

כנס מחקרים עדכניים בתחום הבטיחות בדרכים ויישומם בישראל -
18.10.12

בדיקת יעילות של מעקות הבטיחות מהדור החדש בדרכים הבינעירוניות



ד"ר ויקטוריה גיטלמן

אינג' רובי כרמל

גב' פאני פיסחוב

ד"ר אטי דובא

פרופ' שלום הקרט

מעצ - החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ



רקע למחקר

1. באיחוד האירופי תקן EN-1317

2. בארה"ב דו"ח 2009-MASH /NCHRP 350

בישראל: מתחילת שנות ה-2000 - אישור ויישום מעקות בטיחות העומדים

בדרישות של התקן האירופי או האמריקני - **הוועדה הבין-משרדית**

מ-2003 הנחיה של **המפקח הארצי** על התעבורה לשימוש במעקות החדשים

בלבד



עלויות ↔ תועלות בטיחותיות

*הצורך באבטחת שטח פנוי לרוחב עבודה של מעקה

מטרת המחקר:

לבחון את התועלות הבטיחותיות והכלכליות משימוש בדור החדש של מעקות הבטיחות בדרכים הלא עירוניות בישראל

מרכיבי המחקר:

- א. **סקר ספרות** - מחקרי הערכה ומסמכים מנחים שהתפרסמו, בשנים האחרונות, במדינות המתקדמות. **דגש במעקות החדשים, הצדק כלכלי לשימוש, הערכות יעילות**
- ב. **הכנת בסיס הנתונים למחקר** - איסוף והסדרת מידע על **מצאי המעקות החדשים** בדרכים הלא עירוניות, בתוספת נתוני תאונות, נפחי תנועה, אורך קטע, סוג דרך; השלמת מידע על המאפיינים הגיאומטריים של קטעי המחקר
- ג. **ניתוח רב-משתני של נתוני המחקר** - פיתוח **מודלים מסבירים לסוגי תאונות** שונים. בחינת שאלה: **האם קיים הבדל במספרי התאונות בקטעים בהם מותקנים מעקות הבטיחות החדשים לעומת אותם סוגי התאונות בקטעים האחרים?**
- ד. **הערכה כלכלית** - בחינת התועלת הבטיחותית משימוש במעקות החדשים לעומת הישנים

א. סקר הספרות - ממצאים

ביסוס הצורך בגישה אחידה לקביעת מאפייני המעקות

89/106/EEC Construction Product Directive משנת 1989:
להשתמש בעבודות בניה בפרט ובעבודות הנדסה אזרחית בכלל, אך ורק במוצרים אשר
עונים לדרישות מהותיות (essential requirements) שנקבעו במפרטים טכניים
(technical specifications) מתאימים

אחוז התאונות עם נפגעים והנפגעים בתאונות עם מעורבות מעקות הבטיחות, מתוך כלל
התאונות והנפגעים בדרכים מהירות, בתחילת שנות ה-90. מקור: 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

■ רוב המדינות העלו את הדרישות למעקות ללא בחינת שאלת הכדאיות

א. סקר הספרות - ממצאים

הערכות יעילות של מעקות הבטיחות בכלל

יעילות בטיחותית של מעקות הבטיחות בצד הדרך - הערכה מסכמת

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

מקור: Elvik & Vaa (2004), Elvik et al (2009); NCHRP 617 (2008)

■ טרם פורסמו מחקרים על השפעת המעבר למעקות החדשים

א. סקר הספרות - ממצאים

בחינת הכדאיות הכלכלית של מעקות הבטיחות - מודלים בחו"ל:

;RSAP : (2002) AASHTO ;ROADSIDE : (1996) AASHTO

התקן האנגלי TD 19/06 : (2006) Road Restraint Risk Assessment Process

בחינת כדאיות מעקות בטיחות חדשים, בתנאי הארץ (2007)

בעזרת תוכנת RSAP (Road Safety Analysis Program) האמריקנית:

□ 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, או עם נפח התנועה נמוך מ-25,000 כלי רכב ביממה כאשר אחוז כלי רכב כבדים גבוה מ-10%.

□ עבור הדרכים החד-מסלוליות לא נמצאו תוצאות חיוביות (כדאיות כלכלית) להחלפת המעקות הישנים במעקות החדשים גם ברמות תנועה גבוהות, יותר מ-20,000 כלי רכב ביממה.

