



פרק 7: שילוב התוואי האופקי והתוואי האנכי

תוכן עניינים

7-1	פרק 7: שילוב התוואי האופקי והתוואי האנכי	
7-1	מבוא	7.1
7-1	הנחיות כלליות	7.2
7-1	שילוב עקום אופקי עם עקום אנכי	7.2.1
7-2	כללים לשילוב התוואי האופקי והתוואי האנכי	7.2.2
7-5	שגיאות אופייניות הנובעות משילוב בלתי מתואם של התוואים האופקי והאנכי	7.2.3
7-6	היבטים סביבתיים	7.2.4

פרק 7 – שילוב התוואי האופקי והתוואי האנכי

כרך 1 – 04/2018

הנחיות לתכנן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



פרק 7: שילוב התוואי האופקי והתוואי האנכי

7.1 מבוא

בפרקים הקודמים ניתנו הנחיות לגבי תכן התוואי האופקי, תכן התוואי האנכי, וכללי בקרת התכן לכל אחד מהם לחוד.

השילוב המרחבי של התוואי האופקי והתוואי האנכי מהווה את הפרספקטיבה או התוואי הכולל כפי שהוא נצפה על ידי הנהג. שילוב התוואים קובע את חזות התוואי, כפי שהיא מנקודת מבטו של הנהג המתקדם לאורך התוואי, וכן את מרחקי הראות העומדים לרשותו. לשילוב התוואים האופקי והאנכי יש משמעויות סביבתיות ואסתטיות מצד אחד, ובטיחותיות ותפעוליות מצד שני.

התייחסות נפרדת לתוואי האופקי ולתוואי האנכי, ללא בקרת השילוב ביניהם, עשויה לגרור הימצאות נקודות תורפה בראות לאורך הדרך, ועיוותים אופטיים בחזות הדרך לעיני הנהגים.

שילוב נאות של התוואים האופקי והאנכי בתכנון צריך להשיג את המטרות הבאות:

- א. שיפור חזות הדרך והתאמתה לסביבה.
- ב. הצגת הדרך כקו המשכי ורצוף, כדי שהנהג יוכל להעריך בעוד מועד את שינוי התוואי הצפויים ואת מרחקי הראות לפניהם. בצורה זו תשופר נוחות הנהיגה, תעלה רמת הבטיחות של הדרך, ותשופר רמת השירות התפעולית שלה.

7.2 הנחיות כלליות

ניתן לקבוע מספר הנחיות כלליות אשר יסייעו למניעת תופעות לא רצויות. הנחיות כלליות אלו מתבססות על ניסיון תכנוני, וכן על לקחים מבניית פרספקטיבות סטטיות ודינמיות ותכן ממוחשב תלת-מימדי.

ההנחיות הכלליות המוצגות להלן מתייחסות לנושאים כגון מיקום יחסי של עקומים בתוואי האופקי והאנכי, איזון בתכן התוואי, ושגיאות אופייניות שרצוי להימנע מהן.

7.2.1 שילוב עקום אופקי עם עקום אנכי

א. שילוב עקום אופקי עם עקום אנכי קמור

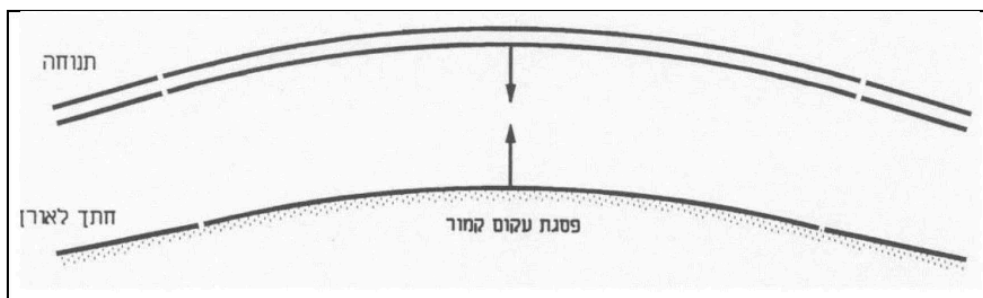
שילוב עקום אופקי עם עקום אנכי קמור יוצר את הצורה המורכבת הבעייתית ביותר בתוואי הדרך, מאחר שהוא מורכב משתי צורות גיאומטריות, שכל אחת מהן מגבילה את שדה הראייה של הנהג. הבעיה מחמירה כאשר הדרך נמצאת בחפירה.

