

מחקרים חדשים בתחום הבטיחות בדרכים - יום עיון 10.10.13

# הערכת יעילות ותרומה בטיחותית של פרויקט מוקדי סיכון של החברה הלאומית לתשתיות תחבורה



ד"ר ויקטוריה גיטלמן  
אינג' רובי כרמל  
גב' פאני פיסחוב

נתיבי ישראל - החברה הלאומית לתשתיות תחבורה



# רקע

מטרה: הערכת יעילות של פרויקט מוקדי סיכון - שיפורים בטיחותיים בתשתית שבוצעו בשנים 2007-2009

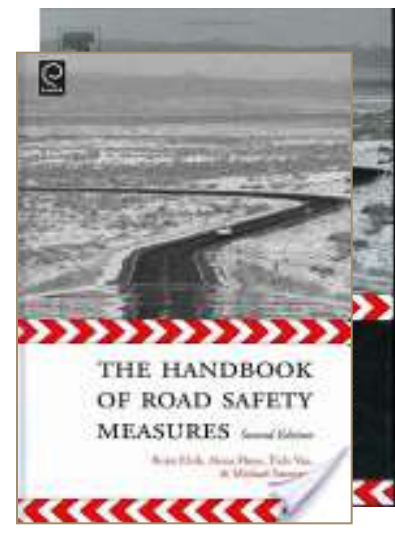
**יעילות:** תרומה של שיפור תשתית לצמצום מספר ו/או חומרה של תאונות דרכים  
**אפקט בטיחותי** = % הפחתה בתאונות בעקבות הטיפול (מקדם שינוי בתאונות)  
**הערכת אפקט בטיחותי** = בחינת מצב התאונות אחרי הטיפול לעומת לפני (בניכוי גורמים אחרים)



# רקע: מחקרים קודמים



בארץ



בחו"ל

# שלבי המחקר

<ul style="list-style-type: none"><li>•מידע על שיפורי תשתית שבוצעו לטיפול במוקדי סיכון בשנים 2007, 2008, 2009 (רשימות ודוחות)</li><li>•הקמת מאגר מידע (הצלבות)</li><li>•לכל פרויקט: (1) סוג השיפור שיושם, (2) מיקום האתר המטופל ו-(3) תקופת ביצוע הפרויקט בשטח</li></ul>	<b>א. איסוף והסדרת מידע</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>•בדיקות, השלמות וסיווגים</li><li>•קביעת סוגי השיפורים להמשך הערכה כולל: רשימת האתרים, קבוצות ביקורת, סוגי התאונות לניתוח, תקופות ניתוח</li></ul>	<b>ב. טיוב והשלמת המידע</b>
<p>הערכת מקדמי שינוי בתאונות בעקבות סוגי טיפולים שונים, עבור סוגי תאונות שונים</p>	<b>ג. ניתוח נתוני התאונות</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>•קביעת מקדמי הפחתה בתאונות, לפי סוגי השיפורים בתשתית, תוך כדי השוואה עם הניסיון הבינלאומי והניסיון הקודם בארץ</li><li>•הערכת החיסכון בתאונות שהושג בעקבות הטיפול במוקדי הסיכון בשנים 2007-2009 ושל ערך הכלכלי</li></ul>	<b>ד. פיתוח ערכים מסכמים</b>

# זיהוי סוגי טיפולים - שיפורי תשתית להערכה בטיחותית

## בקטעי דרכים

מספר אתרים בקבוצה	סוג שיפור תשתית	קוד קבוצה
1	הסדרת עקום	1
2	הרחבה לדו-מסלולי	2
1	התקנת מעקה מפרדה, הסדרת מדרכות	3
1	ריבוד, שיפורים גיאומטריים בקטע	4
2	בניית הפרדה בקטע עירוני	5
5	התקנת מעקות - הפרדה קשיחה בקטע חד-מסלולי	6
7	טיפול משולב: מעקות, סימון מיסעה/תמרור	7
12	טיפול משולב: ריבוד, סימון מיסעה, מעקות	8
5	טיפול משולב: מעקות, ריבוד, שוליים	9
2	טיפול משולב: שילוט, עבודות מיסעה, שוליים	10
1	טיפול משולב: ריבוד, סופגי אנרגיה, מעקות	11
1	טיפול מיסעה, סימון, עיני חתול	12
1	שיפורי תמרור	13
<b>41 אתרים</b>	<b>סה"כ</b>	



