר בחלקו ; עלה תלתן מלא עם כבישים מאספים-מחלקים ; יהלום רגיל או בפיצול מרובע; תלתן חלקי A-4 או B-4
ראשית חד-מסלולית	יהלום ; תלתן חלקי A-4 או B-4	עלה תלתן מלא ; יהלום ; תלתן חלקי A-4 או B-4
אזורית	יהלום ; תלתן חלקי A-4 או B-4 או A-2	יהלום ; תלתן חלקי B-2 או A-2 ; סיבובי
רחוב עורקי	יהלום ; יהלום בפיצול מרובע ; תלתן חלקי A-4 או B-4	יהלום ; יהלום מפוצל או פיצול מרובע ; תלתן חלקי A-4 או B-4 או A-2 או B-2 ; סיבובי

הערה : סדר המחלפים בטבלה הוא לפי סדר הצגתם בפרק, ואינו מבטא העדפה יחסית.

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 4.20 מחלף יהלום בו משולבים צמתים סיבוביים

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

4.9 מחלפים משולבים

מחלף משולב (Combination) הוא מחלף בעל צורה בסיסית כלשהיא, שלפחות אחת מהרמפות שלו הוחלפה ברמפה מתצורה אחרת, כגון: מחלף יהלום שבו רמפת לולאה אחת, או מחלף תלתן מלא שאחת מארבע הלולאות שלו הוחלפה ברמפה ישירה-למחצה שמאלה. ראה דוגמאות למחלפים משולבים בציור 4.21. מחלף משולב מיועד לפתור בעיות ייחודיות לאתר כגון נפחים חריגים בפנייה אחת או מגבלות בזכויות דרך, אשר אינן מאפשרות יישום צורת מחלף מקובלת במלואה.

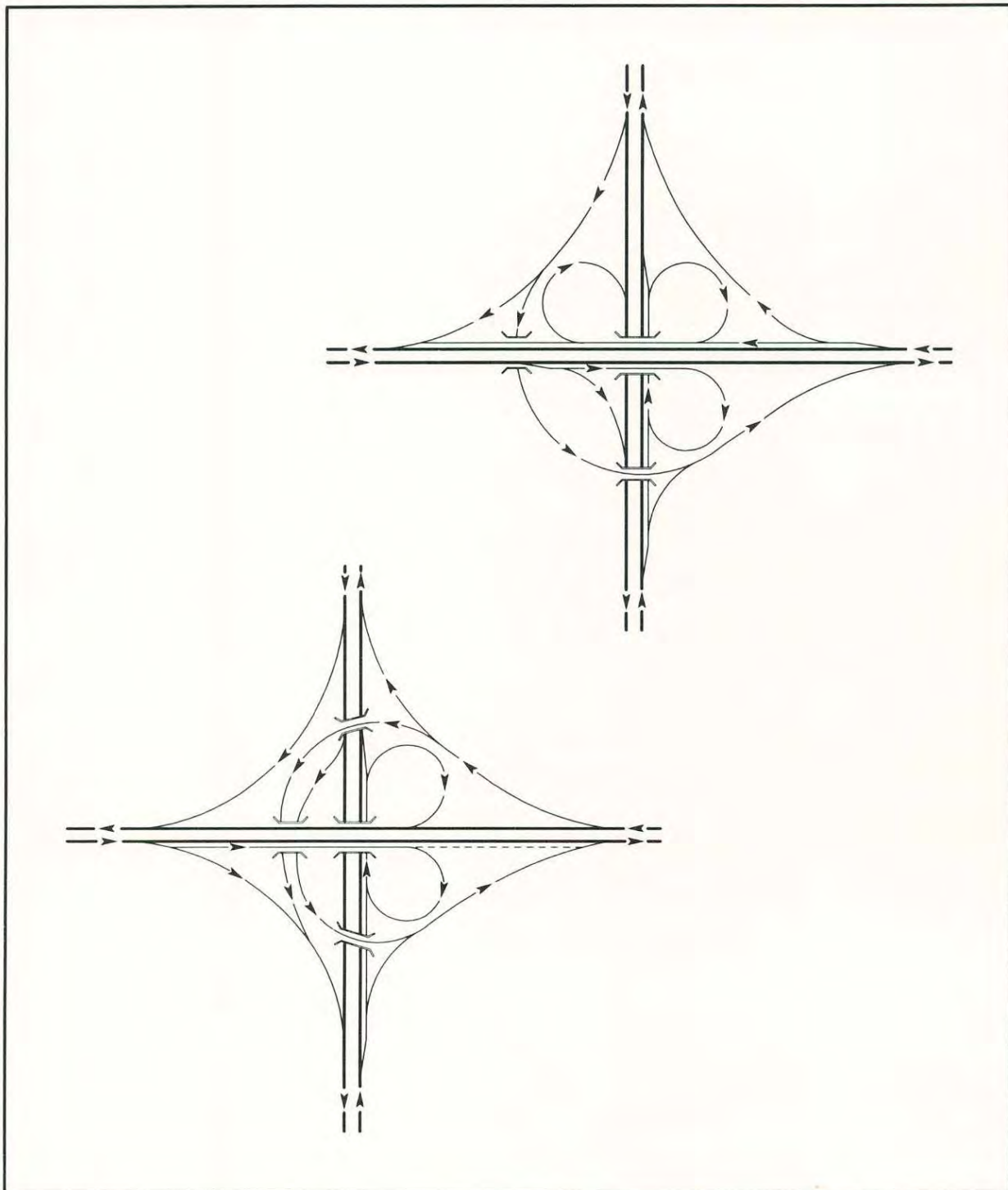
ראה פירוט נוסף בסעיפים 9.3.3, 9.3.5, 9.5.11 בהנחיות.

4.10 מחלפים בין שתי דרכים מבוקרות-חלקיות

בתנאים מסוימים יתוכנן מחלף בין שתי דרכים שאינן מסויגות-גישה במלואן, למשל: בין דרך ראשית חד-מסלולית לבין דרך אזורית, או בין שתי דרכים אזוריות, או בין דרך בין-עירונית חד-מסלולית לבין דרך עירונית. ההצדקים למחלף במפגש כזה יהיו כתוצאה מצירוף ייחודי של תנאים טופוגרפיים, תפעוליים ובטיחותיים. המחלפים המתאימים יבוססו על מחלפי הגישה הזולים, דהיינו יהלום רגיל, עלה תלתן חלקי A-2, B-2 או חד-צדדי, כאשר הצמתים יהיו ברחוב העירוני או בדרך בעלת הסיווג הנחות.

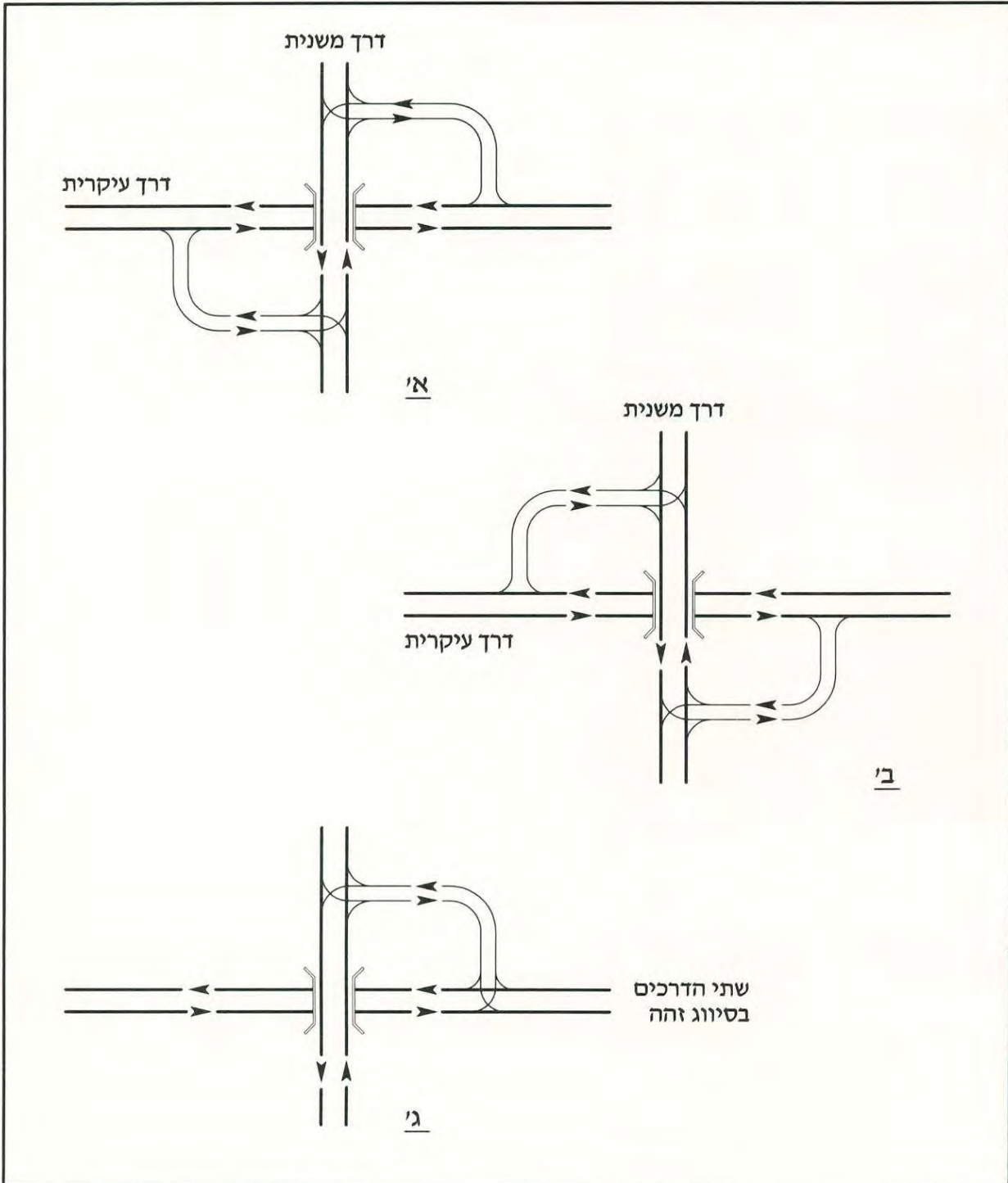
בנוסף, כאשר קיימים אילוצי שימושי-קרקע או תקציב, ניתן להשתמש בתצורות המבוססות על מחלפי תלתן חלקיים, אך בעלות מאפיינים גיאומטריים נחותים, ללא שימוש בלולאות מלאות, כמתואר בתצורות א' ו-ב' בציור 4.22. אם ניתן למקם צמתים בשתי הדרכים, וכאשר נפחי הפניות נמוכים, אפשר להשתמש בתצורה ג' שבאותו ציור, המסתפקת ברמפה יחידה, ועיקר יתרונה הפרדה בין התנועות החוצות, ביטול ההצטלבות וצימצום הניגודים להסתעפות אחת בכל דרך. בכל התצורות הללו, יש להקפיד על אמצעי ההכוונה והבקרה למניעת פניות נגד כיוון הנסיעה. בנוסף, אם הדרך בעלת הסיווג הגבוה היא חד-מסלולית, יש לשקול הכפלתה בתחומי המחלף והפרדה בין המסלולים, למניעת כניסה מהרמפות אל הנתיב הנגדי, ובלבול הנהגים, שאינם מצפים למחלף בין שתי דרכים חד-מסלוליות.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 4.21 צורות של מחלפים משולבים

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



צויות אפשריות למחלפים בין שתי דרכים מבוקרות-חלקית **צויר 4.22**

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פרק 5

רמפות

תוכן עניינים

5-1	כללי	5.1
5-1	יישומים וצורות של רמפות	5.2
5-1	יישומם במחלפים של סוגי הרמפות העיקריים	5.2.1
5-2	צורות גיאומטריות אופייניות של רמפות	5.2.2
5-6	מהירויות התכן ברמפות	5.3
5-6	עקרונות כלליים	5.3.1
5-6	עקרונות ליישום מהירות התכן ברמפות	5.3.2
5-7	חתך הרוחב ברמפה	5.4
5-7	רוחב המיסעה	5.4.1
5-9	רוחב השוליים	5.4.2
5-10	חתכים אופייניים	5.4.3
5-10	מרכיבי התוואי האופקי ברמפות	5.5
5-10	רדיוסים והגבהות	5.5.1
5-12	עקומי מעבר ברמפות	5.5.2
5-13	מעבר השיפועים ברמפות	5.5.3
5-13	עקומים מעגליים המורכבים ממספר רדיוסים	5.5.4
5-13	מרחקי ראות ברמפות	5.6
5-14	התוואי האנכי ברמפות	5.7
5-14	שיפועים לאורך הרמפה	5.7.1
5-15	עקומים אנכיים	5.7.2
5-16	מירווח הגובה החופשי (בגברית)	5.7.3

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פרק 5

רמפות

5.1 כללי

במושג "רמפה" כלולים כל סוגי תפניות הדרך, המחברות בין הזרועות של הדרכים הנפגשות במחלף. משילוב הרמפות לצורתיהן הגיאומטריות השונות, ומאופן ביצוע הפנייה באמצעותן, מתקבלת הצורה העקרונית של המחלף. הרמפה מורכבת מהתפנית עצמה, וכן ממחברי-הרמפה המצויים משני קצותיה, כמתואר בציור 2.3. הרמפה משמשת הן לביצוע השינוי בכיוון הנסיעה במעבר בין הדרכים, והן לגישור הפרש הרומים שבין שתי הדרכים בתחומי המחלף. לפיכך, מורכבת הרמפה משילוב של תוואי אופקי הכולל קטעים ישרים ועקומים, עם תוואי אנכי הכולל הן עקומים אנכיים והן קטעים שהם לעיתים בעלי שיפוע ניכר לאורך. כתוצאה מכך, הערכים הגבוליים של מרכיבי התוואי האופקי והתוואי האנכי ברמפות, מצויים ברמה נמוכה מזו של הדרכים הנפגשות. בעקבות זאת, הרמפות הן בדרך-כלל המרכיבים המגבילים ביותר מבחינה גיאומטרית ותפעולית במערך הכולל של המחלף. התנועה ברמפה עצמה היא בדרך-כלל חד-סיטרית, למעט מקרים יוצאי-דופן, המפורטים בהמשך. פרק זה עוסק בעקרונות התכן הגיאומטרי של קטע התפנית שברמפה, כאשר למחברי הרמפה, על מרכיביהם השונים, מוקדש הפרק הבא (פרק 6) של ההנחיות.

5.2 יישומים וצורות של רמפות

5.2.1 יישומים במחלפים של סוגי הרמפות העיקריים

הסוגים הבסיסיים של הרמפות, אשר יוצרים את צורות המחלפים המקובלות לתכנון בארץ, מוגדרים בסעיף 2.3.2 ומתוארים בציור 2.6. את היישומים העיקריים של הרמפות השונות במסגרת המחלפים המקובלים, ניתן לראות במחלפים המתוארים בפרק 4, כמפורט:

א. **רמפה אלכסונית (ישירה)** – רמפה חד-סיטרית נפרדת, בתוואי ישר או עקום, המשמשת לפניות הבאות:

(1) כל הפניות הישירות ימינה במחלפים ישירים (ציורים 4.1, 4.2 ו-4.7), ובמחלפי חצוצרה (ציור 4.3).

(2) שתי הפניות הישירות ימינה (מתוך ארבע הפניות ימינה) במחלפי עלה-תלתן חלקיים מסוג A-4 ו- B-4 (ציורים 4.16 ו-4.17).

בשימושים אלה לרמפה שני מחברי-זרימה, והפניות בסוף הרמפה הן ימינה בלבד.

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

3) במחלפי יהלום (ציורים 4.9 – 4.15 וכן 4.20) ובמחלף סיבובי (ציור 4.19), כל ארבע הרמפות הן אלכסוניות, ומשמשות לכל החיבורים בין שתי הדרכים. כל רמפה משמשת הן לפניות הישירות ימינה, והן לפניות הישירות-למחצה שמאלה. בקצה כל רמפה בדרך המשנית צמתים המשמשים לפניות שמאלה בין שתי הדרכים.

ב. רמפת לולאה ורמפה חיצונית באותו רביע:

1) זה הצרוף הבסיסי לכל הרביעים של מחלף עלה-תלתן מלא (ציור 4.8). כל הפניות ימינה מבוצעות ברמפות (האלכסוניות) החיצוניות, הלולאות מיועדות לכל הפניות העקיפות שמאלה בין שתי הדרכים, וכל מחברי הרמפות הם לזרימה.

2) צרוף זה מופיע בשני רביעים של כל גרסאות מחלפי עלה-תלתן החלקיים כמתואר בציורים 4.16 ו-4.17. כל אחת משתי הרמפות החיצוניות מיועדת לפנייה ישירה ימינה, וכן לפנייה ישירה-למחצה שמאלה, המבוצעת באמצעות הצמתים שבמחבר הרמפה עם דרך המשנית. בתצורות A-4 ו-B-4 מיועדות שתי הלולאות לפניות העקיפות שמאלה בלבד, ואז שני המחברים הם לזרימה. בתצורות A-2, B-2 ו-D-2 צדדית משמשות הלולאות גם לפניות ישירות-למחצה ימינה, המחליפות את שתי הרמפות האלכסוניות החסרות ברביעים האחרים. במקרה זה, השימוש בלולאות עבור הפניות ימינה נעשה באמצעות פניות שמאלה בצמתים שבדרך המשנית אל "שלוחה" של הלולאה, ולכן בלולאות אלה מתבצעת פעולת התמזגות.

ג. **רמפת לולאה ואלכסון משולבים** – מקרה מיוחד בו משתלבת הרמפה האלכסונית בתוך הגיאומטריה של הלולאה, באמצעות מחברים ותפנית משותפים, והרמפה הופכת לדו-סיטרית, כמתואר בציור 5.1. זהות הרמפה משתבשת ועשויה לגרום לטעויות לנהגים, ולכן השימוש בה איננו מומלץ, ומוגבל למחלפי-תלתן בהם קיימים אילוצי מיקום, וכן למחלפים בין דרכים מבוקרות-חלקית, כדוגמת המתוארים בציור 4.22. כיווני הנסיעה הנגדיים ברמפה יופרדו פיזית באמצעות אי-הפרדה בנוי או גדר-בטיחות.

ד. **רמפה ישירה-למחצה שמאלה** – רמפה בעלת כיוון משתנה (יציאה ימינה ואחר-כך סטייה שמאלה וכניסה לדרך השנייה מצד ימין), המיועדת לפניות הבאות:

- 1) לכל הפניות שמאלה במחלפים ישירים (ציורים 4.1, 4.2 ו-4.7);
 - 2) לכל הפניות שמאלה שאינן מבוצעות באמצעות לולאות, במחלפי-מערכת ישירים-בחלקם (ציור 4.7 ומשולבים (ציור 4.21);
 - 3) לפנייה אחת שמאלה במחלפי חצוצרה (ציור 4.3);
 - 4) לשתי הפניות שמאלה במחלפי אגס (ציור 4.5).
- מרחקי הנסיעה ברמפה זו קטנים מאשר בלולאה, והיא מחייבת גישור נוסף.

5.2.2 צורות גיאומטריות אופייניות של רמפות

לכל אחד מסוגי הרמפות שהוזכרו בסעיף 5.2.1 לעיל צורות גיאומטריות שונות, הנובעות מאופן שילוב הרמפה במחלף, כמפורט להלן. הצורה המדויקת מושפעת מהגורמים הבאים: דפוסי התעבורה במחלף,

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

נפחי התנועה, מהירויות התכן, טופוגרפיה, זווית המפגש, תכן מחברי הרמפה ומיקומם, התאמה לציפיות הנהגים, זכויות הדרך ואפשרויות הביצוע. מקרים אופייניים מפורטים להלן:

א. רמפה אלכסונית – לרמפות אלכסוניות מגוון צורות אפשריות, המתוארות בציור 5.2. הצורה הסופית מוכתבת בעיקר על-ידי דרישות התנועה ואילוצי זכות-הדרך. בקו A בציור מתוארת הצורה העקרונית של משיק אלכסוני ישר בין שתי תפניות בעקומות נגדיות. להעדפת התנועה ימינה, ניתן להטות את הרמפה בעקומה רצופה ימינה, עם זרוע לפנייה שמאלה בקצה, כמתואר בקו B. כשזכות הדרך מצומצמת, יועדף שימוש ברמפה משיקה מקבילה לדרך, הנשענת על עקום כפול, כמתואר בקו C.

לרמפה אלכסונית המתחברת לדרך-שירות מקבילה, צורה כמתואר בציור 5.3. כאשר דרך-השירות דו-סיטרית, נוסף החיבור המתואר בציור, ואז יש להקדיש תשומת מיוחדת לתכן הגיאומטרי ולתימור הצומת בחיבור הרמפה החד-סיטרית לדרך-השירות הדו-סיטרית, למניעת פניות מוטעות לרמפה נגד כיוון הנסיעה.

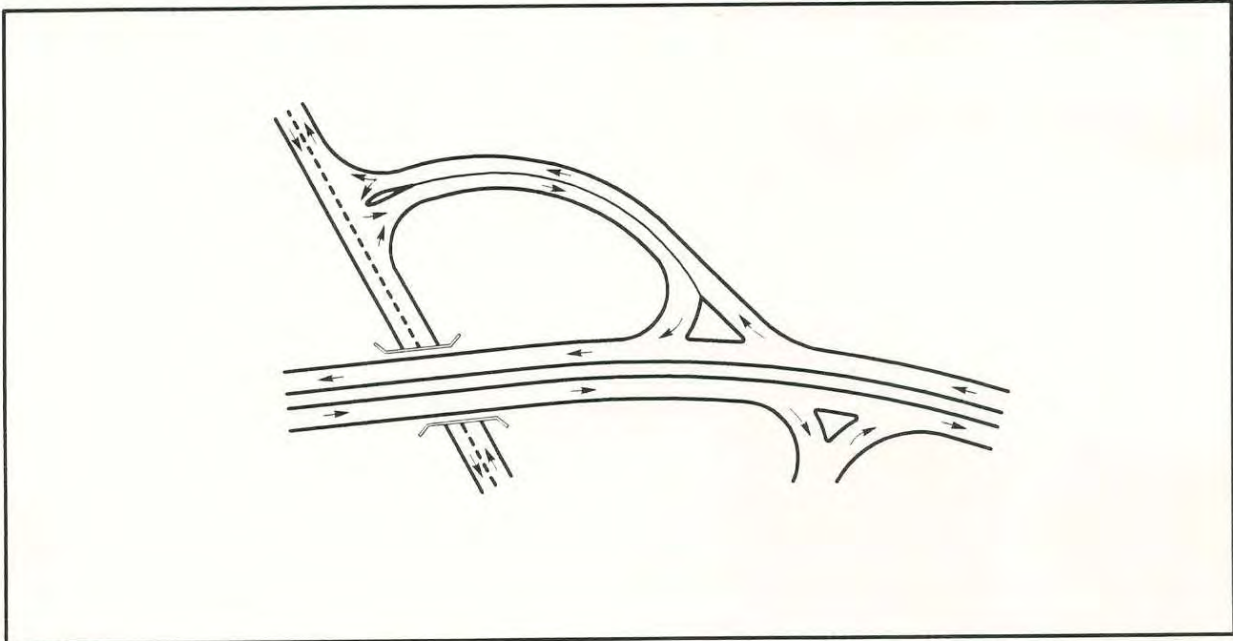
ב. לולאה ורמפה חיצונית – לשילוב של לולאה ורמפה חיצונית ברביע אחד מספר צורות אופייניות, המתוארות בציור 5.4. שילוב זה מאפשר את הגיאומטריה הצפופה ביותר למהירות תכן נתונה למחלף ללא צמתים. ללולאה, בין המחברים, צורת קשת מעגלית או עקום סימטרי אחר, הכולל עקומי מעבר. כאשר הלולאה מקשרת בין דרכים בעלות סיווג שונה או מהירות תכן שונה, ומחברי הרמפה שלה מתוכננים למהירויות שונות, ניתן להשתמש בצורה אי-סימטרית, כך שחלק מהלולאה מתפקד כאזור לשינוי מהירויות. הצורה המדויקת של הלולאה תיקבע לפי זכויות הדרך, שילוב התוואי האופקי והאנכי, מרחקי ראות, ומיקום מחברי הרמפה ביחס למבנה הגשר.

הצורה הרצויה לרמפה החיצונית היא קשת רצופה לפי צורה A-A' בציור 5.4, אלא שהיא ארוכה ודורשת זכות-דרך רחבה. צורות אפשריות אחרות הן קטע משיק מרכזי בין שתי קשתות במחברים, במגוון תוואים וזוויות, כדוגמת A-B או C-A' בציור 5.4. כאשר הלולאה מועדפת על-פני הרמפה החיצונית, אפשר להשתמש ברמפה חיצונית בצורת שני עקומים הפוכים, להקטנת זכות-הדרך הדרושה (D-D' בציור). ניתן גם להשתמש בכל הרכב משולב, המורכב משני חלקים שונים של הצורות המוצגות.

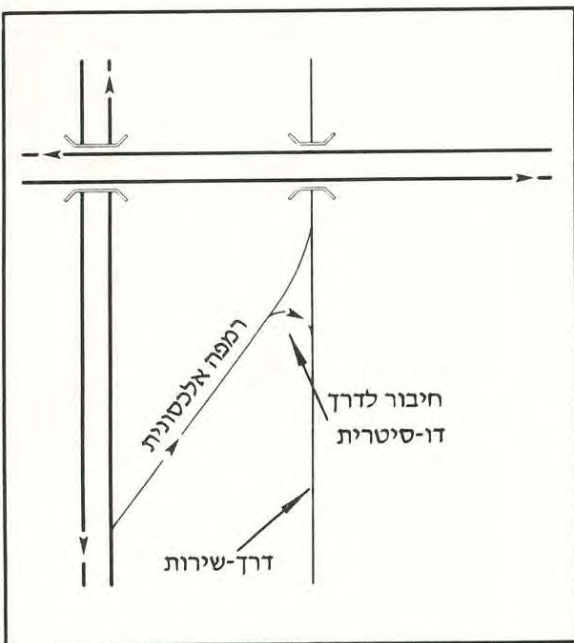
ג. רמפה ישירה-למחצה שמאלה – הרמפה הישירה-למחצה שמאלה מורכבת מעקום קצר ימינה ואחריו עקום ארוך שמאלה וסיום שוב בעקום קצר ימינה. אפשרי גם קטע ישר בין שני עקומים (ציור 5.5). שילוב המרכיבים הגיאומטריים של הרמפה הישירה-למחצה ויחסי האורכים שלהם, מושפעים על-ידי מיקום מחברי הרמפה ביחס למבני-הגשר הדרושים מעל שתי הדרכים, ואופן השתלבותם במיסעות באזור הגשרים. כן מושפע תוואי הרמפה על-ידי העקמומיות הדרושה לקיום מהירויות הפנייה הגבוהות-יחסית בסוג זה של רמפות. ככלל, ככל ששטיית הרמפה מהדרך האחת גדולה יותר, החיבור לדרך השנייה מתאפשר סמוך יותר לגשר המפריד בין הדרכים, כמתואר בציור.

מרכיבי התוואי האופקי ברמפות יתוכננו לפי הכללים המפורטים בסעיף 5.5 להלן.

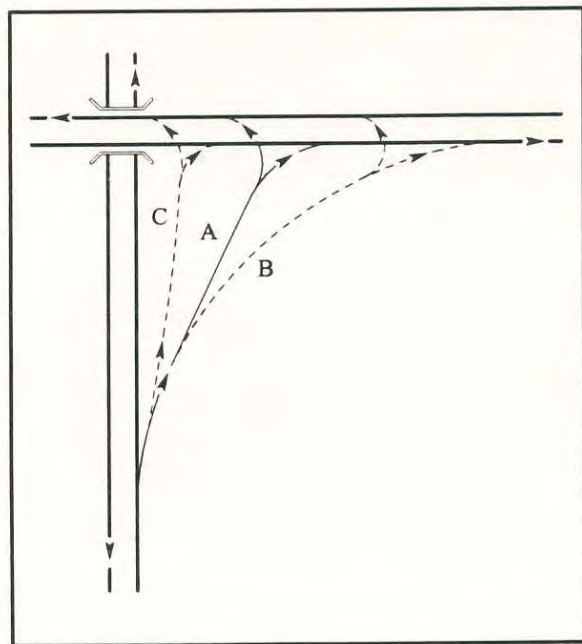
הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 5.1 רמפת לולאה ואלכסון משולבים

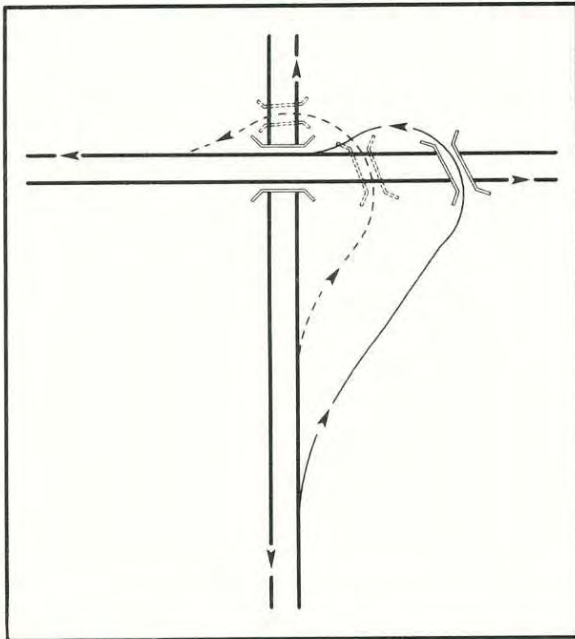


ציור 5.3 רמפה אלכסונית המתחברת לדרך-שירות מקבילה

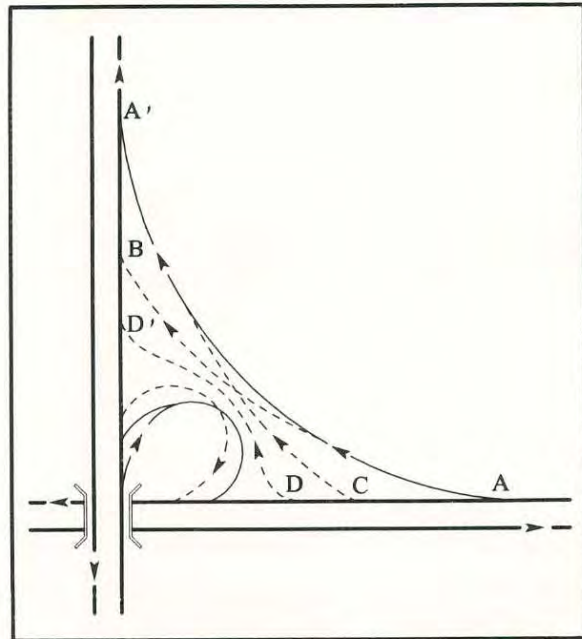


ציור 5.2 צורות אופייניות של רמפה אלכסונית

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 5.5 צורות של רמפה ישירה-
למחצה שמאלה



ציור 5.4 צורות אופייניות של לולאה
ורמפה חיצונית ברביע אחד

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

5.3 מהירויות התכן ברמפות

5.3.1 עקרונות כלליים

בדרך-כלל, אין אפשרות לשמור ברמפות על תחום מהירויות התכן של הדרכים הנפגשות במחלף. עם זאת, רצוי לאפשר שימוש ברמפות במהירויות גבוהות ככל שניתן מבחינה מעשית, כדי להקטין במידת האפשר את המאמץ בנהיגה של הנהג המשתמש ברמפה, ואת הצורך להקטנת המהירות או הגדלתה ביחס למהירות התנועה העוברת בדרכים הממוחלפות.

התחום העליון של המהירויות המועדפות לתכן הרמפות הן מהירויות הקרובות למהירות הממשית הממוצעת של הדרכים הנפגשות. למרות זאת, מוכתבות לעתים מהירויות נמוכות יותר על-ידי מגבלות האתר, תצורת הרמפה ושיקולים כלכליים. ההבחנה מרחוק במבנה הגשר, ברמפות ובמערכת התימור מנחים את הנהג המתכוון לצאת מן הדרך להאט את רכבו לקראת הכניסה לרמפה. בטבלה 5.1 מוצגים ערכים מנחים למהירויות התכן המומלצות ברמפות, בהתבסס על מהירויות התכן של הדרכים אותן מקשרת הרמפה. כדי להכיל את המגוון הרחב של מקרים ותנאים המקובלים ברמפות, מוצג תחום של מהירויות תכן, אשר מבוסס על ערכים הנדסיים מקובלים לצורת הרמפה ולעקמומיותה. יש לשאוף למהירות התכן הגבוהה בתחום במידת האפשר, אך כאשר מהירות זו גורמת לתכנון שאינו מאוזן או שאינו מוצדק כלכלית, המהירות הנמוכה יותר מתאימה, אך לא רצוי לרדת מתחתיה.

בסעיף הבא מובאות מספר המלצות לאופן יישום הערכים הנתונים בטבלה, בסוגי הרמפות הנפוצים.

5.3.2 עקרונות ליישום מהירות התכן ברמפות

א. **יישום מהירות התכן לרמפה** – ערכי מהירות התכן בטבלה 5.1 מתייחסים לעקומה החדה ביותר בתפנית הדרך שברמפה. מהירויות אלה אינן מתייחסות למחברי הרמפה לזרימה, המתוכננים למהירויות גבוהות יותר וכוללים קטעים לשינוי מהירות, כמפורט בפרק 6 להלן.

ב. **רמפות אלכסוניות וחיצוניות לולאה** – ברמפה אלכסונית לפנייה ימינה בלבד, יש לשאוף למהירויות שבחלקו העליון של התחום המומלץ בטבלה. מהירויות שימושיות מעשיות הן בתחום המצוין בטבלה. ברמפות חיצוניות לולאה במחלפי עלה-תלתן חלקיים, וברמפות במחלפי יהלום המיועדות לפניות חופשיות ימינה בקצה, המהירויות שבאמצע התחום הן מעשיות לחלק העיקרי של הרמפה, כאשר המהירויות הנמוכות יכולות לשמש את החלק הסמוך למחבר הרמפה עם הדרך המשנית.

ג. **לולאות** – עבור לולאה, מהירויות גבוהות אינן מעשיות. במהירויות תכן שמעל 50 קמ"ש, הלולאה דורשת שטח נרחב, יקרה לביצוע ומאריכה את הפנייה. בדרך-כלל, לולאות היוצאות מדרכים מהירות ומדרכים ראשיות, שמהירות התכן שלהן 100 קמ"ש ומעלה, יתוכננו למהירות 50 קמ"ש, ולולאות היוצאות מדרכים שמהירות התכן שלהן 80 קמ"ש או פחות, יתוכננו למהירות 40 קמ"ש. כאשר תנאי האתר אינם מגבילים, ניתן להגדיל את המהירות.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

- ד. **רמפות ישירות-למחצה** – לרמפה זו מתאימות מהירויות התכן שבחלקו העליון של התחום. מהירויות הנמוכות מ-50 קמ"ש אינן רצויות. לרמפות חד-נתיביות, מהירויות העולות על 80 קמ"ש אינן מעשיות. לרמפות דו-נתיביות, רצויות מהירויות בחלקו הגבוה של התחום.
- ה. **רמפות ישירות** – לרמפה זו מתאימות מהירויות תכן שבחלקו העליון של התחום, כאשר לא רצוי לרדת מ-60 קמ"ש.
- ו. **רמפה בין דרכים בעלות מהירות תכן שונה** – כאשר הרמפה מקשרת בין דרכים שמהירות התכן שלהן שונה, רצוי לקבוע את מהירות התכן לאורך כל הרמפה בהתאם למהירות התכן הגבוהה יותר מבין מהירויות הדרכים. עם זאת, ניתן לקבוע את מהירות התכן ברמפה כמהירות משתנה, כשהיא נמוכה יותר בקירבת הדרך המשנית וגבוהה יותר בקרבת הדרך המועדפת. שיטה זו ישימה בעיקר כאשר הרמפה מצויה בעלייה מהדרך המועדפת לדרך המשנית.
- ז. **מחברי עצירה ברמפה** – מחבר לעצירה ברמפה, המהווה צומת עם הדרך העוברת, יתוכנן למהירויות פנייה מזעריות או מעל למזעריות, המתאימות לצומת בהתאם לאמצעי הניתוב והבקרה בו, לפי הכללים המפורטים בכרך II של הנחיות אלה, המוקדש לצמתים.

טבלה 5.1 מהירויות תכן מומלצות לרמפות מסוגים שונים, בקמ"ש

מהירות התכן בדרך המועדפת (קמ"ש)			סוג הרמפה	סוג המחלף
110-120	90-100	60-80		
50	40-50	40	לולאה	מערכת
70-90	60-80	50-70	ישירה-למחצה	
70-90	60-80	50-70	אלכסונית/ישירה	
50	40-50	40	לולאה	גישה
60-80	60-70	50-70	ישירה-למחצה	
60-80	60-80	50-70	אלכסונית/ישירה	

5.4 חתך הרוחב ברמפה

5.4.1 רוחב המיסעה

חתך הרוחב האופייני של רמפה במחלף בין-עירוני מורכב מכביש, שמשני צדדיו שוליים סלולים מצופי אספלט, כמתואר בציורים 5.6 - 5.8. השימוש באבני-שפה מצידי הרמפה (מחוץ לצמתים שבקצה הרמפה) אינו מומלץ, וייעשה רק עקב אילוצים מקומיים, כגון ניקוז לאורך הרמפה ומגבלות בזכות הדרך. במקרים בהם נדרשות אבני-שפה, יועדף השימוש באבנים משופעות הממוקמות מעבר לרוחב הדרוש של

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

השוליים. באזור הצמתים שבמחברי הרמפה לעצירה ייתכן שימוש באיים בנויים ובאבני-שפה, שייעשה בהתאם לכללים הנהוגים בצמתים, ומפורטים בפרק 7 בכרך II של הנחיות אלה.

רוחב המיסעה הדרוש ברמפה תלוי בצורתה הגיאומטרית ובתנאים התפעוליים בה. שלוש האפשרויות לתנאים תפעוליים הן:

- א. רמפה חד-סיטרית חד-נתיבית.
- ב. רמפה חד-סיטרית דו-נתיבית.
- ג. רמפה דו-סיטרית.

רוחב המיסעה ברמפה תלוי גם בעקמומיותה. בטבלה 5.2 נתון רוחב המיסעה הדרוש ברמפה בהתאם לרדיוס שלה, למספר הנתיבים בה ולמאפייני השוליים, ולפי העקרונות המפורטים להלן. חישוב הרוחב הדרוש בוצע לפי עקרונות הדומים לרוחב תפניות דרך, כמפורט בסעיף 5.4.8 בכרך II של הנחיות אלה, תוך שימוש במאפייני כלי-הרכב המקובלים לתכן, המרוכזים בסעיף 3.4.4 באותו כרך:

א. רמפה חד-סיטרית חד-נתיבית – תכנון הרוחב המזערי לרמפה זו מיועד לאפשר עקיפת משאית תקועה על-ידי משאית אחרת או אוטובוס, במהירות מופחתת ובעזרת שימוש חלקי בשוליים, תוך שמירה ככל האפשר על זרימת התנועה. תכנון זה מאפשר גם עקיפת המשאית התקועה על-ידי רכב מורכב או מחובר, אשר תבוצע בהקטנת המהירות ומרווחי הבטיחות, ותוך שימוש ברוחב השוליים. הרוחב של רמפה חד-נתיבית נתון בטבלה לשני מקרים בסיסיים – רמפה בין שוליים סלולים, ורמפה בין אבני-שפה משופעות. לא רצוי לעבור את הרוחב הנתון בטבלה, למניעת מצב של נסיעת שני כלי-רכב במקביל. מצד שני, רוחב הרמפה החד-נתיבית (בין השוליים) לא יפחת מ-4.50 מטר, גם בקטע ישר, מהשיקולים הבאים:

- שולי הרמפה צרים משולי הדרך העוברת. הרמפות מצויות, בדרך-כלל, בחפירה או במילוי, בין גדרות בטיחות משני הצדדים, ולעיתים גם בין ובסמוך למרכיבים קונסטרוקטיביים אחרים. לרוחב צר מדי של הרמפה על שוליה יש בתנאים אלה אפקט חזותי לא רצוי מבחינת הנהג.
- ברמפה ברוחב צר מדי עלולים להיגרם קשיים בהזרמת התנועה במקרה של תקלה לרכב בתחומי הרמפה.
- תוואי הרמפות כולל, בדרך-כלל, שילוב של קטעים ישרים עם עקומים אופקיים. רוחב של 4.50 מטר בקטעים הישרים מספיק גם לכל עקום אופקי ברדיוס שאינו קטן מ-150 מטר, ואינו מצריך שינוי תדיר של רוחב המיסעה לאורך הרמפה.

ב. רמפה דו-נתיבית חד-סיטרית – רוחב רמפה זו מתוכנן לתנועה של אוטובוס לצד רכב מורכב, במהירות התכן. בשל הקושי בתנועה לצד רכב אחר בעקום, הרוחב המתקבל דומה לדרוש ברמפה דו-סיטרית ברדיוס דומה.

ג. רמפה דו-נתיבית דו-סיטרית – רוחב רמפה זו מתוכנן לתנועה של שני כלי-רכב מורכבים זה מול זה, במהירות התכן של הרמפה. הרוחב של הרמפה נתון בטבלה למקרה של שוליים סלולים משני הצדדים, עם תיקון למקרה של שימוש באבני-שפה.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

המעבר מהרוחב הדרוש ברמפה לרוחב (הקטן יותר) של נתיב ההאצה או ההאטה, יבוצע באופן הדרגתי באזור מחברי הרמפה. המעבר יבוצע החל מהנקודה בה מסתיימת עקמומיות הרמפה, באמצעות היסט הצד הפנימי של הרמפה בשיעור של 1:15 או מתון יותר.

טבלה 5.2 הרוחב הדרוש ברמפות⁽¹⁾

רוחב הכביש (מ')			רדיוס שפת הכביש הפנימית (מ')
רמפה דו-נתיבית בין שוליים סלולים ⁽³⁾	רמפה חד-נתיבית בין אבני-שפה משופעות	רמפה חד-נתיבית בין שוליים סלולים ⁽²⁾	
9.4	7.2	5.5	45
8.9	7.0	5.0	60
8.5	6.7	5.0	90
8.2	6.7	5.0	120
8.1	6.7	4.5	150
7.5	6.3	4.5	>150 ומשיק
תוספת לרוחב הכביש עבור אבן-שפה משופעת (מ')			
–	–	לפי הערה (2)	בצד אחד
0.6	–	לפי הטור האמצעי	בשני צדדים
תוספת לרוחב הכביש עבור אבן-שפה ניצבת (מ')			
0.9	–	לפי הערה (2)	בצד אחד
1.2	0.3	לפי הטור האמצעי	בשני צדדים

- (1) במקרים יוצאי-דופן שאינם מופיעים בטבלה זו (רדיוסים קטנים, כלי-רכב שונים לתכן) יש להשתמש בערכים הנתונים בטבלה מס' 5.8 דרוש בכרך II של הנחיות אלה.
- (2) רוחב השוליים ה בשני הצדדים (ביחד), לפחות 2.0 מ'. אם הסכום קטן יותר, הוסף את ההפרש, עד 2.0 מ', לרוחב הכביש ברמפה.
- (3) רוחב השוליים הדרוש לפחות 1.2 מ' בכל צד. אם לא, הוסף 0.6 מ' לרוחב הכביש ברמפה.

5.4.2 רוחב השוליים

תפקידי השוליים ברמפות הם: מקום לעצירה במקרה תקלה להקטנת הסיכון ולשמירה על הקיבולת, שטח מיפלט לתמרון, סיוע בתמיכת המיסעה ובניקוז ושיפור הראות בעקומים אופקיים.

רוחב השוליים ברמפה אחיד לכל אורכה. הרוחב הרצוי הוא:

- השול הימני ברמפה חד-סיטרית, ושני השוליים ברמפה דו-סיטרית – 2.50 מ'.
- השול השמאלי ברמפה חד-סיטרית – 1.50 מ' (2.50 מ' ברמפת לולאה שאורכה עולה על 600 מ' מ"אף" ל"אף").

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

במעבר הרמפה מתחת גשרים או עליהם, רצוי לשמור על חתך הרוחב המלא של הרמפה, לרבות השוליים. מכשולים כגון נציבי הגשר יורחקו לפחות 1.20 מ' מקצה השוליים הסלולים. הטיפול בשטח שמעבר לשוליים (שיפועי מדרון חפירה או מילוי), והמיגון מפני מכשולים בו יבוצעו כמפורט בסעיפים 7.6 (שיפועי מדרונות) ו-7.7 (גדרות בטיחות) בכרך I של הנחיות אלה.

שולי הרמפה צרים משולי הדרך העוברת. המעבר יבוצע באופן הדרגתי בתחום מחברי הרמפה לזרימה חופשית, אחרי "אף" היציאה במחבר היציאה ולפני "אף" הכניסה במחבר הכניסה.

5.4.3 חתכים אופייניים

בציורים 5.6 עד 5.8 נתונים חתכי רוחב טיפוסיים למספר מקרים אופייניים של רמפות בין שוליים סלולים:

- חתך הרוחב של רמפה חד-נתיבית בקטע ישר (ציור 5.6).
- חתך הרוחב של רמפת לולאה חד-נתיבית ברדיוס 45-50 מטר (ציור 5.7).
- חתך הרוחב של רמפה דו-נתיבית בקטע ישר (ציור 5.8).

השיפוע לרוחב הרמפה בקטעים הישרים יהיה תמיד לכיוון אחד בלבד, גם ברמפות דו-נתיביות. השיפוע לרוחב הרמפה (לרבות השוליים הסלולים) בקטעים ישרים יהיה 2.5%. הגבהות בעקומים ומעברי-שיפועים, יחושבו כמפורט בסעיף 5.5 להלן.

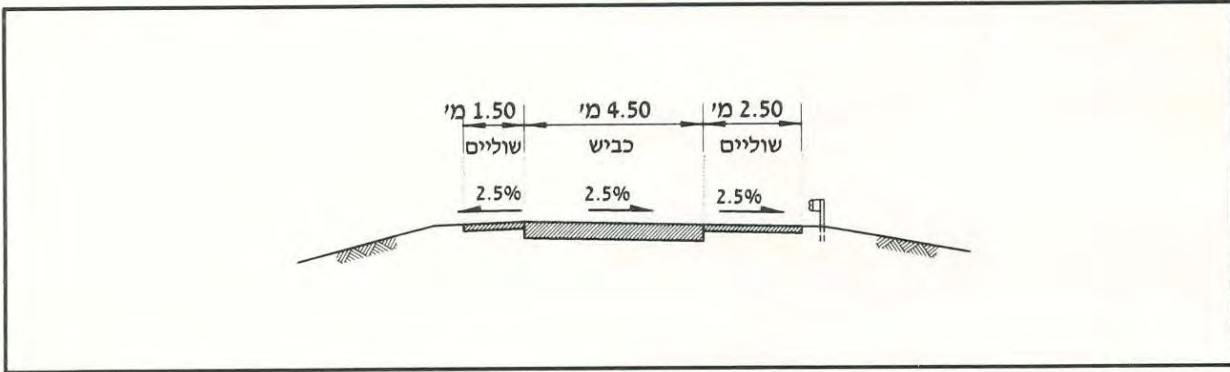
5.5 מרכיבי התוואי האופקי ברמפות

5.5.1 רדיוסים והגבהות

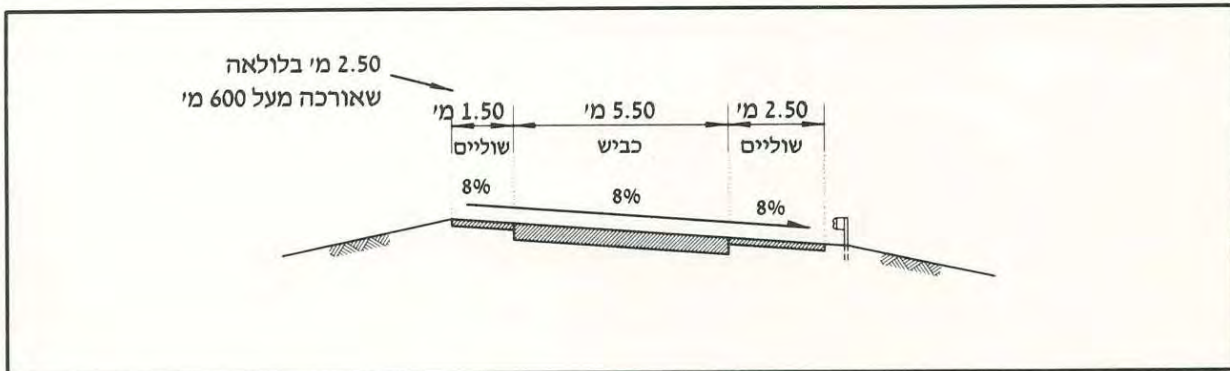
התוואי האופקי ברמפות מתוכנן לטווח רחב של מהירויות תכן, בהתאם לסוג המחלף, לסוג הרמפה, לתצורתה ולאורכה, כמפורט בסעיף 5.3.2 לעיל. התנועה לאורך הרמפות היא מרוסנת, יחסית לתנועה בדרכים הנפגשות, אך מצד שני, הנהגים הפונים באמצעות הרמפות מצפים במחלפים לתנועה שוטפת יותר ולנהיגה מאומצת פחות מאשר בתפניות דרך בצמתים. זאת, תוך שמירה על רמת נוחות ובטיחות המתקרבות למקובל בעקומים אופקיים בתוואי הדרך, במיוחד במהירויות התכן הגבוהות יותר. כתוצאה מכך, עקרונות הקביעה של ההגבהות הרוחביות המירביות ברמפות, והרדיוסים המזעריים הנגזרים מהן, הן שילוב של העקרונות שהוצגו לתוואי הדרך בסעיף 5.2 בכרך I של הנחיות אלה, ושל עקרונות התכן לתפניות דרך (פניות מהירות ימינה) שהוצגו בסעיף 5.4 בכרך II של הנחיות.

ההגבהה הרוחבית המירבית ברמפות תהיה 0.08 במהירויות תכן עד 60 קמ"ש, ו-0.07 במהירויות העולות על 60 קמ"ש. ברמפות שבהן אחוז המשאיות גבוה (מעל 20%), רצוי להקטין את ההגבהה הרוחבית המירבית במהירויות הנמוכות, ל-0.06. בטבלה 5.3 מרוכזים ערכי ההגבהה המירבית למהירויות התכן השונות, והרדיוסים המזעריים המתאימים להן.

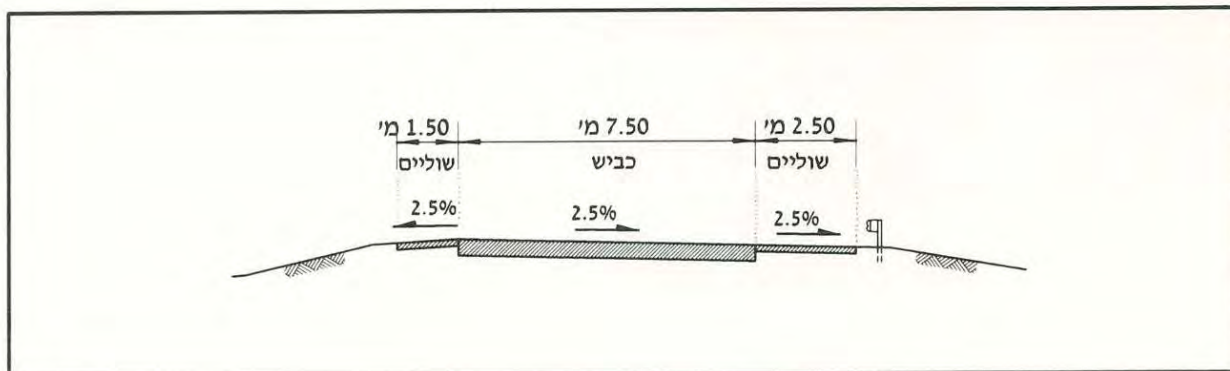
הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 5.6 חתך טיפוסי לרוחב רמפה חד-נתיבית בקטע ישר



ציור 5.7 חתך טיפוסי לרוחב רמפת לולאה חד-נתיבית ברדיוס 45-50 מטר



ציור 5.8 חתך טיפוסי לרוחב רמפה דו-נתיבית בקטע ישר

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

בערכי הרדיוסים המזעריים המוצגים בטבלה, מומלץ להשתמש רק כאשר קיימים אילוצים. ככלל, יש להעדיף רדיוסים גדולים מהמזעריים, אם הטופוגרפיה מאפשרת זאת. כאשר רדיוס העקום גדול מהרדיוס המזערי, תחושב ההגבהה לפי המפורט בסעיף 5.2.3 בכרך I של הנחיות אלה.

טבלה 5.3 הגבהות רוחביות מירביות ורדיוסים מזעריים ברמפות

90	80	70	60	50	40	מהירות התכן ברמפה (קמ"ש)
0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	ההגבהה המירבית
380	270	150	120	75	50	רדיוס מזערי (מ') בהגבהה המירבית

5.5.2 עקומי מעבר ברמפות

כאשר שפת הדרך בכניסה לעקום המעגלי ברמפה מתוכננת ללא עקום מעבר, הנהגים יוצרים לעצמם עקום מעבר מתאים, תוך כדי מיקום רוחבי משתנה לאורך הרמפה. לכן, מומלץ להשתמש ברמפות בעקומי מעבר מסוג קלוטואידה, המוכנסים בין המשיק והעקום המעגלי, בהתאם לעקרונות שהוסברו בסעיף 5.5 בכרך I ובסעיף 5.4.5 בכרך II של הנחיות אלה.

שיעורי מקדם הנוחות ברמפות, המוצגים בטבלה 5.4, דומים לשיעורים הנהוגים בצמתים במהירויות עד 60 קמ"ש, ולשיעורים הנהוגים בדרך חופשית במהירויות גבוהות יותר.

משך זמן הנסיעה המזערי בעקום המעבר כך שיהיה יעיל הוא שתי שניות, ולכן אורך העקום לא יפחת מהערך המזערי המתאים הנתון בטבלה זו. האורך המזערי לעקומי מעבר למהירויות התכן השונות מוצג בטבלה 5.4.

טבלה 5.4 ערכים תכנוניים לעקומי מעבר ברמפות

90	80	70	60	50	40	מהירות התכן ברמפה (קמ"ש)
0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.1	מקדם הנוחות, C, (מ/שנ ²)
50	44	39	33	28	22	אורך מזערי לעקום המעבר לפי 2 שניות (מ')
80	70	70	45	35	25	אורך עקום המעבר כשהעקום האופקי ברדיוס המזערי (מ')
175	136	102	72	51	35	מודול הקלוטואידה כשהעקום האופקי ברדיוס המזערי (מ')

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

5.5.3 מעבר השיפועים ברמפות

ביצוע מעבר השיפועים ברמפות נועד לאפשר מעבר הדרגתי בין השיפוע הצידי הקיים במחברי הרמפה או בקטעי הרמפה הישרים, לבין ההגבהה הרוחבית המירבית בעקומים האופקיים ברמפה, כפי שנקבעה בהתאם לכללים בסעיף 5.5.1 לעיל. מעבר השיפועים ברמפות מתחיל, בדרך-כלל, במחברי הרמפה, ולכן יטופל באופן מפורט בפרק 6 להלן. מעברי שיפועים בתוך תפניות-הדרך ברמפה יתוכננו בהתאם לכללים המפורטים בסעיף 9.3.2 בכרך II של הנחיות אלה.

5.5.4 עקומים מעגליים המורכבים ממספר רדיוסים

כאשר קיים הפרש גדול בין מהירויות התכן של מרכיבים עוקבים ברמפה, ניתן לחברם תוך שימוש בעקומים מורכבים – קשתות עוקבות ברדיוסים שונים המשיקות זו לזו. לשימוש בעקום מעגלי מורכב יתרונות של התאמה טובה למסלול הנסיעה של כלי-הרכב ומעבר נוח יותר לנהג (ביחס לרדיוס פנייה יחיד) מקטע הכביש הישר לתוך הסיבוב. אם קיים הבדל ניכר בין הרדיוסים של העקום המעגלי המורכב, התוואי המתקבל נראה "שבור" או מאולץ, וגם אינו מתאים היטב למסלול נסיעת הרכב. מומלץ שהיחס **בין הרדיוסים של עקומים מעגליים עוקבים לא יעלה על 1.75**, דבר המביא להפרש קטן בין המהירויות הממשיות המתאימות לרדיוסים האלה (ההפרש המירבי בין מהירויות תכן של מרכיבים עוקבים בתוואי האופקי לא יעלה על 15 קמ"ש).

כאשר קיימת סדרה של עקומים מעגליים עוקבים שרדיוסם הולך ויורד, חייב אורכו של כל אחד מהם להיות מספיק על-מנת לאפשר לנהגים האטה נאותה. אורכו המזערי של עקום מעגלי הבא לפני עקום אחר יחושב לפי תאווה נוחה של 0.8 מ"שני² (3 קמ"ש/שנייה) בין מהירויות התכן של העקומים, כתאווה מומלצת, ותאווה של 1.4 מ"שני² (5 קמ"ש/שנייה), כתאווה מירבית.

ברמפה אלכסונית, הנהגים אינם מצפים לשינויי תוואי עוקבים לאותו כיוון, לכן רצוי להימנע משימוש בעקומים אופקיים עוקבים (Broken-Back).

ברמפת לולאה, לא רצוי להשתמש בעקום ברדיוס גדול בין שני עקומים ברדיוסים קטנים יותר, בשל חוסר ההתאמה לציפיות הנהג וחוסר ההכוונה הגיאומטרית להתאמת המהירויות הנדרשת.

5.6 מרחקי ראות ברמפות

מרחקי הראות המשמשים לתכן הרמפה הם מרחקי הראות לעצירה ולהחלטה, כמפורט להלן. ההסבר העקרוני למהותו של כל מרחק ראות ואופן חישוב ערכי התכן שלו מפורטים בפרק 4 – "מרחקי ראות בצמתים", בכרך II של הנחיות אלה. להלן הכללים העקרוניים ליישום מרחקי הראות בתכן רמפות:

- מרחק הראות המזערי שחייב להתקיים לאורך כל הרמפה הוא מרחק הראות לעצירה המתאים למהירות התכן ברמפה. מרחק הראות יותאם לשיפוע לאורך הרמפה, בהתאם לאופן החישוב המפורט בסעיף 4.2.2 בכרך II של הנחיות אלה. ערכי-תכן אופייניים נתונים בטבלה 4.1 באותו כרך.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

לאורך הרמפה רצוי לקיים את מרחק הראות להחלטה, המאפשר לנהג זמן ארוך יותר להבחנה בתוואי שלפניו ובפעולות הנדרשות ממנו. (הגיאומטריה ברמפות לולאה עשויה להגביל את השימוש במרחקי-ראות העולים על המרחקים לעצירה.)

- מרחק הראות להחלטה הוא המרחק המזערי לתכן באזורי מחברי הרמפה שבשני קצותיה, בהם מתבצעות פעולות היפרדות, התמזגות, האצה והאטה. יש לוודא שניתן להבחין ממרחק ראות זה בכל אזור המחבר לרבות שטח ה"אף" (ראה חישוב מפורט בסעיף 4.2.3 בכרך II של הנחיות אלה וערכי תכן בטבלה 4.2 באותו כרך). ראה גם פירוט נושא מרחקי הראות במחברי-הרמפות לזרימה בסעיף 6.7 בהמשך ההנחיות. מרחק הראות להחלטה הוא גם מרחק הראות הבסיסי לתכן הדרכים הנפגשות בהתקרבות למחלף, כמפורט בסעיף 4.7 ובטבלה 4.6 בכרך I של הנחיות אלה.
- יש לבדוק את ההשפעה של שילוב התוואי האופקי והתוואי האנכי ברמפה על מרחקי הראות המתקיימים לאורכה. הראות עשויה להיות מוגבלת במיוחד בלולאות ברדיוסים קטנים.
- ברמפות ובמיוחד באזור המחברים, יש לבדוק באופן מפורט את ההפרעות הנגרמות לראות על-ידי המבנה הפיזי של המחלף על מרכיביו (גשרים, מעקות, סוללות וכיו"ב).
- ברמפות שבסופן יש צומת, דרוש לקיים בכל הזרועות את מרחקי הראות הדרושים לצומת זה בהתאם לאמצעי ההכוונה והבקרה בו, לפי המפורט בסעיף 4.4 "משולשי הראות בצומת מבוקר", בכרך II של הנחיות אלה. תשומת-לב מיוחדת תוקדש להשפעת המרכיבים המבניים באזור הגשרים על הראות בצמתים. ראה גם סעיף 9.5.5 בהמשך ההנחיות.
- בקצות הרמפות עשויים להיות עקומים אנכיים קמורים. יש לוודא שעקומים אלה אינם מקשים על ההבחנה בעקום האופקי שברמפה או בצומת שבסופה ממרחקי הראות הדרושים.

5.7 התוואי האנכי ברמפות

5.7.1 שיפועים לאורך הרמפה

הצורה הכללית של התוואי האנכי ברמפה היא קטע אמצעי ששיפועו גדול באופן יחסי לשיפוע במחברים, המתחבר לשני עקומים אנכיים בשני קצות הרמפה, אשר משיקים לשיפועים הקיימים במחברי הרמפה.

ברמפה רצוי לשמור על שיפועים מירביים מתונים, כדי להקטין את מאמץ הנהיגה הנדרש בתמרון בין הדרכים תוך שימוש ברמפה. השילוב של עקמומיות הרמפה עם השיפועים לאורך, גורם להאטת התנועה ולהקטנת קיבולת הרמפה. השפעת השיפוע על התפעול ברמפה, קטנה מהשפעתו של שיפוע זהה על תפעול הדרך העוברת, אם כי הקטנה רבה של קיבולת הרמפה עקב שיפוע חריף, עשויה לגרום להפרעות לתנועה במחבר הכניסה לרמפה בשעות השיא.

ברמפות מחלף היהלום, שאורכן קצר באופן יחסי ונע, בדרך-כלל, בין 150 ל-350 מ', יש לשיפוע חריף בחלק האמצעי של הרמפה השפעה תפעולית מועטה. ביהלום צר, ככל שהשיפוע מתון יותר, הרמפה הנדרשת בדרך-כלל ארוכה יותר, אם כי לתכנון העקומים האנכיים עשויה להיות השפעה גדולה יותר מאשר לשיפוע.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

בטבלה 5.5 מרוכזים הערכים המירביים המומלצים לשיפועים לאורך בחלק התלול (המרכזי) של הרמפה. השיפועים תלויים במהירות התכן של הרמפה, כאשר לרמפות בעלות מהירות תכן גבוהה רצויים שיפועים מתונים יותר. ככל שהרמפה ארוכה יותר, וככל שהתנועה בה רבה יותר, רצוי שיפוע מתון יותר מהמירבי המומלץ.

ככלל, השיפועים ברמפות עלייה וברמפות ירידה הם דומים, במגבלות הבאות:

א. ברמפות ירידה קצרות, ניתן להגדיל את השיפוע ב-2 אחוז נוספים מעבר לנתון בטבלה, במקרים מיוחדים, בתנאי שמחברי הרמפה ממוקמים ומתוכננים למהירויות הגבוהות העשויות לנבוע מהשיפוע.

ב. כאשר אחוז כלי-הרכב הכבדים גבוה (כ-20 אחוז), רצוי להגביל את השיפוע המירבי ל-5 אחוז ברמפה עולה ו-3 עד 4 אחוז בלבד ברמפה יורדת.

ג. כאשר ברמפה יורדת יש עקום אופקי חד, וכן ברמפות לולאה, רצוי להגביל את השיפוע לאורך ל-3 עד 4 אחוז, שכן שילוב של הגבהה רוחבית חריפה עם שיפוע הירידה מקשה על הנהיגה.

טבלה 5.5 שיפועים מירביים מומלצים לאורך הרמפות⁽¹⁾

90	80	70	60	50	40	מהירות התכן ברמפה (קמ"ש)
5	5	5	6	7	7	שיפוע מירבי לאורך (%) ⁽¹⁾

(1) ראה גם הערות א'-ג' בסעיף 5.7.1.

השיפועים לאורך באזור הצמתים במחברי הרמפות לעצירה ייקבעו בהתאם למפורט בפרק 8 – "התוואי האנכי בצמתים", בכרך II של הנחיות אלה.

5.7.2 עקומים אנכיים

החתך לאורך הרמפה נראה בדרך-כלל בצורת עקומים אנכיים הפוכים, עם עקום אנכי קעור בקצה אחד, עקום אנכי קמור בקצה השני ומשיק ישר משופע ביניהם. ייתכן שיידרשו עקומים אנכיים נוספים, בהתאם לתוואי הרמפה, במיוחד אם הרמפה עצמה עוברת במפלס שונה מעל או מתחת לדרך אחרת, כמו ברמפה ישירה-למחצה שמאלה.

מהירות התכן של העקומים האנכיים ברמפות תיקבע לפי מהירות התכן של אותו חלק של הרמפה בו הם מצויים, כמפורט בסעיף 5.3 לעיל. מרחקי הראות לתכן העקומים האנכיים מפורטים בסעיף 5.6 לעיל. שאר פרטי התכן וערכי התכן הם כמפורט בסעיף 8.4 – "עקומים אנכיים", בכרך II של הנחיות אלה.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

5.7.3 מירווח הגובה החופשי (בגבריט)

בתכן התוואי האנכי במחלפים יש לשמור בגשרים ובמעברים את מירווחי הגובה החופשי הבאים בגבריטים:

א. מעל מסילות ברזל – 6.5 מטר.

ב. מעל דרכים – 5.5 מטר, מעל כל הנתיבים וכן מעל לשוליים בשני הצדדים.

גובה זה עונה לדרישות הרכבת (לרבות הכנה לחישמול), וכן מאפשר הובלת מטען חורג כנדרש בתקנות התעבורה. בנוסף לכך, יש לבדוק עם הגורמים הנוגעים בדבר, האם אין דרישות מיוחדות למחלף המתוכנן או לצירים העוברים בו. המרווחים יימדדו בין הנקודה הנמוכה ביותר בתחתית קורות הגשר או המעבר העילי לבין הנקודה הגבוהה ביותר בחתך הרוחב של הכביש מתחת למבנה העילי. כאמור, יש לשמור על מירווח זה מעל כל הנתיבים של שתי הדרכים, מעל השוליים כולל השול שבשטח הפרדה, וכן מעל לרמפות ולשוליהן.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פרק 6

מחברי זרימה ברמפות

תוכן עניינים

6-1	סוגי מחברים ויישומיהם	6.1
6-2	כיווני היציאות והכניסות	6.2
6-2	מחברי יציאה חד-נתיביים	6.3
6-2	6.3.1 כללי	
6-3	6.3.2 תכן אזור אף היציאה	
6-6	6.3.3 צורת מחבר היציאה	
6-6	6.3.4 מרכיבי המחבר – נתיב ההאטה והחיבור לרמפה	
6-9	6.3.5 מחברי יציאה בעקום אופקי	
6-12.....	מחברי יציאה דו-נתיביים	6.4
6-12	6.4.1 כללי	
6-12	6.4.2 תכן המחבר	
6-16.....	מחברי כניסה חד-נתיביים	6.5
6-16	6.5.1 כללי	
6-17	6.5.2 צורת מחבר הכניסה	
6-17	6.5.3 מרכיבי המחבר – נתיב ההאצה והחיבור לרמפה	
6-21	6.5.4 מחבר כניסה בעקום אופקי	
6-21.....	מחברי כניסה דו-נתיביים	6.6
6-21	6.6.1 כללי	
6-26	6.6.2 תכן המחבר	
6-26.....	ראות במחברי-כניסה	6.7
6-28.....	מעברי שיפועים במחברים וברמפות	6.8
6-28	6.8.1 כללי	
6-28	6.8.2 כללי התכן	
6-31	6.8.3 תכנון חתך אורכי רציף לקצות המיסעה	
6-31	6.8.4 צורות מעברי שיפועים במחברים	

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פרק 6

מחברי זרימה ברמפות

6.1 סוגי מחברים ויישומיהם

מחברי-הרמפה הם שני הקצוות של כל רמפה, אשר משמשים לחיבורה אל הדרכים העוברות. המחבר מוגדר בהתאם לתפקידו ביחס לדרך העוברת, כפי שתואר בצירור 2.3:

- א. **מחבר יציאה** – משמש לתנועה היוצאת מהדרך העוברת לתוך הרמפה.
- ב. **מחבר כניסה** – משמש לתנועה הנכנסת מהרמפה לתוך הדרך העוברת.

סיווג נוסף של המחברים הוא בהתאם לאופן זרימת התנועה בהם:

- א. **מחבר לעצירה** – מתפקד כצומת במפלס אחד.
- ב. **מחבר-זרימה** – מיועד להיפרדות והתמזגות בלבד, במהירויות הקרובות למהירויות הזרימה בדרכים העוברות.

ראה הגדרות מפורטות של סוגי המחברים בסעיף 2.2.3 בהנחיות.

מחברים לעצירה מצויים רק במחלפי-גישה, בחיבורים לדרך המשנית: באחד מהקצוות של כל הרמפות במחלף יהלום ובמחלף סיבובי, וכן בקצה אחד של חלק מהרמפות במחלפי תלתן חלקיים. אזור המחבר לעצירה מתוכנן כצומת במפלס אחד, בהתאם לעקרונות התכן המוצגים בכרך II של הנחיות אלה.

מחברי-זרימה מצויים בקצה אחד לפחות של כל רמפה במחלפי-גישה, וכן בשני הקצוות של כל הרמפות במחלפי-מערכת ובמחלפי חצוצרה ואגס. בדרכים מהירות ובדרכים אחרות הממוחלפות במלואן, כל המחברים יהיו לזרימה. פרק זה עוסק בכללי ובפרטי התכן למחברי-זרימה ליציאות ולכניסות.

מרבית הניגודים (ועקב כך, התאונות) במחלפים בדרכים מסויגות-גישה, מרוכזים סביב מחברי-הרמפות. לכן, יש לשמור באזור המחברים על כללי-תכן, אשר יפחיתו למינימום האפשרי את מספר הניגודים ואת עוצמתם.

מחברי הזרימה ליציאה ולכניסה הם בדרך-כלל חד-נתיביים באזור ההתחברות לדרך הממוחלפת, אם כי ניתן להרחיבם לשני נתיבים בתחומי הרמפה עצמה, משיקולי תפעול, קיבולת ואחסנה, כמפורט בסעיף 7.6 בהמשך. מחברי-הזרימה יהיו דו-נתיביים רק כאשר בדרך העוברת קיים נתיב נוסף או נתיב-עזר בקרבת המחבר, כמפורט בהמשך ההנחיות. כללי-התכן למחברי-רמפה חד-נתיביים מפורטים בסעיפים 6.3 ו-6.5 להלן. מחברי-רמפה דו-נתיביים יפורטו בסעיפים 6.4 ו-6.6 להלן.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

6.2 כיווני היציאות והכניסות

כל מחברי-הזרימה ברמפות, המשמשים ליציאה מדרך ממוחלפת ולכניסה אליה, יתוכננו תמיד מצידה הימני של הדרך: יציאות שמאלה וכניסות משמאל בדרך הממוחלפת מנוגדות לעקביות בתכנון ולציפיות הנהגים, גורמות להאטה בנתיב השמאלי או מכניסות כלי-רכב איטיים לנתיב השמאלי, ויוצרות השתזרות לרוחב כל הדרך. עקב כך, אין לתכנן בדרך ממוחלפת יציאות שמאלה וכניסות משמאל (דהיינו, לא יתוכננו מחברי-זרימה מצד שמאל), כפי שנקבע גם בסעיף 3.4.3 בהנחיות. גם כאשר התוואי מתפצל או מסתעף, רצוי שהדרך החשובה-פחות תתפצל לצד ימין, כך שהדרך ההמשכית תשמור על כיוונה, והתנועה היוצאת ממנה תופנה ליציאה המותווית באופן ברור ימינה, כמתואר בסעיף 4.2 בהנחיות.

השימוש ביציאות ובכניסות מצד שמאל שלא בצמתים (כהתמזגויות והיפרדויות), ייעשה רק בהתפצלויות של רמפה מרמפה, בכבישים מאספים-מחלקים ובדרכי-שירות חד-סטרייות, בליווי הדרכה מקדימה מפורטת, תוך הבטחת מרחק הראות להחלטה בהתקרבות למחבר.

6.3 מחברי יציאה חד-נתיביים

6.3.1 כללי

מחבר היציאה מהדרך הממוחלפת הוא אחת מנקודות התורפה העיקריות של המחלף, מבחינה בטיחותית. הסיכונים הבטיחותיים במחבר היציאה נובעים מהגורמים הבאים:

- א. הפרש המהירויות בין כלי-הרכב היוצאים לרמפה לבין הממשיכים בדרך העוברת.
- ב. ההפרש הגדול בין מהירות היציאה מהדרך הממוחלפת לבין המהירות המתאימה לרמפה. הפרש זה מחייב שליטה ברכב תוך כדי הפחתת מהירות, שינוי כיוון, ונסיעה במעברי שיפועים ובהגבהות.
- ג. הצורך בקבלת ההחלטה לקראת היציאה, העשוי לגרור היסוס ובעיות התמצאות.

תכנון מחבר היציאה צריך להבטיח הקטנת הסיכונים והניגודים ככל האפשר, לשמש כמטרה ברורה המכוונת את הנהג היוצא, ויחד עם זאת למנוע מהנהג הממשיך ישר לצאת בטעות, ולאפשר תיקון החלטות שגויות.

מחבר היציאה מורכב מקטע המשמש כנתיב האטה המתחבר אל הרמפה, לרבות לוכסן, ומ"אף" היציאה, המפריד את קצה המחבר מן הנתיבים המשכיים. בסדרת מחלפים לאורך אותה דרך רצוי לשמור על תכן אחיד של מחברי היציאה ושל אזור אף היציאה, להקלה על הנהגים. תכן אזור אף היציאה יבוצע כמתואר בסעיף 6.3.2 להלן.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

6.3.2 תכן אזור אף היציאה

אף היציאה מפריד בין הדרך העוברת לבין רמפת היציאה ממנה. המרכיבים העיקריים של אזור אף היציאה, המתוארים בציור 6.1, הם: (א) **האף הצבוע** (Painted nose), המתחיל ב**קודקוד האף הצבוע**, ומפריד בין מסלולי הנסיעה לדרך ההמשכית או לרמפה. (ב) **האף הפיזי** (Physical nose, gore), המתחיל ב**פגוש האף הפיזי**, ומופרד ממסלולי הנסיעה על-ידי האף הצבוע ועל-ידי שול הדרך ההמשכית ושול הרמפה. אף היציאה צריך להפריד באופן ברור בין כיווני הנסיעה האפשריים להמשך הדרך או לרמפה, ותוך כך להוות אזור מפלט והתאוששות, עבור הנהג שטעה.

תכן אזור האף הצבוע ייעשה לפי מהירות היציאה מהדרך העוברת (המהירות הממשית מטבלה 6.1 בהמשך), מאחר שחלק מהנהגים יאטו רק מעבר לקודקוד האף. תכן אזור האף הפיזי ייעשה לפי מהירות הכניסה לרמפה, בהתאם למרכיבים הגיאומטריים של הכניסה (קשת מעגלית או עקום מעבר).

משני צידי קודקוד האף הצבוע יורחבו הן הכניסה לרמפה והן הנתיב הימני בדרך ההמשכית. הרוחב הדרוש הוא 6.0 מ' ברמפה ו-4.75 מ' בנתיב ההמשכי, כמתואר בציור 6.2. רוחב הרמפה מול פגוש האף הפיזי יהיה 4.50 מ' לפחות.

יש להבטיח הבחנת הנהג בקודקוד האף הצבוע ממרחק הראות להחלטה לפחות. הסימון באזור זה צריך להיות ברור ובולט, ולהדגיש לנהג את הצורך בהחלטה. תכנון אזור האף צריך להיות סלחני ככל האפשר. כל אזור האף הצבוע עד לאף הפיזי יהיה סלול באספלט במפלס הדרך העוברת, כאשר כל הסימון וההכוונה בתוך האף הצבוע ובשוליו יבוצעו בסימונים בצבע ובמחזירי-אור במפלס הכביש בלבד. אזור האף הפיזי יהיה סלול ובמפלס הכביש, אך אינו חייב להיות מצופה אספלט.

אזור המפלט שבתחום האף הצבוע, יתחבר ישירות לשול של הדרך העוברת מצד אחד ולשול הרמפה מצד שני, כמתואר בציור 6.2. החיבור ייעשה באמצעות היסט האי הצבוע לאורך 75 מטרים בשול הדרך העוברת ובשול הרמפה, כמתואר בציור.

בשטח שלפני פגוש האף הפיזי לא יהיה כל מכשול הבולט מפני הכביש. השטח שמעבר לפגוש האף הפיזי יתוכן לפי הכללים המקובלים לאזור מפלט, כמפורט בסעיף 7.7 בכרך I של הנחיות אלה. בשטח האף הפיזי יש להימנע ככל האפשר מהצבת מכשולים קשיחים – המכשולים ההכרחיים (תמרורים), עמודי תאורה) יותקנו על בסיסים שבירים במפלס הקרקע. שיפועי המדרונות בתוך האף הפיזי לא יעלו על השיפועים שאינם מחייבים הצבת גדר בטיחות, לפי המפורט בסעיף 7.7 בכרך I של הנחיות. כאשר לא ניתן להימנע מקיום מכשולים באף הפיזי, כגון מעקות ונציבי גשרים, יש להגן על אזור זה בעזרת מחסומים סופגי-אנרגיה המותאמים לזוויות הפגיעה ולמהירויות הנסיעה החזויות באזור הפגוש. העצמים הקבועים המחייבים הצבת הגנה מפורטים בטבלה 7.7 בכרך I של הנחיות אלה.

הרוחב בין קצות הכבישים של הדרך העוברת ושל הרמפה באזור האף הפיזי יהיה לפחות 6.5 מטר, לרבות השוליים, כמתואר בציור 6.2. יש להגדיל את הרוחב כאשר הדרך או הרמפה מצויים בעקום אופקי או אנכי קמור באזור האף הצבוע.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

6.3.3 צורת מחבר היציאה

למחברי היציאה בקטעים ישרים של הדרך הממוחלפת צורת לוכסן ארוך, ישר או בעל עקמומיות, המשיק לשפת הרמפה, כמתואר בציור 6.3. למחבר שצורתו אלכסונית התאמה טובה למסלול הנסיעה של הנהג, הוא מאפשר יציאה מן הדרך העוברת במהירות גבוהה וללא הפרעה לתנועה, וביצוע ההאטה תוך התרחקות מתמדת מהתנועה העוברת. הצורה האלכסונית יוצרת "אזור מפלט" המתרחב לקראת אף היציאה, וכן מאפשרת מעבר שיפועים הדרגתי לקראת הרמפה.

השימוש במחברי יציאה שצורתם מקבילה יהיה בעיקר בעקומים אופקיים, כמפורט בסעיף 6.3.5 להלן. יישומם בקטעים ישרים יהיה רק כאשר עקב אילוצי מיקום או תוואי, אין אפשרות להכנסת מחבר אלכסוני בזווית הרצויה או באורך המלא הדרוש להאטה. (מחבר שצורתו מקבילה יוצר אומנם אבחנה ברורה יותר בקיום היציאה ובמיקומה, אך לעומת זאת, מחייב צורת נסיעה של עקום כפול, שאינה טבעית, ולכן הנהגים היוצאים מהדרך אינם מנצלים במלואו את חלקו האלכסוני הקצר של הנתב. כתוצאה מכך, אופן הכניסה לנתב האטה מקביל איננו אחיד, בעיקר בתנועה דלילה, ולכן חלק מהנהגים עלולים להיכנס לנתב ההאטה קרוב מדי לאף היציאה. בנוסף, הנתב המקביל יוצר מצב בלתי רצוי של נסיעת רכב מאיט במקביל לרכב הנוסע במהירות המלאה בנתב הסמוך.)

למחבר האלכסוני, כאמור, שתי צורות עקרוניות אפשריות, המתוארות בציור 6.3 ומפורטות להלן:

- א. לוכסן ישר (א' בציור 6.3), שהיט שפת הנתב שלו יהיה בזווית שבין 2° ל- 5° ביחס לכיוון הדרך ההמשכית, כמתואר בציור, ליצירת הרחבה הדרגתית של המיסעה (זווית קטנה מדי אינה מבהירה לנהג המתקרב את קיום היציאה, זווית גדולה מדי גורמת להאטה של הנהגים לפני הכניסה לאזור המיועד להאטה). בדרכים מהירות וביציאות של נפחי-תנועה גדולים לא רצוי לעבור היט של 3° .
- ב. לוכסן בעל עקמומיות (ב' בציור 6.3), שרדיוס העקמומיות שלו יותאם למהירות התכן של הדרך הממוחלפת, כמפורט בטבלה 6.1.