העקום האנכי הקמור מהווה את סף הראות בחזות הפרספקטיבית לגבי המשך מיסעת הדרך, והעקום האופקי יוצר עיוות שפות הדרך ומיזוג השפות בפרספקטיבת המשך התוואי, וגורם בכך מגבלת ראות



לגבי המשך הדרך (סעיף 7.2.3.ה'). מיקום יחסי לא מתואם בין שני עקומים אלה גורם לבעיות בטיחותיות, לדוגמא:

עקום אופקי המצוי בתוך עקום אנכי קמור מוסתר מעיני הנהג, והופעתו הפתאומית לעיניו מהווה סיכון בטיחותי. למניעת סיכון בטיחותי מסוג זה יש לדאוג להתלכדות האורכים של העקום הקמור עם העקום האופקי, כך שפסיגת העקום האנכי הקמור תהיה במרכז העקומים. מעשית מומלץ שהעקום האופקי יתחיל מעט לפני העקום האנכי הקמור ויהיה ארוך יותר, כך שהעקום הקמור יהיה מוכל בעקום האופקי כמוצג בתרשים 7.1.



תרשים 7.1: השילוב הרצוי של עקום אופקי ועקום אנכי קמור

אם ההתלכדות איננה ניתנת לביצוע, מומלץ להפריד לחלוטין בין העקום האופקי לבין העקום הקמור, על ידי הכנסת קטע ישר ביניהם. אורך הקטע הישר, בין נקודות ההשקה לעקומים משני צידי של הקטע הישר, לא יפחת ממרחק הראות להחלטה למהירות התכן המתאימה, המפורט בפרק 4.

ב. שילוב עקום אופקי עם עקום אנכי קמור

הכנסת עקום אנכי קמור בקטע דרך בו קיים עקום אופקי, גורמת לעיוות בפרספקטיבת הדרך, אשר עשוי לגרום להטעיית הנהג, כמפורט בסעיף 7.2.3 להלן.

השילוב הרצוי של עקום קמור בעקום אופקי, אשר יוצר את תנאי הראות הטובים ביותר בעקום האופקי, הוא שילוב בחפיפה מלאה: היטלי נקודות החיתוך של המשיקים בעקומים האופקי והאנכי צריכות להיות קרובות זו לזו, ונקודות ההשקה צריכות להיות סמוכות, לקבלת אורך דומה של העקומים, כמוצג בתרשים 7.2. רצוי שהפרש בין אורכי העקומים לא יעלה על 10%.

ג. התאמת ערכי הרדיוסים

ביצוע התוואי הדורש תיאום בין עקום אופקי ואנכי, מחייב התייחסות לערכי הרדיוסים לקבלת האיזון. יש לקבוע ערכים מתאימים, מעבר לערכים המזעריים המפורטים בפרק 5 לעקום האופקי, ובפרק 6 לעקום אנכי קמור ולעקום אנכי קמור.

7.2.2 כללים לשילוב התוואי האופקי והתוואי האנכי

להלן כללים נוספים עליהם מומלץ להקפיד בתכנון המשולב של התוואי האנכי והתוואי האופקי:

7-2

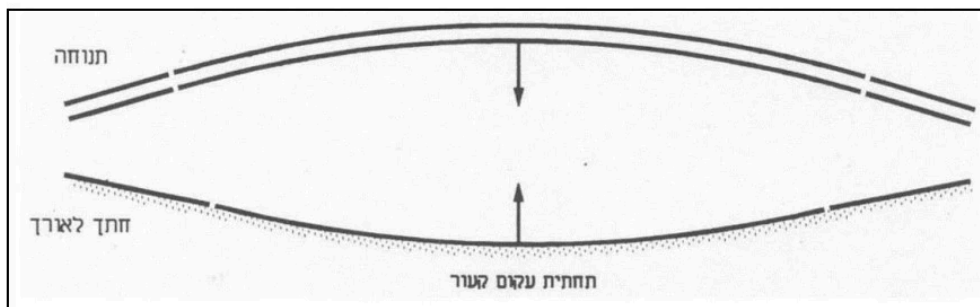
פרק 7 – שילוב התוואי האופקי והתוואי האנכי

