

# הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות

מהדורה שלישית

ניסן תש"ף – אפריל 2020

הוועדה הבין-משרדית  
לבחינת התקני תנועה ובטיחות

## הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות

### קבועים בדרכים בין-עירוניות

#### הוכן ע"י ד"ר ויקטוריה גיטלמן, פרופ' שלום הקרט, ד"ר בני פרישר

בליווי הוועדה הבין-משרדית לבחינת התקני תנועה ובטיחות, במינוי מנכ"ל משרד התחבורה והבטיחות בדרכים.

#### הרכב הוועדה:

- אינג' אלה פונאמרב
- אינג' אלה פונאמרב – אגף בכיר תכנון תחבורתי, משרד התחבורה והבטיחות בדרכים – יו"ר ומנהלת הוועדה
- אינג' הראל דמתי
- אינג' מאריה כהן-אתגר
- אינג' ישעיהו רונן
- אינג' שמעון נסיכי, אינג' גליה אידלסון (מ"מ)
- אינג' אריק פולונסקי
- אינג' דני ירס, אינג' אלכס ויאזמנסקי (מ"מ)
- אינג' נועם יהלום
- אינג' רביבה אנוקוב
- מר זאב גולדנברג
- גב' מיכל שמעון
- אינג' פרנצ'סקה לביא, אינג' מיטל בלולו
- רפ"ק אינג' שלמה לוז,
- רפ"ק אינג' אנטולי מדניקוב (מ"מ)
- אינג' גיא שכטר
- אינג' ולד זסלבסקי
- אינג' נאיף נג'ם
- אינג' רחלי בורד-עדן
- אינג' סהר מזרחי
- אינג' לב קרשילסקוב
- פרופ' שלום הקרט, ד"ר בני פרישר,
- ד"ר ויקטוריה גיטלמן, אינג' אדריאן קוטרש
- אינג' יובל בלום, ד"ר קרולין מטר, ד"ר דן לינק – יועצים מדעיים לוועדה
- אגף בכיר תכנון תחבורתי, משרד התחבורה והבטיחות בדרכים – יו"ר ומנהלת הוועדה
- משרד התחבורה והבטיחות בדרכים – מ"מ יו"ר
- הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים
- יועץ מטעם המפע"ת הארצי
- חב' "נתיבי ישראל"
- חב' "יפה נוף", עיריית חיפה
- חב' "כביש חוצה ישראל"
- חב' "דרך ארץ" בע"מ
- חב' "נתיבי היובל" בע"מ
- אגף שפ"ע, עיריית ירושלים
- אגף התנועה, עיריית ת"א
- חב' "נתיבי איילון"
- אגף התנועה, משטרת ישראל
- מהנדס אחזקה ראשי, רכבת ישראל
- מח' תנועה, עיריית חיפה
- חב' "דרך הצפון" בע"מ
- משרד הביטחון
- רשות תימרוור לפרווייקטי "שפיר הנדסה"
- חב' "נת"ע"



כ"ה בניסן תש"פ  
19 באפריל 2020

**הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות  
קבועים בדרכים בין-עירוניות (מהדורה שלישית)**

משרד התחבורה משקיע משאבים רבים במטרה לקדם את התפיסה של תשתית סלחנית ברשת הדרכים, לשיפור בטיחותם של משתמשי הדרך המעורבים בתאונות עצמיות. מעקה בטיחות הוא התקן הבטיחות הנפוץ ביותר ברשת הדרכים, אשר מתפרס בישראל על פני אלפי קילומטרים של כבישים.

הציפייה הינה שתרומתם הבטיחותית של מעקות הבטיחות תתבטא היטב בהקטנת מספר הנפגעים ובחומרת תאונות הדרכים. אך כדי לעמוד בציפייה זו, על מעקות הבטיחות לענות על דרישות מסוימות לתכונותיהם התפקודיות, להיות מתוכננים ומותקנים נכון, ולהתאים לדרישות השטח.

הנחיות אלה באות לפרט ולהקל על היישום של מעקות הבטיחות בדרכים הבין-עירוניות בישראל. מהדורות קודמות של ההנחיות פורסמו ע"י משרד התחבורה ב-2004 ו-2005. כאן מובאת מהדורה שלישית ומעודכנת, המתווה את הכללים העיקריים לאיפיון, בחירה ואופן ההצבה של המעקות. נכללו בה גם התייחסויות לשינויים שחלו בתקינה האירופאית EN-1317 ובדוח ההנחיות האמריקאי MASH 2009, בנוסף לניסיון הרב שהצטבר אצלנו.

אני תקווה כי מהדורה זו תשפר את השימוש הנכון במעקות הבטיחות בדרכים הבין-עירוניות בישראל ותביא להעלאת רמת הבטיחות של רשת כבישים זו.

בברכה,

יעקב (קובי) בליטשטיין  
המשנה למנכ"ל  
המפקח הארצי על התעבורה  
וסמנכ"ל תכנון ופיתוח תשתיות

## הקדמה

מסמך זו מהווה עדכון להנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות שהתפרסמו בשנת 2005.

שימוש במעקות הבטיחות מהדור החדש – כאלה שעומדים בדרישות של התקנים החדשים באירופה או בארה"ב – קיים בישראל כבר קרוב לשני עשורים. היישום השיטתי של מעקות הבטיחות החדשים והתקני בטיחות נוספים המלווים אותם – סופגי אנרגיה, התקני קצה, פסי מגן לרכב דו-גלגלי, תרם לקידום תנאי דרך סלחניים בחלק ניכר מרשת הדרכים בישראל.

לאורך השנים, חלו התפתחויות רבות בשימוש במעקות הבטיחות, בעולם ובישראל. מטרת המסמך הנוכחי הינה לספק תמונה עדכנית לגבי כללי הבדיקה ואופן ההצבה של מעקות הבטיחות בדרכים הבין-עירוניות בישראל. כמו כן, המסמך מספק מענה לסוגיות השונות בנוגע לשימוש במעקות הבטיחות, בתנאי דרך ותנועה שונים.

בין היתר, במסגרת הכנת ההנחיות, נערך עדכון להצדקים להצבת מעקות הבטיחות ולתנאי הערכת דרגות תפקוד המעקות, לפי התקינה העדכנית; נערך עדכון לרמות תפקוד המעקות הנדרשות באתרים השונים ולפרטי הצבתם, לרבות התייחסות למאפייני הרוחב הפעיל של המעקה וחדירת הרכב; הוצג נושא הדרישות להתקני-קצה ולקטעי-מעבר בין מעקות, לפי התקינה הבינלאומית; הורחב הנושא של פתרונות קצה למעקות, בתנאי דרך ותנועה שונים. העדכונים שנערכו בהנחיות התבססו על ממצאי הספרות הבינלאומית, בחינת הניסיון המעשי בשטח ודיונים מקצועיים רבים עם גורמים הנדסיים.

תודתנו נתונה לחברי הוועדה הבין-משרדית לבחינת התקני תנועה ובטיחות על הדיונים המעמיקים והפוריים בכל אחת מהסוגיות שהועלו בעדכון ההנחיות.

היות ונושאי הפיתוח והיישום של מעקות הבטיחות מתפתח כל הזמן, סביר כי בעתיד, עם התקדמות השימוש המעשי במעקות בשטח וההתפתחויות בעולם, יידרשו שינויים נוספים לחוברת זו.

נשמח לקבל הצעות לתיקונים, הארות והערות לתוכן המסמך ליו"ר ומנהלת הוועדה הבין-משרדית לבחינת התקני תנועה ובטיחות, אינג' אלה פונאמרב.

המחברים

## תוכן העניינים

<b>פרק 1: מבוא</b>	<b>1</b>
1.1 רקע	1
1.2 תפקידו של מעקה הבטיחות	3
1.3 תכולת ההנחיות	4
<b>פרק 2: תכנון פרטי הדרך לביטול הצורך במעקה</b>	<b>5</b>
2.1 כללי	5
2.2 מאפייני צידי הדרך לביטול הצורך במעקה בטיחות	6
<b>פרק 3: הצדקים להצבת מעקות הבטיחות</b>	<b>12</b>
3.1 כללי	12
3.2 הצדקים להצבת מעקות הבטיחות בצידי הדרך	12
3.2.1 מבוא	12
3.2.2 שיפוע תלול וסוללה גבוהה – קריטריון אמפירי	13
3.2.3 רוחב אזור המפלט אינו מספיק	13
3.2.4 אזור של סיכון גבוה	15
3.2.5 מכשולים בצד הדרך	16
3.2.6 שימוש במעקות בטיחות בדרכים דלות-תנועה	17
3.3 הצבת מעקות בטיחות במפרדה	18
<b>פרק 4: הגדרת התנאים לבחירת מעקות בטיחות</b>	<b>19</b>
4.1 כללי	19
4.2 הערכת דרגות תפקוד של מעקות הבטיחות, לפי דרישות שני התקנים	19
4.2.1 התקן האירופי	19
4.2.2 התקן האמריקני	28
4.2.3 ההקבלה בין דרישות התקנים	31
4.3 רמות תפקוד נדרשות של מעקות הבטיחות בישראל	32
4.4 שיקולים לבחירת סוג המעקה להתקנה	35
4.5 כללים להחלפת מעקות מיושנים	38
<b>פרק 5: פרטי הצבה של מעקות הבטיחות</b>	<b>39</b>
5.1 פרטי הצבה של מעקה הבטיחות בצד הדרך	39
5.1.1 מיקום מעקה הבטיחות בצד הדרך	39
5.1.2 גובה מעקה הבטיחות	43
5.1.3 שימוש באבן שפה	44
5.1.4 קביעת האורך הדרוש של מעקה הבטיחות	44

50	פתרונות קצה למעקה	5.2
50	כללי	5.2.1
51	שימוש בהתקן-קצה למיגון קצה מעקה	5.2.2
52	הסטה צידית של קצה מעקה	5.2.3
54	פתרונות קצה נדרשים למעקות	5.2.4
55	פתרונות סיום למעקות ליד פתחים לצורך חיבורים בצד הדרך	5.3
57	קטעי-מעבר בין מעקות הבטיחות	5.4
57	כללי	5.4.1
58	הערכת דרגות תפקוד של קטעי-המעבר	5.4.2
60	שימוש בקטעי-המעבר	5.4.3
61	פרטי הצבה של מעקה בטיחות במפרדה	5.5
61	כללי	5.5.1
61	מיקום מעקה הבטיחות במפרדה	5.5.2
62	אורך, גובה המעקה ופתרונות קצה במפרדה	5.5.3
63	התקנת מעקה במפרדה באזור הצומת	5.5.4
65	חתכים טיפוסיים להצבת מעקות הבטיחות	5.6
66	סוגיות נוספות בהצבת מעקות	5.7
67	<b>נספח א': שימוש במעקות הבטיחות בדרך נופית</b>	
72	<b>נספח ב': שיקולים לבחינת רמת תפקוד נדרשת של מעקות ברמפות מחלפים</b>	
74	<b>נספח ג': התחשבות בפרמטר VI בתכנון הצבת המעקה, כתלות בגובה המכשול</b>	
77	<b>נספח ד': הערכת דרגות תפקוד של התקני-קצה לפי דרישות שני התקנים</b>	
85	<b>מקורות ספרות</b>	

## רשימת איורים

- איור 1.1: דוגמאות למעקות הבטיחות המותקנים בצידי דרכים.....3
- איור 2.1: שתי גישות עיקריות להבטחת תנאי דרך סלחניים.....5
- איור 2.2: מרכיבי חתך הדרך בהגדרת אזור המפלט בצידי המיסעה.....7
- איור 2.3: דוגמא לתכן של תחום התאוששות עם מדרון תלול מ-4:1 בתוך אזור המפלט.....8
- איור 2.4: חתך מועדף של תעלת הניקוז עם שינוי חד בשיפועי הדפנות.....10
- איור 2.5: חתך מועדף של תעלת הניקוז עם שינוי הדרגתי בשיפועי הדפנות.....11
- איור 3.1: הצדקים להצבת מעקה בטיחות בקטעי מילוי, בתלות בתנאי הסוללה, במספר המסלולים ובנפחי התנועה.....14
- איור 3.2: הצדק להצבת מעקה הבטיחות בתלות בתנאי החפירה.....15
- איור 4.1: סטייה דינמית (Dm), רוחב פעיל (Wm) וחדירת רכב (VIm) הנמדדים במבחן.....23
- איור 4.2: דוגמאות למיקום הרכב לעומת אזור יציאה מוגדר.....27
- איור 4.3: תנאי מבחן למעקות בטיחות לפי מדריך MASH.....30
- איור 5.1: מיקום מעקה הבטיחות בצד הדרך.....40
- איור 5.2: דוגמא לחתך מאולץ – התקנת מעקה בטיחות לפני מכשול קשיח.....41
- איור 5.3: דוגמא לחתך מאולץ – התקנת מעקה בטיחות על גבי סוללה גבוהה.....42
- איור 5.4: מקרים בהם פרמטר ה-VI גדול יותר מהרוחב הפעיל (W) של המעקה.....42
- איור 5.5: דוגמאות להשפעת פרמטר VI על חתכים טיפוסים (כאשר  $VI > W$ ).....43
- איור 5.6: פרמטרים לקביעת האורך הדרוש ("x") של קטע המעקה בהתקרבות למכשול.....46
- איור 5.7: הערכת האורך הדרוש של קטע המעקה בהתקרבות למכשול, בתנאים:  $L_1=8, L_2=3$ , נפח תנועה מעל 10,000 כלי רכב ביממה.....48
- איור 5.8: פרמטרים לקביעת האורך הדרוש ("x") של קטע המעקה בהתרחקות מהמכשול.....49
- איור 5.9: שני מצבים של קטע סיום של מעקה.....51
- איור 5.10: תנאי שטח נדרשים ליישום הסטת קצה מעקה.....53
- איור 5.11: פתרונות עם קצה מעקה מוסט הנמצאים בשימוש בארה"ב.....54
- איור 5.12: פתחים לצורך חיבורים בצד הדרך – טיפול בקצוות של מעקות.....57
- איור 5.13: הדגמת היתפסות רכב ב-"כיס" שנוצר עקב הבדלי גמישות בין שני מעקות.....58
- איור 5.14: אורך קטע-מעבר (הצגה סכמתית).....58
- איור 5.15: דוגמאות לקטעי-מעבר בין מעקות הבטיחות.....59
- איור 5.16: מעקות בטיחות במפרדה המוצבים לפני מכשול קשיח.....63
- איור 5.17: היעדר מעקה במפרדת ליד שטח הצומת – דוגמאות.....64
- איור 5.18: דוגמאות להתקנת מעקות הבטיחות על גבי מפרדה בקרבת צומת מרומזר.....65
- איור ג.1: מדידת חדירת הרכב (VI) במבחן התנגשות עם רכב משא.....74

- איור ד.1: כיווני גישה של רכב במבחני התנגשות בהתקני-קצה, בתקן האירופי .....79
- איור ד.2: אזורי תזוזה צידית קבועה של התקני-קצה במבחנים, בתקן האירופי .....81
- איור ד.3: הגדרת אזור יציאת רכב במבחנים להתקני-קצה, בתקן האירופי .....82

## רשימת טבלאות

- טבלה 2.1: תכנון סלחני – הרוחב המומלץ של אזור המפלט מקצה המיסעה  
8 בקטעי מילוי או חפירה, לרבות השול
- טבלה 2.2: מקדמי הגדלת רוחב אזור המפלט בעקום אופקי  
9
- טבלה 3.1: הצדקים להצבת מעקה בטיחות בתלות בתנאי החפירה  
15
- טבלה 3.2: עצמים קבועים בצד הדרך, שלפניהם יש לשקול הצבת מעקה בטיחות  
16
- טבלה 3.3: המרחק המזערי למכשול בצד הדרך שאינו מחייב הצבת מעקה בטיחות  
17
- טבלה 4.1: תיאור מבחני התנגשות הרכב לפי התקן האירופי  
20
- טבלה 4.2: רמות בלימה לפי התקן האירופי  
21
- טבלה 4.3: רמות חומרת ההתנגשות לפי התקן האירופי  
22
- טבלה 4.4: רמות רוחב פעיל מנורמל לפי התקן האירופי  
25
- טבלה 4.5: רמות חדירת רכב מנורמלת לפי התקן האירופי  
25
- טבלה 4.6: פרמטרים למבחני התנגשות במעקות לפי התקן האירופי  
26
- טבלה 4.7: מרחקים להגדרת אזור יציאה של רכב (exit box)  
28
- טבלה 4.8: רמות מבחן למעקות בטיחות לפי המדריך האמריקני MASH  
30
- טבלה 4.9: קריטריוני קבלה במבחני התנגשות למעקות לפי מדריך MASH  
31
- טבלה 4.10: תנאים של מבחני ההתנגשות שברקע רמות התפקוד של מעקות הבטיחות,  
בתקן האירופי ובתקן האמריקני  
32
- טבלה 4.11: רמות תפקוד נדרשות של מעקות הבטיחות בדרכים הבין-עירוניות  
33
- טבלה 4.12: רמות תפקוד נדרשות של מעקות הבטיחות בדרכים עם תנועה דלילה  
ומהירויות נמוכות  
35
- טבלה 5.1: ערכים מומלצים לפרמטר  $L_R$  לחישוב האורך הדרוש של המעקה,  
בהתקרבות למכשול  
46
- טבלה 5.2: פתרונות קצה נדרשים למעקות הבטיחות בדרכים הבין-עירוניות  
55
- טבלה 5.3: המלצות לאורך מזערי של קטעי-המעבר בין מעקות  
61
- טבלה א.1: רוחב דרוש של אזור המפלט בדרך נופית עם תנועה דלילה ומהירויות נמוכות  
68
- טבלה א.2: מקדמי הגדלת רוחב אזור המפלט בעקום אופקי,  
בדרך נופית עם תנועה דלילה ומהירויות נמוכות  
69
- טבלה א.3: עצמים קשיחים בצד דרך נופית  
69
- טבלה א.4: מעבירי מים ומתקני ניקוז בצד דרך נופית  
69
- טבלה א.5: שיפועי מילוי וחפירה בצד דרך נופית  
70
- טבלה א.6: מפגעים אחרים בצד דרך נופית  
71
- טבלה ב.1: רמת תפקוד נדרשת של מעקה ברמפת יציאה מדרך דו-מסלולית או מהירה  
לדרך ממדרג נמוך יותר, בהתאם לתנאי הדרך והתנועה  
72

טבלה ב.2:	רמת תפקוד נדרשת של מעקה ברמפת יציאה מדרך חד-מסלולית לדרך ממדרג גבוה יותר, בהתאם לתנאי הדרך והתנועה.	73
טבלה ד.1:	מבחני התנגשות ורמות תפקוד להתקני-קצה, לפי התקן האירופי.	78
טבלה ד.2:	רמות חומרת התנגשות של התקני-קצה, בתקן האירופי.	80
טבלה ד.3:	קטגוריות של תזוזה צידית קבועה להתקני-קצה במבחנים, בתקן האירופי.	81
טבלה ד.4:	קטגוריות של אזור יציאת רכב במבחנים להתקני-קצה, בתקן האירופי.	82
טבלה ד.5:	מבחני התנגשות להתקני-קצה, לרמת תפקוד TL3, לפי MASH (2009).	84
טבלה ד.6:	הקבלה בין רמות תפקוד של התקני-קצה, בתקינה האמריקנית לעומת התקינה האירופית.	84

# פרק 1: מבוא

## רקע

בעשורים האחרונים חלה התפתחות מואצת של התקני הבטיחות המיועדים להתקנה בצידי הדרך. המונח "התקני בטיחות" (המונחים המקבילים באנגלית הם: road restraint systems, באירופה, או safety hardware, בארה"ב) מתייחס למגוון האמצעים אשר נועדים למנוע מכלי הרכב לצאת מתחום הדרך ולהפחית את הפגיעה בנוסעי הרכב. קבוצת התקנים זו כוללת מעקות בטיחות, סופגי אנרגיה, התקני קצה וקטעי מעבר בין מעקות, הן קבועים והן זמניים, המותקנים בצד הדרך או במפרדה.

על מנת להבטיח סדר בשימוש בהתקני הבטיחות בשטח, פותחו באירופה ובארצות הברית תקנים לקביעת דרגות תפקוד של סוגי ההתקנים, באמצעות מבחני התנגשות סטנדרטיים. באירופה, התקנים המתייחסים להתקני הבטיחות נקבעים על-ידי CEN – הוועדה האירופאית לתקינה. פרקים ראשונים של התקן האירופי שמספרו EN 1317, נכנסו לתוקף בסוף שנות התשעים. התקן מפרט את הקריטריונים לקבלת מבחני ההתנגשות ואת שיטות המבחן להתקני בטיחות שונים, לרבות: מעקות בטיחות (safety barriers), סופגי אנרגיה (crash cushions), התקני-קצה למעקות (terminals), קטעי-מעבר בין מעקות (transitions). בעשור האחרון, פורסמו עדכונים לפרקים השונים של תקן EN 1317. בין היתר, העדכונים בנוגע לבחינה ולאישור של מעקות הבטיחות, בחלקים 1-2 ו-5 של התקן האירופי, נכנסו לתוקף בשנים 2011 ו-2012.

הדרישות האמריקניות לבחינת התקני הבטיחות פורסמו בשנת 1993, כדו"ח מחקר NCHRP 350, מטעם הוועדה האמריקנית למחקר תחבורה (TRB – Transportation Research Board). הדו"ח פירט את מרכיבי הנהלים להערכת תפקוד בטיחותי למספר קבוצות של התקנים, לרבות מעקות בטיחות, סופגי אנרגיה והתקני-קצה למעקות. על אף היותו "נהלים מומלצים" (recommended procedures), הדו"ח NCHRP 350 שימש לאורך השנים כבסיס לבחינה ולאישור של התקני הבטיחות בארה"ב, ע"י רשות הדרכים האמריקנית (FHWA – Federal Highway Administration). בשנת 2009, פורסם עדכון לדרישות האמריקניות, בצורת "מדריך להערכת התקני בטיחות" (MASH – Manual for Assessing Safety Hardware), אשר נכנס לתוקף בשנת 2011. מדריך ה-MASH פורסם ע"י AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), ומשמעותו אימוץ רשמי של מבחני ההתנגשות להערכת התקני הבטיחות.

התקנים שפותחו לבחינת התקני הבטיחות, באירופה ובארה"ב, משקפים את הצורך בגישה אחידה לכל סוגי ההתקנים המוצעים בשוק, מבחינת הערכתם האובייקטיבית והתאמתם ליישום בשטח. בדיונים מקצועיים רבים, הן באירופה והן בארה"ב, עוד בשנות התשעים, צוין כי תהליך ההרמוניזציה בתקינה להתקני הבטיחות יבטיח איכות ראויה של המוצרים המגיעים לשטח, בטיחות גבוהה יותר בדרך (עקב

תפקודם המתוכנן של ההתקנים), התאמה גבוהה יותר בין ההתקנים השונים, ובסופו של דבר, עלויות מאוזנות יותר של התקני הבטיחות המיושמים.

הצורך בפיתוח דור חדש של מעקות הבטיחות, אשר יהיו סלחניים יותר לרכב המתנגש, היה ניכר גם בעובדה שבתחילת שנות התשעים מעקות הבטיחות היו מעורבים בחלק משמעותי מהפגיעות בתאונות הדרכים. לדוגמא, מעקות הבטיחות דאז היו מעורבים בכ-20% מהתאונות עם נפגעים, וכן גרמו לכ-20% מההרוגים וליותר מ-20% מהמאושפזים בעקבות התאונות בדרכים המהירות במדינות אירופה<sup>1</sup>.

הגישה האחידה לבחינת התקני הבטיחות אומצה גם בישראל. קרוב לשני עשורים פועלת בישראל הוועדה הבין-משרדית לבחינת התקני תנועה ובטיחות, בראשות משרד התחבורה (להלן: הוועדה הבין-משרדית). הוועדה בודקת את ההתקנים המובאים לשימוש בישראל ואת אלה שמיוצרים בישראל, מבחינת עמידתם בדרישות התקנים העדכניים באירופה או בארה"ב. מעקות הבטיחות אשר עמדו בדרישות התקנים החדשים באירופה (או בארה"ב) מוכרים כמעקות חדשים/תקניים. בישראל, החל משנת 2003, בכל המכרזים החדשים של רשויות הדרך, ובפרויקטי שדרוג ואחזקה של הדרכים הקיימות, ניתן ליישם מעקות בטיחות חדשים/תקניים בלבד – כאלה שעמדו בדרישות התקינה החדשה ואושרו ע"י משרד התחבורה, באמצעות הוועדה הבין-משרדית.

לאורך השנים, הוועדה הבין-משרדית אישרה לשימוש בישראל סוגים רבים של מעקות בטיחות. לאחר אישורם לשימוש, התקנים אלה עתידים להיות מיושמים בשטח. לכן, התעורר הצורך בפירוט הנהלים לגבי בחירת סוגי המעקות המתאימים לתנאי הדרך, וכן לגבי אופן הצבת המעקות.

התנאים להצבת מעקות הבטיחות בצד הדרך ובמפרדה הופיעו לראשונה בהנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות אשר פורסמו על-ידי מע"צ (היום – נתיבי ישראל), בשנת 1994. כמקור לפרקים אלה בהנחיות שימשו ממצאי דו"ח מחקר של המכון לחקר התחבורה בטכניון (הקרט, גוטמן, ליבנה, 1992). החלקים ששולבו בהנחיות משנת 1994, התייחסו בעיקר לשיקולים ולהצדקים להצבת מעקות, ללא פרטי ההצבה. כמו כן, מטבע הדברים, במסמכים אלה לא נמצא עדיין ביטוי לתפיסה המקובלת היום לבחירת מעקות הבטיחות – עמידתם במבחני התנגשות סטנדרטיים וקביעת רמות התפקוד.

על מנת להתאים את נהלי הבחירה וההצבה של המעקות למדיניות החדשה ולספק מענה לסוגיות השימוש במעקות החדשים בשטח, הכינה הוועדה הבין-משרדית "הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות" (2005) ו-"הנחיות לבחירה ולהצבה של התקני בטיחות בדרכים עירוניות" (2005). המסמכים הללו הנחו את השימוש במעקות בטיחות קבועים בישראל בעשור וחצי האחרונים, תוך כדי קידום של המדיניות החדשה – יישום התקני הבטיחות שעמדו במבחני התנגשות סטנדרטיים, לפי התקנים החדשים.

המסמך הנוכחי מביא עדכון להנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים הבין-עירוניות, בעקבות השינויים שחלו בעשור האחרון בתקינה הבינלאומית ובהנחיות לשימוש במעקות

<sup>1</sup> ראו לדוגמא: Schoon (1997)

הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות

במדינות המתקדמות, לרבות עדכון סקר הספרות, וגם לאור ההתפתחויות במעקות הבטיחות שנצפו בתעשייה. כמו כן, העדכון נסמך על הניסיון שנצבר בארץ בשימוש במעקות הבטיחות, כאשר הוא שואף לסגור את הפערים שנמצאו בין ההנחיות הקודמות לבין המצב בשטח. הקריטריונים להצבת מעקות הבטיחות והשיקולים לבחירתם, מתבססים על סקר ספרות מעודכן אשר כלל מסמכי תקינה, פרסומים מחקריים ומסמכים מנחים בנושא שפורסמו על-ידי הרשויות בארצות שונות ובעיקר, באירופה, ארה"ב ואוסטרליה.

ההנחיות הכלולות במסמך זה הן הנוהל לשימוש במעקות בטיחות קבועים בישראל, בהתאם לסוג הדרך, מאפייני הדרך והתנועה. לפי ההנחיות ניתן לבחור במעקה המתאים לנסיבות הקיימות באתר מסוים, תוך כדי הבטחת בטיחות מיטבית למשתמשי הדרך ולנמצאים בסמוך לה.

## 1.1 תפקידו של מעקה הבטיחות

מעקה הבטיחות הינו התקן המיועד להתקנה בקצה שול הדרך או במפרדה. תפקיד המעקה הוא למנוע מכלי רכב שסטה מדרכו לצאת מתחום הדרך, ולכוונו בחזרה לשטח המתוכנן לתנועה. איור 1.1 מביא דוגמאות למעקות הבטיחות המותקנים בצידי דרכים ובמפרדות.



איור 1.1: דוגמאות למעקות הבטיחות המותקנים בצידי דרכים

הצורך בשימוש במעקות הבטיחות בצד הדרך נובע מחוסר סלחניות של השטח שמעבר לשוליים כגון: הימצאות מכשולים ו/או סוללה גבוהה ותלולה. כתוצאה מתנאים אלה, בין רבע עד שליש מהתאונות עם נפגעים, ברמות חומרה קשה וקטלנית, בייחוד בשטח הלא-עירוני, הן תאונות רכב יחיד. בשנות התשעים, תופעה זו של תאונות רכב יחיד, הנובעת מהמצב הלא-סלחני של צידי הדרך, תועדה במדינות רבות בעולם, כולל ישראל.

בעקבות התקנת מעקות הבטיחות, נצפית לרוב ירידה בחומרת התאונות, ואף בשכיחות התאונות המדווחות. באופן דומה, מעקה הבטיחות שמותקן במפרדה של דרך דו-מסלולית, מונע חלק משמעותי מתאונות חציית המפרדה, לרבות התנגשויות עם התנועה במסלול הנגדי. על-פי הערכות בינלאומיות, התקנת מעקה הבטיחות בצד הדרך תורמת לירידה של 44% בתאונות קטלניות, ו-47% בכלל התאונות

עם נפגעים, בעוד שהתקנת מעקה הבטיחות במפרדה תורמת לירידה של 43% בתאונות הקטלניות ו-30% בכלל התאונות עם נפגעים.<sup>2</sup>

השיקולים להצבת מעקה הבטיחות נובעים משילוב של שני תנאים: ההסתברות שרכב יסטה מתחום הדרך, וההסתברות שהרכב ייתקל במכשול אשר יגרום לפגיעה בנוסעים או לנזקים לרכב. המכשול הוא, לרוב, עצמים קבועים כגון: עמודי תאורה ושילוט, עמודי גשר, תעלה עמוקה, סלע וכו', או כלי רכב אשר נוסע בכיוון הנגדי. מבחינת הצורך בהצבת המעקה, יש לשקול האם הנזק הנגרם לאחר הצבת המעקה אינו גדול יותר מאשר הנזק לרכב ולנוסעיו, אשר היה נגרם באותם התנאים ללא המעקה. כמו כן, יש לשקול תחילה האם אפשר לתכנן את סביבת הדרך בצורה שלא תצריך מעקה כלל. עקב שיקולים אלה, ניתן להתייחס למעקה הבטיחות כאל מרכיב מפריע אך חיוני, אותו מציבים רק כאשר הנזק שלאחר הצבתו קטן יותר מהנזק אשר היה נגרם לולא הוצב, או לו נבחרה חלופה אחרת.

כמו כן, יש לזכור כי מעקה הבטיחות נועד למלא שני תפקידים סותרים: מחד, לעצור את הרכב כדי למנוע ממנו לצאת מתחום הדרך, ומאידך, להפחית את הפגיעה בנוסעי הרכב. ככל שהמעקה קשיח יותר, הוא ימלא טוב יותר את הדרישה הראשונה, אך כדי למלא אחר הדרישה השנייה, על המעקה להיות גמיש וסלחני. המעקה היעיל צריך, על כן, להימצא ב"שביל הזהב" בין דרישות מנוגדות אלה.

## 1.2 תכולת ההנחיות

מסמך הנחיות זה מפרט הצדקים לשימוש, כללים לבחירה, ודרישות להצבת מעקות בטיחות קבועים, בדרכים הבין-עירוניות בישראל. נהלי שימוש אלה תקפים הן לגבי הדרכים הקיימות והן לגבי הדרכים המתוכננות, אשר באחריות הגופים הציבוריים.

בנוסף, מסמך זה מתייחס להתקני בטיחות משלימים למעקות הבטיחות – התקני-קצה למעקות, וקטעי-מעבר בין מעקות שונים. עבור התקנים אלה מפורטים כללים לבחירה ודרישות להצבה, בסמוך למעקות הבטיחות. הכללים לשימוש בקבוצה נוספת של התקני הבטיחות – סופגי אנרגיה, מפורטים במסמך עדכני נפרד – "הנחיות לבחירה ולהצבה של סופגי אנרגיה" (2016). כן מצויות כעת בעדכון ההנחיות מ-2006 לבחירה ולהצבה של מעקות ליישומים זמניים.

המסמך הנוכחי מפרט דרישות להצבת מעקות בטיחות בצידי הדרך ובמפרדה, אך אינו מביא פרטים לגבי דגמים מסוימים של מעקות. מידע מפורט לגבי החומרים, פרטי התקנה, חיבור ותפקוד של דגמי המעקות וכו', ניתן למצוא במפרטים הטכניים לדגמי המעקות המסופקים על-ידי היצרנים. מידע תמציתי בנוגע לדגמי המעקות אשר אושרו לשימוש בישראל ניתן למצוא בחוברת "התקני תנועה, בטיחות ורמזורים מאושרים להתקנה בדרך", המתפרסמת תקופתית ע"י הוועדה הבין-משרדית, ומופיעה באתר האינטרנט של הוועדה הבין-משרדית במשרד התחבורה.

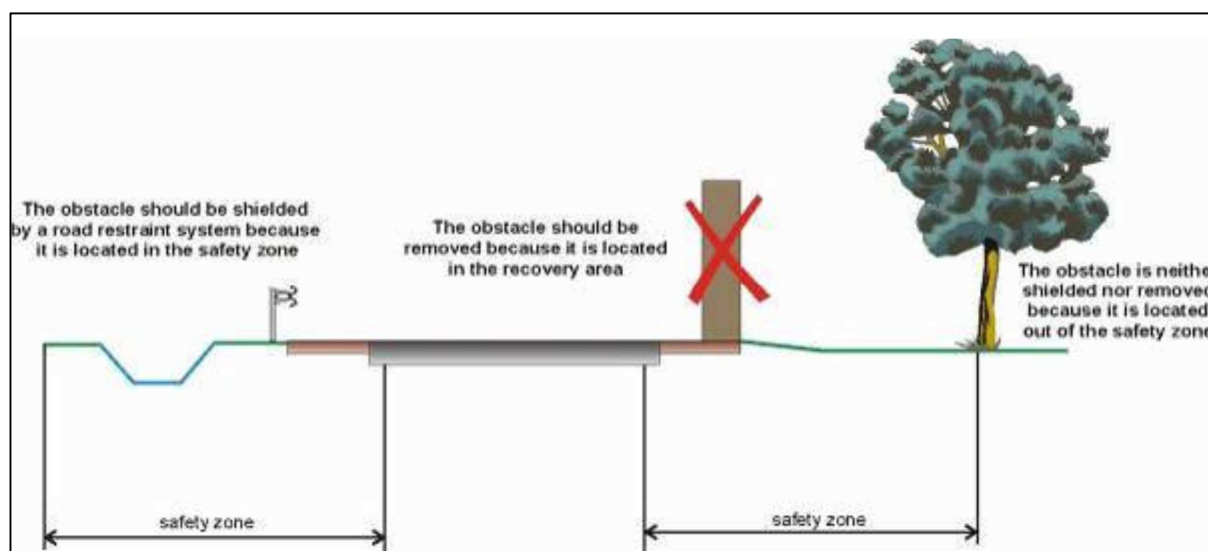
<sup>2</sup> ממצאים אלה התבססו על תוצאות של 20 מחקרים מארה"ב, אנגליה, אוסטרליה, שוודיה, גרמניה, לגבי יעילותם של מעקות צד, ועל תוצאות של 22 מחקרים מארה"ב, אנגליה, שוודיה, דנמרק, צרפת, לגבי יעילותם של מעקות מפרדה. ראו: Elvik et al (2009).

## פרק 2: תכנון פרטי הדרך לביטול הצורך במעקה

### 2.1 כללי

רצוי לתכנן את מרכיבי הדרך על סמך תפיסת התכן המאפשרת נוחיות ובטיחות מרביות גם למיעוט הנהגים הנקלעים למצוקה. תפיסה זו מכונה בעולם בשם "תכן דרך סלחני" (forgiving road design), ומטרתה ליצור תנאי דרך בהם חומרת ההשלכות מעזיבת הדרך ע"י כלי הרכב תהיה נמוכה עד כמה שאפשר. תנאי דרך סלחניים אמורים לאפשר לנהג הרכב הסוטה מדרכו לתקן את הטעות ולחזור למסלול נסיעתו, ואם לא, לעצור בבטחה בצד הדרך. תפיסת התכן הסלחני מוכרת בעולם החל משנות השישים, אך יישומה הנרחב החל במדינות מערב אירופה ובארה"ב בעיקר בשני העשורים האחרונים. להבטחת תנאי דרך סלחניים קיימות שתי גישות עיקריות (איור 2.1): הגישה הראשונה והמועדפת הנה בהרחקת הסכנות מצידי הדרך, ובהבטחת אזור מפלט לרכב שסוטה מדרכו (הקרוי "safety zone" באיור 2.1); בגישה זו יש לתכנן את מרכיבי חתך הדרך במימדים מרביים עד כמה שהדבר סביר, ובכך לתרום לנוחיות הנסיעה ולבטיחותה, מבלי להזדקק למעקות בטיחות. פרטיה של גישה זו מובאים בפרק זה.

בגישה השנייה, כאשר לא ניתן להרחיק את המכשולים<sup>3</sup>, יש להשתמש במגינים מפני הסכנות, כאשר צורתם הנפוצה ביותר היא מעקות בטיחות<sup>4</sup>. (הנחיות לשימוש במעקות הבטיחות מובאות בפרקים הבאים).



איור 2.1: שתי גישות עיקריות להבטחת תנאי דרך סלחניים (מקור: RISER, 2006)

<sup>3</sup> או להופכם לשבירים בעת ההתנגשות, ראו: "הנחיות לבחירה ולהצבה של עמודים סלחניים", 2008.  
<sup>4</sup> צורה אחרת היא ספגי אנרגיה המאפשרים פתרון נקודתי למיגון הסכנות – ראו "הנחיות לבחירה ולהצבה של ספגי אנרגיה", 2016.

## 2.2 מאפייני צידי הדרך לביטול הצורך במעקה בטיחות

רצוי לתכנן את צידי הדרך כך שיוכלו לשמש כאזור מפלט לרכב שסטה מנתיבו. במידה שאזור המפלט מתקיים, אין צורך בהתקנת מעקה בטיחות.

