



מרכז רן נאור לחקר הבטיחות בדרכים
The Ran Naor Road Safety Research center



המכון לחקר התחבורה
הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל
Technion - Israel Institute of Technology
Transportation Research Institute

בדיקת יעילותם של מעקות בטיחות מהדור החדש בדרכים הבינעירוניות

הוכן ע"י:

ד"ר ויקטוריה גיטלמן

אינג' רובי כרמל

גב' פאני פיסחוב

ד"ר אטי דובא

פרופ' שלום הקרט

דו"ח מחקר מס' S/29/2012

עבור: מעצ - החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ



ינואר 2012

תיעוד / תעודת זהות של הפרויקט

מס' הדו"ח :	
תאריך הגשת הדו"ח : ינואר 2012	שם הדו"ח : בדיקת יעילותם של מעקות בטיחות מהדור החדש בדרכים הבינעירוניות
מספור הדו"ח של גוף מבצע העבודה: S/29/2012	שם המחברים : גיטלמן ו., כרמל ר., פיסחוב פ., דובא א., הקרט ש.
מספר החוזה : 4500033004	שם הגוף המבצע וכתובתו : מרכז רן נאור לחקר הבטיחות בדרכים
סוג הדו"ח והתקופה אליה הוא מתייחס : דו"ח מדעי, 2011-2012	
הערות נוספות:	
תקציר :	
1. מטרת :	
<p>בעשור האחרון, המדיניות של משרד התחבורה הייתה בקידום שימוש בדור החדש של מעקות הבטיחות - כאלה שעמדו בדרישות התקנים החדשים באירופה או בארה"ב, בכל הדרכים בישראל, בפרויקטי סלילה חדשים. גם בפרויקטי שדרוג ואחזקה המובלים ע"י החברה הלאומית לדרכים, המעקות החדשים מחליפים בהדרגה את המעקות הישנים. למדיניות המעבר למעקות החדשים קיימות משמעויות כספיות ניכרות אך היא נבחרה ליישום מתוך צפייה שתתרום להעלאת רמת הבטיחות בדרכים בישראל.</p> <p>מטרת מחקר זה הייתה לאסוף מידע מפורט על התקנות המעקות החדשים ולבחון את התועלות הבטיחותיות והכלכליות הנובעות מהכנסתם לשימוש, בדרכים הלא עירוניות בישראל.</p>	
2. ממצאים :	
<p>בניתוח ממצאי הספרות נמצא כי בעולם טרם פורסמו מחקרים שהיו מספקים הוכחה כמותית לכדאיות כלכלית ברורה של המעבר למעקות החדשים. לרוב, המדינות העלו את הדרישות למעקות הבטיחות המותקנים בשטח ולמרחק הפנוי בצד הדרך לאבטחת הרוחב הפעיל, ללא דיון מקדים לגבי הצדק לעלויות הגבוהות יותר של הסדרים אלה לעומת המצב הישן.</p> <p>שאלת ההצדק הכלכלי של שימוש במעקות הבטיחות ברמות תפקוד גבוהות יותר (H1 או יותר) נבדקה במספר מחקרים. תוצאות מחקרים אלה, לרוב, תמכו בשימוש במעקות ברמות תפקוד גבוהות יותר בסוגי דרכים מההיררכיה הגבוהה ביותר, בתנאי נפח תנועה גבוה ולעתים, בנוכחות תנאים מחמירים כגון: מזרון תלול; אחוז ניכר של משאיות.</p> <p>בעקבות מיפוי וניתוח נתונים מסקר דרכים 2010 של מערכת המני"ב, ברשת הדרכים הלא עירוניות בישראל זוהו שלוש קבוצות של קטעי דרכים, עם נוכחות גבוהה יותר של המעקות החדשים (מעקות EURO). קטעי דרכים אלה הוגדרו כ-"קטעי טיפול", כאשר יתר קטעי הדרכים ברשת (עם סוגי מעקות אחרים או ללא מעקות) הוגדרו כ-"קטעי ביקורת". לכל הקטעים הושלם מידע על המאפיינים הגיאומטריים, נפחי תנועה, אורך קטע, סוג דרך. סה"כ, לניתוח הרב-משתני הוכן בסיס נתונים על 497 קטעי כביש, לרבות 148 קטעי טיפול ו-349 קטעי ביקורת.</p> <p>מודלים מסבירים הותאמו במחקר ל-14 סוגי תאונות דרכים, עבור שני סוגי דרך: חד-מסלולית ו-דו-מסלולית. על סמך המודלים המסבירים נמצא כי בדרכים החד-מסלוליות, החיסכון בתאונות בעקבות התקנת המעקות החדשים נמצא בעיקר בקרב תאונות רכב יחיד עם מעורבות כלי רכב כבדים (משא מעל 4 טון, אוטובוס, אוטובוס זעיר, רכב עבודה, או טרקטור), בעוד שבדרכים הדו-מסלוליות, התקנת המעקות החדשים התקשרה עם ירידה בתאונות חמורות עם רכב יחיד ועם ירידה בכלל התאונות עם נפגעים.</p> <p>הערכה כלכלית בוצעה על סמך שלושה מודלים מסבירים שהראו קשר שלילי מובהק בין אורך המעקות החדשים או נוכחותם לבין התרחשות התאונות. בהערכה הכלכלית, הערך הנוכחי של החיסכון בתאונות עקב שימוש במעקות החדשים לעומת הישנים, השווה עם תוספת עלויות התקנה והחזקה של המעקות</p>	

החדשים לעומת הישנים, לאורך חיי המעקה.

בהערכה הכלכלית נמצא כי: (א) בדרכים הדו-מסלוליות, החיסכון בתאונות החמורות עם רכב יחיד בעקבות התקנת המעקות החדשים לא היה גבוה; לכן, התועלת הכלכלית של חסכון זה אינה מספיקה לקבלת כדאיות כלכלית של המעקות החדשים; (ב) בדרכים הדו-מסלוליות, החיסכון בכלל התאונות עם נפגעים בעקבות התקנת המעקות החדשים נמצא גבוה, כאשר התועלת הכלכלית של חסכון זה הצביעה על כדאיות כלכלית של התקנת המעקות החדשים בדרכים הדו-מסלוליות; (ג) בדרכים החד-מסלוליות, בחלק ניכר מהקטעים, מספר התאונות הצפוי (מסוג תאונות רכב יחיד עם מעורבות רכב כבד) בנוכחות המעקות החדשים היה גבוה יותר מאשר במצב ללא המעקות. מכאן, לא היה ניתן להדגים תועלת בטיחותית מהתקנת המעקות החדשים בדרכים החד-מסלוליות.

3. מסקנות:

הגישה שננקטה עד כה בהנחיות הישראליות לקביעת רמות תפקוד של מעקות הבטיחות בדרכים הלא עירוניות תואמת את הניסיון הבינלאומי.

התועלות הבטיחותיות והכלכליות שנמצאו במחקר תומכות במעבר לדור החדש של מעקות הבטיחות בדרכים הדו-מסלוליות בישראל. לעומת זאת, עבור הדרכים החד-מסלוליות, במחקר הנוכחי לא נמצאו הוכחות לכדאיות בטיחותית וכלכלית של התקנת המעקות החדשים. זאת, בדומה לממצאי המחקר הקודם שנערך בארץ והממצאים מחו"ל. עבור הדרכים החד-מסלוליות, יש מקום להמשיך ולבדוק נושא זה.

מילות מפתח: מעקה בטיחות, תקן EN 1317, תאונות דרכים, מודל מסביר, כדאיות כלכלית

סווג תפוצה (של הדו"ח):	סווג תפוצה (של עמוד זה):	מס' עמודים : 166
-------------------------	----------------------------	------------------

זכויות יוצרים והסרת אחריות

א. כללי

האמור בסעיפים ב' ו'ג' שלהלן מתייחס אך ורק לכל משתמש ו/או צד ג' – למעט צוות המחקר ו/או מוסד הטכניון למחקר ופיתוח, אשר ביחס אליהם יחול האמור בהסכם שבינם ובין מעצ החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ.

ב. זכויות יוצרים

1. זכויות היוצרים בדו"ח זה שייכות באופן בלעדי לחברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ (להלן: "החברה"). למען הסר כל ספק, זכויות יוצרים אלו חולשות, בין השאר, על ניסוח, עימוד, עריכה, תמליל, תמונות, איורים, שרטוטים, מפות, גרפיקה וכל מידע אחר הכלול בדו"ח זה.
2. אין לבצע שום שינוי או עיבוד בדו"ח זה, אין לשעתק את כולו או חלקו ואין לשלבו בשום מאגר מידע אחר לרבות שילובו מכל סיבה שהיא באתרי אינטרנט, בחומר מודפס, מאמרים, הוראות שימוש ומפרטים שאינם של החברה ושאינם מיועדים לשימוש עבור מיזמים של החברה. כמו כן, אין להעתיק, להפיץ, לשדר או לפרסם את הדו"ח, כולו או חלקו, להשכירו או לסחור בו בכל דרך. כל זאת כאמור למעט, אם ניתן לכך אישור, מראש ובכתב, מאת החברה.

ג. הגבלת אחריות

בשום מקרה לא תחול על החברה אחריות בגין כל נזק ישיר או עקיף העלול להיגרם למשתמש ו/או לצד ג' כלשהו עקב השימוש בדו"ח זה וכולל, בין היתר אך מבלי לגרוע מן האמור, נזק מקרי, מיוחד או תוצאתי, או כל נזק אחר מכל סוג ומין; לרבות אך ללא הגבלה, כל נזק כספי או נזיקי לגופו או לרכושו של המשתמש ו/או של צד ג', הנובעים או קשורים בכל דרך שהיא לשימוש בדו"ח זה.

ד. שונות

תוכנו של דו"ח זה משקף את דעות מחבריו בלבד בדבר העובדות הנתונים הממצאים המסקנות והלקחים המובאים בו.

תוכן הדו"ח איננו משקף בהכרח את ההשקפות או המדיניות הרשמית של החברה. אין לראות בדו"ח זה כשלעצמו תקן, מפרט או הנחייה מחייבת.

הדו"ח אינו מיועד לצרכי מכרז ואין לראות בו אישור למוצר או טכנולוגיה מכל סוג שהוא. אין לראות בדו"ח זה עידוד או פרסומת לרכישת מוצר או טכנולוגיה מכל סוג שהוא. אזכורם של שמות יצרנים/ספקים/קבלנים בדו"ח זה נעשה ממניע חיוניות לתוכן הדו"ח בלבד.

תוכן עניינים

9	.....	תקציר
15	.....	1. מבוא
15	.....	1.1. רקע למחקר
16	.....	1.2. אפיון מעקה בטיחות
17	.....	1.3. תוכן הדו"ח
19	.....	2. סקר ספרות
19	.....	2.1. הצורך בגישה אחידה לקביעת מאפייני המעקות
20	.....	2.2. הערכות יעילות של מעקות הבטיחות ובחינת גבולות תפקודם
21	.....	2.2.1. הערכות מסכמות להשפעת מעקות הבטיחות על שכיחות וחומרת התאונות
23	.....	2.2.2. יעילותם של סוגי מעקות שונים
24	.....	2.2.3. הערכה השוואתית של יעילות מעקות בטיחות ישנים מבטון ופלדה, בתנאי הארץ
25	.....	2.2.4. בחינה ראשונה של כדאיות מעקות הבטיחות החדשים, בתנאי הארץ
27	.....	2.2.5. בחינת הקשר בין ערכי הסף של תקן EN 1317 וחומרת הפגיעה בתאונות התנגשות במעקה
28	.....	2.2.6. מבחני התנגשות של רכב קל בזווית פגיעה גדולה
29	.....	2.3. הערכות כמותיות לביסוס הצדקים לשימוש במעקות הבטיחות
31	.....	2.4. בחינת הכדאיות הכלכלית של מעקות הבטיחות
31	.....	2.4.1. מודלים להערכת הכדאיות הכלכלית של הצבת מעקה באתר מסוים - ארה"ב
35	.....	2.4.2. מודל להערכת הכדאיות הכלכלית של הצבת מעקות - אנגליה
35	.....	2.4.3. הצדק כלכלי להתקנת מעקה בטיחות בנורבגיה
36	.....	2.4.4. מודל לתכנון השקעה במעקות בטיחות
37	.....	2.4.5. בחינת עלויות התאונות בהן נפרצו מעקות בטיחות מפלדה, באנגליה
39	.....	2.4.6. הערכה כלכלית של תפקוד מעקה בטון נמשך
40	.....	2.5. בחירת המאפיינים הנדרשים של מעקות הבטיחות
40	.....	2.5.1. מודל לבחירת רמת תפקוד המעקה בתלות במאפייני הדרך והתנועה
41	.....	2.5.2. פיתוח הנחיות לבחירת רמת תפקוד המעקה בתלות במאפייני הדרך, בארה"ב
43	.....	2.5.3. הערכת כדאיות השימוש במעקות ברמות תפקוד H ₂ /H ₁ , בפינלנד
47	.....	2.5.4. דרישות לרמות תפקוד של מעקות הבטיחות בהנחיות הקיימות בחו"ל
49	.....	2.6. סיכום לממצאי הספרות
52	.....	3. איסוף מידע מפורט והכנת בסיס הנתונים לניתוח
52	.....	3.1. מקורות מידע על מעקות
54	.....	3.2. הכנת בסיס הנתונים - מצאי המעקות בשנת 2010
55	.....	3.3. זיהוי קבוצות קטעי דרכים ברשת, לפי נוכחות המעקות החדשים
63	.....	3.4. בדיקת מידע מקבצי אחזקה של מעצ - איתור מידע על זמני התקנת המעקות
64	.....	3.5. השלמת בסיס הנתונים לניתוח הרוחבי
65	.....	3.5.1. הגדרות סוגי התאונות ומאפייני הקטעים
68	.....	3.5.2. בדיקות הנתונים הגיאומטריים שנאספו לקטעי המחקר

72	3.5.3. סיכום נתוני התאונות בקטעי המחקר
75	4. פיתוח מודלים מסבירים
75	4.1. שיטות הניתוח
80	4.2. ממצאים מפיתוח מודלים מסבירים
84	4.3. בחינה חד-פרמטרית של השפעת המעקות החדשים על תאונות
86	5. הערכה כלכלית
86	5.1. שיטת הערכה כלכלית
88	5.2. ממצאי הערכה כלכלית
89	5.2.1. מקרה 1: החיסכון בתאונות החמורות עם רכב יחיד, בדרכים הדו-מסלוליות
93	5.2.2. מקרה 2: החיסכון בכלל התאונות עם נפגעים, בדרכים הדו-מסלוליות
97	5.2.3. מקרה 3: בחינת החיסכון בתאונות רכב יחיד עם מעורבות רכב כבד, בדרכים החד-מסלוליות
100	5.3. סיכום
101	6. סיכום ומסקנות המחקר
101	6.1. כללי
101	6.2. שיטת המחקר
102	6.3. ממצאי המחקר
107	6.4. מסקנות המחקר
110	מראי מקום
114	נספח א': מודלים מסבירים שהותאמו לתאונות בדרכים החד-מסלוליות
128	נספח ב': מודלים מסבירים שהותאמו לתאונות בדרכים הדו-מסלוליות
143	נספח ג': ממצאים מהערכת החיסכון בתאונות בקטעי הדרכים במחקר
149	נספח ד': ממצאים מבחינת רגישות החיסכון בתאונות למאפייני הקטע

רשימת טבלאות וציורים

- טבלה 2.1. אחוז התאונות עם נפגעים והנפגעים בתאונות עם מעורבות מעקות הבטיחות, מתוך כלל התאונות והנפגעים בדרכים מהירות, במדינות נבחרות. מקור: Schoon (1997).
- טבלה 2.2. אפקטים בטיחותיים מסכמים של התקני ריסון: מעקות בטיחות וסופגי אנרגיה. מקור: Elvik (1995)
- טבלה 2.3. יעילות בטיחותית של מעקות הבטיחות בצד הדרך - הערכה מסכמת. מקור: Elvik & Vaa (2004).
- טבלה 2.4. יעילות בטיחותית של מעקות הבטיחות במפרדה - הערכה מסכמת. מקור: Elvik & Vaa (2004).
- טבלה 2.5. דרישות לרוחב אזור המפלט, במדינות השונות. מקור: SAFESTAR (1998).
- טבלה 2.6. אומדני עלות המעקות: נתונים נורבגיים (מובא ב- Elvik & Vaa, 2004)
- טבלה 2.7. סקאלה לאפיון רמות חומרת הסכנות באתרים הנבחים. לפי: Lambert et al (2003)
- טבלה 2.8. דוגמא לאפיון אתרים באמצעות הקריטריונים המוצעים. לפי: Lambert et al (2003).
- טבלה 2.9. תאונות מייצגות עם פריצת מעקה הבטיחות שנבחרו לבדיקת המפורטת במחקר
- טבלה 2.10. עלויות מפורטות של ארבע התאונות שבהן נפרץ המעקה
- טבלה 2.11. עלויות התקנת המעקות. לפי: Montella (2001)
- טבלה 2.12. המלצות לבחירת רמת תפקוד המעקה, בתנאי דרך מסוימים, כאשר $B/C=2$. מקור: Sicking et al (2009)
- טבלה 2.13. דוגמאות לסף מספר התאונות המינימאלי אשר נדרש כדי להצדיק מעבר ממעקות N2 למעקות H1 או H2, במחקר Ehlers (2010)
- טבלה 2.14. דרישות לרמות תפקוד של מעקות הבטיחות בהנחיות/תקנים של מדינות אחרות
- טבלה 3.1. מאפייני מעקות הבטיחות בסקר דרכים של מערכת המני"ב 2010
- טבלה 3.2. דוגמא למידע מרוכז מהקובץ הסופי - אורך כולל (ק"מ) של מעקות הבטיחות בקטעי כבישים 1 ו-2, בצדי הדרך
- טבלה 3.3. דוגמא למידע מרוכז מהקובץ הסופי - אורך כולל (ק"מ) של מעקות הבטיחות בקטעי כבישים 1 ו-2, במפרדה
- טבלה 3.4. אורך כולל של מעקות הבטיחות בצדי הדרכים ברשת - לפי סקר דרכים 2010
- טבלה 3.5. אורך כולל של מעקות הבטיחות במפרדה ברשת - לפי סקר דרכים 2010
- טבלה 3.6. דוגמא לקידוד מצב מעקות הבטיחות בצדי הדרכים עבור קטעי כבישים 1 ו-2
- טבלה 3.7. דוגמא לקידוד מצב מעקות הבטיחות במפרדה עבור קטעי כבישים 1 ו-2
- טבלה 3.8. סיכום לקבוצות קטעי הדרכים, מבחינת נוכחות המעקות החדשים, שנבנו במחקר
- טבלה 3.9. סיכום למספרי התאונות בשנת 2010, לפי 10 סוגי התאונות שנבחרו למחקר, בקבוצות קטעי המחקר (3-1 קטעי טיפול, 4 - קטעי ביקורת)
- טבלה 3.10. פירוט למספרי התאונות בשנת 2010, לפי 10 סוגי התאונות שנבחרו למחקר, בתת-קבוצות קטעי הביקורת שנקבעו לפי מצב המעקות
- טבלה 4.1. מבנה הנתונים - רשימת השדות שנכנסו לניתוח
- טבלה 4.2. משתנים המועמדים למסבירים במודלים עבור הדרכים החד-מסלוליות
- טבלה 4.3. משתנים המועמדים למסבירים במודלים עבור הדרכים הדו-מסלוליות
- טבלה 4.4. סיכום המודלים המסבירים שהותאמו למשתני התוצאה בדרכים החד-מסלוליות
- טבלה 4.5. סיכום המודלים המסבירים שהותאמו למשתני התוצאה בדרכים הדו-מסלוליות

- טבלה 4.6. סיכום תוצאות מהתאמת מודלי רגרסיה לבחינת קשר חד-פרמטרי בין משתני המעקות החדשים לבין משתני התוצאה, בדרכים חד- ודו-מסלוליות
- טבלה 5.1. מודל מסביר להערכת מספר צפוי של תאונות חמורות מסוג רכב יחיד בקטע דרך דו-מסלולית, בתלות באורך המעקות החדשים בצדי הדרך
- טבלה 5.2. ממצאים מהערכת יחס תועלת-עלות בגין החיסכון בתאונות החמורות עם רכב יחיד בעקבות התקנת המעקות החדשים, בצדי קטע דרך דו-מסלולית (חישובים עבור תנאים טיפוסיים)
- טבלה 5.3. מודל מסביר להערכת מספר צפוי של כלל התאונות עם נפגעים* בקטע דרך דו-מסלולית, בתלות באורך המעקות החדשים בצדי הדרך
- טבלה 5.4. ממצאים מהערכת יחס תועלת-עלות בגין החיסכון בכלל התאונות עם נפגעים בעקבות התקנת המעקות החדשים, בצדי קטע דרך דו-מסלולית
- טבלה 5.5. מודל מסביר להערכת מספר צפוי של תאונות רכב יחיד עם רכב כבד בקטע דרך חד-מסלולית, בתלות בנוכחות המעקות החדשים בצדי הדרך

ציור 1.1. מיקום מעקה בטיחות בצד הדרך: מאפיינים עיקריים בהתקנת מעקה

ציור 2.1. בחינת מדדי חומרת הפגיעה לעומת ערכי ה-ASI.

ציור 2.2. הסתברות לעזיבת הדרך ע"י כלי רכב עד למרחק מסוים (lateral offset) בתלות במהירות התכן של הדרך.

ציור 2.3. עדכון המודל לחיזוי תאונות עזיבת הדרך: א - קשר סטטיסטי בין נפח התנועה ושכיחות אירועי עזיבת הדרך; ב - אחוז כלי הרכב שיעברו מרחק מסוים בצד הדרך, בעקבות עזיבת הדרך

ציור 2.4. דירוג מסכם של האתרים הנבחנו ע"פ כל הקריטריונים ביחד. לפי: Lambert et al (2003)

ציור 2.5. רמות תפקוד נדרשות של מעקות הבטיחות בתנאי תנועה שונים. ההערכות עבור תנאי סוללה בגובה 2, 4, 6 מ', עם שיפוע 1:2. מקור: Montella (2001)

ציור 2.6. מצבי E-A של מיקום המעקות בצד הדרך להגדרת תרחישי התאונות, במחקר Ehlers (2010)

ציור 2.7. דוגמא לפירוט מלא של השיקולים לבחירת רמת תפקוד של מעקה בטיחות, לפי תנאי הדרך והתנועה, בגרמניה, לפי RPS (2009)

ציור 5.1. דרך דו-מסלולית: חסכון בתאונות החמורות עם רכב יחיד, בשנה, בעקבות התקנת המעקות החדשים בצדי הדרך, בתלות בנפח התנועה ובאורך המעקות החדשים (דוגמא עבור קטע באורך 10 ק"מ)

ציור 5.2. דרך דו-מסלולית: יחס תועלת-עלות בגין החיסכון בתאונות החמורות עם רכב יחיד, בעקבות התקנת המעקות החדשים בצדי הדרך, בתלות בנפח התנועה ובאורך המעקות החדשים (דוגמא עבור קטע באורך 10 ק"מ, חישוב ל-20 שנה)

ציור 5.3. דרך דו-מסלולית: חסכון בכלל התאונות עם נפגעים (ללא פגיעה בהולך רגל), בשנה, בעקבות התקנת המעקות החדשים בצדי הדרך, בתלות בנפח התנועה ובאורך המעקות החדשים (דוגמא עבור קטע באורך 10 ק"מ)

ציור 5.4. דרך דו-מסלולית: יחס תועלת-עלות בגין החיסכון בכלל התאונות עם נפגעים (ללא פגיעה בהולך רגל), בעקבות התקנת המעקות החדשים בצדי הדרך, בתלות בנפח התנועה ובאורך המעקות החדשים (דוגמא עבור קטע באורך 10 ק"מ, חישוב ל-20 שנה)

ציור 5.5. דרך דו-מסלולית: יחס תועלת-עלות בגין החיסכון בכלל התאונות עם נפגעים (ללא פגיעה בהולך רגל), בעקבות התקנת המעקות החדשים בצדי הדרך, בתלות בנפח התנועה ובאורך המעקות החדשים (דוגמא עבור קטע באורך 20 ק"מ, חישוב ל-20 שנה)

תקציר

1. כללי

בעשור האחרון, המדיניות של משרד התחבורה הייתה בקידום שימוש במעקות החדשים/ התקניים בכל הדרכים בישראל, בפרויקטי סלילה חדשים. גם בפרויקטי שדרוג ואחזקה של הדרכים הלא עירוניות המובלים ע"י החברה הלאומית לדרכים, המעקות החדשים מחליפים בהדרגה את המעקות הישנים. למדיניות המעבר למעקות החדשים קיימות משמעויות כספיות ניכרות אך היא נבחרה ליישום מתוך צפייה שתתרום להעלאת רמת הבטיחות בדרכים בישראל.

מטרת מחקר זה הייתה לאסוף מידע מפורט על התקנות המעקות החדשים ולבחון את התועלות הבטיחותיות והכלכליות הנובעות מהכנסתם לשימוש, בדרכים הלא עירוניות בישראל.

ביצוע המחקר כלל מספר מרכיבים שהם:

(א) סקר ספרות אשר התמקד במחקרי הערכה של מעקות הבטיחות ובמסמכים מנחים בנושאי שימוש במעקות הבטיחות שהתפרסמו, בשנים האחרונות, במדינות המתקדמות;

(ב) הכנת בסיס הנתונים למחקר אשר כללה איסוף והסדרת מידע על מצאי מעקות הבטיחות החדשים ברשת הדרכים הלא עירוניות בישראל ובהמשך, השלמת מידע על המאפיינים הגיאומטריים של קטעי המחקר, בתוספת נפחי תנועה, אורך קטע, סוג דרך;

(ג) ניתוח רב-משתני של נתוני המחקר בו הותאמו מודלים מסבירים לסוגי תאונות שונים. כל הניתוחים נועדו לבחון שאלה: האם קיים הבדל במספרי התאונות בקטעים בהם מותקנים מעקות הבטיחות החדשים לעומת אותם סוגי התאונות בקטעים אחרים. בפיתוח המודלים, בחינת השפעה של משתני המעקות החדשים על רמת בטיחות הקטעים נערכה לאחר נטרול השפעות של נפח התנועה ואורך הקטע, ותוך כדי התחשבות בהשפעה אפשרית של המאפיינים הגיאומטריים של הקטעים.

(ד) הערכה כלכלית בה נבחנה התועלת הבטיחותית משימוש במעקות החדשים לעומת הישנים, כאשר היא מושווית עם תוספת עלויות התקנה והחזקה של מעקה חדש לעומת ישן, לאורך חיי המעקה. להערכה הכלכלית שימשו שלושה מבין המודלים המסבירים שפותחו במחקר, אשר הראו קשר שלילי בין נוכחות המעקות החדשים והתרחשות התאונות.

2. ממצאים עיקריים של המחקר

א. ממצאי הספרות המקצועית

- בניתוח ממצאי הספרות נמצא כי בעולם טרם פורסמו מחקרים שהיו מספקים הוכחה כמותית לכדאיות כלכלית ברורה של המעבר למעקות החדשים. יתרה מזו, באיחוד האירופי שאלה כזו מסתמנת כלא רלוונטית כי רוב המדינות ערכו עדכון של תקנים והנחיות לשימוש במעקות הבטיחות, במטרה להתאים מסמכים מנחים אלה לדרישות התקן האירופי החדש - EN 1317, ללא התמודדות מוקדמת עם שאלת הכדאיות הכלכלית של פעילות זו.

- בכל ההנחיות המעודכנות לשימוש במעקות הבטיחות הדרישות למעקות הבטיחות מוגדרות במונחים של רמות תפקוד על-פי התקן החדש, כאשר התקנת המעקות צריכה להתבצע תוך כדי

אבטחת רוחב פעיל למעקה. כלומר, המדינות העלו את הדרישות לטיב ההתקנים המותקנים בשטח ולמרחק הפנוי בצד הדרך לאבטחת הרוחב הפעיל, ללא דיון מקדים לגבי הצדק לעלויות הגבוהות יותר של הסדרת תנאים אלה לעומת המצב הישן.

- עקב תקופה קצרה יחסית של שימוש במעקות החדשים בעולם, בספרות טרם הצטברו מחקרי הערכה עם ממצאים שהיו מאפשרים הסקת מסקנות ברורות לגבי השפעתם של המעקות החדשים על בטיחות, בייחוד בהשוואה עם המעקות הישנים. עם זאת, על-פי רוב הממצאים, הן באירופה והן בארה"ב, להתקנת מעקות הבטיחות בכלל מיוחסת תרומה משמעותית ומובהקת להורדת חומרה ושכיחות התאונות.

- הערכת כדאיות כלכלית לבחינת הצדק להתקנת מעקה בטיחות מקובלת במספר מדינות (כגון: ארה"ב, אנגליה). עם זאת, הערכה כזאת מתייחסת להתקנת מעקה בטיחות בכלל לעומת חלופה ללא מעקה או חלופה עם הסדרת איזור מפלט לרכב, כאשר בחישובים עצמם מופעלות הנחות רבות לגבי ההסתברות לתאונה והשלכותיה, בתנאי דרך טיפוסיים.

- במספר מחקרים פותחו מודלי הערכה כלכלית כדי לבחון כדאיות התקנת מעקות ברמות תפקוד גבוהות יותר, בתנאי דרך ותנועה שונים. לפי הערכות כלכליות שבוצעו בארה"ב, ההצדק לשימוש במעקות הבטיחות ברמות תפקוד גבוהות יותר - TL4, TL5 - מתקיים בדרכים המהירות בלבד, כאשר מדובר במסלולים עם שכיחות גבוהה של תנאי מדרון תלול וסוללה גבוהה. גם במחקר הערכות כלכליות שבוצע בפינלנד, נמצא כי שימוש במעקות H1/H2 בצידי דרכים באופן גורף חסר כדאיות כלכלית. עם זאת, החלפת מעקות N2 במעקות H1/H2 נמצאה כדאית במצבים מסוימים כגון: לפני עמודי גשר בעלי מבנה חלש; לפני עמודי גשר עם מרווח לא מספק להתקנת המעקה; בהתקרבות לגשרים החוצים דרך ראשית אחרת.

- ניתוח כלכלי דומה בו נבחנה כדאיות החלפת המעקות הישנים במעקות החדשים נערך במחקר ישראלי מקדים (גיטלמן ואחרים, 2007). הניתוח נערך בעזרת תוכנת RSAP האמריקנית, תוך כדי הזנת נתוני עלויות המעקות והחתכים הטיפוסיים להצבת המעקות בארץ. נמצא כי החלפת המעקות כדאית בכבישים דו-מסלוליים ברמות תנועה של למעלה מ-25,000 כלי רכב ביממה שבהם מהירויות הנסיעה 100 קמ"ש ויותר (זאת, בתנאי השוואה בין מעקה פלדה ישן מסוג W שהינו ברמה TL2 לבין מעקה חדש ברמת תפקוד H1). כמו כן, בכבישים הדו-מסלוליים בהם נפח התנועה נמוך מ-25,000 כלי רכב ביממה החלפת המעקות נמצאה כדאית כאשר אחוז כלי רכב כבדים היה גבוה מ-10%.

לעומת זאת, באותו המחקר הישראלי, עבור הדרכים החד-מסלוליות לא נמצאו תוצאות חיוביות (כדאיות כלכלית) להחלפת המעקות הישנים במעקות החדשים, גם ברמות תנועה גבוהות, של יותר מ-20,000 כלי רכב ביממה (כאשר בניתוח נבחן מעבר ממעקה TL2 למעקה TL3).

- במספר מדינות (גרמניה, אנגליה) בוצעה הערכה מקיפה של הכדאיות הכלכלית לאורך חיי המעקה עבור שימוש במעקות בטון יצוק לעומת מעקה פלדה, במפרדה. בהערכות אלה נכללו עלויות התקנה, תחזוקה ותיקון המעקות; עלויות של משתמשי הדרך הקשורות בהתרחשות התאונות, בהפסדי הזמן עקב פקקי התנועה בעקבות התאונות ועקב עבודות התחזוקה בדרך (לתיקוני מעקות לאחר תאונות). נמצא כי למעקות בטון יצוק ישנם יתרונות תפקודיים בתנאי

שטח ותנועה מסוימים כגון: במפרדות צרות של קטעי דרך ישרים המעבירים נפחי תנועה גדולים כגון: מעל 25,000 כלי רכב ביממה.

- ע"פ ממצאי מחקר מקדים שנערך בישראל ואשר בחן תועלות בטיחותיות משימוש במעקות החדשים, בשנים הראשונות של התקנתם בארץ (2004-2005), לא נמצאה ירידה בשכיחות תאונות התנגשות במעקות הבטיחות בדרכים הלא עירוניות, לעומת שנים קודמות. עם זאת, בשנים אלה, כן נצפתה ירידה בחומרת התאונות שהוערכה כחסכון של כ-51 מיליון ₪, בשנה. כמו כן, נצפתה ירידה בשכיחות תאונות רכב בודד עם מעורבות רכב משא כבד ואוטובוסים שהוערכה כחסכון של 6-7 מיליון ₪, בשנה. כלומר, התקנת המעקות החדשים בתנאי הארץ התקשרה עם ירידה בחומרת התאונות ובמספר תאונות התנגשות במעקות עם רכב כבד.

- מבדיקת הנחיות מעודכנות שהתפרסמו במדינות אירופה ובארה"ב נובע 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 מדרכים מהירות/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, עקום חד, מדרון תלול וכד' - רמות תפקוד H2, H4. גישה דומה אומצה גם ע"י ההנחיות בישראל (2005).

ב. בסיס הנתונים של המחקר

בעקבות מיפוי וניתוח נתונים מסקר דרכים 2010 של מערכת המנ"ב, ברשת הדרכים הלא עירוניות בישראל זוהו ארבע קבוצות של קטעי דרכים, ברמות שונות של נוכחות המעקות החדשים (מעקות EURO), שהן: 1 - קטעי דרכים בהם נמצא אחוז גבוה ואורך גבוה של מעקות EURO, בצד או במפרדה; 2 - קטעי דרכים בהם נמצא אחוז בינוני ואורך גבוה של מעקות EURO, בצד או במפרדה; 3 - קטעי דרכים בהם נמצא אחוז נמוך אך אורך גבוה יחסית של מעקות EURO, בצד או במפרדה; 4 - יתר קטעי הדרכים.

קטעי הדרכים מקבוצות 1-3 הוגדרו כ-"קטעי טיפול", כאשר יתר קטעי הדרכים ברשת (עם סוגי מעקות אחרים או ללא מעקות) הוגדרו כ-"קטעי ביקורת".

האורך הכולל של קטעי הטיפול היה כ-841 ק"מ, כאשר בקטעים אלה נמצאו סה"כ כ-429 ק"מ של המעקות החדשים בצדי הדרכים וכ-87 ק"מ של המעקות החדשים במפרדות.

סה"כ, לניתוח הרב-משתני הוכן בסיס נתונים על 497 קטעי כביש, לרבות 148 קטעי טיפול ו-349 קטעי ביקורת. מבנה הנתונים שהוכן לניתוח כלל 42 שדרות, לרבות 10 שדות עם מספרי התאונות, בשנת 2010. סוגי התאונות לניתוח כללו תאונות רכב יחיד וכלל התאונות, תאונות ברמות חומרה שונות ותאונות עם מעורבות סוגי רכב שונים.

ג. ממצאים מפיתוח המודלים

המודלים המסבירים הותאמו במחקר ל-14 סוגי תאונות עבור שני סוגי דרך: חד-מסלולית ו-דו-מסלולית; סה"כ: 28 מודלים.

על סמך המודלים המסבירים שהותאמו לנתונים נמצא כי :

- **בדרכים החד-מסלוליות**, בניתוח תאונות עם כל סוגי הרכב, נוכחות גדולה יותר של המעקות החדשים בצד הדרך לא תרמה לחסכון בתאונות. ברוב המודלים, בהם אורך המעקות החדשים נשאר בין המסבירים, נמצא קשר חיובי בין מאפיין זה לבין מספר התאונות. המודל היחיד אשר הצביע על קשר שלילי היה מודל עבור תאונות רכב יחיד עם רכב כבד (משא מעל 4 טון, אוטובוס, אוטובוס זעיר, רכב עבודה, או טרקטור). במודל זה בין המאפיינים המסבירים לתאונות היו גם קבוצות הקטעים לפי נוכחות המעקות, כאשר עבור הקטעים מקבוצות 1-3 (קטעי הטיפול) התקבלו מקדמים שליליים, מה שהצביע על צפי לפחות תאונות לעומת הקטעים עם המעקות הישנים.

- **בדרכים הדו-מסלוליות**, בניתוח כלל התאונות, משתני המעקות הופיעו בין המסבירים בחלק ניכר מהמודלים. עם זאת, השפעת משתני המעקות על תאונות רכב יחיד לא הייתה עקבית. קשר שלילי מובהק (או קרוב למובהק) בין אורך המעקות החדשים בצד הדרך לבין התאונות נמצא עבור תאונות חמורות של רכב יחיד ועבור כלל התאונות עם נפגעים בקטע דרך. לעומת זאת, בין המודלים לתאונות עם רכב כבד, משתני המעקות הופיעו בין המסבירים במודל אחד בלבד - עבור כלל התאונות עם נפגעים.

ד. ממצאים מהערכה כלכלית

ההערכה הכלכלית של התועלת הבטיחותית משימוש במעקות החדשים, לעומת הישנים, בוצעה על סמך המודלים המסבירים שהראו קשר שלילי מובהק בין אורך המעקות החדשים או נוכחותם לבין התרחשות התאונות. מקרים אלה היו : (1) בדרכים הדו-מסלוליות, המודל לתאונות חמורות עם רכב יחיד ; (2) בדרכים הדו-מסלוליות, המודל לכלל התאונות עם נפגעים ; (3) בדרכים החד-מסלוליות, המודל לתאונות רכב יחיד עם מעורבות רכב כבד. בהערכה הכלכלית נמצא כי :

- **בדרכים הדו-מסלוליות**, החיסכון בתאונות החמורות עם רכב יחיד בעקבות התקנת המעקות החדשים אינו גבוה. לכן, התועלת הכלכלית של חסכון זה אינה מספיקה לקבלת כדאיות כלכלית של המעקות החדשים. מספר התאונות הנחסך עולה עם נפח תנועה גדול יותר, אורך קטע גדול יותר, אורך גדול יותר של המעקות החדשים. עם זאת, בכל התנאים שנבחנו החיסכון השנתי בתאונות לקטע היה קטן, בטווח של 0.008-0.063.

בהערכות יחס תועלת-עלות מהתקנת המעקות החדשים, עבור מספר תנאי חישוב טיפוסיים, היחס תועלת-עלות היה נמוך, בטווח 0.17-0.34.

- **בדרכים הדו-מסלוליות**, החיסכון בכלל התאונות עם נפגעים בעקבות התקנת המעקות החדשים נמצא גבוה. התועלת הכלכלית של חסכון זה מצביעה על כדאיות כלכלית של התקנת המעקות החדשים בדרכים הדו-מסלוליות. בין היתר, סך מספר התאונות הצפוי בשנה בקטעי הטיפול היה 552 ללא המעקות החדשים, 470 עם המעקות החדשים, מה שסיפק חיסכון כולל של 82 תאונות בשנה או ירידה של 15%.

בהערכות יחס תועלת-עלות מהתקנת המעקות החדשים, עבור מספר תנאי חישוב טיפוסיים, היחס תועלת מול עלות היה גבוה, בטווח 1.11-2.51. כמו כן, החל מאורך מסוים של המעקות

החדשים (מעל 2 ק"מ), גודל התועלת הבטיחותית מהתקנת המעקות החדשים עלה ביחד עם גודל ההשקעה הנדרשת להתקנת המעקות, כאשר שניהם נמצאים ביחס ישיר לאורך התקנת המעקות.

- **בדרכים החד-מסלוליות**, בחלק ניכר מהקטעים, מספר התאונות הצפוי (מסוג תאונות רכב יחיד עם מעורבות רכב כבד) בנוכחות המעקות החדשים היה גבוה יותר מאשר במצב ללא המעקות. כלומר, **לא ניתן להדגים תועלת בטיחותית** מהתקנת המעקות החדשים בדרכים החד-מסלוליות.

3. מסקנות המחקר

1. הגישה שנקטה עד כה בהנחיות הישראליות לקביעת רמות תפקוד של מעקות הבטיחות בדרכים הלא עירוניות תואמת את הניסיון הבינלאומי.

2. שאלת הכדאיות הכלכלית של מעבר למעקות הבטיחות מהדור החדש לא נבחנה במדינות האחרות.

3. שאלת ההצדק הכלכלי של שימוש במעקות הבטיחות ברמות תפקוד גבוהות יותר (H1 או יותר) נבדקה במספר מחקרים בעולם. תוצאות מחקרים אלה, לרוב, תמכו בשימוש במעקות ברמות תפקוד גבוהות יותר בסוגי דרכים מההיררכיה הגבוהה ביותר, בתנאי נפח תנועה גבוה ולעתים, בתוספת תנאים מחמירים (מדרון תלול; אחוז ניכר של משאיות).

4. באופן דומה, במחקר הישראלי הקודם, התקבל הצדק כלכלי לשימוש במעקות הבטיחות ברמת תפקוד גבוהה יותר עבור הדרכים הדו-מסלוליים עם נפח תנועה גבוה (מעל 25,000 כלי רכב ביממה) ומהירויות נסיעה גבוהות (100 קמ"ש ויותר) או בדרכים הדו-מסלוליים עם נפח תנועה נמוך יותר אך עם אחוז גבוה של כלי רכב כבדים בתנועה (מעל 10%).

5. גם במחקר הנוכחי נמצאה תועלת בטיחותית ברורה מהתקנת המעקות החדשים בדרכים הדו-מסלוליות, אשר הצביעה, בין היתר, על ירידה של 15% בכלל התאונות עם נפגעים בקטעים עם המעקות החדשים לעומת קטעים אחרים. בחינת הערך הכלכלי הנוכחי של החיסכון בתאונות ביחס לתוספת העלויות עקב התקנה ותחזוקה של המעקות החדשים, באופן עקבי, הצביעה על יחס תועלת-עלות מעל 1. כלומר, התועלות הבטיחותיות והכלכליות שנמצאו במחקר תומכות במעבר לדור החדש של מעקות הבטיחות בדרכים הדו-מסלוליות בישראל.

6. לעומת זאת, עבור הדרכים החד-מסלוליות, במחקר הנוכחי לא נמצאו הוכחות לכדאיות בטיחותית וכלכלית של התקנת המעקות החדשים. זאת, בדומה לממצאי המחקר הקודם שנערך בארץ ואשר ביצע הערכות בעזרת תוכנת ה-RSAP האמריקנית. יתרה מזו, גם במחקרים בחו"ל אשר בדקו כדאיות כלכלית של מעבר למעקות ברמות תפקוד גבוהות יותר, לא נתקבלו ממצאים שהיו מצביעים על כדאיות השימוש במעקות החדשים בדרכים החד-מסלוליות.

7. למרות שלא נתקבלו תוצאות חיוביות לגבי יעילות החלפת המעקות בדרכים החד-מסלוליות, יש מקום להמשיך ולבדוק נושא זה. זאת, בשל המגבלות השונות של ההערכות שבוצעו עד כה, וכמו כן, בהתחשב בעובדה שלמרות היעדר הוכחות לכדאיות הכלכלית של מעבר למעקות החדשים בדרכים החד-מסלוליות, במרבית המדינות מקובל לקבוע שרמת תפקוד המעקה בדרכים החד-מסלוליות צריכה להיות N2.

8. שני המחקרים שנערכו בארץ הצביעו על כך שהתקנת המעקות החדשים בדרכים הלא עירוניות מזוהה עם ירידה בתאונות רכב יחיד עם מעורבות כלי רכב כבדים. כמו כן, בשני המחקרים התקנת המעקות החדשים הייתה מזוהה עם ירידה בתאונות החמורות.

9. בנוסף, המחקר הנוכחי הצביע על ירידה בכלל התאונות עם נפגעים בקטעי דרכים עם נוכחות המעקות החדשים לעומת קטעים אחרים, בדרכים הדו-מסלוליות. יצוין שהירידה בכלל התאונות עשויה לנבוע גם מהשיפורים הנוספים במאפייני הדרך שנעשים במקביל עם שדרוג המעקות.

10. סה"כ, המחקר הנוכחי הציג תמונה פרטנית של רמת השימוש במעקות החדשים בדרכים הלא עירוניות בישראל וכן, הדגים תועלות בטיחותיות וכלכליות משימוש במעקות החדשים בתנאי הארץ.

11. לביצוע מחקרי המשך של השפעת המעקות החדשים על בטיחות בדרכים בתנאי הארץ חשוב להקפיד על תיעוד מלא של תקופות התקנת המעקות בשטח, כדי לאפשר ביצוע ניתוחים מסוג "אחרי-לפני".

1. מבוא

1.1. רקע למחקר

בשנות ה-90, הן באירופה והן בארה"ב, התקבלו תקנים חדשים לבחינת רמות תפקוד של מעקות הבטיחות: התקן EN-1317 באיחוד האירופי ודו"ח NCHRP 350 בארה"ב¹. התקנים החדשים שיקפו את הצורך בגישה אחידה לכל סוגי ההתקנים המוצעים בשוק, מבחינת הערכתם האובייקטיבית והתאמתם ליישום בשטח. הגישה האחידה לבחינת דרגות תפקוד של התקני הבטיחות אומצה גם בישראל.

בעשור האחרון אושרו לשימוש בישראל סוגים רבים של מעקות הבטיחות אשר עמדו בדרישות התקנים החדשים באירופה. מאמצע שנות ה-2000, המדיניות של משרד התחבורה הייתה בקידום שימוש במעקות החדשים/התקניים בכל הדרכים בישראל. בשנת 2003 נקבע כי לא ניתן יותר לכלול מעקות מהסוג הישן במכרזים החדשים של מע"צ ורשויות דרך אחרות. כמו כן, בפרויקטי שדרוג ואחזקה של הדרכים הלא עירוניות המובלים ע"י החברה הלאומית לדרכים, המעקות החדשים מחליפים בהדרגה את המעקות הישנים (בעיקר, מסוג פלדה W, וגם בטון NG) שהיו בשימוש בישראל בעשורים הקודמים².

למדיניות השימוש במעקות החדשים קיימות משמעויות כספיות ניכרות אך היא נבחרה ליישום מתוך הנחה כי המעבר לשימוש במעקות החדשים תורם להעלאת רמת הבטיחות של הדרכים בישראל. היום, כעבור מספר שנים של יישום המדיניות החדשה, עלתה שאלת כימות של התועלות הבטיחותיות והכלכליות הקשורות לקידומה. הצפייה הינה כי המעקות החדשים תרמו לירידה בשכיחות ו/או חומרת התאונות, מה שאמור לחזק את הכדאיות הכלכלית של המעבר למעקות אלה.

עם זאת, בדיקת האפקט הבטיחותי של החלפת סוג מעקה ישן בחדש אינה פשוטה. בין היתר, בספרות המקצועית קיימות הוכחות ליעילות הבטיחותית של התקנת מעקות הבטיחות באתרים בהם לא היו מעקות לפני כן; קיימות דוגמאות להשוואה בין מאפייני התאונות בהתנגשויות במעקות בטון לעומת מעקות גמישים יותר (פלדה, כבלים); ישנן דוגמאות למעקב אחרי תפקוד של דגמי מעקות מסוימים בשטח. לעומת זאת, לרוב, חסרים אומדנים כמותיים לשינויים בתאונות בעקבות החלפת סוגי המעקות הישנים במעקות החדשים.

בנוסף, יש לזכור שמעקה בטיחות בעצמו מהווה מכשול ולכן, התקנת מעקות בטיחות עשויה שלא לצמצם את שכיחות ההתנגשויות. עם זאת, תוצאות ההתנגשויות במעקות ככלל יהיו חמורות פחות מאשר תוצאות ההתנגשויות במכשולים קשיחים לא מוגנים (כגון: סלע, עמוד, עץ) או לעומת תוצאות הידרדרות הרכב לתחתית מדרון תלול, התנגשות בדופן חפירה וכד'. מכאן שבעקבות הגברת שימוש במעקות הבטיחות לא בהכרח תירשם ירידה בשכיחות ההתנגשויות

¹ לאחרונה, פורסמו עדכונים למסמכים מנחים אלה: תקן EN 1317-2:2010 באירופה ומדריך MASH (2009) בארה"ב.

² ראה: המפרט הכללי לעבודות סלילה וגישור, תת-פרק 51.33, החברה הלאומית לדרכים.

במעקות. עם זאת, יש לצפות לירידה בחומרת תאונות התנגשות אלה וכן, לירידה בשכיחות/ חומרה של תאונות רכב בודד, בכלל.

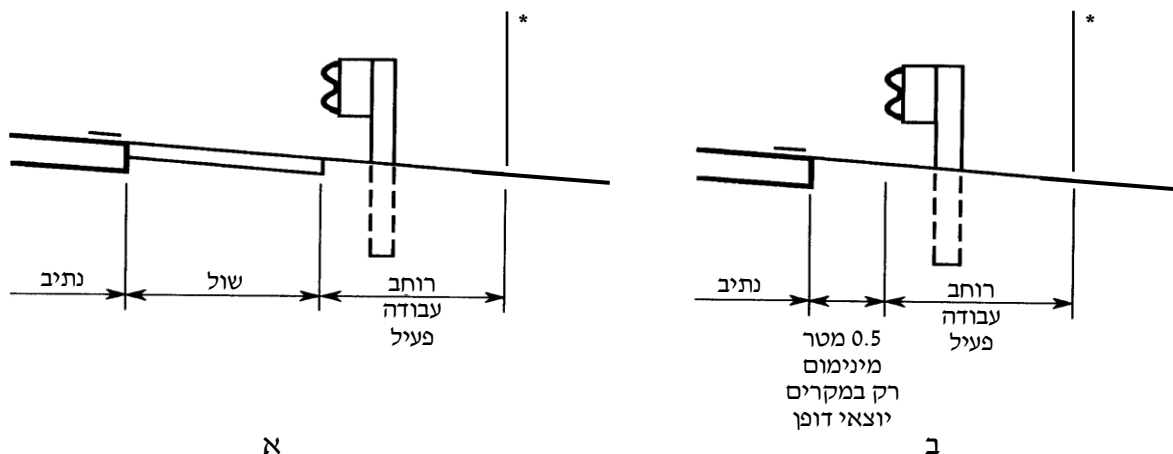
מכאן, מטרת מחקר זה הייתה לאסוף מידע מפורט על התקנות המעקות החדשים ולבחון את התועלות הבטיחותיות והכלכליות הנובעות מהכנסתם לשימוש, בדרכים הלא עירוניות בישראל.

1.2. אפיון מעקה בטיחות

סעיף זה מרכז את ההגדרות העיקריות בנושא מעקות הבטיחות הקשורות לשימוש בהתקנים³. מעקה בטיחות הינו התקן המיועד להתקנה בשול הדרך או במפרדה. תפקיד המעקה הוא למנוע מכלי רכב שסטה מדרכו לצאת מתחום הדרך ולכוונו בחזרה לשטח המתוכנן לתנועה.

דגם מעקה הינו מעקה המיוצר על פי תכנון ייחודי (מחומרים ומידות מוגדרים), בעל שם מוגדר ותכונות מסוימות. לכל דגם מעקה רמת תפקוד ורוחב עבודה פעיל נתונים שנקבעו בעקבות מבחני התנגשות סטנדרטיים, לפי התקן האירופי EN 1317 או המסמך האמריקני NCHRP 350 (או MASH, 2009).

מאפייני המעקה שנבחנו בעת בחירת המעקה להתקנה והמשפיעים על אופן התקנתו הם: רמת תפקוד; רוחב פעיל; גובה המעקה; רוחב המעקה⁴. הדרישות העיקריות לחתך הדרך שמלוות את התקנת המעקות הן: המרחק הפנוי בין קצה נתיב הנסיעה לבין פני המעקה (set-back) ו-הרוחב הפעיל של המעקה (ציור 1.1). לגבי הפרמטר הראשון (set-back), מומלץ להצמיד את פני המעקה לקצה שול; בשום מקרה אין להציב מעקה במרחק הקטן מ-0.5 מטר מקצה נתיב הנסיעה הסמוך (בדרך לא עירונית).



* פני מכשול/קצה מדרון תלול יהיו מאחורי קו זה

ציור 1.1. מיקום מעקה בטיחות בצד הדרך: מאפיינים עיקריים בהתקנת מעקה.

Figure 1.1. Safety barrier location on the road side: Main characteristics of barrier installation

³ לפי הנחיות (2005), תקן ישראלי ת"י 5175 (2007), מפרט מעצ 51.33 (2010)

⁴ מאפיין נוסף הינו רמת חומרת ההתנגשות במעקה - רמה A, B או C לפי EN 1317. מאפיין זה משמש, בעיקר, לסינון נוסף של דגמי המעקות מבחינת השימוש בשטח. ע"פ המדיניות החדשה, מעקות ברמות חומרה A, B ניתנים לשימוש רחב, בעוד שלמעקות ברמה C קיימות מגבלות חמורות.

רוחב פעיל של מעקה הינו המרחק בין דופן המעקה הפונה לתנועה לפני ההתנגשות לבין הנקודה הקיצונית ביותר של המעקה לאחר ההתנגשות. רוחב עבודה פעיל מורכב מסטייה דינאמית ורוחב המעקה עצמו. הסטייה הדינאמית הינה התזוזה הצדית המרבית של צד המעקה הפונה לתנועה.

בהתקנה בשטח, המרחק מאחורי המעקה נדרש לסטייה הדינאמית, לכן הוא צריך להישאר פנוי ממכשולים. במילים אחרות, לתפקודו התקין של מעקה הבטיחות, יש להבטיח מעבר לשול רצועת שטח אופקי ברוחב השווה לרוחב הפעיל של דגם המעקה שמיועד להתקנה, כפי שמוצג בצירור 1.1.

1.3. תוכן הדו"ח

בביצוע המחקר היו מספר מרכיבים.

בשלב הראשון, נערך סקר ספרות מקצועית שהתמקד במחקרי הערכה של מעקות בטיחות חדשים ובמסמכים מנחים בנושאי שימוש במעקות הבטיחות שהתפרסמו, בשנים האחרונות, במדינות המתקדמות. בסקר הושם דגש על מציאת הערכות כמותיות ונימוקים שעשויים לשמש הצדק כלכלי לשימוש במעקות החדשים - כאלה שעמדו בדרישות התקנים החדשים באירופה או בארה"ב. ממצאים מסקר הספרות מוצגים בפרק 2.

בשלב השני למחקר נערך איסוף והסדרת המידע על מצאי מעקות הבטיחות החדשים ברשת הדרכים הלא עירוניות. באמצעות מיפוי וניתוח נתונים מסקר דרכים 2010 של מערכת המנ"ב, זוהו ארבע קבוצות של קטעי דרכים ברשת, לפי נוכחות המעקות החדשים (מעקות EURO), שהן:

- 1 - קטעי דרכים בהם נמצא אחוז גבוה ואורך גבוה של מעקות EURO, בצד או במפרדה;
- 2 - קטעי דרכים בהם נמצא אחוז בינוני ואורך גבוה של מעקות EURO, בצד או במפרדה;
- 3 - קטעי דרכים בהם נמצא אחוז נמוך אך אורך גבוה יחסית של מעקות EURO, בצד או במפרדה;
- 4 - יתר קטעי הדרכים.

קטעי הדרכים מקבוצות 1-3 הוגדרו כ-"קטעי טיפול", כאשר יתר קטעי הדרכים ברשת (עם סוגי מעקות אחרים או ללא מעקות) הוגדרו כ-"קטעי ביקורת".

בהמשך, נערכו ניסיונות לקבל מידע על תקופות התקנת המעקות החדשים ברשת. נמצא שעבור חלק ניכר מקטעי הדרכים שנמצאו בשנת 2010 עם מעקות חדשים בצדיהם מידע זה היה חסר. בשל היעדר מידע על תקופות התקנת המעקות, ניתוח מסוג "אחרי-לפני" - הערכת שינויים בתאונות בעקבות התקנת המעקות החדשים/החלפת המעקות הישנים בחדשים לא היה אפשרי. לכן, כדי לזהות השפעה של המעקות החדשים על רמת בטיחות הקטעים, הוחלט לבצע ניתוח רוחבי (cross-section analysis) של מצב הבטיחות בקטעי הטיפול לעומת קטעי הביקורת, בשנת 2010.

בניתוח הרוחבי, השפעת המעקות החדשים יכולה לבוא לידי ביטוי ע"י משתנה מסביר המשקף את הימצאות המעקות והמשפיע על הסיכון לתאונה. עם זאת, לזיהוי השפעת משתני המעקות נדרש לנטרל השפעות של מסבירים אפשריים נוספים כגון: רמת החשיפה (נפחי תנועה), אורך קטע, סוג דרך, המאפיינים הגיאומטריים של הדרך. כלומר, יש לבצע ניתוח רב-משתני של מאפייני

הקטעים, על מנת לזהות השפעה אפשרית של מעקות הבטיחות החדשים. לכן, בטרם הניתוח נערכה השלמה של המאפיינים הגיאומטריים של כל קטעי הדרכים שנבחרו למחקר (שעבורם כבר נאספו נתונים על הימצאות מעקות הבטיחות). השלמת המאפיינים הגיאומטריים נעשתה על סמך ניתוח מידע נוסף ממערכת המנ"ב. סה"כ, לניתוח הרב-משטני הוכן בסיס נתונים על 497 קטעי כביש, לרבות 148 קטעי טיפול ו-349 קטעי ביקורת. תהליך איסוף וטיוב הנתונים, והכנתם לניתוח מתואר בפרק 3.

כדי לבחון את השפעת המעקות החדשים בהקשרים השונים, ניתוח הנתונים התייחס ל-10 סוגים של תאונות דרכים, לרבות תאונות רכב יחיד וכלל התאונות, תאונות ברמות חומרה שונות ותאונות עם מעורבות סוגי רכב שונים. מבנה הנתונים שהוכן לניתוח כלל סה"כ 42 שדות, לרבות 10 שדות תוצאה או משתנים תלויים שהם מספרי התאונות בקטע, בשנת 2010. בניתוח הרב-משטני, לסוגי תאונות שונים הותאמו מודלים מסבירים. כל הניתוחים שנערכו נועדו לבחון שאלה: האם קיים הבדל משמעותי במספרי התאונות בקטעים בהם מותקנים מעקות הבטיחות החדשים לעומת אותם סוגי התאונות בקטעים בהם מותקנים מעקות הבטיחות הישנים. ממצאים מהניתוח הרב-משטני מוצגים בפרק 4.

על סמך המודלים המסבירים שהותאמו במחקר ואכן הראו קשר בין התרחשות התאונות ונוכחות המעקות החדשים, בוצעה הערכה כלכלית. בהערכה הכלכלית נבחנה התועלת הבטיחותית משימוש במעקות החדשים לעומת הישנים, כאשר היא מושווית עם תוספת עלויות התקנה והחזקה של מעקה חדש לעומת ישן, לאורך חיי המעקה. ההערכה הכלכלית בוצעה עבור שלושה מקרים שהם: בדרכים החד-מסלוליות - על סמך החיסכון בתאונות רכב יחיד עם מעורבות רכב כבד; בדרכים הדו-מסלוליות - על סמך החיסכון בתאונות החמורות עם רכב יחיד ועל סמך החיסכון בכלל התאונות עם נפגעים. ממצאים מההערכה הכלכלית מוצגים בפרק 5.