# זיהוי סוגי טיפולים - שיפורי תשתית להערכה בטיחותית

## בצמתים



מספר אתרים בקבוצה	סוג שיפור תשתית	קוד קבוצה
9	מעגל תנועה	1
14	רמזור צומת	2
30	הסדרת צומת	3
4	הסדרת תמרורים בצומת*	4
11	החלפת עדשות בלדים (בלבד)	5
3	ריבוד בצומת*	6
7	ריבוד, טיפול במעקות*	7
2	טיפול בשוליים*	8
2	שינוי תוכנית רמזור*	9
1	הסדרת מדרכות, שילוט	10
1	הרחבת צומת	11
9	טיפול במעקות באזור הצומת	12
2	טיפול מיסעה	13
1	הוספת גדרות הולכי רגל*	14
1	הסדרה ליד מעגל תנועה	15
<b>97 אתרים</b>	<b>סה"כ</b>	

\* לעתים, בתוספת טיפולים קלים כגון: החלפת עדשות בלדים

# זיהוי סוגי טיפולים - שיפורי תשתית להערכה בטיחותית

## במחלפים



קוד קבוצה	סוג שיפור תשתית	מספר אתרים בקבוצה
1	הסדרת צומת במחלף	1
2	הקמת גשר	1
3	הקמת מעגלי תנועה במחלף	1
4	טיפול במעקות*	2
5	רמזור צומת במחלף	1
6	ריבוד רמפות*	4
	סה"כ	10 אתרים

\* לעתים, בתוספת טיפולים קלים כגון: החלפת עדשות בלדים

## סיכום

בחינת השינויים בתאונות בעקבות השיפורים בתשתית התייחסה:  
 ל- 13 סוגי שיפורים ב-41 קטעי דרכים  
 ל- 15 סוגי שיפורים ב-97 צמתים  
 ל- 6 סוגי שיפורים ב-10 מחלפים  
 סה"כ: 34 סוגים של שיפורי תשתית ב-148 אתרים.



# שיטת הערכה

"אינדקס האפקטיביות" ( $\theta$ ):

מבטא את היחס בין המצב "אחרי" הטיפול לעומת מה שצפוי היה לולא הטיפול\*

כאשר  $\theta > 1$  פירושו שהטיפול היה אכן אפקטיבי.

\* השינוי שהיה קורה לולא הטיפול בקבוצת הטיפול נלמד מהשינוי שחל בתקופת "אחרי" לעומת "לפני" בקבוצת ביקורת. לפיכך, יחס האפקטיביות ישווה את המצב "אחרי" לעומת "לפני" בקבוצת הטיפול לעומת קבוצת הביקורת:

Odds Ratio:

$$\theta = \underbrace{(Xa / Xb)}_{\text{מצפוי}} / \underbrace{(Ca / Cb)}_{\text{מאירוע}}$$

$Xa$  - מספר התאונות בתקופה אחרי הטיפול באתר הטיפול

$Xb$  - מספר התאונות בתקופה לפני הטיפול באתר הטיפול

$Ca$  - מספר התאונות בתקופה אחרי הטיפול בקבוצת הביקורת

$Cb$  - מספר התאונות בתקופה לפני הטיפול בקבוצת הביקורת



## שיטת הערכה (2)

שקלול האפקט על פני כל אתרי הטיפול:

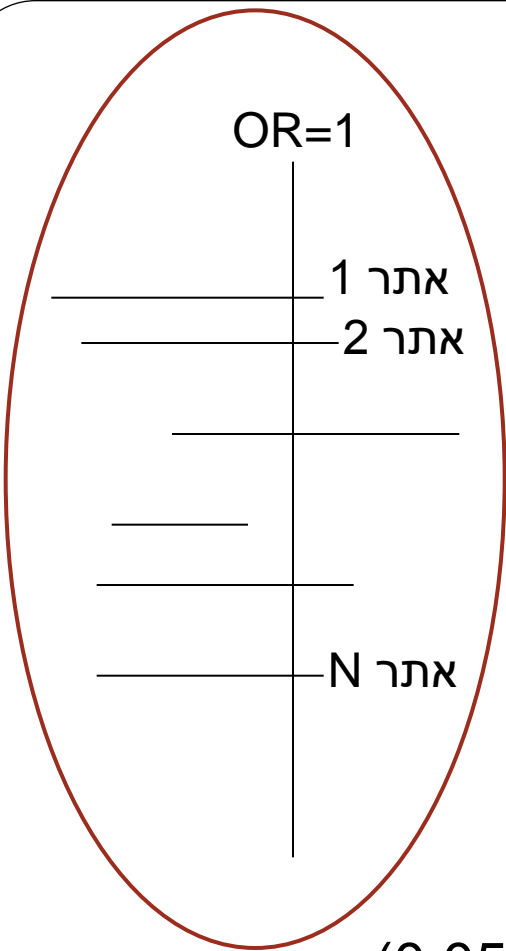
$$\text{Weighted mean effect (WME)} = \exp\left(\frac{\sum_i w_i \ln(\theta_i)}{\sum_i w_i}\right)$$