בשתי הצורות, השקת תחילת המחבר לשפת הדרך הממוחלפת תבוצע באמצעות קשת ברדיוס 2000 מטר ובאורך 60 מטר, כמתואר בציור. החיבור לרמפה יבוצע כמפורט בסעיף 6.3.4 ג' להלן.

6.3.4 מרכיבי המחבר – נתיב ההאטה והחיבור לרמפה

חלק ממחבר היציאה מתפקד כנתיב האטה. האורך הדרוש להאטה וכן מיקום נקודות ההתחלה והסיום של הקטע המחושב כנתיב האטה ייקבעו כמפורט להלן:

א. אורך הנתב

האורך הדרוש להאטה במישור מובא בטבלה 6.1. חישוב הערכים בטבלה זו מבוסס על ההנחות הבאות:

- הנהג היוצא מהדרך העוברת מפנה אותה ונכנס למחבר במהירות הממשית (השווה לכ-85% ממהירות התכן של הדרך).
- בנקודה בה רוחב נתיב ההאטה הגיע ל-3.6 מ' (ראה ציור 6.3), מסיים הרכב היוצא לפנות את הנתב העובר, ומתחילה ההאטה בהילוך מהמהירות הממשית. שיעור ההאטה בהילוך הוא 1.0 מ/שנ²

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

במשך 3 שניות, ולאחר מכן נמשכת ההאטה בבלימה בשיעור של 1.5 מ/שנ², עד למהירות הממשית המתאימה לרדיוס העקום הראשון ברמפה (תאטות המקובלות על 85% מהנהגים). סך כל האורך הדרוש להאטה נתון בטבלה 6.1.

• בירידה תלולה מ-2.5% נדרש נתיב האטה ארוך יותר מאשר בקטע מישורי, ובעלייה תלולה מ-2.5% נדרש נתיב האטה קצר יותר, בהתאם להשפעת השיפוע על הרכב. בטבלה 6.2 נתונים ערכי מקדם התיקון, בו יש להכפיל את האורכים מטבלה 6.1, כאשר השיפוע לאורך נתיב ההאטה הינו 2.5% ומעלה. רצוי שהשיפוע לאורך נתיב ההאטה לא יעלה על 6%.

• ברמפת יציאה שבסופה מחבר לעצירה, והינה בתוואי ישר, ללא עקום אופקי אשר מגביל מבחינת מהירות התכן, יחושב אורך ההאטה לפי מצב "עצירה" בטבלה 6.1. אורך ההאטה יסתיים עד לסוף התור המצטבר בצומת שבקצה מחבר זה, בהסתברות של 95% (אופן חישוב אורך התור בצומת מפורט בסעיף 11.3 בכרך II של הנחיות אלה).

לא רצוי להאריך את נתיב ההאטה במידה משמעותית ביחס לאורכי התכן הנתונים, מאחר שנהג הרואה לפניו קטע פנוי ארוך עשוי להאיץ בכניסה למחבר במקום להאט באופן הדרגתי, או להניח בטעות שלפניו נתיב המשכי שנוסף לדרך העוברת.

ב. תחילת הנתיב

הנקודה ממנה נמדד תחילת האורך הדרוש להאטה, היא:

(1) **במחבר אלכסוני** – בנקודה בה רוחב נתיב ההאטה הגיע ל-3.6 מ' (ציור 6.3).

(2) **במחבר מקביל** – בתחילת הקטע המקביל, בסוף הלוכסן הקצר (ציור 6.6).

ג. סיום הנתיב ואופן החיבור לרמפה

מיקום הנקודה המחושבת כסיום הקטע הדרוש להאטה, תלוי בצורת המחבר האלכסוני (ישר או בעל עקמומיות), וכן בפתרון הגיאומטרי של המעבר מהמחבר אל הרמפה, כמפורט:

(1) כאשר מחבר היציאה **אלכסוני ישר** (א' בציור 6.3), רצוי שישק בקצהו לעקום מעבר, או לתפנית ברמפה שרדיוסה גדול מ-250 מ', כמפורט:

(א) במחבר יציאה המסתיים בעקום מעבר מסוג קלוטואידה, ניתן לחשב את ההאטה כמבוצעת גם בחלק מתוך עקום המעבר. במקרה זה משמש עקום המעבר הן להגדלה הדרגתית של התאוצה הצידיית, והן להאטה הדרגתית של המהירות. בתנאים אלה, יחושב אורך ההאטה הדרוש הכולל לפי המהירות הממשית המתאימה לרדיוס הקשת המעגלית שבסוף עקום המעבר. אורך הקטע המחושב להאטה יסתיים באמצע עקום המעבר, כאשר שאר האורך הדרוש להאטה יינתן לפני עקום המעבר, כמתואר בציור 6.4. אורך עקום המעבר עצמו יחושב לפי הארוכה מבין שתי הדרישות הבאות: (1) האורך המזערי הדרוש לפיתוח האטה לאורך הקלוטואידה, המבוסס על מודול בהמשך הפרק), (2) האורך הדרוש לפיתוח האטה לאורך הקלוטואידה, המבוסס על מודול הקלוטואידה הנתון בטבלה 6.3. (הקלוטואידה היא עקום המקיים את התכונה שהעקמומיות משתנה ביחס ישר לאורך העקום מתחילתו, דהיינו: $R \times L = K^2$, כאשר, בכל נקודה בעקום המעבר,

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

R הוא רדיוס הקלוטואידה בנקודה המצויה במרחק L מתחילתה, K – מודול הקלוטואידה, במטרים.)

המיקום הרצוי לתחילת עקום המעבר הוא בסמיכות לפגוש האף הפיזי, כמתואר בציורים 6.3 ו-6.4.

ב) במחבר המסתיים בהשקה לעקום אופקי, מחושב אורך קטע ההאטה עד לנקודת ההשקה עם הקשת הראשונה (ברדיוס הגדול) שבתחילת תפנית הדרך ברמפה. רדיוס העקום מגביל את המהירות, וההאטה הנדרשת היא עד למהירות הממשית המתאימה לרדיוס זה, הנתונה בטבלה 6.1.

2) כאשר מחבר היציאה הוא **לוכסן בעל עקמומיות** (ב' בציור 6.3), רצוי ששיק בסיומו לעקום מעבר, או לתפנית ברמפה שרדיוסה לפחות 300 מ'.

כאשר ברמפה שבהמשך המחבר יש תפנית ברדיוס קטן, ניתן לבצע את המעבר מהמחבר לרמפה באמצעות עקום מעגלי מורכב, בהתאם לאפשרויות המוצגות בסעיף 5.5.4 לעיל. במקרה זה, יחושב אורך ההאטה הדרוש, לפי המהירות הממשית המתאימה לרדיוס העקום הראשון, ויסתיים עד נקודת ההשקה לעקום זה. בעקום המורכב תימשך ההאטה לאורך העקום, עד לכניסה לקשת בעלת הרדיוס הקטן ביותר. העקום המורכב יתוכנן לפי הכללים המפורטים בסעיף 5.5.4.

רצוי גם להכניס עקום מעבר או עקום ברדיוס גדול בין המחבר לבין רמפה שצורתה ישרה באופן יחסי, ואינה מגבילה את המהירות (כדוגמת יהלום צר).

טבלה 6.1 האורך הדרוש להאטה בשיפועים הקטנים מ-2.5%, במטרים

רדיוס מזערי לעקמומיות מחבר יציאה אלכסוני (מ')	מהירות התכנן בתפנית הדרך ברמפה (קמ"ש) ⁽¹⁾								מהירות ממשית בכניסה לקטע ההאטה (קמ"ש)	מהירות התכנן בדרך הממוחלפת (קמ"ש)
	עצירה									
	80	70	60	50	40	30	20	0		
	מהירות ממשית בתפנית הדרך ברמפה (קמ"ש)									
	70	63	51	42	35	28	20	0		
5000	—	55	80	90	100	115	120	130	70	80
7500	60	75	100	110	120	135	140	150	77	90
10,000	80	100	120	135	145	155	160	170	85	100
12,500	100	120	140	150	160	170	175	185	91	110
15,000	120	140	155	170	180	185	190	200	98	120

(1) הקשר בין הרדיוס למהירות התכנן ברמפה נתון בטבלה 5.3 בהנחיות אלה.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

טבלה 6.2 מקדמי תיקון לחישוב אורך קטע ההאטה בשיפועים גדולים

מקדם הכפלת המרחק מטבלה מס' 6.1		שיפוע
ירידה	עלייה	
1.20	0.90	2.5-4.4%
1.35	0.80	4.5-6.0%

טבלה 6.3 ערכי מודול הקלוטואידה (K) לעקום מעבר במחברי יציאה, במטרים

מהירות התכן בתפנית הדרך ברמפה (קמ"ש)				מהירות ממשית בכניסה לקטע ההאטה (קמ"ש)	מהירות התכן בדרך הממוחלפת (קמ"ש)
70	60	50	40		
רדיוס התפנית ברמפה (מ')					
150-260	120-145	75-115	50-70		
-	-	65	50	70	80
-	85	70	65	77	90
110	90	80	80	85	100
110	100	100	100	91	110
115	115	-	-	98	120

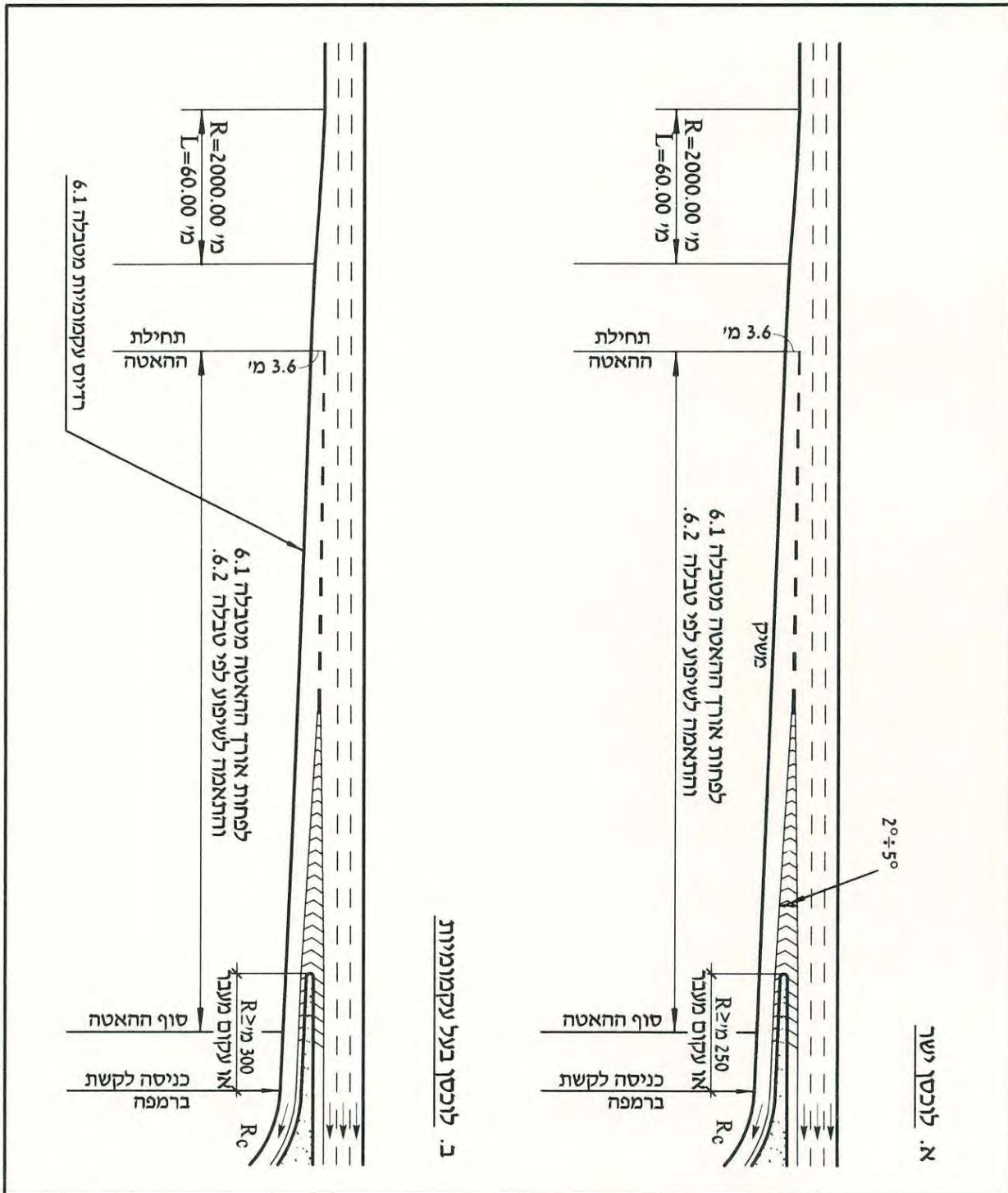
6.3.5 מחברי יציאה בעקום אופקי

מיקום מחברי-יציאה בקרבת עקום אופקי בדרך העוברת אינו רצוי. המגבלות שיוצר מיקום כזה הן: קושי בזיהוי מיקום היציאה בתנאי ראות גרועים, קשיי תמרון, חשש להטעיית הנהגים לגבי המשך התוואי (בעקום ימינה), או הצורך ליציאה בצורת עקום "S" (בעקום שמאלה). כאשר היציאה ממוקמת בעקום אופקי, גדל גם הסיכון לסטייה לתוך שטח אף היציאה.

כאשר לא ניתן להימנע ממיקום המחבר בעקום אופקי, רצוי לשמור על הכללים הבאים:

א. כאשר הדרך הממוחלפת מצויה בעקום אופקי שמאלה ברדיוס גדול, המתאים למהירות גבוהה ולהגבהה נמוכה, ניתן להשתמש במחבר האלכסוני, ובעקרונות תכן הדומים לקטע ישר. המחבר האלכסוני יורחק מהדרך העוברת באופן הדרגתי, בשיעור דומה למחבר בקטע ישר, כמתואר בציור 6.5. במקרה כזה, רצוי שכל המחבר ימצא בתוך העקום האופקי, כך שתחילת הלכסון תימצא בתוך העקום ולא במשיק שלפניו, למניעת עיוות בשפת הכביש במחבר.

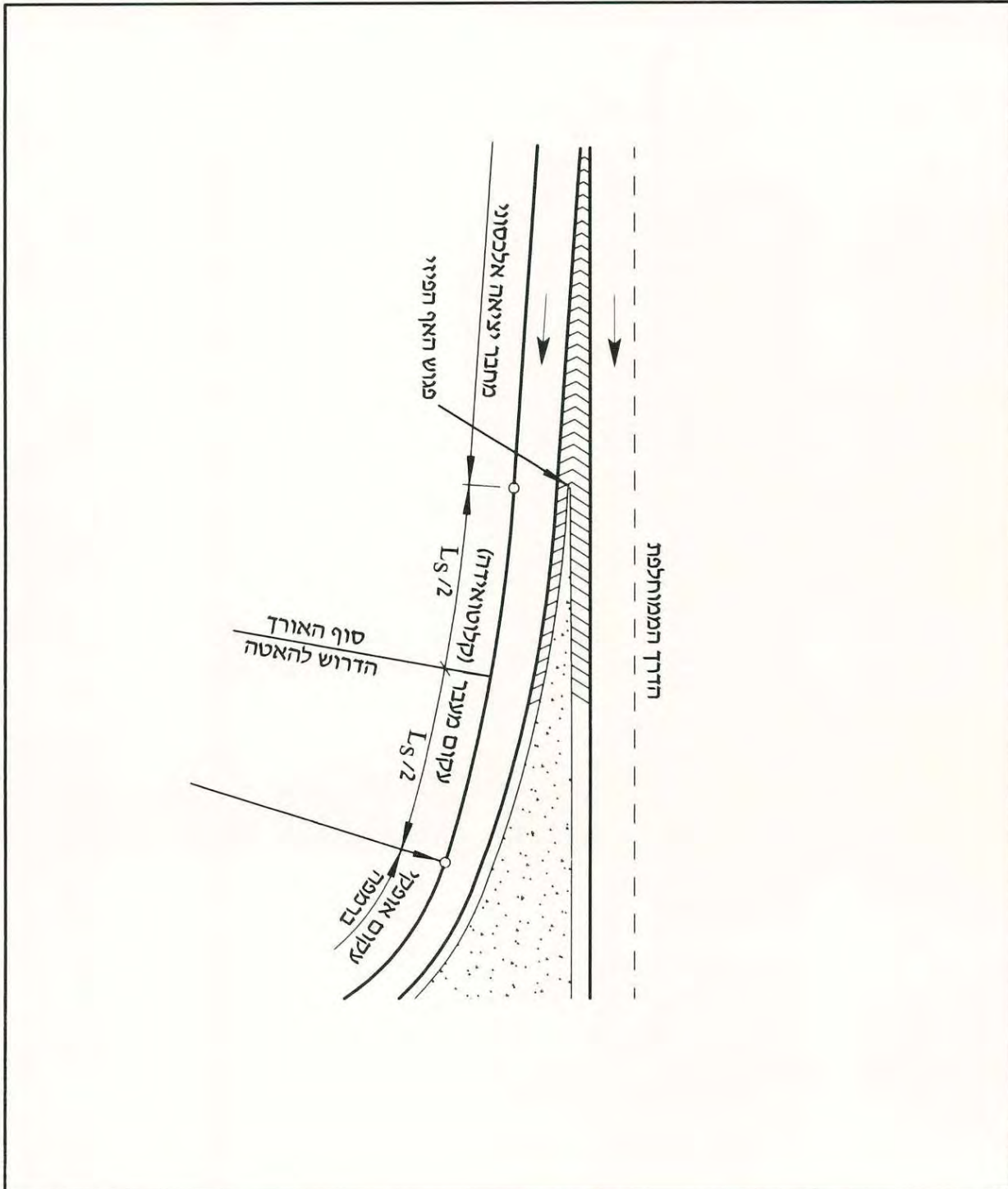
הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



צור 6.3

צורות מחבר יציאה אלכסוני חד-נתיבי בקטע ישר

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



שימוש בעקום מעבר במחבר יציאה

ציור 6.4

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

- ב. במקרה הדומה ל-א', אך ברדיוסים הקרובים יותר למזעריים ובמהירויות תכן נמוכות יותר (מתחת 100 קמ"ש), יש להשתמש במחבר המקביל, אשר עשוי להטעות פחות את התנועה בדרך העוברת, בשל זווית היציאה המודגשת יותר. שיפוע היסט הלוכסן של נתיב ההאטה המקביל יהיה $1:V_d/4$, כאשר V_d – מהירות התכן של הדרך הממוחלפת, בקמ"ש (ציור 6.6).
- ג. שילוב מחבר יציאה של רמפה שבה תפנית ימינה, יחד עם עקום אופקי שמאלה בדרך העוברת (ציור 6.7), הוא בעייתי במיוחד, בגלל שהתנועה בנתיב הימני בדרך נוטה להמשיך לתוך הרמפה, ויש להימנע ממנו במידת האפשר. כשחייבים להשתמש בשילוב זה, יש לדאוג ליצירת הבחנה ברורה בנקודת ההתחלה של המחבר, באמצעות שימוש בנתיב האטה מקביל עם לוכסן קצר (כ-30 מ' בלבד), שיתחיל במקום נבדל מנקודת ההשקה של העקום האופקי. הרמפה עצמה תתחיל בקטע משיק או בעקום מעבר, כדי לאפשר מעבר מתון בין השיפועים הרוחביים שכיוונם הפוך. חלופה עדיפה היא להתחיל את מחבר היציאה במרחק ניכר לפני נקודת ההשקה של העקום האופקי, ולהתחבר לרמפה באמצעות מחבר מקביל נפרד ארוך.

6.4 מחברי יציאה דו-נתיביים

6.4.1 כללי

כאשר הביקוש ליציאה ברמפה מסוימת גדול מהקיבולת של רמפה חד-נתיבית, תינתן ליציאה זו רמפה דו-נתיבית, כמפורט בסעיף 7.6 בהמשך ההנחיות. תוספת הנתיב מיועדת להקל על זרימת התנועה באזור היציאה, למנוע את הצטופפות בנתיבים הימניים לקראת המחלף, ולהקטין ככל האפשר את "החיכוך" בין הממשיכים ישר לבין היוצאים. כדי לנצל במלואם את היתרונות התפעוליים של הרמפה הדו-נתיבית, יש לתכנן את כל אזור המחבר של הרמפה באופן שונה מאשר ביציאה לרמפה חד-נתיבית. תכנון המחבר הדו-נתיבי נועד לנצל במלואה את הקיבולת המוגדלת של הרמפה, ולהקטין ככל האפשר את החלפות הנתיבים הדרושות לקראת אף היציאה, ואת כמות הניגודים של היפרדויות המתלווים אליהם.

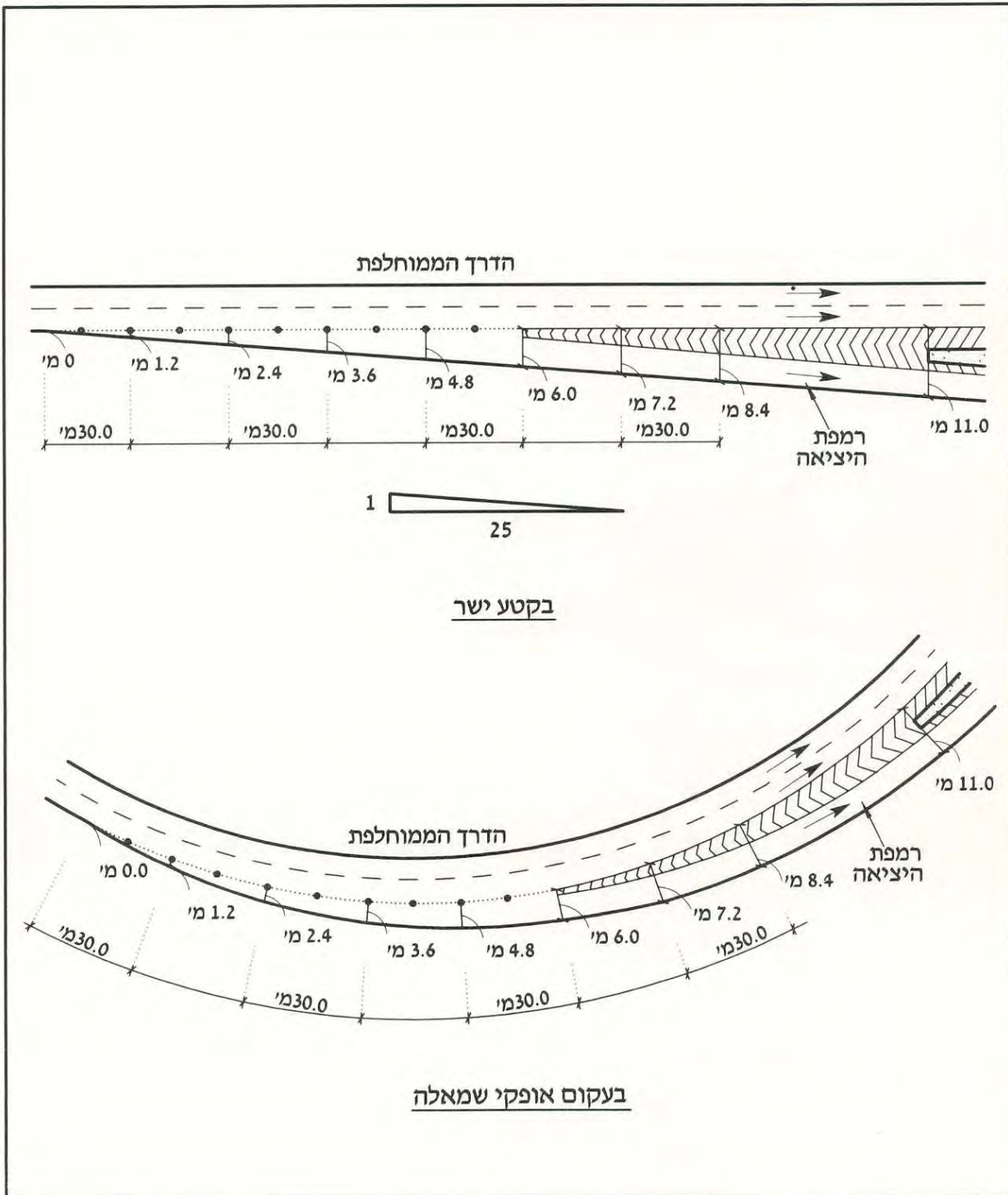
תכנון הניתוב בדרך הראשית, בהתקרבות למחבר היציאה הדו-נתיבי ובמחבר עצמו, ייעשה בהתאם לעקרונות המפורטים בפרק 7 בהמשך ההנחיות.

6.4.2 תכן המחבר

מחבר יציאה דו-נתיבי מוצג בציור 6.8. ככלל, מאפייני התכן של מחברי יציאה דו-נתיביים דומים למאפייני התכן של מחברי יציאה חד-נתיביים, המפורטים בסעיף 6.3 לעיל, בתוספת המאפיינים הייחודיים המפורטים להלן:

- גם במחבר היציאה הדו-נתיבי מומלץ השימוש בצורה האלכסונית, בהתאם לשיקולים המפורטים בסעיף 6.3.3 לעיל. מחבר היציאה האלכסוני יהיה משיק מוטה בהיסט של 1:25, או בעל עקמומיות, כמפורט בסעיף 6.3.3.

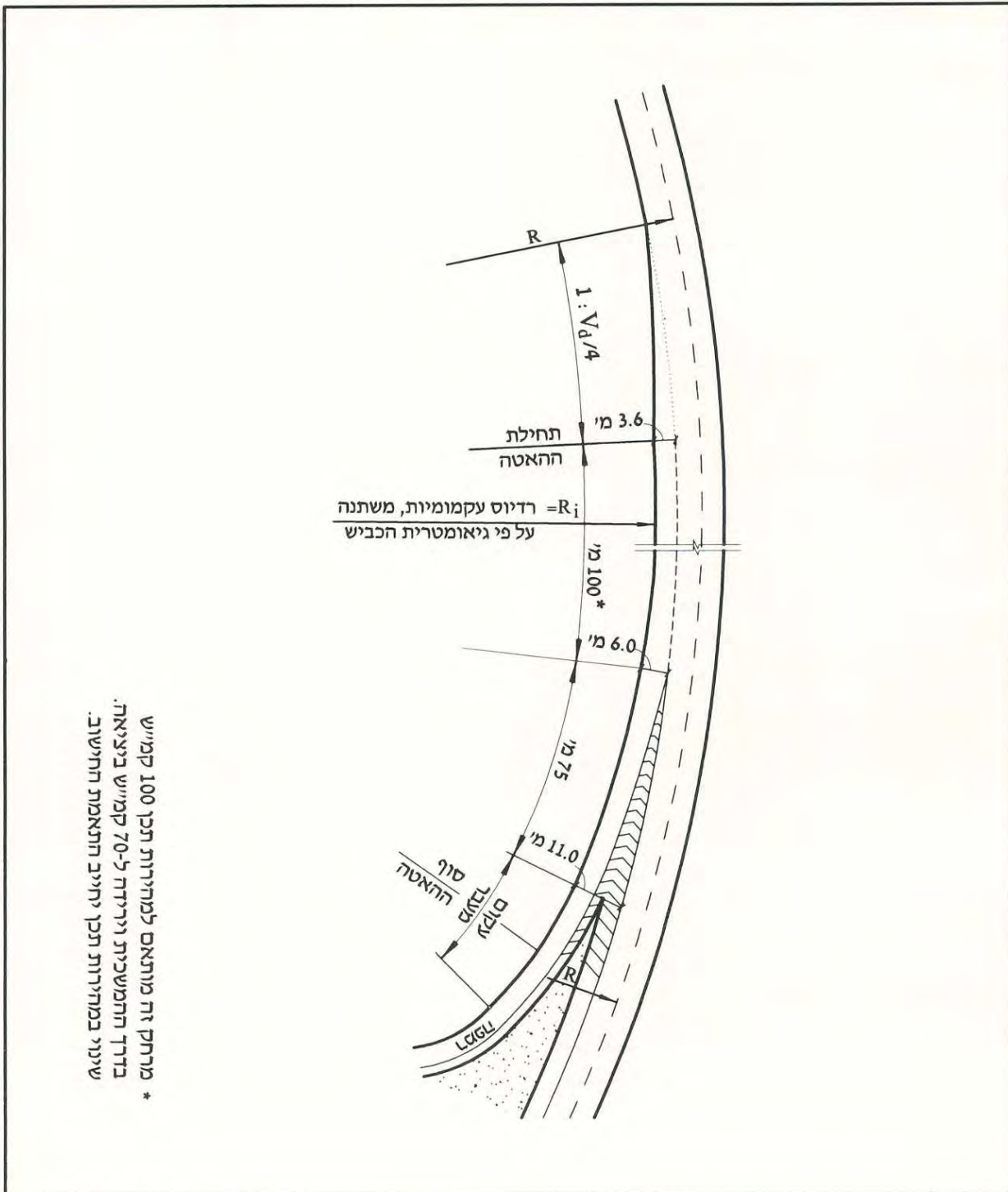
הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



דוגמא לפיתוח מחבר יציאה אלכסוני בקטע ישר, ובעקום אופקי שמאלה ברדיוס גדול

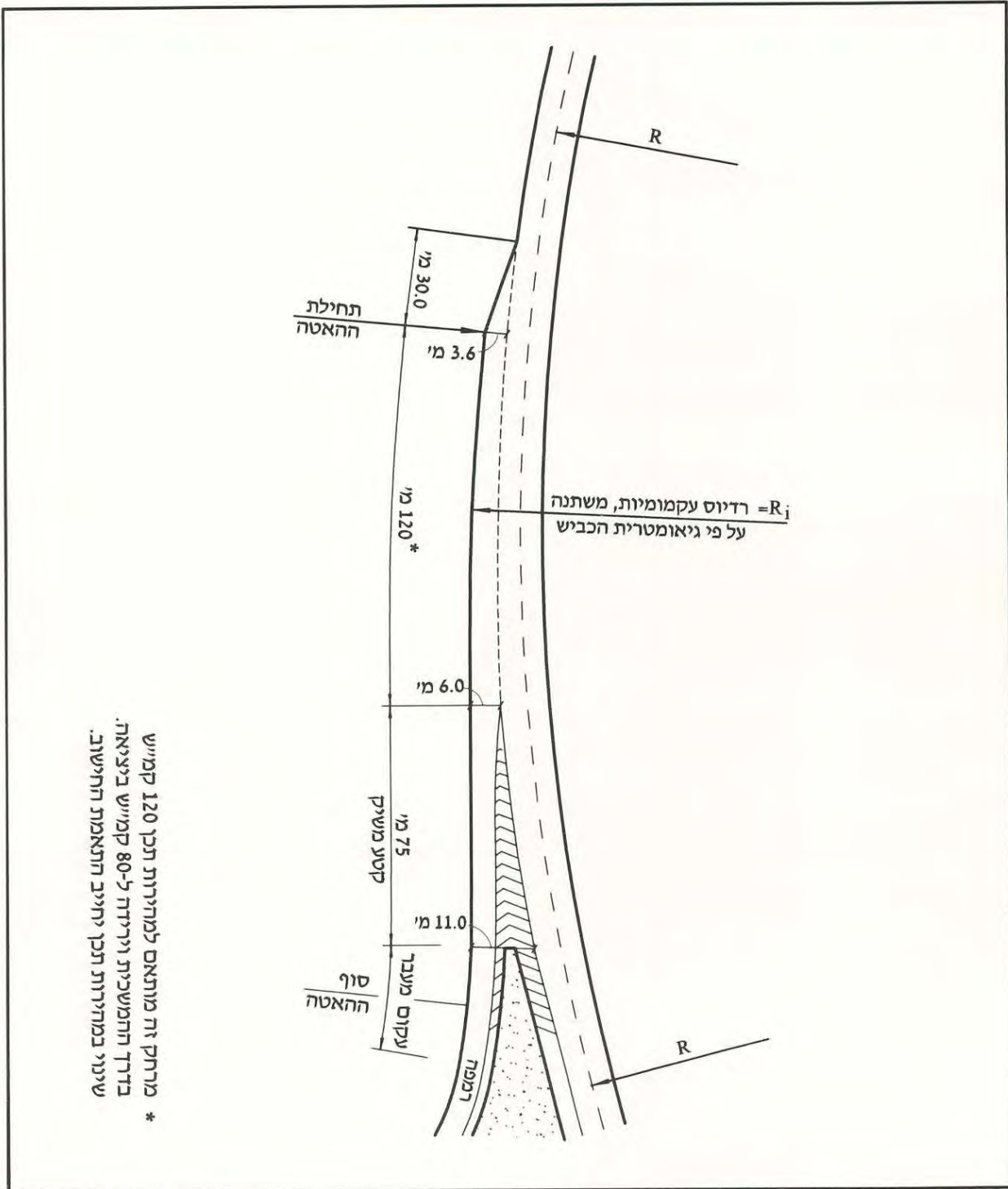
ציור 6.5

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 6.6 מחבר יציאה מקביל בתוך עקום אופקי שמאלה

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



* מרחק זה מותאם למהירות תכן 120 קמ"ש בדרך החמשגבית וירידה ל-80 קמ"ש בציאת שניו במחזורות תכן יחייב התאמת החישוב.

ציור 6.7 מחבר יציאה מקביל לתפנית ימינה, משולב בעקום אופקי שמאלה

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

- משיקולי איזון נתיבים בדרך העוברת (כמוסבר בסעיף 7.2 להלן) וניצול קיבולת מחבר היציאה, יש להוסיף לקראת היציאה נתיב-עזר מקביל באורך 450 מטר לפחות, כמתואר בציור 6.8. רוחב נתיב העזר שווה לרוחב נתיב המשכי בדרך הממוחלפת, והכניסה אליו באמצעות לוכסן בהיטט 1:25 (אורך הלוכסן לפחות 90 מטר). תוספת הנתיב לא תבוצע באמצעות הקטנת מספר הנתיבים ההמשכיים (לתנועה העוברת) באזור המחבר ואף היציאה, בהתאם לכללים לאיזון הנתיבים אשר מפורטים בפרק 7 להלן.
 - הנתיב הימני מבין השניים במחבר היציאה יהיה המשך ישיר של נתיב-העזר שהתווסף, והנתיב השמאלי בלוכסן יתפצל מהנתיב המשכי הימני בדרך העוברת, לקראת קודקוד האף הצבוע, כמתואר בציורים 6.8 ו-6.9. באזור ההתקרבות לאף היציאה מתרחב נתיב זה ומתפצל לנתיב השמאלי ברמפה ולנתיב המשכי הימני בדרך העוברת, כמתואר בציור 6.9. הצורה האלכסונית של המחבר מאפשרת כניסה ישירה מנתיב-העזר לנתיב הימני ברמפה, ומאפשרת לנהג בנתיב השני מימין להחליט לקראת קודקוד האף הצבוע האם לצאת לרמפה או להמשיך ישר.
 - יש להדגיש בהדרכה המוקדמת עוד לפני ההתקרבות להתחלת נתיב-העזר, שהנסיעה בנתיב-העזר מיועדת ליציאה ימינה בלבד, ושאינן אפשרות להמשיך ישר מנתיב זה. יש להבהיר גם, שהנסיעה מהנתיב הסמוך לנתיב-העזר היא ישר וימינה, הן לנתיב השמאלי ברמפה והן להמשך בנתיב הימני בדרך העוברת, כדי למנוע חוסר בהירות לנהגים, אפשרות לניגודים, וסיכון שנהג ימצא עצמו "לכוד" בזרם תנועה לכיוון שאינו רוצה בו.
 - הלוכסן של נתיב-העזר חייב להתחיל במרחק העולה על 750 מטר לפני אף היציאה הצבוע, כמתואר בציור 6.8, ועשוי להגיע עד 1000 מטר, בהתאם לנפח התנועה היוצא. האורכים הנתונים דרושים כדי שנתב-העזר יהיה אפקטיבי, ויוכל למלא את תפקידו באיזון עומסי התנועה, בשמירה על רמת השירות ובהכוונת הנהגים לקראת היציאה.
- בציור 6.9 מוגדל אזור אף היציאה במחבר הדו-נתיבי. בציור זה ניתן לראות את אופן התפצלות התנועה לקראת האף הצבוע, והסימון המיוחד לנתיב היציאה ימינה (ד-5 קוביות) אשר תוחם את השטח המאפשר פנייה ימינה.

6.5 מחברי כניסה חד-נתיביים

6.5.1 כללי

באזור מחבר הכניסה לדרך הממוחלפת מרוכזים ניגודים, סיכונים והפרעות לתנועה באזור המחלף, אם כי ברמה פחותה מאשר באזור מחבר היציאה מהדרך. הניגודים נוצרים עקב הצורך של כלי-הרכב המגיעים מהרמפה להאיץ ממהירות הנסיעה ברמפה למהירות הזרם בדרך העוברת, תוך בדיקת הפערים בדרך העוברת והשתלבות בנתיב הימני.

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

מחבר הכניסה מורכב מאף הכניסה, מקטע המתחבר לרמפה ומשמש כנתיב האצה, ומלוכסן המשמש ליציאה מנתיב ההאצה ולכניסה לדרך העוברת, כמתואר בציור 6.10. תכנן המחבר צריך להקטין ככל האפשר את ההפרעות והסיכונים לתנועה בדרך העוברת.

6.5.2 צורת מחבר הכניסה

א. הצורה המועדפת למחברי כניסה בקטעים ישרים היא אלכסונית – לוכסן ישר ארוך המשיק לסוף רמפת הכניסה לדרך (א' בציור 6.10). המחבר האלכסוני מאפשר תמרון נוח, כי הוא רחב בתחילה, אינו מחייב שינויי כוון ניכרים, ומתאים לצורת הנסיעה של הנהגים. שיעור היסט המחבר האלכסוני יהיה בין 1:50 ל-1:70, כמתואר בציור. שיעור היסט זה מבטיח אורך מספיק ומסלול התמזגות נוח בתנועה העוברת. השיעור המדויק ייקבע בהתאם לאורך הדרוש להאצה, וכן בהתאם למיקומה ולצורתה של הרמפה, ולאפשרויות הביצוע בפועל של החיבור לדרך העוברת. החיבור לרמפה יבוצע כמתואר בסעיף 6.5.3 ג' להלן.

ב. כאשר הכניסה מבוצעת לתוך עקום אופקי בדרך ההמשכית, רצוי להשתמש במחבר המקביל (ב' בציור 6.10), במיוחד בצד הפנימי של העקום, כמפורט בסעיף 6.5.4 להלן. המחבר המקביל מאפשר לרכב להמתין (תוך כדי נסיעה) לפער מתאים בתנועה, מבלי להתקרב יתר על המידה לנתיב העובר, ומבלי לגרום על-ידי כך לסטיית כלי-רכב מהנתיב העובר הימני לנתיב העובר השמאלי. לכן, המחבר המקביל מתאים גם לשימוש בקטעים ישרים במקרים של תנועה צפופה בדרך העוברת (מעל 1800 יר"ם לנתיב לשעת-שיא לאחר ההתמזגות), וכן לתנועה של רכב כבד הנכנס לדרך העוברת בעלייה. שיפוע היסט הלוכסן הקצר בסוף המחבר המקביל יהיה 1:25 לפחות (אורך מזערי של 90 מ'), כמתואר בציור. בחלקו הראשון של מחבר הכניסה המקביל, רצוי להכניס עקום אופקי ברדיוס גדול, כמתואר בציור, כדי להבטיח כניסה לנתיב ההאצה המקביל ללא נטייה לחציית אזור האף הצבוע לתוך הנתיב ההמשכי הימני. העקום יתוכנן בהתאם לרדיוס ולאורך הנתונים בטבלה 6.4. המשך החיבור לרמפה יבוצע כמפורט בסעיף 6.5.3 ג' להלן.

6.5.3 מרכיבי המחבר – נתיב ההאצה והחיבור לרמפה

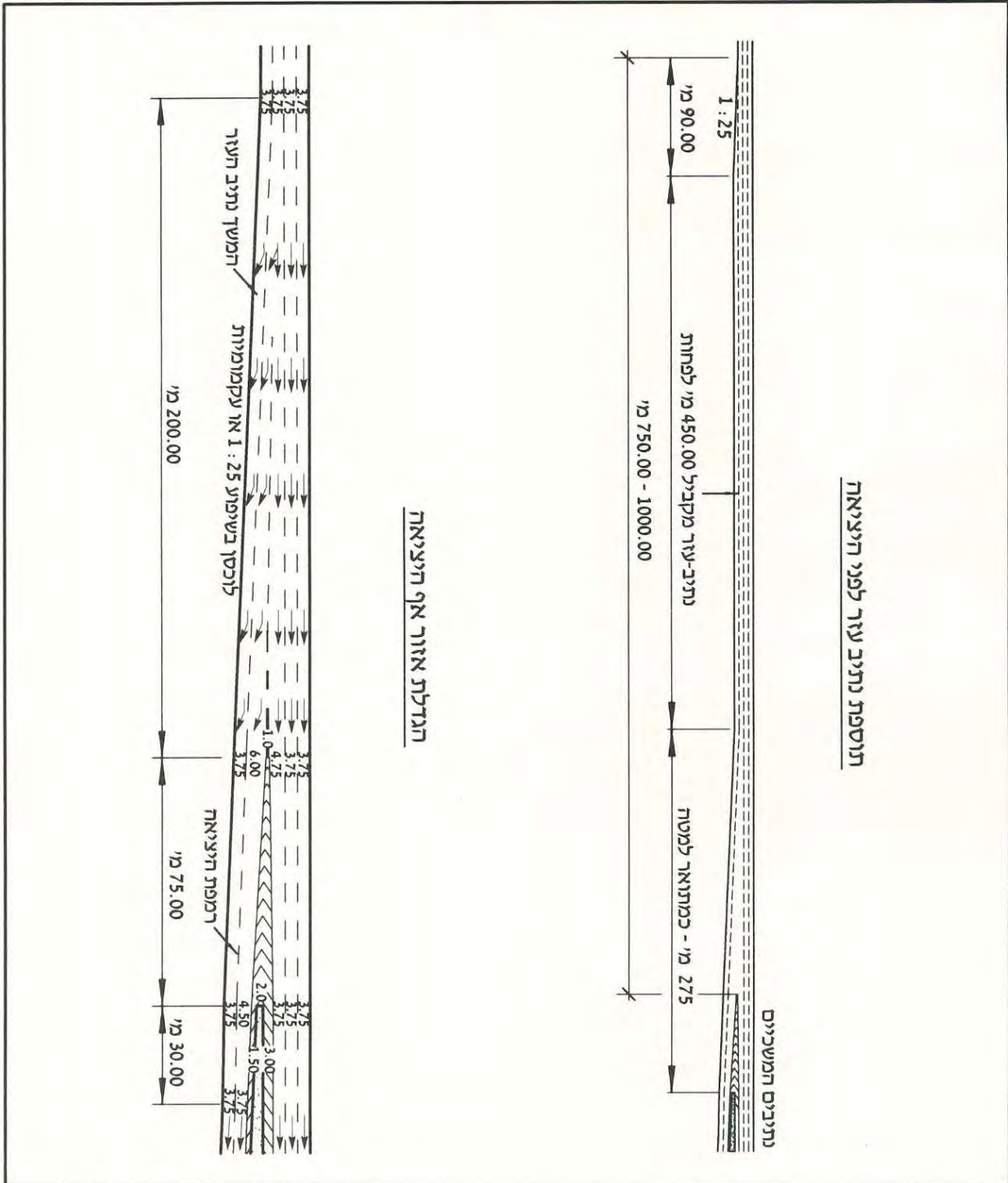
חלק ממחבר הכניסה מתפקד כנתיב האצה. אורך ההאצה וכן מיקום נקודות ההתחלה והסיום של הקטע המחושב כנתיב האצה ייקבעו כמפורט:

א. אורך ההאצה

האורך הדרוש להאצה במישור מובא בטבלה 6.4. הערכים המוצגים בטבלה זו מבוססים על ההנחות הבאות, המתאימות לכ-85% מהנהגים:

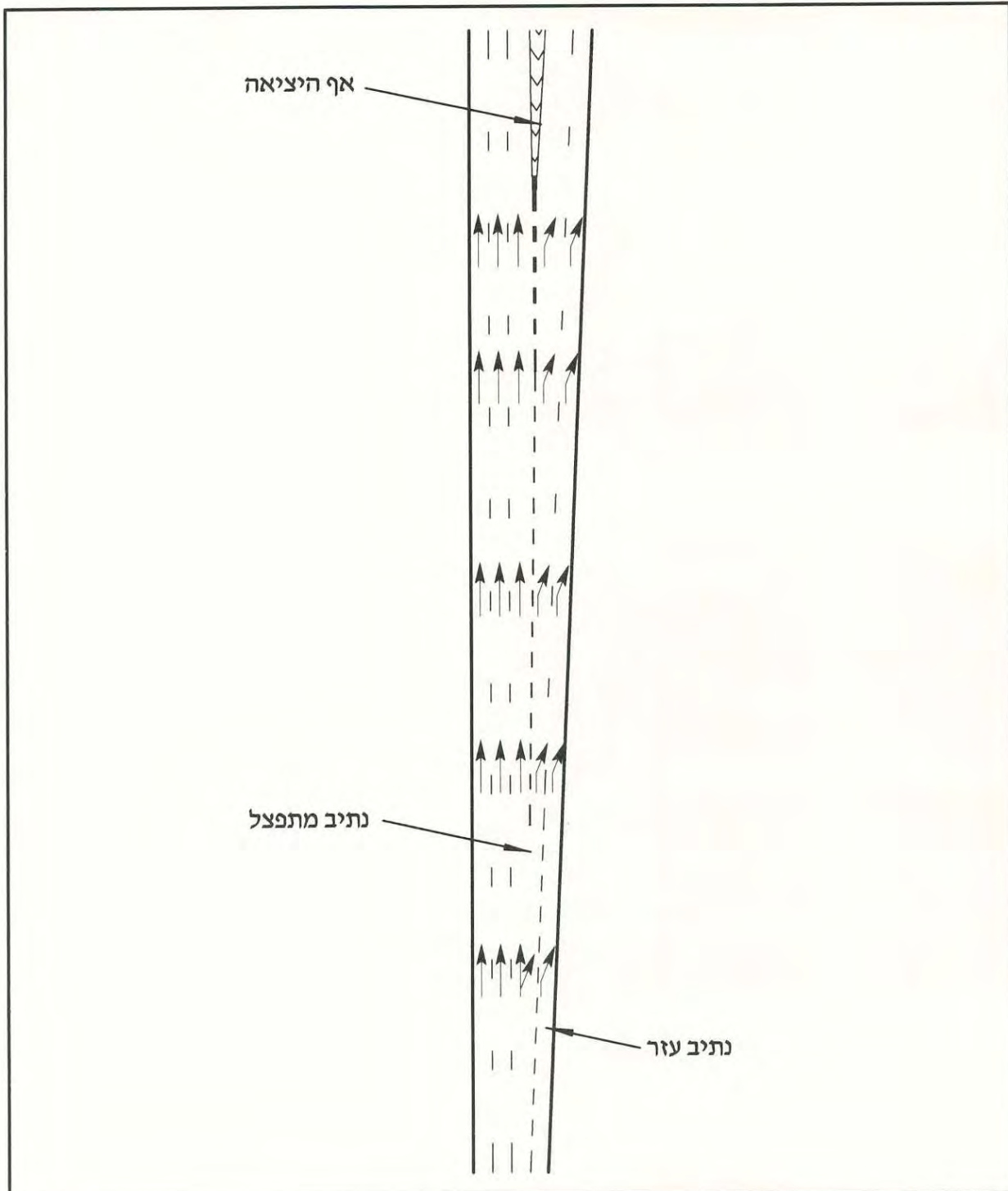
- הרכב נכנס לקטע ההאצה תוך יציאה מהרמפה במהירות הממשית המתאימה לרדיוס הקשת שבקצה התפנית ברמפה.

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 6.8 מחבר יציאה דו-נתיבי (בדרך מהירה)

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



אפשרויות התנועה באזור אף היציאה במחבר דו-נתיבי

ציור 6.9

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

- התאוצה המבוצעת היא תאוצה נורמלית ששיעורה כ-60% מהתאוצה המירבית של הרכב. תאוצה זו יורדת ככל שהמהירות הממשית עולה, מ-1.3 מ/שנ² במהירות 50 קמ"ש עד 1.0 מ/שנ² במהירויות 80-90 קמ"ש.
- כניסת הרכב לנתיב העובר בסוף נתיב ההאצה, מבוצעת במהירות הנמוכה ב-10 קמ"ש מהמהירות הממשית המתאימה למהירות התכן של הדרך. מהירות הכניסה נתונה בטבלה 6.4.
- בעלייה בשיפועים העולים על 2.5%, נדרש נתיב האצה ארוך יותר מאשר במישור, ואילו בירידה בשיפועים אלה ניתן לקצר את הנתיב. בטבלה 6.5 נתונים מקדמי התיקון בהם יש להכפיל את האורך שהתקבל מטבלה 6.4, כאשר השיפוע לאורך נתיב ההאצה עולה על 2.5%. השיפוע המירבי לאורך נתיב האצה הוא 6%.

ב. סיום הנתיב

הנקודה בה צריך להסתיים האורך הדרוש להאצה, היא:

- (1) **בנתיב אלכסוני** – בנקודה בה רוחב הנתיב ירד מ-3.6 מ' (א' בציור 6.10).
- (2) **בנתיב מקביל** – בתחילת הלכסון הקצר, שבסוף הקטע המקביל (ב' בציור 6.10).

ג. תחילת הנתיב ואופן החיבור לרמפה

החיבור של הרמפה למחבר הכניסה יבוצע באמצעות עקום מעבר או עקום אופקי ברדיוס גדול, כמתואר בציור 6.10. מיקום הנקודה המחושבת כתחילת הקטע הדרוש להאצה, תלוי בפתרון הגיאומטרי של חיבור המחבר לרמפה, כמפורט:

- (1) כאשר חיבור הרמפה למחבר הוא באמצעות עקום מעבר, ניתן להתחשב בכל אורכו של עקום המעבר כחלק מהקטע הדרוש להאצה, כאשר אורך ההאצה הכולל הדרוש יחושב לפי המהירות הממשית המתאימה לרדיוס הקשת המעגלית שלפני עקום המעבר. אורך הקלוטואידה יחושב לפי הארוכה מבין שתי הדרישות: (א) האורך המזערי הדרוש לפיתוח מעבר השיפועים, כמפורט בסעיף 6.8 בהמשך הפרק. (ב) האורך הדרוש לפיתוח האצה לאורך הקלוטואידה, המבוסס על מודול הקלוטואידה הנתון בטבלה 6.4.

מיקום עקום המעבר ביחס לאף הכניסה יהיה כמפורט:

- כניסה לדרך בעלת מהירות תכן של 120 קמ"ש – לפחות שני שלישי מאורך הקלוטואידה יהיה לפני פגוש האף הפיזי.
- בכניסה לדרך בעלת מהירויות תכן של 100-110 קמ"ש – לפחות חצי מאורך הקלוטואידה יהיה לפני פגוש האף הפיזי.
- בכל מקרה תסתיים הקלוטואידה עד קודקוד האף הצבוע.

- (2) כאשר הכניסה למחבר היא מקשת מעגלית, הקשת צריכה להיות ברדיוס אחיד של 600 מטר לפחות, או שצורת התפנית תהייה עקום מעגלי מורכב שרדיוס העקום האחרון בו 600 מטר. ניתן לחשב את ההאצה כמתחילה בנקודת ההשקה של העקום האופקי הקודם לעקום ברדיוס הגדול, ומבוצעת לאורכו של העקום ברדיוס הגדול. הקשת המעגלית תסתיים 60-120 מטר לפני קודקוד האף הצבוע.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

מהירות תחילת ההאצה היא המהירות הממשית המתאימה לרדיוס התפנית בנקודת ההשקה, מטבלה 6.4.

ד. האורך הכולל של הנתביב

האורך הכולל הדרוש להאצה, הנתון בטבלה 6.4, יתוקן בהתאם לשיפוע לאורך הנתביב, בעזרת מקדמי התיקון שבטבלה 6.5. תחילתו של קטע ההאצה, אורכו וסיומו, יוגדרו בהתאם לסוג המחבר, כמסומן בציור 6.10, וכמפורט בסעיפים א'-ג' לעיל. בנוסף לאורך הדרוש להאצה (La), יש להבטיח במחבר ההאצה גם אורך הדרוש לקבלת פערים להשתלבות בתנועה, במיוחד כשהפרש המהירויות קטן. אורך זה (Lg בציור 6.10), נמדד מקודקוד האף הצבוע ותלוי ברוחב שלו בנקודת ההתמזגות: Lg נע בין 90 מ' כשרוחב הקודקוד 0.5 מ', ל-150 מ' כשרוחב הקודקוד 1.2 מ', כמתואר בציור. האורך המלא הדרוש לקטע ההאצה ייקבע בהתאם לארוכה מבין שתי הדרישות La ו-Lg, אשר אמורות להסתיים באותה נקודה. ככלל, רצוי נתיב האצה ארוך ככל האפשר. כאשר נפח התנועה בקטע ההתמזגות קרוב לקיבולת שלו, רצוי נתיב האצה באורך של 350 מ' לפחות (לפני החלק של הלוכסן הצר מ-3.6 מטר).

6.5.4 מחבר כניסה בעקום אופקי

מיקום מחבר-כניסה בעקום אופקי בדרך העוברת אינו רצוי, בשל קשיי התמרון הנוצרים, ובשל המורכבות של מעברי השיפועים (בעיקר כאשר למחבר הכניסה ולעקום האופקי כיוונים מנוגדים). כאשר לא ניתן להימנע ממיקום מחבר הכניסה בעקום אופקי, רצוי לשמור על הכללים הבאים:

- א. צורת המחבר המתאימה לשימוש בעקום אופקי היא הצורה המקבילה, כך שעקמומיות הנתביב המקביל זהה לעקמומיות הדרך העוברת. בקצה הנתביב המקביל יהיה לוכסן באורך של 100 מ' לפחות, כמתואר בציור 6.11.
- ב. המעבר מהרמפה למחבר יבוצע באמצעות עקום מעבר או עקום אופקי ברדיוס גדול (מעל 600 מ'), כדי לכוון את הנהג הנכנס לתוך נתיב ההאצה ולא לכיוון הנתביבים המשכיים.
- ג. כאשר כיוון הדרך העוברת הוא שמאלה, כיוון מחבר הכניסה מנוגד לכיוון הרמפה, ויש להכניס ביניהם קטע משיק, כדי להקל על ביצוע מעבר השיפועים, כמתואר בציור 6.12.
- ד. תכנון הכבישים והסימון באזור אף הכניסה יהיה כמתואר בפרט שבציור 6.10.

6.6 מחברי כניסה דו-נתיביים

6.6.1 כללי

מחברי-זרימה דו-נתיביים לכניסה נדרשים, כאשר הביקוש לכניסה אל הדרך הממוחלפת גדול מהקיבולת של מחבר חד-נתיבי, ומשיקולי מניעת היווצרות תורים ועיכובים לאורך הרמפה. בנוסף, מתוכננים מחברים דו-נתיביים משיקולים מערכתיים, כגון המשכיות התוואי, אחידות תכנונית ואיזון

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

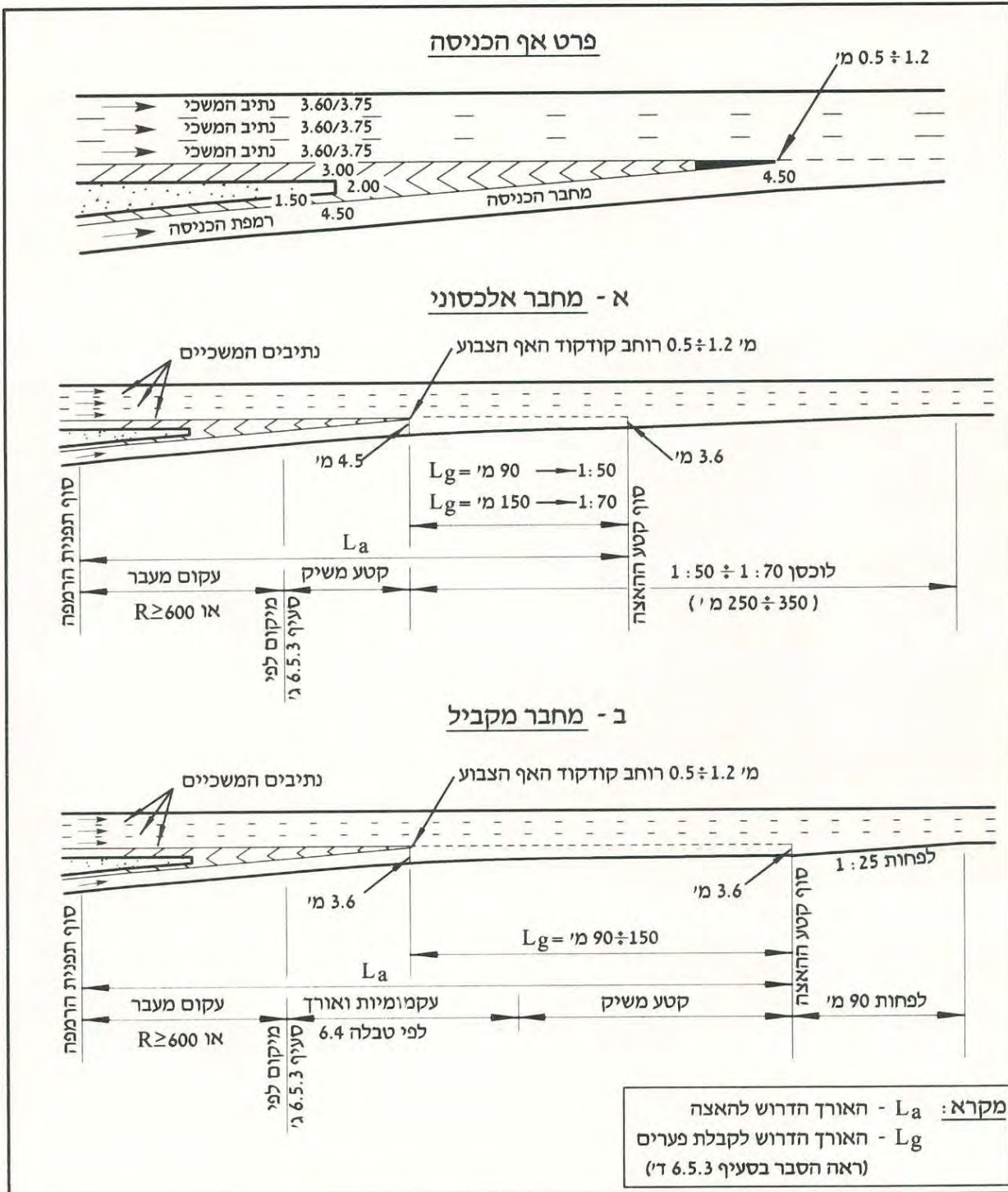
טבלה 6.4 האורך הדרוש להאצה בשיפועים הקטנים מ-2.5%, במטרים

נתוני תכנן לעקמומיות בתחילת מחבר כניסה מקביל	מהירות התכנן בתפנית הדרך ברמפה (קמ"ש)								מהירות ממשית בסוף קטע ההאצה (קמ"ש)	מהירות התכנן בדרך הממוחלפת (קמ"ש)							
	80	70	60	50	40	30	20	עצירה									
אורך מזערי (מ')	רדיוס מזערי (מ')	מהירות ממשית בתפנית הדרך ברמפה (קמ"ש)								0	20	28	35	42	51	63	70
		70	63	51	42	35	28	20									
150	2000	-	-	70	120	155	185	200	215	60	80						
170	2500	-	60	140	190	225	250	275	285	67	90						
185	3000	70	150	230	280	315	340	350	375	75	100						
200	3500	140	230	310	360	390	420	430	450	81	110						
215	4000	260	340	420	470	500	520	530	540	88	120						
-	-	125-360	110-280	85-140	65-130	50-80	-	-	-	מודול הקלוטואידה בכניסה למחבר (מ')							

טבלה 6.5 מקדמי תיקון לחישוב אורך ההאצה בשיפועים

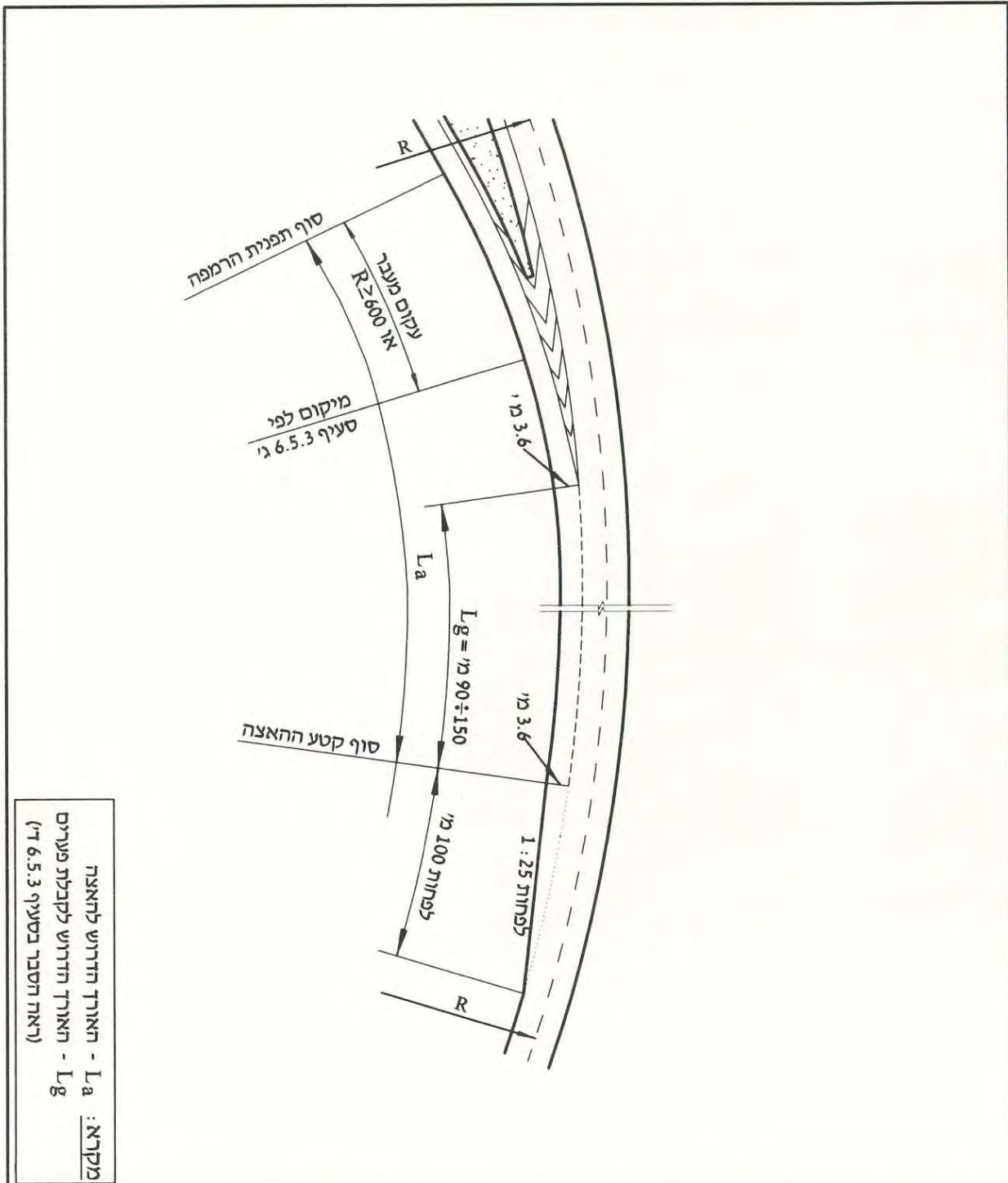
מקדם להכפלת המרחק בטבלה מס' 6.4							מהירות התכנן בדרך הממוחלפת (קמ"ש)
ירידה	עלייה						
מהירות התכנן בתפנית הדרך ברמפה (קמ"ש)							
כל מהירות	80	70	60	50	40	עד 40	
שיפוע 2.5-4.4%							
0.65	-	1.5	1.5	1.5	1.4		80-90
0.60	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5		100-120
שיפוע 4.5-6%							
0.55	-	-	1.8	1.7	1.5		80
0.55	-	2.1	2.0	1.8	1.6		90
0.50	2.5	2.4	2.2	1.9	1.7		100
0.50	3.0	2.8	2.6	2.2	2.0		110
0.50	3.5	3.2	3.0	2.5	2.3		120

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 6.10 צורות מחבר כניסה חד-נתיבי בקטע ישר

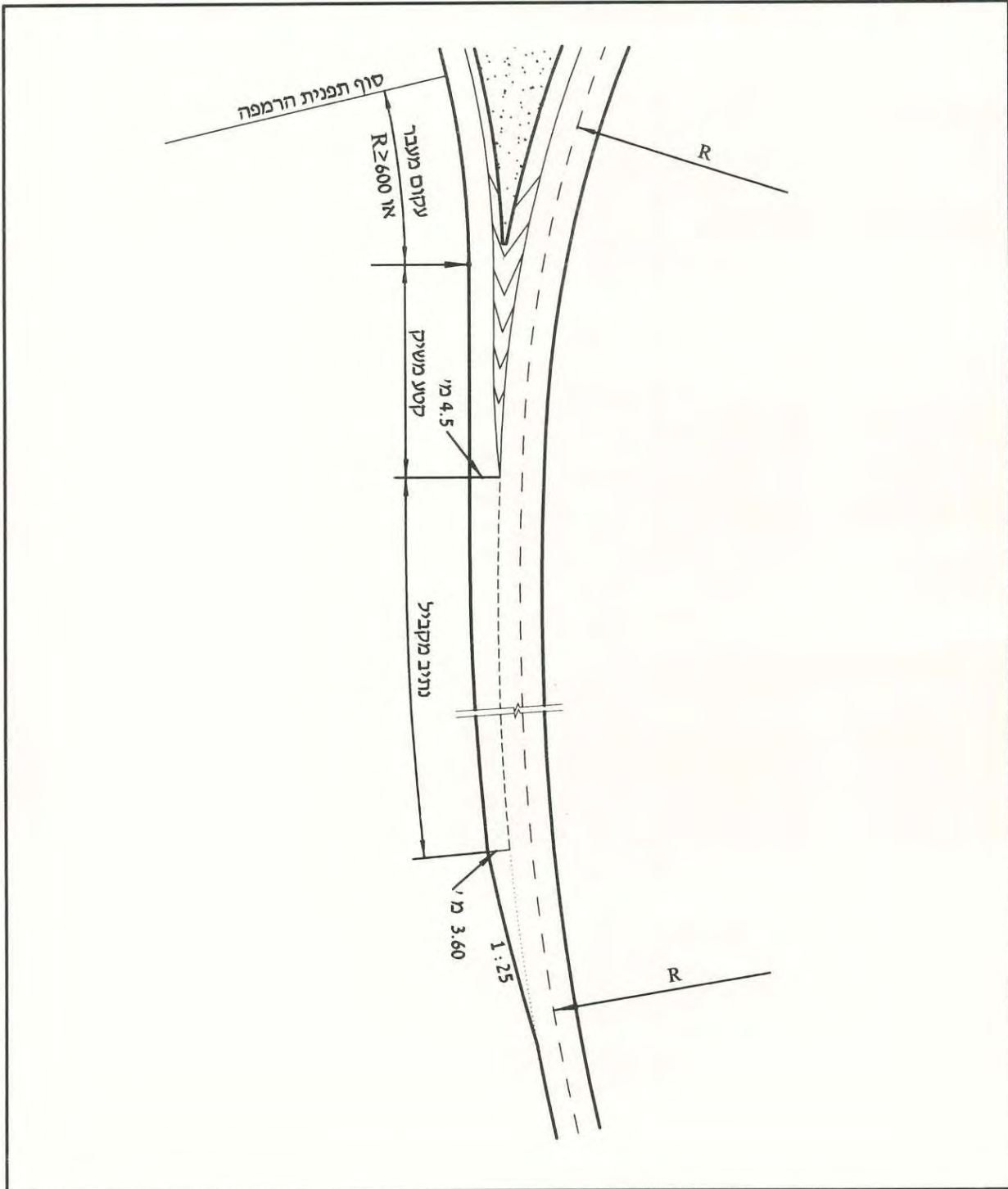
הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



מקרא: L_a - האורך הדרוש להאצה
 L_g - האורך הדרוש לקבלת פערים
 (ראה חסבר בסעיף 6.5.3 ד')

ציור 6.11 מחבר כניסה מקביל בעקום אופקי ימינה

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



מחבר כניסה מקביל בעקום אופקי שמאלה ציור 6.12

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

נתיבים, כמפורט בסעיף 7.6 בפרק הבא. מחברי-כניסה דו-נתיביים יתוכננו אך ורק במחלפי-מערכת ובמחלפי-גישה עיקריים, בכניסות לתוך דרכים מהירות ולתוך דרכים ראשיות ממוחלפות עמוסות.

6.6.2 תכן המחבר

ככלל, מאפייני התכן של מחברי-כניסה דו-נתיביים דומים למאפייני התכן של מחברי-כניסה חד-נתיביים, המפורטים בסעיף 6.5 לעיל, בתוספת המאפיינים הייחודיים המפורטים להלן:

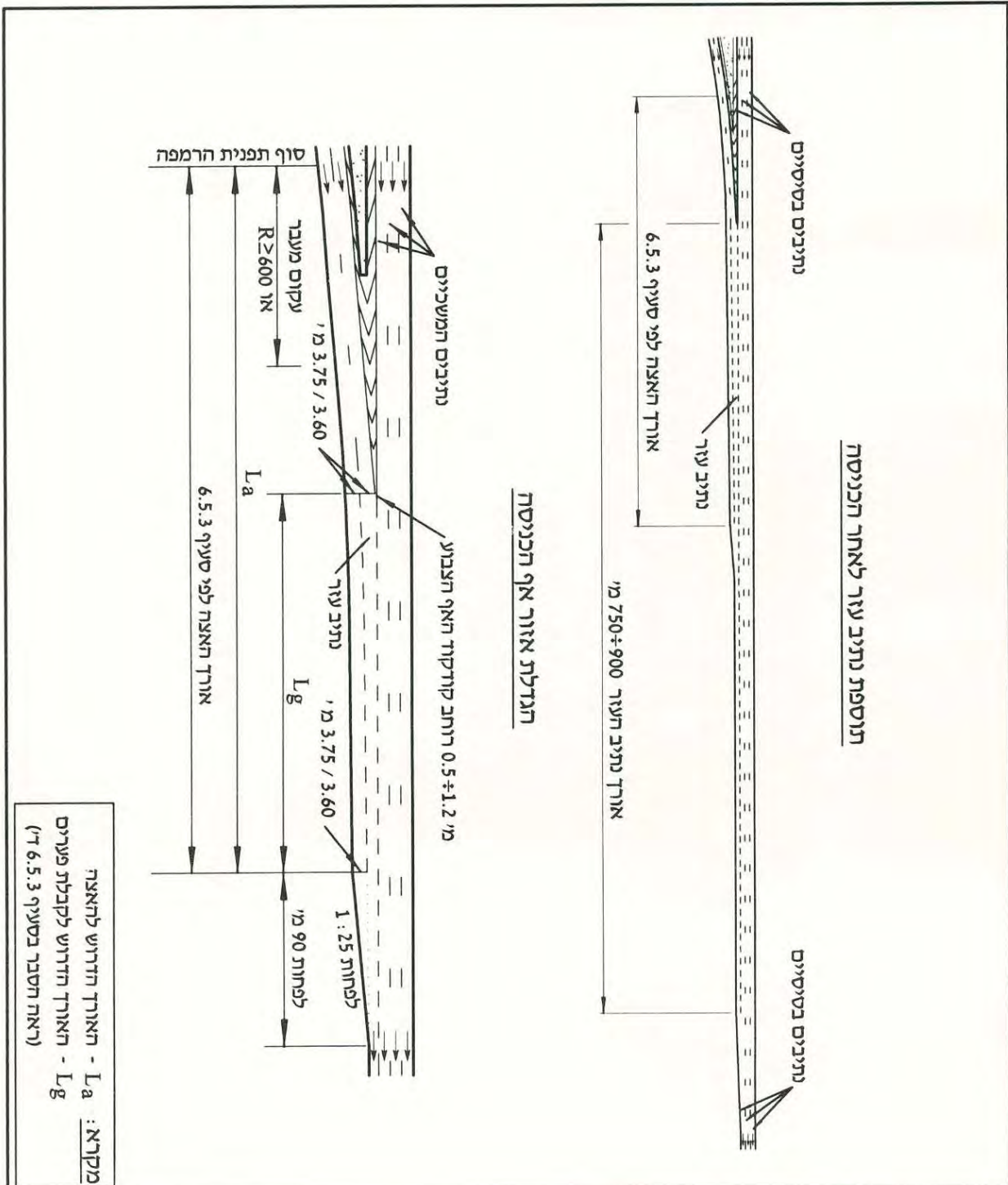
- במחבר הכניסה הדו-נתיבי תועדף הצורה המקבילה, המתוארת בציור 6.13. במחבר המקביל, הנתיב השמאלי מבין השניים שברמפה נמשך לתוך הדרך העוברת והופך לנתיב נוסף (המשכי או עזר כמפורט להלן), ואילו הנתיב הימני מתוכנן כנתיב-האצה מקביל ומסתיים בלוחסן בהיסט 1:25 לפחות (אורך מזערי 90 מטר), בהתאם לכללי התכן המפורטים בסעיפים 6.5.2 ו-6.5.3 לעיל.
- האורך הדרוש להאצה במחבר הדו-נתיבי זהה לאורך הדרוש במחבר החד-נתיבי, ומחושב כמפורט בסעיף 6.5.3 לעיל. סיום האורך הדרוש להאצה במחבר המקביל הוא בתחילת הלוחסן הקצר שבקצה הנתיב הימני, כמתואר בציור.
- משיקולים של איזון נתיבים בדרך הממוחלפת, ניצול קיבולת מחבר-הכניסה וסיוע בהתמזגות, מחייב מחבר-הכניסה הדו-נתיבי תוספת של נתיב אחד לפחות בדרך הממוחלפת מעבר לאף הכניסה, כמתואר בציור 6.13. הנתיב הדרוש עשוי להיות נתיב בסיסי נמשך (אחד או שניים), או נתיב-עזר שישתיים במרחק מסוים או במחלף הבא, בהתאם לנפחי התנועה ולכללי איזון הנתיבים המפורטים בסעיף 7.2 להלן. כאשר הכניסה הדו-נתיבית מתרחשת לאחר יציאה דו-נתיבית באותו מחלף, ניתן בדרך-כלל לוותר על נתיב-העזר במרחק של 750 עד 900 מטר מקודקוד אף הכניסה הצבוע, ולחזור למספר הנתיבים הבסיסי המקורי של הדרך לפני המחלף, כמתואר בציור.
- הנהגים נוטים יותר להשתמש בנתיבו השמאלי של המחבר, הממשיך כנתיב-עזר, ואילו השימוש בנתיב הימני, המסתיים בלוחסן, מחייב התמזגות בנתיב-העזר שמשמאלו. כתוצאה מכך, השימוש בנתיב הימני במחבר גדל בעיקר כאשר הנפח ברמפת הכניסה עולה על קיבולת נתיב יחיד. כאשר סכום הנפחים הממשיכים והמתמזגים מתקרב לקיבולת הדרך הממוחלפת, יש להאריך את הנתיב הימני (Lg בציור 6.13) מעבר לנדרש לפי החישוב, עד לאורך 1000 מטר, להבטחת תפעול נאות.

6.7 ראות במחברי-כניסה

הנהג הנוסע במחבר-זרימה בכניסה לדרך הממוחלפת בוחן את מצב התנועה בנתיב העובר שלשמאלו, במטרה למצוא פער שיאפשר לו להשתלב בתנועה ולהאיץ. בחינה זו נעשית הן תוך סיבוב הראש והן באמצעות שימוש במראת-הצד.

פעולת ההאצה ובדיקת הפערים מתבצעת בדרך-כלל עם הגידול ברדיוס היציאה מהרמפה, באזור שלקראת קודקוד האף הצבוע, בתחום עקום-המעבר, או בקשת האחרונה שרדיוסה גדול. קו הראות

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



מקרא: L_a - האורך הדרוש להאצה
 L_g - האורך הדרוש לקבלת פגרים
 (ראה חסבר בסעיף 6.5.3 ד')

צויר 6.13 מחבר כניסה דו-נתיבי

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

במצב זה הוא בזווית של 120° , כמתואר בציור 6.14, והאבחנה הדרושה היא בנקודה המצויה בגובה 1.0 מ' מפני הכביש, ברכב המצוי במרכז הנתיב הימני. מאחר שגובה עין הנהג 1.05 מ', צריך כל אזור האף הפיזי שמעבר לתחילת עקום המעבר או הקשת להיות פנוי ממכשולים שגובהם עולה על 1.0 מ'. המתכנן צריך לבדוק שקו הראות שמאלה פנוי מכל מכשול בגובה העולה על 1.0 מ' בכל זווית שבין 0° ל- 120° , כמתואר בציור, החל מנקודת תחילת ההאצה (המוגדרת בסעיף 6.5.3 לעיל).

בנוסף, רצוי שרום הכביש במחבר הכניסה לא יהיה נמוך מרום הכביש ההמשכי באזור הנצפה, וכן שלאורך קטע ההאצה לא יהיה הפרש בין הרומים של נתיב ההאצה ושל הנתיב העובר שלצידו, כדי להבטיח לנהג המתמזג ראות חופשית הצידה ולאחור, לאורך כל נתיב ההאצה. כדי לאפשר לנהג התמזגות בטוחה, יש לאפשר לו גם לראות את כל נתיב ההאצה שלפניו עם הגיעו לקודקוד אף הכניסה. לכן, רצוי שנתיב ההאצה לא יימצא בתחומי עקום אנכי קמור. אם לא ניתן להימנע מכך, יש להאריך את נתיב ההאצה או להגדיל את רדיוס העקום האנכי כך, שיתקיים מרחק ראות להחלטה אל קצה הלוכסן.

6.8 מעברי שיפועים במחברים וברמפות

6.8.1 כללי

ביצוע מעבר השיפועים ברמפות ובמחברים נועד לאפשר מעבר הדרגתי בין שיפועי רוחב שונים במקרים הבאים:

א. במחברי-זרימה ברמפה – בין השיפוע הרוחבי הקיים בדרך העוברת, לבין ההגבהה הרוחבית הדרושה בתפנית שברמפה עם סיום המעבר מן המחבר לרמפה.

ב. בתוך רמפות – בין ההגבהות הרוחביות השונות הקיימות בעקומים עוקבים ברדיוסים שונים, או לאורך עקומי מעבר, או בין עקומים אופקיים לקטעים משיקים.

עקרונות חישוב וביצוע מעברי שיפועים מוסברים בסעיף 5.4 בכרך I ובסעיף 9.3.2 בכרך II של הנחיות אלה.

מעברי השיפועים ברמפות ובמחברים יבוצעו לאורך עקומי המעבר או העקומים האופקיים במחבר, באמצעות סיבוב כל המיסעה סביב השפה הימנית של הרמפה, הן ברמפה חד-נתיבית והן ברמפה דו-נתיבית. במקרים בהם נדרש לשמור על רום השפה השמאלית, ניתן להשתמש בה כציר הסיבוב. ברמפות לא יבוצעו מעברי שיפועים סביב ציר הרמפה.

6.8.2 כללי התכן

אורך מעבר השיפועים מתקבל מתוך קצב הסיבוב, המבוסס בעזרת השיעור המירבי של השינוי היחסי בין השיפועים לאורך שפוט הרמפה. שיעור זה תלוי במהירות התכן של הרמפה, ונקבע משיקולי נוחות הנסיעה, בטיחות השליטה ברכב, ניקוז ורצף חזותי.

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

האורך המזערי של מעבר השיפועים במחבר וברמפה מחושב בדרך-כלל לפי נוסחה 6.1:

$$L = b \times (e_c - e_N) / \Delta \quad [6.1]$$

כאשר הרמפה מצויה בעקום אופקי, שכיוונו מנוגד לכיוון הקטע המשיק למחבר, וכן בין עקומים מנוגדי-כיוון ברמפה, יחושב אורך מעבר השיפועים במחבר לפי נוסחה 6.2:

$$L = b \times (e_c + e_N) / \Delta \quad [6.2]$$

כאשר (ראה גם ציור 6.15):

- L – אורך מזערי למעבר השיפועים (מטר).
- b – רוחב הרמפה (מטר).
- e_c – ההגבהה הרוחבית המירבית בעקום האופקי (אחוזים).
- e_N – השיפוע לרוחב בקטע המשיק לעקום (ישר או עקום אופקי אחר), באחוזים.
- Δ – ההפרש המירבי של השיפוע לאורך בין שפות הרמפה (אחוזים), מטבלה 6.6.