פרק 6 של הדו"ח מביא סיכום לממצאי המחקר ומציג מסקנות בנוגע ליעילות הבטיחותית והכדאיות הכלכלית של מעקות הבטיחות מהדור החדש, בתנאי הארץ.

2. סקר ספרות

סקר הספרות המקצועית התמקד במחקרי הערכה של מעקות הבטיחות ובמסמכים מנחים נוספים בנושאי השימוש במעקות הבטיחות החדשים שהתפרסמו, בעשור האחרון, במדינות המתקדמות. הסקר מרכז ממצאים מדויחות מחקר, מאמרים מדעים ומסמכים נוספים, ממדינות אירופה וארה"ב, שבהם מובאות התייחסויות לנושאים כגון: הכלים והניסיון בבחינת הכדאיות הכלכלית של מעקות הבטיחות; דיון בהיבטי הכדאיות הכלכלית של מעקות הבטיחות החדשים; הערכת תרומתם של מעקות הבטיחות לשיפור רמת הבטיחות בדרך; הערכות כמותיות לביסוס הצדקים לשימוש במעקות התקניים וכו'.

בסקר מושם דגש על מציאת הערכות כמותיות ונימוקים שעשויים לשמש הצדק כלכלי לשימוש במעקות החדשים - כאלה שעמדו בדרישות התקנים החדשים באירופה או בארה"ב. כמו כן, בסקר מובאים ממצאים של מחקרי הערכה שנערכו, בשנים האחרונות, בארץ בנושאים הקשורים לשימוש במעקות הבטיחות.

הסוגיות שנמצאו בספרות המקצועית והמוצגות בסקר הספרות הן:

- ביסוס הצורך בגישה אחידה לקביעת מאפייני המעקות;
- הערכות יעילות של מעקות הבטיחות להורדת שכיחות ו/או חומרת התאונות, לרבות בחינת גבולות תפקוד של מעקות הבטיחות;
- הערכות כמותיות לביסוס הצדקים לשימוש במעקות הבטיחות;
- דוגמאות לבחינת הכדאיות הכלכלית של מעקות הבטיחות;
- הערכות כמותיות לבחירת המאפיינים הנדרשים של מעקות הבטיחות.

2.1. הצורך בגישה אחידה לקביעת מאפייני המעקות

המעבר לשימוש במעקות החדשים התבצע במדינות אירופה בעקבות הדירקטיבה 89/106/EEC (Construction Product Directive) משנת 1989. דירקטיבה זו מחייבת את המדינות החברות באיחוד, להשתמש בעבודות בניה בפרט ובעבודות הנדסה אזרחית בכלל, אך ורק במוצרים אשר עונים לדרישות מהותיות (essential requirements) שנקבעו במפרטים טכניים (technical specifications) מתאימים. המפרטים הטכניים בהקשר זה הם תקנים מאוזנים (harmonized standards) המאושרים באיחוד האירופי. כלומר, למדינות החברות באיחוד האירופי שאלת הכדאיות הכלכלית של יישום התקנים החדשים בתחום הבניה ועבודת הנדסה אזרחית, כולל המעבר למעקות החדשים, לא הייתה רלוונטית.

בפורום המשותף של נציגי התקינה האירופית והאמריקאית ויצרני התקני הבטיחות, שנערך בשנת 1995, נדונו דרישות והשלכותיהם של התקנים החדשות להתקני הבטיחות (Circular 451, 1995). מילות המפתח בדיונים היו "הרמוניזציה" ו-"עקביות" בדרישות וביישום של התקני הבטיחות. הודגש כי תהליך ההרמוניזציה בתקינה להתקנים אלה יבטיח איכות ראויה של המוצרים המגיעים לשטח, בטיחות גבוהה יותר בדרך (עקב תפקודם המתוכנן של ההתקנים), התאמה גבוהה יותר בין המוצרים השונים ובסופו של דבר, עלויות מאוזנות יותר של ההתקנים המותקנים בשטח.

הצורך בפיתוח דור חדש של מעקות הבטיחות, אשר יהיו סלחניים יותר לרכב המתנגש, ניכר גם בעובדה שבתחילת שנות ה-90 מעקות הבטיחות היו מעורבים בחלק משמעותי מהתאונות בדרכים המהירות במדינות אירופה. לפי Schoon (1997), מעקות הבטיחות דאז היו מעורבים בכ-20% מהתאונות עם נפגעים וכן, גרמו לכ-20% מההרוגים וליותר מ-20% מהמאושפזים בעקבות התאונות בדרכים המהירות - טבלה 2.1.

טבלה 2.1. אחוז התאונות עם נפגעים והנפגעים בתאונות עם מעורבות מעקות הבטיחות, מתוך כלל התאונות והנפגעים בדרכים מהירות, במדינות נבחרות. מקור: Schoon (1997).

Table 2.1. Percentage of injury accidents and of casualties in accidents with safety barriers, out of the total accidents and casualties on motorways in selected countries. Source: Schoon (1997).

מדינה	תאונות עם נפגעים (%)	הרוגים (%)	מאושפזים בבתי חולים (%)
בלגיה (פלמית)	22.7	21.2	23.3
דנמרק	20.0	17.7	23.9
גרמניה	*19.7	**--	--
צרפת	כ 18	--	--
הולנד	20.3	19.1	21.2

*כולל תאונות נזק בלבד
** אין נתון

היום, תהליך ההרמוניזציה בשימוש במעקות הבטיחות החדשים (והתקני בטיחות אחרים - סופגי אנרגיה, התקני קצה, עמודים סלחניים ועוד) צובר תאוצה. בינואר 2011, באיחוד האירופי, נכנסה לתוקף דרישה של תקן EN 1317-5 על חובת האישור של אב-טיפוס ההתקן (Initial Type - ITT - Testing), באמצעות נוהל מסודר וע"י גוף מוכר באירופה (notified body). כתוצאה, כל דגם מעקה מקבל תעודה המאשרת את רמת תפקודו ואת עמידתו בתקן האירופי, כאשר ללא תעודה כזאת ההתקן לא יגיע למסחר במדינות האיחוד.

2.2. הערכות יעילות של מעקות הבטיחות ובחינת גבולות תפקודם

הצורך בשימוש במעקות הבטיחות בצד הדרך נובע מחוסר סלחניות של השטח שמעבר לשוליים: הימצאות מכשולים ו/או סוללה גבוהה ותלולה. כתוצאה מתנאים אלה, בין רבע עד שליש מהתאונות עם נפגעים, ברמות חומרה שונות, בייחוד בשטח הלא עירוני, הן תאונות רכב יחיד. בשנות ה-90, תופעה זו של תאונות רכב יחיד, הנובעת מהמצב הלא סלחני של צדי הדרך, תועדה במדינות רבות בעולם (ראה: ETSC, 1998; Elvik & Vaa, 2004). בעקבות התקנת מעקות הבטיחות, לרוב, נצפית ירידה בחומרת התאונות ואף בשכיחות התאונות המדווחות⁵. באופן דומה, מעקה הבטיחות שמותקן במפרדה של דרך דו-מסלולית, מונע חלק משמעותי מתאונות חציית המפרדה, לרבות התנגשויות עם התנועה במסלול הנגדי.

⁵ חלק ניכר מהתאונות עם פוטנציאל של תאונות עם נפגעים הופך לתאונות נזק בלבד. מכאן, נרשמת ירידה במספר התאונות עם נפגעים.

2.2.1. הערכות מסכמות להשפעת מעקות הבטיחות על שכיחות וחומרת התאונות

Elvik & Vaa (1995) ו-Elvik (2004) ביצעו הערכות מסכמות של השפעת מעקות הבטיחות על שכיחות התאונות וחומרתן. ההערכות המסכמות מתבססות על ממצאי המחקרים שנערכו במדינות השונות והן מבוצעות באמצעות שיטת שקלול סטטיסטי (meta-analysis).

Elvik (1995) סיכם ממצאים של 32 מחקרי הערכה שנערכו במדינות השונות בין השנים 1956-1993; בשקלול השתתפו סה"כ 232 ערכי אפקטים בטיחותיים. תוצאות הערכה זו מוצגות בטבלה 2.2. מטבלה 2.2 ניתן ללמוד כי התקנת מעקה בטיחות במפרדה מורידה באופן משמעותי ומובהק את מספר התאונות הקטלניות. כמו כן, התקנת מעקה בטיחות בצד הדרך תורמת לירידה הן של התאונות הקטלניות והן של כלל התאונות עם נפגעים. יחד עם זאת, התקנת המעקה במפרדה מגבירה את שכיחות ההתנגשויות במעקה אשר גורמות בעיקר לנזק בלבד.

בהערכת יעילות בטיחותית של התקני הריסון כגון: מעקות בטיחות וסופגי אנרגיה, Elvik & Vaa (2004) ממליצים על הערכה דו-שלבית. לפי Elvik & Vaa, הערכת אפקט בטיחותי של התקני הריסון צריכה לשלב את אפקט השינוי בשכיחות התאונות עם אפקט השינוי בחומרת התאונות, כלהלן:

$$\text{Net effect} = \text{Change in the probability of accidents} \times \text{Change in the outcome of accidents}$$

לדוגמא, אם התקנת מעקה בטיחות במפרדה הביאה לתוספת של 10% בשכיחות ההתנגשויות במעקה אך תרמה לירידה של 40% בתאונות הקטלניות, אזי האפקט המשולב מהתקנת מעקה הבטיחות על התאונות הקטלניות יהיה:

$$\text{Net effect on the number of fatal accidents} = 1 - (1.10 \times 0.60) = 1 - 0.66 = 34\%$$

או ירידה של 34% בתאונות הקטלניות.

טבלה 2.2. אפקטים בטיחותיים מסכמים של התקני ריסון: מעקות בטיחות וסופגי אנרגיה. מקור: Elvik (1995)

Table 2.2. Summary safety effects of restraint devices: safety barriers and crash cushions. Source: Elvik (1995)

Type of guardrail	Type of installation	Measure of safety effect	Proportion of statistical weights	Per cent change in measure of safety effect		
				Lower 95%	Best estimate	Upper 95%
Median barrier	New installation	Accident rate*	0.1858	+25	+29	+32
		Fatal accidents§	0.0028	-14	-32	-46
		Injury accidents#	0.0466	+4	-2	-7
	Replace old	Accident rate	0.0693	+31	+37	+44
		Fatal accidents	0.0011	-24	+10	+61
		Injury accidents	0.0303	-21	-26	-31
Guardrail	New installation	Accident rate	0.0121	-18	-27	-35
		Fatal accidents	0.0336	-40	-44	-48
		Injury accidents	0.6074	-51	-52	-53
	Replace old	Accident rate	0.0000	NA	NA	NA
		Fatal accidents	0.0005	+2	-41	-66
		Injury accidents	0.0059	-21	-33	-43
Crash cushion	New installation	Accident rate	0.0007	-74	-84	-90
		Fatal accidents	0.0005	-46	-69	-83
		Injury accidents	0.0034	-60	-68	-74

NA = Not available

The statistical weights sum to 1.0000

*Number of accidents per million vehicle kilometres of travel.

§Conditional probability of sustaining fatal injury, given that an accident has occurred.

#Conditional probability of sustaining personal injury, given that an accident has occurred.

Elvik & Vaa (2004) מצייגים הערכות מסכמות ליעילות מעקות הבטיחות המותקנים בצד הדרך ובמפרדה - טבלאות 2.3 ו-2.4, בהתאמה. ניתן ללמוד מטבלאות אלה כי התקנת מעקה בטיחות בצד הדרך תורמת לירידה מובהקת של 44% בתאונות הקטלניות ו-47% בכלל התאונות עם נפגעים, בעוד שהתקנת מעקה בטיחות במפרדה תורמת לירידה מובהקת של 43% בתאונות הקטלניות ו-30% בכלל התאונות עם נפגעים. ממצאים אלה מתבססים על התוצאות של 20 מחקרים מארה"ב, אנגליה, אוסטרליה, שוודיה, גרמניה, שנערכו בשנים 1967-2000, לגבי יעילותם של מעקות צד, ועל התוצאות של 22 מחקרים מארה"ב, אנגליה, שוודיה, דנמרק, צרפת, שנערכו בשנים 1956-2001, לגבי יעילותם של מעקות מפרדה.

כמו כן, ניתן להבחין בטבלאות 2.3-2.4 כי התקנת מעקה גמיש יותר כגון: מעקה פלדה במקום מעקה בטון, הן בצד הדרך והן במפרדה, על פי רוב, תורמת לירידה מובהקת בכלל התאונות עם נפגעים.

טבלה 2.3. יעילות בטיחותית של מעקות הבטיחות בצד הדרך - הערכה מסכמת
מקור: Elvik & Vaa (2004).

Table 2.3. Summary safety effects of roadside safety barriers. Source: Elvik & Vaa (2004)

Accident severity	Percentage change in probability of iNGury		
	Types of accident effected	Best estimate	95% confidence interval
New guardrail along embankment			
Fatal iNGury	Running-off-the-road	-44	(-54, -32)
Any iNGury	Running-off-the-road	-47	(-52, -41)
Accident rate	Running-off-the-road	-7	(-35, +33)
Changing to softer guardrail			
Fatal iNGury	Running-off-the-road	-41	(-66, +2)
Any iNGury	Running-off-the-road	-32	(-42, -20)

טבלה 2.4. יעילות בטיחותית של מעקות הבטיחות במפרדה - הערכה מסכמת
מקור: Elvik & Vaa (2004).

Table 2.4. Summary safety effects of median safety barriers. Source: Elvik & Vaa (2004).

Accident severity	Percentage change in probability of iNGury		
	Types of accident effected	Best estimate	95% confidence interval
Median guardrail on multi lane divided highways			
Fatal iNGury	All accidents	-43	(-53, -31)
Any iNGury	All accidents	-30	(-36, -23)
Accident rate	All accidents	+24	(+21, +27)
Type of guardrail in median			
Fatal iNGury	Concrete	+15	(-18, +61)
Any iNGury	Steel	-35	(-43, -26)
Any iNGury	Wire	-29	(-40, -15)

למרות העקביות הרבה בתוצאות שנצפו במחקרים השונים, Elvik & Vaa (2004) מבקשים להסתייג מהערכים הגבוהים של האפקטים הבטיחותיים שהתקבלו וזאת, עקב הגישה הפשטנית ששימשה להערכת האפקטים הבטיחותיים בחלק ניכר מהמחקרים שנסקרו. הגישה הפשטנית מתבטאת באי לקיחה בחשבון של חלק ניכר מהגורמים שהיו יכולים להשפיע על התרחשות

התאונות בתקופה "אחרי" לעומת "לפני" התקנת המעקות, כגון: שינויים בנפח התנועה, מגמת התאונות הכללית, רגרסיה לממוצע.

יש לציין שמקורות הספרות שפורסמו לאחרונה במדינות המתקדמות ואשר מציגים ערכים מסכמים של מקדמי ירידה בתאונות לפי סוגי השיפורים בתשתית כגון: NCHRP 617 (2008) בארה"ב, Austroads (2010) באוסטרליה, Elvik et al (2009) - המהדורה המעודכנת של הספר הקודם עם הניסיון הבינלאומי - לא נמצאו אומדנים חדשים ליעילות מעקות הבטיחות.

לדוגמא, במחקר NCHRP 617 (2008) שבוצע בארה"ב נערכה סקירה שיטתית של הצרכים במקדמי ירידה בתאונות עבור שיפורי התשתית המבוצעים בשטח, אשר הובילה לסקירת מחקרי הערכה עדכניים בסוגיות הנדרשות וכמו כן, לאיסוף וניתוח משלים של נתוני התאונות בסוגיות הנבחרות, על מנת לספק אומדנים למקדמי ירידה בתאונות באיכות גבוהה. בסקירת הממצאים ובהערכות יעילות האמצעים, במחקר זה ניתנה עדיפות למחקרים המתאימים לתנאים המקומיים - צפון אמריקה, וכמו כן, מושם דגש על איכות הנתונים וההערכות אשר בוצעו בהתאם למיטב הסטנדרטים המקובלים במחקרי הערכה בתחום הבטיחות בדרכים (התחשבות במגמה הכללית, בתופעת הרגרסיה לממוצע, בשינויים בנפחי תנועה וכו').

סה"כ, במחקר האמריקאי התקבלו הערכות יעילות עבור 35 שיפורי תשתית. לגבי התקנה/שדרוג של מעקות הבטיחות, המחקר האמריקאי מצטט את הממצאים של Elvik & Vaa (2004) אשר, כאמור, מתבססים על מחקרים שנערכו לפני עשר שנים ויותר. נראה שבארה"ב כמו בארץ חסרות הערכות יעילות בטיחותיות של מעקות בטיחות חדשים ובייחוד, הערכות היעילות בנושא שדרוג המעקות הישנים במעקות החדשים.

2.2.2. יעילותם של סוגי מעקות שונים

Ray and McGinnis (1997) ויותר מאוחר, Gabler et al (2005) ערכו סקירה של מעקות המפרדה המקובלים בשימוש בארה"ב. המעקות מאופיינים במונחים של רמת תפקוד, פרמטרי ההתקנה הנפוצים בשטח ואופן תפקודם בתאונות. שני המחקרים מרכזים מידע נרחב מגופים רבים שפועלים בתחום מעקות הבטיחות בארה"ב.

כידוע, בארה"ב מאושר לשימוש מגוון רחב של מעקות הבטיחות⁶ כגון: מעקות פלדה עם קורת W, מעקות פלדה עם קורה משולשת (Thrie-beam), מעקות בטון ומעקות כבלים (AASHTO, 2002). יחד עם זאת, מרבית מעקות אלה, פרט למספר מעקות כבלים (כגון: BRIFEN, CASS) ומעקה בטון נמשך (Ontario Tall Wall) אינם מוכרים בישראל. ציטוט מפורט של מחקרי המעקב אחרי התנהגות המעקות האמריקאיים בתאונות אינו מביא תועלת רבה בהקשר הנוכחי. לעומת זאת, יש מקום להצביע על הממצאים העיקריים של הסקירות שנערכו ע"י Ray and McGinnis (1997) ו-Gabler et al (2005), והם:

- לרוב סוגי מעקות הבטיחות נצפתה התנהגות נאותה בתאונות, דהיינו המעקות ככלל ריסנו את כלי הרכב שעבורם הם תוכננו;

⁶ מעקות אלה עמדו במבחני התנגשות לפי הדו"ח NCHRP 350 ולהם רמות תפקוד ידועות.

- מעקות המפרדה, לרוב, היו יעילים למניעת תאונות חציית המפרדה למסלול הנגדי;

- לגבי יעילותם של המעקות החדשים אשר עמדו בדרישות הדו"ח NCHRP 350 (כגון: CASS, BRIFEN או דגם Thrie-beam המשופר) הנתונים לרוב חסרים. זאת, עקב תקופה קצרה יחסית של התקנתם בשטח וכתוצאה, חוסר אפשרות להגיע לתוצאות מובהקות. בנתונים המעטים שהצטברו במחקרי המעקב השונים, ככלל, נצפה תיפקוד מספק של מעקות אלה בתאונות ההתנגשות.

כמו כן, לפי Gabler et al (2005) בשטח קיימת מודעות לעלות גבוהה יותר של חלק מהמעקות החדשים כגון: דגם Thrie-beam המשופר, אך עובדה זו אינה מונעת שימוש במעקות אלה.

Gabler et al (2005) ערכו בעצמם מעקב אחרי תפקוד מעקות מפרדה בשני קטעים של דרכים מהירות במדינת ניו ג'רסי. המעקב התייחס לשני סוגי מעקות: מעקה כבלים ודגם Thrie-beam המשופר, ונמשך כשנה. איסוף נתוני התאונות נערך באמצעות תהליך דיווח מיוחד, עם מעורבות המשטרה ורשות הדרך (צוותי התחזוקה). במשך שנת המעקב, תועדו סה"כ 12 אירועי התנגשות במעקות, מתוכם רק תאונה אחת דווחה למשטרה. מסקנת החוקרים הייתה כי המעקות תפקדו כמתוכנן בכל האירועים, כאשר היעדר הפניות למשטרה בעקבות ההתנגשויות (דהיינו, היעדר הפגיעות בנוסעים והיעדר נזקים כבדים לרכב) רק מחזק מסקנה זו.

2.2.3. הערכה השוואתית של יעילות מעקות בטיחות ישנים מבטון ופלדה, בתנאי הארץ

במחקר הקרט ואחרים (2006) נערכה בחינה השוואתית של תפקוד מעקות הבטיחות מבטון נמשך (מסוג NG) ומעקה פלדה (מסוג W). איסוף נתוני התאונות והניתוחים הסטטיסטיים התמקדו בסוגית חומרת הפגיעה בעקבות התנגשויות במעקות. בניתוח נכללו תאונות התנגשות במעקות שאירעו בקטעי הדרכים הלא עירוניות בשנים 2000-2003 ושהן היה מעורב רכב פרטי. הניתוח בוצע בשני אופנים: באמצעות מידע מתיקי התאונות של המשטרה, ובאמצעות נתוני רישום הטראומה הלאומי.

מארכיונים של המשטרה, נאספו פרטים על 81 תאונות עם 177 נפגעים בהתנגשויות עם מעקות פלדה ועל 61 תאונות עם 136 נפגעים בהתנגשויות עם מעקות בטון. חלקם היחסי של הנפגעים בתאונות החמורות (קשות וקטלניות ביחד) היווה כ-20% בקרב ההתנגשויות במעקות הבטון ו-12% בקרב ההתנגשויות במעקות הפלדה (הבדל כמעט מובהק, $p=0.052$). בנוסף, חלקם היחסי של הנפגעים שאושפזו (או נהרגו) בעקבות התאונה היה כ-12% בקרב ההתנגשויות במעקות הבטון וכ-10% בקרב ההתנגשויות במעקות הפלדה (הבדל לא מובהק, $p=0.65$).

בנתוני רישום הטראומה הלאומי זוהו 26 נפגעים השייכים לתאונות הנ"ל שפרטיהן נאספו מתיקי המשטרה, מתוכם 14 היו מתאונות התנגשות במעקות בטון ו-12 מתאונות התנגשות במעקות פלדה. בניתוח השוואתי של חומרת הפגיעה בקרב נפגעים אלה (ע"פ ההגדרה הרפואית) נמצא כי חומרה גבוהה יותר של הפגיעות נצפתה דווקא בקרב הנפגעים בהתנגשויות במעקות פלדה לעומת מעקות בטון. בקרב הנפגעים בהתנגשויות במעקות הפלדה היו מקרים של אשפוז ארוך במיוחד, יעדי שחרור כמו מוות או מוסד שיקומי ושהייה בטיפול נמרץ, כאשר בקרב הנפגעים בהתנגשויות במעקות הבטון לא היו מקרים כאלה. כמו כן, אחוז גבוה יותר מהפצועים עקב ההתנגשויות

במעקות הפלדה לעומת הקבוצה השנייה נפצעו בראש, בגפיים העליונות, בפנים ובחזה וכן, סבלו מפגיעות במספר אזורי הגוף.

עם זאת, במחקר נרשמו הסתייגויות לתוצאות אלה עקב מדגם קטן מאוד של המקרים המשווים על סמך רישום הטראומה הלאומי, שיטת הצלבה עקיפה של הנפגעים מרישום הטראומה עם הנפגעים מתיקי התאונות של המשטרה וכמו כן, חוסר התייחסות למשתנים מתערבים נוספים כגון: מהירות הנסיעה בזמן התנגשות במעקה, תקינות המעקה, שימוש בחגורות הבטיחות ע"י הנוסעים ברכב, וכד'.

כמו כן, במחקר צוין כי רוב ההתנגשויות במעקות הבטיחות מסתיימות בפגיעה קלה, הן ע"פ הגדרת המשטרה והן ע"פ ההגדרה הרפואית. מצב זה הביא, בין היתר, למיעוט נפגעי תאונות התנגשות במעקות הניתנים לאיתור ברישום הטראומה הלאומי.

2.2.4. בחינה ראשונה של כדאיות מעקות הבטיחות החדשים, בתנאי הארץ

בשנת 2006, ע"פ הזמנת משרד התחבורה, נערך מחקר ראשוני בנושא "בדיקת כדאיות כלכלית למשק של החלפת מעקות בטיחות ישנים במעקות החדשים (התקניים)" - גיטלמן ואחרים (2007). במחקר נערך סקר ספרות על מעקות הבטיחות, ניתוח נתוני התאונות והערכת כדאיות התקנת המעקות החדשים בעזרת תוכנת RSAP (Road Safety Analysis Program) האמריקנית אשר פותחה לצורכי בחינת הצדק להתקנת מעקות הבטיחות והמומלצת לשימוש ע"י AASHTO.

בין ממצאי המחקר היה כי:

- בכל ההנחיות המעודכנות לשימוש במעקות הבטיחות שנמצאו בספרות כגון: TD 19/06 (2006), NRA (2001), RPS (2003)⁷, RISER (2003) הדרישות למעקות הבטיחות מוגדרות במונחים של רמות תפקוד על-פי התקן החדש, כאשר התקנת המעקות צריכה להתבצע תוך כדי מתן רוחב פעיל מלא (או חלקי) למעקה בהתאם לערך שנמדד במבחני ההתנגשות. כלומר, רוב המדינות העלו את הדרישות לטיב ההתקנים המותקנים בשטח ולמרחק הפנוי בצד הדרך (לאבטחת המרווח הדרוש לרוחב הפעיל), ללא סימנים כלשהם להתלבטות מקדימה לגבי עלויות גבוהות יותר של הסדרת תנאים אלה לעומת המצב הישן.

- על פי נתוני התאונות עם נפגעים שנבחנו במחקר, סה"כ בשנים 2004-2005 לא נצפתה ירידה בשכיחות תאונות התנגשות במעקות הבטיחות, בקטעי הדרכים הלא עירוניות. עם זאת, בשנים אלה נצפתה ירידה בחומרת התאונות, כאשר חלקן היחסי של התאונות החמורות (קשות וקטלניות) הצטמצם בכ-שליש בשנים 2004-2005 לעומת 2001-2003, הן בקרב תאונות התנגשות במעקה והן בקרב תאונות התנגשות עם עצם דומם (טווחי הירידה של 29%-35% ו-33%-34%, בהתאמה). ירידה זו הייתה מובהקת הן בקרב התאונות עם כל סוגי הרכב והן בקרב התאונות עם רכב פרטי בלבד. הירידה בשיעור התאונות החמורות התקשרה עם חסכון של כ-51 מיליון ש"ח, בשנה.

⁷ ההנחיות לשימוש במעקות הבטיחות בגרמניה היו מוכרות כטיוטא משנת 2003; לאחרונה הן פורסמו כ-RPS (2009).

- כמו כן, בשנים 2004-2005 נצפתה ירידה בשכיחות תאונות רכב בודד בדרכים הלא עירוניות: ירידה של 30% (כמעט מובהקת) בתאונות עם רכב משא מעל 10 טון; מגמת ירידה בתאונות עם אוטובוסים; ירידה של 33% (מובהקת) בתאונות בכביש 65 (בו בשנים אלה בוצעו התקנות מרביות של מעקות הבטיחות החדשים). הירידה בשכיחות תאונות רכב בודד עם אוטובוסים ועם רכב משא התקשרה עם חסכון של 6-7 מיליון ₪, בשנה.

- בעקבות הערכות בעזרת תוכנת ה-RSAP האמריקנית, תוך כדי הזנת נתוני עלויות המעקות והחתיכים הטיפוסיים להצבת המעקות בארץ, עבור הדרכים החד-מסלוליות לא נמצאו תוצאות חיוביות (כדאיות כלכלית) להחלפת המעקות ישנים במעקות החדשים גם ברמות תנועה גבוהות, של יותר מ-20,000 כלי רכב ביממה.⁸

- לעומת זאת, עבור הדרכים הדו-מסלוליות התקבלו תוצאות אלה:

1) עם מדדי חומרת ההתנגשות הבסיסיים של המודל האמריקני, בכביש דו-מסלולי בו גבול המהירות המותרת הינו 100 קמ"ש ואחוז כלי רכב כבדים (משאיות + אוטובוסים) הינו 10%, החלפת המעקות הישנים במעקות החדשים מוצדקת ברמות תנועה שמעל 40,000 כלי רכב ביממה.

2) כאשר מתקנים את מדדי חומרת הנזק בעקבות התאונה בהוספה של 30% (בהתחשב בכך שכלי הרכב הקלים בישראל פגיעים יותר מאלו שבארה"ב⁹), סף הכדאיות להחלפת המעקות יורד ל-30,000 כלי רכב ביממה.

3) ניתוח ע"פ אחוז כלי הרכב הכבדים הצביע על כך שעם עליית אחוז זה עולה כדאיות החלפת המעקות. מעל 15% כלי רכב כבדים סף הכדאיות נמוך משמעותית ויכול להגיע אף לכביש בו התנועה הינה 20,000 כלי רכב ביממה.

4) להגדלת המהירות המותרת או, לחילופין, להתחשבות בכך שמהירות הנסיעה של הנהגים הינה גבוהה מהמותר, לדוגמא 110 קמ"ש במקום 100 קמ"ש, יורד סף הכדאיות אף לכבישים בהם התנועה הינה 25,000 כלי רכב ביממה.

על בסיס תוצאות הניתוח של כדאיות החלפת המעקות הישנים במעקות החדשים באמצעות תוכנת ה-RSAP במחקר הנ"ל התקבלו מסקנות אלה:

- החלפת המעקות הישנים במעקות החדשים כדאית בכבישים דו-מסלוליים ברמות תנועה של למעלה מ-25,000 כלי רכב ביממה שבהם מהירויות הנסיעה הן 100 קמ"ש ויותר (זאת, בתנאי השוואה בין מעקה פלדה ישן מסוג W לבין מעקה חדש ברמת תפקוד H1);

- בכבישים הדו-מסלוליים בהם נפח התנועה נמוך מ-25,000 כלי רכב ביממה החלפת המעקות נמצאה ככדאית כאשר אחוז כלי רכב כבדים היה גבוה מ-10%.

⁸ הניתוח נעשה עבור מעבר ממעקה TL2 למעקה TL3.

⁹ הנחה זו התבססה על מבנה צי הרכב בישראל הדומה יותר לזה שבאירופה בה משקלה הממוצע של מכונית פרטית הינו 1.5 טון לעומת 2.0 טון בארה"ב - מצב זה בא לידי ביטוי בתקן האירופי EN 1317 (גרסאות 1998, 2006) ובמסמך האמריקני NCHRP 350.

שתי מסקנות אלה למעשה תמכו בדרישות של ההנחיות הקיימות לשימוש במעקות הבטיחות בישראל (2005).

2.2.5. בחינת הקשר בין ערכי הסף של תקן EN 1317 וחומרת הפגיעה בתאונות התנגשות

במעקה

Sturt and Fell (2009) בחנו ערכים של המשתנים השונים שערכי הסף שלהם מוגדרים בתקן האירופי EN 1317, ביחד עם ערכים אחרים המעידים על חומרת הפגיעה בנוסעי הרכב, בהתנגשויות של רכב קל במעקה בטון קשיח. המעקה שנבחן היה מסוג Step. הרכב שנבחן בהתנגשויות היה מסוג Suzuki Swift שהשימוש בו נפוץ במבחני התנגשות של רכב קל לצורך בדיקות לעמידה בתקן EN 1317. בובת הנהג הייתה בובת ניסוי מסוג Hybrid III.

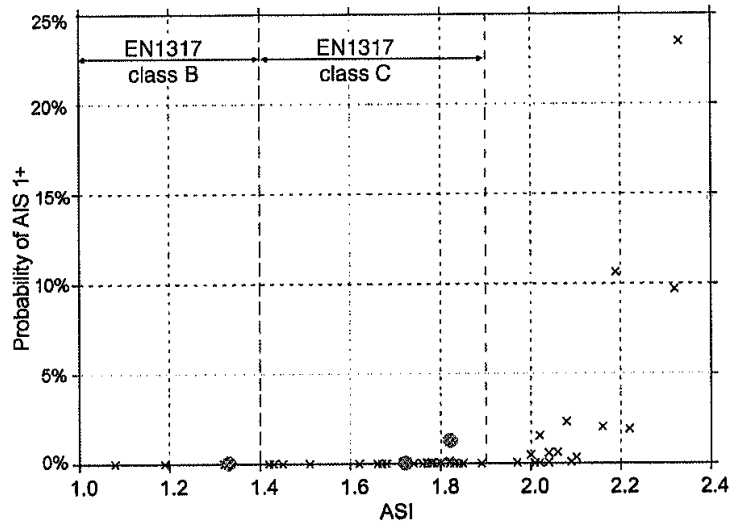
הניסויים כללו שלושה ניסויי שדה בהם מהירויות ההתנגשות היו 109-113 קמ"ש וזוויות הפגיעה במעקה היו 15-20 מעלות. בעזרת נתוני ניסויי השדה כויל מודל ממוחשב לא לינארי דינמי של אלמנטים סופיים (LS-DYNA), אשר הכיל 198,284 חלקי רכב, 89,953 חלקי בובת ניסוי ומעקה שהוגדר כקשיח. באמצעות המודל בוצעו 47 ניסויי התנגשות נוספים, עם הנתונים השונים: מהירויות התנגשות של 90-150 קמ"ש, זוויות פגיעה של 10-25 מעלות, קשיחות רכב המשתנה בגבולות של תוספת/הפחתה פי 1.5, תנוחות נהג שונות לפני ההתנגשות, חגירה ואי חגירה של חגורות הבטיחות.

לכל התנגשות חושבו הערכים של ASI והערכים של THIV הנדרשים לצורך בחינת המעקה על פי התקן האירופי EN 1317. בנוסף, בהתנגשויות אלה נבדקו פגיעות בחזה, באגן ובבטן של בובת הניסוי, ומהירויות של ראש הבובה בכל הכוונים. חומרת הפגיעה בבובת הניסוי חושבה במספר שיטות, לרבות הערכת ערך ה-HIC (Head Injury Criterion) - קריטריון פגיעת ראש וההסתברות לפגיעה בצוואר ($AI \geq 1$).

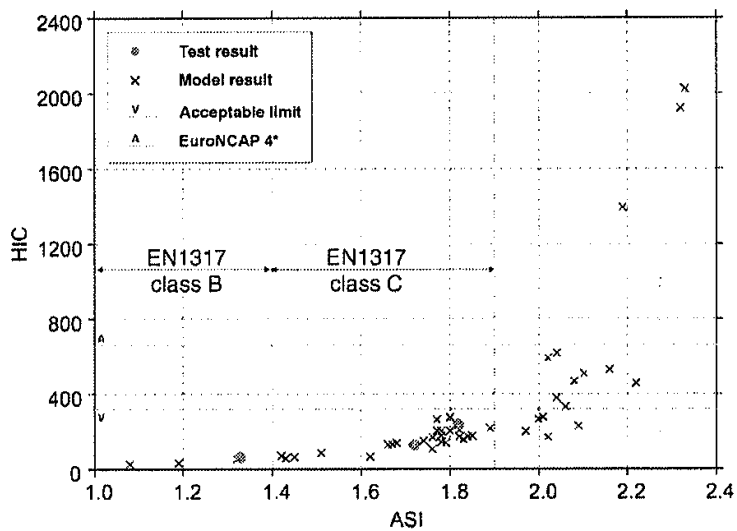
ע"פ התוצאות, בכל המבחנים, נמדדו ערכי ASI בטווח 1.1-2.3 וערכי THIV בטווח 15-42 קמ"ש. בניתוח הממצאים נמצא קשר בין פגיעות ראש וצוואר הנהג (ערך ה-HIC ו-ההסתברות ל- $AI \geq 1$) לבין חומרת התאונה שמבוטאת באמצעות ערכי ASI וערכי THIV. ציור 2.1 מציג, לדוגמא, את מדדי חומרת הפגיעה שמוצבים מול ערכי ASI.

ע"פ הממצאים, פגיעות הצוואר והראש בתחום המקובל (לא פגיעות חמורות) נמצאו בתאונות עם ערכי ASI מתחת ל-2.0 וערכי THIV מתחת ל-35 קמ"ש. בכל התנאים שנבדקו, לא נגרמו פגיעות אגן ובטן מעבר למקובל. תאונות שגרמו לפגיעה החמורה היו עם ערכי ASI מעל 2.0 ועם ערכי THIV מעל 38 קמ"ש, שהינם ערכים גבוהים יותר מהספים המותרים לחומרת הפגיעה במבחני התנגשות במעקות הבטיחות על פי התקן EN 1317.

במילים אחרות, ע"פ ממצאי המחקר לא נמצא הבדל מהותי בין חומרת הפגיעה בערכי ASI השייכים לרמה B (עד 1.4) לבין הערכים השייכים לרמה C (עד 1.9) לפי התקן האירופי. לפי ממצאי מחקר זה, חומרת הפגיעה עולה משמעותית כאשר ערך ה-ASI עולה על הגבול העליון שנקבע בתקן - מעל 2.0.



א - הצגת ערכי ה-ASI מול ההסתברות לפגיעה בצוואר



ב - הצגת ערכי ה-ASI מול קריטריון פגיעת ראש (HIC)

ציור 2.1. בחינת מדדי חומרת הפגיעה לעומת ערכי ה-ASI.

Figure 2.1. Examination of the crash severity indices versus ASI values.

2.2.6. מבחני התנגשות של רכב קל בזווית פגיעה גדולה

במחקר שנערך ע"י BAST (2009) בוצעו מבחני התנגשות הדומים למבחן TB11 לפי התקן האירופי EN 1317, בשני סוגי מעקות. במבחנים אלה כלי הרכב היו קלים במשקל 900 ק"ג, מהירות התנגשות - 100 קמ"ש. השוני ביחס למבחן הרגיל TB11, היה בזווית הפגיעה: במקום 20 מעלות הזווית במבחנים הייתה 45 מעלות. ההתנגשויות נערכו במעקות בטיחות משני סוגים: מעקה בטון יצוק מסוג STEP ומעקה פלדה מסוג Super-Rail.

בהתנגשות במעקה הבטון התקבלו התוצאות הבאות:

ערך ה-ASI במרכז הכובד - 3.72; ערך ה-ASI לפי החיישנים המותקנים בתעלת הרכב, נמוך מהערך שנמדד במרכז הכובד - 2.6; THIV - 59.3 קמ"ש; PHD - 33.4 g.

בהתנגשות במעקה הפלדה מסוג Super-Rail התקבלו התוצאות הבאות:

ערך ה-ASI במרכז הכובד - 2.31; ערך ה-ASI לפי החיישנים המותקנים בתעלת הרכב, נמוך מהערך שנמדד במרכז הכובד - 1.9; THIV - 58.2 קמ"ש; PHD - 34.5 g.

תוצאות מבחני ההתנגשות הראו שבשני המקרים המעקות לא נפרצו על ידי כלי הרכב. עם זאת, כפי שניתן לראות במדדי החומרה שהוצגו לעיל, בשני מבחני ההתנגשות לנהגים לא היה סיכוי לשרוד את הפגיעה.

2.3. הערכות כמותיות לביסוס הצדקים לשימוש במעקות הבטיחות

הצורך בהתקנת מעקה הבטיחות נובע, לרוב, מחוסר אפשרות לקיים את אזור המפלט לרכב. אזור המפלט הנו רצועת שטח נקייה ממכשולים המקבילה למיסעה, שתחילתה בקצה המיסעה, הכוללת את שולי הדרך ומדרון מתון, והמאפשרת לנהג הרכב שסטה מנתיבו לבלום או להאט ללא תאונה בתוך רצועת שטח זו (מע"צ, 1994; הנחיות, 2005).

קיום אזור המפלט והתקנת מעקה בטיחות הן שתי דרכים אפשריות לאבטחת תנאי דרך סלחניים. גישת התכן הסלחני מוכרת בעולם החל משנות ה-70 אך יישומה הנרחב החל במדינות מערב אירופה ובארה"ב בעיקר בעשור האחרון (AASHTO, 2002; RISER, 2003). מטרתה של גישה זו הינה 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.

לכן, במסגרת בחינת הדרישות הנלוות להתקנת מעקות הבטיחות, דהיינו דרישות החתך לרוחב להתקנה ותפקוד המעקה ועלויות ההתקנים, יש מקום לבצע השוואה עם דרישות חלופיות – דרישות חתך הדרך לקיום אזור המפלט. בכל המדינות בהן נכתבו ההנחיות לתכן צדי הדרך, כאשר אזור המפלט מתקיים, אין צורך בהתקנת מעקה; ולהפך, אי קיום של תנאי אזור המפלט מחייב התקנה של מעקה בטיחות (SAFESTAR, 1998; RISER, 2003).

על פי AASHTO (2002), הערך הנפוץ לרוחב אזור המפלט במילוי הוא כ-9 מ' (כולל שוליים), כאשר במקרים של מהירויות תכן גבוהות ושיפועים תלולים יחסית (בין 1:4 ל-1:5) מומלץ להגדיל את הרוחב עד ל-14-11 מ'.

דו"ח SAFESTAR (1998) מביא סיכום לערכי רוחב אזור המפלט שהתקבלו בסקר שנערך במדינות אירופה (טבלה 2.5). לדוגמא, בגרמניה, בדרכים מהירות, בקטעים עם רדיוס אופקי גדול (מעל 1.500 מ'), הדרישה לרוחב אזור המפלט הינה 6, 8 ו-10 מ', לשיפוע מתון (עד 1:8), בינוני (בין 1:8 ל-1:5) ותלול (5:1 או חזק יותר) בהתאמה. אותם הערכים יהיו 10, 12, ו-14 מ', בהתאמה, כאשר אזור סיכון גבוה נמצא למרגלות המדרון (כגון: מים עמוקים). בקטעים עם רדיוסים קטנים יותר (עד 1.500 מ'), מומלץ להוסיף 4 מ' למרחקים הנ"ל הרגילים ו-2 מ' במקרים של אזור סיכון גבוה. בדרכים ללא הפרדה בין כיווני הנסיעה, הדרישה הבסיסית לרוחב אזור המפלט תהיה 4.5, 6

8-1 מ' בהתאמה, אך היא עולה לערכים של 7.5, 9 ו-12 מ' ליד אזור סיכון גבוה ולערכים גבוהים עוד יותר כאשר מדובר בקטעים עם רדיוסים קטנים (עד 500 מ').

טבלה 2.5. דרישות לרוחב אזור המפלט, במדינות השונות. מקור: SAFESTAR (1998). מתבסס על תשובה לשאלה: "מהו רוחב אזור המפלט שאינו מחייב הצבה של מעקה בטיחות?"

Table 2.5. Obstacle-free zone's width requirements in different countries. Source: SAFESTAR (1998).

Country	Motorway: width obstacle free-zone (m)	Express roads: width obstacle free-zone (m)
Belgium Wallonia	4.5	3.75
Czech Republic	4.5	4.5
Denmark ¹⁾	9	3 (9 m if $v \geq 90$ km/h)
Germany	6 (10 if dangerous zone)	4.5 (7.5 if dangerous zone)
Greece	9 (19 near railway roads)	9 (19 near railway roads)
Finland	7	5.5 - 6.5
France	10	8.5
Netherlands	10 (if $v=120$ km/h: 13 m)	6
Norway	6 (if ADT $\geq 15,000$)	5 (if ADT is high)
Portugal	3.5	3.5
Sweden	10 (if $v = 110$ km/h) 9 (if $v = 90$ km/h) 7 (if $v = 70$ km/h)	10 (if $v = 110$ km/h) 9 (if $v = 90$ km/h) 7 (if $v = 70$ km/h)
Switzerland	12.5	5
United Kingdom	4.5	4.5

1) In Denmark, the width is in discussion as a result of an audit concerning the design of the roadside as example. The intension is that the process will be based on effectiveness studies.

בשווייץ, משתמשים בגרף המקשר בין גובה המדרון והצורך בהצבת מעקה הבטיחות. בדרכים מהירות, הפרמטרים משתנים משול שטוח עם אזור חופשי ממכשולים ברוחב של 12.5 מ', עד הסוללה בגובה 10 מ' עם אזור חופשי ממכשולים ברוחב 27.5 מ'. בדרכים ללא הפרדה בין כיווני הנסיעה, אותו המרווח משתנה מ-5 מ' עם שוליים שטוחים עד 20 מ' כאשר גובה הסוללה הוא 7 מ'. (בדיווח אין התייחסות לשיפוע המדרון).

כסיכום לניסיון האירופי SAFESTAR (1998) מציע לבחור 9 מ' כמינימום זמני לרוחב אזור המפלט בדרכים מופרדות (6 מ' בדרכים חד-מסלוליות) ובהמשך לחקור יותר לעומק את חומרת התאונות בגבול זה, דהיינו בקטעים עם קיום אזור המפלט לעומת המוגנים על ידי מעקות הבטיחות. בנוסף, במקרים בהם מתקיים אזור המפלט ברוחב 9 מ' אך מעבר לאזור זה נמצא אזור סיכון גבוה, מומלץ להתקין מעקה בטיחות. יש לציין כי טווח הערכים לרוחב אזור המפלט המובא ע"י SAFESTAR (1998) דומה לזה שמוצג ע"י AASHTO האמריקאי. בהנחיות הישראליות (הנחיות, 2005) אומצה גישה דומה.

בפרויקט עדכני יותר - RISER (2003), נערכה סקירה של הדרישות לרוחב אזור המפלט במספר מדינות אירופה. נמצא כי בדרכים עם המהירות המותרת של 90 קמ"ש או יותר, הדרישה לרוחב אזור המפלט תהיה 7-10 מ' בצרפת, 7 מ' בפינלנד, 9-10 מ' בשוודיה, 8-13 מ' בהולנד. מכאן, אי שימוש במעקות הבטיחות תוך כדי השאיפה לאבטחת תנאי דרך סלחניים, היה מחייב את הרחבת צד הדרך באמצעות שטח אופקי ברוחב 7-14 מ' (כולל שול, בדרכים דו-מסלוליות). ברור כי לתוספת שטח כזו קיימת משמעות כלכלית כבדה.

2.4. בחינת הכדאיות הכלכלית של מעקות הבטיחות

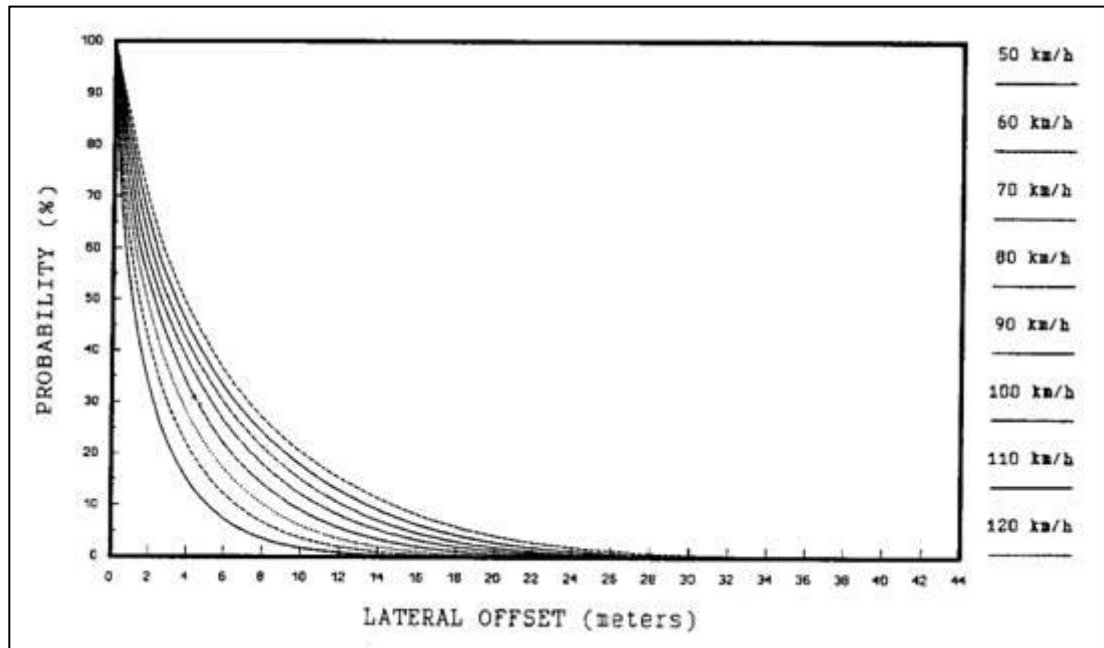
2.4.1. מודלים להערכת הכדאיות הכלכלית של הצבת מעקה באתר מסוים - ארה"ב

בהנחיות האמריקאיות AASHTO (2002), בדומה לגרסתן הקודמות, מומלץ לבצע הערכה כלכלית של כדאיות ההשקעה בתנאים בטיחותיים של צדי הדרך: באבטחת אזור המפלט לעומת הצבת מעקה הבטיחות. לבחינת היחס תועלת/עלות של ההשקעה פותחה תוכנת מחשב הידועה בשם ROADSIDE. מרכיב העלות ביחס זה כולל עלויות הבניה והתחזוקה של צדי הדרך/המעקה; העלויות מוערכות ע"י רשות הדרך. התועלת הנה עלות התאונות הנחסכות הודות לשינוי במאפייני הדרך/הצבת המעקה. הערכת הכדאיות מבוצעת לאורך שנות חיי הפרויקט.

מידע הנדרש להערכת התועלת כולל מספר כלי הרכב אשר עלולים לסטות מנתיב נסיעתם ולעזוב את שטח הדרך, מאפייני חתך הדרך ועלות התאונות. מספר כלי הרכב העלולים לסטות הצידה מוערך על פי שיעור האירועים מסוג זה ברשת הדרכים (זהו נתון אמפירי, כגון: 0.0003 עזיבות לק"מ דרך/שנה/ כלי רכב ביממה, לפי AASHTO, 1996), נפח התנועה בקטע דרך, מהירות הנסיעה של כלי הרכב, זווית עזיבת הדרך ע"י כלי הרכב והרכב התנועה. בנוסף, בהערכת ההסתברות לתאונה בעקבות עזיבת הדרך, נלקחים בחשבון מאפיינים גיאומטריים של הדרך (כגון: רדיוס העקום, שיפוע אורכי, מספר הנתיבים בכיוון הנסיעה, רוחב הנתיב) ומאפיינים גיאומטריים ומיקומו של מכשול קשיח שבו הרכב עלול להתנגש. עלויות התאונות מוערכות באמצעות מדדי חומרה, כאשר חומרת התאונה באתר הנבחן תלויה בסוג הרכב המתנגש, מהירות ההתנגשות, זווית ההתנגשות וקשיחות העצם שבו מתנגש הרכב. כל מדד חומרה, המשתנה מ-0 עד 10, תואם שילוב מסוים של סוגי התאונות לפי רמות החומרה, דהיינו של תאונות נזק בלבד והתאונות עם נפגעים באורח קל, בינוני, קשה וקטלני. מכאן, נוצר ערך מונטרי של מרכיב התועלת אשר משתווה עם מרכיב העלות של התקנת מעקה הבטיחות/ הסדרת צדי הדרך.

אחת מאבני היסוד של המודל היא הערכת ההסתברות של עזיבת הדרך ע"י כלי רכב עד למרחק מסוים (lateral offset), בתלות במהירות התכן של הדרך. בהקשר זה, AASHTO (1996) הסתמך עם מערכת הקשרים כמוצג בציוור 2.2. לדוגמה, במהירות התכן של 80 קמ"ש ההסתברות שכלי רכב יגיע עד למרחק של 9 מטר הנה כ-9% בלבד. זאת, כאשר במרחק של 4 מטר ההסתברות זו הנה כ-30%. מרחק הגעה מרבי של הרכב (שבו ההסתברות שווה ל-0) משתנה מ-20 מטר (במהירות תכן של 50 קמ"ש) עד 41 מטר (במהירות תכן של 120 קמ"ש). המרחקים הנ"ל הם כמובן טעוני תיקון בתלות בהרכב התנועה, רדיוס עקום הדרך ועוד. יש לציין כי מרחקי סטייה אלה הנבחנים מול ההסתברויות המתאימות שימשו בהחלטות מעשיות של רשויות הדרך לקביעת רוחב בטיחותי רצוי של אזור המפלט.

בסוף שנות ה-90, פותחה גרסה מתקדמת של תוכנת ROADSIDE הנקראת RSAP (Road Safety Analysis Program) אשר מומלצת כיום ע"י AASHTO (2002). תוכנת RSAP מחשבת את אותו היחס תועלת/עלות מהצבת מעקה הבטיחות או אמצעי ריסון אחר בתנאי אתר מסוים אך היא מתייחסת למגוון רחב יותר של אמצעי הריסון וכוללת שיפורים ניכרים בתוך המודל לחיזוי התאונות (Mak et al, 1998). סוגי אמצעי הריסון הניתנים לבחינה באמצעות התוכנה כוללים מעקות אורכיים טיפוסיים, סופגי אנרגיה, מתקני קצה ואמצעים אחרים הנפוצים בשטח.



ציור 2.2. הסתברות לעזיבת הדרך ע"י כלי רכב עד למרחק מסוים (lateral offset) בתלות במהירות התכן של הדרך.

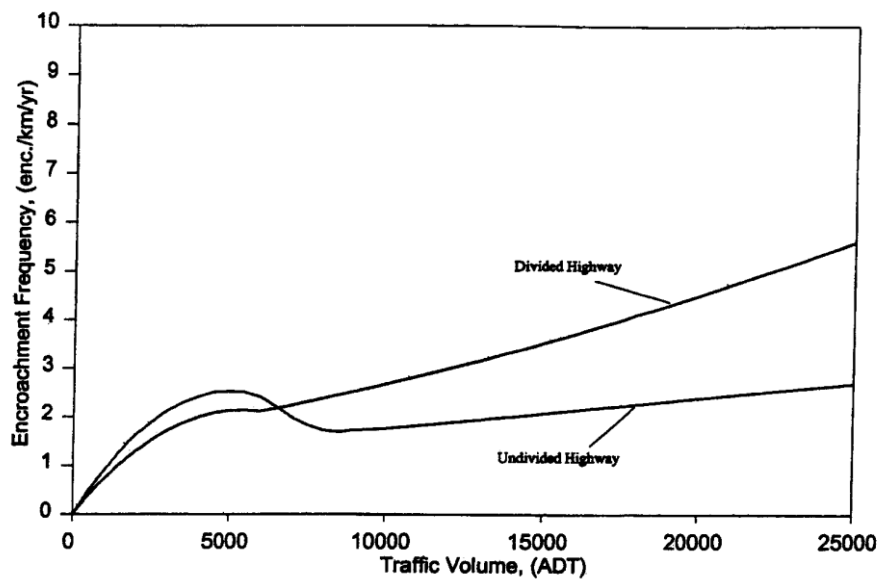
Figure 2.2. A probability of leaving the road by vehicles to lateral offset depending on road design speed.

במסגרת תוכנת RSAP, בוצע שיפור המודל לחיזוי התאונות, כלהלן: שיעור אירועי עזיבת הדרך ע"י כלי רכב אינו קבוע אלא מתבסס על נתונים אמפיריים שנאספו ע"י Cooper (1980). על סמך נתונים אלה נבנה קשר סטטיסטי בין נפח התנועה, סוג הדרך ושכיחות אירועי עזיבת הדרך כמוצג בציור 2.3, אי. על סמך אותו הבסיס, הוערכו מרחקי הגעת כלי הרכב בצד הדרך, לשני סוגי הדרכים, מופרדות ולא מופרדות, כמוצג בציור 2.3, בי. קשר המוצג בציור 2.3, בי, הנו אחוז כלי הרכב אשר יסטה הצידה מעל למרחק מסוים; זוהי למעשה גרסה מתוקנת של הקשר המוצג בציור 2.2. התיקון נבע מכך שבמקום מהירות תכן קבועה ששימשה בעבר, בהערכת הסתברויות האירועים הפעם משמשים נתונים אמיתיים של מהירויות הנסיעה בפועל, זוויות עזיבת הדרך וכיווני נסיעת כלי הרכב כפי שנצפו בתאונות בשטח.

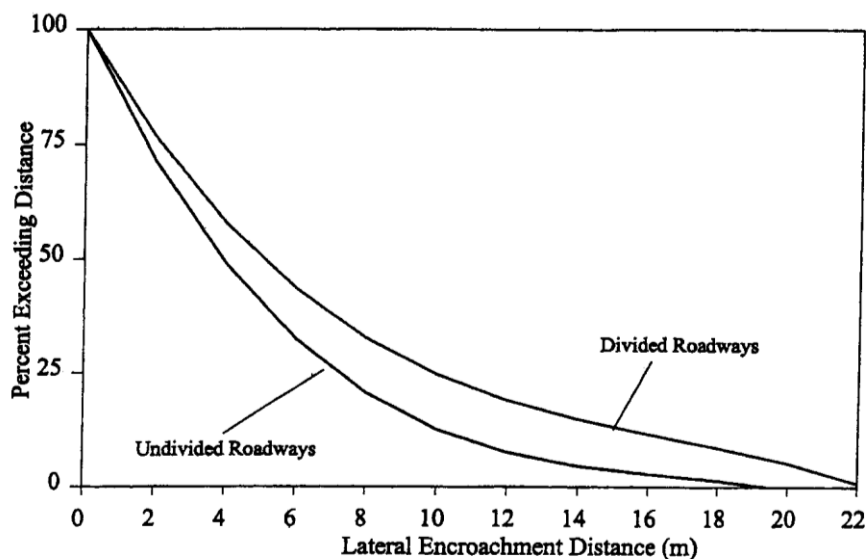
בנוסף, ה-RSAP מאפשרת לבצע חישובים לגבי 12 סוגי כלי הרכב, במקום סוג אחד ב-ROADSIDE; חומרת התאונה מוערכת כפונקציה של מהירות ההתנגשות כאשר מהירות

ההתנגשות וזווית ההתנגשות במכשול נלמדו גם כן מהתאונות שהתרחשו בשטח (לעומת ערכים ממוצעים בגרסא הקודמת).

הערכת ההסתברות לתאונה בעקבות עזיבת הדרך ע"י כלי רכב מתבצעת באמצעות הדמיה בשיטת מונטה-קרלו (לעומת מודל דטרמיניסטי שהיה ב-ROADSIDE). כל אירוע של עזיבת הדרך ממודל ב-RSAP על סמך פרמטרים אקראיים של מיקום נקודת העזיבה בדרך, נתיב הנסיעה, כיוון העזיבה, סוג הרכב, מהירות וזווית הרכב, כיוון נסיעת הרכב ומרחק סטיה צדית של הרכב. בכל מקרה כזה, מסלול התקדמות הרכב משתווה עם אזור ההתנגשות (impact envelope) כאשר שניהם תלויים בזווית עזיבת הדרך ובממדי הפיסיים של הרכב. לאחר מכן, נבדקת אפשרות להימצאות מכשול קשיח בתוך אזור ההתנגשות.



א - קשר סטטיסטי בין נפח התנועה ושכיחות אירועי עזיבת הדרך



ב - אחוז כלי הרכב שיעברו מרחק מסוים בצד הדרך, בעקבות עזיבת הדרך
ציור 2.3. עדכון המודל לחיזוי תאונות עזיבת הדרך.

Figure 2.3. Leaving the road accident prediction model's update.

סה"כ, תוכנת RSAP מאפשרת לבצע הערכות תועלת-עלות למגוון פתרונות חלופיים ביחס לאתר מסוים. לדוגמא, ניתן להשוות בין כדאיות ההתקנה של סוגי מעקות שונים. יחד עם זאת, יוצרי התוכנה לא ביצעו הכללות הממצאים ולא דנים בסוגי המעקות המתאימים יותר לתנאי שטח מסוימים.