כרך 1 – 04/2018

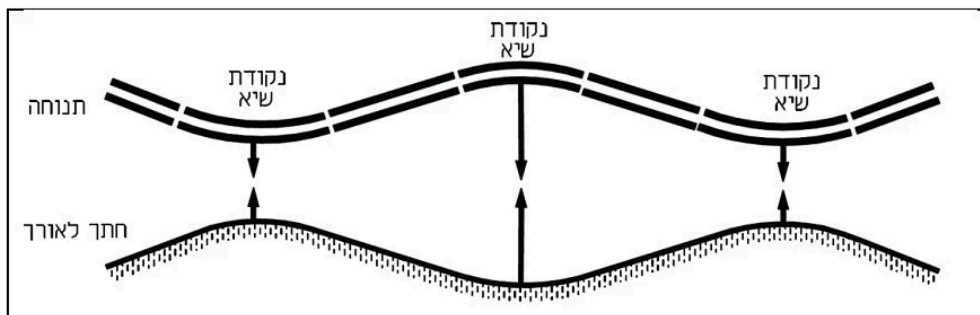
הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



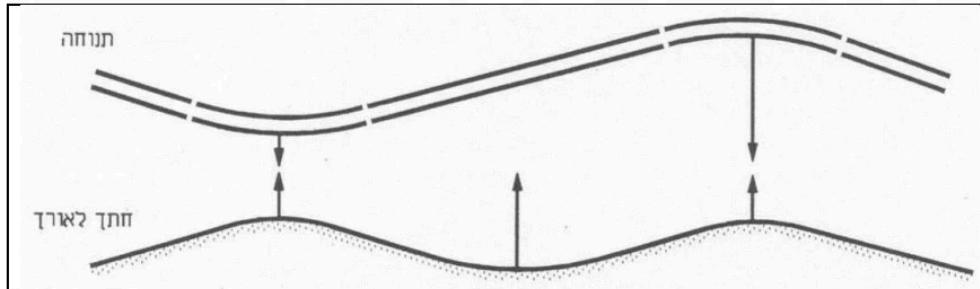
- א. בתכנון משולב של התוואי האופקי והתוואי האנכי רצוי למקם סדרת עקומים אופקיים במקביל לסדרת עקומים אנכיים, ולשלב את העקומים כך, שנקודות החיתוך של משיקי העקום האופקי ומשיקי העקום האנכי יהיו קרובות זו לזו (תרשים 7.3). המרחק המרבי המומלץ בין מיקומי מפגשי המשיקים של שני העקומים, הינו עד 10% מאורך העקום האופקי.
- ב. בתוואי אופקי שבו שני עקומים מנוגדים שביניהם קטע ישר, ניתן למקם עקום קעור כך שמרכזו יתלכד עם מרכז הקטע הישר, כמתואר בתרשים 7.4.
- ג. רצוי להשליך את התוואי האנכי על התוואי האופקי באופן מתואם. מיקום בלתי מתואם של העקומים האופקיים והעקומים האנכיים (תרשים 7.5) איננו רצוי מהבחינה הבטיחותית ומהבחינה החזותית.
- ד. בעקום אופקי ארוך (בסדר גודל של ק"מ) ניתן למקם שני עקומים אנכיים מנוגדים ארוכים ומתונים (תרשים 7.6), ובפרט שהמרחק בין נקודות המשיק של העקום האופקי והעקומים האנכיים (מימין ומשמאל בהתאמה) לא יעלה על 10% מאורך העקום האופקי.
- ה. רציפות הראות: רדיוס העקום האנכי צריך להיות פי 6 מרדיוס העקום האופקי בו הוא משולב, להבטחת רציפות הראות לאורך העקום, תוך התחשבות בכללי קביעת הרדיוסים בפרק 5 לתוואי האופקי ובפרק 6 לתוואי האנכי. כאשר שני העקומים הם ברדיוסים המזעריים המתאימים, יחס זה מתקיים בכל מקרה, ולכן יש לבדוק בעיקר כאשר רדיוס העקום האופקי גדול מהמזערי.