כאשר מעבר השיפועים יבוצע לאורך עקום מעבר, יאוחד אורכו של מעבר השיפועים או מעבר ההגבהה, בהתאם למקרה, עם אורך עקום המעבר, לפי האורך מבין שניהם.

טבלה 6.6 הפרש שיפוע מירבי לאורך בין השפות ברמפה במעבר השיפועים

90	80	70	60	50	40	מהירות התכנן ברמפה (קמ"ש)	
0.46	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	רמפה חד-נתיבית	הפרש שיפוע לאורך Δ (%)
0.61	0.67	0.73	0.80	0.87	---	רמפה דו-נתיבית	

טבלה 6.7 תחום מותר להפרש המירבי בין השיפועים לרוחב של נתיבים סמוכים במחברי-רמפה

60 ומעלה	40-50	מהירות התכנן ברמפה (קמ"ש)
0.04-0.05	0.05-0.06	הפרש בין שיפועי הרוחב בנתיבים סמוכים

מתן ההגבהה המירבית במחברי-רמפה אפשרי רק מעבר לנקודה בה המחבר מופרד באופן מלא מהנתיב העובר באמצעות אף היציאה הפיזי, כמתואר בציור 6.15, למניעת סכנה לאובדן שליטה על רכב (במיוחד רכב כבד), החוצה את קו הקמר בין הנתיב ההמשכי לבין המחבר. הערך המירבי של ה"שבר" (ההפרש האלגברי), בין שיפועי הרוחב בתפנית הדרך לבין הנתיב הסמוך לפני אף היציאה, נתון בטבלה 6.7. ככל שאחוז המשאיות גבוה יותר, יש להשתמש בערכים הנמוכים בתחום.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

6.8.3 תכנון חתך אורכי רציף לקצות המיסעה

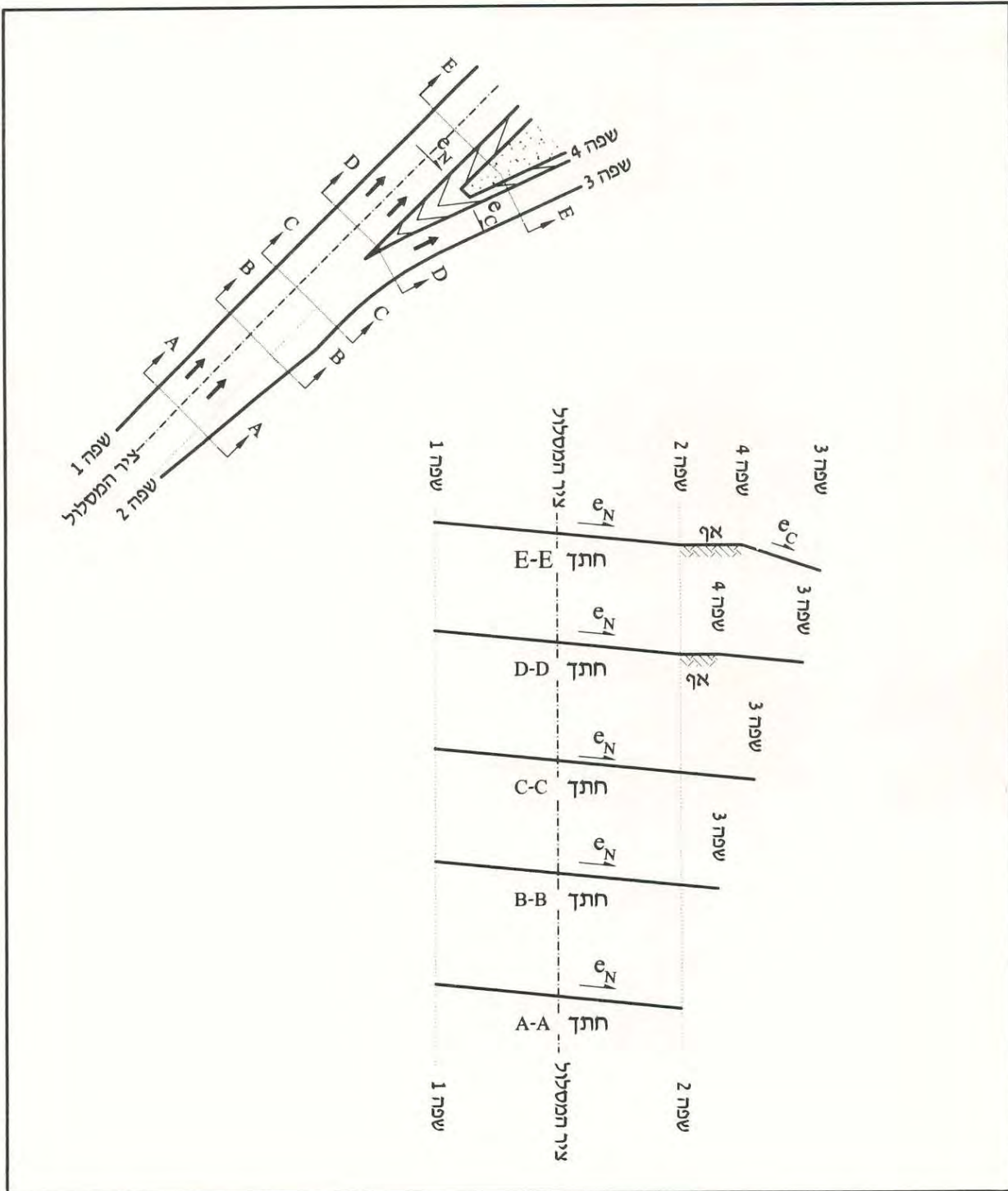
במספר נקודות לאורך מעבר השיפועים חל "שבר" בשיפוע שפות המיסעה. על-מנת לשמר את הרציפות בגיאומטריה של הכביש ולהגדיל את נוחות ובטיחות הנסיעה, מעוגלים "שברים" אלו בעת התכנון. עיגול זה נעשה על-ידי הכנסת עקום אנכי קצר, שאורכו המזערי במטרים הוא $0.2V_d$, כאשר הערך V_d נתון בקמ"ש.

6.8.4 צורות מעברי שיפועים במחברים

בנוסף לדוגמא של מעבר שיפועים במחבר-יציאה, המוצגת בציור 6.15, מתוארים באופן עקרוני בציור 6.16, מספר מקרים אופייניים נוספים של מעברי שיפועים במחברי רמפה. מעברי השיפועים יבוצעו כמתואר בסעיף 6.8.2, בהתייחסויות הבאות:

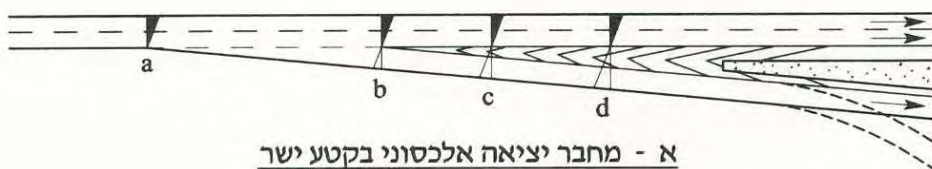
- א. מחבר יציאה אלכסוני – השיפוע לרוחב המיסעה נמשך לתוך מחבר היציאה, עד מעבר לפגוש אף היציאה הפיזי (אחרי הנקודה d).
- ב. מחבר כניסה אלכסוני בחלקו הפנימי של עקום אופקי – ההגבהה הרוחבית של הדרך העוברת מתקיימת במחבר החל מהנקודה b (קודקוד האף הצבוע).
- ג. מחבר יציאה מקביל בחלקו הפנימי של עקום אופקי – ההגבהה הרוחבית של הדרך העוברת נמשכת במחבר עד הנקודה d (פגוש האף הפיזי).
- ד. מחבר כניסה מקביל בחלקו החיצוני של עקום אופקי – ההגבהה הרוחבית ברמפה בנקודה d (נקודת הפיתול) היא אפס, וההגבהה הרוחבית מתפתחת בין d ל-c.
- ה. נתיב-עזר מקביל המתחבר לרמפה בעלת עקמומיות רבה (כגון בלולאות) – חלק מההגבהה מתפתחת בנתיב-העזר, כמחציתה עד נקודה a (קודקוד האף הצבוע), כאשר ההגבהה המלאה מתקבלת לאחר פגוש האף הפיזי (מ-c ל-d).

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

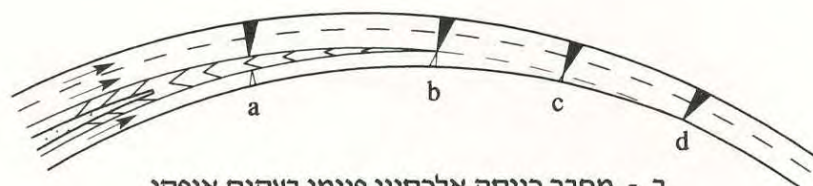


ציור 6.15 מעבר השיפועים במחבר יציאה

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



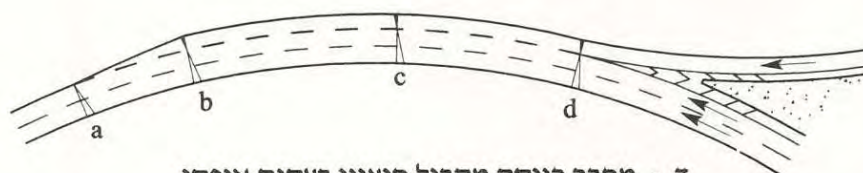
א - מחבר יציאה אלכסוני בקטע ישר



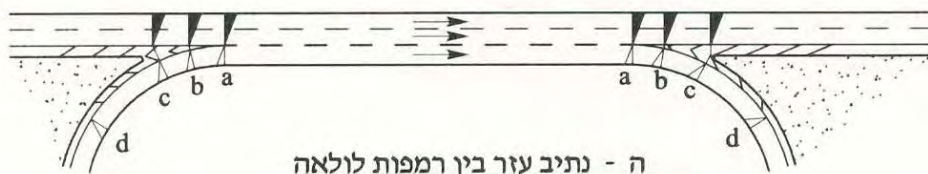
ב - מחבר כניסה אלכסוני פנימי בעקום אופקי



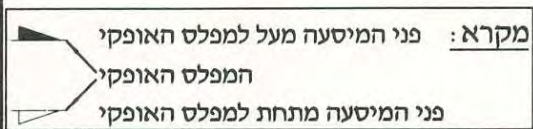
ג - מחבר יציאה מקביל פנימי בעקום אופקי



ד - מחבר כניסה מקביל חיצוני בעקום אופקי



ה - נתיב עזר בין רמפות לולאה



תיאור סכמתי של מעברי השיפועים במספר מקרים אופייניים של מחברי-רמפה

ציור 6.16

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פרק 7

מאפייני תפעול במחלפים

תוכן עניינים

7-1	מבוא	7.1
7-1	שיקולי ניתוב במחלפים	7.2
7-1	7.2.1 כללי	
7-2	7.2.2 מספר בסיסי של נתיבים	
7-2	7.2.3 איזון נתיבים	
7-4	7.2.4 שילוב השיקולים הקודמים ושימוש בנתיבי-עזר	
7-7	7.2.5 תהליך קביעת הניתוב ופיתוח בשלבים	
7-9	המרווח בין מחברי-רמפה עוקבים	7.3
7-11	קיבולת ורמת שירות במחברי-זרימה ברמפות	7.4
7-11	7.4.1 כללי	
7-11	7.4.2 עקרונות השיטה לחישוב רמת השירות	
7-13	7.4.3 שלבי תהליך החישוב המפורט לקביעת רמת השירות	
7-13	7.4.4 הנתונים הדרושים לחישוב רמת השירות	
7-14	7.4.5 המרת נפחים לשיעורי זרימה	
7-15	7.4.6 הערכת הזרימה באזור ההשפעה בהפרדות (מחבר יציאה)	
7-16	7.4.7 הערכת הזרימה באזור ההשפעה בהתמזגות (מחבר כניסה)	
7-17	7.4.8 השוואת קיבולת המחבר לזרימה בגבולות אזור ההשפעה	
7-18	7.4.9 חישוב הצפיפות באזורי ההשפעה	
7-18	7.4.10 הגדרת הקריטריונים לרמות השירות באזור ההשפעה	
7-20	7.4.11 רמות השירות לתכן	
7-20	7.4.12 הערכת המהירות באזורי ההשפעה	
7-21	7.4.13 יישום החישוב במחברי יציאה דו-נתיביים	
7-21	7.4.14 יישום החישוב במחברי כניסה דו-נתיביים	
7-23	קיבולת של רמפות	7.5
7-25	מספר הנתיבים ברמפה ובמחברים	7.6
7-25	7.6.1 אפשרויות הניתוב ברמפות עם שני מחברי-זרימה	
7-26	7.6.2 הכללים לקביעת הניתוב ברמפות ובמחברי-זרימה	
7-27	7.6.3 רמפות עם מחבר זרימה ומחבר עצירה	

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פרק 7

מאפייני תפעול במחלפים

7.1 מבוא

המחלף וסביבתו, ובמיוחד אזורי מחברי היציאה והכניסה, מהווים את הנקודות הקריטיות בזרימת התנועה בדרכים ממוחלפות. להבטחת תקינות הזרימה בדרך ובמחלף, נדרש שילוב בין מרכיבי התכן הגיאומטרי בדרך, ברמפות ובמחברים, שנסקרו בפרקים הקודמים, לבין מאפייני התפעול הנסקרים בפרק זה. הסעיפים הבאים סוקרים את מאפייני התפעול שיש לנתח בשלבים השונים בתכן המחלף, ואת הקריטריונים ליישומם, לפי הפירוט:

סעיף 7.2 – שיקולי ניתוב, הכוללים את קביעת המספר הבסיסי של נתיבים, איזון נתיבים בדרך וברמפות ושימוש בנתיבי-עזר.

סעיף 7.3 – המרווח המזערי בין מחברי-רמפות עוקבים.

סעיף 7.4 – ניתוח מאפייני הזרימה ורמות השירות במחברי-רמפות.

סעיף 7.5 – קיבולת רמפות.

סעיף 7.6 – קביעת מספר הנתיבים הדרוש ברמפות ובמחברים.

7.2 שיקולי ניתוב במחלפים

7.2.1 כללי

להבטחת תקינות הזרימה והיעילות התפעולית בתחומי מחלפים ובסמיכות להם, נדרש שילוב בין הקריטריונים של שמירה על מספר בסיסי של נתיבים, ושל איזון נתיבים. שילוב הקריטריונים מחייב לעיתים שימוש בנתיבי-עזר. הקריטריונים ואופן השילוב ביניהם מפורטים בסעיפים 7.2.2 עד 7.2.5 להלן. יישום הקריטריונים נועד להבטיח זרימת תנועה יעילה ושוטפת בסמיכות למחברי היציאה והכניסה בדרך הממוחלפת, תוך ניצול פוטנציאל הקיבולת של הדרך ושל המחברים, ושמירה על אחידות ברמות השירות לאורך הדרך. בנוסף, נועד השילוב בין הקריטריונים להקל על הנהגים היוצאים והכנסים את ההתמצאות בדרך ואת ההשתלבות בזרם התנועה, ולמזער ככל האפשר את ההפרעות לנהגים הממשיכים בדרך הממוחלפת.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

7.2.2 מספר בסיסי של נתיבים

המספר הבסיסי של הנתיבים, או מספר ה"נתיבים הבסיסיים", הוא המספר הקבוע של נתיבים המשכיים, אשר נשמר לאורך ניכר בדרך הממוחלפת, ללא שינוי עקב הבדלים בנפחי התנועה או בדרישות התפעוליות הקשורות למחלפים. הנתיבים הבסיסיים אינם כוללים את הנתיבים לשינוי מהירות ואת נתיבי-העזר המתווספים לאורך קטעים מוגדרים ומתוארים בסעיף 7.2.4 להלן.

המספר הבסיסי של הנתיבים בדרך הממוחלפת נקבע משיקולי כושר העברה ורמת שירות, בהתאם לנפחי-התכן של הקטעים השונים בדרך, ועל-פי מדיניות התכן שלה, כמפורט בסעיף 3.4 בכרך I של הנחיות אלה. ככלל, המספר הבסיסי של נתיבים הוא המספר הגדול ביותר של נתיבים אשר דרוש במרבית הקטעים שבין המחלפים, לשמירה על רמת-שירות אחידה לאורך הדרך. יש לשמור על מספר נתיבים זה גם בתחומי מחלפים (בין מחבר היציאה למחבר הכניסה) וגם בקטעים בין מחלפים, שאורכם קטן מ-5 ק"מ, גם אם לכאורה דרוש בהם מספר נתיבים קטן יותר. זאת, כדי למנוע מהנהגים הממשיכים את הצורך בהחלפות נתיב תכופות, וכדי להימנע מיצירת צווארי-בקבוק במקרים של הפרעות לזרימה כגון תאונות, פעולות אחזקה, הפרעות בדרכים סמוכות, ואירועים חריגים אחרים.

כאמור, שינוי במספר הבסיסי של נתיבים בתוואי (הפחתה או הוספה), ייעשה רק באופן המשכי ולא נקודתי, דהיינו – רק כאשר חל שינוי משמעותי ומתמיד בנפח התנועה, וכאשר התנאים החדשים נמשכים לאורך קטע דרך רצוף, שאורכו עולה על 5 ק"מ. המספר הבסיסי של הנתיבים לא ישתנה ביותר מאחד בכל פעם, למעט בהתפצלות או התמזגות תוואי דרכים נפרדות, והשינויים יבוצעו רק בתחומי מחלפים, בשילוב עם איזון הנתיבים ביציאות ובכניסות, כמפורט בסעיף 7.2.3 להלן. תוספת נתיב בסיסי תעשה החל ממחבר כניסה במחלף, ואילו הפחתת נתיב בסיסי תבוצע רק לאחר מחבר יציאה במחלף. במקרה בו נדרשת תוספת נתיב עקב עלייה בנפח התנועה רק בקטע שבין שני מחלפים סמוכים, יעשה הדבר באמצעות תוספת נתיב-עזר, כמפורט בסעיף 7.2.4 להלן. ראה הסבר בציורים 7.4 ו-7.5.

7.2.3 איזון נתיבים

להבטחת הזרימה השוטפת באזורי המחברים במחלפים, נדרש איזון בין מספר הנתיבים בדרך הממוחלפת לבין מספר הנתיבים ברמפות היציאה והכניסה. כללי איזון הנתיבים קובעים במשולב את המספר הדרוש של נתיבים ממשיכים, מתמזגים או נפרדים, בהתאם למספר הנתיבים הדרוש בכל מרכיב לגופו.

כללי איזון הנתיבים במחברים, כפי שהם מיושמים בהיפרדות ובהתמזגות של רמפות, הם (ראה גם תאור גרפי בציור 7.1):

(1) **בהיפרדות של רמפה (יציאה מהדרך הממוחלפת):**

$$N_C = N_F + N_E - 1 \quad [7.1]$$

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

- כאשר: N_C – מספר הנתיבים המוקצה לכלל התנועה בדרך הממוחלפת, לפני נתיב ההאטה (לרבות נתיבי-עזר, כהגדרתם בסעיף 7.2.4 להלן).
 N_F – מספר הנתיבים הממשיכים בדרך הממוחלפת מעבר לאף היציאה.
 N_E – מספר הנתיבים היוצאים לרמפה.

דהיינו: סכום מספרי הנתיבים בדרך הממוחלפת וברמפה, מעבר למחבר היציאה, גדול באחד ממספר הנתיבים בדרך הממוחלפת לפני נתיב ההאטה.

(2) בהתמזגות של רמפה (כניסה אל הדרך הממוחלפת):

$$N_C = N_F + N_E \quad [7.2]$$

או

$$N_C = N_F + N_E - 1 \quad [7.3]$$

- כאשר: N_C – מספר הנתיבים המוקצה לכלל התנועה בדרך הממוחלפת לאחר נתיב ההאצה (לרבות נתיבי-עזר).
 N_F – מספר הנתיבים הקיים בדרך הממוחלפת לפני אף הכניסה.
 N_E – מספר הנתיבים הנכנסים מהרמפה.

דהיינו: מספר הנתיבים הממשיכים בדרך הממוחלפת לאחר נתיב ההאצה, שווה לסכום מספרי הנתיבים הנפרדים של הדרך ושל הרמפה לפני המחבר (נוסחה 7.2), או לאחד פחות (נוסחה 7.3), הזהה לנוסחה 7.1 המשמשת בהיפרדות). הבחירה בין שתי האפשרויות תהייה בהתאם לרמת השירות הדרושה בהמשך הדרך הממוחלפת, לפי העקרונות המפורטים בסעיף 3.4 בכרך I של ההנחיות.

בכל המקרים של היפרדות ושל התמזגות, N_C אינו כולל את נתיב ההאטה בהיפרדות או את נתיב ההאצה בהתמזגות, בהתאם למקרה, אך כולל, כאמור, את נתיבי העזר בקטע הנדון, כהגדרתם בסעיף 7.2.4 להלן.

המשמעות של כללי האיזון היא כמפורט להלן:

- אחרי יציאה חד-נתיבית לרמפה, אין להקטין את מספר הנתיבים בדרך העוברת.
- אחרי יציאה דו-נתיבית לרמפה, יוקטן מספר הנתיבים בדרך העוברת באחד (בדרך-כלל נתיב-העזר).
- אחרי כניסת רמפה חד-נתיבית, ניתן לבחור בין שמירה על מספר הנתיבים בדרך העוברת לבין הוספת נתיב אחד (המשכי או עזר).
- אחרי כניסת רמפה דו-נתיבית, חובה להוסיף לפחות נתיב אחד לדרך העוברת (המשכי או עזר), וייתכן שאפילו שניים. ההחלטה הסופית תהייה בהתאם לשילוב כלל שיקולי הניתוב באזור המחלף, כמפורט בסעיף 7.2.4 להלן.

בציור 7.2 מתוארים המקרים האופייניים של קביעת מספר הנתיבים במחברי יציאה וכניסה לפי כללי איזון הנתיבים. לשמירה על כללי האיזון היתרונות הבאים:

א. נהגים הממשיכים בנתיבים הבסיסיים בדרך הממוחלפת, אינם חייבים להחליף נתיבים כדי לשמור על הכיוון. לא יקרה מצב בו נהג המעוניין להמשיך ישר, ולא החליף נתיב, ימצא עצמו בנתיב המיועד ליציאה בלבד.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

- ב. לנהגים המצויים בנתיב הבסיסי ההמשכי הימני ביותר בדרך הממוחלפת יש אפשרות בחירה, לקראת אף היציאה, בין יציאה לרמפה לבין המשך ישר.
- ג. נהגים המתכוונים לצאת במחלף הבא, ומצויים בנתיב הבסיסי הימני ביותר, אינם חייבים להחליף יותר מנתיב אחד בכל פעם.
- ד. נהגים הנכנסים מהרמפה לדרך הממוחלפת, אינם חייבים להחליף יותר מנתיב אחד בכל פעם לצורך השתלבות בתנועה.
- ה. הזרימה בדרך הממוחלפת באזור מחבר היציאה, חופשית יותר לאחר אף היציאה, להבטחת שחרור מהיר של התנועה מאזור המחבר.

רצוי לשמור על כללי איזון הנתיבים גם בתוך רמפות שבהן יש הפרדויות והתמזגויות של רמפה בתוך רמפה אחרת, כמתואר בציור 7.3: בתכנון מחלפים לפי הכלל של "יציאה יחידה במחלף, לפני הגשר", תהיה יציאה יחידה ימינה, ממנה יתפצלו הפניות הישירות-למחצה שמאלה במידת הצורך. חלוקת הנתיבים ברמפה לפי האפשרויות המוצגות בציור 7.3 מבטיחה זרימה שוטפת וגמישות תפעולית בתוך הרמפה, ואינה גורמת להחלפת נתיבים מאולצת. זאת, לעומת הפתרון של פיצול רמפה דו-נתיבית לשתיה רמפות חד-נתיביות, הרגיש להיווצרות גודש בכל מקרה של חלוקה לא מאוזנת בין הנפחים המתפצלים, ומחייב יותר החלפות-נתיבים.

7.2.4 שילוב השיקולים הקודמים ושימוש בנתיבי-עזר

התצורה הסופית של הניתוב באזור המחלף מתקבלת כתוצאה משילוב השיקולים של איזון הנתיבים ושל הנתיבים הבסיסיים, ותוך תאום עם מספר הנתיבים של מחברי רמפות עוקבים.

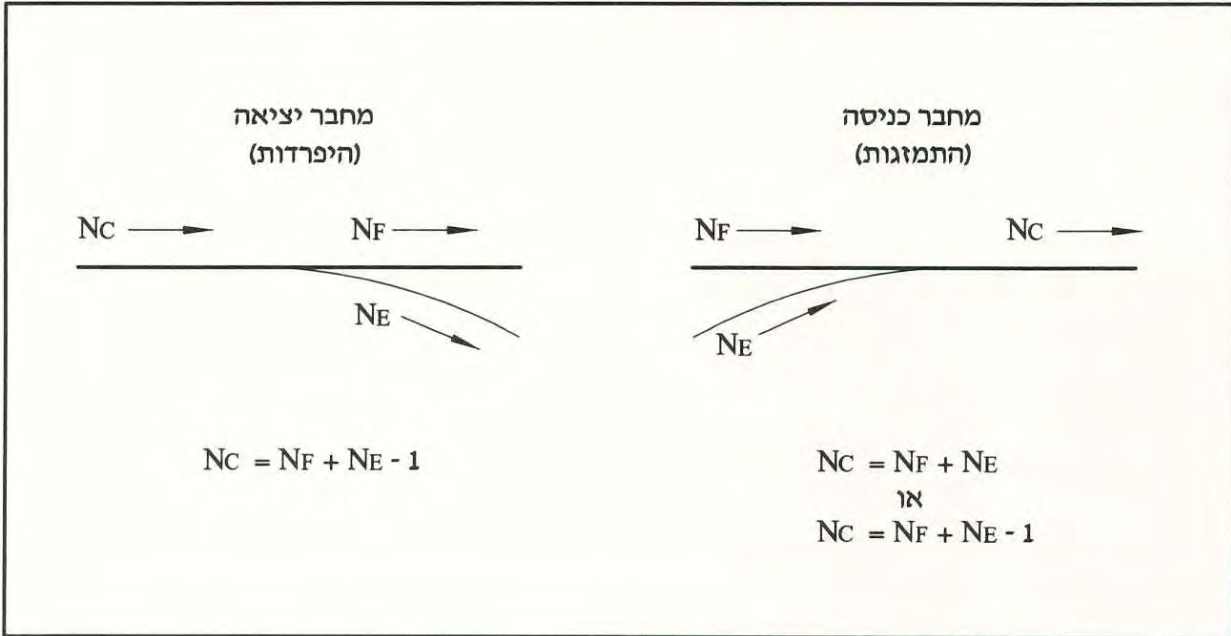
בציור 7.4 מוצג הצורך בשילוב בין השיקולים: בחלק א' של הציור נשמר איזון הנתיבים במחברים, אולם המספר הבסיסי של הנתיבים אינו נשמר בין המחברים העוקבים, ועשוי לגרום למבוכה לנהגים ולתפעול לקוי של הקטע, עד כדי יצירת "צוואר בקבוק" במקרים בלתי צפויים.

בחלק ב' בציור נשמר המספר הבסיסי של הנתיבים, אולם לא מתקיים איזון הנתיבים. במקרה זה, לנפחים הגדולים היוצאים והנכנסים יש קשיים בהיפרדות ובהתמזגות, ובקטע שבין המחברים זרימת התנועה לא מאוזנת (הנתיבים אינם מנוצלים).

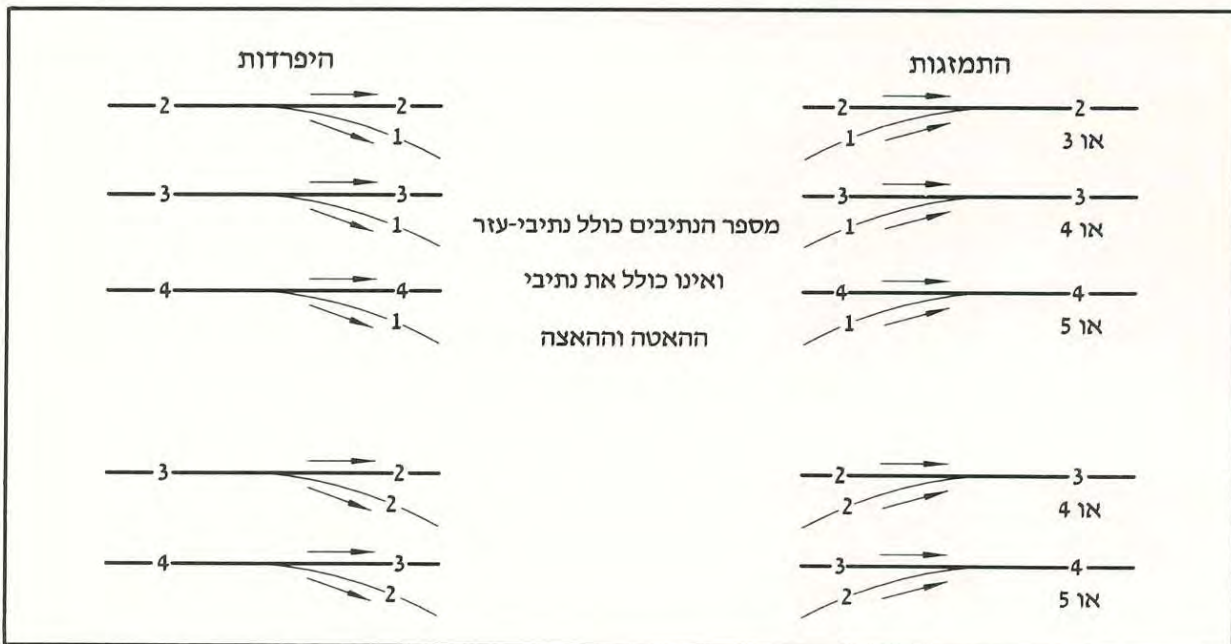
לשילוב השיקולים כך ששניהם יתקיימו בו-זמנית ותפעול אזור המחלף יהיה מיטבי, נדרשת תוספת של נתיב-עזר, כמתואר בחלק ג' בציור. "נתיב-עזר" בהגדרתם בפרק זה הם נתיבים אשר נוספו למסלול הקיים למרחק מוגבל, לאורך קטע-דרך בתחומי מחלף או בקרבתו, או בין מחלפים סמוכים, ואינם נתיבים לשינוי מהירות – נתיבי האטה או האצה – כהגדרתם בפרק 6 לעיל.

בקטע בין שני מחלפים סמוכים (במרחק של עד 5 ק"מ), יתווסף נתיב-עזר, אם בקטע זה דרושה עלייה חריגה בכושר-ההעברה. הנתיב יימשך ממחבר הכניסה במחלף הראשון עד מחבר היציאה במחלף השני, מחבר אשר חייב להיות דו-נתיבי כדי לאפשר את הפחתת נתיב-העזר, כמתואר בציור 6.7 בהנחיות.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



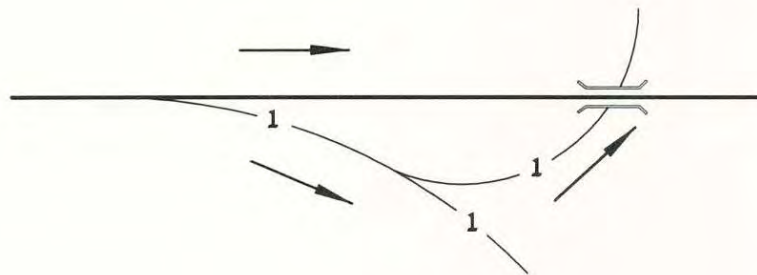
ציור 7.1 הכללים הבסיסיים לאיזון נתיבים במחברי רמפות



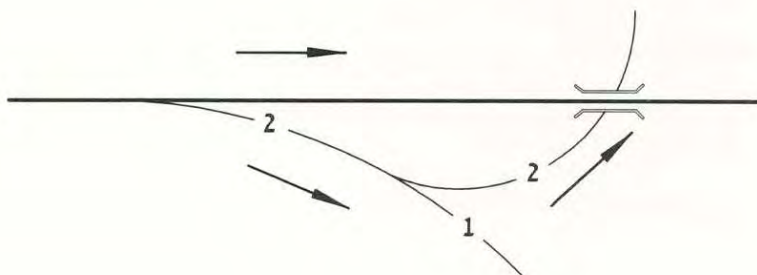
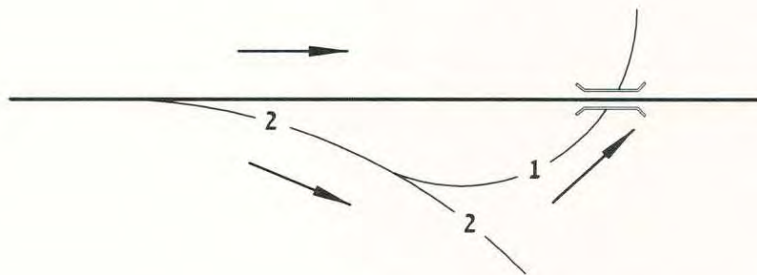
ציור 7.2 מקרים אופייניים של איזון נתיבים במחברי רמפות

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פיצול רמפה חד-נתיבית



שתי אפשרויות לפיצול רמפה דו-נתיבית



שמירה על איזון הנתיבים בהפרדות של רמפה מרמפה

7.3 ציור

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

בקרבת מחלף, יתווסף נתיב-עזר בקטעים קצרים לפני מחבר-יציאה דו-נתיבי וכן לאחר מחבר-כניסה דו-נתיבי, כמפורט להלן, ובכך יתאפשר תפעול אזור המחברים בהתאם לעקרונות האיזון המפורטים בסעיף 7.2.3 לעיל. אורכו המזערי של נתיב-עזר ביציאה דו-נתיבית הוא למעלה מ-500 מטר (לרבות לוכסן הכניסה לנתיב), והוא יבוצע בהתאם לכללים המפורטים בסעיף 6.4.2 בהנחיות ובציור 6.8.

נתיב-עזר בכניסה דו-נתיבית יבוצע כמתואר בסעיף 6.6.2 בהנחיות, והוא יימשך 750 עד 900 מטר מסוף אף הכניסה, כמתואר בציור 6.13, כדי לאפשר לתנועה הנכנסת להשתלב בנתיבים הבסיסיים. אין להאריכו יותר מדי, כדי לא ליצור לנהגים את הרושם, שנוסף נתיב בסיסי בדרך. נתיב העזר יופסק, בתנאי שההפרש בין נפחי היוצאים לנפחי הנכנסים במחלף אינו מחייב שינוי מספר הנתיבים הבסיסי בהמשך הדרך.

נתיב-עזר יתווספו ויסתיימו תמיד מצידה הימני של הדרך. אין לשנות הסדרי-ניתוב בנתיבים השמאליים (המהירים). בקרבת מחלפים יסומנו נתיבי העזר באופן ברור באמצעות סימון ד-5 עבה ("מלבנים ארוכים"), על-פי ההנחיות להצבת תמרורים, כדי להבדילם עבור הנהגים מנתיבים בסיסיים נמשכים.

בקטעים בהם נוסף נתיב-עזר בין מחלפים עוקבים, ובעיקר אחרי מחבר כניסה דו-נתיבי, יש לוודא שלא ייווצר חוסר איזון בזרימת התנועה בין הנתיבים השונים בקטע שבין המחלפים, דהיינו – שלא ייווצר מצב בו התנועה הנכנסת מהרמפה זורמת בשעות השיא בצורה חופשית יותר מהתנועה בדרך המועדפת, כי במקרה כזה עלול נתיב-העזר לשמש לעקיפה מצד ימין של הגודש בנתיבים ההמשכיים. במקרים אלה, יש לבצע ניתוח תפעולי לכל הקטע שבין המחלפים, ודרוש לבדוק לפי הקריטריונים בסעיפים 7.4-7.6 בהמשך, האם נחוץ מחבר דו-נתיבי לרמפת הכניסה, או שניתן להסתפק במחבר חד-נתיבי.

7.2.5 תהליך קביעת הניתוב ופיתוח בשלבים

התהליך הכולל של קביעת הניתוב בדרך הממוחלפת מתייחס לשילוב הגורמים של רמות-שירות, מספר נתיבים בסיסי, איזון נתיבים ונתיבי-עזר. תהליך הניתוח מתבצע בשלבים הבאים:

א. קביעת מספר הנתיבים הבסיסי לאורך הדרך (לפי רמות השירות ועקרונות התכן בסעיף 3.4 בכרך I של הנחיות אלה).

ב. איתור זוגות רמפות בעלות השפעה הדדית.

ג. איתור קטעי השתזרות, ניתוח מאפייני הזרימה בהם, וקביעת הפתרון התפעולי לאזורי ההשתזרות.

ד. קביעת מספר הנתיבים ברמפות ואיזון נתיבים ראשוני.

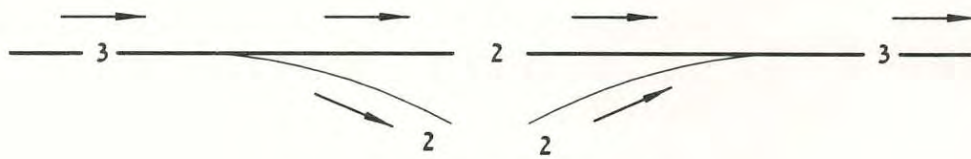
ה. ניתוח הזרימה והקיבולת באזורי מחברי הרמפות.

ו. תוספת נתיבי-עזר במידת הצורך, והשלמת התאום בין איזון הנתיבים לבין דרישות הקיבולת ומאפייני הזרימה.

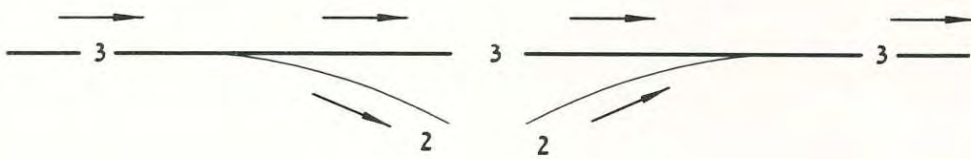
ז. קביעת הסדרי הניתוב לשלב הסופי ולשלבי הביניים.

הכללים לביצוע סעיפים ב', ד'-ז' יוסברו בהמשך פרק זה. סעיף ג' יוסבר בפרק 8 להלן.

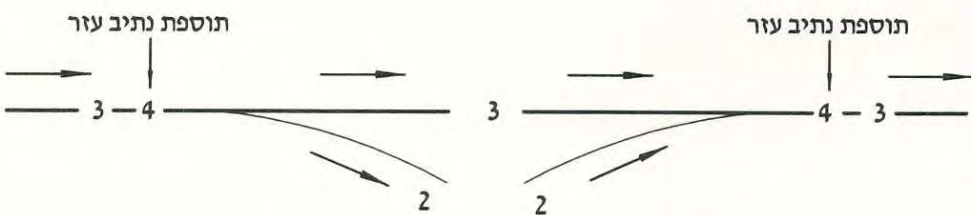
הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



(א) איזון נתיבים ללא שמירה על מספר בסיסי של נתיבים - לא מומלץ



(ב) שמירה על מספר בסיסי של נתיבים אך ללא איזון נתיבים - לא מומלץ



(ג) שילוב של איזון נתיבים ושמירה על מספר בסיסי של נתיבים - מומלץ

התאמה בין מספר הנתיבים הבסיסיים לבין איזון הנתיבים

ציור 7.4

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

התהליך העקרוני המתואר לעיל מבוצע בדרך-כלל לשנת היעד לתכן, בהתאם לנפחים החזויים במועד זה, ותמונת הניתוב המתקבלת ממנו היא התמונה המתאימה לשלב התכן הסופי. במקרים רבים, אין צורך במספר הניתובים המלא ביום פתיחת הדרך לתנועה: בשלב הראשון ובשלב הביניים קיימות אפשרויות לביצוע בשלבים, המבוססות על הקטנת מספר הניתובים הבסיסי בדרך, ביצוע נתיב אחד ברמפה המיועדת לדו-נתיבית בשלב הסופי וכן במחבר-הרמפה, ודחיית הצורך בנתיבי-עזר. את כל השלבים חובה לבצע תוך שמירה על מספר נתיבים בסיסי ועל כללי איזון הניתובים שהוצגו לעיל. במקרה כזה, יש להבטיח את האפשרות לבצע בסופו של דבר את התכנון המיועד לשלב הסופי, באמצעות שמירת שטח במיפרדה לנתיבים הנוספים. בציור 7.5 מוצגת דוגמא לפיתוח בשלבים של הניתוב לאורך דרך ממוחלפת.

7.3 המרווח בין מחברי-רמפה עוקבים

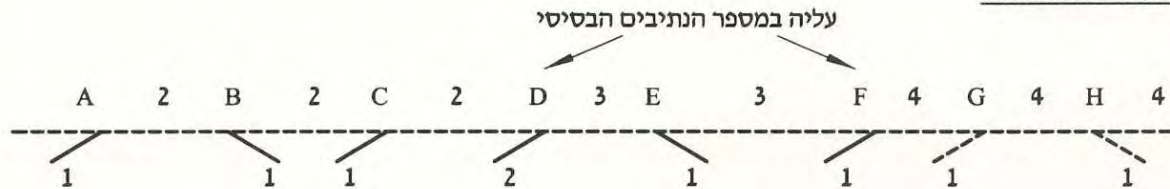
בין המחברים של כל שתי רמפות עוקבות נדרש מרווח מזערי. המרווחים דרושים הן משיקולי תכן והן משיקולי תפעול – לשם פיתוח המרכיבים הגיאומטריים הדרושים, להבטחת גמישות בתפעול וזרימת תנועה שוטפת ואחידה, למתן אפשרות להדרכה נאותה, ולריווח נקודות החלטה והניגוד עבור הנהגים.

בציור 7.6 מוצגות הדרישות למרווחים מזעריים בין רמפות עוקבות בדרכים ממוחלפות, לרבות בכבישים מאספים-מחלקים. המרחק הדרוש נמדד בין קודקודי ה"אפים" הצבועים של הרמפות, והוא תלוי בתפקיד הרמפה בדרך הממוחלפת (יציאה או כניסה) ובסיווג התפקודי של המחלף (מערכת או שירות, כהגדרתו בסעיף 2.4.4 בהנחיות). הקריטריונים המוצגים בציור תואמים את שאר הקריטריונים לתכן מחלפים בהנחיות אלה, כמפורט:

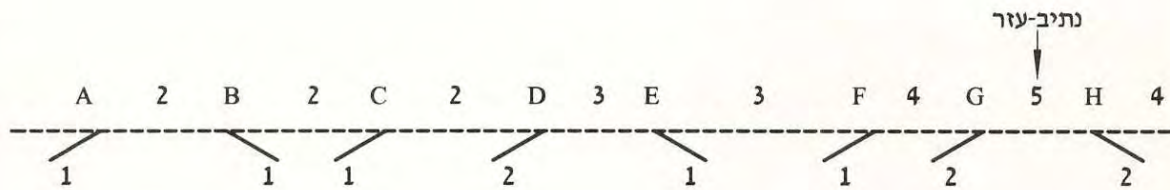
- א. **מרווח בין כניסות** – בין שתי כניסות עוקבות נדרש מרווח שיאפשר לנכנסים בכניסה הראשונה להשתלב בתנועה לפני הכניסה הבאה. המרווח בציור 7.6 הוא המזערי הדרוש, ויש להגדילו אם אורך נתיב ההאצה, המחושב כמתואר בסעיף 6.5.3 בהנחיות, גדול יותר ממרווח זה.
- ב. **מרווח בין יציאות** – בדרך ממוחלפת במלואה, יש לתכנן יציאה אחת בלבד בכל מחלף. במקרה הצורך ביציאות נוספות, הן תבוצענה מכביש מאסף-מחלק או כהתפצלות מתוך הרמפה, בהתאם למרווחים הנתונים בציור. המרווחים המזעריים דרושים לצורך זמן החלטה לנהגים ואפשרות לשילוט הדרכה מפורט.
- ג. **מרווח בין יציאה לכניסה** – המרווח הדרוש בין יציאה לבין הכניסה העוקבת נועד לאפשר לנהגים הממשיכים בדרך הממוחלפת מרחק מזערי בין "אפים", שיאפשר להם הסתגלות בין אזורי ניגוד.
- ד. **מרווח בין כניסה ליציאה** – אין לתכנן יציאה מהדרך הממוחלפת בסמוך לאחר כניסה אליה, מצב היוצר השתזרות בתחומי הדרך הממוחלפת. במקרה זה יש לתכנן כביש מאסף-מחלק מקביל, שלאורכו תתבצע ההשתזרות. מרחק ההשתזרות בציור הוא מזערי, וייתכן שיש להגדילו עקב חישוב מפורט של תפעול אזור ההשתזרות, כמפורט בפרק 8 להלן.
- ה. **מרווחים בתחומי רמפות** – בין מחברים עוקבים באותה רמפה נדרש מרווח מזערי, לצורך ההדרכה, ההחלטה והחלפות הניתובים הדרושות.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

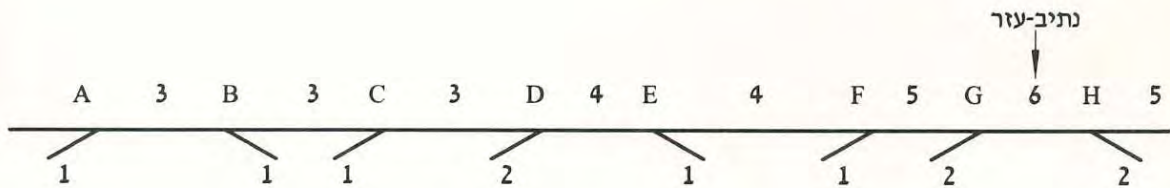
השלב ההתחלתי:



שלב ביניים: תוספת נתיב ברמפות האחרונות ונתיב-עזר ביניהן



שלב סופי: תוספת נתיב בסיסי לכל האורך



מקרא:

- מספר הנתיבים בשלבי הביניים
- מספר הנתיבים בשלב הסופי

דוגמא לפיתוח בשלבים של מספר הנתיבים בדרך ממוחלפת וברמפות, בהתאם לכללי איזון הנתיבים ומספר הנתיבים הבסיסי

ציור 7.5

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

המרחקים בציר 7.6 הם כלליים ומבוססים על ניסיון תפעולי, וייתכן שיידרש לשנותם בעקבות חישוב של רמות שירות במחברי הרמפה לכל מקרה לגופו, כמפורט בסעיף הבא, או בעקבות דרישות השתזרות, כמפורט בפרק 8 בהמשך ההנחיות.

כאשר המרחק בין קודקודי האפים הצבועים של מחברי-זרימה עוקבים אינו עולה על 450 מטר, יש לחבר את נתיבי ההאצה או ההאטה ביניהם לרצף אחד, שיהווה נתיב-עזר, ויתוכנן בהתאם לכללים בסעיף 7.2.4 לעיל.

7.4 קיבולת ורמת שירות במחברי-זרימה ברמפות

7.4.1 כללי

התנועה ההמשכית בדרך הממוחלפת נעה בדרך-כלל ללא הפרעות הנגרמות עקב מרכיבים גיאומטריים. עם זאת, בסביבת מחברי-הרמפה נגרמות הפרעות לזרימת התנועה, עקב פעולות ההפרדות וההתמזגות בין התנועה הממשיכה בדרך הממוחלפת לבין זרמי התנועה המשתמשים ברמפות היציאה או הכניסה, וכן עקב פעולות ההאטה או ההאצה המתלוות להן. יש לתכנן את אזור המחבר כך, שההפרעות והעיכובים שייגרמו לתנועה בדרך הממוחלפת, יהיו מועטים ככל האפשר. תהליך החישוב של הקיבולת, רמת השירות, הצפיפות והמהירות באזור המחבר, המוסבר להלן, מהווה בסיס לניתוח התפקודי של הזרימה באזור המחברים, ולקביעה האם נדרשים שינויים גיאומטריים באזורי המחברים במחלף משיקולי תפעול.

שיטת החישוב המוצגת להלן מתבססת על השיטה לחישוב קיבולת ורמות שירות של רמפות ומחברי-רמפות, המוצגת ב- HCM Highway Capacity Manual (HCM) האמריקני במהדורתו המעודכנת ל-1997, כפי שהותאמה לעקרונות התכן המוצגים בהנחיות אלה ולתנאי הארץ. (ההתאמה שבוצעה כוללת המרת המידות למטריות והתאמת המאפיינים הגיאומטריים והתפעוליים המופיעים ב-HCM למרכיבים המתאימים בהנחיות אלה. הניתוח התפעולי עצמו מבוסס על מודלים שכוללו לפי נתונים ממדינות אחרות עבור HCM, ושימוש בישראל עדיין לא אושש באמצעות תצפיות.) המושגים הבסיסיים בהם ייעשה שימוש בפרק זה הוגדרו והוסברו באופן מפורט בסעיף 3.1.2 בפרק 3 – "קיבולת ורמת שירות של דרכים בין-עירוניות", בכרך I של הנחיות אלה. המושגים הייחודיים למחברי רמפות יוסברו בהמשך הסעיף.

7.4.2 עקרונות השיטה לחישוב רמת השירות

השיטה לחישוב רמת השירות במחברי-רמפה מבוססת על קביעת רמת השירות באזור ההשפעה של המחבר, המוגדר להלן, על-פי צפיפות התנועה בתוכו ובסביבתו. הצפיפות מחושבת בעזרת נפחי התנועה ברמפה ובדרך העוברת, ואורך נתיב ההאטה או ההאצה, בהתאם למקרה. בעזרת החישוב ניתן להעריך את אופי זרימת התנועה במחברים, ולחזות משברים בזרימת התנועה.

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

		ה		ד		ג		ב		א	
בתחומי רמפות		כניסה - יציאה (השתררות)**		יציאה - כניסה		יציאה - יציאה		יציאה - כניסה			
מרווח מועדי בין מחברים עוקבים (L) במטרים*											
מחלף מערכת	מחלף גישה	כביש מאסף - מחלק		כביש מאסף - מחלק		כביש מאסף - מחלק		כביש מאסף - מחלק		כביש מאסף - מחלק	
		מחלף מערכת	מחלף גישה	זרד ממוחלפת	זרד ממוחלפת	זרד ממוחלפת	זרד ממוחלפת	זרד ממוחלפת	זרד ממוחלפת	זרד ממוחלפת	זרד ממוחלפת
300	250	550	350	175	150	300	350	350	300	300	300

* המידות נמדדות בין קודקודי האפים הצבעים ומבוססות על נסיון תפעולי ובטיחותי, לפני בדיקת רמות שירות ומאפייני זרימה.
 ** יש לחשב גם האורך הדרוש להשתררות, כמפורט פרק 8. המרחקים אינם מעשיים עבור לולאות.

ציור 7.6 מרווחים מזעריים בין מחברי רמפה עוקבים בדרך ממוחלפת

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

בהתאם להנחות המודל שבבסיס שיטת החישוב, עיקר ההשפעה התפעולית של המחבר, הן ביציאה והן בכניסה, היא יצירת תופעת "מערבולת" בשני הנתיבים ההמשכיים הימניים ביותר בדרך הממוחלפת, לאורך קטע שאורכו כ-450 מטר, כמתואר בציורים 7.7 ו-7.8. הקטע המושפע כולל בתוכו גם את נתיב ההאטה או ההאצה, לרבות לוכסן הקצה, ונמדד ביחס לקודקוד האף הצבוע שבמחבר היציאה או הכניסה, בהתאם למקרה, כמתואר בציורים הנ"ל.

תהליך החישוב מפורט בסעיף 7.4.3 להלן. לתהליך החישוב שלושה חלקים עיקריים:

- א. חישוב שיעור הזרימה הנכנס לאזור ההשפעה לפני המחבר בשני הנתיבים הימניים (V_{12}), כמתואר בציורים 7.7 ו-7.8). לשיעור זה השפעה מכרעת על אופי הזרימה בתוך האזור.
- ב. השוואת השיעור הכולל של הביקוש לזרימה בכניסה לאזור ההשפעה (בקצהו האחד), וביציאה ממנו (בקצהו השני), לרבות נפחי התנועה ברמפות, לערכי הקיבולת בנקודות אלה.
- ג. חישוב הצפיפות באזור ההשפעה וקביעת רמת השירות בהתבסס על הצפיפות; חישוב המהירות הממוצעת בתוך אזור ההשפעה.

7.4.3 שלבי תהליך החישוב המפורט לקביעת רמת השירות

תהליך החישוב המפורט המיועד לקביעת רמות השירות במחברי-רמפה חד-נתיביים יבוצע לפי השלבים הבאים:

- א. ריכוז הנתונים הגיאומטריים והתנועתיים לאזור המחבר וקביעת נפחי הביקוש, כמפורט בסעיף 7.4.4.
 - ב. המרת כל נפחי התנועה לשיעורי זרימה ביר"ם בתנאים אידיאליים, כמפורט בסעיף 7.4.5.
 - ג. חישוב הזרימה הנכנסת לאזור ההשפעה של המחבר, כמפורט בסעיף 7.4.6 עבור היפרדות, ובסעיף 7.4.7 עבור התמזגות.
 - ד. קביעת שיעורי הזרימה המגדירים את קיבולת אזור המחבר, והשוואתם לשיעורי הקיבולת התיאורטיים, כמפורט בסעיף 7.4.8.
 - ה. חישוב הצפיפות באזור ההשפעה, כמתואר בסעיף 7.4.9, קביעת רמת השירות באזור המחבר מתוך הצפיפות, כמתואר בסעיף 7.4.10, והשוואתה לרמת השירות לתכן המפורטת בסעיף 7.4.11.
 - ו. הערכת המהירות באזור ההשפעה, כמתואר בסעיף 7.4.12.
- תהליך החישוב המתאים לניתוח מחברי רמפות דו-נתיביים מוסבר בסעיפים 7.4.13 ו-7.4.14 בהמשך.

7.4.4 הנתונים הדרושים לחישוב רמת השירות

הנתונים הדרושים לצורך תהליך חישוב רמת השירות של מחברי רמפות הינם:

- א. נפחי התנועה השעתיים לתכן בדרך הממוחלפת (V_F) וברמפות (V_R) (ראה ציורים 7.7, 7.8).
- ב. הרכב התנועה בכל אחד מהנפחים, ומקדמי שעת השיא.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

- ג. מספר הנתיבים בדרך העוברת וברמפות, ורוחבם.
- ד. אורך נתיבי ההאטה וההאצה.
- ה. השיפועים לאורך הדרך העוברת והרמפה.
- ו. מהירויות הזרימה החופשית בדרך העוברת וברמפה.

7.4.5 המרת נפחים לשיעורי זרימה

כל החישובים במודל מבוצעים תוך שימוש בשיעורי הזרימה השעתיים ביר"ם, המחושבים עבור 15 דקות-השיא של השעה הנדונה (ראה הסבר המושגים התנועתיים בסעיף 3.1.2 בכרך I של ההנחיות). לשם כך, יש להמיר את כל נפחי התנועה השעתיים בדרך הממוחלפת וברמפות לשיעורי הזרימה המתאימים, בעזרת נוסחה 7.4:

$$V_{pc/h} = \frac{V_{veh/h}}{PHF \times f_{HV} \times f_w \times f_p} \quad [7.4]$$

- כאשר: $V_{pc/h}$ – שיעור הזרימה המירבי ב-15 דקות השיא, בתנאים אידיאליים, המבוטא ביר"ם לשעה.
- $V_{veh/h}$ – הנפח השעתי בכלי-רכב (מעורבים) בתנאים הנתונים.
- PHF – מקדם שעת השיא.
- f_w – מקדם הפחתה להשפעת רוחב הנתיב. ככלל, רוחב הנתיבים העוברים והנתיבים לשינוי מהירות בדרכים ממוחלפות לא יפחת מ-3.60 מטר, ולכן מקדם זה יהיה בדרך-כלל 1.0. למקרים אחרים ראה ב-HCM.
- f_p – מקדם הפחתה להשפעת ההרכב של אוכלוסיית הנהגים. כאשר האוכלוסייה האופיינית בשעות השיא היא יוממים, המקדם הוא 1.0. במקרים יוצאי-דופן של תנועת שיא של נהגים אקראיים וזרים לדרך (נופשים וכיו"ב) יהיה המקדם נמוך יותר, וינתן באופן ספציפי.
- f_{HV} – מקדם הפחתה להשפעת נוכחות הרכב הכבד. מקדם זה מחושב לפי נוסחה 7.5:

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_T \times (E_T - 1)} \quad [7.5]$$

- כאשר: P_T – אחוז כלל כלי-הרכב הכבדים (משקל כולל מעל 4 טון) בתנועה (לרבות אוטובוסים).
- E_T – מקדם היר"ם לרכב הכבד. הערכים שנקבעו בהנחיות אלה עבור מקדמי היר"ם לדרכים מהירות ודו-מסלוליות, הם:
 באזור משורי: 1.5 באזור גבעי: 3.0 באזור הררי: 6.0
 (הסיווג הטופוגרפי של האזור נקבע כמפורט בטבלה מס' 2.2 בכרך I של הנחיות אלה.) מקדמי היר"ם נקבעו תוך התחשבות בביצועי המשאיות והאוטובוסים האופייניים, בחלוקה האופיינית שלהם לקבוצות עומס, ובפיצול המקובל בין כלי-הרכב הריקים והעמוסים.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

7.4.6 הערכת הזרימה באזור ההשפעה בהפרדות (מחבר יציאה)

בהתקרבות לנתיב ההאטה המוליך לרמפת יציאה חד-נתיבית, מתרכזים בנתיב הימני כל כלי-הרכב המתוכננים לצאת לרמפה זו, בנוסף לנפח הממשיך ישר מנתיב זה. כתוצאה מכך, מכיל הנפח V_{12} בכניסה לאזור ההשפעה את כל הנפח היוצא ברמפה - V_R , כמתואר בציור 7.7. עקב כך, נוטים כלי-הרכב הממשיכים ישר לעבור לנתיבים השמאליים. לפי תהליך החישוב, יש לבצע חיזוי והערכה של שיעורי הזרימה, הנכנסים לשני הנתיבים הימניים, המהווים את אזור ההשפעה לפני נתיב ההאטה של מחבר היציאה, בעזרת המודל המתואר בנוסחה 7.6 (ראה ציור 7.7):

$$V_{12} = V_R + (V_F - V_R)P_{FD} \quad [7.6]$$

כאשר: V_{12}, V_R, V_F - כמוסבר בטבלה 7.1.
 P_{FD} - מקדם הפילוג: השיעור היחסי מתוך הנפח בדרך העוברת, אשר נשאר באזור ההשפעה שבשני הנתיבים הימניים לקראת המחבר, כמוסבר להלן.

מקדם P_{FD} תלוי במספר הנתיבים ההמשכיים, כמפורט בטבלה 7.1. (במסלול דו-נתיבי מהווים שני נתיבי אזור ההשפעה את רוחב כל המסלול, ולכן $P_{FD}=1.00$, דהיינו: $V_{12}=V_F$).

טבלה 7.1 ערכי מקדם הפילוג P_{FD} לחישוב V_{12} ביציאה חד-נתיבית

מקדם הפילוג P_{FD}	מס' הנתיבים במסלול אחד
$P_{FD} = 1.00; V_{12} = V_F$	2
$P_{FD} = 0.760 - 0.000025 V_F - 0.000046 V_R$	3 ללא רמפה סמוכה רמפת כניסה קודמת קרובה מ-1400 מטרים
$P_{FD} = 0.717 - 0.000039 V_F + 0.184 V_U/D_U$	
$P_{FD} = 0.616 - 0.000021 V_F + 0.0380 V_D/D_D$	
$P_{FD} = 0.436; V_{12} = 0.564 V_R + 0.436 V_F$	4
<p>הסבר המשתנים</p> <ul style="list-style-type: none"> - V_{12} שיעור הזרימה השעתי הנכנס לשני נתיבי אזור ההשפעה לפני נתיב ההאטה, ביר"ם. - V_F שיעור הזרימה השעתי הכולל בדרך הממוחלפת לפני המחבר, ביר"ם. - V_R שיעור הזרימה השעתי ברמפת היציאה, ביר"ם. - V_U שיעור הזרימה השעתי ברמפת הכניסה הקודמת, ביר"ם. - D_U המרחק בין קודקוד האף הצבוע ביציאה זו לקודקוד אף הכניסה הקודמת, במטרים. - V_D שיעור הזרימה השעתי ברמפת היציאה הבאה, ביר"ם. - D_D המרחק בין קודקודי האפים הצבועים של היציאות העוקבות, במטרים. 	

(1) מרחק זה אינו עומד בקריטריונים למרווחים מזעריים בין רמפות בדרכים ממוחלפות בהנחיות אלה, כפי שהם מוצגים בציור 7.6, ולכן מיועד לכבישים מאספים-מחלקים.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

7.4.7 הערכת הזרימה באזור ההשפעה בהתמזגות (מחבר כניסה)

באזור ההתמזגות של רמפת כניסה מצטרפים לדרך העוברת כלי-רכב המחפשים פערים להשתלבות בתנועה, תוך-כדי כניסה מנתיב ההאצה לנתיב הימני. עקב כך יש לנהגים בדרך העוברת נטייה לסטות לנתיבים השמאליים, כל עוד הקיבולת שלהם מאפשרת זאת. לפי תהליך החישוב, יש לבצע חיזוי והערכה של שיעורי הזרימה הנכנסים לשני הנתיבים הימניים במחבר הכניסה, בעזרת המודל המתואר בנוסחה 7.7 (ראה ציור 7.8):

$$V_{12} = V_F \times P_{FM} \quad [7.7]$$

כאשר: V_{12}, V_F – כמוסבר בטבלה 7.2.
 P_{FM} – מקדם הפילוג: השיעור היחסי מתוך הנפח בדרך הממוחלפת, אשר נשאר באזור ההשפעה שבשני הנתיבים הימניים לקראת המחבר, כמוסבר להלן.

מקדם P_{FM} תלוי במספר הנתיבים המשכיים, כמפורט בטבלה 7.2 (במסלול דו-נתיבי מהווים שני נתיבי אזור ההשפעה את רוחב כל המסלול, ולכן $P_{FM}=1.00$, דהיינו: $V_{12}=V_F$).

טבלה 7.2 ערכי מקדם הפילוג P_{FM} לחישוב V_{12} בכניסה חד-נתיבית

מקדם הפילוג P_{FM}	מס' הנתיבים במסלול אחד
$P_{FM} = 1.00 ; V_{12} = V_F$	2
$P_{FM} = 0.5775 + 0.000092 L_A$	3 ללא רמפת יציאה סמוכה רמפת יציאה קודמת קרובה מ-800 מטרים
$P_{FM} = 0.7289 - 0.0000135 (V_F+V_R) - 0.002048 S_{FR} + 0.000207 D_U$	
$P_{FM} = 0.5487 + 0.0801 V_D / D_D$	רמפת יציאה בהמשך קרובה מ-1800 מטרים
$P_{FM} = 0.2178 - 0.000125 V_R + 0.05887 L_A / S_{FR}$	4
הסבר המשתנים V_{12} – שיעור הזרימה השעתי הנכנס לשני נתיבי אזור ההשפעה לפני המחבר, ביר"ם. V_F – שיעור הזרימה השעתי הכולל בדרך לפני מחבר הכניסה, ביר"ם. L_A – אורך נתיב ההאצה, במטרים. V_R – שיעור הזרימה השעתי ברמפת הכניסה, ביר"ם. S_{FR} – מהירות הנסיעה החופשית ברמפה בכניסה לנתיב ההאצה, בקמ"ש D_U – המרחק בין קודקוד האף הצבוע בכניסה זו לקודקוד האף הצבוע ביציאה הקודמת, במטרים. V_D – שיעור הזרימה השעתי ברמפת היציאה הבאה, ביר"ם. D_D – המרחק בין קודקוד האף הצבוע בכניסה זו לקודקוד האף הצבוע ביציאה הבאה, במטרים.	

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

7.4.8 השוואת קיבולת המחבר לזרימה בגבולות אזור ההשפעה

שיעורי הזרימה הקיימים בכניסה לאזור ההשפעה וביציאה ממנו, משווים לקיבולת של אזור זה, כמפורט להלן:

א. מחבר יציאה (היפרדות)

השוואת הקיבולת של מחבר היציאה לביקוש המקביל לזרימה, מבוצעת בשני חתכי-גבול (ציור 7.7):

- 1) בכניסה לאזור ההשפעה – קיבולת הזרימה בכניסה לאזור ההשפעה בשני הנתיבים הימניים לפני נתיב ההאטה (מקסימום V_{12}), אינה תלויה במספר הנתיבים הכולל בדרך, כמתואר בטבלה 7.3; קיבולת זו משווית לשיעור הזרימה V_{12} המחושב בנוסחה 7.6 לעיל.
- 2) ביציאה מאזור ההשפעה – קיבולת סך הזרימות הממשיכות מעבר לאזור ההשפעה, בדרך הממוחלפת (על כל נתיביה) וברמפת היציאה [מקסימום $(V_{F0}+V_R)$ בטבלה 7.3], משווית לשיעור הזרימה V_F לפני המחבר, כמוגדר בציור 7.7.

ב. מחבר כניסה (התמזגות)

השוואת הקיבולת של מחבר הכניסה לביקוש המקביל לזרימה, מבוצעת בשני חתכי-גבול (ציור 7.8):

- 1) בכניסה לאזור ההשפעה – קיבולת הזרימה בכניסה לאזור ההשפעה, שרוחבו שני הנתיבים הימניים ונתיב ההאצה (מקסימום V_{R12} בטבלה 7.3), משווית לסך הזרימות בשני הנתיבים הימניים לפני המחבר (V_{12}) וברמפת הכניסה (V_R), דהיינו לשיעור הזרימה $V_{R12}=V_R+V_{12}$, לפי ההגדרות בציור 7.8, כאשר V_{12} מחושב בנוסחה 7.7 לעיל.
- 2) ביציאה מאזור ההשפעה – קיבולת הזרימה ביציאה מאזור ההשפעה, לרוחב כל המסלול (מקסימום V_{F0} בטבלה 7.3), משווית לשיעור הזרימה $V_{F0}=V_F+V_R$, לפי ההגדרות בציור 7.8.

טבלה 7.3 ערכי הקיבולת האידיאלית בגבולות אזור ההשפעה של היפרדות ושל התמזגות, ביר"ם לשעה

⁽²⁾ אזורי התמזגות		⁽¹⁾ אזורי היפרדות		מס' נתיבים המשכיים במסלול
מקס' V_{F0} ביציאה מהאזור	מקס' V_{R12} בכניסה לאזור	מקס' $(V_{F0}+V_R)$ ביציאה מהאזור	מקס' V_{12} בכניסה לאזור	
4400	4400	4400	4400	2
6900	4600	6900	4400	3
9200	4600	9200	4400	4

(1) הגדרת הנפחים ומקום מדידתם מתוארים בציור 7.7 בעמוד 7-22.

(2) הגדרת הנפחים ומקום מדידתם מתוארים בציור 7.8 בעמוד 7-22.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

כאשר הביקוש לזרימה באחד משני חתכי ההשוואה לכל מחבר גדול מהקיבולת שלו, המחבר אינו יכול לתפקד בזרימה יציבה, ומוגדר כמצוי ברמת שירות F, כהגדרתה בסעיף 7.4.10 להלן. במקרה זה יש לבדוק את מערך הניתוב בדרך ובמחלף, ולבצע שינויי ניתוב הכרחיים לתפקוד, כגון תוספת נתיבים המשכיים או נתיבי עזר.

7.4.9 חישוב הצפיפות באזורי ההשפעה

כאשר שיעורי הזרימה החזויים באזור ההשפעה של המחבר נמוכים מהקיבולת שלו, ניתן לחזות את רמת השירות הצפויה באזור המחבר מתוך קריטריון הצפיפות. הצפיפות מחושבת ביר"ס/ק"מ/נתיב, כאשר במספר הנתיבים נכללים גם נתיבי ההאטה או ההאצה. הגורמים המשפיעים על הצפיפות הם הנפחים בכניסה לאזור ההשפעה ברמפה, ואורך נתיבי ההאטה או ההאצה, כמפורט להלן. לעלייה באורך נתיבי ההאטה או ההאצה השפעה חשובה על הקטנת הצפיפות באזור המחבר. רמות השירות השונות מוגדרות בסעיף 7.4.10 ובטבלה 7.4.

א. חישוב הצפיפות במחבר יציאה, יבוצע לפי נוסחה 7.8:

$$D_R = 2.642 + 0.0053V_{12} - 0.0183L_D \quad [7.8]$$

כאשר: D_R – הצפיפות במחבר היציאה, יר"ס/ק"מ/נתיב.
 V_{12} – שיעור הזרימה השעתי הנכנס לאזור ההשפעה לפני נתיב ההאטה, ביר"ס, המחושב לפי נוסחה 7.6 לעיל.
 L_D – אורך נתיב ההאטה, במטרים.

ב. חישוב הצפיפות במחבר כניסה, יבוצע לפי נוסחה 7.9:

$$D_R = 3.402 + 0.00456V_R + 0.0048V_{12} - 0.01278L_A \quad [7.9]$$

כאשר: D_R – הצפיפות במחבר הכניסה, יר"ס/ק"מ/נתיב.
 V_R – שיעור הזרימה השעתי ברמפת הכניסה, ביר"ס.
 V_{12} – שיעור הזרימה השעתי הנכנס לאזור ההשפעה לפני המחבר, ביר"ס, המחושב לפי נוסחה 7.7 לעיל.
 L_A – אורך נתיב ההאצה, במטרים.

7.4.10 הגדרת הקריטריונים לרמות השירות באזור ההשפעה

הקריטריונים לרמות שירות באזור ההשפעה של המחבר מבוססים על הצפיפות המירבית המחושבת לנתיב באזור זה בזרימה יציבה, כקריטריון העיקרי, ועל המהירות המזערית המחושבת באזור ההשפעה, כקריטריון משני, ובהתאם לערכים המפורטים בטבלה 7.4.

הצפיפות המחושבת מתוך נוסחאות 7.8 או 7.9 לעיל תשווה לקריטריונים לרמות השירות בטבלה 7.4, לקבלת רמת השירות במחברי הרמפה.

רמות שירות A-E מייצגות זרימה יציבה, ואילו F מייצגת משבר בזרימה.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

ברמות שירות B-E, הצפיפויות המירביות באזור המחברים גבוהות מהצפיפויות המתאימות לאותן רמות שירות לאורך הדרך המהירה, והמהירויות המתאימות נמוכות יותר. זאת, בהתאם לציפיות הנהגים בהתקרבות לאזורי ניגוד בסמיכות למחלפים (לרמות-שירות בדרך מהירה ראה סעיף 3.4 בכרך I של ההנחיות במהדורתו המעודכנת)

טבלה 7.4 הקריטריונים לרמות השירות באזורי ההשפעה של מחברי רמפות

מהירות ממוצעת מזערית משוערת בקמ"ש (קריטריון משני)	צפיפות מירבית ביר"ם/ק"מ/נתיב (קריטריון עיקרי)	רמת שירות
93	6	A
90	12	B
84	17	C
74	22	D
68	>22	E
לא יציב	גודש	F

התנאים האופייניים לרמות השירות השונות במחברים הם:

רמת שירות A: זרימה חופשית. הצפיפות הנמוכה מאפשרת היפרדויות והתמזגויות ללא הפרעה לתנועה העוברת, תוך שימוש בפערים הקיימים, ללא הבדל במאפייני רמת השירות ביחס לשאר הדרך הממוחלפת.

רמת שירות B: פעולות ההיפרדות וההתמזגות מתחילות להיות מורגשות, מתחייבת התאמה של מהירויות, וישנה מידה מעטה של מערבולת. המהירות באזור ההשפעה יורדת מעט.

רמת שירות C: תנאי הנהיגה עדיין נוחים באופן יחסי, אך הפרעה באזור ההשפעה של המחברים מורגשת. כלי-הרכב מתחילים להתאים מהירויות כדי לאפשר היפרדויות והתמזגויות.

רמת שירות D: מערבולת התנועה הופכת מורגשת, וכל כלי-הרכב מאיטים כדי לאפשר היפרדויות והתמזגויות. ברמפות כניסה עמוסות עשויים להיווצר תורים, אך הזרימה בדרך הממוחלפת עדיין יציבה.

רמת שירות E: תנאי הזרימה קרובים לקיבולת. הזרימה צפופה, המהירויות נמוכות ונגרמת הפרעה לכל הנהגים. שינויים קטנים בביקוש והפרעות בזרימה, גורמים להיווצרות תורים מחזוריים של "עצור וסע" בדרך וברמפות.

רמת שירות F: כשל תפעולי, זרימה לא יציבה. נפח הביקוש לכניסה לקטע ההשפעה עולה על כושר השחרור של כלי-רכב מתוך הקטע. תורים נוצרים ומתארכים הן בדרך והן ברמפת הכניסה. ברמת שירות F לא ניתן לחזות או לחשב את הצפיפות והמהירות באופן אמין.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

7.4.11 רמות השירות לתכן

רמת השירות לתכן מחברי הרמפה, הן חד-נתיביים והן דו-נתיביים, **בדרכים מהירות היא:**

C – באזור בין-עירוני מובהק.

D – באזור פרברי ומטרופוליני, כהגדרתם בסעיף 3.6.2 לעיל.

הצפיפויות והמהירויות המתקבלות ברמות שירות אלה, מתאימות לתנאי הזרימה והגודש המקובלים לתכן דרכים מהירות באזורים אלה. **בשאר הדרכים הממוחלפות ובכבישים מאספים-מחלקים רמת השירות לתכן תהיה D.**

7.4.12 הערכת המהירות באזורי ההשפעה

הצפיפות היא הגורם הדומיננטי בקביעת רמת השירות, אך בעזרת המודלים המוצגים, ניתן לחזות גם את מהירות הנסיעה הממוצעת (במרחב) בתחומי אזור ההשפעה של המחבר. המהירות החזויה מדויקת ומובהקת פחות מהצפיפות, ולכן אינה משמשת כגורם עיקרי לקביעת רמת השירות, אלא כאשר הצפיפות איננה ידועה. המהירות המחושבת משמשת בעיקר כמידע שימושי נוסף להערכת הזרימה. בדומה לצפיפות, גם את המהירות ניתן לחזות רק אם רמת השירות איננה F.

א. המהירות החזויה במחברי יציאה מחושבת בנוסחה 7.10:

$$S_R = S_{FF} - (S_{FF} - 67.6)D_S \quad [7.10]$$

- כאשר: S_R – מהירות ממוצעת במחבר היציאה, בקמ"ש.
 S_{FF} – מהירות הזרימה החופשית בדרך, בקמ"ש (ראה הגדרת המהירות החופשית ואופן חישובה בסעיף 3.4.2 בכרך I של הנחיות אלה, במהדורתו המעודכנת).
 D_S – מקדם התאמה (חסר יחידות) להשפעת מהירות היציאה, המחושב בנוסחה 7.11:

$$D_S = 0.883 + 0.00009V_R - 0.008S_{FR} \quad [7.11]$$

- כאשר: V_R – שיעור הזרימה היוצא ברמפה (ציור 7.7), ביר"ם.
 S_{FR} – המהירות החופשית ברמפת היציאה, בקמ"ש.

ב. המהירות החזויה במחברי כניסה מחושבת בנוסחה 7.12:

$$S_R = S_{FF} - (S_{FF} - 67.6)M_S \quad [7.12]$$

- כאשר: S_R – מהירות ממוצעת במחבר הכניסה, בקמ"ש.
 S_{FF} – מהירות הזרימה החופשית בדרך, בקמ"ש.
 M_S – מקדם התאמה (חסר יחידות) להשפעת מהירות הכניסה, המחושב בנוסחה 7.13:

$$M_S = 0.321 + 0.0039e^{(V_{R12}/1000)} - 0.004(L_A S_{FR} / 1000) \quad [7.13]$$

- כאשר: V_{R12} – שיעור הזרימה הכולל בכניסה לאזור ההשפעה (ציור 7.8), ביר"ם.
 L_A – אורך נתיב ההאצה, במטרים.
 S_{FR} – המהירות החופשית ברמפת הכניסה, בקמ"ש.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

7.4.13 יישום החישוב במחברי יציאה דו-נתיביים

מחברי יציאה דו-נתיביים מיועדים להיפרדות של רמפה דו-נתיבית מהדרך הממוחלפת, ומתוכננים בהתאם לשיקולים ולכללים המפורטים בסעיף 6.4 בהנחיות. המחבר הדו-נתיבי יכול להוציא לרמפה שיעורי זרימה (V_R) כפולים מהמחבר החד-נתיבי, ולכן מסייע בשיפור הזרימה ובהקטנת הצפיפות באזור ההשפעה, ביחס למחבר החד-נתיבי. תהליך חישוב רמת השירות במחבר הדו-נתיבי יבוצע בהתאם למפורט ביחס למחבר החד-נתיבי בסעיפים 7.4.12 - 7.4.3 לעיל, בהבדלים המפורטים להלן:

א. **הערכת הזרימה הנכנסת לאזור ההשפעה** (ראה ציור 7.9) – בדומה למחברי-יציאה חד-נתיביים, מבוצעים החיזוי וההערכה של שיעורי הזרימה הנכנסים לשני הנתיבים הימניים במחבר היציאה (V_{12}) בעזרת נוסחה 7.6, בהתאם להגדרות המופיעות בסעיף 7.4.6 לעיל. מקדמי הפילוג בין הנתיבים – P_{FD} , המתאימים למחברים דו-נתיביים, שונים מהמקדמים למחברים החד-נתיביים הנתונים בטבלה 7.1, לפי הפירוט:

$$(1) \text{ במסלול דו-נתיבי } - P_{FD} = 1.00, \text{ ולכן } V_{12} = V_F$$

$$(2) \text{ במסלול תלת-נתיבי } - P_{FD} = 0.45, \text{ ולכן } V_{12} = 0.55V_R + 0.45V_F$$

$$(3) \text{ במסלול ארבע-נתיבי } - P_{FD} = 0.26, \text{ ולכן } V_{12} = 0.74V_R + 0.26V_F$$

ב. **ערכי הקיבולת בגבולות אזור ההשפעה** – זהים לערכים הנתונים למחברים חד-נתיביים בסעיף 7.4.8 א' לעיל ובטבלה 7.3.

ג. **חישוב הצפיפות במחבר היציאה** – מבוצע לפי נוסחה 7.8 לעיל, כאשר L_D – אורך נתיב ההאטה בנוסחה, הוא האורך הכולל מתחילת הלוכסן הקצר בכניסה לנתיב העזר ועד קודקוד אף היציאה הצבוע, כמתואר בציור 7.9. אורך אזור ההשפעה גדל, כמתואר בציור.

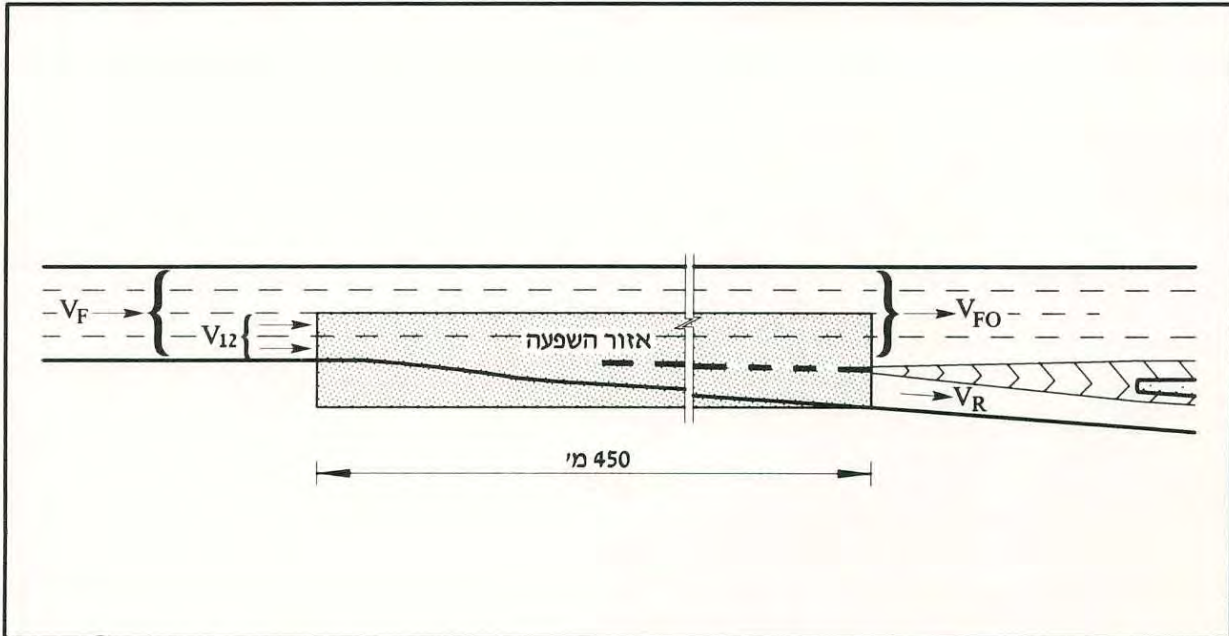
ד. **רמת השירות במחבר היציאה** – הקריטריונים לרמות השירות במחברים דו-נתיביים זהים לקריטריונים במחברים חד-נתיביים, המפורטים בסעיף 7.4.10 לעיל.