Khasnabis et al (1999) בחנו תוצאות הערכה באמצעות התוכנה RSAP על מספר מקרים אמיתיים כגון: השוואה בין חלופות טיפול אפשריות לצורכי מיגון ניצני הגשר במפרדה של דרך מהירה, בשטח עירוני ובינעירוני, ושיפור בטיחותי של מפרדה צרה בדרך בינעירונית. לכל מקרה, נבנו מספר חלופות טיפול אשר כללו התקנת מעקה בטיחות עם פתרונות קצה שונים (מתקני קצה, סופגי אנרגיה) או התקנת מעקה עם פתרונות קצה בשילוב מיתון השיפועים במפרדה. לאפיון אתרי הטיפול, שימשו הנתונים על אורך הקטע, נפח תנועה יומי, אחוז המשאיות בתנועה, החתך הגיאומטרי, גודל ומיקום המכשולים. לכל חלופה טיפולית הוצגו הערכות עלות הכוללות השקעה התחלתית ועלות תחזוקה שנתית.

תוצאות ההערכה התקבלו בצורת היחס תועלת-עלות, לכל חלופה נבחנת. בנוסף, בוצע ניתוח רגישות של התוצאות, בהתאם לשינויים בשיעור הריבית להיוון (8% לעומת 10%, 15% ו-20%), שיעור משאיות בתנועה (5% לעומת 10%, 15%, 20%, 25%), עלות התאונות ושיעור גידול שנתי בנפח התנועה (0% לעומת 2% ו-5%). לערכי עלות התאונות שימשו שלוש חלופות: הערכים לפי AASHTO (1996), הערכים המקיפים לפי FHWA (שמתבססים על שיטת הנכונות לשלם) וערכי ה-50% של ערכי AASHTO (1996).

נמצא כי תוצאות ההערכה באמצעות ה-RSAP רגישות יותר לשינויים במאפיינים של אורך הקטע לטיפול, שיעור הריבית להיוון, עלות התאונות ושיעור הגידול בתנועה. בין החסרונות של כלי הערכה זה צוינו: חוסר אפשרות להתבסס על נתוני התאונות בפועל; המגמה להערכת יתר של מספר התאונות הצפוי באתר וכתוצאה מכך, של מספר התאונות הנחסך בעקבות הטיפול; אי התחשבות בהשפעת הטיפול על סוגים אחרים של תאונות, פרט לתאונות רכב יחיד. סה"כ, תוכנת ה-RSAP נמצאה ככלי הערכה יעיל לביצוע הערכה כלכלית השוואתית של החלופות לטיפול בטיחותי בצדי הדרך (Khasnabis et al, 1999).

לגבי הצורך בהתקנת מעקה הבטיחות במפרדה, ההנחיה הכללית (AASHTO, 2002) מחייבת את התקנת המעקה במפרדה ברוחב עד 10 מ' כאשר נפח התנועה בדרך עולה על 20 אלף כלי רכב ביממה; במפרדה ברוחב 10-15 מ' התקנת המעקה אופציונלית, לרוב בתלות בשכיחות תאונות חציית המפרדה שנצפו בשטח. יחד עם זאת, מדינות שונות בארה"ב המשיכו בפיתוח ההצדק, בהתבסס על נתוני התאונות וניתוח כלכלי. לדוגמא, במדינת קליפורניה בוצעו הערכות הקשר בין רוחב המפרדה ושכיחות התאונות ונקבע כי ההצדק להתקנת מעקה במפרדה קיים כאשר נצפו 0.50 תאונות חציית מפרדה למייל בשנה (ברמת חומרה כלשהי) או 0.12 תאונות קטלניות (Donnell et al, 2002). הערכות תועלת-עלות בהקשר זה הוכיחו כי ההצדק להתקנת המעקה קיים במפרדה ברוחב עד 22.9 מ', בקטעים עם נפחי תנועה גבוהים מאוד (60-120 אלף כלי רכב ביממה).

2.4.2. מודל להערכת הכדאיות הכלכלית של הצבת מעקות - אנגליה

התקן האנגלי TD 19/06 (2006) קובע דרישות ונהלים לשימוש במעקות הבטיחות. בטרם תחילת תהליך תכנון המעקות התקן דורש לבצע השוואה כלכלית בין החלופות האפשריות להורדת רמת הסיכון באתר המיועד לטיפול. בין החלופות המשוות יכולות להיות: הרחקה/ העברה/ שינוי מבנה המכשול לעומת התקנת מעקה/ שינוי חתך הדרך/ הגבלת מהירויות הנסיעה בקטע דרך. בדיקת החלופות צריכה להתבצע באמצעות התהליך של RRRAP (Road Restraint Risk Assessment Process), אשר כולל הזנת נתונים מפורטים והפעלת תוכנה סטנדרטית.

רמת הסיכון באתר נאמדת כמכפלה של ההסתברות להתנגשות הרכב במכשול וההשלכות של התנגשות זו (רמת החומרה, בתלות במהירות הרכב וקשיחות המכשול). כבסיס לאומדנים אלה צריכים לשמש הנתונים הסטטיסטיים של התאונות והשיפוט המקצועי של מבצעי הבדיקה. רמת הסיכון המסכמת של מכשול מסוים צריכה להוות סיכום משוקלל לפי סוגי הרכב בהרכב התנועה בדרך.

לכל חלופה אפשרית, מחושב היחס תועלת-עלות המבטא את החיסכון בעלות התאונות לעומת עלויות הביצוע והתחזוקה של השיפור. למעקות הבטיחות, העלות צריכה להיות עלות ממוצעת שנתית למטר התקנה ותחזוקה של המעקה (עלויות ברירת המחדל לרמות תפקוד N_2 , H_2/H_1 , H_4a נמצאות בתוך התוכנה). החישוב הבסיסי נערך עבור רמת התפקוד N_2 , לפי האופק הכלכלי של 20 שנה.

יצוין כי התקן האנגלי TD 19/06 מחייב שימוש במעקות החדשים במסגרת סלילת דרכים חדשות ובתוכניות שדרוג/ תחזוקה של הדרכים הקיימות. עם זאת, התקן אינו מעלה את שאלות הכדאיות הכלכלית של החלפת המעקות הישנים במעקות החדשים.

2.4.3. הצדק כלכלי להתקנת מעקה בטיחות בנורבגיה

Elvik ביצע הערכות תועלת-עלות של שיפורי תשתית שונים בנורבגיה (מדווח ב-Elvik & Vaa, 2004¹⁰). אומדני עלות המעקות ששימשו בהערכה זו היו כמוצג בטבלה 2.6. נמצא כי התקנת מעקה על גבי סוללה כדאית כאשר נפח התנועה בדרך עולה על 3000 כלי רכב ביממה. בדרך עם נפח תנועה נמוך יותר מספר התאונות הצפוי לקילומטר דרך יהיה מועט מדי כדי להצדיק את ההשקעה.

התקנת המעקה למניעת תאונות התנגשות חזיתית בדרך לא מחולקת כדאית כאשר נפח התנועה היומי עולה על 5000 כלי רכב.

¹⁰ מוצג גם בגרסא המעודכנת של הספר - Elvik et al (2009)

טבלה 2.6. אומדני עלות המעקות: נתונים נורבגיים (מובא ב- Elvik & Vaa, 2004)

Table 2.6. Barriers costs' assessment: Norwegian data (sited in Elvik & Vaa, 2004)

Type of guardrail	Unit cost: 1 km	
	Investment	Annual maintenance
Steel, 4 m between poles, no blocking	250,000	7,500-15,000
Steel, 4 m between poles, blocking	280,000	8,000-16,000
Steel, 2 m between poles, no blocking	350,000	10,000-20,000
Steel, 2 m between poles, blocking	400,000	12,000-24,000
Concrete	750,000	25,000-50,000
Wire	300,000	20,000-40,000

2.4.4. מודל לתכנון השקעה במעקות בטיחות

Lambert et al (2003) פיתחו שיטה חלופית לתכנון השקעה במעקות הבטיחות באזור מסוים. השיטה מאפשרת לבנות סדר עדיפויות לטיפול באתרים, ללא שימוש בנתוני התאונות וללא חישובי היחס תועלת-עלות. הניתוח מבוצע בשיטת הבחינה המשולבת של מספר קריטריונים (multi-criteria analysis). כבסיס לאפיון האתרים להתקנת מעקות הבטיחות משמשים נתונים מסקירה מקיפה של רשת הדרכים, כאשר כל אתר מאופיין במונחים של סוגי הסכנות שנצפו בצדי הדרך, אורך הקטע הדורש מיגון ונפח התנועה בדרך. הסכנות שנצפו ממוינות באמצעות רמות החומרה כמוצג בטבלה 2.7.

טבלה 2.7. סקאלה לאפיון רמות חומרת הסכנות באתרים הנבחנו. לפי: Lambert et al (2003)

Table 2.7. Scale to characterize hazard severity levels in the sites examined. According to: Lambert et al (2003)

Severity scale used to characterize the severity of an unprotected hazard at the candidate site

8-10	Permanent water hazards consisting of more than 0.61 m of depth, slope ratio much greater than 2:1 (indicating a high potential for vehicle rollover), fixed objects that present a clear danger to occupants of vehicles (such as the blunt "spear" ends of substandard guardrails), or areas of incidence include high potential for loss of life or property
6-8	Water hazards that could potentially reach heights of over 0.61 m during periods of flooding slope ratio higher than 2:1, potential dangerous fixed objects (such as improperly mounted guardrails or a substantial number of trees with diameters >0.1 m)
4-6	Slope ratio about 2:1 (marginal possibility for vehicle rollover), a small number of trees with diameters >0.1 m)
2-4	Slope ratio less than 2:1, few fixed objects (such as trees with diameter >0.1 m)
0-2	Area has a slope that is not likely to have vehicle rollovers occur, guardrails placed here will likely pose more of a hazard than do existing conditions, recovery zone adequate

אתרים המשתתפים בדירוג מאופיינים באמצעות הקריטריונים הבאים:

1. מספר הקילומטרים המיועדים למיגון,
2. ניקוד מסכם של רמת החומרה המיועדת למיגון,
3. מספר קילומטר-רכב המיועדים למיגון (למעשה, המכפלה של קריטריון 1 ו-נפח תנועה יומי),
4. מספר הקילומטרים המיועדים למיגון בשילוב רמת החומרה (המכפלה של קריטריון 1 ו-קריטריון 2),
5. מספר קילומטר רכב המיועדים למיגון בשילוב רמת החומרה (המכפלה של קריטריון 3 וקריטריון 2),
6. עלות הטיפול.

הדגמת המאפיינים של 10 אתרים על פי הקריטריונים הנ"ל מובאת בטבלה 2.8.

טבלה 2.8. דוגמה לאפיון אתרים באמצעות הקריטריונים המוצעים. לפי: Lambert et al (2003).

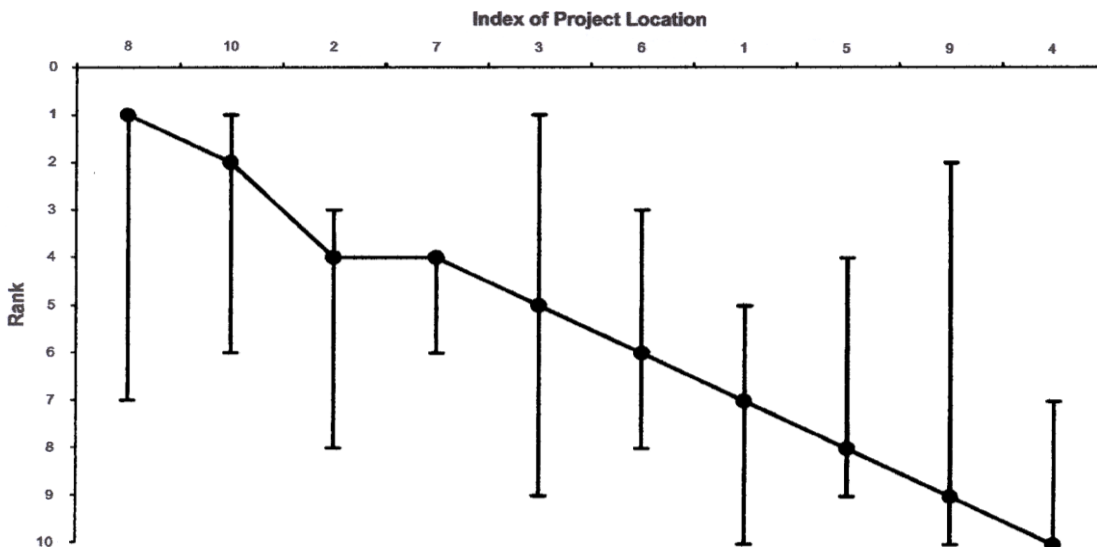
Table 2.8. Example of sites' characteristics by proposed criteria. Source: Lambert et al (2003)

Data for individual hazard sites along a corridor of interest				Derived factors for individual hazard sites along a corridor of interest			
Location	Length-of-need (km)	Severity of obstacle, slope, curvature, etc.	ADT (vehicles per day)	Location	Vehicle-kilometers-protected	Severity-kilometers-protected	Severity-vehicle-kilometers-protected
L1	0.061	4	258	L1	15.8	0.24	62.9
L2	0.098	9	258	L2	25.6	0.89	230.0
L3	0.045	8	782	L3	35.7	0.37	286.0
L4	0.061	1	485	L4	29.6	0.06	29.6
L5	0.092	2	485	L5	44.4	0.18	88.7
L6	0.153	3	485	L6	73.9	0.45	221.8
L7	0.076	6	485	L7	37.0	0.45	221.8
L8	0.518	9	1118	L8	579.7	4.67	5216.8
L9	0.018	8	1118	L9	20.4	0.14	163.5
L10	0.515	10	531	L10	273.6	5.15	2735.2

עלויות ההתקנה של מעקות הבטיחות מחושבות לפי US\$ 32.80 למטר אורך, כאשר כל טיפול בקצה מעקה מחייב תוספת של US\$ 2000 לעלות המעקה.

לאחר הגדרת הכללים הנ"ל, לכל קריטריון (מתוך 1-5 המוגדרים לעיל) מוצגת אפשרות הטיפול באתרים הנבחרים במסגרת תקציב מוגבל כגון: US\$ 55,000. לבסוף, כל האתרים מדורגים באמצעות כל אחד מהקריטריונים ולאחר מכן, מחושב חציון וטווח הדירוגים, באמצעות בחינה משולבת של כל הקריטריונים ביחד (ציור 2.4).

שיטת הדירוג הנ"ל מצטיירת כפשטנית אך הודות לנראותן הגבוהה של תוצאות הדירוג וכן, הימנעות משקלולים סובייקטיביים, שיטה זו יכולה להיות שימושית בשלב סינון של רשת הדרכים במטרה לבחור את רשימת האתרים להתקנת מעקות הבטיחות.



Lowest, median, and highest ranking of each project (L1-L10) across the five alternate objectives.

ציור 2.4. דירוג מסכם של האתרים הנבחרים ע"פ כל הקריטריונים ביחד. לפי: Lambert et al (2003).
Figure 2.4. Final ranking of sites according to all criteria together. Lambert et al (2003).

2.4.5. בחינת עלויות התאונות בהן נפרצו מעקות בטיחות מפלדה, באנגליה

Williams (2007) בדק עלויות של תאונות בהן נפרצו מעקות בטיחות מפלדה, באנגליה. הרקע למחקר היה דאגת רשויות הדרך עקב מספר תאונות קטלניות שאירעו בשנת 1999, בהן משאיות כבדות סטו מהדרך, פרצו מעקות בטיחות והתנגשו בכלי הרכב במסלול הנגדי.

במחקר זה נאספו נתוני תאונות מהחברה המתחזקת את דרכי הטבעת סביב לונדון (25 Sphere M). בדרכים אלו מותקנים מעקות ממספר סוגים, לרבות שני סוגים של מעקות בטון ושלושה סוגים של מעקות פלדה. נאספו נתונים על תאונות בעלות המאפיינים הבאים: תאונת רכב יחיד; תאונה בה נפרץ מעקה הבטיחות; תאונה בה היה נזק לתשתיות, בנוסף לנזק למעקה הבטיחות; כאשר עלות הנזקים הייתה ידועה וכן, הנתונים על חסימת הנתביים עקב התאונה היו ידועים. סה"כ, נמצאו 14 תאונות בעלות מאפיינים כאלה, מתוכן נבחרו ארבע תאונות בעלות מאפיינים מגוונים מבחינת סוג רכב, נזק לתשתית, ועלות תיקון - לצורך בדיקה מפורטת.

נמצא שכל ארבע התאונות לבדיקה המפורטת היו קשורות לתאונות בהן נפרץ מעקה מסוג אחד בלבד: מעקה עם קורת פלדה גלית (W), ברמה N2 על פי תקן BSEN 1317. בטבלה 2.9 מתוארים מאפייני ארבע התאונות שנבחרו לבדיקה המפורטת במחקר.

טבלה 2.9. תאונות מייצגות עם פריצת מעקה הבטיחות שנבחרו לבדיקת המפורטת במחקר

Table 2.9. Typical accidents with safety barrier breaking that were selected for a detailed examination in the study

Accident Reference Number	Damage 1	position	Damage 2	Approx costs (damage only, not delay)	Estimated / final	vehicle
1	safety fence	centre	lamp column	6,030.28	e	car
3	safety fence	nearside	bridge pillar	432,313.90	e	HGV
4	safety fence	nearside	lamp column	6,478.16	f	HGV
10	safety fence	nearside	gantry	12,944.86	e	coach

לכל אחת מתאונות אלו נבחנו עלויות נוספות לעלויות תיקון הנזק: עלות העיכובים לתנועה שנבעו מהתאונה ועלות הנפגעים בתאונה. בטבלה 2.10 מוצגים נתונים של כל מרכיבי העלויות של התאונות.

טבלה 2.10. עלויות מפורטות של ארבע התאונות שבהן נפרץ המעקה

Table 2.10. Detailed costs of the four accidents in which a barrier was broken

Item of Cost	Incident Description			
	Incident 1: Median Lighting Column Impact, M4	Incident 2: Bridge Pillar Impact, M25	Incident 3: Verge Lighting Column Impact, M25	Incident 4: Verge Gantry Leg Impact, M1
Total Cost of Repairs	£ 12,216	£ 420,498	£ 6,478	£ 112,519
Total Traffic Delay Cost	£ 3,000	£ 1,000,000	£ 500	£ 25,000
Total Injury Cost	£ 207,552	£ 1,612,383	£ 24,404	£ 206,404
TOTAL INCIDENT COST	£ 222,768	£ 3,032,881	£ 31,382	£ 343,923

בשל השונות בין ארבע התאונות שנותחו אין אפשרות לפתח "עלות תאונה ממוצעת". תוצאות התאונה תלויות בגורמים רבים בנוסף לסוג המעקה, כאשר חומרת התאונה קשורה לעלות הנפגעים (מרכיב שמשביר, לדוגמא, את ההבדל העיקרי בין עלות מקרה 1 לעומת מקרה 3, בטבלה 2.10). חומרת הפגיעה קשורה לגורמים רבים כמו משקל הרכב, מהירות הרכב, זווית הפגיעה, מצב גופני של הנפגע לפני התאונה, זמן התרחשות התאונה, אמצעי מיגון ברכב, ועוד. בתאונות אלו הרכב המעורב פגע גם בתשתית שנמצאת מעבר למעקה הפלדה. תוצאה זו אינה מפתיעה כי מעקה הפלדה הוא ברמה של N2.

בדיון על ממצאי המחקר Williams (2007) העלו תהיות כלהלן:

במידה והמעקה באירועי תאונות אלה היה קשיח יותר, נראה שעלויות התיקון ועלויות עיכובי התנועה היו פחותות. מאידך, ההנחה שמעקה בטון קשיח שהיה מוצב באתרי התאונות היה מונע פגיעה בעצמים מעבר למעקה לא בהכרח נכונה. מכיוון שההשפעה הדינמית של הפגיעה לא ידועה, יתכן שבתאונה זהה של התנגשות במעקה בטון ע"י רכב עם מרכז כובד גבוה (אוטובוס או משאית), הרכב היה מתהפך מעל המעקה ומתנגש בעצם שמעבר לו. נראה כי עלויות הנפגעים בתאונה במקרה של התנגשות במעקה קשיח היו גבוהות יותר, עקב חומרת פגיעה גדולה יותר, אך מידת ההבדל אינה ידועה.

2.4.6. הערכה כלכלית של תפקוד מעקה בטון נמשך

על-פי ממצאי המחקרים שנערכו במספר מדינות בשנים האחרונות מעקה בטון נמשך מתקשר עם חסכון כלכלי לטווח ארוך, כאשר הוא מותקן במפרדות של קטעי דרכים עמוסות.

לדוגמא, במחקר שנערך בגרמניה על ידי המכון הפדראלי לתחבורה (Steinauer et al) (2004), בוצעה השוואה מפורטת של אופן תפקודם של מעקות בטון נמשך לעומת מעקות פלדה, לאורך חיי המעקה, בדרכים מהירות בגרמניה. ההשוואה בין שתי מערכות המעקות בוצעה על בסיס כלכלי, כאשר ההערכות כללו את מלוא ההוצאות של רשויות הדרך להתקנה, תחזוקה ותיקון המעקות, וכמו כן, את העלויות של משתמשי הדרך הקשורות בהתרחשות התאונות, בהפסדי הזמן עקב פקקי התנועה בעקבות התאונות, וכן בהפסדי הזמן עקב עבודות התחזוקה בדרך (לתיקון המעקות לאחר התאונות).

המחקר התבסס על מעקב אחרי תפקוד המעקות ב-11 קטעי דרכים, עם אורכים ונפחי תנועה שונים, כאשר מעקות הפלדה היו מותקנים סה"כ ב-52 ק"מ ומעקות הבטון - ב-53 ק"מ של הדרכים. בנוסף לסטטיסטיקת התאונות הרשמית, נלקחו בחשבון גם התאונות הלא מדווחות למשטרה וכן, תוצאות ההדמיה של זרימות התנועה בתנאי תנועה מאולצים. מסקנת החוקרים הייתה שעלויות הפסדי הזמן שעשויים להיווצר בנפחי תנועה גבוהים הן משמעותיות במידה כזאת שמצדיקות את השימוש במעקות הבטון, למרות הוצאות התקנה גבוהות יותר של מעקות אלה. מנקודת המבט הכלכלית לאורך חיי ההתקנים נמצא שהתקנת מעקות הבטון במפרדה של דרכים מהירות משתלמת יותר, לעומת מעקות הפלדה, כאשר נפח התנועה בדרך עולה על 65,000 כלי רכב ביממה.

במחקר המעקב שנערך בשנים האחרונות באנגליה בוצעה השוואת תפקודם של מעקות בטון נמשך (ברמת תפקוד H2) לעומת מעקות פלדה שמותקנים במפרדה של דרך מהירה M25. על פי תוצאות

המחקר, מעקות הבטון מתקשרים עם יתרון כלכלי משמעותי כאשר הם מותקנים במפרדות של דרכים מהירות או דו-מסלוליות עמוסות, עם נפחי התנועה מעל 25,000 כלי רכב ביממה. בהתבסס על ממצאי מחקר זה, רשות הדרכים באנגליה (Highways Agency) פרסמה הוראה פנימית (IAN 60/05, 2005) לפיה יש להתקין מעקות בטון (ברמת תפקוד H2) בכל הפרויקטים העתידיים של בנייה, שיפור או שיקום של דרכים מהירות עם נפחי תנועה מעל 25,000 כלי רכב ביממה.

כמו כן, במסמך IAN 60/05 (2005) מצוין כי עלויות ההתקנה של מעקות הבטון לרוב גבוהות יותר לעומת מעקות פלדה, אך על הוצאה נוספת זו גובר החיסכון של מעקות הבטון המתקשר עם ירידה בהוצאות התחזוקה של הדרך ובעלויות ניהול התנועה. כמו כן, צפוי חיסכון נוסף הודות לשיפור רמת הבטיחות של הדרך ולצמצום הסתברות החצייה למסלול הנגדי. האופק הכלכלי של הערכה זו היה 50 שנה, לפחות.

2.5. בחירת המאפיינים הנדרשים של מעקות הבטיחות

2.5.1. מודל לבחירת רמת תפקוד המעקה בתלות במאפייני הדרך והתנועה

Montella (2001) פיתח מודל בו הערכה השוואתית של יחסי תועלת-עלות (incremental benefit-cost ratio) מהווה בסיס לבחירת רמת תפקוד של מעקה הבטיחות. רמות התפקוד המשוות הן מ-N1 עד H4, על פי התקן האירופי EN 1317. המודל משולב בתוכנת SAFBAR אשר משווה בין יכולת הבלימה של מעקות הבטיחות ברמות תפקוד שונות לבין תנאי התנגשות במעקות שנצפו בתאונות בפועל. תנאי ההתנגשות בתאונות בפועל נלמדו מ-יותר מ-500 תאונות של Mak et al (1986).

סה"כ, המודל מקשר בין מספר כלי הרכב שנבלמים ע"י המעקה לבין סוג הדרך, המאפיינים הגיאומטריים של הדרך, נפח והרכב התנועה, ורמת תפקוד המעקה. להערכת עלות התאונות הנחסכות משמשת השיטה של AASHTO (1996). עלויות התקנת המעקות, ברמות תפקוד שונות, נקבעו כמוצג בטבלה 2.11.

טבלה 2.11. עלויות התקנת המעקות. לפי: Montella (2001).

Table 2.11. Barriers installation costs. According to: Montella (2001)

	N1	N2	H1	H2	H3	H4
Steel cost (\$/m)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Weight (kg/m)	15	20	30	45	63	75
Assemblage cost (\$/m)	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
Direct cost (\$/m)	26	30.5	39.5	53	69.7	80
General costs and profit	25%	25%	25%	25%	25%	25%
Moving costs	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Total cost (\$/m)	33.8	39.7	51.4	68.9	90	104

הסתברות בלימת הרכב ע"י המעקה מחושבת לגבי שבעה סוגים של כלי הרכב, כולל רכב קל במשקל 900 ו-1500 קילו, ורכב משא במשקל בין 5 עד 30 טון. בסוג דרך מסוים, הסתברות זו מהווה את סיכום ההסתברויות לכך שהאנרגיה הקינטית המשתחררת בעת ההתנגשות תהיה נמוכה יותר מיכולת הספיגה של המעקה, כאשר ההסתברויות מחושבות לשילובים שונים של

מהירות וזווית ההתנגשות. המהירויות הנבחנות משתנות בטווח בין 10 עד 130 קמ"ש, הזווית - בין 2.5 עד 32.5 מעלות. על המודל הבסיסי מופעלים גורמי תיקון כגון: רדיוס העקום, משקל הרכב.

הרצת המודל בוצעה עבור תנאי דרך מהירה, העוברת במילוי, עם שלושה נתיבי נסיעה לכיוון. בדוגמא, נבחנו תנאי הסוללה בגובה 2, 4 ו-6 מטר, עם שיפוע של 1:2. החישוב מבוצע בתלות בנפח התנועה בדרך ובאחוז של כלי רכב כבדים בתנועה. בחירת רמת תפקוד מסוימת למעקה הבטיחות מבוצעת תוך כדי בחינה השוואתי של יחסי תועלת-עלות לרמות תפקוד שונות, עם אורך חי המעקה 20 שנה; שיעור ריבית להיוון 4%. ממצאי הערכה זו מובאים בצירור 2.5.

Selected Roadside Safety Barrier Containment Levels, Embankment Height 2 m, Embankment Slope 1:2

P _{HV} (%)	ADT			
	10000	20000	30000	40000
0	N2	H1	H1	H1
5	H1	H1	H1	H2
10	H1	H1	H2	H2
15	H1	H2	H2	H3
20	H1	H2	H3	H3
25	H1	H2	H3	H3
30	H2	H3	H3	H3

Selected Roadside Safety Barrier Containment Levels, Embankment Height 4 m, Embankment Slope 1:2

P _{HV} (%)	ADT			
	10000	20000	30000	40000
0	H1	H1	H1	H2
5	H1	H1	H2	H2
10	H1	H2	H2	H2
15	H2	H2	H3	H3
20	H2	H3	H3	H3
25	H2	H3	H3	H4
30	H3	H3	H3	H4

Selected Roadside Safety Barrier Containment Levels, Embankment Height 6 m, Embankment Slope 1:2

P _{HV} (%)	ADT			
	10000	20000	30000	40000
0	H1	H1	H2	H2
5	H1	H2	H2	H2
10	H1	H2	H2	H3
15	H2	H2	H3	H3
20	H2	H3	H3	H3
25	H3	H3	H3	H4
30	H3	H3	H4	H4

צירור 2.5. רמות תפקוד נדרשות של מעקות הבטיחות בתנאי תנועה שונים. ההערכות עבור תנאי סוללה בגובה 2, 4, 6 מ', עם שיפוע 1:2. מקור: Montella (2001).

Figure 2.5. Required performance levels of safety barriers in different traffic conditions. The evaluations are for embankment conditions of 2, 4, 6 m height, with 1:2 slope. Source: Montella (2001)

ניתן לראות כי באתרים עם נפח תנועה גבוה יותר ועם אחוז גבוה יותר של כלי רכב כבדים מוצדק מעקה בטיחות ברמת תפקוד גבוהה יותר. לפי Montella (2001), הדרישה לרמת תפקוד גבוהה יותר של המעקה רגישה יותר להרכב התנועה מאשר לגודל הנפח.

על אף מגבלותיו של המודל בנוגע למאפייני התנועה, עלויות התקנת המעקות, עלות התאונות ועוד (אשר באו בעיקר מסיכום הניסיון הבינלאומי), ניתן להיעזר בממצאים של מחקר זה במהלך בחירת סוגי המעקות המתאימים לתנאי אתרים שונים. לדוגמא, על גבי הסוללה בגובה 6 מטר ועם נפחי התנועה בדרך מעל 20 אלף כלי רכב ביממה (בדרך מהירה), לרוב קיים הצדק לשימוש במעקה הבטיחות ברמת תפקוד H2. על פי אותו החישוב, רמת התפקוד H4 נדרשת בדרך עם נפחי התנועה מעל 40 אלף כלי רכב ביממה, כאשר שיעור המשאיות בתנועה עולה על 25%.

2.5.2. פיתוח הנחיות לבחירת רמת תפקוד המעקה בתלות במאפייני הדרך, בארה"ב

Sicking et al (2009) פיתחו בסיס להרחבת הנחיות AASHTO (1996, 2002) בנוגע להצדק להתקנת מעקה הבטיחות, תוך כדי הוספת פירוט לרמת התפקוד הנדרשת של המעקה בהתאם למאפייני הדרך. ההערכות התבססו על חישובים באמצעות תוכנת RSAP, עבור בתנאי דרך טיפוסיים, כאשר בחירת מעקה ברמת תפקוד מסוימת נסמכת על אומדני היחס תועלת-עלות (B/C) שהתקבלו בחישובים. טבלה 2.12 מציגה דוגמא לממצאי המחקר, עבור יחס תועלת-עלות השווה ל-2. (התוצאות עבור יחס B/C גבוה יותר כגון: 3, 4, היו דומות אם כי כללו ערכים גבוהים יותר של נפחי התנועה להחלטה).

ממצאי מחקר Sicking et al נובע שההצדק לשימוש במעקות הבטיחות ברמות תפקוד גבוהות יותר - TL4, TL5 - מתקיים בדרכים המהירות בלבד, כאשר מדובר במסלולים עם ייצוג גבוה של תנאי סוללה גבוהה ותלולה. המעבר למעקות ברמות התפקוד הגבוהות, בתנאים אלה, מוצדק כמעט בכל נפחי התנועה, כאשר ההבחנה בין נפחי התנועה נדרשת בעיקר לבחירה בין מעקה ברמה TL4 לעומת TL5, תוך כדי התחשבות ברוחב הקיים של האזור האופקי בצד הדרך ללא מכשולים.

טבלה 2.12. המלצות לבחירת רמת תפקוד המעקה, בתנאי דרך מסוימים, כאשר B/C=2. מקור: Sicking et al (2009)

Table 2.12. Recommendations on barrier performance level selection, in particular road conditions, where B/C=2. Source: Sicking et al (2009)

א - הנחיות למקרה הכללי (general guardrail use guidelines)

Functional Class	Width Class	Traffic Volume (1,000 ADT)				
		None	TL-2	TL-3	TL-4	TL-5
Freeway	Narrow			0-100		
	Wide			0-100		
Rural Arterial	Narrow		<20	>20		
	Wide		Any			
Rural Collector/Local	Narrow		Any			
	Wide	<1	>1			
Urban Arterial	Narrow		<20	>20		
	Wide		Any			
Urban Collector/Local	Narrow		Any			
	Wide	Any				

ב - הנחיות למקרה של סוללה תלולה (rolling terrain guardrail use guidelines)

Functional Class	Width Class	Traffic Volume (1,000 ADT)				
		None	TL-2	TL-3	TL-4	TL-5
Freeway	Narrow				<25	>25
	Wide				<33	>33
Rural Arterial	Narrow			Any		
	Wide			Any		
Rural Collector/Local	Narrow		Any			
	Wide		Any			
Urban Arterial	Narrow			Any		
	Wide			Any		
Urban Collector/Local	Narrow		Any			
	Wide		Any			

הערות לטבלה 2.12:

1) "width class" מסמן רוחב אזור אופקי בצד הדרך ללא מכשולים (unobstructed zone). הגבול בין מונח צר (narrow) לרחב (wide) עובר בערכים אלה: 5.5 מ' לדרך מהירה (freeway), 3.7 מ' לדרך לא עירונית עורקית (rural arterial), 2.4 מ' לדרך לא עירונית אחרת או עירונית עורקית, 1.5 מ' ליתר הדרכים העירוניות.

2) המקרה הכללי (general) מסמן מסלול עם מיעוט מדרונות תלולים ברמה חמורה או בינונית, בצד הדרך. מדרון תלול חמור (severe slope) מסמן סוללה בגובה 7.9 מ' עם שיפוע 1:1.5; מדרון תלול בינונית (moderately severe slope) מסמן סוללה בגובה 6.1 מ' עם שיפוע 2:1. במקרה של ריבוי מדרונות תלולים ברמה חמורה או בינונית, יש לסמן את המסלול כשייך למקרה ב' (rolling terrain).

2.5.3. הערכת כדאיות השימוש במעקות ברמות תפקוד H2/H1, בפינלנד

Ehlers (2010) פיתח מודל הערכה כלכלית לבחינת הצדק לשימוש במעקות הבטיחות ברמות תפקוד H2/H1 לעומת N2, בפינלנד. מניתוח נתוני התאונות בפינלנד עלה שהמספר השנתי של תאונות התנגשות רכב כבד במעקות הבטיחות הוא קטן. אם יישקלו רק מספרי ההרוגים והנפגעים קשה, סה"כ רק 2 נפגעים בשנה ייחסכו בתנאי בטיחות דרך אידיאליים. לכן, במחקר

הופעל מודל כלכלי הבודק מצבים היפותטיים של התנגשות במעקות הבטיחות, תוך כדי השוואת השלכות אפשריות מהתנגשות במעקות ברמות תפקוד H2/H1 לעומת N2.

התרחישים לבחינה הוגדרו ע"י מאפיינים אלה :

- 3 סוגי רכב : נוסעים, משאית, אוטובוס ;

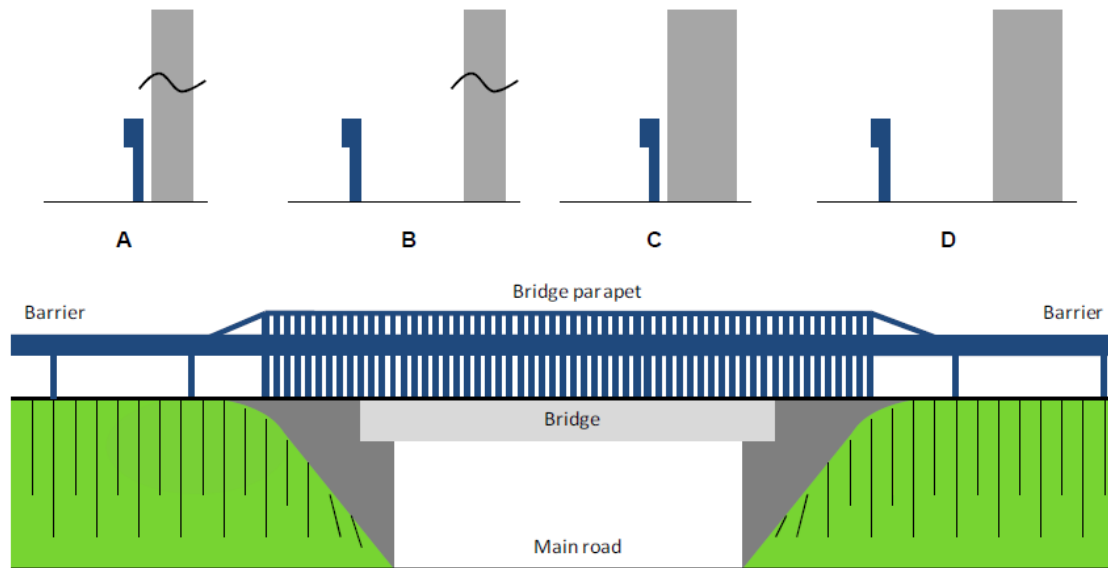
- 3 רמות בלימה של מעקות : H2, H1, N2 ;

- 4 סוגי התנהגות רכב בתאונה : חצית המעקה ; פגיעה ועצירה בסמוך למעקה ; פגיעה במעקה והטחה חזרה לדרך ללא פגיעה ברכב אחר ; פגיעה במעקה והטחה חזרה לדרך עם פגיעה ברכב אחר.

ההסתברויות לכל תרחיש הוגדרו ע"י פאנל משלושה מומחים. התרחישים הושלמו באמצעות הגדרה של 5 סוגי מצבים בצד הדרך (E-A) כמוצג בציור 2.6. המצבים הם : A - מרווח לא מספק לעמוד גשר חלש ; B - מרווח מספק לעמוד גשר חלש ; C - מרווח לא מספק לנציב גשר ; D - מרווח מספק לנציב גשר ; E - התקנת מעקה בהתקרבות לגשר מעל דרך ראשית אחרת. כמו כן, הוגדרו 6 רמות חומרה של תאונות, כאשר לכל רמה ניתן ערך כלכלי. לכל תרחיש שנקבע לפי סוג רכב, רמת בלימה של מעקה, סוג התנהגות רכב בתאונה וסוג מצב המעקה בצד הדרך, נקבעה רמת חומרה אפשרית של התאונה (ע"י פאנל המומחים).

בהמשך, כדי לחשב את עלויות התאונות החזויות לכל 5 המצבים של צד דרך (E-A), הערך הנוכחי של כל חומרת תאונה הוכפל בהסתברות לכל סוג התנהגות רכב, כאשר ערך התאונה חושב על-פי רמת החומרה (1-6), התלויה גם ברמת הבלימה של מעקה (N2/H1/H2). כתוצאה, התקבלו טבלאות עם עלויות התאונות (accident cost matrix). בהמשך, חושבו ההפרשים בין התועלות של מעקות H2/H1, ביחס למעקות N2, במונחים של עלויות התאונות הנחסכות.

נמצא כי, כללית, שימוש במעקות H2 במצבי צד הדרך שהוגדרו, מתקשר עם הפחתה גדולה יותר בתאונות בהשוואה למעקות H1. עם זאת, התקנת מעקות ברמת בלימה גבוהה אינה כדאית כלכלית במצבי צד דרך מסוג D (מרווח מספק לנציב גשר) כי עלות התאונות במקרה זה עולה. הכדאיות הכלכלית הגבוהה ביותר להתקנת מעקות H2/H1 נמצאה עבור תנאי צד דרך מסוג A ו-C (מרווח לא מספק לעמוד גשר חלש או נציב גשר).



מצב E

ציור 2.6. מצבי E-A של מיקום המעקות בצד הדרך להגדרת תרחישי התאונות, במחקר Ehlers (2010).

Figure 2.6. A - E situations of barrier's location on roadside for accident scenarios' definition, in the study by Ehlers (2010)

לבסוף, החיסכון בתאונות שמתקשר על שימוש במעקות השונים יוחס לעלויות התקנתם, במונחים של הערך הנוכחי, במסגרת הערכה של 20 שנה, 6% ריבית. נבחנו הפרשי תועלות משימוש במעקות $H2/H1$ לעומת מעקות $N2$, ביחס להפרשי עלויות של מעקות אלה, בהתקנה נקודתית. על מנת לקבל אומדנים שימושיים להחלטה, חושב מספר התאונות המינימאלי באתר אשר נדרש לקבלת כדאיות כלכלית של מעבר למעקות $H2/H1$. טבלה 2.13 מציגה, לדוגמא, את הספים של מספר התאונות המינימאלי אשר נדרש כדי להצדיק מעבר ממעקות $N2$ למעקות $H1$ או $H2$. מכיוון שהמספרים נמוכים מאוד, הם מוצגים ביחס ל-100 עמודי גשר ועשר שנים. החישובים עבור הערך המזערי והמרבי של עלות החלפת המעקות מודגשים בצבע. ככול שסף התאונות נמוך יותר, הכדאיות הכלכלית לשימוש במעקות $H2/H1$ גדולה יותר.

סה"כ, ע"פ ממצאי מחקר זה, שימוש במעקות $H1/H2$ בצידי דרכים באופן גורף התגלה כחסר כדאיות כלכלית. עם זאת, התקנת מעקות $H1/H2$ נמצאה כדאית במצבים אלה: לפני עמודי גשר בעלי מבנה חלש; לפני עמודי גשר עם מרווח לא מספק להתקנת המעקה; בהתקרבות לגשרים החוצים דרך ראשית אחרת.

טבלה 2.13. דוגמאות לסף מספר התאונות המינימאלי אשר נדרש כדי להצדיק מעבר ממעקות N2 למעקות H1 או H2, במחקר Ehlers (2010).

Table 2.13. Examples of the minimal accidents' number threshold required to justify a transition from N2 to H1 or H2 barriers, in the study by Ehlers (2010)

א - סף התאונות הנדרש למעבר ממעקה N2 למעקה H1

Roadside condition	Reduced accident costs H1-N2 ¹⁾ €/accident		Increased replac. costs MIN H1-N2 € ²⁾	Increased replac. costs MAX H1-N2 € ²⁾	Minimum threshold of the annual accident number per pier or bridge for cost-effectiveness ³⁾				Minimum threshold of the accident number per 100 piers or bridges and 10 years for cost-effectiveness ³⁾				
	Delta MIN	Delta MAX			For MIN replacement costs		For MAX replacement costs		For MIN replacement costs		For MAX replacement costs		
					Delta MIN	Delta MAX	Delta MIN	Delta MAX	Delta MIN	Delta MAX	Delta MIN	Delta MAX	
CALCUL.	a	b	c	d	c/a	c/b	d/a	d/b	c/a * 1000	c/b * 1000	d/a * 1000	d/b * 1000	
A	13866597	20615967	1390	3202.50	0.00010	0.00067	0.00023	0.00016	0.10	0.07	0.23	0.16	
B	3317264	10571776			0.00042	0.00013	0.00097	0.00030	0.42	0.13	0.97	0.30	
C	13866597	20615967			0.00010	0.00067	0.00023	0.00016	0.10	0.07	0.23	0.16	
D	-857220	-945779			Never	Never	Never	Never	Never	Never	Never	Never	Never
E	2723540	6805014			0.00051	0.00020	0.0012	0.00047	0.51	0.20	1.18	0.47	

General note: The smallest accident rates of each roadside condition are marked green, the biggest orange. The smallest and biggest accident rate threshold of each containment level is marked with a darker green and orange.

- 1) Taken from Table 46 at page 102
- 2) Taken from Table 49 at page 105
- 3) The minimum threshold of the annual accident number, X, was calculated as follows:

$$0 \leq NPV = -PV_{costs} + PV_{benefits} \quad (3)$$

- cost-effectiveness is reached for $NPV \geq 0$; see Chapter 2.3.1, page 19
- the reduced accident costs, thus benefits, have been calculated per accident, hence

$$X = \frac{PV_{increased\ installation\ costs}}{PV_{reduced\ accident\ costs}}$$

ב - סף התאונות הנדרש למעבר ממעקה N2 למעקה H2

Roadside condition	Reduced accident costs H2-N2 ¹⁾ €/accident		Increased replac. costs MIN H2-N2 € ²⁾	Increased replac. costs MAX H2-N2 € ²⁾	Minimum threshold of the annual accident number per pier or bridge for cost-effectiveness ³⁾				Minimum threshold of the accident number per 100 piers or bridges and 10 years for cost-effectiveness ³⁾				
	Delta MIN	Delta MAX			For MIN replacement costs		For MAX replacement costs		For MIN replacement costs		For MAX replacement costs		
					Delta MIN	Delta MAX	Delta MIN	Delta MAX	Delta MIN	Delta MAX	Delta MIN	Delta MAX	
CALCUL.	a	b	c	d	c/a	c/b	d/a	d/b	c/a * 1000	c/b * 1000	d/a * 1000	d/b * 1000	
A	13977975	20781557	8800	16170	0.00063	0.00042	0.0012	0.00078	0.63	0.42	1.16	0.78	
B	7635159	22584693			0.0012	0.00039	0.0021	0.00072	1.15	0.39	2.12	0.72	
C	13977975	20781557			0.00063	0.00042	0.0012	0.00078	0.63	0.42	1.16	0.78	
D	-713808	-450416			Never	Never	Never	Never	Never	Never	Never	Never	Never
E	4831563	11552909			0.0018	0.00076	0.0033	0.0014	1.82	0.76	3.35	1.40	

General note: The smallest accident rates of each roadside condition are marked green, the biggest orange. The smallest and biggest accident rate threshold of each containment level is marked with a darker green and orange.

- 1) Taken from Table 47 at page 103
- 2) Taken from Table 49 at page 105
- 3) The minimum threshold of the annual accident number, X, was calculated as follows:

$$0 \leq NPV = -PV_{costs} + PV_{benefits} \quad (3)$$

- cost-effectiveness is reached for $NPV \geq 0$; see Chapter 2.3.1, page 19
- the reduced accident costs, thus benefits, have been calculated per accident, hence

$$X = \frac{PV_{increased\ installation\ costs}}{PV_{reduced\ accident\ costs}}$$

2.5.4. דרישות לרמות תפקוד של מעקות הבטיחות בהנחיות הקיימות בחו"ל

סעיף זה מציג דרישות לרמות תפקוד של מעקות הבטיחות על-פי התקנים החדשים, שקיימות בהנחיות לשימוש במעקות הבטיחות, במדינות אירופה ובארה"ב. טבלה 2.14 מציגה ממצאים שהתקבלו מבדיקת הנחיות/תקנים מעודכנים שהתפרסמו במדינות כגון: אנגליה, גרמניה, אירלנד, פינלנד, שוודיה, ארה"ב וכמו כן, מסקירות הנחיות/מסמכים מנחים בנושא שנערכו במסגרת פרויקטים מחקרניים באיחוד האירופי כגון: SAFESTAR, RISER. ציור 2.7 מציג, לדוגמא, פירוט מלא של השיקולים לבחירת רמת תפקוד של מעקה הבטיחות, בגרמניה.

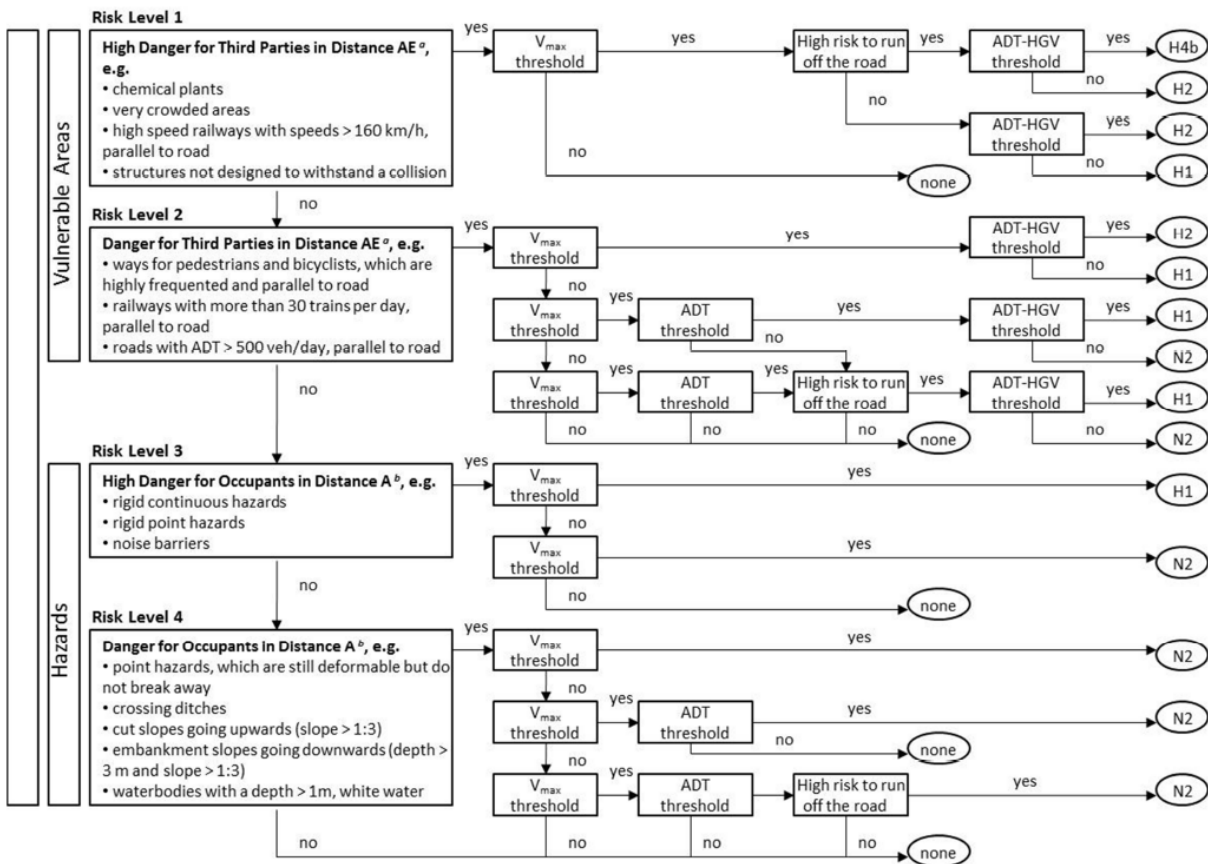
טבלה 2.14. דרישות לרמות תפקוד של מעקות הבטיחות בהנחיות/תקנים של מדינות אחרות

Table 2.14. Safety barrier performance level requirements in guidelines/standards of other countries

מדינה	מקור מידע	פירוט דרישות לרמות תפקוד של מעקות
אנגליה	TD 19/06, 2006	N2 – רמה בסיסית, או H1/ H2 או H4a, בתלות בחתך הדרך, נפח התנועה, סוגי סכנות בצדי הדרך וכו' (שכיחות וחומרה של תאונות פוטנציאליות). נקבעו לדרכים עם מהירות מותרת של 50 מייל לשעה (80 קמ"ש) או יותר
	IAN 60/05, 2005	H2 - במפרדה של דרכים מהירות/ דו-מסלוליות עמוסות, עם נפחי תנועה מעל 25,000 כלי רכב ביממה
אירלנד	NRA TD 19/09	N2 - רמה בסיסית בצד דרך ובמפרדה, במצבים עם סיכון גבוה יותר - H2
גרמניה	RPS, 2009 RAL Info 2/2005	בצד דרך: סיכון גבוה לצד שלישי* ומהירות תכן מעל 50 קמ"ש ונפח תנועה של משאיות < 3000 ביממה - H2, H4b; ללא תנאי של משאיות - H1. סיכון לצד שלישי* ומהירות תכן מעל 100 קמ"ש ונפח תנועה של משאיות < 3000 ביממה - H2; ללא תנאי של משאיות - H1. סיכון לצד שלישי* ומהירויות תכן נמוכות יותר ונפח תנועה של משאיות < 500 ביממה - H1; ללא תנאי של משאיות - N2. ביתר המצבים* (סיכון גבוה לנוסעי הרכב, סיכון לנוסעי הרכב) - רמה בסיסית N2. במפרדה ועל גבי גשרים - H2, H4b.
פינלנד	Guide, 2010	N2 - רמה בסיסית למיגון מפני עצמים קשיחים (עמודי גשר וכד') - H2, ליד מאגר מים - H4
שוודיה	SRA, 2004	רמה בסיסית בצד דרך או במפרדה - N2; על גבי גשר או למיגון אזורי סיכון - H2. כמו כן, רמות תפקוד גבוהות יותר (לעומת N2) נבחנות בתנאים של נפח תנועה גבוה, אחוז גבוה של משאיות. בנוסף, רמות תפקוד גבוהות במיוחד (מעל H2) נבחנות בתנאי בעקום חד, זווית פגיעה גדולה במעקה, מדרון תלול במיוחד, מהירויות גבוהות של משאיות
שאלון ל-13 מדינות אירופה	SAFESTAR, 1998	בדרכים מהירות - H1 (מדינה 1), H2 (5 מדינות), H3 (מדינה 1), H4 (1 מדינה); דרישות ע"פ תקנים אחרים - 2 מדינות. מעבר לרמת תפקוד גבוהה יותר עקב סכנה לצד שלישי (9 מדינות), מפרדה צרה (5 מדינות), אחוז גבוה של משאיות (4 מדינות), נפח תנועה גבוה (3 מדינות). רמות תפקוד בסיסיות בדרכים לא עירוניות: H1 - בדנמרק, הולנד, שוויץ; N2 - בגרמניה, פינלנד, נורבגיה, שוודיה, אנגליה, כאשר בכל המדינות מדווח גם על שימוש ברמות H2/H1.
סקירת הנחיות ב-7 מדינות אירופה	RISER, 2003	פינלנד - N2 הולנד - H2 שוודיה - N2 בדרכים עם מהירות מותרת מעל 70 קמ"ש
ארה"ב	AASHTO (2002) ¹¹	TL3 - רמה בסיסית בדרכים עורקיות. ישימות של רמות מ-4 עד 6 נקבעת בתלות בנפח תנועה של משאיות ו/או בתלות בהשלכות חדירת המעקה

¹¹ גישה זו נשמרה גם בהנחיות AASHTO (2011)

- הגדרת סוגי הסכנות ע"פ ההנחיות הגרמניות (RPS, 2009) :
- (1) "סיכון גבוה לצד שלישי" כולל סכנות בצד הדרך, כגון: מפעל לחומרים כימיים (נפיצים ברמה גבוהה), שטח המאוכלס צפוף מאוד (מקרה טיפוסי), רכבת מהירה (במקביל לדרך), מבנים החשופים להתמוטטות;
- (2) "סיכון לצד שלישי" כולל סכנות בצד הדרך, כגון: שבילים פעילים להליכת הולכי רגל או לנסיעת רוכבי אופניים (במקביל לדרך), מסילות רכבת עם יותר מ-30 רכבות ביום, דרכים מקבילות, מתקנים להורדת רמת הרעש;
- (3) "סיכון גבוה לנוסעי הרכב" מתייחס למכשולים כגון: עצים, יערות, שדרות, מכשולים גדולים בניצב לתנועה;
- (4) "סיכון לנוסעי הרכב" מתייחס למכשולים כגון: עמודים בלתי שברים (של טלפון חירום בצד הדרך), חתך בחפירה עם שיפוע תלול מ-1:3, תעלות, סוללות תלולות (בגובה מעל 3 מ', שיפוע תלול מ-1:3), מאגרי מים (עמוקים מ-1 מטר), חומות קשוחות קבועות במקביל לדרך.



ציור 2.7. דוגמא לפירוט מלא של השיקולים לבחירת רמת תפקוד של מעקה בטיחות, לפי תנאי

הדרך והתנועה, בגרמניה, לפי RPS (2009)¹².

Figure 2.7. Example of full details of considerations for safety barrier performance level's selection, according to road and traffic conditions, in Germany, according to RPS (2009)

¹² הגרסא האנגלית מתוך Ehlers (2010).

על סמך הממצאים שבטבלה 2.14 ניתן להסיק 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 מדרכים מהירות/ דו-מסלוליות קיימות דרישות גבוהות יותר - לרמות תפקוד H1 או H2. כמו כן, במדינות שהגדירו דרישות מיוחדות לרמות תפקוד של מעקות הבטיחות במפרדה הדרישה הבסיסית היא, ככלל, לרמה H2. בנוסף, באתרים עם סיכון גבוה לצד שלישי נקבעו דרישות לשימוש במעקות ברמת תפקוד H4.

2.6. סיכום לממצאי הספרות

סקר ספרות מקצועית נערך במטרה לבחון היבטים כלכליים שונים שהיו בבחינות ההצדקים לשימוש ובהערכות יעילותם של מעקות הבטיחות. הסקר התייחס למחקרי הערכה של מעקות הבטיחות ולמסמכים מנחים בנושאי השימוש במעקות הבטיחות שהתפרסמו, בשנים האחרונות, במדינות אירופה וארה"ב. הסקר נערך בשאיפה לזהות הערכות כמותיות ונימוקים שעשויים לשמש הצדק כלכלי לשימוש במעקות החדשים - כאלה שעמדו בדרישות התקנים החדשים באירופה או בארה"ב ואשר, לרוב, מזוהים עם עלויות התקנה גבוהות יותר.

ע"פ ממצאי הסקר ניתן לראות שבעולם טרם פורסמו מחקרים שהיו מספקים הוכחה כמותית לכדאיות כלכלית ברורה של המעבר למעקות החדשים. יתרה מזו, באיחוד האירופי שאלה כזו מסתמנת כלא רלוונטית כי רוב המדינות ערכו עדכון לתקנים/ הנחיות לשימוש במעקות הבטיחות, במטרה להתאים מסמכים מנחים אלה לדרישות התקן האירופי החדש - EN 1317 - על עדכוניו, ללא התמודדות מוקדמת עם שאלת הכדאיות הכלכלית של פעילות זו.

בכל ההנחיות המעודכנות לשימוש במעקות הבטיחות שנמצאו בספרות כגון: TD 19/06 (2006), NRA TD 19/09 (2009), RPS (2009) - הדרישות למעקות הבטיחות מוגדרות במונחים של רמות תפקוד על-פי התקן החדש, כאשר התקנת המעקות צריכה להתבצע תוך כדי מתן רוחב פעיל מלא (או חלקי) למעקה בהתאם לערך שנמדד במבחני ההתנגשות. כלומר, רוב המדינות העלו את הדרישות לטיב ההתקנים המותקנים בשטח ולמרחק הפנוי בצד הדרך (לאבטחת המרווח הדרוש לרוחב הפעיל), ללא סימנים להתלבטות מקדימה לגבי עלויות גבוהות יותר של הסדרת תנאים אלה לעומת המצב הישן. הסבר אפשרי למצב זה נמצא במודעות הקיימת במדינות אלה לחשיבות עליונה של בטיחות, אשר מושגת, בין היתר, באמצעות שימוש בהתקנים שעומדים בדרישות של התקנים המחייבים.

בהקשר זה ראוי להזכיר שאי שימוש במעקות הבטיחות תוך כדי אבטחת תנאי דרך סלחניים, היה מחייב הסדרת אזור מפלט לרכב, דהיינו הרחבת צדי הדרך באמצעות שטח אופקי ניכר: מילוי סוללה או הרחבת חפירה. לתוספת שטח כזו הייתה קיימת משמעות כלכלית כבדה.

עקב תקופה קצרה יחסית של שימוש במעקות החדשים, בכל העולם, במחקרי מעקב טרם הצטברו נתונים שהיו מאפשרים הפקת תוצאות מובהקות בנושא השפעתם של המעקות החדשים על שכיחות וחומרת התאונות, ביחוד בהשוואה עם המעקות הישנים.