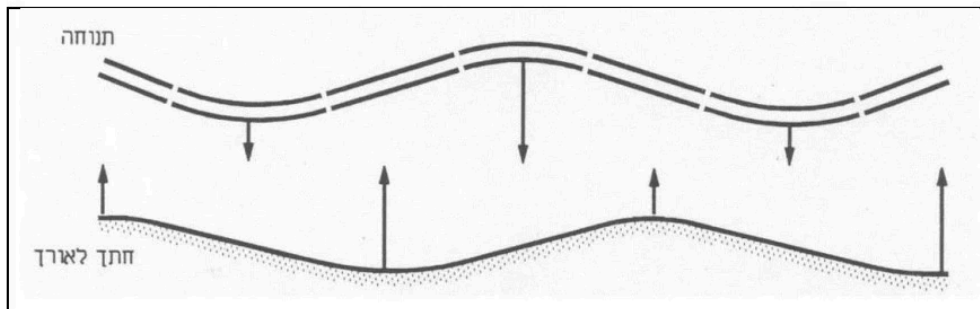
תרשים 7.2: השילוב הרצוי של עקום אופקי ועקום אנכי קעור



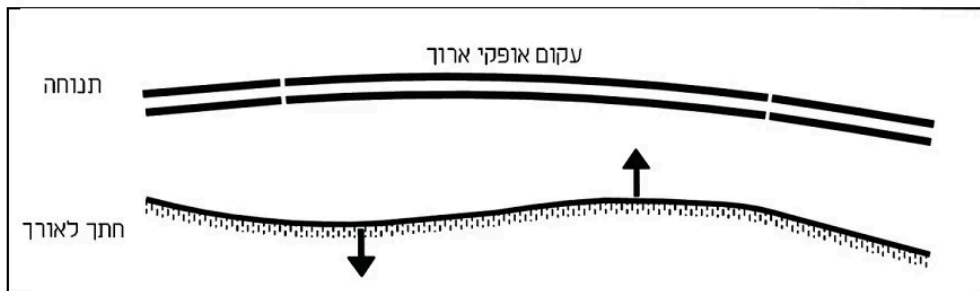
תרשים 7.3: השילוב הרצוי של סדרת עקומים אופקיים ועקומים אנכיים בתוואי



תרשים 7.4: שילוב אפשרי של תוואי אופקי ותוואי אנכי



תרשים 7.5: שילוב בלתי מוצלח של תוואי אופקי ותוואי אנכי



תרשים 7.6: אופן השילוב של עקום אופקי ארוך עם עקומים אנכיים

1. כאשר רדיוס העקום האופקי עולה על 6,000 מטר, או שרדיוס העקום האנכי עולה על 25,000 מטר, אין לשילוב ביניהם השפעה על הראות ועל חזות התוואי. ערכים אלה מייצגים בדרך כלל מהירויות תכן גבוהות, ואם לפחות אחד משני הרדיוסים קטן מהערך הנקוב, כן צריך לבדוק את שילובם בתוואי.
2. רצוי לשמור על איזון בין ערכי המרכיבים הגיאומטריים בתוואי האופקי ובתוואי האנכי, כלומר חשוב שהמרכיבים הגיאומטריים בתוואי האופקי ובתוואי האנכי יתוכננו לפי מהירויות תכן דומות.