ה. **הערכת המהירות באזור ההשפעה** – מבוצעת ללא שינוי ביחס למוסבר עבור מחברי יציאה חד-נתיביים בנוסחה 7.10 לעיל.

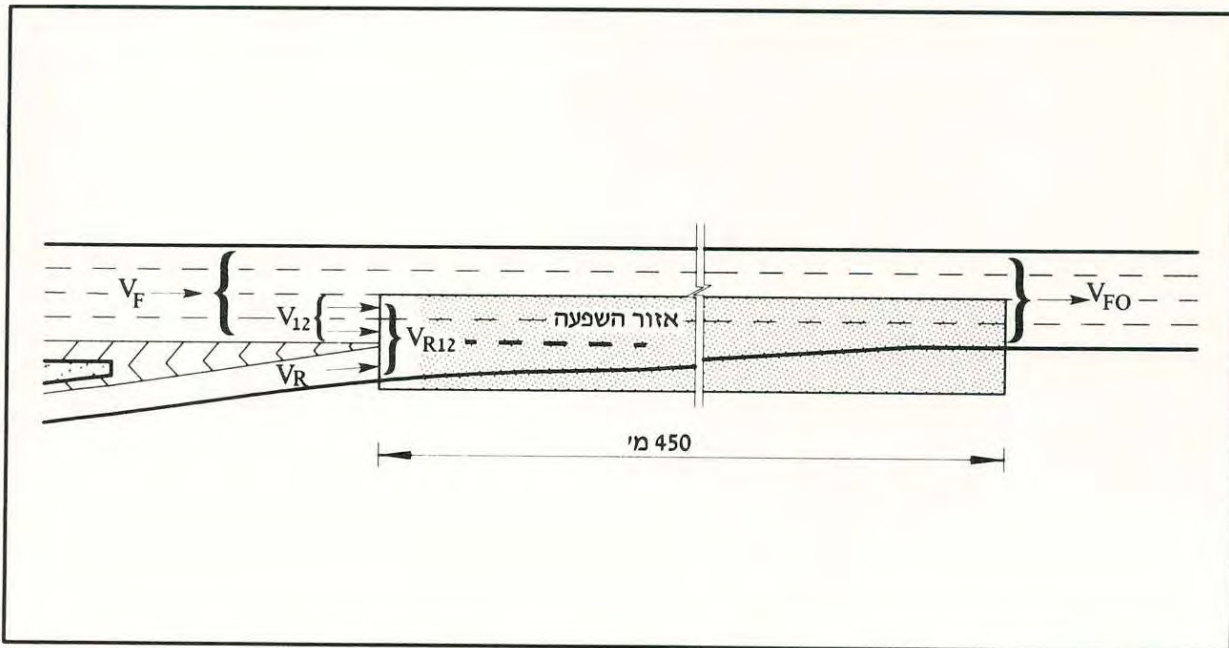
7.4.14 יישום החישוב במחברי כניסה דו-נתיביים

מחברי כניסה דו-נתיביים מיועדים להתמזגות של רמפה דו-נתיבית עם הדרך הממוחלפת, ומתוכננים בהתאם לשיקולים ולכללים המפורטים בסעיף 6.6 בהנחיות. כאשר אין צורך בתוספת נתיב המשכי בדרך הממוחלפת, יכול מחבר הכניסה שני נתיבי האצה מקבילים מדורגים, כמתואר בציור 7.10. ההבדלים העיקריים בתפעול מחברי כניסה דו-נתיביים לעומת חד-נתיביים הם בכך, שהמחבר הדו-נתיבי גורם להפרעה מועטה יותר לשני הנתיבים הימניים בדרך העוברת, ולכן ערכי V_{12} גבוהים יותר מאשר במחבר חד-נתיבי, והצפיפות הממוצעת באזור ההשפעה נמוכה יותר, בזכות האורך הכולל הגדול יותר של נתיבי ההאצה. כתוצאה מכך, מאפשר המחבר הדו-נתיבי התמזגות של שיעורי זרימה גדולים יותר מאשר

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 7.7 הגדרת אזור ההשפעה והנפחים הרלוונטיים במחבר יציאה (הפרדות) חד-נתיבי, לפי HCM 1997



ציור 7.8 הגדרת אזור ההשפעה והנפחים הרלוונטיים במחבר כניסה (התמזגות) חד-נתיבי, לפי HCM 1997

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

המחבר החד-נתיבי, תוך הפרעות פחותות לתנועה ושמירה על רמת שירות גבוהה יותר. תהליך חישוב רמת השירות במחבר הדו-נתיבי יבוצע בהתאם לתהליך המתואר למחבר החד-נתיבי בסעיפים 7.4.3 - 7.4.12 לעיל, בהבדלים המפורטים להלן:

א. **הערכת הזרימה הנכנסת לאזור ההשפעה** (ראה ציור 7.10) – בדומה למחברי-כניסה חד-נתיביים, מבוצעים החיזוי וההערכה של שיעורי הזרימה הנכנסים לשני הנתיבים הימניים במחבר הכניסה בעזרת נוסחה 7.7, בהתאם להגדרות המופיעות בסעיף 7.4.7 לעיל. מקדמי הפילוג בין הנתיבים – P_{FM} , המתאימים למחברים דו-נתיביים, שונים מהמקדמים למחברים החד-נתיביים הנתונים בטבלה 7.2, לפי הפירוט:

- (1) במסלול דו-נתיבי – $P_{FM} = 1.00$, ולכן $V_{12} = V_F$
- (2) במסלול תלת-נתיבי – $P_{FM} = 0.555$, ולכן $V_{12} = 0.555V_F$
- (3) במסלול ארבע-נתיבי – $P_{FM} = 0.2093$, ולכן $V_{12} = 0.2093V_F$

ב. **ערכי הקיבולת בגבולות אזור ההשפעה** – זהים לערכים הנתונים למחברים חד-נתיביים בסעיף 7.4.8 ב' לעיל ובטבלה 7.3.

ג. **חישוב הצפיפות במחבר הכניסה** – מבוצע לפי נוסחה 7.9 לעיל, כאשר L_A – אורך נתיב ההאצה בנוסחה, מחושב לפי "אורך אפקטיבי" L_{Aeff} , המבטא את קיומו של נתיב האצה כפול, כמתואר בציור 7.10, לפי הביטוי: $L_{Aeff} = 2L_{A1} + L_{A2}$, בהתאם להגדרות המתוארות בציור.

ד. **רמת השירות במחבר הכניסה** – הקריטריונים לרמות השירות במחברים דו-נתיביים זהים לקריטריונים במחברים חד-נתיביים, המפורטים בסעיף 7.4.10 לעיל.

ה. **הערכת המהירות באזור ההשפעה** – מבוצעת כמתואר ביחס למחברי כניסה חד-נתיביים בנוסחה 7.12 לעיל, כאשר L_A המצוי בנוסחה 7.13 עבור המקדם M_S , יוחלף ב- L_{Aeff} , המוסבר ב-ג' לעיל.

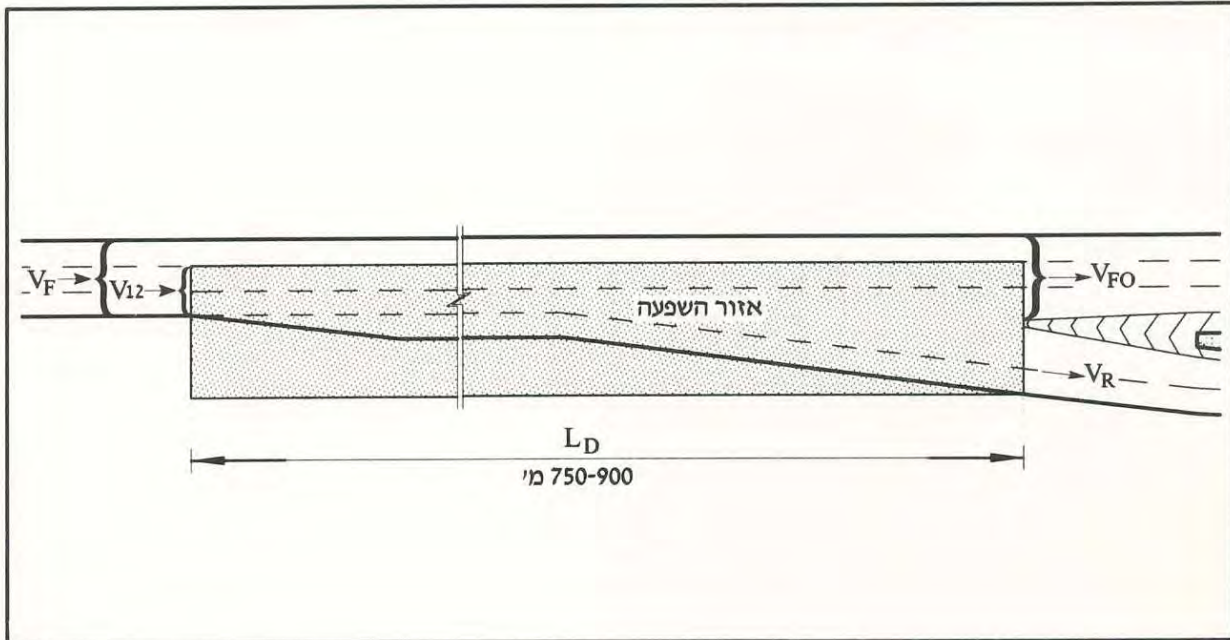
7.5 קיבולת של רמפות

מאפייני התפעול והזרימה על-גבי הרמפות שונים ממאפייני הזרימה בנתיבי הדרך העוברת, בגלל הגורמים הבאים:

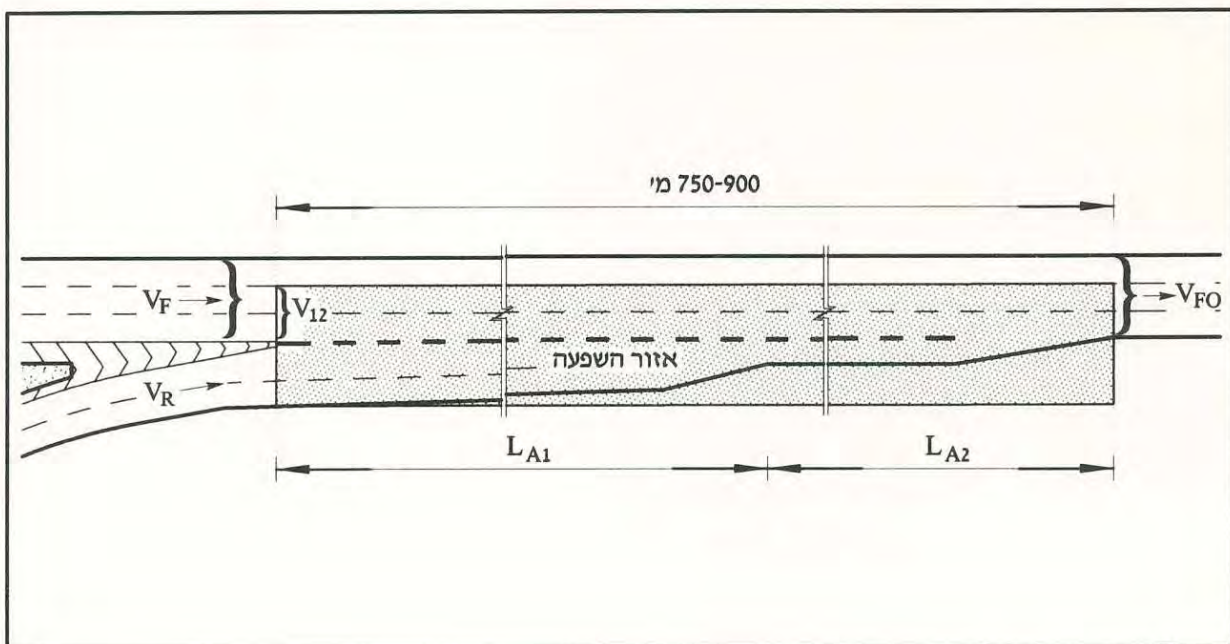
- לרמפות אורך מוגבל.
- לרמפות בדרך-כלל נתיב יחיד, לעתים שניים.
- המאפיינים הגיאומטריים של הרמפות מתוכננים לפי מהירויות תכן נמוכות.
- במקרים רבים המהירות משתנה לאורך הרמפה, ומבוצעות לאורכה פעולות האצה והאטה.
- בסופן של רמפות רבות יש מחבר לעצירה (צומת), המשפיע על המאפיינים התפעוליים לאורך הרמפה.

ערכים משוערים לקיבולת של רמפות נתונים בטבלה 7.5. למאפיינים הגיאומטריים של הרמפה, הקובעים את מהירות הזרימה החופשית בה, יש השפעה ניכרת גם על ערכי הקיבולת (ערכים אלה מבוססים על ממצאים ממדינות שונות, ועדיין לא כולו בישראל).

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 7.9 הגדרת המאפיינים במחבר יציאה דו-נתיבי, לפי HCM 1997



ציור 7.10 הגדרת המאפיינים במחבר כניסה דו-נתיבי, לפי HCM 1997

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

טבלה 7.5 ערכים משוערים לקיבולת רמפות

קיבולת ביר"ם לשעה		מהירות הזרימה החופשית ברמפה, בקמ"ש
רמפה דו-נתיבית	רמפה חד-נתיבית	
4400	2200	>80
4100	2100	65-80
3800	2000	50-64
3500	1900	35-49
3200	1800	<35

ערכי הקיבולת של הרמפה צריכים להיות מאוזנים עם ערכי הקיבולת של הדרך העוברת ושל אזור ההשפעה של המחבר עם הדרך הממוחלפת, הנתונים בסעיף 7.4.8 לעיל, כדי למנוע הפרעות בזרימת התנועה בדרך הממוחלפת עקב מגבלות בקיבולת הרמפה.

בשל האורך המוגבל של הרמפה, מיגוון הצורות ומהירויות התכן האפשריות, ובשל ההשפעה הגדולה של המחברים בשני קצות הרמפה, אין משמעות לקביעת קריטריונים לרמת-שירות לרמפה עצמה. חישובי רמת-השירות ייערכו רק למחברי הרמפה עם הדרך הממוחלפת, כמפורט בסעיף 7.4 לעיל, וכן למחברים בקצה השני של הרמפה, עם הדרך השנייה, בהתאם לסוג המחבר (מחבר זרימה כמפורט בסעיף 7.4 לעיל, או צומת כמפורט בפרק 11 של כרך II). מספר הנתיבים הדרוש ברמפה ייקבע כמפורט בסעיף 7.6 להלן.

7.6 מספר הנתיבים ברמפה ובמחברים

7.6.1 אפשרויות הניתוב ברמפות עם שני מחברי-זרימה

ברמפות שבשני קצותיהן מחברי-זרימה, מתקיימת אחת מבין שלוש האפשרויות המפורטות להלן לקשר בין מספר הנתיבים ברמפה, לבין מספר הנתיבים במחברים:

א. **רמפה דו-נתיבית בין מחברים דו-נתיביים** – הרמפה הדו-נתיבית עם מחברי-זרימה דו-נתיביים תינתן באחד מהמקרים הבאים: או כאשר דרושים שני נתיבים ברמפה עצמה משיקולי קיבולת הרמפה, או כאשר דרוש מחבר דו-נתיבי משיקולי קיבולת אזור ההשפעה של המחבר ורמת השירות בו, או משילוב של שתי הדרישות, כמפורט בסעיף 7.6.2 א' בהמשך.

ב. **רמפה דו-נתיבית בין מחברים חד-נתיביים** – הרמפה הדו-נתיבית עם מחברי-זרימה חד-נתיביים תינתן, כאשר הן קיבולת הרמפה והן קיבולת המחברים מאפשרים להסתפק בנתיב יחיד, והנתיב הנוסף ברמפה ניתן משיקולים של שיפור התפעול וזרימת התנועה ברמפה עצמה, כמפורט בסעיף 7.6.2 ב' בהמשך.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

ג. **רמפה חד-נתיבית בין מחברים חד-נתיביים** – בכל המקרים שאינם כלולים בסעיפים א' ו-ב' לעיל תהיה הרמפה חד-נתיבית, ותחובר לדרך הממוחלפת באמצעות מחברים חד-נתיביים.

7.6.2 הכללים לקביעת הניתוב ברמפות ובמחברי-זרימה

השיקולים המפורטים לקביעת מספר הנתיבים הנחוץ ברמפה ובמחברי-הזרימה במקרים א' ו-ב', בסעיף 7.6.1 לעיל, הם:

א. **רמפות דו-נתיביות, עם מחברים דו-נתיביים**

- (1) רמפה דו-נתיבית מיועדת לנפחי-תכן גדולים, המתקרבים לקיבולת של נתיב אחד או שעוברים אותה. כהערכה כללית, הנתוב השני ברמפה עצמה יידרש משיקולי קיבולת, כאשר נפחי התכן ברמפה יתקרבו ל-75% מקיבולת הרמפה באזור בין-עירוני, או לכ-90% מקיבולת הרמפה באזור פרברי, כהגדרתו בסעיף 3.6.2 בהנחיות. ערכי הקיבולת של הרמפה קשורים למאפייניה הגיאומטריים, ונתונים בסעיף 7.5 ובטבלה 7.5 לעיל. כאשר הנתוב הנוסף ברמפה דרוש משיקולים אלה, גם שני מחברי הרמפה צריכים להיות דו-נתיביים. במקרים בהם הנתוב השני ברמפה יידרש במהלך תקופת התכן, אולם לא מיד עם פתיחת הרמפה לתנועה, ניתן לפתוח את הרמפה, בשלב ביניים, כחד-נתיבית עם שני מחברים חד-נתיביים. יש להבטיח בתכנון, שבשלב הסופי תתאפשר הרחבת הרמפה והמחברים בו-זמנית.
 - (2) מחבר יציאה דו-נתיבי מיועד לאפשר יציאת נפחים גדולים מהדרך הממוחלפת, בהפרעות ועיכובים מועטים ככל האפשר לתנועה העוברת. אם רמת-השירות הצפויה במחבר חד-נתיבי, שתחושב לפי סעיף 7.4 לעיל, נמוכה מרמת השירות לתכן, המפורטת בסעיף 7.4.11, יש לשפר את רמת השירות באמצעות מעבר למחבר דו-נתיבי, בהתאם לאופן החישוב המפורט בסעיף 7.4.13. מחבר יציאה דו-נתיבי מחייב המשך ברמפה דו-נתיבית, למניעת יצירת גודש באזור המחבר.
 - (3) מחבר כניסה דו-נתיבי מיועד לאפשר השתלבות של נפחים גדולים בדרך הממוחלפת, בהפרעות ועיכובים מועטים ככל האפשר לתנועה בדרך זו. שיפור התפעול באזור מחבר הכניסה מיועד גם לשפר את זרימת התנועה ברמפה, ולמנוע היווצרות עיכובים ותורים לאורכה, לקראת ההתחברות לדרך הממוחלפת. אם רמת-השירות הצפויה במחבר החד-נתיבי, שתחושב לפי סעיף 7.4 לעיל, נמוכה מרמת השירות לתכן, המפורטת בסעיף 7.4.11, יש לשפר את רמת-השירות באמצעות מעבר למחבר דו-נתיבי, כמפורט בסעיף 7.4.14. הכניסה למחבר דו-נתיבי תבוצע משני נתיבים ברמפה, ולכן, אם הרמפה אינה דו-נתיבית לכל אורכה, יש להרחיבה לשני נתיבים 400 מטר לפני תחילת המחבר. ההרחבה תבוצע באמצעות תוספת נתיב ימני בעזרת היסט השפה הימנית של הכביש בשיעור של $1:0.5V_d$, כאשר V_d היא מהירות התכן של הרמפה, בקמ"ש.
- רמפות דו-נתיביות כאלה יהיו בדרך-כלל במחלפי מערכת, בעיקר ברמפות ישירות לפניות ימינה וברמפות ישירות-למחצה לפניות שמאלה, וכן במחלפי-גישה עיקריים, בעיקר ברמפות ישירות לפניות ימינה וברמפות לולאה לפניות שמאלה.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

ב. רמפות דו-נתיביות, עם מחברים חד-נתיביים

הנתיב הנוסף ברמפה יינתן ברמפה ארוכה (מעל 600 מטר), בעלת שני מחברי-זרימה (לולאה או רמפה ישירה-למחצה שמאלה), אשר נפחה אינו מצדיק שני נתיבים, אולם עקב מאפייניה הגיאומטריים תהיה מהירות המשאיות ברמפה נמוכה בלמעלה מ-20 קמ"ש ממהירות התכן של הרמפה. הנתיב הנוסף מיועד לאפשר עקיפה לאורך הרמפה. יש להתחיל את הנתיב הנוסף ברמפה רק מעבר לפגוש אף היציאה הפיזי בתוך הרמפה, כדי שלנהגים היוצאים מהדרך הממוחלפת יהיה ברור שהיציאה מהדרך הממוחלפת היא בנתיב יחיד, למניעת ניסיונות ליציאה דרך שטח האף הצבוע. לקראת מחבר הכניסה יתמזגו שני נתיבי הרמפה לנתיב יחיד לפני הגיעם לפגוש האף הפיזי של הכניסה. הנתיב שיתווסף ויושמט הוא הימני, בדומה לכללים שניתנו בתת-סעיף א.3) לעיל.

7.6.3 רמפות עם מחבר זרימה ומחבר עצירה

ברמפה עם מחבר זרימה אחד ומחבר עצירה אחד, מתפקד מחבר העצירה כזרוע של צומת. מספר הנתיבים ברמפה עצמה ובמחבר הזרימה ייקבע בהתאם לשיקולים המפורטים בסעיף 7.6.1 לעיל, ואילו הניתוב באזור המחבר לעצירה ייקבע במסגרת התכן הכולל של הסדרי התנועה בצומת, בהתאם לכללים המפורטים בכרך II של הנחיות אלה. כאשר במחבר לעצירה נדרש יותר מנתיב אחד, משיקולים של קיבולת אחסנה ואורך התור, ייתכן שהנתיבים הנוספים יידרשו לאורך חלק ניכר של הרמפה, למניעת היווצרות תורים שיגלשו לדרך הממוחלפת (בעיקר במחלפי יהלום או תלתן חלקי עמוסים). עקרונות תכן ייחודיים של אזור המחברים ואופן תוספת הנתיבים יפורטו בפרק 9 בהמשך ההנחיות, העוסק בסוגי המחלפים השונים.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פרק 8

השתזרויות במחלפים

תוכן עניינים

8-1	מבוא	8.1
8-2	השתזרויות בתחומי מחלף	8.2
8-4	השתזרות בין מחלפים	8.3
8-4	השתזרויות בכביש מאסף-מחלק	8.4
8-5	חישוב רמת השירות באזורי השתזרות	8.5
8-5	8.5.1 עקרונות השיטה לחישוב רמת השירות	
8-6	8.5.2 תהליך החישוב	
8-6	8.5.3 הנתונים הדרושים	
8-7	8.5.4 המרת נפחים לשיעורי זרימה	
8-7	8.5.5 בניית דיאגרמת ההשתזרות	
8-9	8.5.6 חישוב "מקדמי עוצמת ההשתזרות"	
8-9	8.5.7 חישוב מהירות התנועות	
8-10	8.5.8 בדיקת הנחת ההשתזרות הלא-מאולצת	
8-10	8.5.9 חישוב המהירות והצפיפות באזור ההשתזרות	
8-11	8.5.10 בדיקת תנאי הגבול	
8-11	8.5.11 הקריטריונים לרמות השירות באזורי השתזרות	
8-12	8.5.12 רמות השירות לתכן	

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פרק 8

השתזריות במחלפים

8.1 מבוא

השתזרות מוגדרת בתור ניגוד של התמזגות והפרדות בין שתי תנועות, אשר נוסעות באותו כיוון כללי, ומסלולי נסיעתן חייבים להיחתך תוך-כדי תנועה, ללא שימוש באמצעי בקרה. ההשתזרות נוצרת כאשר יציאה מהדרך הממוחלפת מצויה במרחק קצר לאחר כניסה לדרך הממוחלפת, ומקשר ביניהן נתיב-עזר רצוף. התנועה הנכנסת, אשר מתמזגת עם הדרך העוברת, יוצרת תהליך של השתזרות עם התנועה אשר נפרדת מהדרך העוברת במטרה לצאת ביציאה הסמוכה, כמתואר בציור 8.1. בהעדר נתיב-עזר המשכי יש התמזגות והפרדות סמוכות, אך ללא השתזרות.

קטע השתזרות גורם לתהליך אינטנסיבי של החלפת נתיבים, כאשר נהגים מתמרנים במטרה להגיע לנתיב ההכרחי לכיוון המשך נסיעתם. כתוצאה מכך, כלל התנועה בדרך באזור ההשתזרות מושפעת מהפרעות, שעשויות לעלות באופן ניכר על ההפרעות בשיעורי-זרימה דומים בקטעים רגילים באותה דרך. נפחים משתזרים גדולים יוצרים "חיכוך", שגורם לירידה במהירות הנסיעה של כלל התנועה בקטע. קיימת מגבלה לנפח התנועה שניתן להעביר בקטע השתזרות נתון, בטרם נוצר גודש ניכר. להשתזריות עשוי להיות גם היבט בטיחותי.

הגורמים המשפיעים על רמת השירות בקטע השתזרות ועל מאפייני התנועה של צפיפות ומהירות ממוצעת הכרוכים בה הם:

- אורך קטע השתזרות.
- מס' הנתיבים בקטע.
- נפח התנועה המשתזרת והיחס בינו לבין הנפח הלא-משתזר.
- מהירות הזרימה החופשית של התנועה מחוץ לקטע השתזרות.

ההשפעה על כלל התנועה באזור ההשתזרות משמעותית יותר, ככל שקטע ההשתזרות קצר יותר, או ככל שהיחס בין התנועה המשתזרת ללא-משתזרת גדול יותר, או ככל שמספר הנתיבים בקטע השתזרות קטן יותר.

הפרק הנוכחי מפרט את השיטה לחישוב רמת השירות באזורי השתזרות, כמפורט בסעיף 8.5, ואת עקרונות הפתרון התפעולי לאזורים אלה.

בדרכים ממוחלפות, קיימים שלושה אזורים אופייניים בהם ייתכן תהליך של השתזרות:

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

- א. **בתחומי מחלף**, בעיקר במחלפים בהם מבוצעות פניות באמצעות לולאות, כדוגמת מחלף עלה-תלתן מלא או חלקי חד-צדדי, מתקיימת השתזרות בקטע הקצר על הדרך הממוחלפת שבין הלולאה שנכנסת ללולאה שיוצאת – ראה הרחבה בסעיף 8.2 להלן.
- ב. **בין מחלפים סמוכים**, תיתכן השתזרות בקטע שבין מחבר הכניסה במחלף הראשון לבין מחבר היציאה במחלף השני, אם קיים ביניהם נתיב-עזר רצוף – ראה הרחבה בסעיף 8.3 להלן.
- ג. **בכבישים מאספים-מחלקים מקבילים לדרכים הממוחלפות, בתחומי המחלף או בין מחלפים סמוכים**, מרוכזות הכניסות והיציאות, הן ממסלולי הדרך הממוחלפת והן מהדרכים הנפגשות עמה. ההשתזרויות בין התנועות מתבצעות לאורך הכבישים המאספים-מחלקים – ראה הרחבה בסעיף 8.4 להלן (להגדרת המושגים העיקריים בנושא כבישים מאספים-מחלקים ראה סעיפים 2.2.4 ו-9.8.1 בהנחיות אלה).

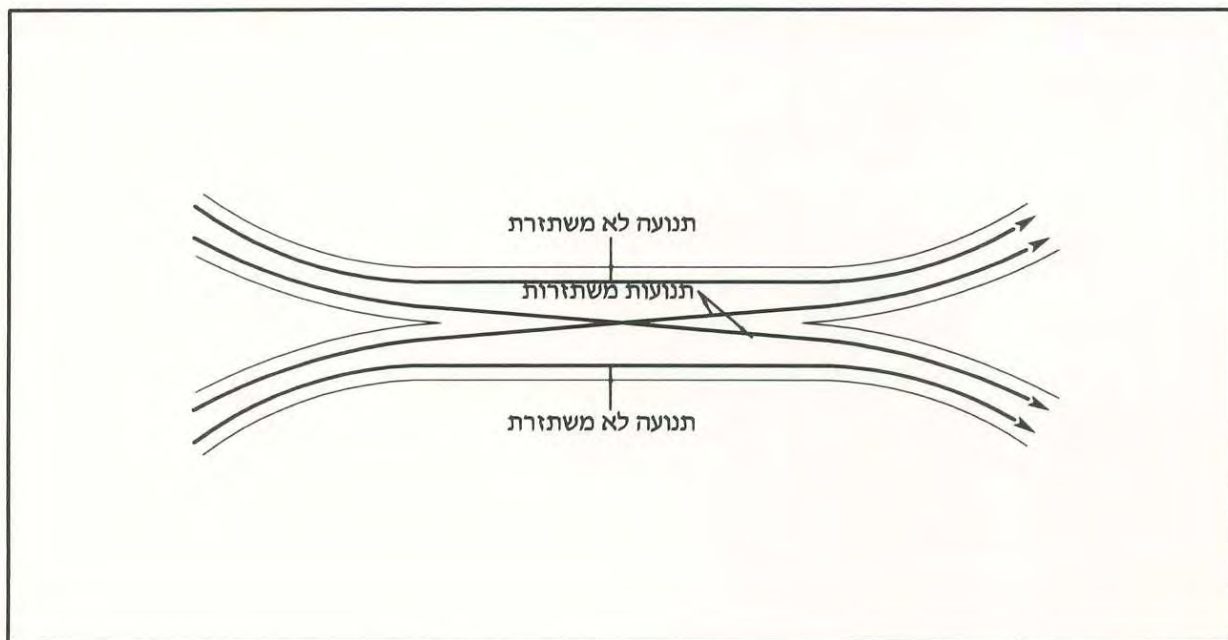
8.2 השתזרויות בתחומי מחלף

השתזרויות בתחומי מחלף נגרמות בעיקר עקב שימוש בלולאות במחלפים מסוג עלה-תלתן מלא או חלקי חד-צדדי, כמתואר בציור 8.2. המרחק בין לולאת הכניסה לבין לולאת היציאה שאחריה הוא בדרך-כלל קצר, ונקבע בעיקר על-ידי גיאומטריית המחלף, רדיוס הלולאות וכיוצא בזה. בשל המרחק הקצר בין הלולאות, יש לנפח המשתזר השפעה חזקה על רמת השירות בדרך הממוחלפת בתחומי המחלף, אשר יורדת במהירות עם העלייה בנפח המשתזר. הרחקת הלולאות זו מזו לקבלת מרחקי ההשתזרות ההכרחיים אינה מעשית, בגלל השטח הגדול של המחלף שיווצר, והיא סותרת את המדיניות בהנחיות אלה, המנסות לצמצם את שטח המחלפים במידת האפשר.

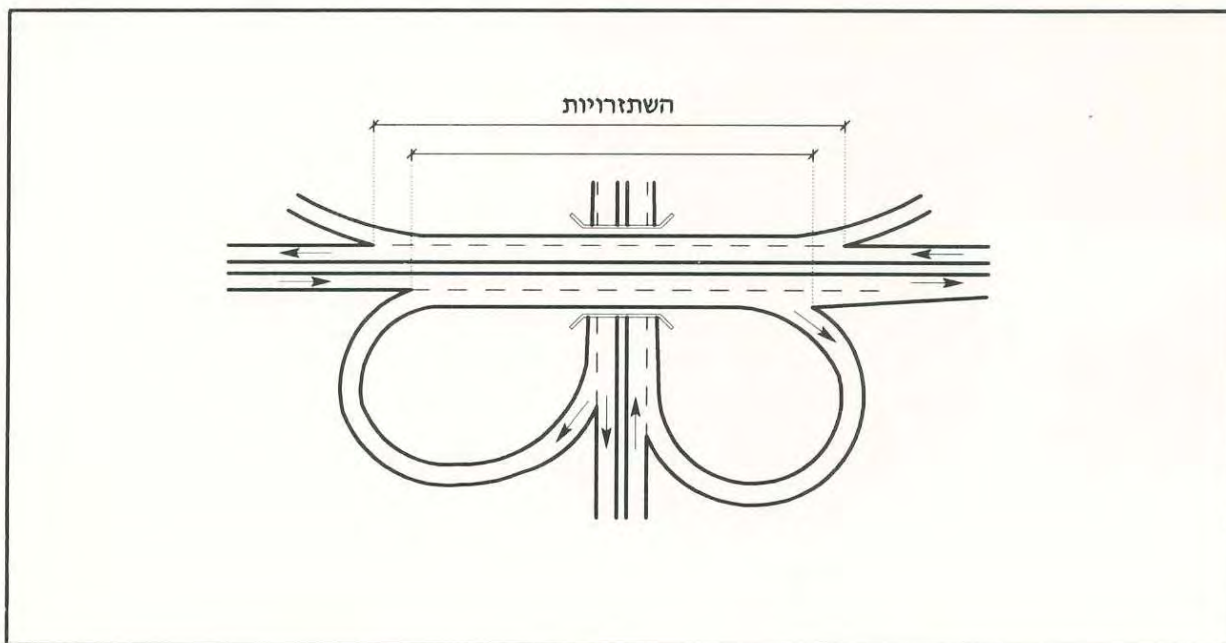
בדרכים ממוחלפות במלואן יש לשמור על הכלל של יציאה יחידה וכניסה יחידה במחלף, באמצעות כביש מאסף-מחלק בתחומי המחלף, שביצעו מוציא גם את כל ההשתזרויות במחלף מתחום המסלולים המרכזיים של הדרך הממוחלפת לתחום הכביש המאסף-מחלק, כמוסבר בסעיף 8.4 להלן, וכמתואר בציור 9.37 בפרק הבא. פתרון זה עולה בקנה אחד עם השיקולים המערכתיים בתכן מחלפים, כפי שפורטו בסעיף 3.4 בהנחיות. כאשר ביצוע כביש מאסף-מחלק אינו אפשרי עקב אילוצים הנדסיים או מערכתיים, יש לשקול הפרדה מפלסית בין התנועות המשתזרות באמצעות רמפות שזורות, כמתואר בציור 9.40 בפרק הבא.

השתזרויות בתחומי המחלף יאופשרו רק בדרך ממוחלפת שאינה מהירה, ובתנאי שרמת השירות באזור ההשתזרות לא תרד מהרמה שנקבעת בסעיף 8.5.12 להלן. אחרת, יש הכרח בכביש המאסף-מחלק בתחומי המחלף.

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 8.1 תאור עקרוני של השתזרות



ציור 8.2 קטעי השתזרות בתחומי מחלף עלה-תלתן

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

8.3 השתזרות בין מחלפים

להשתזרות בין מחלפים סמוכים עלולה להיות השפעה על תפעול הקטע שבין המחלפים, כאשר המרחק ביניהם קצר, ואם התמרונים הנדרשים לצורך ההשתזרות עולים באופן משמעותי על החלפות הנתבי המקובלות באזור המחברים במחלפים. המרחק המזערי בין מחלפים, כפי שצוין בסעיף 3.6 בהנחיות אלה, נקבע כתוצאה משורת שיקולים שביניהם זרימת תנועה ותפעול בין המחלפים, שיקולים מערכתיים, וכן הצורך בהצבת מערך תמרורי הדרכה ברור ומספק, כמפורט בסעיף 3.6.1.

המרחק המזערי בין מחלפי-גישה שנקבע בהנחיות אלה הוא 1.5 ק"מ בדרכים שאינן מהירות, ו-2 ק"מ בדרכים פרבריות מהירות בין-עירוניות (כהגדרתן בסעיף 3.6.2 בהנחיות הנוכחיות). כאמור, מרחק קטן יותר בין מחלפים אינו מאפשר תימרור הדרכה נאות, וכן אינו עולה בקנה אחד עם שאר הקריטריונים שנקבעו בסעיף 3.6 בהנחיות. המרחק המזערי הדרוש עונה גם לבעיית ההשתזרות. במרחק מזערי זה, אין להשתזרות השפעה משמעותית על רמת השירות באזור שבין המחלפים, היות ועיקר החלפות הנתבים יבוצעו בחצי הק"מ הסמוך למחברים, והניתוח התפעולי של הקטע בין המחלפים יבוצע לפי חישוב רמת השירות במחברי הכניסה והיציאה, כמפורט בסעיף 7.4 לעיל בהנחיות (הנחה זו מקובלת גם במקורות אחרים כדוגמת HCM). עם זאת, במקרים יוצאי-דופן ייתכנו אילוצים הנדסיים ומערכתיים, שיחייבו מרחק קטן יותר בין כניסה לדרך הממוחלפת לבין יציאה עוקבת מהדרך, שאינו עומד בקריטריונים שנקבעו בהנחיות אלה. כתוצאה מכך עשויות להיגרם השתזרויות במרחקים קטנים לאורך הדרך הממוחלפת, שישפיעו באופן משמעותי על תפעול הקטע, ושלא ניתן לפתור אותן באמצעים גיאומטריים ותפעוליים אחרים. אם אורך קטע ההשתזרות הנוצר (הנמדד בין קודקודי האפים הצבועים) עולה על 800 מטר, ינותח התפעול של הקטע כמוסבר ביחס למחברי-רמפה בסעיף 7.4 לעיל בהנחיות. אם אורך ההשתזרות אינו עולה על 800 מטרים, ינותח תפעול הקטע כמפורט בסעיף 8.5 בהמשך הפרק. ראה גם סעיף 8.4 להלן.

8.4 השתזרויות בכביש מאסף-מחלק

לכביש מאסף-מחלק בתחומי המחלף, כמתואר בציור 9.37 בפרק הבא, שתי מטרות: (א) צמצום מספר הכניסות והיציאות מהדרך הממוחלפת לכניסה אחת ויציאה אחת בלבד במחלף ו-(ב) העברת כל ההשתזרויות לתחומי הכביש המאסף-מחלק. בקטע האמצעי של כביש זה (באזור הלולאות בציור 9.37), כל התנועה היא תנועה משתזרת. הניתוח התפעולי של קטע ההשתזרות בכביש יבוצע כמפורט בסעיף 8.5 בהמשך.

כביש מאסף-מחלק שמטרתו ריכוז ההשתזרויות יינתן בכל מחלף בדרך מהירה או ממוחלפת במלואה, שעקב תצורתו קיים בו הצורך בהשתזרות, וכן בדרכים ממוחלפות אחרות בהתאם לרמת-השירות במחלף, כמפורט בסעיפים 8.5.11 ו-8.5.12 להלן. באמצעות כביש מאסף-מחלק ניתן לגשר גם בין מחלפים סמוכים, לצמצם את מספר ההתחברויות לדרך הממוחלפת ולמנוע קטעי השתזרות בין המחלפים. כאשר כל הכניסות והיציאות לכביש המאסף-מחלק הן מימינו, ינותח התפעול של קטעי ההשתזרות לאורכו כמפורט בסעיף 8.5 להלן. בכביש מאסף-מחלק הנמשך על-פני מספר מחלפים, ייתכנו

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

גם כניסות ויציאות משמאלו, ובמקרה זה עשויות להיות השתזרות דו-צדדיות. לפרטים נוספים וניתוח תפעול בתנאים אלה ראה פרק 4 ב-Highway Capacity Manual, מהדורת 1997, בהתייחס לתצורה C. להנחיות מפורטות לתכנן כבישים מאספים-מחלקים ראה סעיף 9.8 בהמשך ההנחיות.

8.5 חישוב רמת השירות באזורי השתזרות

8.5.1 עקרונות השיטה לחישוב רמת השירות

שיטת החישוב המוצגת כאן מתבססת על השיטה לחישוב רמות שירות באזורי השתזרות, המוצגת בפרק 4 ב-Highway Capacity Manual (HCM) האמריקאי במהדורתו המעודכנת ל-1997, כפי שהותאמה לעקרונות התכנן המוצגים בהנחיות אלה ולתנאי הארץ. (ההתאמה שבוצעה כוללת המרת המידות למטריות והתאמת המאפיינים הגיאומטריים והתפעוליים המופיעים ב-HCM למרכיבים המתאימים בהנחיות אלה. תהליך החישוב עצמו מבוסס על מודלים שכוללו לפי נתונים ממדינות אחרות עבור HCM, ושימוש בישראל עדיין לא אושש באמצעות תצפיות.) המושגים הבסיסיים בהם ייעשה שימוש בפרק זה הוגדרו והוסברו באופן מפורט בסעיף 3.1.2 בפרק 3 – "קיבולת ורמת שירות של דרכים בין-עירוניות", בכרך I של הנחיות אלה. המושגים הייחודיים לאזורי השתזרות יוסברו במהלך סעיף זה.

החישוב המוצג מבוסס על קביעת רמת השירות באזור השתזרות על-פי הצפיפות הממוצעת לנתיב ביר"ם. הצפיפות עצמה נקבעת באמצעות חישוב של ממוצע הרמוני (משוקלל) של המהירויות הממוצעות במרחב של הזרם המשתזר ושל הזרם הלא-משתזר, כמפורט בסעיף 8.5.9 להלן.

מהירויות הזרם המשתזר והזרם שאינו משתזר, מחושבות באמצעות השפעת "מקדם עוצמת ההשתזרות" על מהירות הזרימה החופשית. מקדם עוצמת ההשתזרות מודד את פעילות ההשתזרות ועצמתה. המקדם מושפע מהחלק היחסי של התנועה המשתזרת מכלל התנועה, מהנפח הכולל, ממספר הנתיבים באזור ההשתזרות ומאורך קטע ההשתזרות, ומחושב בעזרת נוסחאות של מכפלות מעריכיות, תוך שימוש במקדמים שונים לתנועה משתזרת ולתנועה שאינה משתזרת, כמתואר בסעיף 8.5.6 להלן.

ליישום שיטת החישוב המוצגת, שלוש הנחות יסוד:

- א. התהליך המפורט להלן חל רק על תהליכי השתזרות שבהם כל התנועות המשתזרות חייבות לבצע החלפת נתיב אחת, כמתואר בציור 8.3. כתוצאה מהגדרה זו, תצורת קטע ההשתזרות חייבת לכלול נתיב-עזר רצוף, המחבר בין מחבר הכניסה למחבר היציאה, כמתואר בציור. תצורות אחרות יש לנתח כמוסבר בפרק 4 ב-HCM.
- ב. מחברי שתי הרמפות חד-נתיביים בלבד, בהתאם לתצורה A המופיעה ב-HCM ומוצגת בציור 8.3. למחברים דו-נתיביים יש ליישם שינויים בדרך החישוב המוסברים בפרק 4 ב-HCM לתצורה B.
- ג. השיטה מתאימה לחישוב התפעול של קטע השתזרות, שאורכו, הנמדד בין קודקודי אפים צבועים, אינו עולה על 600 - 800 מטר, בהתאם לתצורת ההשתזרות (בתצורה A המוסברת בפירוט בסעיף זה, האורך הוא 600 מטר, כמתואר בציור 8.3. בתצורות אחרות, המוצגות בפרק 4 ב-HCM, האורך מגיע

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

עד 800 מטר). מעבר לאורך זה יש לעבור לחישוב רמת השירות במחבר הכניסה לחוד ובמחבר היציאה לחוד, לפי הנוהל המפורט בסעיף 7.4 לעיל – "קיבולת ורמת שירות במחברי רמפות".

8.5.2 תהליך החישוב

לתהליך החישוב לקביעת רמת השירות באזורי השתזרות שלושה שלבים עיקריים:

- א. חישוב המהירויות הנפרדות של הזרם המשתזר והלא-משתזר.
- ב. בדיקה האם תפעול אזור ההשתזרות מאולץ או שאינו מאולץ, ותיקון המהירויות בהתאם לצורך.
- ג. חישוב המהירות הממוצעת המשוקללת באזור ההשתזרות, חישוב הצפיפות בעזרת המהירות, וקביעת רמת השירות בהתבסס על הצפיפות.

התהליך המלא לחישוב רמת השירות באזור ההשתזרות, מבוצע כמפורט בסעיפים הבאים:

- א. קביעת הנפחים המשתזרים והלא-משתזרים ביר"ם, כמפורט בסעיפים 8.5.4 - 8.5.5.
- ב. חישוב מהירויות הזרם המשתזר והלא-משתזר בעזרת מקדמי עוצמת ההשתזרות, בהנחה שהתפעול אינו מאולץ, כמתואר בסעיפים 8.5.6 ו-8.5.7.
- ג. בדיקת ההנחה בדבר ההשתזרות הבלתי מאולצת, כמפורט בסעיף 8.5.8 (ההשתזרות היא מאולצת כאשר כלי-הרכב המשתזרים מוגבלים לשימוש במספר נתיבים קטן יותר מאשר דרוש לתפעול מאוזן של הקטע). הבדיקה מבוצעת באמצעות חישוב מספר הנתיבים הדרושים לביצוע השתזרות לא מאולצת, אשר משקלל את השפעות מספר הנתיבים, יחס הנפחים, אורך קטע ההשתזרות ומהירות הזרם המשתזר. אם מספר הנתיבים המתקבל גדול מערך מירבי שנקבע בקריטריונים המפורטים בסעיף 8.5.8, ההשתזרות תהיה מאולצת.
- ד. אם ההשתזרות מאולצת, יש לחשב מחדש את מהירויות הזרם המשתזר והלא-משתזר. ככל שהתפעול מאולץ יותר, יגדל הפרש המהירויות בין הזרם המשתזר ללא-משתזר.
- ה. חישוב המהירות הממוצעת במרחב (ממוצע הרמוני) של כלל התנועה בקטע ההשתזרות, כמפורט בסעיף 8.5.9.
- ו. בדיקת עמידה בתנאי הגבול המוכתבים, לבדיקת אמינות רמת השירות החזויה, כמפורט בסעיף 8.5.10.
- ז. חישוב הצפיפות בקטע ההשתזרות ובדיקת רמת השירות, כמפורט בסעיף 8.5.11, והשוואתה לרמת השירות לתכן, כמפורט בסעיף 8.5.12.

8.5.3 הנתונים הדרושים

הנתונים הדרושים לצורך תהליך חישוב רמת השירות של אזורי השתזרות הינם:

- א. נפחי התנועה השעתיים לתכן בדרך הממוחלפת וברמפות.
- ב. הרכב התנועה בכל אחד מהנפחים, ומקדמי שעת-השיא.
- ג. מספר הנתיבים בדרך העוברת באזור ההשתזרות, לרבות נתיב-עזר.

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

- ד. אורך קטע ההשתזרות.
 ה. שיפועים אורכיים בדרך העוברת וברמפה.
 ו. מהירויות הזרימה החופשית בדרך העוברת וברמפה.

8.5.4 המרת נפחים לשיעורי זרימה

כל החישובים במודל מבוצעים תוך שימוש בשיעורי הזרימה השעתיים ביר"ם, המחושבים עבור 15 דקות השיא של השעה הנדונה (ראה הסבר המושגים התנועתיים בסעיף 3.1.2 בכרך I של ההנחיות). לשם כך, יש להמיר את כל נפחי התנועה השעתיים בדרך הממוחלפת וברמפות לשיעורי הזרימה המתאימים, בעזרת נוסחה [8.1]:

$$V_{pc/h} = \frac{V_{veh/h}}{PHF \times f_{HV} \times f_p} \quad [8.1]$$

- כאשר: $V_{pc/h}$ – שיעור הזרימה המירבי ב-15 דקות השיא, בתנאים אידיאליים, המבוטא ביר"ם לשעה.
 $V_{veh/h}$ – הנפח השעתי בכלי-רכב (מעורבים) בתנאים הנתונים.
 PHF – מקדם שעת השיא.
 f_p – מקדם הפחתה להשפעת ההרכב של אוכלוסיית הנהגים. כאשר האוכלוסייה האופיינית בשעות השיא היא יוממים, המקדם הוא 1.0. במקרים יוצאי-דופן של תנועת שיא של נהגים אקראיים וזרים לדרך (נופשים וכיו"ב) יהיה המקדם נמוך יותר, ויינתן באופן ספציפי.
 f_{HV} – מקדם הפחתה להשפעת נוכחות הרכב הכבד. מקדם זה מחושב לפי נוסחה [8.2]:

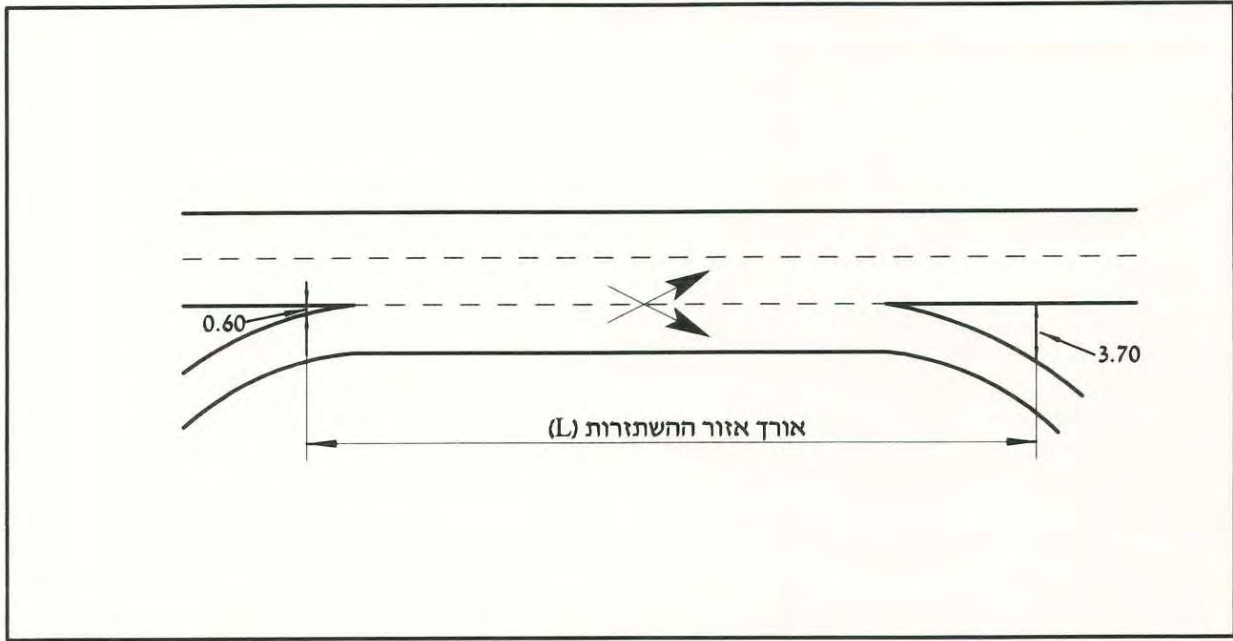
$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_T \times (E_T - 1)} \quad [8.2]$$

- כאשר: P_T – אחוז כלל כלי-הרכב הכבדים (משקל כולל מעל 4 טון) בתנועה (לרבות אוטובוסים).
 E_T – מקדם היר"ם לרכב הכבד. הערכים שנקבעו בהנחיות אלה עבור מקדמי היר"ם לדרכים מהירות ודו-מסלוליות, הם:
 באזור מישורי: 1.5 באזור גבעי: 3.0 באזור הררי: 6.0
 (הסיווג הטופוגרפי של האזור נקבע כמפורט בטבלה מס' 2.2 בכרך I של הנחיות אלה.) מקדמי היר"ם נקבעו תוך התחשבות בביצועי המשאיות והאוטובוסים האופייניים, בחלוקה האופיינית שלהם לקבוצות עומס, ובפיצול המקובל בין כלי-הרכב הריקים והעמוסים.

8.5.5 בניית דיאגרמת ההשתזרות

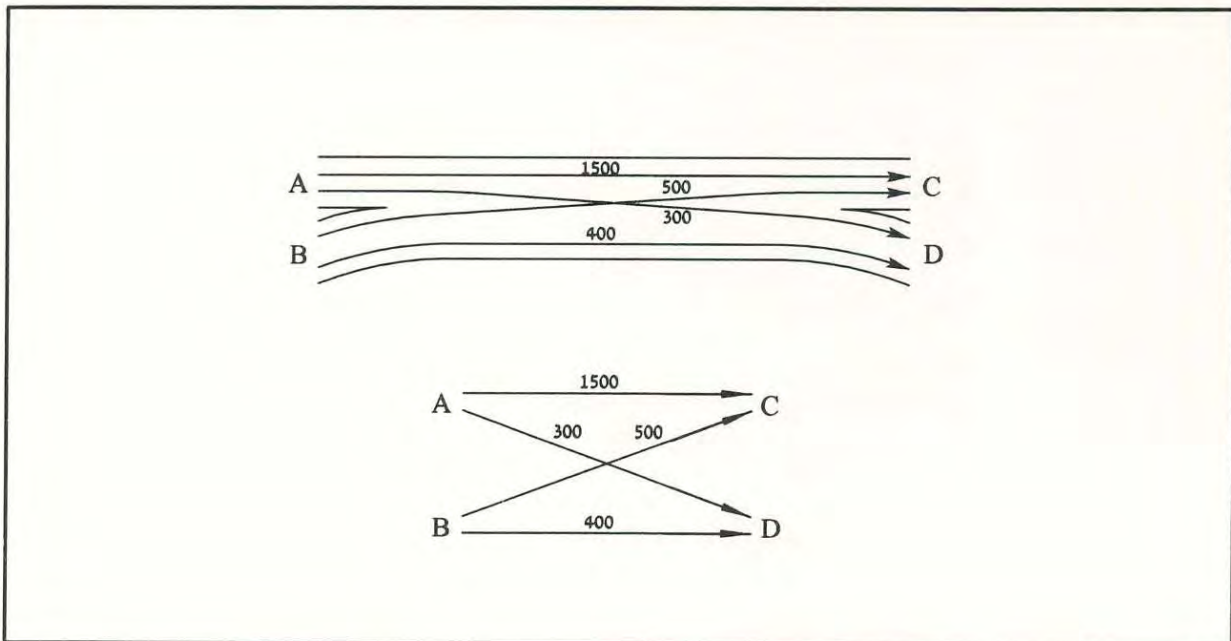
דיאגרמת ההשתזרות מתוארת בציור 8.4. דיאגרמה זו מתארת את שיעורי הזרימה באזור ההשתזרות לפי חלוקה לתנועות משתזרות ולא-משתזרות.

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



תצורה A של אזור השתזרות לחישוב רמת השירות והגדרת אורכו, על-פי HCM (1997)

ציור 8.3



דוגמא ליצירת דיאגרמת השתזרות, על-פי HCM (1997)

ציור 8.4

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

8.5.6 חישוב "מקדמי עוצמת ההשתזרות"

מקדמי עוצמת ההשתזרות מבטאים את רמת פעילות ההשתזרות בקטע, ומשמשים לחישוב מהירויות הזרם המשתזר והלא-משתזר, כמפורט בהמשך. קיימות ארבע נוסחאות חישוב: [8.3] ו-[8.4] עבור מצב בלתי-מאולץ, [8.5] ו-[8.6], עבור מצב מאולץ. מבין שתי הנוסחאות לכל מצב, אחת מיועדת לתנועה משתזרת, והשנייה מיועדת לתנועה שאינה משתזרת, כמפורט:

$$W_w = \frac{0.776 \times (1 + VR)^{2.2} \times (v/N)^{1.0}}{10L^{0.9}} \quad \text{מצב לא מאולץ, תנועה משתזרת} \quad [8.3]$$

$$W_{nw} = \frac{0.061 \times (1 + VR)^{4.0} \times (v/N)^{1.3}}{10L^{1.0}} \quad \text{מצב לא מאולץ, תנועה שאינה משתזרת} \quad [8.4]$$

$$W_w = \frac{0.961 \times (1 + VR)^{2.2} \times (v/N)^{1.0}}{10L^{0.9}} \quad \text{מצב מאולץ, תנועה משתזרת} \quad [8.5]$$

$$W_{nw} = \frac{0.098 \times (1 + VR)^{4.0} \times (v/N)^{0.88}}{10L^{0.6}} \quad \text{מצב מאולץ, תנועה שאינה משתזרת} \quad [8.6]$$

- כאשר: W_w – מקדם עוצמת ההשתזרות לתנועה משתזרת.
 W_{nw} – מקדם עוצמת ההשתזרות לתנועה שאינה משתזרת.
 VR – החלק היחסי של הזרימה המשתזרת מכלל הזרימה בקטע, ביר"ם.
 v – שיעור הזרימה הכולל באזור ההשתזרות, ביר"ם.
 N – מספר הנתיבים באזור ההשתזרות (לרבות נתיב עזר רצוף).
 L – אורך אזור ההשתזרות במטרים, כמסומן בציור 8.3.

כאמור, בשלב הראשון ייעשה שימוש רק בנוסחאות המצב שאינו מאולץ – נוסחאות [8.3] ו-[8.4]. אם יתברר שההשתזרות מאולצת, כמתואר בסעיף 8.5.8 להלן, יחושבו המקדמים מחדש לפי נוסחאות [8.5] ו-[8.6].

8.5.7 חישוב מהירות התנועות

המהירויות של זרם התנועה המשתזר וזרם התנועה הלא-משתזר מחושבות, בשלב הראשון, בהנחה שהתנועה איננה מאולצת, לפי נוסחה [8.7]:

$$S_i = 24 + \frac{S_{FF} - 16}{1 + W_i} \quad [8.7]$$

- כאשר: S_i – מהירות זרם התנועה (משתזרת או לא משתזרת), בקמ"ש.
 S_{FF} – מהירות הזרימה החופשית בדרך המהירה בין מחלפים, בקמ"ש, כהגדרתה בסעיף 3.4.2 בכרך I של ההנחיות במהדורתו המעודכנת.
 W_i – מקדם עוצמת ההשתזרות לתנועה המתאימה במצב לא מאולץ, מנוסחאות [8.3] או [8.4] לעיל.

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

8.5.8 בדיקת הנחת ההשתזרות הלא-מאולצת

א. בדיקת ההנחה בדבר השתזרות בלתי מאולצת נעשית באמצעות חישוב מספר הנתיבים הדרוש להשתזרות, המתקבל מנוסחה [8.8]:

$$N_w = \frac{1.21 \times N \times (VR)^{0.571} \times (L)^{0.234}}{S_w^{0.438}} \quad [8.8]$$

- כאשר: N_w – מספר הנתיבים הדרושים לתנועה המשתזרת, כדי להגיע לתפעול מאוזן של קטע ההשתזרות (לרבות נתיב העזר).
 S_w – מהירות זרם התנועה המשתזרת, מנוסחה [8.7] לעיל.
 N, VR, L – כהגדרתם בסעיף 8.5.6 לעיל.

ב. כאשר $N_w > 1.4$, ההשתזרות מאולצת, ויש לחשב מחדש את מהירויות הזרם המשתזר והלא-משתזר, לפי נוסחאות [8.5] ו-[8.6] בסעיף 8.5.6 לעיל (לתצורות השתזרות אחרות N_w שונה ויש להיעזר ב-HCM).

8.5.9 חישוב המהירות והצפיפות באזור ההשתזרות

הניתוח מבוסס על קביעת רמת השירות באזור ההשתזרות על-פי הצפיפות הממוצעת לנתיב ביר"ם. הצפיפות עצמה נקבעת באמצעות חישוב של ממוצע הרמוני (משוקלל) של המהירויות הממוצעות במרחב של הזרם המשתזר ושל הזרם הלא-משתזר, לפי נוסחה [8.9]:

$$D = \frac{v/N}{S} \quad [8.9]$$

- כאשר: D – הצפיפות הממוצעת בכל הנתיבים באזור ההשתזרות (לרבות נתיב-העזר), ביר"ם/ק"מ/נתיב.
 v – שיעור הזרימה הכולל באזור ההשתזרות, ביר"ם.
 N – מספר הנתיבים באזור ההשתזרות (לרבות נתיב-עזר רצוף).
 S – מהירות ממוצעת במרחב (משוקללת בממוצע הרמוני) באזור ההשתזרות, בקמ"ש, המחושבת לפי נוסחה [8.10]:

$$S = \frac{v_w + v_{nw}}{(v_w/S_w) + (v_{nw}/S_{nw})} \quad [8.10]$$

- כאשר: v_w – שיעור הזרימה השעתי המשתזר, ביר"ם.
 v_{nw} – שיעור הזרימה השעתי שאינו משתזר, ביר"ם.
 S_w – המהירות המחושבת של הזרם המשתזר, בקמ"ש, לפי נוסחה [8.7].
 S_{nw} – המהירות המחושבת של הזרם שאינו משתזר, בקמ"ש, לפי נוסחה [8.7].

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

8.5.10 בדיקת תנאי הגבול

תהליך החישוב מניח מספר ערכים גבוליים מירביים, שאי-עמידה באחד מהם לפחות גורמת לכך שקביעת רמת השירות באזור ההשתזרות אינה חד-משמעית:

- v_w – קיבולת התנועות המשתזרות: 2,000 יר"ם לשעה בתצורה הנתונה בציור 8.3 (לתצורות אחרות יש להיעזר בטבלה מס' 4.5 ב-HCM).
- v/N – שיעור הזרימה המירבי לנתיב באזור ההשתזרות: (1) 2,200 יר"ם, כשמספר הנתיבים הבסיסי בדרך הוא 2 במסלול; (2) 2,300 יר"ם, כשמספר הנתיבים הבסיסי בדרך הוא 3 ומעלה במסלול.
- VR – החלק היחסי המירבי של הזרימה המשתזרת מכלל הזרימה באזור ההשתזרות, אשר תלוי במספר הנתיבים הכולל באזור ההשתזרות לרבות נתיב-העזר (N), כמפורט:

5	4	3	2	N
0.22	0.35	0.45	1.00	VR

כאשר לפחות אחד משלושת המדדים עובר את הערך המירבי, לא ניתן להסתמך על רמת השירות המחושבת – יש חשש לכשל תפעולי של אזור ההשתזרות, או שהמהירויות תהיינה נמוכות מהחזוי לפי החישוב. במקרה זה, יש להעביר את ההשתזרויות לכביש מאסף-מחלק, או לשנות את תצורת אזור ההשתזרות, בהתאם לפרוט בפרק 4 של HCM.

8.5.11 הקריטריונים לרמות השירות באזורי השתזרות

הקריטריונים לרמות השירות בקטע ההשתזרות נקבעים על-פי הצפיפות הממוצעת לנתיב באזור ההשתזרות, ומוצגים בטבלה 8.1. יש קריטריונים שונים להשתזרות בדרך ממוחלפת במלואה, לעומת השתזרות בדרך ממוחלפת בחלקה או בכביש מאסף-מחלק. הצפיפויות המגדירות את רמות השירות 8 עד E באזור ההשתזרות, גבוהות מהצפיפויות המתאימות לאותן רמות שירות בקטעים חופשיים בדרך הממוחלפת, בשיעורים המגיעים עד 25%. בנוסף לכך, המהירות הממוצעת המשוקללת לקטע ההשתזרות, אשר משמשת לחישוב הצפיפות, עשויה להיות נמוכה ב-25 עד 35 קמ"ש ממהירות הזרימה אשר מתאימה לרמת שירות זהה בקטע חופשי בדרך הממוחלפת. דהיינו: המודל מניח שעקב פעולת ההשתזרות יורדת מהירות כל כלי-הרכב בקטע באופן משמעותי, כך שהפרש המהירויות בין כלי-הרכב המשתזרים והלא-משתזרים איננו גדול (בדרך-כלל אינו עולה על 15 קמ"ש). היות ואין בקטע ההשתזרות נתיבי האצה והאטה נפרדים, וכל פעולות האצה, ההאטה וההשתזרות צריכות להתבצע בנתיב-העזר, כמתואר בציור 8.3, ההפחתה הכללית של המהירות היא המונעת את הצורך בהאצה והאטה משמעותיות.

בטבלה 8.1 נתונים גם ערכים משוערים למהירות הממוצעת במרחב לכלל התנועה בדרך הממוחלפת באזור ההשתזרות, ברמות השירות השונות. הנתונים המוצגים בטבלה זו הם תחום המהירויות המעשיות המתקבלות כתוצאה מתהליך החישוב, ולא עברו אימות מעשי בישראל. בנוסף, בשל רגישותן של המהירויות לגורמים רבים, ביניהם נפחי התנועה, תצורת אזור ההשתזרות ואורכו, מספר הנתיבים

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

וכדומה, יש לראות במהירויות המוצגות נתוני-עזר לידיעה בלבד. אין הן משמשות כקריטריון לרמת השירות, הנקבע אך ורק לפי קריטריון הצפיפות.

המהירויות בכבישים מאספים-מחלקים ברמות השירות השונות, יהיו נמוכות באופן משמעותי מהנתון בטבלה 8.1 לדרך הממוחלפת באותן רמות-שירות, בשל האחוז הגבוה של תנועה משתזרת בכביש המאסף-מחלק, וריבוי הכניסות והיציאות לאורכו.

טבלה 8.1 הקריטריונים לרמות השירות באזורי השתזרות

F	E	D	C	B	A	רמת השירות
>27	≤27	22	17	12	6	צפיפות מירבית להשתזרות בדרך ממוחלפת במלואה, יר"ס/ק"מ/נתיב
>25	≤25	22	19	15	7	צפיפות מירבית להשתזרות בדרך ממוחלפת בחלקה ובכביש מאסף-מחלק, יר"ס/ק"מ/נתיב
<50	50-65	60-75	70-85	80-93	>93	המהירות הממוצעת במרחב (משוערת) באזור ההשתזרות בדרך מהירה, קמ"ש
<50	50-60	60-70	65-80	75-90	>90	המהירות הממוצעת במרחב (משוערת) באזור ההשתזרות בדרך לא-מהירה, קמ"ש

8.5.12 רמות השירות לתכן

רמות השירות לתכן באזורי השתזרות, הן:

א. בהשתזרויות בתחומי מחלק, בדרך שאינה מהירה – רמת השירות לתכן היא C. משמעות הדבר היא:

- כאשר רמת השירות המתקבלת מהחישוב היא A או B, ניתן לבצע את ההשתזרות בתחומי הדרך הממוחלפת.
- ברמת שירות C, ניתן עדיין לבצע את ההשתזרות בתחומי הדרך הממוחלפת, אולם רצוי להעבירה לכביש מאסף-מחלק.
- ברמות שירות D ומטה, חובה להוציא את ההשתזרות מתחום הדרך הממוחלפת ולהעבירה לכביש מאסף-מחלק.

ב. בהשתזרויות בכביש מאסף-מחלק – רמת השירות לתכן היא D, ובהתאם לכך ייקבע מספר הנתיבים הדרוש בכביש המאסף-מחלק.

כאשר רמת השירות המתקבלת באזור ההשתזרות בתחומי הדרך כתוצאה מהחישוב נמוכה מדי, ניתן לנסות לשפרה באמצעות הארכת אזור ההשתזרות, במידה שזה ניתן לביצוע מבחינה גיאומטרית, או באמצעות תוספת נתיבים עוברים באזור ההשתזרות. אם רמת השירות עדיין לא עלתה לרמה הנדרשת, יש להשתמש בכביש מאסף-מחלק. רק במקרים יוצאי דופן יתווסף באזור ההשתזרות נתיב-עזר שני שיהפוך את המחברים לדו-נתיביים. במקרה זה יש לבדוק את תפעול אזור ההשתזרות בהתאם למפורט בפרק 4 של HCM לתצורה B, כמוסבר בסעיף 8.5.1 לעיל.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פרק 9

תצורות מחלפים שונות – מרכיבי תכן ייחודיים

תוכן עניינים

9-1	מבוא	9.1
9-2	מחלפי-מערכת בני שלוש זרועות	9.2
9-2	מחלפים ישירים "T"	9.2.1
9-2	מחלפים ישירים "Y"	9.2.2
9-3	מחלפי-מערכת בני ארבע זרועות	9.3
9-3	מחלפים ישירים	9.3.1
9-9	מחלפי עלה-תלתן מלא	9.3.2
9-11	מחלפים ישירים משולבים עם לולאה אחת	9.3.3
9-11	מחלפים ישירים למחצה: עלה-תלתן עם שתי רמפות ישירות-למחצה	9.3.4
9-16	מחלפי עלה-תלתן משולבים עם רמפה ישירה-למחצה	9.3.5
9-19	מחלפי-גישה בני שלוש זרועות	9.4
9-19	מחלפי חצוצרה (חד-צדדיים)	9.4.1
9-20	מחלפי אגס	9.4.2
9-20	מחלפי יהלום	9.5
9-20	כללי	9.5.1
9-23	תכן הרמפות ומחבריהן	9.5.2
9-23	תכן ההסתעפויות בדרך המשנית	9.5.3
9-24	יהלום רגיל – מאפיינים ייחודיים	9.5.4
9-25	יהלום צר – מאפיינים ייחודיים	9.5.5
9-31	יהלום מפוצל – מאפיינים ייחודיים	9.5.6
9-31	יהלום בפיצול מרובע – מאפיינים ייחודיים	9.5.7
9-31	יהלום חד-נקודתי – מאפיינים ייחודיים	9.5.8
9-35	יהלום עם צמתים סיבוביים – מאפיינים ייחודיים	9.5.9
9-35	אפשרויות לפיתוח עתידי	9.5.10
9-35	מחלף יהלום עם לולאה אחת	9.5.11

המשך...

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

9-39.....	מחלפי עלה-תלתן חלקיים.....	9.6
9-39	כללי	9.6.1
9-39	תכן הרמפות ומחבריהן	9.6.2
9-41	תכן ההסתעפויות בדרך המשנית	9.6.3
9-42	מאפיינים ייחודיים – תצורות A	9.6.4
9-44	מאפיינים ייחודיים – תצורות B	9.6.5
9-48	מאפיינים ייחודיים – תצורה חד-צדדית	9.6.6
9-52	אפשרויות לפיתוח עתידי	9.6.7
9-52.....	מחלף סיבובי	9.7
9-54.....	כבישים מאספים-מחלקים	9.8
9-54	הגדרות ומושגים	9.8.1
9-54	יישום כבישים מאספים-מחלקים	9.8.2
9-57	מפגשים וחיבורים לאורך כבישים מאספים-מחלקים	9.8.3
9-57	רמפות-מעבר ורמפות שזורות	9.8.4
9-59	קריטריונים לתכן גיאומטרי	9.8.5
9-62	חתך הרוחב	9.8.6
9-63	מחברי-זרימה בכבישים מ-מ וברמפות-מעבר	9.8.7
9-63	מאפייני תפעול	9.8.8
9-64	תחבורה ציבורית	9.8.9
9-64.....	דרכי-שירות	9.9

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פרק 9

תצורות מחלפים שונות – מרכיבי תכן ייחודיים

9.1 מבוא

בפרקים הקודמים בהנחיות הוצגו ההצדקים, העקרונות והשיקולים בתכן מחלפים, השלבים העיקריים בתכן המחלף, והקווים המנחים בבחירת סוג המחלף, מיקומו, ותצורתו העקרונית. בנוסף, הוצגו פרטי התכן של המרכיבים השונים של המחלף: רמפות, מחברי רמפה, שיקולי הניתוב ונתיבי עזר, ושילוב המרכיבים הגיאומטריים והתפעוליים באזורי השתזרות ובמחברים.

בפרק 4 נסקרו התצורות העקרוניות של מחלפי-מערכת ומחלפי-גישה: לכל תצורה הוצגו תרשימי עקרוני ורוכזו המאפיינים הייחודיים, היתרונות והחסרונות, והשיקולים העיקריים לבחירת תצורה זו, באופן שנועד לסייע למתכנן לבחור את המחלף המתאים ביותר לתנאים ולאילוצים במפגש הדרכים הנדון.

הפרק הנוכחי (9) מיועד למתכנן שכבר בחר את המחלף המתאים ואת תצורתו העקרונית, לפי ההנחיות בפרק 4. הפרק עוסק באותם מרכיבי תכן, אשר ייחודיים לתצורות העיקריות של מחלפי-מערכת ומחלפי-גישה האפשריים לשימוש בישראל. לכל תצורה יוצג אופן שילוב מרכיבי המחלף השונים, כפי שהוצגו בפרקים הקודמים, לקבלת צורתו הייחודית של המחלף, ותופנה תשומת לב המתכנן לסוגיות החשובות המחייבות את התייחסותו במהלך תהליך התכן המפורט, לאחר שכבר בחר, כאמור, במחלף הספציפי לאתר הנדון.

היות שמחלפי-גישה כוללים בתוכם צמתים כחלק מהמערך הכולל, יופנה המתכנן, בסעיפים העוסקים במחלפי-גישה, לשיקולי התכן הרלוונטיים בהנחיות לתכן צמתים בכרך II של הנחיות אלה.

סדר המחלפים המוצגים בפרק זה הוא כדלהלן:

סעיף 9.2 – מחלפי-מערכת בני שלוש זרועות (T ו-Y);

סעיף 9.3 – מחלפי-מערכת בני ארבע זרועות (ישירים לצורותיהם השונות, משולבים, ישירים-למחצה ועלה-תלתן מלא);

סעיף 9.4 – מחלפי-גישה בני שלוש זרועות (חצוצרה ואגס);

סעיף 9.5 – מחלפי-יהלום לצורותיהם השונות;

סעיף 9.6 – מחלפי עלה-תלתן חלקי על גרסאותיהם השונות;

סעיף 9.7 – מחלף סיבובי;

סעיף 9.8 – כבישים מאספים-מחלקים;

סעיף 9.9 – דרכי/כבישי שירות.

לשיקולים ייחודיים לשילוב תחבורה ציבורית במחלפים השונים, ראה סעיף 10.1 בהמשך ההנחיות.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

9.2 מחלפי-מערכת בני שלוש זרועות

9.2.1 מחלפים ישירים "T"

מחלפים ישירים בתצורת "T" (קמץ), המתוארים בסעיף 4.2 א' ובציור 4.1, מיועדים למפגש בין שתי דרכים ממוחלפות, שאחת מהן מסתיימת במחלף זה, וכאשר הפניות שמאלה בין שתי הדרכים צריכות להתבצע בקיבולת גבוהה ובמהירויות גבוהות, באופן יחסי למחלפי החצוצרה והאגס, המתוארים בסעיף 9.4 להלן.

למחלף "T" שתי רמפות ישירות לפניות ימינה, ושתי רמפות ישירות-למחצה לפניות שמאלה. כל הרמפות יתוכננו למהירויות גבוהות יחסית, בהתאם לדרישות למחלפי-מערכת בסעיף 5.3. הצורות הגיאומטריות של הרמפות יהיו כמפורט בסעיף 5.2; חתכי הרוחב שלהן יהיו כמפורט בסעיף 5.4; תכן התוואים האופקי והאנכי ברמפות יהיה כמפורט בסעיפים 5.5 - 5.7. בתכן הרמפות, יש להקפיד על שימוש בעקומי-מעבר, על יחס בין רדיוסים עוקבים שלא יעלה על 1:1.75, ועל קיום מרחקי הראות הדרושים לאורך הרמפות הישירות-למחצה, למרות ריבוי הגשרים והפרשי המפלסים לאורכן.

תכן מחברי-הרמפה יהיה כמפורט בסעיפים המתאימים בפרק 6, ותפעול הרמפות והמחלף כולו, בנפחים הגדולים החזויים במחלף זה, יתוכנן בהתאם לכללים שבפרק 7. הרמפות במחלפי "T" תהיינה במקרים רבים דו-נתיביות, בעיקר בפניות הישירות-למחצה שמאלה, בהתאם להצדקים בסעיף 7.6. במקרים אלה יש לשמור על ההנחיות למחברים דו-נתיביים, המופיעות בסעיפים 6.4 ו-6.6, וכן על שיקולי הניתוב המפורטים בסעיף 7.2, להבטחת הזרימה השוטפת בדרכים וברמפות.

9.2.2 מחלפים ישירים "Y"

מחלפים ישירים בתצורת "Y", המתוארים בסעיף 4.2 ב' ובציור 4.2, מיועדים למפגש של שתי דרכים ממוחלפות בזוית הסוטה בהרבה מהישרה, וכאשר אחת מהן מסתיימת במחלף זה. הדרך המסתיימת מתמזגת/מתפצלת מהדרך ההמשכית, או, במקרה קיצוני, ישמש מחלף "Y" לדרך ממוחלפת המתפצלת לשתי דרכים נפרדות. חלק מהחיבורים ימינה בין הדרכים במחלף "Y" מאבדים את תכונות הרמפה, והופכים להמשך ישיר של הדרך המסתיימת, מבחינת צורת התוואי, כמתואר בציור 4.2, ומשפיעים בכך על העלאת מהירויות התכן ונפחי-התכן בפניות אלה. במחלפי "Y" חשוב במיוחד לשמור על עקרונות-התכן של שמירה על הכיוון הראשי ועל המשכיות התוואי, המפורטים בסעיף 3.4, וכן על יציאה של כל הרמפות ימינה בלבד, כמתואר בציור 4.2, למרות שמבנהו הבסיסי של מחלף "Y" יוצר לעיתים העדפה טבעית ליציאות ישירות שמאלה וכניסות משמאל. בנוסף, חשוב לשמור באזורי ההתמזגות/התפצלות של הדרכים על עקרונות הניתוב המפורטים בסעיף 7.2. בציור 4.2 מתואר אופן התווית מערך הרמפות במחלף "Y" לפי עקרונות אלה עבור שני המקרים הבסיסיים – כאשר הדרך המסתיימת מתפצלת מהדרך ההמשכית ימינה (צורה ב' בציור 4.2) או שמאלה (צורה ג' בציור 4.2).

במקרה בו הדרך ההמשכית מצויה בקשת באזור המחלף, יידרש מערך רמפות כמתואר בדוגמא א' בציור 9.1. כאשר הנפח הפונה ימינה מהדרך המסתיימת גדול באופן משמעותי מהנפח הפונה שמאלה, רצוי לא

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

לפצל את הרמפות זו מזו, כמתואר בצורה ג' בציור 4.2, אלא להוציא את התנועה שמאלה לרמפה ישירה-למחצה מצד ימין, כדי להקטין את מספר הניגודים, כמתואר בדוגמאות ב' ו-ג' בציור 9.1. במקרים אלה מתקרבת צורת מחלף "ז" למחלף "ד".

9.3 מחלפי-מערכת בני ארבע זרועות

9.3.1 מחלפים ישירים

למחלפים הישירים המלאים, המתוארים בסעיף 4.4 א' ובציור 4.7, מגוון של צורות אפשריות, המבוססות כולן על שמונה רמפות – ארבע רמפות ישירות לפניו ימין, וארבע רמפות ישירות-למחצה לפניו שמאלה. כל הרמפות במחלפים אלה יתוכננו בדרך-כלל למהירויות גבוהות ולנפחים גבוהים, יחסית לסוגי המחלפים האחרים, ובדומה לעקרונות התכנן המפורטים למחלפי מערכת בני שלוש זרועות בסעיף 9.2.1 לעיל. במקרים רבים ייעשה שימוש ברמפות ובמחברים דו-נתיביים, בהתאם לעקרונות בפרקים 6 ו-7 בהנחיות. בכל המחלפים הישירים תהייה יציאה אחת בלבד מכל מסלול, ולא תותרנה השתזרויות בתחומי הדרכים.