בהיעדר תשובות מוכנות לשאלה המרכזית (הכדאיות הכלכלית של מעבר למעקות החדשים), סקר הספרות הבלתי את הסוגיות הכלכליות שנבחנות, בדרך כלל, בהקשר של מעקות הבטיחות כגון:

הצדקים להתקנת מעקות הבטיחות לעומת חלופות אחרות; יעילות מעקות הבטיחות, בכלל, לצמצום שכיחות וחומרת תאונות; תנאים מועדפים לשימוש בסוגים השונים של מעקות הבטיחות. על-פי רוב הממצאים, הן באירופה והן בארה"ב, למעקות הבטיחות מיוחסת תרומה משמעותית ומובהקת להורדת חומרת ושכיחות התאונות עם נפגעים.

ע"פ הגישה המקובלת במספר מדינות (בעיקר, הגישה האמריקנית וחלקית, בריטית), בחינת הצדק כלכלי להתקנת מעקה הבטיחות מתייחסת לאתר מסוים והיא מתבססת על הערכות הסתברות לתאונת עזיבת הדרך/ התנגשות במכשול, חומרת התוצאה ללא המעקה ועלות התאונות הנחסכות לעומת העלויות הנדרשות להתקנה ותחזוקת מעקה. ערכים אלה נאמדים בהתחשב בגיאומטרית הדרך והמכשול, נפח והרכב התנועה, טווחי העלויות המקובלים והמסגרת הרגילה להערכה הכלכלית (אורך חיי הפרויקט, שיעור ריבית להיוון). ההסתברות וחומרת התאונות הצפויות ללא המעקה מוערכות באמצעות מודלים מכוילים או על סמך סטטיסטיקת התאונות שנצפו בשטח. תוצאות הערכה מתקבלות במונחים של יחס תועלת-עלות; על תוצאות ההערכה הבסיסית מומלץ לבצע ניתוח רגישות, בהתאם לטווחי השינויים בהנחות החישוב.

לרוב, הערכות הכדאיות הכלכלית משמשות בסיס לקביעת הצדקים להתקנת המעקות, בכלל. בנוסף, במסגרת תנאי הערכה שונים, ניתן להגיע להצדק כלכלי לשימוש במעקות ברמות תפקוד מסוימות. לצורך כך המודל צריך לשלב את הערכות ההסתברות לריסון כלי הרכב, מהסוגים השונים, בהתאם לרמות האנרגיה הקינטית שהמעקות מתוכננים לספוג.

לבחירת סוג המעקה להתקנה בתנאי שטח ותנועה מסוימים כגון: מעקה בטון נמשך לעומת מעקה פלדה, ניתן לבצע הערכה מקיפה של הכדאיות הכלכלית לאורך חיי המעקה. הערכה כזו כוללת התייחסות לנושאים כגון: הוצאות של רשויות הדרך להתקנה, תחזוקה ותיקון המעקות; עלויות של משתמשי הדרך הקשורות בהתרחשות התאונות, בהפסדי הזמן עקב פקקי התנועה בעקבות התאונות ובהפסדי הזמן עקב עבודות התחזוקה בדרך (לתיקוני המעקות לאחר תאונות). הערכות כאלה נערכו במספר מדינות (גרמניה, אנגליה) עבור מעקות הבטון ולפיהן הוסק כי למעקות בטון יצוק ישנם יתרונות תפקודיים בתנאי שטח ותנועה מסוימים כגון: במפרדות צרות של קטעי דרך ישרים המעבירים נפחי תנועה גדולים כגון: מעל 25,000 כלי רכב ביממה.

ע"פ ממצאי מחקר מקדים שנערך בישראל ואשר ניתח את נתוני התאונות בשנים 2004-2005 (לעומת שנים קודמות), בדרכים הלא עירוניות בישראל לא נצפתה ירידה בשכיחות תאונות התנגשות במעקות הבטיחות. עם זאת, בשנים אלה, כן נצפתה ירידה בחומרת התאונות (עם חסכון מוערך של כ-51 מיליון ₪, בשנה) וכמו כן, בשכיחות תאונות רכב בודד עם מעורבות רכב משא כבד ואוטובוסים (עם חסכון מוערך של 6-7 מיליון ₪, בשנה). כלומר, בעקבות התקנת המעקות החדשים ניתן לצפות לירידה בחומרת התאונות וייתכן כי, לירידה במספר תאונות התנגשות במעקה.

על בסיס ניתוח כדאיות החלפת המעקות הישנים במעקות החדשים שנערך באותו המחקר הישראלי, באמצעות תוכנת RSAP האמריקנית, הוסק כי החלפת המעקות כדאית בכבישים דו-מסלוליים ברמות תנועה של למעלה מ-25,000 כלי רכב ביממה שבהם מהירויות הנסיעה הן 100 קמ"ש ויותר (זאת, בתנאי השוואה בין מעקה פלדה ישן מסוג W לבין מעקה חדש ברמת תפקוד H1). כמו כן, בכבישים דו-מסלוליים בהם נפח התנועה נמוך מ-25,000 כלי רכב ביממה החלפת

המעקות נמצאה ככדאית כאשר אחוז כלי רכב כבדים היה גבוה מ-10%. ממצאים אלה למעשה תמכו בדרישות לרמות תפקוד המעקות שנקבעו בארץ כי נפח תנועה יומי של 25,000 כלי רכב ויותר מאפיין חלק ניכר מהדרכים הזו-מסלוליות בישראל.

גם לפי הערכות כלכליות שבוצעו בארה"ב ההצדק לשימוש במעקות הבטיחות ברמות תפקוד גבוהות יותר - TL4, TL5 - מתקיים בדרכים המהירות בלבד, כאשר מדובר במסלולים עם ייצוג גבוה של תנאי סוללה גבוהה ותלולה. כמו כן, במחקר מבוסס הערכות כלכליות שבוצע בפינלנד, נמצא כי שימוש במעקות H1/H2 בצידי דרכים באופן גורף חסר כדאיות כלכלית. עם זאת, החלפת מעקות N2 במעקות H1/H2 נמצאה כדאית במצבים מסוימים כגון: לפני עמודי גשר בעלי מבנה חלש; לפני עמודי גשר עם מרווח לא מספק להתקנת המעקה; בהתקרבות לגשרים החוצים דרך ראשית אחרת.

מבדיקות הנחיות מעודכנות שהתפרסמו במדינות אירופה ובארה"ב נובע 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 מדרכים מהירות/זו-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.

3. איסוף מידע מפורט והכנת בסיס הנתונים לניתוח

בשלב השני למחקר נערך איסוף והסדרת מידע על מצאי מעקות הבטיחות החדשים ברשת הדרכים הלא עירוניות. באמצעות מיפוי וניתוח נתונים מסקר דרכים 2010 של מערכת המנ"ב, זוהו ארבע קבוצות של קטעי דרכים ברשת, ברמת נוכחות שונה של המעקות החדשים. תהליך זה מתואר בסעיפים 3.1-3.3.

בהמשך, נערכו ניסיונות לקבל מידע על תקופות התקנת המעקות החדשים - ראה סעיף 3.4. למרות ניסיונות אלה, עבור חלק ניכר מקטעי הדרכים שנמצאו בשנת 2010 עם המעקות החדשים מידע על תקופות התקנתם היה חסר. מכאן, לא נוצר בסיס לביצוע ניתוחים מסוג "אחרי-לפני". לכן, על מנת לזהות השפעה של המעקות החדשים על רמת בטיחות הקטעים, הוחלט לבצע ניתוח רוחבי של מצב הבטיחות בקטעים עם המעקות החדשים לעומת קטעי ביקורת, בשנת 2010.

בניתוח הרוחבי, השפעת המעקות החדשים יכולה לבוא לידי ביטוי ע"י משתנה מסביר המשקף את הימצאות המעקות החדשים והמשפיע על הסיכון לתאונה. עם זאת, לזיהוי השפעת משתני המעקות נדרש לנטרל השפעות של מסבירים אפשריים אחרים כגון: רמת החשיפה (נפחי תנועה), אורך קטע, סוג דרך, מאפיינים גיאומטריים של הדרך. במילים אחרות, על מנת לזהות השפעה אפשרית של מעקות הבטיחות החדשים, יש לבצע ניתוח רב-משתני של מאפייני הקטעים. לכן, בטרם הניתוח נדרשה השלמה של המאפיינים הגיאומטריים של כל קטעי הדרכים שהוגדרו במחקר. השלמה זו נעשתה על סמך איסוף ועיבוד מידע נוסף ממערכת המנ"ב. תהליך זה מתואר בסעיף 3.5.

3.1. מקורות מידע על מעקות

איסוף נתונים מפורטים על מצאי מעקות הבטיחות החדשים ברשת הדרכים הלא עירוניות התמקד בסוגי מידע אלה:

* מיקום התקנה - מס' דרך, ק"מ התחלה, ק"מ סיום;

* סוג מעקה;

* מיקום המעקה בחדך הדרך - בצד ימין, בצד שמאל, במפרדה;

* תקופת התקנה - שנה (רצוי - חודש ושנה).

מקורות המידע העיקריים לנתונים אלה הם:

(א) סקר דרכים של החברה הלאומית לדרכים - בסיס נתונים של מערכת ניהול בטיחות (מנ"ב);

(ב) דיווחים של החברה הלאומית לדרכים (אחזקה) על התקנת מעקות חדשים, לפי תקופות.

א. נתונים מסקר דרכים של המנ"ב

ממערכת המנ"ב התקבלו שני קבצים של סקר מעקות בשנת 2010:

N צפון הארץ - קובץ הכולל 9791 רשומות,

S דרום הארץ - קובץ הכולל 10829 רשומות,

כאשר כל רשומה מתארת קטע מעקה, באורך משתנה, לפי סוג המעקה ומיקומו בחתך הדרך. מאפייני המעקות בקבצים היו לפי הפירוט שמוצג בטבלה 3.1, בתוספת Km_St, Km_Ed שהם ק"מ התחלה וק"מ סיום של קטע המעקה, לאורך הכביש.

טבלה 3.1. מאפייני מעקות הבטיחות בסקר דרכים של מערכת המני"ב 2010

Table 3.1. Safety barriers characteristics in the 2010 road survey

שם שדה	הגדרה	סוג ערך	ערך מדווח
ROAD	כביש מס'י	AlphaNumeric	מס'י כביש
SEGMENT	סגמנט	Number	קוד סגמנט
Sec_Pos	מיקום בחתך הכביש	List	R - ק"מ עולה L - ק"מ יורד C - בנודד מפרדה CR - מפרדה ימין CL - מפרדה שמאל
Gr_Mt_Typ	סוג מעקה	List	בטון / פלדה / כבלים / אחר
Gr_Typ	תת סוג	List	בטון נמשך / בטון מקטעים / פלדה W / פלדה EUR / כבלים / Primus / מעקה גשר/אחר
Gr_Model	דגם	List	בטון NG חד צדדי / בטון NG דו צידי פלדה W חד צדדי / פלדה W דו צידי פלדה W דו קומתי פלדה OBB / פלדה SUPERRAIL פלדה ESP / פלדה EDSP / פלדה DDSP/ Primus / Marcegaglia / ציפוי עץ / מעקה גשר/אחר

על סמך השדות Gr_Model, Gr_Typ, Gr_Mt_Typ - סוגי המעקות למיפוי נקבעו כלהלן:
בטון נמשך / בטון מקטעים / פלדה W / פלדה EURO / "אחר" (עבור סוגי מעקות אחרים) / "אינן" (ללא מעקה בכלל),

כאשר עבור מעקות EURO נרשמים גם דגמי המעקות כגון:

פלדה OBB / פלדה SUPERRAIL / פלדה ESP / פלדה EDSP / פלדה DDSP/ Primus / "אחר".

המידע מסקר הדרכים שימש בסיס למיפוי מצאי מעקות הבטיחות ברשת - בשנת 2010.

ב. דיווחים של החברה הלאומית לדרכים (אחזקה)

התקבלו שני קבצים:

(א) קובץ התקנות של מעקות חדשים, לפי מרחבים, בשנים 2004-2006.

(ב) קובץ עם ריכוז התקנות המעקות החדשים בשנים 2008-09, במרחב דרום.

בקובץ הראשון, אורך כולל של התקנות המעקות החדשים היה 131.2 ק"מ, לרבות 86.2 ק"מ במרחב צפון, 16.3 ק"מ במרחב מרכז, 28.7 ק"מ במרחב דרום.

בקובץ השני, אורך כולל של התקנות המעקות החדשים היה 7.3 ק"מ.

מידע על התקנות אלה, עם דגש על שנת התקנה, שולב בבסיס הנתונים של המחקר - מיפוי מצאי המעקות החדשים בשנת 2010.

3.2. הכנת בסיס הנתונים - מצאי המעקות בשנת 2010

כדי לקבוע מצאי של מעקות הבטיחות, לרבות מעקות הבטיחות החדשים, ברשת הדרכים, בוצע מיפוי של כל המידע משני קבצי המני"ב על גבי רשת הכבישים. רשת הכבישים נלקחה מפרסום הלמ"ס "תאונות דרכים עם נפגעים בשנת 2010. חלק ב' - תאונות בדרכים לא עירוניות". לוח 1 של פרסום זה הינו קובץ הקרוי "תאונות ונפח תנועה בדרכים לא-עירוניות, לפי דרך וקטע". קובץ זה מציג את כל רשת הדרכים לפי סדר עולה של קטעי למ"ס מוגדרים - מצומת לצומת, לרבות מספר כביש, מספר קטע, תיאור הקטע, אורך הקטע, נפח תנועה יומי ממוצע בשלוש שנים אחרונות.

הצבת המידע על מעקות נערכה על גבי הקטעים המוגדרים של הלמ"ס. הצבה זו בוצעה ב-3 חלקים - לפי צד ימין (R ק"מ עולה) של דרכים, צד משאל (L ק"מ יורד) של דרכים ומצב המעקות במפרדה, כאשר למצב המעקות במפרדה עיבוד המידע נעשה בשלושה שלבים: לפי מצב C (מעקה בודד במפרדה), מצב CR (מעקה מפרדה ימין), CL (מעקה מפרדה שמאל).

בכל חלק של ההצבה בוצעו פעולות אלה:

- א. מיון קובץ המעקות בסדר עולה לפי מספר כביש וק"מ התחלה של קטעי המעקות (הקצרים).
- ב. לכל סוג מעקה בוצע קיבוץ רשומות לפי מספר כביש, ק"מ התחלה וק"מ סוף של כל "קטע מעקה".
- ג. לכל ק"מ התחלה וסוף של קטע מעקה הוצמד קטע למ"ס מוגדר. במידה והיו מספר קטעים עוקבים של מעקות, הם הוצמדו בהתאם.
- ד. נמצאו אי התאמות בין רישום ק"מ התחלה וסוף של קטעי המעקות לעומת ק"מ התחלה וסוף של קטעי למ"ס מוגדרים. לסנכרון קטעי המעקות מול קטעי הלמ"ס שימשו כללים אלה: אם (ק"מ) תחילת קטע מעקה גדול או שווה לתחילת קטע למ"ס, התחלת קטע מעקה נשמרת; אם ק"מ תחילת קטע מעקה קטן מתחילת קטע למ"ס, התחלה קטע למ"ס קובעת את התחלת המעקה; אם סוף קטע מעקה קטן מ- או שווה לסוף קטע למ"ס, סוף קטע מעקה נשמר; אם סוף קטע מעקה גדול מסוף קטע למ"ס, סוף קטע למ"ס קובע את סוף המעקה.
- ה. בקובץ המסונכרן בוצעה אגרגציה, לפי כל סוג מעקה, על מנת לקבוע אורך מסכם של סוג מעקה זה בכל קטע למ"ס מוגדר. (כאשר קטעי המעקות אינם רצופים, סכום האורך מאפשר לתת אינדיקציה לאורך כולל של מעקות יחסית לאורך קטע כביש. ספירה זו נעשתה, כאמור, לכל צד של דרך ולמצב המפרדה).
- ו. לקובץ המעקות, לאחר האגרגציה, צורפו סוגי מעקות EURO.
- ז. תוצאות האגרגציה לפי סוגי המעקות אוחדו לטבלה אחת רחבה אשר מוסדרת לפי מספרי הקטעים של הלמ"ס.

ח. בוצע איחוד הקבצים שנבנו על סמך סקר דרכים צפוני N ודרומי S. לכל קטע מוכן עם המידע על מעקות התקבל קוד כגון: "N-1-10" - כביש 1, קטע 10, סקר צפון; "S-1-52" - כביש 1 קטע 52 סקר דרום. כל הקטעים סודרו לפי מספר עולה של כביש וק"מ בתוך הכביש. (באיחוד הקטעים מצפון ומדרום נמצאו שני קטעים כפולים, דהיינו לאותו קטע כביש נמצאה שורה אחת מסקר צפון והשנייה מסקר דרום. במקרה כזה המידע אוחד לשורה אחת, כאשר הקטע קיבל קוד "NS").

טבלאות 3.2-3.3 מציגות, לדוגמא, מידע מרוכז מהקובץ הסופי על הימצאות מעקות הבטיחות לאורך כבישים מס' 1 ו-2, בצדי הדרכים ובמפרדה.

בהמשך, טבלאות 3.4-3.5 מציגות תוצאות מספירה מלאה של הימצאות מעקות הבטיחות לאורך הכבישים, בכל הרשת, בצדי הדרכים ובמפרדות. ניתן לראות כי סה"כ אורך המעקות החדשים (מעקות פלדה EURO) **בצדי הדרכים** - עד 485 ק"מ (13% מאורך הרשת), **במפרדות** - עד 92.5 ק"מ (7% מאורך הקטעים עם מפרדות).

3.3. זיהוי קבוצות קטעי דרכים ברשת, לפי נוכחות המעקות החדשים

לזיהוי קטעי דרכים עם נוכחות ניכרת של מעקות EURO (קטעים המועמדים ל"קטעי טיפול" במחקר, לניתוח השינויים בתאונות) נעשו פעולות אלה:

בצדי הדרכים - L,R

א. לכל קטע דרך (קטע מוגדר למ"ס), סוכם אורך כולל של מעקות הבטיחות, בכל צד, ונקבע אורך מרבי ("Any barrier"). חושב אחוז מאורך הקטע עם מעקות הבטיחות בצדדים ("barrier").

ב. כמו כן, לכל קטע דרך, חושב אורך מרבי של מעקות EURO בין שני הצדדים ("EURO Length max") וחושב אחוז מאורך הקטע עם מעקות הבטיחות בצדדים ("EURO%").

ג. **לסיווג מצב המעקות**, בכל אחד מהקטעים המוגדרים, שימשו **כללים** אלה:

(1) כאשר קטע הדרך באורך $0.5 < \text{ק"מ} < \text{EURO\% AND } < 45\%$, נקבע **מצב "1"** שמשמעותו "קטע דרך עם אחוז גבוה ואורך גבוה של מעקות חדשים".

(2) כאשר קטע הדרך באורך $0.5 < \text{ק"מ} < \text{AND } \text{\%} < \text{EURO} < 45\%$ בין 33% - 45% , נקבע **מצב "2"** שמשמעותו "קטע דרך עם אחוז בינוני ואורך גבוה של מעקות חדשים".

(3) כאשר קטע הדרך באורך $1 < \text{ק"מ} < \text{AND } \text{\%} < \text{EURO} < 33\%$, נקבע **מצב "3"** שמשמעותו "קטע דרך עם אחוז נמוך אך אורך גבוה של מעקות חדשים". במקרים אלה, בהמשך, בוצעה בדיקה פרטנית של הקטעים על מנת לגזור **קטע דרך קצר יותר**, מק"מ עד ק"מ, שבצידיו ישנם מעקות חדשים.

(4) יתר המצבים עם מעקות EURO: קטעי דרך עם קטעי מעקות קצרים ואחוז נמוך של מעקות EURO מאורך הקטע, סומנו כמצב "4".

טבלה 3.2. דוגמא למידע מרוכז מהקובץ הסופי - אורך כולל (ק"מ) של מעקות הבטיחות בקטעי כבישים 1 ו-2, בצדי הדרך

Table 3.2. Example of concentrated information from the final file – total length (km) of safety barriers in the sections of roads No 1 and 2, on the roadsides

קוד קטע	ק"מ התחלה	ק"מ סוף	מצומת	עד צומת	צד ימין: אורך מעקות לפי סוגים (ק"מ) ופירוט סוגים של מעקה פלדה EURO						צד שמאל: אורך מעקות לפי סוגים (ק"מ) ופירוט סוגים של מעקה פלדה EURO						
					בטון מקטעים	בטון נמשך	פלדה EURO	סוג EURO	פלדה W	אחר	בטון מקטעים	בטון נמשך	פלדה EURO	סוג EURO	פלדה W	אחר	
N-1-10	0.0	4.6	ממחלף קיבוץ גלזיות	עד מחלף גנות		1.1				2.4			1.5			1.5	
N-1-20	4.6	6.4	ממחלף גנות	עד מחלף שפירים						1.8			0.3				
N-1-30	6.4	13.1	ממחלף שפירים	עד מחלף בן גוריון	1.8					4.7	0.1		0.7				5.6
N-1-40	13.1	14.5	ממחלף בן גוריון	עד מחלף לוד						1.0							1.3
N-1-50	14.5	18.9	ממחלף לוד	עד מחלף בן שמן													2.5
S-1-52	18.9	33.6	ממחלף בן שמן	עד מחלף לטרון			1.1	פלדה EDSP	6.1				4.8	פלדה EDSP	2.0		
S-1-60	33.6	38.5	ממחלף לטרון	עד מחלף שער הגיא						4.8		0.2	3.1	פלדה EDSP	1.3		
S-1-62	38.5	44.2	ממחלף שער הגיא	עד מחלף שורש	0.5		0.7	פלדה EDSP	4.3				1.3	פלדה DDSP	4.3		
S-1-70	44.2	51.0	ממחלף שורש	עד מחלף הראל	1.0		1.1	פלדה EDSP	4.7		1.1		0.4	פלדה DDSP	4.8	0.3	
S-1-80	51.0	57.7	ממחלף הראל	עד שד ויצמן - שערי ירושלים						3.0		0.3				2.7	
N-2-20	21.9	24.0	מצומת גלילות	עד מחלף הסירה						1.6			0.1	0.2	פלדה OBB	0.7	0.5
N-2-22	24.0	24.7	ממחלף הסירה	עד צומת הרצלייה						0.7			0.1				0.2
N-2-30	24.7	26.4	מצומת הרצלייה	עד מחלף שמריהו		0.3				0.8		0.2	0.6				0.8
N-2-40	26.4	38.0	ממחלף שמריהו	עד מחלף פולג	0.2	0.6	1.1	פלדה EDSP	8.5	0.3	0.8	2.0	1.1	פלדה EDSP	6.3	0.2	
N-2-50	38.0	43.8	ממחלף פולג	עד מחלף נתניה						5.0		0.2		1.0	פלדה EDSP	4.5	
N-2-52	43.8	51.0	ממחלף נתניה	עד מחלף ינאי		0.2	0.4	פלדה EDSP	6.0			0.2	0.2	פלדה EDSP	6.2		
N-2-60	51.0	58.7	ממחלף ינאי	עד מחלף אולגה			0.6	פלדה OBB	6.6				0.2	פלדה EDSP	6.6		
N-2-62	58.7	61.7	ממחלף אולגה	עד מחלף קיסריה			0.3	פלדה EDSP	1.9				0.2	פלדה EDSP	2.6		
N-2-70	61.7	75.5	ממחלף קיסריה	עד מחלף זכרון יעקב			1.9	פלדה EDSP	10.0			3.1	2.6	פלדה EDSP	4.5		
N-2-80	75.5	89.5	ממחלף זכרון יעקב	עד מחלף עתלית			0.2	פלדה EDSP	12.1				4.8	פלדה EDSP	5.8		
N-2-90	89.5	99.2	ממחלף עתלית	עד מחלף חיפה דרום		0.1	6.7	פלדה EDSP	0.5			0.1	6.7	פלדה EDSP	0.6		

טבלה 3.3. דוגמא למידע מרוכז מהקובץ הסופי - אורך כולל (ק"מ) של מעקות הבטיחות בקטעי כבישים 1 ו-2, במפרדה

Table 3.3. Example of concentrated information from the final file – total length (km) of safety barriers on the sections of roads No 1 and 2, on median.

קוד קטע	ק"מ התחלה	ק"מ סוף	C מעקה מפרדה בודד (ק"מ)					CR מעקה ימין (ק"מ)					CL מעקה משאל (ק"מ)							
			בטון מקטעים	בטון נמשך	פלדה EURO	סוג EURO	פלדה W	אחר	בטון מקטעים	בטון נמשך	פלדה EURO	סוג EURO	פלדה W	אחר	בטון מקטעים	בטון נמשך	פלדה EURO	סוג EURO	פלדה W	אחר
N-1-10	0.0	4.6						2.9					0.6							0.3
N-1-20	4.6	6.4						0.5					1.3							0.1
N-1-30	6.4	13.1					0.7	1.0	3.4				1.3							0.4
N-1-40	13.1	14.5		0.3																
N-1-50	14.5	18.9		0.3																
S-1-52	18.9	33.6		10.5									5.3							5.3
S-1-60	33.6	38.5		4.9									4.9							4.9
S-1-62	38.5	44.2		4.6			0.2						5.7							3.2
S-1-70	44.2	51.0		4.4			2.4						6.8							
S-1-80	51.0	57.7		0.8			1.7						2.2			0.6	פלדה OBB			
N-2-20	21.9	24.0								0.6	פלדה OBB		1.4			0.6	פלדה OBB			1.4
N-2-22	24.0	24.7											0.7							0.7
N-2-30	24.7	26.4		0.5									1.7							1.7
N-2-40	26.4	38.0	0.7	10.9									11.6							11.6
N-2-50	38.0	43.8		5.8									5.2							5.8
N-2-52	43.8	51.0		4.2			0.5						4.4							7.2
N-2-60	51.0	58.7	0.7	3.5	2.1	פלדה DDSP	0.3			0.5	פלדה EDSP		1.7			0.5	פלדה EDSP			1.7
N-2-62	58.7	61.7		3.0									0.3							0.3
N-2-70	61.7	75.5	1.5	11.8			0.3									0.1				
N-2-80	75.5	89.5		13.5												0.2				
N-2-90	89.5	99.2		5.1												14.0				
																1.5				

טבלה 3.4. אורך כולל של מעקות הבטיחות בצדי הדרכים ברשת - לפי סקר דרכים 2010

Table 3.4. Total length of safety barriers on roadsides on the whole network – according to 2010 road survey.

מדד	EURO- אורך מרבי**	צד שמאל: אורך מעקות (ק"מ) לפי סוגים			צד ימין: אורך מעקות (ק"מ) לפי סוגים				
		אחר	פלדה W	פלדה EURO	אחר	פלדה W	פלדה EURO		
אורך כולל, ק"מ	484.9	24.8	2130.9	367.3	26.8	2160.3	400.6	40.9	21.3
% מאורך הרשת*	13.4%	0.7%	59.0%	10.2%	0.7%	59.8%	11.1%	1.1%	0.6%

* אורך כולל של כל הקטעים ברשת - 3514 ק"מ

** בין שני צדי הדרכים

טבלה 3.5. אורך כולל של מעקות הבטיחות במפרדה ברשת - לפי סקר דרכים 2010

Table 3.5. Total length of safety barriers on medians on the whole network – according to 2010 road survey

מדד	EURO- אורך מרבי**	CL מעקה מפרדה שמאל (ק"מ)			CR מעקה מפרדה ימין (ק"מ)			C מעקה מפרדה בודד (ק"מ)						
		אחר	פלדה W	פלדה EURO	אחר	פלדה W	פלדה EURO	אחר	פלדה W	פלדה EURO				
אורך כולל, ק"מ	92.6	0.0	204.9	49.5	0.4	206.8	51.0	84.5	6.0	29.3	146.9	39.4	515.5	17.2
% מאורך הרשת*	7.3%	0.0%	16.1%	3.9%	0.0%	16.2%	4.0%	6.6%	0.5%	2.3%	11.5%	3.1%	40.4%	1.3%

* אורך כולל של הקטעים עם מפרדות ברשת - 1276.3 ק"מ (216 קטעים)

** מחושב, בכל קטע, כאורך מעקה בודד (C) פלוס אורך מרבי בין מעקות CR/CL

(5) קטעי הדרכים עם אחוז גבוה של מעקות ($\text{barrier}\% < 45\%$) שלא נכללו במצבים הקודמים, יצרו מצב "5". בבדיקה הפרטנית נמצא שברוב קטעים אלה מותקן מעקה W הישן (היו מקרים בודדים של קטעים עם מעקות בטון אשר סומנו כמצב "7").

(6) קטעי הדרכים עם נוכחות נמוכה של מעקות הבטיחות הוגדרו כמצב "0".

המצבים 1-3 יצרו קטעי דרכים - מועמדים ל"קטעי טיפול" במחקר (בקטעים אלה הותקנו המעקות החדשים), בעוד שהמצבים 4,5,7 ו-0 יצרו קטעי דרכים - מועמדים ל"קטעי ביקורת".

טבלה 3.6 מביאה דוגמא לתוצר של תהליך זה - קידוד מצב מעקות הבטיחות בצדי הדרכים עבור קטעי כבישים מס' 1 ו-2.

במפרדות - CL,CR,C

לסיווג מצב המעקות בקטעים עם מפרדות, סדר הפעולות וכללי סיווג מצבי המעקות היו דומים לאלה שהוצגו לעיל לצדי הדרך. עם זאת, בהערכה זו היו הבדלים מסוימים, כמפורט להלן:

- אורך מרבי של מעקות הבטיחות במפרדה ("Any barrier") מחושב, בכל קטע מוגדר, כאורך מעקה בודד (C) פלוס אורך מרבי בין מעקות CR/CL;

- באופן דומה, אורך מרבי של מעקות EURO ("EURO Length max") מחושב, בכל קטע מוגדר, כאורך מעקה בודד (C) מסוג EURO פלוס אורך מרבי בין מעקות CR/CL מסוג EURO.

- כמו כן, להבדיל מצדי הדרכים, מצב "7" - מעקות בטון במפרדה - היה נפוץ למדי.

גם במקרה של מפרדות, **המצבים 1-3** של המעקות יצרו קטעי דרכים - מועמדים ל"קטעי טיפול" במחקר (בקטעים אלה הותקנו המעקות החדשים), בעוד שהמצבים 4,5,7 ו-0 יצרו קטעי דרכים - מועמדים ל"קטעי ביקורת".

טבלה 3.7 מביאה דוגמא לתוצר של תהליך בדיקת המפרדות - קידוד מצב מעקות הבטיחות במפרדה עבור קטעי כבישים מס' 1 ו-2.

להלן **מפתח** למצבי המעקות בצדי הדרכים ובמפרדות של קטעי הלמ"ס שנוצרו בסיווגים הנ"ל:

מצב מעקות צד - R/L	משמעות לניתוח - קטע טיפול/ביקורת	מצב מעקות מפרדה - CL/CR/C	משמעות לניתוח - קטע טיפול/ביקורת
1	קטע טיפול	1	קטע טיפול
2	קטע טיפול	2	קטע טיפול
3	קטע טיפול - יש לגזור קטע קצר	3	קטע טיפול - יש לגזור קטע קצר
4	קטע ביקורת (כמו 5)	4	קטע ביקורת (כמו 5)
5	קטע ביקורת (מעקות W)	5	קטע ביקורת (מעקות W)
7	קטע ביקורת (מעקות בטון)	7	קטע ביקורת (מעקות בטון)
0	קטע ביקורת - ללא מעקות	0	קטע ביקורת - ללא מעקות

לבסוף, נערך איחוד של תוצאות סיווג הקטעים לפי מצב המעקות בצדדים ובמפרדות. הופעל הכלל הבא: קטע דרך נחשב לשייך למצבים 1-3 (מועמדים לקטעי טיפול), כאשר מצבים אלה היו **או בצד הדרך או במפרדה**. כלומר, בוצעה הרחבה של רשימת הקטעים שנמצאו במצבים 1-3 ע"פ

טבלה 3.6. דוגמא לקידוד מצב מעקות הבטיחות בצדי הדרכים עבור קטעי כבישים 1 ו-2

Table 3.6. Example of roadside safety barriers' status encoding for sections of roads No 1 and 2

rkod	ק"מ התחלה	ק"מ סוף	מצומת	עד צומת	TotalR - אורך כולל של מעקות, צד ימין, ק"מ	TotalL - אורך כולל של מעקות, צד שמאל, ק"מ	Any barrier - אורך מרבי של מעקות, צד, ק"מ	- % barrier - אורך הקטע עם מעקות	EURO - Length max - אורך מרבי של מעקות חדשים, ק"מ	- % EURO - אורך הקטע עם מעקות חדשים	FINAL-LR - סיווג מצב המעקות בקטע
N-1-10	0.0	4.6	ממחלף קיבוץ גליות	עד מחלף גנות	3.5	3.0	3.5	76%	0	0%	5
N-1-20	4.6	6.4	ממחלף גנות	עד מחלף שפירים	1.8	0.3	1.8	100%	0	0%	5
N-1-30	6.4	13.1	ממחלף שפירים	עד מחלף בן גוריון	6.6	6.3	6.6	99%	0	0%	5
N-1-40	13.1	14.5	ממחלף בן גוריון	עד מחלף לוד	1.0	1.3	1.3	93%	0	0%	5
N-1-50	14.5	18.9	ממחלף לוד	עד מחלף בן שמן	0.0	2.5	2.5	57%	0	0%	5
S-1-52	18.9	33.6	ממחלף בן שמן	עד מחלף לטרון	7.2	6.8	7.2	49%	5	33%	2
S-1-60	33.6	38.5	ממחלף לטרון	עד מחלף שער הגיא	4.8	4.6	4.8	98%	3	63%	1
S-1-62	38.5	44.2	ממחלף שער הגיא	עד מחלף שורש	5.5	5.6	5.6	98%	1	23%	3
S-1-70	44.2	51.0	ממחלף שורש	עד מחלף הראל	6.8	6.6	6.8	100%	1	16%	3
S-1-80	51.0	57.7	ממחלף הראל	עד שד ויצמן - שער ירושלים	3.0	3.0	3.0	45%	0	0%	0
N-2-20	21.9	24.0	מצומת גלילות	עד מחלף הסירה	1.6	1.5	1.6	76%	0	10%	4
N-2-22	24.0	24.7	ממחלף הסירה	עד צומת הרצלייה	0.7	0.3	0.7	100%	0	0%	5
N-2-30	24.7	26.4	מצומת הרצלייה	עד מחלף שמריהו	1.1	1.6	1.6	94%	0	0%	5
N-2-40	26.4	38.0	ממחלף שמריהו	עד מחלף פולג	10.7	10.4	10.7	92%	1	9%	3
N-2-50	38.0	43.8	ממחלף פולג	עד מחלף נתניה	5.0	5.7	5.7	98%	1	17%	3
N-2-52	43.8	51.0	ממחלף נתניה	עד מחלף ינאי	6.6	6.6	6.6	92%	0	6%	4
N-2-60	51.0	58.7	ממחלף ינאי	עד מחלף אולגה	7.2	6.8	7.2	94%	1	8%	4
N-2-62	58.7	61.7	ממחלף אולגה	עד מחלף קיסריה	2.2	2.8	2.8	93%	0	10%	4
N-2-70	61.7	75.5	ממחלף קיסריה	עד מחלף זכרון יעקב	11.9	10.2	11.9	86%	3	19%	3
N-2-80	75.5	89.5	ממחלף זכרון יעקב	עד מחלף עתלית	12.3	10.6	12.3	88%	5	34%	2
N-2-90	89.5	99.2	ממחלף עתלית	עד מחלף חיפה דרום	7.3	7.4	7.4	76%	7	69%	1

טבלה 3.7. דוגמא לקידוד מצב מעקות הבטיחות במפרדה עבור קטעי כבישים 1 ו-2

Table 3.7. Example of median safety barriers' status encoding for sections of roads No 1 and 2

rkod	ק"מ התחלה	ק"מ סוף	מצומת	עד צומת	- TotalC אורך כולל של מעקות בודדים במפרדה, ק"מ	-TotalCR אורך כולל של מעקות ימין במפרדה, ק"מ	-TotalCL אורך כולל של מעקות שמאל במפרדה, ק"מ	Any - barrier אורך מרבי של מעקות מפרדה, ק"מ	- % barrier % מאורך הקטע עם מעקות מפרדה	EURO Length - max אורך של מעקות חדשים, ק"מ	% EURO - % מאורך הקטע עם מעקות חדשים	FINAL- - C_CR_CL סיווג מצב של מעקות מפרדה בקטע
N-1-10	0.0	4.6	ממחלף קיבוץ גליות	עד מחלף גנות	0.0	3.5	3.1	3.5	76.1%	0.0	0%	7
N-1-20	4.6	6.4	ממחלף גנות	עד מחלף שפירים	0.0	1.8	1.7	1.8	100.0%	0.0	0%	7
N-1-30	6.4	13.1	ממחלף שפירים	עד מחלף בן גוריון	0.7	5.7	6.0	6.7	100.0%	0.0	0%	7
N-1-40	13.1	14.5	ממחלף בן גוריון	עד מחלף לוד	0.3	0.0	0.0	0.3	21.4%	0.0	0%	0
N-1-50	14.5	18.9	ממחלף לוד	עד מחלף בן שמן	0.5	0.0	0.0	0.5	11.4%	0.0	0%	0
S-1-52	18.9	33.6	ממחלף בן שמן	עד מחלף לטרון	10.5	5.3	5.3	15.8	107.5%	0.0	0%	7
S-1-60	33.6	38.5	ממחלף לטרון	עד מחלף שער הגיא	4.9	4.9	4.9	9.8	200.0%	0.0	0%	5
S-1-62	38.5	44.2	ממחלף שער הגיא	עד מחלף שורש	4.8	5.7	3.2	10.5	184.2%	0.0	0%	5
S-1-70	44.2	51.0	ממחלף שורש	עד מחלף הראל	6.8	6.8	0.0	13.6	200.0%	0.0	0%	5
S-1-80	51.0	57.7	ממחלף הראל	עד שד ויצמן - שערי ירושלים	2.5	2.2	0.6	4.7	70.1%	0.6	9%	4
N-2-20	21.9	24.0	מצומת גלילות	עד מחלף הסירה	0.0	2.0	2.0	2.0	95.2%	0.6	29%	4
N-2-22	24.0	24.7	ממחלף הסירה	עד צומת הרצלייה	0.0	0.7	0.7	0.7	100.0%	0.0	0%	5
N-2-30	24.7	26.4	מצומת הרצלייה	עד מחלף שמריהו	0.5	1.7	1.7	2.2	129.4%	0.0	0%	5
N-2-40	26.4	38.0	ממחלף שמריהו	עד מחלף פולג	11.6	11.6	11.6	23.2	200.0%	0.0	0%	5
N-2-50	38.0	43.8	ממחלף פולג	עד מחלף נתניה	5.8	5.2	5.8	11.6	200.0%	0.0	0%	5
N-2-52	43.8	51.0	ממחלף נתניה	עד מחלף ינאי	4.7	4.4	7.2	11.9	165.3%	0.0	0%	5
N-2-60	51.0	58.7	ממחלף ינאי	עד מחלף אולגה	6.6	2.2	2.2	8.8	114.3%	2.6	34%	2
N-2-62	58.7	61.7	ממחלף אולגה	עד מחלף קיסריה	3.0	0.3	0.4	3.4	113.3%	0.0	0%	7
N-2-70	61.7	75.5	ממחלף קיסריה	עד מחלף זכרון יעקב	13.6	0.2	0.2	13.8	100.0%	0.0	0%	7
N-2-80	75.5	89.5	ממחלף זכרון יעקב	עד מחלף עתלית	13.5	14.0	14.0	27.5	196.4%	0.0	0%	7
N-2-90	89.5	99.2	ממחלף עתלית	עד מחלף חיפה דרום	5.1	1.5	1.5	6.6	68.0%	0.0	0%	7

מצב צדי הדרך, בעזרת הקטעים שזוהו במצבים 1-3 במפרדות. יתר קטעי הדרכים (עם מצבים 4,5,7 או 0, הן בצד והן במפרדה) יישארו מועמדים לקטעי ביקורת.

כתוצאה, זוהו **4 קבוצות של קטעי דרכים** ברשת, לפי מצב הנוכחות של המעקות החדשים (מעקות EURO), כלהלן:

(1) קבוצה 1 - קטעי דרכים בהם נמצא אחוז גבוה ואורך גבוה של מעקות EURO, בצד או במפרדה;

(2) קבוצה 2 - קטעי דרכים בהם נמצא אחוז בינוני ואורך גבוה של מעקות EURO, בצד או במפרדה;

(3) קבוצה 3 - קטעי דרכים בהם נמצא אחוז נמוך אך אורך גבוה יחסית של מעקות EURO, בצד או במפרדה;

(4) קבוצה 4 - יתר קטעי הדרכים.

בכל קבוצה, קטעי הדרכים מוינו לפי מספר כביש וק"מ בכביש. כאמור, קבוצות הקטעים 1-3 משקפות התקנות של המעקות החדשים ומהוות קטעי טיפול, כאשר קבוצה 4 מהווה קטעי ביקורת.

בקרב קטעי הדרכים מקבוצה 3 בוצעה בדיקה פרטנית של קטעי התקנת המעקות החדשים, בצד ובמפרדה. כתוצאה, נקבע **אורך מעשי** (קצר יותר) של כל קטע, מ-ק"מ עד ק"מ, שבו נמצאו התקנות של המעקות החדשים.

טבלה 3.8 מסכמת את אורך קטעי הדרכים לפי הקבוצות שהתקבלו, לרבות האורך המסכם של המעקות החדשים, בצד ובמפרדה. ניתן לראות כי אורך כולל של קטעי הטיפול הינו כ-**841 ק"מ**, כאשר בקטעים אלה נמצאו סה"כ כ-**429 ק"מ** של המעקות החדשים בצדי הדרכים וכ-**87 ק"מ** של המעקות החדשים במפרדות.

טבלה 3.8. סיכום לקבוצות קטעי הדרכים, מבחינת נוכחות המעקות החדשים, שנבנו במחקר

Table 3.8. A summary of road section groups according to the new barriers' presence

מספר קטעי למ"ס בקבוצה	אורך כולל של מעקות EURO במפרדה, ק"מ	אורך כולל של מעקות EURO בצד, ק"מ	אורך כולל של קטעי הלמ"ס בקבוצה, ק"מ	משמעות הקבוצה	קבוצת קטעים	שיוך הקטעים לצורכי המחקר
44	46.6	194.6	310	אורך גבוה ו-1% גבוה של מעקות EURO*	1	טיפול
37	22.8	94.5	261.8	אורך גבוה ואחוז בינוני של מעקות EURO*	2	טיפול
67	17.5	139.9	966.6**	אורך גבוה אך אחוז נמוך של מעקות EURO - יש לגזור קטעים קצרים*	3	טיפול
349	5.7	55.9	2096.1	מעקות W הישן, בטון או ללא מעקה	יתר	ביקורת
497	92.6	484.9	3634.5		סה"כ	

* בצד או במפרדה ** אורך כולל מעשי של הקטעים עם המעקות החדשים - 268.9 ק"מ

3.4. בדיקת מידע מקבצי אחזקה של מעצ - איתור מידע על זמני התקנת המעקות

לאחר זיהוי קטעי דרכים עם המעקות החדשים נדרש מידע על שנות התקנת המעקות (כדי לבצע בהמשך בחינת שינויים בתאונות בתקופת "אחרי" לעומת "לפני" התקנת המעקות). למידע על שנות התקנת המעקות התקבלו שני מקורות:

(א) קובץ התקנות של מעקות חדשים, לפי מרחבי מעצ, בשנים 2004-2006.

(ב) קובץ עם ריכוז התקנות של מעקות חדשים, בשנים 2008-09, במרחב דרום.

א. בקובץ הראשון, אורך כולל של התקנת המעקות החדשים היה 131.2 ק"מ, לרבות 86.2 ק"מ במרחב צפון, 16.3 ק"מ במרחב מרכז, 28.7 ק"מ במרחב דרום. מידע פרטני על כל קטע מעקה מותקן הוצלב עם בסיס הנתונים של המחקר (קבוצות 1-3 שזוהו לעיל). בבדיקה זו נמצא שכל קטעי ההתקנות שדווחו בשנים 2004-2006 נמצאו בקבוצות 1-3. עם זאת, חלק ניכר מהתקנות אלה היו באורך קצר יחסית לאורך המעקות החדשים שנמצא בסקר דרכים 2010. לשימור תוצאות בדיקה זו, כל הקטעים שבהם היו התקנות בשנים 2004-2006 סומנו בצבע צהוב (בבסיס הנתונים של המחקר), כאשר עבור אותם הקטעים בהם חלק ניכר מהמעקות החדשים הותקנו בשנים 2004-2006 נרשמה שנת ההתקנה.

לאחר סימון מידע זה על התקנות המעקות בשנים 2004-2006, קובץ עם שלוש רשימות קטעי הדרכים (קבוצות 1-3) נמסר למזמין העבודה בבקשה לסייע בשחזור שנות התקנת המעקות החדשים בכל קטע וקטע.

ב. ממרחב דרום של החברה הלאומית לדרכים התקבל קובץ עם ריכוז מידע על התקנות המעקות החדשים בשנים 2008-09. אורך כולל של התקנות המעקות החדשים שדווח בקובץ זה היה 7.3 ק"מ.

להלן התייחסות לנתוני התקנות המעקות החדשים במחוז דרום שנמצאו בקובץ זה.

- בכותרות הטבלה שבקובץ צוין: ריכוז כמויות לחוזה 321/08 לקבלן א. לגאלי; דיסיפלינה של תיקון מעקות בטיחות.

- בטבלה מובאים הפרטים הבאים: תאריך על פי חודשים: מינואר 2008 עד יוני 2009; אזור אחד מהשלשה: אשקלון, אילת, דימונה; מס' דרך, ק"מ; צד התקנה L או R; רשימה המכילה ארבעה סוגי מעקות אירופאים (ESP, EDSP 1.33, EDSP 2.0, OBB) ויחידות קצה.

- קטעי ההתקנה בטבלה קצרים: בין 8 מ' ל-428 מ', כאשר הממוצע כ-100 מ'.

- נבדקה התאמת קטעי התקנה אלה, לפי זיהוי מס' דרך וק"מ, לקטעי דרך עם מעקות אירופאים שזוהו לביצוע המחקר (קבוצות 1-3). נמצאה התאמה חלקית, לחלק מהקטעים - כל הקטעים בהם היו ההתקנות סומנו בצבע כתום (בבסיס הנתונים של המחקר). עם זאת, לא נמצא מקרה כאשר אורך ההתקנות בשנים 2008-09 היה מספיק ארוך כדי "להסביר" אורך מלא של נוכחות המעקות החדשים בקטעי הדרכים כפי שנצפה בשנת 2010. (במילים אחרות, על סמך מידע זה לא יכולנו לקבוע את שנת התקנת המעקות החדשים בקטע).

להלן מספר דוגמאות:

1. בין הקטעים בקבוצה 1 של קטעי הדרכים במחקר (עם אחוז גבוה ואורך גבוה של מעקות EURO, בצד או במפרדה) נמצא כביש מס' 310 קטע מס' 10, מצומת אשל הנשיא עד צומת להבים, באורך 11.0 ק"מ. בקובץ ההתקנות 2008-09 בכביש זה נמצאו, בינואר 2008, 8 קטעים, באורכים: 128,100,96,76,60,52,8 מ' ועוד 156 מ' (סכום האורך של 13 יחידות קצה באורך 12 מ', כל אחת). כלומר, בשנת 2008 היו בקטע כביש זה התקנות באורך כולל של כ-1000 מ', כאשר אורך כולל של המעקות החדשים בקטע דרך זה - 9.5 ק"מ.

2. בין הקטעים בקבוצה 2 (עם אחוז בינוני ואורך גבוה של מעקות EURO, בצד או במפרדה) נמצא כביש מס' 38 קטע מס' 10, מצומת נחושה עד צומת האלה, באורך 10.0 ק"מ. בקובץ ההתקנות 2008-09 בכביש זה נמצאו, בפברואר 2008, 3 קטעים באורכים: 120, 184, 136 מ' ועוד 48 מ' (סכום אורך של 4 יחידות קצה באורך 12 מ', כל אחת). כלומר, בשנת 2008 היו בקטע כביש זה התקנות באורך כולל של כ-450 מ', כאשר אורך כולל של המעקות החדשים בקטע דרך זה - 3.4 ק"מ.

3. בין הקטעים בקבוצה 3 (עם אחוז נמוך אך אורך גבוה יחסית של מעקות EURO, בצד או במפרדה) נמצא כביש מס' 35 קטע מס' 20, מצומת גבעתי עד צומת פלוגות, באורך 10.3 ק"מ. בקובץ ההתקנות 2008-09 בכביש זה נמצאו, בפברואר 2008, 3 קטעים באורכים: 32, 8, 168 מ'. כלומר, בשנת 2008 היו בקטע כביש זה התקנות באורך כולל של כ-210 מ'; כל ההתקנות בק"מ 6. מאידך, האורך המעשי של מעקות EURO בקטע כביש זה נקבע בין ק"מ 13.7 עד ק"מ 14.2. מכאן, הידע על התקנות המעקות בק"מ 6 לא תרם לגילוי שנת התקנת המעקות החדשים בקטע כביש זה.

סה"כ, מהנתונים של קובץ התקנות 2008-09 במרחב דרום נלמד שהם אינם כוללים זמני התקנה לקטעים הארוכים יחסית של המעקות החדשים (מעל 500 מ') שנבחרו למחקר; כפי הנראה, המידע בקובץ זה מתייחס לקטעי תיקון קצרים ולקטעי התקנה קצרים בלבד של המעקות החדשים.

בהמשך, על אף הניסיונות הרבים לקבל מידע על תקופות התקנת המעקות החדשים ברשת, עבור חלק ניכר מקטעי הדרכים שנמצאו בשנת 2010 עם המעקות החדשים מידע זה חסר.

3.5. השלמת בסיס הנתונים לניתוח הרוחבי

בשלב הבא של המחקר תוכנן ניתוח שינויים בתאונות בעקבות התקנת המעקות החדשים/החלפת מעקות ישנים בחדשים, בשיטת השוואה "אחרי-לפני" עם קבוצת ביקורת. בשל היעדר מידע על תקופות התקנת המעקות, ניתוח מסוג "אחרי-לפני" לא היה אפשרי. לכן, כדי לבחון השפעה של המעקות החדשים על רמת בטיחות הקטעים, הוחלט לבצע ניתוח רוחבי (cross-section analysis) של מצב הבטיחות בקטעי הטיפול לעומת קטעי הביקורת, בו-זמנית. בניתוח הרוחבי, השפעת נוכחות המעקות החדשים יכולה לבוא לידי ביטוי ע"י משתנה מסביר המשקף את הימצאות המעקות והמשפיע על הסיכון לתאונה.

לזיהוי השפעת משתני המעקות יש לנטרל, תחילה, השפעות של מסבירים אפשריים נוספים כגון: רמת החשיפה (נפחי תנועה), אורך קטע, סוג דרך, מאפיינים גיאומטריים של הדרך. לכן, לפני

התחלת הניתוח היה צריך להשלים את המאפיינים הגיאומטריים של כל קטעי הדרכים שנבחרו למחקר ושעבורם כבר נאספו נתונים על הימצאות מעקות הבטיחות. השלמת המאפיינים הגיאומטריים נעשתה באמצעות פניה חוזרת למערכת המנ"ב. עם הנתונים שהתקבלו נערכו כל שלבי העיבודים כדי להכניס לניתוח.

3.5.1. הגדרות סוגי התאונות ומאפייני הקטעים

בשלב זה, בהכנת הנתונים לניתוח היו שני מרכיבים:

(א) הפקת נתוני תאונות הדרכים בשנת 2010 - לכל קטע דרך;

(ב) הפקת מאפיינים גיאומטריים, על סמך סקר דרכים 2010 - לכל קטע דרך.

לכל קטע דרך, על סמך קובץ "ת"ד" של הלמ"ס, בשנת 2010, הופקו 10 מספרי תאונות, כולל:

א - כלל התאונות (עם מעורבות כל סוגי הרכב), מהסוגים

- התנגשויות במעקה

- רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקה)

- רכב יחיד - תאונות חמורות

- כלל התאונות עם נפגעים בקטע (ללא פגיעה בהולך רגל)

- תאונות חמורות עם נפגעים (ללא פגיעה בהולך רגל);

ב - תאונות רכב כבד (לפחות אחד מכלי הרכב המעורבים הוא משא מעל 4 טון, אוטובוס, אוטובוס

זעיר, רכב עבודה או טרקטור), מהסוגים

- התנגשויות במעקה

- רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקה)

- רכב יחיד - תאונות חמורות

- כלל התאונות עם נפגעים (ללא פגיעה בה"ר)

- תאונות חמורות עם נפגעים (ללא פגיעה בה"ר).

בהכנת הנתונים לניתוח, על סמך מאפייני הקטעים ממערכת המנ"ב בוצעו:

(א) זיהוי הסגמנטים של המנ"ב המתאימים לקטעי הדרכים עם מעקות שנקבעו למחקר, לפי מסי כביש וק"מ, קטע עולה ויורד ביחד.

(ב) לכל קטע דרך שנבחר למחקר - חישוב תכונות אלה¹³:

1. מספר נתיבים

Tt_Ln	מסי נתיבים כולל
-------	-----------------

חישוב: ממוצע על פני כל הסגמנטים

2. סוג דרך

¹³ התכונות 1-5 על סמך הגדרות השדות של המנ"ב ב"טבלה ROAD_SEGMENT_1.0"; התכונות 6-8 על סמך הגדרות השדות בתוך "ROAD_SEGMENT_SHOULDER_1.1"; התכונות 10-14 על סמך קובץ עקומים ושיפועים של המנ"ב.

Rd_Typ	סוג דרך
--------	---------

חישוב: ממוצע על פני כל הסגמנטים

(3 - חד-מסלולית / 2 - דו-מסלולית / 1-מהירה)

3. אופן סלילה

Typ_Stt	אופן סלילה
---------	------------

חישוב: ממוצע על פני כל הסגמנטים

(1 - מילוי / 2 - חפירה / 3 - חציבה)

4. רוחב מיסעה עולה

Pv_Wt_R	רוחב מיסעה R (ק"מ עולה)
---------	----------------------------

חישוב: ממוצע על פני כל הסגמנטים

5. רוחב מיסעה יורד

Pv_Wt_L	רוחב מיסעה L (ק"מ יורד)
---------	----------------------------

חישוב: ממוצע על פני כל הסגמנטים

6. רוחב שולי ימני

sh_wt	רוחב שול
-------	----------

חישוב: ממוצע על פני כל הסגמנטים

7. רוחב שול שמאלי

insh_wt	רוחב שול פנימי
---------	----------------

חישוב: ממוצע על פני כל הסגמנטים

8. סוג שול ימני

Sh_Typ	סוג שול	List	אספלט צר/אספלט בינוני/ אספלט רחב/ גרנולרי
--------	---------	------	---

חישוב: ממוצע על פני כל הסגמנטים

כאשר: 1 - לא סלול (גרנולרי), 2 - סלול חלקי (אספלט צר/אספלט בינוני), 3 - סלול מלא (אספלט רחב)

9. סוג שול שמאלי

InSh_Typ	סוג שול פנימי	List	אספלט צר/אספלט בינוני/ אספלט רחב/ גרנולרי
----------	---------------	------	---

חישוב: ממוצע על פני כל הסגמנטים

כאשר: 1 - לא סלול (גרנולרי), 2 - סלול חלקי (אספלט צר/אספלט בינוני), 3 - סלול מלא (אספלט רחב)

10. רדיוס אופקי - Radius Horizontal בקובץ

לרדיוס אופקי המופיע עם סימן +/- יש לקחת ערכים אבסולוטיים; ערכים מעל 5500 - לקבוע 5500, ולחשב:

Trimmed Mean - RH_TM - אומדן לערך הממוצע ללא קצוות (הערך הממוצע של 50% האמצעיים של התצפיות);

Minimum_av - RH_MI - אומדן לערך המינימלי (ממוצע 30% התצפיות הנמוכות).

11. שיפוע צד - Side Slope

לשיפוע צד המופיע עם סימן +/- יש לקחת ערכים אבסולוטיים, ולחשב:

Trimmed Mean - SS_TM - אומדן לערך הממוצע ללא קצוות (הערך הממוצע של 50% האמצעיים של התצפיות);

Maximum_av - SS_MA - אומדן לערך המרבי (ממוצע 30% התצפיות הגבוהות).

12. רדיוס אנכי קמור - Radius Vertical

לרדיוס אנכי קמור המופיע עם סימן +, לערכים מעל 22600 לקבוע 22600 ולחשב:

Trimmed Mean - RVP_TM - אומדן לערך הממוצע ללא קצוות (הערך הממוצע של 50% האמצעיים של התצפיות);

Minimum_av - RVP_MI - אומדן לערך המינימלי (ממוצע 30% התצפיות הנמוכות).

13. רדיוס אנכי קעור - Radius Vertical

לרדיוס אנכי קעור המופיע עם סימן -, לערכים מעל 7700 לקבוע 7700 ולחשב:

Trimmed Mean - RVN_TM - אומדן לערך הממוצע ללא קצוות (הערך הממוצע של 50% האמצעיים של התצפיות);

Minimum_av - RVN_MI - אומדן לערך המינימלי (ממוצע 30% התצפיות הנמוכות).

14. שיפוע אורכי Grade (עם + בלבד)

לשיפוע אורכי המופיע עם סימן + לחשב:

Trimmed Mean - GP_TM - אומדן לערך הממוצע ללא קצוות (הערך הממוצע של 50% האמצעיים של התצפיות);

Maximum_av - GP_MA - אומדן לערך המרבי (ממוצע 30% התצפיות הגבוהות).

3.5.2. בדיקות הנתונים הגיאומטריים שנאספו לקטעי המחקר

על בסיס הנתונים שנאספו עבור קטעי המחקר נערכה סדרה של בדיקות כמתואר להלן.

א. סוגי קטעי המחקר

קטעי המחקר מקובצים ל- 4 סוגים :

סוג 1: בקטעים אלה אחוז גבוה ואורך גבוה של מעקות EURO, בצד או במפרדה. קטעים אלו חופפים לקטע שלם על פי נתוני הלמ"ס.

סוג 2: בקטעים אלה אחוז בינוני ואורך גבוה של מעקות EURO, בצד או במפרדה. קטעים אלו חופפים לקטע שלם על פי נתוני הלמ"ס.

סוג 3: בקטעים אלה אחוז נמוך אך אורך גבוה יחסית של מעקות EURO, בצד או במפרדה. קטעי המחקר מהווים חלק מקטע שלם על-פי נתוני הלמ"ס.

סוג 4: קטעים עם אורך נמוך או אחוז נמוך של מעקות EURO, או ללא מעקות EURO, קטעים אלו משמשים כקבוצת ביקורת. קטעים אלו חופפים לקטע שלם על פי נתוני הלמ"ס.

ב. בדיקת רציפות הקטעים

מטרת הבדיקה היא לזהות האם קטעי מחקר סמוכים באותה דרך יוצרים רצף והאם קיימים חלקי קטעי דרך המופיעים ביותר מקטע מחקר אחד.

כל קטעי המחקר סודרו על פי מספר הכביש ועל פי ק"מ התחלה של הקטע, בסדר עולה. לכל מספר דרך נבדק שק"מ סיום של קטע זהה לק"מ התחלה של הקטע הסמוך.