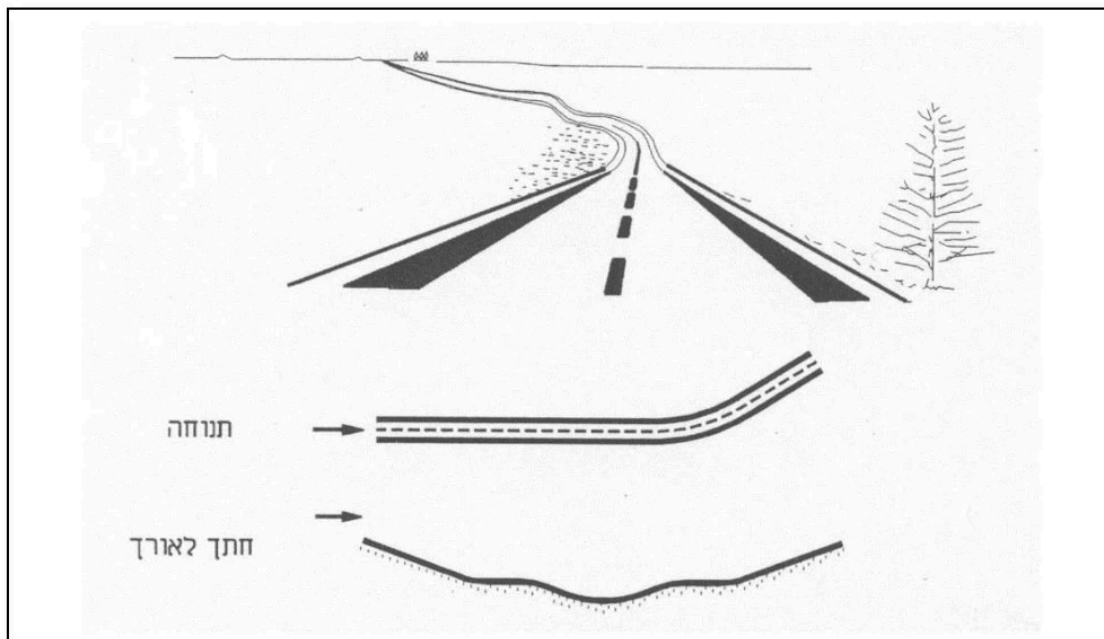
משמעות האיזון הינה יחס מתאים בין עקמומיות התוואי האופקי לבין השיפוע לאורך בתוואי האנכי. לדוגמא: אין לשלב תוואי אופקי ישר ברדיוסים גדולים, עם תוואי אנכי בשיפועים תלולים וארוכים. כמו כן, לא רצוייה עקמומיות אופקית גדולה בשילוב עם תוואי אנכי ללא שיפועים (חוסר איזון בשילוב התוואים).

תכן המהווה פשרה בין הקצוות, מבטיח חזות נאה לתוואי ועמידה בקריטריוני בטיחות, נוחות ותפעול במסגרת מגבלות תנאי השטח.

ח. כאשר נוצר שילוב מורכב של אלמנטים גיאומטריים בתוואי, הדבר מצריך בדיקה תלת-מימדית. הבדיקה הכרחית באזורים בעייתיים מבחינת השילוב והבטחת מטרות חזות וראות מספקים. לבדיקה כזו, ניתן להשתמש בכלים של תכנון סטטי ודינמי: מודלים ממוחשבים משולבים, פרספקטיבות, רצף תמונות פרספקטיביות, מודלים דינמיים תלת ממדיים.