$$w_i = \frac{1}{\text{VAR}(\ln(\theta_i))} = \frac{1}{\frac{1}{X_a^i} + \frac{1}{X_b^i} + \frac{1}{C_a^i} + \frac{1}{C_b^i}}$$

ורוח סמך ל-WME ברמת ביטחון של 95% (רמת מובהקות 0.05).

*כאשר WME ושני גבולות רוח הסמך שלו נמוכים מ-1, הטיפול מתקשר עם ירידה מובהקת בשכיחות התאונות.*

גודל השינוי שנצפה בתאונות:  $(1 - \text{WME}) * 100\%$ .



# פירוט ההערכות שבוצעו: דוגמא לקטעי דרכים

**עבור כל סוג שיפור בתשתית:**

☐ בחינה של 3 סוגי תאונות

(א) סה"כ התאונות עם נפגעים (ת"ד)

(ב) תאונות חמורות (קשות וקטלניות ביחד)

(ג) כלל התאונות: ת"ד + "כללי עם נפגעים"

☐ **קבוצת ביקורת:** קטעי דרכים חד-מסלוליות או דו-מסלוליות, בתקופות

הרלוונטיות

☐ **בדיקה רגישות:** התחשבות בתופעת הרגרסיה לממוצע (מודלים מ-מנ"ב)

# דוגמא 1: הרחבת קטע דרך חד-מסלולית לדו-מסלולית



## אתרים

תקופת "אחרי"	תקופת "לפני"	תקופת ביצוע בשטח	ק"מ	דרך
2010-2011	2004-2006	2007-2009	66-77	70
2009-2011	2004-2006	2007-2008	24-25	85

## ממצאים

משמעות	אחוז שינוי בתאונות, רווח סמך	סוג תאונות
ירידה	-34% [-49% ; -13%]	סך התאונות עם נפגעים (ת"ד)
מגמת ירידה	-22% [-62% ; +63%]	תאונות חמורות
ירידה	-31% [-41% ; -19%]	כלל התאונות: ת"ד + "כללי עם נפגעים"
ירידה	-32% [-48% ; -11%]	בדיקת רגישות*: סך התאונות עם נפגעים
מגמת ירידה	-17% [-60% ; +74%]	בדיקת רגישות*: תאונות חמורות

\* לאחר התחשבות בתופעת הרגרסיה לממוצע

## דוגמא 2: התקנת מעקות - הקמת הפרדה קשיחה, בדרך חד-מסלולית

### אתרים

תקופת "אחרי"	תקופת "לפני"	תקופת ביצוע	ק"מ	דרך
2008-2010	2004-2006	2007	19-21	66
7/2009-2011	2008	2009 1-6	28.3-30.2	66
2008-2010	2004-2006	2007	35-38	75
2009-2011	2005-2007	2008	20-23	805

### ממצאים

משמעות	אחוז שינוי בתאונות, רווח סמך	סוג תאונות
ירידה	-61% [-74% ; -42%]	סך התאונות עם נפגעים (ת"ד)
ירידה	-71% [-89% ; -20%]	תאונות חמורות
ירידה	-23% [-40% ; -2%]	כלל התאונות: ת"ד + "כללי עם נפגעים"
ירידה	-50% [-68% ; -24%]	בדיקת רגישות*: סך התאונות עם נפגעים
מגמת ירידה	-49% [-83% ; +53%]	בדיקת רגישות*: תאונות חמורות