נמצאה זהות בין ק"מ סיום של קטע לבין ק"מ התחלה של קטע סמוך, חוץ מאשר לקטעים שאינם באותו כביש, וחוץ מקטעים בקבוצה 3 אשר הוגדרו כחלק מאורך קטע.

ג. בדיקת קטעים בהם חסרים נתוני סקר מני"ב

מטרת הבדיקה היא לזהות האם קיימים לקטעים נתוני סקר מני"ב מלאים.

ל- 11 קטעי מחקר לא נמצאו נתוני סקר מני"ב, מתוכם 3 קטעים מקבוצה 1, ו- 8 קטעים מקבוצה 4. הוחלט להוציא 11 קטעים אלו מרשימת קטעי המחקר.

למספר תכונות מקובצות של קטעים נמצאו ערכים חסרים כמפורט להלן.

חוסר בנתון רוחב שול שמאלי פנימי :

כביש 2 קטע 70 מקבוצה 3.

כביש 2 קטע 80 מקבוצה 2.

מוצע בעיבוד הנתונים לא להתחשב בקטעים אלו בחישובים הלוקחים בחשבון רוחב שול שמאלי פנימי.

חוסר בנתון רוחב שול ימני :

כביש 92 קטע 10 מקבוצה 3.

כביש 70 קטע 130 מקבוצה 3.

כביש 90 קטע 64 מקבוצה 3.

כביש 784 קטע 2 מקבוצה 3.

כביש 4 קטע 170 מקבוצה 4.

כביש 412 קטע 40 מקבוצה 3.
מוצע בעיבוד הנתונים לא להתחשב בקטעים אלו בחישובים הלוקחים בחשבון רוחב שול ימני.

חוסר בנתון ממוצע מינימום של רדיוס אופקי :

כביש 71 קטע 1 מקבוצה 4.

חוסר בנתון ממוצע אמצעי של רדיוס אנכי קמור :

כביש 71 קטע 1 מקבוצה 4.

חוסר בנתון ממוצע מינימום של רדיוס אנכי קמור :

כביש 71 קטע 1 מקבוצה 4.

כביש 411 קטע 10 מקבוצה 4.

כביש 3 קטע 58 מקבוצה 4.

כביש 25 קטע 25 מקבוצה 4.

חוסר בנתון ממוצע אמצעי של רדיוס אנכי קעור :

כביש 3 קטע 58 מקבוצה 4.

כביש 71 קטע 1 מקבוצה 4.

כביש 4103 קטע 10 מקבוצה 4.

כביש 65 קטע 90 מקבוצה 1.

כביש 75 קטע 38 מקבוצה 65.

חוסר בנתון שיפוע אנכי חיובי :

כביש 71 קטע 1 מקבוצה 4,

כביש 411 קטע 10 מקבוצה 4.

הערכים חסרים בנתונים : ממוצע מינימום של רדיוס אופקי, חוסר בנתון ממוצע אמצעי של רדיוס אנכי קמור, חוסר בנתון ממוצע מינימום של רדיוס אנכי קמור, חוסר בנתון ממוצע אמצעי של רדיוס אנכי קעור, שיפוע אנכי חיובי - נובעים ממספר סגמנטים קטן או ממעוט במגוון הערכים. מומלץ לא להתחשב בקטעים אלו בחישובים הלוקחים בחשבון את המאפיינים הנ"ל.

ד. בדיקת התאמה בין סוג דרך חד-מסלולית/דו-מסלולית לבין מספר נתיבים

מטרת הבדיקה היא לזהות התאמה בין סוג דרך : חד-מסלולי/ דו-מסלולי, לבין מספר נתיבים. אנו מצפים שלדרכים חד-מסלוליות ממוצע הנתיבים יהיה קרוב ל-2, אך גדול מ-2 במעט, עקב חלקי קטעי דרך בהם מתווספים נתיבי פנייה סמוך לצמתים. אנו מצפים שלדרכים דו-מסלוליות ממוצע הנתיבים יהיה קרוב ל-4, אך גדול מ-4 במעט, עקב חלקי קטעי דרך בהם קיימים 3 נתיבים וכן, חלקי קטעי דרך בהם מתווספים נתיבי פנייה סמוך לצמתים.

עבור קטעי דרך חד-מסלולית התקבל ממוצע של 2.095 נתיבים.

עבור קטעי דרך דו-מסלולית התקבל ממוצע של 4.2615 נתיבים.

התוצאה מתאימה לערכים הצפויים.

ה. בדיקת התאמה בין סוג דרך מהירה/ דו-מסלולי/ חד-מסלולי לבין מספר נתיבים

מטרת הבדיקה היא לזהות התאמה בין סוג דרך: 1-מהירה, 2- דו מסלולית, 3- חד-מסלולית - לבין מספר נתיבים.

נמצא קשר פירסון הפוך 0.877-. זהו קשר חזק המראה התאמה טובה בין ערך סוג הדרך (1,2,3) לבין מספר הנתיבים (2,3,4,5,6,7,8). התוצאה מתאימה לערכים הצפויים.

ו. בדיקת התאמה בדרך חד-מסלולית בין רוחב מסעה עולה R לרוחב מסעה יורד L

מטרת הבדיקה עבור קטעי דרך חד-מסלולית היא לזהות ערך סביר בתחום 5.5-7.0 מ' לרוחב הדרך, וכן ערכים קרובים בכוון העולה R, ובכוון היורד L. נמצא ערך ממוצע 5.7 לשני הכוונים, בכוון העולה R, ובכוון היורד L. התוצאה מתאימה לערכים הצפויים.

ז. בדיקת התאמה בדרך דו-מסלולית בין רוחב מסעה עולה R לרוחב מסעה יורד L

מטרת הבדיקה עבור קטעי דרך דו-מסלולית היא לזהות ערך סביר בתחום 7.0-8.5 מ' לרוחב הדרך, וכן ערכים קרובים בכוון העולה R, ובכוון היורד L. נמצא ערך ממוצע 7.9 לשני הכוונים, בכוון העולה R, ובכוון היורד L. התוצאה מתאימה לערכים הצפויים.

ח. בדיקת פרטי קטעי דרך מהירה

מטרת הבדיקה היא לזהות מספר קטעי הדרך המהירה, וכן שיוכם לקבוצות קטעי המחקר, על מנת לבחון את צירופם לקבוצת הדרכים הדו-מסלוליות. נמצאו 5 קטעי דרך מהירה. כולם בכביש 1: קטעים 10, 20, 30, 40, 50. כל 5 הקטעים שייכים לקבוצה 4. הוחלט לצרף קטעי דרך אלו לדרכים דו-מסלוליות.

ט. בדיקת פילוג מספר קטעי דרך על פי מספר רציף ממוצע (1-3) של סוג הדרך

קטעי הדרך במחקר יכולים להיות מורכבים מתת-קטעים שונים. לדוגמה קטע דרך שחלקו דו-מסלולי וחלקו חד-מסלולי. עבור סוג: 1- מהירה, 2- דו-מסלולית, 3- חד-מסלולית, לכל קטע דרך ניתן מספור המושפע מערך כל תת-החלקים. מטרת הבדיקה היא לזהות את הקטעים שאינם אחידים מבחינת סוג הדרך.

מס' קטעי הדרך	סוג דרך 1- מהירה, 2- דו מסלולית, 3- חד מסלולית
5	1.0
0	1.0-2.0
163	2.0
66	2.0-3.0
252	3.0

נמצאו 5 קטעי דרך מהירה לכל אורכם. לא נמצאו קטעי דרך שחלקם דרך מהירה וחלקם דרך דו-מסלולית. נמצאו 163 קטעי דרך דו-מסלולית לכל אורכם. נמצאו 66 קטעי דרך שחלקם דרך דו-מסלולית וחלקם דרך חד-מסלולית. נמצאו 252 קטעי דרך חד-מסלולית לכל אורכם.

כאמור, הוחלט לצרף קטעי דרך מהירה לדרכים דו-מסלוליות ולהשאיר ערך סוג הדרך של קטע כמספר רציף.

י. בדיקת פילוג מספר קטעי דרך על פי מספר נתיבים ממוצע של קטע הדרך

קטעי הדרך במחקר יכולים להיות מורכבים מתת קטעים שונים. לדוגמא, קטע דרך שחלקו עם 2 נתיבים וחלקו עם 3 נתיבים. לכל קטע דרך ניתן מספר נתיבים ממוצע (שאינו בהכרח מספר שלם) המושפע מערך כל תת-החלקים. מטרת הבדיקה היא לזהות את פילוג קטעי הדרך על פי מספר הנתיבים הממוצע.

מס' נתיבים ממוצע	מס' קטעי הדרך
2.0	283
2.0-3.0	65
3.0	1.0
3.0-4.0	27
4.0	99
4.0-5.0	33
5.0	1
5.0-6.0	4
6.0	9
6.0-8.0	15
8.0	1
8.0+	3

נמצאו: 283 קטעי דרך עם מספר ממוצע של 2.0 נתיבים, 99 קטעי דרך עם מספר ממוצע של 4.0 נתיבים, כאשר יתר קטעי הדרך בעלי מספר נתיבים ממוצע שאינו מספר שלם. מומלץ להשאיר ערך מספר ממוצע של נתיבי קטע הדרך כמספר רציף.

יא. בחינת קטעי דרך בעלי רוחב שול שמאלי ממוצע ורוחב שול ימני ממוצע חריגים.

רוחב שול בדרך כלל אינו עולה על 3.0 מ'. למספר מצומצם של קטעי דרך התקבלו ערכים ממוצעים חריגים (מעל 4.0 מ'). מטרת הבדיקה היא לבחון באלו קטעי דרך רוחב שול הוא חריג, ולנסות למצוא הסבר לחריגה. הקטעים עם ערכים חריגים הם:

- כביש 471 קטע 10 קבוצה 4, רוחב ממוצע שול ימין 4.70 מ'.
 - כביש 13 קטע 10 קבוצה 4, רוחב ממוצע שול ימין 4.24 מ'.
 - כביש 4 קטע 70 קבוצה 4, רוחב ממוצע שול ימין 4.70 מ'.
 - כביש 471 קטע 10 קבוצה 4, רוחב ממוצע שול שמאל 5.07 מ'.
 - כביש 34 קטע 10 קבוצה 3, רוחב ממוצע שול שמאל 4.77 מ'.
 - כביש 1 קטע 20 קבוצה 4, רוחב ממוצע שול שמאל 4.66 מ'.
 - כביש 41 קטע 22 קבוצה 2, רוחב ממוצע שול שמאל 4.19 מ'.
- לא נמצא הסבר לחריגה זאת. הוחלט להשאיר ערכים אלו בבסיס הנתונים של המחקר.

3.5.3. סיכום נתוני התאונות בקטעי המחקר

לאחר הצבת נתוני התאונות לקטעי המחקר, נערך סיכום המספרים אשר אפשר, בין היתר, לבחון את כיסוי הרשת הבינעירונית ע"י קטעי המחקר וכמו כן, להעריך את פוטנציאל פיתוח המודלים המסבירים (האם קיים ריכוז תאונות מהסוג הנבחן?).

בבדיקה זו נתגלה, לדוגמא, היעדר קטעי כביש מסוימים כגון: כביש 65 עד ק"מ 34; כביש 70 עד ק"מ 33; כבישים 651, 574 ועוד. בבירור מול מערכת המנ"ב נלמד כי כבישים אלה שייכים לאזורי PFI ולכן, לרוב לא נכללים בסקרי הדרכים של המנ"ב. במילים אחרות, בשל היעדר המאפיינים, קטעי כבישים כאלה לא ישתתפו בנייתו השפעת המעקות החדשים (למרות שבחלקם כן מותקנים המעקות החדשים). כמו כן, אי הכללת כבישים אלה בבסיס הנתונים של המחקר מחלישה במידה מסוימת את היכולת לגלות קשרים סטטיסטיים מכיוון בחלקם נרשמו תאונות רכב יחיד, תאונות התנגשות במעקה וכו', בתקופת הניתוח (עקב אי-הכללת הקטעים, תאונות אלה יצאו ממאגר הנתונים של המחקר).

טבלות 3.9-3.10 מציגות את מספרי התאונות שנרשמו, בשנת 2010, בקטעי המחקר. טבלה 3.9 מביאה סיכום של מספרי התאונות, לפי 10 הסוגים שנקבעו למחקר, בכל אחד מקבוצות הקטעים (3-1 קטעי טיפול, 4 - קטעי ביקורת). טבלה 3.10 מביאה פירוט למספרי התאונות בקטעי הביקורת, לפי המאפיינים השונים של הקטעים מבחינת הימצאות המעקות. ניתן לראות, לדוגמא, כי הקטעים הטיפוסיים בקבוצת הביקורת הם:

- עם מעקות פלדה בצד ומעקות פלדה במפרדה,
- עם מעקות פלדה בצד ומעקות בטון המפרדה,
- עם מעקות פלדה בצד וללא מעקות באמצע,
- עם מעט מעקות בצד וללא מעקות באמצע,
- עם מעקות פלדה או מעט מעקות בצד ומעט מעקות באמצע.

(״מעט מעקות״ בטבלה 3.10 פירושו ״עד 45% מאורך הקטע ישנו מעקה ישן״).

טבלה 3.9. סיכום למספרי התאונות בשנת 2010, לפי 10 סוגי התאונות שנבחרו למחקר, בקבוצות קטעי המחקר (1-3 קטעי טיפול, 4 - קטעי ביקורת)

Table 3.9. Summary of the 2010 accident numbers according to the 10 accidents types selected for the study and the study's section groups (1-3 treatment sections, 4 - control sections)

group	N מספר קטעי דרך	כלל התאונות: עם מעורבות כל סוגי הרכב					תאונות רכב כבד: לפחות אחד מכלי הרכב המעורבים הוא משא מעל 4 טון, אוטובוס, אוטובוס זעיר, רכב עבודה, או טרקטור				
		התנגשויות במעקה	רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקה)	רכב יחיד - תאונות חמורות	כלל התאונות עם נפגעים (ללא פגיעה בה"ר)	תאונות חמורות עם נפגעים (ללא פגיעה בה"ר)	התנגשויות במעקה	רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקה)	רכב יחיד - תאונות חמורות	כלל התאונות עם נפגעים (ללא פגיעה בה"ר)	תאונות חמורות עם נפגעים (ללא פגיעה בה"ר)
		COL_su m	SNG_su m	SNGS_su m	ALLacc_su m	ALLaccS_su m	HCOL_su m	HSNG_su m	HSNGS_su m	HALLacc_su m	HALLaccS_su m
1	44	12	19	5	152	19	2	1	0	22	1
2	37	17	39	9	284	42	0	4	1	38	10
3	67	5	21	5	122	25	2	1	0	24	8
4	349	62	184	42	1075	163	0	12	3	151	30
סה"כ	497	96	263	61	1633	249	4	18	4	235	49

טבלה 3.10. פירוט למספרי התאונות בשנת 2010, לפי 10 סוגי התאונות שנבחרו למחקר, בתת-קבוצות קטעי הביקורת שנקבעו לפי מצב המעקות

Table 3.10. Details of the 2010 accident numbers according to the 10 accident types selected for the study, in the control section subgroups defined according to the barriers' status

group	N מספר קטעי דרך	כלל התאונות: עם מעורבות כל סוגי הרכב					תאונות רכב כבד: לפחות אחד מכלי הרכב המעורבים הוא משא מעל 4 טון, אוטובוס, אוטובוס זעיר, רכב עבודה, טרקטור				
		התנגשויות במעקה	רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקה)	רכב יחיד - תאונות חמורות	כלל התאונות עם נפגעים (ללא פגיעה בה"ר)	תאונות חמורות עם נפגעים (ללא פגיעה בה"ר)	התנגשויות במעקה	רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקה)	רכב יחיד - תאונות חמורות	כלל התאונות עם נפגעים (ללא פגיעה בה"ר)	תאונות חמורות עם נפגעים (ללא פגיעה בה"ר)
		COL_sum	SNG_sum	SNGS_sum	ALLacc_sum	ALLaccS_sum	HCOL_sum	HSNG_sum	HSNGS_sum	HALLacc_sum	HALLaccS_sum
מעקות פלדה CL/CR/C=4,5 מעקות פלדה R/L=3-4-5	43	23	38	2	226	20				26	5
מעקות פלדה CL/CR/C=4,5 מעט מעקות R/L=0	5	3	5		25	3				3	
מעקות פלדה CL/CR/C=4,5 אין מידע ריק R/L=	4	1	1	1	11	2				1	1
מעקה בטון CL/CR/C=7 מעקות פלדה R/L=3-4-5	52	19	47	10	257	30		3	2	32	6
מעקה בטון CL/CR/C=7 מעקה בטון R/L=7	1				3	1					
מעקה בטון CL/CR/C=7 מעט מעקות R/L=0	1		1		14					3	
מעקה בטון CL/CR/C=7 אין מידע ריק R/L=	2		1		1						
מעט מעקות CL/CR/C=0 מעקות פלדה R/L=3-4-5	17	2	14	2	90	7		3		16	2
מעט מעקות CL/CR/C=0 מעט מעקות R/L=0	13	4	9		55	3				6	
מעט מעקות CL/CR/C=0 אין מידע ריק R/L=	1		1		3			1		1	
אין מידע ריק CL/CR/C=7 מעקות פלדה R/L=3-4-5	166	9	56	22	333	85		4	1	54	15
אין מידע ריק CL/CR/C=7 מעקה בטון R/L=7	1				1						
אין מידע ריק CL/CR/C=7 מעט מעקות R/L=0	43	1	11	5	56	12		1		9	1
סה"כ	349	62	184	42	1075	163	0	12	3	151	30

4. פיתוח מודלים מסבירים

4.1. שיטות הניתוח

א. כללי

כדי לזהות השפעה של המעקות החדשים על רמת בטיחות הקטעים, בוצע ניתוח רוחבי של מצב הבטיחות בקטעי הטיפול וקטעי הביקורת, בשנת 2010. בניתוח הרוחבי, השפעת נוכחות המעקות החדשים יכולה לבוא לידי ביטוי ע"י משתנה מסביר המשקף את הימצאות המעקות והמשפיע על הסיכון לתאונה. כמו כן, לזיהוי השפעת משתני המעקות יש לנטרל את השפעותיהם של מסבירים אפשריים נוספים כגון: נפחי התנועה, אורך קטע, סוג דרך, מאפיינים גיאומטריים של הדרך.

בנוסף, כדי לבחון את השפעת המעקות החדשים בהקשרים השונים, ניתוח הנתונים התייחס ל-10 סוגים של תאונות דרכים, לרבות תאונות רכב יחיד וכלל התאונות, תאונות ברמות חומרה שונות ותאונות עם מעורבות סוגי רכב שונים. כל הניתוחים שנערכו נועדו לבחון שאלה: האם קיים הבדל משמעותי במאפייני התאונות בקטעים בהם מותקנים מעקות הבטיחות החדשים לעומת אותם סוגי התאונות בקטעים בהם מותקנים מעקות הבטיחות הישנים.

לניתוח הרב-משתני הוכן בסיס נתונים על 497 קטעי כביש, לרבות 148 קטעי טיפול ו-349 קטעי ביקורת. מבנה הנתונים - רשימת השדות שנכנסו לניתוח - מוצג בטבלה 4.1. המבנה כלל סה"כ 42 שדות, לרבות 10 שדות תוצאה או משתנים תלויים שהם מספרי התאונות בקטע, בשנת 2010.

להלן רשימת משתני התוצאה ששימשו במחקר:

א - כלל התאונות - עם כל סוגי הרכב:

1. ALL_BAR - התנגשויות במעקה
2. ALL_SNG - תאונות רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקה)
3. ALL_SNG_SEV - רכב יחיד - תאונות חמורות
4. ALL_ACC - כלל התאונות עם נפגעים (ללא פגיעה בהולכי רגל)
5. ALL_ACC_SEV - תאונות חמורות (קשות + קטלניות) עם נפגעים, ללא פגיעה בהולכי רגל
6. ALL_BS - 1+2 - כלל התאונות עם רכב יחיד
7. P_ACC_SEV = 5/4 - החלק היחסי של התאונות החמורות

ב - תאונות רכב כבד:

1. HGV_BAR - התנגשויות במעקה
2. HGV_SNG - תאונות רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקה)
3. HGV_SNG_SEV - תאונות רכב יחיד חמורות
4. HGV_ACC - כלל התאונות עם נפגעים, ללא פגיעה בהולכי רגל
5. HGV_ACC_SEV - תאונות חמורות עם נפגעים, ללא פגיעה בהולכי רגל
6. HGV_BS - 1+2 - כלל התאונות עם רכב יחיד
7. P_HGV_ACC_SEV = 5/4 - החלק היחסי של התאונות החמורות

יש לשים לב שבניתוח היו 14 סוגי תאונות (10 סוגי בסיס שהוגדרו קודם + 4 סוגים נוספים המהווים נגזרת של סוגי הבסיס). מכל אחד מהמשתנים הללו יצרנו משתנה נוסף: כל משתנה תאונה חולק באורך הקטע (LENGTH) ובנפח התנועה (AADT), ולאחר מכן הוצא שורש. כך התקבל גודל המתוקן לאורך הקטע, לנסועה ולייצוב שונות. כל משתנה כזה מסומן כ-שם משתנה + סיומת "L_V_sq".

טבלה 4.1. מבנה הנתונים - רשימת השדות שנכנסו לניתוח*

Table 4.1. Data structure – List of the fields that were analyzed

Road-Section	קבוצת קטעים: 1-3 טיפול, 4 ביקורת	אורך קטע, ק"מ	אם דו-מסלולי=1	נפח ממוצע 07-09, למ"ס, אלף כלי רכב	התנגשויות במעקה	רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקה)	רכב יחיד-חמורות	כלל תאונות עם נפגעים ללא פגיעה בה"ר	חמורות עם נפגעים ללא פגיעה בה"ר
ID	GR	LENGTH	R_TYPE	AADT	ALL_BAR	ALL_SNG	ALL_SNG_SEV	ALL_ACC	ALL_ACC_SEV

התנגשויות במעקה	רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקה)	רכב יחיד - חמורות	כלל תאונות עם נפגעים ללא פגיעה בה"ר	חמורות עם נפגעים ללא פגיעה בה"ר	ממוצע מספר נתיבים	ממוצע סוג דרך (1 מהירה, 2 דו מסלולית, 3 חד מסלולית)	ממוצע אופן סלילה (1 מילוי, 2 חפירה, 3 חציבה)	ממוצע רחב מיסעה R (ק"מ עולה), מ'	ממוצע רחב מיסעה L(ק"מ יורד), מ'	ממוצע חוב שול, מ'
HGV_BAR	HGV_SNG	HGV_SNG_SEV	HGV_ACC	HGV_ACC_SEV	Tt_Ln_mean	RD_TYP_mean	TYP_STT_mean	Pv_Wt_R_mean	Pv_Wt_L_mean	Sh_Wt_L_mean

ממוצע רחב שול פנימי L, מ'	ממוצע סוג שול L (1 לא סלול, 2 סלול חלקי, 3 סלול מלא)	ממוצע סוג שול פנימי L (1 לא סלול, 2 סלול חלקי, 3 סלול מלא)	ממוצע רחב שול פנימי R, מ'	ממוצע רחב שול פנימי R, מ'	ממוצע סוג שול R (1 לא סלול, 2 סלול חלקי, 3 סלול מלא)	ממוצע סוג שול פנימי R (1 לא סלול, 2 סלול חלקי, 3 סלול מלא)	ממוצע רחב שול פנימי R, מ'	אומדן לערך הממוצע (ממוצע 30% התצפיות הנמוכות): רדיוס אופקי אבסולוטי, מ'	אומדן לערך הממוצע (ממוצע 30% התצפיות הנמוכות): רדיוס אופקי אבסולוטי, מ'	אומדן לערך הממוצע (ממוצע 30% התצפיות הנמוכות): רדיוס אופקי אבסולוטי, מ'
InSh_Wt_L_mean	SH_TYP_L_mean	LnSH_TYP_P_L_mean	Sh_Wt_R_mean	InSh_Wt_R_mean	SH_TYP_R_mean	LnSH_TYP_R_mean	RH_TM	RH_MI	SS_TM	

אומדן לערך המרבי (ממוצע 30% התצפיות הגבוהות): שיפוע צד אבסולוטי, %	אומדן לערך הממוצע (ממוצע 30% התצפיות הגבוהות): שיפוע צד אבסולוטי, %	אומדן לערך הממוצע (ממוצע 30% התצפיות הגבוהות): שיפוע צד אבסולוטי, %	אומדן לערך הממוצע (ממוצע 30% התצפיות הגבוהות): שיפוע צד אבסולוטי, %	אומדן לערך הממוצע (ממוצע 30% התצפיות הגבוהות): שיפוע צד אבסולוטי, %	אומדן לערך הממוצע (ממוצע 30% התצפיות הגבוהות): שיפוע צד אבסולוטי, %	אומדן לערך הממוצע (ממוצע 30% התצפיות הגבוהות): שיפוע צד אבסולוטי, %	אומדן לערך הממוצע (ממוצע 30% התצפיות הגבוהות): שיפוע צד אבסולוטי, %	אומדן לערך הממוצע (ממוצע 30% התצפיות הגבוהות): שיפוע צד אבסולוטי, %	אומדן לערך הממוצע (ממוצע 30% התצפיות הגבוהות): שיפוע צד אבסולוטי, %	אומדן לערך הממוצע (ממוצע 30% התצפיות הגבוהות): שיפוע צד אבסולוטי, %
SS_MA	RVP_TM	RVP_MI	RVN_TM	RVN_MI	GP_TM	GP_MA	FINAL-C_CR_CL	C EURO Length max	FINAL-LR	LR EURO Length max

* משתני התוצאה - מספרי התאונות - מודגשים באפור

ב. ניתוח מקדים

בשלב המוקדם של הניתוח נבחנו קורלציות בין משתני התוצאה לבין המשתנה שמבטא את רמת מעקות הבטיחות (GR - קבוצת טיפול או ביקורת). משתנה הטיפול, GR, מקבל את הערכים 1-4, כאשר ככל שערכו גבוה יותר, כך קטע הדרך מטופל פחות. לכן, קורלציה חיובית בין משתני התוצאה למשתנה הטיפול, הייתה מצביעה על יעילות הטיפול. חושבו קורלציה של פירסון והן קורלציה של ספירמן (קורלציה בין הדרוגים, RANKS) של משתני התוצאה ומשתנה הטיפול, עבור דרכים חד-מסלוליות ודו-מסלוליות לחוד (בניתוח ההתחלתי התקבל שישנם קשרים שונים בשני סוגי הכבישים).

התוצאות לא היו עקביות ולרוב, הצביעו (בניגוד למצופה) על קשר שלילי בין המשתנה GR לבין שכיחות התאונות בדרכים החד-מסלוליות, בעוד שבדרכים הדו-מסלוליות נצפה, בעיקר, קשר חיובי עבור סך התאונות, קשר שלילי עבור התנגשויות במעקות (בתאונות רכב כבד), כאשר ביתר המקרים התוצאות לא היו מובהקות.

להבנת השפעת המשתנים המסבירים, נעשה ניסיון לבנות מודל תוך שימוש בפונקצית rpart מתוך סיפירת rpart של תוכנת R עבור מספר משתנים תלויים. המודלים הותאמו בנפרד לקטעים חד- ודו-מסלוליים. ע"פ התוצאות, עבור דרך דו-מסלולית, עבור שני משתנים תלויים בלבד (ALL_BS_L_V_sq ו-ALL_ACC_L_V_sq) נמצאו משתנים מסבירים רלוונטיים כלשהם, כאשר משתני המעקות לא היו בין המסבירים שנמצאו ע"י המודלים.

בהמשך, השתמשנו בשיטה לקבלת חשיבות המשתנים (Variable importance) לפי GBM - Generalized Boosted Regression Modeling¹⁴. עבור כל משתנה תוצאה, בדרך חד- ודו-מסלולית, התקבלו עשרת המשתנים בעלי החשיבות הגבוהה ביותר. בהתחשב בתוצאות אלה, נבחרו משתנים להמשך הניתוח - התאמת מודלים מסבירים.

ג. ריכוז משתנים משמעותיים לפיתוח המודלים

למשתנים שנבחרו להמשך הניתוח, מחד, קיימת חשיבות הנדסית ומאידך, הם היו בין החשובים שנבחרו ע"י תוכנות סטטיסטיות בניתוחים המקדימים.

טבלה 4.2 מציגה את המשתנים ששימשו כמועמדים פוטנציאליים לבניית מודלים להסבר המשתנים התלויים (מספרי התאונות), בדרכים החד-מסלוליות.

¹⁴ J.H. Friedman (2001). "Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine," *Annals of Statistics* 29(5):1189-1232.

טבלה 4.2. משתנים המועמדים למסבירים במודלים עבור הדרכים החד-מסלוליות

Table 4.2. Variables candidates for explanatory ones in models for single-carriageway roads

המשתנים	המשמעויות
Factor (FINAL_LR)	קבוצת קטעי דרכים ע"פ מצב המעקות (מצבים 0-7, ראה פרק 3.3)
LR_EURO_Length_max_L	אורך המעקות החדשים בקטע
Factor (GR)	קבוצת קטעים 1-4 לפי נוכחות המעקות החדשים
TYP_STT_mean	אופן סלילה
Pv_Wt	רוחב מיסעה
Sh_Wt_Lmean	(*) רוחב שול - ק"מ יורד
SH_TYP_Lmean	(**) סוג שול - ק"מ יורד
Sh_Wt_Rmean	(*) רוחב שול - ק"מ עולה
SH_TYP_Rmean	(**) סוג שול - ק"מ עולה
RH_MI	רדיוס אופקי
SS_MA	שיפוע צדי
RVP_MI	רדיוס אנכי קמור
RVN_MI	רדיוס אנכי קעור
GP_MA	שיפוע אורכי

הערות לטבלה 4.2 :

1) מזוגות המשתנים עם סימן (*) ו-(**) המאפיינים את שני צדי הדרך, נבנו משתנים משותפים כלהלן :

$$Sh_Wt_LR_sum = Sh_Wt_Lmean + Sh_Wt_Rmean ;$$

$$SH_TYP_LR_sum = SH_TYP_Lmean + SH_TYP_Rmean ;$$

2) המשתנה LR_EURO_Length_max_L נבנה כלהלן :

$$LR_EURO_Length_max_L = LR_EURO_Length_max / LENGTH$$

3) בנוסף נבדקו גם רכיבים ריבועיים של : Pv_Wt - רוחב מיסעה ; Sh_Wt_LR_sum - סכום שוליים.

טבלה 4.3 מציגה את המשתנים ששימשו כמועמדים פוטנציאליים לבניית מודלים להסבר המשתנים התלויים (מספר התאונות), בדרכים הדו-מסלוליות.

טבלה 4.3. משתנים המועמדים למסבירים במודלים עבור הדרכים הזו-מסלוליות

Table 4.3. Variables candidates for explanatory ones in models for dual-carriageway roads

המשתנים	המשמעות
Factor (FINAL_LR)	קבוצת קטעי דרכים ע"פ מצב המעקות בצד (מצבים 0-7, ראה פרק 3.3)
FINAL_C_CR	קבוצת קטעי דרכים ע"פ מצב המעקות במפרדה (מצבים 0-7, ראה פרק 3.3)
LR_EURO_Length_max_L	אורך מעקות חדשים בצד
C_EURO_Length_max_L	אורך מעקות חדשים במפרדה
factor (GR)	קבוצות קטעים 1-4 לפי נוכחות המעקות החדשים
Tt_Ln_mean	מספר נתיבים
TYP_STT_mean	אופן סלילה
Pv_Wt	רוחב מיסעה
Sh_Wt_Lmean	(*) רוחב שול - ק"מ יורד
SH_TYP_Lmean	(**) סוג שול - ק"מ יורד
Sh_Wt_Rmean	(*) רוחב שול - ק"מ עולה
SH_TYP_Rmean	(**) סוג שול - ק"מ עולה
InSh_Wt_Lmean	(***) רוחב שול פנימי - ק"מ יורד
InSh_Wt_Rmean	(***) רוחב שול פנימי - ק"מ עולה
LnSH_TYP_Lmean	(****) סוג שול פנימי - ק"מ יורד
LnSH_TYP_Rmean	(****) סוג שול פנימי - ק"מ עולה
RH_MI	רדיוס אופקי
SS_MA	שיפוע צדי
RVP_MI	רדיוס אנכי קמור
RVN_MI	רדיוס אנכי קעור
GP_MA	שיפוע אורכי

הערות לטבלה 4.3 :

(1) מזוגות המשתנים עם סימן (*), (**), (***), (****) המאפיינים את שני צדי הדרך, נבנו משתנים משותפים :

$$Sh_Wt_LR_sum = Sh_Wt_Lmean + Sh_Wt_Rmean ;$$

$$SH_TYP_LR_sum = SH_TYP_Lmean + SH_TYP_Rmean ;$$

$$InSh_Wt_LR_sum = InSh_Wt_Lmean + InSh_Wt_Rmean ;$$

$$LnSH_TYP_LR_sum = LnSH_TYP_Lmean + LnSH_TYP_Rmean .$$

(2) המשתנים המאפיינים את אורך המעקות החדשים עברו נרמול כלהלן :

$$LR_EURO_Length_max_L = LR_EURO_Length_max / LENGTH$$

$$C_EURO_Length_max_L = C_EURO_Length_max / LENGTH$$

(3) בנוסף נבדקו גם רכיבים ריבועיים של : Pv_Wt - רוחב מיסעה ; Sh_Wt_LR_sum - סכום שוליים.

ד. פיתוח מודלים מסבירים

המודלים נבנו בעזרת פרוצדורת GLMSELECT של SAS. המודלים שנבחנו כללו את המשתנים המפורטים לעיל בטבלאות 3.2-3.3, אינטראקציות שלהם עד לסדר שלישי ורכיבים ריבועיים של רוחב

שול ורוחב מיסעה. הבחירה בה השתמשנו הייתה מסוג STEPWISE, המבוסס על בחינת השערות מסורתית, כאשר האפקטים במודל שאינם מובהקים (not significant at the stay significance level) הינם מועמדים להסרה, ואפקטים מובהקים שאינם במודל עדיין אך מובהקים לכניסה (significant at the entry significance level) הינם מועמדים לכניסה.

בכל שלב של ה-STEPWISE חושבו מספר קריטריונים לטיב ההתאמה של המודל הנבחר על ידי תהליך ה-STEPWISE. אנו השתמשנו בשלושה סוגי קריטריונים (וקיבלנו שלושה מודלים סופיים אפשריים) לסיום תהליך בחירת המשתנים. קריטריונים אלה הם:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{i,-i})^2$$

Schwarz Bayesian information criterion (SBC)
 - predicted residual sum of squares (PRESS)
 ו-Akaike information criterion (AIC)

לצורך גילוי קשרים משמעותיים בפיתוח המודלים, חלק מהמשתנים עברו מרכז, במקרה זה הוסף הסימן C_- לפני שם המשתנה.

4.2. ממצאים מפיתוח מודלים מסבירים

נספח א' מציג את המודלים המסבירים שהותאמו למשתני התוצאה בדרכים החד-מסלוליות. טבלה 4.4 מציגה את סיכום הממצאים: המשתנים המסבירים שנמצאו בכל מודל לפי משתני התוצאה (סוגי התאונות) ומשמעויות המודלים לגבי השפעת המעקות החדשים.

מטבלה 4.4 ניתן לראות שבדרכים החד-מסלוליות:

- בנייתו כלל התאונות (עם כל סוגי הרכב), משתני המעקות הופיעו בין המסבירים במודלים עבור תאונות רכב יחיד ללא התנגשויות במעקות, כלל התאונות עם רכב יחיד (כולל התנגשויות במעקות), כלל התאונות עם נפגעים (ללא תאונות הולכי רגל). עם זאת, במודלים אלה לרוב נמצא קשר חיובי בין הימצאות המעקות החדשים לבין התאונות. כלומר, נוכחות גדולה יותר של המעקות החדשים בצד הדרך לא תרמה לחסכון בתאונות עם כל סוגי הרכב.

- בנייתו תאונות רכב כבד, משתני המעקות הופיעו בין המסבירים במודל אחד בלבד - עבור כלל התאונות עם רכב יחיד (כולל התנגשויות במעקות). לפי מודל זה, נמצא קשר שלילי בין הימצאות המעקות החדשים לבין התאונות. כלומר, בקטעים מקבוצות 1-3, עם נוכחות רבה יותר של המעקות החדשים, נצפו פחות תאונות רכב יחיד עם מעורבות רכב כבד לעומת הקטעים עם המעקות הישנים (W הישן).

מכאן, בדרכים החד-מסלוליות, החיסכון בתאונות הדרכים בעקבות התקנת המעקות החדשים נמצא בעיקר בקרב תאונות רכב יחיד עם מעורבות כלי רכב כבדים (משא מעל 4 טון, אוטובוס, אוטובוס זעיר, רכב עבודה, או טרקטור). ממצאים אלה התקבלו לאחר נטרול השפעות של נפח התנועה ואורך הקטע.

טבלה 4.4. סיכום המודלים המסבירים שהותאמו למשתני התוצאה בדרכים החד-מסלוליות

Table 4.4. Summary of the explanatory models fitted to accident frequencies on single-carriageway roads

א - כלל התאונות:

מודל לפי משתנה התוצאה	המשתנים המסבירים במודל	משמעויות לגבי מעקות הבטיחות
1. ALL_BAR - התנגשויות במעקה	רוחב שול (ל.מ.), שיפוע אורכי (ל.מ.), שילוב של רוחב שול ושיפוע אורכי (מ.)	--
2. ALL_SNG - רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקה)	שיפוע אורכי (מ.), שיפוע צדי (ל.מ.), אורך מעקות חדשים (מ.), שילוב של אורך מעקות חדשים ושיפוע אורכי (מ.)	קשר חיובי עם אורך מעקות חדשים, קשר חיובי עם שילוב של אורך מעקות חדשים ושיפוע אורכי
3. ALL_SNG_SEV - רכב יחיד - חמורות	שיפוע צדי (ל.מ.)	--
4. ALL_ACC - כלל תאונות עם נפגעים ללא פגיעה בהולכי רגל	אופן סלילה (ל.מ.), קבוצת קטעי דרכים ע"פ מצב המעקות (לרוחב ל.מ.)	קשר חיובי לקבוצות 1-2 של קטעים עם מעקות (1 ל.מ., 2 מ.מ.), לקבוצה 3 קשר שלילי (ל.מ.) - בהשוואה עם קבוצה 5 (מעקה W הישן)
5. ALL_ACC_SEV - חמורות (קשות +קטלניות) עם נפגעים ללא פגיעה בהולכי רגל	אופן סלילה (מ.), רדיוס אנכי קמור (ל.מ.), שיפוע אורכי (ל.מ.)	--
6. ALL_BS - 1+2 - כלל התאונות עם רכב יחיד	אורך מעקות חדשים (מ.), רדיוס אנכי קמור (ל.מ.)	קשר חיובי עם אורך מעקות חדשים
7. P_ACC_SEV = 5/4 החלק היחסי של התאונות החמורות בכלל התאונות	סוג שול (מ.)	--

ב - תאונות רכב כבד:

מודל לפי משתנה התוצאה	המשתנים המסבירים במודל	משמעויות לגבי מעקות הבטיחות
1. HGV_BAR - התנגשויות במעקה	רדיוס אופקי (מ.)	--
2. HGV_SNG - רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקה)	--	--
3. HGV_SNG_SEV - רכב יחיד - חמורות	רוחב שול (ל.מ.)	--
4. HGV_ACC - כלל תאונות עם נפגעים ללא פגיעה בהולך רגל	רוחב שול (מ.)	--
5. HGV_ACC_SEV - חמורות עם נפגעים ללא פגיעה בהולך רגל	סוג שול (ל.מ.), רדיוס אנכי קמור (ל.מ.)	--
6. HGV_BS - 1+2 - כלל התאונות עם רכב יחיד	אורך מעקות חדשים (מ.), קבוצת קטעי דרכים ע"פ מצב המעקות	קשר חיובי עם אורך מעקות חדשים; קשר שלילי (מ.) לקבוצות 1-3 של קטעים עם מעקות חדשים - בהשוואה עם קבוצה 5 (מעקה W הישן)
7. P_HGV_ACC_SEV = 5/4 החלק היחסי של התאונות החמורות בכלל התאונות	סוג שול (ל.מ.)	--

ל.מ. - לא מובהק, מ. - מובהק (ברמת מובהקות 0.05)

נספח ב' מציג את המודלים המסבירים שהותאמו למשתני התוצאה בדרכים הדו-מסלוליות. טבלה 4.5 מציגה את סיכום הממצאים: המשתנים המסבירים שנמצאו בכל מודל לפי משתני התוצאה (סוגי התאונות) ומשמעויות המודלים לגבי השפעת המעקות החדשים.

מטבלה 4.5 ניתן לראות שבדרכים הדו-מסלוליות:

- בניתוח כלל התאונות (עם כל סוגי הרכב), משתני המעקות הופיעו בין המסבירים בחלק ניכר מהמודלים. עם זאת, השפעת משתני המעקות על תאונות רכב יחיד לא הייתה עקבית. קשר שלילי מובהק (או קרוב למובהק) בין אורך המעקות החדשים בצד הדרך לבין התאונות נמצא עבור תאונות חמורות של רכב יחיד ועבור כלל התאונות עם נפגעים בקטע דרך.

כמו כן, בניתוח כלל התאונות (עם כל סוגי הרכב), בקרב כלל התאונות עם נפגעים ותאונות חמורות עם נפגעים בקטע (פרט לתאונות הולכי רגל) נמצא קשר שלילי בין הימצאות המעקות החדשים בצד הדרך לבין שכיחות התאונות, בהשוואה עם קטעים עם מעקות בטון בצד. לעומת זאת, להימצאות המעקות החדשים במפרדה לא נמצאה השפעה עקבית על תאונות.

מכאן, נוכחות המעקות החדשים בצד קטעי הדרכים הדו-מסלוליות התקשרה עם *ירידה בתאונות חמורות של רכב יחיד ובכלל התאונות עם נפגעים בקטעים אלה*. הירידה בכלל התאונות עם נפגעים נובעת, כפי הנראה, משדרוג כולל של קטעי הדרכים שבהם הותקנו המעקות החדשים.

- בניתוח תאונות רכב כבד, משתני המעקות הופיעו בין המסבירים במודל אחד בלבד - עבור כלל התאונות עם נפגעים (ללא פגיעה בהולכי רגל). לפי מודל זה, נמצא קשר שלילי (קרוב למובהק) בין אורך המעקות החדשים בצד הדרך לבין התאונות. כלומר, התקנת המעקות החדשים התקשרה עם *ירידה בכלל התאונות עם נפגעים עם מעורבות רכב כבד בקטעי התקנות מעקות אלה*.

לסיכום, **בדרכים הדו-מסלוליות**, התקנת המעקות החדשים בצד הדרך התקשרה עם *ירידה בתאונות חמורות עם רכב יחיד ובכלל התאונות עם נפגעים בקטעי התקנות המעקות*.

יצוין שגם הממצאים הנ"ל התקבלו לאחר נטרול השפעות של נפח התנועה ואורך הקטע.

טבלה 4.5. סיכום המודלים המסבירים שהותאמו למשתני התוצאה בדרכים הדו-מסלוליות

Table 4.5. Summary of the explanatory models fitted to accident frequencies on dual-carriageway roads

א - כלל התאונות:

מודל לפי משתנה התוצאה	המשתנים המסבירים במודל	משמעויות לגבי מעקות הבטיחות
1. ALL_BAR - התנגשויות במעקה	קבוצת קטעי דרכים ע"פ מצב המעקות במפרדה (לרוב, ל.מ.)	קשר חיובי לקבוצות 2-3 של קטעים עם מעקות מפרדה (ל.מ.), קשר שלילי לקבוצה 1 (ל.מ.) - בהשוואה עם קבוצה 7 (מעקה בטון ישן)
2. ALL_SNG - רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקה)	סוג שול פנימי (מ.)	--
3. ALL_SNG_SEV - רכב יחיד - חמורות	אורך מעקות חדשים בצד (ל.מ.), רדיוס אופקי (מ.)	קשר שלילי עם אורך מעקות חדשים בצד הדרך (קרוב למובהק)
4. ALL_ACC - כלל תאונות עם נפגעים ללא פגיעה בהולכי רגל	במודל לפי PRESS : קבוצת קטעי דרכים ע"פ מצב המעקות בצד (מ.), אופן סלילה (מ.), סוג שול פנימי (מ.), שיפוע צדי (מ.), שילוב של סוג שול פנימי ושיפוע צידי. במודלים לפי AIC, SBC : אורך מעקות חדשים בצד (מ.), סוג שול פנימי (מ.) או אופן סלילה (ל.מ.), שילוב של אופן סלילה וסוג שול פנימי (מ.)	קשר שלילי לקבוצות 1-3 של קטעים עם מעקות צד (מ.) - בהשוואה עם קבוצה 7 (מעקה בטון ישן). עם זאת, קשר שלילי דומה נמצא גם עבור מעקות פלדה ישנים בהשוואה עם מעקה בטון ישן קשר שלילי עם אורך מעקות חדשים בצד הדרך (מ.)
5. ALL_ACC_SEV - חמורות (קשות +קטלניות) עם נפגעים ללא פגיעה בהולכי רגל	קבוצת קטעי דרכים ע"פ מצב המעקות בצד (מ.), מספר נתיבים (מ.), רוחב מיסעה (מ.) במודל לפי AIC : גם קבוצת קטעי דרכים ע"פ מצב המעקות במפרדה (לרוב ל.מ.)	קשר שלילי לקבוצות 1-3 של קטעים עם מעקות צד (מ.) - בהשוואה עם קבוצה 7 (מעקה בטון ישן). עם זאת, קשר שלילי דומה נמצא גם עבור מעקות פלדה ישנים בהשוואה עם מעקה בטון ישן. קשר לא עקבי לקבוצות 1-3 של קטעים עם מעקות מפרדה (ל.מ.)
6. ALL_BS - 1+2 - כלל התאונות עם רכב יחיד	סוג שול חיצוני (מ.), רדיוס אנכי קמור (מ.)	--
7. P_ACC_SEV = 5/4 החלק היחסי של התאונות החמורות בכלל התאונות	רוחב שול פנימי (מ.) במודל לפי AIC : גם סוג שול פנימי (ל.מ.), קבוצת קטעי דרכים ע"פ מצב המעקות במפרדה (לרוב, ל.מ.)	קשר לא עקבי לקבוצות 1-3 של קטעים עם מעקות מפרדה (ל.מ.)

ב - תאונות רכב כבד:

מודל לפי משתנה התוצאה	המשתנים המסבירים במודל	משמעויות לגבי מעקות הבטיחות
1. HGV_BAR - התנגשויות במעקה	קבוצת קטעי דרכים ע"פ מצב המעקות במפרדה (לרוב, ל.מ.) ; מקדמי המודל (קרובים ל-0)	--
2. HGV_SNG - רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקה)	--	--
3. HGV_SNG_SEV - רכב יחיד חמורות	--	--
4. HGV_ACC - כלל תאונות עם נפגעים ללא פגיעה בהולך רגל	אורך מעקות חדשים בצד (קרוב למובהק)	קשר שלילי עם אורך מעקות חדשים בצד הדרך (קרוב למובהק)
5. HGV_ACC_SEV - חמורות עם נפגעים ללא פגיעה בהולך רגל	מספר נתיבים (ל.מ.)	--
6. HGV_BS - 1+2 - כלל התאונות עם רכב יחיד	--	--
7. P_HGV_ACC_SEV = 5/4 החלק היחסי של התאונות החמורות בכלל התאונות	--	--

ל.מ. - לא מובהק, מ. - מובהק (ברמת מובהקות 0.05)

4.3. בחינה חד-פרמטרית של השפעת המעקות החדשים על תאונות

לביחנה כללית של השפעת המעקות החדשים על תאונות, נערך ניתוח חד-פרמטרי: למשתני תוצאה שונים (14 סוגי התאונות שהוגדרו לעיל) נערכה התאמת מודל רגרסיה עם משתנה מסביר אחד - אורך המעקות החדשים.

מטרת בחינה זו הייתה לבדוק האם בכלל יש מקום לדבר על השפעת המעקות החדשים על התרחשות התאונות, מהסוגים השונים. משתני התוצאה בניתוח זה היו מנוכי נסועה (נפח התנועה ואורך קטע), מה שמשאיר מקום למשמעות מסוימת לקשר שמתגלה בבדיקה כזאת. עם זאת, הקשר החד-פרמטרי שנבחן אינו מתחשב, כהגדרתו, בהשפעת מאפייני דרך אחרים (המאפיינים הגיאומטריים).

הבדיקה - התאמת מודל רגרסיה - נערכה עבור 14 סוגי התאונות, בשני סוגים הדרכים: חד-מסלולית ודו-מסלולית. כמשתנים מסבירים לבחינת השפעת המעקות החדשים שימשו:

LR_EURO_Length_max_L - אורך המעקות החדשים בצד הדרך (מנוכה אורך הקטע) - בדרך חד-מסלולית ודו-מסלולית;

C_EURO_Length_max_L - אורך המעקות החדשים במפרדה (מנוכה אורך הקטע) - בדרך דו-מסלולית.

המודלים נבנו בעזרת פרוצדורת ROBUSTREG של SAS (אשר, להבדיל מפרוצדורת GLMSELECT, מאפשרת לגלות קשרים יציבים בין שני המשתנים, תוך כדי הקטנת המשקלות של תצפיות עם שאריות גדולות). סה"כ, בבחינה זו נבנו 42 מודלים (14 סוגי תאונות כפול 3 משתנים מסבירים שנבחנו).

טבלה 4.6 מציגה את תוצאות התאמת המודלים. בחינת הקשר בכל מצב נעשתה בשיטה דומה אך התוצאות היו שונות בתלות בסוג התאונה וסוג הדרך. עם זאת, ניתן להבחין שבכל המקרים בהם נמצא קשר בין נוכחות המעקות החדשים והתאונות, הקשר היה שלילי דהיינו הצביע על השפעה חיובית של המעקות החדשים: **נוכחות המעקות החדשים באורך גדול יותר התקשרה עם ירידה בתאונות.**

כמו כן (ראה טבלה 4.6):

- השפעה שלילית ומובהקת של המעקות החדשים נמצאה בכלל התאונות, עם כל סוגי הרכב, **בדרכים הדו-מסלוליות**: בתאונות רכב יחיד (השפעת המעקות החדשים בצד הדרך) ובכלל התאונות עם נפגעים (השפעת המעקות החדשים בצד ובמפרדה);

- בנוסף, השפעה שלילית אך לא מובהקת של המעקות החדשים (מגמת שיפור) נמצאה בתאונות עם כל סוגי הרכב: בדרכים החד-מסלוליות - בתאונות רכב יחיד, כלל התאונות עם נפגעים, תאונות חמורות עם נפגעים; בדרכים הדו-מסלוליות - בתאונות חמורות עם נפגעים, בכלל התאונות עם רכב יחיד;

- באופן דומה, השפעה שלילית אך לא מובהקת של המעקות החדשים (מגמת שיפור) נמצאה בתאונות רכב כבד: בכלל התאונות עם נפגעים בדרכים הדו-מסלוליות.

טבלה 4.6. סיכום תוצאות מהתאמת מודלי רגרסיה לבחינת קשר חד-פרמטרי בין משתני המעקות החדשים לבין משתני התוצאה, בדרכים חד- ודו-מסלוליות

Table 4.6. Summary of the one-parametric regression models fitted to the relationship between the new barrier variables and accident frequencies, on single- and dual-carriageway roads

א- כלל התאונות, עם כל סוגי הרכב:

משתנה : משתנה C_EURO_Length_max_L אורך מעקות חדשים במפרדה	משתנה : משתנה LR_EURO_Length_max_L אורך מעקות חדשים בצד	משתנה : משתנה LR_EURO_Length_max_L אורך מעקות חדשים בצד	מודל לפי משתנה התוצאה
לא נמצא קשר	לא נמצא קשר	לא נמצא קשר	1. ALL_BAR - התנגשויות במעקה
שלילי, לא מובהק	שלילי, מובהק	שלילי, לא מובהק	2. ALL_SNG - רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקה)
לא נמצא קשר	לא נמצא קשר	לא נמצא קשר	3. ALL_SNG_SEV - רכב יחיד - חמורות
שלילי, מובהק	שלילי, מובהק	שלילי, לא מובהק	4. ALL_ACC - כלל תאונות עם נפגעים ללא פגיעה בהולכי רגל
שלילי, לא מובהק	שלילי, לא מובהק	שלילי, לא מובהק	5. ALL_ACC_SEV - חמורות (קשות + קטלניות) עם נפגעים ללא פגיעה בהולכי רגל
שלילי, לא מובהק	שלילי, לא מובהק	לא נמצא קשר	6. ALL_BS - 1+2 - כלל התאונות עם רכב יחיד
שלילי, לא מובהק	שלילי, לא מובהק	שלילי, לא מובהק	7. P_ACC_SEV = 5/4 החלק היחסי של התאונות החמורות בכלל התאונות

ב - תאונות רכב כבד:

משתנה : משתנה C_EURO_Length_max_L אורך מעקות חדשים במפרדה	משתנה : משתנה LR_EURO_Length_max_L אורך מעקות חדשים בצד	משתנה : משתנה LR_EURO_Length_max_L אורך מעקות חדשים בצד	מודל לפי משתנה התוצאה
לא נמצא קשר	לא נמצא קשר	לא נמצא קשר	1. HGV_BAR - התנגשויות במעקה
לא נמצא קשר	לא נמצא קשר	לא נמצא קשר	2. HGV_SNG - רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקה)
לא נמצא קשר	לא נמצא קשר	לא נמצא קשר	3. HGV_SNG_SEV - רכב יחיד חמורות
שלילי, לא מובהק	שלילי, לא מובהק	לא נמצא קשר	4. HGV_ACC - כלל תאונות עם נפגעים ללא פגיעה בהולך רגל
לא נמצא קשר	לא נמצא קשר	לא נמצא קשר	5. HGV_ACC_SEV - חמורות עם נפגעים ללא פגיעה בהולך רגל
לא נמצא קשר	לא נמצא קשר	לא נמצא קשר	6. HGV_BS - 1+2 - כלל התאונות עם רכב יחיד
לא נמצא קשר	לא נמצא קשר	לא נמצא קשר	7. P_HGV_ACC_SEV = 5/4 החלק היחסי של התאונות החמורות בכלל התאונות

5. הערכה כלכלית

על סמך הממצאים מפיתוח המודלים, להערכה הכלכלית של התועלת הבטיחותית משימוש במעקות החדשים התאימו שלושה מקרים בלבד שהם:

- (1) בדרכים הדו-מסלוליות, החיסכון בתאונות החמורות עם רכב יחיד;
- (2) בדרכים הדו-מסלוליות, החיסכון בכלל התאונות עם נפגעים;
- (3) בדרכים החד-מסלוליות, החיסכון בתאונות רכב יחיד עם מעורבות רכב כבד (משא מעל 4 טון, אוטובוס, אוטובוס זעיר, רכב עבודה, או טרקטור).

פרק זה מציג ממצאים מביצוע הערכה כלכלית של התועלת הבטיחותית מנוכחות המעקות החדשים לעומת הישנים, עבור שלושת המקרים הנ"ל.

5.1 שיטת הערכה כלכלית

השיטה לביצוע הערכה כלכלית של אמצעי בטיחות מתוארת במקורות רבים, וביניהם: PIARC (2003); Elvik et al (2009); גיטלמן ואחרים (2008). חישוב הכדאיות הכלכלית של שיפור בטיחותי מבוצע באמצעות הערכת תועלת-עלות - השוואה בין הערך הכלכלי הנוכחי של התועלת הבטיחותית לבין העלות הנוכחית של השיפור. השוואה זו מבוצעת באמצעות חישוב יחס תועלת-עלות, כלהלן:

$$\text{Benefit-cost ratio (BCR)} = \frac{\text{Present value of benefits}}{\text{Present value of implementation costs}}$$

ההשקעה בשיפור הנבחן כדאית כאשר היחס תועלת-עלות (BCR) שהתקבל בהערכה עולה על 1; לקביעת סדר העדיפויות להשקעה, השיפורים הנבחרים מדורגים לפי ערך יורד של BCR.

התועלת הבטיחותית של השיפור בתשתית הינה עלות התאונות שייחסכו בעקבות הטיפול, לאורך חיי השיפור. עלות זו מהווה מכפלה של מספר התאונות שייחסכו מדי שנה בעקבות הטיפול, עלות תאונה ממוצעת ומקדם היוון, כלהלן:

$$\text{Present value of benefits} = \text{Number of accidents prevented by the measure} * \text{Average accident cost} * \text{DF},$$

כאשר מקדם ההיוון (DF) תלוי באורך חיי הפרויקט ובשער הריבית להיוון, והוא מוערך באופן הבא:

$$\text{DF} = \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n}$$

כאשר: i - הריבית להיוון, n - אורך חיי הפרויקט.

הערך הנוכחי של עלות השיפור בתשתית מוערך באופן הבא :

$$\text{Present value of implementation costs} = T + M * DF$$

כאשר

T - עלות ביצוע של שיפור התשתית המוצע, ש; ;

M - עלות שנתית של תחזוקת השיפור המוצע, ש; ;

DF - מקדם היוון.

בהקשר הנוכחי, הערכת תועלת-עלות של המעקות החדשים מבוצעת לעומת המעקות הישנים. כלומר, הן התועלת הבטיחותית והן עלות השיפור מוערכות **יחסית למעקות הישנים**, מתוך הנחה שמעקה בטיחות בכל מקרה צריך להיות מותקן באתר הנבחן.

אומדנים הנדרשים לביצוע הערכת תועלת-עלות של המעקות החדשים, לעומת הישנים, היו כלהלן :

א. תוספת עלות בגין התקנת המעקות החדשים ;

ב. מספר התאונות שהיה צפוי ללא המעקות החדשים ;

ג. אחוז ירידה בתאונות שמזוהה עם התקנת המעקות החדשים ;

ד. עלות תאונה ממוצעת ;

ה. מסגרת כלכלית להערכה - אורך חיי המעקה, שער ריבית להיוון.

א. **תוספת עלות בגין התקנת המעקות החדשים** - הוערכה על סמך מידע מכתב הכמויות של המפרט הכללי לעבודות סלילה וגישה, תת-פרק 51.33. בכל מקרי ההערכה (על סמך המודלים שהצביעו על התרומה החיובית של המעקות החדשים - ראה "מבוא"), מדובר בהתקנת מעקות צד שאלה, ברוב המקרים, מעקות פלדה.

עבור הדרכים הדו-מסלוליות, נבחנו עלויות של דגמי המעקות ברמות תפקוד H2-H1 (EDSP, DDS), מה שסיפק אומדן עלות ממוצעת של 315 ש"ח למטר אורך (מ"א). לעומת זאת, לפי כתב הכמויות לאחזקה, התקנת דגמי מעקה W הישן כרוכה בעלות ממוצעת של 160 ש"ח למ"א. מכאן, תוספת העלות בגין התקנת המעקות החדשים - 155 ש"ח למ"א.

לעלות השנתית של תחזוקת המעקות שימשה הנחה של 5% מעלות הביצוע (בדומה לרוב השיפורים בתשתית במערכת המנ"ב), מה שסיפק אומדן עלות תחזוקה שנתית - 7.75 ש"ח למ"א.