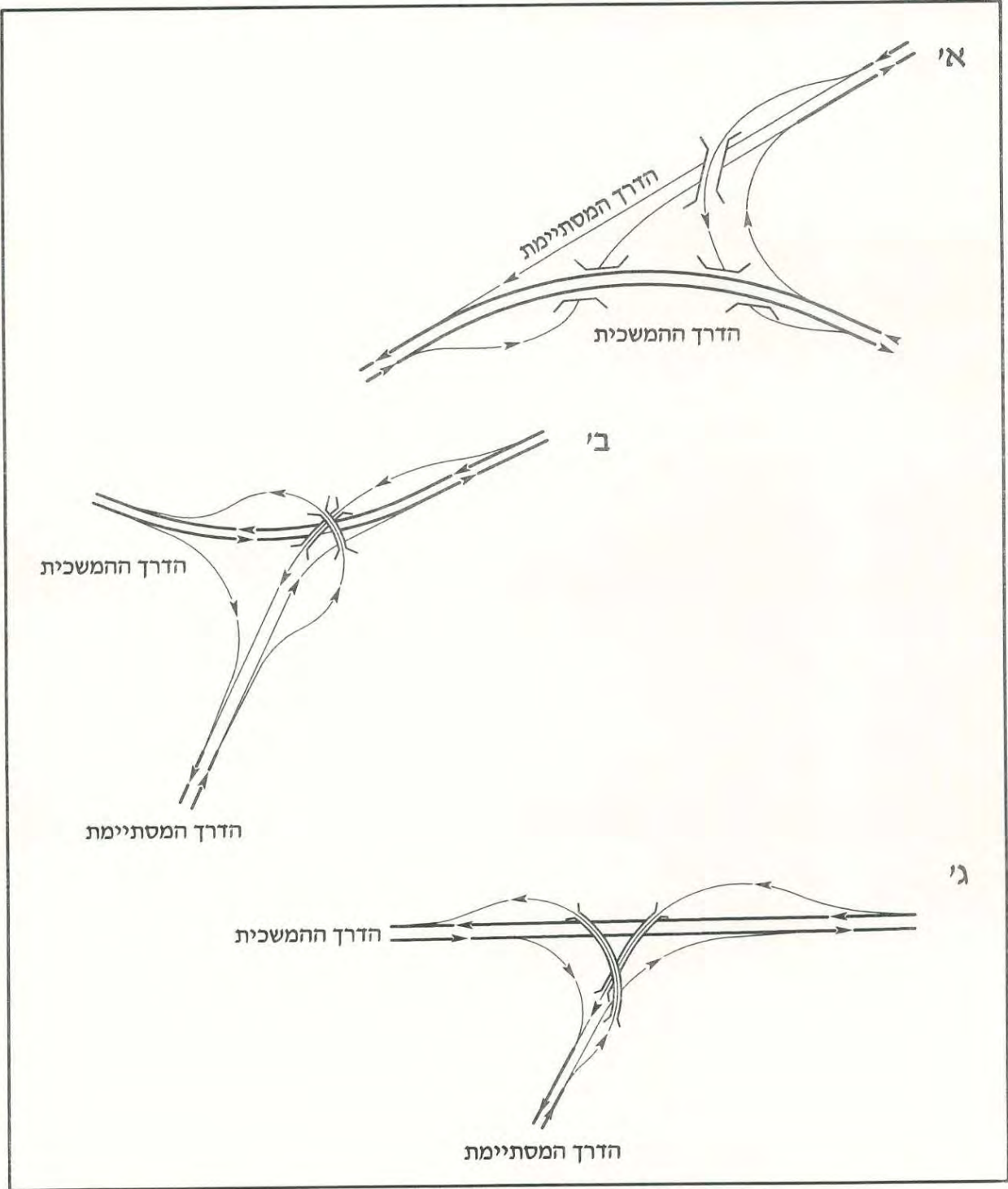
למרות שאין זה מומלץ, ניתן לוותר במחלפי-מערכת על רמפות לפניו שאין להן ביקוש רב, וקיימים אילוצים המונעים או מסבכים את בנייתן, ויתקבל מחלף שאינו מלא. זאת, בתנאי שניתן יהיה להדריך הנהגים לביצוע הפנייה לכיוון המבוקש באמצעות מחלפים סמוכים.

מן הראוי לציין, כי עקב מורכבותם הרבה, אין שני מחלפי-מערכת זהים, וכל מחלף מהווה פתרון ייחודי המותאם לתנאי הסביבה ולדרישות התכנן למפגש הדרכים האמור. להלן יובאו מספר דוגמאות אופייניות שניתן לסווגן לצורות עקרוניות:

א. טחנת רוח (ציור 9.2)

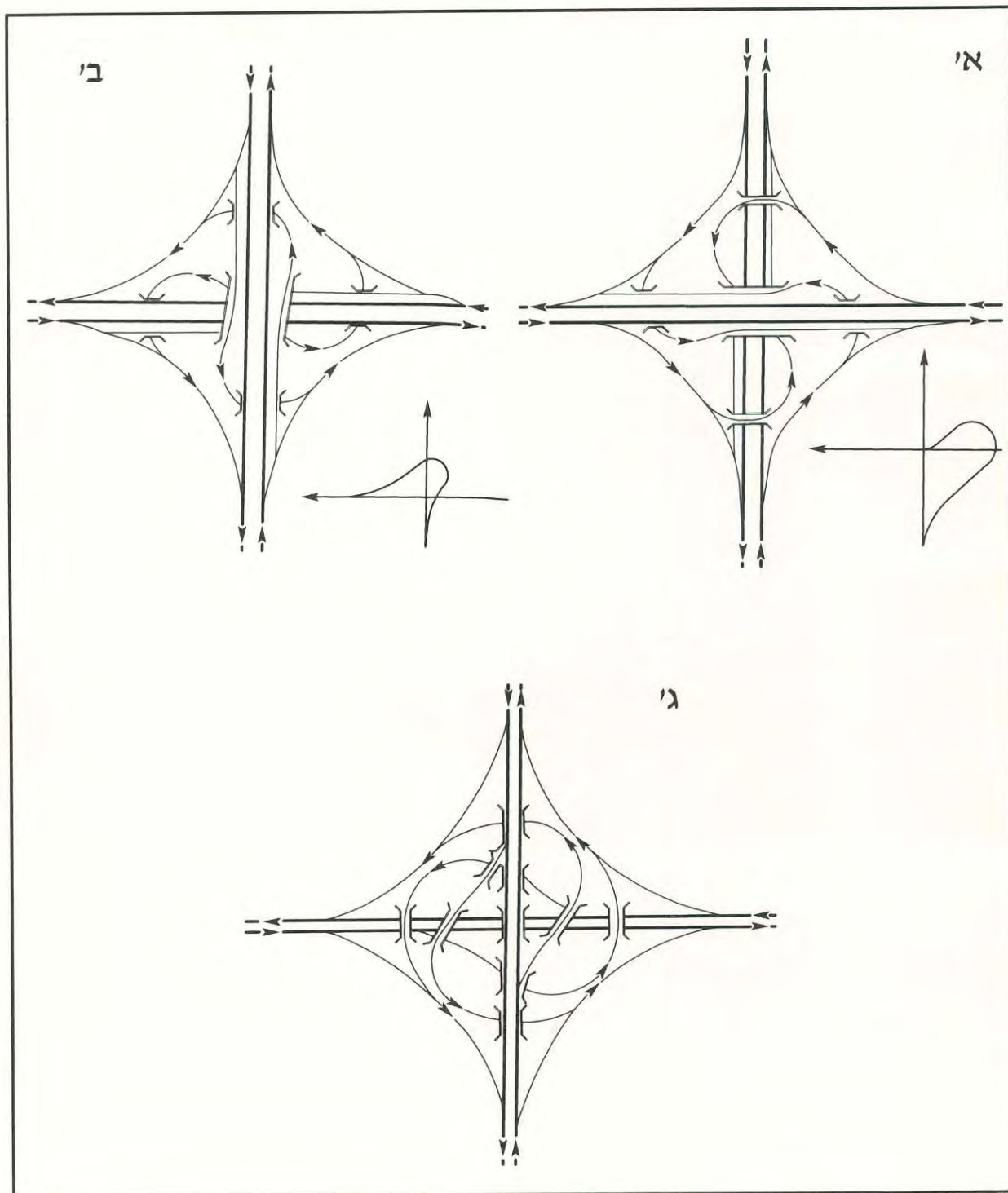
מחלף ישיר סימטרי, בו הגשר המרכזי דו-מפלסי בלבד. בציור מוצגות שתי אפשרויות לתוואי הרמפות הישירות-למחצה, העוברות במספר שונה של רביעים במחלף – שניים בתצורה א' ושלושה בתצורה ב'. מצידי שתי הדרכים במחלף, נדרשים כבישים מאספים-מחלקים, להבטחת יציאה יחידה וכניסה יחידה לכל מסלול בשתי הדרכים. מגבלתו של המחלף, המחייבת התייחסות במהלך התכנן של תוואי הרמפות, היא שיפועי אורך גדולים ורדיוסים קטנים ברמפות הישירות-למחצה, בגלל ריבוי הגשרים לאורכן והמרחקים הקצרים בין הגשרים. ביטול מעברם של הכבישים המאספים-מחלקים על הגשר המרכזי עשוי להקטין את השיפועים ברמפות, אך לייקר את המחלף. משיקולי בטיחות עדיפה תצורה א', בה השיפועים החריפים לאורך הרמפה מסתיימים בקטע ישר, בעוד שבתצורה ב' הקטע הישר מוביל בשיפוע החריף לרדיוס קטן. בתצורה ג' מוצג שיפור הפתרונות הקודמים באמצעות תוספת ארבעה גשרים לשיפור תוואי הרמפות הישירות-למחצה – הגדלת רדיוסיהן והקטנת השיפוע לאורכן.

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 9.1 מחלפים ישירים בתצורת "Y"

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 9.2 מחלפים ישירים בתצורת טחנת-רוח

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

ב. צלב מלטזי (ציור 9.3)

מחלף ישיר סימטרי בעל צורת כוכב, העונה לכל עקרונות התכן של מחלף-מערכת במבנהו הבסיסי, המתואר בצורה א' בציור 9.3. לכל הפניות שמאלה רדיוסים גדולים, כל הפניות במחלף נוחות. המחלף דורש ארבעה מפלסים בגשר המרכזי. בשל גובהו, קשה לשלבו בסביבה מבחינה חזותית. מומלץ, שהמיסעה הראשית תהיה משוקעת באזור הגשר, כדי להקל על הפרשי הגובה בחתך לאורך הדרך המשנית והרמפות.

בצורה ב' בציור 9.3 מתואר שיפור המחלף באמצעות תוספת גשרים לרמפות הישירות-למחצה שמאלה, המאפשרים הפחתת מפלסי הגשר המרכזי לשלושה. פתרון זה משפר את קיבולת הפניות שמאלה ומאפשר התאמה לנפחים לא-סימטריים.

ג. מחלף טורבינה (ציור 9.4)

מחלף ישיר סימטרי ביחס למרכזו. ניתן לביצוע בעזרת גשרים דו-מפלסיים בלבד. חסרונו – במבנהו הבסיסי מתקבלות שתי כניסות לכל מסלול, כמתואר בציור. תוספת קטעים מאספים-מחלקים מקבילים לדרכים הנפגשות היא מורכבת, ומייקרת את המחלף. באמצע המחלף נותרים שטחים פנויים להתקנת תשתיות ומתקנים שאינם דורשים גישה שוטפת.

ד. מחלף סיבובי תלת-קומתי (ציור 9.5)

פיתוח כשלב נוסף של מחלף-הגישה הסיבובי, המתואר בסעיף 9.7 בהמשך הפרק, למחלף מערכת, בו התנועה ההמשכית בדרך המשנית הוצאה ממעגל-התנועה, והמעגל משמש לחיבור כל הרמפות.

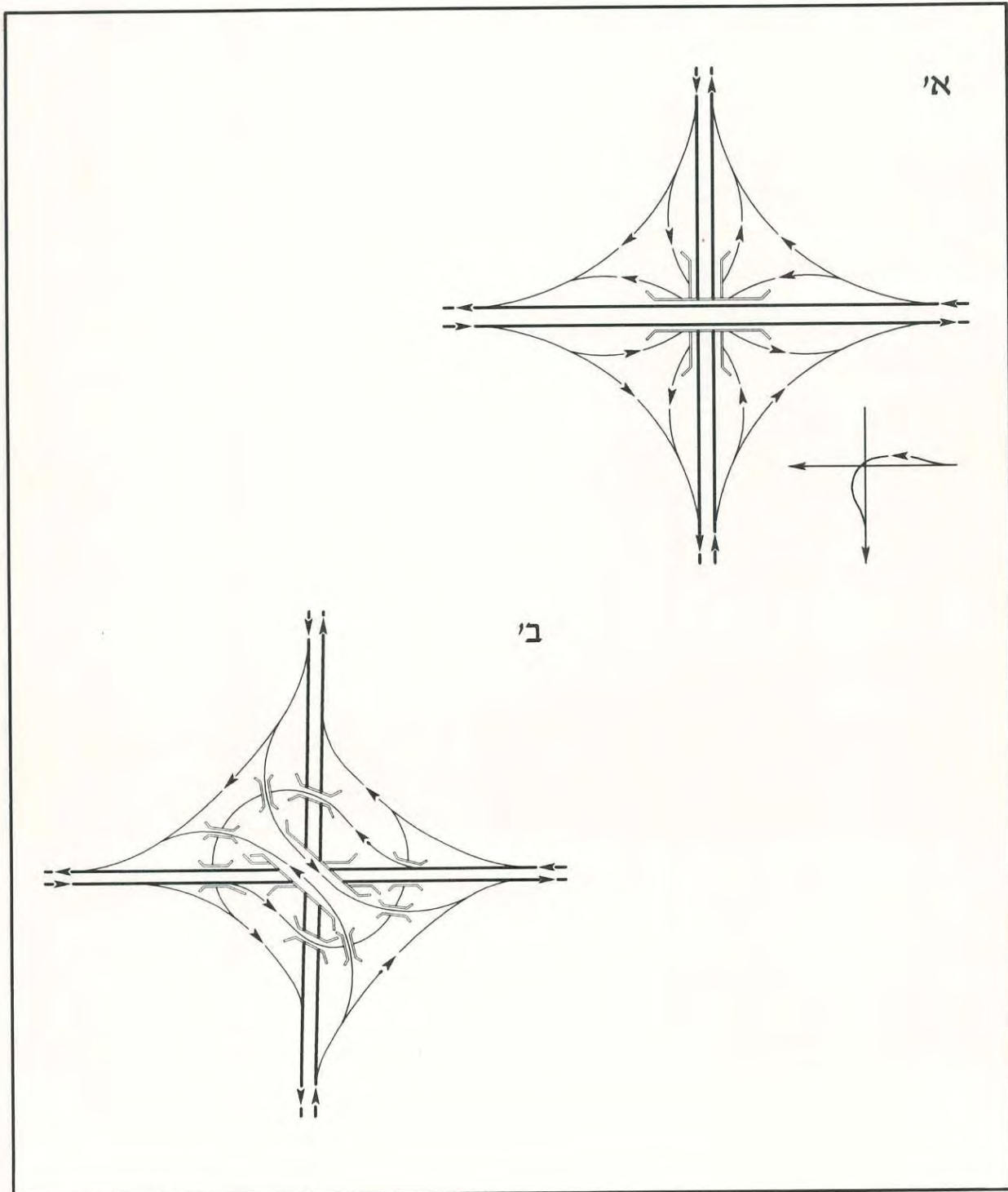
המחלף תלת-מפלסי, כאשר החתך המיטבי לאורך הדרכים והרמפות יתקבל כאשר דרך אחת תהייה משוקעת, השנייה מוגבהת, והמעגל יישאר במפלס הקרקע. יתרונותיו של המחלף בהבטחת יציאה וכניסה יחידות מכל מסלול בדרכים הממוחלפות, ובאפשרות לחזור לדרך ממנה יצאת באמצעות פניות פרסה. מגבלתו, בהשתריות של הרמפות במעגל התנועה.

יישומיו האפשריים של מחלף זה הם במפגש בין שתי דרכים ממוחלפות באזור פרברי, בו האפשרויות הגלומות במעגל התנועה, דהיינו – גמישות לחיבורים בזוויות שונות, אפשרות לחיבור לדרכי-שירות, מתן אפשרויות לתיקון טעויות ולשילוב תחבורה ציבורית – עולות בחשיבותן על ההפרעה שתיגרם לחופשיות התנועה ברמפות המחלף.

ה. מחלף ישיר "X" (ציור 9.6)

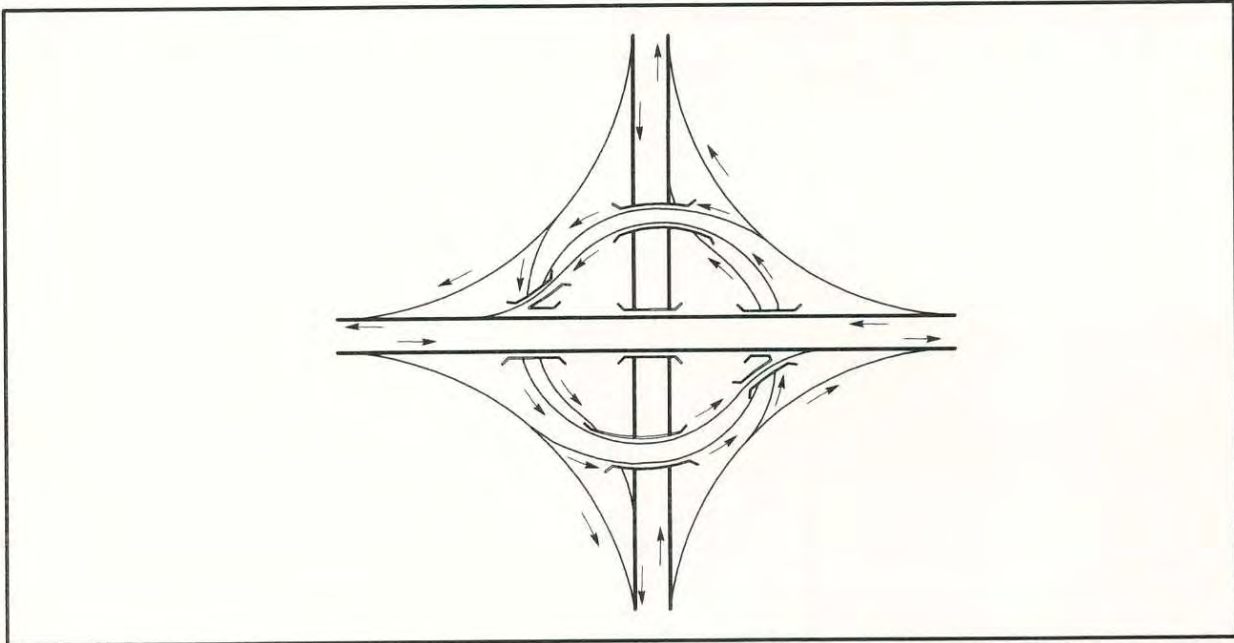
מחלף "X" מתקבל, כאשר שתי דרכים ממוחלפות נפגשות לקטע משותף קצר ומתפצלות שוב. במבנהו הבסיסי (א' בציור 9.6), המחלף יוצר השתזרות בתוואי המשותף, ולכן אינו ישים למפגש בין דרכים בסיווג גבוה, ללא כבישים מאספים-מחלקים לאורך הקטע המשותף. פתרונות אפשריים נוספים למחלף "X" בין דרכים ראשיות או מהירות, הם הפרדת מסלולי אחת הדרכים, כמתואר בצורה ב' בציור 9.6, ליצירת רמפות המאפשרות את כל הפניות, תוך שמירה על הכלל של יציאות וכניסות מימין בלבד.

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

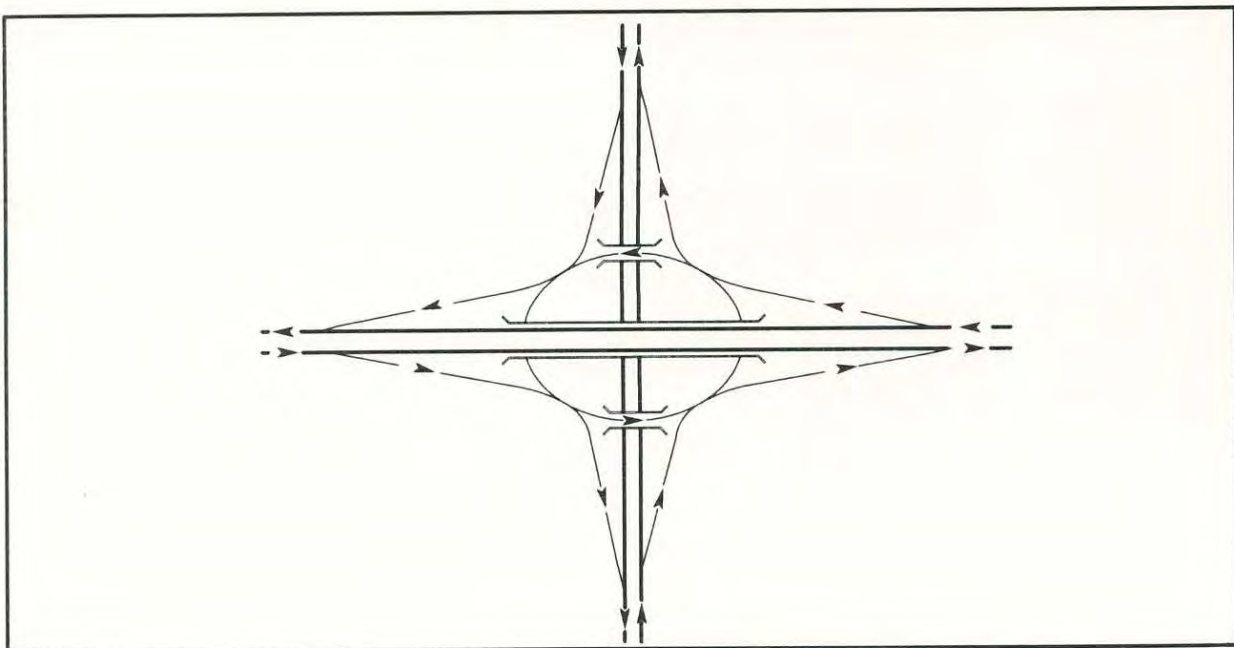


מחלפים ישירים בתצורת צלב-מלטזי צור 9.3

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 9.4 מחלף ישיר בתצורת טורבינה



ציור 9.5 מחלף ישיר סיבובי תלת-קומתי

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

לחילופין, אם ניתן לוותר על חלק מהתנועות במחלף, שהביקוש להן נמוך, אפשר להשתמש באפשרות ג' בציור 9.6, בה הדרכים מצטלבות בזווית קטנה וללא קטע משותף. לתנועות החסרות במחלף זה יש למצוא פתרון במחלפים סמוכים, ולהבהיר זאת בהדרכה המוקדמת.

9.3.2 מחלפי עלה-תלתן מלא

א. מאפיינים ייחודיים

מחלף עלה-תלתן המלא הוא המחלף המערכתי הבסיסי למפגש של שתי דרכים המשכיות, הדורש גשר יחיד, אך אינו מיועד, בדרך-כלל, לדרכים מהירות. לתיאור עקרוני של המחלף ומגבלותיו העיקריות, ראה סעיף 4.4 ג' וציור 4.8.

כל דרך בסיווג גבוה העוברת דרך מחלף עלה-תלתן מלא, מחייבת כבישים מאספים-מחלקים מקבילים בתחומי המחלף משני צידי, למניעת היציאה הכפולה וההשתזרויות לאורך הדרך, כמתואר בציור 4.8. הכבישים המאספים-מחלקים יתוכננו בהתאם להנחיות בסעיפים 8.5.12 ו-9.8. בכל מקרה, יש לנתח את אזור ההשתזרות במחלף לפי הכללים המפורטים בסעיפים 8.3 עד 8.5, ומחברי-הרמפות יחוברו באמצעות נתיב-עזר רציף.

המחלף רגיש להפרעות בתנועה, מאחר שהפרעה במחברים או באזור ההשתזרות, הגורמת לסתימת לולאה, גוררת אחריה ב"תגובת שרשרת" את סתימת הלולאה השנייה הנשענת על אותו קטע השתזרות, ובעקבות כך את סתימת שתי הלולאות האחרות, ופקיקת המחלף כולו, סתימה שקשה להתירה. לכן, כאשר הביקוש לפנייה שמאלה עובר את הנפחים המירביים המומלצים ללולאה בסעיף 7.6.1, או שרמת השירות באזור ההשתזרות יורדת מתחת לקריטריונים הנתונים בסעיף 8.5.11, יש לשנות את צורת המחלף על-ידי החלפתן של הלולאות העמוסות ברמפות ישירות-למחצה, כמפורט בסעיפים 9.3.3 - 9.3.4 להלן. לא מומלץ להפוך את הלולאות בעלה-תלתן לדו-נתיביות, לרבות המחברים, בניסיון להעלות הקיבולת, עקב מגבלותיהן התפעוליות וכושר ההעברה הנמוך של הלולאות ביחס לרמפות הישירות-למחצה – ראה ב' להלן.

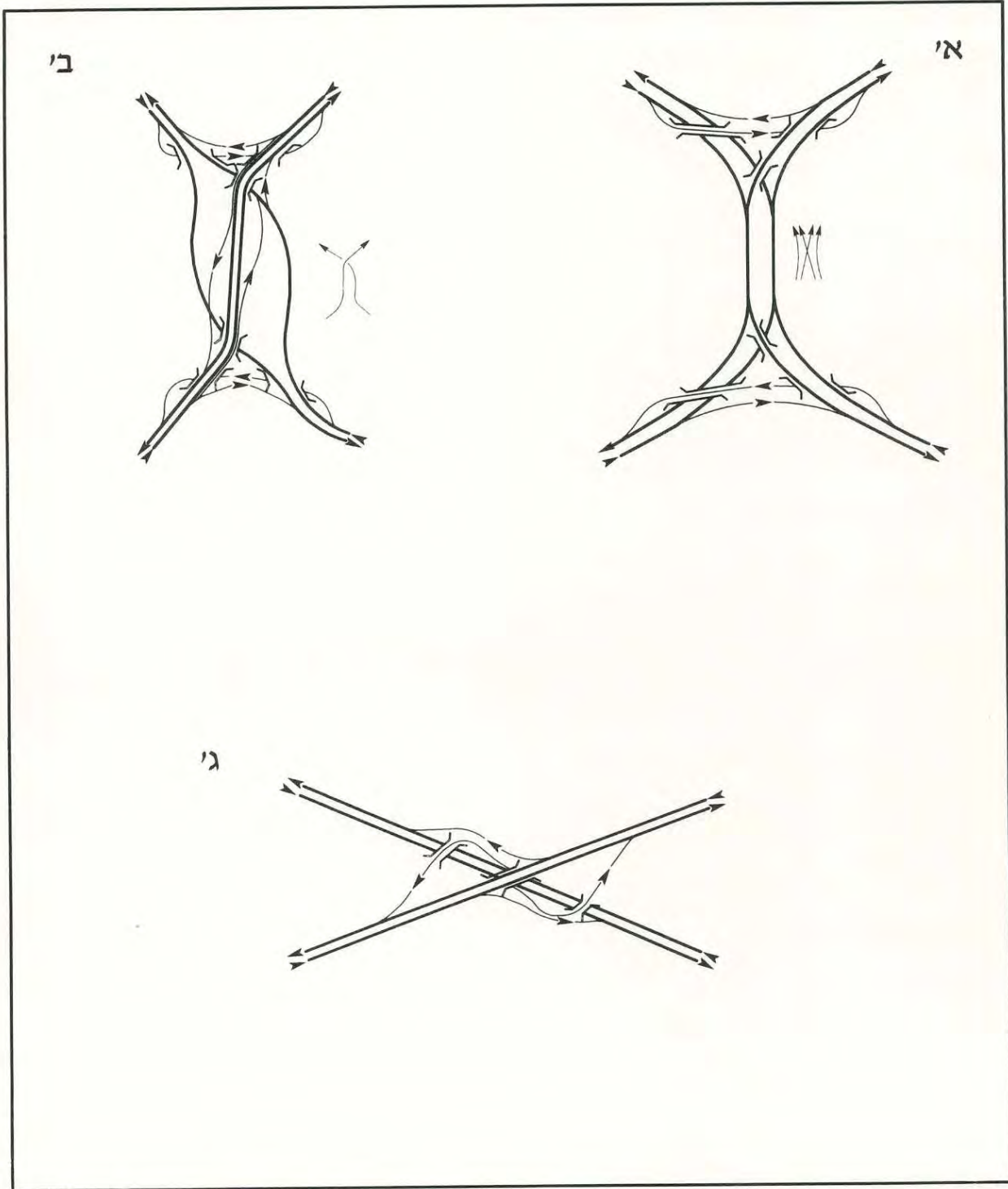
ב. תכן הרמפות ודרכים מאספות-מחלקות

מחלף עלה התלתן הוא בעל מבנה עקרוני סימטרי, כשבכל רביע יש לולאה ורמפה חיצונית לה. אפשרויות השילוב הגיאומטרי ביניהן הן כמפורט בסעיף 5.2. מהירויות התכן לרמפות ייקבעו לפי סעיף 5.3, חתך הרחב יהיה לפי סעיף 5.4, ותכן התוואי האופקי והאנכי ברמפות – לפי סעיפים 5.5 - 5.7.

כאמור ב-א' לעיל, רמפות הלולאה בעלה-תלתן המלא תהיינה חד-נתיביות. ניתן להוסיף נתיב בלולאה עצמה לשיפור תפעולה, ולא משיקולי קיבולת, בהתאם לקריטריונים בסעיף 7.6.1 ב', אך המחברים יישארו חד-נתיביים.

בציור 9.7 מוצג מחלף עלה-תלתן, בו קיים כביש מאסף-מחלק לאורך אחת משתי הדרכים במחלף. בעלה-תלתן המלא, הלולאות הן ברדיוס אחיד של 50 מטר עם עקומי מעבר במחברים, והרמפות

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 9.6 מחלפים ישירים בתצורת "X"

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

החיצונית הן בעלות קשתות ברדיוסים שונים באותו כיוון, נפרדות מתוואי הלולאה, כשהרדיוס באמצע הרמפה החיצונית גדול מאשר בקצוות. חיבור הלולאות לדרך לכביש מאסף-מחלק מאפשר את קיצור המחברים ואת הקטנת הרדיוסים ברמפות, בשל מהירות התכן הנמוכה יותר של הכביש המאסף-מחלק (ראה סעיף 9.8 בהמשך הפרק).

בציור 9.8 מוצגת אפשרות לתכן רביע במחלף, שאינה מומלצת ותיושם רק תחת אילוצי שטח. באפשרות זו, הלולאות בנויות מעקומים מורכבים, והרמפה חיצונית מותווית בהיקף הלולאה, בצורת עקום "S" כפול, עם רדיוס מרכזי שכיוונו הפוך לכיוון הרמפה, ומרכזו נמצא במרכז רדיוס הלולאה הסמוכה. בין הקשתות ברמפה החיצונית שכיווניהן הפוכים, יוכנסו עקומי מעבר, להסדרת מעברי השיפועים. השטח שנוצר בין הרמפות מיועד להסדרי הניקוז.

במקרים קיצוניים של אילוצי שטח, יתוכננו לולאות שטוחות, שיכללו קטעים ישרים, כמתואר בשני רביעים במחלף שבציור 9.9. היחס בין רדיוסים המצויים משני עברי הקטעים הישרים לא יעלה על 1:1.25. לולאות שטוחות מאפשרות גם להגדיל את אורך ההשתזרות בהעדר כבישים מאספים-מחלקים. מאידך, התאמת הרמפה החיצונית ללולאה השטוחה יוצרת עיוותים בחזות הרמפה, מקטינה באופן משמעותי את המהירות, הנוחות והקיבולת ברמפה החיצונית, וכן גורמת קשיים בניקוז הרמפות, עקב הבדלים בין שיפועי הרוחב ברמפות הצמודות.

9.3.3 מחלפים ישירים משולבים עם לולאה אחת

הגבולות בין מחלפי-המערכת מהסוגים השונים (עלה-תלתן, משולבים, ישירים-למחצה, ישירים) בתחום בו השימוש בלולאות מוחלף ברמפות ישירות-למחצה, הם גמישים ולא מוחלטים. החלוקה בסעיפים הבאים בהנחיות אלה היא לפי סימטריות השימוש בלולאות במחלף.

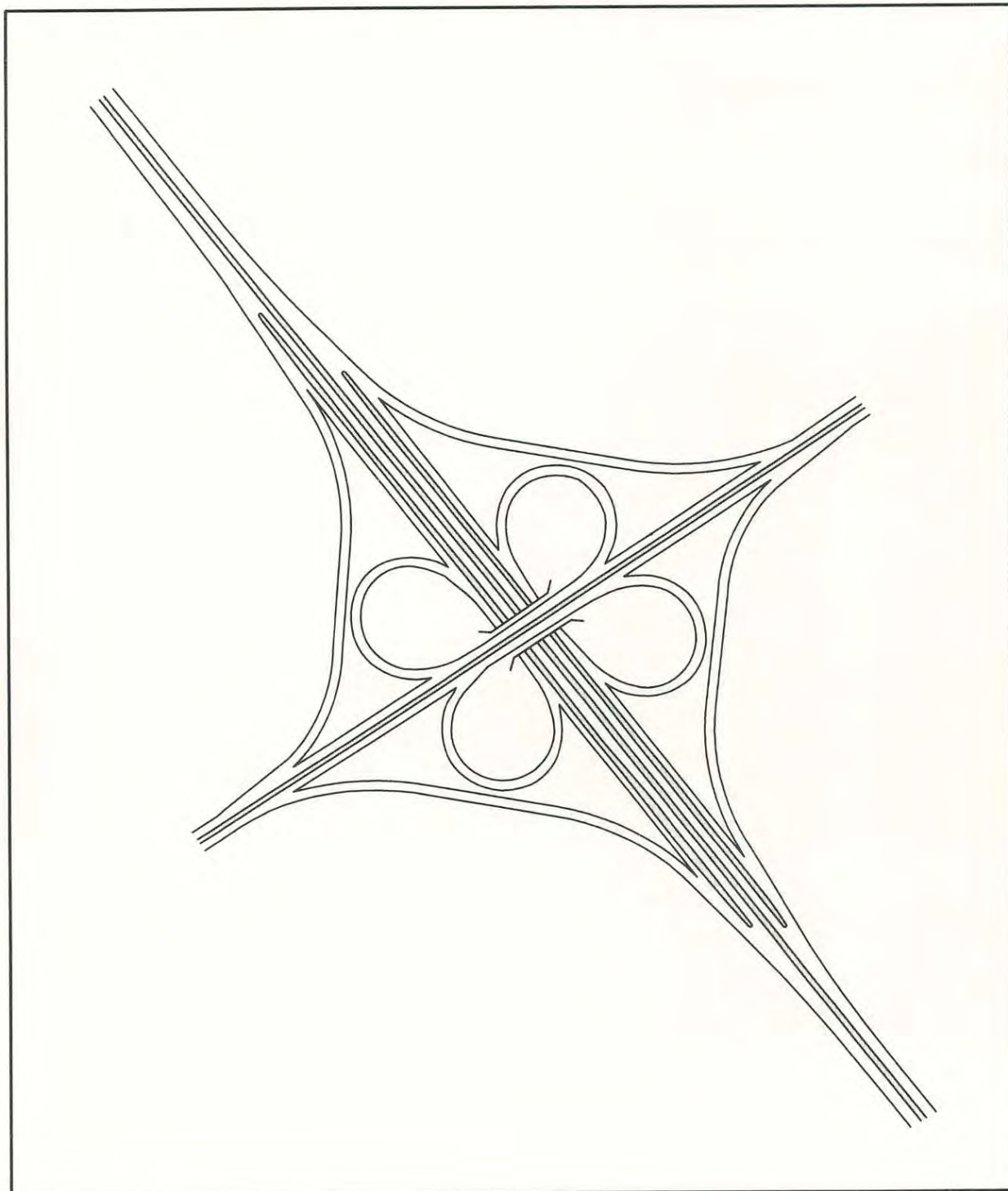
המחלפים הישירים המשולבים בעלי לולאה אחת הם מחלפים ישירים, שברביע אחד שלהם הוחלפה הרמפה הישירה-למחצה לפנייה שמאלה ברמפת לולאה, כמתואר בציור 9.10. הלולאה מיועדת לפנייה שמאלה בעלת הביקוש הנמוך ביותר במחלף, אם כי ביישום כזה ניתן להשתמש בלולאה ובמחברים דו-נתיביים, בהתאם לנפחי-התכן המפורטים בסעיף 7.6.1. מחלף כזה מיועד למקרים בהם לא ניתן לבצע את הרמפה הישירה-למחצה, עקב אילוצי שטח או אילוצים הנדסיים.

לפרטי התכן של רביע הלולאה ראה מחלפי התלתן בסעיף 9.3.2 לעיל. שאר פרטי התכן במחלף הם כמפורט למחלפים ישירים בסעיף 9.3.1 לעיל.

9.3.4 מחלפים ישירים למחצה – עלה-תלתן עם שתי רמפות ישירות-למחצה

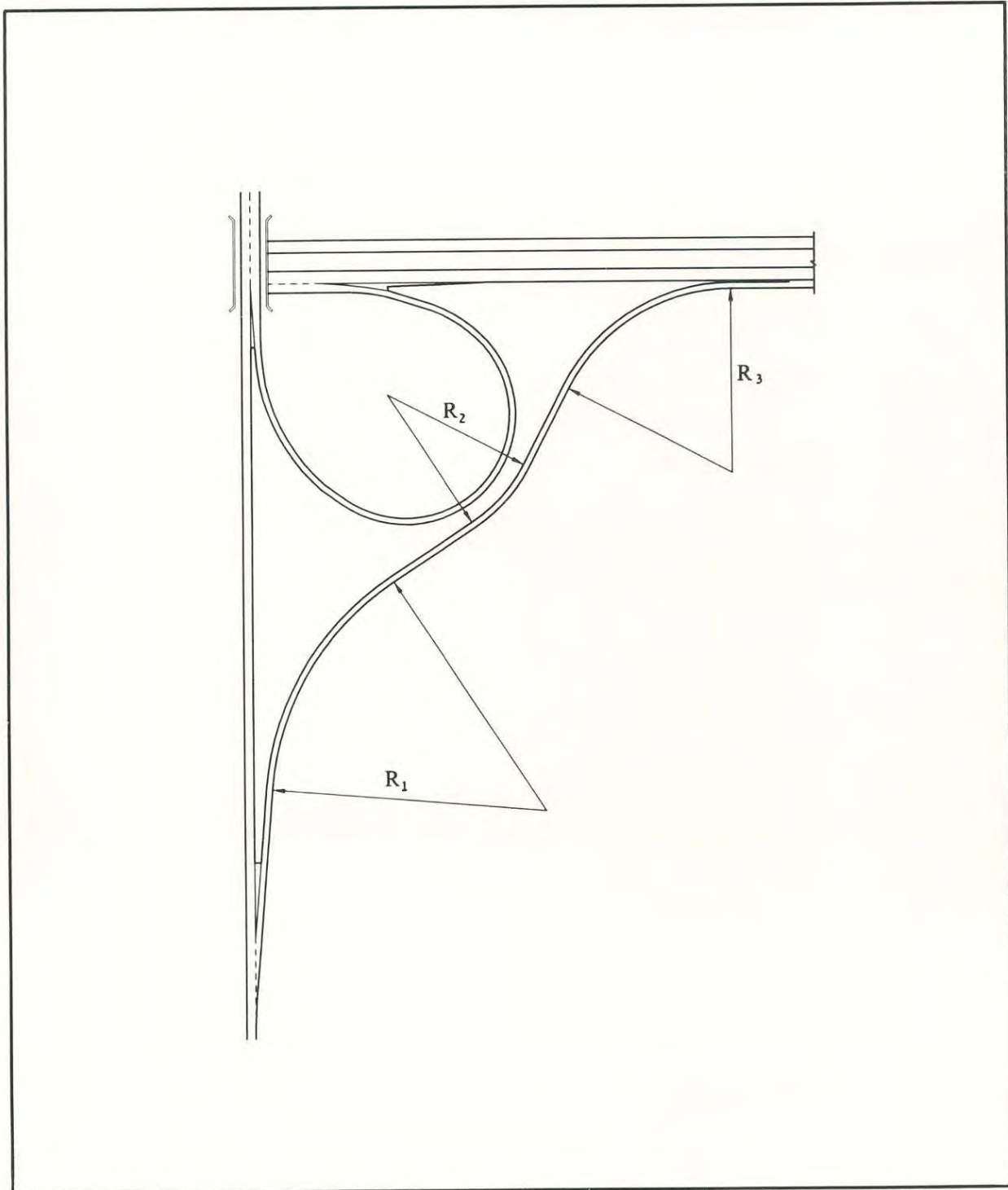
מחלפי-מערכת אלה הם מחלפי עלה-תלתן מלא, בהם הוחלפו שתי הלולאות ששימשו לפניית העמוסות שמאלה, ברמפות ישירות-למחצה. התצורה הסופית של המחלף מתקבלת בהתאם למיקום הרביעים בהם הוחלפו הלולאות (סמוכים או נגדיים), ובהתאם לתוואי האפשרי להעברת הרמפות הישירות-למחצה.

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



צור 9.7 מחלף עלה-תלתן מלא עם כבישים מאספים-מחלקים לאורך אחד הצירים

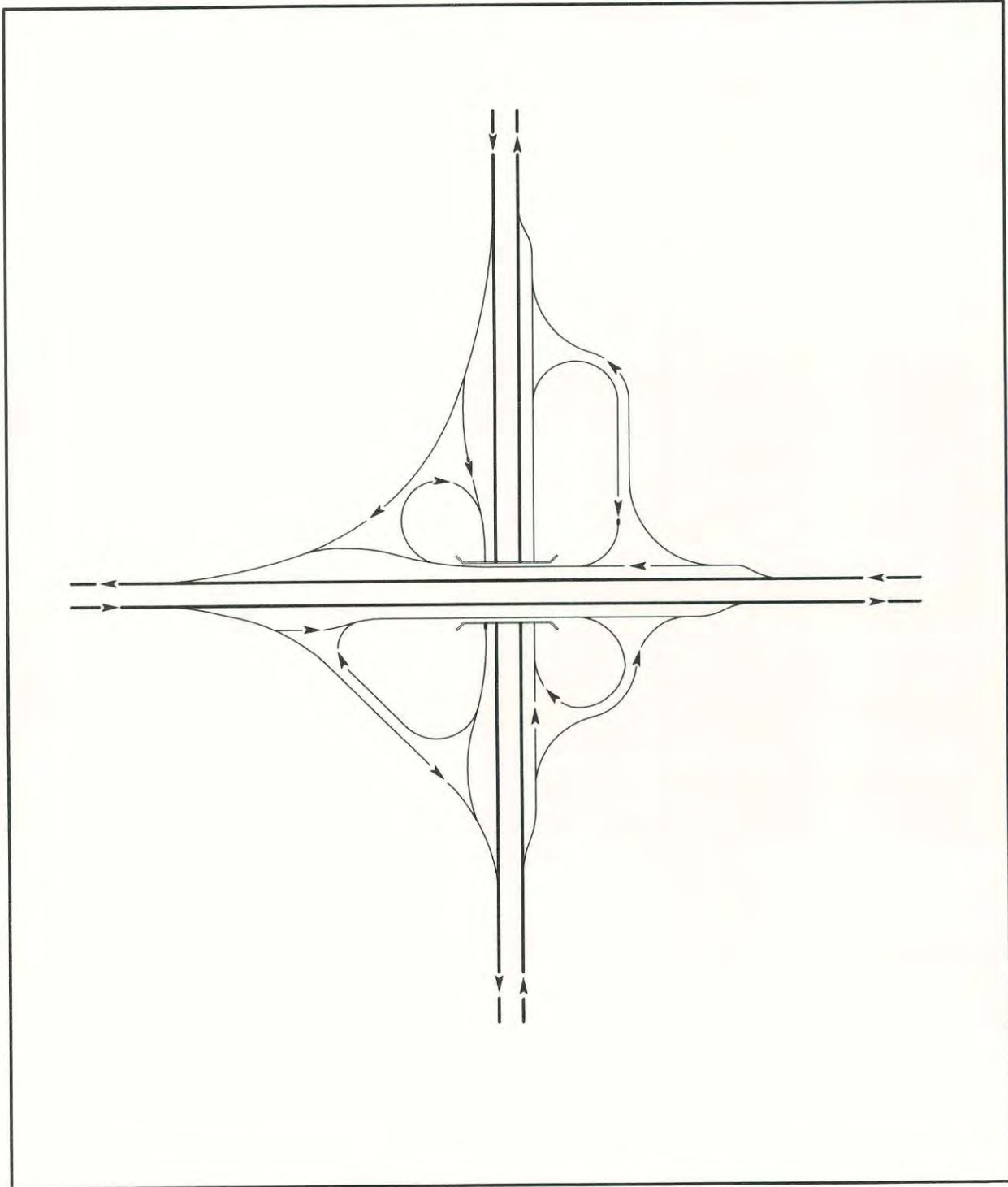
הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



אפשרות לתכנן מאולץ של רביע במחלף עלה-תלתן מלא

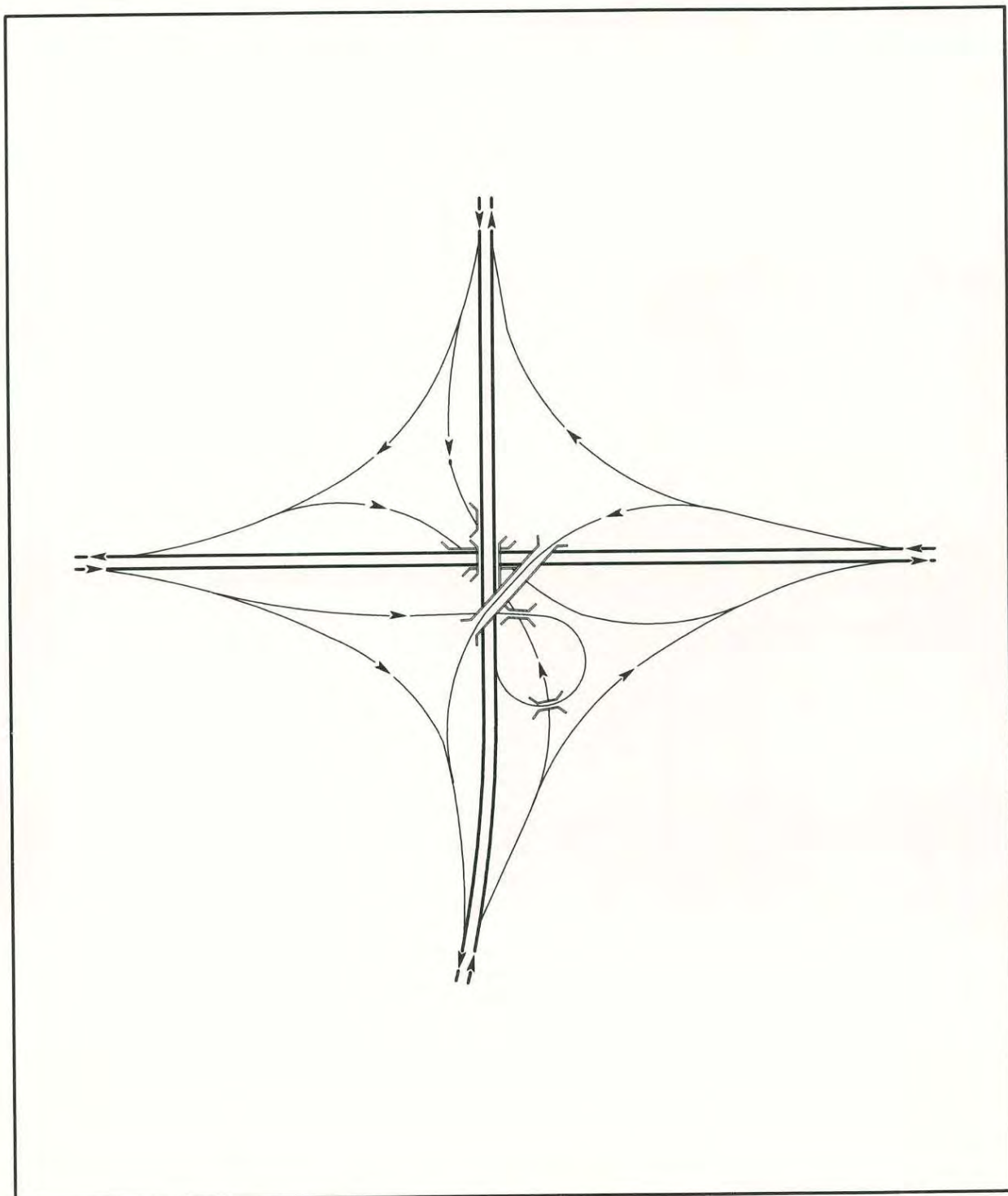
ציור 9.8

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 9.9 מחלף עלה-תלתן מלא עם לולאות שטוחות וכבישים מאספים-מחלקים

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 9.10 מחלף ישיר משולב עם לולאה אחת

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

מרכיבי המחלף הם שילוב של מחלפי עלה-התלתן שהוזכרו בסעיף 9.3.2 לעיל, עם מחלפים ישירים, המפורטים בסעיף 9.3.1 לעיל.

בדומה לשאר מחלפי-המערכת, יש לשמור על כללי התכן המפורטים בסעיף 3.4, ובמיוחד הכללים של יציאה יחידה מכל דרך, יציאות וכניסות מימין בלבד, ומניעת השתזרויות בתחומי הדרכים.

בציור 9.11 מוצגות מספר אפשרויות למחלפי עלה-תלתן עם שתי רמפות, המתואמות לכללים האמורים לעיל: בצורה א' בציור מוצג פתרון סימטרי, בו הלולאות מצויות בשני רביעים נגדיים, עבור שתי הפניות שמאלה מאותה דרך, ואילו הרמפות הישירות-למחצה חיצוניות ללולאות, משמאל למרכז המחלף, ומשמשות לשתי הפניות שמאלה מהדרך השנייה. בצורה ב' בציור 9.11 מוצג פתרון סימטרי, בו הרמפות הישירות-למחצה עוברות מימין למרכז המחלף, והן פנימיות ללולאות.

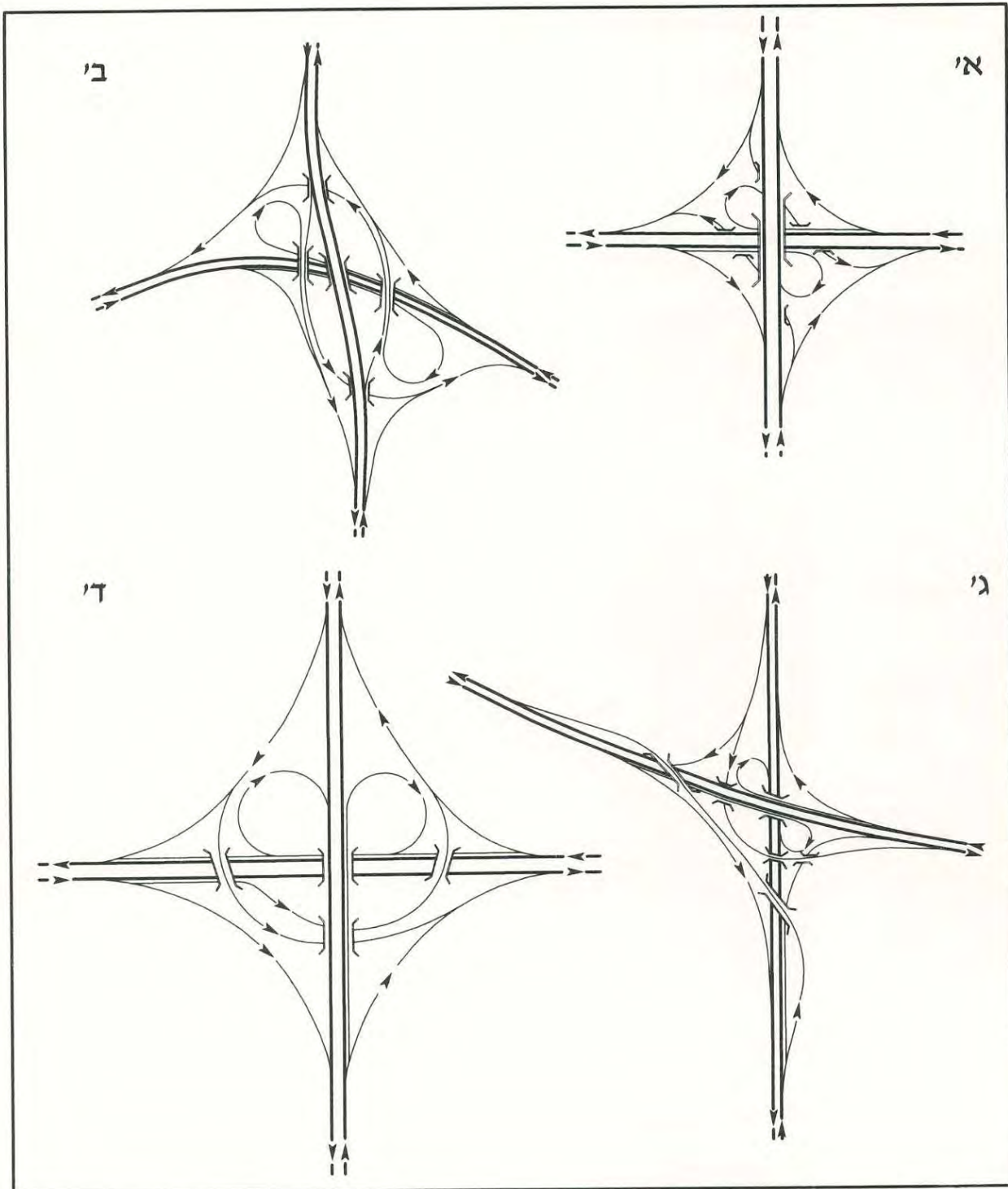
בצורה ג' בציור 9.11 מוצג פתרון לא-סימטרי, בו שתי הרמפות הישירות-למחצה חיצוניות ללולאות, כשאחת מהן שמאלית למרכז המחלף והשנייה ימינה לו. פתרון זה נותן העדפה ברורה לאחת משתי הפניות הישירות-למחצה שמאלה, ומתאים למקרה בו נפח פנייה זו גדול במיוחד, בסדר-הגודל של הנפח הממשיך ישר. בפתרון ד' בציור 9.11 שתי הלולאות נותרו צמודות, ולא נגדיות, ומחוייבות קטע כביש מאסף-מחלק ביניהן. פתרון זה מיועד למקרה בו התנועות העמוסות במחלף הן בין אחד משני הכיוונים של דרך אחת, לבין שני כיווני הדרך השנייה. פתרון זה מיועד גם למקרה בו לא ניתן לפתח לולאות מאחד מצדיה של אחת הדרכים.

9.3.5 מחלפי עלה-תלתן משולבים עם רמפה אחת ישירה-למחצה

כאשר הביקוש לפנייה שמאלה העמוסה ביותר במחלף עלה-התלתן עוברת את הנפחים המומלצים בסעיף 7.6 ללולאה חד-נתיבית, יש להחליפה ברמפה ישירה-למחצה שמאלה, אשר תתוכנן בהתאם לעקרונות התכן לרמפה כזו בפרק 5. מספר הנתיבים הדרוש ברמפה ובמחברים יחושב בהתאם להנחיות בסעיף 7.6.1. יש להקפיד על שיקולי הניתוב בהפרדות הרמפות ימינה ושמאלה, בהתאם לכללים שבסעיף 7.2.

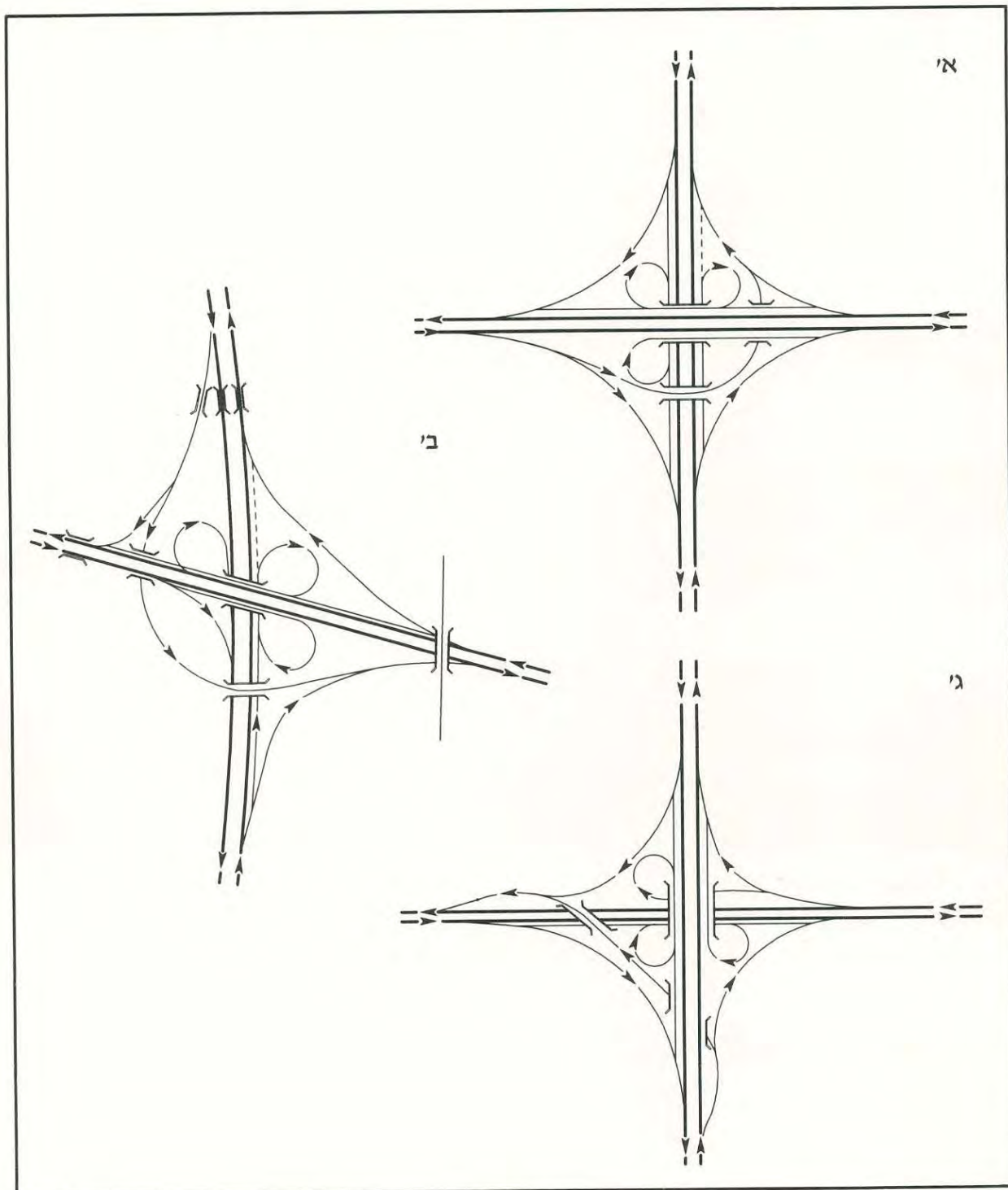
בציור 9.12 מוצגות שלוש אפשרויות לתכנון עקרוני למחלף כזה. מגבלתו היא חוסר אחידות בגישות למחלף מהכיוונים השונים. המחלף מחייב כבישים מאספים-מחלקים, כמתואר בציור. ניתן לקצר שניים מהם, מאחר שאינם נדרשים להמשכיות משיקולי השתזרות, אלא רק לצימצום מספר היציאות והכניסות. עם זאת, המשכיות הכבישים המאספים-מחלקים, כמתואר בקו המרוסק בצורה א' שבציור 9.12, מאפשרת לנהגים לתקן טעויות עקב יציאה לא נכונה. בדוגמה א', הרמפה הישירה-למחצה היא פנימית לרמפה האלכסונית ברביע חסר-הלולאה. בדוגמה ב' בציור 9.12, מוצג פתרון היוצר רדיוסים גדולים יותר ברמפה הישירה-למחצה, באמצעות העברתה כחיצונית לרמפה האלכסונית ברביע חסר-הלולאה. פתרון זה מתאים למקרה בו הפנייה שמאלה משמעותית יותר מאשר הפנייה ימינה מאותו רביע. פתרון ג' בציור 9.12 מציג אופן ניצול שלושת הרביעים הכוללים לולאות לצורך מעבר הרמפה הישירה-למחצה, עקב מגבלות קרקע ברביע חסר-הלולאה.

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 9.11 אפשרויות שונות למחלפים ישירים-למחצה

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 9.12 אפשרויות למחלפי עלה-תלתן משולבים עם רמפה אחת ישירה-למחצה

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

9.4 מחלפי-גישה בני שלוש זרועות

9.4.1 מחלפי חצוצרה (חד-צדדיים)

א. כללי

מחלפי החצוצרה הם המחלפים המקובלים ביותר למפגש בין דרך ממוחלפת המשכית לבין דרך חד-מסלולית, המתחילה או מסתיימת במחלף זה. היות שאינם מיועדים למפגש של שתי דרכים ממוחלפות, נחשבים מחלפי החצוצרה והאגס (סעיף 9.4.2) למחלפי-גישה ולא למחלפי-מערכת, למרות שהם יוצאי-דופן בין מחלפי-הגישה בכך, שאין הם כוללים צמתים.

למחלפי החצוצרה החד-צדדיים שתי גירסאות עקרוניות – ימנית ושמאלית. להבדלים העקרוניים ולשיקולי הבחירה ביניהן, ראה סעיף 4.3.1 א' וציור 4.3.

ב. תכן הרמפות ומחבריהן

לחצוצרה החד-צדדית ארבע רמפות – שתי רמפות אלכסוניות, לולאה ורמפה ישירה-למחצה. הצורות העקרוניות של הרמפות השונות יהיו כמפורט בסעיף 5.2. מהירויות התכן ברמפות ייקבעו בהתאם לסוג הרמפה ולמהירות התכן בדרך הממוחלפת, לפי העקרונות למחלפי-גישה המפורטים בסעיף 5.3. מהירות-התכן ברמפה הישירה-למחצה לא תעלה על 60 קמ"ש, בשל הסמיכות הגיאומטריות שלה ללולאה אותה היא מקיפה, כמתואר בציורים 9.13, 9.14.

ככלל, הרמפות במחלפי החצוצרה תהיינה חד-נתיביות. חתך הרוחב ברמפות יהיה כמפורט בסעיף 5.4, והתוואי האופקי והאנכי יתוכננו כמפורט בסעיפים 5.5 עד 5.7.

כל מחברי הרמפות במחלף החצוצרה (כאמור, חד-נתיביים), יהיו מחברי זרימה, יתוכננו כמפורט בפרק 6 וייבדקו תפעולית כמפורט בפרק 7. בחצוצרה השמאלית, יש להאריך את מחבר היציאה מהדרך ההמשכית, כך שיתחיל לפני הגשר, כמתואר בציורים 4.3 ו-9.14.

ג. מאפיינים ייחודיים

למחלף החצוצרה מספר מגבלות בטיחותיות, שניתן לשפרן בתהליך התכן הגיאומטרי, כמפורט: החצוצרה יוצאת-דופן ממחלפי-הגישה האחרים בכך, שהנהגים הפונים שמאלה מהדרך המשנית (המסתיימת) לדרך העיקרית (ההמשכית) אינם עוברים דרך אזור צמתים, אלא ממשיכים בתנועה רצופה. כתוצאה מכך, אין לנהג המתקרב מהדרך המשנית לגשר ולרמפות שמעבר לו, הדגשה חזותית של הצורך בהאטה משמעותית, המתחייבת מן המעבר מקטע ישר ארוך לעקמומיות בכניסה ללולאה (בחצוצרה הימנית) או לרמפה הישירה-למחצה (בחצוצרה השמאלית). הבעיה מוחרפת עקב מגבלות הראות שיוצר אזור הגשר, במיוחד כאשר הדרך המשנית עליונה, ונוצר עקום אנכי קמור. כתוצאה מכך, עשוי הנהג להיות מופתע מהשילוב של הצורך בשינוי פתאומי הן בכיוון והן במהירות. בנוסף, בחצוצרה הימנית קיימת סכנה של סטייה מהלולאה לנתיב הנגדי. שתי אפשרויות לשיפור הגיאומטריה הן:

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

- הטיית הדרך המשנית לקראת המחלף להקטנת זווית החיתוך בין הדרכים – משפרת את האבחנה ברמפות ממרחק, מקטינה את זווית הסיבוב המבוצעת באמצעות הרמפות, ומאריכה את עקומי המעבר.
- הכנסת עקום אופקי לקראת הגשר, שכיוונו הפוך ללולאה (עקום "S"), ורדיוסו לא יעלה על 400-500 מטר, כמתואר בציורים 9.13 (לחצוצרה ימנית) ו-9.14 (לחצוצרה שמאלית). העקום האופקי משפר את הראות לקראת הגשר, ומהווה אתרעה לנהג לפני כניסתו לעקמומיות הרמפה. בין העקומים שכיווניהם מנוגדים יוכנסו שני עקומי מעבר מנוגדים, לאורכם יבוצעו מעברי-השיפועים הנדרשים. באזור הגשר עצמו יש לשמור על הגבהה צידית אחידה.

9.4.2 מחלפי אגס

מחלף האגס מאפשר קיבולת גבוהה יותר לחיבור בין הדרכים מאשר בחצוצרה, ולכן מהווה תחליף לחצוצרה, למקרה בו הדרך המסתיימת במחלף היא דו-מסלולית. לאגס שתי רמפות אלכסוניות לפניו ימינה, ושתי רמפות ישירות-למחצה לפניו שמאלה. לאגס שתי צורות עקרוניות – שמאלית וימנית – ראה פירוט נוסף בסעיף 4.3.1 ג' ובציור 4.5.

הקווים המקווקווים באגס הימני (ב' בציור 4.5) מתארים פתרון לפניו ימינה במחלף כאשר יש אילוצי שטח. מגרעתו של פתרון כזה היא, שהתפצלות הרמפות בדרך המסתיימת מנוגדת לטבעית. תצורה ג' בציור 4.5 מיועדת כתחליף לחצוצרה, כאשר יש צורך בחציית המחלף עקב קיום תחבורה ציבורית או דרך-שירות מקבילה לדרך ההמשכית. בתצורה זו נוצרת השתזרות לאורך הרמפות או לאורך דרך השירות, ויש לתכנן קטע ההשתזרות כמפורט בפרק 8.

מאפייני התכן העיקריים של רמפות מחלף האגס בגירסאות הימנית והשמאלית דומים למאפייני התכן של הרמפות האלכסוניות והישירות-למחצה במחלפי החצוצרה. במקרה של רמפות דו-נתיביות, יש לתכנן את אזורי המחברים כמפורט למחברים דו-נתיביים בפרק 6, תוך שמירת עקרונות הניתוב והתפעול המפורטים בפרק 7. מאפייני התכן העקרוניים של גירסה ג' בציור 4.5, המכילה השתזרויות, דומים למאפייני התכן של המחלף הסיבובי בסעיף 9.7 בהמשך הפרק.

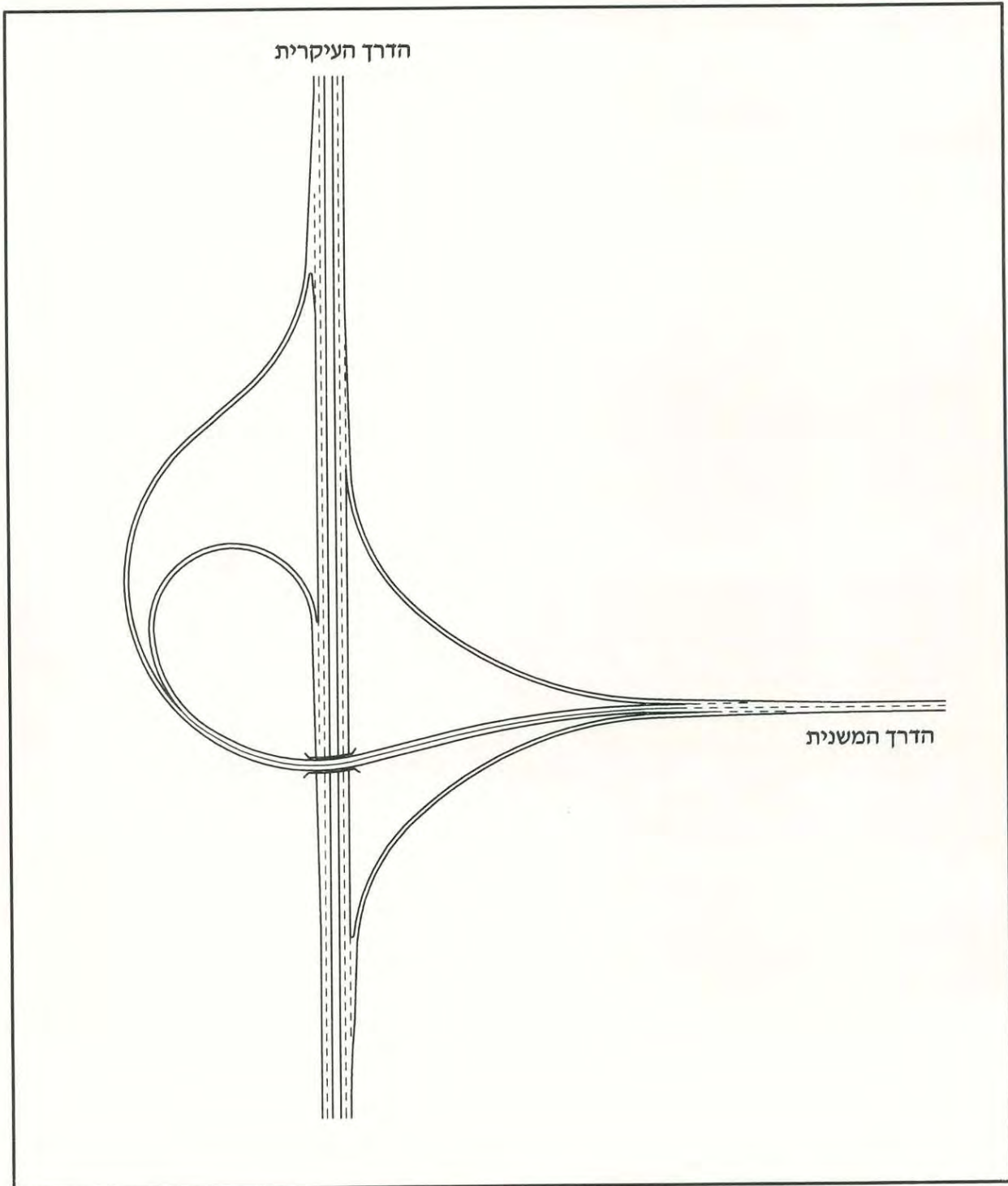
9.5 מחלפי יהלום

9.5.1 כללי

מחלפי היהלום הם מחלפי-גישה בעלי ארבע זרועות, כשהמשותף לכל גרסאות היהלום הוא ההתבססות על ארבע רמפות אלכסוניות חד-סיטריות, המשמשות לכל החיבורים בין שתי הדרכים הנפגשות.

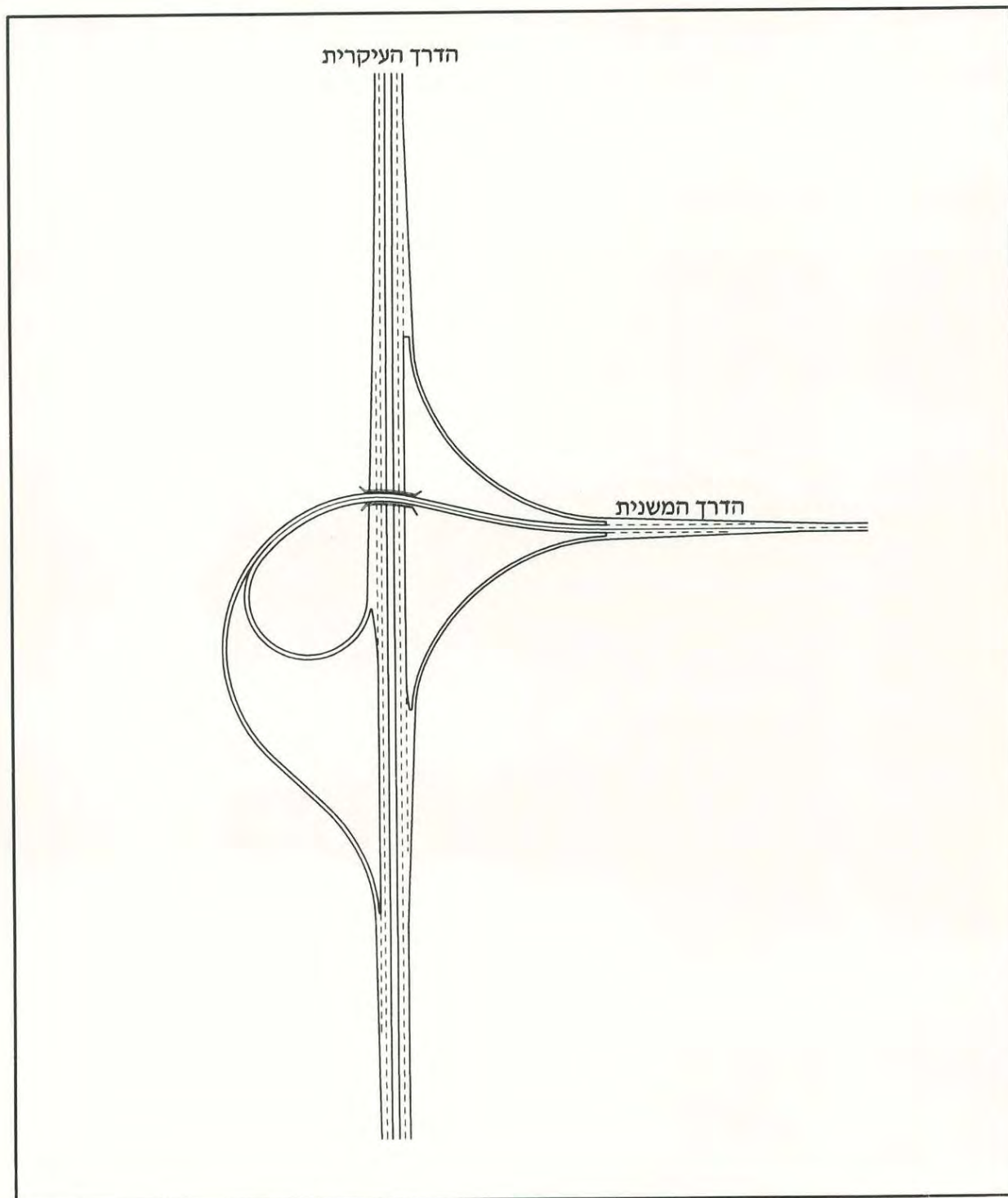
ליהלום מספר גרסאות שונות (רגיל, צר, מפוצל, בפיצול מרובע, וחד-נקודתי). לתיאור עקרוני של גרסאות אלה, להבדלים ביניהן, ולפירוט השיקולים וההצדקים העיקריים לבחירת מחלף יהלום בכלל,

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



מחלף חצוצרה ימנית ציור 9.13

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 9.14 מחלף חצוצרה שמאלית

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

וגרסה מסוימת שלו בפרט, ראה סעיף 4.5 בהנחיות וטבלאות 4.1 ו-4.2. התרשימים העקרוניים של הגרסאות השונות למחלף היהלום, אליהם ניתנות הפניות גם בפרק זה, מופיעים בציורים 4.9 עד 4.15.

9.5.2 תכן הרמפות ומחבריהן

כאמור, כל ארבע הרמפות במחלפי היהלום הן אלכסוניות, ומשמשות לכל הפניות ימינה ושמאלה בין שתי הדרכים. הצורות הגיאומטריות האופייניות של הרמפות יהיו כמפורט בסעיף 5.2 ובציור 5.2. מהירויות התכן ברמפות האלכסוניות ייקבעו בהתאם לעקרונות המפורטים בסעיף 5.3. מרכיבי התוואי האופקי ברמפות יתוכננו כמפורט בסעיף 5.5, ומרכיבי התוואי האנכי – בהתאם לסעיף 5.7.

חתכי הרוחב ברמפות היהלום יהיו בהתאם לעקרונות המפורטים בסעיף 5.4. כל מחברי הרמפות עם הדרך הממוחלפת יתוכננו לפי העקרונות המפורטים בפרק 6 בהנחיות, ותפעול הדרך, הרמפות והמחברים ייבדק בהתאם לדרישות שבפרק 7.

במקרים רבים, התוואי האופקי של הרמפה האלכסונית במחלפי יהלום אינו מגביל את מהירות הנסיעה בה מבחינה משמעותית, כי בתוואי האופקי של הרמפה אין מרכיבים שתכנונם הוא גבולי בהתאם למהירות התכן של הרמפה. בתנאים אלה, הנהג היוצא מהדרך הממוחלפת עשוי להמשיך נסיעתו ברמפה במהירות גבוהה. במקרה כזה, יש להבטיח שהתוואי האנכי של הרמפה, ובמיוחד העקומים האנכיים, לא יצרו מגבלות של נוחות, ראות ובטיחות שלא יתאימו למהירויות שהתוואי האופקי מאפשר.

במחבר שבסוף רמפות היציאה מהדרך הממוחלפת מגיע הרכב למצב עצירה, ובמקום זה עשוי גם להצטבר תור של כלי-רכב. תכנון תוואי רמפות אלה חייב להבטיח לנהג את מרחק הראות שיאפשר לו להבחין בקצה התור ממרחק שיאפשר האטה הדרגתית למצב עצירה, בהתאם למרחקים הנתונים בטבלאות 6.1 ו-6.2. האורך המירבי של התור המצטבר יחושב בצומת לא מרומזר כמפורט בפרק 11 בכרך II של ההנחיות, ובצומת מרומזר, בהתאם לתכנון הרמזורים שבהסתעפויות.

הרמפות במחלפי היהלום הרגיל והצר עשויות להיות הן חד-נתיביות והן דו-נתיביות. בתצורות השונות של היהלום המפוצל, ובמיוחד בפיצול המרובע וכן ביהלום החד-נקודתי, צפויים במקרים רבים נפחי תנועה שיצדיקו רמפות שתהיינה רב-נתיביות לכל אורכן, לרבות בהתחברות לדרך הממוחלפת. מספר הנתיבים הדרוש ברמפות ובמחברים ייקבע כמוסבר בסעיפים 7.5 ו-7.6. בנוסף, ייתכנו ברמפות היציאה מהדרך העיקרית הרחבות, הדרושות לתוספת הנתיבים המשמשים לפניות ולאחסנה לקראת המחברים לעצירה עם הדרך המשנית, כמפורט להלן בסעיף 9.5.4.

9.5.3 תכן ההסתעפויות בדרך המשנית

בכל מחלפי היהלום (למעט המפוצל לסוגיו והחד-נקודתי) נוצרים בדרך המשנית שני צמתים עם רמפות המחלף, שבכל אחד מהם יש שתי הסתעפויות עם רמפות חד-סיטריות – כניסות לרמפה האחת ויציאות מהרמפה השנייה. ההסתעפויות יתוכננו בהתאם לכללים ולהנחיות לתכן הסתעפויות בסעיף 10.3 – "הסתעפויות", בכרך II של הנחיות אלה. אם ההסתעפויות תהיינה מרומזרות, הן תותאמנה גם לאמור

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

בסעיף 10.2 – "צמתים מרומזרים", באותו כרך. זווית ההסתעפויות תהיה ניצבת ככל האפשר ולא קטנה מ-75°.

בגרסאות היהלום השונות, הסדרי הניתוב ופרטי התכן בדרך המשנית (נתיבים המשכיים, נתיבי-עזר, נתיבי פנייה ימינה, ונתיבי פנייה שמאלה כאשר קיימים) יהיו בהתאם למפורט ביחס לציר הראשי בפרק 6 – "ניתוב באזור הצומת", בכרך II של ההנחיות, המתייחס הן לצמתים מרומזרים והן לצמתים לא-מרומזרים. יש להקפיד על שמירת מספר הנתיבים המשכיים בדרך המשנית, על מתן נתיבי ההאטה ונתיבי ההאצה בה, ועל אורכי האחסנה לפניו שמאלה לרמפות, בהתאם לכללים בהנחיות לצמתים. הסדרי הניתוב ופרטי התכן בפניות שמאלה וימינה מתוך הרמפות אל הדרך המשנית, יהיו בהתאם למפורט ביחס לציר המשני בפרק 6 בכרך II של ההנחיות. ראה הסדרים שונים למערך הצמתים במחלפי היהלום בציורים 9.15 - 9.22 בהמשך הסעיף.

נתיבי ההאטה וההאצה הדרושים ליציאת ולכניסת הרמפות בדרך המשנית, יתוכננו בהתאם לקריטריונים המתאימים לתפניות דרך בצמתים, בסעיפים 6.4 ו-6.5 בכרך II. איי-התנועה בהסתעפויות יתוכננו כמפורט בפרק 7 בכרך II.

ההסתעפויות בדרך המשנית סמוכות למבנה הגשר. צריך לתכנן את התוואי האנכי של הדרך ואת המבנים והמתקנים באזור הגשר כך, שיתקיימו כל מרחקי הראות הדרושים לקראת ההסתעפויות ובתוכן, כמפורט בסעיף 4.4 בכרך II של ההנחיות. ראה הרחבה נוספת בנושא הראות בסעיף 9.5.5 להלן ובציור 9.18.

9.5.4 יהלום רגיל – מאפיינים ייחודיים

למחלף היהלום הרגיל (סעיף 4.5.2 וציור 4.9) מגוון יישומים רחב יותר מכל צורת מחלף אחרת, החל ממחלף עם דרך מקומית או גישה ליישוב, בעלות תנועה דלילה, וכלה במחלף עם דרך ראשית דו-מסלולית. כתוצאה מכך, קיים טווח רחב של מאפייני התכן של הרמפות ושל ההסתעפויות בקצה הרמפות, וכן של קטע הדרך המשנית שבין המחברים, מבחינת נפחים, מהירות תכן וכיו"ב.