* בתנאי השוואה בין מעקה פלדה ישן מסוג W לבין מעקה חדש ברמת תפקוד $H1$

א. סקר הספרות - ממצאים

דרישות לרמות תפקוד של מעקות הבטיחות בהנחיות בחו"ל

מדינה	מקור מידע	פירוט דרישות לרמות תפקוד של מעקות
אנגליה	TD 19/06, 2006	N2 – רמה בסיסית, או H1/ H2 או H4, בתלות בחתך הדרך, נפח התנועה, סוגי סכנות בצדי הדרך וכו'. נקבעו לדרכים עם מהירות מותרת של 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 TD19/09	N2 – רמה בסיסית, H2 – במצבים עם סיכון גבוה
גרמניה	RPS, 2009	H1 /N2 – רמה בסיסית, אחוז משאיות גבוה/סיכון גבוה – H4, H2

← דרישה בסיסית בדרך לא עירונית N2
בחלק ניכר מדרכים מהירות/ דו-מסלוליות H1 או H2.
במפרדה - ככלל, H2.
באתרים עם סיכון גבוה לצד שלישי H4.

2. הכנת בסיס הנתונים - מצאי המעקות בשנת 2010

נתונים מסקר דרכים של מעצ:

שני קבצים: N צפון הארץ - 9791 רשומות, S דרום הארץ - 10829 רשומות,
 כאשר כל רשומה מתארת קטע מעקה, באורך משתנה, לפי סוג המעקה ומיקומו בחתר

← הצבה על רשת

דוגמא

קוד קטע	ק"מ התחלה	ק"מ סוף	מצומת	עד צומת	צד ימין: אורך מעקות לפי סוגים (ק"מ)					צד שמאל: אורך מעקות לפי סוגים (ק"מ)					
					בטון מקטעים	בטון נמשך	פלדה EURO	פלדה W	אחר	בטון מקטעים	בטון נמשך	פלדה EURO	פלדה W	אחר	
N-1-10	0.0	4.6	ממחלף קיבוץ גלויות	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	

...

2. ספירת מלאי של מעקות בשנת 2010

אורך כולל של מעקות הבטיחות בצדי הדרכים - לפי סקר דרכים 2010

צד שמאל: אורך מעקות (ק"מ) לפי סוגים					צד ימין: אורך מעקות (ק"מ) לפי סוגים					מדד	EURO-אורך מרבי	אורך כולל, ק"מ	% מאורך הרשת*
בטון מקטעים	בטון נמשך	פלדה EURO	פלדה W	אחר	בטון מקטעים	בטון נמשך	פלדה EURO	פלדה W	אחר				
21.3	40.9	400.6	2160	27	28.9	46.5	367.3	2131	24.8	485			
0.6%	1.1%	11.1%	60%	0.7%	0.8%	1.3%	10.2%	59.0%	0.7%	13.4%			

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

אורך כולל של מעקות הבטיחות במפרדות - לפי סקר דרכים 2010

C מעקה מפרדה בודד (ק"מ)					CR מעקה מפרדה ימין (ק"מ)					CL מעקה מפרדה שמאל (ק"מ)					מדד	EURO-אורך מרבי	אורך כולל, ק"מ	% מאורך הרשת*
בטון מקטעים	בטון נמשך	פלדה EURO	פלדה W	אחר	בטון מקטעים	בטון נמשך	פלדה EUR O	פלדה W	אחר	בטון מקטעים	בטון נמשך	פלדה EUR O	פלדה W	אחר				
17.2	515.5	39.4	147	29.3	6.0	84.5	51.0	207	0.4	14.4	45.8	49.5	205	0.0	93			
1.3%	40.4%	3.1%	11%	2.3%	0.5%	6.6%	4.0%	16%	0%	1.1%	3.6%	3.9%	16%	0%	7.3%			

* אורך כולל של כל הקטעים עם מפרדות - 1276 ק"מ

2. סיווג קטעי הדרכים, מבחינת נוכחות המעקות החדשים

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 ו-1% 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	

841 ק"מ, עם 429 ק"מ מעקות צד, 87 ק"מ מעקות במפרדה

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

% גבוה < 45%

% בינוני 45%-33%

אורך גבוה – מעל 0.5 ק"מ או מעל 1 ק"מ

2. סוגי התאונות במחקר – סיכום* לפי סוגי קטעים

* בשנת 2010, קובץ "ת"ד"