עבור הדרכים החד-מסלוליות, נבחנו עלויות של דגמי המעקות ברמות תפקוד H1-N2 (ESP, EDSP, DDS, OBB), מה שסיפק אומדן עלות ממוצעת של 260 ש"ח למ"א. כאמור, התקנת דגמי מעקה W הישן כרוכה בעלות ממוצעת של 160 ש"ח למ"א, מה שיוצר תוספת עלות בגין התקנת המעקות החדשים - 100 ש"ח למ"א, עם אומדן עלות תחזוקה שנתית - 5 ש"ח למ"א.

יצוין כי עלות התקנה ותחזוקה של המעקות מחושבת עבור שני צדי הדרך. לקבלת אומדן העלות עבור קטע דרך מסוים את תוספת העלות למ"א ואת אומדן עלות התחזוקה השנתית למ"א, בהתאמה, מכפילים באורך הקטע ובמקדם "2".

ב-ג. מספר התאונות שהיה צפוי ללא המעקות החדשים ו-אחוז ירידה בתאונות שמזוהה עם התקנת המעקות החדשים - מוערכים על סמך המודלים המסבירים שהותאמו במחקר. מספר התאונות הצפוי בקטע, בשנה, תלוי באורך הקטע, נפח התנועה היומי והמסבירים הנוספים שנתרו במודל. לכל קטע מוגדר (אמיתי או טיפוסי - בהערכה) מוערך מספר התאונות הצפוי עם נוכחות המעקות החדשים, מספר התאונות הצפוי ללא המעקות החדשים וההפרש ביניהם שמבטא את תרומת המעקות החדשים לחסכון בתאונות. פירוט חישובים אלה מוצג בהמשך בפרק 3.

ד. עלות תאונה ממוצעת - מוערכת על סמך הערכים הבסיסיים לחישוב עלות תאונה המוצגים בנוהל פר"ת (2006), ו-עדכוני האומדנים המוצגים בדו"ח רשות (2011). עלות התאונה מורכבת מעלויות פגיעה, עלויות נזק והוצאות אדמיניסטרטיביות בעקבות תאונה, כאשר עלויות הפגיעה לרוב מהוות שקלול של מספר נפגעים ממוצע לתאונה ועלות הנפגע, לפי שלוש רמות חומרה.

ההערכה הנוכחית התייחסה לשלושה סוגי תאונות:

(1) תאונות חמורות עם רכב יחיד בקטעי דרכים לא עירוניות - להערכה זו מקבצי הלמ"ס נגזרו מספרי התאונות והנפגעים, לפי רמות חומרה שונות, בשנת 2010, ונערך שקלול האומדנים המעודכנים (לפי רשות, 2011) בהתאם למספר הנפגעים הממוצע בתאונה קטלנית וקשה, בהתאמה. בהמשך, נערך שקלול של שני אומדני התאונות והתקבל ערך לעלות הממוצעת של תאונה חמורה (קטלנית או קשה) עם רכב יחיד בקטע דרך לא עירונית - 2,410,061 ₪ (במחירי ינואר 2009).

(2) תאונה עם נפגעים בדרך בינעירונית - נלקחה עלות ממוצעת של 182,000 ₪ (במחירי ינואר 2009), מתוך: רשות (2011).

(3) תאונה עם נפגעים מסוג רכב יחיד בדרך בינעירונית - נלקחה עלות ממוצעת של 182,000 ₪ (במחירי ינואר 2009), מתוך: רשות (2011).

ה. מסגרת כלכלית להערכה נקבעה כלהלן: אורך חיי הפרויקט - 20 שנה, שער ריבית שנתית להיוון - 7% (מקדם ההיוון = 10.594).

5.2. ממצאי הערכה כלכלית

כאמור, ההערכה הכלכלית של התועלת הבטיחותית משימוש במעקות החדשים, לעומת הישנים, בוצעה עבור שלושה מקרים שהם:

- (1) בדרכים הדו-מסלוליות, בגין החיסכון בתאונות החמורות עם רכב יחיד;
- (2) בדרכים הדו-מסלוליות, בגין החיסכון בכלל התאונות עם נפגעים;

3) בדרכים החד-מסלוליות, בגין החיסכון בתאונות רכב יחיד עם מעורבות רכב כבד.

עבור שני המקרים בדרכים הדו-מסלוליות, הצגת הממצאים להלן כוללת:

(א) פירוט השימוש במודל המסביר להערכת מספר התאונות שהיה צפוי ללא המעקות החדשים ו-אחוז הירידה בתאונות שמזוהה עם התקנת המעקות החדשים.

(ב) הערכת החיסכון בתאונות הנבחנות אשר הושג הודות לנוכחות המעקות החדשים, בכל קטע דרך עם המעקות החדשים שהיה בבסיס הנתונים של מחקר.

(ג) בחינת רגישות התוצאה (החיסכון בתאונות) למאפייני הקטע, לרבות הדגמה גרפית לתלות התוצאה במאפייני הקטע, עבור מספר תנאי חישוב טיפוסיים.

(ד) הערכת תועלת-עלות מהתקנת המעקות החדשים, עבור מספר תנאי חישוב טיפוסיים, לרבות הדגמה גרפית.

עבור המקרה בדרך החד-מסלולית מובאים פרטי הערכה ודיון.

5.2.1. מקרה 1: החיסכון בתאונות החמורות עם רכב יחיד, בדרכים הדו-מסלוליות

א. המודל המסביר שהותאם במחקר שימש להערכת מספר התאונות הצפוי בקטע עם נוכחות המעקות חדשים, מספר התאונות הצפוי ללא המעקות החדשים וההפרש ביניהם המבטא את תרומת המעקות החדשים לחסכון בתאונות.

המודל שהותאם במחקר להערכת מספר תאונות חמורות מסוג רכב יחיד בקטע דרך דו-מסלולית היה כמוצג בטבלה 5.1. משתנה התוצאה במודל זה: ALL_SNG_SEV_L_V_sq.

להלן פירוט המאפיינים במודל:

ALL_SNG_SEV_L_V_sq - מספר תאונות חמורות עם רכב יחיד (ALL_SNG_SEV) אשר חולק באורך הקטע (LENGTH) ובנפח התנועה (AADT), ולאחר מכן הוצא שורש;

C_LR_EURO_Length_max_L - הינו אורך המעקות החדשים בצד הדרך (LR_EURO_Length_max) אשר חולק באורך הקטע (LENGTH) לצורכי נרמול ולאחר מכן, עבר מרכז¹⁵ (מכל ערך שהתקבל הוסר ערך קבוע של 0.2515613);

RH_MI - אומדן הרדיוס האופקי, במטרים.

¹⁵ לצורך גילוי קשרים משמעותיים בפיתוח המודלים

טבלה 5.1. מודל מסביר להערכת מספר צפוי של תאונות חמורות מסוג רכב יחיד בקטע דרך דו-מסלולית, בתלות באורך המעקות החדשים בצדי הדרך

Table 5.1. Explanatory model for the evaluation of severe single-vehicle accident numbers expected on a dual-carriageway road section, depending on the new roadside barriers' length

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.000246	0.003168	0.08	0.9382
C_LR_EURO_Length_max_L	1	-0.006306	0.003353	-1.88	0.0618
RH_MI	1	0.000005676	0.000002652	2.14	0.0337

על סמך המודל הנ"ל, מספר התאונות הצפוי בקטע (תאונות חמורות עם רכב יחיד - ALL_SNG_SEV) עם נוכחות המעקות החדשים יוערך כלהלן:

$$ALL_SNG_SEV_{with} = LENGTH * AADT * [0.000246 - 0.006306 * (LR_EURO_Length_max / LENGTH - 0.2515613) + 0.000005676 * RH_MI]^2$$

לעומת זאת, מספר התאונות הצפוי בקטע ללא המעקות החדשים יוערך כלהלן:

$$ALL_SNG_SEV_{without} = LENGTH * AADT * [0.000246 + 0.006306 * 0.2515613 + 0.000005676 * RH_MI]^2$$

מכאן, אחוז הירידה בתאונות הודות להתקנת המעקות החדשים יוערך כ:

$$\% \text{ reduction} = (1 - ALL_SNG_SEV_{with} / ALL_SNG_SEV_{without}) * 100$$

כאשר מספר התאונות הנחסך יהיה:

$$ACC \text{ saving estimate} = ALL_SNG_SEV_{without} * \% \text{ reduction}$$

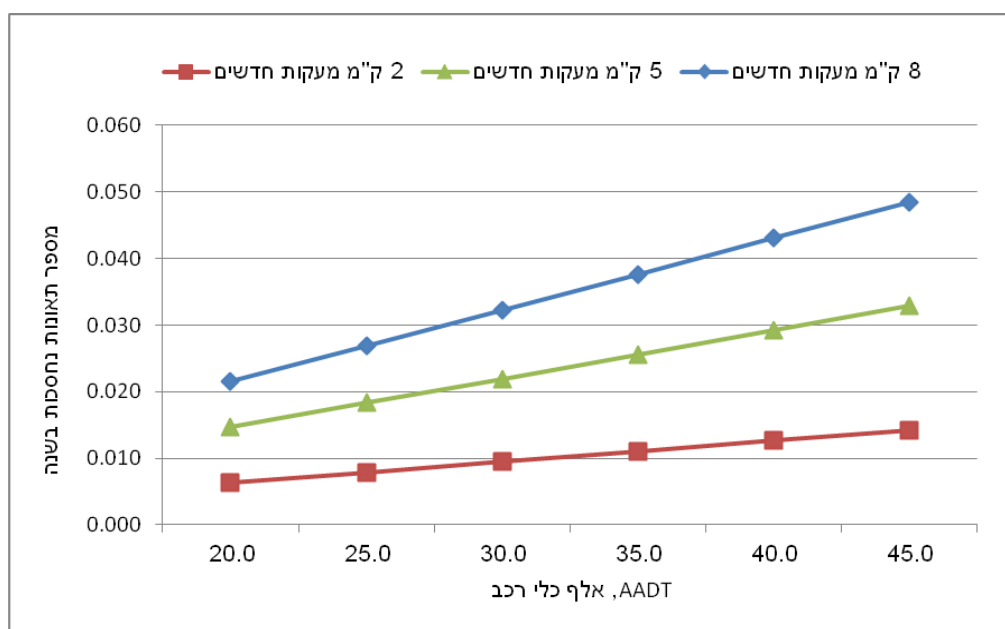
ב. נספח ג' מציג ממצאים מהערכת החיסכון בתאונות החמורות עם רכב יחיד, הודות לנוכחות המעקות החדשים, בכל אחד מקטעי הדרכים הדו-מסלוליות עם המעקות החדשים שהיו בבסיס הנתונים של מחקר.

סה"כ, נמצאו 112 קטעים כאלה, באורך כולל של 529 ק"מ. בצדי קטעים אלה נמצאו סה"כ 202.1 ק"מ של המעקות החדשים. ע"פ הערכה, מספר התאונות הצפוי (תאונות חמורות עם רכב יחיד) בקטעים אלה, בשנה, הינו: 1.67 ללא המעקות החדשים, 1.07 עם המעקות החדשים, מה שמספק חיסכון כולל של 0.6 תאונות בשנה או ירידה של 36%.

ג. נספח ד' מציג ממצאים מבחינת רגישות התוצאה (החיסכון בתאונות הנבחנות) למאפייני הקטע כגון: אורך הקטע, נפח התנועה, הרדיוס האופקי, אורך המעקות החדשים. ניתן לראות שמספר התאונות הנחסך עולה עם נפח תנועה גדול יותר, אורך קטע גדול יותר, אורך גדול יותר של המעקות החדשים וגם,

עם עליה ברדיוס האופקי (אם כי ממצא זה אינו תואם את הידע הקיים לגבי השפעת הרדיוס האופקי). עם זאת, בכל התנאים שנבחנו החיסכון השנתי בתאונות לקטע היה קטן, בטווח של 0.008-0.063.

ציור 5.1 מביא הדגמה גרפית לתלות התאונות הנחסכות (הודות לנוכחות המעקות החדשים) במאפייני הקטע, עבור קטע דרך באורך 10 ק"מ. ניתן לראות שהחיסכון בתאונות החמורות עם רכב יחיד בעקבות התקנת המעקות החדשים בצדי הדרך, עולה עם עליה בנפח התנועה בדרך ובאורך המעקות החדשים.



ציור 5.1. דרך דו-מסלולית: חסכון בתאונות החמורות עם רכב יחיד, בשנה, בעקבות התקנת המעקות החדשים בצדי הדרך, בתלות בנפח התנועה ובאורך המעקות החדשים (דוגמא עבור קטע באורך 10 ק"מ).

Figure 5.1. Dual-carriageway road: a reduction in severe single-vehicle accidents, a year, due to new roadside barriers' installation, depending on daily traffic volume and new barriers' length (example for 10 km section length).

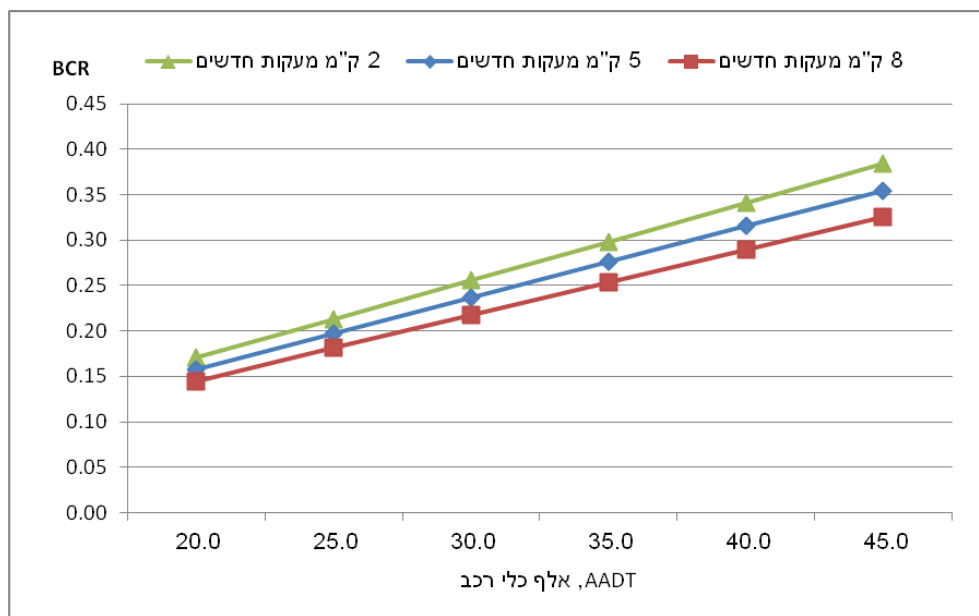
ד. טבלה 5.2 מציגה ממצאים מהערכת יחס תועלת-עלות מהתקנת המעקות החדשים, עבור מספר תנאי חישוב טיפוסיים: אורך קטע 10-20 ק"מ, נפח תנועה יומי 25-40 אלף כלי רכב, אורך התקנת המעקות החדשים מ-2 עד 10 או 20 ק"מ (בתלות באורך הקטע). בכל המקרים שנבחנו, היחס תועלת-עלות היה נמוך, בטווח 0.17-0.34.

ציור 5.2 מביא הדגמה גרפית לתלות היחס תועלת-עלות בגין החיסכון בתאונות הנבחנו בעקבות התקנת המעקות החדשים, במאפייני הקטע, עבור קטע דרך באורך 10 ק"מ. ניתן לראות שערך היחס תועלת-עלות עולה עם עליה בנפח התנועה בדרך ובאורך המעקות החדשים. אם זאת, בכל המצבים, ערך הBCR נמוך מ-0.4.

טבלה 5.2. ממצאים מהערכת יחס תועלת-עלות בגין החיסכון בתאונות החמורות עם רכב יחיד בעקבות התקנת המעקות החדשים, בצדי קטע דרך דו-מסלולית (חישובים עבור תנאים טיפוסיים)

Table 5.2. Findings of the cost-benefit ratio evaluation based on severe single-vehicle accident reductions due to new barriers' installation on roadsides of dual-carriageway road sections (calculations for typical conditions).

BCR	תועלת מצטברת בגין החיסכון בתאונות (לעומת מעקות ישנים), 20 שנה	עלות מצטברת של התקנת המעקות החדשים (הפרש) - 20 שנה	מספר תאונות נחשכות, בנוכחות המעקות החדשים	אחוז ירידה בתאונות, בנוכחות המעקות החדשים	מספר תאונות צפוי, ללא המעקות החדשים	מספר תאונות עם המעקות החדשים	אורך מרבי של מעקות EURO בצדדים, ק"מ	אומדן רדיוס אופק, מ'	AADT אלף כלי רכב	אורך קטע, ק"מ
0.21	202,123	948,414	0.008	18%	0.043	0.036	2.0	2,000	25.0	10.0
0.20	467,233	2,371,035	0.018	42%	0.043	0.025	5.0	2,000	25.0	10.0
0.19	618,591	3,319,449	0.024	56%	0.043	0.019	7.0	2,000	25.0	10.0
0.17	807,553	4,742,070	0.032	73%	0.043	0.012	10.0	2,000	25.0	10.0
0.22	207,199	948,414	0.008	9%	0.087	0.079	2.0	2,000	25.0	20.0
0.21	498,961	2,371,035	0.020	22%	0.087	0.067	5.0	2,000	25.0	20.0
0.21	680,778	3,319,449	0.027	31%	0.087	0.060	7.0	2,000	25.0	20.0
0.20	934,466	4,742,070	0.037	42%	0.087	0.050	10.0	2,000	25.0	20.0
0.21	404,246	1,896,828	0.016	18%	0.087	0.071	4.0	2,000	25.0	20.0
0.20	934,466	4,742,070	0.037	42%	0.087	0.050	10.0	2,000	25.0	20.0
0.19	1,237,181	6,638,898	0.048	56%	0.087	0.038	14.0	2,000	25.0	20.0
0.17	1,615,106	9,484,140	0.063	73%	0.087	0.024	20.0	2,000	25.0	20.0
0.34	323,396	948,414	0.013	18%	0.070	0.057	2.0	2,000	40.0	10.0
0.32	747,573	2,371,035	0.029	42%	0.070	0.040	5.0	2,000	40.0	10.0
0.30	989,745	3,319,449	0.039	56%	0.070	0.031	7.0	2,000	40.0	10.0
0.27	1,292,085	4,742,070	0.051	73%	0.070	0.019	10.0	2,000	40.0	10.0



ציור 5.2. דרך דו-מסלולית: יחס תועלת-עלות בגין החיסכון בתאונות החמורות עם רכב יחיד, בעקבות התקנת המעקות החדשים בצדי הדרך, בתלות בנפח התנועה ובאורך המעקות החדשים (דוגמא עבור קטע באורך 10 ק"מ, חישוב ל-20 שנה).

Figure 5.2. Dual-carriageway road: cost-benefit ratio based on severe single-vehicle accident reductions due to new barriers' installation on roadsides, depending on traffic volumes and new barriers' length (example for 10 km section length, calculation for 20 years).

מכאן, החיסכון בתאונות החמורות עם רכב יחיד בעקבות התקנת המעקות החדשים בצדי דרכים דו-מסלוליות אינו גבוה. התועלת הכלכלית של חסכון זה אינה מספיקה לקבלת כדאיות כלכלית.

5.2.2. מקרה 2: החיסכון בכלל התאונות עם נפגעים, בדרכים הדו-מסלוליות

א. המודל שהותאם במחקר להערכת מספר התאונות עם נפגעים (ללא פגיעה בהולך רגל) בקטע דרך דו-מסלולית מוצג בטבלה 5.3. מודל זה פותח עבור משתנה התוצאה: $ALL_ACC_L_V_sq$. להלן פירוט למשתני המודל:

$ALL_ACC_L_V_sq$ - מספר התאונות עם נפגעים (ALL_ACC) אשר חולק באורך הקטע ($LENGTH$) ובנפח התנועה ($AADT$), ולאחר מכן הוצא שורש;

$C_LR_EURO_Length_max_L$ - הינו אורך המעקות החדשים בצד הדרך ($LR_EURO_Length_max$) אשר חולק באורך הקטע ($LENGTH$) לצורכי נרמול ולאחר מכן, עבר מרכז (מכל ערך שהתקבל הוסר ערך קבוע של 0.2515613);

$C_LnSH_TYP_LR_sum$ - אומדן לסוג שול פנימי המהווה סכום של שני ערכים: סוג שול פנימי - ק"מ יורד ($LnSH_TYP_Lmean$) וסוג שול פנימי - ק"מ עולה ($LnSH_TYP_Rmean$), אשר לאחר מכן עבר מרכז (מכל ערך שהתקבל הוסר ערך קבוע של 2.73251). יצוין כי "סוג שול פנימי" שיוחס לכל קטע בבסיס הנתונים של המחקר הינו ממוצע סוג שול פנימי לאורך הקטע, כאשר "1" מסמן לא סלול, "2" סלול חלקי, "3" סלול מלא.

טבלה 5.3. מודל מסביר להערכת מספר צפוי של כלל התאונות עם נפגעים* בקטע דרך דו-מסלולית, בתלות באורך המעקות החדשים בצדי הדרך

Table 5.3. Explanatory model for the evaluation of expected number of total accidents with casualties on a dual-carriageway road section depending on the new roadside barriers' length

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.170983	0.009240	18.50	<.0001
$C_LR_EURO_Length_max_L$	1	-0.037368	0.014966	-2.50	0.0135
$C_LnSH_TYP_LR_sum$	1	-0.017175	0.005974	-2.87	0.0046

*ללא תאונות פגיעה בהולך רגל

על סמך מודל זה, מספר התאונות הצפוי בקטע (כלל התאונות עם נפגעים - ALL_ACC) עם נוכחות המעקות החדשים יוערך כלהלן:

$$ALL_ACC_{with} = LENGTH * AADT * [0.170983 - 0.037368 * (LR_EURO_Length_max / LENGTH - 0.2515613) - 0.017175 * (\ln SH_TYP_Lmean + \ln SH_TYP_Rmean - 2.73251)]^2$$

לעומת זאת, מספר התאונות הצפוי בקטע ללא המעקות החדשים יוערך כלהלן:

$$ALL_ACC_{without} = LENGTH * AADT * [0.170983 - 0.037368 * (LR_EURO_Length_max / LENGTH - 0.2515613) - 0.017175 * (\ln SH_TYP_Lmean + \ln SH_TYP_Rmean - 2.73251)]^2$$

אחוז הירידה בתאונות הודות להתקנת המעקות החדשים יוערך כ:

$$\% \text{ reduction} = (1 - ALL_ACC_{with} / ALL_ACC_{without}) * 100$$

כאשר מספר התאונות הנחסך יהיה:

$$ACC \text{ saving estimate} = ALL_ACC_{without} * \% \text{ reduction}$$

ב. נספח ג' מציג ממצאים מהערכת החיסכון בתאונות עם נפגעים, הודות לנוכחות המעקות החדשים, בכל אחד מקטעי הדרכים הדו-מסלוליות עם המעקות החדשים שהיו בבסיס הנתונים של מחקר.

סה"כ, נמצאו 110 קטעים כאלה (המאפשרים לבצע הערכה), באורך כולל של 523 ק"מ. בצדי קטעים אלה נמצאו סה"כ 196.1 ק"מ של המעקות החדשים. ע"פ הערכה, מספר התאונות הצפוי (כלל התאונות עם נפגעים) בקטעים אלה, בשנה, הינו: 552 ללא המעקות החדשים, 470 עם המעקות החדשים, מה שמספק חיסכון כולל של 82 תאונות בשנה או ירידה של 15%. מספר התאונות הנחסכות לקטע, בשנה, משתנה בטווח 0.015-4.5 תאונות.

ג. נספח ד' מציג ממצאים מבחינת רגישות התוצאה (החיסכון בתאונות הנבחנות) למאפייני הקטע כגון: נפח התנועה, סוג שול פנימי, אורך המעקות החדשים. ניתן לראות שמספר התאונות הנחסך עולה עם נפח תנועה גדול יותר ואורך גדול יותר של המעקות החדשים. כמו כן, מספר התאונות הנחסך יורד עם שיפור השול הפנימי: שינוי סוג שול פנימי, מ-1 ל-3 (מ-"לא סלולי" ל-"סלול מלא").

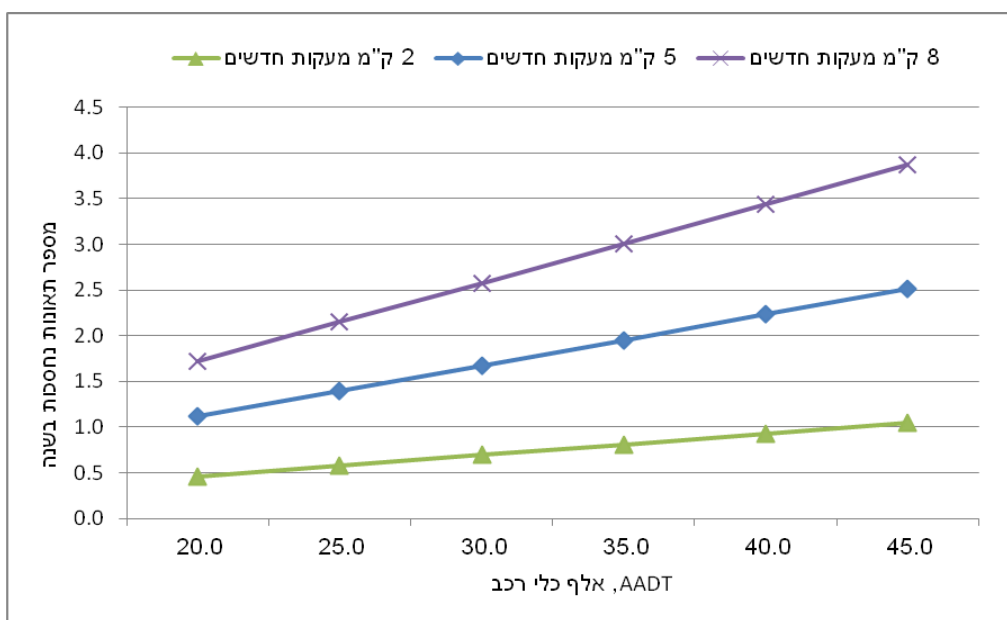
ציור 5.3 מביא הדגמה גרפית לתלות התאונות הנחסכות הודות לנוכחות המעקות החדשים במאפייני הקטע, עבור קטע דרך באורך 10 ק"מ. ניתן לראות שהחיסכון בכלל התאונות עם נפגעים בעקבות התקנת המעקות החדשים בצדי הדרך, עולה עם עליה בנפח התנועה בדרך ובאורך המעקות החדשים.

ד. טבלה 5.4 מציגה ממצאים מהערכת יחס תועלת-עלות מהתקנת המעקות החדשים, עבור מספר תנאי חישוב טיפוסיים: אורך קטע 10-20 ק"מ, נפח תנועה יומי 20-40 אלף כלי רכב, סוג שול פנימי (1-3), אורך התקנת המעקות החדשים מ-2 עד 8 או 15 ק"מ (בתלות באורך הקטע). ניתן לראות שבכל המקרים שנבחנו, הטיפול היה כדאי - היחס תועלת מול עלות היה **גבוה**, בטווח 1.11-2.51.

ציור 5.4 מביא הדגמה גרפית לתלות היחס תועלת-עלות בגין החיסכון בתאונות הנבחנות בעקבות התקנת המעקות החדשים, במאפייני הקטע, עבור קטע דרך באורך 10 ק"מ. ניתן לראות שערך היחס תועלת-עלות עולה עם עליה בנפח התנועה בדרך ובאורך המעקות החדשים, כאשר, כאמור, בכל התנאים

שנבחנו ערך הBCR עולה על 1. יתרה מזו, ערכי היחס תועלת-עלות היו דומים בכל המצבים עם אורך המעקות החדשים של 5-9 ק"מ (בתנאי נפח תנועה דומה).

לבירור הממצא האחרון נערכה בדיקה נוספת - הערכות היחס תועלת-עלות בגין החיסכון בתאונות הנבחנות בעקבות התקנת המעקות החדשים עבור קטע דרך באורך 20 ק"מ - ציור 5.5. ניתן לראות שגם במקרים אלה ערך היחס תועלת-עלות עולה עם עליה בנפח התנועה בדרך ובאורך המעקות החדשים, כאשר בכל התנאים שנבחנו ערך הBCR עולה על 1 וגם ערכי היחס תועלת-עלות היו דומים בכל המצבים עם אורך המעקות החדשים של 5-15 ק"מ (בתנאי נפח תנועה דומה).



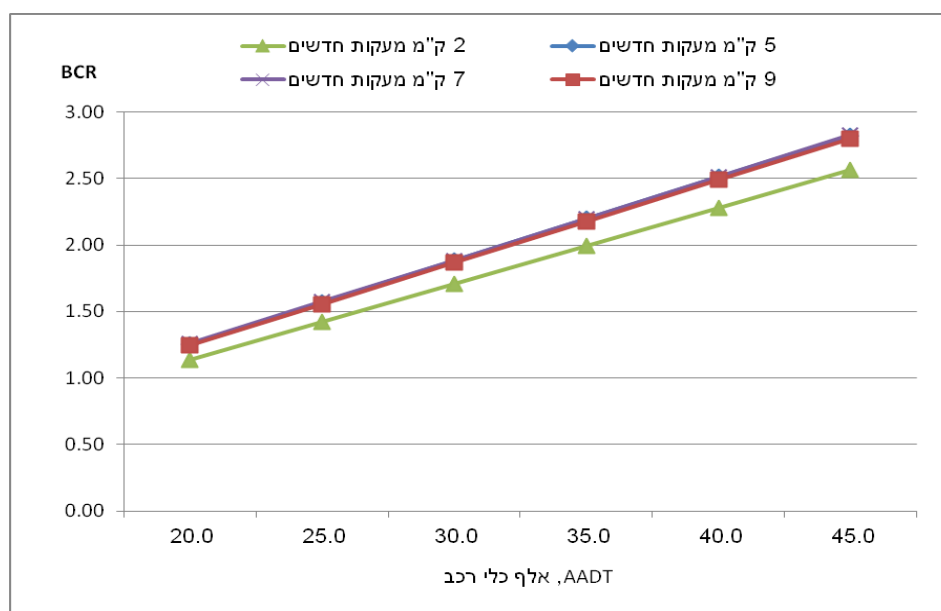
ציור 5.3. דרך דו-מסלולית: חסכון בכלל התאונות עם נפגעים (ללא פגיעה בהולך רגל), בשנה, בעקבות התקנת המעקות החדשים בצדי הדרך, בתלות בנפח התנועה ובאורך המעקות החדשים (דוגמא עבור קטע באורך 10 ק"מ).

Figure 5.3. Dual-carriageway road: a reduction in total accidents with casualties, a year, due to new roadside barriers' installation, depending on the daily traffic volume and new barriers' length (example for 10 km section length)

טבלה 5.4. ממצאים מהערכת יחס תועלת-עלות בגין החיסכון בכלל התאונות עם נפגעים בעקבות התקנת המעקות החדשים, בצדי דרך דו-מסלולית

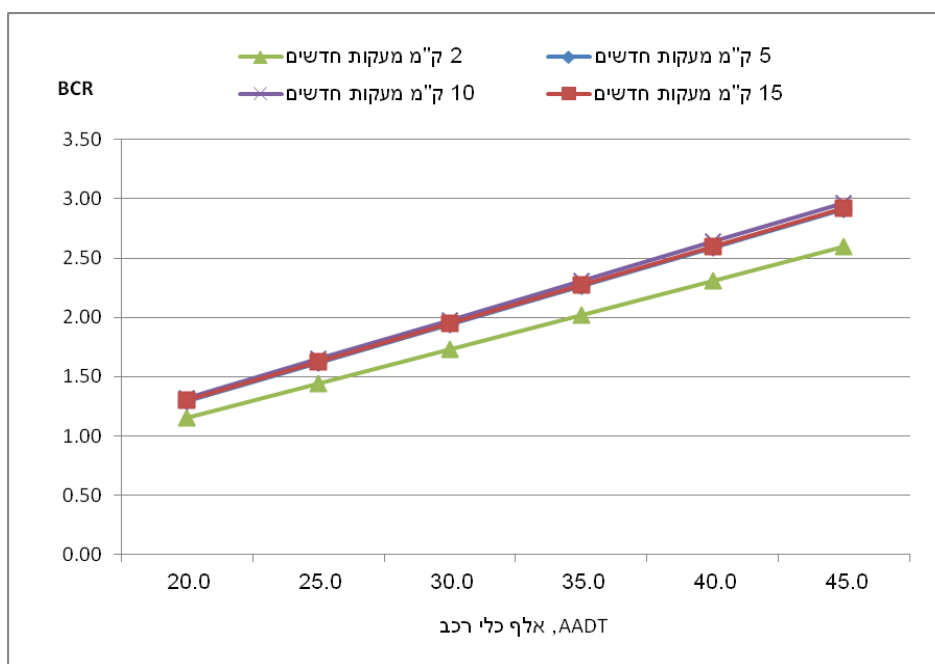
Table 5.4. Findings of the cost-benefit ratio evaluation based on the total injury accidents' reduction due to new barriers installation on roadsides of dual-carriageway road sections

BCR	תועלת מצטברת בגין החיסכון בתאונות (לעומת מעקות ישנים), 20 שנה	עלות מצטברת של התקנת המעקות החדשים (הפרש) - 20 שנה	מספר תאונות נחסכות, בנוכחות המעקות החדשים	אחוז ירידה בתאונות, בנוכחות המעקות החדשים	מספר תאונות צפוי, ללא המעקות החדשים	מספר תאונות עם המעקות החדשים	סוג שול פנימי-אומדן מסכם	אורך מרבי של מעקות EURO בצדדים, ק"מ	AADT אלף כלי רכב	אורך קטע, ק"מ
1.74	1,363,375	784,207	0.7	8%	9.3	8.6	2.00	2.0	25.0	10.0
1.42	1,115,885	784,207	0.6	9%	6.3	5.7	4.00	2.0	25.0	10.0
1.11	868,394	784,207	0.5	12%	3.9	3.4	6.00	2.0	25.0	10.0
1.42	1,115,885	784,207	0.6	9%	6.3	5.7	4.00	2.0	25.0	10.0
1.57	2,688,748	1,714,207	1.4	22%	6.3	4.9	4.00	5.0	25.0	10.0
1.57	4,140,457	2,644,207	2.1	34%	6.3	4.1	4.00	8.0	25.0	10.0
1.44	1,129,346	784,207	0.6	5%	12.6	12.0	4.00	2.0	25.0	20.0
1.62	2,772,884	1,714,207	1.4	11%	12.6	11.1	4.00	5.0	25.0	20.0
1.65	4,355,844	2,644,207	2.3	18%	12.6	10.3	4.00	8.0	25.0	20.0
1.64	6,372,226	3,884,207	3.3	26%	12.6	9.3	4.00	12.0	25.0	20.0
1.62	7,813,838	4,814,207	4.1	32%	12.6	8.5	4.00	15.0	25.0	20.0
1.25	2,150,999	1,714,207	1.1	22%	5.0	3.9	4.00	5.0	20.0	10.0
1.88	3,226,498	1,714,207	1.7	22%	7.5	5.9	4.00	5.0	30.0	10.0
2.51	4,301,997	1,714,207	2.2	22%	10.1	7.8	4.00	5.0	40.0	10.0



ציור 5.4. דרך דו-מסלולית: יחס תועלת-עלות בגין החיסכון בכלל התאונות עם נפגעים (ללא פגיעה בהולך רגל), בעקבות התקנת המעקות החדשים בצדי הדרך, בתלות בנפח התנועה ובאורך המעקות החדשים (דוגמא עבור קטע באורך 10 ק"מ, חישוב ל- 20 שנה).

Figure 5.4. Dual-carriageway road: cost-benefit ratio based on total injury accident reductions due to new barriers' installation on roadsides, depending on traffic volumes and new barriers' length (example for 10 km section length, calculation for 20 years).



ציור 5.5. דרך דו-מסלולית: יחס תועלת-עלות בגין החיסכון בכלל התאונות עם נפגעים (ללא פגיעה בהולך רגל), בעקבות התקנת המעקות החדשים בצדי הדרך, בתלות בנפח התנועה ובאורך המעקות החדשים (דוגמא עבור קטע באורך 20 ק"מ, חישוב ל-20 שנה).

Figure 5.5. Dual-carriageway road: cost-benefit ratio based on total injury accident reductions due to new barriers' installation on roadsides, depending on traffic volumes and new barriers' length (example for 20 km section length, calculation for 20 years).

מכאן, החיסכון בכלל התאונות עם נפגעים בעקבות התקנת המעקות החדשים בצדי דרכים דו-מסלוליות נמצא גבוה. התועלת הכלכלית של חסכון זה מצביעה על **כדאיות כלכלית של התקנת המעקות החדשים בדרכים הדו-מסלוליות**. כמו כן, החל מאורך מסוים של המעקות החדשים בצדי הדרך (מעל 2 ק"מ), בתנאי נפח תנועה מסוים, להתקנת המעקות החדשים מתקבל יחס תועלת-עלות דומה, ללא קשר לאורך התקנת המעקות החדשים.

5.2.3. מקרה 3: בחינת החיסכון בתאונות רכב יחיד עם מעורבות רכב כבד, בדרכים החד-מסלוליות

כפי שצוין לעיל, ברוב המודלים שהותאמו למספרי התאונות בדרכים החד-מסלוליות, נמצא קשר חיובי בין מאפיין אורך המעקות החדשים לבין משתנה התוצאה (מספר תאונות מסוג מסוים, בשנה). המודל היחיד אשר הצביע על קשר שלילי היה מודל עבור תאונות רכב יחיד עם רכב כבד (משא מעל 4 טון, אוטובוס, אוטובוס זעיר, רכב עבודה, או טרקטור) בו בין המאפיינים המסבירים לתאונות היו גם קבוצות קטעים לפי נוכחות המעקות (בין 0 ל-5), כאשר עבור הקטעים מקבוצות 1-3 (עם נוכחות המעקות החדשים) התקבלו מקדמים שליליים, מה שמצביע על צפי לפחות תאונות לעומת הקטעים עם המעקות הישנים (קבוצה 5).

מודל זה שימש בבחינה הנוכחית להערכת מספר התאונות הצפוי בקטע עם נוכחות המעקות החדשים, מספר התאונות הצפוי ללא המעקות החדשים וההפרש ביניהם המבטא את תרומת המעקות החדשים לחסכון בתאונות.

המודל שהותאם במחקר להערכת מספר תאונות רכב יחיד עם רכב כבד בקטע דרך חד-מסלולית היה כמוצג בטבלה 5.5. משתנה התוצאה במודל זה: HG_V_BS_L_V_sq. להלן פירוט המאפיינים במודל:

HG_V_BS_L_V_sq - מספר תאונות רכב יחיד עם רכב כבד (HG_V_BS) אשר חולק באורך הקטע (LENGTH) ובנפח התנועה (AADT), ולאחר מכן הוצא שורש;

FINAL_LR - קבוצת קטעים המסמנת מצב מעקות צד: 0 - קטעים ללא מעקות צד; 1-3 - קטעים עם נוכחות המעקות החדשים (1 - עם נוכחות רבה, 2 - עם נוכחות בינונית, 3 - קטע מקוצר עם נוכחות רבה); 4-5 - קטעים עם מעקות ישנים (קטעי ביקורת, כאשר בקטעים מקבוצה 4 ישנה נוכחות קטנה של המעקות החדשים, בעוד שבקטעים מקבוצה 5 נמצאו המעקות הישנים בלבד);

C_LR_EURO_Length_max_L - הינו אורך המעקות החדשים בצד הדרך (LR_EURO_Length_max) אשר חולק באורך הקטע (LENGTH) לצורכי נרמול ולאחר מכן, עבר מרכזו (מכל ערך שהתקבל הוסר ערך קבוע של 0.2515613).

טבלה 5.5. מודל מסביר להערכת מספר צפוי של תאונות רכב יחיד עם רכב כבד בקטע דרך חד-מסלולית, בתלות בנוכחות המעקות החדשים בצדי הדרך

Table 5.5. Explanatory model for the evaluation of the expected number of single-vehicle accidents with heavy vehicles on a single-carriageway road section depending on the new roadside barriers' presence

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.027385	0.006471	4.23	<.0001
FINAL_LR	0	-0.002523	0.009563	-0.26	0.7921
FINAL_LR	1	-0.061318	0.016566	-3.70	0.0003
FINAL_LR	2	-0.032707	0.014271	-2.29	0.0227
FINAL_LR	3	-0.067167	0.016439	-4.09	<.0001
FINAL_LR	4	-0.010844	0.008369	-1.30	0.1962
FINAL_LR	5	0	.	.	.
C_LR_EURO_Length_max	1	0.091750	0.014610	6.28	<.0001

על סמך המודל הני"ל, מספר התאונות הצפוי בקטע דרך חד-מסלולית (תאונות רכב יחיד עם רכב כבד - HG_V_BS) יוערך כלהלן:

בקטעים מקבוצה 1 עם נוכחות המעקות החדשים

$$HGV_BS_{with} = LENGTH * AADT * [0.027385 - 0.061318 + 0.09175 * (LR_EURO_Length_max / LENGTH - 0.2515613)]^2$$

בקטעים מקבוצה 2 עם נוכחות המעקות החדשים

$$HGV_BS_{with} = LENGTH * AADT * [0.027385 - 0.032707 + 0.09175 * (LR_EURO_Length_max / LENGTH - 0.2515613)]^2$$

בקטעים מקבוצה 3 עם נוכחות המעקות החדשים

$$HGV_BS_{with} = LENGTH * AADT * [0.027385 - 0.067167 + 0.09175 * (LR_EURO_Length_max / LENGTH - 0.2515613)]^2$$

בקטעים מקבוצה 4 עם המעקות הישנים

$$HGV_BS = LENGTH * AADT * [0.027385 - 0.010844 + 0.09175 * (LR_EURO_Length_max / LENGTH - 0.2515613)]^2$$

בקטעים מקבוצה 5 עם המעקות הישנים

$$HGV_BS = LENGTH * AADT * [0.027385 + 0.09175 * (LR_EURO_Length_max / LENGTH - 0.2515613)]^2$$

בקטעים מקבוצה 0 ללא מעקות

$$HGV_BS = LENGTH * AADT * [0.027385 - 0.002523 + 0.09175 * (LR_EURO_Length_max / LENGTH - 0.2515613)]^2$$

לעומת זאת, מספר התאונות הצפוי בקטע ללא המעקות החדשים בקטעים מקבוצות 1-3 יוערך כלהלן:

$$HGV_BS_{without} = LENGTH * AADT * [0.027385 - 0.09175 * 0.2515613]^2$$

אחוז הירידה בתאונות הודות להתקנת המעקות החדשים יוערך כ:

$$\% \text{ reduction} = (1 - HGV_BS_{with} / HGV_BS_{without}) * 100$$

נספח ג' מציג ממצאים מהערכת החיסכון בתאונות רכב יחיד עם רכב כבד, בקטעים מקבוצות 1-3, עם נוכחות המעקות החדשים לעומת המצב ללא המעקות החדשים. בהערכה זו נכללו סה"כ 82 קטעים חד-מסלוליים, באורך כולל של 531 ק"מ. בצדי קטעים אלה נמצאו סה"כ 242 ק"מ של המעקות החדשים. ניתן לראות שבחלק ניכר מהקטעים מספר התאונות הצפוי בנוכחות המעקות החדשים גבוה יותר מאשר במצב ללא המעקות. כלומר, לפי מודל זה לא ניתן להדגים תועלת בטיחותית מהתקנת המעקות החדשים בדרכים החד-מסלוליות.

ממצאים אלה מובנים אם נתבונן במקדמי המודל בטבלה 5.5: מקדמי הירידה בתאונות הודות להשתייכות לקטעים מקבוצות 1-3 נמוכים יותר לעומת מקדם הגידול בתאונות עקב אורך המעקות

החדשים. על סמך מיון הממצאים בנספח ג' (לפי קבוצות הקטעים עם מעקות ולאחר מכן, לפי היחס בין אורך המעקות החדשים ואורך הקטע) ניתן ללמוד שהתרומה החיובית של המעקות החדשים נמצאה בעיקר במקרים אלה:

בקבוצה 1, כאשר אורך המעקות החדשים היווה כ 0.61-0.62 מאורך הקטע;

בקבוצה 2, כאשר אורך המעקות החדשים היווה כ 0.33-0.35 מאורך הקטע;

בקבוצה 3, כאשר אורך המעקות החדשים היווה כ 0.6-0.7 מאורך הקטע.

עם זאת, גם במקרים אלה, מספר התאונות הנחסך הודות לנוכחות המעקות החדשים הינו קטן ולא מספיק להוכחות הכדאיות הכלכלית של שימוש במעקות החדשים.

5.3. סיכום

עבור שלושת המקרים שנבחנו, בעקבות הערכת החיסכון בתאונות עקב נוכחות המעקות החדשים, לעומת הישנים, וחישובי היחס תועלת-עלות נמצא כי:

- בדרכים הדו-מסלוליות, החיסכון בתאונות החמורות עם רכב יחיד בעקבות התקנת המעקות החדשים אינו גבוה. התועלת הכלכלית של חסכון זה אינה מספיקה לקבלת כדאיות כלכלית.

- בדרכים הדו-מסלוליות, החיסכון בכלל התאונות עם נפגעים בעקבות התקנת המעקות החדשים נמצא גבוה. התועלת הכלכלית של חסכון זה מצביעה על כדאיות כלכלית של התקנת המעקות החדשים בדרכים הדו-מסלוליות. כמו כן, החל מאורך מסוים של המעקות החדשים (מעל 2 ק"מ), בתנאי נפח תנועה מסוים, להתקנת המעקות החדשים מתקבל יחס תועלת-עלות דומה, ללא קשר לאורך התקנת המעקות החדשים. כלומר, בתנאי הנחות החישוב (מצבי התקנה טיפוסיים), גודל התועלת הבטיחותית מהתקנת המעקות החדשים עולה ביחד עם גודל ההשקעה הנדרשת להתקנת המעקות, כאשר שניהם נמצאים ביחס ישיר לאורך התקנת המעקות.

- בדרכים החד-מסלוליות, בחלק ניכר מהקטעים, מספר התאונות הצפוי בנוכחות המעקות החדשים היה גבוה יותר מאשר במצב ללא המעקות. כלומר, לפי המודל שהותאם לנתונים במחקר זה לא ניתן להדגים תועלת בטיחותית מהתקנת המעקות החדשים בדרכים החד-מסלוליות.

מכאן, מהתקנת המעקות החדשים בדרכים הדו-מסלוליות מתקבלת תועלת כלכלית ברורה, בעוד שעבור הדרכים החד-מסלוליות לא נמצאו הוכחות לכדאיות בטיחותית וכלכלית של התקנת המעקות החדשים.

6. סיכום ומסקנות המחקר

6.1. כללי

בעשור האחרון, המדיניות של משרד התחבורה הייתה בקידום שימוש במעקות החדשים/ התקניים בכל הדרכים בישראל, בפרויקטי סלילה חדשים. גם בפרויקטי שדרוג ואחזקה של הדרכים הלא עירוניות המובלים ע"י החברה הלאומית לדרכים, המעקות החדשים מחליפים בהדרגה את המעקות הישנים. למדיניות המעבר למעקות החדשים קיימות משמעויות כספיות ניכרות אך היא נבחרה ליישום מתוך צפייה שתתרום להעלאת רמת הבטיחות בדרכים בישראל.

מטרת מחקר זה הייתה לאסוף מידע מפורט על התקנות המעקות החדשים ולבחון את התועלות הבטיחותיות והכלכליות הנובעות מהכנסתו לשימוש של הדור החדש של מעקות הבטיחות, בדרכים הלא עירוניות בישראל.

6.2. שיטת המחקר

בביצוע המחקר היו מספר מרכיבים. בשלב הראשון, נערך סקר ספרות מקצועית שהתמקד במחקרי הערכה של מעקות בטיחות חדשים ובמסמכים מנחים בנושאי שימוש במעקות הבטיחות שהתפרסמו, בשנים האחרונות, במדינות המתקדמות. בסקר הושם דגש על מציאת הערכות כמותיות ונימוקים שעשויים לשמש הצדק כלכלי לשימוש במעקות החדשים.

בשלב השני למחקר נערך איסוף והסדרת מידע על מצאי מעקות הבטיחות החדשים ברשת הדרכים הלא עירוניות. באמצעות מיפוי וניתוח נתונים מסקר דרכים 2010 של מערכת המני"ב, זוהו ארבע קבוצות של קטעי דרכים ברשת, לפי נוכחות המעקות החדשים.

בהמשך הסתבר שעבור חלק ניכר מקטעי הדרכים עם המעקות החדשים חסר מידע על תקופות התקנתם. מכאן, לא נוצר בסיס לביצוע ניתוחים מסוג "אחרי-לפני". לכן, על מנת לזהות השפעה של המעקות החדשים על רמת בטיחות הקטעים, הוחלט לבצע ניתוח רוחבי של מצב הבטיחות בקטעים עם המעקות החדשים לעומת קטעי ביקורת, בשנת 2010.

בניתוח הרוחבי, השפעת המעקות החדשים יכולה לבוא לידי ביטוי ע"י משתנה מסביר המשקף את הימצאותם והמשפיע על הסיכון לתאונה. עם זאת, לזיהוי השפעת משתני המעקות נדרש לנטרל השפעות של מסבירים אפשריים אחרים כגון: רמת החשיפה (נפחי תנועה), אורך קטע, סוג דרך, המאפיינים הגיאומטריים של הדרך. במילים אחרות, על מנת לזהות השפעה אפשרית של מעקות הבטיחות החדשים, יש לבצע ניתוח רב-משתני של מאפייני הקטעים. לכן, בטרם הניתוח נדרשה השלמה של המאפיינים הגיאומטריים של כל קטעי הדרכים שהוגדרו במחקר. השלמה זו נעשתה על סמך איסוף ועיבוד מידע נוסף ממערכת המני"ב.

בניתוח הרב-משתני שנערך במחקר, לסוגי התאונות השונים הותאמו מודלים מסבירים. בניתוח המקדים, להבנת השפעת המשתנים המסבירים שימשו ניתוחים בעזרת פונקצית rpart של תוכנת R; תוכנת GBM. המודלים נבנו בעזרת פרוצדורת GLMSELECT של SAS. כל הניתוחים נועדו לבחון שאלה: האם קיים הבדל משמעותי במספרי התאונות בקטעים בהם מותקנים מעקות הבטיחות החדשים לעומת אותם סוגי התאונות בקטעים בהם מותקנים מעקות הבטיחות הישנים.

מבין המודלים המסבירים שפותחו במחקר, שלושה הראו קשר שלילי בין נוכחות המעקות החדשים והתרחשות התאונות. בעזרת מודלים אלה בוצעה הערכה כלכלית. בהערכה הכלכלית נבחנה התועלת הבטיחותית משימוש במעקות החדשים לעומת הישנים, כאשר היא משווית עם תוספת עלויות התקנה והחזקה של מעקה חדש לעומת ישן, לאורך חיי המעקה.

6.3. ממצאי המחקר

להלן סיכום לממצאים העיקריים של המחקר.

ממצאי הספרות המקצועית

א. בניתוח ממצאי הספרות נמצא כי בעולם טרם פורסמו מחקרים שהיו מספקים הוכחה כמותית לכדאיות כלכלית ברורה של המעבר למעקות החדשים. יתרה מזו, באיחוד האירופי שאלה כזו מסתמנת כלא רלוונטית כי רוב המדינות ערכו עדכון של תקנים והנחיות לשימוש במעקות הבטיחות, במטרה להתאים מסמכים מנחים אלה לדרישות התקן האירופי החדש - EN 1317, ללא התמודדות מוקדמת עם שאלת הכדאיות הכלכלית של פעילות זו.

ב. בכל ההנחיות המעודכנות לשימוש במעקות הבטיחות שנמצאו בספרות הדרישות למעקות הבטיחות מוגדרות במונחים של רמות תפקוד על-פי התקן החדש, כאשר התקנת המעקות צריכה להתבצע תוך כדי מתן רוחב פעיל מלא (או חלקי) למעקה, בהתאם לערך שנמדד במבחני ההתנגשות. כלומר, רוב המדינות העלו את הדרישות לטיב ההתקנים המותקנים בשטח ולמרחק הפנוי בצד הדרך (לאבטחת המרווח הדרוש לרוחב הפעיל), ללא דיון מקדים לגבי הצדק לעלויות הגבוהות יותר של הסדרת תנאים אלה לעומת המצב הישן. הסבר אפשרי למצב זה נמצא במודעות הקיימת במדינות אלה לחשיבות עליונה של בטיחות, אשר מושגת, בין היתר, באמצעות שימוש בהתקנים שעומדים בדרישות התקנים המחייבים.

ג. עקב תקופה קצרה יחסית של שימוש במעקות החדשים בעולם, בספרות טרם הצטברו מחקרי הערכה עם ממצאים שהיו מאפשרים הסקת מסקנות ברורות לגבי השפעתם של המעקות החדשים על בטיחות, בייחוד בהשוואה עם המעקות הישנים. עם זאת, על-פי רוב הממצאים, הן באירופה והן בארה"ב, להתקנת מעקות הבטיחות בכלל מיוחסת תרומה משמעותית ומובהקת להורדת חומרה ושכיחות התאונות.

ד. הערכת כדאיות כלכלית לבחינת הצדק להתקנת מעקה בטיחות מקובלת במספר מדינות (כגון: ארה"ב, אנגליה). עם זאת, הערכה כזאת מתייחסת להתקנת מעקה בטיחות בכלל לעומת חלופה ללא מעקה או חלופה עם הסדרת איזור מפלט לרכב. בחישובים כאלה מופעלות הנחות רבות לגבי ההסתברות לתאונה והשלכותיה, בתנאי דרך טיפוסיים.

ה. במספר מחקרים פותחו מודלי הערכה כלכלית כדי לבחון כדאיות התקנת מעקות ברמות תפקוד גבוהות יותר, בתנאי דרך ותנועה שונים. לפי הערכות כלכליות שבוצעו בארה"ב ההצדק לשימוש במעקות הבטיחות ברמות תפקוד גבוהות יותר - TL4, TL5 - מתקיים בדרכים המהירות בלבד, כאשר מדובר במסלולים עם שכיחות גבוהה של תנאי מדרון תלול וסוללה גבוהה. גם במחקר הערכות כלכליות שבוצעו בפנינלנד, נמצא כי שימוש במעקות H1/H2 בצידי דרכים באופן גורף חסר כדאיות כלכלית. עם זאת, החלפת מעקות N2 במעקות H1/H2 נמצאה כדאית במצבים מסוימים כגון: לפני עמודי גשר בעלי מבנה חלש; לפני עמודי גשר עם מרווח לא מספק להתקנת המעקה; בהתקרבות לגשרים החוצים דרך ראשית אחרת.

ו. ניתוח כלכלי דומה בו נבחנה כדאיות החלפת המעקות הישנים במעקות החדשים נערך במחקר ישראלי מקדים (גיטלמן ואחרים, 2007). הניתוח נערך בעזרת תוכנת RSAP האמריקנית, תוך כדי הזנת נתוני עלויות המעקות והחתכים הטיפוסיים להצבת המעקות בארץ. נמצא כי החלפת המעקות כדאית בכבישים דו-מסלוליים ברמות תנועה של למעלה מ-25,000 כלי רכב ביממה שבהם מהירויות הנסיעה 100 קמ"ש ויותר (זאת, בתנאי השוואה בין מעקה פלדה ישן מסוג W שהינו ברמה TL2 לבין מעקה חדש ברמת תפקוד H1). כמו כן, בכבישים הדו-מסלוליים בהם נפח התנועה נמוך מ-25,000 כלי רכב ביממה החלפת המעקות נמצאה ככדאית כאשר אחוז כלי רכב כבדים היה גבוה מ-10%. ממצאים אלה תמכו בדרישות לרמות תפקוד המעקות שנקבעו בהנחיות הקיימות בישראל - הנחיות (2005).

לעומת זאת, באותו המחקר הישראלי, עבור הדרכים החד-מסלוליות לא נמצאו תוצאות חיוביות (כדאיות כלכלית) להחלפת המעקות הישנים במעקות החדשים, גם ברמות תנועה גבוהות, של יותר מ-20,000 כלי רכב ביממה (כאשר בניתוח נבחן מעבר ממעקה TL2 למעקה TL3).

ז. במספר מדינות (גרמניה, אנגליה) בוצעה הערכה מקיפה של הכדאיות הכלכלית לאורך חיי המעקה עבור שימוש במעקות בטון יצוק לעומת מעקה פלדה, במפרדה. בהערכות אלה נכללו עלויות התקנה, תחזוקה ותיקון המעקות; עלויות של משתמשי הדרך הקשורות בהתרחשות התאונות, בהפסדי הזמן עקב פקקי התנועה בעקבות התאונות ועקב עבודות התחזוקה בדרך (לתיקוני מעקות לאחר תאונות). נמצא כי למעקות בטון יצוק ישנם יתרונות תפקודיים בתנאי שטח ותנועה מסוימים כגון: במפרדות צרות של קטעי דרך ישרים המעבירים נפחי תנועה גדולים כגון: מעל 25,000 כלי רכב ביממה.

ח. ע"פ ממצאי מחקר מקדים שנערך בישראל ואשר בחן תועלות בטיחותיות משימוש במעקות החדשים, בשנים הראשונות של התקנתם בארץ (2004-2005), לא נמצאה ירידה בשכיחות תאונות התנגשות

במעקות הבטיחות בדרכים הלא עירוניות, לעומת שנים קודמות. עם זאת, בשנים אלה, כן נצפתה ירידה בחומרת התאונות שהוערכה כחסכון של כ-51 מיליון ש"ח, בשנה. כמו כן, נצפתה ירידה בשכיחות תאונות רכב בודד עם מעורבות רכב משא כבד ואוטובוסים שהוערכה כחסכון של 6-7 מיליון ש"ח, בשנה. כלומר, התקנת המעקות החדשים בתנאי הארץ התקשרה עם ירידה בחומרת התאונות ובמספר תאונות התנגשות במעקות עם רכב כבד.

ט. מבדיקת הנחיות מעודכנות שהתפרסמו במדינות אירופה ובארה"ב נובע 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 מדרכים מהירות/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, עקום חד, מדרון תלול וכד' - רמות תפקוד H4, H2.

גישה דומה אומצה גם ע"י ההנחיות בישראל (2005): בדרכים החד-מסלוליות נדרשת רמת תפקוד בסיסית N2, בדרכים הדו-מסלוליות - H1, כאשר בתנאי שטח ותנועה מחמירים קיימות דרישות לרמות תפקוד גבוהות יותר - H2, H4.

בסיס הנתונים של המחקר

א. בעקבות מיפוי וניתוח נתונים מסקר דרכים 2010 של מערכת המנ"ב, ברשת הדרכים הלא עירוניות בישראל זוהו ארבע קבוצות של קטעי דרכים, ברמות שונות של נוכחות המעקות החדשים (מעקות EURO). קבוצות אלה הן:

- קבוצה 1 - קטעי דרכים בהם נמצא אחוז גבוה ואורך גבוה של מעקות EURO, בצד או במפרדה;
- קבוצה 2 - קטעי דרכים בהם נמצא אחוז בינוני ואורך גבוה של מעקות EURO, בצד או במפרדה;
- קבוצה 3 - קטעי דרכים בהם נמצא אחוז נמוך אך אורך גבוה יחסית של מעקות EURO, בצד או במפרדה;
- קבוצה 4 - יתר קטעי הדרכים.

קטעי הדרכים מקבוצות 1-3 הוגדרו כ"קטעי טיפול", כאשר יתר קטעי הדרכים (עם סוגי מעקות אחרים או ללא מעקות) הוגדרו כ"קטעי ביקורת".