7.2.3 שגיאות אופייניות הנובעות משילוב בלתי מתואם של התוואי האופקי והתוואי האנכי

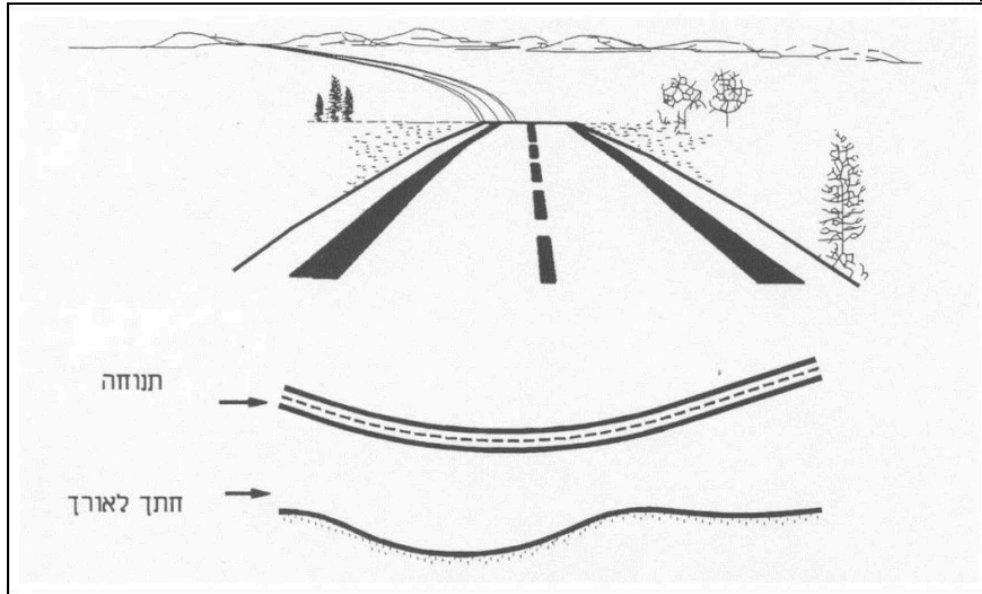
א. סדרת עקומים אנכיים קצרים ומנוגדים המשולבים בעקום אופקי ארוך יוצרת רושם חזותי של גבנוניות התוואי ("roller coaster") בהתאם לתרשים 7.7. ניתן למנוע זאת על ידי הכנסת עקומים אנכיים ארוכים יותר באמצעות הגדלת הרדיוסים.



תרשים 7.7: האפקט החזותי השלילי המתקבל כתוצאה מסדרת עקומים אנכיים קצרים ומנוגדים המשולבים בעקום אופקי ארוך



- ב. אין למקם את תחילת העקום האופקי בעקום קעור המצוי לאחר עקום קמור, מאחר שהתוואי יראה לנהג המתקרב לעקום הקמור כ"מוזז" ובלתי המשכי (תרשים 7.8).
- ג. אין למקם עקום אופקי לאחר תחילת עקום אנכי קמור. שינוי כיוון התוואי יהיה מוסתר מעיני הנהג באופן מסוכן (תרשים 7.9). שילוב העקומים יבוצע בהתאם לסעיף 7.1: "שילוב עקום אופקי עם עקום אנכי".



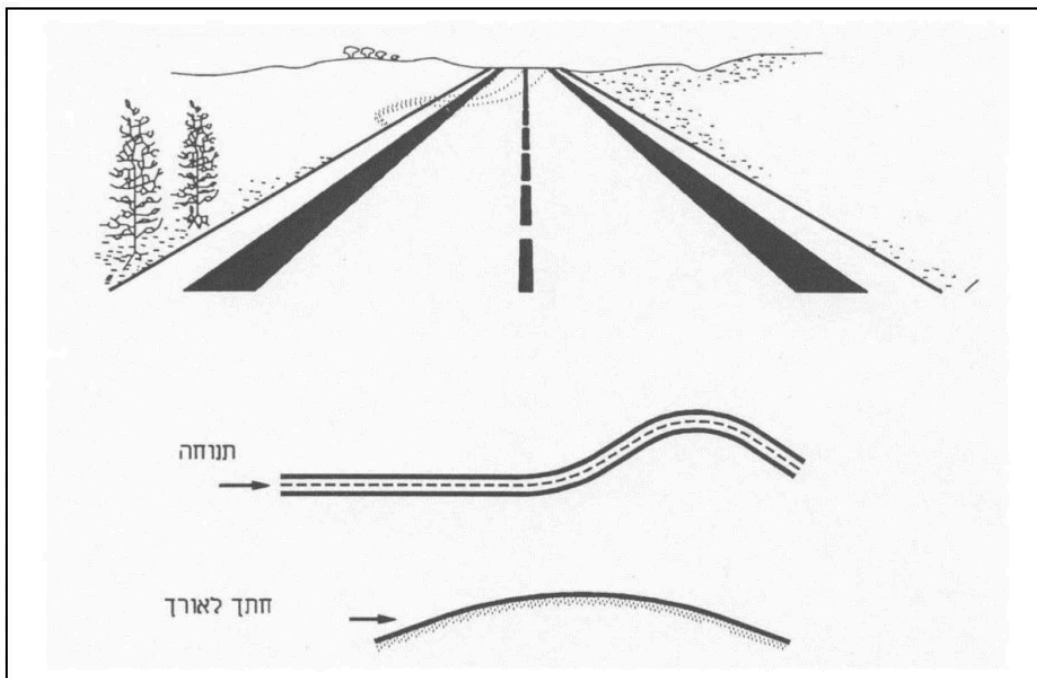
תרשים 7.8: הזזה כתוצאה משילוב לא מוצלח של תוואי אופקי ואנכי