\* לאחר התחשבות בתופעת הרגרסיה לממוצע \*\* מיעוט נתונים

# דוגמא 3: הקמת מעגל תנועה בצומת לא מרומזר, 3 זרועות

## אתרים

שם צומת	כביש	תקופת ביצוע	תקופת "לפני"	תקופת "אחרי"
טירה	554	2009 6-11	2006-5/2009	12/2009-2011
חניתה	899	2008	2005-2007	2009-2011
המגרסות	3965	2008	2005-2007	2009-2011
כניסה לכפר מנדא	784	2008 7-12	2005-6/2008	2009-2011
כניסה לפארדיס	4	2009	2006-2008	2010-2011
אבו סנאן	70	2009 1-6	2006-2008	7/2009-2011
שאן	90	2009 1-6	2006-2008	7/2009-2011
צומת תל מונד	553	2009 1-6	2006-2008	7/2009-2011
גבעת עדה	652	2009 1-6	2006-2008	7/2009-2011

## ממצאים

משמעות	אחוז שינוי בתאונות, רווח סמך	סוג תאונות
ירידה	<b>-52%</b> [-71% ; -21%]	סך התאונות עם נפגעים (ת"ד)
אין ממצא, מיעוט נתונים	<b>+27%</b> [-68% ; +406%]	תאונות חמורות
מגמת ירידה	<b>-17%</b> [-42% ; +18%]	כלל התאונות: ת"ד + "כללי עם נפגעים"



# דוגמא 4: ריבוד בצומת והחלפת עדשות בלדים (צומת מרומזר)

## אתרים

שם צומת	כביש	תקופת ביצוע	תקופת "לפני"	תקופת "אחרי"
כרמיאל מערב	85/784	2008 6-7	2005-2007	2009-2011
כרמיאל	85/854	2008 6-7	2005-2007	2009-2011
ערערה	65	2009 1-3	2006-2008	4/2009-2011



## ממצאים

משמעות	אחוז שינוי בתאונות, רווח סמך	סוג תאונות
מגמת עליה	+8% [-32% ; +72%]	סך התאונות עם נפגעים (ת"ד)
אין ממצא; מעוט נתונים	+17% [-86% ; +868%]	תאונות חמורות
מגמת עליה	+7% [-22% ; +46%]	כלל התאונות: ת"ד + "כללי עם נפגעים"

# סיכום לממצאי הערכות של שיפורי תשתית - בקטעי דרכים (דוגמאות)

סוג שיפור בתשתית	בסך התאונות עם נפגעים	בכלל התאונות
הרחבת קטע דרך חד-מסלולי לדו-מסלולי	-32% [-48% ; -11%]	-31% [-41% ; -19%]
בניית הפרדה בקטע עירוני	ללא שינוי	-53% [-66% ; -37%]
התקנת מעקות - הפרדה קשיחה, בקטע חד-מסלולי	-50% [-68% ; -24%]	-23% [-40% ; -2%]
טיפול משולב: טיפול במעקות, סימון מיסעה/תמרור, בקטע דו-מסלולי	ללא שינוי	-14% [-22% ; -6%]
טיפול משולב: ריבוד, סימון מיסעה, טיפול במעקות, בקטע חד-מסלולי	-16% [-29% ; -1%]	-20% [-28% ; -11%]
טיפול משולב: ריבוד, סימון מיסעה, טיפול במעקות, בקטע דו-מסלולי	-23% [-30% ; -16%]	ללא שינוי
טיפול משולב: שילוט, עבודות מיסעה, שוליים, בקטע חד-מסלולי	מגמת ירידה, ל.מ.	מגמת ירידה, ל.מ.
טיפולי מיסעה, סימון, עיני חתול, בקטע דרך חד-מסלולית	ללא שינוי	-23% [-38% ; -5%]

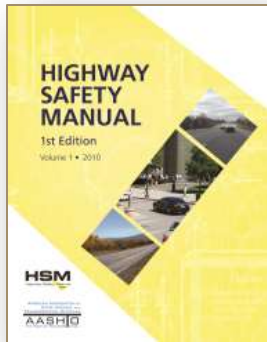
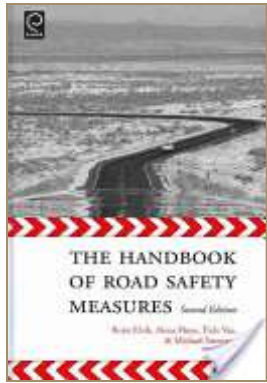
# סיכום לממצאי הערכות של שיפורי תשתית – בצמתים (דוגמאות)