האורך הכולל של קטעי הטיפול היה כ-841 ק"מ, כאשר בקטעים אלה נמצאו סה"כ כ-429 ק"מ של המעקות החדשים בצדי הדרכים וכ-87 ק"מ של המעקות החדשים במפרדות. האורך הכולל של כל רשת הקטעים במחקר היה 3634 ק"מ, עם כ-485 ק"מ של המעקות החדשים בצדי הדרכים וכ-93 ק"מ של המעקות החדשים במפרדות.

ב. המידע על תקופות התקנת המעקות החדשים היה חסר עבור חלק ניכר מקטעי הדרכים שנמצאו בשנת 2010 עם המעקות החדשים בצידיהם. בשל היעדר מידע על תקופות התקנת המעקות, ניתוח מסוג "אחרי-לפני" לא היה אפשרי.

ג. לבחינת השפעת המעקות החדשים על רמת בטיחות הקטעים, הוחלט לבצע ניתוח רוחבי של מצב הבטיחות בקטעי הטיפול לעומת קטעי הביקורת, בשנת 2010. בניתוח הרוחבי, השפעת המעקות החדשים יכולה לבוא לידי ביטוי ע"י משתנה מסביר המשקף את הימצאות המעקות והמשפיע על הסיכון לתאונה. עם זאת, לזיהוי השפעת משתני המעקות נדרש לנטרל השפעות של מסבירים אפשריים נוספים כגון: רמת החשיפה (נפחי תנועה), אורך קטע, סוג דרך, המאפיינים הגיאומטריים של הדרך. לכן, נערכה השלמה של המאפיינים הגיאומטריים של כל קטעי הדרכים שנבחרו למחקר ושעבורם כבר נאספו נתונים על הימצאות מעקות הבטיחות. השלמת המאפיינים הגיאומטריים נעשתה על סמך ניתוח מידע ממערכת המנ"ב. בנוסף, לכל אחד מהקטעים נאספו נתונים על 10 סוגי תאונות דרכים, לרבות תאונות רכב יחיד וכלל התאונות, תאונות ברמות חומרה שונות ותאונות עם מעורבות סוגי רכב שונים.

ד. סה"כ, לניתוח הרב-משתני במחקר הוכן בסיס נתונים על 497 קטעי כביש, לרבות 148 קטעי טיפול ו-349 קטעי ביקורת. מבנה הנתונים כלל, לכל קטע, סה"כ 42 שדות, לרבות 10 שדות עם מספרי התאונות. בשנת 2010, סה"כ בקטעי המחקר נרשמו: 96 תאונות התנגשות במעקות; 263 תאונות רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקות); 1633 תאונות עם נפגעים (מכל הסוגים, ללא פגיעה בהולכי רגל), מתוכם 249 תאונות חמורות (קטלניות וקשות).

ממצאים מפיתוח המודלים

המודלים המסבירים הותאמו במחקר ל-14 סוגי תאונות (10 סוגי בסיס, בתוספת השילובים שלהם) עבור שני סוגי דרך: חד-מסלולית ו-דו-מסלולית; סה"כ: 28 מודלים. בפיתוח המודלים, בחינת השפעה של משתני המעקות החדשים על רמת בטיחות הקטעים נערכה לאחר נטרול השפעות של נפח התנועה ואורך הקטע, ותוך כדי התחשבות בהשפעה אפשרית של המאפיינים הגיאומטריים של הקטעים.

על סמך המודלים המסבירים שהותאמו לנתונים נמצא כי:

א. **בדרכים החד-מסלוליות**, בניתוח תאונות עם כל סוגי הרכב, נוכחות גדולה יותר של המעקות החדשים בצד הדרך לא תרמה לחסכון בתאונות. ברוב המודלים, בהם אורך המעקות החדשים נשאר בין המסבירים, נמצא קשר חיובי בין מאפיין זה לבין מספר התאונות. המודל היחיד אשר הצביע על קשר שלילי היה מודל עבור תאונות רכב יחיד עם רכב כבד (משא מעל 4 טון, אוטובוס, אוטובוס זעיר, רכב עבודה, או טרקטור). במודל זה בין המאפיינים המסבירים לתאונות היו גם קבוצות הקטעים לפי נוכחות המעקות, כאשר עבור הקטעים מקבוצות 1-3 (קטעי הטיפול) התקבלו מקדמים שליליים, מה שהצביע על צפי לפחות תאונות לעומת קטעים עם המעקות הישנים.

ב. **בדרכים הדו-מסלוליות**, בניתוח כלל התאונות, משתני המעקות הופיעו בין המסבירים בחלק ניכר מהמודלים. עם זאת, השפעת משתני המעקות על תאונות רכב יחיד לא הייתה עקבית. קשר שלילי מובהק (או קרוב למובהק) בין אורך המעקות החדשים בצד הדרך לבין התאונות נמצא עבור תאונות חמורות של רכב יחיד ועבור כלל התאונות עם נפגעים בקטע דרך. לעומת זאת, בין המודלים לתאונות עם רכב כבד, משתני המעקות הופיעו בין המסבירים במודל אחד בלבד - עבור כלל התאונות עם נפגעים. עם זאת, סוג תאונות זה למעשה כלול בכלל התאונות עם נפגעים עם כל סוגי הרכב, שעבורו כבר נמצאה השפעה של מעקות הבטיחות החדשים.

ממצאים מהערכה כלכלית

ההערכה הכלכלית של התועלת הבטיחותית משימוש במעקות החדשים, לעומת הישנים, בוצעה על סמך המודלים המסבירים שהותאמו במחקר ואשר הראו קשר שלילי מובהק בין אורך המעקות החדשים או נוכחותם לבין התרחשות התאונות. ההערכה הכלכלית בוצעה עבור שלושה מקרים אלה:

- (1) בדרכים הדו-מסלוליות, החיסכון בתאונות החמורות עם רכב יחיד;
- (2) בדרכים הדו-מסלוליות, החיסכון בכלל התאונות עם נפגעים;
- (3) בדרכים החד-מסלוליות, החיסכון בתאונות רכב יחיד עם מעורבות רכב כבד (משא מעל 4 טון, אוטובוס, אוטובוס זעיר, רכב עבודה, או טרקטור).

ההערכה הכלכלית כללה הערכות החיסכון בתאונות עקב נוכחות המעקות החדשים, לעומת הישנים, הערכות תוספת עלות בגין התקנת המעקות החדשים לעומת הישנים והערכות היחס תועלת-עלות (עלות החיסכון בתאונות לעומת תוספת העלות, במסגרת כלכלית מוגדרת), בשלושת המקרים הנ"ל. נמצא כי:

א. **בדרכים הדו-מסלוליות**, החיסכון בתאונות החמורות עם רכב יחיד בעקבות התקנת המעקות החדשים אינו גבוה. לכן, התועלת הכלכלית של חסכון זה אינה מספיקה לקבלת כדאיות כלכלית של המעקות החדשים. לדוגמא, סך מספר התאונות (מסוג תאונות חמורות עם רכב יחיד) הצפוי בשנה בקטעי הטיפול היה 1.67 ללא המעקות החדשים, 1.07 עם המעקות החדשים, מה שסיפק חיסכון כולל של 0.6 תאונות, בשנה, או ירידה של 36%. (בהערכה זו היו 112 קטעי טיפול, באורך כולל של 529 ק"מ, עם 202 ק"מ של המעקות החדשים בצידיהם).

מבחינת רגישות התוצאה (החיסכון בתאונות) למאפייני הקטע כגון: אורך הקטע, נפח התנועה, אורך המעקות החדשים נמצא כי מספר התאונות הנחסך עולה עם נפח תנועה גדול יותר, אורך קטע גדול יותר, אורך גדול יותר של המעקות החדשים. עם זאת, בכל התנאים שנבחנו החיסכון השנתי בתאונות לקטע היה קטן, בטווח של 0.008-0.063.

בהערכות יחס תועלת-עלות מהתקנת המעקות החדשים, עבור מספר תנאי חישוב טיפוסיים כגון: אורך קטע 10-20 ק"מ, נפח תנועה יומי 25-40 אלף כלי רכב, אורך התקנת המעקות החדשים מ-2 עד 10 או 20 ק"מ (בתלות באורך הקטע), נמצא כי בכל המקרים היחס תועלת-עלות היה נמוך, בטווח 0.17-0.34.

ב. **בדרכים הדו-מסלוליות**, החיסכון בכלל התאונות עם נפגעים בעקבות התקנת המעקות החדשים נמצא גבוה. התועלת הכלכלית של חסכון זה מצביעה על **כדאיות כלכלית** של התקנת המעקות החדשים בדרכים הדו-מסלוליות.

סך מספר התאונות (מסוג כלל התאונות עם נפגעים ללא פגיעה בהולכי רגל) הצפוי בשנה בקטעי הטיפול היה 552 ללא המעקות החדשים, 470 עם המעקות החדשים, מה שסיפק חיסכון כולל של 82 תאונות בשנה או ירידה של 15%. (בהערכה זו היו 110 קטעי טיפול, באורך כולל של 523 ק"מ, עם 196 ק"מ של המעקות החדשים בצדיהם). מספר התאונות הנחסכות לקטע, בשנה, השתנה בטווח 0.015-4.5 תאונות.

בהערכות יחס תועלת-עלות מהתקנת המעקות החדשים, עבור מספר תנאי חישוב טיפוסיים כגון: אורך קטע 10-20 ק"מ, נפח תנועה יומי 20-40 אלף כלי רכב, אורך התקנת המעקות החדשים מ-2 עד 8 או 15 ק"מ (בתלות באורך הקטע), נמצא כי בכל המקרים שנבחנו, הטיפול היה כדאי - היחס תועלת מול עלות היה **גבוה**, בטווח 1.11-2.51.

ג. כמו כן, בדרכים הדו-מסלוליות, החל מאורך מסוים של המעקות החדשים (מעל 2 ק"מ), בתנאי נפח תנועה מסוים, להתקנת המעקות החדשים מתקבל יחס תועלת-עלות דומה, ללא קשר לאורך התקנת המעקות החדשים. כלומר, בתנאי הנחות החישוב (מצבי התקנה טיפוסיים), גודל התועלת הבטיחותית מהתקנת המעקות החדשים עולה ביחד עם גודל ההשקעה הנדרשת להתקנת המעקות, כאשר שניהם נמצאים ביחס ישיר לאורך התקנת המעקות.

ד. **בדרכים החד-מסלוליות**, בחלק ניכר מהקטעים, מספר התאונות הצפוי בנוכחות המעקות החדשים (מסוג תאונות רכב יחיד עם מעורבות רכב כבד) היה גבוה יותר מאשר במצב ללא המעקות. כלומר, לפי המודל שהותאם לנתונים במחקר **לא ניתן להזגים תועלת בטיחותית** מהתקנת המעקות החדשים בדרכים החד-מסלוליות.

ה. התרומה החיובית של המעקות החדשים בדרכים החד-מסלוליות נמצאה במקרים אלה:

בקבוצה 1 של קטעי הטיפול, כאשר אורך המעקות החדשים היווה כ 0.61-0.62 מאורך הקטע;

בקבוצה 2 של קטעי הטיפול, כאשר אורך המעקות החדשים היווה כ 0.33-0.35 מאורך הקטע;

בקבוצה 3 של קטעי הטיפול, כאשר אורך המעקות החדשים היווה כ 0.6-0.7 מאורך הקטע.

עם זאת, גם במקרים אלה, מספר התאונות הנחסך הודות לנוכחות המעקות החדשים (מסוג תאונות רכב יחיד עם מעורבות רכב כבד) היה קטן ולא מספיק להוכחות הכדאיות הכלכלית של מעבר למעקות החדשים.

6.4. מסקנות המחקר

1. הגישה שנקטה עד כה בהנחיות הישראליות לקביעת רמות תפקוד של מעקות הבטיחות בדרכים הלא עירוניות תואמת את הניסיון הבינלאומי. בישראל, בדומה למדינות מערב אירופה, בדרכים החד-

מסלוליות נדרשת רמת תפקוד בסיסית N2, בדרכים הדו-מסלוליות - H1, כאשר בתנאי שטח ותנועה מחמירים קיימות דרישות לרמות תפקוד גבוהות יותר - H2, H4.

2. שאלת הכדאיות הכלכלית של מעבר למעקות הבטיחות מהדור החדש לא נבחנה במדינות האחרות.

3. שאלת ההצדק הכלכלי של שימוש במעקות הבטיחות ברמות תפקוד גבוהות יותר (H1 או יותר) נבדקה במספר מחקרים בעולם. תוצאות מחקרים אלה, לרוב, תמכו בשימוש במעקות ברמות תפקוד גבוהות יותר בסוגי דרכים מההיררכיה הגבוהה ביותר, בתנאי נפח תנועה גבוה ולעתים, בתוספת תנאים מחמירים (מדרון תלול; אחוז ניכר של משאיות).

4. באופן דומה, במחקר ישראלי מקדים, התקבל הצדק כלכלי לשימוש במעקות הבטיחות ברמת תפקוד גבוהה יותר עבור הדרכים הדו-מסלוליים עם נפח תנועה גבוה (מעל 25,000 כלי רכב ביממה) ומהירויות נסיעה גבוהות (100 קמ"ש ויותר) או בדרכים הדו-מסלוליים עם נפח תנועה נמוך יותר אך עם אחוז גבוה של כלי רכב כבדים בתנועה (מעל 10%).

5. גם במחקר הנוכחי נמצאה תועלת בטיחותית ברורה מהתקנת המעקות החדשים בדרכים הדו-מסלוליות, אשר הצביעה, בין היתר, על ירידה של 15% בכלל התאונות עם נפגעים בקטעים עם המעקות החדשים לעומת קטעים אחרים. בחינת הערך הכלכלי הנוכחי של החיסכון בתאונות ביחס לתוספת העלויות עקב התקנה ותחזוקה של המעקות החדשים, באופן עקבי, הצביעה על יחס תועלת-עלות מעל 1. כלומר, התועלות הבטיחותיות והכלכליות שנמצאו במחקר תומכות במעבר לדור החדש של מעקות הבטיחות בדרכים הדו-מסלוליות בישראל.

6. לעומת זאת, עבור הדרכים החד-מסלוליות, במחקר הנוכחי לא נמצאו הוכחות לכדאיות בטיחותית וכלכלית של התקנת המעקות החדשים. זאת, בדומה לממצאי המחקר הקודם שנערך בארץ ואשר ביצע הערכות בעזרת תוכנת ה-RSAP האמריקנית. יתרה מזו, גם במחקרים בחו"ל אשר בדקו כדאיות כלכלית של מעבר למעקות ברמות תפקוד גבוהות יותר, לא נתקבלו ממצאים שהיו מצביעים על כדאיות השימוש במעקות החדשים בדרכים החד-מסלוליות.

7. למרות שלא נתקבלו תוצאות חיוביות לגבי יעילות החלפת המעקות בדרכים החד-מסלוליות, יש מקום להמשיך ולבדוק נושא זה. זאת, בשל המגבלות השונות של ההערכות שבוצעו עד כה, וכמו כן, בהתחשב בעובדה שלמרות היעדר הוכחות לכדאיות הכלכלית של מעבר למעקות החדשים בדרכים החד-מסלוליות, במרבית המדינות מקובל לקבוע שרמת התפקוד של מעקות הבטיחות בדרכים החד-מסלוליות צריכה להיות N2.

8. שני המחקרים שנערכו בארץ הצביעו על כך שקטעי הדרכים הלא עירוניות עם המעקות החדשים מזוהים עם ירידה בתאונות רכב יחיד עם מעורבות כלי רכב כבדים. כמו כן, בשני המחקרים, התקנת המעקות החדשים הייתה מזוהה עם ירידה בתאונות החמורות.

9. בנוסף, המחקר הנוכחי הצביע על ירידה בכלל התאונות עם נפגעים בקטעי הדרכים עם נוכחות המעקות החדשים לעומת קטעים אחרים, בדרכים הדו-מסלוליות. יצוין שהירידה בכלל התאונות עשויה לנבוע גם מהשיפורים הנוספים במאפייני הדרך (כגון: שיפורי סימון מיסעה, סילוק מכשולים, יישור והסדרת שוליים) שנעשים במקביל עם שדרוג המעקות.
10. סה"כ, המחקר הנוכחי הציג תמונה פרטנית של רמת השימוש במעקות החדשים בדרכים הלא עירוניות בישראל וכן, הדגים תועלות בטיחותיות וכלכליות משימוש במעקות החדשים בתנאי הארץ.
11. לביצוע מחקרי המשך של השפעת המעקות החדשים על בטיחות בדרכים בתנאי הארץ חשוב להקפיד על תיעוד מלא של תקופות התקנת המעקות בשטח, כדי לאפשר ביצוע ניתוחים מסוג "אחרי-לפני".

מראי מקום

1. גיטלמן ו., גור י., בונגיק ח., הקרט ש. (2007). בדיקת כדאיות כלכלית למשק של החלפת מעקות בטיחות ישנים במעקות החדשים (התקניים). מוגש למנהל יבשה, משרד התחבורה.
2. גיטלמן ו., דובא א., הקרט ש. (2008). פיתוח מערכת לניהול הבטיחות בדרכים. דו"ח מחקר 311/2008, המכון לחקר התחבורה והמעבדה לסטטיסטיקה, הטכניון.
3. הנחיות (2005). הנחיות לבחירה ולהצבה של מעקות בטיחות קבועים בדרכים בין-עירוניות, מהדורה שנייה, מנהל יבשה/ אגף תכנון תחבורתי, משרד התחבורה ונתיבי איילון.
4. הקרט ש., גיטלמן ו., פלג ק., גבעון ע., גורל א. (2006). הערכה השוואתית של יעילות מעקות בטיחות מבטון ופלדה בתנאי הארץ. דו"ח מחקר מס' 307/2006, המכון לחקר התחבורה.
5. מפרט (2009). המפרט הכללי לעבודות סלילה וגישור. פרק 51: עבודות-סלילה/ הנדסת-תנועה. תת פרק 33: מעקות וגדרות בטיחות. החברה הלאומית לדרכים בישראל.
6. מע"צ (1994). הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות. כרך I: דרכים. משרד הבינוי והשיכון, הוכן ע"י ל.ק.י. מהנדסים.
7. משרד התחבורה (2011). התקני תנועה, בטיחות ורמזורים מאושרים להצבה בדרך, מהדורה עשירית, ינואר 2011, מנהל יבשה/אגף תכנון תחבורתי, משרד התחבורה ונתיבי איילון.
8. נוהל פר"ת (2006). נוהל לבדיקת כדאיות כלכלית של פרויקטים תחבורתיים, משרד התחבורה ומשרד האוצר. חלק 2, פרק 6 "בטיחות".
9. רשות (2011). מגמות בבטיחות בדרכים בשיראל 2001-2010, הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים.
10. ת"י 5175 (2007). תקן ישראלי 5175 "מעקי בטיחות בכבישים". מכון התקנים הישראלי, דצמבר 2007.
11. AASHTO (1996). Roadside Design Guide. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
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). Road Safety Engineering Risk Assessment Part 6: Crash Reduction Factors. Austroads Ltd.
15. BAST (2010). Anpraii von Pkw unter groben Winkeln gegen Fahrzeugruckhaltesysteme. (Large angle of passenger cars against road side barriers).
16. Circular 451 (1995). International crash test standards for roadside safety features. Transportation Research Circular No 451, Transportation Research Board/ National Research Council.

17. 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.
18. 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.
19. 89/106/EEC. Council Directive 89/106/EEC of 21 December 1988 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to construction products. OJ L 40, 11.2.1989, p.12.
20. 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.
21. 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.
22. Elvik R. & Vaa T. (2004) The Handbook of Road Safety Measures. Elsevier.
23. Elvik R., Hoye, A., Vaa T. & Sorensen, M. (2009). The Handbook of Road Safety Measures. 2nd edition, Emerald Group Publishing Ltd.
24. EN 1317-2:1998 + A1:2006 Road restraint systems - Part 2: Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods for safety barriers. European Committee for Standardization, Brussels.
25. 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.
26. ETSC (1998). Forging Roadside. European Transport Safety Council.
27. Gabler H.C., Gabauer D.J., Bowen D. (2005). Evaluation of cross-median crashes. Rowan University, Department of Mechanical Engineering, Glassboro, New Jersey.
28. Guide (2010). Quality Requirements for Road Barrier Rails, and Selection of Barrier Rail Types. Finnish Transport Agency.
29. 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.
30. Khasnabis S., Naseer M. et al (1999) Roadside safety analysis program as a tool for economic evaluation of roadside safety projects. Transportation Research Record 1690, pp 31-41.

31. Lambert J.H., Baker J.A., Peterson K.D. (2003) Decision aid for allocation of transportation funds to guardrails. *Accident Analysis & Prevention* 35, 47-57.
32. Mak K.K., Sicking D.L. and Ross H.E., Jr (1986) Real world impact conditions for run-off-the-road accidents. *Transportation Research Record* 1065, pp 45-55.
33. 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.
34. MASH (2009). Manual for assessing safety hardware. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
35. Montella, A. (2001) Selection of Roadside Safety Barrier Containment Level According to European Union Standards. *Transportation Research Record* 1743, pp. 104-110.
36. NCHRP Report 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. Transportation Research Board, Washington, D.C.
37. 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.
38. NRA TD 19/09 (2009). Safety barriers. National Roads Authority (NRA) Design manual for roads and bridges, Volume 2, Section 2, Part 8A. Dublin, Ireland.
39. PIARC (2003). Road Safety Manual. World Roads Association.
40. Ray, M.H. and McGinnis, R. G. (1997). Synthesis of Highway Practice 244: Guardrail and Median Barrier Crashworthiness, Transportation Research Board, Washington, D.C.
41. RISER (2003). D05: Summary of European design guidelines for road infrastructure. Roadside infrastructure for safer European roads (RISER). Chalmers University of Technology, 29.09.2003.
42. RPS (2009). Richtlinien für passiven Schutz an Strassen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme. FGSV, Köln, Germany (in German).
43. SAFESTAR (1998). Criteria for safe roadsides in relation with the installation of safety barriers (steel and concrete). Deliverable D1.2 (Final Draft), SWOV, The Netherlands.
44. 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.
45. Sicking D.L., Lechtenberg K.A., Peterson S. (2009). Guidelines for guardrail implementation. NCHRP report 638. Transportation Research Board, Washington, D.C.

46. Steinauer B., Kathmann T., Mayer G., Becher T. (2004) Criteria for using concrete safety barriers. Federal Highway Research Institute – BAST V112 (in German).
47. Sturt R. and Fell C. (2009). The relationship of iNGury risk to accident severity in impacts with roadside barriers. International Journal of Crashworthiness, Vol. 14, No 2, April 2009, pp 165-172.
48. SRA (2004). Highway and street design - Highway and street equipment. Publication 2004:80, Swedish Road Administration, Vägverket, Borlänge.
49. TD 19/06 (2006). Requirement for road restraint systems. Design manual for road and bridges. Volume 2, Section 2, Part 8, UK.
50. Williams G.L. (2007). Whole life Cost-Benefit Analysis for Median Safety Barriers Task 2 – Structural Consequences. PPR 277, TRL Limited.

נספח א': מודלים מסבירים שהותאמו לתאונות בדרכים החד-מסלוליות

כלל התאונות:

ALL_BAR .1 - התנגשויות במעקה

==== dep = ALL_BAR_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	285
Number of Observations Used	281

==== dep = ALL_BAR_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.002087	0.006433	0.32	0.7459
Sh_Wt_LR_sum	1	0.002029	0.001657	1.22	0.2219
C_GP_MA	1	-0.003156	0.002338	-1.35	0.1782
Sh_Wt_LR_sum*C_GP_MA	1	0.001934	0.000707	2.74	0.0066

dep = ALL_BAR_L_V_sq :stop=SBC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.009711	0.002312	4.20	<.0001

dep = ALL_BAR_L_V_sq :stop=AIC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.002087	0.006433	0.32	0.7459
Sh_Wt_LR_sum	1	0.002029	0.001657	1.22	0.2219
C_GP_MA	1	-0.003156	0.002338	-1.35	0.1782
Sh_Wt_LR_sum*C_GP_MA	1	0.001934	0.000707	2.74	0.0066

ALL_SNG .2 - רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקה)

==== dep = ALL_SNG_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	285
Number of Observations Used	281

==== dep = ALL_SNG_L_V_sq :select=PRESS =====

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.042843	0.005810	7.37	<.0001
C_GP_MA	1	0.004375	0.002274	1.92	0.0553

dep = ALL_SNG_L_V_sq :stop=SBC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.046410	0.005533	8.39	<.0001

dep = ALL_SNG_L_V_sq :stop=AIC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.045463	0.005878	7.73	<.0001
C_LR_EURO_Length_max	1	0.033467	0.014191	2.36	0.0191
C_SS_MA	1	0.000598	0.000365	1.64	0.1025
C_GP_MA	1	0.007163	0.002385	3.00	0.0029
C_LR_EURO_Le*C_GP_MA	1	0.018938	0.007027	2.70	0.0075

==== dep = ALL_SNG_SEV_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	285
Number of Observations Used	281

==== dep = ALL_SNG_SEV_L_V_sq :select=PRESS =====

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.019829	0.003843	5.16	<.0001

dep = ALL_SNG_SEV_L_V_sq :stop=SBC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.019829	0.003843	5.16	<.0001

dep = ALL_SNG_SEV_L_V_sq :stop=AIC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.019526	0.003832	5.10	<.0001
C_SS_MA	1	0.000461	0.000257	1.79	0.0748

ALL_ACC .4 - כלל תאונות עם נפגעים ללא פגיעה בהולכי רגל

==== dep = ALL_ACC_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	285
Number of Observations Used	281

==== dep = ALL_ACC_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.135729	0.015950	8.51	<.0001
FINAL_LR 0	1	-0.020773	0.028450	-0.73	0.4659
FINAL_LR 1	1	0.069013	0.039523	1.75	0.0819
FINAL_LR 2	1	0.094254	0.039479	2.39	0.0176
FINAL_LR 3	1	-0.006279	0.027714	-0.23	0.8209
FINAL_LR 4	1	0.039642	0.024749	1.60	0.1104
FINAL_LR 5	0	0	.	.	.
C_TYP_STT_mean	1	0.044542	0.023513	1.89	0.0592

dep = ALL_ACC_L_V_sq :stop=SBC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.154210	0.009267	16.64	<.0001

dep = ALL_ACC_L_V_sq :stop=AIC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.135729	0.015950	8.51	<.0001
FINAL_LR 0	1	-0.020773	0.028450	-0.73	0.4659
FINAL_LR 1	1	0.069013	0.039523	1.75	0.0819
FINAL_LR 2	1	0.094254	0.039479	2.39	0.0176
FINAL_LR 3	1	-0.006279	0.027714	-0.23	0.8209
FINAL_LR 4	1	0.039642	0.024749	1.60	0.1104

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
FINAL_LR	5	0	.	.	.
C_TYP_STT_mean	1	0.044542	0.023513	1.89	0.0592

5. ALL_ACC_SEV - חמורות (קשות + קטלניות) עם נפגעים ללא פגיעה בהולכי רגל

==== dep = ALL_ACC_SEV_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	285
Number of Observations Used	281

==== dep = ALL_ACC_SEV_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.056348	0.005837	9.65	<.0001
C_TYP_STT_mean	1	0.033844	0.014202	2.38	0.0178
C_RVP_MI	1	0.000009398	0.000005547	1.69	0.0913

dep = ALL_ACC_SEV_L_V_sq :stop=SBC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.054004	0.005690	9.49	<.0001
C_TYP_STT_mean	1	0.035840	0.014201	2.52	0.0122

dep = ALL_ACC_SEV_L_V_sq :stop=AIC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.052763	0.005994	8.80	<.0001
C_TYP_STT_mean	1	0.015545	0.018053	0.86	0.3899
C_RVP_MI	1	0.000008993	0.000005964	1.51	0.1327

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
C_TYP_STT_m*C_RVP_MI	1	0.000028627	0.000012754	2.24	0.0256
C_GP_MA	1	0.005158	0.003065	1.68	0.0935

ALL_BS .6 - 1+2 - כלל רכב יחיד (אופציה שישית)

==== dep = ALL_BS_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	285
Number of Observations Used	281

==== dep = ALL_BS_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.060441	0.007964	7.59	<.0001

dep = ALL_BS_L_V_sq :stop=SBC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.061238	0.007866	7.79	<.0001
C_LR_EURO_Length_max	1	0.055967	0.019355	2.89	0.0041

dep = ALL_BS_L_V_sq :stop=AIC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.064430	0.008040	8.01	<.0001
C_LR_EURO_Length_max	1	0.051586	0.019439	2.65	0.0084
C_RVP_MI	1	0.000013833	0.000007804	1.77	0.0774

==== dep = P_ACC_SEV :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	285
Number of Observations Used	281

==== dep = P_ACC_SEV :select=PRESS =====

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

<i>Parameter Estimates</i>					
<i>Parameter</i>	<i>DF</i>	<i>Estimate</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Value</i>	<i>Pr > |t|</i>
<i>Intercept</i>	1	0.004504	0.068127	0.07	0.9473
<i>SH_TYP_LR_sum</i>	1	0.041176	0.018074	2.28	0.0235

dep = P_ACC_SEV :stop=SBC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

<i>Parameter Estimates</i>					
<i>Parameter</i>	<i>DF</i>	<i>Estimate</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Value</i>	<i>Pr > |t|</i>
<i>Intercept</i>	1	0.155048	0.016702	9.28	<.0001

dep = P_ACC_SEV :stop=AIC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

<i>Parameter Estimates</i>					
<i>Parameter</i>	<i>DF</i>	<i>Estimate</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Value</i>	<i>Pr > |t|</i>
<i>Intercept</i>	1	0.004504	0.068127	0.07	0.9473
<i>SH_TYP_LR_sum</i>	1	0.041176	0.018074	2.28	0.0235

1. HG_V_BAR - התנגשויות במעקה

==== dep = HG_V_BAR_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	285
Number of Observations Used	281

==== dep = HG_V_BAR_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.000663	0.000469	1.41	0.1588

dep = HG_V_BAR_L_V_sq :stop=SBC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.001133	0.000491	2.31	0.0218
C_RH_MI	1	0.000002502	0.000000871	2.87	0.0044

dep = HG_V_BAR_L_V_sq :stop=AIC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.001133	0.000491	2.31	0.0218
C_RH_MI	1	0.000002502	0.000000871	2.87	0.0044

HGV_SNG .2 – רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקה)

==== dep = HGV_SNG_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	285
Number of Observations Used	281

==== dep = HGV_SNG_L_V_sq :select=PRESS =====

*The GLMSELECT Procedure
Selected Model*

<i>Parameter Estimates</i>					
<i>Parameter</i>	<i>DF</i>	<i>Estimate</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Value</i>	<i>Pr > |t|</i>
<i>Intercept</i>	1	0.003399	0.001391	2.44	0.0151

dep = HGV_SNG_L_V_sq :stop=SBC

*The GLMSELECT Procedure
Selected Model*

<i>Parameter Estimates</i>					
<i>Parameter</i>	<i>DF</i>	<i>Estimate</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Value</i>	<i>Pr > |t|</i>
<i>Intercept</i>	1	0.003399	0.001391	2.44	0.0151

dep = HGV_SNG_L_V_sq :stop=AIC

*The GLMSELECT Procedure
Selected Model*

<i>Parameter Estimates</i>					
<i>Parameter</i>	<i>DF</i>	<i>Estimate</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Value</i>	<i>Pr > |t|</i>
<i>Intercept</i>	1	0.003399	0.001391	2.44	0.0151

==== dep = HGV_SNG_SEV_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	285
Number of Observations Used	281

==== dep = HGV_SNG_SEV_L_V_sq :select=PRESS =====

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.000618	0.000618	1.00	0.3182

dep = HGV_SNG_SEV_L_V_sq :stop=SBC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.000618	0.000618	1.00	0.3182

dep = HGV_SNG_SEV_L_V_sq :stop=AIC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	-0.001995	0.001556	-1.28	0.2009
Sh_Wt_LR_sum	1	0.000771	0.000421	1.83	0.0686

4. HGV_ACC - כלל תאונות עם נפגעים ללא פגיעה בה"ר

==== dep = HGV_ACC_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	285
Number of Observations Used	281

==== dep = HGV_ACC_L_V_sq :select=PRESS =====

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.015054	0.011252	1.34	0.1820
Sh_Wt_LR_sum	1	0.006615	0.003048	2.17	0.0308

dep = HGV_ACC_L_V_sq :stop=SBC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.037482	0.004480	8.37	<.0001

dep = HGV_ACC_L_V_sq :stop=AIC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.015054	0.011252	1.34	0.1820
Sh_Wt_LR_sum	1	0.006615	0.003048	2.17	0.0308

HGV_ACC_SEV.5 - חמורות עם נפגעים ללא פגיעה בה"ר

==== dep = HGV_ACC_SEV_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	285
Number of Observations Used	281

==== dep = HGV_ACC_SEV_L_V_sq :select=PRESS =====

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.010561	0.002268	4.66	<.0001

dep = HGV_ACC_SEV_L_V_sq :stop=SBC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.010561	0.002268	4.66	<.0001

dep = HGV_ACC_SEV_L_V_sq :stop=AIC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	-0.005037	0.009317	-0.54	0.5892
SH_TYP_LR_sum	1	0.004543	0.002457	1.85	0.0655
C_RVP_MI	1	0.000004299	0.000002227	1.93	0.0546

==== dep = HGV_BS_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	285
Number of Observations Used	281

==== dep = HGV_BS_L_V_sq :select=PRESS =====

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.006415	0.003270	1.96	0.0508

dep = HGV_BS_L_V_sq :stop=SBC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.006949	0.003148	2.21	0.0281
C_LR_EURO_Length_max	1	0.037550	0.007746	4.85	<.0001

dep = HGV_BS_L_V_sq :stop=AIC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates						
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|	
Intercept	1	0.027385	0.006471	4.23	<.0001	
FINAL_LR	0	1	-0.002523	0.009563	-0.26	0.7921
FINAL_LR	1	1	-0.061318	0.016566	-3.70	0.0003
FINAL_LR	2	1	-0.032707	0.014271	-2.29	0.0227
FINAL_LR	3	1	-0.067167	0.016439	-4.09	<.0001
FINAL_LR	4	1	-0.010844	0.008369	-1.30	0.1962
FINAL_LR	5	0	0	.	.	.
C_LR_EURO_Length_max	1	0.091750	0.014610	6.28	<.0001	

== dep = P_HGV_ACC_SEV :select=PRESS ==

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	285
Number of Observations Used	281

== dep = P_HGV_ACC_SEV :select=PRESS ==

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	-0.041130	0.057051	-0.72	0.4716
SH_TYP_LR_sum	1	0.029419	0.015135	1.94	0.0529

dep = P_HGV_ACC_SEV :stop=SBC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.066429	0.013952	4.76	<.0001

dep = P_HGV_ACC_SEV :stop=AIC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	-0.041130	0.057051	-0.72	0.4716
SH_TYP_LR_sum	1	0.029419	0.015135	1.94	0.0529

נספח ב': מודלים מסבירים שהותאמו לתאונות בדרכים הדו-מסלוליות

כלל התאונות:

ALL_BAR.1 - התנגשויות במעקה

==== dep = ALL_BAR_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	212
Number of Observations Used	174

==== dep = ALL_BAR_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.019094	0.002771	6.89	<.0001

dep = ALL_BAR_L_V_sq :stop=SBC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.019094	0.002771	6.89	<.0001

dep = ALL_BAR_L_V_sq :stop=AIC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.019552	0.004137	4.73	<.0001
FINAL_C_CR_CL 0	1	-0.014690	0.008402	-1.75	0.0822
FINAL_C_CR_CL 1	1	-0.006882	0.013324	-0.52	0.6062
FINAL_C_CR_CL 2	1	0.014299	0.025667	0.56	0.5782
FINAL_C_CR_CL 3	1	0.015827	0.014158	1.12	0.2652
FINAL_C_CR_CL 4	1	0.036107	0.014158	2.55	0.0117
FINAL_C_CR_CL 5	1	-0.001260	0.006502	-0.19	0.8466
FINAL_C_CR_CL 7	0	0	.	.	.

ALL_SNG .2 - רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקה)

==== dep = ALL_SNG_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	212
Number of Observations Used	174

==== dep = ALL_SNG_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.044353	0.005559	7.98	<.0001
C_LnSH_TYP_LR_sum	1	-0.007970	0.003491	-2.28	0.0236

dep = ALL_SNG_L_V_sq :stop=SBC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.044353	0.005559	7.98	<.0001
C_LnSH_TYP_LR_sum	1	-0.007970	0.003491	-2.28	0.0236

dep = ALL_SNG_L_V_sq :stop=AIC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	D F	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.044353	0.005559	7.98	<.0001
C_LnSH_TYP_LR_sum	1	-0.007970	0.003491	-2.28	0.0236

==== dep = ALL_SNG_SEV_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	212
Number of Observations Used	174

==== dep = ALL_SNG_SEV_L_V_sq :select=PRESS =====

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	D F	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.000246	0.003168	0.08	0.9382
C_LR_EURO_Length_max	1	-0.006306	0.003353	-1.88	0.0618
RH_MI	1	0.000005676	0.000002652	2.14	0.0337

dep = ALL_SNG_SEV_L_V_sq :stop=SBC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	D F	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.006026	0.001517	3.97	0.0001

dep = ALL_SNG_SEV_L_V_sq :stop=AIC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.000246	0.003168	0.08	0.9382
C_LR_EURO_Length_max	1	-0.006306	0.003353	-1.88	0.0618
RH_MI	1	0.000005676	0.000002652	2.14	0.0337

ALL_ACC .4 - כלל תאונות עם נפגעים ללא פגיעה בהולכי רגל

==== dep = ALL_ACC_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	212
Number of Observations Used	174

==== dep = ALL_ACC_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates						
Parameter	D		Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
	F					
Intercept	1		0.489703	0.085746	5.71	<.0001
FINAL_LR	0	1	-0.249018	0.084632	-2.94	0.0037
FINAL_LR	1	1	-0.252361	0.084576	-2.98	0.0033
FINAL_LR	2	1	-0.206658	0.084487	-2.45	0.0155
FINAL_LR	3	1	-0.272817	0.083939	-3.25	0.0014
FINAL_LR	4	1	-0.229051	0.082726	-2.77	0.0063
FINAL_LR	5	1	-0.228182	0.082560	-2.76	0.0064
FINAL_LR	7	0	0	.	.	.
TYP_STT_mean	1		-0.047538	0.022698	-2.09	0.0378
C_LnSH_TYP_LR_sum	1		-0.036762	0.008192	-4.49	<.0001
C_SS_MA	1		0.032381	0.009248	3.50	0.0006
C_LnSH_TYP_L*C_SS_MA	1		-0.020075	0.006441	-3.12	0.0022

dep = ALL_ACC_L_V_sq :stop=SBC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates						
Parameter	D		Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
	F					
Intercept	1		0.170983	0.009240	18.50	<.0001
C_LR_EURO_Length_max	1		-0.037368	0.014966	-2.50	0.0135
C_LnSH_TYP_LR_sum	1		-0.017175	0.005974	-2.87	0.0046

dep = ALL_ACC_L_V_sq :stop=AIC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates						
Parameter	DF		Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.155161	0.040821	3.80	0.0002
C_LR_EURO_Length_max	1	-0.034075	0.014795	-2.30	0.0225
TYP_STT_mean	1	0.013272	0.035247	0.38	0.7070
C_LnSH_TYP_LR_sum	1	0.026496	0.021726	1.22	0.2244
TYP_STT_m*C_LnSH_TYP	1	-0.036623	0.017957	-2.04	0.0430

ALL_ACC_SEV.5 - חמורות (קשות + קטלניות) עם נפגעים ללא פגיעה בהולכי רגל

==== dep = ALL_ACC_SEV_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	212
Number of Observations Used	174

==== dep = ALL_ACC_SEV_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.288595	0.046314	6.23	<.0001
FINAL_LR 0	1	-0.227551	0.041886	-5.43	<.0001
FINAL_LR 1	1	-0.229314	0.041533	-5.52	<.0001
FINAL_LR 2	1	-0.200173	0.041465	-4.83	<.0001
FINAL_LR 3	1	-0.210638	0.041262	-5.10	<.0001
FINAL_LR 4	1	-0.213884	0.040743	-5.25	<.0001
FINAL_LR 5	1	-0.217062	0.040831	-5.32	<.0001
FINAL_LR 7	0	0	.	.	.
Tt_Ln_mean	1	-0.012814	0.005157	-2.48	0.0140
C_Pv_Wt	1	0.008764	0.002783	3.15	0.0019

dep = ALL_ACC_SEV_L_V_sq :stop=SBC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.025727	0.003328	7.73	<.0001

dep = ALL_ACC_SEV_L_V_sq :stop=AIC

The GLMSELECT Procedure

Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	D F	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.301226	0.045651	6.60	<.0001
FINAL_LR 0	1	-0.215906	0.041397	-5.22	<.0001
FINAL_LR 1	1	-0.226786	0.040637	-5.58	<.0001
FINAL_LR 2	1	-0.200967	0.040592	-4.95	<.0001
FINAL_LR 3	1	-0.211748	0.040455	-5.23	<.0001
FINAL_LR 4	1	-0.212708	0.039877	-5.33	<.0001
FINAL_LR 5	1	-0.213195	0.040034	-5.33	<.0001
FINAL_LR 7	0	0	.	.	.
FINAL_C_CR_CL 0	1	-0.023060	0.010186	-2.26	0.0249
FINAL_C_CR_CL 1	1	-0.008006	0.014833	-0.54	0.5901
FINAL_C_CR_CL 2	1	0.018684	0.028472	0.66	0.5126
FINAL_C_CR_CL 3	1	0.014211	0.015994	0.89	0.3756
FINAL_C_CR_CL 4	1	0.033578	0.015677	2.14	0.0337
FINAL_C_CR_CL 5	1	-0.009827	0.007419	-1.32	0.1872
FINAL_C_CR_CL 7	0	0	.	.	.
Tt_Ln_mean	1	-0.015598	0.005246	-2.97	0.0034
C_Pv_Wt	1	0.010289	0.002822	3.65	0.0004

.6 ALL_BS - 1+2 - כלל רכב יחיד

==== dep = ALL_BS_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	212
Number of Observations Used	174

==== dep = ALL_BS_L_V_sq :select=PRESS =====

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.200436	0.029892	6.71	<.0001
SH_TYP_LR_sum	1	-0.026458	0.006042	-4.38	<.0001
RVP_MI	1	-0.000008620	0.000003978	-2.17	0.0316

dep = ALL_BS_L_V_sq :stop=SBC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates

Parameter	D F	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.180146	0.028691	6.28	<.0001
SH_TYP_LR_sum	1	-0.025771	0.006098	-4.23	<.0001

dep = ALL_BS_L_V_sq :stop=AIC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	D F	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.200436	0.029892	6.71	<.0001
SH_TYP_LR_sum	1	-0.026458	0.006042	-4.38	<.0001
RVP_MI	1	-0.000008620	0.000003978	-2.17	0.0316

5/4 =P_ACC_SEV .7

==== dep = P_ACC_SEV :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	212
Number of Observations Used	174

==== dep = P_ACC_SEV :select=PRESS =====

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	D F	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.028886	0.025327	1.14	0.2557
lnSh_Wt_LR_sum	1	0.018568	0.007023	2.64	0.0090

dep = P_ACC_SEV :stop=SBC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.078881	0.030268	2.61	0.0100
lnSh_Wt_LR_sum	1	-0.026470	0.017072	-1.55	0.1229
lnSh_Wt_L*lnSh_Wt_LR	1	0.006770	0.002349	2.88	0.0045

dep = P_ACC_SEV :stop=AIC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	D F	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.145366	0.060060	2.42	0.0166
FINAL_C_CR_CL 0	1	-0.085897	0.041724	-2.06	0.0411
FINAL_C_CR_CL 1	1	-0.076484	0.062741	-1.22	0.2246
FINAL_C_CR_CL 2	1	0.012975	0.119672	0.11	0.9138
FINAL_C_CR_CL 3	1	0.069670	0.065620	1.06	0.2899
FINAL_C_CR_CL 4	1	0.055235	0.067401	0.82	0.4137
FINAL_C_CR_CL 5	1	-0.066934	0.031681	-2.11	0.0362
FINAL_C_CR_CL 7	0	0	.	.	.
C_Pv_Wt	1	0.013780	0.006007	2.29	0.0231
lnSh_Wt_LR_sum	1	-0.076397	0.050470	-1.51	0.1321
lnSh_Wt_L*lnSh_Wt_LR	1	0.021404	0.006881	3.11	0.0022
C_LnSH_TYP_LR_sum	1	0.090513	0.077542	1.17	0.2448
lnSh_Wt_L*C_LnSH_TYP	1	-0.034440	0.014370	-2.40	0.0177

1. HGV_BAR - התנגשויות במעקה

==== dep = HGV_BAR_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	212
Number of Observations Used	174

==== dep = HGV_BAR_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.000390	0.000390	1.00	0.3187

dep = HGV_BAR_L_V_sq :stop=SBC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	D F	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.000390	0.000390	1.00	0.3187

dep = HGV_BAR_L_V_sq :stop=AIC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	D F	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	1.348194E-20	0.000561	0.00	1.0000
FINAL_C_CR_CL 0	1	-1.65524E-20	0.001140	-0.00	1.0000
FINAL_C_CR_CL 1	1	-1.65524E-20	0.001808	-0.00	1.0000
FINAL_C_CR_CL 2	1	-1.34819E-20	0.003483	-0.00	1.0000
FINAL_C_CR_CL 3	1	-1.34819E-20	0.001921	-0.00	1.0000
FINAL_C_CR_CL 4	1	0.009694	0.001921	5.05	<.0001
FINAL_C_CR_CL 5	1	-4.32485E-20	0.000882	-0.00	1.0000
FINAL_C_CR_CL 7	0	0	.	.	.

HGV_SNG .2 – רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקה)

==== dep = HGV_SNG_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	212
Number of Observations Used	174

==== dep = HGV_SNG_L_V_sq :select=PRESS =====

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

<i>Parameter Estimates</i>					
<i>Parameter</i>	<i>DF</i>	<i>Estimate</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Value</i>	<i>Pr > |t|</i>
<i>Intercept</i>	1	0.003118	0.001174	2.66	0.0087

dep = HGV_SNG_L_V_sq :stop=SBC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

<i>Parameter Estimates</i>					
<i>Parameter</i>	<i>D F</i>	<i>Estimate</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Value</i>	<i>Pr > |t|</i>
<i>Intercept</i>	1	0.003118	0.001174	2.66	0.0087

dep = HGV_SNG_L_V_sq :stop=AIC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

<i>Parameter Estimates</i>					
<i>Parameter</i>	<i>DF</i>	<i>Estimate</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Value</i>	<i>Pr > |t|</i>
<i>Intercept</i>	1	0.003118	0.001174	2.66	0.0087

==== dep = HGV_SNG_SEV_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	212
Number of Observations Used	174

==== dep = HGV_SNG_SEV_L_V_sq :select=PRESS =====

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.001116	0.000667	1.67	0.0964

dep = HGV_SNG_SEV_L_V_sq :stop=SBC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	D F	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.001116	0.000667	1.67	0.0964

dep = HGV_SNG_SEV_L_V_sq :stop=AIC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.001116	0.000667	1.67	0.0964

4. HGV_ACC - כלל תאונות עם נפגעים ללא פגיעה בה"ר

==== dep = HGV_ACC_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	212
Number of Observations Used	174

==== dep = HGV_ACC_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.036837	0.004226	8.72	<.0001
C_LR_EURO_Length_max	1	-0.016590	0.009315	-1.78	0.0767

dep = HGV_ACC_L_V_sq :stop=SBC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.036215	0.004238	8.54	<.0001

dep = HGV_ACC_L_V_sq :stop=AIC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.036837	0.004226	8.72	<.0001
C_LR_EURO_Length_max	1	-0.016590	0.009315	-1.78	0.0767

HGV_ACC_SEV.5 - חמורות עם נפגעים ללא פגיעה בה"ר

==== dep = HGV_ACC_SEV_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	212
Number of Observations Used	174

==== dep = HGV_ACC_SEV_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	D F	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.016010	0.006220	2.57	0.0109
Tt_Ln_mean	1	-0.002269	0.001372	-1.65	0.0999

dep = HGV_ACC_SEV_L_V_sq :stop=SBC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	D F	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.006050	0.001570	3.85	0.0002

dep = HGV_ACC_SEV_L_V_sq :stop=AIC

The GLMSELECT Procedure
Selected Model

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.016010	0.006220	2.57	0.0109
Tt_Ln_mean	1	-0.002269	0.001372	-1.65	0.0999

==== dep = HGV_BS_L_V_sq :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	212
Number of Observations Used	174

==== dep = HGV_BS_L_V_sq :select=PRESS =====

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

<i>Parameter Estimates</i>					
<i>Parameter</i>	<i>DF</i>	<i>Estimate</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Value</i>	<i>Pr > |t|</i>
<i>Intercept</i>	1	0.005245	0.001997	2.63	0.0094

dep = HGV_BS_L_V_sq :stop=SBC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

<i>Parameter Estimates</i>					
<i>Parameter</i>	<i>DF</i>	<i>Estimate</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Value</i>	<i>Pr > |t|</i>
<i>Intercept</i>	1	0.005245	0.001997	2.63	0.0094

dep = HGV_BS_L_V_sq :stop=AIC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

<i>Parameter Estimates</i>					
<i>Parameter</i>	<i>DF</i>	<i>Estimate</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Value</i>	<i>Pr > |t|</i>
<i>Intercept</i>	1	0.005245	0.001997	2.63	0.0094

==== dep = P_HGV_ACC_SEV :select=PRESS =====

The GLMSELECT Procedure

Number of Observations Read	212
Number of Observations Used	174

==== dep = P_HGV_ACC_SEV :select=PRESS =====

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.059825	0.016625	3.60	0.0004

dep = P_HGV_ACC_SEV :stop=SBC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.059825	0.016625	3.60	0.0004

dep = P_HGV_ACC_SEV :stop=AIC

**The GLMSELECT Procedure
Selected Model**

Parameter Estimates					
Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|
Intercept	1	0.059825	0.016625	3.60	0.0004

נספח ג': ממצאים מהערכת החיסכון בתאונות בקטעי הדרכים במחקר

א - הערכת החיסכון בתאונות החמורות עם רכב יחיד, הודות לנוכחות המעקות החדשים, בקטעי דרכים דו-מסלוליות עם המעקות החדשים שהיו במחקר

Road-Section	LENGTH	AADT	RH_MI	LR EURO Length max	LR EURO Length max_L	C_LR EURO Length max_L	ACC with new barriers	ACC without new barriers	ratio with/without	% reduction	ACC saving-estimate
40-50	22.1	25.5	799	14.6	0.66	0.41	0.003	0.023	0.12	88%	0.020
3-40	14.9	25.8	1,014	13.7	0.92	0.67	0.001	0.022	0.06	94%	0.021
40-60	13.1	35.4	700	11.5	0.88	0.63	0.000	0.016	0.00	100%	0.016
90-10	11.3	7.0	1,545	9.8	0.87	0.62	0.002	0.009	0.23	77%	0.007
90-108	14.9	16.5	753	9.0	0.60	0.35	0.001	0.009	0.14	86%	0.008
2-90	9.7	33.7	1,647	6.7	0.69	0.44	0.015	0.041	0.37	63%	0.026
2-80	14.0	33.6	1,797	4.8	0.34	0.09	0.046	0.068	0.67	33%	0.022
1-52	14.7	59.9	1,511	4.8	0.33	0.07	0.061	0.095	0.64	36%	0.034
42-22	5.5	19.6	647	4.6	0.84	0.58	0.000	0.003	0.00	100%	0.003
85-20	13.0	43.2	1,086	4.6	0.35	0.10	0.019	0.036	0.52	48%	0.017
77-20	8.6	19.4	1,035	4.5	0.52	0.27	0.003	0.010	0.33	67%	0.007
4-210	4.4	33.1	1,534	4.4	1.00	0.75	0.003	0.016	0.16	84%	0.014
4-220	8.5	26.9	1,143	4.0	0.47	0.22	0.007	0.016	0.41	59%	0.009
70-100	8.9	30.9	802	3.9	0.44	0.19	0.004	0.011	0.32	68%	0.008
90-110	3.8	16.6	1,330	3.7	0.97	0.72	0.001	0.006	0.12	88%	0.005
1-60	4.9	76.2	769	3.1	0.63	0.38	0.002	0.014	0.13	87%	0.013
25-20	10.1	21.5	769	3.0	0.30	0.05	0.004	0.008	0.49	51%	0.004
79-18	7.6	27.9	434	3.0	0.39	0.14	0.001	0.004	0.18	82%	0.003
4-274	6.0	52.0	2,109	2.9	0.48	0.23	0.036	0.059	0.61	39%	0.023
444-20	6.6	17.4	1,745	2.9	0.44	0.19	0.009	0.016	0.58	42%	0.007
4-62	3.5	55.5	671	2.8	0.80	0.55	0.000	0.006	0.01	99%	0.006
65-78	4.9	41.2	2,432	2.6	0.53	0.28	0.031	0.049	0.62	38%	0.019
453-10	4.8	24.8	581	2.6	0.54	0.29	0.000	0.003	0.11	89%	0.003
531-30	4.0	19.4	1,313	2.6	0.65	0.40	0.002	0.007	0.31	69%	0.005
2-70	2.1	58.9	869	2.6	1.24	0.99	0.000	0.006	0.02	98%	0.006
85-2	7.1	41.4	679	2.5	0.35	0.10	0.004	0.010	0.37	63%	0.006
553-10	5.7	37.3	416	2.4	0.42	0.17	0.001	0.004	0.13	87%	0.003
40-102	5.4	52.2	573	2.4	0.44	0.19	0.001	0.007	0.20	80%	0.006
4-50	6.0	47.5	691	2.0	0.33	0.08	0.004	0.009	0.40	60%	0.006
40-90	5.2	43.2	779	2.0	0.38	0.13	0.003	0.009	0.37	63%	0.005
60-50	5.7	21.3	441	1.9	0.33	0.08	0.001	0.002	0.27	73%	0.002
89-10	4.6	23.6	391	1.9	0.41	0.16	0.000	0.002	0.13	87%	0.002
3-60	3.3	12.4	325	1.9	0.58	0.32	0.000	0.001	0.00	100%	0.001
40-100	3.1	46.7	1,137	1.8	0.58	0.33	0.003	0.010	0.31	69%	0.007
4-54	2.2	60.4	866	1.8	0.82	0.57	0.000	0.006	0.06	94%	0.006
4-218	1.6	30.8	770	1.6	1.00	0.75	0.000	0.002	0.00	100%	0.002
70-80	1.4	44.1	1,449	1.4	1.00	0.75	0.001	0.006	0.14	86%	0.005
5-60	3.7	35.7	941	1.4	0.38	0.13	0.003	0.007	0.45	55%	0.004
44-50	3.9	45.4	822	1.4	0.36	0.11	0.003	0.007	0.42	58%	0.004
1-62	0.9	77.8	582	1.3	1.44	1.19	0.001	0.002	0.60	40%	0.001
4-158	1.2	80.6	959	1.3	1.08	0.83	0.000	0.005	0.00	100%	0.005
4-80	1.7	148.5	1,045	1.3	0.76	0.51	0.002	0.015	0.14	86%	0.013
4-170	0.7	40.7	3,091	1.3	1.86	1.61	0.002	0.011	0.16	84%	0.009
4-290	0.5	48.8	1,704	1.2	2.40	2.15	0.000	0.003	0.10	90%	0.003
4-100	2.4	160.0	1,063	1.2	0.50	0.25	0.009	0.024	0.36	64%	0.015
60-12	0.6	18.6	1,043	1.2	2.00	1.75	0.000	0.001	0.39	61%	0.000
40-110	2.6	46.4	636	1.2	0.46	0.21	0.001	0.004	0.22	78%	0.003
1-70	0.7	72.4	578	1.1	1.57	1.32	0.001	0.001	0.88	12%	0.000