ביהלום רגיל, משתנים מאפייני התכן של רמפות המחלף בעקבות מרחקן של ההסתעפויות מן הגשר: ביהלום רחב, ההסתעפויות יכולות להישאר במפלס המקורי של הדרך המשנית, וכתוצאה מכך ניתן להימנע משיפועים גדולים ברמפות ומעבודות עפר ניכרות, לשפר את מרחקי הראות בהסתעפויות ולאורך הדרך המשנית, ולהקטין את ההשפעה התפעולית ההדדית בין שתי ההסתעפויות. ככל שההסתעפויות קרובות יותר זו לזו, קרבות תכונות המחלף למאפייני היהלום הצר, המפורטים בסעיף 9.5.5 להלן.

פרטי תכן אופייניים למחלף יהלום עם דרך משנית חד-מסלולית לא מרומזרת מוצגים בדוגמה א' בציור 9.15. באזור המחלף מורחבת הדרך המשנית כדי להכניס את נתיבי ההאצה וההאטה הדרושים, ואת הנתיבים לפנייה שמאלה אל הרמפות. בנוסף, מיועדת ההרחבה ליצירת מפרדה בנויה במרכז הדרך, שתפקידה למנוע פניות מוטעות לתוך רמפות הכניסה החד-סיטריות, ולסייע בהכוונת הנהגים אל רמפות היציאה המיועדות להם. יש להקפיד גם על תימרור ההדרכה וההוריה, למניעת פניות מוטעות.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

הפניות ימינה לדרך המשנית מתוך הרמפות יבוצעו כתפניות דרך חופשיות, למניעת הפרעה לפנייה ימינה מצד הממתינים לפניות שמאלה. גם הפניות ימינה מהדרך המשנית לרמפות יהיו חופשיות, כמתואר בציור 9.15. במקרה של צורך בהמשך נסיעה ישר ברמפות תוך חציית הדרך המשנית, ישונה תכנון קצות הרמפות משני צידי הדרך המשנית, כך שתתאפשר נסיעה ישרה לצורך חציית דרך זו, עבור רכב ברמפה המעונין להמשיך ישר, כמתואר בציור 10.4 בפרק הבא. הסדר זה משרת בעיקר תחבורה ציבורית והורדת נוסעים, כמפורט בסעיף 10.1 להלן.

מחלף יהלום עם דרך משנית דלילת תנועה בסיווג נמוך יתוכנן כמתואר בדוגמה ב' בציור 9.15. הדרך המשנית אינה מחולקת, ואין בה הצדק לנתיבי האטה והאצה, ולנתיבים לפניות שמאלה. בהסתעפויות שבקצות הרמפות יהיו איי-תנועה, כמתואר בציור, לסיוע במניעת פניות מוטעות לתוך הרמפה. בדרך-כלל, זכות הקדימה בהסתעפויות במחלפים כאלה תהיה לתנועה בדרך המשנית. במקרים יוצאי דופן, בהם זכות הקדימה תוענק לתנועה היוצאת מהרמפה, משיקולים של תפעול או של ראות, יש להציב תמרורי ב-37 ("עצור") לתנועה המשכית בדרך המשנית, ולהתריע בפני הנהגים על הסדר זה, שהינו חריג עבורם.

מחלף יהלום המיועד לנפחי תנועה גדולים מתקבל במחלף עם דרך משנית בין-עירונית דו-מסלולית, בדרך-כלל כתוצאה של מיחלוף צומת שהיה בשלב הקודם בתצורת צומת בפיצול יהלום, כמתואר בציור 9.16. מחלף כזה אופייני למפגש בין דרך מהירה לבין דרך ראשית, או בין שתי דרכים ראשיות. מחלף זה מחייב מספר גדול של נתיבים ברמפות ובדרך המשנית, ושני הצמתים בו חייבים להיות מרומזרים ומתואמים ביניהם. פרטי התכן של הדרך המשנית ושל ההסתעפויות המרומזרות עם הרמפות יהיו כמפורט ביחס לצומת בפיצול יהלום, בסעיף 10.6 ובציור 10.20 בכרך II של ההנחיות, לרבות חישוב מספר הנתיבים הדרוש לצרכי אחסנה בדרך המשנית ובקצות רמפות הכניסה אליה. במחלפי יהלום כאלה, ייתכן הצדק תפעולי לתכנון של הרמפות כדו-נתיביות לרבות במחברים עם הדרך הממוחלפת, בהתאם לעקרונות המפורטים בסעיף 7.6 בהנחיות.

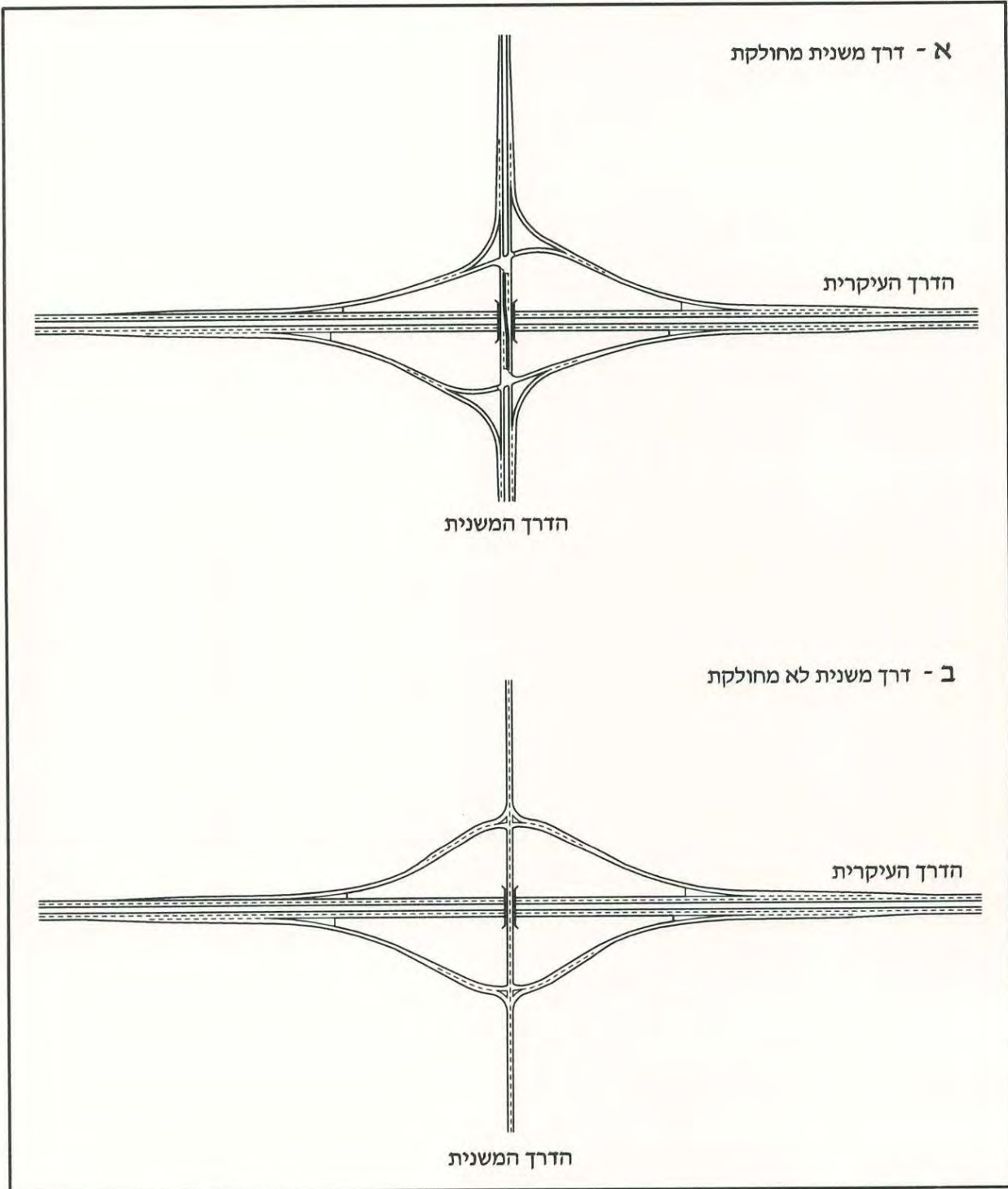
9.5.5 יהלום צר – מאפיינים ייחודיים

מרבית המאפיינים הגיאומטריים ביהלום הצר (סעיף 4.5.3 וציור 4.11) דומים למאפיינים שצוינו בסעיף 9.5.4 לעיל ביחס ליהלום הרגיל. ההבדלים העיקריים נובעים מקרבת צמדי ההסתעפויות בדרך המשנית זה לזה ולמבנה הגשר, כמפורט להלן.

ההסתעפויות ביהלום הצר מצויות בדרך-כלל במפלס הגשר בדרך המשנית. כתוצאה מכך, לאורך הרמפות ביהלום הצר עשויים להיות שיפועים גדולים, אך עקמומיות אופקית מועטה, ויש להימנע מחוסר התאמה בין מגבלות התוואי האנכי והתוואי האופקי.

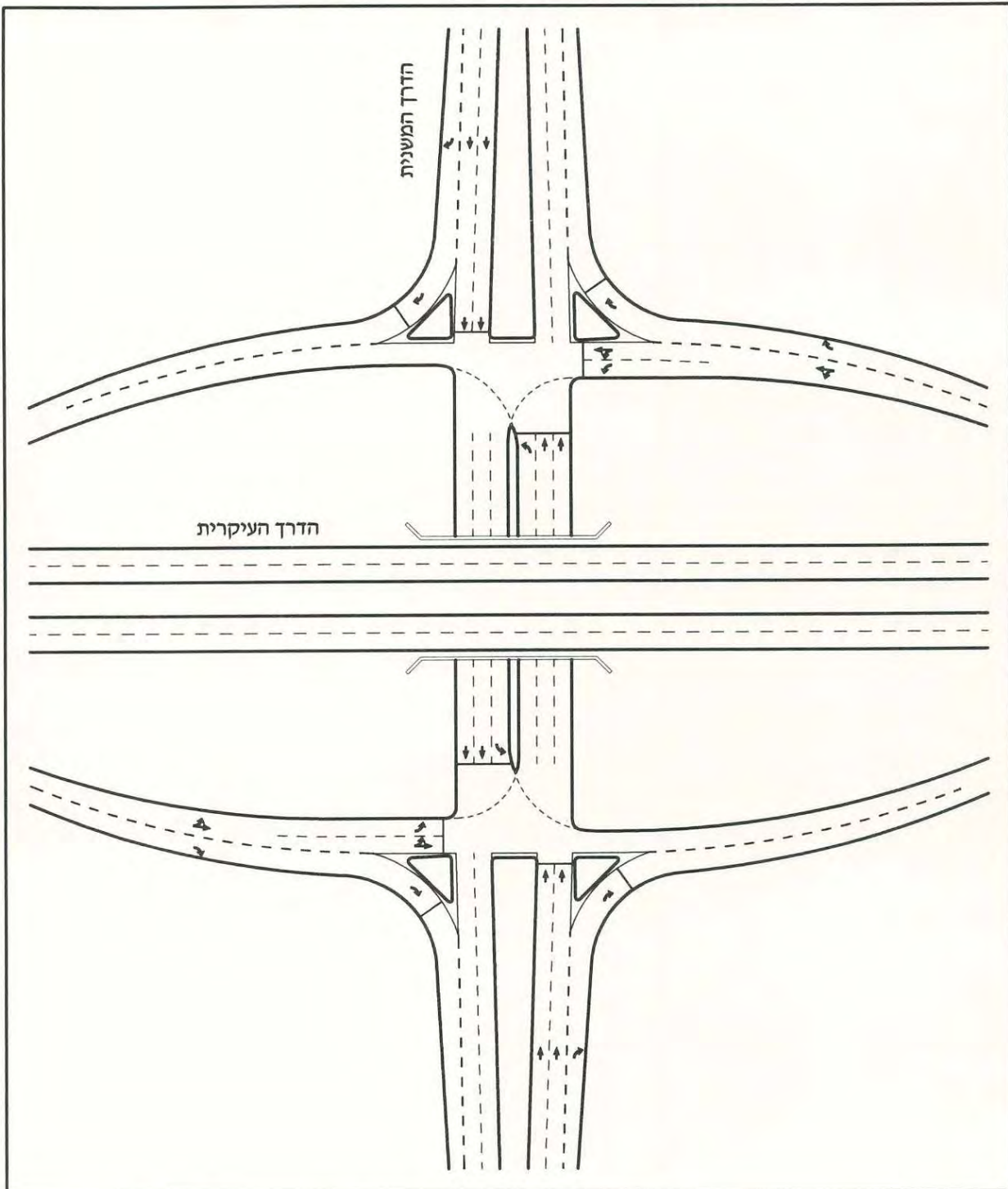
עקב קירבת שני הצמתים בדרך המשנית, יש ביניהם השפעה תפעולית הדדית. המרחק בין הצמתים יהיה בדרך-כלל קטן מסכום אורכי האחסנה הדרושים לשתי הפניות שמאלה לרמפות, במיוחד בצמתים מרומזרים, ולכן האחסנה תבוצע בנתיבים מקבילים זה לצד זה, המחייבים את הרחבת הגשר, כמתואר בציור 9.17.

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 9.15 מחלפי יהלום עם דרך משנית חד-מסלולית (לא מרומזרת)

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 9.16 מחלף יהלום כפיתוח של צומת בפיצול יהלום מרומזר

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

במחלף עמוס, יידרשו בדרך-כלל שני נתיבים לפנייה שמאלה מהרמפות, כמתואר בציור. הפנייה ימינה מהרמפות עשויה להיות מרומזרת (ולא חופשית) ואז ניתן להקצות גם לה שני נתיבים.

קירבת הצמתים מחייבת את תיפעולם המשותף, במקרה של רימזור, למניעת סתימת הדרך המשנית. יש להקפיד על חישוב זמני הפינוי ומרווחי הבטיחות בין הכיוונים השונים ברמזור, ועל המיקום המתאים להצבת עמודי הרמזורים: כששני הצמתים קרובים מאוד, הצבת עמודי רמזור נפרדים בכל צומת, עשויה להטעות את הנהגים הנוסעים בדרך המשנית. מצד שני, הצבתם רק בצומת הראשון עלולה שלא להבטיח את זמני הפינוי הדרושים לצומת השני. יש לבדוק באופן מפורט את שתי האפשרויות. כאשר חזויים קשיים בתפעול מערך הצמתים ביהלום הצר, יש לשקול את האפשרות של היהלום החד-נקודתי, או של החלפת הצמתים במעגלי-תנועה.

מגבלה בטיחותית מובהקת של היהלום הצר, שחלה גם על חלק ממחלפי היהלום הרגיל, היא מרחק הראות שמאלה מקצה רמפות הכניסה לכיוון הגשר. בנוסף למרחקי הראות המקובלים בהסתעפויות, אשר מפורטים בסעיף 4.4 בכרך II של ההנחיות, נדרש להבטיח את קו הראות הפנוי לאורך הדרך, המתואר בציור 9.18, אשר יאפשר לנהג הממתין בקו העצירה לקבל פער המספיק לו לחצייה ולפינוי של הנתיב הימני. הנחות החישוב למרחק הראות הדרוש הן כמפורט בסעיף 4.4.3 בכרך II. מרחקי הראות המתקבלים, הדרושים לרכב פרטי ולמשאית הפונים שמאלה, מפורטים בטבלה 9.1. בהנחה שאזור הצמתים במחלפים יהיה תמיד מואר, קו הראות לרכב פרטי יהיה מגובה 1.05 מ' ברכב הפונה לגובה 1.30 מ' ברכב המתקרב במרכז הנתיב הסמוך (גג רכב או קסדת רוכב אופנוע), ואילו קו הראות למשאית יהיה מגובה 1.80 מ' ברכב הפונה לגובה 1.30 מ' ברכב המתקרב. (מרחקי הראות הדרושים לרכב מורכב כפולים מהדרושים לרכב פרטי, ולכן לא מעשיים.)

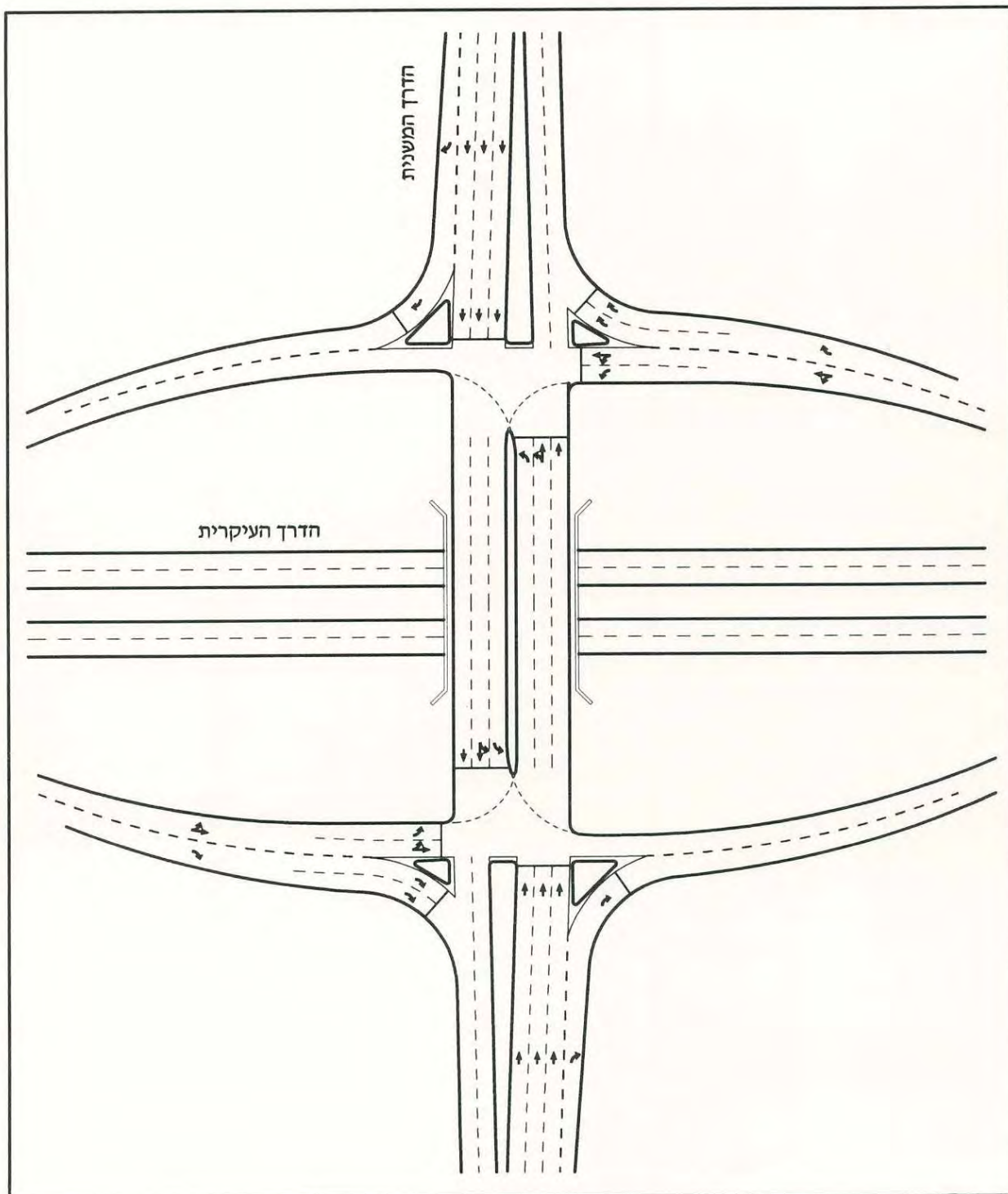
קיומו של מרחק הראות הדרוש ייבדק הן בתוואי האופקי והן בתוואי האנכי, כמתואר בציור 9.18. כאשר הדרך המשנית עליונה, יש לבדוק את ההפרעה שגורמים מבנה ומעקה הגשר. כאשר הדרך המשנית תחתונה, יש לבדוק את ההפרעה שגורמים קירות התמך או סמכי הגשר ונציביה. כאשר לא ניתן לקיים את מרחקי הראות הדרושים, ואי אפשר למקם אחרת את המחברים, יש לשקול שינויים במערך הבקרה במחלף: הגבלת המהירות בדרך המשנית, שינוי כיווני זכות-הקדימה או רימזור ההסתעפויות משיקולי בטיחות.

טבלה 9.1 מרחק-הראות הדרוש שמאלה לפנייה ממצב עצירה בצמתים מחלף יהלום (S_D בציור 9.18)

מהירות התכן בדרך המשנית (קמ"ש) ⁽¹⁾	50	60	70	80	90	100	110
מרחק ראות S_D לרכב פרטי (מטרים)	100	120	140	160	180	200	220
מרחק הראות S_D למשאית (מטרים)	140	170	200	230	260	280	310

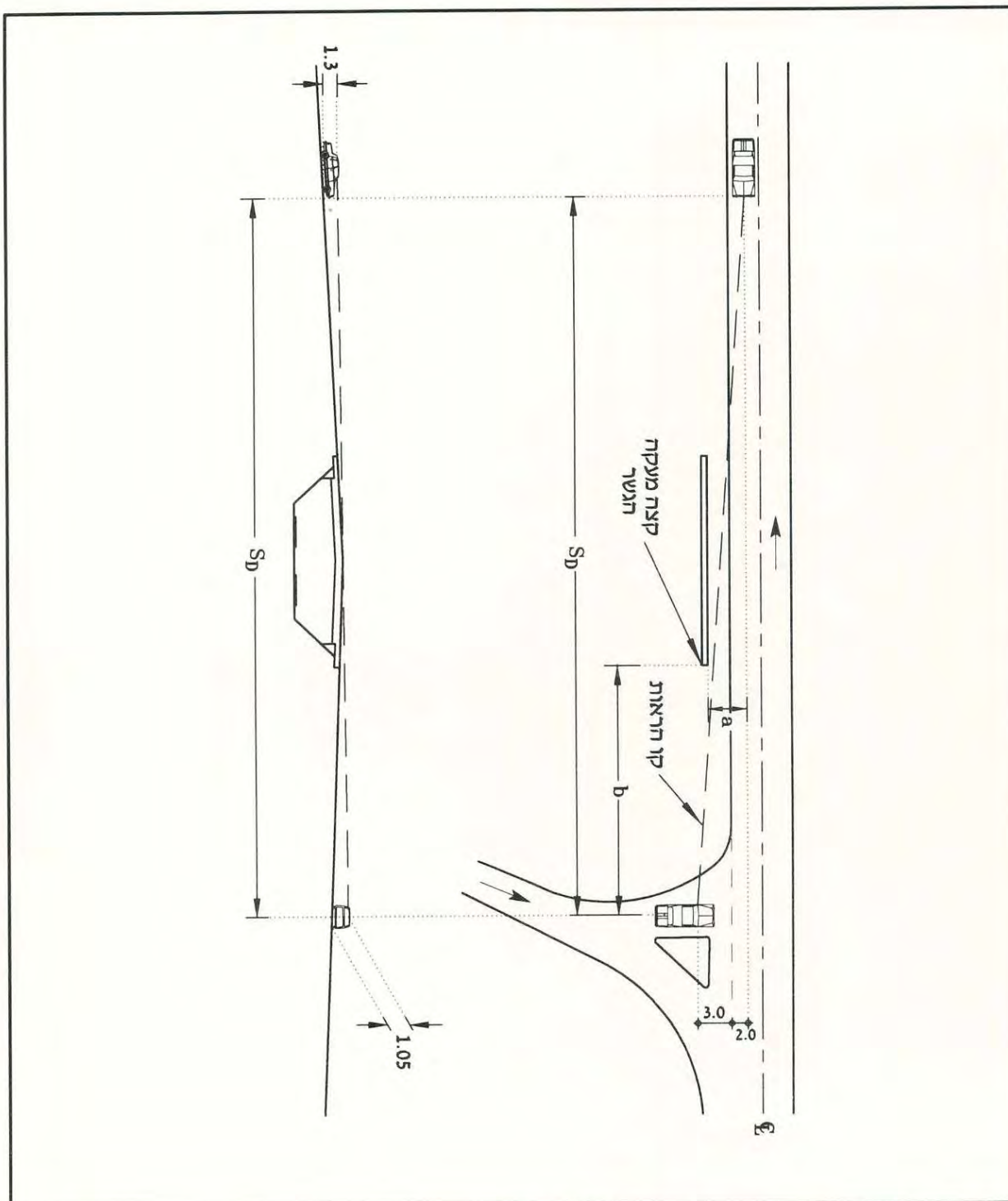
(1) ביהלום הצר, הדרך המשנית היא בדרך-כלל בעלת אופי עירוני או מקומי, ולכן התחום המעשי הוא תחום המהירויות הנמוך.

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



צויר 9.17 אזור הצמתים במחלף יהלום צר מרומזר

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 9.18 מרחק הראות הדרוש לכיוון הגשר בהסתעפויות מחלף היהלום

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

9.5.6 יהלום מפוצל – מאפיינים ייחודיים

ליהלום המפוצל מגוון אפשרויות, בהתאם למערך התנועה הכולל בדרכים וברחובות החוצים בקרבתו, ולאפשרות השימוש בכבישי או בדרכי-שירות, כמפורט בסעיף 4.5.4. מאפייני התכן הגיאומטריים של היהלום המפוצל לאפשרויותיו השונות (ציורים 4.12, 4.13) יהיו כפי שפורט לעיל ביחס ליהלום הרגיל והצר, בהתאם לתצורת המחלף ולמרחק בין הרמפות.

בציור 9.19 מוצגים עקרונות התכן הגיאומטרי והתפעולי עבור שתי אלטרנטיבות של יהלום מפוצל מרומזר – בצורה א' בציור תוך שימוש בשני חצאי-יהלום עם רחובות מקבילים דו-סיטריים, ובצורה ב' בציור תוך שימוש בשני רחובות חד-סיטריים ובדרכי-שירות מקבילות לדרך העיקרית. לפתרון ב' בציור קיבולת גבוהה יותר, והוא מהווה פתרון נוח לשימוש במחלף לתחבורה ציבורית העוצרת בו.

מאחר שכל אחת מהדרכים המשניות במחלף המפוצל מספקת רק חלק מאפשרויות החיבור בין הדרכים, המחלף מחייב מערכת תמרורי הדרכה מפורטת, הקפדה על מניעת פניות אסורות, ומתן אפשרויות חזרה לנהג שטעה.

9.5.7 יהלום בפיצול מרובע – מאפיינים ייחודיים

מחלף היהלום בפיצול מרובע (סעיף 4.5.5 וציור 4.14) מתקבל, בדרך-כלל, כשלב שני לאחר צומת בפיצול מרובע, בו הדרך הממוחלפת הועברה למפלס שמעל או מתחת למכלול צמתי-המשנה המהווים את הפיצול המרובע, כמתואר בציור 9.20. מערך הצמתים נותר, בדרך-כלל, במפלס המקורי של הדרך המשנית. התכן המפורט של מערך הצמתים, לרבות הרימזור והתמרור, ייעשה כמפורט ביחס לצומת בפיצול מרובע בסעיף 10.6 בכרך II של ההנחיות.

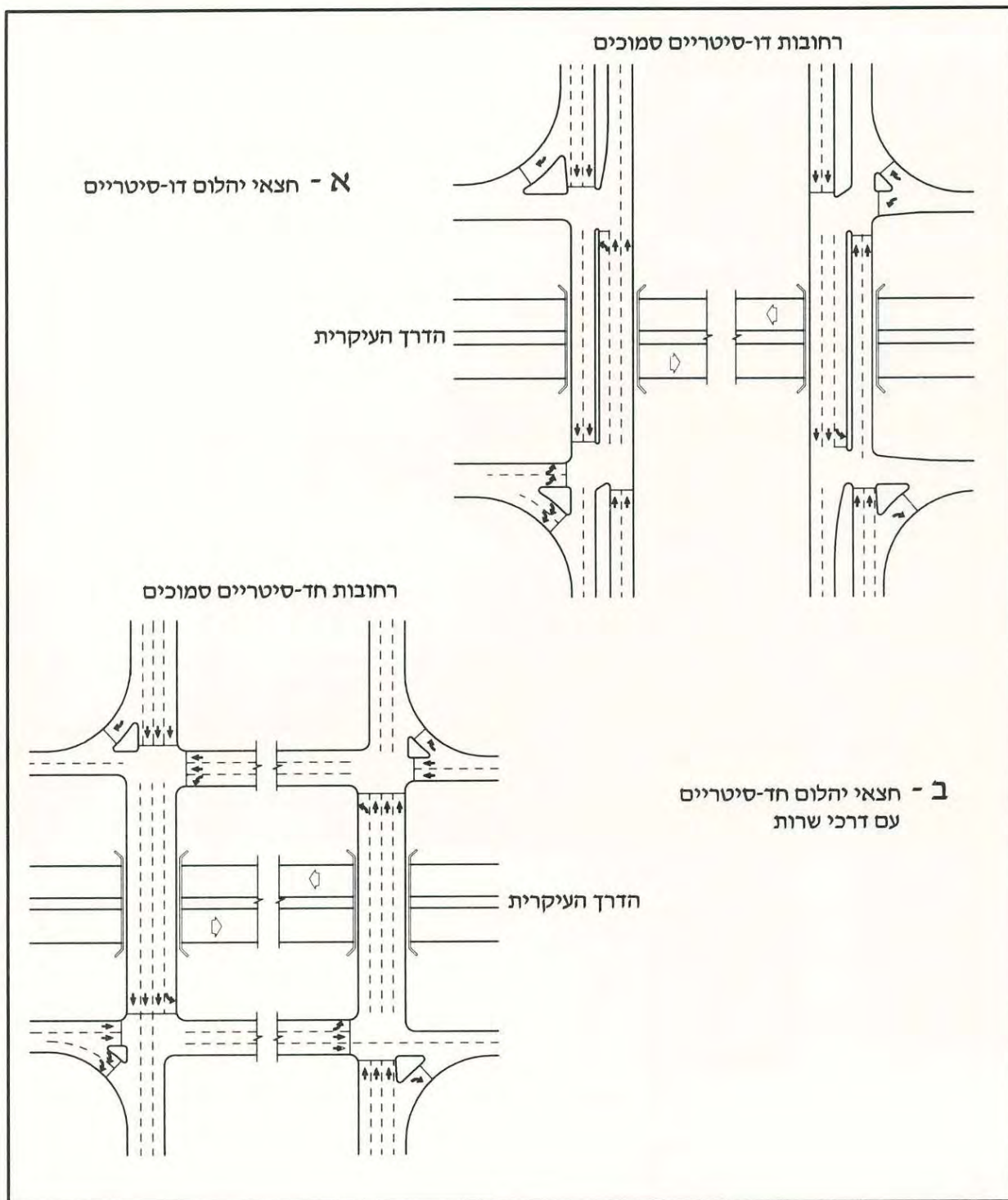
9.5.8 יהלום חד-נקודתי – מאפיינים ייחודיים

היהלום החד-נקודתי (סעיף 4.5.6 וציור 4.15) מיועד לאזורים מטרופוליניים, כתחליף ליהלום הצר, בהתאם לשיקולים המפורטים בסעיף 4.5.1 בהנחיות. ביהלום זה נוצר צומת יחיד מרומזר בשטח גדול, שהסדרי התנועה והגיאומטריה בו מתוארים באופן עקרוני בציור 9.21. הצומת עצמו הוא במפלס הדרך המשנית באזור הגשר, כאשר הדרך הממוחלפת עוברת במפלס שמעליה או מתחתיה.

במבנה הרגיל של הצומת, הוא מופעל על-ידי רימזור תלת-פאזי, כשהתפניות שמאלה מבוצעות זו מול זו ברדיוס גדול: רדיוס הפניות שמאלה מהרמפות מגיע ל-45 עד 60 מטר. הפניות שמאלה מהרמפות מבוצעות במהירות גבוהה יחסית, ולכן יש לשמור בין פניות נגדיות על מרווח בטיחות (חוף-חוף) של 3.00-3.60 מטר. הצומת מחייב זמני פינוי ארוכים (עד 8 שניות). במקרים רבים, גם הפניות ימינה מהרמפות תהיינה מרומזרות.

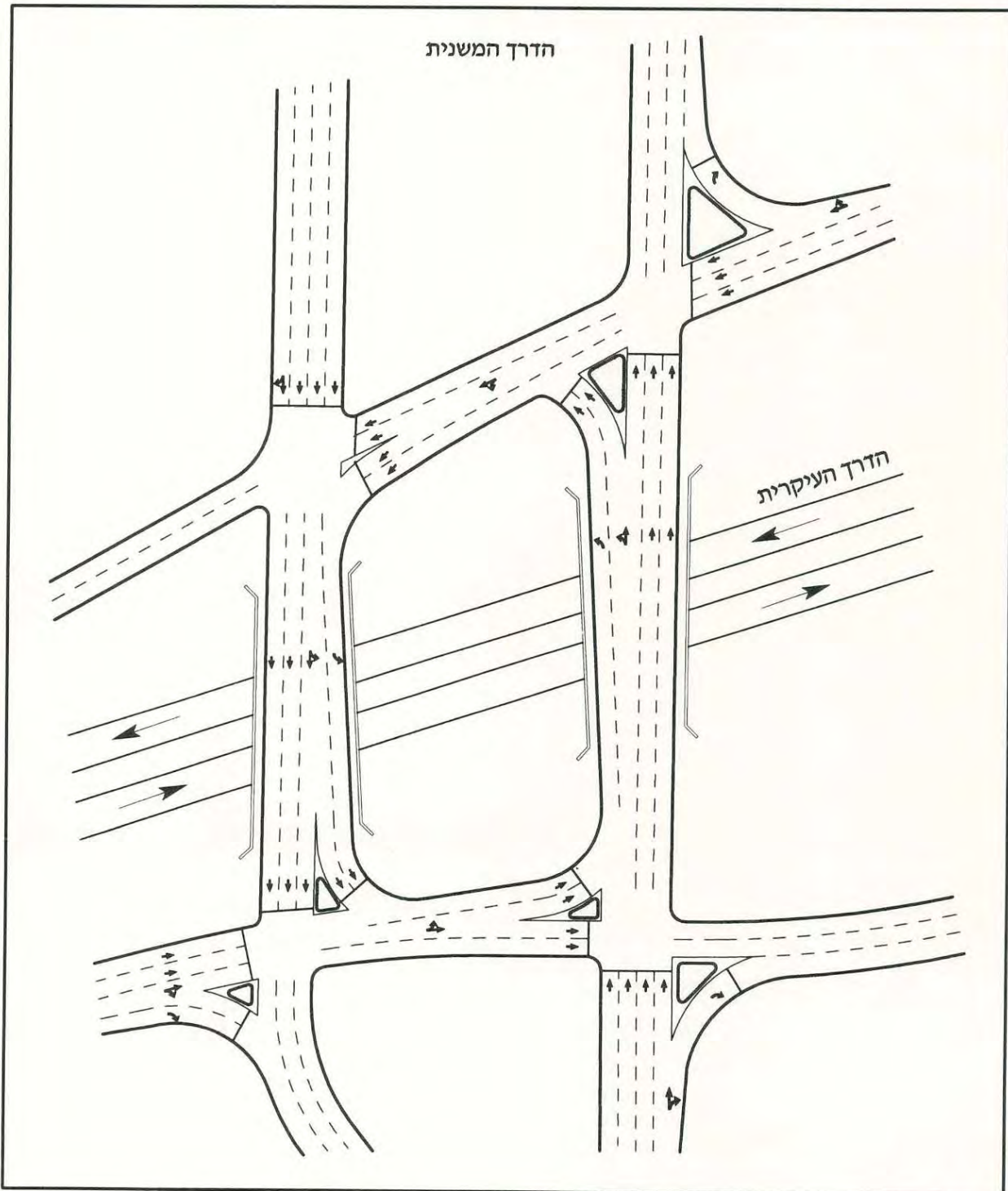
רצוי להגביל את מספר הנתיבים לכל פנייה ולכל מסלול בדרך המשנית לשניים, אחרת יתקבל צומת בשטח גדול וללא אפשרויות הכוונה ברורות בתוכו, שיגרום קשיי התמצאות לנהגים.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



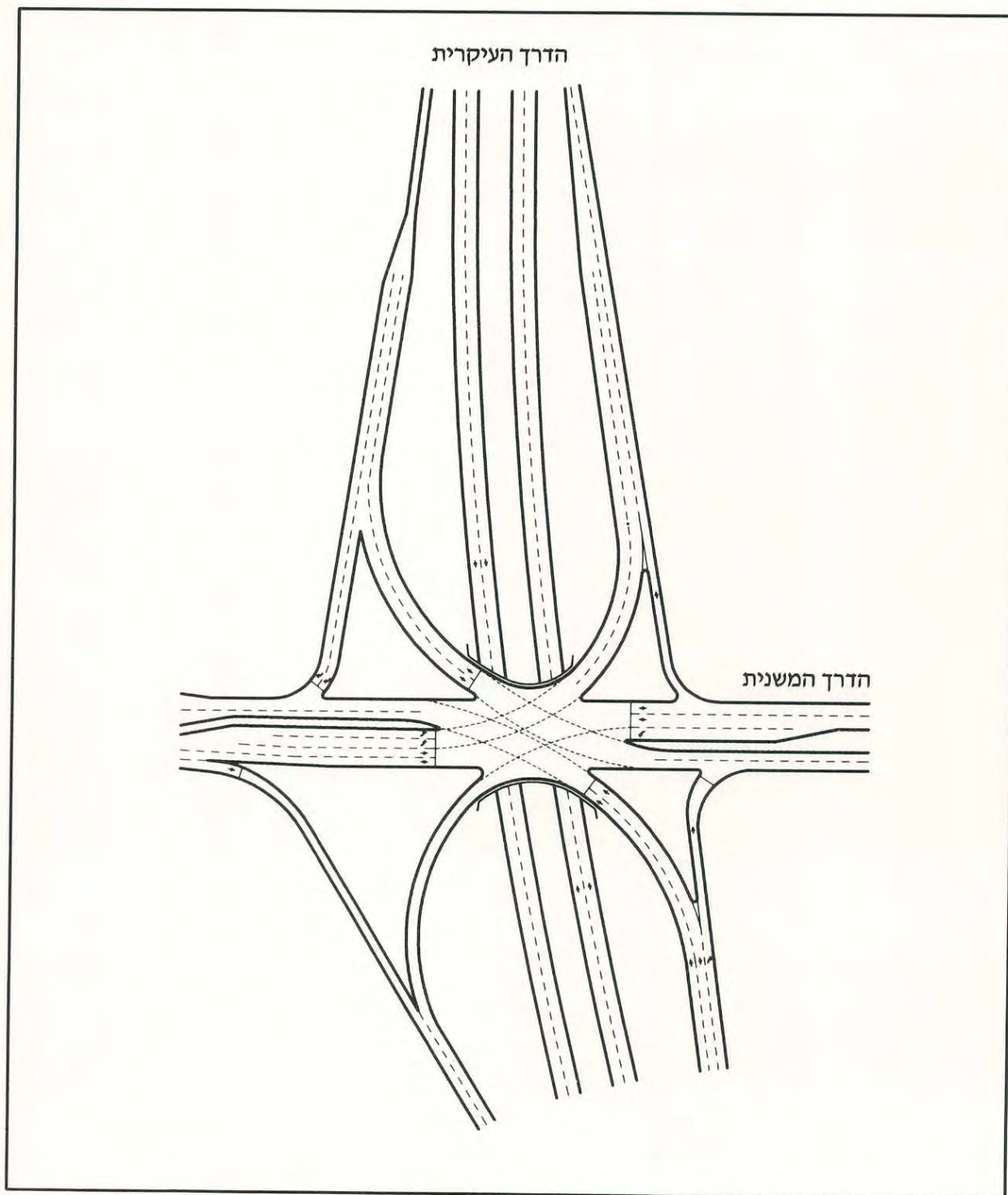
ציור 9.19 שתי אפשרויות למחלף יהלום מפוצל עם רחובות עירוניים סמוכים

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 9.20 מחלף יהלום בפיצול מרובע מרומזר

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 9.21 מחלף יהלום חד-נקודתי

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

שילוב הולכי-הרגל ותחבורה ציבורית חוצה בצומת החד-נקודתי הוא מורכב. הוא מחייב תוספת פאזה ברמזור, ולכן מפחית מיעילות הרימזור.

9.5.9 יהלום עם צמתים סיבוביים – מאפיינים ייחודיים

מחלף היהלום עם צמתים סיבוביים (ציור 4.20) הוא מחלף יהלום רגיל או צר, אשר אחד משני צמדי ההסתעפויות בו, או שניהם יחד, הוחלפו בצמתים סיבוביים קטנים. הצמתים הסיבוביים משמשים להרגעת התנועה בדרך המשנית, ולכן פתרון כזה מתאים למחלף עם דרך משנית בסיווג נמוך או בעלת אופי עירוני, בהתאם להצדקים בטבלה 10.5 בכרך II של ההנחיות. הצמתים הסיבוביים מאפשרים לפתור בעיות גיאומטריות, תפעוליות ובטיחותיות האופייניות ליהלום, ובמיוחד ליהלום הצר, וכתחליף לרימזור הצמתים. להצדקים ושיקולים מפורטים לבחירה בצומת הסיבובי, ולמאפייני התכן הגיאומטרי שלו, ראה סעיף 10.7 בכרך II של ההנחיות.

מחלף יהלום עם שני צמתים סיבוביים מתואר בציור 9.22. במחלף מסוג זה יש לחשב את הקיבולת ורמת השירות של הצמתים הסיבוביים בהתאם לדרך החישוב המפורטת בסעיפים 10.7.12 ו-10.7.13 בכרך II, כדי למנוע מצב של הצטברות תורים בקטע שבין שני הצמתים המעגליים, אשר יביא לחסימת הדרך המשנית או הרמפות.

9.5.10 אפשרויות לפיתוח עתידי

מחלף היהלום הרגיל ניתן לפיתוח עתידי למחלף עלה-תלתן חלקי או מלא, כמתואר בציור 4.10, בתנאי שנשמרה זכות-הדרך לכך בשלבי התכן הראשוניים של המחלף.

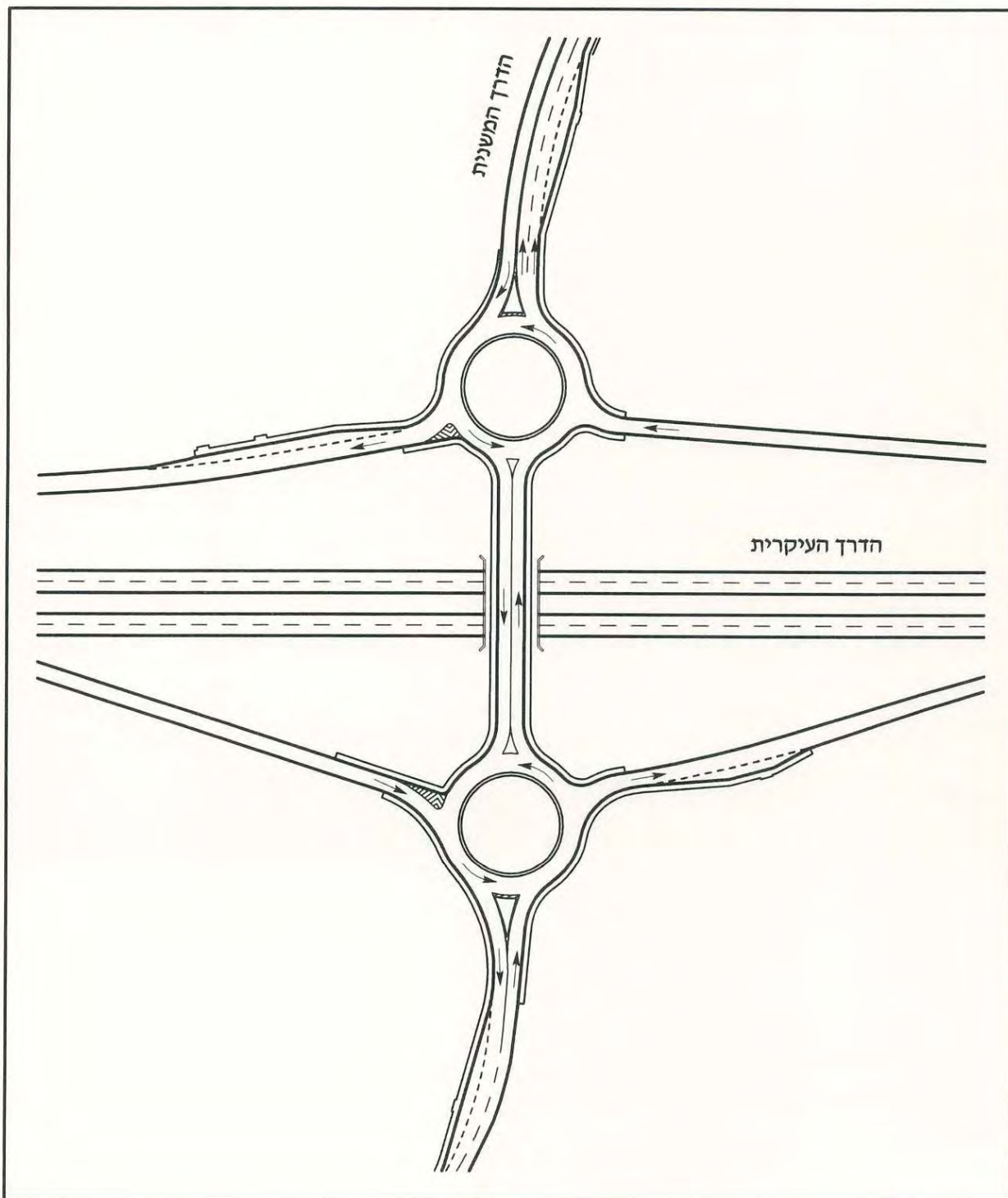
שאר תצורות היהלום, אשר הבחירה בהם נובעת בדרך-כלל מלכתחילה כתוצאה מאילוצי-שטח, מוגבלות באפשרויות לפיתוח עתידי. ביהלום צר ובמפוצלים ניתן, לעיתים, להוסיף נתיבים בדרך המשנית תוך הרחבת הגשרים במחלף.

ביהלום בפיצול מרובע, ובמיוחד בחד-נקודתי, כמעט שלא ניתן לבצע תוספות והרחבות לצמתים. בצורות יהלום אלה, אפשרות הפיתוח העתידי היא בהשארת מערך הצמתים על מכונו, ובהעברת התנועה ההמשכית בדרך המשנית למפלס שלישי, ליצירת מחלף יהלום תלת-קומתי, כמתואר בציור 9.23. בצורה א' בציור מוצג פיתוח של יהלום צר, ובצורה ב' בציור – פיתוח של יהלום חד-נקודתי.

9.5.11 מחלף יהלום עם לולאה אחת

במחלף יהלום עם לולאה, מתווספת באחד מרביעי המחלף לולאה המשמשת לפנייה העקיפה שמאלה, כתחליף לפנייה הישירה-למחצה שמאלה באמצעות הרמפה האלכסונית ברביע הסמוך מצידה השני של הדרך המשנית, כמתואר בציור 9.24. הלולאה יכולה לשמש הן לפנייה שמאלה מהדרך המשנית, כפי שהיא מופיעה בציור, והן לפנייה שמאלה מהדרך העיקרית. הרמפה האלכסונית שהוחלפה עשויה

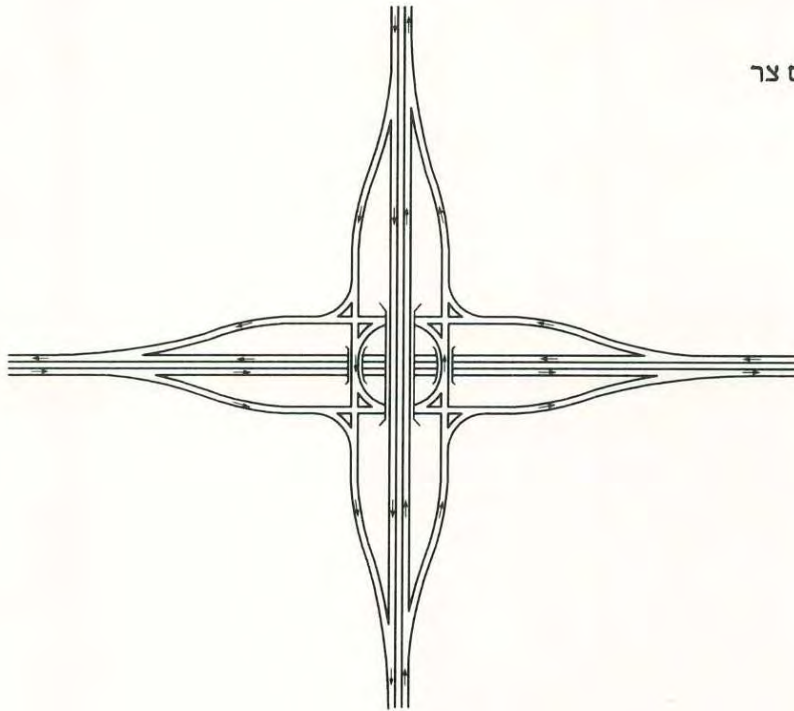
הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



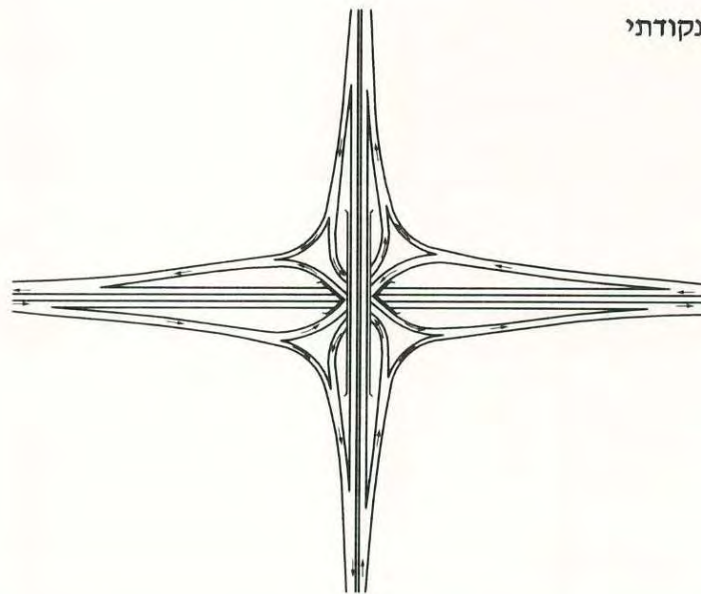
מחלף יהלום עם צמתים סיבוביים ציור 9.22

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

א- יהלום צר



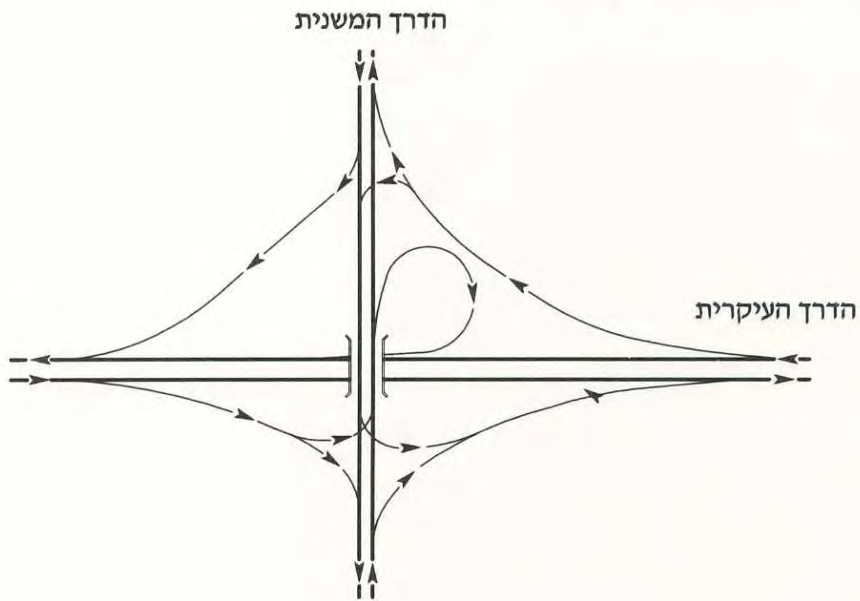
ב- יהלום חד-נקודתי



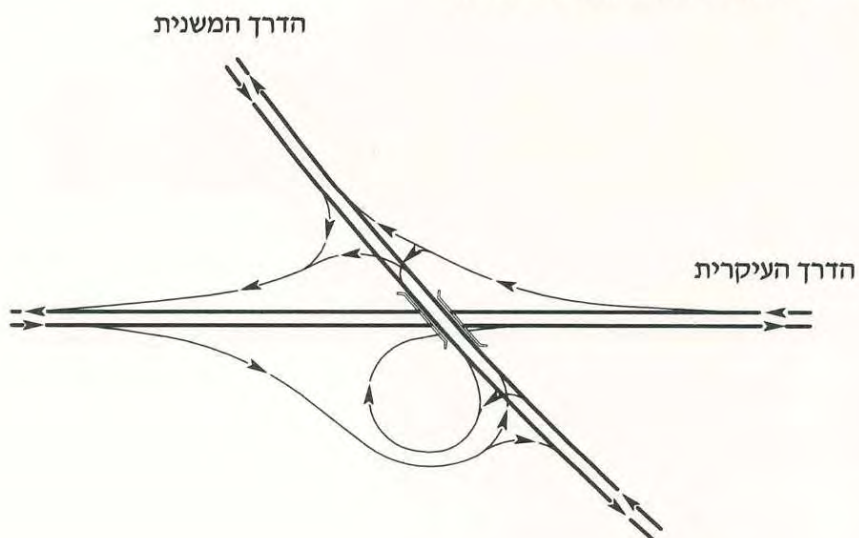
מחלפי יהלום תלת-קומתיים ציור 9.23

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

א - עם רמפה אלכסונית



ב - ללא רמפה אלכסונית ברביע אחד



מחלפי יהלום עם לולאה אחת ציור 9.24

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

להישאר רק לפנייה ימינה באותו רביע, כמתואר בצורה א' בציור 9.24. לחילופין, ניתן לבטלה ולבצע הפנייה ימינה באמצעות פנייה שמאלה ללולאה, כמתואר בצורה ב' בציור זה. הרביע שבו הוכנסה הלולאה דומה, מבחינה גיאומטרית ותפעולית, לתצורה המקבילה של מחלף עלה-תלתן חלקי. להנחיות תכן מפורטות לרביע זה, ראה סעיף 9.6.4 להלן, המוקדש למחלפי עלה-תלתן חלקיים.

פתרון היהלום עם הלולאה מיועד למקרים הבאים:

- מחלף יהלום בו עומס התנועה א-סימטרי, כשפנייה אחת שמאלה חזקה במיוחד, וביצועה בצומת פוגע בקיבולת המחלף.
- מחלף יהלום בו לא ניתן לספק את השטח הדרוש לאחסנת אחת מהפניות שמאלה (תוספת הנתביים הדרושה לפנייה ולאחסנת התור או אורך האחסנה הדרוש).
- מחלף יהלום שאחד מרביעיו אינו זמין לרמפה האלכסונית.
- כשלב ראשון למחלף עלה-תלתן חלקי.

פתרון אפשרי אחר למחלף יהלום, בו נדרשת הזרמת נפחים גדולים של פנייה שמאלה מהדרך הראשית ללא נפחים ועיכובים, הוא יהלום עם רמפה ישירה-למחצה לפנייה שמאלה, כמתואר בציור 9.25. להנחיות לתכן הרמפה הישירה-למחצה ראה במחלפי-מערכת בסעיף 9.3 לעיל.

9.6 מחלפי עלה-תלתן חלקיים

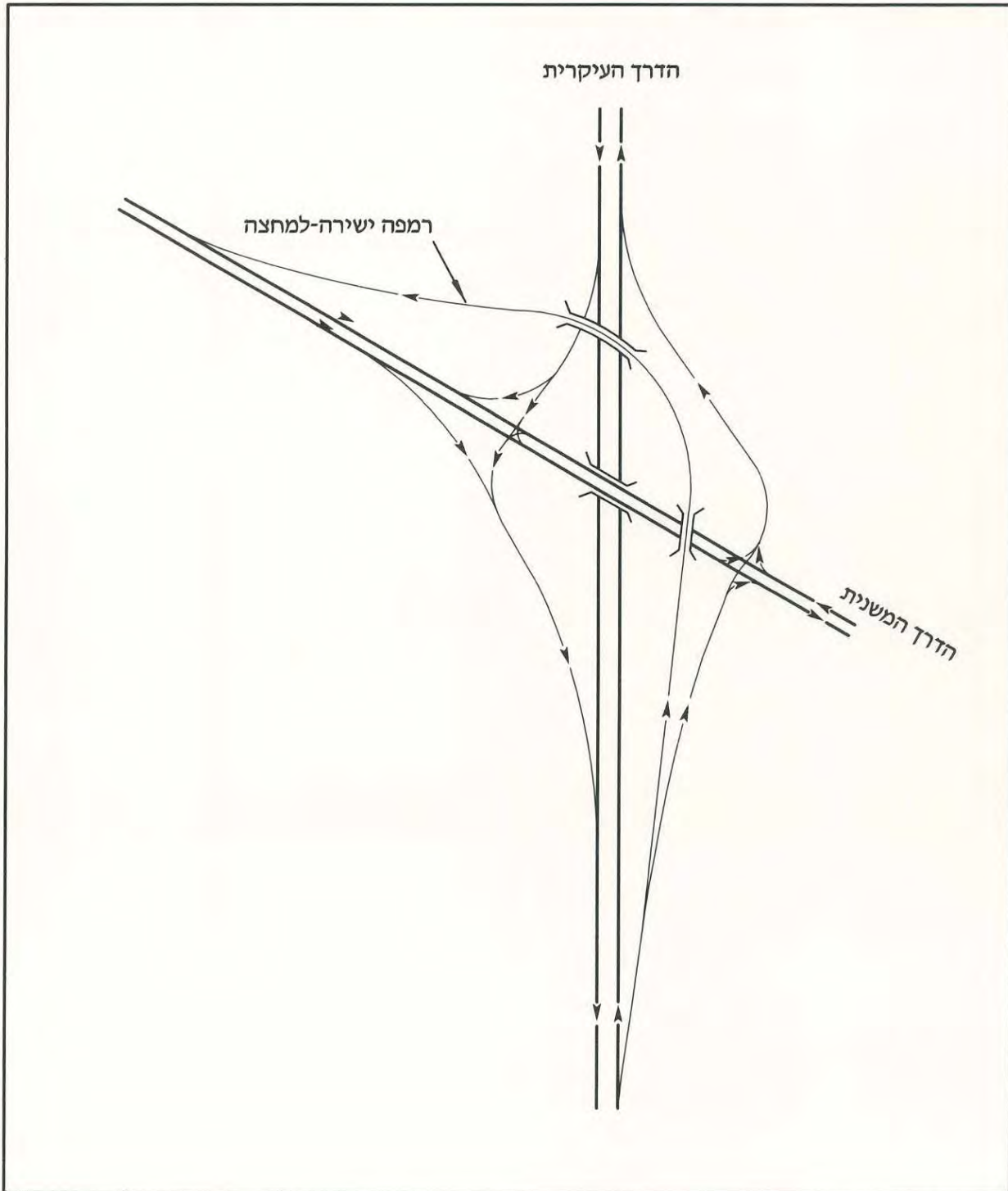
9.6.1 כללי

מחלפי עלה-תלתן החלקיים הם מחלפי-גישה בעלי גשר יחיד, הכוללים מספר תצורות עקרוניות בגרסאות שונות, שהמשותף לכולן הוא שימוש בשתי לולאות לביצוע חלק מהפניות במחלף, ושתי הסתעפויות בדרך המשנית. לתיאור עקרוני של הגרסאות השונות ולהבדלים ביניהן, ולפירוט השיקולים וההצדקים העיקריים לבחירת מחלף עלה-תלתן חלקי בכלל, וגרסה מסוימת בפרט, ראה סעיף 4.6 בהנחיות וטבלה 4.2. התרשימים העקרוניים של הגרסאות השונות למחלף, אליהם ניתנות הפניות גם מפרק זה, מופיעים בציורים 4.16 עד 4.18.

9.6.2 תכן הרמפות ומחבריהן

במחלפי התלתן החלקיים נעשה שימוש בשתי צורות של רמפות: בכל גרסאות המחלף יש, בשני רביעים, שילוב של לולאה עם רמפה חיצונית; בתצורות A-4 ו-B-4 יש, בשני הרביעים הנוספים, רמפות אלכסוניות לפנייה ימינה. בתצורות A-2 ו-B-2 נוספות ללולאות, באותם רביעים, שלוחות ישירות-למחצה, המשמשות לביצוע הפניות ימינה באמצעות הלולאות, כמתואר בציורים 4.16 ו-4.17: בתצורה A-2 משמשות הלולאות לפנייה ימינה ושמאלה מהדרך המשנית לעיקרית, ובתצורה B-2 – מהדרך העיקרית למשנית. הצורות הגיאומטריות העקרוניות של הרמפות יהיו כמפורט בסעיף 5.2.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



צור 9.25 מחלף יהלום עם רמפה ישירה-למחצה לפנייה שמאלה

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

בין הלולאה לבין הרמפה החיצונית לה, מומלצת הפרדה פיזית מלאה: המרחק שיישמר יספיק לפחות לשולי שתי הרמפות ולניקוז ביניהן, כמתואר בציור 9.28.

הרמפות במחלפי תלתן חלקיים תהיינה בדרך-כלל חד-נתיביות (למעט ההרחבות הדרושות לתוספת הנתיבים המשמשים לפניות ולאחסנה לקראת המחברים לעצירה עם הדרך המשנית, כמפורט להלן בסעיף 9.6.4). חתך הרוחב ברמפות יהיה כמפורט בסעיף 5.4. בתצורות A-2 ו-B-2 עשויות להיות בעיות קיבולת ברמפות, בשל החיבור של נפחי שתי תנועות בתוך הלולאות. לא מומלץ להוסיף נתיב ברמפת הלולאה, אלא לשנות את תצורת המחלף, לתצורה בת ארבעה רביעים, ולכן גירסאות שני הרביעים מיועדות בעיקר למחלפים עם דרכים משניות חד-מסלוליות או בסיווג נמוך.

מהירות התכן ברמפות הלולאה תהיה 40 או 50 קמ"ש, אחידה או משתנה בין המחברים, בהתאם לעקרונות המפורטים בסעיף 5.3. מהירות התכן ברמפות האלכסוניות תהיה כמפורט בסעיף 5.3. ברמפות החיצוניות ללולאות, משתנה מהירות התכן לאורך הרמפה, מהמהירות המתאימה במחברים לזרימה חופשית בקצה הרמפה שבדרך הממוחלפת, כמפורט בסעיף 5.3, עד למהירות המתאימה לפניות בצמתים שבקצה השני של הרמפה, שתיקבע לפי העקרונות לתכן צמתים בפרק 5 בכרך II.

מרכיבי התוואי האופקי ברמפות יתוכננו כמפורט בסעיף 5.5, ומרכיבי התוואי האנכי – בהתאם לסעיף 5.7.

כל מחברי הרמפות עם הדרך הממוחלפת יתוכננו לפי העקרונות המפורטים בפרק 6 בהנחיות, והתיפעול ייבדק בהתאם לדרישות שבפרק 7. כאמור לעיל, מחברי רמפות אלה יהיו בדרך-כלל חד-נתיביים.

9.6.3 תכן ההסתעפויות בדרך המשנית

בכל מחלפי עלה-התלתן החלקיים, נוצרות בדרך המשנית שתי הסתעפויות עם רמפות המחלף, אשר יתוכננו בהתאם לכללים ולהנחיות לתכן הסתעפויות בסעיף 10.3 – "הסתעפויות", בכרך II של הנחיות אלה. אם ההסתעפויות תהיינה מרומזרות, הן תותאמנה גם לאמור בסעיף 10.2 – "צמתים מרומזרים" באותו כרך.

בכל גרסאות התלתן החלקי, הסדרי הניתוב ופרטי התכן בדרך המשנית (נתיבים המשכיים, נתיבי-עזר, נתיבי פנייה ימינה, ונתיבי פנייה שמאלה כאשר קיימים) יהיו בהתאם למפורט ביחס לציר הראשי בפרק 6 – "ניתוב באזור הצומת", בכרך II של ההנחיות, המתייחס הן לצמתים מרומזרים והן לצמתים לא-מרומזרים. יש להקפיד על שמירת מספר הנתיבים המשכיים בדרך המשנית, על מתן נתיבי ההאטה ונתיבי ההאצה בה, ועל אורכי האחסנה לפניות שמאלה לרמפות. הסדרי הניתוב ופרטי התכן בפניות שמאלה וימינה מתוך הרמפות אל הדרך המשנית, יהיו בהתאם למפורט ביחס לציר המשני בפרק 6 בכרך II של ההנחיות. ראה דוגמאות בציורים 9.26 - 9.33.

כדי להקטין ככל האפשר את הניגודים ואת הפניות המוטעות, יתוכננו ההסתעפויות בכל גרסאות המחלף כהסתעפויות מוסדרות במלואן, כהגדרתן בסעיף 2.2.5 בכרך II של ההנחיות. זווית ההסתעפויות תהיה ניצבת ככל האפשר, ולא קטנה מ-75°.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

נתיבי ההאטה וההאצה הדרושים ליציאת ולכניסת הרמפות בדרך המשנית, יתוכננו בהתאם לקריטריונים המתאימים לתפניות דרך בצמתים, בסעיפים 6.4 ו-6.5 בכרך II. איי-התנועה בהסתעפויות יתוכננו כמפורט בפרק 7 בכרך II.

שתי הפניות ימינה מהרמפות החיצוניות אל הדרך המשנית, הקיימות בתצורה A, ושתי הפניות ימינה מהדרך המשנית אל הרמפות החיצוניות, הקיימות בתצורה B, יתוכננו כחופשיות עם אי-תנועה, בהתאם לסעיף 5.3 בכרך II.

ההסתעפויות בדרך המשנית סמוכות למבנה הגשר. צריך לתכנן את התוואי האנכי של הדרך ואת המבנים והמתקנים באזור הגשר כך, שיתקיימו כל מרחקי הראות הדרושים לקראת ההסתעפויות ובתוכן, כמפורט בסעיף 4.4 בכרך II של ההנחיות. ראה גם התייחסות לראות במחברי-רמפות בסעיף 9.5.5 לעיל.

9.6.4 מאפיינים ייחודיים – תצורות A

א. תצורה A-4

בתצורה A-4 (סעיף 4.6.2 א' וציור 4.16) יש שתי כניסות עוקבות לדרך הממוחלפת. המרחק המזערי המומלץ בין כניסות עוקבות בהנחיות אלה הוא 350 מטר, כמפורט בסעיף 7.3. אם לא ניתן לקיים מרחק זה, יש לשקול, לאחר ניתוח תפעולי של המחברים כמפורט בסעיף 7.4, תוספת כבישים מאספים-מחלקים מקבילים לדרך הממוחלפת בתחום המחלף, כמתואר בציור 9.32 בהמשך הפרק.

הדרך המשנית בתצורת A-4 היא במקרים רבים דו-מסלולית, ולכן יהיה, בדרך-כלל, הצדק לרימזור ההסתעפויות, כשלרמזורים שתי פאות בלבד. יש לתאם את פעולת הרמזורים בשתי ההסתעפויות, למיזעור העיכובים לתנועה המשכית בדרך המשנית. בציור 9.26 מוצג תכנון אופייני של ההסתעפויות בדרך דו-מסלולית באזור הגשר בתצורת A-4.

הפניות שמאלה אל הדרך המשנית מבוצעות מתוך הרמפות החיצוניות, ולכן איחסון התורים נעשה לאורך הרמפה, ויש לתכנן את סוף הרמפה בהתאם, כמתואר בציור 9.26.

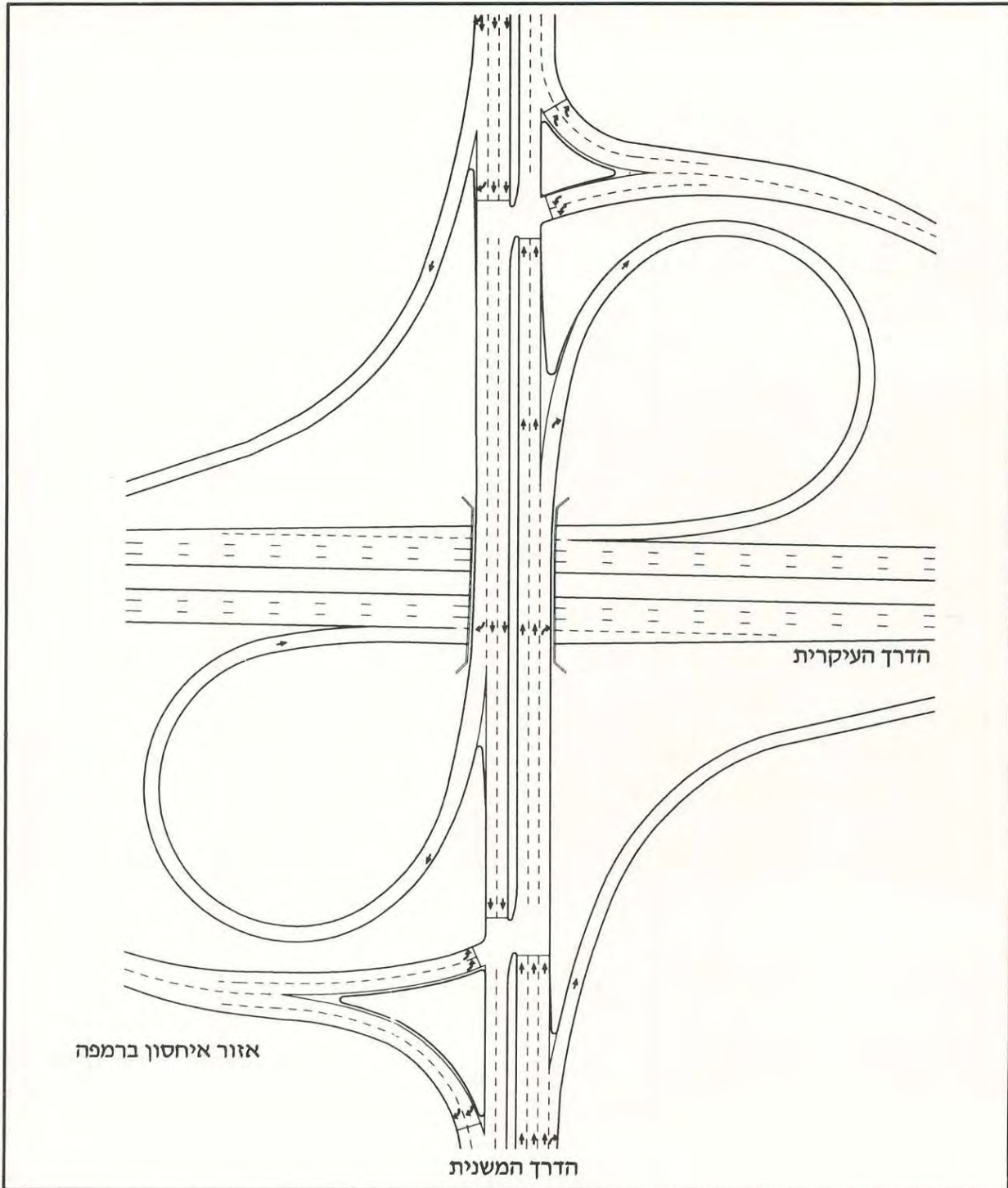
היציאות מהדרך המשנית ללולאות מחייבות, בדרך-כלל, את ביצוע נתיבי ההאטה בתחום הגשר, כמתואר בציור 9.26.

בתמרוני ההדרכה בדרך המשנית לקראת המחלף, יש להדגיש את קיומן של שתי היציאות העוקבות ימינה, ולהבליט את איסור הפנייה נגד הכיוון לתוך הרמפה החיצונית המגיעה מהדרך העיקרית מימין, מעבר ללולאה.

ב. תצורה A-2

תצורה A-2 (סעיף 4.6.2 ב' וציור 4.16) היא הפחות מומלצת מבין גרסאות עלה-התלתן הדו-צדדיות, מאחר שהפניות ימינה מהדרך המשנית לעיקרית מבוצעות כפנייה שמאלה לתוך הלולאה, בנוסף לפנייה

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



אזור ההסתעפויות המרומזרות בדרך המשנית במחלף עלה-תלתן
חלקי A-4

ציור 9.26

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

שמאלה מהכיוון הנגדי. כתוצאה מכך, כל הפניות מהדרך המשנית מנוגדות לנטיית הנהג, וקיימת התמזגות משמאל בלולאה, התמזגות שהיא בעייתית מבחינות תפעול, ראות ושילוב חתכי-רוחב. בציור 9.27 מוצגת התמזגות המבוצעת בלולאה. פתרון שונה מוצע בציור 9.28: בפתרון זה מאריכים את הלולאות באמצעות עקומי מעבר, כמתואר בפרט שבציור, וכתוצאה מכך, ההתמזגות מוצאת מהלולאה, ומבוצעת במסגרת ההסתעפות במחבר שבדרך המשנית.

נדרשת תשומת-לב מיוחדת לתימרוך הפניות מהדרך המשנית, ולמניעת פניות מוטעות לתוך הרמפה החיצונית הסמוכה ללולאה. הסתעפויות אלה מחייבות שימוש באיי-טיפה ומשולש בנויים. אם ההסתעפויות מרומזרות, נדרשות שלוש פאזות (לעומת שתיים ב-A-4).

אחסון פניות שמאלה ברמפות יבוצע בדומה למאפייני התכן שהוזכרו לעיל לגרסת A-4. בנוסף, בגרסת A-2 יש צורך בנתיבי אחסנה לפניות שמאלה מהדרך המשנית לקראת המחלף, כמתואר בציורים 9.27 ו-9.28.

שולי הדרך המשנית מצידי הגשר מוטים בזווית, כדי לאפשר את ביצוע נתיבי ההאטה לקראת הלולאות, כמתואר בציורים.

9.6.5 מאפיינים ייחודיים – תצורות B

א. תצורה B-4

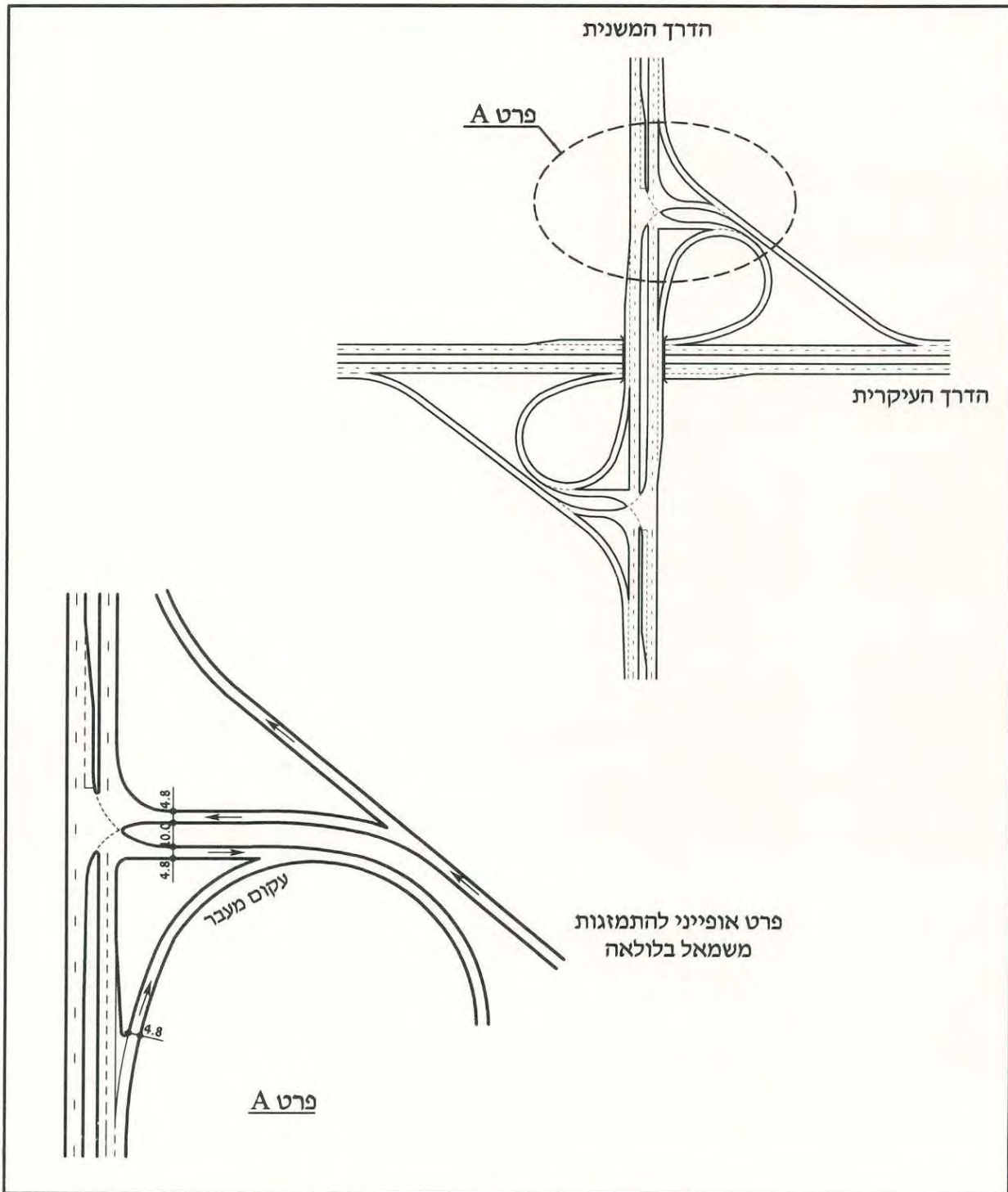
במבנה הבסיסי, לתצורה B-4 (סעיף 4.6.3 א' וציור 4.17) שתי יציאות עוקבות מהדרך הממוחלפת, בניגוד למדיניות בהנחיות אלה, ולכן בחירה בתצורה זו מחייבת שימוש בכבישים מאספים-מחלקים מקבילים לדרך הממוחלפת, כמתואר בציור 4.17. לאורך הכביש המאסף-מחלק תבוצע גם מרבית הפחתת המהירות הדרושה לקראת הכניסה לרמפת הלולאה.

תצורה B-4 מיועדת למחלפים עם דרכים משניות עמוסות, בדומה לתצורה A-4, ולכן הדרך המשנית תהיה בדרך-כלל דו-מסלולית, וההסתעפויות תהיינה, במקרים רבים, מרומזרות. בציור 9.29 מוצג תכנון אופייני לתצורת B-4 בין דרכים דו-מסלוליות.

בתצורה B-4 יש שתי כניסות עוקבות לדרך המשנית מימין, ונתיבי ההאצה מהלולאות יהיו באזור הגשר, כמתואר בציור 9.29. אורך האחסנה הדרוש לפניות שמאלה מהדרך המשנית לרמפות החיצוניות עשוי "לגלוש" לאזור הגשר, ולחייב הרחבת הגשר, הן עבור הנתיבים לפניות והן עבור נתיבי ההאצה מהלולאות.

