

פרק 5: רמפות

תוכן עניינים

5-1	כללי	5.1
5-1.....	מבוא	5.1.1
5-1.....	תפקידים ועקרונות לרמפות בדרך מעוירת מהירה	5.1.2
5-2	יישומים של תצורות עיקריות של רמפות במחלפים	5.2
5-2.....	רמפה אלכסונית	5.2.1
5-2.....	רמפת לולאה ורמפה חיצונית באותו רביע	5.2.2
5-3.....	רמפת לולאה ואלכסון משולבים	5.2.3
5-3.....	רמפה ישירה למחצה שמאלה	5.2.4
5-4	מהירויות התכן ברמפות	5.3
5-4.....	עקרונות כלליים	5.3.1
5-5.....	עקרונות ליישום מהירות התכן ברמפות	5.3.2
5-6.....	מהירות תכן ברמפות דרכים מעוירות מהירות	5.3.3
5-7.....	מהירות תכן ברמפות מחלפונים זעירים	5.3.4
5-8	חתך הרוחב ברמפה	5.4
5-8.....	מרכיבי החתך	5.4.1
5-8.....	רוחב המיסעה	5.4.2
5-10.....	רוחב השוליים	5.4.3
5-11.....	חתכים אופייניים ברמפות	5.4.4
5-11.....	יישום חתך לרוחב ברמפת דרך מעוירת מהירה	5.4.5
5-13.....	יישום חתך לרוחב ברמפת מחלפון זעיר	5.4.6
5-13	מרכיבי התוואי האופקי ברמפות	5.5
5-13.....	רדיוסים והגבהות	5.5.1
5-15.....	עקומי מעבר ברמפות	5.5.2
5-17.....	מעבר השיפועים במחברים וברמפות	5.5.3
5-24.....	עקומים מעגליים המורכבים ממספר רדיוסים	5.5.4
5-26	מרחקי ראות ברמפות	5.6
5-26.....	יישום מרחק ראות לעצירה	5.6.1
5-26.....	יישום מרחק ראות להחלטה	5.6.2

5-27.....	נושאים גיאומטריים נוספים	5.6.3
5-28.....	מרחק הראות ברמפת מחלפון לפני צומת	5.6.4
5-28.....	התוואי האנכי ברמפות	5.7
5-28.....	שיפועים לאורך הרמפה	5.7.1
5-30.....	עקומים אנכיים ברמפות	5.7.2
5-31.....	מרווח הגובה החופשי (הגבריט)	5.7.3
5-32.....	תכנון רמפה לקריטריון מנהרה	5.8

פרק 5: רמפות

5.1 כללי

5.1.1 מבוא

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, כפי שתואר בתרשים 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 פרק 6 של ההנחיות.

5.1.2 תפקידים ועקרונות לרמפות בדרך מעויירת מהירה

תפקיד רמפת דרך מעויירת מהירה, הינו לגשר בין מפלס הדרך המעויירת המהירה לבין הרחוב העירוני החוצה. כמו כן, ברוב המקרים הרמפה היא חד-סיטרית, לפחות בחלקה הקרוב לדרך המעויירת המהירה. בין שאר תפקידיה נועדה הרמפה גם להעביר את הרכב ממהירות אחת לשנייה, בהתאם לשתי הדרכים אותן היא מחברת. באזורים עירוניים, בחלק מרבי מהמקרים משתנה המהירות ממהירות התכן של הדרך המעויירת המהירה (110-90 קמ"ש בהתאם לסוג האזור), למצב של נסיעה איטית, ואף לעצירה מוחלטת ברמזורים בקצה הרמפות. לחילופין, בכיוון הנגדי על הרכב להגביר את מהירותו ממצב של עצירה מוחלטת, למהירות המותרת על הדרך המעויירת המהירה.

תפקיד נוסף של הרמפה, האופייני בעיקר לדרכים מעויירות מהירות ופחות לדרכים בין-עירוניות מחוץ לאזורים המטרופוליניים, הוא השימוש ברמפה להמתנת נפחים גדולים של כלי-רכב לפני הצומת העירוני. אמנם, מבחינה עקרונית יש לתכנן את צמתי המחלף כך שלא תהיה הצטברות רכב בגישה לצומת, יחד עם זאת, התופעה של הצטברות רכב לפני צמתי המחלף נפוצה בשעות השיא של הבוקר ואחר הצהריים ברוב המחלפים העירוניים הקיימים, לא רק בישראל, אלא בכל העולם המפותח.

לפיכך, יש לתכנן את הרמפה כך שתוכל לקבל על עצמה את איחסון הרכב הממתין, מבלי להזדקק להמתנה על הדרך המהירה עצמה, בין אם על הנתיבים הבסיסיים או נתיבי העזר.

אם מתוכננת בקרת רמפות (ramp metering), יש לתכנן ברמפות הכניסה נתיבי האצה שיתאימו להתמזגות ממהירות 0 בקו ההמתנה לבקר, עד למהירויות הזרימה המתואמות עם בקרת הרמפה.

פרק זה כולל גם התייחסות למאפייני התכן לרמפות בדרכים מעויירות מהירות, בהתאם להמלצות שפותחו בהנחיות שנועדו לדרכים אלה (ראו פירוט בכרך 1 פרק 11). ערכי התכן מאפשרים לעיתים גמישות תכנונית גדולה יותר מאשר ברמפות בדרכים בין-עירוניות.

5.2 יישומים של תצורות עיקריות של רמפות במחלפים

הסוגים הבסיסיים של הרמפות, אשר יוצרים את צורות המחלפים המקובלות לתכנון בארץ, הוגדרו בסעיף 2.3.2 ותוארו בתרשים 2.8. את היישומים העיקריים של הרמפות השונות במסגרת המחלפים המקובלים, ניתן לראות במחלפים שתוארו בפרק 4, כמפורט:

5.2.1 רמפה אלכסונית

רמפה חד-סיטרית נפרדת, בתוואי ישר או עקום, המשמשת לפניות הבאות:

א. רמפות אלכסוניות ישירות

(1) כל הפניות הישירות ימינה במחלפים ישירים (תרשימים 4.1, 4.2 ו-4.7), ובמחלפי חוצרה (תרשים 4.3).

(2) שתי הפניות הישירות ימינה בלי רמפת לולאה באותו רביע (מתוך ארבע הפניות ימינה) במחלפי עלה-תלתן חלקיים בתצורות A4 ו-B4 (תרשימים 4.9, 4.10).

(3) במחלף סיבובי (תרשים 4.42), כל ארבע הרמפות הן אלכסוניות, ומשמשות לכל החיבורים בין שתי הדרכים. בשימושים אלה לרמפה שני מחברי זרימה, והפניות בסוף הרמפה הן ימינה בלבד.

ב. רמפות אלכסוניות לא ישירות

במחלפי יהלום (תרשימים 4.20, 4.21, 4.24, 4.25, 4.27, 4.28, 4.32-4.30, 4.34, 4.36) כל ארבע הרמפות הן אלכסוניות, ומשמשות לכל החיבורים בין שתי הדרכים. הרמפה משמשת ליציאה ישירה ימינה מהדרך העיקרית הממוחלפת, כאשר בקצה כל רמפה בדרך המשנית צמתים המשמשים לפניות שמאלה בין שתי הדרכים.

5.2.2 רמפת לולאה ורמפה חיצונית באותו רביע

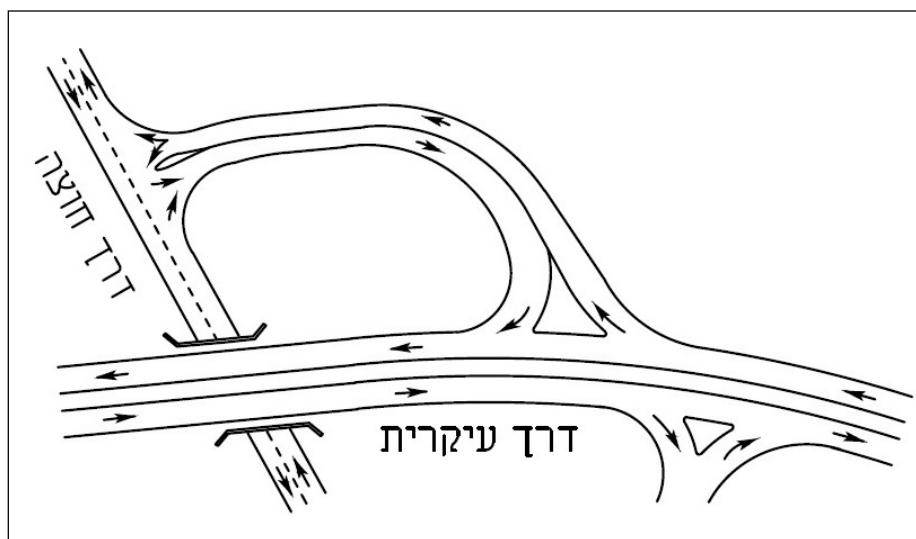
א. זה הצירוף הבסיסי (רמפת לולאה ורמפה חיצונית באותו רביע) לכל הרביעים של מחלף עלה תלתן מלא (תרשים 4.8 ג'). כל הפניות ימינה מבוצעות ברמפות החיצוניות המהוות רמפות אלכסוניות ישירות, והולאות מיועדות לכל הפניות העקיפות שמאלה בין שתי הדרכים באמצעות מחברי זרימה.

ב. צירוף זה (רמפת לולאה ורמפה חיצונית באותו רביע) מופיע בשני רביעים של כל גרסאות מחלפי עלה-תלתן החלקיים כמתואר בתרשימים 4.9, 4.10. במקרה זה הרמפות החיצוניות הינן אלכסוניות

לא ישירות, כלומר כל אחת משתי הרמפות החיצוניות מיועדת לפנייה ישירה ימינה, וכן לפנייה שמאלה, המבוצעת באמצעות הצמתים עם הדרך המשנית בקצה השני של הרמפה. בתצורת A4 ו-B4 מיועדות שתי הלולאות לפניית העקיפות שמאלה בלבד, ואז כל לולאה מכילה שני מחברי זרימה בקצותיה. בתצורת A2, B2 ודו-צדדית השימוש בלולאות עבור הפניות ימינה נעשה באמצעות פניות שמאלה בצמתים שבדרך המשנית אל "שלוחה" של הלולאה, ולכן בלולאות אלה מתבצעת פעולת התמזגות.

5.2.3 רמפת לולאה ואלכסון משולבים

מקרה מיוחד בו משתלבת הרמפה האלכסונית בתוך הגיאומטריה של הלולאה, באמצעות מחברים ותפנית משותפים, והרמפה הופכת לדו-סיטרית, כמתואר בתרשים 5.1. זהות הרמפה משתבשת ועשויה לגרום לטעויות לנהגים, ולכן השימוש בה אינו מומלץ, ומוגבל למחלפי תלתן בהם קיימים אילוצי מיקום, וכן למחלפים או מחלפונים זעירים בין דרכים מבוקרות חלקית, כדוגמת המחלפים המתוארים בתרשים 4.46. מהירות התכן ברמפה כזו לא תעלה על 50 קמ"ש.



תרשים 5.1: רמפת לולאה ואלכסון משולבים

5.2.4 רמפה ישירה למחצה שמאלה

רמפה בעלת כיוון משתנה (יציאה ימינה ואחר כך סטייה שמאלה וכניסה לדרך השנייה מצד ימין), המיועדת לפניית הבאות:

- 1) לכל הפניות שמאלה במחלפים ישירים (תרשימים 4.1, 4.2 ו-4.7א');;
- 2) לכל הפניות שמאלה שאינן מבוצעות באמצעות לולאות, במחלפי מערכת ישירים בחלקם (תרשימים 4.7ב') ומשולבים (תרשימים 4.45);
- 3) לפנייה אחת שמאלה במחלפי חוצרה (תרשימים 4.3);

4) לשתי הפניות שמאלה במחלפי אגס (תרשים 4.5); מחלפי אגס וחוצרה נחשבים למחלפים במידרג נמוך יותר מהמחלפים הישירים הרגילים (פרק 4).

מרחקי הנסיעה ברמפה זו קטנים מאשר בלולאה, והיא מחייבת גישור נוסף.

לכל אחד מסוגי הרמפות שהוזכרו בסעיף 5.2 לעיל ניתן לתכנן צורות גיאומטריות שונות, הנובעות מאופן שילוב הרמפה במחלף, כמפורט בנספח לפרק.