קבוצה	מספר קטעי דרך	כלל התאונות: עם מעורבות כל סוגי הרכב				
		התנגשויות במעקה	רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקה)	רכב יחיד - תאונות חמורות	כלל התאונות עם נפגעים	תאונות חמורות עם נפגעים
1	44	12	19	5	152	19
2	37	17	39	9	284	42
3	67	5	21	5	122	25
4	349	62	184	42	1075	163
סה"כ	497	96	263	61	1633	249

תאונות רכב כבד: לפחות אחד מכלי הרכב המעורבים הוא משא מעל 4 טון, אוטובוס, אוטובוס זעיר, רכב עבודה, או טרקטור

3. פיתוח מודלים מסבירים

- **ניתוח רוחבי** של מצב הבטיחות בקטעי הטיפול וקטעי הביקורת, בשנת 2010.
- **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** השפעות של מסבירים אפשריים נוספים כגון: נפחי התנועה, אורך קטע, סוג דרך, מאפיינים גיאומטריים של הדרך

ניתוח מקדים:

- בחינת **קורלציות** בין משתני התוצאה (תאונות) לבין קבוצת קטעים GR (1-4) <<<
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 קשר חיובי עבור סך התאונות
- נבחרו משתנים משפיעים יותר על תאונות, בעזרת שיטות GBM, RPART

3. פיתוח מודלים מסבירים

דוגמא: משתנים המועמדים למסבירים במודלים עבור הדרכים החד-מסלוליות

המשתנים	המשמעויות
Factor (FINAL_LR)	קבוצת קטעי דרכים ע"פ מצב המעקות (0-7)
LR_EURO_Length_max_L	אורך המעקות החדשים בקטע
Factor (GR)	קבוצות קטעים 1-4 לפי נוכחות המעקות החדשים
TYP_STT_mean	אופן סלילה
Pv_Wt	רוחב מיסעה
Sh_Wt_LR_sum	רוחב שול - ערך מסכם
SH_TYP_LR_sum	סוג שול - ערך מסכם
RH_MI	רדיוס אופקי
SS_MA	שיפוע צדי
RVP_MI	רדיוס אנכי קמור
RVN_MI	רדיוס אנכי קעור
GP_MA	שיפוע אורכי

כלים: פרוצדורת GLMSELECT של SAS, בחירת STEPWISE

3. ממצאים מפיתוח מודלים מסבירים

המודלים שהותאמו למשתני התוצאה בדרכים החד-מסלוליות – כלל התאונות

משתנה התוצאה	המשתנים המסבירים במודל	משמעויות לגבי מעקות הבטיחות
1. התנגשויות במעקה	רוחב שול (ל.מ.), שיפוע אורכי (ל.מ.), שילוב של רוחב שול ושיפוע אורכי (מ.)	--
2. 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. רכב יחיד – תאונות חמורות	שיפוע צדי (ל.מ.)	--
4. כלל התאונות עם נפגעים	אופן סלילה (ל.מ.), קבוצת קטעי דרכים ע"פ מצב המעקות (לרוב ל.מ.)	קשר חיובי לקבוצות 1-2 של קטעים עם מעקות, לקבוצה 3 קשר שלילי - בהשוואה עם קבוצה 5 (מעקה W הישן)
5. כלל החמורות (קשות +קטלניות)	אופן סלילה (מ.), רדיוס אנכי קמור (ל.מ.), שיפוע אורכי (ל.מ.)	--
6. כלל התאונות עם רכב יחיד (1+2)	אורך מעקות חדשים (מ.), רדיוס אנכי קמור (ל.מ.)	קשר חיובי עם אורך מעקות חדשים

3. ממצאים מפיתוח מודלים מסבירים

המודלים שהותאמו למשתני התוצאה בדרכים החד-מסלוליות – תאונות רכב כבד

משתנה התוצאה	המשתנים המסבירים במודל	משמעויות לגבי מעקות הבטיחות
1. התנגשויות במעקה	רדיוס אופקי (מ.)	--
2. רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקה)	--	--
3. רכב יחיד חמורות	רוחב שול (ל.מ.)	--
4. כלל התאונות עם נפגעים	רוחב שול (מ.)	--
5. חמורות עם נפגעים	סוג שול (ל.מ.), רדיוס אנכי קמור (ל.מ.)	--
6. כלל התאונות עם רכב יחיד	אורך מעקות חדשים (מ.), קבוצת קטעי דרכים ע"פ מצב המעקות	קשר חיובי עם אורך מעקות חדשים; קשר שלילי לקבוצות 1-3 של קטעים עם מעקות חדשים - בהשוואה עם קבוצה 5 (מעקה W הישן)