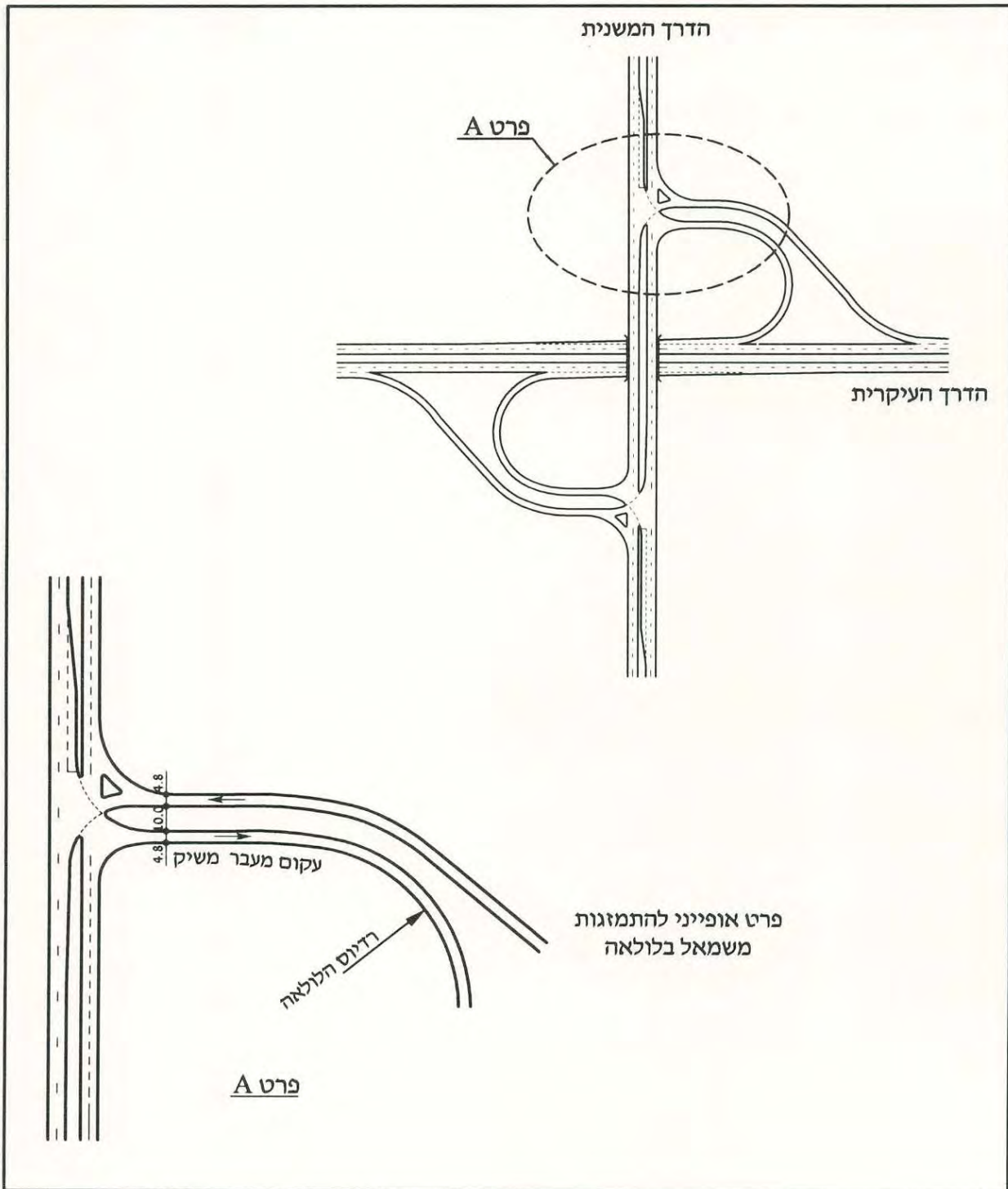
מבנה הפניות במחלף זה מאפשר את תכנון ההסתעפויות בדרך המשנית כך, שהתנועה המשכית בכל כיוון תעוכב רק בהסתעפות הראשונה, ואילו בשנייה יעוכבו רק התנועה הפונה שמאלה והתנועה ממול, והתנועה ישר תהיה בלתי-מופרעת. בהסתעפויות בדרך המשנית, משני צידי הגשר, אין סכנה לפניות מוטעות.

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



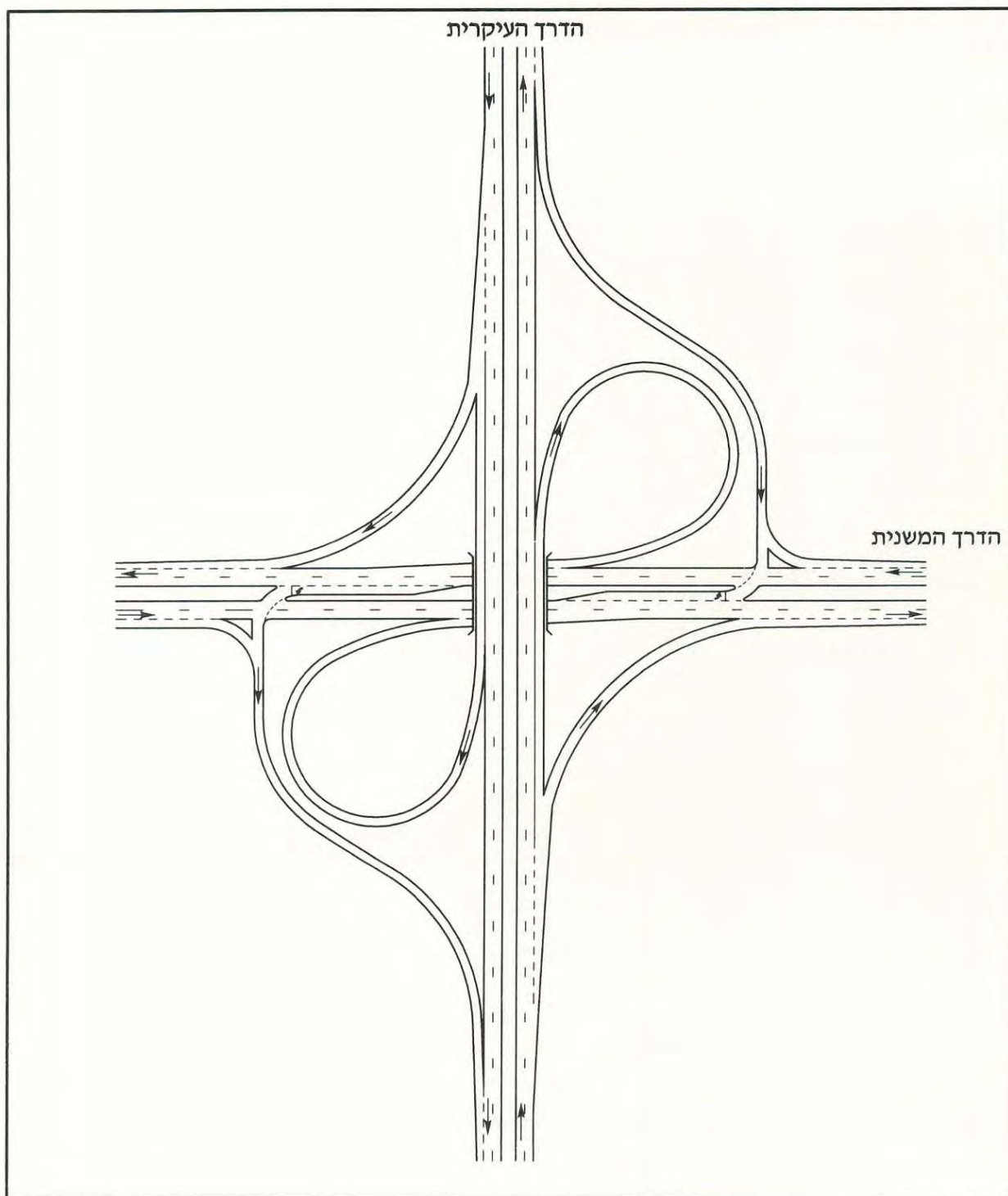
1
מחלף עלה-תלתן חלקי A-2 ציור 9.27

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 9.28 דוגמה נוספת לפתרון ההתמזגות בלולאת מחלף עלה-תלתן חלקי A-2

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 9.29 מחלף עלה-תלתן חלקי B-4

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

ב. תצורה B-2

בתצורה B-2 (סעיף 4.6.3 ב' וציור 4.17) משמשות לולאות היציאה מהדרך הממוחלפת לשתי הפניות לדרך המשנית – ימינה ושמאלה. עקב כך, נחסך הצורך בכביש המאסף-מחלק של תצורה B-4, אולם יש להאריך את היציאה מהדרך הממוחלפת לולאה כך שתהיה לפני הגשר, בהתאם לעקרונות בסעיף 3.4.3, כמתואר בציור 9.30. כמו-כן, נוספת פאזה ברמזורי שתי ההסתעפויות, לעומת תצורה B-4.

יש לתכנן את איחסון התורים בשלוחות של רמפות הלולאה לפנייה שמאלה, ולמנוע פניות מוטעות לתוך שלוחות אלו. בציור 9.30 מוצג תכנון של מחלף בתצורת B-2, בו מוארך סוף הלולאה באמצעות עקומי מעבר, כדי שההתפצלות שמאלה וימינה תימצא במחבר שבדרך המשנית, ולא בלולאה.

9.6.6 מאפיינים ייחודיים – תצורה חד-צדדית

במחלף עלה-תלתן חד-צדדי (סעיף 4.6.4 וציור 4.18), שתי הלולאות צמודות ברביעים סמוכים, כך ששתיהן מצויות מאותו צד של הדרך המשנית.

במסלול אחד של הדרך הממוחלפת יוארך מחבר היציאה לולאה כך שיתחיל לפני הגשר, בהתאם לעקרונות בסעיף 3.4.3, וכמתואר בציור 9.31.

מאפייני התכנן של הדרך המשנית ושל ההסתעפויות בתצורה החד-צדדית, הם שילוב של מאפייני תצורת A-2 בקרבת הסתעפות אחת, עם מאפייני תצורת B-2 בקרבת ההסתעפות השנייה, כפי שפורטו בסעיפים 9.6.4 ו-9.6.5 לעיל, בהתאמה.

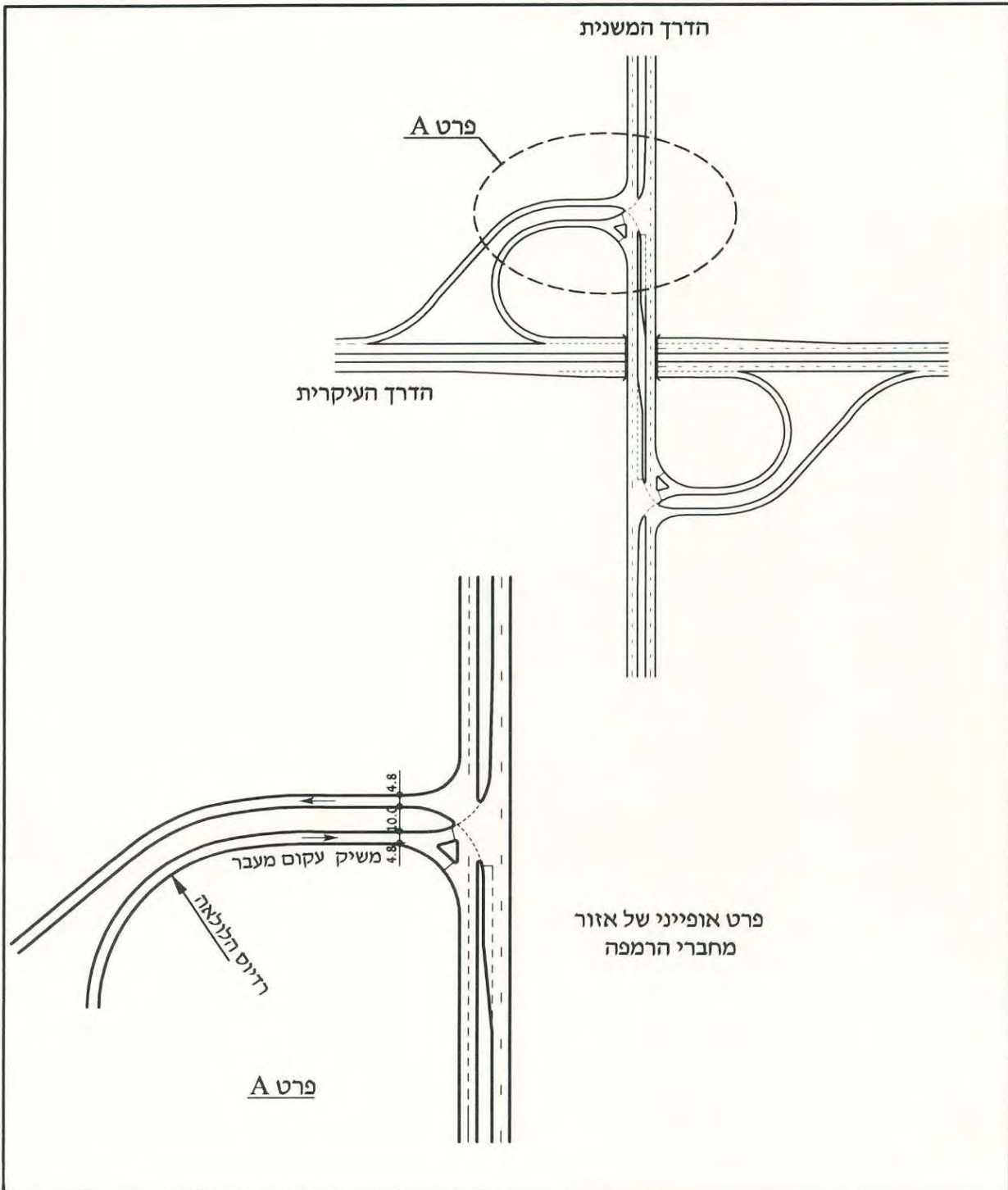
בציור 9.31 מוצג פתרון לתצורה החד-צדדית, בו הוארכו קצות הלולאות באזור הדרך המשנית באמצעות עקומי מעבר. הארכת הלולאות מונעת את הצורך בהתפצלות והתמזגות מתוך הלולאה, ומקילה את בעיית ההשתזרות בדרך המשנית.

שתי ההסתעפויות בדרך המשנית תהיינה בניתוב מלא (איי-תנועה בנויים), למניעת פניות מוטעות לרמפות, כמתואר בציור 9.31. בתימרוור ההדרכה בדרך המשנית יש להבליט את קיומן של שתי יציאות ימינה (מכיוון הגעה אחד) ושתי פניות שמאלה (מכיוון ההגעה השני).

אזור ההשתזרות בין הלולאות בדרך המשנית ינותח תפעולית כמפורט בפרק 8, המוקדש להשתזרויות.

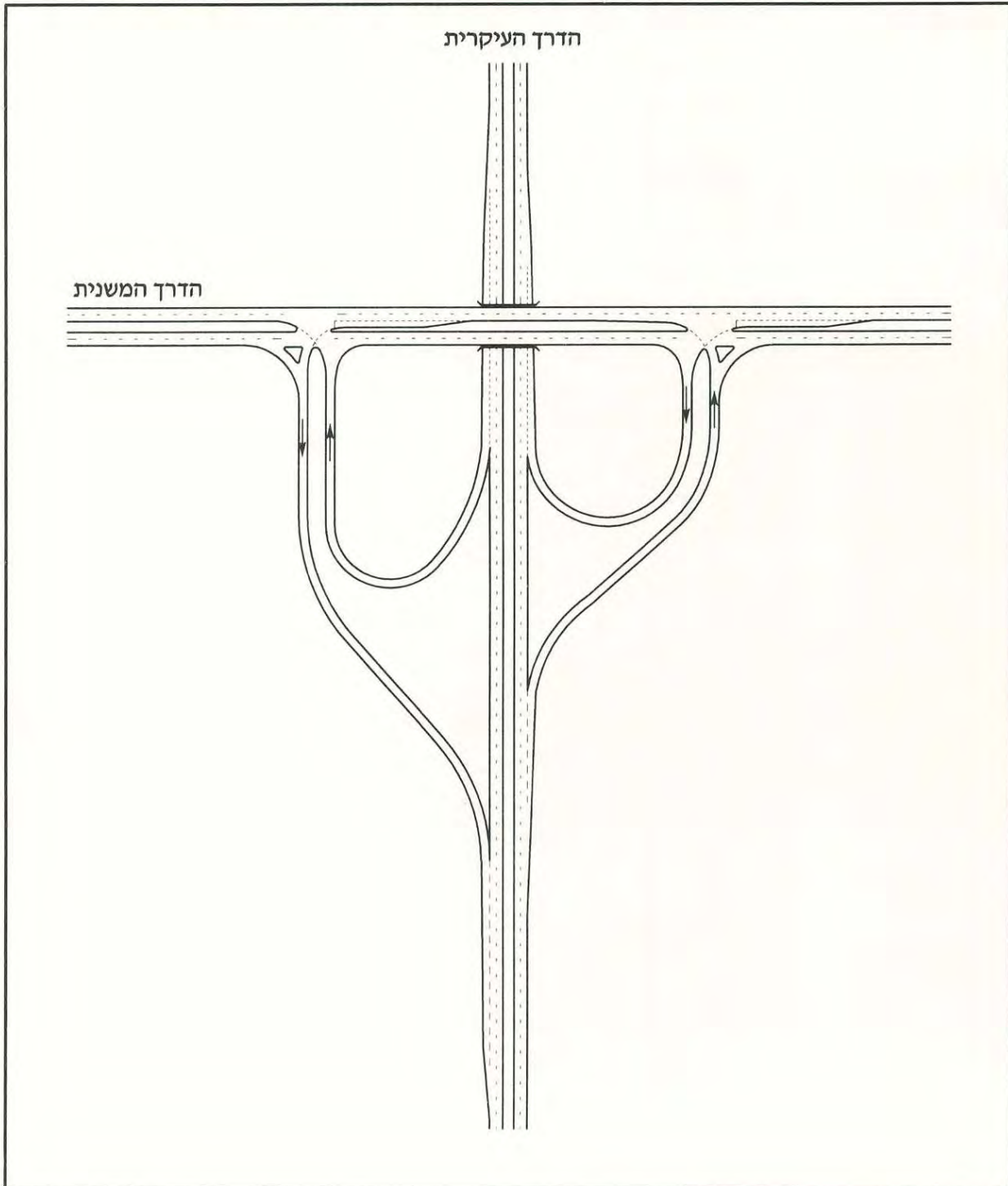
כשהדרך הממוחלפת מצויה על ויאדוקט, או בהפרש גובה מעל או מתחת למכשול הנמשך לאורך הדרך, או כשהמכשול אינו צמוד לדרך, רצוי להוסיף את שתי הרמפות הישירות ברביעים החסרים, כמתואר בציור 9.33. רמפות אלה משפרות באופן משמעותי את תפעול המחלף ואת קיבולתו, ומבטלות את הצורך בפניות הישירות-למחצה ימינה באמצעות הלולאות. המחלף מורכב, במקרה זה, ממחצית תצורה A-4 ומחצית תצורה B-4. במסלול אחד של הדרך הממוחלפת נוצרות שתי יציאות, המחייבות כביש מאסף-מחלק בתחומי המחלף, כמתואר בציור 9.33. במסלול השני של הדרך הממוחלפת נוצרות שתי כניסות, שאם הן קרובות מדי, הן תחוברנה באמצעות כביש מאסף-מחלק בתחומי המחלף, כמתואר בציור. בצד אחד של הדרך המשנית ניתן להוסיף כביש מאסף-מחלק משיקולי השתזרויות.

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



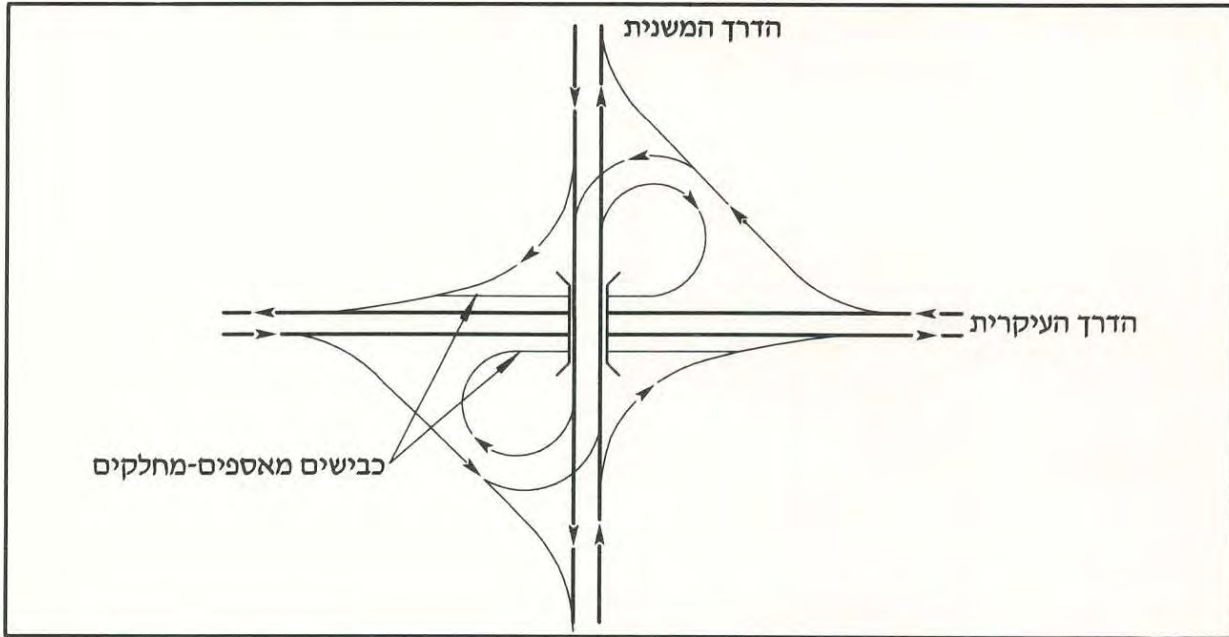
ציור 9.30 מחלף עלה-תלתן חלקי B-2

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

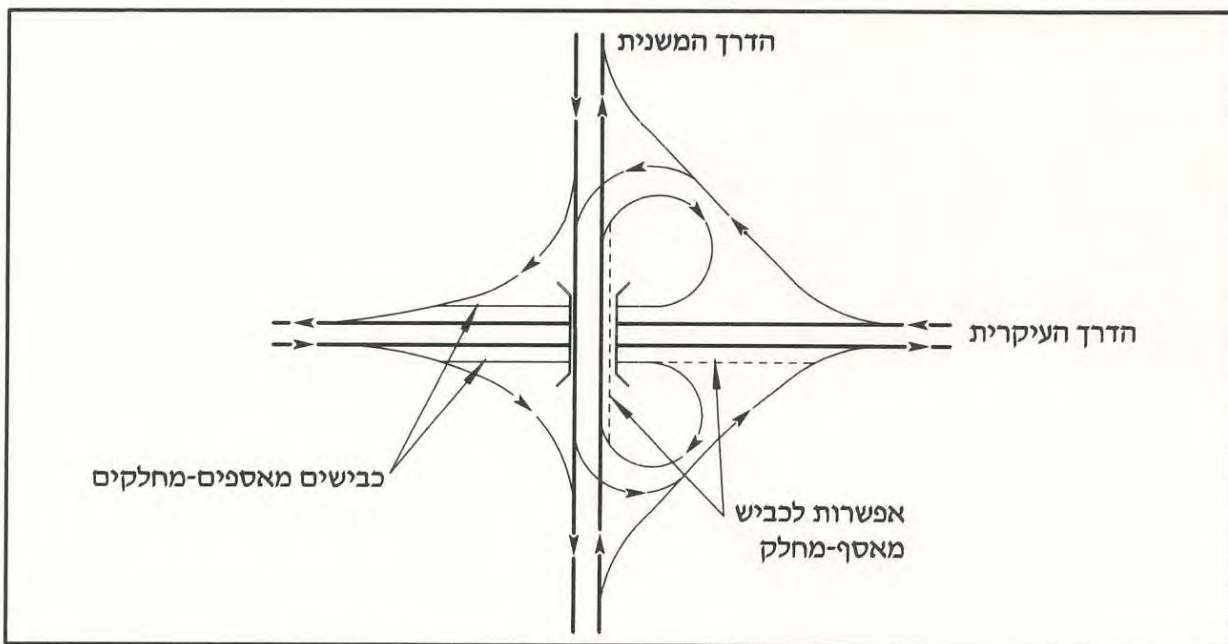


מחלף עלה-תלתן חלקי חד-צדדי ציור 9.31

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



צוור 9.32 מחלף עלה-תלתן חלקי A-4 עם כבישים מאספים-מחלקים בתחומי המחלף



צוור 9.33 מחלף עלה-תלתן חלקי חד-צדדי עם רמפות לפניות ישירות ימינה וכבישים מאספים-מחלקים בתחומי המחלף

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

9.6.7 אפשרויות לפיתוח עתידי

למחלפי התלתן החלקיים הדו-צדדיים גמישות תכנונית בכך, שכל אחת מגרסאות שני הרביעים ניתנת להרחבה לגרסת ארבעה רביעים מאותה תצורה בשלב שני של פיתוח המחלף, באמצעות הוספת הרמפות האלכסוניות לפניות ימינה, וביטול שלוחות הלולאה ששימשו לפניות אלה. לכן, ניתן ליישם את מחלפי עלה-התלתן החלקי בשלבים, בהתאם לפיתוח הדרך הנפגשת (המשנית). אם בדרך המשנית מסלול יחיד בשלב הראשון, יש לוודא, בעת תכנון מרכיבי המחלף, שיתאימו גם לשלב הדו-מסלולי בשינויים מעטים ככל האפשר.

ניתן להפוך יהלום רגיל, בו נשמרה האופציה הקרקעית לכך, למחלף עלה-תלתן חלקי בן ארבעה רביעים, כאשר קיבולת הפניות מחייבת זאת, כמתואר בציור 4.10. תצורות A-4 ו-B-4 עצמן ניתנות להרחבה, בשלב שני, למחלף-מערכת בתצורת עלה-תלתן מלא או מחלף ישיר-בחלקו, בתנאי שנשמרו זכויות-הדרך לכך בשני הרביעים חסרי-הלולאות.

9.7 מחלף סיבובי

המחלף הסיבובי (ציור 4.19) הוא מחלף-גישה הדומה, באופן עקרוני, ליהלום, אלא שכל מערכת הצמתים בדרך המשנית והקטע שביניהם הומרו במעגל תנועה גדול, המחייב שני גשרים, ואשר מצוי כולו במפלס שונה, מעל הדרך העיקרית או מתחתיה.

למאפיינים העיקריים של המחלף הסיבובי, יתרונותיו, חסרונותיו והשיקולים לשימוש בו, ראה סעיף 4.7 בהנחיות.

צורת המחלף אינה בהכרח מעגלית אלא אליפטית, כשהצורה המדוייקת נקבעת בהתאם לזמינות השטח, למיקום ולזווית הדרכים הנפגשות, כמתואר בשתי האפשרויות המוצגות בציור 9.34. משיקולי תפעול, רצוי שהציר הארוך במעגל יהיה מקביל לכיוון נפחי התנועה גדולים יותר.

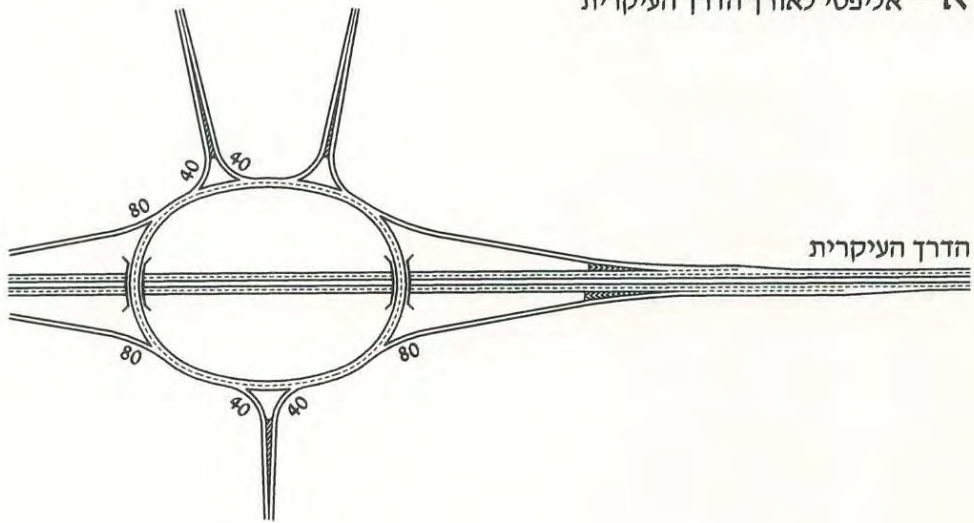
מהירות התכן לאזור המעגל היא בין 30 ל-50 קמ"ש. הרדיוס המזערי לקטעים במעגל לא יפחת בכל מקרה מ-50 מטר. הקוטר הרצוי למעגל (בציר הארוך) הוא לפחות 200 מטר, כדי לקבל קטעי השתזרות שאורכם לפחות 45 מטרים. רדיוסי הפניות ימינה במחברים הם 35-50 מטר. כאשר ציר המעגל מוארך במקביל לציר הדרך העיקרית, כמתואר ב-א' בציור 9.34, ניתן להגדיל את רדיוסי חיבור המעגל לרמפות הדרך העיקרית עד 80 מטר, כמתואר בציור.

זכות הקדימה במעגל יכולה להינתן לתנועה הסיבובית או לתנועה הנכנסת מרמפה מסוימת, בהתאם לשיקולי היררכיה ותפעול.

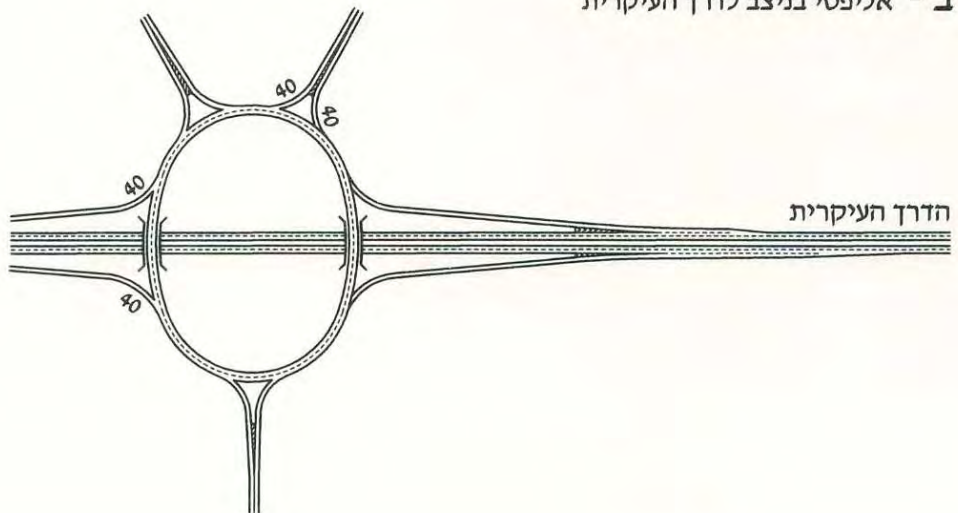
הרמפות עצמן במחלפים הסיבוביים יתוכננו בדומה לרמפות במחלפי יהלום, כמפורט בסעיף 9.5 לעיל.

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

א - אליפטי לאורך הדרך העיקרית



ב - אליפטי בניצב לדרך העיקרית



ציור 9.34 מחלפים סיבוביים (דו-קומתיים)

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

9.8 כבישים מאספים-מחלקים (כבישים מ-מ)

9.8.1 הגדרות ומושגים

כביש מאסף-מחלק (Collector-Distributor, C-D road), כהגדרתו בסעיף 2.2.4 בהנחיות, הוא כביש חד-סיטרי מסויג-גישה במלואו, העובר במקביל למסלולי הדרך הממוחלפת אך מופרד מהם, בתחומי מחלף יחיד או בין מחלפים סמוכים, כמתואר בציור 9.35. מכביש מאסף-מחלק אין כל התחברויות לשימושי קרקע סמוכים, ואין בו צמתים במפלס אחד, אלא רק היפרדויות והתמזגויות, כדי לאפשר זרימה חופשית לאורכו. כל חיבורי הכביש המאסף-מחלק, הן אל מסלולי הדרך הממוחלפת והן למחלפים, מבוצעים באמצעות מחברי-זרימה, כמתואר בציור.

בציור 9.35 מוצגים מספר מרכיבים גיאומטריים המתייחסים לכביש מאסף-מחלק. להלן הגדרותיהם כפי שתשמנה בסעיף זה, והמושגים המקובלים באנגלית:

המסלולים המרכזיים (Core or Main Roadways) – המסלולים הראשיים (הפנימיים) ההמשכיים, שלצידיהם החיצוניים עוברים מסלולי הכבישים המאספים-מחלקים.

רמפות מעבר (Slip Ramps, Transfer Roads) – הרמפות אשר מחברות ומשמשות להעברת תנועה בין המסלולים המרכזיים לבין הכבישים המאספים-מחלקים.

רמפות שזורות (Basket Weave) – שתי רמפות מעבר, במיקומים סמוכים ובכיוונים מצטלבים, המחייבות הפרדה מפלסית ביניהן, למניעת מפגש (מחלף את המונח הרווח עד כה, "סל השתזרויות"). רמפות אלה אינן מרכיב הכרחי בכל כביש מאסף-מחלק, אלא ניתנות במקרים מיוחדים בלבד, כמפורט בסעיף 9.8.4 להלן.

הערה: בהנחיות אלה לא ייעשה שימוש במונח הרווח "דרך מאספת-מחלקת", היות שהוא איננו מדויק: הכביש המאסף-מחלק אינו דרך נפרדת, אלא הוא חלק מכלל מרכיבי הדרך הממוחלפת, מצוי בדרך-כלל בתוך זכות-הדרך הכוללת, ואינו עומד בפני עצמו, ללא הדרך הממוחלפת.

להקלת הקריאה, ייכתבו הכבישים המאספים-מחלקים בהמשך הפרק בקיצור כ-"כבישים מ-מ".

9.8.2 יישום כבישים מאספים-מחלקים

כבישים מ-מ מסייעים בתפעול המחלף והדרך הממוחלפת, ותפקידיהם העיקריים הם להוציא מתוך המסלולים המרכזיים את השתזרויות ההכרחיות, ולהקטין את מספר נקודות הכניסה והיציאה בדרך הממוחלפת. כן מסייעים כבישים מ-מ במקרים בהם לא ניתן לעמוד, באמצעים אחרים, בעקרונות לתכנון מחלף ובשיקולים המערכתיים, המפורטים בסעיפים 3.4.3 ו-3.4.4 בהנחיות.

לכבישים מ-מ יישומים הן בתכנון חדש של דרכים ממוחלפות ומחלפים, והן בעת ביצוע שיקום ושיפורים בדרכים ממוחלפות קיימות ובמחלפים קיימים. שלושת סוגי היישומים העיקרוניים של כבישים מ-מ, המתוארים בציור 9.36, הם:

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

א. בתחומי מחלף – כבישים מ-מ בתחומי מחלף יחיד, כמתואר ב-א' בציור 9.36, המיועדים גם לפתור בעיות תפעוליות ובטיחותיות, הנובעות ממבנהו הבסיסי של המחלף, כגון:

(1) קיימות שתי יציאות מהדרך הממוחלפת לרמפות המחלף – במקרה כזה תהיה יציאה מהמסלולים המרכזיים לכבישים מ-מ, ומהם יתפצלו שתי הרמפות.

(2) יש השתזרות בדרך הממוחלפת בתחומי המחלף (בין שתי הרמפות) – כאשר כניסת רמפה לדרך הממוחלפת קודמת ליציאת רמפה באותו מחלף, נוצרת השתזרות בדרך הממוחלפת. חיבור כל הרמפות לכבישים מ-מ מעביר את ההשתזרות אליהם, ומונע את הפרעות לתנועה עקב ההשתזרות במסלולים המרכזיים. ראה הרחבה בסעיף 8.2.

(3) המרחק בין שני מחברי-רמפה עוקבים באותו מחלף קטן מהמזערי לפי סעיף 7.3 וציור 7.6 בהנחיות – לאורך כבישים מ-מ נדרשים מרחקים מזעריים קטנים יותר מהדרושים לאורך המסלולים המרכזיים, כמפורט בסעיף 9.8.8 להלן ובציור 7.6.

(4) בנוסף, עשויים כבישים מ-מ לסייע בתפעול מחלף בעל תצורה יוצאת דופן, המקשה על שילוט ההדרכה ועל קבלת החלטות בדרך הממוחלפת, או שדורשת הפחתת מהירות גדולה ביציאה לרמפות, וכן כשיש מגבלות קיבולת במחברי הזרימה במסלולים המרכזיים.

בציור 9.37 מוצגת דוגמא לפתרון בעיות (1 ו-2) לעיל באמצעות כביש מ-מ מצידו האחד של מחלף בעל שתי לולאות.

ב. בין שני מחלפים סמוכים – כבישים מ-מ היוצאים מהמסלולים המרכזיים לקראת המחלף הראשון וחוזרים אליהם מעבר למחלף השני, כמתואר ב-ב' בציור 9.36, ומיועדים למקרים הבאים:

(1) המרחק בין המחלפים קטן מהמרחקים המזעריים המפורטים בסעיף 3.6 בהנחיות, או שהמרחק בין מחברי-רמפה עוקבים, השייכים למחלפים שונים, קטן מהמזערי לפי סעיף 7.3 וציור 7.6 בהנחיות.

(2) שני המחלפים עומדים בקריטריון המרחק, אך יש השפעה תפעולית חזקה ביניהם, או שקיימת פעילות רבה של השתזרות, המחייבת העברתה לכבישים מ-מ, למניעת הפרעה ניכרת במסלולים המרכזיים (ראה ניתוח תפעולי של מחברים בסעיף 7.4 ושל השתזרויות בסעיף 8.3 בהנחיות).

(3) בקטע שבין המחלפים יש עומס-תנועה גבוה, הגורם לרמת-שירות נמוכה בקטע זה באופן חריג לשאר הדרך הממוחלפת, או שמחייב תוספת נתיבים רק בקטע זה. כבישים מ-מ מאפשרים לשמור על הניתוב הבסיסי במסלולים המרכזיים, ומשפרים את האיזון התפעולי בדרך (ראה פרק 7).

ג. לאורך שלושה מחלפים ומעלה ("מסדרון") – כבישים מ-מ חיצוניים, המקבילים למסלולים המרכזיים לאורך מסדרון רצוף הכולל שלושה מחלפים ומעלה, כמתואר ב-ג' בציור 9.36, ומיועדים למקרים הבאים:

(1) קיים צורך בהגדלת קיבולת או בשיפור רמת-השירות לאורך קטע בדרך ממוחלפת, בו קיימים מספר מחלפים צפופים.

(2) מניעת הצורך להגדלה רבה מדי של מספר הנתיבים ההמשכיים בדרך הממוחלפת לאורך הקטע.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

3) קיימת ברשת תופעה מקומית של ריבוי נסיעות קצרות (עד 10 ק"מ) לאורך קטע בדרך הממוחלפת – כבישים מ-מ ישמשו לחלק יחסי גדול של הנסיעות הקצרות, בעוד שהנסיעות הארוכות תשארנה במסלולים המרכזיים.

השימוש בכבישים מ-מ מסוגים א-ג' לעיל מאפשר גם לעמוד בדרישות המערכתיות של יציאות אחידות למחלפים ויציאה יחידה לפני הגשר, כמתואר בציר 3.4 בהנחיות.

בנוסף לאמור בסעיפים א-ג' לעיל, יש להשתמש בכבישים מ-מ בקטע בו קיימות שתי דרכים ממוחלפות זו לצד זו, אשר נפגשות ונפרדות מצדי הקטע. בקטע המשותף, יבוצעו כל המעברים בין שתי הדרכים באמצעות כבישים מ-מ, המשותפים לשתי הדרכים הממוחלפות.

9.8.3 מפגשים וחיבורים לאורך כבישים מאספים-מחלקים

כבישים מ-מ מיועדים לזרימה שוטפת של נפחי-תנועה גדולים, במהירויות שאינן נופלות בהרבה ממהירות הזרימה בדרך הממוחלפת (המסלולים המרכזיים), ללא הפרעות ככל האפשר. לפיכך, המדיניות לקביעת סוגי המפגשים בכבישים מ-מ לא תהייה שונה מהמדיניות בדרך המקורית (ללא כבישים מ-מ), וסוגי המפגשים בין כבישים מ-מ לבין דרכים אחרות ברשת יהיו בהתאם למפורט בטבלאות 3.1 ו-3.2 בהנחיות אלה, לפי סיווג הדרך במידרג. בהתאם לכך, בכבישים מ-מ לאורך דרך ממוחלפת לא יהיו צמתים, אלא רק יציאות לרמפות-מעבר ולרמפות-מחלף. כמו-כן, לא תהייה כל התחברויות לשימושי-קרקע ולמבני-שירות מכבישים מ-מ, כמפורט בפרק 14 בכרך II של הנחיות אלה, למעט פעילות תחבורה ציבורית במקרים מסוימים, כמפורט בסעיפים 9.8.9 ו-10.1.4 להלן.

במחלף-מערכת עם דרך ממוחלפת שלאורכה כבישים מ-מ, ניתן לחבר רמפות באופן ישיר בין המסלולים המרכזיים של שתי הדרכים, ולא רק באמצעות הכבישים המ-מ, אם אין בכך כדי לפגוע בתפעולם של המסלולים המרכזיים או בבטיחותם, או בשיקולים המערכתיים המפורטים בסעיפים 3.4.3 ו-3.4.4.

9.8.4 רמפות-מעבר ורמפות שזורות

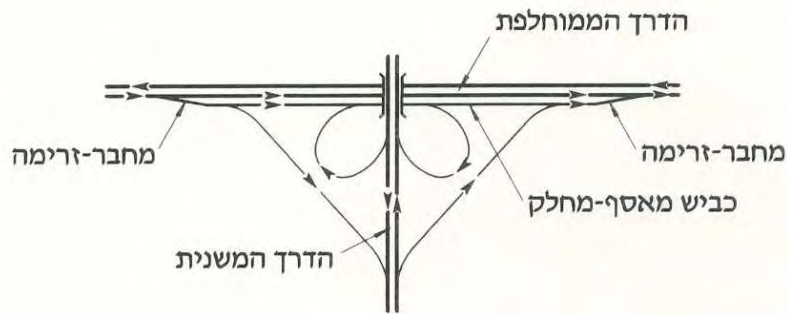
לרמפות-המעבר תפקיד מפתח בשמירה על הגמישות התפעולית של המערכת ועל איזון הזרימה בין המסלולים המרכזיים לבין הכבישים המ-מ. בקביעת המיקום המתאים ביותר לרמפות-המעבר, יש להתחשב בגורמים הבאים:

- סוג המחלפים הסמוכים (שירות או מערכת), ומיקומם.
- נפחי התנועה ודפוסי התנועה בקטע.
- זכות-הדרך הקיימת.
- שיקולים מערכתיים כוללים.

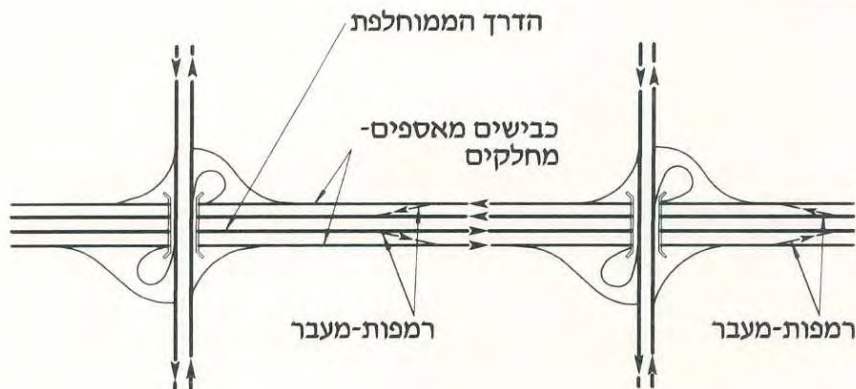
הואיל ולמיקומן של רמפות-המעבר השפעה על דפוסי-התנועה במסלולים המרכזיים למרחק ניכר, יש לתכנן בבת-אחת את מיקומן של כל רמפות-המעבר, משיקולים מערכתיים כוללים. רמפות-המעבר

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

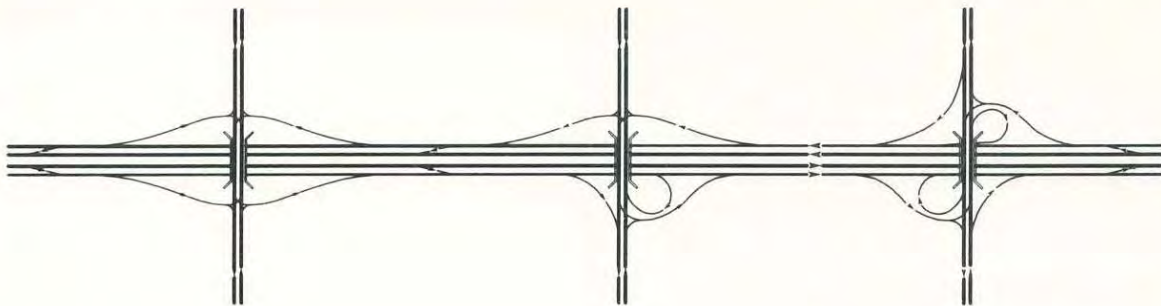
א. בתחומי מחלף



ב. בין שני מחלפים



ג. מסדרון מחלפים



ציור 9.36 יישומי כבישים מאספים-מחלקים

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

ימוקמו בדרך-כלל כצמדי רמפות סמוכות, משני צידי המסלולים המרכזיים, כאשר אחת מהרמפות תשמש ליציאה מהמסלול המרכזי, והרמפה שמולה תשמש לכניסה אליו, כמתואר בציור 9.35. מצידו מחלף יחיד או זוג מחלפים יהיו בדרך-כלל שני צמדי רמפות. בכבישים מ-מ נמשכים (מסדרון), היחס המקובל הוא שני מחלפים בין כל שני צמדי רמפות-מעבר, אך אין להאריך את הקטע שבין שני צמדי רמפות-המעבר ליותר משלושה מחלפים.

קריטריוני התכן הגיאומטרי לרמפות-מעבר נתונים בטבלה 9.2 שבסעיף 9.8.5 להלן, ואילו חתכי-הרוחב האופייניים לרמפות-מעבר מפורטים בסעיף 9.8.6 להלן.

בציור 9.38 נתונות מידות האורך וההיסט האופייניות לרמפות-המעבר.

במקרים רבים, בעיקר בכבישים מ-מ נמשכים, רמפות-המעבר הן דו-נתיביות. כדי לשמור במקרים אלה על איזון הנתיבים, הן בכבישים מ-מ והן במסלולים המרכזיים, ייעשה שימוש במחברים דו-נתיביים בקצות רמפות-המעבר, ובנתיב עזר לאורך רמפת-המעבר, כמתואר בציור 9.39. התכן המפורט של המחברים הדו-נתיביים יהיה בהתאם להנחיות בסעיפים 6.4 ו-6.6. מחברים חד-נתיביים יתוכננו בהתאם לסעיפים 6.3 ו-6.5.

המחברים ברמפות-המעבר מתוכננים למהירויות גבוהות יותר ממחברי הכבישים המ-מ. ערכי-התכן המומלצים למחברים אלה, מופיעים בטבלה 9.3 בסעיף 9.8.7 להלן.

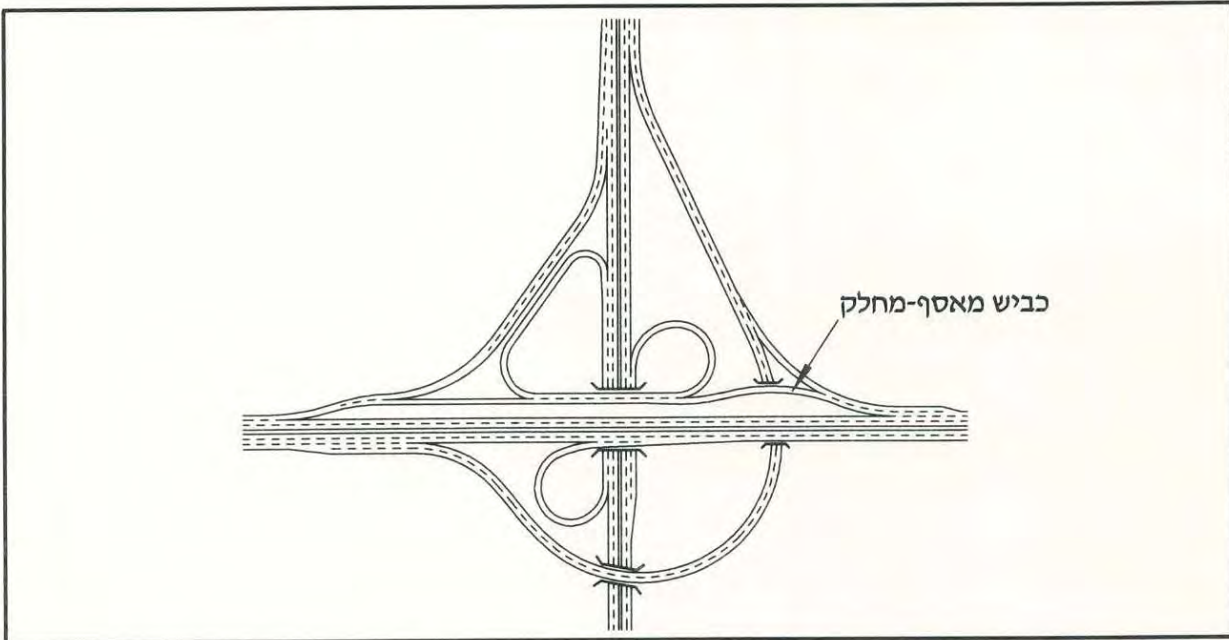
הרמפות השזורות, כהגדרתן בסעיף 9.8.1 לעיל, הן שתי רמפות-מעבר, האחת מהמסלול המרכזי לכביש המ-מ, והשניה מכביש המ-מ למסלול המרכזי, הדרושות באותו מיקום לאורך הדרך הממוחלפת. כדי למנוע מפגש ביניהן הן תעבורנה בהפרדה מפלסית, כמתואר בציור 9.40. ההפרדה המפלסית תפעול לחייב הרחבת זכות-הדרך במקום זה. ההצדק לרמפות שזורות יקבע כתוצאה משיקולי תפעול מערכתיים, בעיקר עקב נפחים משתזרים גדולים וכתוצאה מאילוצים לאורך הכבישים המאספים-מחלקים.

9.8.5 קריטריונים לתכן גיאומטרי

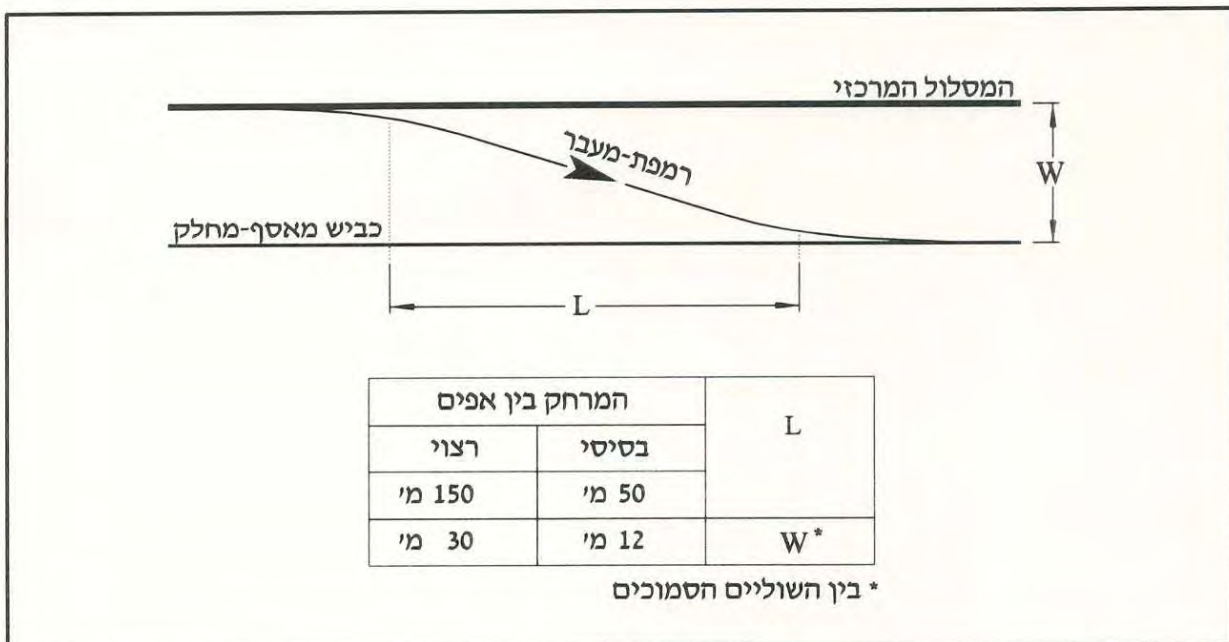
בטבלה 9.2 מרוכזים הקריטריונים העיקריים לתכן הגיאומטרי של כבישים מ-מ, הנמשכים לאורך שני מחלפים ומעלה, ושל רמפות המעבר. כפי שניתן לראות מהטבלה, מהירות התכן של כביש מ-מ נמשך נמוכה ב-20 קמ"ש ממהירות התכן של המסלולים המרכזיים, וב-10 קמ"ש ממהירות התכן של רמפות-המעבר.

שאר קריטריוני התכן הגיאומטריים יהיו כמפורט ביחס לדרכים ממוחלפות בכרך I של הנחיות, וכמפורט ביחס לרמפות בפרקים השונים של הכרך הנוכחי, בהתאם למהירויות התכן המתאימות.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

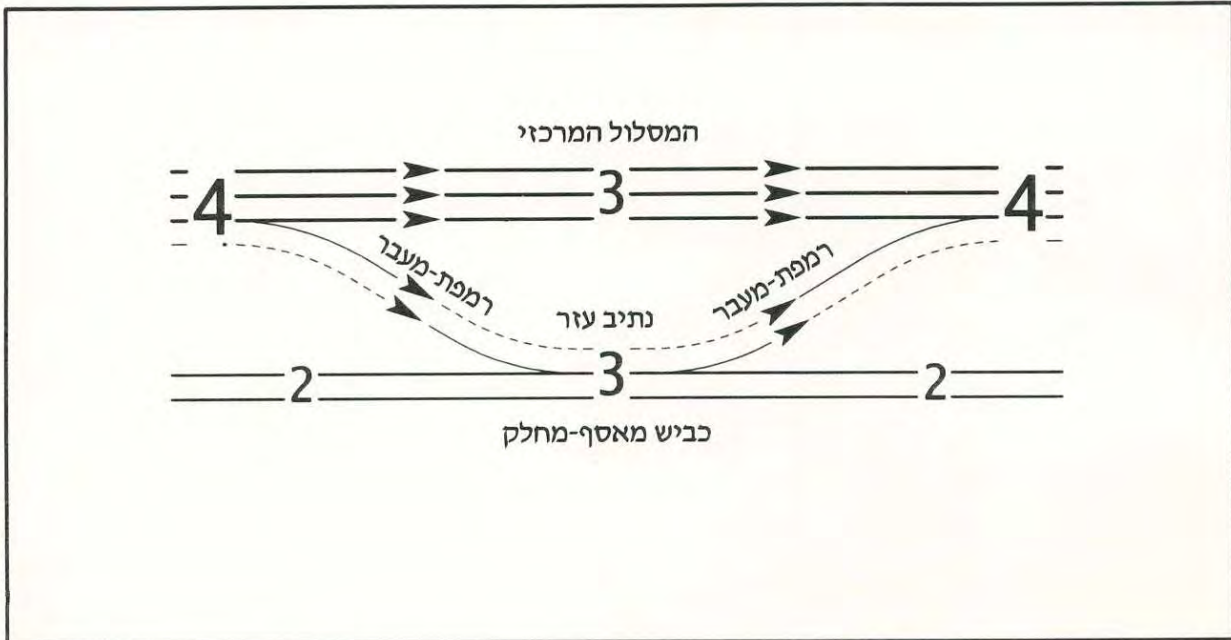


ציור 9.37 שימוש בכביש מאסף-מחלק בתחומי מחלף, ליצירת יציאה יחידה ומניעת השתזרויות

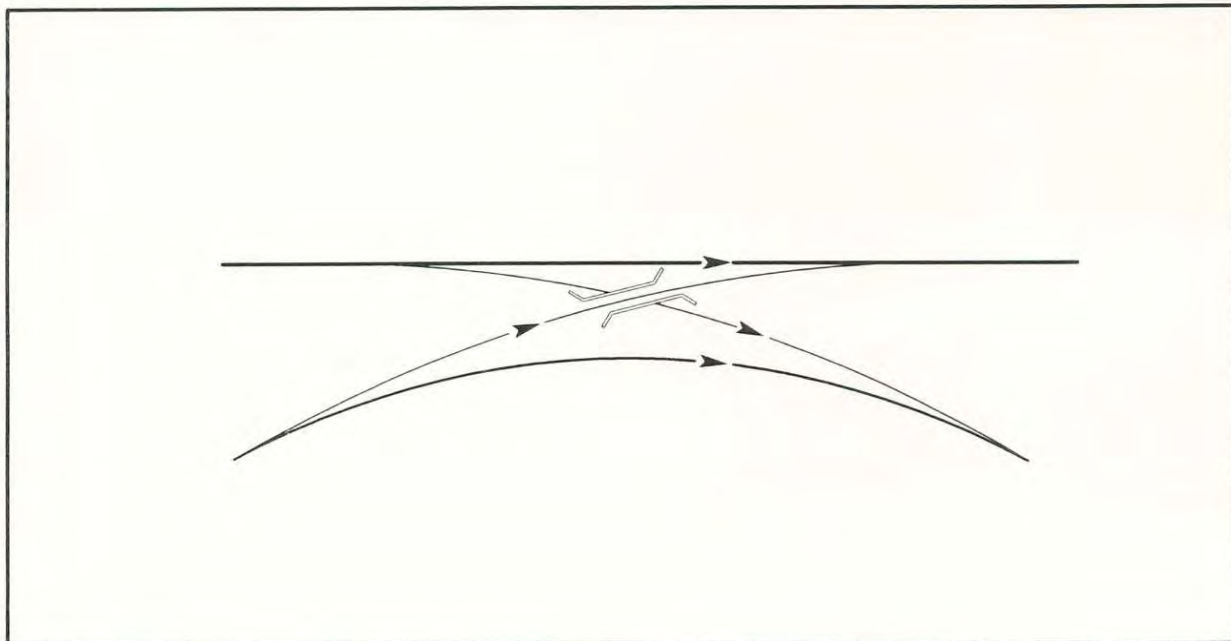


ציור 9.38 מידות אופייניות לרמפות-מעבר

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



צויר 9.39 איזון נתיבים ברמפות-מעבר



צויר 9.40 הפרדה מפלסית בין רמפות-מעבר באמצעות רמפות שזורות

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

טבלה 9.2 מאפייני התכנן הגיאומטרי לכבישים מאספים-מחלקים נמשכים עבור דרך ממוחלפת שמהירות התכנן שלה 110 קמ"ש⁽¹⁾

רדיוס אופקי (מזערי (מ') ⁽²⁾)	הגבהה צידית מירבית (%)	שיפוע מירבי לאורך (%)	מהירות התכנן (קמ"ש) ⁽¹⁾	כביש מאסף-מחלק ⁽³⁾
380	7	5	90	
530	7	4	100	רמפות מעבר

- (1) אם מהירות התכנן של הדרך הממוחלפת 100 קמ"ש, ניתן להוריד את מהירויות התכנן המצוינות בטבלה ב-10 קמ"ש, ל-80 ו-90 בהתאמה. לחילופין, אם מהירות התכנן של הדרך הממוחלפת 120 קמ"ש, תעלה מהירות-התכנן של כבישים מ-מ ל-100 קמ"ש, ושל רמפות-המעבר ל-110 קמ"ש. בכל מקרה, ההפרש בין מהירויות התכנן של המסלולים המרכזיים ושל כבישים מ-מ נמשכים לא יעלה על 20 קמ"ש.
- (2) כל שינוי במהירויות התכנן מחייב שינוי ברדיוסים המזעריים, בהתאם למפורט בסעיף 5.2 בכרך I של הנחיות אלה.
- (3) הטבלה מיועדת לכביש מאסף-מחלק נמשך. מהירות התכנן של כבישים מ-מ בתחומי מחלף יחיד יכולה להיות 80 קמ"ש בלבד, כדי לא ליצור הפרש גדול מדי עם מהירויות התכנן של רמפות המחלף.

9.8.6 חתך הרוחב

א. מספר הנתיבים

מספר הנתיבים הבסיסי בכבישים מ-מ וברמפות מעבר הוא שניים – זהו המספר המזערי של נתיבים המבטיח תפעול שוטף של המערכת. בכבישים מ-מ במסדרון (ג' בציוור 9.36) ייקבע מספר הנתיבים הדרוש משיקולי האיוון התפעולי המקובלים בדרכים ממוחלפות.

כבישים מ-מ בתחומי מחלף יחיד (א' בציוור 9.36), עשויים להיות חד-נתיביים.

רמפת-מעבר חד-נתיבית תינתן רק במקרים יוצאי-דופן, לאחר שיובטח שאין בכך כדי לפגוע בתפעול המערכת (ראה גם סעיף 9.8.4 לעיל).

ב. רוחב הנתיבים והשוליים

רוחב הנתיבים והשוליים עבור כבישים מ-מ ועבור רמפות מעבר הינו:

- רוחב נתיב יחיד – 4.50 מטר
- רוחב כל נתיב שאיננו יחיד – 3.60 מטר
- רוחב השול הימני – 3.00 מטר
- רוחב השול השמאלי – 2.50 מטר
- בין כבישים מ-מ לכבישי המסלולים המרכזיים תהיה מפרדה ברוחב 6.0 מטר לפחות, הכוללת את שולי שני הכבישים, לרבות גדר בטיחות הכרחית.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

9.8.7 מחברי-זרימה בכבישים מ-מ וברמפות-מעבר

המחברים המשמשים לכניסה וליציאה לכבישים מ-מ מתוכננים למהירויות גבוהות, כדוגמת מחברי-רמפות במחלפי-מערכת. נתוני-התכן המזעריים המומלצים למחברים אלה, מפורטים בטבלה 9.3.

כבישים מ-מ הינם יוצאי-דופן במערכת הממוחלפת בכך, שהם המרכיב היחיד בו מבוצעות גם יציאות מהירות שמאלה וכניסות מהירות משמאל באמצעות רמפות-המעבר, עבור החיבורים בין כבישים מ-מ לבין המסלולים המרכזיים.

ככלל, המחברים משמאל יתוכננו כתמונת-ראי סימטרית של המחברים המקובלים מימין, בהתאם לכל הנחיות שבפרק 6 לתכן מחברי-זרימה ברמפות. על המחברים משמאל יחולו גם כל כללי התפעול המפורטים בפרק 7 בהנחיות. כל שאר מחברי-הרמפות, מימין למסלולים המרכזיים ומימין לכבישי מ-מ, יתוכננו בהתאם למפורט בפרקים 6 ו-7 בהנחיות.

היציאות שמאלה מחייבות תשומת-לב מיוחדת לנושא שילוט ההדרכה לקראת היציאה, ויש להרבות בשלטי-הדרכה, כולל עיליים, ובשלטים להחלטה מוקדמת, שעשויים לכלול את שתי היציאות הבאות, כדי להתריע בפני הנהגים על ההסדר החריג.

טבלה 9.3 ערכי-תכן מזעריים מומלצים למחברי-זרימה בכבישים מאספים-מחלקים וברמפות-מעבר

רמפות-מעבר		כביש מאסף-מחלק		
מחבר יציאה	מחבר כניסה	מחבר יציאה	מחבר כניסה	
600	600	500	500	רדיוס עקמומיות ליד האף (מטרים)
200	300	150	250	אורך הלוכסן (מטרים)

9.8.8 מאפייני תפעול ותכן נלווים

מאפייני התפעול של כבישים מ-מ, רמפות-מעבר ומחבריהם, יתוכננו בהתאם לכללים בהנחיות אלה ביחס לדרכים ממוחלפות ולמחלפים, כמפורט:

- א. שיקולי ניתוב, הכוללים איזון נתיבים, יהיו כמפורט בסעיף 7.2. בכבישים מ-מ במסדרון, ייעשו הבדיקה התפעולית וחישובי הניתוב למערכת בכללותה, ולא רק לכל מרכיב לחוד.
- ב. המרווחים המזעריים בין מחברי-רמפה בכבישים מ-מ במחלפים יהיו כמפורט בסעיף 7.3 ובטבלה שבצירוף 7.6 באותו סעיף, שם נתונים גם המרווחים המתאימים לכבישים מ-מ, הנמוכים מהמרווחים הדרושים במסלולי הדרך הממוחלפת.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

- ג. המרווחים המזעריים בין מחברים בכבישים מ-מ שיש לאורכם רמפות-מעבר, הם:
- 1) מכניסת רמפת-מעבר ליציאת רמפת-המעבר הבאה – 550 מטר.
 - 2) בין רמפת-מעבר לרמפת המחלף הבאה – 650 מטר.
- ד. רמות-השירות במחברי-הרמפה יחושבו כמפורט בסעיף 7.4.
- ה. מספר הנתיבים הדרוש ברמפות-המעבר יחושב לפי הכללים המפורטים בסעיפים 7.5 ו-7.6.
- ו. השתזרויות בכבישים מ-מ ינותחו ויטופלו כמפורט בסעיפים 8.4 ו-8.5.

9.8.9 תחבורה ציבורית

בדרך ממוחלפת שאינה מהירה, שיש לאורכה כבישים מ-מ, תועבר פעילות התחבורה הציבורית המחייבת קשר עם הדרכים הנפגשות ועם אמצעי תחבורה אחרים, אל תוך הכבישים המאספים-מחלקים. בכבישים אלה יתוכננו פעילות ומתקני התחבורה הציבורית בהתאם להנחיות המפורטות בסעיף 10.1.4 בפרק הבא בהנחיות, ותוך הבטחת הסדרי הנגישות להולכי-הרגל, כמפורט בסעיף 10.2 באותו פרק.

9.9 דרכי-שירות

דרך-שירות (Service road, Frontage road), כהגדרתה בסעיף 2.2.5 בהנחיות, היא דרך מקבילה לדרך הממוחלפת, כמתואר בציור 9.41, אשר מיועדת לשרת את התנועה המקומית ולרכז את הגישות לשימושי הקרקע הסמוכים, שאין לחברם ישירות לדרך מסויגת-הגישה. דרכי-שירות מיועדות גם לריכוז מבני-שירות, תחבורה ציבורית, תחנות הסעה וכד' (ראה גם סעיף 3.1.1 וציור 3.1 בכרך זה).

בניגוד לכבישים המאספים-מחלקים, דרך השירות אינה בהכרח צמודה לדרך הממוחלפת, ויכולה אף לעבור מחוץ לזכויות-הדרך שלה. דרך-השירות היא חלק מהרשת המקומית או האזורית, ועשויה להיות בעל מספור וסיווג עצמאיים. בהיסלל דרך ממוחלפת חדשה, עשויה דרך מקבילה קיימת להפוך לדרך-שירות. מהירות-התכן ושאר המאפיינים הגיאומטריים של דרך השירות יותאמו בדרך-כלל לדרישות עבור דרכים מקומיות בכרך I של הנחיות אלה. בקרת-הגישות בדרכי-השירות תהיה חלקית או מצומצמת, בהתאם למקרה. באזורים מטרופוליניים ייתכנו כבישי-שירות הצמודים למסלולי הדרך הממוחלפת ומופרדים מהם בעזרת מיפרדה סלולה או בנויה, המאפשרת מעבר לכבישי-השירות בנקודות מבוקרות בלבד.

היציאות מהדרך הממוחלפת לדרך-השירות, והכניסות בכיוון ההפוך, יבוצעו באמצעות רמפות-מעבר, כשבקצה הרמפה המשמש ליציאה מהדרך הממוחלפת יש מחבר-זרימה שיתוכנן לפי הדרישות שבפרקים 6 ו-7 בהנחיות, ואילו בקצה השני של הרמפה עשוי להיות מחבר-זרימה או מחבר לעצירה בהתאם לפרטי התכן של דרך-השירות.

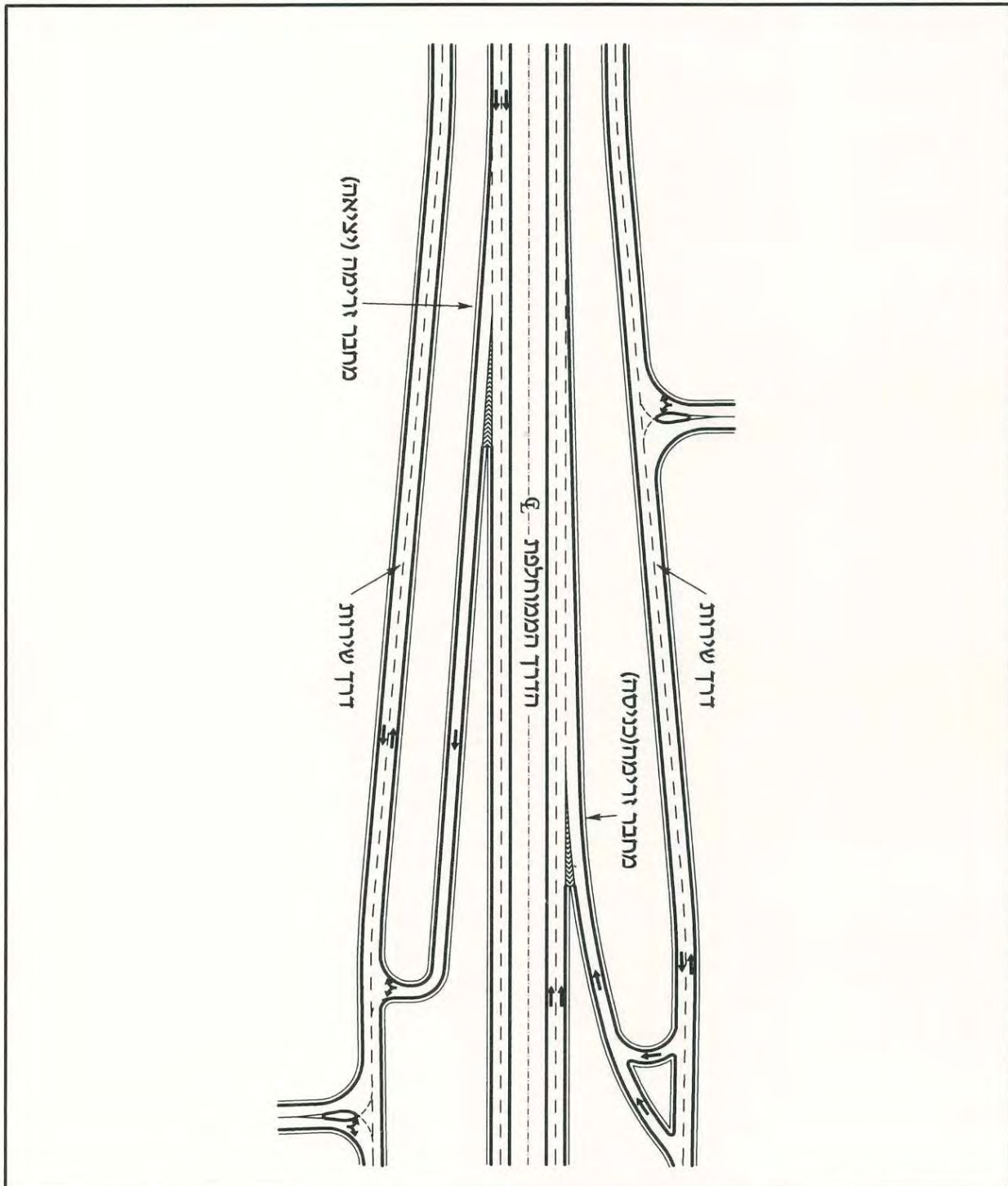
הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

תכן רמפות-המעבר לדרכי-שירות יבוצע בהתאם לדרישות התכן ביחס לרמפות במחלפי-גישה בהנחיות אלה. הצמתים לאורך דרך-השירות יתוכננו בהתאם לדרישות לתכן צמתים בכרך II של הנחיות אלה. בדומה למחלפי-גישה, יש להקפיד כי התורים הנוצרים בצמתי הרמפות עם דרך-השירות לא יצרו הפרעות תפעוליות בדרך הממוחלפת. כאשר רמפת-המעבר מתמזגת עם דרך-השירות במרחק של 200 עד 250 מטר לפני מחלף-גישה, לא רצוי חיבור נוסף בדרך-השירות בין רמפת המעבר לצומת במחלף. כלל דומה יחול גם על רמפת-מעבר הנפרדת מדרך-השירות 150 עד 200 מטר אחרי מחלף-גישה.

דרכי-שירות עשויות להיות חד-סיטריות או דו-סיטריות. הבחירה בין שתי האפשרויות תעשה משיקולים מערכתיים כוללים, ובהתחשב בנקודות הבאות:

- לדרכים חד-סיטריות יתרונות בטיחותיים ותפעוליים, אך הן עשויות להאריך את מרחקי הנסיעה של המגיעים מהרשת המקומית, ולהקשות על ההתמצאות.
- בדרך-שירות חד-סיטרית קיימת סכנה של פניות מוטעות נגד הכיוון במחברי רמפות-המחלף אל דרך-השירות.
- בדרכי-שירות חד-סיטריות עשוי להידרש צמד דרכים, אחת מכל צד של הדרך הממוחלפת.
- דרך השירות הדו-סיטרית מקצרת את מרחקי הנסיעה ועשויה לחסוך את הצורך בדרך נוספת, אך יש בה סכנה בחוסר-הסתגלות מיידי של הנהגים למעבר החד ממשטר זרימה חד-סיטרי בדרך הממוחלפת וברמפות, למשטר זרימה דו-סיטרי בדרך-השירות. בנוסף, קיימת סכנה של פניות לא נכונות לרמפות החד-סיטריות. קיבולת הדרך הדו-סיטרית נמוכה בהרבה מקיבולת הדרך החד-סיטרית.

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 9.41 דרכי-שירות (דו-סיטריות)

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פרק 10

מתקני דרך במחלפים

תוכן עניינים

10-1.....	תחנות אוטובוסים והסעה בתחומי מחלפים	10.1
10-1.....	10.1.1 מדיניות כללית	
10-2.....	10.1.2 כללים עקרוניים למיקום תחנות	
10-3.....	10.1.3 תחנות בתחומי הדרך הממוחלפת	
10-4.....	10.1.4 תחנות בדרכי-שירות ובכבישים מאספים-מחלקים	
10-5.....	10.1.5 תחנות במחלפי-גישה	
10-11.....	10.2 תכנון להולכי רגל באזורים המותרים	
10-15.....	10.3 אביזרים ומתקנים	
10-17.....	10.4 תימרור ושילוט	
10-17.....	10.4.1 תפקידי התימרור והשילוט	
10-18.....	10.4.2 תפקידי שלטי ההדרכה	
10-19.....	10.4.3 מטרות תכנון ועיצוב שלטי ההדרכה	
10-19.....	10.4.4 עקרונות לתימרור במחלפים	

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

פרק 10

מתקני דרך במחלפים

10.1 תחנות אוטובוסים והסעה בתחומי מחלפים

10.1.1 מדיניות כללית

הדרכים הממוחלפות הבין-עירוניות משמשות למעבר של קווי אוטובוסים מהירים המחברים מוקדים עיקריים. חלק מהקווים ייסע מרחקים ארוכים לאורך הדרך הממוחלפת, וקווים אחרים יצאו או ייכנסו במחלפים המקשרים את הדרך הממוחלפת לדרכים הנפגשות איתה. במחלפים שלאורך הדרך עשוי להתעורר הצורך במיקום תחנות אוטובוסים, שיאפשרו מעבר בין אמצעי תחבורה המשרתים את שתי הדרכים. בנוסף, תיתכן גם דרישה למיקום תחנות הסעה במחלפים אלה. ההחלטה בדבר הצורך בקיום התחנות חייבת להתקבל בשלבי התכן הראשוניים של המחלף, בשל ההשפעה האפשרית על תצורת המחלף הנבחרת.

העקרונות המנחים בסעיף זה לשילוב תחבורה ציבורית בדרכים ממוחלפות ובמחלפים, הותאמו למדיניות תכנית-האב הארצית לתחבורה יבשתית, אשר אומצה על-ידי המועצה הארצית לתכנון ובנייה. מדיניות זו דוגלת בשינוי מגמת השימוש בתחבורה ציבורית באמצעות הקמת מערכות תח"צ משולבות והעדפת תח"צ בזכויות-דרך קיימות. הניסיון בעולם בהפעלת תח"צ המשרת דרכים ממוחלפות בין-עירוניות הוא מועט, וההנחיות בסעיף זה הותאמו באופן ייחודי לישראל.

הנחיות אלה אינן עוסקות בצירים בהם יש הסדרי העדפה לתחבורה ציבורית באמצעות נתצ"ים או מתצ"ים: הסדרים כאלה אופייניים בעיקר לצירים המוליכים אל המע"ר, ויתוכנו בהתאם למפורט בפרק 7 – "שילוב נת"צ ומת"צ בכבישים ממוחלפים", בחלק ב' של "הנחיות לתכנון נתיבים לתחבורה ציבורית" של האגף לתכנון תחבורתי מ-1998, בהם מוצג גם אופן שילוב הנתיבים המיועדים לתח"צ במסגרת כלל הסדרי התנועה במחלפים.

נחיצות תחנות האוטובוסים ומספרן תיקבע בתאום עם המפקח על התעבורה, בהתאם למערך מסלולי הקווים העוברים בדרכים הנפגשות במחלף. איתור תחנות הסעה יבוצע על דעת המפקח על התעבורה, והגורם המתאים בצה"ל. תחנות ההסעה ימוקמו במידת האפשר בצמוד לתחנות האוטובוסים, כדי לצמצם את מתחמי הפרעות לתנועה ולהקל על המשתמשים בתחנות את הבחירה בין אמצעי התחבורה השונים ואת המעבר ביניהם, וכדי לרכז את פעילות הולכי-הרגל הנלווית אליהן.

סעיף זה עוסק בהנחיות למיקום העקרוני של התחנות בתחומי המחלף ובסביבתו, ובשילובן בתכן הכולל של המחלף. פרטי התכן הגיאומטרי של התחנות והמפרצים עצמם, שילוב תחנות ההסעה וכללי הסימון באזורים אלה יהיו כמפורט בסעיף 12.1 – "תחנות אוטובוסים ותחנות הסעה", בכרך II של הנחיות אלה,

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

המוקדש לצמתים, וכן בהתאם לפרק 3 בחלק ב' של ההנחיות לתכנן נתצ"ים של האגף לתכנון תחבורתי, המוזכרות לעיל, והתרשימים הנלווים אותם.

לתיאור מפורט של סוגי המחלפים המוזכרים בסעיף זה, ראה פרקים 4 ו-9 לעיל.

10.1.2 כללים עקרוניים למיקום תחנות

הכללים העקרוניים למיקום תחנות אוטובוסים והסעה במחלפים ובדרכים ממוחלפות, הם:

- המיקום המועדף והמקובל לתחנות אוטובוסים והסעה המשרתות דרך ממוחלפת, הוא בתחומי הרמפות של מחלפי-הגישה, או בהסדרים גיאומטריים מיוחדים לתח"צ, כמפורט בסעיף 10.1.5. מיקום זה חוסך את הצורך בנתיבי האטה והאצה מיוחדים, בגדרות למניעת חציית הולכי-רגל, בהרחבת גשרים בדרך הממוחלפת ובהעברת הולכי-רגל למפלס שונה. עם זאת, מיקום זה עשוי לגרום עיכוב לתנועת האוטובוסים.
- אם קיימות דרכי-שירות מקבילות לדרך הממוחלפת, רצוי למקם את התחנות בהן, כמפורט בסעיף 10.1.4.
- במקרים בהם לא ניתן מסיבות גיאומטריות או תפעוליות הקשורות במחלף, למקם את התחנות לקווי הדרך הממוחלפת בתחומי הרמפות או בדרכי-שירות, ניתן למקמן במפלס הדרך הממוחלפת, במתחם-שירות מיוחד – מפרץ המופרד פיזית מהכביש העיקרי או דרך-שירות ייעודית, כמפורט בסעיף 10.1.3.
- במחלפי-מערכת, מומלץ לא למקם תחנות אוטובוסים והסעה בתחומי המחלף או ברמפות, בשל הסיכון שביצירת ניגודים בנפחי התנועה הגדולים, במהירויות הגבוהות ובזרימה השוטפת ברמפות, אשר מאפיינים מחלפים אלה, ומאחר שלא רצוי ליצור בהם תנועת הולכי-רגל. במקרה של הכרח במיקום תחנות לתחבורה ציבורית במחלף-מערכת, יתוכנן פתרון ייחודי למחלף, הנשען על אחת הרמפות, או על דרך מאספת-מחלקת.
- במחלפים בהם משולב מרכיב הסעה נוסף כגון תחבורה מסילתית, קיימת אפשרות ליצור מפלס נוסף או נפרד לתחבורה הציבורית, שיקשר בין אמצעי התח"צ השונים.

התכנון של שילוב התחנות במחלף יבטיח שמירה על העקרונות הבאים:

- א. הפרדת התחנות מנתיבי התנועה העוברת.
- ב. הוצאת התחנות מאזורי השתזרות.
- ג. מניעת ניגודים עם התנועות הפונות בצמתים שבמחברי הרמפה.
- ד. חסכון בזמן ויעילות לקווי האוטובוס, ושמירה על רמת השירות שלהם.
- ה. קיצור מרחקי ההליכה להולכי-רגל ומניעת הליכה וחצייה בלתי מבוקרות.

מיקום תחנות האוטובוסים וההסעה חייב להיות מלווה בתכנון כולל של מערך ההליכה של הולכי-הרגל בכל אזור המחלף, וקשירתו לתחנות האוטובוסים וההסעה המתוכננות, כמפורט בסעיף 10.2 להלן. רציפי התחנות יחברו ישירות למדרכות סלולות או לשבילים סלולים לכל כיווני ההליכה המתוכננים. כל התחנות ומסלולי ההליכה יהיו מוארים היטב.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

אם צפויה, בשלב כלשהוא, פעילות תח"צ במחלף, רצוי להתחשב בה ולבצע את ההכנות ההנדסיות הנדרשות בשלב המקורי של המחלף, גם אם תפעולה יהיה רק בשלב מאוחר יותר. זאת, כדי להימנע מסיבוכים הנדסיים ומהוצאות גדולות עקב תוספות מאוחרות.