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 שפער המהירויות בין הרמפה לבין הדרך הממוחלפת יהיו קטנים ככל האפשר, כדי:

- להקטין במידת האפשר את המאמץ בנהיגה של הנהג המשתמש ברמפה,
- למזער את הצורך להקטנת המהירות או הגדלתה ביחס למהירות התנועה העוברת בדרכים הממוחלפות.

התחום העליון של המהירויות המועדפות לתכן הרמפות הן מהירויות הקרובות למהירות הייעוד של הדרכים הנפגשות, או מהווה 80-90% ממהירות התכן הדרכים הנפגשות. תחום זה איננו תקף לרמפות לולאה ולרמפות אלכסונית לא ישירות. למרות זאת, מוכתבות לעתים מהירויות נמוכות יותר על ידי מגבלות האתר, תצורת הרמפה ושיקולים כלכליים.

ההבחנה מרחוק במבנה הגשר, ברמפות ובמערך 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 הדרך ממנה יוצאים לרמפה.

כדי להכיל את המגוון הרחב של מקרים ותנאים המקובלים ברמפות, מוצג בחלק מהמקרים תחום של מהירויות תכן ברמפה, 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 (אינו מתאים לדרישות המרכיבים הגיאומטריים של הרמפה), 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 הקובעת (controlling curve) בתפנית הדרך שברמפה. מהירויות אלה אינן מתייחסות למחברי הזרימה, המתוכננים למהירויות גבוהות יותר וכוללים קטעים לשינוי מהירות (נתיבי האטה והאצה), כמפורט בפרק 6.

התאמה למהירויות הייעוד: במהירויות תכן (V_d) של עד 70 קמ"ש (כולל), מהירות התכן ברמפה שווה למהירות הייעוד. במהירויות תכן גבוהות יותר (80 קמ"ש ומעלה), מהירות התכן גבוהה ממהירות הייעוד ב-10 קמ"ש כמו בקטעי דרך בין-עירונית. טבלה 5.2 מרכזת את ערכי מהירויות הייעוד ברמפות.

ב. רמפות אלכסוניות וחיצוניות ללולאה

ברמפה אלכסונית לפנייה ימינה בלבד, יש לשאוף למהירויות שבחלקו העליון של התחום המומלץ בטבלה 5.1. מהירויות שימושיות מעשיות הן בתחום המצוין בטבלה.

ברמפות אלכסוניות לא ישירות (במחלפי גישה), כלומר ברמפות חיצוניות ללולאה במחלפי עלה תלתן חלקיים, וברמפות במחלפי יהלום, המהירויות הנמוכות יכולות לשמש את החלק הסמוך לצומת 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 מומלצת 50 קמ"ש. לולאות היוצאות מדרכים שמהירות התכן שלהן 80 קמ"ש או פחות, יתוכננו למהירות 40 קמ"ש.

ד. רמפות ישירות למחצה

לרמפה זו מתאימות מהירויות התכן שבחלקו העליון של התחום. מהירויות הנמוכות מ-50 קמ"ש אינן רצויות. לרמפות דו-נתיביות (חד-סיטריות), רצויות מהירויות בחלקו הגבוה של התחום.

ה. 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 של הדרך ממנה יוצאים לרמפה (טבלה 5.1).

ניתן לקבוע את מהירות התכן ברמפה כמהירות משתנה, כשהיא נמוכה יותר בקרבת הדרך המשנית וגבוהה יותר בקרבת הדרך המועדפת. שיטה זו ישימה בעיקר כאשר הרמפה מצויה בעלייה מהדרך המועדפת לדרך המשנית.

ו. צמתים בקצה הרמפה

צומת ברמפה (בין הרמפה לבין הדרך המשנית), יתוכנן למהירויות פנייה מזעריות או מעל למזעריות, המתאימות לצומת בהתאם לאמצעי הניתוב והבקרה בו, לפי הכללים המפורטים בכרך 2 (כרך צמתים). המעבר מתנאי נסיעה ברמפה לתנאי נהיגה בצומת הוא הדרגתי במהירות משתנה. הגבול לציון נקודת המעבר לתכנון לפי צומת הינו הגדול מביין:

- מרחק ראות לעצירה לפני הצומת.
- התחלת פתיחת הנתיבים לפני הצומת.

טבלה 5.1: מהירויות תכן מומלצות לרמפות מסוגים שונים

מהירות התכן בדרך ממנה יוצאים לרמפה (קמ"ש)							סוג רמפה	סוג מחלף
120	110	100	90	80	70	60		
40-50	40-50	40-50	40-50	40	40	40	לולאה	מערכת
80-100	70-90	70-80	70-80	60-70	60	50	ישירה למחצה	
70-90	70-90	70-80	70-80	60-70	60	50	חיצונית/ אלכסונית ישירה	
40-50	40-50	40-50	40-50	40	40	40	לולאה	גישה
80-90	70-80	70	60-70	60-70	50-60	50	ישירה למחצה	
70-80	70-80	70	60-70	60-70	50-60	50	חיצונית/ אלכסונית ישירה	
70	70	60-70	60-70	60-70	50-60	50	אלכסונית לא ישירה*	

* מחלף עלה תלתן חלקי או מחלף יהלום.

טבלה 5.2: מהירויות ייעוד מומלצות לרמפות מסוגים שונים

מהירות הייעוד בדרך ממנה יוצאים לרמפה (קמ"ש)						סוג רמפה	סוג מחלף
110	100	90	80	70	60		
40-50	40-50	40-50	40-50	40	40	לולאה	מערכת
70-90	70-80	70	70	60-70	50-60	ישירה למחצה	
70-80	70-80	70	70	60-70	50-60	חיצונית/ אלכסונית ישירה	
40-50	40-50	40-50	40-50	40	40	לולאה	גישה
70-80	70	70	60-70	60-70	50-60	ישירה למחצה	
70	70	70	60-70	60-70	50-60	חיצונית/ אלכסונית ישירה	
70	70	60-70	60-70	60-70	50-60	אלכסונית לא ישירה*	

* מחלף עלה תלתן חלקי או מחלף יהלום.

5.3.3 מהירות תכן ברמפות דרכים מעויירות מהירות

טבלה 5.3 מציגה את מהירויות התכן המזעריות לפי סוגי הרמפות השונות בדרך מעויירת מהירה. הטבלה פשוטה יותר מטבלה 5.2, מאחר שתחום מהירויות התכן תלוי בטופוגרפיה בלבד (אזור מישורי, אזור גבעי, אזור הררי), כאשר אזור מישורי שקול לרמת רגישות נמוכה, אזור גבעי שקול לרמת רגישות בינונית, ואזור הררי שקול לרמת רגישות גבוהה. הגדרות טופוגרפיה מפורטות בסעיף 8.1.6 בפרק 8 בכרך 1.

טבלה 5.3: תחום מהירויות התכן ברמפות בדרך מעויירת מהירה*

אזור טופוגרפי			סוג הדרך/הרמפה
הררי	גבעי	מישורי	
90-100	90-110	100-110	הדרך המעויירת
40	40-50	40-50	לולאה
50-60	60-70	60-80	רמפה ישירה/ישירה למחצה

* במהירויות המוצגות כתחום, הערך העליון זו המהירות המזערית המומלצת, הערך התחתון זו המהירות המזערית המוחלטת. ערכים אלה מאפשרים גמישות תכנונית גדולה יותר מהערכים המקבילים בכרך 1 ובפרק הנוכחי לרמפות בין-עירוניות. עם זאת, ערכים אלה אינם מאפשרים חריגה נוספת כלפי מטה.

5.3.4 מהירות תכן ברמפות מחלפונים זעירים

מהירות התכן לרמפות במחלפונים זעירים תהיה אחידה: 30 קמ"ש, נמוכה מהמזערית ברמפות מחלפים לפי טבלה 5.1. שלא כמו במחלף, מהירות התכן ברמפות המחלפון הזעיר אינה תלויה במהירויות התכן של הדרכים הנפגשות, ולכן המחלפון הזעיר איננו מיועד ליישום בדרכים מהירות. רצוי לשמור על אחידות במרכיבי התכן של המחלפונים הזעירים, שכן טווח מהירויות גורם לנהג לבלבול, לאי בהירות ולבעיות אבחנה, שיתבטאו בהשלכות בטיחותיות.

מסיבה זו רצוי להימנע ברמפות המחלפון הזעיר מקטעים ישרים ארוכים ללא מגבלה בתוואי האופקי והאנכי. אם קיימות או חזויות מהירויות גבוהות יותר (40 קמ"ש ומעלה), רצוי לשקול הצבת תמרורי הגבלת מהירות על מנת למנוע התפתחות מהירויות גבוהות מדי בתחומי המחלפון הזעיר.

מהירות התכן של הדרכים הנפגשות עצמן בקרבת המחלפון הזעיר, תהיה בהתאם לקריטריוני התכן הרגילים לדרכים אלה.

יש להקפיד על מתן אורכים מספקים לנתיבי האטה וההאצה בדרך העיקרית שיסיפיקו להפרש הגדול בין מהירויות התכן בדרך וברמפה. הקריטריונים לנתיבי האצה והאטה בדרך העיקרית (הממוחלפת) מפורטים בפרק 6 בכרך הנוכחי (כרך 3). הקריטריונים לנתיבי האצה והאטה בדרך המשנית מפורטים בפרק 6 בהנחיות לתכנון צמתים בדרכים בין-עירוניות (כרך 2).

5.4 חתך הרוחב ברמפה

5.4.1 מרכיבי החתך

חתך הרוחב האופייני של רמפה במחלף בין עירוני מורכב בדרך כלל מכביש, שמשני צדדיו שוליים סלולים (אספלט), כמתואר בתרשימים 5.2-5.4. גם השימוש באבן שפה ברמפה אפשרי למטרות ספציפיות כמפורט להלן.

שימושי אבן שפה ברמפות

השימוש באבן שפה ברמפות מחלפים אפשרי למטרות הבאות:

(1) אבן שפה ניצבת לאורך מדרכות להולכי רגל, בדרך כלל באזור צומת בקצה הרמפה הלא ישירה ובהתקרבות אליה. הגובה בד"כ 15 ס"מ.

(2) אבן שפה לתיעול והכוונה (channelizing) של תנועות רכב בצומת ובסמוך לה. מאפייני דרך אלה (בשילוב אבני השפה) מביאים להפחתת מהירות של הנהג. בצד ימין של המיסעה תהיה אבן שפה ניצבת, ובא"י תנועה בנויים תהיה אבן שפה משופעת. היישום של א"י תנועה בנויים באזור צמתים שבקצה רמפה לא ישירה ייעשה בהתאם לכללים הנהוגים בצמתים, ומפורטים בפרק 7 בכרך 2 של ההנחיות (צמתים).

(3) אבן שפה משופעת לצורך ניקוז השוליים ומניעת ארוזיה. אבן השפה תוצב בקצה השול (עם מגלשים לצרכי ניקוז בכיוון הירידה של השיפוע הרוחבי), כך שלא תפגע במעקה הבטיחות שצמוד לה. בצד השני של השול (הצד הגבוה לרוחב המיסעה) שלא משמש לצרכי ניקוז, לא נדרשת אבן שפה מנקזת.

מיקום אבן השפה לצרכי מדרכות לה"ר ותיעול (הכוונה) של כ"ר הינו בצמוד לנתיבי הנסיעה. מיקום אבן השפה לצורך ניקוז השוליים הינו מימין לשול ימין או משמאל לשול שמאל (ברמפה חד-סיטרית), בהתאם לצרכי הניקוז.

5.4.2 רוחב המיסעה

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 או רב-נתיבית.

ג. רמפה דו-סיטרית.

רוחב המיסעה ברמפה תלוי גם בעקמומיותה. בטבלה 5.4 נתון רוחב המיסעה הדרוש ברמפה בהתאם לרדיוס שלה, למספר הנתיבים בה, ולפי מבנה צדדיה. חישוב הרוחב הדרוש בוצע לפי עקרונות הדומים לרוחב תפניות דרך, כמפורט בסעיף 5.4.9 בכרך 2 (צמתים) של הנחיות אלה, תוך שימוש במאפייני כלי הרכב המקובלים לתכן, המרוכזים בסעיף 3.4.4 באותו כרך. רוחב המיסעה יישמר לאורך האף הפיזי.