אזור המפלט הנו רצועת שטח נקייה ממכשולים, המקבילה למיסעה, שתחילתה בקצה המיסעה, ואשר כוללת את שולי הדרך ומדרון מתון בחפירה או במילוי, והמאפשרת לנהג רכב שסטה מנתיבו לבלום או להאט ללא תאונה בתוך רצועת שטח זו. איור 2.2 מפרט את מרכיבי חתך הדרך בהגדרת אזור המפלט.

מאפייני חתך הדרך אשר יש לדון בהם כדי לשפר את השטח בצד הדרך הם:

- רוחב צידי הדרך בכלל, ורוחב כל מרכיב בפרט;
- שיפועים מתונים מעבר לשוליים, במילוי ובחפירה;
- מכשולים בצידי הדרך – סוגם ומרחקם מקצה המיסעה.

בטבלה 2.1 מובאים פרמטרים של תכנון סלחני – מידות הרוחב המומלצות לאזורי מפלט בצידי הדרך העוברת במילוי או בחפירה – בתלות בסוג הדרך, בנפחי התנועה ובשיפוע המדרון. רוחב אזור המפלט כולל את השול שבתחילתו.

לפי הניסיון האמריקני והאירופי, הערך הנפוץ לרוחב אזור המפלט במילוי, בדרכים מחולקות, הוא כ-9 מ', כאשר במקרים של מהירויות תכן גבוהות ושיפועים תלולים יחסית (בין 1:4 ל-1:5), מומלץ להגדיל את הרוחב. ולהפך, בדרכים לא מחולקות ו/או עם נפח תנועה נמוך ומהירויות נסיעה נמוכות, דרוש רוחב קטן יותר של אזור המפלט. הערך של 9 מ' מקצה המיסעה נקבע בזמנו (בארה"ב) בעקבות ניתוח תאונות דרכים, כאשר מרחק זה איפשר עצירה בטוחה בצד הדרך עבור כ-80% מכלי הרכב שעזבו בטעות את תחום הדרך. על-פי הערכות מאוחרות יותר<sup>5</sup>, כ-90% מכלי הרכב בדרך לא מחולקת וכ-70% מכלי הרכב בדרך מחולקת יעצרו בבטחה בצד הדרך בתחום המרחק של 9 מ'.

בגישת התכנון הסלחני בישראל (ראו טבלה 2.1) רוחב אזור המפלט נקבע לפי הכללים הבאים:

**א. אזור המפלט בקטעי מילוי:** ככל ששיפוע המילוי גדול יותר, נדרש לנהג מרחק רב יותר כדי להשתלט על הרכב, ולכן אזור המפלט הדרוש רחב יותר. לדוגמא: בדרך חד-מסלולית, בנפח תנועה העולה על 5000 כלי רכב ביממה (לשני הכיוונים יחד), בשיפוע 1:6 נדרשים 7.5 מ', בשיפוע 1:4 נדרשים 10.5 מ' (לרבות השול).

ככלל, שיפוע המילוי בשיעור 1:4 או מתון יותר יאפשר עצירה בטוחה של רכב על המדרון (בהינתן הרוחב הדרוש של אזור המפלט לפי טבלה 2.1). שיפוע המילוי בין 1:3 ל-1:4 יכול להוות חלק מהמדרון (אזור המפלט). במקרה זה, ניתן לקזז את הרוחב הבעייתי של המדרון על-ידי הרחבת אזור המפלט; אזי "אזור המפלט" הופך ל-"אזור התאוששות". לפי הדוגמא באיור 2.3, כאשר השיפוע (בין 1:3 ל-1:4) נמצא בתוך אזור המפלט, ניתן להוסיף לאזור זה בקצהו רוחב אשר משתווה לרוחב החסר בתוך אזור המפלט (רוחב מפלט נוסף a באיור 2.3). תחומי מפלט מוגדלים

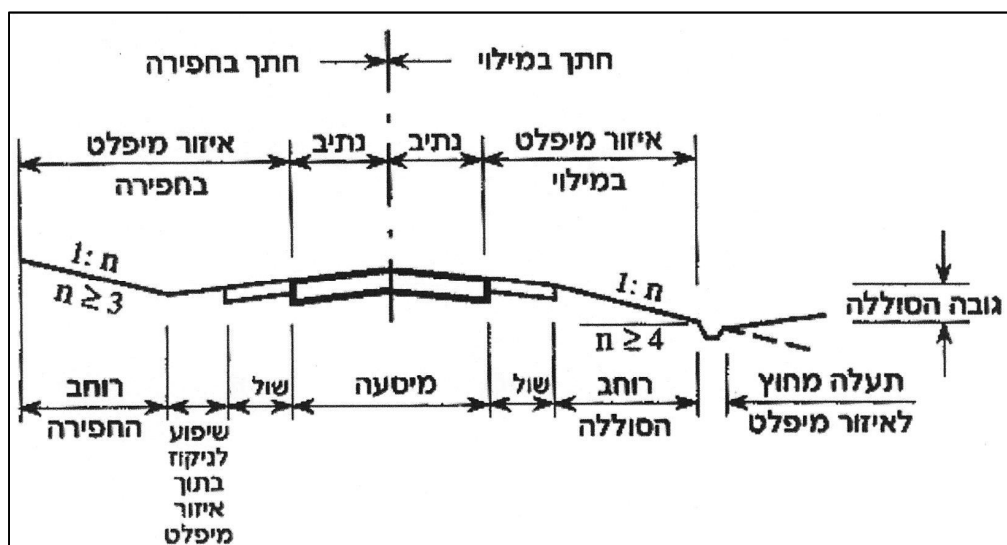
<sup>5</sup> AASHTO (2002)

הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות

חדשים אלה, מאפשרים התאוששות מלאה לרכב שסטה מנתיבו, והם תחומי ההתאוששות הדרושים בגישת התכנון הסלחני. תנאים אלה מיייתרים את הצורך במעקה בטיחות. בכל המקרים האחרים: בשיפועים התלולים יותר מ-1:4 (בכל אורך המדרון), ובסוללה שגובהה מעל 3 מטר – יש לבדוק הצדקים למעקה הבטיחות כמפורט בפרק 3. אין להגדיר תנאים אלה כאזור המפלט, מאחר שהרכב לא יתאושש עד למרגלות המדרון.

**ב. אזור המפלט בקטעי חפירה – שיפועי החפירה הם בדרך כלל המדרון הנגדי של תעלה משולשת (ראו איור 2.2).** ככל שהשיפוע תלול יותר (עד 1:3), הרכב יעצר קרוב יותר לכביש, ולכן ערכי רוחב אזור המפלט לפי שיפועי החפירה יורדים ככל ששיפוע החפירה תלול יותר. לדוגמא: בדרך חד-מסלולית, בנפח תנועה העולה על 5000 כלי רכב ביממה, בשיפוע 1:3 נדרש רוחב של 5.0 מ', ואילו בשיפוע מתון מ-1:5 נדרש אזור מפלט ברוחב 7.0 מ'. מכשולים כגון: קירות, חפירות תלולות וכדומה, צריכים להתחיל מעבר לאזור המפלט, או להיות מוגנים על-ידי מעקה בטיחות כמפורט בפרק 3.

בעקום אופקי יש להגדיל את רוחב אזור המפלט (הדרוש לפי טבלה 2.1), תוך כדי הכפלתו במקדמי הגדלה המפורטים בטבלה 2.2. מקדמי הגדלה אלה מתייחסים לצידו החיצוני של העקום בלבד. ברדיוס העולה על 900 מ' אין צורך בהגדלת אזור המפלט.



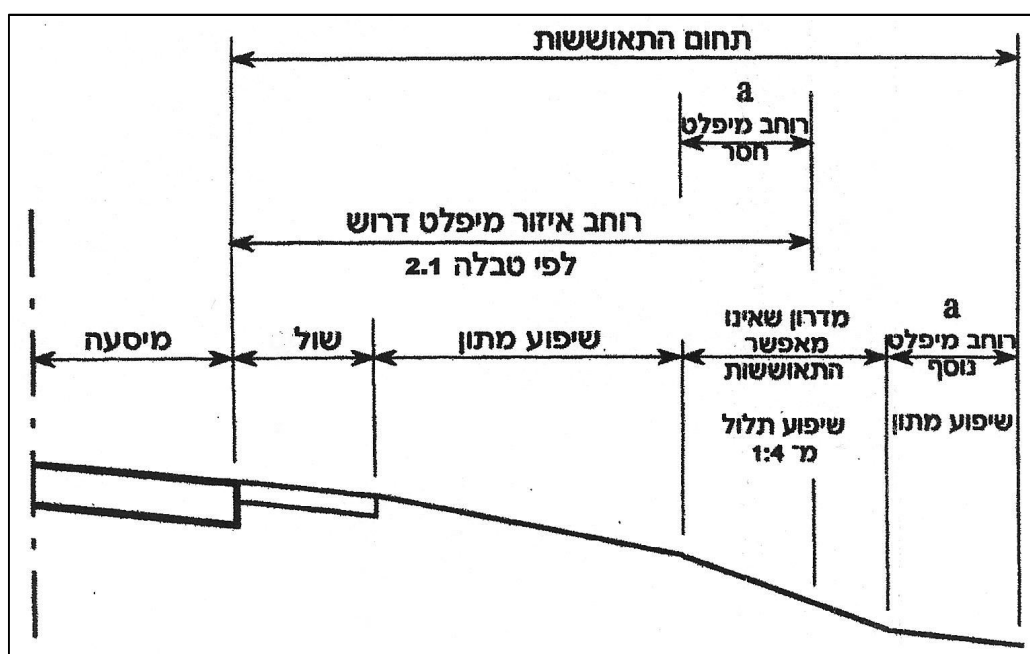
**איור 2.2:** מרכיבי חתך הדרך בהגדרת אזור המפלט בצידו המיסעה

לגבי המפרדה יש לציין, שהן בדרכים המהירות והן בדרכים הדו-מסלוליות בישראל, יש להתקין תמיד מעקה במפרדה. לכן, שיקולי תכן אזור המפלט כמפורט לעיל אינם רלוונטיים לתכן רוחב המפרדה. לגבי **תעלת ניקוז** יש לציין כי תעלה משולשת יכולה להוות חלק מאזור המפלט בחפירה כאשר שיפוע דפנותיה אינו עולה על 1:3 (ראו איור 2.2). תעלת ניקוז טרפזית, ככלל, נחשבת לחפירה, ולכן אינה יכולה להימצא באזור המפלט.

## טבלה 2.1: תכנון סלחני – הרחב המומלץ של אזור המפלט מקצה המיסעה

בקטעי מילוי או חפירה, לרבות השול (כל המידות במטרים)

סוג הדרך	נפח תנועה יומי	שיפוע המילוי				שיפוע החפירה			
		1:4	1:5	1:6	מתון	1:3	1:4	1:5	1:6
חד-מסלולית	עד 1500	7.5	6.5	5.5	5.0	3.5	4.0	5.0	5.0
	1500-5000	9.5	7.5	7.0	6.5	4.0	5.0	5.5	6.0
	מעל 5000	10.5	8.5	7.5	7.0	5.0	6.5	7.0	7.0
דו-מסלולית	בכל נפח	14.0	11.5	10.5	9.0	6.5	8.0	8.5	8.5



## איור 2.3: דוגמא לתכנון של תחום התאוששות עם מדרון תלול מ-1:4 בתוך אזור המפלט

יחד עם זאת, ניתן לשנות שיפועים של תעלת ניקוז בצורה כזאת, שהיא תהפוך לחתך עביר (יכולה להישאר בתוך אזור המפלט): תעלת הניקוז אינה נחשבת למכשול (יכולה להימצא בתוך אזור המפלט) בתוך חתך הדרך, כל עוד היחס בין שיפוע המילוי ושיפוע החפירה בתעלה מתאים לחתך המועדף של תעלת הניקוז, כמפורט באיורים 2.4, 2.5 (האזור המוצל). החתך המועדף של תעלת הניקוז באיור 2.4 מתאים לתעלה משולשת או מעוגלת עם רוחב תחתית עד 2.4 מ', ולתעלה טרפזית ברוחב עד 1.2 מ'. החתך המועדף של תעלת הניקוז באיור 2.5 מתאים לתעלה מעוגלת ברוחב תחתית 2.4 מ' או יותר, ולתעלה טרפזית ברוחב 1.2 מ' או יותר.

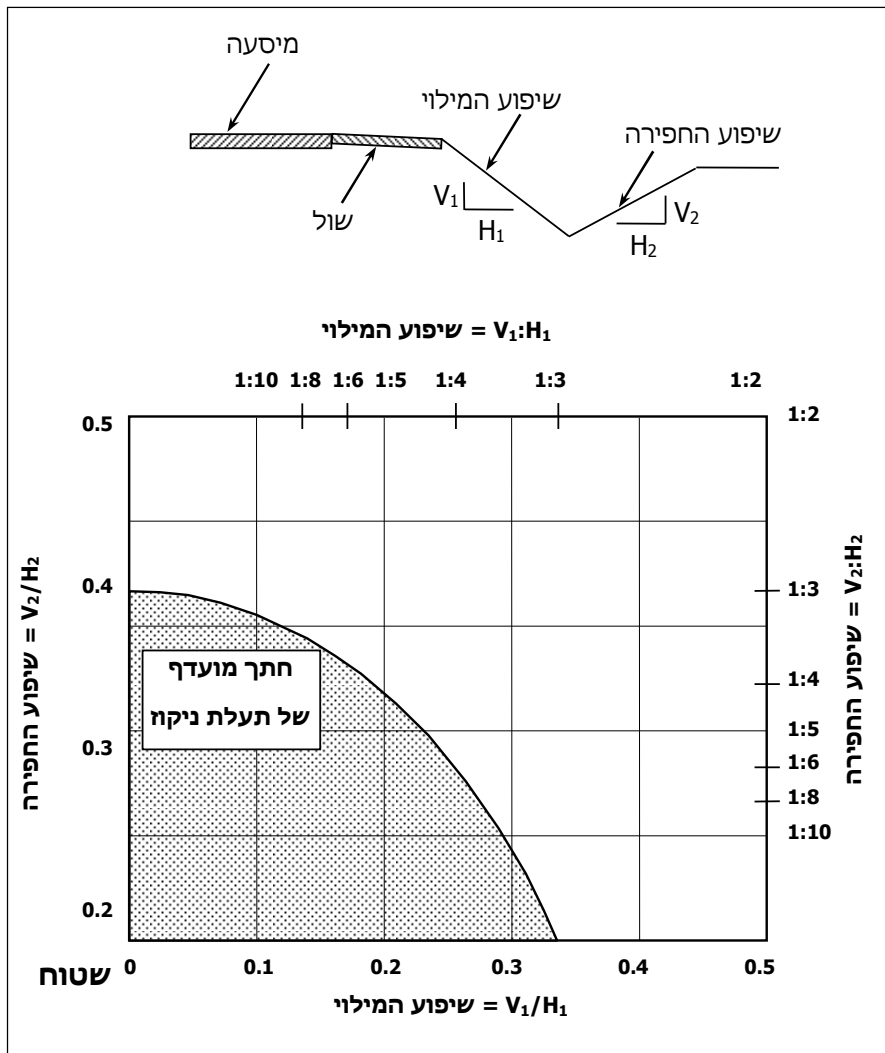
<sup>6</sup> לפי הניסיון האמריקני, ראו AASHTO (2011)

הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות

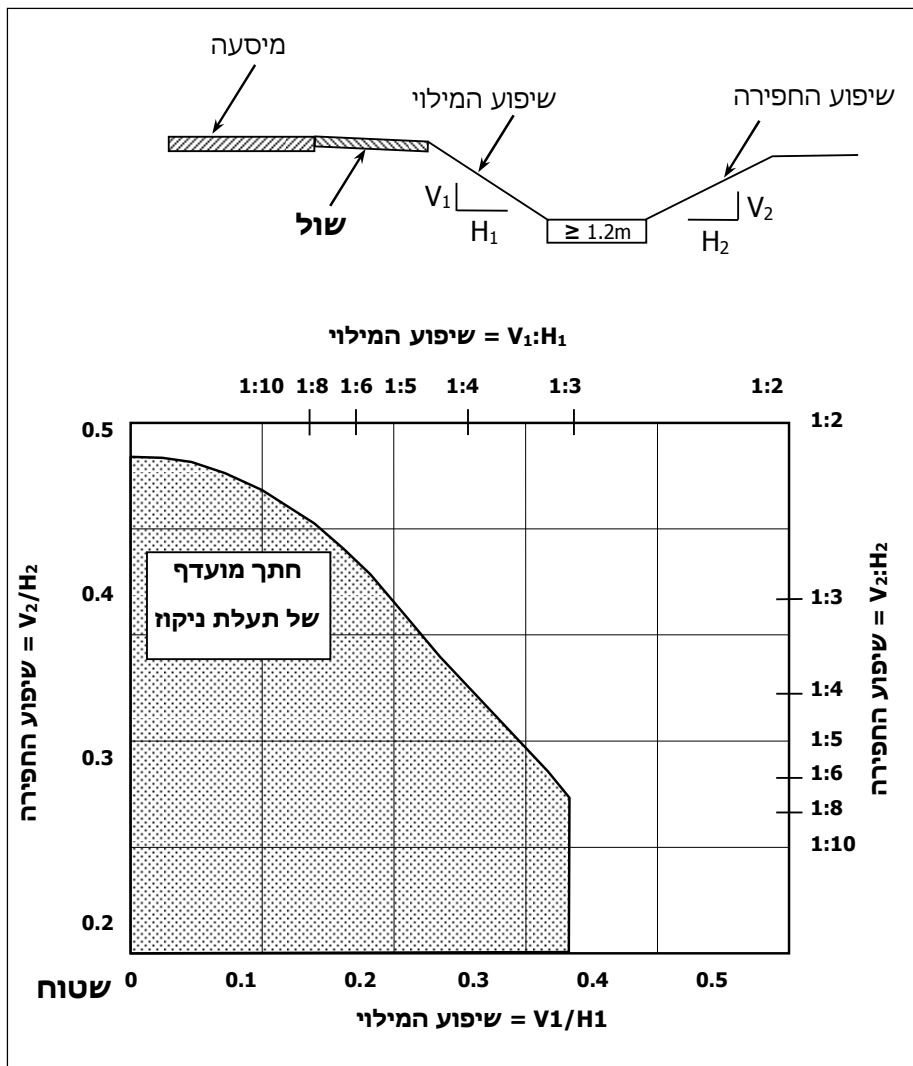
## טבלה 2.2: מקדמי הגדלת רוחב אזור המפלט בעקום אופקי

דרג דו-מסלולית	דרג חד-מסלולית	רדיוס העקום במטרים
–	1.5	100
–	1.5	200
–	1.4	300
1.4	1.3	400
1.4	1.2	500
1.4	1.2	600
1.3	1.2	700
1.3	1.1	800
1.2	1.1	900

כאמור, החתך המועדף של תעלת הניקוז אינו נחשב למכשול, ואינו מחייב העברה של תעלת הניקוז מעבר לאזור המפלט. יש לזכור כי אף פריט של ציוד דרך אינו אמור להימצא בתוך התעלה או על דופן החפירה ליד התעלה. כל פריט כזה נחשב למכשול, ויש להוציאו מעבר לאזור המפלט. כאשר חתך התעלה אינו נכלל באזור "החתך המועדף של תעלת ניקוז" שבאיוורים 2.4-2.5, נדרשת הצבה של מעקה בטיחות כמפורט בפרק 3.



איור 2.4: חתך מועדף של תעלת הניקוז עם שינוי חד בשיפועי הדפנות



איור 2.5: חתך מועדף של תעלת הניקוז עם שינוי הדרגתי בשיפועי הדפנות

## פרק 3: הצדקים להצבת מעקות הבטיחות

### 3.1 כללי

מעקה בטיחות נמשך המוצב בצידי הדרך, צריך להוות את הפתרון הפחות מועדף לעומת תכנון או שיפור של חתך הדרך המבטל את הצורך במעקה, כמוצג בפרק 2. זאת, היות שהמעקה עצמו עלול להפוך לגורם המגדיל את שכיחותן של תאונות מסוימות, או את חומרתן של תאונות אחרות. לכן, מומלץ למתכנן לשקול אם התאונה שתתרחש במקום מסוים בצידי הדרך, תסתיים בדרגת חומרה קשה יותר עם מעקה או בלעדיו.

במקרים בהם לא ניתן להפוך את צידי הדרך לאזור מפלט לרכב שסטה מנתיבו, וכן נמצא כי מעקה הבטיחות עשוי לתרום לצמצום של שכיחות ו/או חומרת התאונות, מעקה הבטיחות מהווה חלק מ-"תכן דרך סלחני".

בפרק זה מפורטים ההצדקים להצבת מעקות הבטיחות בשולי הדרך, לפי תנאי הדרך והתנועה. הצדקים אלה מבוססים על שיקולים בטיחותיים וכלכליים, והם נקבעים ישירות על-פי סיווג הדרך, גובה הסוללה, שיפוע הסוללה/החפירה, ולעיתים גם לפי נפחי התנועה הקיימים בדרך.

קו ההצדקים הבסיסי עבור הדרכים החד-מסלוליות עם נפחים גבוהים, ועבור כל הדרכים הדו-מסלוליות, נובע משיקולים בטיחותיים. הוא מפריד בין שני מצבים: מעברו האחד מתוארים תנאים שבהם התנגשות הרכב במכשול בלתי מוגן (או מעבר הרכב במדרון הסוללה), תגרום לרוב לתאונה פחות חמורה מאשר התאונה עם מעקה באותו מקום (אין הצדק למעקה); מעברו השני מתוארים תנאים שבהם ההתנגשות במעקה הבטיחות היא לרוב פחות חמורה מאשר ההתנגשות במכשול הקיים, אילו היה ללא הגנה (קיים הצדק למעקה).

### 3.2 הצדקים להצבת מעקות הבטיחות בצידי הדרך

#### 3.2.1 מבוא

- הצבת מעקה הבטיחות בצד הדרך מוצדקת בכל אחד מארבעת המקרים הבאים:
- א. בשיפוע תלול ובסוללה גבוהה, כאשר קיים הצדק להצבת מעקה הבטיחות על-פי קריטריון אמפירי המשלב את פרמטרי הסוללה, סוג הדרך ונפח התנועה בדרך – סעיף 3.2.2.
  - ב. בשיפועים מתונים בקטעי מילוי או חפירה, כאשר רוחב אזור המפלט אינו עומד בדרישות – סעיף 3.2.3.
  - ג. כאשר הדרישה לרוחב אזור המפלט אכן מתקיימת, אך מעבר לאזור המפלט נמצא אזור של סיכון גבוה, לרבות סיכון גבוה לצד שלישי – סעיף 3.2.4.
  - ד. כאשר קיימים מכשולים בצד הדרך – עצמים קבועים או מטרדים בלתי עבירים, במרחק שאינו עולה על המרחק המזערי הנדרש – סעיף 3.2.5.

יודגש שכאשר התקנת מעקה הבטיחות מוצדקת בהתאם לתנאים הנ"ל, העדר מרווח לתפקוד המעקה (רוחב פעיל) אינו יכול לשמש תירוץ לאי-התקנת המעקה. במקרה כזה מומלץ לשקול שימוש במעקה אחר בעל רוחב פעיל קטן יותר, או צעדים אחרים, כמפורט בפרק 5.

### 3.2.2 שיפוע תלול וסוללה גבוהה – קריטריון אמפירי

בתנאי סוללה גבוהה ותלולה, יש לבדוק הצדקים למעקה הבטיחות כמוצג באיור 3.1.

בדרכים חד-מסלוליות עם נפחי תנועה הקטנים מ-5000 כלי רכב ביממה, ישנה הקלה מסוימת בהצדק להצבת מעקה בטיחות בסוללות גבוהות יחסית, בעלות שיפועים תלולים מ-1:4. הקלה זו מבוססת על שיקול כלכלי, כי יש לצפות שבדרכים אלו מספר כלי הרכב אשר יסטו מדרכם ויהיו מעורבים בתאונות עקב תנאי הסוללה, יהיה קטן יחסית לעומת הדרכים עם נפחי תנועה גבוהים יותר.

נפחי התנועה אשר קובעים את הצדק ההצבה בדרכים החד-מסלוליות, הם הנפחים הצפויים בדרך בשנת הקמת המעקה. אם ההצדק עדיין לא קיים בעת תכנון הדרך, אך צפוי שנפחי התנועה יגדלו בעתיד ויתעורר הצורך להציב מעקה, יש לדאוג מראש לבנות את הסוללה כך שההצבה תתאפשר. כאשר שוקלים להציב מעקה בטיחות בדרכים חד-מסלוליות קיימות, ההצדק נקבע לפי נפחי התנועה הקיימים בדרך בעת הבדיקה של מאפייניה.

בצידי דרכים דו-מסלוליות מומלץ להציב מעקה בטיחות בקטע דרך העובר במילוי לפי ההצדקים המובאים באיור 3.1, ללא תלות בנפחי התנועה העוברים בדרך.

### 3.2.3 רוחב אזור המפלט אינו מספיק

הצדק להצבת מעקה הבטיחות קיים כאשר בשיפועים מתונים יחסית<sup>7</sup> לא מתקיים הרוחב הנדרש לאזור המפלט, כמפורט בטבלאות 2.1-2.2 בפרק 2.

על-פי התכנון הסלחני, רצוי לתכנן קטע דרך העובר בחפירה כך, שמאפייני החפירה ימותנו וייצרו אזור מפלט שיאפשר לנהג הרכב להתאושש בו אחרי סטייה מנתיבו, כמובא בסעיף 2.2.

אם פרטי תעלת הניקוז עונים לדרישות של החתך המועדף בתכנון צד הדרך (ראו סעיף 2.2), התעלה תהווה חלק מחתך עביר, ולא תהווה מכשול המצדיק התקנת מעקה. ביצוע תעלה עם החתך המועדף מבטל את הצורך בישום כללים המתוארים בהמשך סעיף זה.

כל חפירה או דופן תעלה משולשת התלולה מ-1:3, וכל חציבה בסלע לרבות תעלה טרפזית, כמתואר באיור 3.2, הנם מכשול בלתי עביר, אשר עלול לגרום נזק וסיכון לרכב המתנגש בו. כאשר המרחק מקצה המיסעה אל דופן החפירה (לרבות רוחב השול) קטן מהמינימום המותר המוצג בטבלה 3.1, יש

<sup>7</sup> הצדקים אלה פותחו במחקר הקרט, גוטמן, ליבנה (1992), תוך כדי בחינה משולבת של הצדקים ממספר מדינות והתאמתם לתנאי הארץ. עבור הדרכים הדו-מסלוליות והחד-מסלוליות עמוסות, בהצדק המקורי נערך תיקון כדי להתאים להגדרת תנאי תכן סלחני. הצדקים אלה תואמים את הספרות הבינלאומית גם היום.

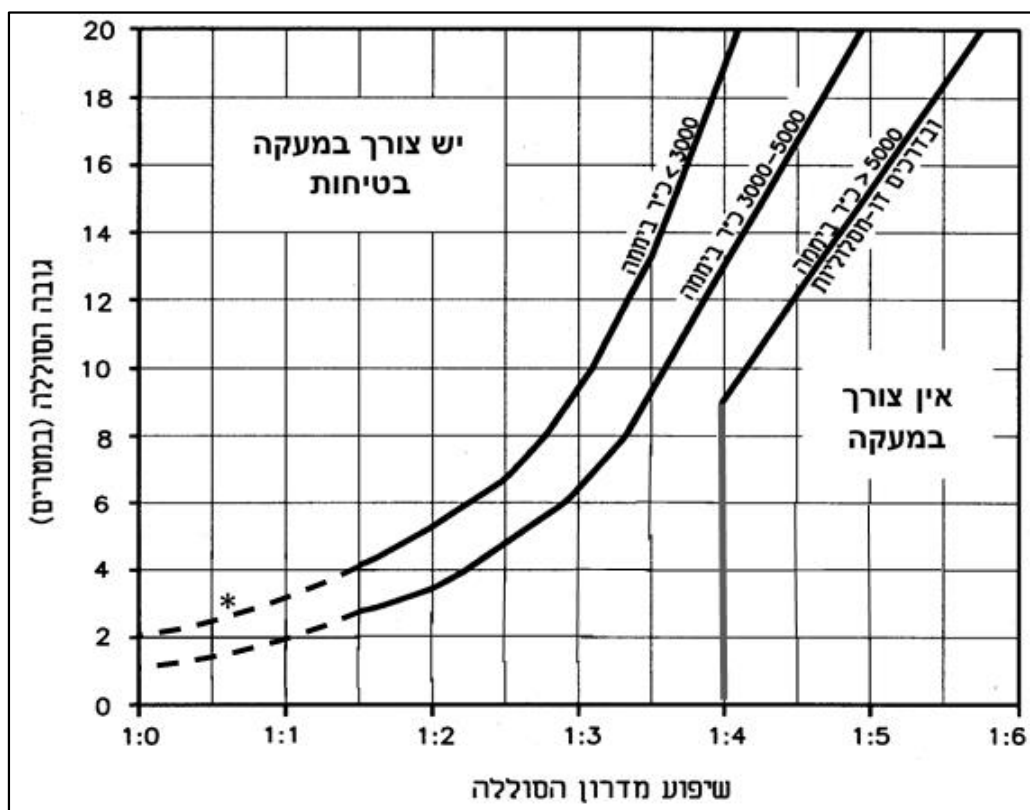
<sup>8</sup> בין 1:4 ל-1:6 או מתון יותר בדרך העוברת במילוי; בין 1:3 ל-1:6 או מתון יותר בדרך העוברת בחפירה

הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות

להציב מעקה בטיחות לאורך החפירה. כאשר יש תעלה טרפזית, יימדד המרווח הקובע עד לתחילת התעלה, כמתואר באיור 3.2.

ככל שנפח התנועה גדול יותר, יש להגדיל את המרווח הפנוי הדרוש כדי להימנע מהצבת המעקה. בדרכים חד-מסלוליות, מומלץ להציב מעקה בטיחות כאשר המרחק בין התחלת החפירה לקצה המיסעה קטן מ-5.0 עד 7.0 מטר, בתלות בנפח התנועה בדרך. בדרכים דו-מסלוליות, יש לשקול הצבת מעקה בטיחות כאשר המרחק בין קצה המיסעה לתחילת החפירה קטן מ-9.0 מטר, ללא תלות בנפח התנועה בדרך (ראו טבלה 3.1).

יש לזכור שהשטח לפני מעקה הבטיחות המגן מפני חפירה, חייב להיות נקי ממכשולים מכל סוג שהוא, כולל פרטי ניקוז, תעלות ניקוז פתוחות ואבני שפה<sup>9</sup>.

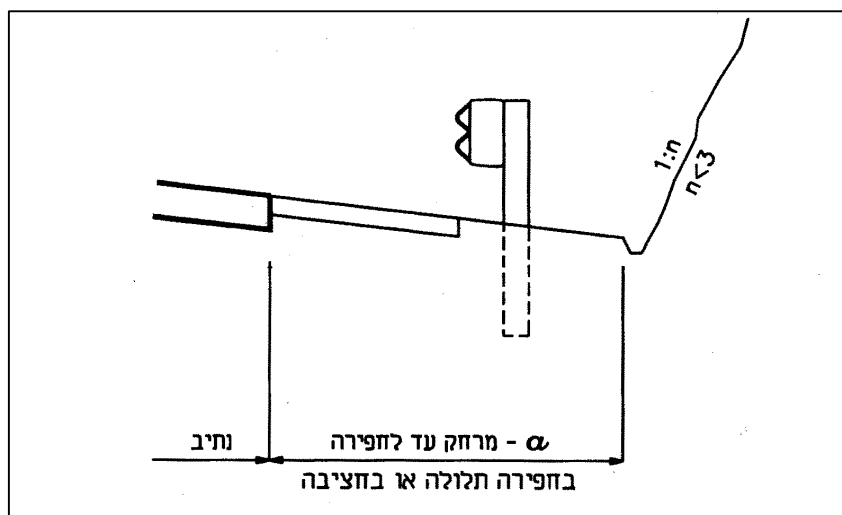


\* הקווים המרוסקים מצביעים על שילוב של תנאים אשר אינם מומלצים לתכנון.

**איור 3.1:** הצדקים להצבת מעקה בטיחות בקטעי מילוי, בתלות בתנאי הסוללה, במספר המסלולים ובנפחי התנועה

<sup>9</sup> מעל לגובה המזערי הנדרש לניקוז, 7-8 ס"מ.

הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות



**איור 3.2:** הצדק להצבת מעקה הבטיחות בתלות בתנאי החפירה

**טבלה 3.1:** הצדקים להצבת מעקה בטיחות בתלות בתנאי החפירה\*

דרך דו-מסלולית	דרך חד-מסלולית			חתך הרחב
	עד 1500	1500-5000	מעל 5000	
בכל נפח	עד 1500	1500-5000	מעל 5000	נפח תנועה לתכן (כ"ר/יממה)
9.0	5.0	6.5	7.0	מעקה דרוש כאשר המרחק $a^{**}$ מקצה הנתיב עד למכשול קטן מ- (מ')

\* על-פי דרישה מרבית לרוחב אזור המפלט בתנאי החפירה (ראו טבלה 2.1).  
 \*\* כמוגדר באיור 3.2.

### 3.2.4 אזור של סיכון גבוה

כאשר בצד דרך המצויה במילוי מתקיימת הדרישה לרוחב אזור המפלט<sup>10</sup>, אך מעבר לאזור המפלט נמצא אזור של סיכון גבוה, לרבות סיכון גבוה לצד שלישי, יש להציב את מעקה הבטיחות. אזור של סיכון גבוה מוגדר כתנאי שטח בהם מעבר לאזור המפלט, למרגלות הסוללה, נמצא אזור תהום המאפשר נפילה של כלי הרכב. אזור תהום כזה נוצר לעתים על-ידי אפיקי מים או גיאיות. סיכון גבוה לצד שלישי מוגדר כתנאי שטח שבהם עזיבת שטח הדרך על-ידי כלי רכב עלולה לגרום לתאונה שבה יהיו מעורבים אנשים, מבנים או כלי תחבורה אשר להם אין קשר לשטח הדרך הנתונה. לדוגמא, כאשר: מסילת רכבת פעילה עוברת במקביל לשטח הדרך<sup>11</sup>, ישנן דרכים אחרות הסלולות במקביל לדרך, מפעלים המייצרים חומרים מסוכנים, או בתי מגורים ממוקמים בקרבת הדרך, או אזורי נופש וחניה גובלים עם שטח הדרך.

<sup>10</sup> כמוצג בטבלאות 2.1-2.2

<sup>11</sup> תנאי זה אינו כולל מסלול רכבת קלה שעובר בשטח הדרך הנתונה

הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות

המרחק המרבי מקצה נתיב הנסיעה הימני אשר מומלץ לבחינת תנאי האזור של סיכון גבוה הינו 20 מ'. על-פי מודל אמריקני<sup>12</sup>, הסתברות של כלי רכב שסוטה מנתיב נסיעתו להגיע מעבר למרחק זה, שואפת לאפס.

### 3.2.5 מכשולים בצד הדרך

במקרה של מכשול הנמצא על סוללה או בתחתיתה, יש לשקול הצבת מעקה הבטיחות להגנת כלי הרכב מהתנגשות בו, למרות שתנאי הסוללה אינם חמורים. במקרה זה יוצב המעקה בראש הסוללה. מתוך הספרות ומחקירת תאונות דרכים מתקבל, שליד המיסעה קיים תחום מסוים שהוא קריטי מבחינת השתלטות הנהג על כלי רכבו לאחר שסטה מדרכו. עצמים קשיחים הנמצאים בתוך תחום זה מסכנים את כלי הרכב שסטו מדרכם. לכן, אם המרחק בין המכשול לבין המיסעה הסמוכה קטן, יש להציב מעקה בטיחות לפני המכשול.

המכשולים בצד הדרך מתחלקים לשתי קבוצות:

א. מטרדים בלתי עבירים,

ב. עצמים קבועים.

מטרדים בלתי עבירים הם: סלעים גדולים, מאגרי מים קבועים שעומקם עולה על 60 ס"מ וכדומה. עצמים קבועים הם: תמיכות לא סלחניות לשלטים ולעמודי תאורה, קצוות גשרים ועמודיהם, קירות תומכים, קורות של מעבירי מים, עצים ועמודי עץ, כמפורט בטבלה 3.2.

#### טבלה 3.2: עצמים קבועים בצד הדרך, שלפניהם יש לשקול הצבת מעקה בטיחות

–	גזעי עצים ועמודי עץ, עמודי תמיכה בשילוט, פרופילים וצינורות ממתכת בקוטר העולה על 3 אינץ".
–	עמודי תאורה ללא תמיכה סלחנית, תמיכות לא סלחניות לשלטים מעל לנתיב.
–	יסודות בטון או מתכת הבולטים יותר מ-10 ס"מ מעל לקרקע.
–	קצוות של גשרים ועמודיהם.
–	קירות תומכים וקורות של מעבירי מים**.

\* לעומת זאת, עמודי תמיכה בשילוט מפלדה חלולה או אלומיניום בעובי עד 3.2 מ"מ ובקוטר עד 9 ס"מ אינם נחשבים למכשולים, ולא מחייבים הצבה של מעקה בטיחות.

\*\* לגבי מעביר מים הנמצא על מדרון הסוללה, ללא קורות בולטות מעל לקרקע, AASHTO (2011) מציע פתרון של הוספת "מכסה רשת" (grate) למתקן שהופך אותו לעביר, בתנאי שמתקיים מרחק מסוים בין קווי הרשת של המכסה. פתרון זה עמד במבחני התנגשות לפי NCHRP 350. מומלץ לשקול יישום של פתרון זה אם הטיפול במעביר המים מאפשר לקיים אזור מפלט לרכב, ומונע הצבה של מעקה בטיחות.

בתכנון דרך סלחני, רצוי להעביר את כל המכשולים אל מחוץ לאזור המפלט שלייד המיסעה, או להפוך את העמודים הנמצאים בתחום אזור המפלט לסלחניים כלפי הרכב המתנגש בהם. במקרים בהם עמודי ריהוט הדרך (עמודי תאורה, עמודי תמיכה בשלטים וכד') נמצאים בתחום אזור המפלט לרכב, יש לבחון מצבים בהם מומלץ שימוש בעמודים סלחניים (שבירים או מתקמים בעת פגיעת הרכב) כחלופה להצבת מעקה הבטיחות, כמפורט ב-"הנחיות לבחירה ולהצבה של עמודים סלחניים" (2008). בהיעדר מכשולים אחרים ומטרדים בלתי עבירים בתחום אזור המפלט, אין צורך להציב מעקה בטיחות לפני עמודים סלחניים המותקנים בצד הדרך.