10.1.3 תחנות בתחומי הדרך הממוחלפת

המיקום המועדף לתחנות אוטובוסים והסעה בדרכים ממוחלפות הוא, כאמור לעיל, בתחומי הרמפות במחלפי-גישה. עם זאת, במקרים בהם אין ברירה אחרת, ניתן למקם תחנות במפלס הדרך הממוחלפת ובחיבור ישיר אליה, בתחומי המחלף או בין מחלפים, כמפורט:

א. בתחומי המחלף:

- 1) במחלף-גישה שצורתו הבסיסית אינה מאפשרת שימוש ברמפות לעקיפת המחלף, דהיינו – להחזרת התנועה היוצאת מהדרך הממוחלפת להמשך נסיעה בה, למשל: מחלפי תלתן חלקי A-2, B-2 או חד-צדדי, ויהלום חד-נקודתי ללא דרכי-שירות.
- 2) במחלף-גישה שצורתו הבסיסית עוותה עקב הזחת או העתקת מיקום החצייה של הדרך המשנית, כך שעיוות צורת המחלף מונע את האפשרות לעקיפתו. למשל: יהלום בו ציר הדרך המשנית מבצע מעקף לצורך התחברות למעבר הדו-מפלסי.
- 3) במחלף-גישה שצורתו הגיאומטרית מאפשרת את עקיפתו, אולם עומסי התנועה בצמתי הרמפות עם הדרך המשנית יגרמו עיכוב גדול לתחבורה הציבורית החוצה מהדרך העיקרית, ולא ניתן ליישם הסדרי העדפה לתחבורה הציבורית.
- 4) בציר המשמש תחבורה ציבורית הנוסעת לאורכו, אשר הצמתים בו מצויים בהליכי מיחלוף, והוצאת האוטובוסים לרמפות בכל צומת שמוחלף תגרום להארכת זמן הנסיעה שלהם, ולסירבול הקו.

ב. בין מחלפים:

- 1) במיפרד שאין הצדקה להופכו למחלף, אולם מצוי בסמיכות למוקד פעילות היוצר תנועת נוסעים, הזקוקים להסעה או לתחבורה הציבורית העוברת בציר הממוחלף.
- 2) בהפרדויות והתחברויות חד-מפלסיות ימינה בלבד מהדרך הממוחלפת, כגון לדרכי-גישה שאינן חוצות את הדרך הממוחלפת, וקיימת בהן תנועת נוסעים כדוגמת 1) לעיל.
- 3) בקרבת מוקדי-פעילות שאין להם חיבור לרכב לדרך הממוחלפת, אך יוצרים תנועת נוסעים כדוגמת 1) לעיל.

בכל המקרים המתוארים ב-א' ו-ב' לעיל, הפתרון למיקום תחנות אוטובוסים והסעה במפלס הדרך הממוחלפת הוא במתחם-שירות ייעודי, מיוחד למטרה זו, המקביל לדרך הממוחלפת. מתחם-השירות עשוי להיות באחת משתי האפשרויות הבאות:

- א. מפרץ-הסעה צמוד לשולי הדרך הממוחלפת, אשר מופרד ממנה על-ידי אבן שפה בנויה, ייתכן בתוספת גדר, כמתואר במסלול התחתון בציור 10.1. באופן מעשי, מתקבל מפרץ נפרד מורחב וארוך.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

רוחב הפרדה הפיזית הרצויה משול הדרך לשול מפרץ ההסעה היא 6 מטר לפחות, אך לא פחות מ-2 מטר במקרה של אילוצי מקום.

ב. כביש-שירות ברצועה נפרדת, המרוחקת מעט משולי הדרך הממוחלפת, ומוליכה למפרץ ההסעה, כמתואר במסלול העליון בציור 10.1.

האפשרות שתיבחר תלויה באפשרות הביצוע, במבנים ובמכשולים הקיימים, ובמסלולי ההליכה המתוכננים של הולכי-הרגל, כמפורט להלן. רוחב השטח הסלול (כביש+שוליים) במרכיבי אזור ההסעה המיועד, בשתי האפשרויות, יהיה 6 מטר, להבטחת האפשרות לעקיפת אוטובוס עומד על-ידי אוטובוס נוסף.

מאחר שלכל יציאה וכניסה בדרך הממוחלפת השפעה על זרימת התנועה, רמת השירות והבטיחות, יש לשקול השפעות אלה בעת איתור התחנות לעומת היתרונות למשתמשים בתח"צ, והמיקום הסופי של התחנות ייקבע לאחר שהובטחו האמצעים למניעת הפרעות לתנועה בדרך הממוחלפת.

בכל אחת משתי האפשרויות המתוארות לעיל, היציאה מהדרך הממוחלפת והחזרה אליה יבוצעו באמצעות מחברי-זרימה חד-נתיביים ליציאה ולכניסה. המחברים יתוכננו בהתאם לכל הכללים המפורטים בסעיפים 6.3 ו-6.5 לעיל בהנחיות, לרבות מתן האורכים המלאים הדרושים להאטה ולהאצה, אשר מופיעים בטבלאות באותם סעיפים, עבור הפרש המהירויות שבין עצירה מוחלטת בתחנה לבין המהירות הממשית הממוצעת בדרך הממוחלפת. רצוי, שנתיב ההאצה ביציאה ממפרץ ההסעה יהיה בירידה, ובכל אופן לא בעלייה, בשל אורך ההאצה הגדול יותר הדרוש לאוטובוס. בשום מקרה לא יתוכנן ביצוע ההאטה וההאצה בתוך הנתיבים המשכיים בדרך הממוחלפת. תכנון היציאה והכניסה של האוטובוסים לדרך הממוחלפת חייב להבטיח מניעת הפרעות לתנועה ופגיעה בבטיחות, ושמירה על נוחות נוסעי האוטובוס. שיקולים הנדסיים נוספים לתכן התחנות וההתחברויות אליהן יהיו כמפורט בסעיפים 14.5 ו-14.6 בכרך II של הנחיות אלה.

מסלולי ההליכה מהתחנות יוליכו אל המדרכות שלאורך הדרך הניצבת, או אל מעבר עילי או תחתי אל הדרך הניצבת, או למעבר במפלס שונה לצידה השני של הדרך הממוחלפת, אם קיים (בכל מקרה של צורך בחציית הדרך הממוחלפת מתחייב מעבר הולכי-רגל במפלס שונה). בסביבת התחנות תוקם במיפרדה שבדרך הממוחלפת גדר למניעת חצייתה על-ידי הולכי-רגל, לאורך של כ-250 מטר מכל צד של התחנות.

כל המסלולים והמתקנים להולכי-רגל יתוכננו על-פי ההנחיות לתכנון עבור הולכי-רגל של האגף לתכנון תחבורתי, במהדורתן המעודכנת.

10.1.4 תחנות בדרכי-שירות ובכבישים מאספים-מחלקים

במחלפים ובקטעי דרכים ממוחלפות בהם קיימות דרכי-שירות מקבילות, רצוי להעביר דרכן את מסלולי הקווים הזקוקים לתחנות, ולמקם את תחנות האוטובוסים ותחנות ההסעה בדרכי-שירות אלה, ולא בתחומי הדרך הממוחלפת. האיתור המדויק של התחנות ייקבע בהתאם לאפשרויות ההגעה של הנוסעים לתחנות ולצורך בהחלפת אמצעי-נסיעה, ובהתאם למיקום ההתחברויות לדרכי-השירות. בתכנון

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

דרכי-השירות יש להבטיח שקווי האוטובוסים העוברים דרכן יכולים לצאת מן הדרך הממוחלפת ולחזור אליה ללא עיכובים מיותרים, וללא הארכה גדולה של מסלול הנסיעה.

תכנון התחנות עצמן ייעשה כמפורט בסעיף 12.1 – "תחנות אוטובוסים ותחנות הסעה", בכרך II של הנחיות אלה, וישולבו בתכנון כולל של מערך ההליכה של הולכי-הרגל, כמפורט בסעיף 10.2 להלן.

כבישים מאספים-מחלקים בתחומי מחלף ובין מחלפים אינם מיועדים להורדת או העלאת נוסעים ולפעילות הולכי-רגל, ולכן אין למקם בצידם תחנות אוטובוסים או תחנות הסעה. הפתרון למיקום תחנות אוטובוסים והסעה כאשר יש כבישים מאספים-מחלקים, הוא במתחם-שירות נפרד, המתחבר לכביש המאסף-מחלק, בדומה לפיתרון בחיבור לדרך הממוחלפת, המתואר בסעיף 10.1.3 לעיל. בציור 10.2 מוצג שילוב תחנות בכביש מאסף-מחלק במחלף עלה-תלתן מלא או חלקי חד-צדדי. המיקום הרצוי לתחנה הוא לאחר קטע ההשתזרות בכביש המאסף-מחלק, לצימצום הניגודים, כמתואר בציור. אם מסלולי ההליכה לתחנה חוצים רמפות במחלף, שלא במחברים לעצירה, החצייה תהיה במפלס שונה ולא במפלס הדרך.

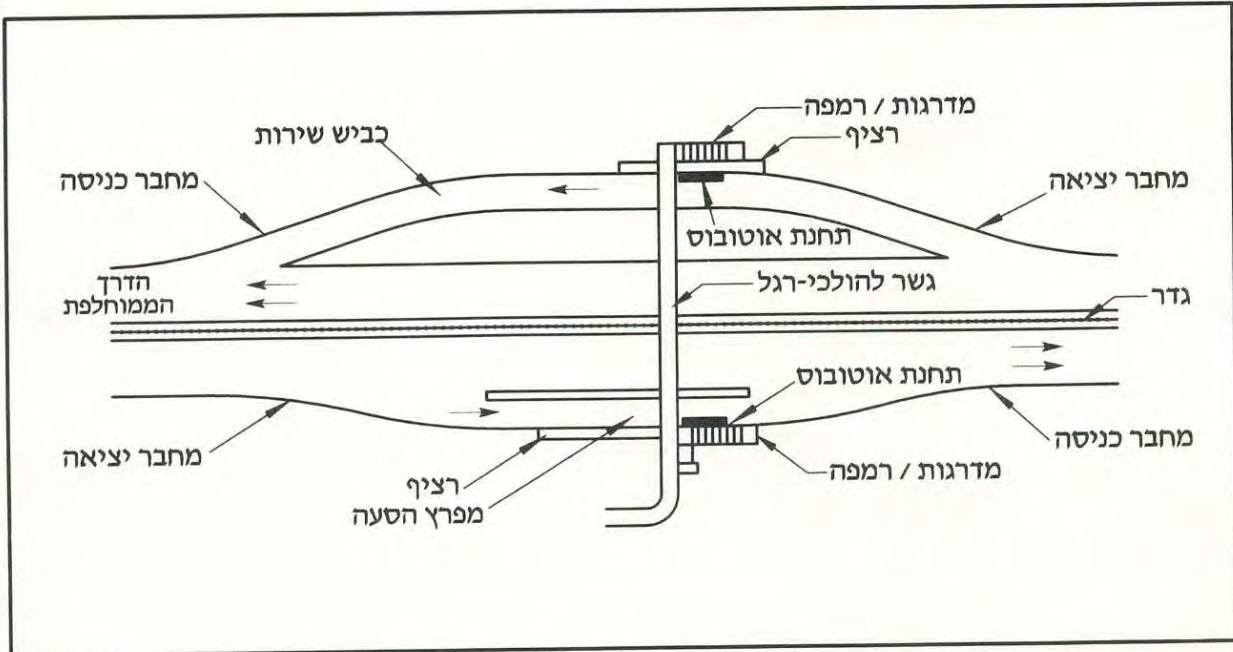
10.1.5 תחנות במחלפי-גישה

תחנות במחלפי-גישה נועדו לשרת את הנוסעים המעוניינים לעבור מאמצעי-נסיעה המשרתים את הדרך הממוחלפת לאמצעי נסיעה המשרתים את הדרך הנפגשת. בסביבת המחלף ייתכנו תחנות לשלושה סוגי שירות:

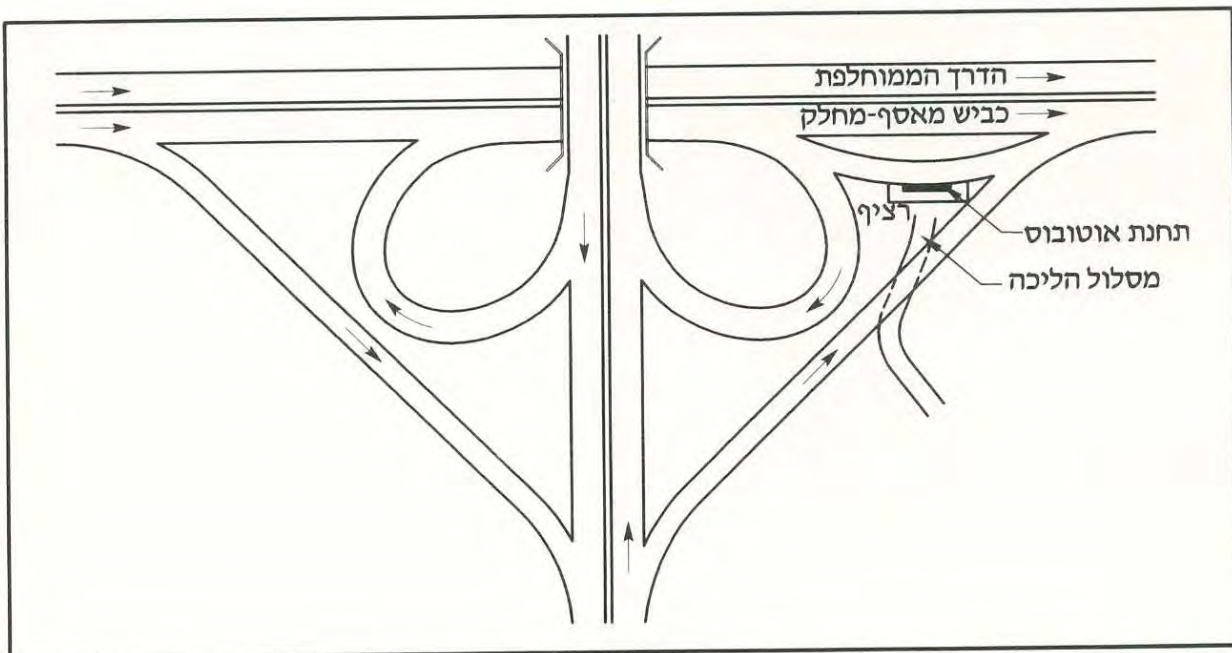
- א. תחנות איסוף והורדה לקווים הנוסעים לאורך הדרך הממוחלפת.
- ב. תחנות איסוף והורדה לקווים הנוסעים לאורך הדרך הנפגשת.
- ג. תחנות איסוף והורדה לקווים העוברים במחלף זה מהדרך הממוחלפת לדרך הנפגשת או במגמה הפוכה.
- א. **תחנות לקווים הנוסעים לאורך הדרך הממוחלפת** צריכות להיות ממוקמות בתחומי הרמפות, סמוך למחברי-העצירה, כדי לאפשר לאוטובוסים לצאת מהדרך הממוחלפת לתחנות, לחצות את הדרך הנפגשת ולחזור לדרך הממוחלפת.

- מחלפי-הגישה המאפשרים פתרון זה הם יהלום רגיל או צר, יהלום מפוצל עם דרכי-שירות ויהלום בפיצול מרובע, וכן תלתן-חלקי מסוג A-4 וסיבובי. בכל הסוגים האלה, ניתן להסדיר את חציית הדרך הנפגשת ללא שינוי משמעותי במבנה המחלף, באמצעות הוספת האפשרות להמשיך ישר ממחברי-העצירה המיועדים לפניית שמאלה מהרמפות.
- במחלף תלתן חלקי B-4 יש להוסיף את האפשרות להמשיך ישר מהרמפות המיועדות לפניית ימינה מהדרך הממוחלפת, מאחר שהפניות שמאלה לדרך הנפגשת מבוצעות בלולאות, ואז חצייה זו עשויה לחייב תוספת פאזה בצומת מרומזר.
- במחלפי "T" עם צומת ובמחלפי חצי יהלום נדרשת תוספת לצומת, כדי לאפשר חציית הדרך המסתיימת על-ידי תחבורה ציבורית.

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 10.1 תחנות בדרך ממוחלפת במפלס הדרך: במפרץ-הסעה מופרד (התחנה התחתונה) או בכביש-שירות מעבר לשול (התחנה העליונה)



ציור 10.2 מפרץ תח"צ הנשען על כביש מאסף-מחלק במחלף עלה-תלתן חלקי חד-צדדי

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

• בשאר תצורות מחלפי-הגישה (חצוצרה, אגס, יהלום מפוצל ללא דרכי-שירות, יהלום חד-נקודתי, תלתן חלקי A-2, B-2 וחד-צדדי), לא ניתן להבטיח את אפשרות החזרת התחבורה הציבורית להמשך הדרך הממוחלפת ללא התאמה מיוחדת של המחלף לעניין זה, המחייבת שינוי במבנה המחלף או בתפעולו, ולכן הצורך בשילוב תחבורה ציבורית במחלף הוא בין השיקולים לבחירת תצורת המחלף, כמפורט בסעיף 4.1 בהנחיות אלה.

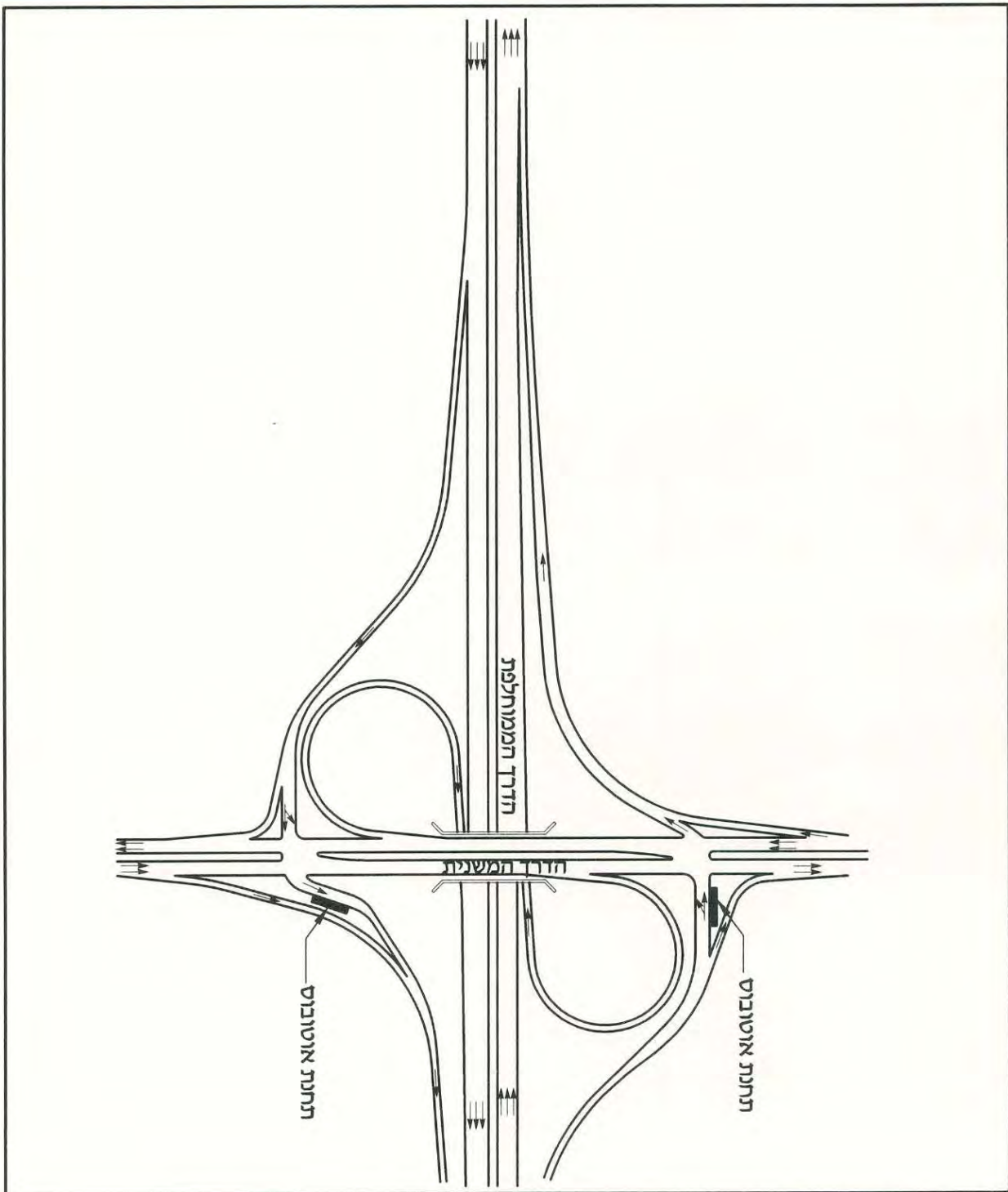
המיקום העקרוני של תחנות בקרבת המחברים לעצירה ברמפות מחלפי תלתן חלקי מוצג בציור 10.3, ושל מחלפי יהלום בציור 10.4. המיקום המועדף של התחנות הוא מעבר לצומת, בהתאם לשיקולים המפורטים בסעיף 12.1.1 – "השיקולים לאיתור תחנות בקרבת הצומת", בכרך II של הנחיות אלה.

רק במקרים יוצאים מן הכלל, אפשר למקם תחנות אוטובוסים לפני צומת לא מרומזר, וזאת בעיקר בגלל מהלך קווי האוטובוסים והקשר ביניהם. תחנה לפני הצומת נועדה למקרה בו עיקר מעבר הנוסעים הוא לתחנה בזרוע הניצבת באותו צד, מבלי שיחצו את הצומת. מיקום זה אפשרי בעיקר ברמפות שהתנועה בהן דלילה, ורצוי שהפנייה ימינה מהן תופרד מהתנועה הממשיכה ישר, למניעת ניגודים עם האוטובוסים, כמתואר בציורים. מיקום התחנה ייקבע לפי ניתוח הניגודים, בשילוב עם התכן הכולל של הצמתים באזור המחברים, בהתאם למסלולי ההליכה המתוכננים של הולכי-הרגל ולמעברים המתוכננים לשאר התחנות הממוקמות במרחב המחלף. בכל מקרה, חציית הדרך הנפגשת על-ידי התחבורה הציבורית תשולב בפתרון התפעולי הכולל של המחלף, כדי להבטיח שהעיכוב לתחבורה הציבורית יהיה מזערי. במידת הצורך, ייתכנו הסדרי העדפה לתחבורה הציבורית בגישה למחברים לעצירה, למניעת עיכוב בחציית הדרך הנפגשת.

במיקומי תחנות התח"צ המתוארות לעיל ניתן לשלב גם את תחנות ההסעה. במחלפי-גישה בהם אין ברמפות תחנות לתחבורה ציבורית, ניתן למקם את תחנות ההסעה במפרצים בשולי הרמפה, סמוך לתחילת כל רמפה המוליכה מהדרך הנפגשת לדרך הממוחלפת, ובלבד שלא יהיה זה בתחומי הקשת המעגלית ברמפות לולאה.

ב. לתחנות לקווי הדרך המשנית או לקווים הפונים בין שתי הדרכים רצוי לתכנן מיקום משולב, כדי להקל על הנוסעים במעבר בין אמצעי התחבורה, ולצמצם את הצורך במסלולי ההליכה במחלף. האזור במחלף בו מסלולי הקווים משני הסוגים נוסעים במקביל, הוא קטע החצייה של הדרך הנפגשת מעל או מתחת לדרך הממוחלפת (על הגשר או מתחתיו, בהתאם למפלסי הדרכים). במחלפי יהלום ותלתן-חלקי A-4 או B-4, האפשרות למיקום התחנות המשותפות היא מצידו הקטע שבין שני הצמתים בדרך הנפגשת. המיקום המדויק ייקבע בהתאם לאפשרויות הביצוע ולפתרון הסדרי התנועה והתפעול בצמתים. מיקום התחנות באזור הגשר עשוי לחייב את הרחבתו. בציור 10.5 מוצגת דוגמא למיקום התחנות מצידו הגשר במחלף תלתן חלקי A-4. המיקום המתואר בציור מתאים לפעילות תח"צ מועטה, כאשר אין לקווים תחנות מוצא, ויסות או המתנה במקום זה, וכאשר הנוסעים מחליפים קווים בתחנות אלה. כן מתאים המיקום למקרה בו יש תחנות לתחבורה מסילתית מתחת לגשר. רצוי להאריך את רמפות היציאה מהדרך המשנית כמתואר בציור, כך שמחברי היציאה ללולאות יהיו לפני תחנות האוטובוס, למניעת ניגודים.

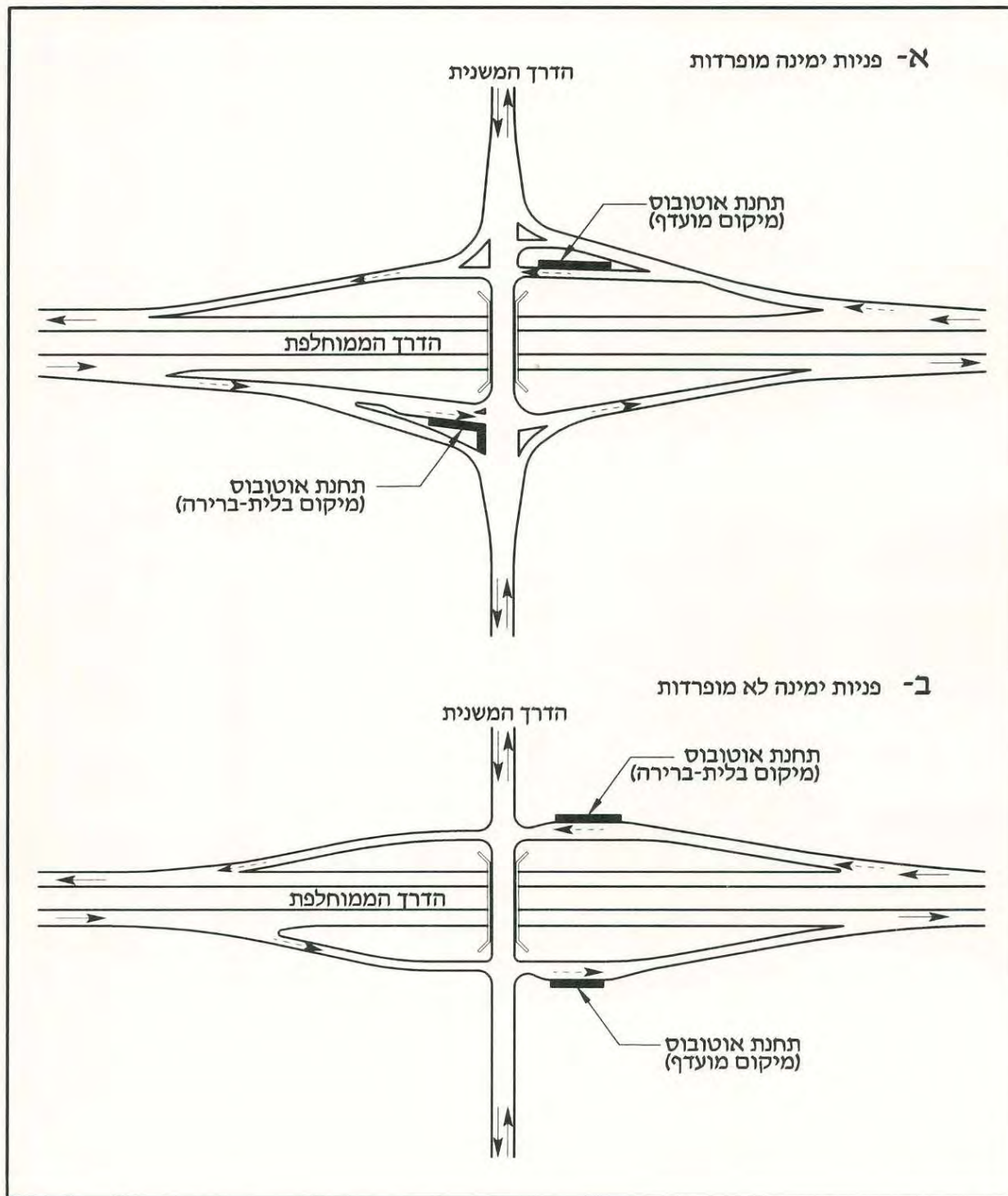
הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



התאמת מחלף עלה-תלתן חלקי A-4 לתחנות אוטובוס לקווי הדרך הממוחלפת

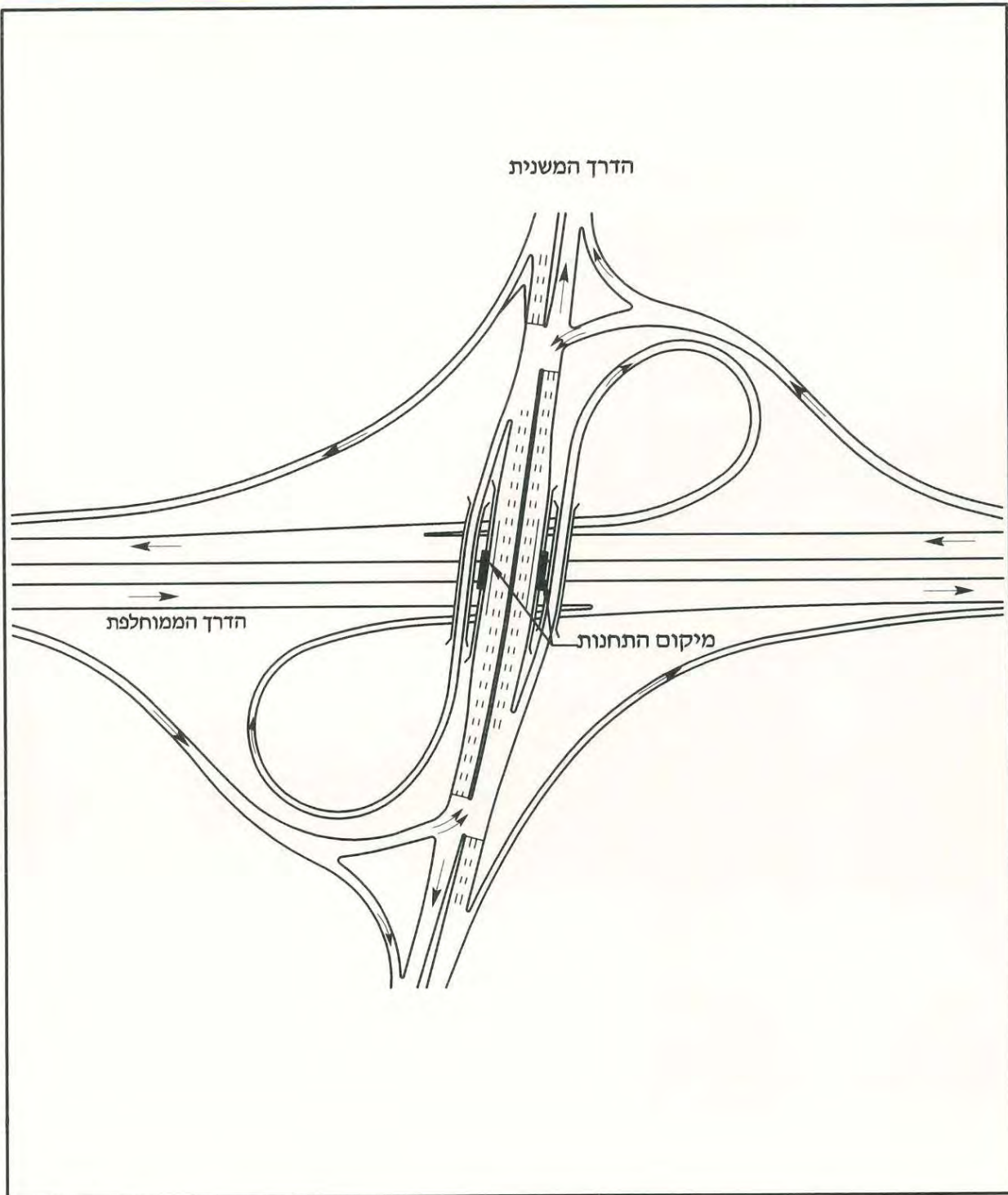
ציור 10.3

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 10.4 אפשרויות למיקום תחנות לאוטובוסים הממשיכים בדרך הממוחלפת, ברמפות במחלף יהלום

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 10.5 מיקום התחנות של קווי הדרך המשנית על הגשר במחלף עלה-תלתן חלקי A-4 (פעילות תח"צ מועטה)

10.5

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

ג. כאשר המחלף משמש כמוקד לפעילות רבה של תח"צ, תחילת קווים וסיומם וכיו"ב, נדרש מספר גדול של תחנות ורציפי המתנה לנוסעים, שלא תמיד ניתן למקמם בתחום הכביש בקטע שבין הצמתים. במקרה זה, יש צורך במסוף נפרד לתחבורה ציבורית, במפלס הדרך המשנית, אשר יפעל כלולאה מיוחדת עבור אוטובוסים שייכנסו למסוף מהדרך הנפגשת או מהרמפות, ויצאו ממנו להמשך נסיעתם, כמתואר בדוגמאות שבציורים 10.6 עד 10.8. מיקום המסוף ייבחר בכל מחלף לגופו, בהתאם לזכויות הדרך, לאפשרויות הביצוע, ולשילובו בהסדר התפעולי הכולל של המחלף. המסוף עשוי לחייב ביצוע גשרים או סוללות נוספים. בציור 10.6 מוצגות שתי אפשרויות למיקום מסופי תח"צ הנשענים על הרמפות במחלפי יהלום צר, כאשר האפשרות העליונה מיועדת לפעילות תח"צ בינונית ונשענת על הרמפות, והתחתונה מיועדת לפעילות תח"צ גבוהה ונשענת על הגשר. בשתי האפשרויות ניתן לשלב את תנועת האוטובוסים בתכניות הרמזורים הקיימות. בציור 10.7 מוצגת אפשרות למיקום מסוף תח"צ לפעילות בינונית, הנשען על הרמפות במחלף תלתן חלקי A-4. גם כאן תשתלב תנועת האוטובוסים בתכניות הרמזורים הקיימות. בציור 10.8 מוצגות אפשרויות עקרוניות לריכוז תחנות אוטובוסים במחלף יהלום מפוצל עם דרכי-שירות.

10.2 תכנון להולכי רגל באזורים המותרים

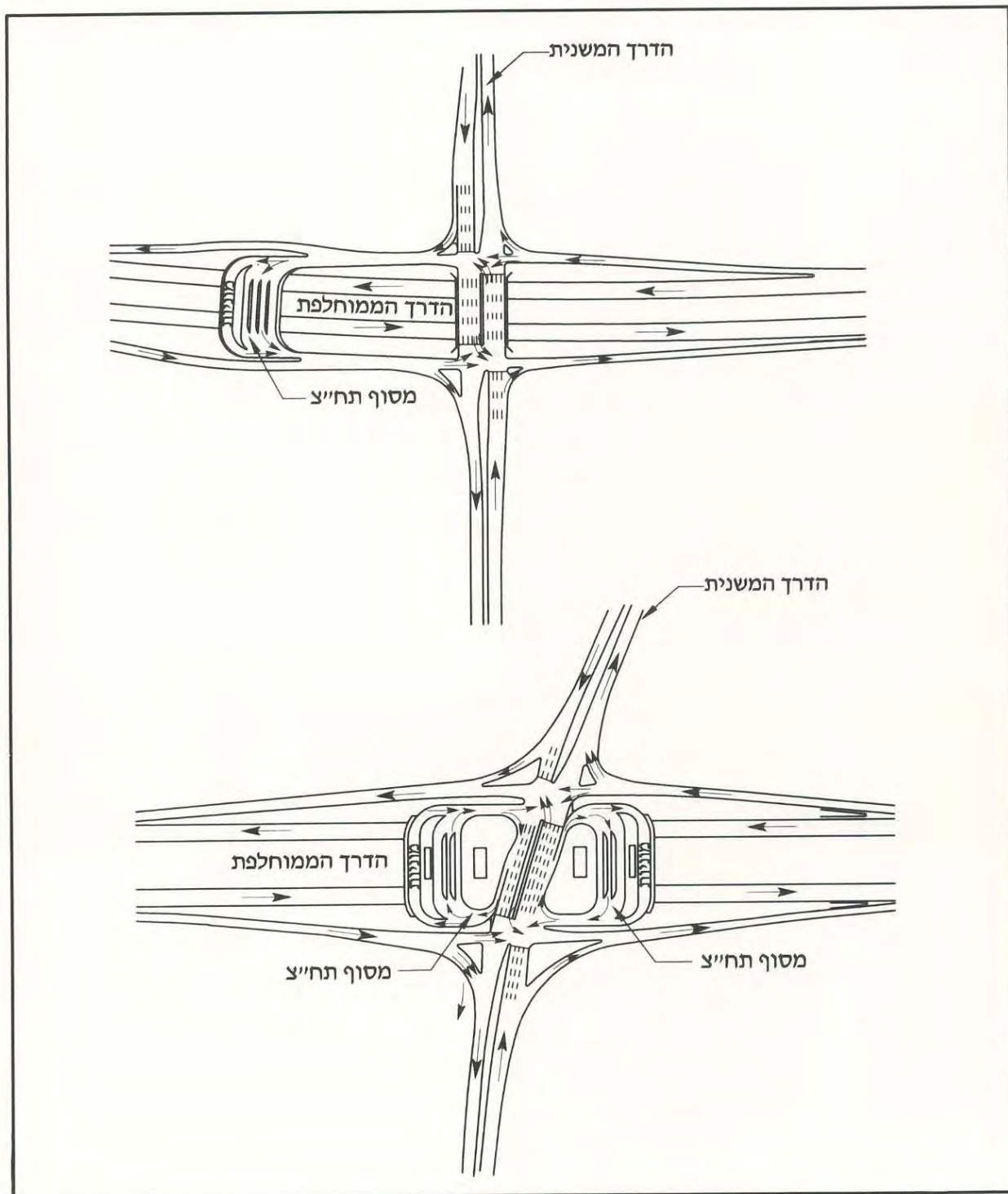
מחלפים אינם אמורים להיות מוקד לפעילות של הולכי-רגל – בתחומי מחלפים בין-עירוניים לא ימוקמו שימושי קרקע המושכים פעילות של הולכי-רגל. מקורה של פעילות הולכי-רגל במחלפים אלה היא בתחנות אוטובוסים והסעה, במעבר בין אמצעי-נסיעה. לפיכך, תכנון תנועת הולכי-רגל בסביבות המחלף ישולב בתכנון מסלולי האוטובוסים במחלף ותחנותיהם, כמפורט בסעיף 10.1 לעיל.

במחלפי-מערכת לא ימוקמו, בדרך-כלל, תחנות אוטובוסים והסעה, ולכן לא צפויה במחלפים אלה פעילות הולכי-רגל. פעילות הולכי-הרגל צפויה, כאמור, במחלפי-גישה, בהם קיימת פעילות תחבורה ציבורית, בעיקר במקרים שהדרך המשנית היא בעלת אופי עירוני, מטרופוליני או גישה ליישוב. מסלולי ההליכה הצפויים של הולכי-הרגל הם בין תחנות האוטובוסים וההסעה הממוקמות ברמפות, סמוך למחברים לעצירה, לבין התחנות הממוקמות מצידו הדרוך המשנית, וכן לאורך הדרך המשנית.

לאורך כל מסלולי ההליכה הצפויים יתוכננו מדרכות סלולות או שבילים סלולים, שכולם מוארים לכל אורכם בשעות החשיכה. מסלולי ההליכה יתוכננו כך, שיענו לציפיותיהם של הולכי-הרגל, ובאופן שתימנע ככל האפשר תנועה בלתי-מבוקרת של הולכי-רגל מחוץ לשטחים שהוקצו לכך. מסלולי ההליכה יהיו קצרים ככל האפשר, ובתוואי אורכי מתון ככל שניתן.

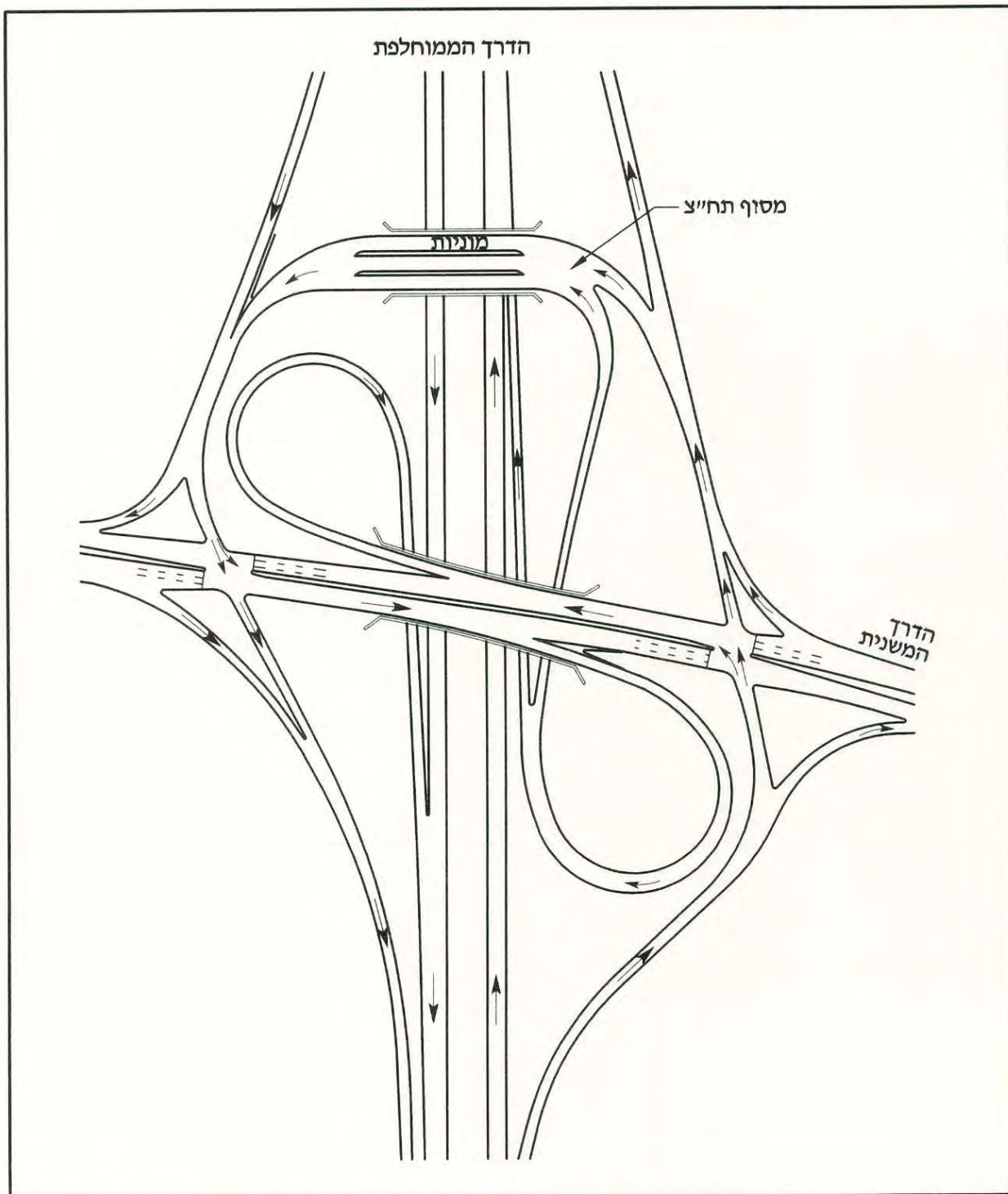
מקומות החצייה הדרושים ירוכזו בצמתים הקיימים במחברי-העצירה של הרמפות, במסגרת כלל ההסדרים הגיאומטריים והתנועתיים בצמתים אלה. מעברי-החצייה ימוקמו במסלולי ההליכה העיקריים של הולכי הרגל, ויתוכננו כך, שיהיו בולטים לעין הנהגים המתקרבים ויאפשרו מרחקי-ראות בטוחים להולכי-הרגל, אך לא יפריעו להסדרי התנועה האחרים בצומת. במקרה של רימזור הצומת, ישולבו מעברי החצייה בתכנון הרימזור, כך שלא יוסיפו מופע לרימזור ויפגעו מעט ככל האפשר בכושר

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



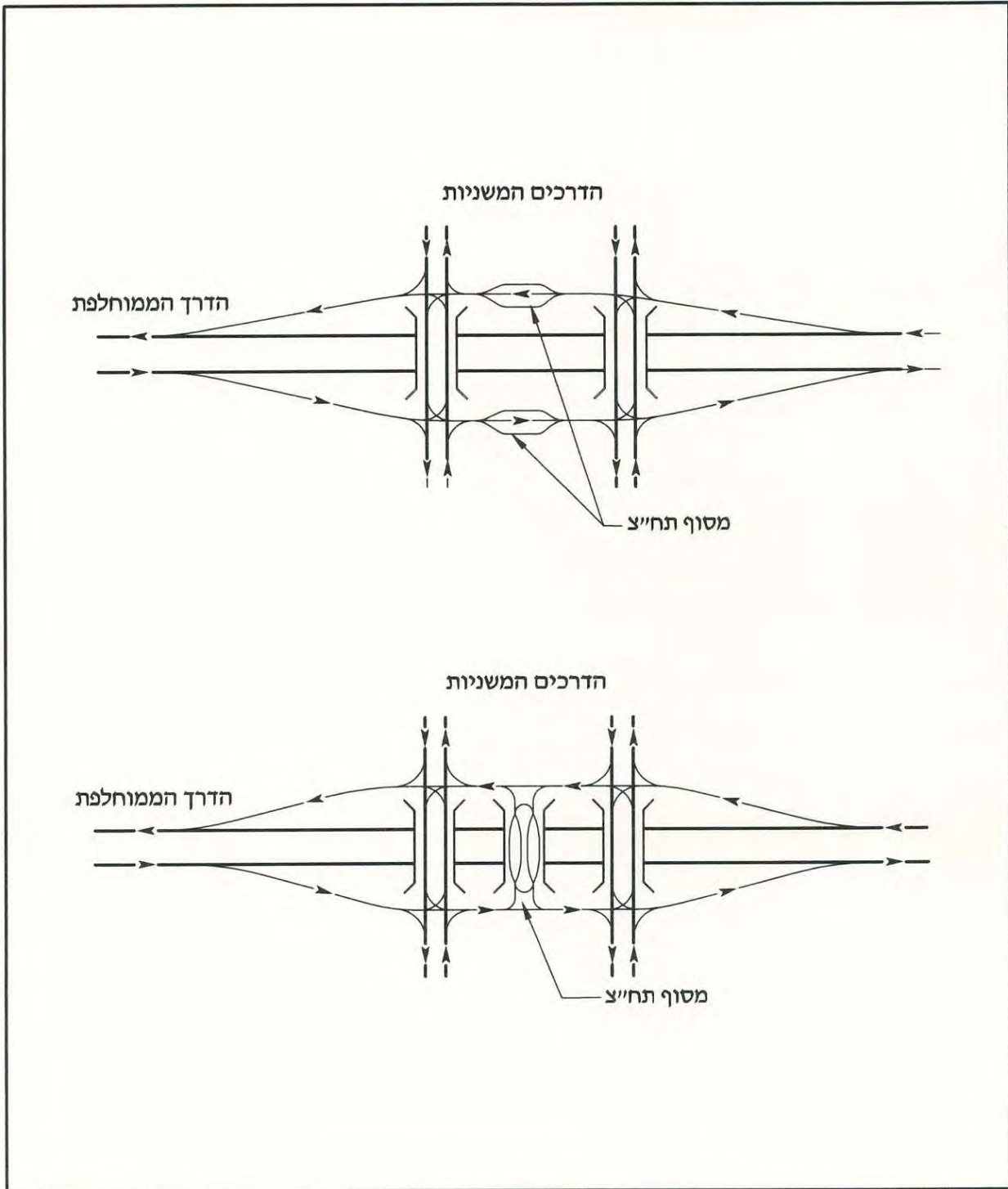
ציור 10.6 שתי דוגמאות למיקום מסופי תח"צ במחלף יהלום צר

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



ציור 10.7 דוגמה למסוף תח"צ הנשען על הרמפות במחלף תלתן חלקי A-4

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



שתי אפשרויות למיקום מסופי תח"צ במחלפי יהלום מפוצלים עם דרכי-שירות

ציור 10.8

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

ההעברה של הצומת. לא יתוכננו חציות של רמפות שלא במסגרת המחברים לעצירה, שכן הנהגים אינם מצפים למעבר חצייה ברמפה ועלולים להיות מופתעים. במקרה בו מסלולי ההליכה חוצים את תוואי הרמפות, תהייה החצייה במפלס שונה, כמתואר בציור 10.2.

לאורך הדרך המשנית במחלפי-גישה, וכן לאורך דרכי-שירות, בהן צפויה תנועת הולכי-רגל, יש לדאוג למדרכות לצידי הכביש, מצד אחד או משני הצדדים, בהתאם למסלולי ההליכה הצפויים של הולכי-הרגל, ולהסדרי החצייה. במחלפים מורכבים, עשוי להידרש מערך תמרורי-הדרכה להולכי-רגל, אשר יבהירו להולכי-הרגל את מסלולי ההליכה המיועדים להם, ויכוונו, בין השאר, למקומות המעבר למפלס האחר.

בשום מקרה לא תתוכנן חציית הולכי-רגל את הדרך הממוחלפת. החצייה תבוצע, בעת הצורך, רק במעבר עילי או תחתי, כמתואר בציור 10.1, שיתוכנן בהתאם להצדקים ולכללים שבהנחיות אגף תכנון תחבורתי לתכנון עבור הולכי-רגל, במהדורתם המעודכנת. הנחיות אלה תשמנה גם לתכן כל שאר המאפיינים הגיאומטריים והתפעוליים של התשתית להולכי-רגל במחלף.

10.3 אביזרים ומתקנים

להשלמת התכן הכולל של המחלף דרוש שילובם של האמצעים (אביזרי ומתקני הדרך) הבאים:

- מערך התימרון, לרבות שילוט ההדרכה לקראת המחלף, וסימון על-פני הדרך.
- מאור דרכים.
- התקני רימזור במחברי הרמפה בדרך המשנית במחלף-גישה.
- אמצעי הגנה וריסון הכוללים מעקות בטיחות והתקנים סופגי אנרגיה.

שילובם של האמצעים המפורטים ייעשה תוך שמירה על השיקולים המנחים בתכן המחלף, כמפורט בסעיף 3.4 לעיל, ובהתאם להנחיות המיוחדות לנושאים אלה, כמפורט להלן. התכנון של כל אחד מהאמצעים הנחוצים להסדרת התנועה יבוצע בצורה עקבית ואחידה, כדי להבטיח את הבטיחות ואת ההתמצאות בתנועה.

מאחר שחלק ממתקנים אלה הם קשיחים, בולטים מעל-פני הכביש ומצויים בתחומי הגבריט של הדרכים במחלף, יש לוודא שלא יפגעו באפשרות המעבר של כלי-הרכב המתוכננים לעבור בו, לרבות כלי-רכב עם מטען חורג או מידות חורגות. יש להתחשב גם בחזות הכללית של המחלף לאחר הצבת כל המתקנים.

בסעיף זה מוסברים בקצרה עקרונות השילוב של האמצעים המצוינים לעיל בתכן המחלף, למעט הסדרי התימרון, המפורטים בסעיף 10.4 להלן.

א. תאורה

כל המחלפים בדרכים בין-עירוניות יהיו מוארים. הארת המחלף היא בהתאם לעיקרון של הבלטות אזורי סיכון (Conflict Area) במערכת הדרכים, היות והמחלף כולל מספר אזורי סיכון, במיוחד באזור מחברי הרמפות בשתי הדרכים. בתכן המאור יש להביא בחשבון את הבלטת המחלף מסיבית, ואת ההבחנה

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

בעצמים המצויים בו ובמשתמשים בדרך. בנוסף, עמודי התאורה מהווים סיוע להכוונה האופטית ולהבלטת קיומו של המחלף גם בשעות היום, ויש לתכנן בהתאם לכך את שילוב מערכת התאורה בתכן החזותי הכולל של המחלף.

הנחיות מפורטות לתכן התאורה במחלפים נכללות בפרק המיוחד לנושא זה בהנחיות אלה (פרק 11 להלן). מחברי-הרמפות לעצירה במחלפי-גישה יוארו בהתאם להנחיות לתאורה בצמתים, המופיעות בפרק 16 בכרך II של הנחיות אלה.

מאחר שמערכת התאורה מורכבת מעמודים על בסיסים קשיחים, יש להקפיד על תכנון סלחני של מערך התאורה במחלף, למניעת סיכון של התנגשות בעמודי התאורה, למשל: בסיסי עמודים שקועים, מחברים שבירים, הגנה על עמודים באזורי מפלט וכיו"ב. דרישות אלה יפורטו בהנחיות להתקנת המאור.

ב. רימזור

במחלפי-גישה, ייתכנו רמזורים בצמתים של מחברי-הרמפה עם הדרך המשנית. התכן של מיקום הרמזורים ושילובם במערך ההסדרים בצמתים אלה הוא חלק בלתי-נפרד מתהליך התכן הגיאומטרי שלהם. פרטי התכן הגיאומטרי הייחודיים לצומת מרומזר מפורטים בפרק 10 בכרך II של הנחיות אלה. עקרונות הרימזור, תכנון פעולת הרמזור ומתכונת הצבת עמודי הרמזור יהיו בהתאם להנחיות השונות של המפקח על התעבורה או האגף לתכנון תחבורתי – לתכנון רמזורים, לשילוב גלאים, לפיצול צמתים מרומזרים ולהצבת תמרורים, במהדורותיהן המעודכנות.

ג. אמצעי הגנה ובטיחות

עקב מורכבותו ההנדסית של המחלף, נפחי התנועה הגדולים והמהירויות הגבוהות בו, יש חשיבות רבה ליישומם של כללי התכנון הסלחני בתהליך התכן של המחלף. בתחומי המחלף ובסביבתו קיימים מכשולים פיזיים רבים המהווים סיכון לרכב – קירות תומכים, סוללות מילוי וחפירה בדרכים וברמפות, מעקות ונציבי גשרים, קירות מעברים תת-קרקעיים, תמרורים וגשרי שילוט, עמודי תאורה וכיו"ב. התכנון הסלחני צריך למנוע מרכב הסוטה מהדרך את המשך הסטייה או את הידרדרותו מהדרך, למנוע מגע של הרכב עם מכשולים קשיחים, ולמזער ככל האפשר את הפגיעה בנוסעי הרכב במקרה של פגיעה באמצעי ההגנה. נקודת-תורפה חשובה ביותר במחלפים, שיש לתת את הדעת להגנתה, היא אזור אף היציאה הפיזי, במיוחד כשיש בו הפרשי גובה או מתקנים קשיחים.

בעקרונות התכן שהוצגו בפרקים הקודמים בהנחיות אלה שולבו עקרונות התכן הסלחני. להשלמת ההגנה על המשתמשים במחלף, יש להציב מעקות-בטיחות בשולי הדרך ובמפרדות, וכן בשולי הרמפות, בכל מקום בו הן נחוצות, וזאת בהתאם להצדקים ולהנחיות להצבה המפורטים בסעיף 7.7 – "מעקות בטיחות", בכרך הראשון של הנחיות אלה. בחירת סוג מעקה-הבטיחות ואופן התקנתו, ייקבעו בהתאם למפרט מע"צ התקף לנושא זה ועל-פי הנחיות הצבה והתקנה שיעובדו בהמשך.

במקרים חריגים של מכשולים גדולים וקשיחים, הנמצאים בסביבת הכביש, ושלא ניתן לבטלם או להרחיקם, כגון נציבי גשר, קירות מנהרה, עמודי הבטון של גשרי-שילוט וכיו"ב, יש לשקול הצבת התקנים סופגי-אנרגיה, אשר ייבחרו מבין האמצעים שאושרו על-ידי הועדה לבחינת אביזרי בטיחות ותנועה, המשותפת למע"צ ולגופים נוספים במשרד התחבורה. בחירת האמצעי ואופן התקנתו יבוצעו

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

בהתאם למפרט מע"צ התקף, או בהעדרו, בהתאם למפרטים זרים עדכניים כדוגמת NCHRP 350 האמריקני.

10.4 תימרור ושילוט

10.4.1 תפקידי התימרור והשילוט

התימרור בדרך הממוחלפת ובמחלפים משמש למטרות הבאות:

- אזהרה.
- הדרכה (חיובית ושלילית).
- הכוונה.
- איסורים והגבלות.
- הבטחת הסדרי הבקרה וזכות הקדימה במחברי כניסה בדרך ממוחלפת ובצמתים במחלפי-גישה.

בעת הצורך, יושלם מערך התימרור על-ידי הסימון על-פני הדרך, אשר נחוץ למטרות הבאות:

- הדרכה אופטית לתנועה.
- סיוע להכוונת הרכב ביציאות ובפניות.
- הסדרת התנועה על-ידי חלוקת שטח המיסעה לתנועות השונות.
- הסדר תנועה על-פי החוק.
- השלמת ההוראות הניתנות על-ידי התמרורים המוצבים.

המרכיבים השונים משלימים זה את זה לצורך העברת מסר משמעותי וחד-משמעי לנהג. התכנון הנכון של תימרור בכבישים חייב להתחשב גם בהצבת הסוגים השונים של התמרורים במקומות המתאימים ביותר. למשל, הצבת שלטי הדרכה באזור שהוא בעל סכנות פוטנציאליות רבות, ולפיכך מכיל שלטי אזהרה מרובים, תגרום להורדת יעילות שלטי ההדרכה עקב הסרת תשומת לב הנהגים מהם.

מערך התימרור והשילוט הוא האמצעי העיקרי לצורך השגת הדרכה יעילה, שהיא הכרחית לתפעול שוטף ובטיחותי בדרכים ממוחלפות. בכדי שהתמרורים המוצבים, בשילוב הסימנים על-פני הדרך, יהיו יעילים, מיקום כל אחד מהם חייב למלא אחר צורך מוגדר, למשוך תשומת לב, להכיל מסר פשוט וברור, ולהקנות זמן סביר לתגובה מתאימה. בכדי להבטיח מילוי דרישות אלו, על המתכנן להתחשב בשיקולים הבאים:

- א. **עיצוב** – שילוב בין גורמים פיזיים, כגון: גודל, צבע וצורה למשיכת תשומת הלב ולהבהרת המסר.
- ב. **מיקום** – מיקום התמרורים כך שיהיו בתוך מרחב הראייה של הנהג ויאפשרו מספיק זמן לתגובה.
- ג. **אחידות** – יישום אחיד של תמרורים דומים למצבים דומים, לצורך הקניית ביטחון בהחלטה והרגל לנהגים.
- ד. **המשכיות** – יצירת המשכיות ורצף במסרים שהנהג מקבל במהלך התקדמותו.

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

10.4.2 תפקידי שלטי ההדרכה

בדרכים ממוחלפות מרוכזים לקראת המחלפים מרבית תמרורי המודיעין וההדרכה, שמטרתם להדריך את התנועה בפשטות מירבית לצורך השגת זרימה יעילה ובטוחה, ומניעת ניגודים ככל האפשר. כאמור לעיל, לצורך השגת מטרה זו, על שלטים אלה למשוך את תשומת לב הנהג, להיות קריאים ממרחק, חד-משמעיים בתוכנם ואחידים בצורתם.

תפקידו החשוב של שילוט ההדרכה במחלפים הוא סיוע לנהג בשלבי ההכנה להחלטה וההחלטה, כמפורט להלן:

א. הכנה להחלטה: שלטי ההדרכה המקדימים בגישה למחלפים מכינים את הנהג לזיהוי המחלף הבא ולצורך בקבלת החלטה בדבר המשך כיוון הנסיעה, ומציגים בפניו את האלטרנטיבות להחלטה. לשלט ההדרכה המקדים יש חשיבות מיוחדת עקב מהירות ההתקרבות הגבוהה, וכאשר המבנה הגיאומטרי של הדרך בנקודת ההחלטה הוא מורכב, או שהוא שונה מהציפיות המקובלות של הנהג; במקרה זה חשוב שהנהג לא יופתע בנקודת ההחלטה.

ב. החלטה: במקומות בהם הדרך הממוחלפת מסתעפת לרמפה, יוצבו שלטי הדרכה ובהם מידע תמציתי על משמעות ההחלטה של בחירת כל אלטרנטיבת דרך הנראית לעין הנהג, ומהי הדרך שיש לבחור כדי להגיע ליעד המבוקש.

ג. אישור: לאחר ההחלטה ובחירת הכיוון להמשך הנסיעה, צריך הנהג לקבל אישור על נכונות הבחירה, ופרטים על המשך הדרך שלפניו.

חשוב להזכיר, שהחמצת היציאה הדרושה מהדרך הממוחלפת על-ידי הנהג, עשויה לגרום "קנס" של הארכת הנסיעה שלא לצורך. גם בחירת היציאה הלא-נכונה עשויה לגרום "קנס" דומה, במיוחד במחלפים בהם אין אפשרות חזרה לדרך הממוחלפת, או בהתפצלות של שתי דרכים ממוחלפות. בנוסף, היסוס והחלטה מאוחרת עשויים לגרום לבעיה בטיחותית במהירויות הנסיעה הגבוהות בדרכים ממוחלפות. מכאן החשיבות הגדולה של הקפדה על תכנון מערך הדרכה מלא ומפורט בדרכים ממוחלפות. מסיבה זו חשוב גם לכלול במערך ההדרכה, בכל מקום בו זה ניתן, הכוונה לנהג הטועה כדי להחזירו בחזרה ליעדו המקורי.

בתכנון נכון, באים שלטי ההדרכה לייעל את תפעול הכביש, ולא לפתור בעיות גיאומטריות שעשויות לנבוע מתכנון לקוי. לאורך כל תהליך התכנון, יש לשלב בין התכנן הגיאומטרי והתפעולי של הכביש ותכנון מערך התימרור בו, בהתאם לעקרונות שהינחו הכנת הנחיות אלה. למשל, כאשר המרחק בין מחלפים או בין יציאות עוקבות קטן מדי, לא ניתן לפתח את מערך ההדרכה המלא הדרוש; הזמן הניתן לנהג להתראה ולהחלטה קצר מדי, ועשוי לפגוע בטיחות וביעילות התפעול במחלף. משיקולים דומים נקבעו גם כללים נוספים המוצגים בהנחיות אלה, כגון, יציאה אחת בלבד במחלף, איחוד יציאות נוספות והעברת השתזרויות לכביש מאסף-מחלק, שמירה על המשכיות הציר הראשי, שמירה על המשכיות הנתיבים, איזון נתיבים ושימוש בנתיבי-עזר, יציאות וכניסות בדרך ממוחלפת מימין בלבד – כל אלה נועדו לסיוע בהדרכה במחלף, ולאפשר שימוש בשילוט הדרכה אחיד, מבלי להזדקק לשילוט דיאגרמטי מורכב.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

10.4.3 מטרות תכנון ועיצוב שלטי ההדרכה

כתוצאה מהדרישות הכלליות המוצגות לעיל, מתקבלת סידרה של מטרות שיש להשיג על-ידי תכנון מדוקדק של כל פרטי השלט:

- א. העברת מידע הכרחי ומספיק בכדי לאפשר לנהג להחליט על דרך נסיעתו, בלי שיידרש ממנו פיענוח ממושך של יעדים מתוך רשימה ארוכה של שמות. במילים אחרות: מניעת אינפורמציה מיותרת שתסרב את הבנת העיקר.
- ב. הדגשה ברורה של האלטרנטיבות השונות הקיימות לפי מחלף או צומת.
- ג. משיכת תשומת ליבו של הנהג מתוך אלמנטים אחרים שברקע.
- ד. אפשרות קריאת השלט תוך-כדי נסיעה מבלי שהנהג יהיה חייב להאיט את רכבו או להסיר את תשומת ליבו מהמתרחש על הכביש עצמו.
- ה. פרטי השלט שיש לתכנן בכדי להשיג את המטרות הללו כוללים את המרווח בין האותיות, מספר מילות המסר, צורת חיצונית ההכוונה, צבעי השלט, גודל השלט, אפשרות הקריאה בלילה, מיקום השלט.

10.4.4 עקרונות לתימרון במחלפים

התכנון המפורט של מערך שילוט ההדרכה ותכנון הכיתוב בשלוש שפות והפיקטוגרמות בשלטים, ייעשה בהתאם ל"הנחיות לתכנון שילוט הדרכה בדרכים לא עירוניות", היוצאות לאור במע"צ בסמוך להופעתן של ההנחיות לתכן גיאומטרי. הנחיות אלה כוללות את העקרונות לתכנון שילוט הדרכה ואת המיקומים להצבתו, הן בדרכים ממוחלפות לקראת מחברי יציאה, הן ברמפות היציאה והן בדרך המשנית, בצמתים עם הרמפות במחלפי-גישה. ההנחיות כוללות גם תרשימים מפורטים של מיקומי ההצבה ושל תכנון המסר על השלט במספר סוגים אופייניים של מחלפים.

במחלפי-גישה, יש חשיבות רבה להבלטת איסורי הפנייה בדרך המשנית, למניעת פניות לא נכונות ונסיעה נגד הכיוון ברמפות. לצורך זה יש להשתמש במערך תמרורי הוריייה וכן לשלבם במסגרת שלטי ההדרכה המתאימים.

ברמפות ובכל מרכיב בעל מהירות תכן הנמוכה ממהירות התכן בדרך הממוחלפת, יש להקפיד על הצבת תמרורי הגבלת מהירות להדרכת הנהגים להפחתת מהירות הדרגתית ובטוחה.

לסימון על-פני הדרך בעת הצורך חשיבות רבה, במיוחד במקרה של התפצלות נתיבים כגון במחברי יציאה דו-נתיביים, כמתואר בציורים שבפרק 6 לעיל.

כל התימרון והסימון על-פני הדרך יבוצעו גם בהתאם למפורט בקובץ התקנות 2502 (לוח התמרורים), וכן ב"הנחיות לאופן הצבת תמרורים", של המפקח על התעבורה, במהדורתן המעודכנת.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

רשימת מקורות

א. מקורות בעברית

- אסיף א., בנג'ו מ. (1999), "הדמייה תלת-ממדית של פרויקטים בהנדסת דרכים", 'תנועה ותחבורה', גיליון מס' 56.
- ארבית ש. (1973), "אלמנטים של מחלפים בדרכים לא עירוניות – הצעת הנחיות", פרסום מס' 73/2, המרכז לבטיחות בדרכים, הטכניון, חיפה.
- בלשה ד., הקרט ש. (1992), "הנדסת תעבורה – עקרונות ותכן", מהדורה רביעית, "מכלול" בע"מ.
- האקדמיה ללשון העברית, הוועדה המרכזית למונחי הטכנולוגיה (1990), "מילון למונחי הנדסת דרכים, תחבורה ובנייה", חיפה התש"ן.
- חברת כביש חוצה ישראל בע"מ (1995), "קריטריונים הנדסיים לכביש מס' 6", הוכן על-ידי צוות ל.ה.ב., תל-אביב.
- הטכניון, המכון לחקר התחבורה (1998), "תקנות והנחיות להצבת תמרורים 1997", עדכון ועריכה י. רונן.
- ליבנה מ. (1983), "אלמנטים בתכנון מחלפים", מתוך: "שיטות וחיידושים בהנדסת תחבורה", בעריכת פולוס, א., פרסום מס' 83-041, המכון לחקר התחבורה, הטכניון, חיפה.
- ליבנה מ. (1993), "דו"ח ועדת מומחים לבחינת מהירויות מרביות מותרות בישראל", חיפה, אייר תשנ"ג.
- ליבנה מ. (1995), "דו"ח ועדת מומחים למעקב ולבחינת השפעת שינוי מהירויות הנסיעה המותרות בדרכים בישראל", חיפה, דצמבר 1995.
- ליבנה מ., פולוס א., פקטור ח. (1984), "ניתוח מאפייני נסיעת כלי-רכב על-גבי נתיבי האצה", דו"ח מחקר מס' 84-40, המכון לחקר התחבורה, הטכניון, חיפה.
- ליבנה מ., פולוס א., פקטור ח. (1985), "ניתוח מאפיינים של נסיעת כלי-רכב על-גבי נתיבי האטה", דו"ח מחקר מס' 85-79, המכון לחקר התחבורה, הטכניון, חיפה.
- מדינת ישראל (1961), "פקודת התעבורה ותקנות התעבורה", תשכ"א ועידכונים.
- מדינת ישראל (1970), "קבצי התקנות 2501 ו-2502 (לוח התמרורים)", מ-1/1/1970 ועידכונים.
- מדינת ישראל (1999), "תכנית מתאר ארצית לדרכים – תמ"א 3", שינוי מס' 56, במסגרת חוק התכנון והבנייה תשכ"ה – 1965.
- משרד האוצר, אגף התקציבים (1996), "נוהל פר"ת – הנחיות לבדיקת כדאיות כלכלית של פרויקטים בתחבורה יבשתית", מהדורה 2.0.
- משרד הבינוי והשיכון, מחלקת עבודות ציבוריות (1994), "הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות – כרך I: תכן גיאומטרי של דרכים", הוכן על-ידי ל.ק.י. – מהנדסי תחבורה יועצים, חיפה.

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

משרד העבודה, מחלקת עבודות ציבוריות (1971-1982), "הנחיות לתכנון דרכים", 1971, ועידכונים לנ"ל עד שנת 1982.

משרד התחבורה, אגף תכנון תחבורתי (1998), "הנחיות לתכנון נתיבים לתחבורה ציבורית", הוכן על-ידי מתוו"פ מהנדסים.

משרד התחבורה, מינהל היבשה (1999), "תוכנית אב ארצית לתחבורה יבשתית – מדיניות פיתוח התחבורה היבשתית למדינת ישראל", הוכן על-ידי המכון הישראלי לתכנון ומחקר תחבורה.

משרד התחבורה, מינהל היבשה (1999), "תוכנית אב ארצית לתחבורה יבשתית – דו"ח מסכם", הוכן על-ידי המכון הישראלי לתכנון ומחקר תחבורה.

משרד התחבורה, מחלקת עבודות ציבוריות (2000), "אוגדן המחלפים 2000", מ.ע.צ. המשרד הראשי, ירושלים.

משרד התחבורה, מחלקת עבודות ציבוריות (2000), "הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות – כרך II: תכן גיאומטרי של צמתים", הוכן על-ידי ל.ק.י. – מהנדסי תחבורה יועצים, חיפה.

פולוס א., קראוס י. (1997), "גישה אנליטית לניתוח הצורך בתוספת נתיבים בדרך מהירה", יתנועה ותחבורה, גיליון מס' 50.

שקלרסקי א. (1980), "תכן דרכים (גיאומטרי)", הטכניון, חיפה.

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

ב. מקורות לועזיים

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials (1992), "Guide for the Design of High-Occupancy Vehicle Facilities", Washington D.C., U.S.A.

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials (1995), "Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994", Washington D.C., U.S.A.

Agent K.R. (1975), "At-Grade Versus Grade-Separated Interchanges", Traffic Engineering, June 1975, ITE, Va., U.S.A.

Bonneson J.A. (1992), "Study of Headway and Lost Time at Single-Point Urban Interchanges", Transportation Research Record 1365, TRB, Washington D.C., U.S.A.

Bonneson J.A., McCoy P.T., Eitel D.S. (1993), "Interchange Versus At-Grade Intersection on Rural Expressways", Transportation Research Record 1395, TRB, Washington D.C., U.S.A.

CALTRANS – California Department of Transportation (1995), "Highway Design Manual – 5th Ed.", Sacramento, California, U.S.A.

Constantine T., Walker D. (1969), "The Geometric Design of Highways – VI – Interchanges", Dept. of Civ. Eng., Univ. of Salford, U.K.

CSIR – Council for Scientific and Industrial Research (1984), "Geometric Design of Rural Roads, Technical Recommendations for Highways, Draft TRH 17, Pretoria, South Africa.

Drake J., Yeadon H.L., Evans D.I. (1969), "Motorways", Farber and Farber Ltd., London, U.K.

FHWA – Federal Highway Administration (1995), "Basic Geometric Design", Publ. No. FHWA-ED-95-013, U.S. Department of Transportation.

Fitzpatrick K., Mason J.M. Jr. (1990), "Review of AASHTO Green Book Procedures for Sight Distance at Ramp Terminals", Transportation Research Record 1280, TRB, Washington D.C., U.S.A.

Forschungsgesellschaft für Strassen - Und Verkehrswesen (1977), "Richtlinien für die Anlage von Landstrassen (RAL), Abschnitt 2: Planfreie Knotenpunkte, RAL-K-2", Germany.

Freedman M., Williams F.A. (1992), "Speeds Associated with 55-mph and 65-mph Speed Limits in Northeastern States", ITE Journal, February 1992, Va, U.S.A.

Harwood D.W., Mason J.M. Jr. (1993), "Ramp/Mainline Speed Relationships and Design Considerations", Transportation Research Record 1385, TRB, Washington D.C., U.S.A.

Highway Agency (1992), "Layout of Grade-Separated Junctions", TD 22/92, Design Manual for Roads and Bridges, Vol. 6, Sec. 2, Part 1, HMSO, U.K.

Highway Agency (1992), "Layout of Grade-Separated Junctions", TA 48/92, Design Manual for Roads and Bridges, Vol. 6, Sec. 2, Part 2, HMSO, U.K.

Highway Agency (1994), "The Design of Major Interchanges", TD 39/94, Design Manual for Roads and Bridges, Vol. 6, Sec. 2, Part 4, HMSO, U.K.

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

Highway Agency (1994), "Layout of Compact Grade Separated Junctions", TD 40/94, Design Manual for Roads and Bridges, Vol. 6, Sec. 2, Part 5, HMSO, U.K.

Holland T. (1982), "Geometric Design Guidelines (Motorway interchanges)", NRA – National Roads Authority, Dublin, Ireland.

Holzmann F.D., Marek M.A. (1993), "Interchange Study and Selection Process", Transportation Research Record 1385, TRB, Washington D.C., U.S.A.

Homburger W.S., Kell J.H. (1988), "Fundamentals of Traffic Engineering", 12th Ed., Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, U.S.A.

ITE Recommended Practice (1970), "Bus Stops for Freeway Operations", Traffic Engineering, January 1970, ITE, Va., U.S.A.

ITE – A Proposed Recommended Practice (1987), "Guidelines for Determining Where the 55-mph Speed Limit Could be Raised", ITE Journal, January 1987, Va., U.S.A.

Keller J.A. (1993), "Interchange Ramp Geometrics – Alignment and Superelevation Design", Transportation Research Record 1385, TRB, Washington D.C., U.S.A.

Koepke F.J. (1993), "Ramp Exit/Entrance Design – Taper Versus Parallel and Critical Dimensions", Transportation Research Record 1385, TRB, Washington D.C., U.S.A.

Krystek Prof. R. (1992), "Wezly Drogowe" [Road Interchanges], Wydawnictwa Komunikacji I Laczności, Warszawa, Poland.

Krystek Prof. R. (1998), "Wezly Drogowe I Autostradowe" [Interchanges in roads and motorways], Wydawnictwa Komunikacji I Laczności, Warszawa, Poland.

Lamm R., Psarianos B., Choueiri E.M., Mailaender T. (1993), "Interchange Planning and Design – An International Perspective", Transportation Research Record 1385, TRB, Washington D.C., U.S.A.

Leisch J.E. (1959), "Adaptability of Interchanges to Interstate Highways", American Society of Civil Engineers Transactions, Vol. 124 (Revised 1969).

Leisch J.E. (1961), "Spacing of Interchanges on Freeways in Urban Areas", American Society of Civil Engineers Transactions, Vol. 126, Part IV (Revised 1969).

Leisch J.E. (1972), "Determination of Interchange Types on Freeway Facilities – Systems Engineering Approach", Traffic Engineering, May 1972, ITE, Va., U.S.A.

Leisch J.E. (1974), "Lecture Series on Geometric Design of At-Grade Intersections and Interchanges", Technion – Israel Institute of Technology, Haifa, Israel.

Leisch J.E. (1983), "Planning/Design Features and Case Studies in Freeway Reconstruction", ITE Journal, Part I – October 1983, Part II – November 1983, Va., U.S.A.

Leisch J.E., Leisch J.P. (1975), "System Planning and Geometric Design of Arterial Highways" Seminar, Technion – Israel Institute of Technology, Extension Division, Tel-Aviv, Israel.

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

Leisch J.P. (1974), "New Concepts in Rail-Bus Interchanges", Transportation Engineering Journal, Vol. 100, No. TE1, American Society of Civil Engineers, February 1974.

Leisch J.P. (1975), "Planning/Design/Contract Plan Preparation – An Integrated Process", Presented at 34th Annual Convention, Southeastern Association of State Highway and Transportation Officials, South Carolina, U.S.A.

Leisch J.P. (1977), "Systems Approach to Long-Range Freeway Rehabilitation", Paper Presented to American Association of State Highway and Transportation Officials, Subcommittee on Design, South Carolina, U.S.A.

Leisch J.P. (1993), "Freeway and Interchange Design: A Historical Perspective", Transportation Research Record 1385, TRB, Washington D.C., U.S.A.

Leisch J.P. (1993), "Grade-Separated Intersections", Transportation Research Record 1385, TRB, Washington D.C., U.S.A.

Leisch J.P. (1993), "Operational Considerations for Systems of Interchanges", Transportation Research Record 1385, TRB, Washington D.C., U.S.A.

Leisch J.P. (1993), "Planning and Design of Freeways and Interchanges", Seminar, Ayalon highways company, Tel-Aviv, Israel.

Levinson H.S. et al (1975), "Bus Use of Highways, Planning and Design Guidelines". NCHRP Report 155, TRB, Washington D.C., U.S.A.

Lunefeld H. (1993), "Human Factors Associated with Interchange Design Features", Transportation Research Record 1385, TRB, Washington D.C., U.S.A.

NAASRA – National Association of Australian State Road Authorities (1984), "Grade Separated Interchanges – A Design Guide", N.S.W, Australia.

NHI – National Highway Institute (1991), "Access Management, Location and Design, Participant Notebook", NHI Course No. 15255, Publication No. FHWA-HI-92-033, U.S. Department of Transportation.

Ockert C.W., Walker C.R. (1968), "Criteria to be Used in Developing Warrants for Interchanges on Rural Expressways", Highway Research Record No 244, HRB, Washington D.C., U.S.A.

Ontario Ministry of Transportation and Communications (1992), "Geometric Design Standards for Roads and Streets", Chapter F – "Interchanges", Ontario, Canada.

Plummer C.W. Jr., Pietrucha M.T., Mason J.M. Jr. (1993), "Design of Interchange At-Grade Ramp Terminals", Transportation Research Record 1385, TRB, Washington D.C., U.S.A.

Poppe M.J., Radwan A.E., Matthias S.J. (1991), "Some Traffic Parameters for the Evaluation of the Single-Point Diamond Interchange", Transportation Research Record 1303, TRB, Washington D.C., U.S.A.

Radwan A.E., Hatton R.L. (1990), "Evaluation Tools of Urban Interchange Design and Operation", Transportation Research Record 1280, TRB, Washington D.C., U.S.A.

הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות

Reed G.L., Ratcliff J.R. (1988), "Technical Procedures for Interchange Justification", Journal of Transportation Engineering, November 1988, ASCE, N.Y., U.S.A.

Roess R.P., Ulerio J.M. (1994), "Capacity of Ramp-Freeway Junctions", Final Report, NCHRP Project 3-37, Polytechnic University, Brooklyn, N.Y., U.S.A.

TAC – Transportation Association of Canada (1994), "Geometric Design Guide for Canadian Roads", Ottawa, Canada.

Texas Transportation Institute et al (1998), "HOV Systems Manual", NCHRP Report 414, TRB, Washington, D.C., U.S.A.

Twomey J.M., Heckman M.L., Hayward J.C. (1992), "Interchanges", in: "Safety Effectiveness of Highway Design Features", Vol. IV, Publ No. FHWA-RD-91-047, U.S. Department of Transportation, McLean, Virginia.

Twomey J.M., Heckman M.L., Hayward J.C., Zuk R.J. (1993), "Accidents and Safety Associated with Interchanges", Transportation Research Record 1385, TRB, Washington D.C., U.S.A.

Underwood R.T. (1970), "Some Aspects of the Design of Rural Freeway Interchanges", Proceedings, Fifth Conference, Australian Road Research Board, Vol. 5, Part 1, Melbourne, Australia.

Underwood R.T. (1991), "The Geometric Design of Roads", Macmillan, Australia.

Van-Every B.E. (1982), "A Guide to the Economic Justification of Rural Grade Separations", Aust. Road Research, Vol. 12 No.31, Victoria, Australia.

Walker R.J. (1993), "Two-Lane Loop Ramps: Operation and Design Considerations", Transportation Research Record 1385, TRB, Washington D.C., U.S.A.

Washington State Department of Transportation (1992), "Design Manual", M-22-01, Olympia, Wa., U.S.A.