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 5.4 למקרה הבסיסי של רמפה בין שוליים סלולים או אבן שפה (משופעת או ניצבת) בצד אחד. 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-4.0 מטר, גם בקטע ישר, מהשיקולים הבאים:

- הרמפות מצויות, בדרך-כלל, בחפירה או במילוי, בין מעקות בטיחות משני הצדדים, ולעיתים גם בין ובסמוך למרכיבים קונסטרוקטיביים אחרים.
- ברמפה ברוחב צר מדי עלולים להיגרם קשיים בהזרמת התנועה במקרה של תקלה לרכב בתחומי 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.

ד. הרחבה לקולטנים

כאשר יש צורך בקולטן בצמוד לאבן השפה, רצוי להעלות את רוחב הנתיב הצמוד לאבן השפה ב-0.6 מטר לטובת הקולטן. ההמלצה תקפה לרמפה חד-נתיבית ולרמפה דו-נתיבית. כאשר יש שול ואבן השפה צמודה לסוף השול, אין צורך בהרחבה לטובת קולטן. במקרה זה הקולטן ימוקם בצמוד לאבן השפה על חשבון שטח השול.

ה. הרחבה ברמפות מחלפונים

מידות רוחב נתיבי הנסיעה בין שוליים סלולים במחלפון זעיר תהיינה בהתאם לטבלה 5.4, בקטגוריות רדיוס שפת כביש פנימית של 25-30 מטר או 40 מטר.

ברמפות מחלפון זעיר דו-נתיביות דו-סיטריות בהן חזויה תנועה מזערית של משאיות או אוטובוסים והסתברות מזערית למפגש ביניהם ברמפה, ניתן להפחית את רוחב נתיבי הנסיעה בקטע ישר ל-9.3 מטר ברדיוס שפת כביש פנימית של 25-30 מטר, ול-9.0 מטר ברדיוס שפת כביש פנימית של 40 מטר. ניתן ליישם רוחבים מופחתים אלה של רמפת מחלפון זעיר גם במצבים מאולצים (קירבה למכשולים וכדומה), באישור רשות התימרו, בהתאם לפרוייקט הספציפי.

טבלה 5.4: רוחב הכביש הדרוש ברמפות בין שוליים סלולים או אבן שפה משופעת

או ניצבת בצד אחד

רוחב נתיבי הנסיעה בין השוליים (מ') ^{(3) (6)}		רדיוס שפת הכביש הפנימית (מ')
רמפה דו-נתיבית ⁽⁵⁾	רמפה חד-נתיבית ⁽⁴⁾	
10.2	5.2	25-30
9.9	5.0	40
9.6	4.9	45
9.1	4.7	60
8.7	4.6	90
8.4	4.5	120
7.7	4.2	150
7.2	4.0 ⁽²⁾	גדול מ-150 מ' או קטע ישר ⁽¹⁾

- 1) רוחב נתיב אחד בקטע ישר 4.0; רוחב שני נתיבים בקטע ישר 7.2 מ'.
- 2) ברמפת מנהרה, רוחב המיסעה בקטע ישר הינו 4.5 מטר משני צידי השול המוגבה (הנחיות לתכנון מנהרות, 2018, סעיף 3.3.3).
- 3) עבור אבן שפה משופעת או ניצבת בצד אחד ובצמוד לנתיבי הנסיעה (לצורך מדרכה או תיעול כ"ר), ושול בצד שני, רוחב המיסעה לפי הטבלה.
- 4) כאשר נתיב הנסיעה של רמפה חד-נתיבית תחום באבן שפה משני הצדדים, יש להוסיף לפחות 0.3 מטר מכל צד של נתיב הנסיעה. נועד בין היתר לסימון וצביעה לתיחום הנתיב.
- 5) רמפה דו-נתיבית יכולה להיות חד-סיטרית או דו-סיטרית. רצוי לבצע הרחבה לנתיבי הנסיעה של הרמפה כאשר הם תחומים באבן שפה משני הצדדים כמפורט בהערה 4.
- 6) במקרה של קולטן הצמוד לאבן השפה צריך הרחבה של 0.6 מטר כמפורט בסעיף ד'.

5.4.3 רוחב השוליים

תפקידי השוליים ברמפות הם: מקום לעצירה במקרה תקלה להקטנת הסיכון ולשמירה על הקיבולת, שטח מפלט לתמרון, סיוע בתמיכת המיסעה ובניקוז ושיפור הראות בעקומים אופקיים. רוחב השוליים ברמפה אחיד לכל אורכה. הרוחב הרצוי הוא:

א. רמפה חד-סיטרית (חד-נתיבית או דו-נתיבית)

- השול הימני ברמפה חד-סיטרית (חד-נתיבית או דו-נתיבית) הינו ברוחב 2.50 מטר עבור מהירות תכן ברמפה 70 קמ"ש ומטה, ו-3.0 מטר עבור מהירות תכן 80 קמ"ש ומעלה.
- השול השמאלי ברמפה חד-סיטרית: 1.20 מ'.

ב. רמפה דו-סיטרית

שני השוליים הימניים ברמפה דו-סיטרית: 2.50 מ' (אם כי רמפה כזו לא מומלצת).
במעבר הרמפה מתחת גשרים או עליהם, רצוי לשמור על חתך הרחב 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 3.6 (שיפועי מדרונות), ו-3.7 (תכן סלחני ובטיחותי של חתך הדרך) בכרך 1 של הנחיות אלה.
רמפת מנהרה תתוכנן בהתאם להנחיות לתכנון מנהרות (2018) סעיף 3.3.4: רוחב שול מוגבה ימני 1.10 מטר, ורוחב שול מוגבה שמאלי 0.75 מטר.

ג. רמפת מחלפון זעיר

רוחב השול הימני ברמפה חד-סיטרית חד-נתיבית וברמפה דו-סיטרית דו-נתיבית הינו 2.5 מטר (כמו ברמפת מחלף).
רוחב השול השמאלי ברמפה חד-סיטרית חד-נתיבית הינו 1.2 מטר (כמו ברמפת מחלף). במקרים מאולצים ניתן לשקול הפחתת שול שמאל ברמפת מחלפון זעיר חד-סיטרית חד-נתיבית ל-1.0 מטר.
החתכים הטיפוסיים המומלצים של רמפת מחלף (חד-נתיבית או דו-נתיבית) בקטע ישר כמוצג בתרשימים 5.2, 5.4 ישימים גם לרמפת מחלפון זעיר בקטע ישר.

5.4.4 חתכים אופייניים ברמפות

בתרשימים 5.2-5.4 נתונים חתכי רוחב טיפוסיים למספר מקרים אופייניים של רמפות בין שוליים סלולים:

- חתך הרוחב של רמפה חד-נתיבית בקטע ישר (תרשים 5.2).
- חתך הרוחב של רמפת לולאה חד-נתיבית ברדיוס 45-50 מטר (תרשים 5.3).
- חתך הרוחב של רמפה דו-נתיבית בקטע ישר (תרשים 5.4).

רוחב שול ימין בחתכים האופייניים (2.5 מטר) מתאים למהירות תכן של עד 70 קמ"ש ברמפה.

השיפוע לרוחב ברמפה בקטע ישר

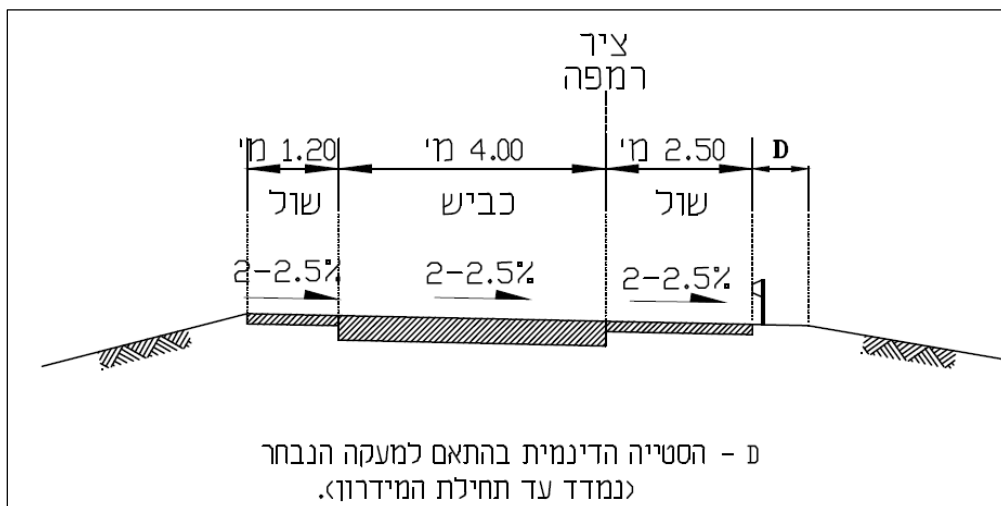
השיפוע לרוחב הרמפה בקטעים הישרים יהיה תמיד לכיוון אחד בלבד, גם ברמפות דו-נתיביות. השיפוע לרוחב הרמפה (לרבות השוליים הסלולים) בקטעים ישרים יהיה 2.0-2.5%.

5.4.5 יישום חתך לרוחב ברמפת דרך מעויירת מהירה

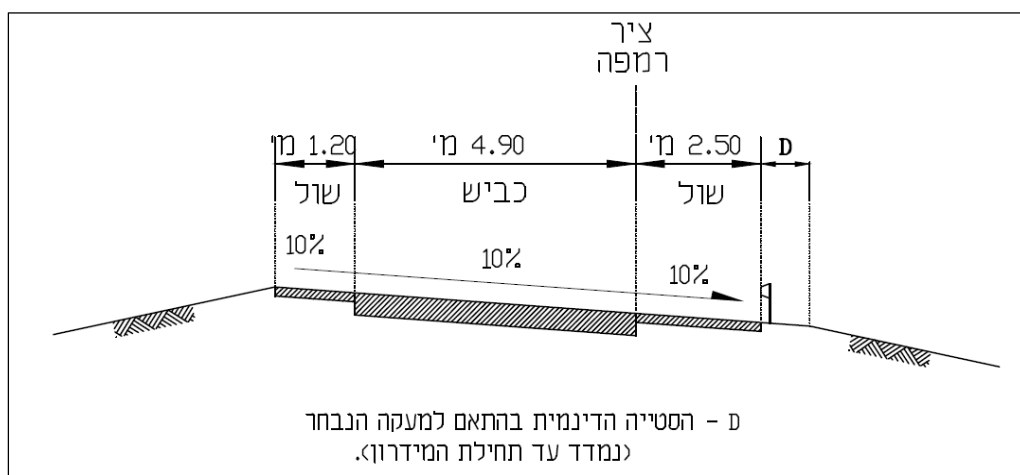
חתך הרוחב האופייני ברמפה של דרכים מהירות מעויירות מורכב ממיסעת כביש, כשמשני צידיה שוליים סלולים בקטע הסמוך לדרך המהירה ובקטע הביניים. בקטע הסמוך לצומת העירוני, מוחלפים השוליים באופן הדרגתי במדרכה להולכי-רגל, כאשר באזורים אלה ייתכנו גם תחנות אוטובוס והסעה. למעבר בין שול למדרכה ראו פרטים סטנדרטים (נת"י). להרחבה על שילוב תח"צ במחלפים, ראו פרק 9 בהמשך ההנחיות.

אזור המעבר מהשול למדרכה חייב להיעשות בצורה המבטיחה את תשומת ליבו של הנהג כי הינו נכנס לשטח עירוני ועליו לנהוג בהתאם. יש לתמרר ולהתריע בפני הולכי-רגל כי אסור להם להמשיך מחוץ לתחומי הרמפה המיועדים לתנועתם.

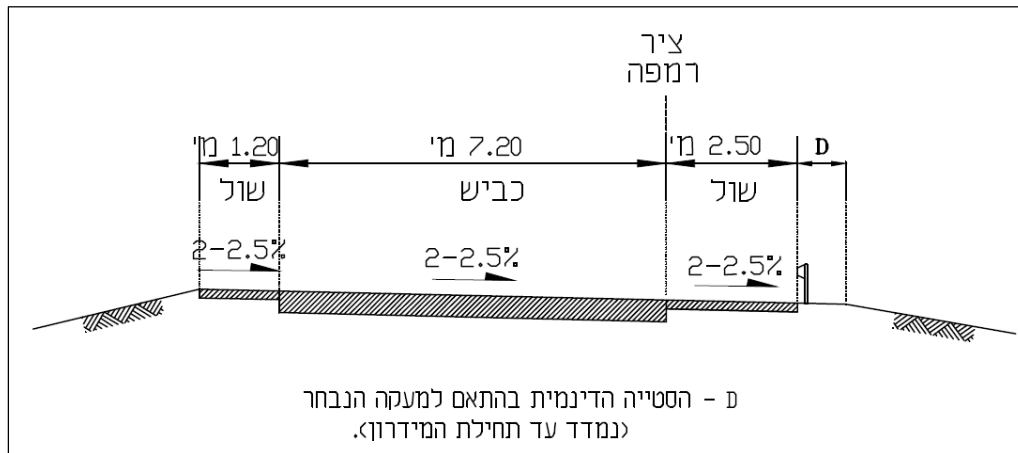
מידות ערכי התכן של רוחב המיסעה, רוחב שול שמאל ורוחב שול ימין ברמפת דרך מעויירת מהירה, הינם כמפורט בסעיפים הקודמים (כמו ברמפת מחלף בדרכים בינעירוניות).