ליד כל המכשולים שנמנו בטבלה 3.2 יש להציב מעקה בטיחות, אם המרחק בין המכשול לבין קצה הנתיב הסמוך קטן מהמומלץ בטבלה 3.3. המרחק נמצא בתלות בנפח התנועה לתכנון, והוא מהווה את רוחב אזור המפלט הדרוש בצד הדרך (ראו טבלה 2.1) בתוספת של 1.0 מטר. זאת עקב העובדה שהמכשול הבדיד הבלתי מוגן מסוכן לרכב המתנגש בו עוד יותר מסוללה או חפירה רצופה.

### טבלה 3.3: המרחק המזערי למכשול בצד הדרך שאינו מחייב הצבת מעקה בטיחות

סוג הדרך	נפח תנועה (כ"ר/יממה)	מרחק המכשול מקצה הנתיב (מ')
חד-מסלולית	עד 1500	6.0
	1500-5000	7.5
	מעל 5000	8.0
דו-מסלולית	בכל נפח	10.0

במקרה בו בסמוך לשטח הדרך נמצא מטרד בלתי עביר ארוך, יש לשקול הצבת מעקה גם כאשר מרחקו מקצה הנתיב עולה על הדרישה שבטבלה 3.3. זאת, כדי לשמור על רמת בטיחות אחידה לאורך הדרך. בתחום קיים, המשמש כמפלט לרכב, אין ליצור מכשולים חדשים אשר יחייבו הצבת מעקה.

### 3.2.6 שימוש במעקות בטיחות בדרכים דלות-תנועה

בדרכים המאופיינות בתנועה דלילה ובמהירויות נסיעה נמוכות, כגון דרכים נופיות, קיימות הקלות בהצדקים להצבת מעקות הבטיחות בצד הדרך. במסמך "הנחיות ליישום מעקות בטיחות נופיים בישראל" (2009) שהוכן עבור החברה הלאומית לדרכים בישראל (היום "נתיבי ישראל"), מפורטים כללים לשימוש במעקות הבטיחות בדרכים הנופיות. **נספח א'** מביא את תמצית השיקולים המבטאים את השוני בבחינת הצורך בשימוש במעקות הבטיחות בדרך נופית. ניתן להיעזר בכללים אלה לבחינת הצדקים להצבת מעקות הבטיחות בצידי דרכים דלות-תנועה<sup>13</sup>.

<sup>13</sup> דרך דלת-תנועה בהנחיות אלה – בנפח תנועה עד 3,000 כלי רכב ביממה (שונה מההגדרה בהנחיות נת"י לתכן גיאומטרי, 2018).

### 3.3 הצבת מעקות בטיחות במפרדה

מפרדה משמשת כשטח המפריד בין תנועות נגדיות בדרך דו-מסלולית. באופן עקרוני קיים קשר הדוק בין נפחי התנועה שבדרך, לבין תכנונה כדרך דו-מסלולית עם מפרדה כשהנפחים גבוהים. לכן, במפרדה של דרך דו-מסלולית בין-עירונית יש להציב תמיד מעקה בטיחות.

הדרישה להצבת מעקה הבטיחות במפרדה של דרך דו-מסלולית בין-עירונית קיימת היא ללא תלות ברוחב המפרדה, בתנאי שטח המפרדה או בהימצאות מכשולים בשטחה. לאופן הצבת המעקה ראו פרק 5.

# פרק 4: הגדרת התנאים לבחירת מעקות בטיחות

## 4.1 כללי

תהליך הבחירה של מעקה בטיחות להתקנה בדרך כולל שלושה שלבים:

א. בחינת ההצדק להצבת מעקה.

ב. קביעת רמת התפקוד הנדרשת של מעקה הבטיחות על-פי תנאי האתר.

ג. בחירת סוג המעקה ברמת התפקוד הנדרשת, ובחינת ישימותו בתנאי האתר.

תנאי ההצדקים להצבת מעקות הבטיחות נדונו בפרק 3. במידה שתנאי האתר מצדיקים התקנת מעקה,

קיים צורך לבחור את רמת התפקוד הנדרשת של המעקה בתנאי האתר הנבחר.

בפרק זה מפורטות דרגות התפקוד של מעקות הבטיחות לפי התקנים החדשים באירופה ובארה"ב, וכן

רמות תפקוד המעקות הנדרשות להצבה בדרכים בישראל. בסוף הפרק מובאות ההנחיות לבחירת סוג

המעקה על-פי תנאי האתר.

כיום, הן באירופה והן בארה"ב, חובה לקבוע את דרגת התפקוד של כל מעקה בטיחות. לשם קביעת

דרגת התפקוד, המעקה אמור לעמוד בסדרה של מבחני התנגשות שנקבעו בתקן EN 1317-2

באירופה, או במדריך MASH (בעבר בדו"ח NCHRP 350) בארה"ב. סוג המבחן קובע את תנאי המבחן:

סוג הרכב המתנגש, מהירות ההתנגשות, זווית ההתנגשות וצורתה. המעקה נחשב לעובר מבחן

ספציפי, כאשר פרמטרי ההתנהגות של ההתקן והרכב בעת ההתנגשות ואחריה, נשארו בגבולות

שנקבעו בתקן. הן באירופה והן בארה"ב, וכך גם בישראל, לא יותר שימוש בהתקן שלא עמד בתנאי

הבחינה, לפי דרישות התקן האירופי או המסמך האמריקני המעודכן.

דרגת התפקוד של המעקה ויתר הפרמטרים אשר התקבלו בעקבות סדרת המבחנים, מסייעים בהגדרת

תנאי התנועה והדרך שבהם המעקה מומלץ לשימוש. תנאים אלה נקבעים בכל מדינה על-ידי רשות

הדרך. גורמים שנלקחים בחשבון בקביעת דרגת התפקוד הנדרשת של מעקה הבטיחות הם: סוג הדרך

ומיקומה, נפח התנועה, הרכב התנועה, ותנאים מיוחדים, כגון תנאים מכבידים של תוואי או חתך הדרך,

או סוגי המכשולים שמחייבים התקנת מעקה.

## 4.2 הערכת דרגות תפקוד של מעקות הבטיחות, לפי דרישות שני התקנים

### 4.2.1 התקן האירופי

דרישות התקן האירופי לקביעת דרגות תפקוד של מעקות הבטיחות מפורטות להלן לפי גרסת התקן

EN 1317-2 (2010), שנכנסה לתוקף בשנת 2011.

על-פי התקן האירופי, מעקות הבטיחות מיועדים לבלום כלי רכב תועים, לטובת נוסעי הרכב ומשתמשי

דרך אחרים, בקטעי דרך ובאתרים מסוימים שהוגדרו ע"י רשויות הדרך.

דרגות תפקוד של מעקות הבטיחות מוגדרות על-פי שלושה קריטריונים המתייחסים לריסון הרכב בעת ההתנגשות והשלכותיה:

- רמת הבלימה;
- רמת חומרת ההתנגשות;
- דפורמציה המתבטאת ברוחב העבודה הפעיל של המעקה וחדירת הרכב (מעבר למעקה).

מילת מפתח בהערכת המעקה היא **רמת הבלימה**, אשר קובעת את סוגי מבחני ההתנגשות לבחינת ההתקן. בתקן האירופי מוגדרות ארבע קטגוריות של רמות בלימה: "בלימה בזווית נמוכה", "בלימה רגילה", "בלימה יותר גבוהה", "בלימה גבוהה מאוד", כאשר: (1) רמות בלימה בזווית נמוכה מיועדות למעקות זמניים בלבד; (2) אם ההתקן עבר בהצלחה מבחנים של רמה מסוימת, הוא נחשב כעונה גם לדרישות של רמות נמוכות יותר (להוציא מקרים כמפורט בהערות לטבלה 4.2).

מעקות הבטיחות נבחנו בהתאם למבחנים המוגדרים בטבלה 4.1, והם אמורים להתאים לדרישות המפורטות בטבלאות 4.2-4.5, לגבי רמות הבלימה, רמות חומרת הפגיעה ודפורמצית המעקה בעת ההתנגשות (רוחב פעיל וחדירת רכב), בהתאמה. כל מעקה צריך לעמוד בכל הקריטריונים המתאימים לרמת התפקוד, כמוגדר בטבלה 4.6.

**טבלה 4.1: תיאור מבחני התנגשות הרכב לפי התקן האירופי**

סוג הרכב	משקל כולל של הרכב (ק"ג)	זווית ההתנגשות (מעלות)	מהירות ההתנגשות (קמ"ש)	מבחן
רכב פרטי	900	20	100	TB11
רכב פרטי	1,300	8	80	TB 21
רכב פרטי	1,300	15	80	TB 22
רכב פרטי	1,500	20	80	TB 31
רכב פרטי	1,500	20	110	TB 32
רכב משא	10,000	8	70	TB 41
רכב משא	10,000	15	70	TB 42
אוטובוס	13,000	20	70	TB 51
רכב משא	16,000	20	80	TB 61
רכב משא כבד	30,000	20	65	TB 71
רכב משא מפרקי כבד	38,000	20	65	TB 81

רמות התפקוד של מעקות הבטיחות יעמדו בדרישות של טבלה 4.2 כאשר הם נבחנו בהתאם לקריטריונים של מבחני ההתנגשות המפורטים בטבלה 4.1. המבחנים נערכים: (א) עם רכב פרטי גדול

או רכב כבד, לפי רמת הבלימה המרבית שמיחוסת למעקה, (ב) עם רכב פרטי קטן, כדי לוודא שיכולת הבלימה של רכב גדול/כבד ע"י המעקה לא תפגע בבטיחות של מגוון כלי הרכב.

#### טבלה 4.2: רמות בלימה לפי התקן האירופי

מבחן קבלה	רמות בלימה
<b>בלימה בזווית נמוכה</b>	
TB 21	T1
TB 22	T2
TB 21-ו- TB 41	T3
<b>בלימה רגילה</b>	
TB 31	N1
TB 11-ו- TB 32	N2
<b>בלימה יותר גבוהה</b>	
TB 11-ו- TB 42	H1
TB 11-ו- TB32-ו- TB 42	L1
TB 11-ו- TB 51	H2
TB 11-ו- TB32-ו- TB 51	L2
TB 11-ו- TB 61	H3
TB 11-ו- TB32-ו- TB 61	L3
<b>בלימה גבוהה מאוד</b>	
TB 11-ו- TB 71	H4a
TB 11-ו- TB 81	H4b
TB 11-ו- TB32-ו- TB 71	L4a
TB 11-ו- TB32-ו- TB 81	L4b

#### הערות לטבלה 4.2:

- "רמות בלימה בזווית נמוכה" מיועדות למעקות זמניים בלבד. מעקות זמניים יכולים להיבחן גם לרמות בלימה יותר גבוהות.
- אם ההתקן עבר בהצלחה מבחנים של רמה מסוימת, הוא נחשב כעונה לדרישות של רמות נמוכות יותר, להוציא מקרים אלה: N1 ו-N2 אינם כוללים את רמה T3; רמות H לא כוללות רמות L, להן תוספת מבחן. בדומה, רמות H1...H4b לא כוללות את רמה N2.
- מכיוון שלפיתוח ובחינה של מעקות ברמות בלימה גבוהות מאוד במדינות השונות משמשים סוגים שונים של רכב כבד, שני המבחנים TB71 ו-TB81 נכללו בתקן האירופי. שתי רמות התפקוד H4a ו-H4b אינן שוות, ולא מוגדרת היררכיה ביניהן. אותה ההערה נכונה גם כלפי רמות תפקוד L4a ו-L4b.
- רמות התפקוד L (שנכללו בתקן החל מ-2010) מחוזקות לעומת רמות התפקוד H ע"י הוספת מבחן TB32.

רמות חומרת ההתנגשות במעקה (המבטאות את רמות חומרת הפגיעה בנוסעי הרכב) מוערכות במבחנים עם רכב פרטי. להערכת רמות חומרת ההתנגשות משמשים שני מדדים:

א. ASI (Acceleration Severity Index) – מבטא את החומרה היחסית של התאווה הפועלת על נוסע ברכב בעת ההתנגשות;

ב. THIV (Theoretical Head Impact Velocity) – מבטא את המהירות היחסית של ראש הנהג בעת פגיעתו בחלק מפנים הרכב.

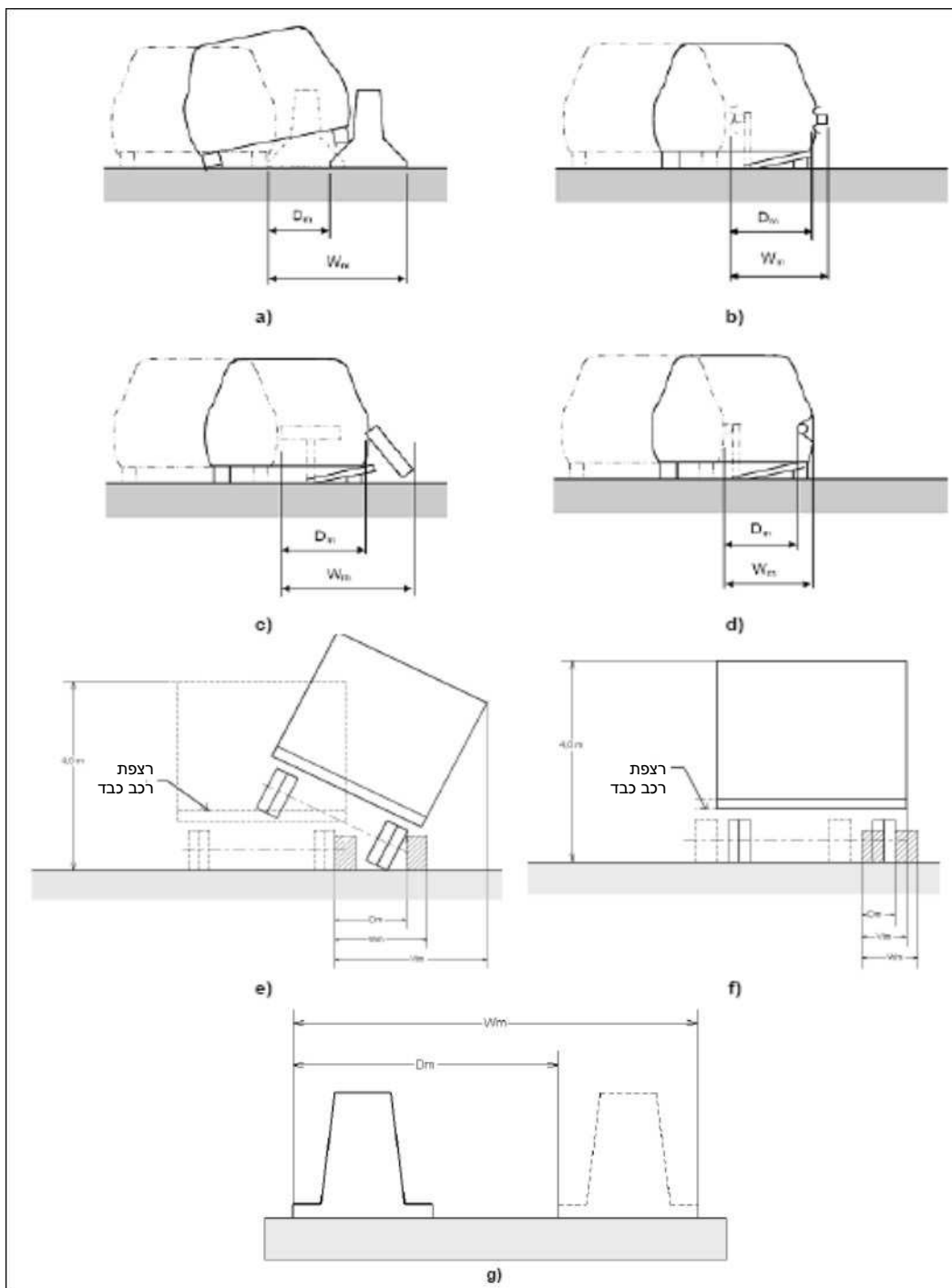
(אופני מדידה וחישוב של שני המדדים מפורטים בתקן EN 1317-1, משנת 2010).

רמת חומרת ההתנגשות למעקה נקבעת בהתאם לערכים שנמדדו לשני המדדים הללו במהלך המבחנים, כמפורט בטבלה 4.3. התקן מגדיר שלוש רמות חומרה: A, B, C, כאשר רמה A מבטיחה רמת בטיחות גבוהה יותר לנוסעי הרכב מאשר רמה B, ורמה B מבטיחה רמת בטיחות גבוהה יותר לעומת רמה C.

**טבלה 4.3: רמות חומרת ההתנגשות לפי התקן האירופי**

ערך הפרמטר		רמת חומרת ההתנגשות
THIV ≤ 33 ו-קמ"ש	ASI ≤ 1,0	A
	ASI ≤ 1,4	B
	ASI ≤ 1,9	C

הדפורמציה של מעקות הבטיחות בעת מבחני ההתנגשות מתאפיינת בסטייה דינמית (D), רוחב פעיל (W) וחדירת רכב (VI – vehicle intrusion) – ראו איור 4.1. מבדילים בין ערכי הדפורמציה שנמדדו במבחן (m – measured):  $D_m, W_m, VI_m$ , לבין ערכי הדפורמציה המנורמלים (N – normalized):  $D_N, W_N, VI_N$ . דיוק המדידה של הסטייה הדינמית ושל הרוחב הפעיל הוא 10% ולא פחות מ-0.1 מ'; הערכים נמדדים עם דיוק של שתי ספרות אחרי הנקודה, ומעוגלים לעשירית המטר. עם זאת, הערך המעוגל של הרוחב הפעיל יהיה תמיד גדול יותר מרוחב המעקה. דיוק המדידה של פרמטר חדירת הרכב – 0.2 מ'.



**איור 4.1:** סטייה דינמית ( $D_m$ ), רוחב פעיל ( $W_m$ ) וחדירת רכב ( $V_{Im}$ ) הנמדדים במבחן

הסטייה הדינמית ( $D_m$ ) היא ההזזה הצידיה המרבית של צד ההתקן הפונה לתנועה, בעת ההתנגשות. הרוחב הפעיל ( $W_m$ ) מהווה את המרחק בין דופן המעקה הפונה לתנועה לפני ההתנגשות, לבין הנקודה האופקית הקיצונית ביותר של ההתקן בעת ההתנגשות. כאשר גוף הרכב נכרך מסביב להתקן כך שהמעקה אינו יכול לשמש למדידת הרוחב הפעיל, הנקודה הקיצונית ביותר של הרכב תשמש למדידה במקרה זה (ראו מקרה d באיור 4.1).

חדירת הרכב ( $Vl_m$ ) נמדדת במבחנים עם רכב משא ואוטובוס בלבד, והיא מהווה את הנקודה האופקית הקיצונית ביותר של הרכב, ביחס לדופן המעקה הפונה לתנועה לפני ההתנגשות. עבור רכב משא, פרמטר זה נמדד בגובה 4 מ' ובהינתן עומס מוגדר על רצפת הרכב, כמוצג במקרים e, f באיור 4.1. עבור אוטובוס, פרמטר ה- $Vl$  נמדד לפי הנקודה האופקית הקיצונית ביותר של האוטובוס שנצפתה במבחן, אשר יכולה להיות באוויר או על הקרקע (ראו פרק 5 לגבי משמעויות של פרמטר ה- $Vl$  בבחירת מעקה להצבה).

הערכים המנורמלים של מדדי הדפורמציה מחושבים כמוצג להלן:

$$\text{Normalised Dynamic Deflection } (D_N) \text{ in metres (m)} = D_m \times \sqrt{\frac{M_t \times (V_t \times \sin \alpha_t)^2}{M_m \times (V_m \times \sin \alpha_m)^2}}$$

$$\text{Normalised Working Width } (W_N) \text{ in metres (m)} = W_U + \left[ (W_m - W_U) \times \sqrt{\frac{M_t \times (V_t \times \sin \alpha_t)^2}{M_m \times (V_m \times \sin \alpha_m)^2}} \right]$$

$$\text{Normalised Vehicle Intrusion } (VI_N) \text{ in metres (m)} = VI_m \times \sqrt{\frac{M_t \times (V_t \times \sin \alpha_t)^2}{M_m \times (V_m \times \sin \alpha_m)^2}}$$

כאשר:

$D_m$  – ערך נמדד של סטייה דינמית מרבית, מ';

$W_m$  – ערך נמדד של רוחב פעיל, מ';

$W_U$  – רוחב מעקה לפני המבחן, מ';

$Vl_m$  – ערך נמדד של חדירת רכב, מ';

$M_t$  – משקל רכב כולל במבחן כפי שמוגדר בטבלה 4.1, ק"ג;

$V_t$  – מהירות התנגשות רכב במבחן כפי שמוגדר בטבלה 4.1, מ'/שנ';

$\alpha_t$  – זווית התנגשות רכב במבחן כפי שמוגדר בטבלה 4.1, מעלות;

$M_m$  – משקל רכב כולל כפי שנמדד במבחן, ק"ג;

$V_m$  – מהירות התנגשות רכב שנמדדה במבחן, מ'/שנ';

$\alpha_m$  – זווית התנגשות רכב שנמדדה במבחן, מעלות.

טבלה 4.4 מגדירה את דרגות הרוחב הפעיל של מעקות על סמך מידות הרוחב הפעיל שהוערכו בעקבות מבחני ההתנגשות. טבלה 4.5 מגדירה את דרגות חדירת הרכב על סמך מידות הפרמטר שהוערכו בעקבות מבחני ההתנגשות. הדרגות מתייחסות לערכים מנורמלים של שני מדדי הדפורמציה.

טבלה 4.6 מסכמת את כל פרמטרי המבחנים הנדרשים להערכת המעקה, כפונקציה של רמת הבלימה. לכל רמת בלימה דרוש מבחן/מבחנים לפרמטרים השונים שעל המעקה לעמוד בהם. לכל פרמטר הנדרש לבדיקה, מצוין סוג מבחן בו הוא נמדד. לדוגמא, כדי להיחשב כעומד בדרישות לרמה H2, על המעקה לעבור מבחנים לרכב קל (TB 11) ולאוטובוס (TB 51), על-פי תנאי המבחנים המפורטים בטבלה 4.1; חומרת ההתנגשות ודפורמציית הרכב יימדדו בעקבות המבחן עם רכב קל, ואילו הרוחב הפעיל ורמת חדירת הרכב ייקבעו בעקבות שני המבחנים. כל הפרמטרים שמצוינים בטבלה 4.6 צריכים

להיות מדווחים בעקבות המבחנים, כאשר הערכים החמורים ביותר ישמשו להגדרת רמת התפקוד של מעקה.

#### טבלה 4.4: רמות רוחב פעיל מנורמל לפי התקן האירופי

מידות הרוחב הפעיל המנורמל (מ')	דרגות הרוחב הפעיל המנורמל
$W_N \leq 0.6$	W1
$W_N \leq 0.8$	W2
$W_N \leq 1.0$	W3
$W_N \leq 1.3$	W4
$W_N \leq 1.7$	W5
$W_N \leq 2.1$	W6
$W_N \leq 2.5$	W7
$W_N \leq 3.5$	W8

הערות לטבלה 4.4:

- ניתן להגדיר רוחב פעיל קטן מ-W1.
- הדפורמציה תלויה בסוג המעקה ובמאפייני מבחן ההתנגשות.

#### טבלה 4.5: רמות חדירת רכב מנורמלת לפי התקן האירופי

מידות חדירת הרכב המנורמלת (מ')	דרגות חדירת הרכב המנורמלת
$VI_N \leq 0.6$	VI1
$VI_N \leq 0.8$	VI2
$VI_N \leq 1.0$	VI3
$VI_N \leq 1.3$	VI4
$VI_N \leq 1.7$	VI5
$VI_N \leq 2.1$	VI6
$VI_N \leq 2.5$	VI7
$VI_N \leq 3.5$	VI8
$VI_N > 3.5$	VI9

הערות לטבלה 4.5:

- ניתן להגדיר דרגת חדירת רכב פחות מ-VI1.
- הסטייה הדינמית, הרוחב הפעיל ורמת חדירת הרכב, מאפשרים להגדיר דרישות לתנאי התקנה של כל מעקה, וגם להגדיר מרחקים הנדרשים מאחורי המעקה ולפני המכשולים, כדי לאפשר תפקוד מספק של ההתקן.

לגבי התנהגות המעקה במבחן מוגדרות דרישות כלהלן:

- במהלך מבחן התנגשות, מעקה הבטיחות אמור לבלום כלי רכב ללא שבירה מלאה של אף אלמנט עיקרי אורכי של המערכת.
- כל חלקי המעקה במשקל מעל 2 ק"ג שנפרדו ממנו במהלך ההתנגשות יזוהו, יאותרו ויתועדו. מידע זה יכול לשמש להגדרת תנאי שטח בהם המעקה לא מומלץ לשימוש, משיקולי בטיחות של אנשים הנמצאים מאחורי המעקה.
- חלקי המעקה לא יחדרו לתא הנוסעים של הרכב.
- אין לאפשר דפורמציה של תא הנוסעים או חדירה לתא הנוסעים, אשר עשויות לגרום לפגיעות קשות.

**טבלה 4.6: פרמטרים למבחני התנגשות במעקות לפי התקן האירופי**

רמת בלימה	התנהגות המעקה והרכב	רמת חומרת ההתנגשות ASI-THIV	דפורמציית הרכב (VCDI)	דפורמציית המעקה
T1	TB 21	TB 21	TB 21	TB 21
T2	TB 22	TB 22	TB 22	TB 22
T3	TB 41 + TB 21	TB 21	TB 21	TB 41 + TB 21
N1	TB 31	TB 31	TB 31	TB 31
N2	TB 32 + TB 11	TB 32 + TB 11a	TB 32 + TB 11	TB 32 + TB 11
H1	TB 42 + TB 11	TB 11	TB 11	TB 42 + TB 11
H2	TB 51 + TB 11	TB 11	TB 11	TB 51 + TB 11
H3	TB 61 + TB 11	TB 11	TB 11	TB 61 + TB 11
H4a	TB 71 + TB 11	TB 11	TB 11	TB 71 + TB 11
H4b	TB 81+ TB 11	TB 11	TB 11	TB 81+ TB 11
L1	TB 42 + TB32 + TB 11	TB 32 + TB 11a	TB 32 + TB 11	TB 42 + TB32 + TB 11
L2	TB 51 + TB32 + TB 11	TB 32 + TB 11a	TB 32 + TB 11	TB 51 + TB32 + TB 11
L3	TB 61 + TB32 + TB 11	TB 32 + TB 11a	TB 32 + TB 11	TB 61 + TB32 + TB 11
L4a	TB 71 + TB32 + TB 11	TB 32 + TB 11a	TB 32 + TB 11	TB 71 + TB32 + TB 11
L4b	TB 81+ TB32 + TB 11	TB 32 + TB 11a	TB 32 + TB 11	TB 81+ TB32 + TB 11

הערות: VCDI אינו קריטריון קבלה.

a רמת החומרה נקבעת ע"פ התוצאה הגבוהה משני המבחנים.

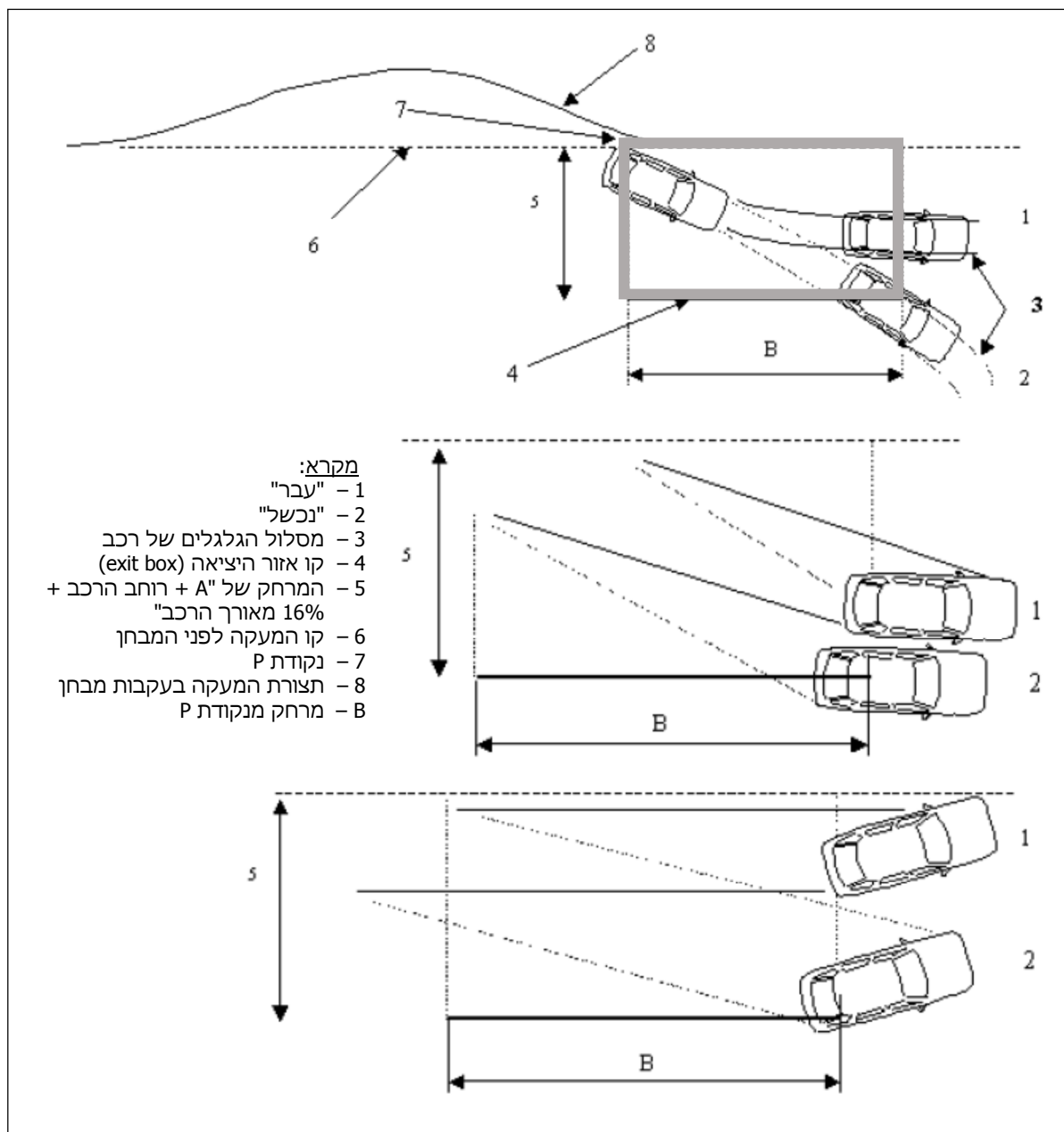
לגבי התנהגות הרכב במבחן מוגדרות דרישות כלהלן:

- במהלך המבחן ואחריו, לא יותר מגלגל אחד של הרכב יעבור באופן מלא מעל או מתחת למעקה.
- הרכב לא יתהפך במהלך המבחן ואחריו.

- במבחנים עם משאיות ואוטובוסים, לא יותר מ-5% מהמשקל הנוסף (ballast) ייפרד מהרכב או יתפזר במהלך המבחן (עד ליציאת גלגלי הרכב מאזור היציאה המוגדר – exit box).

כמו כן, בעקבות התנגשות במעקה, מיקום הרכב יהיה בתחום אזור היציאה המוגדר או מעטפת התפקוד (exit box) המחושב בהתאם לסוג הרכב, רוחבו ואורכו – איור 4.2. גלגלי הרכב לא יחצו את הקו המקביל לקו המעקה לפני המבחן, הנמצא במרחק A בתוספת רוחב הרכב ועוד 16% מאורך הרכב, כאשר הרכב נמצא במרחק B מנקודת P בה הגלגלים של הרכב חצו לאחרונה את קו המעקה (שהיה לפני המבחן) – ראו איור 4.2. פירוט מרחקים A ו-B מובא בטבלה 4.7.

התקנת המעקה בכל מבחן מבוצעת על-ידי היצרן, בהתאמה מלאה עם המפרט הטכני והוראות התקנה למעקה. אורך התקנת המעקה במבחן הינו אורך התקנה מזערי לשימוש במעקה.



**איור 4.2:** דוגמאות למיקום הרכב לעומת אזור יציאה מוגדר (exit box)

#### טבלה 4.7: מרחקים להגדרת אזור יציאה של רכב (exit box) (מ')

סוג רכב	A	B
רכב פרטי	2.2	10
רכב אחר	4.4	20

### 4.2.2 התקן האמריקני

הדרישות המעודכנות לבחינת רמות תפקוד של מעקות הבטיחות בארה"ב מפורטות במדריך MASH (Manual for Assessing Safety Hardware) שפורסם בשנת 2009 ונכנס לתוקף בשנת 2011. המדריך MASH החליף את הנוהל הקודם – NCHRP 350, אשר קבע תנאים למבחני התנגשות של מעקות (והתקני בטיחות אחרים), משנת 1993. השינויים בתנאי המבחנים למעקות במדריך MASH לעומת המסמך הקודם התייחסו אל:

- גודל כלי הרכב במבחנים, כאשר משקלו של רכב פרטי קטן עלה מ-820 ל-1100 ק"ג, ומשקלו של טנדר עלה מ-2000 ל-2270 ק"ג; נקבע כי מרכז הכובד של הטנדר צריך להיות בגובה של 710 מ"מ, לפחות. כמו כן, משקל רכב משא ללא נגרר עלה מ-8000 ל-10000 ק"ג. השינויים במשקל ובגודל של כלי הרכב במבחנים נערכו על מנת לשקף את השינויים שחלו בצי הרכב.
- זוויות התנגשות במעקה של רכב פרטי קטן עלו מ-20° ל-25°, על מנת להתאים לזוויות התנגשות של טנדר.
- מהירות התנגשות במעקה של רכב משא ללא נגרר עלתה מ-80 ל-90 קמ"ש, כדי לחזק את ההבדל בין רמת תפקוד בסיסית (שמתקבלת בעקבות התנגשויות של כלי רכב פרטיים בלבד), לבין רמת תפקוד גבוהה יותר (שנקבעת בעקבות התנגשות של רכב משא). כתוצאה משינויי משקל ומהירות ההתנגשות, רמת האנרגיה הקינטית שנספגת ע"י המעקה בהתנגשות של רכב משא ללא נגרר עלתה ב-58%.

בתקינה האמריקנית, רמות התפקוד של מעקות מוגדרות ע"י **רמות מבחן** (TL – test level), אשר קובעות את סוגי המבחנים הנדרשים ואת הקריטריונים להערכת תוצאות המבחנים. רמות מבחן למעקות הבטיחות במדריך MASH מפורטות בטבלה 4.8. מעקה הבטיחות נבדק ברמות מבחן מ-1 עד 6. כלי הרכב המעורבים במבחני ההתנגשות הם: רכב פרטי במשקל 1100 ק"ג, טנדר במשקל 2270 ק"ג (pickup truck), משאית ללא נגרר במשקל 10000 ק"ג, משאית מורכבת במשקל 36000 ק"ג (tank trailer-ו van trailer).

לפי הדרישות של מדריך MASH, מבחני ההתנגשות עם רכב פרטי וטנדר נערכים במהירויות של 50 קמ"ש (רמת מבחן TL1), 70 קמ"ש (רמת מבחן TL2) ו-100 קמ"ש (רמות מבחן TL3-TL6), ובזוויות התנגשות של 25°. מבחן התנגשות עם רכב משא ללא נגרר, לרמת מבחן TL4, נערך במהירות 90 קמ"ש ובזוויות 15°. מבחני התנגשות עם רכב משא כבד, לרמות מבחן TL5-TL6, נערכים במהירות 80 קמ"ש ובזוויות 15°.

התנגשות רכב במעקה צריכה להתבצע בנקודה הקריטית (CIP – critical impact point) – איור 4.3, בה קיים סיכוי מרבי לכשל המערכת. צורות כשל אפשריות הן: היתפסות גלגל הרכב בסמוך לנקודה קשיחה של המערכת (pocketing), קרע (snagging), מעבר הרכב מעל או מתחת למערכת המעקה, שבירת מעקה עקב עומס יתר בנקודות התפר. בחירת נקודת ההתנגשות במבחן מבוצעת תוך כדי התחשבות בסוג מעקה ובגמישותו ובתנאי המבחן.

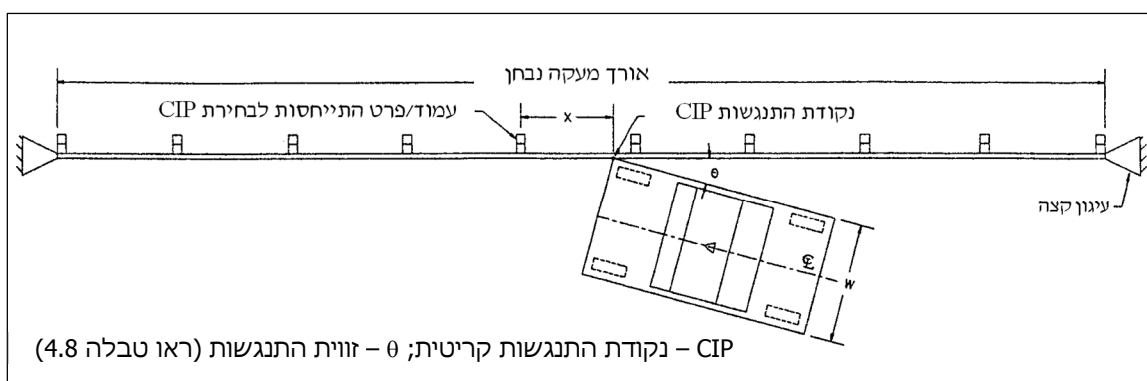
בתקינה האמריקנית, הקריטריונים להערכת תוצאות המבחנים מתייחסים לשלוש קבוצות גורמים והם: מידת התאמה מבנית (structural adequacy), רמת סיכון לנוסעי הרכב (occupant risk), והתנהגות הרכב לאחר ההתנגשות (vehicle trajectory). פירוט של קריטריוני קבלה למבחני התנגשות במעקות מובא בטבלה 4.9. בקריטריונים אלה, בדומה לתקינה האירופית, יש מדדי מהירות ותאווה הפועלים על נוסעי הרכב לביטוי חומרת הפגיעה, עם ערכים מועדפים ומרביים, אולם, שלא כמו בתקן האירופי, הם לא מוסיפים לסיווג המעקה מעבר לרמת התפקוד שנקבעה. הקריטריון של התנהגות הרכב לאחר ההתנגשות אינו מיושם במבחני התנגשות במעקות.