Road-Section	LENGTH	AADT	RH_MI	LR EURO	LR EURO	C_ LR EURO	ACC with	ACC without	ratio	%	ACC
				Length max	Length max_L	Length max_L	new barriers	new barriers	with/without	reduction	saving-estimate
2-40	1.0	149.2	1,832	1.1	1.10	0.85	0.004	0.022	0.19	81%	0.018
34-10	1.1	20.5	2,260	1.1	1.00	0.75	0.002	0.005	0.32	68%	0.003
35-20	0.5	15.6	863	1.1	2.20	1.95	0.000	0.000	1.13	-13%	0.000
70-50	0.6	48.2	1,282	1.0	1.67	1.42	0.000	0.002	0.02	98%	0.002
4-90	1.1	160.0	906	1.0	0.91	0.66	0.000	0.009	0.03	97%	0.008
40-140	2.3	29.1	1,660	1.0	0.43	0.18	0.005	0.008	0.57	43%	0.004
41-22	2.6	48.7	624	1.0	0.38	0.13	0.001	0.004	0.30	70%	0.003
2-50	1.0	108.7	2,352	1.0	1.00	0.75	0.009	0.025	0.34	66%	0.016
4-150	1.0	130.0	462	1.0	1.00	0.75	0.000	0.003	0.17	83%	0.002
444-26	6.0	40.5	670	0.9	0.15	-0.10	0.005	0.008	0.69	31%	0.002
85-10	1.0	41.4	1,389	0.8	0.80	0.55	0.001	0.004	0.23	77%	0.003
5-10	3.2	200.0	1,192	0.8	0.25	0.00	0.032	0.047	0.67	33%	0.016
443-10	3.1	20.7	425	0.8	0.26	0.01	0.000	0.001	0.38	62%	0.001
4-60	6.9	93.8	1,142	0.8	0.12	-0.14	0.037	0.045	0.83	17%	0.008
4-180	5.0	36.7	428	0.7	0.14	-0.11	0.002	0.003	0.63	37%	0.001
4-110	2.2	120.0	644	0.7	0.32	0.07	0.003	0.008	0.40	60%	0.005
89-20	0.5	20.8	1,951	0.7	1.40	1.15	0.000	0.002	0.10	90%	0.002
40-70	5.5	45.1	578	0.7	0.13	-0.12	0.005	0.006	0.71	29%	0.002
4-160	7.4	51.9	2,506	0.7	0.09	-0.16	0.092	0.099	0.93	7%	0.007
4-40	6.2	44.0	932	0.6	0.10	-0.15	0.012	0.014	0.84	16%	0.002
4-138	1.8	120.0	2,517	0.6	0.33	0.08	0.042	0.056	0.76	24%	0.014
2-60	7.7	85.0	1,372	0.6	0.08	-0.17	0.055	0.061	0.90	10%	0.006
444-32	3.5	36.4	1,379	0.6	0.17	-0.08	0.009	0.012	0.79	21%	0.003
46-10	3.4	17.4	1,161	0.6	0.18	-0.08	0.003	0.004	0.75	25%	0.001
4-152	1.6	90.0	979	0.6	0.37	0.12	0.004	0.008	0.46	54%	0.004
25-40	4.7	25.6	520	0.5	0.11	-0.15	0.002	0.003	0.74	26%	0.001
4-61	7.5	104.8	1,614	0.5	0.07	-0.18	0.088	0.095	0.92	8%	0.007
57-30	5.1	43.8	1,483	0.5	0.10	-0.15	0.021	0.023	0.88	12%	0.003
2-52	7.2	86.5	868	0.4	0.06	-0.20	0.026	0.028	0.90	10%	0.003
25-50	10.3	19.3	959	0.4	0.04	-0.21	0.010	0.011	0.93	7%	0.001
232-30	8.3	7.9	551	0.4	0.05	-0.20	0.001	0.002	0.88	12%	0.000
41-10	3.1	63.4	542	0.4	0.13	-0.12	0.003	0.005	0.70	30%	0.001
41-20	0.6	55.5	787	0.4	0.67	0.42	0.000	0.001	0.11	89%	0.001
722-10	5.2	31.8	1,316	0.4	0.08	-0.17	0.013	0.014	0.90	10%	0.001
77-1	8.8	22.0	1,696	0.4	0.05	-0.21	0.024	0.025	0.95	5%	0.001
4-30	1.2	37.7	591	0.4	0.33	0.08	0.000	0.001	0.35	65%	0.001
4-130	1.4	109.0	1,145	0.4	0.29	0.03	0.007	0.011	0.61	39%	0.004
4-280	1.9	51.8	589	0.3	0.16	-0.09	0.002	0.003	0.65	35%	0.001
40-80	2.4	44.0	670	0.3	0.13	-0.13	0.002	0.003	0.74	26%	0.001
90-94	5.8	25.2	856	0.3	0.05	-0.20	0.006	0.007	0.90	10%	0.001
4-20	8.7	24.3	888	0.3	0.03	-0.22	0.009	0.010	0.94	6%	0.001
57-20	2.8	54.5	1,379	0.3	0.11	-0.14	0.012	0.014	0.86	14%	0.002
402-10	2.1	47.9	1,000	0.3	0.14	-0.11	0.004	0.006	0.77	23%	0.001
443-30	3.9	60.8	580	0.3	0.08	-0.17	0.005	0.006	0.82	18%	0.001
2-62	3.0	58.9	1,442	0.3	0.10	-0.15	0.016	0.018	0.88	12%	0.002
4-140	3.7	120.0	1,138	0.3	0.08	-0.17	0.027	0.031	0.88	12%	0.004
65-95	1.3	45.0	322	0.3	0.23	-0.02	0.000	0.001	0.36	64%	0.000
60-40	4.7	39.8	2,599	0.3	0.06	-0.19	0.049	0.051	0.95	5%	0.002
3-50	7.7	23.5	1,160	0.3	0.04	-0.21	0.012	0.013	0.94	6%	0.001
90-60	1.1	6.9	2,323	0.3	0.27	0.02	0.001	0.002	0.78	22%	0.000
40-39	6.8	38.5	1,214	0.2	0.03	-0.22	0.019	0.020	0.96	4%	0.001
77-2	3.1	21.4	1,069	0.2	0.06	-0.19	0.004	0.004	0.90	10%	0.000
42-30	5.2	51.5	609	0.2	0.04	-0.21	0.007	0.007	0.91	9%	0.001
44-90	2.6	60.0	1,497	0.2	0.08	-0.17	0.015	0.017	0.91	9%	0.002
443-40	2.2	47.1	771	0.2	0.09	-0.16	0.003	0.004	0.82	18%	0.001
60-10	1.8	35.0	842	0.2	0.11	-0.14	0.002	0.003	0.80	20%	0.001
2-20	2.1	160.0	1,587	0.2	0.10	-0.16	0.035	0.040	0.89	11%	0.004
35-30	1.3	24.0	623	0.2	0.15	-0.10	0.001	0.001	0.67	33%	0.000
4-200	1.3	38.0	613	0.2	0.15	-0.10	0.001	0.001	0.67	33%	0.000
25-30	10.0	22.3	748	0.2	0.02	-0.23	0.008	0.008	0.96	4%	0.000
40-130	1.6	33.0	292	0.1	0.06	-0.19	0.001	0.001	0.79	21%	0.000
75-60	3.9	73.1	988	0.1	0.03	-0.23	0.015	0.016	0.96	4%	0.001
35-10	5.6	15.2	1,133	0.1	0.02	-0.23	0.006	0.006	0.97	3%	0.000
4-22	0.9	39.8	481	0.1	0.11	-0.14	0.001	0.001	0.72	28%	0.000

ב - הערכת החיסכון בכלל התאונות עם נפגעים, הודות לנוכחות המעקות החדשים, בקטעי דרכים
 דו-מסלוליות עם המעקות החדשים שהיו במחקר

ID	LENGTH	AADT	LR				C_LR EURO		ratio				ACC saving-estimate
			EURO Length	LnSH_TY P_Lmean	LnSH_TY P_Rmean	C_LnSH_TYP _LR_sum	Length max_L	ACC with new barriers	ACC without new barriers	with/without	% reduction		
40-50	22.1	25.5	14.6	1.9	1.9	1.08	0.41	10.6	14.8	0.72	28%	4.2	
3-40	14.9	25.8	13.7	1.9	1.9	1.02	0.67	6.3	10.2	0.62	38%	3.8	
40-60	13.1	35.4	11.5	1.9	1.7	0.92	0.63	8.1	12.6	0.64	36%	4.5	
90-10	11.3	7.0	9.8	1.6	1.8	0.68	0.62	1.5	2.3	0.65	35%	0.8	
90-108	14.9	16.5	9.0	2.3	2.3	1.91	0.35	3.8	5.4	0.72	28%	1.5	
2-90	9.7	33.7	6.7	2.0	2.0	1.28	0.44	5.7	8.2	0.70	30%	2.5	
2-80	14.0	33.6	4.8	2.0	2.0	1.27	0.09	10.0	11.8	0.84	16%	1.8	
1-52	14.7	59.9	4.8	3.0	3.0	3.27	0.07	11.1	13.6	0.81	19%	2.5	
42-22	5.5	19.6	4.6	1.4	1.3	-0.07	0.58	2.4	3.6	0.69	31%	1.1	
85-20	13.0	43.2	4.6	2.3	2.3	1.86	0.10	10.3	12.4	0.83	17%	2.1	
77-20	8.6	19.4	4.5	2.9	2.7	2.86	0.27	2.1	2.9	0.72	28%	0.8	
4-220	8.5	26.9	4.0	1.0	1.0	-0.73	0.22	7.0	8.5	0.83	17%	1.5	
70-100	8.9	30.9	3.9	2.0	2.0	1.24	0.19	5.6	7.0	0.80	20%	1.4	
90-110	3.8	16.6	3.7	1.9	1.9	1.04	0.72	1.0	1.7	0.60	40%	0.7	
1-60	4.9	76.2	3.1	3.0	3.0	3.21	0.38	3.9	5.9	0.66	34%	2.0	
25-20	10.1	21.5	3.0	2.5	1.9	1.64	0.05	4.3	5.0	0.86	14%	0.7	
79-18	7.6	27.9	3.0	1.0	1.0	-0.73	0.14	6.7	7.9	0.85	15%	1.2	
4-274	6.0	52.0	2.9	1.0	1.0	-0.73	0.23	9.5	11.6	0.82	18%	2.1	
444-20	6.6	17.4	2.9	2.0	2.1	1.43	0.19	2.2	2.8	0.80	20%	0.6	
4-62	3.5	55.5	2.8	2.0	2.2	1.45	0.55	3.1	4.7	0.65	35%	1.6	
65-78	4.9	41.2	2.6	2.9	2.8	2.97	0.28	2.4	3.4	0.72	28%	1.0	
453-10	4.8	24.8	2.6	1.7	1.6	0.51	0.29	2.7	3.5	0.78	22%	0.8	
531-30	4.0	19.4	2.6	2.3	2.5	2.11	0.40	1.1	1.6	0.69	31%	0.5	
2-70	2.1	58.9	2.6	2.0	2.0	1.27	0.99	1.6	3.1	0.50	50%	1.6	
85-2	7.1	41.4	2.5	2.4	2.4	2.06	0.10	5.1	6.2	0.83	17%	1.1	
553-10	5.7	37.3	2.4	1.6	1.7	0.54	0.17	5.1	6.2	0.82	18%	1.1	
40-102	5.4	52.2	2.4	2.3	2.2	1.70	0.19	5.1	6.4	0.79	21%	1.3	
4-50	6.0	47.5	2.0	1.7	1.9	0.86	0.08	6.7	7.8	0.86	14%	1.1	
40-90	5.2	43.2	2.0	1.6	1.6	0.44	0.13	5.6	6.7	0.84	16%	1.1	
60-50	5.7	21.3	1.9	2.1	2.2	1.58	0.08	2.4	2.9	0.84	16%	0.4	
89-10	4.6	23.6	1.9	1.0	1.0	-0.73	0.16	3.4	4.0	0.85	15%	0.6	
3-60	3.3	12.4	1.9	1.0	1.0	-0.73	0.32	1.2	1.5	0.79	21%	0.3	
40-100	3.1	46.7	1.8	2.3	2.0	1.60	0.33	2.5	3.4	0.74	26%	0.9	
4-54	2.2	60.4	1.8	2.4	1.9	1.62	0.57	2.0	3.1	0.64	36%	1.1	
70-80	1.4	44.1	1.4	2.0	2.0	1.27	0.75	0.9	1.6	0.58	42%	0.6	
5-60	3.7	35.7	1.4	2.8	2.9	3.05	0.13	1.7	2.2	0.79	21%	0.5	
44-50	3.9	45.4	1.4	1.8	1.9	0.93	0.11	4.0	4.8	0.84	16%	0.7	
1-62	0.9	77.8	1.3	3.0	3.0	3.27	1.19	0.3	1.1	0.32	68%	0.7	
4-158	1.2	80.6	1.3	2.1	2.5	1.81	0.83	1.1	2.2	0.53	47%	1.0	
4-80	1.7	148.5	1.3	2.2	2.3	1.74	0.51	3.8	5.7	0.66	34%	2.0	
4-170	0.7	40.7	1.3	3.0	3.0	3.27	1.61	0.1	0.4	0.19	81%	0.4	
4-290	0.5	48.8	1.2	2.3	1.7	1.27	2.15	0.1	0.6	0.19	81%	0.5	
4-100	2.4	160.0	1.2	2.8	2.7	2.77	0.25	5.0	6.8	0.74	26%	1.8	
60-12	0.6	18.6	1.2	3.0	2.8	3.07	1.75	0.0	0.2	0.17	83%	0.2	
40-110	2.6	46.4	1.2	2.8	2.8	2.79	0.21	1.6	2.1	0.76	24%	0.5	
1-70	0.7	72.4	1.1	1.4	1.8	0.47	1.32	0.7	1.5	0.43	57%	0.9	
2-40	1.0	149.2	1.1	3.0	2.9	3.16	0.85	1.1	2.4	0.45	55%	1.3	
34-10	1.1	20.5	1.1	2.0	2.0	1.27	0.75	0.3	0.6	0.58	42%	0.2	
35-20	0.5	15.6	1.1	3.0	3.0	3.27	1.95	0.0	0.1	0.11	89%	0.1	
70-50	0.6	48.2	1.0	1.8	1.4	0.47	1.42	0.4	0.9	0.41	59%	0.5	
4-90	1.1	160.0	1.0	2.2	2.5	1.97	0.66	2.2	3.8	0.59	41%	1.5	
40-140	2.3	29.1	1.0	1.4	1.4	0.05	0.18	1.8	2.2	0.83	17%	0.4	
41-22	2.6	48.7	1.0	2.1	2.3	1.67	0.13	2.4	2.9	0.82	18%	0.5	

ID	LENGTH	AADT	LR				C_LR EURO		ACC with new barriers	ACC without new barriers	ratio		ACC saving- estimate
			EURO Length	LnSH_TY P_Lmean	LnSH_TY P_Rmean	C_LnSH_TYP _LR_sum	Length max_L	with/ without			% reduction		
2-50	1.0	108.7	1.0	2.1	2.3	1.71	0.75	1.4	2.5	0.57	43%	1.1	
4-150	1.0	130.0	1.0	3.0	3.0	3.27	0.75	1.0	2.0	0.49	51%	1.0	
444-26	6.0	40.5	0.9	1.3	1.4	-0.07	-0.10	7.5	8.0	0.94	6%	0.5	
85-10	1.0	41.4	0.8	1.0	1.0	-0.73	0.55	1.1	1.5	0.71	29%	0.4	
5-10	3.2	200.0	0.8	1.5	1.4	0.14	0.00	18.2	20.3	0.90	10%	2.1	
443-10	3.1	20.7	0.8	1.8	1.8	0.84	0.01	1.6	1.8	0.89	11%	0.2	
4-60	6.9	93.8	0.8	2.2	2.2	1.62	-0.14	14.2	15.1	0.94	6%	0.8	
4-180	5.0	36.7	0.7	1.3	1.5	-0.01	-0.11	5.6	6.0	0.94	6%	0.3	
4-110	2.2	120.0	0.7	2.4	2.4	2.08	0.07	4.7	5.5	0.84	16%	0.9	
89-20	0.5	20.8	0.7	2.0	2.0	1.27	1.15	0.1	0.3	0.45	55%	0.1	
40-70	5.5	45.1	0.7	1.7	1.7	0.68	-0.12	6.7	7.1	0.94	6%	0.4	
4-160	7.4	51.9	0.7	2.1	1.9	1.28	-0.16	9.2	9.6	0.96	4%	0.4	
4-40	6.2	44.0	0.6	1.8	1.8	0.88	-0.15	7.1	7.5	0.96	4%	0.3	
4-138	1.8	120.0	0.6	2.4	2.3	1.99	0.08	3.9	4.6	0.84	16%	0.8	
2-60	7.7	85.0	0.6	2.2	2.1	1.54	-0.17	14.9	15.5	0.96	4%	0.6	
444-32	3.5	36.4	0.6	2.5	2.4	2.15	-0.08	2.4	2.6	0.91	9%	0.2	
46-10	3.4	17.4	0.6	1.7	1.7	0.74	-0.08	1.5	1.7	0.92	8%	0.1	
4-152	1.6	90.0	0.6	2.6	2.6	2.41	0.12	2.2	2.8	0.81	19%	0.5	
25-40	4.7	25.6	0.5	2.0	2.0	1.29	-0.15	2.9	3.0	0.95	5%	0.1	
4-61	7.5	104.8	0.5	2.1	2.0	1.34	-0.18	18.9	19.5	0.97	3%	0.6	
57-30	5.1	43.8	0.5	1.3	1.3	-0.05	-0.15	7.0	7.3	0.96	4%	0.3	
2-52	7.2	86.5	0.4	1.7	1.9	0.89	-0.20	16.6	17.0	0.98	2%	0.4	
25-50	10.3	19.3	0.4	2.4	1.6	1.24	-0.21	4.9	5.0	0.98	2%	0.1	
232-30	8.3	7.9	0.4	1.0	1.0	-0.73	-0.20	2.4	2.4	0.98	2%	0.0	
41-10	3.1	63.4	0.4	1.8	1.8	0.92	-0.12	5.0	5.3	0.94	6%	0.3	
41-20	0.6	55.5	0.4	3.0	2.7	2.93	0.42	0.4	0.6	0.65	35%	0.2	
722-10	5.2	31.8	0.4	2.3	2.2	1.72	-0.17	3.6	3.8	0.96	4%	0.1	
77-1	8.8	22.0	0.4	1.0	1.0	-0.73	-0.21	7.1	7.2	0.98	2%	0.1	
4-30	1.2	37.7	0.4	1.3	1.7	0.27	0.08	1.2	1.4	0.86	14%	0.2	
4-130	1.4	109.0	0.4	1.9	1.8	0.96	0.03	3.6	4.1	0.87	13%	0.5	
4-280	1.9	51.8	0.3	2.4	2.3	1.93	-0.09	2.0	2.1	0.92	8%	0.2	
40-80	2.4	44.0	0.3	1.6	1.6	0.49	-0.13	3.0	3.1	0.95	5%	0.2	
90-94	5.8	25.2	0.3	2.7	2.6	2.58	-0.20	2.6	2.7	0.97	3%	0.1	
4-20	8.7	24.3	0.3	1.9	2.4	1.52	-0.22	4.9	5.0	0.98	2%	0.1	
57-20	2.8	54.5	0.3	1.6	1.6	0.49	-0.14	4.3	4.5	0.95	5%	0.2	
402-10	2.1	47.9	0.3	1.2	1.3	-0.28	-0.11	3.3	3.5	0.94	6%	0.2	
443-30	3.9	60.8	0.3	1.7	1.7	0.74	-0.17	6.4	6.7	0.97	3%	0.2	
2-62	3.0	58.9	0.3	2.0	2.0	1.20	-0.15	4.3	4.5	0.95	5%	0.2	
4-140	3.7	120.0	0.3	2.1	2.1	1.41	-0.17	10.4	10.8	0.96	4%	0.4	
65-95	1.3	45.0	0.3	1.1	1.4	-0.28	-0.02	1.8	2.0	0.91	9%	0.2	
60-40	4.7	39.8	0.3	2.4	2.4	2.04	-0.19	3.8	3.9	0.97	3%	0.1	
3-50	7.7	23.5	0.3	2.2	2.3	1.79	-0.21	4.0	4.1	0.98	2%	0.1	
90-60	1.1	6.9	0.3	1.0	1.0	-0.73	0.02	0.3	0.3	0.90	10%	0.0	
40-39	6.8	38.5	0.2	2.0	2.0	1.17	-0.22	6.6	6.7	0.99	1%	0.1	
77-2	3.1	21.4	0.2	2.3	2.4	1.97	-0.19	1.4	1.4	0.97	3%	0.0	
42-30	5.2	51.5	0.2	2.2	1.9	1.34	-0.21	6.5	6.6	0.98	2%	0.1	
44-90	2.6	60.0	0.2	1.7	1.5	0.48	-0.17	4.5	4.6	0.97	3%	0.2	
443-40	2.2	47.1	0.2	1.6	1.6	0.51	-0.16	2.9	3.1	0.96	4%	0.1	
60-10	1.8	35.0	0.2	1.6	2.4	1.33	-0.14	1.5	1.6	0.95	5%	0.1	
2-20	2.1	160.0	0.2	1.0	1.0	-0.73	-0.16	12.1	12.5	0.96	4%	0.5	
35-30	1.3	24.0	0.2	2.3	2.5	2.04	-0.10	0.6	0.7	0.92	8%	0.1	
4-200	1.3	38.0	0.2	1.5	1.6	0.45	-0.10	1.4	1.5	0.93	7%	0.1	
25-30	10.0	22.3	0.2	2.3	2.1	1.69	-0.23	5.1	5.1	0.99	1%	0.1	
40-130	1.6	33.0	0.1	1.8	1.7	0.80	-0.19	1.4	1.5	0.97	3%	0.0	
75-60	3.9	73.1	0.1	2.5	2.5	2.22	-0.23	5.7	5.8	0.99	1%	0.1	
35-10	5.6	15.2	0.1	2.8	2.6	2.72	-0.23	1.5	1.5	0.99	1%	0.0	
4-22	0.9	39.8	0.1	1.0	3.0	1.27	-0.14	0.9	0.9	0.95	5%	0.0	

ג - הערכת החיסכון בתאונות רכב יחיד עם רכב כבד, בקטעים מקבוצות 1-3, עם נוכחות המעקות החדשים לעומת המצב ללא המעקות החדשים, בקטעי דרכים חד-מסלוליות שהיו בבסיס הנתונים של המחקר

ID	LENGTH	AADT	FINAL- LR	LR EURO Length max	LR EURO Length max_L	C_LR EURO Length max_L	ACC with new barriers	ACC without new barriers	ratio with/ without
781-20	3.3	24.2	1	3.2	0.97	0.72	0.0816	0.0015	55.12
40-10	11.9	0.8	1	11.3	0.95	0.70	0.0086	0.0002	48.94
4314-10	1.9	3.1	1	1.8	0.95	0.70	0.0053	0.0001	48.28
73-20	5.3	19.7	1	4.9	0.92	0.67	0.0808	0.0019	41.75
310-10	11.0	2.3	1	9.5	0.86	0.61	0.0125	0.0005	26.66
73-10	6.3	15.5	1	4.8	0.76	0.51	0.0162	0.0018	8.97
60-20	5.4	11.0	1	3.8	0.70	0.45	0.0034	0.0011	3.08
65-100	9.9	17.2	1	6.9	0.70	0.45	0.0082	0.0032	2.59
98-730	15.9	1.4	1	9.9	0.62	0.37	0.0000	0.0004	0.00
3-10	4.1	12.9	1	2.5	0.61	0.36	0.0001	0.0010	0.06
899-10	3.3	8.2	1	2.0	0.61	0.35	0.0001	0.0005	0.11
90-62	3.2	4.3	1	1.9	0.59	0.34	0.0001	0.0003	0.35
71-20	8.6	11.6	1	4.6	0.53	0.28	0.0063	0.0018	3.40
222-10	33.9	3.0	1	18.0	0.53	0.28	0.0070	0.0019	3.72
225-10	14.8	2.0	1	7.6	0.51	0.26	0.0029	0.0005	5.29
2499-10	8.0	1.0	1	4.1	0.51	0.26	0.0008	0.0001	5.39
4613-10	2.5	15.0	1	1.2	0.48	0.23	0.0063	0.0007	9.09
554-12	4.5	18.5	1	2.1	0.47	0.22	0.0168	0.0015	10.88
12-10	11.5	1.5	2	4.7	0.41	0.16	0.0014	0.0003	4.46
424-2	5.2	4.0	2	2.1	0.40	0.15	0.0016	0.0004	4.04
4311-5	1.5	12.0	2	0.6	0.40	0.15	0.0012	0.0003	3.72
90-44	13.7	4.0	2	5.4	0.39	0.14	0.0033	0.0010	3.25
70-110	2.8	36.6	2	1.1	0.39	0.14	0.0060	0.0019	3.15
85-28	10.4	31.4	2	4.0	0.38	0.13	0.0155	0.0061	2.56
65-110	6.9	24.7	2	2.6	0.38	0.13	0.0065	0.0032	2.05
4-302	4.0	9.7	2	1.5	0.38	0.12	0.0014	0.0007	1.95
35-40	14.0	8.0	2	5.2	0.37	0.12	0.0036	0.0021	1.74
65-98	11.1	26.5	2	4.0	0.36	0.11	0.0064	0.0054	1.17
5720-10	3.1	11.2	2	1.1	0.35	0.10	0.0006	0.0006	0.93
781-10	4.0	30.4	2	1.4	0.35	0.10	0.0017	0.0023	0.74
44-10	10.3	8.0	2	3.6	0.35	0.10	0.0011	0.0015	0.73
70-120	12.5	28.2	2	4.3	0.34	0.09	0.0035	0.0065	0.54
411-18	10.5	15.0	2	3.6	0.34	0.09	0.0015	0.0029	0.50
38-10	10.0	8.7	2	3.4	0.34	0.09	0.0007	0.0016	0.42
780-10	5.2	17.6	2	1.7	0.33	0.08	0.0002	0.0017	0.14
38-28	4.6	13.9	2	1.5	0.33	0.07	0.0001	0.0012	0.12

ID	LENGTH	AADT	FINAL- LR	LR EURO Length max	LR EURO Length max_L	C_LR EURO Length max_L	ACC with new barriers	ACC without new barriers	ratio with/ without
258-10	1.2	4.4	3	1.2	1.00	0.75	0.0044	0.0001	45.04
358-10	3.6	1.8	3	3.6	1.00	0.75	0.0054	0.0001	45.04
25-60	0.5	3.5	3	0.5	1.00	0.75	0.0015	0.0000	45.04
40-11	1.4	1.3	3	1.4	1.00	0.75	0.0015	0.0000	45.04
42-20	1.1	22.1	3	1.1	1.00	0.75	0.0203	0.0005	45.04
70-130	0.6	8.3	3	0.6	1.00	0.75	0.0042	0.0001	45.04
75-38	0.9	24.6	3	0.9	1.00	0.75	0.0185	0.0004	45.04
75-40	1.0	32.8	3	1.0	1.00	0.75	0.0274	0.0006	45.04
75-50	1.2	22.2	3	1.2	1.00	0.75	0.0222	0.0005	45.04
79-10	1.0	22.4	3	1.0	1.00	0.75	0.0187	0.0004	45.04
85-40	1.2	19.2	3	1.2	1.00	0.75	0.0192	0.0004	45.04
90-66	1.9	13.7	3	1.9	1.00	0.75	0.0217	0.0005	45.04
90-90	1.7	9.6	3	1.7	1.00	0.75	0.0136	0.0003	45.04
92-10	0.6	6.4	3	0.6	1.00	0.75	0.0032	0.0001	45.04
232-50	1.8	6.6	3	1.8	1.00	0.75	0.0099	0.0002	45.04
325-10	1.3	3.5	3	1.3	1.00	0.75	0.0038	0.0001	45.04
781-40	0.7	14.2	3	0.7	1.00	0.75	0.0083	0.0002	45.04
784-2	2.1	12.7	3	2.1	1.00	0.75	0.0223	0.0005	45.04
806-20	1.0	7.0	3	1.0	1.00	0.75	0.0058	0.0001	45.04
977-10	1.1	5.0	3	1.1	1.00	0.75	0.0046	0.0001	45.04
3412-10	0.8	4.3	3	0.8	1.00	0.75	0.0029	0.0001	45.04
4311-10	1.4	10.9	3	1.4	1.00	0.75	0.0127	0.0003	45.04
7276-10	1.2	4.0	3	1.2	1.00	0.75	0.0040	0.0001	45.04
9088-720	1.8	4.5	3	1.8	1.00	0.75	0.0068	0.0002	45.04
232-10	1.2	8.3	3	1.2	1.00	0.75	0.0083	0.0002	45.04
375-12	3.2	5.8	3	3.1	0.97	0.72	0.0126	0.0003	36.54
241-10	2.4	8.6	3	2.3	0.96	0.71	0.0130	0.0004	33.91
90-64	1.9	9.1	3	1.8	0.95	0.70	0.0100	0.0003	31.24
866-10	1.8	7.2	3	1.7	0.94	0.69	0.0073	0.0002	30.55
675-10	3.7	15.9	3	3.2	0.86	0.61	0.0160	0.0011	14.67
232-20	1.9	6.6	3	1.5	0.79	0.54	0.0011	0.0002	4.94
89-30	3.5	6.6	3	2.4	0.69	0.43	0.0000	0.0004	0.00
767-2	2.8	8.1	3	1.9	0.68	0.43	0.0000	0.0004	0.02
410-10	2.7	21.0	3	1.6	0.59	0.34	0.0041	0.0011	3.89
383-10	2.8	7.9	3	1.5	0.54	0.28	0.0042	0.0004	10.15
804-10	2.7	6.3	3	1.3	0.48	0.23	0.0059	0.0003	18.85
79-20	5.4	23.1	3	2.5	0.46	0.21	0.0518	0.0023	22.43
805-10	13.7	8.0	3	6.2	0.45	0.20	0.0499	0.0020	24.58
31-20	9.1	14.8	3	3.2	0.35	0.10	0.1261	0.0025	50.54
768-10	6.4	15.7	3	2.2	0.34	0.09	0.0986	0.0019	52.96
211-10	24.7	3.5	3	7.8	0.32	0.06	0.0993	0.0016	61.99
12-20	9.0	0.8	3	1.7	0.19	-0.06	0.0149	0.0001	111.90
90-20	73.7	6.3	3	8.2	0.11	-0.14	1.2873	0.0086	149.65
807-10	7.1	10.0	3	1.2	0.17	-0.08	0.1592	0.0013	121.05
3-14	10.5	17.5	3	1.3	0.12	-0.13	0.4874	0.0034	143.18
264-10	14.3	8.9	3	1.5	0.10	-0.15	0.3607	0.0024	152.99

נספח ד': ממצאים מבחינת רגישות החיסכון בתאונות למאפייני הקטע

א - חיסכון בתאונות החמורות עם רכב יחיד, הודות לנוכחות המעקות החדשים, בקטעי דרכים דו-מסלוליות, בתלות באורך הקטע, נפח התנועה, רדיוס אופקי, אורך המעקות החדשים

LENGTH	AADT	RH_MI	LR EURO Length max	LR EURO Length max_L	ACC with new barriers	ACC without new barriers	ratio with/ without	% reduction	ACC saving- estimate
10.0	25.0	1,000	2.0	0.20	0.010	0.014	0.69	31%	0.004
10.0	25.0	1,000	5.0	0.50	0.005	0.014	0.34	66%	0.009
10.0	25.0	1,000	7.0	0.70	0.002	0.014	0.17	83%	0.012
10.0	25.0	1,000	10.0	1.00	0.000	0.014	0.03	97%	0.014
10.0	25.0	500	2.0	0.20	0.003	0.005	0.53	47%	0.003
10.0	25.0	500	5.0	0.50	0.001	0.005	0.11	89%	0.005
10.0	25.0	500	7.0	0.70	0.000	0.005	0.00	100%	0.005
10.0	25.0	500	10.0	1.00	0.001	0.005	0.12	88%	0.005
10.0	25.0	2,000	2.0	0.20	0.036	0.043	0.82	18%	0.008
10.0	25.0	2,000	5.0	0.50	0.025	0.043	0.58	42%	0.018
10.0	25.0	2,000	7.0	0.70	0.019	0.043	0.44	56%	0.024
10.0	25.0	2,000	10.0	1.00	0.012	0.043	0.27	73%	0.032
10.0	25.0	5,000	2.0	0.20	0.210	0.228	0.92	8%	0.019
10.0	25.0	5,000	5.0	0.50	0.183	0.228	0.80	20%	0.045
10.0	25.0	5,000	7.0	0.70	0.166	0.228	0.73	27%	0.062
10.0	25.0	5,000	10.0	1.00	0.143	0.228	0.63	37%	0.085
10.0	25.0	2,000	2.0	0.20	0.036	0.043	0.82	18%	0.008
10.0	25.0	2,000	5.0	0.50	0.025	0.043	0.58	42%	0.018
10.0	25.0	2,000	7.0	0.70	0.019	0.043	0.44	56%	0.024
10.0	25.0	2,000	10.0	1.00	0.012	0.043	0.27	73%	0.032
20.0	25.0	2,000	2.0	0.10	0.079	0.087	0.91	9%	0.008
20.0	25.0	2,000	5.0	0.25	0.067	0.087	0.78	22%	0.020
20.0	25.0	2,000	7.0	0.35	0.060	0.087	0.69	31%	0.027
20.0	25.0	2,000	10.0	0.50	0.050	0.087	0.58	42%	0.037
20.0	25.0	2,000	4.0	0.20	0.071	0.087	0.82	18%	0.016
20.0	25.0	2,000	10.0	0.50	0.050	0.087	0.58	42%	0.037
20.0	25.0	2,000	14.0	0.70	0.038	0.087	0.44	56%	0.048
20.0	25.0	2,000	20.0	1.00	0.024	0.087	0.27	73%	0.063
10.0	25.0	2,000	2.0	0.20	0.036	0.043	0.82	18%	0.008
10.0	25.0	2,000	5.0	0.50	0.025	0.043	0.58	42%	0.018
10.0	25.0	2,000	7.0	0.70	0.019	0.043	0.44	56%	0.024
10.0	25.0	2,000	10.0	1.00	0.012	0.043	0.27	73%	0.032
10.0	40.0	2,000	2.0	0.20	0.057	0.070	0.82	18%	0.013
10.0	40.0	2,000	5.0	0.50	0.040	0.070	0.58	42%	0.029
10.0	40.0	2,000	7.0	0.70	0.031	0.070	0.44	56%	0.039
10.0	40.0	2,000	10.0	1.00	0.019	0.070	0.27	73%	0.051

ב - חיסכון בכלל התאונות עם נפגעים, הודות לנוכחות המעקות החדשים, בקטעי דרכים דו-מסלוליות, בתלות בנפח התנועה, סוג שול פנימי, אורך המעקות החדשים

LENGTH	AADT	LR EURO Length max	LnSH_TYP_L mean	LnSH_TYP_R mean	LnSH_TYP_LR sum	ACC with new barriers	ACC without new barriers	ratio with/ without	% reduction	ACC saving- estimate
10.0	25.0	2.0	1.0	1.0	2.00	8.6	9.3	0.92	8%	0.7
10.0	25.0	2.0	2.0	2.0	4.00	5.7	6.3	0.91	9%	0.6
10.0	25.0	2.0	3.0	3.0	6.00	3.4	3.9	0.88	12%	0.5
10.0	25.0	2.0	2.0	2.0	4.00	5.7	6.3	0.91	9%	0.6
10.0	25.0	5.0	2.0	2.0	4.00	4.9	6.3	0.78	22%	1.4
10.0	25.0	8.0	2.0	2.0	4.00	4.1	6.3	0.66	34%	2.1
10.0	20.0	2.0	2.0	2.0	4.00	4.6	5.0	0.91	9%	0.5
10.0	30.0	2.0	2.0	2.0	4.00	6.9	7.5	0.91	9%	0.7
10.0	40.0	2.0	2.0	2.0	4.00	9.1	10.1	0.91	9%	0.9

English summary

1. General

Over the last decade, the Minister of Transport's policy was to promote the use of new generation/conforming-to-standard safety barriers on all Israeli roads, in new construction projects. In addition, in upgrading and maintenance projects of rural roads lead by the National Roads Company, new safety barriers gradually replace the old ones. The policy of transition to the new barriers has substantial financial implications, however, it was chosen for implementation, based on the expectation that it would contribute to increasing road safety level in Israel.

The purpose of this study was to collect detailed information on the new barriers' installations and examine the safety and economic benefits stemming from their use, on rural roads in Israel.

The study included the following components:

- a. A literature review that focused on evaluation studies of safety barriers and guiding documents on their use that were published over the last years, in advanced countries.
- b. Preparation of the study database that included the collection of and arranging the information regarding the inventory of the new barriers on Israeli rural road network, and, further, a completion of the information on geometric characteristics of the study's sections, their traffic volumes, lengths and road types.
- c. A multivariate analysis of the study data was carried out, where explanatory models were fitted to different accident types. The analyses aimed to examine the question: is there a difference between the accident frequencies on road sections with the new barriers installed compared to similar accident types on other road sections?

In the models' development, the examination of effects of the new safety barrier variables on section safety levels was conducted having neutralized the effects of traffic volumes and section lengths and accounting for possible effects of section geometric characteristics.

- d. An economic evaluation was conducted, where the new barriers' safety benefits related to the old ones were estimated, while those were compared with the additions of installation and maintenance costs of the new safety barriers as opposed to the old ones, over the device's life. For the economic evaluation, three of the explanatory models

developed by the study were applied, that showed a negative relationship between the new barriers' presence and road accident occurrences.

2. Main findings of the study

A. Professional literature findings

- It was found from the literature analysis that studies providing quantitative evidences as to economic feasibility of the transition to the new barriers are lacking. Furthermore, in the European Union this inquiry appears to be irrelevant because most countries updated their standards and guidelines on safety barriers' use, in order to adjust them to the new European Norm EN-1317 requirements, without dealing with the question on economic feasibility of this action.

- In all the updated guidelines on safety barriers' use, the requirements are defined in terms of performance levels according to the new norms, where a barrier installation should be conducted providing the barrier's working width. This implies that the countries raised their requirements regarding the standard of the devices installed and the free distances required on the roadsides, in order to provide the barrier's working width, without a preliminary discussion concerning a justification of higher costs of those arrangements, as opposed to the old ones.

- Due to a relatively short period of the use of new barriers in the world, the literature has not yet accumulated evaluation studies with findings that would allow clear conclusions as to the safety impact of the new barriers, especially compared with the old ones. However, most findings, both in Europe and in the U.S., indicate that safety barriers' installation *in general* has an important and significant contribution to a reduction of road accidents and their severity.

- The economic feasibility evaluation to justify a barrier installation is common in a number of countries (e.g. USA, UK). However, such an evaluation relates to the installation of safety barrier *in general*, compared to an alternative of not installing a barrier or arranging a clear zone instead, where the calculations themselves include many assumptions about accident probability and its consequences, in typical road conditions.

- In a number of studies, economic evaluation models were developed in order to examine the feasibility of installation of safety barriers with higher performance levels, in different road and traffic conditions. According to economic evaluations conducted in

the US, the use of safety barriers with higher performance levels - TL4, TL5 - is justified on motorways only, mostly on carriageways with a high prevalence of steep slope conditions and high embankments on the roadsides. An economic evaluation study carried out in Finland, also found out that an all-embracing use of the H1/H2 barriers on roadsides of rural roads is not profitable. However, a replacement of the N2 barriers with H1/H2 ones was found to be beneficial in certain conditions, such as: in front of weak bridge piers; in front of bridge piers with insufficient space for working widths of flexible barriers; on sections approaching bridges that cross other main roads.

- A similar economic analysis that examined a feasibility of replacing the old barriers with the new ones was conducted in a previous Israeli study (Gitelman et al, 2007). The analysis was carried out using the American RSAP software, while entering the barrier costs' data and typical cross-sections of barriers installations in Israel. It was found that barriers' replacement is profitable on dual-carriageway roads with more than 25,000 vehicles a day and vehicle speeds of 100 km/h and above (while comparing the old W-type steel barrier, having TL2 performance level, with a new H1-level barrier). Besides, on dual-carriageway roads with less than 25,000 vehicles a day the barriers' replacement was found profitable where the percentage of heavy vehicles is higher than 10%.

However, in the same Israeli study, for single-carriageway roads, the economic feasibility of the replacement of old barriers with the new ones was not confirmed, even under high traffic volumes, of over 20,000 vehicles a day (where the analysis considered a transition from TL2 to TL3 barriers).

- In several countries (Germany, UK) a comprehensive economic evaluation over the barrier's life, was conducted, on the use of slip-formed concrete barriers as opposed to steel ones, on medians of heavily-trafficked roads. These evaluations included costs of installation, maintenance and repair of the barriers; road-user costs associated with accident occurrences, time losses due to traffic jams following those accidents and maintenance works on roads (to repair barriers after accidents). It was found that slip-formed concrete barriers have functional benefits under certain road and traffic conditions, such as: narrow medians of straight road sections carrying out large traffic volumes, e.g. over 25,000 vehicles a day.

- According to the findings of a preliminary study that examined the safety benefits derived from the use of new barriers, during the early years of their installation in Israel

(2004-2005), a decrease in collisions with safety barriers on rural roads, compared to previous years, was not found. However, in those years, a reduction in the severity of such accidents was observed that was estimated as a saving of about 51 million NIS, a year.

In addition, there was a decrease in the frequency of single-vehicle accidents involving trucks or buses that was estimated to save 6-7 million NIS, a year. This means that new barriers' installation in Israel was associated with a reduction in accident severity and in the number of heavy-vehicle collisions with safety barriers.

- The examination of the updated guidelines that were published in Europe and the USA, indicated that a basic requirement for the performance level of safety barriers on rural roads is N2 according to the European Norms or TL3 according to the US ones, where on a significant share of motorways and dual-carriageway roads, the requirements are higher - for a basic performance level of H1 or H2.

Furthermore, in some countries (Germany, the Netherlands, UK) special requirements were defined regarding the performance level of safety barriers on the medians - the H2 level. In addition, in most countries higher requirements were determined for barriers installed in locations with high risk for a third party, sharp curves, steep slopes, etc. - the performance levels of H2, H4. A similar approach was adopted by the Israeli guidelines (2005).

B. The study's database

After mapping and analysis of data from the 2010 road survey, four groups of road sections, with different presence levels of the new barriers (EURO barriers) were recognized on Israeli rural road network. They are: 1 - road sections with high percentage and high length of the EURO barriers, on roadsides or on medians; 2 - road sections with moderate percentage and high length of the EURO barriers, on roadsides or on medians; 3 - road sections with low percentage but relatively high length of the EURO barriers, on roadsides or on medians; 4 - other road sections.

Road sections of groups 1-3 were defined as "treatment sections", where other road sections on the network were defined as "control sections". The total length of the treatment sections was about 841 km, while on these sections about 429 km of new barriers were found on roadsides and about 87 km - on medians.

In total, for the multivariate analyses, a database of 497 road sections was prepared, including 148 treatment sections and 349 control ones. The data structure for the analysis comprised 42 fields, including 10 fields with accident numbers, in the year 2010. Accident types for the analysis included single-vehicle accidents and total accidents, accidents with various severity levels and accidents with involvement of different vehicle types.

C. Findings from the models' development

The explanatory models were fitted to 14 accident types, on two road categories: single- and dual-carriageway ones, i.e. 28 models, in total.

Based on the explanatory models fitted to the data, it was found that:

- On **single-carriageway roads**, from the analysis of accidents with all vehicle types, it was found that higher presence of new barriers on the roadsides did not contribute to accident reduction. In most models, in which new barriers' length remained one of the explanatory characteristics, a positive relationship was found between this characteristic and the number of accidents. The only model that indicated a negative correlation was the model for single-vehicle accidents with heavy vehicles (trucks over 4 ton, buses, vans, or tractors). In this model, among explanatory variables were the groups of sections according to the barriers' presence, where for section groups 1-3 (treatment sections) negative coefficients were received indicating an expectation for fewer accidents than for control-group sections.

- On **dual-carriageway roads**, from the total accidents' analysis, it was found that the new barriers' variables were among the explanatory variables in a substantial part of the models. However, the influence of the barriers' variables on single-vehicle accidents was inconsistent. A significant (or close to significant) negative relation between the new barriers' length on the roadsides and accidents, was found for severe single-vehicle accidents and for total injury accidents, on road sections. However, among the heavy vehicle accidents' models, the new barriers' variables were among the explanatory variables in one model only - for total injury accidents.

D. Findings from the economic evaluation

The economic evaluation of safety benefits from using the new barriers, compared to the old ones, was conducted on the basis of explanatory models that demonstrated a significant negative relationship between the new barriers' length or their presence, and

accident occurrences. Those models are: (1) on dual-carriageway roads, the model for severe single-vehicle accidents; (2) on dual-carriageway roads, the model for total injury accidents; (3) on single-carriageway roads, the model for single-vehicle accidents with heavy vehicles. In the economic evaluation it was found that:

- On **dual-carriageway roads**, a reduction in severe single-vehicle accidents associated with the installation of the new barriers was not high. Thus, the economic benefits of this saving were not sufficient to ascertain economic feasibility of the new barriers. The number of accidents saved rises with higher traffic volumes, longer road sections, or larger length of the new barriers. However, in all the conditions examined, the annual accident reduction per section was low, in the range of 0.008 - 0.063.

In the evaluation of benefit-cost ratios for the new barriers' installation, in typical calculation conditions, the ratio values were low, in the range of 0.17 - 0.34.

- On **dual-carriageway roads**, the reduction in total injury accidents associated with the new barriers' installation was high. The economic benefits of this reduction demonstrated the economic feasibility of new barriers' installation on dual-carriageway roads. For example, the amount of the expected accidents in a year on the treatment sections was 552 without the new barriers and 470 with the new barriers, producing a total reduction of 82 accidents, a year, or a 15% decrease.

In the evaluation of the benefit-cost ratios from the new barriers' installation, for typical calculating conditions, the ratio values were high, in the range of 1.11- 2.51. In addition, starting from a specific length of the new barriers (above 2 km), the benefits from the new barriers' installation rose together with the amount of the investment required, where both values (of benefits and costs) were proportional to the length of the barriers' installation.

- On **single-carriageway roads**, for a significant share of sections, the expected number of accidents (single-vehicle accidents with heavy vehicles) in the case of presence of the new barriers was higher than without them, making it impossible to demonstrate safety benefits from the new barriers' installation on single-carriageway roads.

3. Study conclusions

1. The approach undertaken until now by the Israeli guidelines for defining performance levels of safety barriers on rural roads, matches the international experience.

2. The economic feasibility of the transition to a new generation of barriers was not examined in other countries.

3. The economic justification of the use of safety barriers with higher performance levels (H1 or more) was examined by a number of studies in the world. The results of those studies, mostly supported the use of barriers with higher performance levels on higher road categories, with high traffic volumes and, sometimes, under the presence of more severe road and traffic conditions, e.g. steep slopes on the roadsides; a significant percentage of trucks in traffic, etc.

4. Similarly, in the previous Israeli study, an economic justification was obtained to the use of safety barriers of a higher performance level on dual-carriageway roads with high traffic volumes (above 25,000 vehicles per day) and high travel speeds (100 km/h and more) or on dual-carriageway roads with lower traffic volumes but with a high percentage of heavy vehicle traffic (above 10%).

5. Also, in the current study, a clear safety benefit from the new barriers' installation on dual-carriageway roads was found indicating, for example, a 15% decrease in injury accidents on sections with the new barriers compared to other ones. The examination of present economic value of accidents saved in relation to the additional costs of the new barriers' installation and maintenance consistently indicated a benefit-cost ratio over 1. This implies that safety and economic benefits found by the study support the transition to the new generation of safety barriers, on dual-carriageway roads in Israel.

6. However, for single-carriageway roads, economic and safety benefits from the installation of new barriers were not found in the current study. This, similarly to the previous study performed in Israel that conducted evaluations using the American RSAP software. Furthermore, the studies abroad that examined the economic feasibility of the transition to higher performance levels' barriers, did not find indications on economic feasibility of using the new barriers on single-carriageway roads.

7. Although there were no positive results about the efficiency of replacing the barriers on single-carriageway roads, there is a place for further examinations of this issue. This is due to various limitations of the evaluations conducted in the past and in the current study and, also, accounting for the fact that despite the lack of evidences on economic feasibility of a transition to the new barriers on these roads, it is common for most countries to define the single-carriageway road barriers' performance as N2 or higher.

8. Both studies conducted in Israel indicated that the new barriers' installation on rural roads was associated with a reduction in single-vehicle accidents involving heavy vehicles. In addition, in both studies new barriers' installations were associated with severe accidents' reduction.

9. Moreover, the current study indicated a reduction in total injury accidents on road sections with the new barriers compared to other ones, on dual-carriageway roads. It should be noted here that the total accident reduction may stem from the additional improvements in road characteristics which typically accompany the barriers' upgrading.

10. In total, the current study presented a detailed picture of the new barriers' use on rural roads in Israel and also demonstrated safety and economic benefits of their use in Israeli conditions.

11. For future research of impacts of the new barriers on road safety in Israel, it is essential to keep a complete record of barriers' installation periods, in order to allow for carrying out "before-after" analyses.

List of tables and figures

Table 2.1. Percentage of injury accidents and of casualties in accidents with safety barriers, out of the total accidents and casualties on motorways in selected countries. Source: Schoon (1997).

Table 2.2. Summary safety effects of restraint devices: safety barriers and crash cushions. Source: Elvik (1995)

Table 2.3. Summary safety effects of roadside safety barriers. Source: Elvik & Vaa (2004)

Table 2.4. Summary safety effects of median safety barriers. Source: Elvik & Vaa (2004).

Table 2.5. Obstacle-free zone's width requirements in different countries. Source: SAFESTAR (1998).

Table 2.6. Barriers costs' assessment: Norwegian data (sited in Elvik & Vaa, 2004).

Table 2.7. Scale to characterize hazard severity levels in the sites examined. According to: Lambert et al (2003).

Table 2.8. Example of sites' characteristics by proposed criteria. Source: Lambert et al (2003).

Table 2.9. Typical accidents with safety barrier breaking that were selected for a detailed examination in the study.

Table 2.10. Detailed costs of the four accidents in which a barrier was broken.

Table 2.11. Barriers installation costs. According to: Montella (2001).

Table 2.12. Recommendations on barrier performance level selection, in particular road conditions, where $B/C=2$. Source: Sicking et al (2009).

Table 2.13. Examples of the minimal accidents' number threshold required to justify a transition from N2 to H1 or H2 barriers, in the study by Ehlers (2010).

Table 2.14. Safety barrier performance level requirements in guidelines/standards of other countries.

Table 3.1. Safety barriers characteristics in the 2010 road survey.

Table 3.2. Example of concentrated information from the final file – total length (km) of safety barriers in the sections of roads No 1 and 2, on the roadsides.

Table 3.3. Example of concentrated information from the final file – total length (km) of safety barriers on the sections of roads No 1 and 2, on median.

Table 3.4. Total length of safety barriers on roadsides on the whole network – according to 2010 road survey.

Table 3.5. Total length of safety barriers on medians on the whole network – according to 2010 road survey.

Table 3.6. Example of roadside safety barriers' status encoding for sections of roads No 1 and 2.

Table 3.7. Example of median safety barriers' status encoding for sections of roads No 1 and 2.

Table 3.8. A summary of road section groups according to the new barriers' presence.

Table 3.9. Summary of the 2010 accident numbers according to the 10 accidents types selected for the study and the study's section groups (1-3 treatment sections, 4 - control sections).

Table 3.10. Details of the 2010 accident numbers according to the 10 accident types selected for the study, in the control section subgroups defined according to the barriers' status.

Table 4.1. Data structure – List of the fields that were analyzed.

Table 4.2. Variables candidates for explanatory ones in models for single-carriageway roads.

Table 4.3. Variables candidates for explanatory ones in models for dual-carriageway roads.

Table 4.4. Summary of the explanatory models fitted to accident frequencies on single-carriageway roads.

Table 4.5. Summary of the explanatory models fitted to accident frequencies on dual-carriageway roads.

Table 4.6. Summary of the one-parametric regression models fitted to the relationship between the new barrier variables and accident frequencies, on single- and dual-carriageway roads.

Table 5.1. Explanatory model for the evaluation of severe single-vehicle accident numbers expected on a dual-carriageway road section, depending on the new roadside barriers' length.

Table 5.2. Findings of the cost-benefit ratio evaluation based on severe single-vehicle accident reductions due to new barriers' installation on roadsides of dual-carriageway road sections (calculations for typical conditions).

Table 5.3. Explanatory model for the evaluation of expected number of total accidents with casualties on a dual-carriageway road section depending on the new roadside barriers' length.

Table 5.4. Findings of the cost-benefit ratio evaluation based on the total injury accidents' reduction due to new barriers installation on roadsides of dual-carriageway road sections.

Table 5.5. Explanatory model for the evaluation of the expected number of single-vehicle accidents with heavy vehicles on a single-carriageway road section depending on the new roadside barriers' presence.

Figure 1.1. Safety barrier location on the road side: Main characteristics of barrier installation

Figure 2.1. Examination of the crash severity indices versus ASI values.

Figure 2.2. A probability of leaving the road by vehicles to lateral offset depending on road design speed.

Figure 2.3. Leaving the road accident prediction model's update.

Figure 2.4. Final ranking of sites according to all criteria together. Lambert et al (2003).

Figure 2.5. Required performance levels of safety barriers in different traffic conditions. The evaluations are for embankment conditions of 2, 4 , 6 m height, with 1:2 slope. Source: Montella (2001).

Figure 2.6. A - E situations of barrier's location on roadside for accident scenarios' definition, in the study by Ehlers (2010).

Figure 2.7. Example of full details of considerations for safety barrier performance level's selection, according to road and traffic conditions, in Germany, according to RPS (2009).

Figure 5.1. Dual-carriageway road: a reduction in severe single-vehicle accidents, a year, due to new roadside barriers' installation, depending on daily traffic volume and new barriers' length (example for 10 km section length).

Figure 5.2. Dual-carriageway road: cost-benefit ratio based on severe single-vehicle accident reductions due to new barriers' installation on roadsides, depending on traffic volumes and new barriers' length (example for 10 km section length, calculation for 20 years).

Figure 5.3. Dual-carriageway road: a reduction in total accidents with casualties, a year, due to new roadside barriers' installation, depending on the daily traffic volume and new barriers' length (example for 10 km section length).

Figure 5.4. Dual-carriageway road: cost-benefit ratio based on total injury accident reductions due to new barriers' installation on roadsides, depending on traffic volumes and new barriers' length (example for 10 km section length, calculation for 20 years).

Figure 5.5. Dual-carriageway road: cost-benefit ratio based on total injury accident reductions due to new barriers' installation on roadsides, depending on traffic volumes and new barriers' length (example for 20 km section length, calculation for 20 years).

Table of Content

Summary	9
1. Introduction	15
1.1. Study's background	15
1.2. Safety barrier's characteristics	16
1.3. The report's content	17
2. Literature Review	19
2.1. The need for a consistent approach for determining characteristics of the barriers	19
2.2. Efficiency evaluations of safety barriers and examination of their performance limitations	20
2.2.1. Summary evaluations of safety barrier impacts on accident frequency and severity	21
2.2.2. Efficiency of different barrier types	23
2.2.3. Comparative evaluation of the efficiency of old safety barriers made of concrete and steel, in Israel	24
2.2.4. First examination of the feasibility of new safety barriers in Israel	25
2.2.5. Examination of relationship between the threshold values of standard EN 1317 and injury severity in collisions with the barriers	27
2.2.6. Light vehicle crash tests with wide-angle collisions	28
2.3 Quantitative evaluations for warrants on the use of safety barriers	29
2.4. Economic feasibility examinations of safety barriers	31
2.4.1. Models for economic feasibility evaluations of barrier installation in a particular site, in the USA	31
2.4.2. A model for economic feasibility evaluation of barrier installation, in the UK	35
2.4.3. An economic warrant for safety barriers' installation in Norway	35
2.4.4. A model for safety barrier investment planning	36
2.4.5. Examination of accidents costs of collisions in which steel safety barriers were broken, in England	37
2.4.6. Economic evaluation of slip-formed concrete barriers' performance	39
2.5. Selecting the required characteristics for safety barriers	40

2.5.1. A model for selecting performance levels of barriers depending on road and traffic characteristics	40
2.5.2. Development of guidelines for selecting performance levels of barriers depending on road characteristics, in the USA	41
2.5.3. Feasibility evaluation of the use of barriers with H1/H2 performance levels, in Finland	43
2.5.4. Requirements for performance levels of safety barriers in the existing guidelines abroad	47
2.6. Literature review's summary	49
3. Detailed information collection and database preparation for the analysis	52
3.1 Sources of information on barriers	52
3.2 Database preparation - barriers inventory in the year 2010	54
3.3. Identification of road sections groups, according to the new barriers' presence	55
3.4. Examination of information from MA'ATZ maintenance files – identification of information on barriers' installation periods	63
3.5. Database completion for cross-section analysis	64
3.5.1. Accidents types' and sections characteristics' definition	65
3.5.2. Examination of data on geometric characteristics collected for the study's sections	68
3.5.3. Summary of accident data on the study's sections	72
4. Explanatory models' development	75
4.1. Analysis methods	75
4.2. Findings from the explanatory models' development	80
4.3. One-parametric examination of the new barriers' impact on accidents	84
5. Economic evaluation	86
5.1. Economic evaluation method	86
5.2. Economic evaluation findings	88
5.2.1. Case 1: a reduction in severe single-vehicle accidents on dual- carriageway roads	89
5.2.2. Case 2: a reduction in total injury accidents on dual-carriageway roads	93
5.2.3. Case 3: examination of a reduction in single-vehicle accidents with heavy-vehicles on single-carriageway roads	97
5.3. Summary	100

6. Study's summary and conclusions	101
6.1. General	101
6.2. Study's method	101
6.3. Study's findings	102
6.4. Study's conclusions	107
References	110
Appendix A: Explanatory models fitted to accidents on single- carriageway roads	114
Appendix B: Explanatory models fitted to accidents on dual-carriageway roads	128
Appendix C: Findings form accidents reduction evaluations on the study's road sections	143
Appendix D: Findings from examination of sensitivity of accidents reductions to section characteristics	149

Record / "Identity Card" of the project

Report No. (of INRC):	
Date: January 2012	Report Name: Examination of the effectiveness of a new generation of safety barriers on rural roads
Report No. (of the contractor): S/29/2012	Authors: Gitelman V., Carmel R., Pesahov F., Doveh E., Hakkert S.
INRC Contract No.: 4500033004	Contractor (Name & Address): Ran Naor Road Safety Research Center, Technion
Report Type & Project Period: Scientific report, 2011-2012	
Additional Notes:	
<p>Abstract:</p> <p>1. Objectives:</p> <p>Over the last decade, the Minister of Transport's policy was to promote the use of the new generation of safety barriers - those that met the requirements of the new standards in Europe or in the US - on all roads in Israel, in new road construction projects. In addition, in road upgrading and maintenance projects lead by the National Roads Company, the new barriers gradually replace the old ones. The policy of transition to the new barriers has substantial financial implications. However, it was chosen for implementation based on the expectation that it would contribute to increasing road safety level in Israel.</p> <p>The purpose of this study was to collect detailed information on the new barriers' installations and to examine the safety and economic benefits stemming from their use, on rural roads in Israel.</p> <p>2. Findings:</p> <p>A literature review demonstrated that studies providing quantitative evidences on economic efficiency of transition to the new barriers are still rare. Mostly, the countries raised their demands regarding the barriers installed and the free distances on roadsides required for their performance, without a preliminary consideration concerning a justification of higher costs of such arrangements as opposed to the previous ones.</p> <p>The economic justification inquiry of the use of safety barriers of higher performance levels (H1 or more) was examined by a number of studies. The consequences of those studies mostly supported the use of barriers with higher performance levels on higher road categories, under the conditions of high traffic volumes and, sometimes, under the presence of severe conditions, such as: steep slopes of the roadsides; a significant share of trucks in road traffic.</p> <p>Following the mapping and analysis of data from the 2010 road survey, three groups of road sections with higher presence of the new barriers (EURO barriers) were identified on Israeli rural road network. Those road sections were defined as "treatment sections", where other road sections on the network (with other types of barriers or without barriers at all) were defined as "control sections". For all the sections, the information on geometric characteristics, traffic volumes, section length, and road type was completed. In total, for the multivariate analysis, a database of 497 road sections was prepared, including 148 treatment sections and 349 control</p>	

ones.

Explanatory models were fitted to 14 accident types, on two road categories: single- and dual-carriageway ones. Based on the explanatory models it was found that on single-carriageway roads, a reduction of accidents due to the new barriers' installation was observed mostly in single-vehicle accidents with heavy vehicles (e.g. trucks over 4 ton, bus, van or tractor), while on dual-carriageway roads the new barriers' installation was associated with a reduction in severe single-vehicle accidents and in total injury accidents.

The economic evaluation was conducted based on the three explanatory models that showed a significant negative relationship between the new barriers' length or presence and accident occurrences. In the economic evaluation, the current value of accident reductions due to the use of new barriers as opposed to the old ones was compared with the additional installation and maintenance costs of the new barriers as opposed to the old ones, over the device's life.

The economic evaluation indicated that: (a) on dual-carriageway roads, the reduction of severe single-vehicle accidents associated with the new barriers' installation was not high; hence, the economic benefit of this saving was not sufficient to demonstrate the economic feasibility of the new barriers; (b) on dual-carriageway roads, the reduction of total injury accidents following the new barriers' installation was high, where the economic benefit of this reduction supported the economic feasibility of the new barriers' installation on those roads; (c) on single-carriageway roads, on a significant share of sections, the expected number of accidents (single-vehicle accidents with heavy vehicles) in the case of presence of new barriers was higher than without them. Thus, safety and economic benefits from the new barriers' installation on single-carriageway roads could not be demonstrated.

3. Conclusions:

The approach undertaken by Israeli guidelines as to the performance levels of safety barriers required on rural roads, matches the international experience.

The economic and safety benefits found by the study support the transition to the new generation of safety barriers on Israeli dual-carriageway roads. However, for the single-carriageway roads, the current study did not provide evidences on economic and safety efficiency of the new barriers' installation. A similar finding was in a previous study conducted in Israel and in studies from abroad. For single-carriageway roads, this issue should be further examined.

Key words: safety barrier, European Norm 1317, road accidents, explanatory model, economic efficiency

No. of Pages: 166

Classification of Current Page Distribution:

Classification of Report Distribution:

Examination of the effectiveness of a new generation of safety barriers on rural roads

January 2012

Prepared by:

Dr. Victoria Gitelman

Eng. Robi Carmel

Mss. Fanny Pesahov

Dr. Etti Doveh

Prof. Shalom Hakkert

Prepared for MA'ATZ – Israel National Roads Company – INRC LTD.