תרשים 5.2: חתך טיפוסי לרוחב רמפה חד-נתיבית בקטע ישר (מהירות תכן ברמפה עד 70 קמ"ש)



תרשים 5.3: חתך טיפוסי לרוחב רמפת לולאה חד-נתיבית ברדיוס 45-50 מטר



תרשים 5.4: חתך טיפוסי לרוחב רמפה דו-נתיבית בקטע ישר (מהירות תכן ברמפה עד 70 קמ"ש)

5.4.6 יישום חתך לרוחב ברמפת מחלפון זעיר

הרוחבים הבסיסיים של הרמפה במחלפון זעיר בקטע ישר זהים למחלף (טבלה 5.4), דהיינו 4.0 מטר לרמפה חד-נתיבית חד-סיטרית, ו-7.2 מטר לרמפה דו-נתיבית (דו-סיטרית).
רמפות חד-סיטריות במחלפון זעיר תהיינה תמיד חד-נתיביות, למעט ההרחבות הדרושות עקב הסדרי הניתוב לקראת צמתים.

5.5 מרכיבי התוואי האופקי ברמפות

5.5.1 רדיוסים והגבהות

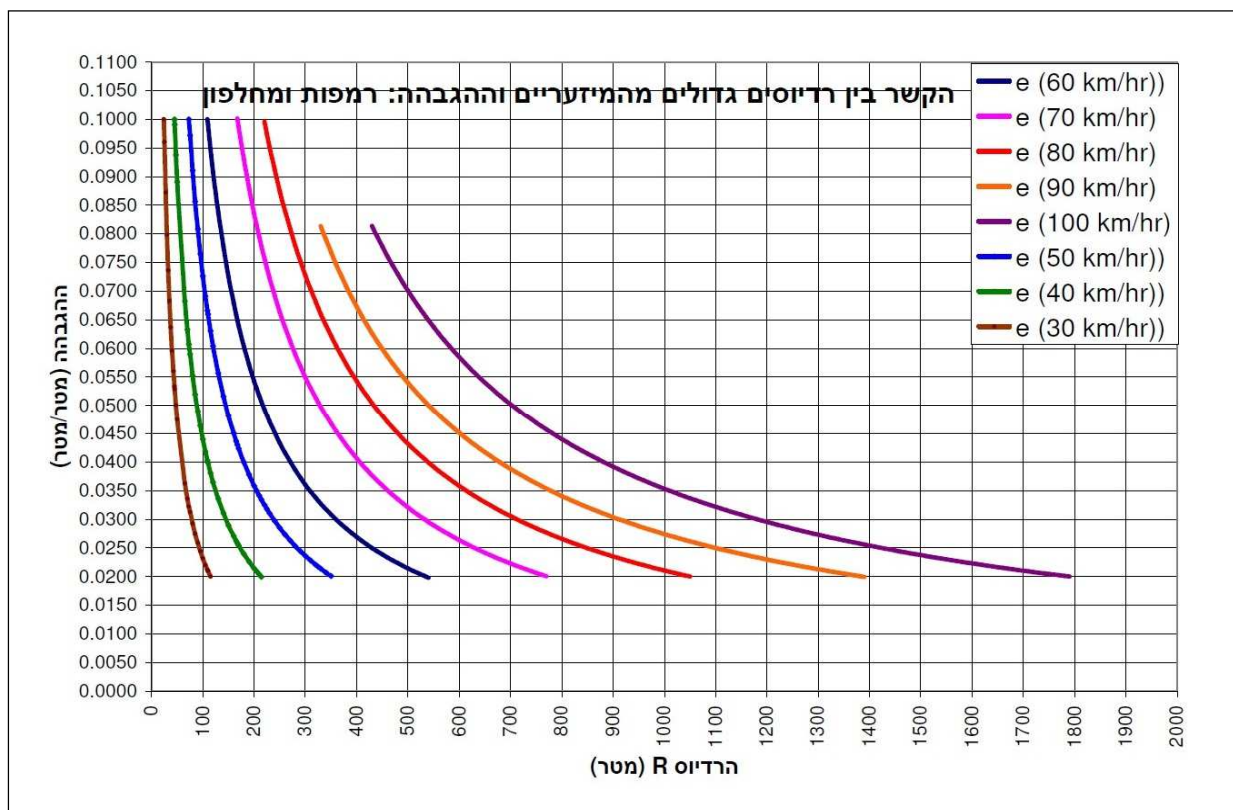
התוואי האופקי ברמפות מתוכנן לטווח רחב של מהירויות תכן, בהתאם לסוג המחלף, לסוג הרמפה, לתצורתה ולאורכה, כמפורט בסעיף 5.3.2 לעיל. התנועה לאורך הרמפות היא מרוסנת, יחסית לתנועה בדרכים הנפגשות, אך מצד שני, הנהגים הפונים באמצעות הרמפות מצפים במחלפים לתנועה שוטפת יותר ולנהיגה מאומצת פחות מאשר בתפניות דרך (turning roadway) 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 הרחביות המרביות ברמפות, והרדיוסים המזעריים הנגזרים מהן, הם שילוב של העקרונות שהוצגו לתוואי הדרך בסעיף 5.2 בכרך 1 של הנחיות אלה (2018), ושל עקרונות התכן לתפניות דרך (פניות מהירות ימינה) שהוצגו בסעיף 5.4 בכרך 2 של הנחיות.

בדומה לקטעי דרך, ההגבהה הרחבית המרבית ברמפות תהייה 0.10 במהירויות תכן 40-80 קמ"ש, ו-0.08 במהירויות 90-100 קמ"ש. בטבלה 5.5 מרוכזים ערכי ההגבהה המרבית למהירויות התכן השונות,

והרדיוסים המזעריים המתאימים להן. לטבלה נוספו גם ערכי תכן למהירות 30 קמ"ש עבור רמפות מחלפונים.

בערכי הרדיוסים המזעריים המוצגים בטבלה 5.5, 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 בתרשים 5.5 על בסיס העקרונות של סעיף 5.2.2 בכרך 1 של הנחיות אלה. ערכי המקדם γ להגבהות המותרות מובאים בטבלה 5.6.



תרשים 5.5: הקשר בין רדיוס העקום וההגבהה הצידית לרמפות מחלפים

יישום רדיוסים והגבהות ברמפות דרך מעויירת מהירה

ערכי התכן של הרדיוסים וההגבהות ברמפות דרך מעויירת מהירה הינם בהתאם לטבלה 5.5 בתחום מהירויות התכן 40-80 קמ"ש. רמפת דרך מעויירת מהירה לא תתוכנן למהירות תכן 30 קמ"ש.

יישום רדיוסים והגבהות במחלפונים

רדיוס מזערי לרמפות מחלפונים (רצוי ומוחלט) הינו כמפורט בטבלה 5.5 בהתאם למהירות תכן ברמפה: 30 קמ"ש.

טבלה 5.5: הגבהות רוחביות מרביות ורדיוסים אופקיים מזעריים ברמפות

מהירות התכן ברמפה (קמ"ש)								פרמטר
100	90	80	70	60	50	40	30	
0.08	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	ההגבהה המרבית
0.100	0.110	0.130	0.130	0.160	0.170	0.1825	0.195	גורם חיכוך צידי (f _R)
440	340	220	170	110	75	45	**25	רדיוס מזערי בהגבהה המרבית (מ')*
1.267	1.400	1.275	1.250	1.5875	1.675	1.794	1.9175	γ

* בכל הרמפות, הרדיוס נמדד בצידו הפנימי של הנתיב הפנימי (קו צהוב 807).
 ** רדיוס מזערי מוחלט 25 מטר; רדיוס מזערי רצוי 35 מטר.

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 1 ובסעיף 5.4.6 בכרך 2 של הנחיות אלה.

שיעורי מקדם הנוחות ברמפות, המוצגים בטבלה 5.6, דומים לשיעורים הנהוגים בקטעי דרך למהירויות תכן מ-60 קמ"ש ומעלה (כרך 1 סעיף 5.5) ולשיעורי מקדם הנוחות בצמתים במהירויות עד 60 קמ"ש.

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 5.6. אורך עקום המעבר המזערי (הגבוה ביותר) מתקבל לפי קריטריון נוחות לכל טווח המהירויות.

כאשר קיים עקום מעבר, יש לאחד את אורך מעבר ההגבהה המחושב עם אורך עקום המעבר לפי הגדול מביניהם (סעיף 5.5.3).

הבסיס לטבלת אורכי עקום המעבר הינו רוחב נתיב בסיסי (w) של 3.6 מטר. אורך עקום המעבר יוגדל באופן יחסי עבור רמפה חד-נתיבית ורמפה דו-נתיבית לפי מספר הנתיבים המשוקלל (n) ומקדם התיקון ל- Δ_n : δw לפי מקדם הכפלה של $n \cdot \delta w$ (ראו הגדרות בסעיף 5.3, מעבר השיפועים בכרך 1, ובסעיף 5.5.3).

טבלה 5.6: ערכים גבוליים של מקדם הנוחות (C), מודול הקלוטואידה (A)

ואורך עקום המעבר למהירויות התכן השונות ברמפות מחלפים

מהירות התכן ברמפה (קמ"ש)								מאפייני עקום המעבר
100	90	80	70	60	50	40	30	
0.667	0.750	0.833	0.917	1.000	1.05	1.10	1.15	מקדם הנוחות C (מ'/שני ³): ערך מרבי
440	340	220	170	110	75	45	25	רדיוס העקום המעגלי המזערי R _{c,(min)}
180	145	115	90	70	50	35	25	מודול הקלוטואידה A: ערך מזערי*
73	61	60	47	42	34	28	21	אורך עקום המעבר (מ') משיקולי נוחות: עקום אופקי ברדיוס המזערי
56	50	44	39	33	28	22	17	אורך מזערי לעקום מעבר (מ'), לפי זמן נסיעה 2 שניות

* ערכי A בטבלה נקבעו לפי קריטריון הנוחות. כאשר אורך עקום המעבר נקבע משיקולים אחרים (כגון זמן נסיעה, או אורך מעבר השיפועים), ערך A יגדל, וייקבע לפי מקדם הנוחות האפקטיבי.

אורך מרבי לעקום המעבר

כאשר הסטת הקשת המעגלית (p) על ידי עקום המעבר עולה על 1 מטר ($P_{max} > 1m$), יש פוטנציאל לחוסר הערכה נכונה של מידת העקמומיות (החדות) של העקום המתקרב (כרך 1 סעיף 5.5).

טבלה 5.7 מציגה את ערכי האורך המרבי לעקום המעבר והפרמטרים הנגזרים ממנו: מקדם הנוחות C_{min}, מודול הקלוטואידה A_{max}, וזמן הנסיעה השקול לאורך עקום המעבר המרבי.

טבלה 5.7: אורך מרבי לעקום המעבר (מ') ברמפות מחלפים משיקולי הסטה צידית

למהירויות התכן השונות, וערכים נגזרים של מקדם הנוחות (C_{min}), ומודול הקלוטואידה (A_{max})

מהירות התכן ברמפה (קמ"ש)								מאפייני עקום המעבר
100	90	80	70	60	50	40	30	
0.47	0.51	0.69	0.68	0.82	0.84	0.93	0.95	מקדם הנוחות C _{min} (מ'/שני ³)
440	340	220	170	110	75	45	25	רדיוס העקום המעגלי המזערי R _{c,(min)}
215	175	125	105	75	55	40	25	מודול הקלוטואידה A _{max}
103	90	73	64	51	42	33	25	אורך מרבי לעקום המעבר (מ') משיקולי הסטה צידית ($P_{max} = 1m$)
3.7	3.6	3.3	3.3	3.1	3.1	3.0	2.9	זמן נסיעה (שניות) שקול לאורך המרבי לעקום המעבר

עקומי מעבר במחלפון זעיר

במחבר הרמפה של המחלפון הזעיר עם הדרך העוברת יתוכנן אורך עקום המעבר לפי טבלה 5.6, כאשר האורך המזערי לעקום המעבר הינו 21 מטר (לפי מהירות תכן של 30 קמ"ש).