בארה"ב, המעקות שהוסמכו לרמת מבחן TL3, מקובלים לשימוש במגוון רחב של דרכים עורקיות ומהירות. רמה TL2 מאפיינת התקנים המיועדים לשימוש ברוב הדרכים המקומיות והמאספות ובאזורי עבודות בדרך. רמה TL1 מאפיינת התקנים הצפויים לשימוש באזורים מסוימים של עבודות בדרך, וברחובות ובדרכים עם נפחי תנועה ומהירויות נמוכים במיוחד. ישימותן של הרמות מ-TL4 עד TL6 נקבעת בתלות בנפח התנועה של משאיות וכלי רכב כבדים, ו/או בתלות בהשלכות החדירה מעבר למעקה הבטיחות.

**טבלה 4.8: רמות מבחן למעקות בטיחות לפי המדריך האמריקני MASH**

תנאי המבחן				סימון המבחן	רמת מבחן test level
קריטריוני קבלה	זווית (מעלות)	מהירות (קמ"ש)	סוג הרכב ומשקלו (ק"ג)		
A,D,F,H,I	25	50	1,100C	1-10	1
			2,270P	1-11	
A,D,F,H,I	25	70	1,100C	2-10	2
			2,270P	2-11	
A,D,F,H,I	25	100	1,100C	3-10	3
			2,270P	3-11	
A,D,F,H,I	25	100	1,100C	4-10	4
			2,270P	4-11	
A,D,G	25	100	10,000S	4-12	
A,D,F,H,I	15	90	1,100C	5-10	5
			2,270P	5-11	
A,D,G	25	100	36,000V	5-12	
A,D,F,H,I	15	80	1,100C	6-10	6
			2,270P	6-11	
A,D,G	25	100	36,000T	6-12	

הערות: הערכים החדשים במדריך MASH לעומת הנוהל NCHRP 350 מודגשים באפור. קריטריוני קבלה למבחנים מפורטים בטבלה 4.9.



**איור 4.3: תנאי מבחן למעקות בטיחות לפי מדריך MASH**

## טבלה 4.9: קריטריוני קבלה במבחני התנגשות למעקות לפי מדריך MASH

קריטריוני הערכה			גורמים מוערכים
A. ההתקן הנבדק ירסן את הרכב וישנה את כיוון נסיעתו, או יביאו לעצירה מבוקרת. הרכב לא יפרוץ את ההתקן הנבדק ולא יעבור מתחתיו או מעליו, אם כי סטייה צידית מבוקרת של ההתקן הנבדק קבילה.			התאמה מבנית
D. רכיבים שהתפרקו, שברים או רסיסים של ההתקן הנבדק, לא יחדרו לתא הנוסעים, לא יהוו פוטנציאל לחדירה לתא הנוסעים, ולא יהוו גורמי-סיכון לכלי רכב אחרים, הולכי רגל או העובדים בדרך. עיוות של תא הנוסעים או חדירה לתוכו, לא יעלו על גבולות מוגדרים.			סיכון לנוסעים
F. הרכב יישאר ניצב במהלך ההתנגשות ולאחריה. זוויות מרביות של גלגול וטלטול לא יעלו על 75°.			
G. עדיף, אם כי לא חיוני, שהרכב יישאר ניצב במהלך ההתנגשות ולאחריה. (במבחן 12)			
H. המהירויות הנמדדות בתא הנוסעים יעמדו בדרישות שלהלן:			
ערכים גבוליים של מהירויות בתא הנוסעים (מ'/שני')			
רכיב	ערך עדיף	ערך מרבי	
אורכי וצידי	9.1	12.2	
I. תאוצות כובד של הנוסעים יעמדו בדרישות שלהלן*:			
ערכים גבוליים של תאוצות הכובד של הנוסעים (ערכי g)			
רכיב	עדיף	מרבי	
אורכי וצידי	15.0	20.49	

\* ראו שיטות חישוב ב-Appendix A, סעיף A5.3 של מדריך MASH (2009)

### 4.2.3 ההקבלה בין דרישות התקנים

בשני התקנים, הן האירופי והן האמריקני, קביעת רמת התפקוד של מעקה הבטיחות מבוצעת באופן הבא: בהתאם לדרגת התפקוד של ההתקן (המוצהרת והעומדת לבדיקה), נקבעת רשימה של מבחני התנגשות שההתקן אמור לעמוד בהם. סוג המבחן קובע את תנאי המבחן: סוג הרכב, מהירות ההתנגשות, זווית ההתנגשות וצורתה. בעקבות ההתנגשות, מוערכים פרמטרים של מצב ההתקן והרכב, מיקום הרכב אחרי ההתנגשות, ורמת הסיכון לנוסעי הרכב. לכל אחד מפרמטרים אלה ישנם ספי קבלה. כאשר המעקה עבר בהצלחה את כל רשימת המבחנים, הוא מקבל סימון על-ידי דרגת תפקוד, רמת חומרה ועוד, על-פי הקטגוריות המוגדרות בתקן.

התנאים של מבחני ההתנגשות של שני התקנים אינם זהים – בין התקנים קיים שוני בזוויות ובמהירויות ההתנגשות ובמשקל הרכב. עם זאת, בשניהם מדובר בסוגי רכב דומים, במהירויות גבוהות דומות, וכן, בסדרת המבחנים ישנה המשכיות – מעבר מריסון רכב קל לריסון רכב כבד. התקן האמריקני אינו כולל מבחן לריסון אוטובוס. מאידך, מבחני ההתנגשות עם רכב קל מחמירים יותר בתקן האמריקני לעומת

התקן האירופי. בנוסף, התקן האירופי קובע רמות לחומרת הפגיעה של נוסעי הרכב, בעוד שהתקן האמריקני אינו נותן ביטוי לפרמטר זה (אם כי בודק אותו).

טבלה 4.10 מסכמת את תנאי המבחנים שמאחורי רמות תפקוד של מעקות הבטיחות, שנקבעים על-פי שני התקנים. תנאי המבחנים משמשים אינדיקציה ליכולת המעקה לתפקד כנדרש בתנאי שטח ותנועה מסוימים וכתוצאה, משמשים בסיס לקביעת רמת התפקוד הנדרשת של מעקות הבטיחות המיועדים להצבה בתנאי דרך מסוימים.

**טבלה 4.10: תנאים של מבחני ההתנגשות שברקע רמות התפקוד של מעקות הבטיחות,**

בתקן האירופי ובתקן האמריקני

רמת תפקוד תואמת ע"פ התקן האמריקני	מהירויות שנבחנו (קמ"ש)*	סוגי רכב שנבחנו*	רמת תפקוד ע"פ התקן האירופי
TL2	80	קל	N1
TL3	110	קל	N2
TL4	100 70	קל משא (משקל 10 טון)	H1
–	100 70	קל אוטובוס	H2
–	100 80	קל משא (משקל 16 טון)	H3
TL5-TL6	100 65	קל משא כבד	H4a
TL5-TL6	100 65	קל משא כבד	H4b

\* מובא על-פי התקן האירופי. בתקן האמריקני קיים שוני קל בזוויות ובמהירויות ההתנגשות ובמשקל הרכב, לעומת התקן האירופי, ראו טבלה 4.8 לעיל.

### 4.3 רמות תפקוד נדרשות של מעקות הבטיחות בישראל

טבלה 4.11 מפרטת את רמות התפקוד של מעקות הבטיחות הנדרשות בדרכים בין-עירוניות בישראל. הדרישות שנקבעו בישראל תואמות את הניסיון הבינלאומי<sup>14</sup>.

"רמת תפקוד בסיסית" בטבלה 4.11 מהווה את הדרישה המזערית לרמת תפקוד המעקה. בהתאם לשיקול המתכנן, ניתן בכל אתר להציב מעקה ברמת תפקוד גבוהה יותר מאשר הרמה הבסיסית הנדרשת. (הצבת מעקה ברמת תפקוד גבוהה יותר מן הנדרש יכולה לנבוע, למשל, ממגבלות של רוחב

<sup>14</sup> מבדיקת ההנחיות המעודכנות שהתפרסמו במדינות אירופה ובארה"ב נמצא שהדרישה הבסיסית לרמת תפקוד של מעקות הבטיחות בדרכים הלא-עירוניות היא N2 על-פי התקן האירופי או TL3 על-פי התקן האמריקני, כאשר בחלק ניכר מהדרכים המהירות/דו-מסלוליות קיימות דרישות גבוהות יותר – לרמת תפקוד בסיסית H1 או H2. כמו כן, במדינות מסוימות (גרמניה, הולנד, אנגליה) הוגדרו דרישות מיוחדות לרמות תפקוד של מעקות הבטיחות במפרדה – רמה H2. בנוסף, ברוב המדינות, נקבעו דרישות גבוהות יותר למעקות המותקנים באתרים עם סיכון גבוה לצד שלישי – רמות תפקוד H2, H4.

פעיל אשר מחייבות זאת.) לעומת זאת, באף אתר, אין להציב מעקה בטיחות שרמת תפקודו נמוכה מאשר הרמה הבסיסית הנדרשת על-פי מאפייני האתר.

רמות התפקוד של מעקות הבטיחות מוגדרות בטבלה 4.11 על-פי התקן האירופי EN 1317-2. כל מעקה שנבחן על-פי התקן האירופי והמיועד להצבה בדרכים בישראל, אמור לעמוד ברמות תפקוד אלו. כל מעקה בטיחות אשר נבחן על-פי התקן האמריקני ולו רמת תפקוד תואמת (כמפורט בטבלה 4.10), ייחשב במידה שווה כמתאים להצבה בדרכים בישראל.

בבחירת רמת התפקוד למעקה יש לשים לב למספר סוגיות כמפורט להלן.

#### א. מעקה בסמוך לנתיב תחבורה ציבורית

בעקבות קידום מדיניות ההעדפה לתחבורה הציבורית בישראל, בחלק ניכר מרשת הדרכים מוסדרים נתיבי תחבורה ציבורית המאפשרים העברת תנועת אוטובוסים ממצב של תנועה מעורבת לריכוז בנתיב הימני, השמאלי או בשול. בכל מצב, כאשר המעקה מותקן בסמוך לנתיב תחבורה ציבורית בדרך בין-עירונית, הוא צריך להיות ברמת תפקוד H2, לפחות. דרישה זו חלה גם כאשר המעקה מותקן בין הכביש לבין מסילה של רכבת קלה ('רכבת עירונית') בדרך בין-עירונית.

**טבלה 4.11: רמות תפקוד נדרשות של מעקות הבטיחות בדרכים הבין-עירוניות**

סוג דרך בינעירונית	רמת תפקוד בסיסית בצד הדרך	רמת תפקוד בסיסית במפרדה	תנאים מחמירים* שבהם נדרשת רמת תפקוד גבוהה יותר
חד-מסלולית	N2	-	1. בצד הדרך, בתנאים של סוללה גבוהה או אזור של סיכון גבוה <sup>(1)</sup> ונפח הרכב הכבד <sup>(2)</sup> עולה על 1500 – רמה H1. 2. בצד הדרך, בתנאים של סוללה גבוהה או אזור של סיכון גבוה <sup>(1)</sup> ונפח הרכב הכבד <sup>(2)</sup> עולה על 3000 – רמה H2. 3. בצד הדרך, כאשר קיים סיכון גבוה לצד שלישי ונפח של משאיות כבדות <sup>(3)</sup> עולה על 500 – רמה H4.
מהירה או דו-מסלולית אחרת	H1	H1	1. בצד הדרך או במפרדה, כאשר נפח הרכב הכבד <sup>(2)</sup> עולה על 3000 – רמה H2. 2. בצד הדרך או במפרדה, כאשר המעקה מותקן בסמוך לנתיב תחבורה ציבורית, לרבות רכבת קלה – רמה H2. 3. בצד הדרך, כאשר קיים סיכון גבוה לצד שלישי <sup>(1)</sup> – רמה H4. 4. במפרדה של ציר תנועה ראשי, כאשר הנפח של משאיות כבדות <sup>(3)</sup> עולה על 1000 – רמה H4.

הערות לטבלה 4.11:

\* הסברים ל-"תנאים מחמירים":

(1) התנאים "אזור של סיכון גבוה", "סיכון גבוה לצד שלישי" כמוגדר בסעיף 3.2.4 לעיל; תנאי "סוללה גבוהה" כמוגדר בסעיף 3.2.2 לעיל.

(2) נפח משותף של משאיות ואוטובוסים ביממה.

(3) נפח המשאיות הכבדות במשקל מעל 16 טון – כלי רכב ביממה (אם אין נתון ספציפי לקטע דרך, יש לקחת חלוקה אופיינית ברשת הדרכים מנתוני הלמ"ס).

**נפח התנועה לחישוב:**

- בדרך חד-מסלולית: הנפח הכולל לשני הכיוונים.

- בדרך דו-מסלולית: לקביעת מעקות הצד או המפרדה במסלולים נפרדים – הנפח באותו מסלול; לקביעת מעקה משותף במפרדה – הנפח הכולל בדרך.

הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות

## **ב. רמות תפקוד של מעקות ברמפות של מחלפים**

רמת תפקוד למעקות ברמפות במחלפים תיקבע בדרך-כלל בהתאם לרמת הדרך ממנה יוצאים, כמפורט להלן:

1. הדרישה לרמת התפקוד של המעקות בסוגי דרכים שונות (כמוצג בטבלה 4.11) כוללת גם את רמפות היציאה מדרכים אלה. ככלל, אין צורך בבדיקה נפרדת לגבי רמת תפקוד של מעקות ברמפות היציאה. כברירת המחדל, רמת התפקוד שנקבעה בדרך תשמש גם ברמפת היציאה.
2. השיקול של "סיכון גבוה לצד שלישי" לא חל במקרה של קביעת רמת תפקוד למעקות ברמפות המחלפים.
3. המתכנן יכול לשיקול החמרה או הקלה בדרישות לרמת תפקוד המעקה ברמפה, בהתאם למאפיינים של סוג הדרך (המשנית) אליה מתחברים, נפח התנועה ברמפה, הרכב התנועה, מהירויות הנסיעה – אשר שונים באופן ניכר לעומת המצב בדרך העיקרית (ממנה יוצאת הרמפה).

להלן דוגמאות להקלה או להחמרה בדרישות לרמת תפקוד של מעקה ברמפת היציאה במחלף:

- המעקה שנדרש ברמפת היציאה מדרך עיקרית דו-מסלולית או מהירה יהיה, כברירת המחדל, ברמת תפקוד H1 או H2. עם זאת, אם מדובר ברמפת יציאה לדרך חד-מסלולית או עירונית, כאשר ברמפה מתקיימת ירידה ניכרת במהירויות הנסיעה לעומת הדרך הראשית, והרמפה בתוואי ישר, ללא עקום אופקי, ניתן לעבור למעקה ברמת תפקוד N2. לעומת זאת, אם ברמפה יש עקמומיות ניכרת (כגון: רדיוס אופקי עד 400 מ') ובנוכחות גבוהה של משאיות בתנועה (כגון: מעל 10%), נדרש מעקה ברמת תפקוד H1, לפחות, ובנוכחות גבוהה של משאיות ואוטובוסים – נדרש מעקה ברמת תפקוד H2.

- המעקה שנדרש ברמפת היציאה מדרך חד-מסלולית לדרך דו-מסלולית או מהירה יהיה, כברירת המחדל, ברמת תפקוד N2. עם זאת, ברמפת יציאה עם עלייה במהירויות הנסיעה ועקמומיות (כגון: רדיוס אופקי עד 400 מ'), יש מקום לעבור למעקה ברמת תפקוד H1.

**נספח ב'** מציג ריכוז שיקולים לבחינת רמת תפקוד של מעקות ברמפות היציאה במחלפים. המתכנן יכול לבחון החמרה או הקלה בדרישות לרמת תפקוד המעקות ברמפות, תוך כדי התחשבות בשיקולים אלה. יש לציין שב-"מחלפי מערכת" כהגדרתם בהנחיות למחלפים, אין להפעיל שיקולים לשינוי רמת תפקוד של מעקות ברמפות. השיקולים לשינוי רמת תפקוד יהיו רלוונטיים רק ל-"מחלפי גישה".

## **ג. רמות תפקוד של מעקות בדרכים דלות תנועה**

בדרכים המאופיינות בתנועה דלילה ובמהירויות נסיעה נמוכות, כגון דרכים נופיות, ניתן לתת הקלה ברמת התפקוד הנדרשת למעקות הבטיחות. בהתבסס על מסמך נת"י "הנחיות ליישום מעקות בטיחות נופיים בישראל" (2009), טבלה 4.12 מציגה דרישות לרמות תפקוד של מעקות בדרכים עם תנועה דלילה ומהירויות נמוכות.

## טבלה 4.12: רמות תפקוד נדרשות של מעקות הבטיחות בדרכים עם תנועה דלילה\*

ומהירויות נמוכות

סוג דרך/ מהירות תכן	רמת תפקוד בסיסית	תנאים מחמירים** שבהם נדרשת רמת תפקוד גבוהה יותר
חד-מסלולית/ מהירויות עד 70 קמ"ש	TL2/N1	1. בתנאים של סוללה גבוהה או אזור של סיכון גבוה, וכאשר קיים יחס גבוה של משאיות – רמה H1 2. בתנאים של סוללה גבוהה או אזור של סיכון גבוה, וכאשר קיים יחס גבוה של משאיות ואוטובוסים – רמה H2

הערות לטבלה 4.12:

- \* נפח תנועה יומי עד 3000 כלי רכב
- \*\* הסברים ל-"תנאים מחמירים"
  - (1) "סוללה גבוהה" – בגובה 2 מ' או יותר.
  - (2) התנאים של "אזור של סיכון גבוה" כמוגדר בסעיף 3.2.4 לעיל.
  - (3) "יחס גבוה של משאיות" – מספר משאיות (מעל 4 טון) מעל 15% מנפח התנועה היומי.
  - (4) "יחס גבוה של משאיות ואוטובוסים" – סה"כ מספר משאיות (מעל 10 טון) ואוטובוסים מעל 15% מנפח התנועה היומי.

לפי טבלה 4.12, בדרכים הנ"ל, בתנאי תנועה רגילה ניתן להסתפק ברמת תפקוד נמוכה למעקה, פחות מ-N2<sup>15</sup>. עם זאת, בתנאים מחמירים המהווים שילוב של נוכחות סוללה גבוהה או אזור סיכון גבוה עם יחס גבוה של משאיות או משאיות ואוטובוסים בתנועה, נדרש שימוש במעקות הבטיחות ברמות תפקוד גבוהות יותר, H1 או H2<sup>16</sup>.

## 4.4 שיקולים לבחירת סוג המעקה להתקנה

### א. מעקה מאושר

מעקות בטיחות המיועדים להתקנה בישראל אמורים לעמוד בדרישות של אחד משני התקנים – האירופי או האמריקני, לבחינת רמת התפקוד. ככלל, בבחירת המעקה להתקנה אין עדיפות לסוגי המעקות שנבחנו על-פי תקן מסוים. בפועל, רוב המעקות שאושרו עד כה בישראל עמדו בדרישות התקינה האירופית.

כל סוג של מעקה שנבחר לשימוש צריך להיות מאושר על-ידי הוועדה הבין-משרדית לבחינת התקני תנועה ובטיחות. בחינת המעקה על-ידי הוועדה נסמכת על הצגת דו"חות מלאים של מבחני ההתנגשות שנערכו עם המעקה, בהתאם לתקינה העדכנית.

בנוסף, כחלק מתהליך ההרמוניזציה בשימוש במעקות הבטיחות (והתקני בטיחות אחרים) באירופה, נכנס לתוקף בעשור האחרון החלק החמישי של התקן האירופי EN 1317 (EN 1317-5), לפיו קיימת חובת אישור של כל מעקה, כתנאי הכרחי לשימוש בהתקן במדינות האיחוד האירופי. לצורך זה, כל

<sup>15</sup> או N2, כי המעקות הנופיים המאושרים בישראל הם לרמת N2 או גבוהה יותר.

<sup>16</sup> בהקשר זה עלתה השאלה האם ניתן להסתפק ברמת תפקוד נמוכה יותר של מעקה הבטיחות. בבדיקת רמות האנרגיה הקינטית בעת התנגשות של כלי רכב כבדים במעקה נמצא שבמהירות התנגשות של 50 קמ"ש ובזווית התנגשות של 20° או יותר, רמות האנרגיה עולות על רמה N2, בהתנגשות רכב במשקל 10 טון, ועולות על רמה H1, בהתנגשות רכב במשקל 13 טון. כלומר, גם במהירויות הנמוכות, לריסון כלי רכב כבדים נדרש שימוש במעקות ברמות תפקוד H1 או H2, כפי שמצוין בטבלה 4.12.

מעקה נבדק על-ידי גוף מוכר באירופה (notified body) על סמך התוצאות של מבחני ההתנגשות שלו, המסמכים הטכניים (מפרט טכני והוראות התקנה למעקה), וכן בדיקת תהליכי ייצור ובקרת איכות המעקות במפעל המייצר. כתוצאה מתהליך הבדיקה, המעקה מקבל תעודת התאמה לתקן<sup>17</sup>, בה רשומה רמת תפקודו לפי התקן האירופי, בתוספת מאפייני רמת חומרה, סטייה דינמית, רוחב פעיל ופרמטר חדירת רכב (אם רלוונטי). כמו כן, בתעודה רשומים פרטים של מפעלי היצרן בהם מיוצר המעקה ונערכה בקרת איכות של תהליכי הייצור, והן מוצג תיאור של השינויים ברכיבי המעקה אשר קיבלו אישור של גוף מוכר באירופה.

עבור כל מעקה שעמד במבחני ההתנגשות לפי התקינה האירופית, חובה להציג בישראל תעודת התאמה לתקן, אשר ניתנה על-ידי גוף מוכר באירופה בהתאם לכללים של תקן EN 1317-5<sup>18</sup>.

### **ב. סיווג המעקות**

בעולם ובישראל, קיים כיום מגוון רחב של סוגי מעקות בטיחות. פיתוח מעקות הבטיחות נמשך כל הזמן, ולכן רשימת המעקות המאושרים לשימוש בישראל מתעדכנת באופן שוטף. לצורך השימוש במעקות חשוב להכיר במונחים הבסיסיים כמפורט להלן:

- **דגם מעקה** – מעקה המיוצר על-פי תכנון ייחודי (מחומרים ומידות מוגדרים), בעל שם מוגדר ותכונות מסוימות.

- **אב-טיפוס של מעקה** – דגם מעקה שנבחן במבחני התנגשות ועמד בהם.

- **יצרן מקורי** – הגוף שפיתח את דגם המעקה והגיש אותו למבחני ההתנגשות.

תהליך אישור של מעקה הבטיחות בישראל מתייחס לדגם המעקה שקשור ליצרן המקורי אשר פיתח את המעקה והוכיח את עמידתו במבחני ההתנגשות. בהמשך, בתהליכי יישום המעקה בדרכים, יש להקפיד על המפרט הטכני והוראות התקנה למעקה שנקבעו על-ידי היצרן המקורי, על מנת לוודא שהמעקה המותקן בשטח תואם את אב-הטיפוס שלו.

במיון מעקות הבטיחות מבדילים בין מעקה חד-צדדי ומעקה דו-צדדי. המעקה החד-צדדי הינו מעקה המתוכנן לפגיעת רכב מצד אחד בלבד, בעוד המעקה הדו-צדדי הינו מעקה המתוכנן לפגיעת רכב משני צידיו. כמו כן, במעקות פלדה ניתן להבדיל בין מעקה חד-קומתי ודו-קומתי: במקרה הראשון, למעקה יש קורה (או שתי קורות במעקה הדו-צדדי) בגובה אחד בלבד, במקרה השני – למעקה יש קורות בשני גבהים שונים, הנמוך שמיועד לספיגת האנרגיה בהתנגשות של רכב פרטי, והגבוה שנועד לספיגת האנרגיה בהתנגשות של רכב כבד.

ניתן למיין את המעקות לפי החומר שהמעקה עשוי ממנו כגון: מעקה פלדה, מעקה מקטעים העשוי מבטון טרומי, מעקה מבטון יצוק באתר. בנוסף, קיימים מעקות כבלים וגם מעקות המשלבים מספר סוגי חומרים, לדוגמא, מעקות נופיים הכוללים שלד מפלדה וחיפוי מעץ.

<sup>17</sup> EC Certificate of conformity ובהמשך, בשנים הבאות – EC Certificate of constancy of performance.  
<sup>18</sup> לפרטים נוספים ראו "נוהל לבחינה של התקני תנועה ובטיחות" של הוועדה הבין-משרדית.

הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות

במעקות הפלדה, היחידות מורכבות מרכיבים עיקריים כגון: עמוד, קורה, מרחיק. דגמי מעקות הפלדה נבדלים לפי סוגי הרכיבים העיקריים שמרכיבים אותם, סוגי הפלדה ששימשו ליצירת הרכיבים, ציפוף עמודים בהתקנת מעקה, ועוד. במעקות המקטעים מבטון קיים מגוון רחב של סוגים אשר נבדלים בתצורות של יחידות המעקה (פרופיל NJ – New Jersey, מדרגה – Step, שחמט, מלבני וכו'), אורך, גובה ורוחב של היחידות, סוגי מחברים, ועוד. במעקות מבטון יצוק קיימים סוגים שונים אשר נבדלים בפרופיל המעקה (NJ, מדרגה וכו'), סוג בטון, אופן החיזוק הפנימי של המעקה במהלך היציקה (מוטות זיון מפלדה וכד'), ועוד.

הסיווג העיקרי של המעקות המיועדים לשימוש בדרכים הוא לפי התכונות התפקודיות שלהם כגון רמת תפקוד, רוחב פעיל, רמת חומרת התנגשות, אשר נקבעו על סמך מבחני ההתנגשות בפועל, כפי שהוסבר לעיל בפרק זה.

### ג. שיקולים בבחירת סוג המעקה להתקנה

בבחירת סוג המעקה להתקנה בדרכים הבין-עירוניות יש להתחשב בשיקולים הבאים:

- מעקה הבטיחות הנבחר להתקנה אמור להתאים לרמת התפקוד הנדרשת על-פי תנאי האתר, או לרמת תפקוד גבוהה יותר (כמפורט בסעיף 4.3).
- יש לבדוק כי רוחב העבודה הפעיל (W), פרמטר חדירת הרכב (VI), אורך התקנה מזערי, ופרטי החיבור והעיגון של המעקה הנבחר מתאימים לתנאי השטח (ראו פירוט נוסף בפרק 5).
- משיקולי תחזוקה ומשיקולים חזותיים, מומלץ לא לערב סוגים רבים של מעקות בהתקנה. רצוי להבטיח כי לאורך קטע דרך אחד נמצאים בשימוש לא יותר מסוג אחד של מעקה בטון וסוג אחד של מעקה פלדה, פרט לאתרים מיוחדים עם תנאי דרך או תנועה מחמירים שבהם נדרש להתקנה סוג נוסף של מעקה הבטיחות.

### ד. התחשבות ברמת חומרת התנגשות של המעקה

ככלל, יש לבחור להתקנה מעקה בטיחות בעל רמת חומרה A או B (ראו טבלה 4.3 לעיל). מעקה ברמת חומרה A מבטיח בטיחות ברמה הגבוהה יותר לנוסעי הרכב, שכן הפוטנציאל שבו לפגיעה חמורה נמוך יותר, אך גם ברמה B מתקבלת רמת בטיחות טובה, ולכן עדיף להתקין אותם בסדר הנ"ל, כאשר יתר השיקולים דומים.

רק אם מוצו הליכי התכנון, והתברר מעל לכל ספק כי השימוש במעקות בעלי רמת חומרה A או B הוא בלתי אפשרי, בגלל אילוצי שטח, מותר להשתמש במעקה בעל רמת חומרה C או במעקה ללא רמת חומרה מוגדרת<sup>19</sup>. השימוש במעקה כנ"ל מותר רק אם אין ברירה ומתקיימים תנאי אילוץ כגון:

- במפרדה צרה, כאשר המעקה נחוץ למיגון נוסעי רכב מפני נציבי גשר, או מפני מכשולים קבועים אחרים, ובשל אילוצי רוחב פעיל מתחייב, בלית ברירה, שימוש במעקה ברמת חומרה C.

<sup>19</sup> כאשר המעקה נבחן לפי מסמך אמריקני NCHRP 350 או MASH 2009

הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות

- בצד הדרך, כאשר המעקה נחוץ למיגון נוסעי רכב מפני נציבי גשר, או מפני מכשולים קבועים אחרים, או באתרים שבהם קיים סיכון גבוה לצד שלישי ושבהם, משיקולי הרוחב הפעיל הנחוץ, לא ניתן להשתמש במעקה בעל רמת חומרה נמוכה יותר.

במקרה בו, בלית ברירה, נעשה שימוש במעקה בעל רמת חומרה C, התקנה של מעקה כזה תהיה באורך המזערי ההכרחי בנסיבות האתר.

בכל מקרה של שימוש במעקה בעל רמת חומרה C, רשות התמרוך המקומית תתעד במסמך נלווה מיוחד את שיקוליה ואת נימוקיה להצדקת השימוש במעקה זה.

## 4.5 כללים להחלפת מעקות מיושנים

כל מעקה בטיחות המותקן בדרך צריך להיות מזהה עם רמת תפקוד ידועה, על-פי התקינה העדכנית. במידה שהמעקה המותקן בשטח לא נבחן על-פי התקינה החדשה, לא עמד בדרישות התקן, או שרמת תפקודו אינה תואמת את רמת התפקוד הנדרשת בתנאי האתר, המעקה נחשב למיושן.

בישראל, בחלק ניכר מאורך הדרכים, עדיין מותקנים מעקות מיושנים מהסוגים: מעקה פלדה W הישן, מעקות בטון יצוק עם פרופיל NJ.

מעקות בטיחות מיושנים מיועדים להחלפה בשטח. החלפה של המעקות המיושנים ע"י המעקות שעומדים בדרישות התקנים החדשים, תבוצע בהתאם לכללים הבאים:

א. כל מעקות הבטיחות הנכללים בפרויקטים חדשים של רשויות דרך שונות יעמדו בדרישות התקנים החדשים.

ב. בקטעי דרך ארוכים המבוצעים במסגרת תכניות האחזקה והפיתוח של רשות הדרך (שדרוג), יעשה שימוש בדגמי המעקות שעומדים בדרישות התקנים החדשים.

ג. בדרכים הקיימות, החלפת מעקות מיושנים למעקות החדשים תבוצע בנקודות ובקטעי תורפה. זאת, ע"פ תיאום עם המשטרה ובמסגרת עבודות האחזקה והבטיחות של רשות הדרך.

ד. אחזקה שוטפת של מעקות הבטיחות הקיימים, כגון: החלפת פלטות בודדות במעקה מסוים, תיעשה מאותו סוג של המעקה, פרט למקרים בהם קיימת כוונה להחליף מעקות לאורך קטע דרך כולו.

## פרק 5: פרטי הצבה של מעקות הבטיחות

פרטי הצבה של מעקות הבטיחות מתייחסים למיקום המעקה בחתך הדרך – בצד הדרך או במפרדה, לרבות הבטחת המרחק הדרוש לרוחב הפעיל ולפרמטר חדירת הרכב של המעקה, וכמו כן, לגובה המעקה, לאורך הדרוש של המעקה, ולאופן הטיפול בקצות המעקה. פרטי הצבה אלה תקפים לגבי כל סוגי המעקות המאושרים לשימוש.

### 5.1 פרטי הצבה של מעקה הבטיחות בצד הדרך

#### 5.1.1 מיקום מעקה הבטיחות בצד הדרך

בקביעת המרחק בין מעקה הבטיחות לבין נתיב הנסיעה, פועלות שתי דרישות סותרות: מחד, השאיפה להרחיק את המעקה מנתיב הנסיעה, ומאידך, הצורך להבטיח רוחב עבודה פעיל של המעקה, ובמקרים מסוימים – המרחק הדרוש לפרמטר חדירת הרכב של המעקה. רוחב עבודה פעיל (W) ופרמטר חדירת רכב (VI) קובעים את המרחק בין פני המעקה הפונים לתנועה, לבין המכשול או המדרון התלול שנמצא מאחורי המעקה.

הדרישה הראשונה (למרחק המעקה מנתיב הנסיעה) נובעת ממתן אפשרות לנהג הרכב שסטה מנתיבו להשתלט בחזרה על הרכב ללא התנגשות במעקה. הדרישה השנייה (למרחק המעקה ממכשול או ממדרון תלול), נובעת מהבטחת תנאי התפקוד שעבורם המעקה תוכנן. כלומר, בתנאים אלה בלבד ניתן לצפות שהמעקה יתפקד באופן שהוא הראה במבחני ההתנגשות.

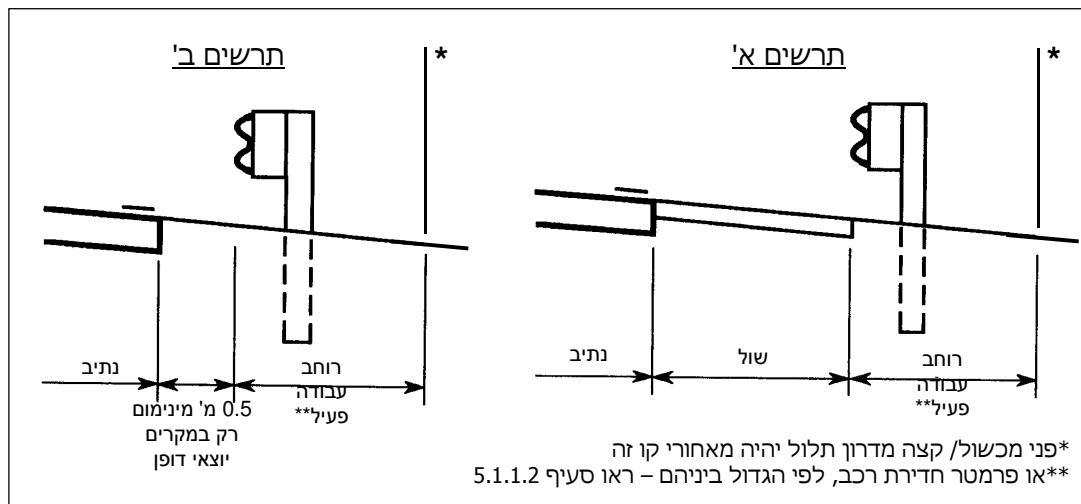
ככלל, מעקה הבטיחות יוצב בקצה השול, כך שפניו הקדמיים לא יבלטו לתוך תחום השול (א' באיור 5.1). על השול לפני המעקה להיות חופשי ממכשולים כדי שיוכל לשמש כשטח תמרון לנהג שסטה מנתיבו, ויאפשר טווחי ראייה טובים, נושא שהוא חשוב במיוחד בקרבת צמתים. במקרים מאולצים, לצורך הבטחת המרחק הדרוש לרוחב עבודה פעיל של המעקה או לפרמטר חדירת רכב, משתמשים בהצרת רוחב שול; בתנאים אלה, אין להציב מעקה במרחק הקטן מ-0.5 מטר מקצה הנתיב הסמוך (ב' באיור 5.1). חשוב לציין שבראייה הבטיחותית הכללית, הפתרון של הצרת שוליים אינו רצוי, ויש לבחון דרכים אחרות להבטחת תנאי תפקוד המעקה, לדוגמא, על-ידי בחירה בסוג מעקה אחר, עם רוחב פעיל קטן יותר, ופרמטר חדירת רכב נמוך יותר.

רצוי שהשטח הנמצא בין שפת המיסעה לבין מעקה הבטיחות יהיה בעל השיפוע הצידי המזערי הדרוש לניקוז בלבד. שטח אופקי מקל על הנהג להשתלט על רכבו, ומאפשר זווית פגיעה שמתאימה לצורת תפקוד המעקה. לכן, השיפוע הצידי המרבי המותר בשוליים הוא 1:10.

#### 5.1.1.1 התחשבות ברוחב עבודה פעיל (W)

ככלל, המרחק בין מעקה הבטיחות למכשול או בין המעקה לבין קצה המדרון, צריך להתאים לרוחב העבודה הפעיל של המעקה הספציפי אשר נבחר להצבה – ראו איור 5.1. כזכור (ראו סעיף 4.2 לעיל),

הרוחב הפעיל מהווה את המרחק שבין דופן המעקה הפונה לתנועה לפני ההתנגשות, לבין הנקודה הקיצונית ביותר של ההתקן בעת ההתנגשות. רוחב העבודה הפעיל מורכב מהסטייה הדינמית ומרוחב המעקה עצמו. המרחק מאחורי המעקה נדרש לסטייה הדינמית, וצריך להישאר פנוי ממכשולים. זאת, כדי לאפשר למעקה לסטות כלפי המדרון או המכשול (שמפניו הוא מגן), וכך לספוג את הכוחות המשתחררים בעת התנגשות של כלי רכב בו. אם המרחק בין המעקה למכשול יהיה קטן יותר, הרכב ביחד עם המעקה עלולים לפגוע במכשול האמור להיות מחוץ לרוחב הפעיל.



### איור 5.1: מיקום מעקה הבטיחות בצד הדרך

במידה שבתנאי אתר מסוים נדרשת הקטנת רוחב עבודה פעיל של המעקה, הדרך המועדפת הינה בחירה בסוג מעקה אחר, עם רוחב פעיל קטן יותר. המגוון הרחב של מעקות הבטיחות שאושרו לשימוש בישראל, ומופיעים ברשימת ההתקנים המאושרים בחלוקה לפי הרמות ולפי דרגת הרוחב הפעיל, מאפשר התאמה של מעקה עם רוחב פעיל החל מהדרגה הקטנה ביותר (W1). כמו כן, ברשימת ההתקנים המאושרים ישנן משפחות של מעקות בטיחות מפלדה, כאשר המשפחה כוללת מספר דגמי מעקות עם ציפוף עמודים שונה ודרגות שונות של רוחב פעיל, בהתאמה. פתרונות אחרים להקטנת הרוחב הפעיל במעקות פלדה כגון: ציפוף עמודי המעקה (מעבר לנבחן במבחני ההתנגשות), הקשחת מרכיביו, הארכת עמודי המעקה, עיגון נוסף וכו' – הם פתרונות יצרן. שימוש בפתרונות כאלה ניתן במקרים יוצאי דופן, בהחלטת רשות התימור, ובכפוף לאישור בכתב של היצרן שהפתרון המוצע אינו פוגע בתפקוד המעקה.

ככלל, בתכנון דרך חדשה, יש לקבוע דרישה לרוחב העבודה הפעיל של מעקה הבטיחות. משמעות הדבר היא, שבין המעקה המוצב בצד הדרך לבין מכשול קשיח או חפירה/חציבה או קצה הסוללה, יש לשריין מרחק שלא יקטן מרוחב העבודה הפעיל של המעקה. השטח שבין המעקה לבין המכשול או קצה הסוללה, יישאר פנוי מכל מכשול אחר הבולט על פני הקרקע.