מ. – מובהק (0.05); ל.מ. – לא מובהק

3. ממצאים מפיתוח מודלים מסבירים

המודלים שהותאמו למשתני התוצאה בדרכים הדו-מסלוליות – כלל התאונות

משתנה התוצאה	המשתנים המסבירים במודל	משמעות לגבי מעקות הבטיחות
1. התנגשויות במעקה	קבוצת קטעי דרכים ע"פ מצב המעקות במפרדה (לרוב, ל.מ.)	קשר חיובי לקבוצות 2-3 של קטעים עם מעקות מפרדה, קשר שלילי לקבוצה 1 - בהשוואה עם קבוצה 7 (מעקה בטון ישן)
2. רכב יחיד (ללא התנגשויות במעקה)	סוג שול פנימי (מ.)	--
3. רכב יחיד – תאונות חמורות	אורך מעקות חדשים בצד (ל.מ.), רדיוס אופקי (מ.)	קשר שלילי עם אורך מעקות חדשים בצד הדרך
4. כלל התאונות עם נפגעים	אורך מעקות חדשים בצד (מ.), סוג שול פנימי (מ.)	קשר שלילי עם אורך מעקות חדשים בצד הדרך
5. כלל החמורות (קשות +קטלניות)	קבוצת קטעי דרכים ע"פ מצב המעקות בצד (מ.), מספר נתיבים (מ.), רוחב מיסעה (מ.)	קשר שלילי לקבוצות 1-3 של קטעים עם מעקות צד - בהשוואה עם קבוצה 7 (מעקה בטון ישן). עם זאת, קשר שלילי דומה נמצא גם עבור מעקות פלדה ישנים בהשוואה עם קבוצת ביקורת זו.

מ. – מובהק (0.05); ל.מ. – לא מובהק

4. הערכה כלכלית: הנחות בסיס

להערכה הכלכלית של התועלת הבטיחותית משימוש במעקות החדשים התאימו 3 מקרים:

- (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

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

התועלת הבטיחותית = עלות התאונות שייחסכו בעקבות הטיפול, לאורך חיי השיפור

בהקשר הנוכחי:

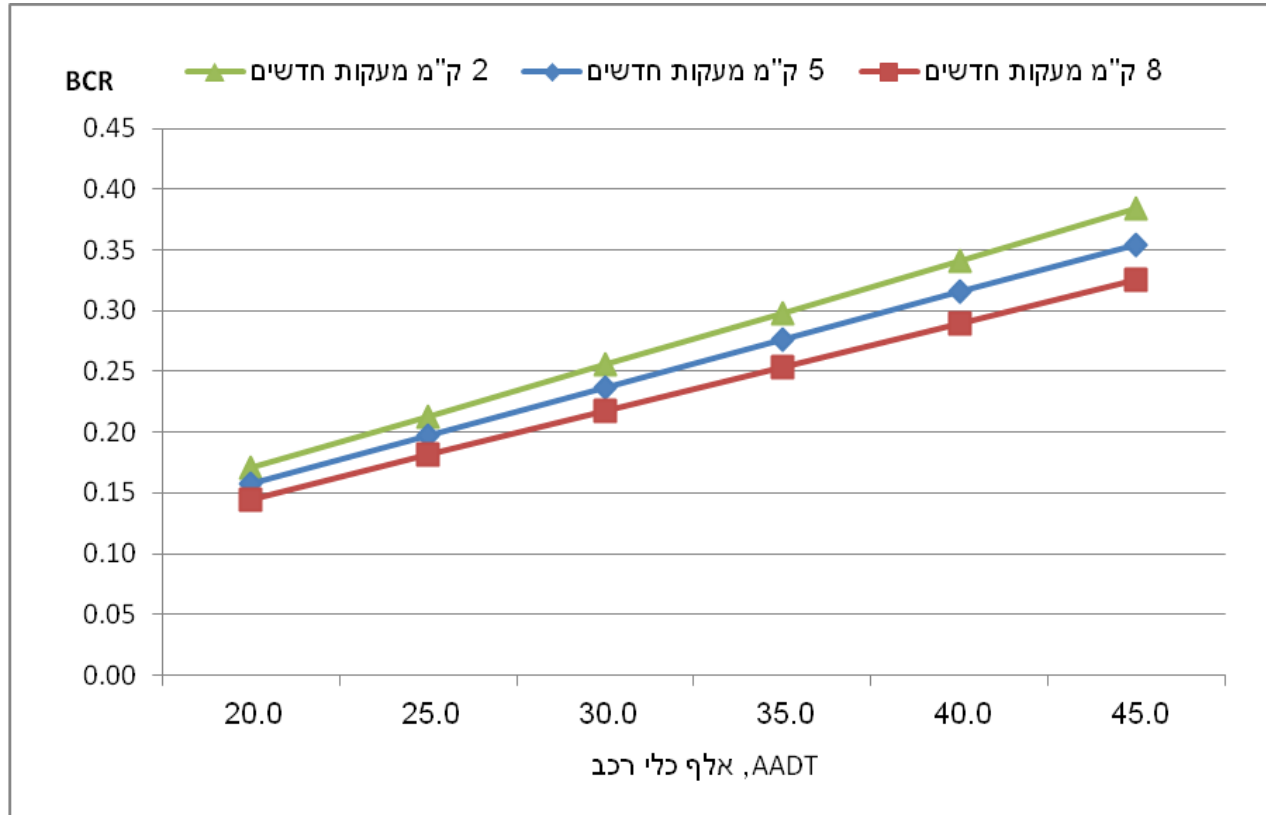
הערכת תועלת-עלות של המעקות החדשים **לעומת המעקות הישנים**.
הן התועלת הבטיחותית והן עלות השיפור מוערכות **יחסית למעקות הישנים**,
מתוך הנחה שמעקה בטיחות בכל מקרה צריך להיות מותקן באתר הנבחן