עקום אופקי שאינו מחייב עקום מעבר

בעקומים בעלי רדיוסים גדולים והגבהות נמוכות מתפתחת תאוצה צנטריפוגלית נמוכה. כאשר התאוצה הצנטריפוגלית (a) נמוכה מ-0.6 מ"/שנ², אין צורך בעקום מעבר (כרך 1 סעיף 5.5.5). קריטריון זה מביא לערכי הרדיוסים $R_{C(MAX)}$ שמעבר להם אין צורך בעקום מעבר, הנתונים בטבלה 5.8.

טבלה 5.8: ערכי הרדיוסים המרביים המחייבים תכנון עקום מעבר

100	90	80	70	60	50	40	30	מהירות תכן ברמפה (קמ"ש)
1290	1040	820	630	460	320	210	120	רדיוס מרבי לצורך עקום מעבר (מ'), $R_{C(MAX)}$

5.5.3 מעבר השיפועים במחברים וברמפות

א. כללי

ביצוע מעבר השיפועים ברמפות נועד לאפשר מעבר הדרגתי בין השיפוע הצידי הקיים במחברי הרמפה או בקטעי הרמפה הישרים (e_N), לבין ההגבהה הרחבת המרבית (e_C) בעקומים האופקיים ברמפה, כפי שנקבעה בהתאם לכללים בסעיף 5.5.1 לעיל. מעבר השיפועים ברמפות מתחיל, בדרך כלל, במחברי הרמפה. מעברי שיפועים בתוך תפניות הדרך ברמפה (לפנייה מהירה) יתוכננו בהתאם לאותם עקרונות. צורות מעברי השיפועים במחברים מפורטות בפרק 6.

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

במחברי זרימה ברמפה: בין השיפוע הרחבי הקיים בדרך העוברת, לבין ההגבהה הרחבת הדרושה בתפנית שברמפה עם סיום המעבר מן המחבר לרמפה.

בתוך רמפות: בין ההגבהות הרחבות הקיימות בעקומים עוקבים ברדיוסים שונים, או לאורך עקומי מעבר, או בין עקומים אופקיים לקטעים משיקים.

עקרונות חישוב וביצוע מעברי שיפועים מוסברים בסעיף 5.3 בכרך 1.

מעברי השיפועים ברמפות ובמחברים יבוצעו לאורך עקומי המעבר או העקומים האופקיים במחבר, באמצעות סיבוב הקצה הימני של הנתיב ברמפה חד-נתיבית (או של הנתיב הימני ברמפה דו-נתיבית).

ב. כללי התכן

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

האורך המזערי של מעבר השיפועים במחבר וברמפה מחושב בדרך-כלל לפי נוסחה 5.1 (מקרה I):

$$L = (W \cdot n) \cdot \frac{(e_C - e_N)}{\Delta_n} = d_R \cdot \frac{(e_C - e_N)}{\Delta_n} \quad [5.1]$$

כאשר הרמפה מצויה בעקום אופקי, שכיוונו מנוגד לכיוון הקטע המשיק למחבר, וכן בין עקומים מנוגדי-כיוון ברמפה, יחושב אורך מעבר השיפועים במחבר לפי נוסחה 5.2 (מקרה II):

$$L = (W \cdot n) \cdot \frac{(e_C + e_N)}{\Delta_n} = d_R \cdot \frac{(e_C + e_N)}{\Delta_n} \quad [5.2]$$

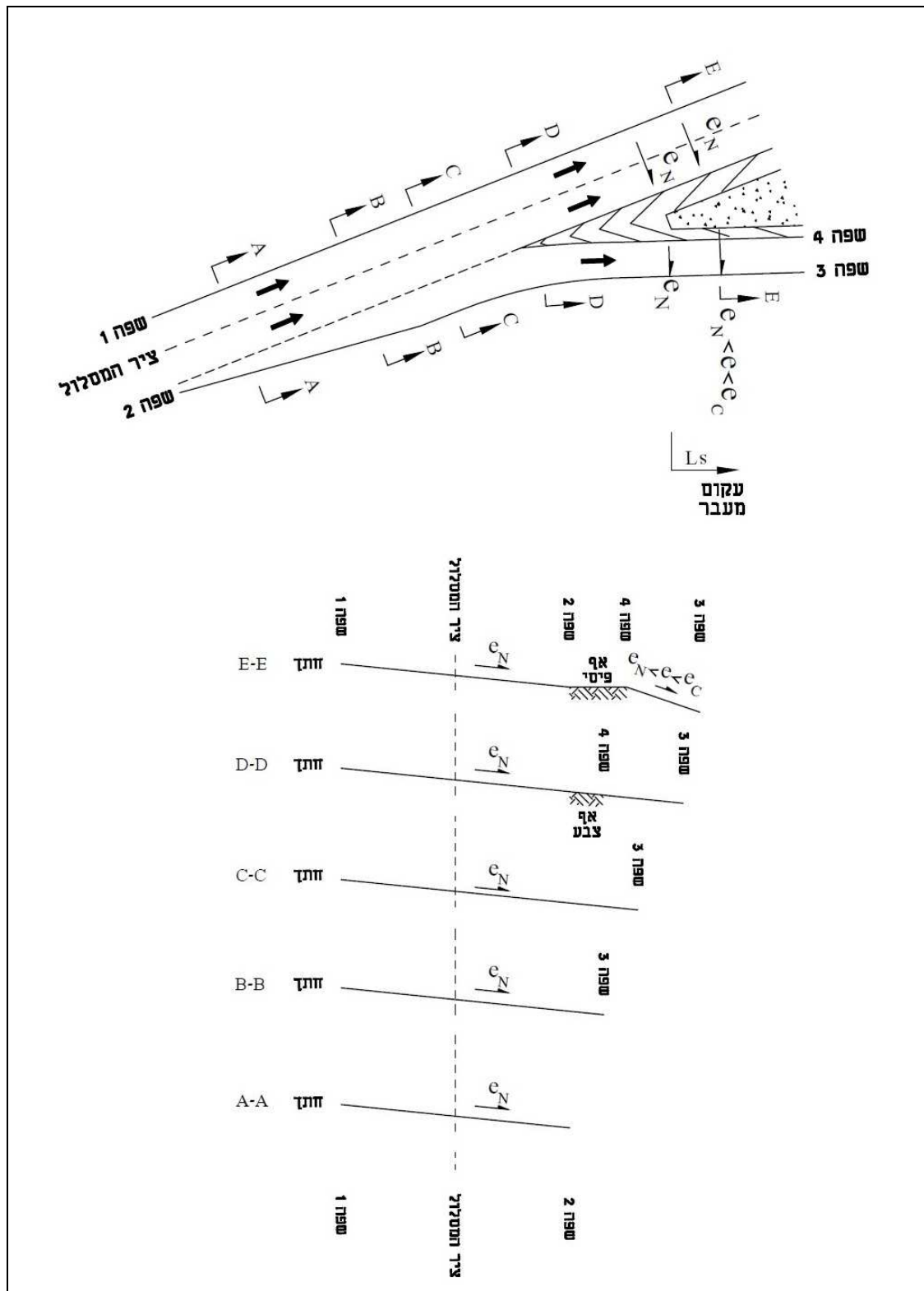
כאשר (ראו גם תרשים 5.6):

- L אורך מזערי למעבר השיפועים (מטר)
- W רוחב נתיב הנסיעה (מ'): עבור קטע ישר, בדרך כלל רוחב סטנדרטי של 3.6 מטר.
- n מספר הנתיבים המחושב בין ציר הסיבוב לשפת הסיבוב.
- d_R המרחק בין ציר הסיבוב לשפת הסיבוב (מטר), $n = d_R / W$. ציר הסיבוב הוא בדרך כלל הקצה הימני של נתיב הנסיעה או נתיב הנסיעה ברמפה. שפת הסיבוב הינה הקצה השמאלי של שול שמאל ברמפה. כאשר רמפה יוצאת משמאל, אז ציר הסיבוב הינו הקצה השמאלי של שול שמאל ברמפה, ושפת הסיבוב הינה הקצה הימני של נתיב הנסיעה או נתיב הנסיעה ברמפה.
- e_C ההגבהה הרוחבית המרבית בעקום האופקי (אחוזים).
- e_N השיפוע לרוחב בקטע המשיק לעקום (ישר או עקום אופקי אחר), באחוזים. הנחה: 2% (תחום מקובל 2-2.5%).
- Δ_n שיעור שינוי השיפוע (maximum relative gradient) (%): ההפרש המרבי בין השיפוע לאורך השפה במעבר ההגבהה, לבין השיפוע לאורך בציר הסיבוב, כמוצג בתרשים 5.2 בכרך 1.

עבור רמפה מתקבלת ש- $n > 1$ ונדרש מקדם תיקון (δ_w) ל- Δ_n כמוצג בטבלה 5.9. העקרונות של חישוב מעבר השיפועים ברמפות זהים לעקרונות החישוב בקטעי דרך כמפורט בכרך 1 סעיף 5.3. סעיף זה מתמקד בהבדלים בפרמטרי החישוב הייחודיים לרמפות.

ג. מקדמי התיקון ל- Δ_n לרמפה חד-נתיבית ולרמפה דו-נתיבית

המרחק מציר הסיבוב לשפת הסיבוב (d_R) נמדד מציר הסיבוב בהתאם לסוג הרמפה (חד-נתיבית, דו-נתיבית חד-סיטרית, דו-נתיבית דו-סיטרית).



תרשים 5.6: מעבר השיפועים במחבר יציאה

טבלה 5.9 מציגה את המרחקים מציר הסיבוב (d_R) ואת מקדמי התיקון לקיצור מעבר השיפועים ($\delta_w(n)$) כתלות בסוג הרמפה.

ערכי Δ_n הסופיים מחושבים בהתאם לנוסחה 5.3 (על בסיס העקרונות של סעיף 5.3 בכרך 1), ומוצגים בטבלה 5.10. לטבלה נוספו גם הערכים הבסיסיים של Δ_n המתאימים ל- $n=1$ (רוחב נתיב בסיסי של 3.6 מטר). הזהים לערכי דרך דו-נתיבית (כאשר ציר הסיבוב במרכז) בכרך 1.

$$\Delta_n(n > 1) = \frac{\Delta_n(n = 1)}{\delta_w(n)} \quad [5.3]$$

טבלה 5.9: מקדמי התיקון $\delta_w(n)$ ל- Δ_n לחישוב אורך מעבר השיפועים

עבור רמפה חד-נתיבית ורמפה דו-נתיבית

מקדם תיקון $\delta_w(n)$ ל- Δ_n	מספר נתיבים משוקלל (n)	מרחק מציר הסיבוב (מהקצה הימני של נתיב הרמפה) d_R (מ')	רוחב נתיב (או נתיב) רמפה (מ')	סוג הרמפה
0.846	1.444	5.2	4.0	רמפה חד-נתיבית
0.714	2.333	8.4	7.2	רמפה דו-נתיבית חד-סיטרית
0.686	2.694	9.7	7.2	רמפה דו-נתיבית דו-סיטרית

* הנחת רוחב נתיב אופייני 3.6 מ'. עבור רמפה דו-נתיבית דו-סיטרית d_R הינו המרחק מקצה הנתיב הימני של כיוון הנסיעה המיוחס עד קצה שול ימין של כיוון נסיעה הנגדי.

טבלה 5.10: הפרש שיפוע מרבי מותר (Δ_n) בין ציר הסיבוב לקצה השול השמאלי

של הרמפה בתלות במהירות התכן (%)

מהירות תכן ברמפה (קמ"ש)								סוג הרמפה
100	90	80	70	60	50	40	30	
0.43	0.46	0.50	0.56	0.64	0.67	0.70	0.75	Δ_n בסיסי: לפי נתיב ברוחב 3.6 מ'
0.508	0.544	0.591	0.662	0.756	0.792	0.827	0.886	רמפה חד-נתיבית
0.602	0.644	0.700	0.784	0.896	0.938	0.980	1.050	רמפה דו-נתיבית חד-סיטרית
0.627	0.671	0.729	0.817	0.934	0.977	1.021	1.094	רמפה דו-נתיבית דו-סיטרית

ד. איחוד עקום המעבר ומעבר ההגבהה

עבור המקרה הסטנדרטי (מקרה I), בו כיוון ההגבהה בעקום האופקי ברמפה זהה לכיוון השיפוע הרחבי (e_N) בקטע המשיק למחבר המתואר בתרשים 5.6, מתקבל שאורך סך מעבר השיפועים הינו בתחום מעבר ההגבהה.