בשדרוג של דרך קיימת יכול להיות מצב מאולץ כאשר המרחק הפנוי בצד הדרך אינו מאפשר לקיים את הדרישה לרוחב העבודה הפעיל של המעקה. המצב המאולץ נוצר, לדוגמה, כאשר:

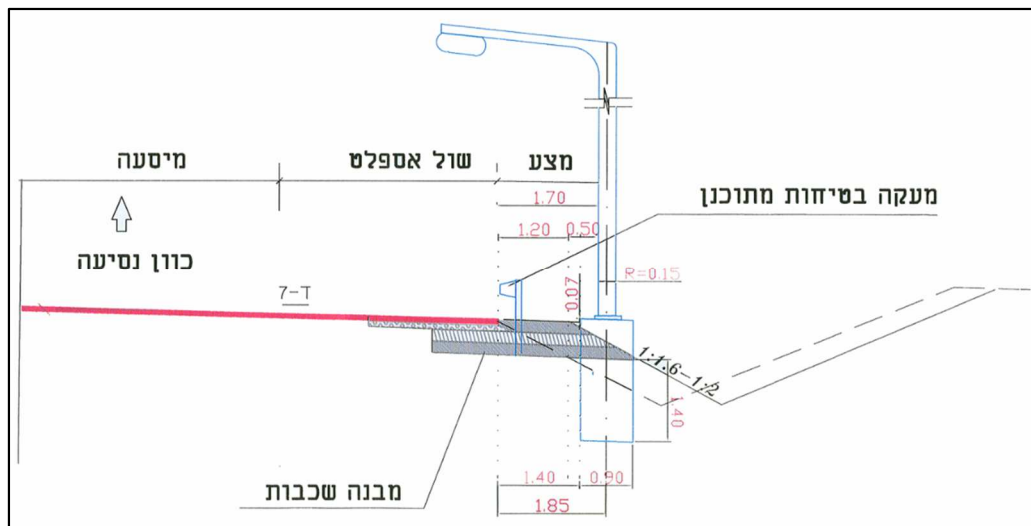
- קיימים מכשולים קשיחים בקרבת הדרך כגון: עמודי תאורה;
- קיימת מגבלה לרוחב זכות הדרך (אילוץ סטטוטורי);
- הדרך עוברת בקטע מילוי על גבי סוללה גבוהה (אילוץ טופוגרפי).

במקרים כאלה, נדרשת התקנת מעקה בתנאי שטח מאולצים. להלן דוגמאות:

- איור 5.2 מציג דוגמא לחתך מאולץ, כאשר מעקה הבטיחות מותקן לפני מכשול קשיח. במקרה זה, יש לקיים רוחב עבודה פעיל מלא של המעקה לפני תחילת המכשול, בעוד המכשול נמצא חלקית בתוך מדרון הסוללה.

- איור 5.3 מציג דוגמא לחתך מאולץ, כאשר מעקה הבטיחות מותקן על גבי סוללה גבוהה ולא עקב הימצאות מכשולים. במקרה זה, הדרישה למרחק הפנוי בין פני המעקה לבין קצה הסוללה יכולה להיגזר כהפרש בין רוחב העבודה הפעיל של המעקה לבין רוחב המעקה עצמו<sup>20</sup>. השטח שבין המעקה לבין קצה הסוללה צריך להיות פנוי מכל מכשול.

(בשתי הדוגמאות מוצג מעקה עם רוחב עבודה פעיל W5 וסטייה דינמית 1.2 מ').



הערה: החלק הבולט של בסיס עמוד התאורה בתוך הרוחב הפעיל של המעקה הינו בגובה מוגבל שאינו נחשב למכשול.

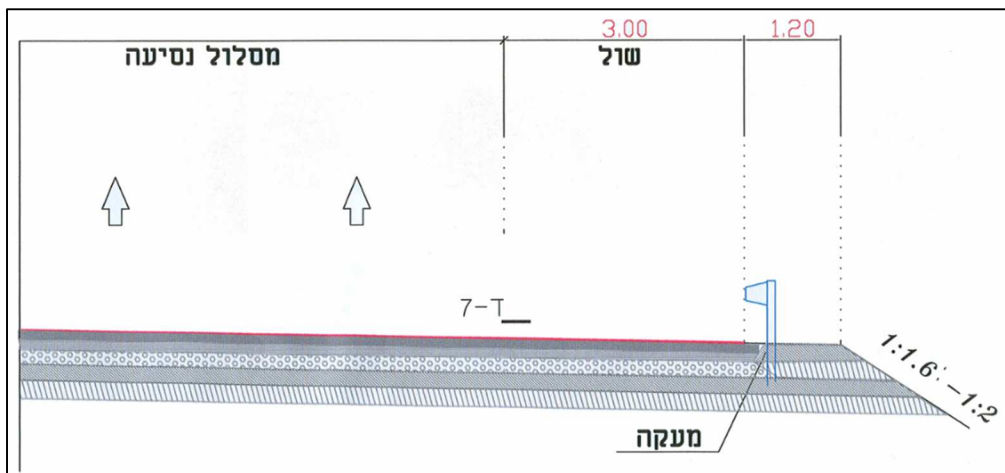
### איור 5.2: דוגמא לחתך מאולץ – התקנת מעקה בטיחות לפני מכשול קשיח

#### 5.1.1.2 התחשבות בחדירת רכב (VI)

חדירת הרכב (VI) משקפת נטייה צידית של רכב גבוה מעבר למעקה בעת התנגשותו במעקה, והיא נמדדת על-פי הנקודה האופקית הקיצונית ביותר של הרכב לעומת דופן המעקה הפונה לתנועה לפני ההתנגשות (ראו סעיף 4.2 לעיל). חדירת הרכב קובעת את המרחק בין המעקה לבין המכשול הגבוה מאחורי המעקה שצריך להישאר פנוי, לצורך הבטחת תפקוד תקני של המעקה (מניעת התנגשות במכשול גבוה ע"י רכב משא או אוטובוס).

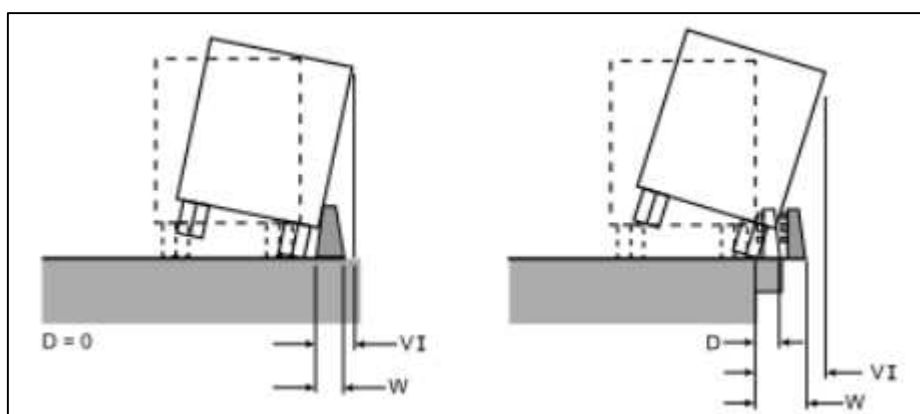
<sup>20</sup> זאת בהנחה ששטח מישורי זה מאפשר סטייה דינמית מלאה של המעקה בעת ההתנגשות ורק המעקה עצמו (לאחר הסטייה) עשוי להימצא מעבר לקצה הסוללה.

הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות



**איור 5.3:** דוגמא לחתך מאולץ – התקנת מעקה בטיחות על גבי סוללה גבוהה

- התייחסות לפרמטר חדירת הרכב, בעת התקנת המעקה, תהיה כמפורט להלן:
- פרמטר ה-VI נדרש לבדיקה כאשר מתוכנן שימוש במעקות ברמות תפקוד גבוהות, H1 או יותר.
  - התחשבות בפרמטר ה-VI רלוונטית כאשר פרמטר זה גדול יותר מאשר הרחב הפעיל של המעקה:  $VI > W$  (איור 5.4).
  - התחשבות בפרמטר ה-VI נדרשת בנוכחות מכשולים גבוהים וקשיחים בצד הדרך או במפרדה, לאורך התקנת המעקה. יש להתייחס לסוגי מכשולים כגון: עמודי תאורה; תמיכות בגשרי שילוט; קצוות של גשרים ועמודיהם; קירות תומכים; חפירה/חציבה.
  - בתכנון הצבת המעקה, התייחסות לפרמטר ה-VI ככלל תהיה בגובה 4 מ' של המכשול.
  - יש לשים לב שעבור המעקות שנבחנו לרמה H2 ופרמטר ה-VI נמצא גדול יותר מה-W, ערך ה-VI צריך להחליף את ערך ה-W בכל השימושים במעקה<sup>21</sup>.



**איור 5.4:** מקרים בהם פרמטר ה-VI גדול יותר מהרוחב הפעיל (W) של המעקה

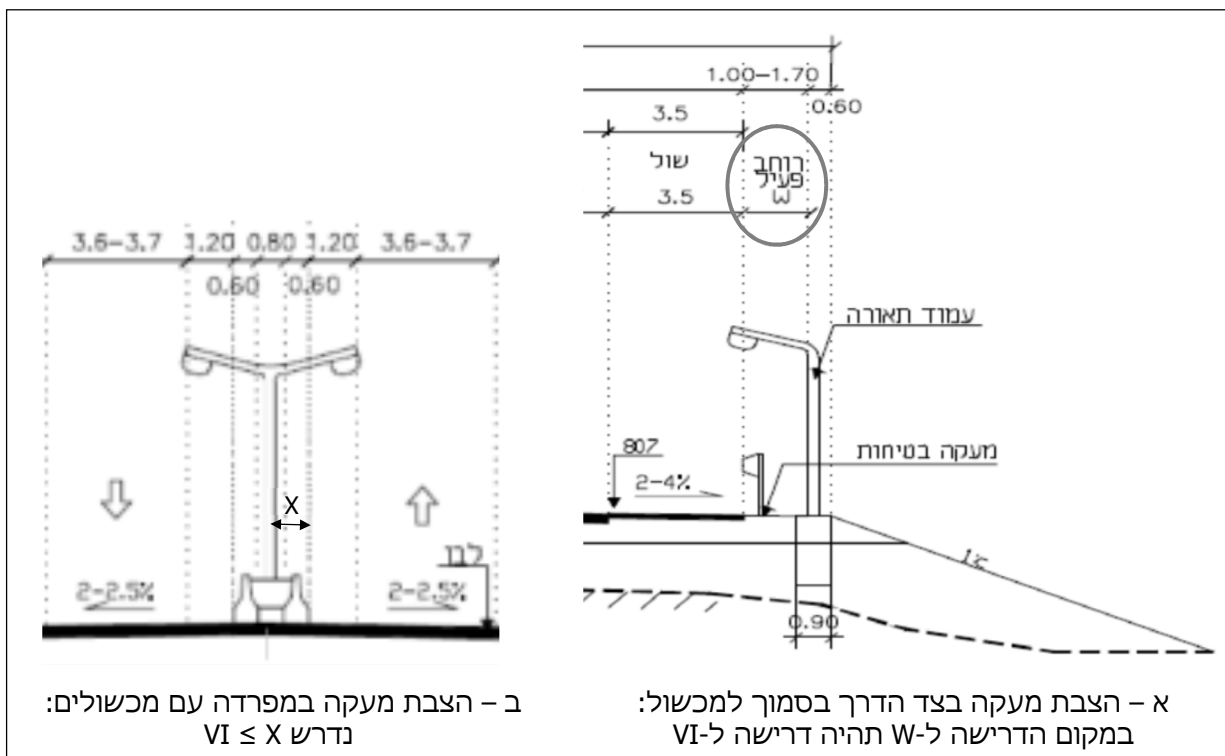
<sup>21</sup> דרישה זו נקבעה עקב תנאי המבחן עם אוטובוס, בו פרמטר ה-VI נמדד לפי הנקודה האופקית הקיצונית ביותר של האוטובוס שנצפתה במבחן אשר יכולה להיות באוויר או על הקרקע (כי במצב הקיצוני אפשרית 'דריסת' המעקה ע"י האוטובוס), (ראו תקן EN 1317-2, סעיף 3.5).

**נספח ג'** מציג דוגמאות להתחשבות בפרמטר ה-VI בתכנון הצבת המעקה, בנוכחות מכשולים נמוכים יותר (פחות מ-4 מ').

במקרים בהם פרמטר ה-VI גדול יותר מאשר הרחב הפעיל של המעקה ( $VI > W$ ), צפויה השפעה על החתכים הטיפוסיים בהצבת המעקות<sup>22</sup>. להלן דוגמאות:

- איור 5.5 א' מציג דוגמא להצבת המעקה בצד הדרך בסמוך למכשול קשיח. במקרה זה, בתכנון הצבת המעקה, במקום הדרישה לרחב הפעיל (W) יש להבטיח מרחק פנוי לפרמטר חדירה הרכב (VI).

- איור 5.5 ב' מציג דוגמא להצבת המעקה במפרדה עם מכשולים. במקרה זה, יש לוודא שהמרחק הקיים בין פני המעקה עד למכשול (x) גדול יותר מפרמטר חדירה הרכב (VI) של המעקה:  $VI \leq x$ . אם הדרישה לא מתקיימת ולא ניתן להבטיח את המרחק הדרוש לערך ה-VI של המעקה, מומלץ לשקול אפשרות להרחבת שטח המפרדה (הרחקת מעקה מהמכשול), ו/או להחלפת סוג המעקה.



**איור 5.5:** דוגמאות להשפעת פרמטר VI על חתכים טיפוסים (כאשר  $VI > W$ )

## 5.1.2 גובה מעקה הבטיחות

גובה מעקה הבטיחות מעל פני הקרקע/הכביש נקבע על-ידי המפרט הטכני לדגם המעקה. יש להציב מעקה בגובה שנקבע לדגם המעקה, על מנת להבטיח את תפקודו התקין. יש להבטיח גובה תקני של

<sup>22</sup> החתכים הטיפוסיים, לפי סוג דרך, מוצגים בהנחיות נת"י לתכנן גיאומטרי (2018).

הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות

המעקה גם לאחר ביצוע עבודות תחזוקה בדרך. (במקביל, עומק הנעיצה של עמודי המעקה חייב להיות בהתאם למפרט המעקה שאושר בוועדה הבין-משרדית).

לדוגמא, הגובה התקני של חלק ניכר ממעקות הבטיחות החד-קומתיים מפלדה הינו 0.75 מ'. עם זאת, יש מעקות פלדה חד-קומתיים בגבהים בין 0.70-0.75 מ' וגם בגבהים בין 0.80-0.95 מ'. מעקות פלדה דו-קומתיים קיימים בגובה 0.90 מ' או יותר. מעקות בטון (לשימושים קבועים) קיימים בגובה 0.80 מ' או יותר עם פרופיל NJ, 0.90 מ' עם פרופיל סטפ, ומעל 0.80 מ' עם פרופילים נוספים.

גובה המעקה נמדד מגובה פני הקרקע/השול/הכביש הסמוכים למעקה. אין למדוד את גובה המעקה מפני אבן השפה שלידו.

### 5.1.3 שימוש באבן שפה

ע"פ הניסיון המצטבר בעולם<sup>23</sup>, מעקה בטיחות אינו מתפקד היטב עם אבן שפה לפניו. אבן שפה הנמצאת בשטח השוליים שלפני המעקה למעשה יוצרת מכשול לרכב ובדומה לכל מכשול אחר, עשויה להוות מקור סכנה לרכב הסוטה מנתיב נסיעתו. כאשר המעקה מותקן על גבי אבן השפה או בצמוד לה, הדבר עשוי להשפיע על אופן ההתנגשות של כלי הרכב במעקה (כגון: על נקודת ההתנגשות ו/או זווית ההתנגשות של כלי הרכב), וכתוצאה מכך, עשוי לפגוע בתפקודו התקין של המעקה בעת ההתנגשות. כידוע, כל מעקה בטיחות תוכנן ונבחן לתנאי שטח והתקנה מסוימים. הוספת אלמנטים נוספים להתקנת המעקה כאשר המעקה לא נבחן בתנאים אלה, משנה את תנאי ההתנגשות ביחס לתנאי תפקוד מבוקרים, ומגבירה את רמת חוסר הודאות בתגובות המעקה להתנגשויות של כלי רכב.

ככלל, מומלץ להימנע משימוש באבן השפה בשטח שלפני המעקה, מתחתיו ובצמוד לו. אבן שפה יש למקם מאחורי מעקה הבטיחות. אם הכרחי לבנות אבן שפה לפני המעקה או מתחתיו, כגון לניקוז, יש לנצל אבן שפה משופעת שאינה בולטת מעל למיסעה ביותר מ-8 ס"מ. ע"פ הניסיון המצטבר בעולם, שילוב של אבן שפה גבוהה יותר גורם למסלול בלתי-מבוקר של הרכב בעת ההתנגשות במעקה, וכתוצאה מכך, לא ניתן להבטיח תפקוד תקין של מעקה הבטיחות.

### 5.1.4 קביעת האורך הדרוש של מעקה הבטיחות

כדי שמעקה הבטיחות יוכל לתפקד כנדרש, עליו להיות בעל אורך מזערי מסוים. אורך זה אינו קשור במיקום התקנת המעקה או במיקום מכשולים/קצה מדרון תלול וכד' (הסיבה להתקנת המעקה), אלא הוא אורך ההתקן הנדרש עבור ספיגה מבוקרת של כוחות ההתנגשות. האורך המזערי של המעקה נקבע בעקבות מבחני ההתנגשות בו, ומופיע במפרט המעקה (ובחוברת ההתקנים המאושרים של הוועדה).

<sup>23</sup> ראו הנחיות לתכנון מעקות בטיחות בארה"ב ובמדינות אירופה כגון: AASHTO (2011), N101E (2014), NRA (2014), וגם ממצאי מחקר NCHRP 537 (2005)

הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות

האורך המזערי של המעקה הוא טכני, מיושם לעיתים נדירות, ומשמש בעיקר בתור הגבול התחתון לבחינת האפשרות להתקנת מעקה מסוים. ברוב המקרים, המעקה מותקן בצד הדרך באורך ניכר, עם הפסקות בצמתים ובנקודות חיבור אחרות.

במקרה שהמעקה נדרש להתקנה עקב הימצאות של מכשול בודד, מבוצע חישוב של האורך הדרוש לתכנון המעקה המכונה **אורך נושא** (length of need). האורך הנושא מורכב משלושה חלקים: אורך המעקה בהתקרבות למכשול, אורך המכשול, ואורך המעקה בהתרחקות מהמכשול. האורך הנושא למעקה תלוי במיקום המכשול יחסית לשטח הדרך, במהירות התכן של הדרך, בנפח התנועה, בסוג המעקה ובמיקומו<sup>24</sup>. לאורך הנושא של המעקה יש להוסיף פתרונות קצה בטיחותיים, בשני הצדדים (ראו סעיף 5.2).

האורך הנושא נקבע על-פי שני מצבים:

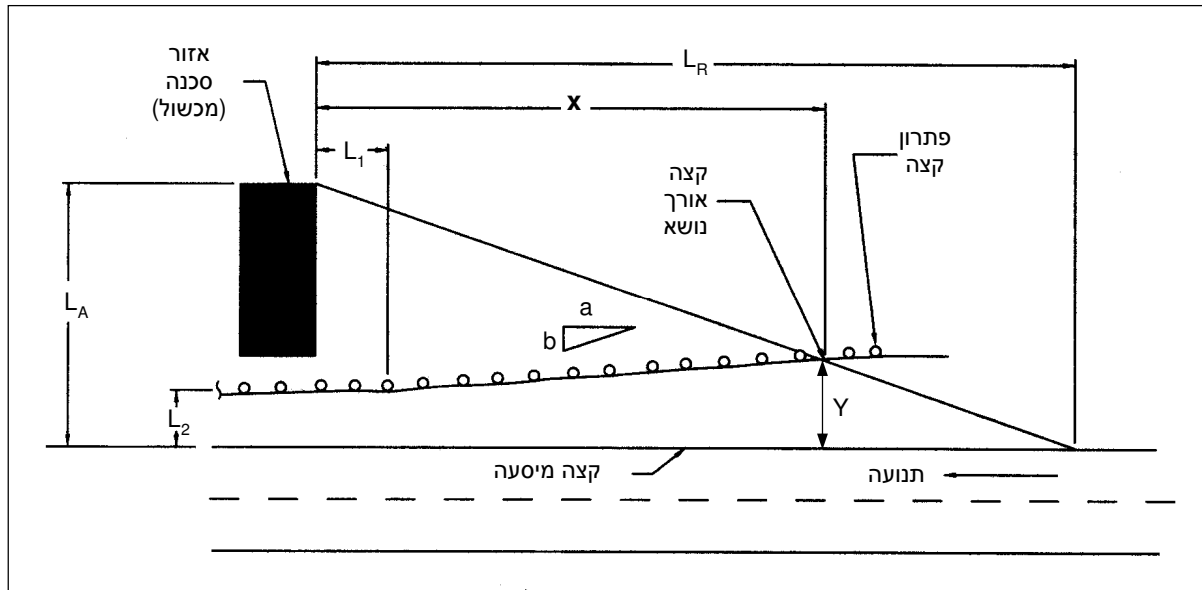
- א. רכב שפגע בקצה המעקה ומחליק לאורכו, לא יפגע במכשול הקרוב למיסעה.
- ב. עבור רכב שסטה מהמיסעה לפני תחילת המעקה וממשיך לנסוע מאחוריו, יש שטח חופשי ארוך מספיק כדי להתייצב ולהיעצר מבלי להתנגש במכשול.

האורך הדרוש של קטע המעקה **בהתקרבות למכשול** נקבע באמצעות פרמטרים המובאים באיור 5.6. שני פרמטרים עיקריים הם:

- א. רוחב אזור הסכנה ( $L_A$ ), אשר נקבע על-פי גודל המכשול, או על-פי הרוחב הדרוש של אזור המפלט. פרמטר זה נמדד כמרחק מקצה המיסעה עד לקצה המרוחק של המכשול (שנמצא בתוך אזור המפלט), או עד לגבול אזור הסכנה (כאשר בצד הדרך אינה מתקיימת דרישה לרוחב אזור המפלט), או עד לגבול אזור המפלט הדרוש (כאשר הקצה המרוחק של המכשול חורג מתחום אזור המפלט).
- ב. מרחק מרבי לאורך הדרך להשפעת הסכנה ( $L_R$ ), אשר נקבע בהתאם לאפשרות שרכב שסטה מנתיבו יתנגש בקצה המכשול. מרחק זה מוערך כמרחק הדרוש לעצירת הרכב בצד הדרך, טרם התנגשותו במכשול. טבלה 5.1 מביאה ערכים מומלצים לפרמטר זה, בתלות במהירות התכן ובנפח התנועה בדרך.

<sup>24</sup> חישוב של אורך נושא למעקה מוצג בפרק זה בהתבסס על הנחיות AASHTO (2011). חישובים דומים אך לא זהים, ניתן למצוא בהנחיות נוספות כגון: NRA (2014), RPS (2009).

הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות



איור 5.6: פרמטרים לקביעת האורך הדרוש ("x") של קטע המעקה בהתקרבות למכשול

טבלה 5.1: ערכים מומלצים לפרמטר  $L_R$  לחישוב האורך הדרוש של המעקה, בהתקרבות למכשול

המרחק $L_R$ ('מ') לנפח תנועה יומי (כ"ר)*				מהירות תכן, קמ"ש
עד 1,000	1,000-5,000	5,000-10,000	מעל 10,000	
101	116	131	143	130
76	88	101	110	110
61	64	76	91	100
46	49	58	70	80
30	34	40	49	60

\* להגדרת הנפח הרלוונטי לחישוב, ראו הערות לטבלה 4.11.

פרמטרים אחרים לקביעת האורך הדרוש של המעקה בהתקרבות למכשול (ראו איור 5.6) הם:

$L_1$  – אורך המעקה המקביל למיסעה, לפני המכשול (מ');

$L_2$  – מרחק הצבת המעקה מקצה המיסעה (מ');

$b:a$  – שיעור הסטה צידית של המעקה;

$x$  – האורך הדרוש של המעקה בהתקרבות למכשול, לא כולל פתרון קצה;

$Y$  – מרחק הסטה צידית של המעקה מקצה המיסעה בנקודת ההתחלה של האורך הנושא.

להצבת המעקה קיימות שתי צורות אפשריות: או עם הסטה צידית, או במקביל למיסעה. האורך הדרוש של מעקה מוסט קצר יותר לעומת המעקה המקביל.

האורך הדרוש של המעקה לפני המכשול, בהתאם לאיור 5.6 – **התקנה עם הסטה צידית**, יחושב באופן הבא:

$$x = \frac{L_A + (b/a)L_1 - L_2}{(b/a) + (L_A/L_R)} \quad (5.1)$$

אורך  $L_1$  של הקטע המקביל לפני המכשול (ראו איור 5.6) נקבע בהתאם לסוג המעקה. בדרך כלל, נבחר אורך הדומה לאורך קטע המעבר בנקודות חיבור בין שני סוגי מעקות, כגון 8 מטר למעקה פלדה. כאשר המעקה מוצב כולו במקביל למיסעה,  $L_1=0$ . האורך הדרוש של המעקה לפני המכשול, **בהצבה המקבילה**, יחושב באופן הבא:

$$x = \frac{L_A - L_2}{L_A/L_R} \quad (5.2)$$

בנוסף, ניתן לחשב ערך  $Y$  – מרחק הסטה צידית של המעקה מקצה המיסעה בנקודת התחלה של האורך הנושא, כלהלן:

$$Y = L_A - \frac{L_A}{L_R} x \quad (5.3)$$

להלן דוגמא לחישוב האורך הדרוש של המעקה, בהתקרבות למכשול.

#### 5.1.4.1 דוגמא:

מאפייני האתר: מהירות תכן – 130 קמ"ש; נפח התנועה – מעל 10,000 כלי רכב ביממה; רוחב של אזור המפלט הדרוש – 9 מטר ( $L_A$ ); מרחק המעקה מקצה המיסעה – 3 מטר ( $L_2$ ); ( $L_1=8$ ) (מעקה פלדה).

בתנאים אלה, בהצבה מוסטת של המעקה בשיעור 1:20, ידרש קטע מעקה באורך 57 מטר, כמחושב להלן ע"פ נוסחה 5.1:

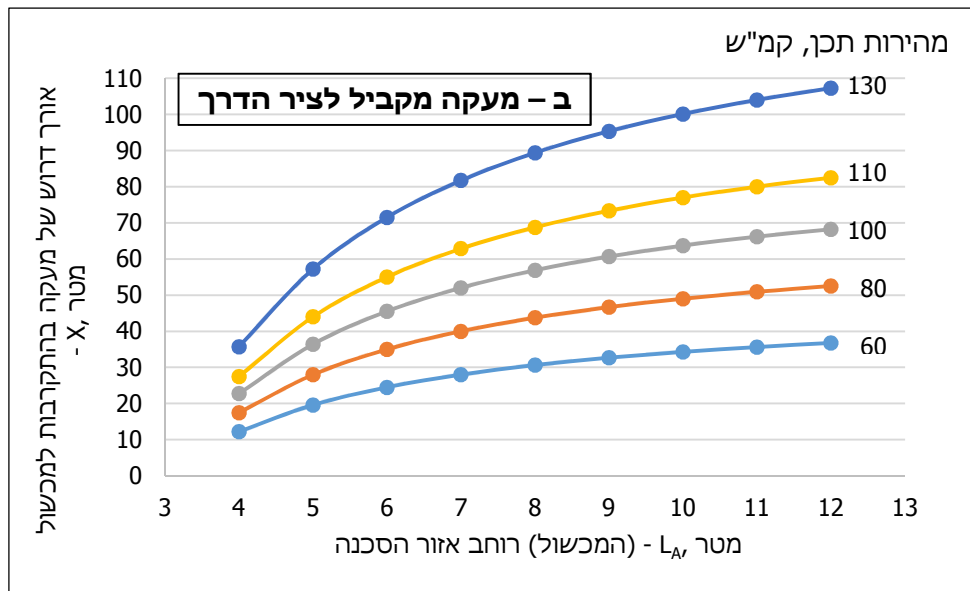
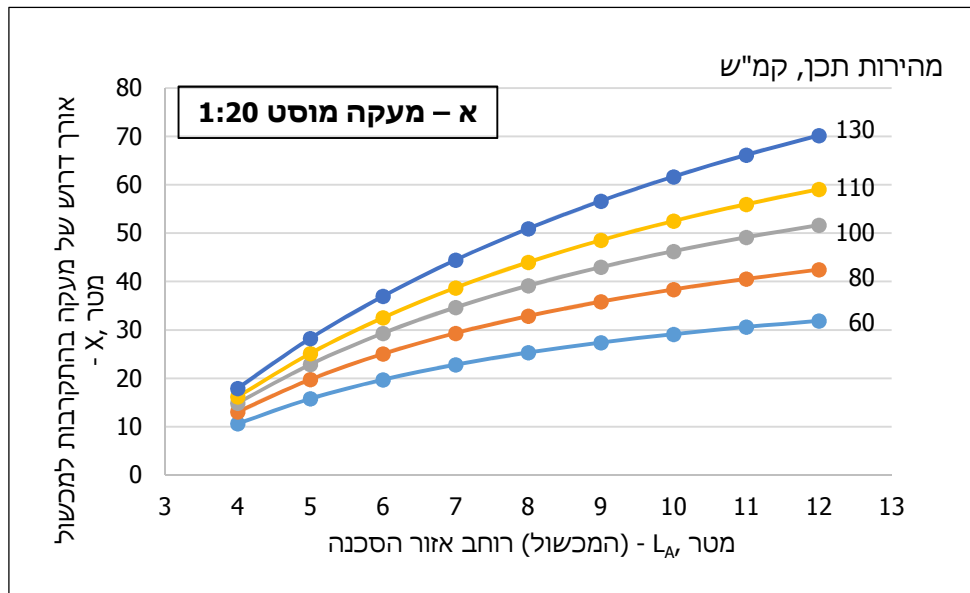
$$x = \frac{9 + (1/20) \cdot 8 - 3}{(1/20) + (9/143)} = 57$$

בהצבה מקבילה של המעקה, ידרש קטע מעקה באורך 95 מטר, כמחושב להלן ע"פ נוסחה 5.2:

$$x = \frac{9 - 3}{9/143} = 95$$

בעקבות החישובים ע"פ נוסחה 5.3, מרחק ההסטה צידית של המעקה מקצה המיסעה בנקודת ההתחלה של האורך הנושא ( $Y$ ) יהיה 5.4 מ' בהצבה מוסטת, דהיינו המעקה יהיה 2.4 מ' רחוק יותר ממרחק ההצבה ההתחלתי (3 מ'). במקרה של הצבה מקבילה,  $Y = 3$  מ'.

איור 5.7 מביא תרשימי תכנון להערכת האורך הדרוש של קטע המעקה, בתלות במהירות התכן ובגודל המכשול (רוחב אזור הסכנה), כאשר הגרף העליון מתייחס להצבה מוסטת (1:20) של המעקה, הגרף התחתון – להצבה מקבילה לציר הדרך. אורך המעקה חושב לתנאים בהם המעקה מותקן במרחק 3 מטר משפת המיסעה ( $L_2=3$ ), ואורכו של הקטע המקביל לפני המכשול הוא 8 מטר ( $L_1=8$ ).



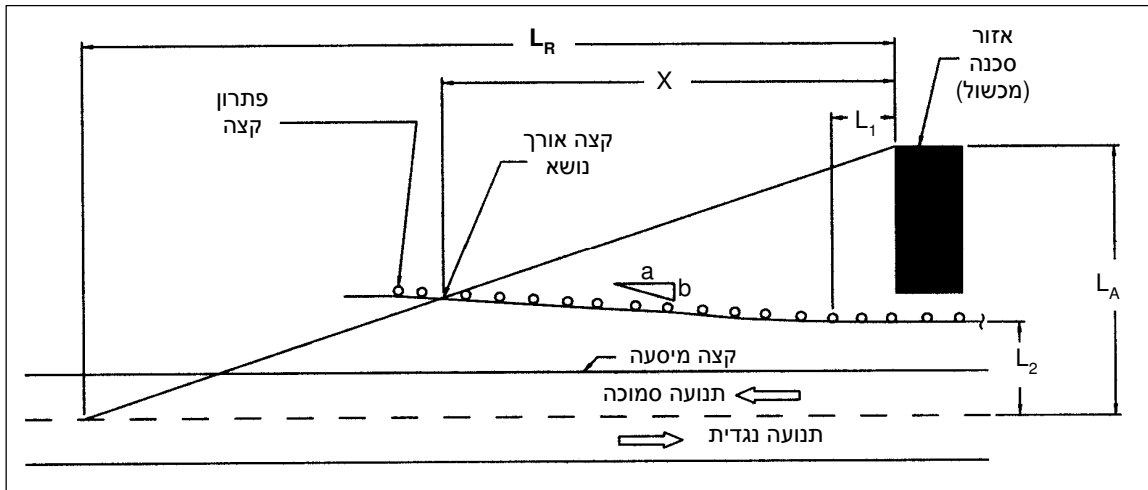
**איור 5.7:** הערכת האורך הדרוש של קטע המעקה בהתקרבות למכשול, בתנאים:  $L_1=8$ ,  $L_2=3$ , נפח תנועה מעל 10,000 כלי רכב ביממה

הערכים המתקבלים בהתאם לנוסחאות 5.1-5.2 משמשים אינדיקציה לאורך הדרוש של המעקה. מומלץ לעגל אותם כלפי מעלה. האורך המזערי המומלץ של מעקה בהתקרבות למכשול הוא 30 מטר<sup>25</sup>.

קטע המעקה לאורך המכשול מבוצע במקביל לציר הדרך, ואורכו תלוי באורך המכשול.

קטע המעקה בהתרחקות מהמכשול נועד למנוע אפשרות להתנגשות במעקה של הרכב שסטה מנתיב הנסיעה בכיוון הנגדי. האורך הדרוש של המעקה בהתרחקות מהמכשול נקבע גם הוא בהתאם לנוסחאות 5.1-5.2, כאשר רוחב אזור הסכנה ( $L_A$ ) ומרחק הצבת המעקה מקצה המיסעה ( $L_2$ ) נמדדים מהקצה השמאלי של הנתיב בכיוון הנסיעה הנגדי, כמוצג באיור 5.8.

<sup>25</sup> כגון, לפי NRA (2014)



**איור 5.8:** פרמטרים לקביעת האורך הדרוש ("x") של קטע המעקה בהתרחקות מהמכשול

בבחינת הצורך בתוספת קטע המעקה בהתרחקות ממכשול, מוצע להבחין בין שלושה מצבים:

א. אם המעקה נמצא מחוץ לטווח אזור המפלט של הרכב מהתנועה הנגדית (או שהתנועה הנגדית מופרדת פיזית ומתנהלת במסלול נסיעה אחר), אין צורך בתוספת קטע המעקה.

ב. אם המעקה נמצא בתוך טווח אזור המפלט של הרכב מהתנועה הנגדית, והמכשול נמצא מחוץ לטווח זה, אין צורך בתוספת קטע המעקה, אך יש להוסיף פתרון בטיחותי לקצה המעקה הפונה לכיוון הנגדי.

ג. אם המכשול נמצא בתוך טווח אזור המפלט של הרכב מהתנועה הנגדית, יש להוסיף את האורך הדרוש של קטע המעקה בהתרחקות מהמכשול, וכן פתרון קצה בסיומו.

בכל המצבים, פתרון הקצה למעקה ייקבע בהתאם לסעיף 5.2. בהתרחקות מהמכשול מומלץ להשתמש באורך מעקה שהוא 15 מטר, לפחות.

בסוף החישובים יש לוודא שהאורך הכולל של המעקה (הסכום של שלושת החלקים: אורך המעקה בהתקרבות למכשול, לאורך המכשול, ובהתרחקות מהמכשול), לא יפחת מהאורך המזערי הדרוש לתפקודו התקין, כפי שנקבע במפרט הטכני בעקבות מבחני ההתנגשות.

ככלל, רצוי שבין קטעי מעקה סמוכים לא יהיו פערים קצרים, כגון עד 100 מטר. פערים קצרים בין קטעי מעקה ניתן למנוע על-ידי המשכת המעקה ויצירת רצף באמצעי ההגנה. במקרים רבים, קטע מעקה רצוף יהיה כדאי יותר מבחינה כלכלית משני קטעי מעקה נפרדים (הדורשים הסדרת פתרונות קצה בטיחותיים). עם זאת, לפני החיבור בין שני המעקות, יש לבדוק את שיקולי התחזוקה, דהיינו את הצורך בפערים בין קטעי המעקות למטרות תחזוקה. כמו כן, יש לקחת בחשבון שאם מדובר בחיבור מעקות מדגמים שונים, תידרש התקנה של קטע מעבר ייעודי.

## 5.2 פתרונות קצה למעקה

### 5.2.1 כללי

קטע קצה המעקה הפונה מול כיוון הנסיעה מעוצב באופן שונה מקטעי המעקה הנושאים. קטע זה אמור לספק פתרון בטיחותי להתחלה או לסיום של המעקה, ולעיתים גם עיגון למערכת המעקה. קטע הקצה מהווה תוספת לאורך המעקה, ומטרתו פתרון בעיות הפסקת המעקה וחיזוקו.

ככלל, קצה המעקה מהווה את החוליה החלשה של מעקה הבטיחות. אין להשאיר את המעקה גלוי, בגובה הרגיל וללא טיפול נאות בקצותיו, כי קצה מעקה כזה עלול לחדור לתוך הרכב המתנגש בו, לגרום לפגיעות בנוסעי הרכב, לפגוע ביציבות הרכב או לגרום להתהפכותו.

בהתייחס לקטע הסיום של מעקה יש להבדיל בין שני מצבים:

- **יחידת-קצה של מעקה** – יחידת התחלה או סיום של קטע מעקה רצוף, המהווה חלק מדגם המעקה. יחידת-הקצה, ככלל, מאפשרת הנמכה מגובה מעקה רגיל לגובה פני הקרקע; בשטח, יחידת-הקצה מוכרת בכינוי "מגלש" (איור 5.9, א').