- ד. אין למקם צמתים, מחלפים, מפגשי מסילות ברזל, גשרים וכדומה בתוך או לאחר עקום אנכי קמור, בו מרחק הראות קטן ממרחק הראות להחלטה (תרשים 7.10).
- ה. שילוב של עקום אנכי קעור קצר בקטע דרך בו קיים עקום אופקי, גורם לעיוות בפרספקטיבות שפות הדרך, ולאשליה אופטית של עיוות שפת הדרך. עיוות זה מטעה את הנהג בנוגע למגמת רצף התוואי (תרשים 7.11). העיוות נוצר כאשר יש חפיפה חלקית בין העקומים, או כאשר תחילת הקשת האופקית היא בסוף העקום הקעור – במקרה השני (תחילת קשת אופקית בסוף עקום אנכי קעור) יש גם בעיית אבחנה בעקום האופקי בלילה.
- כאשר העקום הקעור קצר מהעקום האופקי ומוכלל כולו בתוכו, נוצרות שתי נקודות פיתול היוצרות את הרושם שהמיסעה צרה יותר בעקום הקעור (תרשימים 7.11, 7.12). שילוב העקומים למניעת תופעות אלה יבוצע בהתאם לסעיף 7.2.1 לעיל.

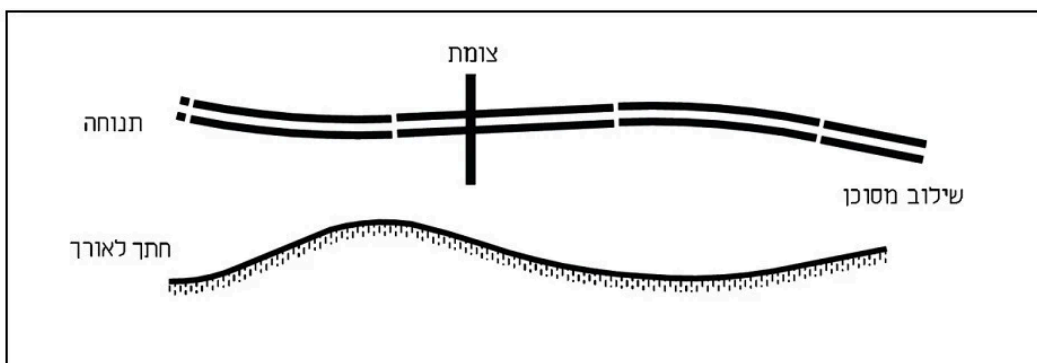
7.2.4 היבטים סביבתיים



רצוי להתאים את התוואי לסביבה, כך שהתרשמותו של הנהג מהסביבה תתאים לכיוון הכללי של התוואי, ותסייע לנהג בחיזוי כיוון הדרך. לדוגמא: כיוון החפירה הנראה לעיניו של הנהג יתאים למגמת הפנייה של התוואי. שורת עצים או עמודים לצד הדרך תתאים לכיוון הכללי של הדרך וכו'. באזורים בהם קיימים אתרי טבע ונוף ייחודיים (נחלים, אגמים, שמורות טבע, מבנים יוצאי דופן), ניתן להשפיע על כיוון התוואי כך שאתרים אלו יהיו גלויים לעיני הנהג. התוואי האופקי יהיה מכוון לכיוון אתרים אלה, והתוואי האנכי יאפשר צפייה אל האתר הרצוי.