עבור המקרה הפחות שכיח ברמפות (מקרה II), בו כיוון ההגבהה בעקום האופקי מנוגד לכיוון השיפוע הרחבי (e_N) בקטע המשיק למחבר, מתקבל שאורך סך מעבר השיפועים כולל את מעבר המשיק (מעבר משיפוע צידי של e_N ל-0%) ואת מעבר ההגבהה (מעבר מ-0% ל- e_c) בהתאם לסעיף 5.3 בכרך 1.

אורך עקום המעבר יוגדל באופן יחסי עבור רמפה חד-נתיבית ורמפה דו-נתיבית לפי מספר הנתיבים המשוקלל (n) ומקדם התיקון ל- $\delta w - \Delta n$ לפי מקדם הכפלה של $w \cdot \delta n$.

עבור מקרה I, כאשר מעבר השיפועים יבוצע לאורך עקום מעבר, יאוחד אורכו של מעבר השיפועים עם אורך עקום המעבר, לפי הארוך מבין שניהם.

עבור מקרה II, כאשר מעבר ההגבהה יבוצע לאורך עקום מעבר, יאוחד אורכו של מעבר ההגבהה עם אורך עקום המעבר, לפי הארוך מבין שניהם.

ה. תכנון ללא עקום מעבר

כאשר לא מתוכנן עקום מעבר לפני הקשת המעגלית, יתווה 0.2-0.3 מאורך מעבר השיפועים (עבור מקרה I) בתוך הקשת המעגלית בהתאם למהירות התכן, ו-0.7-0.8 מאורך מעבר השיפועים יהיה על הקטע הישר (מחבר הרמפה או קטע רמפה ישר). כאשר מעבר השיפועים מתחיל משיפוע רחבי מנוגד (מקרה II), קטע מעבר השיפועים בין שיפוע רחבי e_N (לדוגמא -2%) ל-0% יהיה בתחום הקטע הישר, והיתרה (שקולה למעבר הגבהה בקטעי דרך) תחולק בין המשך הקטע הישר (משיפוע רחבי 0%) לבין הקשת המעגלית ברמפה, לפי 0.7-0.8 ו-0.2-0.3 בהתאמה, כמפורט בטבלה 5.11.

טבלה 5.11: יחס חלוקת מעבר השיפועים או מעבר ההגבהה ללא תכנון עקום מעבר

החלק ממעבר השיפועים משיפוע רחבי e_N לאותו כיוון או חלק מעבר ההגבהה משיפוע רחבי e_N מנוגד: בקשת המעגלית (או קשת מעגלית ברדיוס קטן)	החלק ממעבר השיפועים משיפוע רחבי e_N לאותו כיוון (מקרה I) או חלק מעבר ההגבהה משיפוע רחבי e_N מנוגד (מקרה II): בקטע ישר (או קשת מעגלית ברדיוס גדול)	מהירות תכן ברמפה (קמ"ש)
0.20	0.80	40-70
0.30	0.70	80-100

אם לקשת המעגלית הקריטית קודמת קשת מעגלית ברדיוס גדול יותר, אז החלוקה של מעבר השיפועים (או מעבר ההגבהה) תהיה לפי 0.7-0.8 לקשת בעלת הרדיוס הגדול, ו-0.2-0.3 לקשת הקריטית (בעלת הרדיוס הקטן).

1. ערכי תכן טיפוסיים לאורך מעבר השיפועים

הערכים האופייניים המתקבלים עבור מעבר השיפועים על בסיס ערכי התכן של הפרש השיפוע המרבי המותר בין ציר הדרך לקצוות המיסעה (Δ_n , טבלה 5.11) מובאים בטבלה 5.12. ערכי מעבר השיפועים מבוססים על ההגבהות המרביות המומלצות בהתאם לסעיף 5.5.1, טבלה 5.6.

עבור מקרה II (מעבר שיפועים לעקום בכיוון מנוגד) מוצגים ערכי התכן של מעבר השיפועים וכן של מעבר המשיק ומעבר ההגבהה.

את אורכי מעבר השיפועים למקרה I ומקרה II ניתן לחשב באמצעות הנוסחאות הבאות לאחר פישוט פרמטרים:

עבור מקרה I:

אורך מעבר השיפועים מתקבל לפי נוסחה 5.4.

$$L = \frac{(d_R + W) \cdot (e_c - e_N)[\%]}{2 \cdot \Delta_{n=1}[\%]} \quad [5.4]$$

כאשר ערכי $\Delta_{n=1}$ הבסיסיים ($n=1$) מוצגים בטבלה 5.10. ערך d_R הינו פרמטר המאפיין את סוג הרמפה כפי שהוצג לעיל (טבלה 5.9).

עבור מקרה II:

אורך מעבר השיפועים (L) מתקבל לפי נוסחה 5.5.

$$L = \frac{(d_R + W) \cdot (e_c + e_N)[\%]}{2 \cdot \Delta_{n=1}[\%]} = L_1 + L_2 \quad [5.5]$$

אורך מעבר המשיק (L_2) למקרה II מתקבל לפי נוסחה 5.6.
אורך מעבר ההגבהה (L_1) למקרה II מתקבל לפי נוסחה 5.7.

$$L_2 = \frac{(d_R + W) \cdot (e_N)[\%]}{2 \cdot \Delta_{n=1}[\%]} \quad [5.6]$$

$$L_1 = \frac{(d_R + W) \cdot (e_c)[\%]}{2 \cdot \Delta_{n=1}[\%]} \quad [5.7]$$

טבלה 5.12: אורכים טיפוסיים של מעבר השיפועים בין מחבר הרמפה לבין הרמפה

מהירות תכן ברמפה (קמ"ש)								סוג הרמפה
100	90	80	70	60	50	40	30	
0.08	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	הגבהה מרבית
מקרה I: מעבר שיפועים לעקום באותו כיוון (מ-en ל-ec)								
51	47	58	52	45	43	42	39	בסיס
62	58	71	63	55	53	51	47	רמפה חד-נתיבית
84	79	96	86	75	72	69	64	רמפה דו-נתיבית חד-סיטרית
93	87	107	95	84	80	76	71	רמפה דו-נתיבית דו-סיטרית
מקרה II: סך מעבר שיפועים לעקום בכיוון מנוגד (מ-en ל-ec)								
84	79	87	78	68	65	62	58	בסיס
103	96	106	95	83	79	76	71	רמפה חד-נתיבית
140	131	144	129	111	108	103	96	רמפה דו-נתיבית חד-סיטרית
155	145	160	143	125	120	114	107	רמפה דו-נתיבית דו-סיטרית
מעבר משיק (מ-en ל-0%)								
17	16	15	13	12	11	11	10	בסיס
21	19	18	16	14	13	13	12	רמפה חד-נתיבית
28	27	24	22	19	18	18	16	רמפה דו-נתיבית חד-סיטרית
31	29	27	24	21	20	19	18	רמפה דו-נתיבית דו-סיטרית
מעבר הגבהה (מ-0% ל-ec)								
67	63	72	65	56	54	51	48	בסיס
82	77	88	79	69	66	63	59	רמפה חד-נתיבית
112	105	120	108	94	90	86	80	רמפה דו-נתיבית חד-סיטרית
124	116	133	119	104	100	95	89	רמפה דו-נתיבית דו-סיטרית

ז. הפרש מרבי בין שיפועים לרוחב של נתיבים סמוכים

מתן ההגבהה המרבית במחברי-רמפה אפשרי רק מעבר לנקודה בה המחבר מופרד באופן מלא מהנתיב העובר באמצעות אף היציאה הפיזי, כמתואר בתרשים 5.6, למניעת סכנה לאובדן שליטה על רכב (במיוחד רכב כבד), החוצה את קו הקמר בין הנתיב ההמשכי לבין המחבר.

מומלץ כי השיפוע e_n (לדוגמא 2%) לרוחב הרמפה יתחיל מפגוש האף הפיסי. לפיכך רצוי שהשבירה בשפה 4 תתחיל מנקודה זו, כלומר שמעבר השיפועים (L) יתחיל מנקודה זו. המשמעות היא כי מומלץ להימנע משבר בשיפוע שפת המיסעה לאורך האף הצבוע עד פגוש האף הפיסי (תחילת האף הפיסי).

במצב מאולץ ניתן לאפשר ערכים מרביים של "שבר", כלומר של הפרש אלגברי בין שיפועי הרוחב בתפנית הדרך לבין הנתיב הסמוך לפני אף היציאה (דהיינו כאשר אין הפרדה של האף הפיסי). ערכים מרביים אלה נתונים בטבלה 5.13. ככל שאחוז המשאיות גבוה (מעל 15%), יש להשתמש בערכים הנמוכים בתחום.

טבלה 5.13: תחום מותר להפרש המרבי בין השיפועים לרוחב של

נתיבים סמוכים במחברי רמפה

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

ח. תכנון חתך אורכי רציף לקצות המיסעה

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

ט. מעבר השיפועים במחלפון זעיר

מעבר השיפועים בשפה החיצונית של רמפת מחלפון זעיר ובמחבר זרימה ברמפת מחלפון זעיר (בחיבור לדרך העיקרית) יתוכנן בהתאם לקריטריונים המוצגים בסעיף זה למהירות התכן של רמפת המחלפון הזעיר (30 קמ"ש). האורך הרצוי של מעבר השיפועים הינו 47 מטר (מקרה I, מעבר שיפועים לעקום באותו כיוון, טבלה 5.12). במקרים חריגים ניתן לרדת באורך מעבר השיפועים עד כדי 30 מטר.

במחלפון זעיר אין להגיע למצב של מקרה II (מעבר שיפועים לעקום בכיוון מנוגד).

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).

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 המרבי בין מהירויות תכן של מרכיבים עוקבים בתוואי האופקי לא יעלה על 15 קמ"ש).

בדרך מעויירת מהירה, היחס בין רדיוסים עוקבים לא יעלה על 2.0.

עקומים מרוכבים (עוקבים) יכולים להיות מתוכננים מהרדיוס הקטן לרדיוס הגדול, כלומר בתמרון התמזגות לדרך הממוחלפת (האצה מהרמפה).

בתמרון הפוך מעקום ברדיוס גדול לעקום ברדיוס קטן (היפרדות מהדרך הממוחלפת כלומר האטה לרמפה), לא מומלץ לתכנן עקומים מרוכבים, אלא עקום מעבר (קלוטואידה) או עקום ברדיוס יחיד כשלא נדרש עקום מעבר.

אורך מזערי של עקום מעגלי בקשתות עוקבות (לפי תאוצה)

האורך המזערי לעקומים המעגליים בני 2 קשתות (לפי תאוצה מומלצת במעבר ממהירות תכן נמוכה לגבוהה), המתאימים לטווחים של הרדיוסים המזעריים בהתאם למהירויות התכן, מוצגים בטבלה 5.14. בסוגריים מצוינים ערכי הרדיוסים הממוצעים בטווח.

טבלה 5.14: אורך מזערי רצוי לעקום מעגלי העובר מרדיוס קטן לרדיוס גדול

בהתאם לטווחים של הרדיוסים האופקיים הקטנים ביותר

אורך קשת מזערי רצוי ($a=1.0$ מ'/שנ"2)	טווח רדיוס אופקי (מ')*	טווח מהירות התכן (קמ"ש)
30	(35) 25-45	30-40
35	(60) 45-75	40-50
45	(95) 75-110	50-60
50	(140) 110-170	60-70
60	(195) 170-220	70-80
65	(280) 220-340	80-90
75	(390) 340-440	90-100

* בסוגריים מצוינים ערכי הרדיוסים הממוצעים בטווח.

אורך מספיק לכל עקום יאפשר לנהג תאוצה קבועה נוחה (למצב רצוי) של 1.0 מטר/שניה² (או 3.6 קמ"ש/שניה).

רמפה אלכסונית

ברמפה אלכסונית, אין לאסור על עקומים אופקיים עוקבים (broken-back), כל עוד ההתוויה ברורה לנהג ממרחק סביר.