- **התקן-קצה למעקה** (באנגלית terminal) – התקן נפרד שאינו מהווה חלק מדגם המעקה. זהו התקן שפותח במיוחד למיגון קצה מעקה (איור 5.9, ב'). התקן-הקצה מורכב בראש מעקה הבטיחות, ותפקידו להגן על קצה המעקה, ובכך למנוע תוצאות חמורות בהתנגשות רכב במעקה, כגון: חדירת המעקה לתוך הרכב המתנגש, פגיעה ביציבות הרכב או התהפכותו, וכן צמצום סכנות לנוסעי הרכב שהיו נגרמות כתוצאה מהתנגשות בקצה הלא-מוגן של המעקה.

התקני-הקצה נבחנו במבחני התנגשות ייעודיים. בעקבות מבחני ההתנגשות הם מקבלים רמת תפקוד, וכן מאפיינים נוספים לתיאור אופן תפקודם בעת התנגשות כלי רכב בהם. **נספח ד'** מביא פרטים בנוגע להערכת רמות תפקוד של התקני-הקצה.

להבדיל מהתקני-הקצה, יחידות-קצה של מעקות, ככלל, לא נבחנות במבחני ההתנגשות, ולכן אינן מתאימות לשמש פתרון קצה בטיחותי למעקה מול התנועה.

לטיפול בטיחותי בקצה מעקה קיימות שתי צורות עיקריות:

א. התקנת התקן מיוחד, כגון: התקן-קצה או סופג אנרגיה;

ב. הסטה צידית של קטע מעקה, והטמנת הקצה בצד הדרך.

לרוב, התקני-הקצה משמשים להתחלת המעקות בצד הדרך, כאשר התנועה עוברת בצד אחד של המעקה, בעוד שסופגי אנרגיה משמשים למיגון של מעקות מפרדה או עצמים קשיחים. לשימוש בסופגי אנרגיה ראו "הנחיות לבחירה ולהצבה של סופגי אנרגיה" (2016). הנחיות לשימוש בהתקני-הקצה, מוצגות להלן.



ב – התקן-קצה למעקה (דוגמא)



א – יחידת-קצה של מעקה (דוגמא)

## איור 5.9: שני מצבים של קטע סיום של מעקה

### 5.2.2 שימוש בהתקן-קצה למיגון קצה מעקה

נספח ד' מפרט את דרישות התקנים באירופה ובארה"ב המשמשים לבחינת רמות תפקוד של התקני-הקצה. לפי טיוטת התקן האירופי (ENV 1317-4), התקני-הקצה נבחנו במבחני התנגשות במהירויות של 80, 100 או 110 קמ"ש, ומקבלים הכרה ברמות תפקוד P1-P2, P3 או P4, בהתאמה. כמו כן, התקן מבדיל בין התקני-קצה שנבחנו בהתנגשויות מכיוון נסיעה אחד בלבד (במעלה או במורד של זרם התנועה), לעומת כאלה שנבחנו בהתנגשויות משני כיווני הנסיעה, וההתקנים מקבלים קטגוריות סימון בהתאם.

בנוסף, בעקבות מבחני ההתנגשות נקבעת רמת חומרת ההתנגשות בהתקן-הקצה (A או B, בדומה לרמת חומרת ההתנגשות במעקה) וגם נמדדת מעטפת התפקוד של ההתקן, אשר מאופיינת במבחנים על-ידי שני פרמטרים: (1) תזוזה צידית של ההתקן ו-(2) אזור יציאה של הרכב המתנגש בהתקן. הפרמטר הראשון מוצג כגון: D1.1 (D מהמילה "displacement", כאשר שתי הספרות משקפות את קטגוריות התזוזה בתחומים המוגדרים לפני ואחרי פני ההתקן); הפרמטר השני מוצג כגון: Z1, והוא משקף את אזור הימצאות הרכב בעקבות התנגשויות בהתקן, לפי קטגוריות מוגדרות (1-4).

לפי המסמך האמריקני MASH (2009), התקני-הקצה נבחנו במבחני התנגשות במהירויות של 50, 70 או 100 קמ"ש, ומקבלים הכרה ברמות תפקוד TL1, TL2 או TL3, בהתאמה. כאמור, נספח ד' מביא פרטים לתנאי המבחנים ולקריטריוני קבלה במבחנים. בנוסף, בתקינה האמריקנית, קיימת הבחנה בין התקן חדיר (gating) להתקן לא-חדיר (non-gating). כאשר ההתקן חדיר, רכב המתנגש בקצהו בזווית מסוימת עלול לחצות אותו ולעבור לשטח שמאחורי המעקה שאליו מחובר ההתקן (לכן, שימוש בהתקן חדיר מחייב הימצאות של שטח נקי ממכשולים מאחורי ההתקן). לעומת זאת, ההתקן הלא-חדיר, מונע את מעבר הרכב המתנגש לעברו השני של ההתקן.

בישראל, אושרו לשימוש סוגים רבים של התקני-קצה שנבחנו לפי התקינה האירופית או התקינה האמריקנית. כל התקן מהווה פרי פיתוח ייחודי, על-ידי יצרן מסוים, והוא צריך להיות מותקן בהתאם למפרט הטכני ולהוראות ההתקנה שהגדיר היצרן.

מרבית התקני-הקצה שנבחנו לפי התקינה האמריקנית, נבחנו כהתקן חדיר, לכן יש לצפות למצב של חציית ההתקן על-ידי הרכב המתנגש, עם המשך נסיעתו בשטח שמאחורי ההתקן עם המעקה שאליו

הוא מחובר. לפי AASHTO (2011), לכל התקן-קצה קיים אורך נושא מזערי (length-of-need), אשר נחוץ לתפקודו התקין, ואורך זה מתחיל היום מ-3.8 מטר. בהתנגשות בהתקן-הקצה עד לנקודה זו, הרכב המתנגש צפוי לעבור מאחורי ההתקן. לכן, האזור שמאחורי התקן-הקצה (והמעקה הסמוך) צריך להיות פנוי מעצמים קשיחים. לפי AASHTO (2011), שטח זה צריך להיות באורך 23 מ' לפחות, במקביל להתקן-הקצה והמעקה, ו-6 מ' לפחות בניצב למעקה. כמו כן, השיפוע הצידי באזור התקנת התקן-הקצה צריך להיות מתון מ-1:10.

בבחירת סוג התקן-הקצה להתקנה יש להתייחס לשיקולים כגון:

- א. רמת התפקוד של התקן-הקצה מתאימה לדרישות אתר ההתקנה (ראו טבלה 5.2 בהמשך).
- ב. להתקן-הקצה קיים פתרון חיבור למעקה שמותקן באתר. פתרון החיבור צריך להיות מאושר על-ידי יצרן התקן-הקצה ויצרן המעקה. (במקרה שלא קיים פתרון חיבור מאושר של התקן-הקצה לדגם המעקה, ניתן להשתמש בקטע מעבר לדגם מעקה אחר, שעבורו קיים פתרון חיבור מאושר).
- ג. מעטפת התפקוד של התקן-הקצה מתאימה לתנאי האתר. בהקשר זה, עבור ההתקנים שנבחנו לפי התקינה האירופית, מומלץ לבדוק התאמה בין פרמטרים D ו-Z שנקבעו במבחני ההתנגשות, לבין המרחב שקיים לתפקוד התקן-הקצה באתר.

### 5.2.3 הסטה צידית של קצה מעקה

פתרון נוסף לקצה מעקה הבטיחות הפונה לתנועה, הינו הסטה צידית (flare) של קטע המעקה, עם הטמנת הקצה בצד הדרך. פתרון זה נחשב לטיפול בטיחותי בקצה מעקה ומקובל במדינות רבות<sup>26</sup>. להסטה הצידית של המעקה מייחסים תפקידים כגון:

- הרחקת המעקה וקטע עיגון המעקה מנתיבי הנסיעה;
- קיצור אורך התקנת המעקה;
- הפחתת תגובות הנהגים להימצאות מעקה בקרבת הדרך.

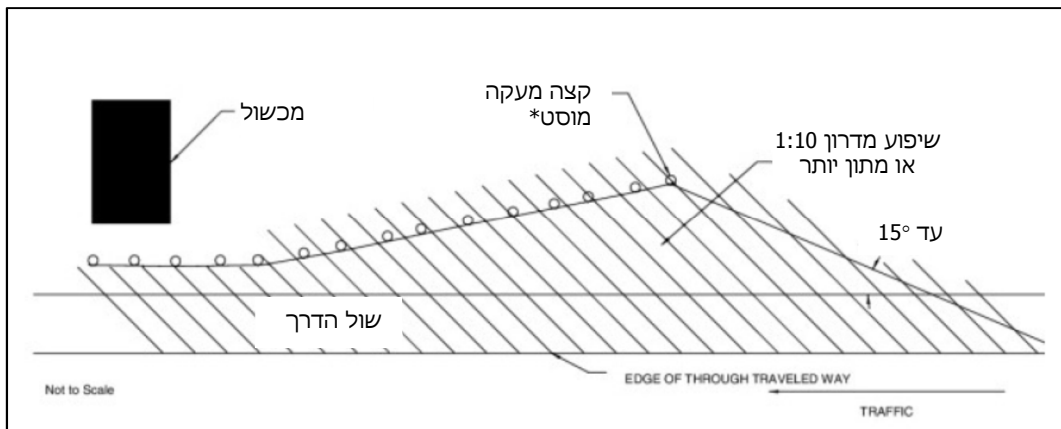
המעקה המוסט יוצר מעבר הדרגתי מהמרחק הקצר המקובל להצבת המעקה ליד המיסעה, למרחק רב יותר, ובכך מפחית את תגובת הנהגים למעקה הקרוב. ממחקרים ידוע שתגובת הנהגים להימצאות מכשול קרוב למיסעה עשויה להתבטא בהפחתת מהירות ו/או סטייה לנתיב נסיעה סמוך, ולכן רצוי להקטין אותה. עם זאת, להסטת המעקה עשויה להיות תוצאה בטיחותית שלילית מבחינת זווית ההתנגשות של רכב בקטע המוסט, אשר תהייה גדולה מהרגיל, ולכן לאחר ההתנגשות, עלול הרכב לחזור למיסעה ובדרך חד-מסלולית, אף לעבור לנתיב התנועה הנגדית. לכן, מומלץ שהטיית המעקה תבוצע בשיעור מתון של 1:20, ורק במקרים יוצאי דופן, בעיקר של מהירויות תכן נמוכות, ניתן להטותו בשיעור של 1:10-1:12.

מכאן, שפתרון הקצה של הסטת קצה המעקה ניתן ליישום אך ורק כאשר הסטה כזו אפשרית על-פי תנאי השטח (איור 5.10): בצד הדרך קיים שיפוע מתון של מדרון הסוללה, ביחס של 1:10 לפחות,

<sup>26</sup> ביניהן ארה"ב, אנגליה, אירלנד, איטליה, נורבגיה, צרפת, ראו רשימת מקורות ספרות.

הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות

וקיים שטח פנוי ממכשולים. כמו כן, כאמור, הסטת קטע המעקה מהמיסעה תבוצע בשיעור מתון, ככלל 1:20. מאידך, כאשר מדובר בתנאי סוללה עם מדרון תלול יותר, הסטת קצה המעקה אינה אפשרית, ויש להתקין מעקה במקביל לציר הדרך, עם פתרון סיום באמצעות התקן-קצה.



\* בסוף קטע ההסטה תותקן יחידת-קצה של המעקה

### איור 5.10: תנאי שטח נדרשים ליישום הסטת קצה מעקה<sup>27</sup>

לגבי האורך הדרוש של הסטת קצה המעקה בתור פתרון קצה, מומלץ להיעזר באיור 5.6 שהוצג לעיל, עם החישובים של ערך ה-x. להבדיל מהשימוש בערך ה-x בתור האורך הנושא של המעקה שהוצג בסעיף הקודם, בהקשר הנוכחי ערך ה-x ישמש להערכת האורך הדרוש של הסטת קצה המעקה. לחישוב ערך ה-x יש להיעזר בנוסחה 5.1, אשר נסמכת על הפרמטרים של מרחק הצבת המעקה מקצה המיסעה ( $L_2$ ), רוחב אזור המפלט ( $L_A$ ), שיעור הסטה צידית של המעקה כלפי ציר הדרך וכו'. בנוסף, בעזרת נוסחה 5.3 ניתן לבצע חישוב של מרחק ההסטה הצידית של המעקה מהמיסעה בסוף קטע ההסטה (המסומן כ-Y באיור 5.6). להלן דוגמאות לחישוב.

#### 5.2.3.1 דוגמאות

(1) מאפייני האתר: מהירות תכן – 100 קמ"ש; נפח התנועה – מעל 10,000 כלי רכב ביממה; רוחב אזור המפלט – 7 מטר ( $L_A$ ); מרחק הצבת המעקה מקצה המיסעה – 3 מטר ( $L_2$ );  $L_1=8$  (מעקה פלדה). קצה המעקה מוסט בשיעור 1:20. בתנאים אלה, יידרש קטע המעקה באורך  $x = 31$  מטר, אשר יהיה מוסט מקצה המיסעה עד למרחק של  $Y = 4.6$  מטר.

(2) מאפייני האתר כמו קודם אך עם רוחב אזור המפלט – 10 מטר ( $L_A$ ). בתנאים אלה, יידרש קטע המעקה באורך  $x = 43$  מטר, אשר יהיה מוסט מקצה המיסעה עד למרחק של  $Y = 5.2$  מטר.

פתרונות הקצה בהם קצה המעקה מוסט הצידה וטמון במדרון נמצאים בשימוש בארה"ב – איור 5.11. בהנחיות AASHTO (2011), מוצג פתרון ההטמנה של קצה מעקה פלדה במדרון שאושר לרמת תפקוד TL3 (איור 5.11, א'). התקן זה מכונה Buried-in-backslope terminal ואינו חדיר (non-gating), דהיינו

<sup>27</sup> מבוסס על AASHTO (2011)

הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות

מונע מהרכב שמתנגש בו לעבור לשטח שמאחורי המעקה. עם זאת, לשימוש בהתקן דרוש שטח הצבה ניכר ותנאי הצבה מיוחדים כולל: מדרון מתון במילוי עם שיפועים בין 1:10 עד 1:4, אשר מסתיים במדרון חפירה עם שיפוע 1:4 או 1:2; הסטה צידית בשיעור מוגדר, כגון 1:20 בדרך עם מהירות תכן 100 קמ"ש, 1:10 בדרך עם מהירות תכן 70 קמ"ש; אורך החלק המוסט של המעקה עד להגעתו לתחתית התעלה יהיה 22 מ', לפחות; סיום ביחידת עיגון בחפירה הכוללת 3 עמודים, וכו'.

פתרון דומה, עם הטמנת קצה מעקה במדרון, קיים גם לסיום של מעקה בטון (איור 5.11, ב'). התקן זה מכונה Buried concrete barrier terminal, רמת תפקודו לא ידועה. דרישות לתנאי ההצבה דומות למקרה הקודם, אך הוא מתאים לשימוש במדרון מתון במילוי עם שיפוע 1:10 בלבד.



ב – למעקה בטון



א – למעקה פלדה

איור 5.11: פתרונות עם קצה מעקה מוסט הנמצאים בשימוש בארה"ב

#### 5.2.4 פתרונות קצה נדרשים למעקות

טבלה 5.2 מפרטת את סוגי פתרונות הקצה הנדרשים למעקות הבטיחות בדרכים הבין-עירוניות, בהתאם לתנאי האתר – סוג הדרך ומיקום קצה המעקה. מבחינת מיקום קצה המעקה יש להבחין בין שני מצבים:

(1) התחלת המעקה – קצה מעקה שפוגש את התנועה במעלה הזרם (upstream),

(2) סיום המעקה – קצה המעקה הרחוק, במורד זרם התנועה (downstream).

עבור התקני-הקצה מוצגות גם דרישות לרמות תפקוד (ראו הגדרת רמות התפקוד בנספח ד'). הדרישות לפתרונות הקצה למעקות נקבעו בישראל בעקבות בחינה נרחבת של הניסיון הבינלאומי.

מבחינת סדר העדיפויות בין פתרונות הקצה ניתן לציין, שהפתרון של הצבת התקן-קצה למעקה הוא הבטיחותי והמקובל ביותר, בעוד הפתרון של הסטה צידית של קצה המעקה ניתן ליישום בתנאי שטח מסוימים, ובעיקר בדרכים עם נפחי תנועה ומהירויות נסיעה נמוכים יותר. בקצה המעקה שפוגש את התנועה, חובה ליישם פתרון קצה בטיחותי אשר ימנע השלכות חמורות בעקבות התנגשות כלי רכב בקצה המעקה.

לגבי סיום המעקה בקצהו הרחוק, כאשר מדובר בדרך מחולקת, לא נדרש פתרון מיוחד לקצה המעקה, אלא ניתן להסתפק ביחידת-הקצה של המעקה, וזאת מכיוון שלא קיים סיכון להגעת הרכב מכיוון התנועה הנגדי. לעומת זאת, בדרך חד-מסלולית, קיים סיכון להגעת הרכב מכיוון הנסיעה הנגדי, ולכן גם בסיום המעקה יש להתקין פתרון קצה בטיחותי, אשר ימנע תוצאות התנגשות חמורות.

## טבלה 5.2: פתרונות קצה נדרשים למעקות הבטיחות בדרכים הבין-עירוניות

סוג דרך בין-עירונית	בקצה המעקה שפוגש את התנועה (upstream)	בקצה הרחוק למעקה (downstream)
מהירה או פרברית מהירה	התקן-קצה P4	יחידת-קצה של מעקה
דו-מסלולית שאינה מהירה	התקן-קצה P3	יחידת-קצה של מעקה
חד-מסלולית, ראשית או אזורית	התקן-קצה P2 (A) או הסטה צידית <sup>(3)</sup>	התקן-קצה P2 (A) או הסטה צידית <sup>(3)</sup>
חד-מסלולית, מקומית <sup>(1)</sup>	הסטה צידית <sup>(2)</sup> או התקן-קצה P1	הסטה צידית <sup>(2)</sup> או התקן-קצה P1

הערות לטבלה 5.2:

- (1) לרבות דרך חקלאית, דרך גישה וכד'.
- (2) הסטה צידית בשיעור מומלץ 1:20, בתנאים מאולצים 1:10.
- (3) ניתן ליישם הסטה צידית אם מתקיים השיעור הדרוש 1:20; אחרת, יש להציב התקן-קצה. P4-P1 מסמן רמות תפקוד של התקני-קצה לפי התקינה האירופית (ראו נספח ד'); A – התקן-קצה שנבחן בהתנגשויות משני כיווני הנסיעה.

מבחינת רמות התפקוד של התקני-הקצה, בדרך במדרג גבוה יותר נדרש שימוש בהתקני-קצה ברמת תפקוד גבוהה יותר.

הדרישות המפורטות בטבלה 5.2 הן דרישות המינימום ליישום ההתקנים. ככלל, אין לרדת מהדרישות המפורטות בטבלה 5.2. עם זאת, בהתאם לשיקול המתכנן, באתר מסוים, ניתן להשתמש בפתרון קצה בטיחותי יותר, או בהתקן-קצה ברמת תפקוד גבוהה יותר, לעומת הערך המוצג בטבלה 5.2.

## 5.3 פתרונות סיום למעקות ליד פתחים לצורך חיבורים בצד הדרך

בהתקנת המעקה בצד הדרך נדרשת לעיתים הסדרת פתחים לצורך חיבור לדרך משנית, גישה לשדות חקלאיים, גישה לבניינים או לשטח תעשייתי, גישה למתקני תחזוקה וכו'. במקרים אלה קיים צורך בהפסקת רצף המעקה, אשר צריכה להתבצע באופן בטיחותי, ללא יצירת סיכון לפגיעה חמורה בעקבות התנגשות כלי רכב בקצה המעקה הלא-מוגן. ככלל, מומלץ להימנע מהסדרת פתחים ברצף המעקה באתרים עם רדיוס אופקי קטן.

איור 5.12 מציג פתרונות המומלצים לטיפול בקצוות של מעקות הבטיחות בנקודות הסדרת פתחים לצורך חיבורים בצד הדרך. באיור 5.12 מפורטים 3 מצבים:

- (1) **מצב 1** – פתחים לצורכי שירות (א' באיור 5.12). הפתח מבוצע על-ידי הפסקת המעקה (העיקרי) בצד הדרך בנקודת הגישה, ויצירת חפייה במעקה שני המוביל לשטח השירות. ההסדר יכול להיות

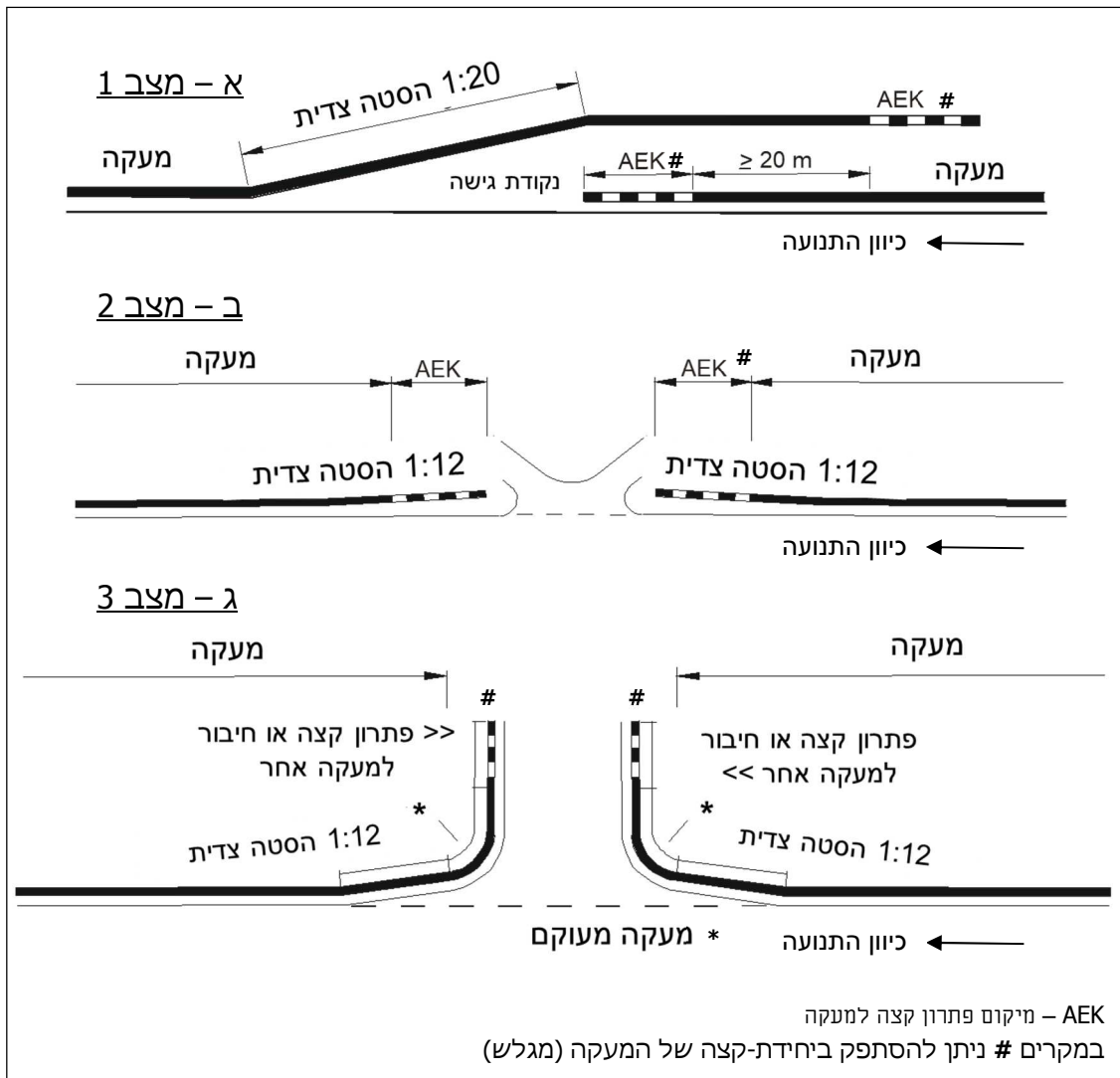
רלוונטי לדרכים מהירות ודו-מסלוליות אחרות, לצורכי שירות או תחזוקה. כמו כן, הוא מתאים להסדרת יציאה ממפרץ עצירה בצד הדרך. הפסקת המעקה העיקרי מבוצעת ללא הסטה צידית. חפיית המעקה השני מבוצעת עם הסטה צידית, בשיעור 1:20. בסיום המעקה השני (בתוך שטח השירות) תותקן יחידת-קצה של המעקה.

בהתייחס לקטע הסיום של המעקה העיקרי, יש להבדיל בין שני מקרים: דרך מחולקת ולא מחולקת. בדרך מחולקת, בסיום המעקה ניתן להסתפק ביחידת-קצה של המעקה – מגלש, כי קצה המעקה נמצא עם כיוון התנועה בדרך. לעומת זאת, בדרך חד-מסלולית, יש לסיים את המעקה עם התקן-קצה, בשל הסיכון הקיים להתנגשות רכב שעשוי להגיע מכיוון התנועה הנגדי.

(2) **מצב 2** – הפסקת המעקה ללא חיבור לדרך משנית (ב' באיור 5.12). הפתח מבוצע על-ידי סיום המעקה (העיקרי) בצד הדרך בנקודת הגישה, והתחלה חוזרת של המעקה במרחק קצר מנקודת הפסקה. מומלץ שהן סיום המעקה והן התחלתו יבוצעו עם הסטה צידית, בשיעור 1:12; בהיעדר מרחב פנוי, ניתן להשאיר את קטעי המעקה במקביל לדרך. הפתרון הנדרש לקצה המעקה (AEK) משתנה בתלות בסוג הדרך: בדרך מחולקת, לסיום המעקה ניתן להסתפק ביחידת-קצה – מגלש (כי קצה מעקה זה נמצא עם כיוון התנועה בדרך), בעוד שלהתחלת המעקה, שפוגשת את התנועה בדרך, נדרש התקן-קצה. בדרך חד-מסלולית, יש להתקין התקני-קצה, הן בסיום המעקה והן בהתחלתו החוזרת אחרי הפסקה, בשל הסיכון הקיים להתנגשות כלי רכב משני כיווני הנסיעה.

(3) **מצב 3** – חיבור המעקה לדרך משנית (ג' באיור 5.12). הפסקה המעקה לצורך החיבור לדרך משנית מבוצעת על-ידי: הסטה צידית של המעקה (בשיעור 1:12), הוספת קטע מעקה מעוגל, ובהמשך חיבור ישיר למעקה בצד של הדרך המשנית. גם החזרת המעקה לדרך הראשית, אחרי הפסקה, מבוצעת על-ידי: חיבור ישיר למעקה הקיים בצד של הדרך המשנית, הוספת קטע מעקה מעוגל, והסטה צידית של המעקה בדרך הראשית (בשיעור 1:12). חיבור המעקה לדרך המשנית יכול להתבצע גם ללא קטעים עם הסטה צידית, אך ההסדר עם קטעי ההסטה עדיף. בקצות המעקות בדרך המשנית יותקנו יחידות-קצה – מגלשים, בשל היעדר סיכוי להתנגשות רכב שמגיע מהדרך הראשית.

יש לציין כי בהסדר זה (מצב 3), רצף המעקה נדרש למניעת מעבר כלי רכב מאחורי המעקה. עבור קטעי מעקה מעוקמים, מומלץ שימוש ברדיוס גדול ככל הניתן. קטע המעקה המעוקם יכול להתחבר להמשך המעקה (או מעקה אחר) בדרך המשנית, או להתחבר ישירות ליחידת-קצה של המעקה.



**איור 5.12:** פתחים לצורך חיבורים בצד הדרך – טיפול בקצוות של מעקות

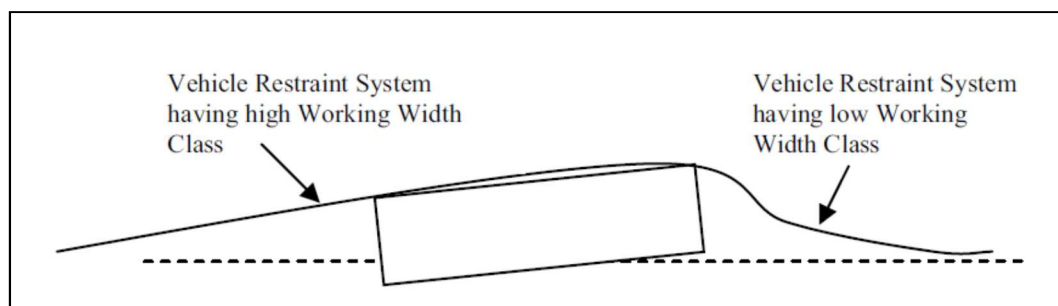
## 5.4 קטעי-מעבר בין מעקות הבטיחות

### 5.4.1 כללי

קטע-מעבר (transition) הינו יחידה המחברת בין שני דגמים שונים של מעקות. שימוש בקטע-מעבר נדרש כאשר דגמי המעקות נבדלים בחומר ממנו עשוי המעקה, בחתך המעקה (מרכיבים או פרופיל), ו/או ברמת גמישותם, אשר באה לידי ביטוי בסטייה הדינמית וברוחב הפעיל של המעקות. לדוגמא, הצבת קטע-מעבר נדרשת בין מעקה פלדה ומעקה בטון, בין מעקות פלדה עם חתכים (מרכיבים) שונים, כאשר קיים צורך בהקשחת מעקה פלדה להגנה מפני עצמים קשיחים, חיבור למעקה גשר וכד'.

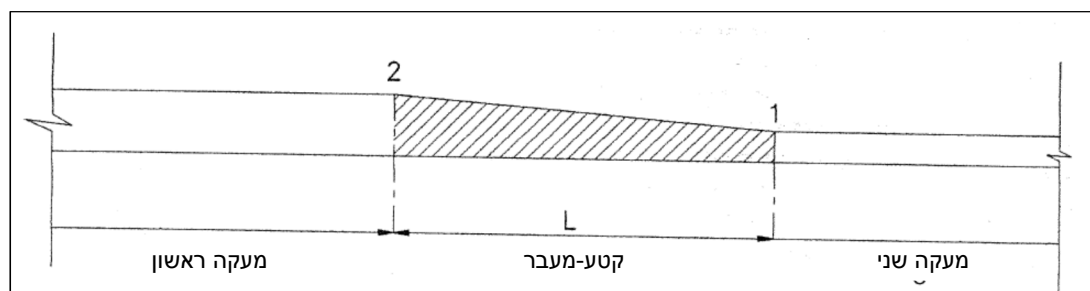
מטרת קטע-המעבר הינה להבטיח מעבר הדרגתי בין שני דגמי המעקות, כדי למנוע סכנות הקשורות לשוני חד בתפקוד. לדוגמא, בחיבור בין דגמי מעקות עם דרגות גמישות שונות (רמות שונות של הרוחב הפעיל), ישנה סכנה של היתפסות הרכב ב-"כיס" (pocketing) שנוצר על-ידי ההפרש בין הרוחבים הפעילים בתפקוד של שני המעקות – איור 5.13. רכב המתנגש במעקה הגמיש יותר (עם רוחב פעיל

גדול יותר), לא יוכל להמשיך בהחלקה גם לאורך המעקה הקשיח יותר, אלא ייעצר ב-"כיס" שנוצר על-ידי הפרש בין הסטיות של שני המעקות, וכתוצאה, יספוג בגופו את מרבית האנרגיה הקינטית שטרם השתחררה בהתנגשות זו.



**איור 5.13:** הדגמת היתפסות רכב ב-"כיס" שנוצר עקב הבדלי גמישות בין שני מעקות<sup>28</sup>

על מנת למנוע היווצרות של בעיות הבטיחות הקשורות לשינוי חד במאפייני המעקות, מבוצע קטע-מעבר המאפשר שינוי הדרגתי בקשיחות בין שני ההתקנים. לפי הספרות המקצועית, כל קטע-מעבר מתוכנן כדי לחבר בין שני דגמי מעקות מסוימים. אורך קטע-המעבר הינו המרחק בין הקצוות של המעקות המחוברים, כמוצג באיור 5.14. איור 5.15 מביא דוגמאות לקטעי-מעבר בין מעקות הבטיחות הנמצאים בשטח.



**איור 5.14:** אורך קטע-מעבר (הצגה סכמתית)

## 5.4.2 הערכת דרגות תפקוד של קטעי-המעבר

בדומה לדרישות לרמות תפקוד של מעקות, בתקינה הבינלאומית קיימות דרישות לרמות תפקוד של קטעי-המעבר. דרישות התקן האירופי לקביעת דרגות תפקוד של קטעי-המעבר מפורטות בטיטת התקן ENV 1317-4 שפורסמה בשנת 2001. לפי מסמך זה, כל הקריטריונים המוגדרים בתקן האירופי EN 1317-2 לבחינת רמות התפקוד של מעקות הבטיחות, לרבות תנאים של מבחני ההתנגשות, דרגות הרוחב הפעיל ורמות חומרת ההתנגשות (ראו פרק 4.2 לעיל), נכונים גם לבחינת קטעי-המעבר בין מעקות. כלומר, קטע-המעבר בין מעקות יכול להיבחן לרמות תפקוד בין N1 עד H4b (טבלה 4.2),

<sup>28</sup> מקור: TD 19/06 (2006)

הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות

ובעקבות מבחני ההתנגשות הוא מקבל דירוג של רמת חומרת ההתנגשות (טבלה 4.3) ושל הרוחב הפעיל (טבלה 4.4).



### איור 5.15: דוגמאות לקטעי-מעבר בין מעקות הבטיחות

בנוסף, נדרש כי קטע-המעבר בין שני דגמי המעקות:

- יקבל רמת תפקוד אשר לא תהיה נמוכה יותר מרמת התפקוד הנמוכה יותר מבין שני דגמי המעקות, ולא תהיה גבוהה יותר מרמת התפקוד הגבוהה יותר מבין שני דגמי המעקות;
  - יקבל רוחב פעיל אשר לא יהיה גדול יותר מהרוחב הפעיל הגדול יותר מבין שני דגמי המעקות.
- כלומר, רמת התפקוד ורוחב העבודה הפעיל של קטע-המעבר צריכים להיות בין הערכים המאפיינים את שני המעקות אותם הוא מחבר.

כל קטע-מעבר יעמוד בשני מבחני התנגשות בהתאם לדרישות התקן EN 1317-2, כאשר:

- כיוון התנגשות הרכב בקטע-המעבר יהיה מהמעקה הרך יותר לקשיח יותר, דהיינו ממעקה ברמת תפקוד נמוכה יותר לרמת תפקוד גבוהה יותר, או ממעקה עם סטייה דינמית גדולה יותר למעקה עם סטייה דינמית קטנה יותר;
- התנגשויות כלי הרכב יהיו בנקודות הקריטיות בחיבור בין שני המעקות, כגון: ב-3/4 מאורך ההתקן (תחילת קטע-המעבר) בהתנגשות של רכב קל; ב-1/2 מאורך ההתקן בהתנגשות של רכב כבד.

חשוב לציין שלפי התקינה האירופית, החיבור בין שני דגמי מעקות אשר עשויים מאותו החומר, בעלי חתך זהה, והנבדלים במאפייני התפקוד בדרגה אחת בלבד של הרוחב הפעיל, אינו נחשב לקטע-מעבר. במקרה זה, אין צורך בביצוע מבחנים, וניתן לבצע חיבור ישיר בין שני דגמי המעקות.

בארה"ב, הדרישות המעודכנות לבחינת רמות התפקוד של קטעי-המעבר בין מעקות, מפורטות במדריך MASH (2009). תנאים של מבחני ההתנגשות וקריטריונים לקבלת תוצאות המבחנים שנקבעו לקטעי-המעבר, ככלל, דומים לאותן הדרישות למעקות הבטיחות (ראו פרק 4.2 לעיל). ההבדל נמצא באפשרות לא לבצע מבחן עם רכב קל (במשקל 1100 ק"ג) עבור קטע-המעבר. כמו כן, בחירת נקודת ההתנגשות (CIP – critical impact point) במבחן לקטע-מעבר, מבוצעת באופן שונה מאשר בחירת נקודת ההתנגשות במבחן למעקה. קטע-המעבר בין מעקות שנבחן לפי התקינה האמריקנית יכול להיות ברמות תפקוד בין TL1 עד TL6.

### 5.4.3 שימוש בקטעי-המעבר

כללית, רצוי שכל קטע-מעבר בין מעקות יבחן במבחני התנגשות ייעודיים. עם זאת, כל קטע-מעבר מתוכנן לביצוע חיבור בין שני דגמים מסוימים של מעקות. מכאן, בהתחשב במגוון הרחב של מעקות הבטיחות, יידרש ריבוי של מבחני ההתנגשות בקטעי-המעבר, דבר שאינו מעשי. לכן, במסמכים המנחים במדינות אירופה<sup>29</sup> מוצעות הקלות בדרישה לביצוע מבחני התנגשות בקטעי-המעבר. מבחני ההתנגשות לא נדרשים, לדוגמא, עבור קטע חיבור בין שני דגמי המעקות עם פרופיל דומה ועם שינוי קל בסטייה הדינמית.

בישראל, אושרו עד כה לשימוש מספר דגמים של קטעי-המעבר בין מעקות אשר עמדו במבחני ההתנגשות לפי התקינה האירופית, והם מופיעים ברשימת ההתקנים המאושרים של משרד התחבורה<sup>30</sup>. עם זאת, רוב קטעי-המעבר בין מעקות המותקנים בדרכים הם פתרונות טכניים של יצרני המעקות. הפתרון הטכני לחיבור בין דגם מעקה מסוים לדגמי מעקות אחרים מהווה חלק ממפרט המעקה, והוא מוצע על-ידי יצרן המעקה, על סמך הכרתו את ההתקן וניסיונו המקצועי לגבי תפקוד המעקות בשטח.

לאור המצב הקיים ובשאיפה לקדם שימוש בקטעי-המעבר שעמדו במבחני ההתנגשות, להלן כללים לשימוש בקטעי-המעבר בין מעקות בתנאי הארץ:

1. לצורך חיבור בין שני דגמי מעקות, יש להעדיף שימוש בקטע-מעבר שעמד במבחני ההתנגשות, עם פרמטרי תפקוד ידועים שנקבעו בעקבות המבחנים.
2. אם קטע-המעבר נמצא ברשימת ההתקנים המאושרים של משרד התחבורה, זהו הפתרון המחייב לחיבור בין שני דגמי המעקות. באתר ההתקנה יש לקיים דרישות לתנאי ההצבה של קטע-המעבר, בדומה לדרישות להצבת מעקות (כגון: הרחב הפעיל).
3. אם ברשימה המאושרת של משרד התחבורה לא קיים קטע-מעבר בין שני דגמי המעקות, יש לדרוש הצגת שרטוט עם פתרון טכני לקטע-המעבר בין המעקות. פתרון החיבור יוצג באישור היצרנים של שני דגמי המעקות (פרט למקרה של מעקה ברשות הרבים, עבורו לא נדרש אישור יצרן). מומלץ שכל רשות דרך (רשות תמרור מקומית) תנהל רשימה של קטעי-המעבר בין מעקות שהתקבלו בצורת הפתרונות הטכניים של היצרנים.