4. הערכה כלכלית: אומדנים נדרשים

סוג אומדן	ערך
א. תוספת עלות בגין התקנת המעקות החדשים	לפי כתב כמויות של המפרט הכללי: דגמי המעקות ברמות תפקוד H1-N2 או H2-H1 (ESP, EDSP, DDSP, OBB) לעומת W הישן
ב. מספר התאונות שהיה צפוי ללא המעקות החדשים	לפי המודלים
ג. אחוז ירידה בתאונות שמזוהה עם התקנת המעקות החדשים	לפי המודלים - מספר התאונות הצפוי עם נוכחות המעקות החדשים, מספר התאונות הצפוי ללא המעקות החדשים וההפרש ביניהם
ד. עלות תאונה ממוצעת	לפי נוהל פר"ת דוגמא: תאונה חמורה עם רכב יחיד בקטע דרך לא עירונית - 2,410,061 ₪ (במחירי ינואר 2009)
ה. מסגרת כלכלית להערכה - אורך חיי המעקה, שער ריבית להיוון	20 שנה, 7%

4. הערכה כלכלית: ממצאים

מקרה 1: החיסכון בתאונות החמורות עם רכב יחיד, בדרכים הדו-מסלוליות יחס תועלת-עלות בגין החיסכון בתאונות בעקבות התקנת המעקות החדשים בצדי הדרך, בתלות בנפח התנועה ובאורך המעקות החדשים - קטע באורך 10 ק"מ



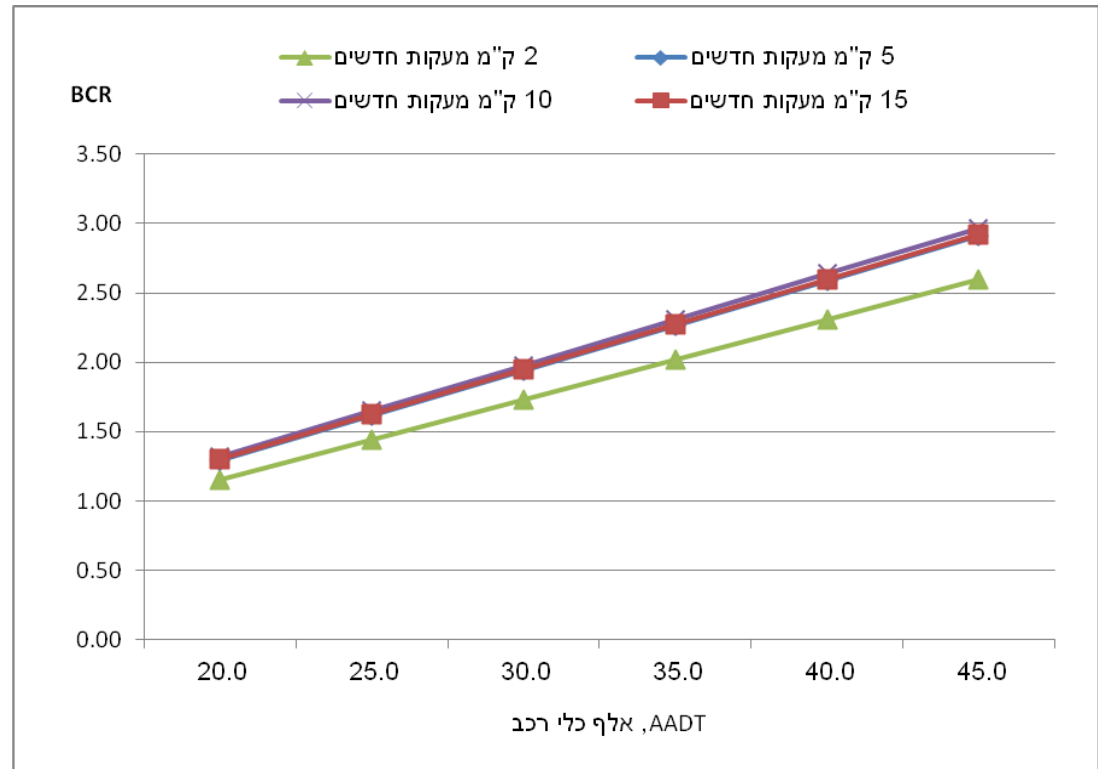
⇐ התועלת הכלכלית של החיסכון בתאונות אינה מספיקה לקבלת כדאיות כלכלית