רמפת לולאה

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 או לתכן הדרך הנפגשת במחלף בסמוך למחבר, הם מרחקי הראות לעצירה ולהחלטה, כמפורט להלן. ההסבר העקרוני למהותו של כל מרחק ראות ואופן חישוב ערכי התכן שלו מפורטים בפרק 4: "מרחקי ראות" בכרך 1 של ההנחיות, וכן בפרק 4: "מרחקי ראות בצמתים", בכרך 2 של ההנחיות. להלן הכללים העקרוניים ליישום מרחקי הראות בתכן רמפות:

5.6.1 יישום מרחק ראות לעצירה

רמפה המתחברת לדרך המשנית של המחלף בצומת לא מרומזר, או בצומת מרומזר ללא תוספת נתיבים לקראת הצומת, תתוכנן לפי מרחק ראות לעצירה, כיוון שברמפה זו הגישה היא בכיוון ה"לא מועדף" של הצומת (הנחיות לתכן צמתים משה"ת 2009, סעיף 4.2.4). 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 בפרק 4 בכרך 1 של הנחיות אלו, על בסיס זמן חישה-תגובה מוקטן של 2 שניות, בהנחה שברמפה הנהג דרוך יותר מאשר בקטע דרך בינעירונית. ערכי-תכן אופייניים נתונים בטבלה 5.15. כאשר יש שיפוע אורכי העולה על 3%, יש לחשב את ערכי התכן של מרחק הראות לעצירה בהתאם לקריטריונים של פרק 4 בכרך 1 בהנחת זמן חישה-תגובה של 2 שניות.

5.6.2 יישום מרחק ראות להחלטה

מרחק הראות להחלטה הוא מרחק הראות הבסיסי לתכן הדרכים הנפגשות בהתקרבות למחלף, כמפורט בסעיף 4.7 ובטבלה 4.10 בכרך 1 של הנחיות אלו.

רמפה המתחברת לדרך המשנית של המחלף בצומת מרומזר בשלב הסופי, בו נוספו נתיבים לקראת הצומת, תתוכנן בהתקרבות לצומת לפי מרחק ראות להחלטה. מקרה זה מתאים לרוב לרמפה היוצאת מדרך ממוחלפת לדרך עירונית.

גובה העצם לתכנון עקום אנכי קמור לפי מרחק ראות להחלטה בגישה לצומת המרומזר (עם שינוי מספר נתיבים) הינו 0.15 מטר.

טבלה 5.15: ערכי התכן של מרחק ראות לעצירה ומרחק ראות להחלטה למכונית נוסעים עבור רמפות לפני צומת בדרך המשנית (שיפוע אורכי עד 3%)

מרחק ראות – להחלטה – ערכי תכן (מ')	מרחק ראות – לעצירה – ערכי תכן (מ')	מקדם החיכוך האקוויולנטי (a/g)	תאוצה, a, (מ'/שני ²)	מהירות תכן ברמפה (קמ"ש)
80	25	0.43	4.19	30
110	40	0.43	4.19	40
135	55	0.43	4.19	50
160	70	0.43	4.19	60
190	90	0.40	3.96	70
220	115	0.38	3.76	80
255	140	0.36	3.57	90
290	170	0.35	3.41	100

* זמן חישה תגובה של 2 שנית בחישוב מרחק ראות לעצירה ברמפות.

בנוסף, ייושם מרחק הראות להחלטה במחבר הכניסה לדרך הממוחלפת לאורך נתיב ההאצה (פרק 6 סעיף 6.9.1), וכן לאורך הדרך הממוחלפת לקראת מחברי המחלף (פרק 6 סעיף 6.9.2). בטבלה 5.15 מוצגים גם ערכי התכן של מרחק הראות להחלטה בהתאם לעקרונות כרך 1 פרק 4.

5.6.3 נושאים גיאומטריים נוספים

א. שילוב תוואים

יש לבדוק את ההשפעה של שילוב התוואי האופקי והתוואי האנכי ברמפה על מרחקי הראות המתקיימים לאורכה. הראות עשויה להיות מוגבלת במיוחד בלולאות ברדיוסים קטנים. בקצות הרמפות עשויים להיות עקומים אנכיים קמורים. יש לוודא שעקומים אלה אינם מקשים על ההבחנה בעקום האופקי שברמפה או בצומת שבסוף הרמפה ממרחקי הראות הדרושים.

ב. אילוצי מבנה גשר

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).

ג. מרחקי ראות בצומת: הסתעפות מחלף יהלום

ברמפות שבסופן יש צומת, דרוש לקיים בכל הזרועות את מרחקי הראות הדרושים לצומת זה בהתאם לאמצעי ההכוונה והבקרה בו, על פי הקריטריונים והעקרונות של סעיף 3.8.2 לעיל בכרך זה (מרחק ראות

לפנייה בהסתעפות מחלף יהלום צר או יהלום רגיל). תשומת-לב מיוחדת תוקדש להשפעת המרכיבים המבניים באזור הגשרים על הראות בצמתים.

5.6.4 מרחק הראות ברמפת מחלפון לפני צומת

מרחקי הראות הנדרשים באזור צומת של רמפת מחלפון עם הדרך המשנית יהיו בהתאם לקריטריונים של סעיף זה. מאחר שצמתי רמפת המחלפון עם הדרך המשנית אינם צפויים להיות מרומזרים, מרחקי הראות לצורך תכנון הרמפות יהיו מרחקי הראות לעצירה.

לפיכך מרחק הראות לעצירה המזערי המוחלט ברמפת מחלפון לקראת הצומת עם הדרך המשנית הינו 25 מטר (מהירות תכן 30 קמ"ש).

יחד עם זאת רצוי שהערכים הרצויים של מרחקי הראות יתאימו למהירות תכן גבוהה מהמזערית, כדי לאפשר לנהגים להתרשם בעוד מועד ממגבלות התוואי שלפניהם, ולהתאים את מהירותם למגבלות התוואי. הערך המזערי הרצוי של מרחק ראות לעצירה בתכנון רמפת מחלפון הינו 40 מטר (ערך המתאים למהירות תכן של 40 קמ"ש).

5.7 התוואי האנכי ברמפות

5.7.1 שיפועים לאורך הרמפה

א. חתך טיפוסי לאורך הרמפה

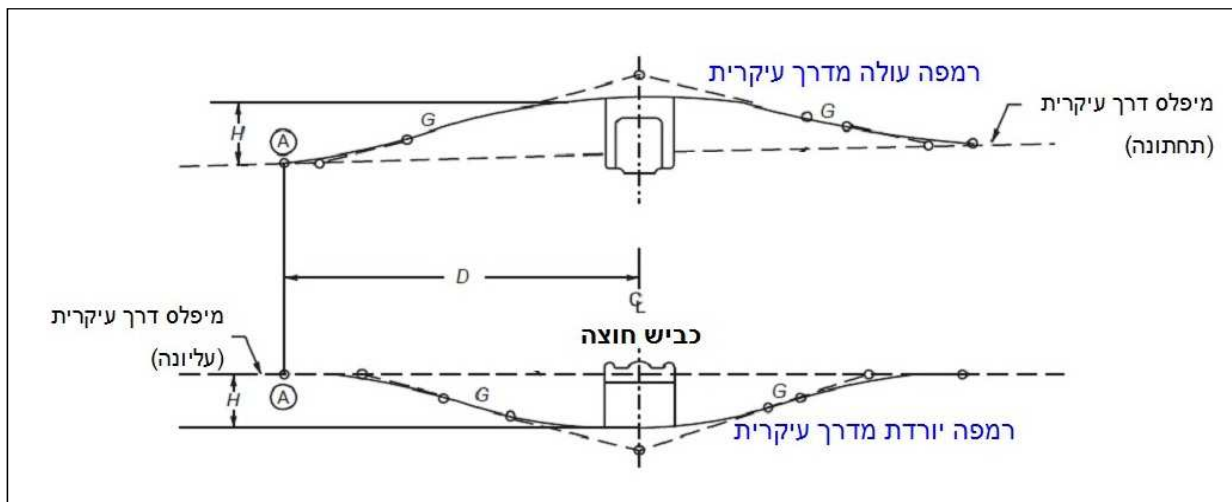
הצורה הכללית של התוואי האנכי ברמפה היא קטע אמצעי ששיפועו גדול באופן יחסי לשיפוע במחברים, המתחבר לשני עקומים אנכיים בשני קצות הרמפה, אשר משיקים לשיפועים הקיימים במחברי הרמפה.

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, כמוצג בתרשים 5.7. המשיק הישר מסומן בתרשים 5.7 כ-G. המרחק D הינו המרחק הדרוש לעבור למפלס הכביש השני בגובה עלייה או ירידה H בשטח מישורי (AASHTO 2011). הגובה H מסומן בתרשים כהבדל המפלסים, כלומר הגבריט (תוחמת או מרווח גובה חופשי) בתוספת עובי מבנה הגשר והמיסעה.

ב. שיפוע אורכי ברמפה

ברמפה רצוי לשמור על שיפועים מרביים 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.



תרשים 5.7: חתך טיפוסי לאורך הרמפה (מבוסס על AASHTO 2011)

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.

בטבלה 5.16 מרוכזים הערכים המרביים 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 מהמרבי המומלץ.

טבלה 5.16: שיפועים מרביים מומלצים לאורך הרמפות*

מהירות התכן ברמפה (קמ"ש)	30	40	50	60	70	80	90	100
שיפוע מרבי לאורך (%) ⁽¹⁾	8	8	8	7	7	7	6	5

* התייחסות להקלה לשיפועים האורכיים ברמפת ירידה קצרה, בהתאם להערה בסעיף ג'.

השיפועים לאורך באזור הצמתים במחברי הרמפות לעצירה ייקבעו בהתאם למפורט בפרק 8: "התוואי האנכי בצמתים", בכרך 2 של הנחיות אלו.

ג. הקלות לשיפוע אורכי מרבי ברמפה

ככלל, השיפועים ברמפות עלייה וברמפות ירידה הם דומים, בהקלות הבאות:
ברמפות ירידה קצרות (150-350 מטר, מחלף יהלום), ניתן להגדיל את השיפוע ב-2% נוספים מעבר לנתון בטבלה, במקרים מיוחדים, בתנאי שמחברי הרמפה ממוקמים ומתוכננים למהירויות הגבוהות העשויות לנבוע מהשיפוע.

ד. שיפוע אורכי מרבי ברמפות דרך מעויירת מהירה

אחד מתפקידי הרמפה הוא להתגבר על הפרש הגבהים בין הדרך המהירה המעויירת לדרך העירונית החוצה, אליה מתחברת הרמפה. בשונה מדרכים בין-עירוניות, מהירויות הנסיעה בפועל ברמפות הקישור בדרכים המהירות המעויירות נעות ממהירות התכן (ואף יותר בפועל), ועד למהירויות זחילה או אפילו 'עצור וסע' בשעות השיא של המתקן התחבורתי. בנוסף לנ"ל, מאחר שנושא ההשתזרות והקירבה בין המחלפים בדרכים מעויירות עירוניות הוא קריטי יותר מאשר בדרכים בין-עירוניות, הרי שקיים, במקרים מסוימים, צורך לקצר את אורך הרמפה, על מנת לאפשר מרווחי השתזרות גדולים יותר בדרך המהירה עצמה. קיצור הרמפה מביא לשיפוע אורכי חד יותר.

טבלה 5.17 מציגה את השיפוע האורכי המרבי ברמפות של הדרך המעויירת המהירה. בניגוד לטבלה 5.17, ערכי השיפועים המרביים תלויים בהגדרת הטופוגרפיה (אזור מישורי, אזור גבעי, אזור הררי), מאחר שהיא שקולה לרמת הרגישות של הדרך וקובעת את מהירות התכן.

טבלה 5.17: שיפועים אורכיים מרביים ברמפות דרך מעויירת מהירה

אזור טופוגרפי	מישורי	גבעי	הררי
שיפוע מרבי לאורך ברמפת דרך מעויירת מהירה (%)	8	9	10

ה. שיפוע לאורך רמפת מחלפון זעיר

השיפוע המרבי ברמפת מחלפון זעיר הינו 8% (טבלה 5.16, מהירות תכן 30 קמ"ש). לא תהיה הגבלה של השיפוע האורכי ברמפה עקב תנועה מתוכננת של אופניים בשביל לאורכה או לאורך חלק ממנה.