תכנון קטע-המעבר צריך לספק מעבר הדרגתי וחלק בין שני דגמי המעקות. לכן, בניסיון הבינלאומי מומלץ כי אורך קטע המעבר יהיה שווה, לפחות, ל-10-12 מידות של ההפרש בין רחבי העבודה בפעילים של המעקות המחוברים. טבלה 5.3 מציגה המלצות לאורך המזערי של קטע-המעבר בהתאם לרמת תפקוד המעקות. מומלץ לאמץ אורכים אלה עבור קטעי-המעבר שלא נבדקו במבחני ההתנגשות.

<sup>29</sup> לדוגמא, במסמך BAST (2014) בגרמניה, במסמך Decrets (2014) בצרפת  
<sup>30</sup> ראו פרסום "התקני תנועה, בטיחות ורמזורים מאושרים להצבה בדרך", משרד התחבורה והבטיחות בדרכים, ינואר 2020, ועדכוניו.

### טבלה 5.3: המלצות לאורך מזערי של קטעי-המעבר בין מעקות<sup>31</sup>

רמת תפקוד של המעקה	אורך מזערי של קטע-מעבר (מ')
N2	12
H1	16
H2	20
H4b	28

## 5.5 פרטי הצבה של מעקה בטיחות במפרדה

### 5.5.1 כללי

המאפיינים הגיאומטריים ותנאי המפרדה משפיעים על פרטי הצבת מעקה הבטיחות בה. בין מאפיינים אלה נמצאים: רוחב המפרדה, צורת החתך הרוחבי שלה, הימצאות מכשולים, קיום צמתים.

במפרדה ניתן להציב מעקה בטיחות דו-צדדי במרכז, או שני מעקות חד-צדדיים בצידי המפרדה. מעברים תכופים מסוג אחד לשני אינם רצויים מבחינה בטיחותית, וגם מבחינה חזותית הם מקשים על התמצאות הנהג במרחב הדרך. במפרדה מישורית ללא מכשולים, יוצב בדרך כלל מעקה דו-צדדי במרכז. ליד מכשולים, ובמיוחד בקטעים עם עמודי תאורה, יש להציב שני מעקות חד-צדדיים.

בחירת סוג המעקה להצבה במפרדה מתבססת על רמת התפקוד הנדרשת של המעקה, רוחב העבודה הפעיל שלו (ופרמטר חדירת הרכב, בנוכחות מכשולים גבוהים), ושיקולי תחזוקה. לדוגמא, במפרדה רחבה, ללא אילוצי רוחב, מומלץ לבחור במעקה סלחני יותר לרכב המתנגש (אשר לרוב יהיה עם סטייה דינמית גדולה יותר). במידה שבשטח קיימים אילוצים, יש לבחור במעקה עם מאפייני הרוחב הפעיל וחדירת הרכב אשר מתאימים למרחב הקיים.

כאשר המעקה מוצב במרכז המפרדה, סיכויי התנגשות בו פוחתים, ולכן תחזוקת המעקה תידרש לעתים רחוקות יותר. לעומת זאת, כאשר המעקה מותקן בסמוך לנתיבי הנסיעה, ובמיוחד בדרך עם מהירויות נסיעה ונפחי תנועה גבוהים, סיכויי התנגשות בו גדלים, ולכן כדאי לבחור בדגם מעקה עם צרכי תחזוקה קטנים יותר.

### 5.5.2 מיקום מעקה הבטיחות במפרדה

במפרדה מישורית (עם שיפוע 1:10 או מתון יותר) וללא מכשולים, רצוי להציב מעקה דו-צדדי במרכזה. בצורה זו משמש השטח שבין נתיב הנסיעה לבין המעקה כאזור תמרון לרכב. ככלל, מעקה הסמוך לנתיב הנסיעה יוצר הפרעה לתנועה, לכן רצוי להרחיקו מנתיב הנסיעה. כמו כן, הרחקת המעקה

<sup>31</sup> לפי BAST (2014)

הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות

מהנתיב הנגדי מספקת מרווח לסטייה הדינמית של המעקה, אשר נדרשת לתפקודו התקין בעת התנגשות רכב.

כאשר המפרדה רחבה, אפשר להציב בה מעקה בעל סטייה דינמית גדולה. ככל שהמפרדה צרה יותר, יידרש מעקה בעל רוחב פעיל קטן יותר, כדי למנוע פלישה של המעקה לתוך הנתיב הנגדי בעת התנגשות רכב בו. במפרדה צרה יש להציב מעקה בעל רוחב פעיל קטן וסטייה דינמית מזערית, כדי להרחיקו במידה מרבית אפשרית מנתיבי הנסיעה. בעת בחירת מעקה דו-צדדי להצבה, יש לבדוק כי רוחב המפרדה כולל, לפחות, את המרחק הדרוש לשתי מידות של רוחב עבודה פעיל של המעקה, פחות מידה אחת של רוחב המעקה עצמו.

כאשר המפרדה אינה מישורית, כגון: קיימים הפרשי גובה בין המסלולים (שיפוע תלול מ-1:10), או שלמפרדה צורת תעלה עם שיפועים תלולים, מומלץ להציב שני מעקות חד-צדדיים בשני צידי המפרדה. המעקות יוצבו בהתאם לדרישות למרחק של מעקה הבטיחות מצד הדרך, כמפורט בסעיף 5.1.1. המרחק המזערי בין פני המעקה לבין שפת הנתיב הסמוך למפרדה לא יפחת מ-0.5 מטר. בכל מצב, מומלץ לשמור על רוחב השול הנדרש בין קצה הנתיב לבין פני המעקה, על-פי ההנחיות התקפות לתכן גיאומטרי (נת"י, 2018).

במפרדה עם מכשולים במרכזה או עם מטרד מתמשך, כגון עמודי תאורה קשיחים, מומלץ להציב שני מעקות בטיחות נמשכים משני צידי המטרד<sup>32</sup>. במקרה זה יש לשמור על המימדים הדרושים בין המעקה לבין שפת הנתיב מחד, ובין המעקה לבין המכשול, מאידך. המרחק בין המעקה והמכשול צריך לספק תנאים לרוחב הפעיל ולפרמטר חדירת הרכב של המעקה, כמפורט בסעיף 5.1.1. ללא הבטחת המרחק הדרוש, רכב המתנגש במעקה עשוי להיתקע במכשול.

עקב הימצאות מכשול בודד, לעיתים נדרש במפרדה מעבר בין מעקה דו-צדדי לבין שני מעקות חד-צדדים. את המעבר מומלץ לבצע בהתאם למוצג באיור 5.16. ההסדר כולל:

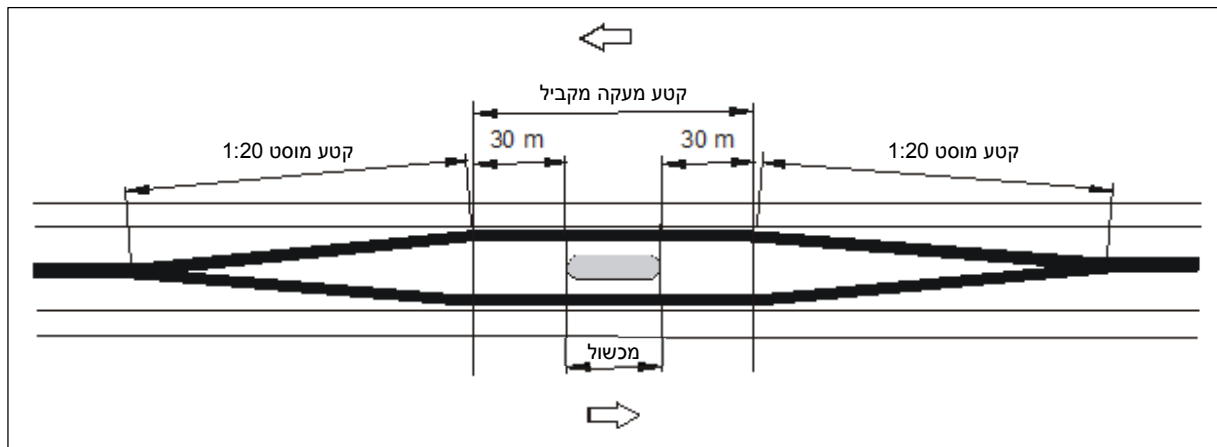
- קטעי המעקות החד-צדדיים משני צידי המכשול, באורך המהווה סיכום של אורך המכשול בתוספת 30 מ' מעקה, לפחות, מכל צד של המכשול;
- קטעי הסטה המספקים מעבר הדרגתי משני המעקות החד-צדדיים למעקה הדו-צדדי, מכל צד של המכשול. כל קטע הסטה יבוצע בשיעור 1:20. בהינתן אילוצי שטח, הקטעים המוסטים יבוצעו בשיעור 1:10.

### 5.5.3 אורך, גובה המעקה ופתרונות קצה במפרדה

בכל דרך דו-מסלולית בין-עירונית, לרבות דרך מהירה, יש להציב מעקה בטיחות לכל אורכה של המפרדה, ולסיימו רק בקרבת צמתים.

<sup>32</sup> כאמור, תעלת ניקוז עם שיפועים תלולים נחשבת כמטרד בהקשר זה – ראו פירוט למידות התעלה בפרק 2

הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות



**איור 5.16:** מעקות בטיחות במפרדה המוצבים לפני מכשול קשיח<sup>33</sup>

הגובה של מעקה הבטיחות במפרדה זהה לגובה של מעקה בצד הדרך. ככלל, גובה המעקה נמדד מגובה פני המיסעה/השול/הקרקה הסמוכים למעקה. כאשר המעקה מוצב על מפרדה מוגבהת, במרחק עד 0.5 מ' מקצה המפרדה, גובה המעקה נמדד ביחס לפני המיסעה. מאידך, כאשר המעקה מוצב על מפרדה מוגבהת, במרחק מעל 0.5 מ' מקצה המפרדה, גובה המעקה נמדד ביחס לפני המפרדה.

אבן שפה אינה מוסיפה יתרון בטיחותי לתפקוד מעקה הבטיחות, ולכן אינה מומלצת לשימוש ביחד עם המעקה. ככלל, את אבן השפה יש למקם מאחורי מעקה הבטיחות. אם הכרחי לבנות אבן שפה לפני המעקה או מתחתיו, יש להשתמש באבן שפה משופעת שאינה בולטת מעל למיסעה ביותר מ-8 ס"מ.

יש להבטיח פתרון קצה בטיחותי למעקה במפרדה, באמצעות התקנת סופג אנרגיה או התקני-קצה. סוג סופג האנרגיה או התקן-הקצה שנבחר להתקנה אמור להתאים לרמת התפקוד הנדרשת, לפי סוג דרך, ולדגם המעקה. לגבי רמות תפקוד של התקני-הקצה במפרדה, ראו טבלה 5.2 לעיל, תנאי "קצה מעקה שפוגש את התנועה", בלבד. הדרישות לרמות תפקוד של סופגי האנרגיה ואופן התקנתם, מפורטים ב-"הנחיות לבחירה ולהצבה של סופגי אנרגיה" (2016).

#### **5.5.4 התקנת מעקה במפרדה באזור הצומת**

בשל הדרישות למרחקי הראות של ההנחיות לתכן גיאומטרי, היה נהוג בארץ להשאיר מפרדה בנויה ללא מעקה באזור הצומת (איור 5.17). התקנת המעקה במפרדה הסתיימה עשרות מטרים לפני שטח הצומת, ואורך המפרדה ללא מעקה הגיע לעתים למאות מטרים. כתוצאה ממצב זה, עלולות להתרחש תאונות חמורות כאשר רכב מאבד שליטה ועובר דרך המפרדה למסלול הנגדי, ושם מתנגש ברכב שבא ממול.

<sup>33</sup> מבוסס על RPS (2009), AASHTO (2011)

הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות



**איור 5.17:** היעדר מעקה במפרדת ליד שטח הצומת – דוגמאות

כדי למנוע סיכון של חציית שטח המפרדה, ותאונות התנגשות חזיתית בעקבות זאת, נדרשת המשכת מעקות הבטיחות במפרדות עד קרבת הצמתים. עם זאת, בבחירת מעקה הבטיחות להצבה במפרדה באזור הצומת יש להפעיל שיקול של הבטחת פגיעה מזערית בתנאי הראות בצומת.

נושא הדילמה בין הצורך בהצבת מעקה מפרדה למניעת תאונות במעבר למסלול הנגדי לבין הצורך להבטיח את מרחקי הראות בצומת, מוכר גם בהנחיות בחו"ל<sup>34</sup>. על סמך הנחות הספרות המקצועית לגבי גובה עיני הנהג ברכב, ניתן להניח שמעקה בטיחות בגובה עד 80 ס"מ מפני הכביש לא יסתיר את הראות בצומת. בעיית הראות קיימת בעיקר בעקומות חדות, בעוד בדרכים הדו-מסלוליות ככלל אין רדיוסים קטנים בצמתים. תפקידו של שדה הראיה משמעותי יותר בצומת לא-מרומזר. לכן, בטרם הוספת מעקה במפרדה, יש לבדוק את מעטפת הראות בצומת, בהתאם למאפייניו הטופוגרפיים.

מכאן, שלהצבת מעקה במפרדה באזור הצומת נדרש פתרון שיבטיח "שקיפות" מרבית של המעקה. בנוסף, יש להתייחס לתנאי הצבת המעקה כגון: אורך התקנה, פתרון קצה בטיחותי.

בעקבות הדיונים שהתקיימו בנושא בישראל, תוך כדי בחינה של הניסיון הבינלאומי ודרישות ההנחיות לתכן גאומטרי, גובשו הנחיות להצבת מעקות במפרדה בקרבת צמתים בין-עירוניים, כמפורט להלן:

- בצמתים מרומזרים, יש להתקין מעקות בטיחות על גבי המפרדות באזור הצומת. אם בצומת יש מגבלות טופוגרפיות, מומלץ לבצע בדיקה של מעטפת הראות, בטרם הוספת מעקה. בצמתים לא-מרומזרים, נדרש לבצע חישובים של מעטפת הראות בצומת, ובעקבות הבדיקה להחליט על הוספת מעקה מפרדה ואורכו.
- סוג המעקה המועדף להצבה במפרדה באזור הצומת הוא מעקה פלדה חד-קומתי דו-צדדי. באזור הצומת, רצוי להימנע מהצבה של שתי שורות של מעקות חד-צדדיים, בשל הפגיעה בנראות, בעייתיות ההסדרה של שני פתרונות קצה וכו'.
- במפרדה באזור הצומת רמת תפקוד המעקה תהיה H1, ללא תלות ברמת תפקוד המעקה אשר נדרשת לאורך קטע דרך לפני הצומת. המעקה יהיה בגובה עד 75 ס"מ, ושקוף ככל הניתן.

<sup>34</sup> לדוגמא, באנגליה, אירלנד, נורבגיה, ארה"ב

הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות

- התקנת המעקה במפרדה תימשך עד לרמזור או עד למעבר חציה סמוך. המעקה יסתיים בהתקן קצה אשר גם הוא יהיה שקוף ככל הניתן. (כמו כן, יש לוודא שההתקנה לא תהווה מטרד להולכי-הרגל או לאופניים שחוצים במעבר הסמוך).
  - עבור המעקה במפרדה באזור הצומת לא תהיה התייחסות נפרדת לאורך התקנה מזערי; את הדרישה לאורך התקנה מזערי, לפי דגם המעקה, יש לקיים במידה שניתן בתנאי האתר.
- בצמתים מרומזרים בדרכים הבין-עירוניות קיימות דוגמאות להתקנת מעקות הבטיחות על גבי המפרדה בקרבת הצומת – איור 5.18.



איור 5.18: דוגמאות להתקנת מעקות הבטיחות על גבי מפרדה בקרבת צומת מרומזר

## 5.6 חתכים טיפוסיים להצבת מעקות הבטיחות

החתכים הטיפוסיים, לפי סוג הדרך, עם פירוט המרחקים הנדרשים להצבת מעקות הבטיחות, מוצגים בהנחיות נת"י (2018). בהקשר זה, יש לשים לב להשפעת הדרישה לקיום פרמטר חדירת הרכב (VI) בתכנון המעקה – ראו סעיף 5.1.1.

החתכים הטיפוסיים משמשים לתכנון דרכים חדשות. בדרכים הקיימות, לעומת זאת, יכולים להיות אילוצי שטח להצבת מעקות הבטיחות. לדוגמה, המרחק הקיים מעבר לשול עשוי לא להספיק לרוחב הפעיל (או לפרמטר חדירה הרכב) של המעקה החדש. לכן, בהתקנת מעקות הבטיחות החדשים בדרכים הקיימות נוצר לעתים הצורך להתמודד עם אילוצי השטח.

כאשר המרחק הפנוי מעבר לשוליים (עד למכשול או עד לקצה הסוללה) אינו מספיק לרוחב העבודה הפעיל של המעקה הנבחר להתקנה, מומלץ לשקול צעדים כגון:

- א. לבחון אפשרות לבחירת מעקה עם רוחב פעיל קטן יותר ברמת התפקוד הנדרשת.
- ב. לבחון אפשרות לבחירת מעקה ברמת תפקוד גבוהה יותר ועם רוחב פעיל צר יותר.
- ג. לבחון אפשרות של הצרת שוליים להבטחת המרחק הדרוש לתפקוד המעקה.
- ד. לשקול אפשרות של שינוי חתך הדרך: הצרת נתיבים ו/או הצרת מפרדה – להבטחת המרחק הדרוש לתפקוד המעקה.

סדר הצעדים הנ"ל משקף את סדר הקדימויות בבחינת הפתרונות המאולצים. הצעדים א'-ב' הם המקובלים ליישום, עם השלכות על מצב צידי הדרך בלבד. במקרה של צעדים ג'-ד', יש לשקול את השלכות השינויים גם על הבטיחות ועל זרימת התנועה בדרך, ותיתכן גם השפעה על קביעת המהירות המותרת.

## 5.7 סוגיות נוספות בהצבת מעקות

### א. מעקות להגנת מכשולים נקודתיים

ככלל, מעקות הבטיחות מיועדים להצבה המשכית בצד הדרך או במפרדה. בנוסף, קיימים דגמים מיוחדים של מעקות אשר מיועדים להגנת מכשולים נקודתיים, כגון עמוד גשר שילוט, עמוד מתח גבוה וכד'. מעקות כאלה נבחנו במבחני התנגשות לפי התקינה האירופית, והם מאופיינים ברמת תפקוד ובמעטפת תפקוד מסוימות.

דגמי מעקות להגנת מכשולים נקודתיים נמצאים ברשימת ההתקנים המאושרים לשימוש בישראל, והם מתאימים להתקנה באתרים בהם אין מקום להצבת מעקה בטיחות רגיל (באורך המזערי הנדרש להתקנתו). כל מעקה יותקן בהתאם למפרט הטכני והוראות ההתקנה שלו שנקבעו על-ידי היצרן המקורי.

### ב. מעקות להתקנה על בטון

רוב מעקות הבטיחות מותקנים בנעיצה לקרקע. בנוסף, ישנם דגמים של מעקות אשר מיועדים להתקנה על משטח בטון. למעקות כאלה קיימים יישומים שונים, ביניהם התקנה על קירות תמך, מעבירי מים, ברמפות מחלפים, בקטעי מעקות המיועדים לפירוק חוזר עקב גישה למתקנים בצד הדרך וכו'. למעקה המותקן על בטון יש עמודים מיוחדים: כל עמוד מסתיים בפלטת בסיס אשר מחוברת למשטח בטון באמצעות ברגי עיגון (ככלל, עם קידוח חורים במשטח הבטון ומילוי דבק מיוחד עבור העוגנים). המעקות להתקנה על בטון מופיעים בקבוצות ייעודיות ברשימת ההתקנים. הם צריכים לעמוד בדרישות התפקודיות ובכללי השימוש המפורטים במסמך זה. בנוסף, בהתקנת מעקה כזה יש לשים לב לדרישות לגבי משטח הבטון להתקנה ולפירוט שיטת עיגון עמודי המעקה למשטח, המוצגים במפרט הטכני ובהוראות ההתקנה למעקה שקבע היצרן. בחלק מהמקרים, המעקה מותקן על משטח בטון אשר בולט עד 10 ס"מ מעל פני המיסעה.

### ג. מערכות מיגון לאופנועים

מערכת מיגון לאופנועים מהווה תוספת למעקה בטיחות קבוע, אשר נועדה לספק מיגון לרוכבי רכב דו-גלגלי בעת התנגשותם בחלקים החדים (בעיקר, עמודים) של מעקות בטיחות מפלדה, ובכך למנוע פגיעות חמורות בגופם של הרוכבים.

מערכות מיגון לאופנועים נבחנות במבחני התנגשות ייחודיים ומקבלות הכרה בהתאם. מספר דגמים של מערכות כאלה מופיעים ברשימת ההתקנים המאושרים לשימוש בישראל. לפרטים נוספים על כללי שימוש במערכות מיגון לאופנועים ראו מסמך "מפרט לבחינה והנחיות לשימוש במערכות מיגון לאופנועים" (2016).

## נספח א': שימוש במעקות הבטיחות בדרך נופית

נספח זה מביא את תמצית השיקולים לבחינת הצורך בשימוש במעקות הבטיחות בדרך נופית, בהתבסס על "הנחיות ליישום מעקות בטיחות נופיים בישראל" (נת"י, 2009).

דרך נופית היא דרך העוברת בסמיכות לפארקים/ יערות/ שמורות טבע, בדרכים הרריות עם נקודות תצפית וכד'. בישראל חסרה הגדרה פורמלית של דרך נופית. בהגדרת קטע דרך עם ערך נופי גבוה מומלץ להיעזר, מחד, ברשימת דרכי הנוף במפה התיירותית, ומאידך, בקריטריונים ושיקולים לקביעת ערך נופי גבוה (ראו הנחיות נת"י, 2008). בדרכים כאלה קיימת ציפייה לכך שמעקה הבטיחות לא יפגע או יסתיר את הנוף הקיים, ואף ישתלב בתוכו. בבחירת מעקה בטיחות להתקנה בקטעי דרכים אלו מומלץ להעדיף דגמי מעקות שמתאימים להתקנה בדרך נופית.

בקרב קטעי הדרכים עם ערך נופי גבוה מבחינים בשתי קבוצות: (א) קטעי דרכים עם מאפייני תנועה רגילה, ו-(ב) קטעי דרכים המאופיינות בתנועה דלילה ובמהירויות יעוד ונסיעה נמוכות.

קטעי הדרכים מהקבוצה הראשונה (עם תנועה רגילה) מעבירים היקפי תנועה גבוהים, ומאפשרים מהירויות נסיעה גבוהות. הדרישות ליצירת תנאי דרך סלחניים, ומכאן, להצבת מעקות בטיחות בצידי דרכים כאלה, אינן שונות מהדרישות שתקפות בכלל הדרכים הלא-עירוניות.

בחלק ניכר מהדרכים הנופיות מהקבוצה השנייה (עם תנועה דלילה), תוואי הדרך מורכב, בשל העובדה שהוא עוקב אחר הטופוגרפיה הטבעית של הקרקע, אשר לעיתים הררית-גבעית, עם שיפועי אורך קיצוניים ורדיוסי עקומים קטנים ו/או תכופים. לכן, מחד, צידי הדרך כוללים מפגעי בטיחות שונים כגון: מצוקים, תהומות, סלעים, קירות תומכים, עצים ומכשולים קשיחים אחרים, אך מאידך, בשל תוואי הדרך, מהירויות הנסיעה בדרכים אלה נמוכות יחסית. בהתחשב במאפיינים אלה וגם בנפחי תנועה דלילים, מוצעות הקלות בהצדקים לשימוש במעקות הבטיחות בצידי דרכים כאלה, כמפורט להלן.

דרך נופית עם תנועה דלילה ומהירויות נמוכות, שייכת לקטגוריה של דרך חד-מסלולית עם מהירויות יעוד עד 70 קמ"ש. בסוג דרך זה הדרישה לרוחב אזור המפלט נקבעת בהתאם לקטגוריות של נפח תנועה ומהירות תכן, כמוצג בטבלה א.1 (מבוסס על מדריך אמריקני CFL, 2005). בעקום אופקי עם רדיוס קטן, עד 350 מ', קיים צורך בהגדלת רוחב אזור המפלט. טבלה א.2 מציגה מקדמי הכפלה של רוחב אזור המפלט, בתלות במהירות התכן וברדיוס העקום. מכאן, ערכים מומלצים לרוחב הדרוש של אזור המפלט נקבעים בתלות בסוג הדרך, בנפח התנועה בדרך, במהירויות הנסיעה בדרך, באופן בניית הדרך (מילוי/חפירה), בשיפוע המדרון וברדיוס העקום.

במידה שרוחב אזור המפלט מתקיים ואזור המפלט פנוי ממכשולים/ סכנות, אין צורך בשימוש במעקה הבטיחות. מאידך, **ההצדק לשימוש במעקה הבטיחות** מתקיים כאשר בתחום אזור המפלט נמצא:

(א) שיפוע מילוי התלול מ-1:4, או

(ב) שיפוע חפירה התלול מ-1:3, או

(ג) מכשולים/ סכנות כמפורט להלן.

רוחב אזור המפלט מגדיר את המרחק מקצה המיסעה שמשמש לזיהוי סכנות בטיחות פוטנציאליות, ולבחינת הצורך בשימוש במעקה. לאחר הגדרת אזור המפלט, יש לבחון מכשולים קשיחים/ מטרדים/ מפגעי בטיחות פוטנציאליים הממוקמים בתחום אזור המפלט, כולל סיווגם לפי רמות חומרה. טבלאות א.3-א.6 מציגות פירוט לעצמים ולמאפיינים טיפוסיים אחרים שיכולים להימצא בצידי דרכים נופיות, כולל סיווגם ל-3 קבוצות בהתאם לרמת החומרה הפוטנציאלית של התנגשות בעצמים אלה<sup>35</sup>.

#### מעקה בטיחות נדרש להתקנה בצד דרך נופית כאשר:

(א) בתחום אזור המפלט נמצאים מכשולים קשיחים/סכנות ברמת חומרה גבוהה – קבוצה 3, כגון: סלע, קיר, מדרון תלול, תהום.

(ב) בתחום אזור המפלט נמצא ריבוי של מכשולים קשיחים/סכנות ברמת חומרה בינונית – קבוצה 2, כגון: ריבוי עצים.

#### טבלה א.1: רוחב דרוש של אזור המפלט\* בדרך נופית עם

תנועה דלילה ומהירויות נמוכות (מ')

שיפוע החפירה					שיפוע המילוי				נפח תנועה יומי	מהירות יעוד** (קמ"ש)
מתון	1:6	1:5	1:4	1:3	מתון	1:6	1:5	1:4		
2.5	2.0	2.0	1.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	עד 1500	עד 50
3.0	2.5	2.5	2.0	1.5	2.0	2.0	2.5	3.0	1500-5000	
3.0	3.0	3.0	2.5	2.0	2.0	3.0	3.0	3.5	מעל 5000	
3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.5	עד 1500	60 או 70
3.5	3.0	3.0	2.5	2.0	3.0	3.5	4.0	4.5	1500-5000	
4.5	3.5	3.5	3.0	3.0	3.5	4.5	4.5	5.0	מעל 5000	

\* אזור המפלט נמדד מקצה המיסעה בקטעי מילוי או חפירה, לרבות השול – ראו איור 2.2 בגוף המסמך הנוכחי.  
 \*\* מהירות הנסיעה הרצויה שהוגדרה לדרך בהתאם למאפייניה ולמקומה במדרג – ראו פרק 2 בהנחיות נת"י (2018).

<sup>35</sup> מידע זה מבוסס על המדריך האמריקני CFL (2005). רמת חומרת ההתנגשות מתייחסת לתנאי זרימה חופשית במהירויות נסיעה אופייניות. רמות החומרה שנקבעו למפגעים השונים נובעות, מחד, מבחינת השלכות התאונות בפועל ומאידך, מניתוח תוצאות של תוכנות הדמיה, בארה"ב.

הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות

**טבלה א.2:** מקדמי הגדלת רוחב אזור המפלט בעקום אופקי,

בדרך נופית עם תנועה דלילה ומהירויות נמוכות

מהירות יעוד (קמ"ש)		רדיוס עקום אופקי (מ')
70 או 60	עד 50	
1.2	–	350
1.2	1.2	300
1.2	1.2	250
1.3	1.2	200
1.4	1.3	150
1.5	1.4	100 ומטה

**טבלה א.3:** עצמים קשיחים בצד דרך נופית

מפגע פוטנציאלי	קבוצה 1 חומרה נמוכה	קבוצה 2 חומרה בינונית	קבוצה 3 חומרה גבוהה
עמודי גשר, יסודות גשר			✓
סלעים קטנים		✓	
סלעים גדולים			✓
עמודי תמיכה כגון: שלט, תאורה וכד' – לא סלחניים		✓	
עצים יחידים, עם גזע בקוטר 100-200 מ"מ	✓		
עצים יחידים, עם גזע בקוטר מעל 200 מ"מ		✓	
קבוצת עצים, כשכל עץ בקבוצה עם גזע בקוטר מעל 200 מ"מ			✓

**טבלה א.4:** מעבירי מים ומתקני ניקוז בצד דרך נופית

מפגע פוטנציאלי	קבוצה 1 חומרה נמוכה	קבוצה 2 חומרה בינונית	קבוצה 3 חומרה גבוהה
קצה מעביר מים חשוף, ללא כנפיים, בקוטר 1 מ' או פחות		✓	
קצה מעביר מים חשוף, ללא כנפיים, בקוטר 1 מ' או יותר			✓
כנף אנכית של מעביר מים, בגובה פחות מ-1 מ'		✓	
כנף אנכית של מעביר מים, בגובה של 1 מ' או יותר			✓
מעביר מים עם כנפיים משתפלות, בגובה עד 1 מ'		✓	
מעביר מים עם כנפיים משתפלות, בגובה של 1 מ' או יותר			✓

**טבלה א.5: שיפועי מילוי וחפירה בצד דרך נופית**

מפגע פוטנציאלי	קבוצה 1 חומרה נמוכה	קבוצה 2 חומרה בינונית	קבוצה 3 חומרה גבוהה
תעלה מחוץ לחתך המועדף של תעלת הניקוז לפי אירוסים 2.4-2.5 במסמך זה, ובשיפוע מילוי מתון מ-1:3			✓
תעלות בשיפוע מילוי 1:3 או תלול יותר. (בנוגע לתעלות עמוקות יש להתייחס גם לקריטריונים שלהלן)	✓		
שיפוע מילוי 1:3 בגובה של פחות מ-2 מ'*		✓	
שיפוע מילוי 1:3 בגובה של 2 מ' או יותר*	✓		
שיפוע מילוי בתחום 1:2-1:1.5 בגובה של פחות מ-4 מ'*	✓		
שיפוע מילוי בתחום 1:2-1:1.5 בגובה של 4 מ' או יותר			✓
שיפוע מילוי אנכי או קיר תומך במילוי בגובה של פחות מ-2 מ'	✓		
שיפוע מילוי אנכי או קיר תומך במילוי בגובה 2 מ' או יותר			✓
שיפוע חפירה בשיפועים משתנים, עם השפעות ארזיות עמוקות, סלעים גדולים, עצים	✓		
שיפוע חפירה/חציבה, עם בליטות אופקיות בגודל של פחות מ-20 ס"מ			✓
שיפוע חפירה/חציבה, עם בליטות אופקיות בגודל של 20 ס"מ או יותר	✓		
בהתקרבות לשיפוע החוצה את הדרך (כגון ערוץ נחל) בשיפוע יורד של 1:4 או תלול יותר, בגובה 0.5-2.0 מ'	✓		
בהתקרבות לשיפוע החוצה את הדרך (כגון ערוץ נחל) בשיפוע יורד של 1:4 או תלול יותר, בגובה של 2.0 מ' או יותר			✓
בהתקרבות לשיפוע החוצה את הדרך (כגון סוללת גשר) בשיפוע עולה של 1:4-1:1.5, בגובה 0.3 מ' או יותר	✓		
בהתקרבות לשיפוע החוצה את הדרך (כגון סוללת גשר) בשיפוע עולה של 1:1.5 או תלול יותר, בגובה 0.3 מ' או יותר			✓

\*המדרון צריך להיות חלק ופנוי ממכשולים, אחרת יש לעבור לרמה הבאה של קטגוריית החומרה

**טבלה א.6: מפגעים אחרים בצד דרך נופית**

מפגע פוטנציאלי	קבוצה 1 חומרה נמוכה	קבוצה 2 חומרה בינונית	קבוצה 3 חומרה גבוהה
קיר תומך או חפירה מקבילים חלקים	✓		
קיר תומך מקביל או קיר נפתח באלכסון לכיוון התנועה בשיפוע קטן מ-1:8	✓		
קיר תומך הנפתח באלכסון לכיוון התנועה בשיפוע של 1:8 או יותר		✓	
מקווה מים בצד הדרך, עם עומק מים של 0.6-1.0 מ'		✓	
מקווה מים בצד הדרך, עם עומק מים של 1.0 מ' או יותר			✓

## נספח ב': שיקולים לבחינת רמת תפקוד נדרשת של מעקות ברמפות מחלפים

כפי שצוין בסעיף 4.3 בגוף המסמך, המתכנן יכול לשקול החמרה או הקלה בדרישות לרמת תפקוד המעקה ברמפות במחלף, בהתאם למאפיינים של סוג הדרך (המשנית), נפח התנועה ברמפה, הרכב התנועה, מהירויות הנסיעה – אשר שונים באופן ניכר לעומת המצב בדרך העיקרית (ממנה יוצאת הרמפה).

בטבלאות להלן מובא ריכוז שיקולים לבחינת רמת התפקוד הנדרשת של מעקות ברמפות במחלפים, לפי סיווג הדרך ממנה יוצאת הרמפה: רמפת יציאה מדרך דו-מסלולית או מהירה לדרך במדרג נמוך יותר (טבלה ב.1), ולהיפך, רמפת יציאה מדרך חד-מסלולית לדרך במדרג גבוה יותר (טבלה ב.2). בכל טבלה מוצגת ברירת המחדל של רמת התפקוד הנדרשת למעקה, והשינוי המוצע ברמת תפקוד המעקה בהתאם לתנאי הדרך והתנועה ברמפה. הטבלאות מתארות את מצבי הקיצון בתנאי הדרך והתנועה ברמפה, אשר מובאים לצורך הדגמה של כיוון החשיבה בנושא.

**טבלה ב.1:** רמת תפקוד נדרשת של מעקה ברמפת יציאה מדרך דו-מסלולית או מהירה לדרך ממדרג נמוך יותר, בהתאם לתנאי הדרך והתנועה

רמת תפקוד נדרשת של מעקה	נוכחות אוטובוסים	נוכחות רכב כבד	נפח תנועה	מהירויות	תצורת רמפה
H2 או H1	ברירת מחדל				
N2	נמוכה	נמוכה	נמוך <sup>2</sup>	נמוכות <sup>1</sup>	ישרה
N2	נמוכה	נמוכה	גבוה	נמוכות	ישרה
H1	נמוכה	גבוהה <sup>3</sup>	גבוה	~	ישרה
H2	גבוהה <sup>4</sup>	גבוהה	גבוה	~	ישרה
H1	נמוכה	גבוהה	~	~	לא ישרה <sup>5</sup>
H2	גבוהה	גבוהה	~	~	לא ישרה

## טבלה ב.2: רמת תפקוד נדרשת של מעקה ברמפת יציאה מדרך חד-מסלולית לדרך

ממדרג גבוה יותר, בהתאם לתנאי הדרך והתנועה

רמת תפקוד נדרשת של מעקה	נוכחות אוטובוסים	נוכחות רכב כבד	נפח תנועה	מהירויות	תצורת רמפה
N2	ברירת מחדל				
H1	נמוכה	גבוהה <sup>3</sup>	גבוה <sup>7</sup>	גבוהות <sup>6</sup>	ישרה
H2	גבוהה <sup>4</sup>	גבוהה	גבוה	גבוהות	ישרה
H1	נמוכה	גבוהה	~	~	לא ישרה <sup>5</sup>
H2	גבוהה	גבוהה	~	~	לא ישרה

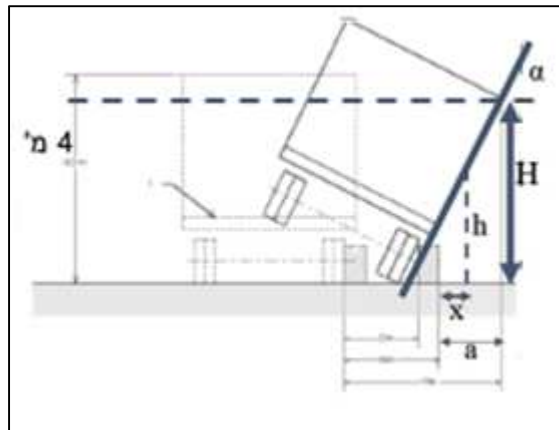
הערות לטבלאות ב.1-ב.2:

- (1) רמפה עם שיפוע בעליה
- (2) עד 3000 כלי רכב ביממה
- (3) מעל 10% משאיות בנפח תנועה יומי
- (4) מעל 100 אוטובוסים בנפח תנועה יומי
- (5) עם רדיוס אופקי עד 400 מ'
- (6) רמפה עם שיפוע בירידה
- (7) מעל 5000 כלי רכב ביממה
- ~ כל ערך של מאפיין זה

# נספח ג': התחשבות בפרמטר VI בתכנון הצבת המעקות

## כתלות בגובה המכשול

איור ג.1 מציג את אופן המדידה של פרמטר חדירת הרכב (VI) במבחן התנגשות עם רכב משא, כאשר חדירת הרכב גדולה יותר מהרוחב הפעיל של המעקה ( $VI > W$ ). המשאית במבחן הייתה בגובה 4 מ'. נגיעת המשאית במכשול הייתה בגובה H אשר תלוי בזווית  $\alpha$  של נטיית המשאית הצידה לעומת הקו האופקי.



איור ג.1: מדידת חדירת הרכב (VI) במבחן התנגשות עם רכב משא

לפי איור ג.1, נסמן:  $h$  – גובה המכשול בצד הדרך, מאחורי המעקה;  $x$  – תוספת המרחק הפנוי מאחורי המעקה, בנוסף לרוחב הפעיל שלו, כדי למנוע פגיעה של רכב כבד במכשול בגובה  $h$ .