4. הערכה כלכלית: ממצאים

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

הערכה בבסיס הנתונים של מחקר: 110 קטעים עם המעקות החדשים. מספר התאונות הצפוי בקטעים אלה, בשנה: 552 ללא המעקות החדשים, 470 עם המעקות החדשים, ירידה של 15%

יחס תועלת-עלות בגין החיסכון בתאונות בעקבות התקנת המעקות החדשים בצדי הדרך, בתלות בנפח התנועה ובאורך המעקות החדשים - קטע באורך 20 ק"מ



החיסכון בכלל התאונות עם נפגעים בעקבות התקנת המעקות החדשים בצדי דרכים דו-מסלוליות גבוה <<< כדאיות כלכלית של התקנת המעקות החדשים בדרכים הדו-מסלוליות

4. הערכה כלכלית: ממצאים

מקרה 3: החיסכון בתאונות רכב יחיד עם רכב כבד, בדרכים החד-מסלוליות מודל מסביר להערכת מספר צפוי של תאונות רכב יחיד עם רכב כבד בקטע דרך חד-מסלולית, בתלות בנוכחות המעקות החדשים בצדי הדרך:

Parameter	DF	Estimate
Intercept	1	0.027385
FINAL_LR 0	1	-0.002523
FINAL_LR 1	1	-0.061318
FINAL_LR 2	1	-0.032707
FINAL_LR 3	1	-0.067167
FINAL_LR 4	1	-0.010844
FINAL_LR 5	0	0
C_LR_EURO_Length_max	1	0.091750

קטעים עם נוכחות המעקות

החדשים

לעומת

אורך המעקות החדשים

הערכה בבסיס הנתונים של מחקר: 82 קטעים עם המעקות החדשים.

בחלק ניכר מהקטעים מספר התאונות הצפוי בנוכחות המעקות החדשים גבוה יותר מאשר במצב ללא המעקות \Leftarrow **לא ניתן להדגים תועלת בטיחותית מהתקנת המעקות החדשים בדרכים החד-מסלוליות**

מסקנות המחקר

1. הגישה שננקטה 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 וגם בישראל. תוצאות מחקרים אלה, לרוב, **תמכו בשימוש במעקות ברמות תפקוד גבוהות יותר** בסוגי דרכים **מההיררכיה הגבוהה ביותר**, בתנאי נפח תנועה גבוה ולעיתים, בתוספת תנאים מחמירים (מדרון תלול; אחוז ניכר של משאיות).
4. במחקר הנוכחי **נמצאה תועלת בטיחותית** ברורה מהתקנת המעקות החדשים בדרכים **הדו-מסלוליות**. התועלות הבטיחותיות והכלכליות שנמצאו במחקר **תומכות במעבר לדור החדש של מעקות הבטיחות בדרכים הדו-מסלוליות בישראל**.
5. לעומת זאת, עבור הדרכים **החד-מסלוליות**, לא נמצאו הוכחות לכדאיות בטיחותית וכלכלית של התקנת המעקות החדשים, בדומה לממצאי המחקר הקודם בארץ והמחקרים בחו"ל. יש מקום להמשיך ולבדוק נושא זה.