5.7.2 עקומים אנכיים ברמפות

סעיף זה מתייחס לעקומים האנכיים לאורך הרמפה לקראת המפגש עם הצומת בדרך המשנית, שם ייתכן עקום אנכי קמור (רמפה עולה מדרך עיקרית) או עקום אנכי קעור (רמפה יורדת מדרך עיקרית) בהתאם לתרשים 5.7.

מהירות התכן של העקומים האנכיים ברמפות תיקבע לפי מהירות התכן של הרמפה כמפורט בסעיף 5.3 לעיל.

לפני הכניסה לדרך העיקרית, יתוכנן העקום לפי המפורט בסעיף 5.7.1 לעיל. תכנון עקומים אנכיים ברמפה לקראת מפגש עם הצומת בדרך המשנית, יבוסס על מרחק הראות לעצירה או להחלטה, בהתאם לכללים בסעיפים 5.6.1, 5.6.2.

א. עקום אנכי ברמפה לפי מרחק ראות לעצירה

גובה העצם המומלץ לתכנון למרחק ראות לעצירה ברמפות (לפני צומת בדרך המשנית) הינו 0.15 מ'.

טבלה 5.18 מציגה את הרדיוסים האנכיים המזעריים לעקום אנכי קמור ולעקום אנכי קעור. הרדיוסים לעקום קמור מתבססים על ערכי תכן של מרחק ראות לעצירה מטבלה 5.15, ועל קריטריון הנוחות. הרדיוסים לעקום קעור מתבססים על קריטריון הנוחות בלבד, בהנחה שמחלפים אמורים להיות מוארים.

טבלה 5.18: רדיוסים מזעריים לתכן עקום אנכי ברמפות לפי מרחק ראות לעצירה (לאורך הרמפה ולקראת צומת ללא תוספת ניתוב)

מהירות תכן ברמפה (קמ"ש)								סוג עקום אנכי
100	90	80	70	60	50	40	30	
רדיוס עקום אנכי קמור⁽²⁾								
4915	4250	3320	2035	1230	760	⁽¹⁾ 410 (405)	⁽¹⁾ 230 (160)	רמפה חד-נתיבית או דו-נתיבית חד-סיטרית (גובה עצם 0.15 מ' ⁽³⁾)
רדיוס עקום אנכי קעור⁽⁴⁾								
2575	2085	1650	1260	930	645	410	230	רמפה חד-נתיבית או דו-נתיבית חד-סיטרית ⁽³⁾

- 1) הרדיוסים האנכיים למהירות 30, 40 קמ"ש נקבעו לפי קריטריון נוחות לפי תאוצה אנכית מרבית של 0.3 מ"שנ² ($R=0.257 \cdot V_d^2$). הערכים בסוגריים הינם ערכים מחושבים לפי קריטריון בטיחות (לפי מרחק ראות לעצירה).
- 2) הרדיוסים מתאימים לרכב נוסעים למקרה של $S_D \leq L$ ולמשיקים הפוכי כיוון. כאשר $S_D > L$ או שהמשיקים באותו כיוון, יש לחשב לפי הנוסחאות המדויקות.
- 3) רמפה חד-סיטרית דו-נתיבית תסווג עקרונית כרמפה ישירה למחצה (מהירות תכן 80-100 קמ"ש).
- 4) רדיוסי עקום קעור נקבעו לפי קריטריון הנוחות.

ב. עקום אנכי ברמפה לפי מרחק ראות להחלטה

גובה העצם המומלץ לתכנון למרחק ראות להחלטה ברמפות (לקראת צומת מרומזר בדרך המשנית) הינו 0.15 מטר.

טבלה 5.19 מציגה את הרדיוסים האנכיים המזעריים לעקום אנכי קמור בתכנון לפי מרחק ראות להחלטה (לפני צומת מרומזר עם תוספת ניתוב בצומת, כשלב סופי) מטבלה 5.15. בעקומים קעורים ברמפות אין שינוי מערכי טבלה 5.18, שנקבעו משיקולי נוחות.

ג. עקום אנכי ברמפת מחלפון זעיר

בתכנון רמפת מחלפון זעיר ייושמו בדרך כלל הרדיוסים האנכיים (קמורים וקעורים) לפי מהירות תכן 30 קמ"ש. אורך העקום האנכי ברמפת מחלפון זעיר לא יפחת מ-30 מטר.

5.7.3 מרווח הגובה החופשי (הגבריט)

בתכן התוואי האנכי במחלפים יש לשמור בגשרים ובמעברים את מרווחי הגובה החופשי (גבריט) בהתאם לכרך 1, פרק 6 סעיף 6.2 (המרווח האנכי).

טבלה 5.19: רדיוסים מזעריים לתכן עקום אנכי קעורברמפות לפי מרחק ראות להחלטה
(לפני צומת מרומזר עם תוספת ניתוב בצומת)

מהירות תכן (קמ"ש)								סוג עקום אנכי
100	90	80	70	60	50	40	30	
רדיוס עקום אנכי קמור								
21100	16310	12140	9055	6420	4570	3040	1610	רמפה חד-נתיבית או דו-נתיבית חד-סיטרית (גובה עצם 0.15 מ')**

* הרדיוסים מתאימים לרכב נוסעים למקרה של $S_D \leq L$ ולמשיקים הפוכי כיוון. כאשר $S_D > L$ או שהמשיקים באותו כיוון, יש לחשב לפי הנוסחאות המדויקות.

** רמפה חד-סיטרית דו-נתיבית תסווג עקרונית כרמפה ישירה למחצה (מהירות תכן 80-100 קמ"ש).

5.8 תכנון רמפה לקריטריון מנהרה

רמפה מקורה תוגדר כרמפה במנהרה, אם עומדת בהגדרות אורך מנהרה בהתאם לסעיף 3.1.4 בהנחיות לתכנון מנהרות (2018). רמפה קצרה יותר תתוכנן כחלק מהכביש, רמפה ארוכה יותר תתוכנן לפי תכן גיאומטרי של מנהרה לרבות כל המשמעויות התכנוניות המתחייבות מכך, בהתבסס על חתכי רמפות בהנחיות לתכנון מנהרות.

נספח 5א': צורות גיאומטריות אופייניות של רמפות

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

לרמפה אלכסונית המתחברת לדרך שירות מקבילה, צורה כמתואר בתרשים 5א'.1. כאשר דרך השירות דו-סיטרית, נוסף החיבור המתואר בתרשים, 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 ברביע אחד

לשילוב של לולאה ורמפה חיצונית (כרמפה אלכסונית ישירה) ברביע אחד מספר צורות אופייניות, המתוארות בתרשים 5א'.2. 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 בצורת לולאה 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' בתרשים 5א'.2. חיסרון רמפה זו הוא 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' בתרשים 5א'.2.

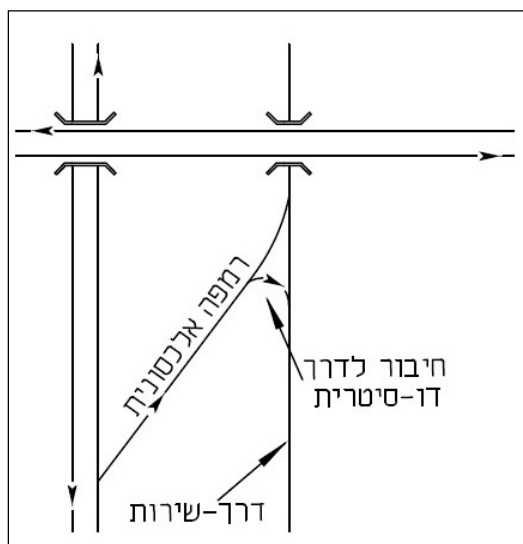
כאשר הלולאה מועדפת על פני הרמפה החיצונית, אפשר להשתמש ברמפה חיצונית בצורת שני עקומים הפוכים, להקטנת זכות הדרך הדרושה (D-D' בתרשים 5א'.2). ניתן גם להשתמש בהרכב משולב, המורכב משני חלקים שונים של הצורות המוצגות.

ג. רמפה ישירה למחצה שמאלה

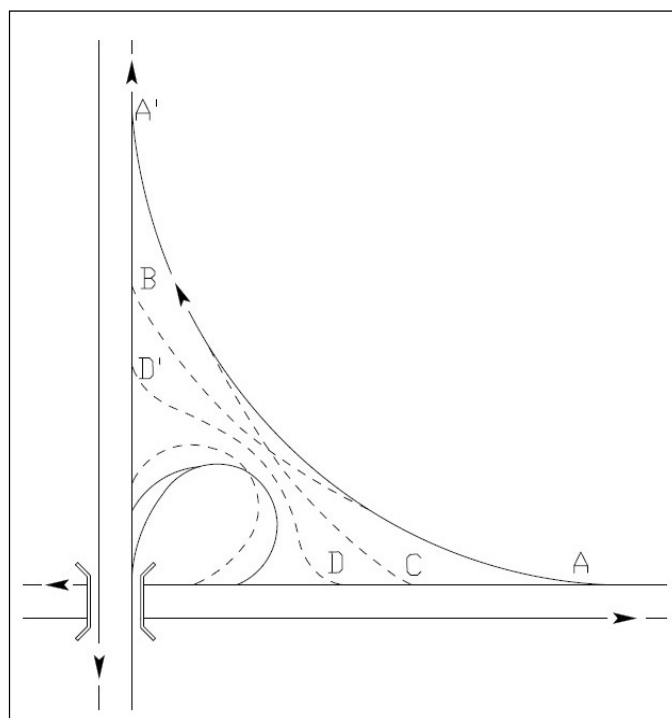
הרמפה הישירה למחצה שמאלה מורכבת מעקום קצר ימינה ואחריו עקום ארוך שמאלה וסיום שוב בעקום קצר ימינה. אפשרי גם קטע ישר בין שני עקומים (תרשים 5א'.3). שילוב המרכיבים הגיאומטריים של הרמפה הישירה למחצה ויחסי האורכים שלהם, מושפעים על ידי מיקום מחברי הרמפה ביחס למבני-הגשר הדרושים מעל שתי הדרכים, ואופן השתלבותם במיסעות באזור הגשרים, וכן העקמומיות הדרושה לקיום מהירויות הפנייה הגבוהות יחסית בסוג זה של רמפות.

ככל שסטיית הרמפה מהדרך האחת גדולה יותר, החיבור לדרך השנייה יכול להתאפשר בסמוך לפני הגשר המפריד בין הדרכים, כמתואר בקו הרציף בתרשים 5א'.3. כאשר סטיית הרמפה קטנה יותר, החיבור לדרך השנייה יכול להתאפשר אחרי הגשר (קו מרוסק).

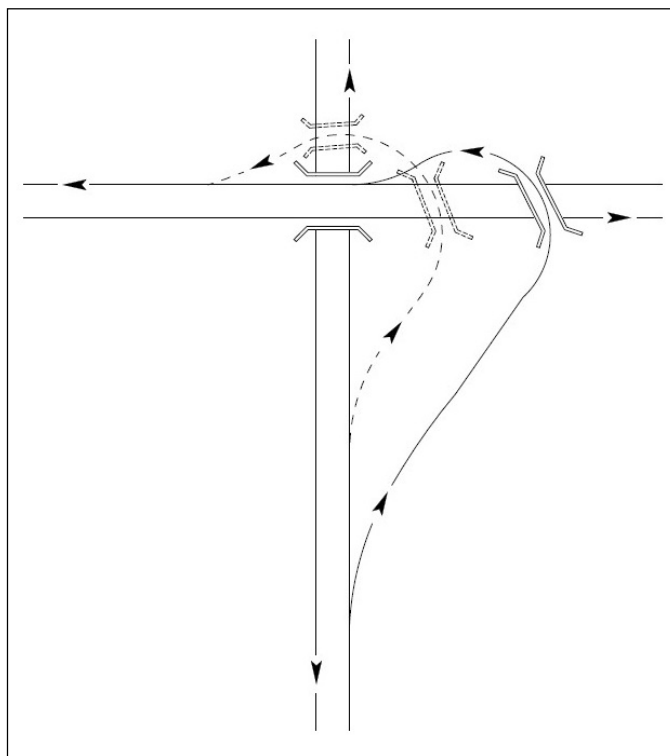
מרכיבי התוואי האופקי ברמפות יתוכננו לפי הכללים המפורטים בסעיף 5.5 בפרק זה.



תרשים 5א'.1: רמפה אלכסונית המתחברת לדרך שירות מקבילה



תרשים 5א'.2: צורות אופייניות של לולאה ורמפה חיצונית ברביע אחד



תרשים 5א'3: צורות של רמפה ישירה למחצה שמאלה