לפי איור ג.1, ניתן להבחין בשני מצבים:

$$(1) h \leq 4 \text{ מ'}$$

$$(2) 4 \text{ מ' } < h \leq \text{גובה מעקה}$$

במקרה (1), כאשר המכשול בגובה 4 מ' או גבוה יותר, לתפקוד המעקה יש להבטיח מרחק VI שנמדד במבחן, דהיינו תוספת המרחק הפנוי מאחורי המעקה תהיה:

$$a = VI - W$$

במקרה (2), כאשר המכשול נמוך מ-4 מ' אך גבוה יותר מהמעקה, תוספת המרחק הפנוי מאחורי המעקה תהיה קטנה יותר וניתן להעריך אותו באופן הבא:

$$x = a \frac{h}{H}$$

$$h = 4 \sin \alpha$$

כאשר המכשול נמוך יותר מגובה המעקה, אין צורך להתחשב בפרמטר חדירת הרכב בהתקנת המעקה.

להלן דוגמאות להתחשבות בפרמטר ה-VI בתכנון הצבת המעקה, בנוכחות מכשולים נמוכים יותר מ-4 מ', על-ידי הערכת תוספת המרחק הפנוי שנדרש מאחורי המעקה (x באיור ג.1).

**דוגמא 1:** הערכות ה-x במקרים כאשר למעקה נמדד  $W=1.0$ , ופרמטר ה-VI שווה ל-1.3 או 1.7; גובה המכשול h בטווח בין 1-3.5 מ'.

(א) בהנחת  $\alpha=60^\circ$  מתקבל  $H=3.46m$  והתוצאות הן (כל המידות במטרים):

x	h	VI	W
0.09	1	1.3	1.0
0.17	2	1.3	1.0
0.22	2.5	1.3	1.0
0.30	3.5	1.3	1.0
0.20	1	1.7	1.0
0.40	2	1.7	1.0
0.51	2.5	1.7	1.0
0.71	3.5	1.7	1.0

(ב) בהנחת  $\alpha=70^\circ$  מתקבל  $H=3.76m$  והתוצאות הן (כל המידות במטרים):

x	h	VI	W
0.08	1	1.3	1.0
0.16	2	1.3	1.0
0.20	2.5	1.3	1.0
0.28	3.5	1.3	1.0
0.19	1	1.7	1.0
0.37	2	1.7	1.0
0.47	2.5	1.7	1.0
0.65	3.5	1.7	1.0

ניתן לראות שכאשר ההפרש בין חדירת הרכב VI והרוחב הפעיל W היה דרגה אחת, מאחורי המעקה נדרשה תוספת מרחק פנוי (x) בין 10 עד 30 ס"מ, כתלות בגובה המכשול. באופן דומה, כאשר ההפרש בין ה-VI וה-W היה שתי דרגות, מאחורי המעקה נדרשה תוספת מרחק פנוי (x) בין 20 עד 70 ס"מ, כתלות בגובה המכשול. כצפוי, התוספת x תהיה גדולה יותר עבור מכשול גבוה יותר (התוספת גדלה עד לערך המרבי a השווה להפרש בין ה-VI וה-W).

**דוגמא 2:** הערכות ה-x עבור המקרה של מעקה בטון יצוק; למעקה נמדד  $W=0.6$ , פרמטר ה-VI שווה ל-0.8 או 1.0; גובה המכשול h בטווח בין 1-3.5 מ'.

(א) בהנחת  $\alpha=60^\circ$  מתקבל  $H=3.46\text{m}$  והתוצאות הן (כל המידות במטרים):

x	h	VI	W
0.12	1	1.0	0.6
0.23	2	1.0	0.6
0.29	2.5	1.0	0.6
0.40	3.5	1.0	0.6
0.06	1	0.8	0.6
0.12	2	0.8	0.6
0.14	2.5	0.8	0.6
0.20	3.5	0.8	0.6

(ב) בהנחת  $\alpha=70^\circ$  מתקבל  $H=3.76\text{m}$  והתוצאות הן (כל המידות במטרים):

x	h	VI	W
0.11	1	1.0	0.6
0.21	2	1.0	0.6
0.27	2.5	1.0	0.6
0.37	3.5	1.0	0.6
0.05	1	0.8	0.6
0.11	2	0.8	0.6
0.13	2.5	0.8	0.6
0.19	3.5	0.8	0.6

ניתן לראות שעבור מעקה בטון יצוק תוספת המרחק הפנוי מאחורי המעקה תהיה עד 40 ס"מ, כתלות בגובה המכשול.

# נספח ד': הערכת דרגות תפקוד של התקני-קצה לפי דרישות שני התקנים

## א. התקן האירופי

דרישות התקן האירופי לקביעת דרגות תפקוד של התקני-הקצה מפורטות להלן בהתאם לטיטת התקן EVN 1317-4 שפורסמה בשנת 2001.

התקני-הקצה נבחנו בהתאם למבחנים המוגדרים בטבלה ד.1. כל מבחן מוגדר על-ידי מהירות התנגשות, משקל רכב וכיווני גישה להתנגשות בהתקן. במבחני התנגשות בהתקני-הקצה קיימים 4 כיווני גישה שהם (איור ד.1):

- 1 – התנגשות חזיתית בראש ההתקן (כאשר הציר המרכזי של הרכב תואם את הציר המרכזי של ההתקן);
- 2 – התנגשות חזיתית בראש ההתקן בהיסט של  $\frac{1}{4}$  רוחב הרכב לכיוון הדרך (לעומת הציר המרכזי של ההתקן);
- 4 – התנגשות בזווית של  $15^\circ$  בנקודה של  $\frac{2}{3}$  מאורך ההתקן (כאשר הרכב מוסט ב- $\frac{1}{2}$  רוחב הרכב לעומת ציר ההתנגשות);
- 5 – בהגעה מהכיוון הנגדי, התנגשות בזווית של  $165^\circ$ , בנקודה של  $\frac{1}{2}$  מאורך ההתקן (כאשר הרכב מוסט ב- $\frac{1}{2}$  רוחב הרכב לעומת ציר ההתנגשות).

המבחנים נערכים עם רכב פרטי בלבד, במשקל של 900, 1300 או 1500 ק"ג. לפי איור ד.1, התקן-הקצה יכול להיבחן בשתי תצורות: כהתקן מקביל לציר הדרך או כהתקן מוסט.

בעקבות עמידת התקן-הקצה במספר מבחני התנגשות, בזוויות התנגשות שונות, התקן-הקצה מקבל אחת מארבע רמות תפקוד (כמפורט בטבלה ד.1), כאשר רמות תפקוד P2-P1 מאפיינות התקנים שעמדו במבחני התנגשות במהירות 80 קמ"ש; רמת תפקוד P3 מאפיינת התקנים שעמדו במבחני התנגשות במהירות 100 קמ"ש; רמת תפקוד P4 מאפיינת התקנים שעמדו במבחני התנגשות במהירויות 100-110 קמ"ש.

כמו כן, ניתן להבחין בין: התקנים שמיועדים לשימוש בקצה המעקה שפוגש את התנועה במעלה הזרם בלבד (U – upstream); התקנים שמיועדים לשימוש בקצה המעקה הרחוק במורד הזרם, בלבד (D – downstream); והתקנים שמיועדים לשימוש בשני קצות המעקה (A – both). בהתאם לכך, התקן-הקצה צריך לעמוד בחלק מהמבחנים המוצגים בטבלה ד.1 או בכלם.

<sup>36</sup> בעשור האחרון, טיטת תקן זה פוצלה לשני חלקים: prEN 1317-7 המתמקד בדרישות לבחינת התקני קצה ו-prEN 1317-4 המתמקד בדרישות לקטעי מעבר; שני החלקים נמצאים בשלבי פיתוח וטרם אושרו באירופה. מבחני התנגשות בהתקני הקצה אינם זהים בשני המסמכים: EVN 1317-4 (2001) לעומת prEN 1317-7. עם זאת, מבחני התנגשות עם התקני-הקצה נערכים כיום באירופה הן לפי הדרישות של EVN1317-4 (2001) והן לפי הדרישות של prEN 1317-7. בבדיקת הספרות המקצועית נמצא שברוב המסמכים המנחים בנושאי מעקות הבטיחות באירופה, קביעת רמות תפקוד של התקני-הקצה מבוססת על מסמך EVN 1317-4 (2001). לכן, הדרישות לרמות תפקוד של התקני-הקצה, במסמך זה, מוצגות לפי EVN 1317-4 (2001).

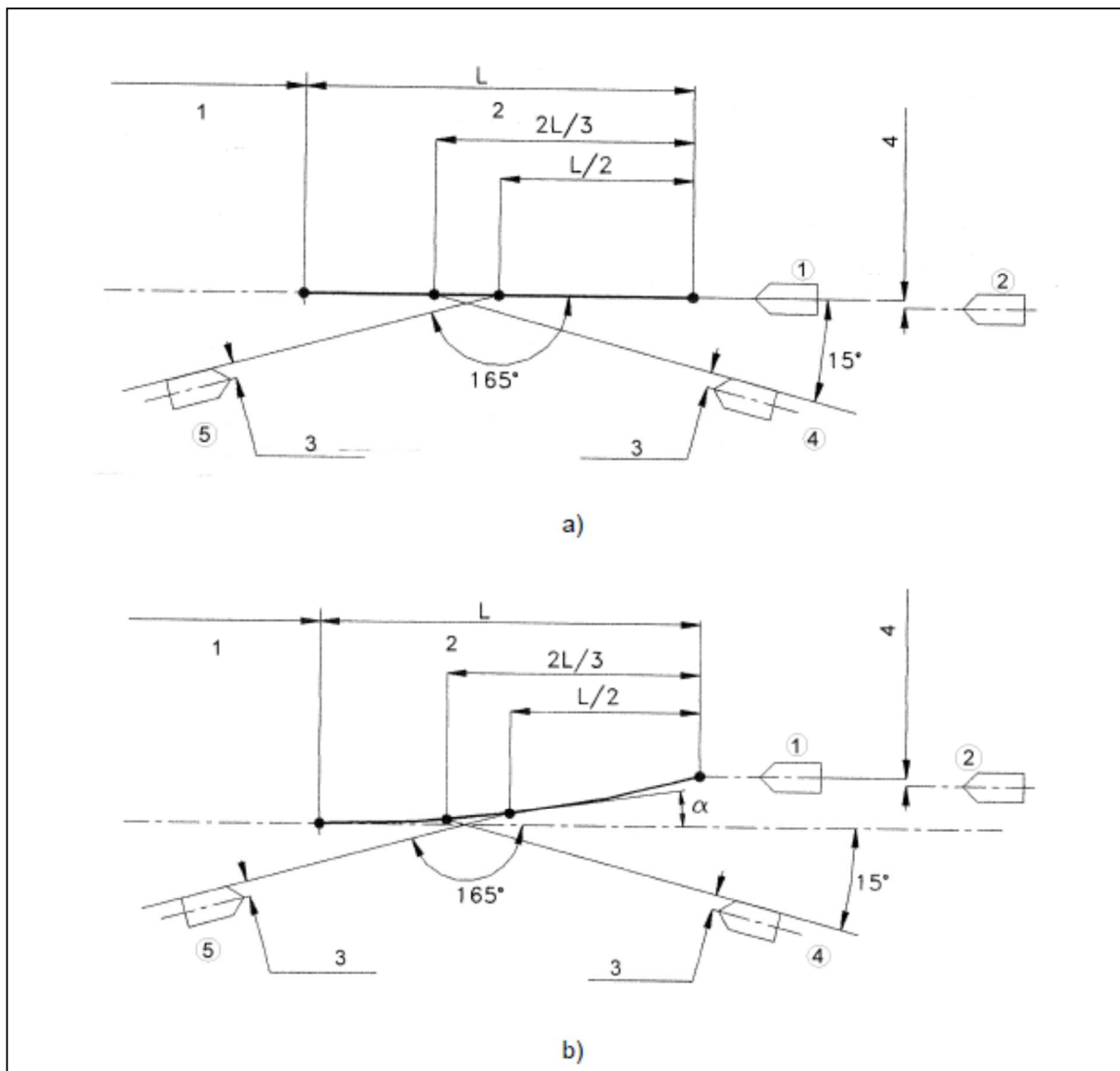
## טבלה ד.1: מבחני התנגשות ורמות תפקוד להתקני-קצה, לפי התקן האירופי

Performance class	Location		Tests				
			Approach	Approach reference	Vehicle mass (kg)	Velocity (km/h)	Test code <sup>1)</sup>
P1	A		head on nose 1/4 offset to roadside	2	900	80	TT 2.1.80
P2	A	U	head on nose 1/4 offset to roadside	2	900	80	TT 2.1.80
		D	side, 15° 2/3 L	4	1 300	80	TT 4.2.80
P3	A	U	side, 165° 1/2 L	5	900	80	TT 5.1.80
			head on nose 1/4 offset to roadside	2	900	100	TT 2.1.100
			head-on centre	1	1 300	100	TT 1.2.100
P4	A	U	side, 15° 2/3 L	4	1 300	100	TT 4.2.100
			side, 165° 1/2 L	5	900	100	TT 5.1.100
			head on nose 1/4 offset to roadside	2	900	100	TT 2.1.100
			head-on centre	1	1 500	110	TT 1.3.110
P4	A	D	side, 15° 2/3 L	4	1 500	110	TT 4.3.110
			side, 165° 1/2 L	5	900	100	TT 5.1.100

<sup>1)</sup> Test code notation is as follows:

TT	1	2	100
Test of Terminal	Approach	Test vehicle mass	Impact speed

U – upstream position, D – downstream position, A – both  
 הערה: התקן-קצה שנבחן לפי דרישות של טיטה אחרת של התקן האירופי, prEN 1317-7, עמד במספר גבוה יותר של מבחני התנגשות לעומת מספר המבחנים המוצג בטבלה ד.1. רמות תפקוד של התקני-הקצה שנבחנו לפי prEN 1317-7, יהיו כלהלן: T80 עבור התקנים שעמדו במבחני התנגשות במהירות 80 קמ"ש; T100 עבור התקנים שעמדו במבחני התנגשות במהירות 100 קמ"ש; T110 עבור התקנים שעמדו במבחני התנגשות במהירויות 100-110 קמ"ש.



- 1 Barrier
- 2 Terminal
- 3 1/2 vehicle width
- 4 1/4 vehicle width

הערות: (a) התקן-קצה מקביל (tangent), (b) התקן-קצה מוטה (flared)

### איור ד.1: כיווני גישה של רכב במבחני התנגשות בהתקני-קצה, בתקן האירופי

רמת חומרת ההתנגשות בהתקן-הקצה (המבטאת את רמת חומרת הפגיעה בנוסעי הרכב) מוערכת בכל המבחנים. להערכת רמות חומרת ההתנגשות משמשים שלושה מדדים:

א. ASI (Acceleration Severity Index) – המבטא את החומרה היחסית של התאווה הפועלת על

נוסע ברכב בעת ההתנגשות;

ב. THIV (Theoretical Head Impact Velocity) – המבטא את המהירות היחסית של ראש הנהג בעת

פגיעתו בחלק מפנים הרכב;

ג. PHD (Post Impact Head Deceleration) – המבטא את תאווה ראש הנהג לאחר הפגיעה בחלק

מפנים הרכב.

רמת חומרת התנגשות להתקן-הקצה נקבעת בהתאם לערכים של כל המדדים הללו שנמדדו במהלך המבחן, כמפורט בטבלה ד.2. התקן מגדיר שתי רמות חומרה: A ו-B, כאשר רמה A עדיפה על רמה B כי היא מבטיחה רמת בטיחות גבוהה יותר לנוסעי הרכב המתנגש בהתקן.

### טבלה ד.2: רמות חומרת התנגשות של התקני-קצה, בתקן האירופי

Impact severity classes	Index values		
	A	ASI ≤ 1,0	THIV < 44 km/h in tests 1 and 2 THIV < 33 km/h in tests 4 and 5
B	ASI ≤ 1,4	THIV < 44 km/h in tests 1 and 2 THIV < 33 km/h in tests 4 and 5	PHD ≤ 20 g

NOTE 1 Impact severity class A affords a greater level of safety for the occupants of an errant vehicle than class B and is preferred when other considerations are the same.

NOTE 2 The limit value for THIV is higher in tests 1 and 2 because experience has shown that higher values can be tolerated by occupants in frontal impacts (also because of better passive safety in this direction). Such a difference in human tolerance between frontal and lateral impacts is already considered in the ASI parameter, which therefore does not need to be changed.

המרחב הנדרש לתפקוד התקן-הקצה מתאפיין באמצעות שני פרמטרים: תזוזה צידית קבועה של ההתקן (permanent lateral displacement zones), ואזור יציאת הרכב בעקבות ההתנגשות (exit box).

הפרמטר הראשון מוגדר כמפורט בטבלה ד.3 ובאיור ד.2. התזוזה הצידית של התקן-הקצה נמדדת בניצב לציר הצבת המעקה הפונה לתנועה (traffic face of barrier באיור ד.2), בעזרת שני ערכים:  $D_a$  ו- $D_b$ , אשר מתארים את עיוות ההתקן בעקבות ההתנגשות, בצד של הגעת הרכב להתקן (הקרוב לתנועה), ובצד של עזיבת הרכב את ההתקן (הצד האחורי), בהתאמה.

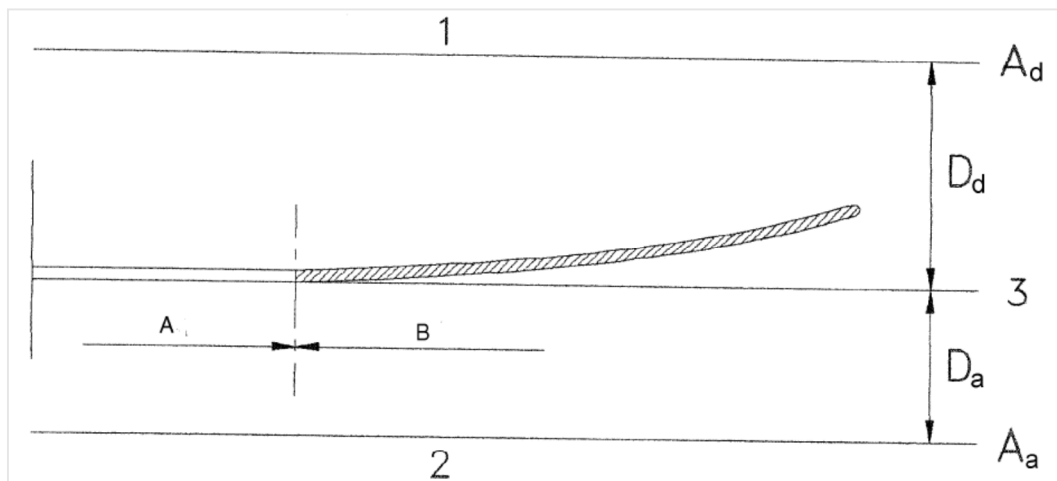
לשתי הדפורמציות יש תחומים מוגדרים כמוצג בטבלה ד.3; בהתאם לתחומי עיוות ההתקן בעקבות ההתנגשות נקבעות קטגוריות סיווג ההתקן לפרמטר "תזוזה צידית קבועה", אשר מוגדרות בפורמט " $D_{x,y}$ " (ראו טבלה ד.3). לדוגמה, להתקן שסווג כ-"D1.1" היו עיוותים כלהלן: עד 0.5 מ' בצד הקרוב לתנועה, עד 1.0 מ' בחלקו האחורי של ההתקן.

הדרישות לאזור יציאת הרכב בעקבות ההתנגשות מוגדרות בטבלה ד.4 ובאיור ד.3. קווים F, R של יציאת הרכב מוגדרים בניצב לכיוון התנועה בדרך; קווי היציאה A, D מוגדרים במקביל לתנועה בדרך. במבחני ההתנגשות עם כיווני גישה 1, 2 (לפי איור ד.1 לעיל, התנגשות חזיתית), יש לבדוק את קווי היציאה A, D, F; במבחני ההתנגשות עם כיווני גישה 4, 5 (לפי איור ד.1, התנגשות בצד ההתקן), יש לבדוק את קווי היציאה A. קו ה-F באיור ד.3 מתאר את אפקט הדיפת הרכב אחורה בעקבות ההתנגשות (rebound), והוא נקבע במרחק 6 מ' לפני ראש ההתקן. הקווים A ו-D נקבעים במקביל לציר התנועה,

במרחקים  $Z_d$  ו- $Z_a$  (איור ד.3), אשר מתארים את הימצאות הרכב בעקבות ההתנגשות, בצד של הגעת הרכב להתקן (הקרוב לתנועה), ובצד של עזיבת הרכב את ההתקן (הצד האחורי), בהתאמה. לשני המרחקים יש תחומים מוגדרים כמוצג בטבלה ד.4; בהתאם לתחומי מיקום הרכב בעקבות ההתנגשות נקבעת קטגורית סיווג ההתקן לפרמטר "אזור יציאת הרכב" אשר מוגדרת בפורמט " $Z_n$ " (ראו טבלה ד.4). לדוגמא, להתקן שסווג כ-" $Z_1$ " מיקום הרכב בעקבות ההתנגשות היה כלהלן: עד 4 מ' בצד הקרוב לתנועה, עד 4 מ' מאחורי ההתקן.

**טבלה ד.3:** קטגוריות של תזוזה צידית קבועה להתקני-קצה במבחנים, בתקן האירופי

Class code		Displacement (m)	
x	1	$D_a$	0,5
	2		1,5
	3		3,0
y	1	$D_d$	1,0
	2		2,0
	3		3,5
	4		>3,5



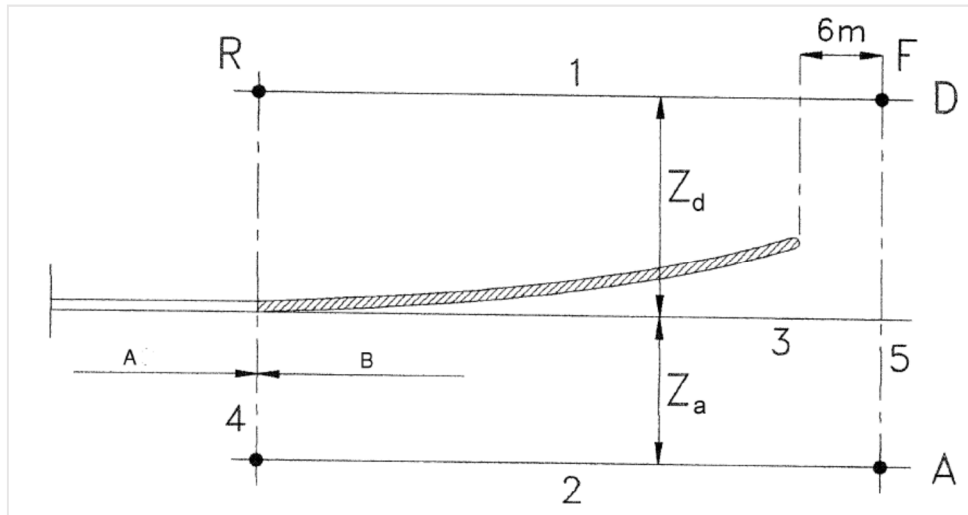
מקרא:

- 1 Departure side
- 2 Approach side
- 3 Traffic face of barrier
- A Barrier
- B Terminal

**איור ד.2:** אזורי תזוזה צידית קבועה של התקני-קצה במבחנים, בתקן האירופי

**טבלה ד.4:** קטגוריות של אזור יציאת רכב במבחנים להתקני-קצה, בתקן האירופי

Classes of Z	Approach Side $Z_a$ (m)	Departure Side $Z_d$ (m)
$Z_1$	4	4
$Z_2$	6	6
$Z_3$	4	no limit
$Z_4$	6	no limit



מקרא:

- 1 Departure side
- 2 Approach side
- 3 Traffic face of barrier
- 4 End of terminal
- 5 Rebound line
- A Barrier
- B Terminal

קווים R, F בניצב לכיוון התנועה; קווים D, A במקביל לתנועה.

**איור ד.3:** הגדרת אזור יציאת רכב במבחנים להתקני-קצה, בתקן האירופי

לגבי התנהגות התקן-הקצה במבחן מוגדרות דרישות כלהלן:

- חלקי ההתקן לא יחדרו לתא הנוסעים של הרכב. אין לאפשר דפורמציה של תא הנוסעים, או חדירה לתא הנוסעים, אשר עשויים לגרום לפגיעות קשות.
- אף חלק משמעותי של ההתקן לא יתנתק במהלך המבחן, ולא יימצא מחוץ לאזורי התזוזה הצידיית הקבועה של התקני-קצה המוגדרים בתקן – ראו טבלה ד.3.

לגבי התנהגות הרכב במבחן מוגדרות דרישות כלהלן:

- הרכב לא יתהפך במהלך ואחרי המבחן.
- גלגלי הרכב לא יחצו את קווי אזור היציאה שמוגדר בתקן – ראו טבלה ד.4 ואיור ד.3.

## **ב. התקן האמריקני**

הדרישות המעודכנות לבחינת רמות תפקוד של התקני-הקצה בארה"ב מפורטות במדריך MASH (2009). עבור התקני-הקצה מוגדרות 3 רמות תפקוד: TL1 – במהירויות התנגשות של 50 קמ"ש; TL2 – במהירויות התנגשות של 70 קמ"ש; TL3 – במהירויות התנגשות של 100 קמ"ש. בכל רמת תפקוד, ההתקן צריך לעמוד בסדרה של מבחני התנגשות: עד 9 מבחנים, בתנאי התנגשות שונים. טבלה ד.5. מציגה פירוט של מבחני ההתנגשות ברמת תפקוד TL3.

כל מבחן מוגדר על-ידי מהירות ההתנגשות, משקל הרכב, וכיוון גישה להתנגשות בהתקן. המבחנים נערכים עם רכב פרטי במשקל 1100 ק"ג, ועם טנדר במשקל 2270 ק"ג; בנוסף, קיים מבחן אופציונלי עם רכב פרטי במשקל 1500 ק"ג.

לפי MASH (2009), קיימים 5 כיווני גישה במבחני ההתנגשות שהם:

- 1 – התנגשות בראש ההתקן, בצירו המרכזי, חזיתית או בזווית;
- 2 – התנגשות חזיתית בראש ההתקן, בהיסט של  $\frac{1}{4}$  רוחב הרכב (לעומת הציר המרכזי של ההתקן);
- 3 – התנגשות בצד ההתקן, בנקודה הקריטית (CIP – critical impact point) בה קיים סיכוי מרבי לכשל המערכת;
- 4 – התנגשות בצד ההתקן, באזור חיבור התקן-הקצה למעקה;
- 5 – התנגשות בצד חיבור התקן-הקצה למעקה, בהגעה מהכיוון הנגדי.

ההתנגשויות נערכות בזוויות שונות, בטווח בין  $0^{\circ}$  עד  $25^{\circ}$ , כמפורט בטבלה ד.5.

הקריטריונים להערכת תוצאות המבחנים מתייחסים לשלוש קבוצות גורמים והם: מידת התאמה מבנית, רמת סיכון לנוסעי הרכב והתנהגות הרכב לאחר ההתנגשות, בדומה לקריטריוני קבלה למבחני התנגשות במעקות המוצגים בטבלה 4.9 בגוף המסמך הנוכחי.

## **ג. הקבלה בין רמות תפקוד של התקני-הקצה בשני התקנים**

טבלה ד.6 מציגה הקבלה בין רמות תפקוד של התקני-הקצה שנבחנו לפי התקינה האמריקנית, לבין רמות תפקוד של התקני-הקצה שנבחנו לפי התקינה האירופית.

כפי שהוצג לעיל, בשני התקנים, תנאי המבחנים לבחינת היכולת התפקודית של התקני-הקצה נקבעו על-פי עקרונות דומים, אך לא זהים. ההקבלה בטבלה ד.6 נסמכת על גובה מהירויות ההתנגשות של כלי הרכב בהתקני-הקצה.

**טבלה ד.5:** מבחני התנגשות להתקני-קצה, לרמת תפקוד TL3, לפי MASH (2009)

Test Level	Feature	Feature Type <sup>a</sup>	Test No.	Vehicle	Impact Speed, <sup>b</sup> mph (km/h)	Impact Angle, <sup>b</sup> θ, deg.	Impact Tolerances		Impact Point	Evaluation Criteria <sup>c</sup>	
							Measure <sup>d</sup>	Acc. Range, kip-ft (kJ)		Gating	Non-Gating
3	Terminals and Redirective Crash Cushions	G/NG	3-30	1100C	62 (100.0)	0	KE	≥288 (390)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
		G/NG	3-31	2270P	62 (100.0)	0	KE	≥594 (806)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
		G/NG	3-32	1100C	62 (100.0)	5/15	KE	≥288 (390)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
		G/NG	3-33	2270P	62 (100.0)	5/15	KE	≥594 (806)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
		G/NG	3-34	1100C	62 (100.0)	15	IS	≥19 (26)	(e,g)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
		G/NG	3-35	2270P	62 (100.0)	25	IS	≥106 (144)	(e)	A,D,F,H,I	A,D,F,H,I
		G/NG	3-36	2270P	62 (100.0)	25	IS	≥106 (144)	(e,g)	A,D,F,H,I	A,D,F,H,I
		G/NG	3-37	2270P	62 (100.0)	25	IS	≥106 (144)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
		G/NG	3-38	1500A	62 (100.0)	0	KE	≥392 (532)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I

כיווני גישת רכב במבחנים (ראו הסבר בטקסט לעיל): "1" במבחנים 3-31, 3-32, 3-33, 3-38; "2" במבחן 3-30; "3" במבחנים 3-34, 3-35; "4" במבחן 3-36; "5" במבחן 3-37.

**טבלה ד.6:** הקבלה בין רמות תפקוד של התקני-קצה, בתקינה האמריקנית לעומת התקינה האירופית

רמת תפקוד לפי תקינה אמריקנית	רמות מהירות לפי תקינה אירופית, קמ"ש	רמת תפקוד לפי תקינה אירופית
TL3	100-110	P4
TL3	100	P3
TL2	80	P2, P1

## מקורות ספרות

### מסמכים מנחים בעברית

1. נת"י (2009). הנחיות ליישום מעקות בטיחות נופיים בישראל. הוכן ע"י גיטלמן ו., כהן א., עמיר ר. החברה הלאומית לדרכים בישראל.
2. נת"י (2018). הנחיות לתכן גאומטרי של דרכים בין-עירוניות, כרך 1. משרד התחבורה ונתיבי ישראל.
3. הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות (2005). מהדורה שניה, מנהל יבשה/אגף תכנון תחבורתי, משרד התחבורה ונתיבי איילון.
4. הנחיות לבחירה ולהצבה של התקני בטיחות בדרכים עירוניות (2005). מנהל יבשה/אגף תכנון תחבורתי, משרד התחבורה ונתיבי איילון.
5. הנחיות לבחירה ולהצבה של עמודים סלחניים (2008). מנהל יבשה/אגף תכנון תחבורתי, משרד התחבורה ונתיבי איילון.
6. הנחיות לבחירה ולהצבה של סופגי אנרגיה (2016). מהדורה שניה, אגף בכיר תכנון תחבורתי, משרד התחבורה והבטיחות בדרכים.
7. מפרט לבחינה והנחיות לשימוש במערכות מיגון לאופנועים (2016). אגף בכיר תכנון תחבורתי, משרד התחבורה והבטיחות בדרכים.

### מחקרים בעברית

8. הקרט, ש., גוטמן, ל., ליבנה, מ. (1992). הצעה להנחיות מעודכנות לשימוש במעקות בטיחות בישראל: מצע לדין. דו"ח מחקר 92-184, המכון לחקר התחבורה, הטכניון.
9. גיטלמן ו., גור י., בונג'ק ח., הקרט ש. (2007). בדיקת כדאיות כלכלית למשק של החלפת מעקות בטיחות ישנים במעקות החדשים (התקניים). הוגש למנהל יבשה, משרד התחבורה.
10. גיטלמן ו., כרמל ר., פיסחוב פ., דובא א., הקרט ש. (2012). בדיקת יעילותם של מעקות בטיחות מהדור החדש בדרכים הבינעירוניות. דו"ח מחקר S/29/2012, מרכז רן נאור לחקר הבטיחות בדרכים, הטכניון. הוגש לחברה הלאומית לדרכים בישראל.
11. גיטלמן ו., דובא א., כרמל ר., פיסחוב פ., הקרט ש. (2015). בחינת תפקודו של מעקה סטפ יצוק בתנאי הארץ. דו"ח מחקר S/61/2015, מרכז רן נאור לחקר הבטיחות בדרכים, הטכניון. הוגש לנתיבי ישראל – החברה הלאומית לתשתיות תחבורה.

### תקנים ומסמכים מנחים זרים

12. AASHTO (2002). Roadside Design Guide, The American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
13. AASHTO (2011). Roadside Design Guide, 4th Edition, The American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.

14. Austroads (2010). Improving Roadside Safety. Austroads technical report AP-T142/10, Sydney, Australia.
15. BASt (2014). Einsatzempfehlungen für Fahrzeug-Rückhaltesysteme. Stand 04/2014. Federal Highway Research Institute – BASt (in German). [RPS 2009 להבהרות למסמך]
16. CEDR (2012). Forgiving roadsides design guide. Conference of European Directors of Roads.
17. CFL (2005). Barrier guide for low volume and low speed roads. Publication No. FHWA-CFL/TD-05-009, Central Federal Lands Highway Division, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
18. Decrets (2014). [Connections between safety barriers]. Technical Annex No. 8 to the Certification Guide. Journal Officiel De La Republique Francaise, 6 septembre 2014.
19. EN 1317-1:2010. Road restraint systems – Part 1: Terminology and general criteria for test methods. European Committee for Standardization, Brussels, 2010.
20. EN 1317-2:2010. Road restraint systems – Part 2: Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods for safety barriers including vehicle parapets. European Committee for Standardization, Brussels, 2010.
21. EN 1317-5:2007+A2:2012. Road restraint systems – Part 5: Product requirements and evaluation of conformity for vehicle restraint systems. European Committee for Standardization, Brussels, 2012.
22. ENV 1317-4:2001. Road restraint systems – Part 4: Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods for terminals and transitions of safety barriers. European Committee for Standardization, Brussels, 2001.
23. Guide (2010). Quality Requirements for Road Barrier Rails, and Selection of Barrier Rail Types. Finnish Transport Agency.
24. IAN 60/05 (2005). Interim Advice Note 60/05. The introduction of a new Highways Agency policy for the performance requirements for central reserve safety barriers on motorways, 12th Jan 2005.
25. MASH (2009). Manual for assessing safety hardware. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
26. NCHRP 350 (1993). Ross, H.E., Sicking, R.A., Zimmer, R.A. and Michie, J.D. Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Feature. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 350, Transportation Research Board, Washington, DC.
27. NCHRP 537 (2005). Recommended Guidelines for Curb and Curb–Barrier Installations. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 537, Transportation Research Board, Washington, DC.
28. NRA (2014). Safety barriers. National Roads Authority (NRA) Design manual for roads and bridges, Volume 2, Section 2, Part 8A, NRA TD 19/14. Dublin, Ireland.

29. N101E (2014). Vehicle Restraint Systems and Roadside Areas. Manual N101E. Norwegian Public Roads Administration.
30. RPS (2009). Richtlinien für passiven Schutz an Strassen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme. FGSV, Köln, Germany (in German). [Guidelines for Passive Protection on Roads using Vehicle Restraint Systems, English version 2007].
31. Sicking D.L., Lechtenberg K.A., Peterson S. (2009). Guidelines for guardrail implementation. NCHRP Report 638. Transportation Research Board, Washington, DC.
32. SRA (2004). Highway and street design – Highway and street equipment. Publication 2004:80, Swedish Road Administration, Vägverket, Borlänge.
33. TD 19/06 (2006). Requirement for road restraint systems. Design manual for road and bridges. Volume 2, Section 2, Part 8, UK.

#### **מחקרים ומסמכים מנחים אחרים**

34. Cooper P. (1980). Analysis of roadside encroachments: single vehicle run-off-road accident data analysis for five provinces. B.C. Research, Vancouver, British Columbia, Canada.
35. Donnell E.T., Harwood D.W., Bauer K.M. et al (2002) Cross-median collisions on Pennsylvania interstates and expressways. Transportation Research Record 1784, Paper 02-2806, pp 91-99.
36. Ehlers, U. (2010). Assessing the need and Cost-Effectiveness of High-Containment Level Safety Barriers in Finland. Master of Science in Engineering. Department of Civil and Environmental Engineering, Aalto University, Espoo, Finland.
37. Elvik R. (1995) The safety value of guardrails and crash cushions: a meta-analysis of evidence from evaluation studies. Accident Analysis and Prevention, 27(4), pp. 523-549.
38. Elvik R., Høy A., Vaa T. & Sørensen M. (2009). The Handbook of Road Safety Measures. N2d edition, Emerald Group Publishing Ltd.
39. ETSC (1998). Forging Roadside. European Transport Safety Council.
40. Gabler H.C., Gabauer D.J., Bowen D. (2005). Evaluation of cross-median crashes. Rowan University, Department of Mechanical Engineering, Glassboro, New Jersey.
41. Mak, K.K., Sicking, D.L. and Zimmerman, K. (1998). Roadside Safety Analysis program. A cost-effectiveness analysis procedure. Transportation Research Record 1647, pp. 67-74.
42. Montella, A. (2001). Selection of Roadside Safety Barrier Containment Level According to European Union Standards. Transportation Research Record 1743, pp. 104-110.
43. NCHRP 617 (2008). Accident modification factors for traffic engineering and ITS improvements. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 617, Transportation Research Board, Washington, DC.
44. PIARC (2003). Road Safety Manual. World Roads Association.

45. Ray, M.H. and McGinnis, R. G. (1997). Synthesis of Highway Practice 244: Guardrail and Median Barrier Crashworthiness, Transportation Research Board, Washington, DC.
46. RISER (2006). Roadside infrastructure for safer European roads. Final report. Chalmers University of Technology, Sweden.
47. SAFESTAR (1998). Criteria for safe roadsides in relation with the installation of safety barriers (steel and concrete). Deliverable D1.2, SWOV, The Netherlands.
48. Schoon C. (1997). Roadside design for enhancing safety. Proceedings of the Conference Traffic Safety on two continents; VTI konferens 9A part 2, pp 35-43.
49. Steinauer B., Kathmann T., Mayer G., Becher T. (2004). Criteria for using concrete safety barriers. Federal Highway Research Institute – BAST V112 (in German).