תרשים 7.9: שילוב מסוכן של עקום אופקי חד מיד לאחר עקום אנכי קמור הגורם להסתרת העקום אופקי





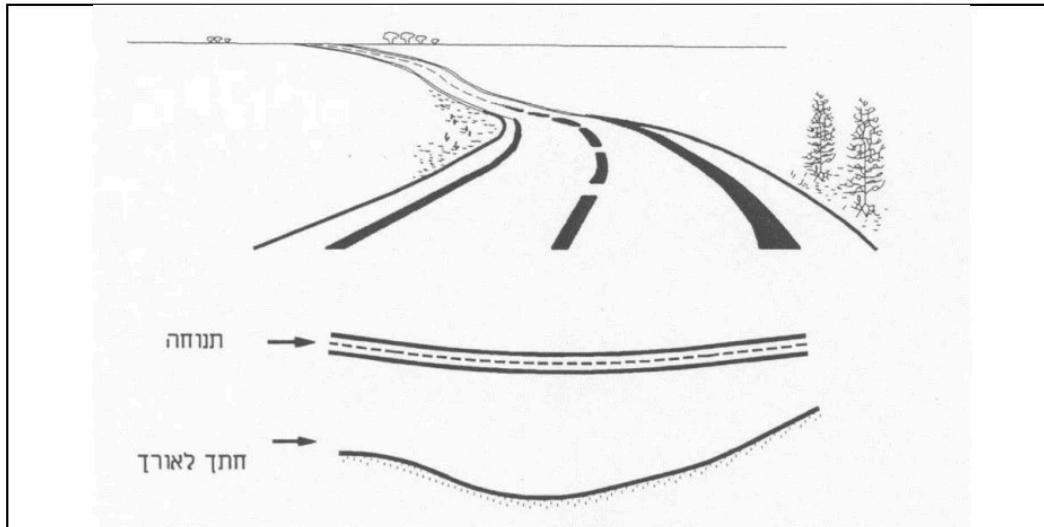
תרשים 7.10: שילוב מסוכן של צומת לאחר עקום אנכי קמור

7-8

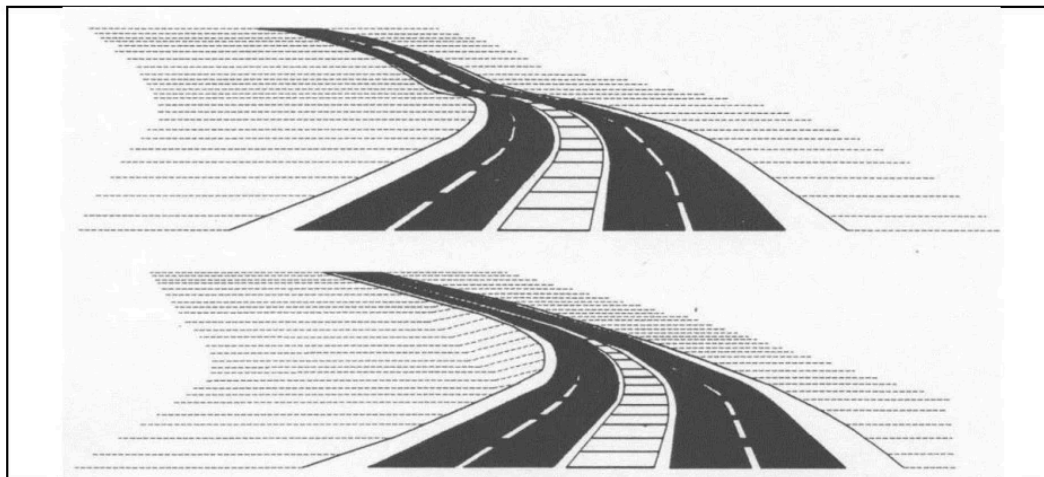
פרק 7 – שילוב התוואי האופקי והתוואי האנכי

כרך 1 – 04/2018

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



תרשים 7.11: אפקט חזותי שלילי המתקבל כתוצאה מעקום אנכי קעור קצר המשולב בעקום אופקי ארוך



תרשים 7.12: הארכת עקום אנכי קעור המשולב בעקום אופקי, לשיפור חזות התוואי