בכלל התאונות	בסך התאונות עם נפגעים	סוג שיפור בתשתית
מגמת ירידה	-52% [-71% ; -21%]	מעגל תנועה
עליה	-29% [-49% ; -2%]	רמזור צומת
עליה	ללא שינוי	הסדרת צומת מרומזר
ירידה	ללא שינוי	הסדרת תמרורים בצומת
מגמת עליה	מגמת ירידה	החלפת עדשות בלדים, בצומת מרומזר
מגמת עליה	מגמת עליה	ריבוד בצומת והחלפת עדשות בלדים בצומת מרומזר
ירידה	-20% [-38% ; +2%]	ריבוד וטיפול במעקות, בצומת מרומזר
ירידה	-28% [-43% ; -9%]	טיפול במעקות באזור הצומת, בצמתים מרומזרים
ירידה	-50% [-68% ; -20%]	טיפול מיסעה, בצומת מרומזר





# השוואה עם ממצאי הספרות: שינוי בתאונות בקטעי דרכים



ע"פ הספרות הבינלאומית: (1) Elvik et al (2009) (2) HSM (2010) (3) Austroads (2010) (2012)	ע"פ מחקרים קודמים בארץ	במחקר זה: שינוי בכלל התאונות	במחקר זה: שינוי בתאונות עם נפגעים	סוג שיפור בתשתית
(1) -51 (-33, -65)	-40% מובהק	-31% מובהק	-32% מובהק	הרחבת קטע דרך חד-מסלולי לדו- מסלולי
(1) התקנת מעקה מפרדה: -15 (-1, -27) (2) התקנת מעקה מפרדה: 0.1, 0.61 (3) התקנת מעקה מפרדה: -40 (גבוה)	-29% לא מובהק	-23% מובהק	-50% מובהק	התקנת מעקות - הפרדה קשיחה, בקטע חד- מסלולי

## השוואה עם ממצאי הספרות: שינוי בתאונות בצמתים

ע"פ מחקרים קודמים בארץ	ע"פ הספרות הבינלאומית:	במחקר זה: שינוי בכלל התאונות	במחקר זה: שינוי בתאונות עם נפגעים	סוג שיפור בתשתית
	Elvik et al (1) (2009) (2010) HSM (2) Austroads (3) (2012, 2010)			
	(-43, -29) -36 (1) .0.05, 0.56 (2) (-70) (גבוה) (3)	מגמת ירידה -44% לא מובהק	-52% מובהק	מעגל תנועה
	(1) ריבוד: -4 -13, ;(+6 החלפת מעקה לפחות קשיח: -32 (-42, -20). (2) החלפת מעקה לפחות קשיח: 0.68, .0.1	לא נמצא -19% מובהק	-20% מובהק גבולית	ריבוד וטיפול במעקות, בצומת מרומזר

# ערכים מסכמים של מקדמי ירידה בתאונות: בקטעי דרכים

סוג שיפור בתשתית	% שינוי בתאונות עם נפגעים	% שינוי בכלל התאונות
הרחבת קטע דרך חד-מסלולי לדו-מסלולי	-32%	-31%
הפיכה לדו-מסלולי של קטע דרך חד-מסלולית שחוצה שטח עירוני	--	-53%
התקנת מעקות - הפרדה קשיחה, בקטע חד-מסלולי	-50%	-23%
טיפול משולב: טיפול במעקות, סימון מיסעה/ תמרור, בקטע חד-מסלולי	--	-13%
טיפול משולב: טיפול במעקות, סימון מיסעה/ תמרור, בקטע דו-מסלולי	--	-14%
טיפול משולב: ריבוד, סימון מיסעה, טיפול במעקות, בקטע חד-מסלולי	-16%	--
טיפול משולב: ריבוד, סימון מיסעה, טיפול במעקות, בקטע דו-מסלולי	-23%	--
טיפול משולב: טיפול במעקות, ריבוד, שוליים, בקטע חד-מסלולי	-12%	-19%
טיפול משולב: ריבוד, התקנת סופגי אנרגיה, טיפול במעקות, בקטע דרך דו-מסלולית*	--	-17%
טיפול מיסעה, סימון, עיני חתול, בקטע דרך חד-מסלולית *	--	-23%

\* נדרש המשך מעקב

# ערכים מסכמים של מקדמי ירידה בתאונות - המשך

סוג שיפור בתשתית		
% שינוי בכלל התאונות	% שינוי בתאונות עם נפגעים	
<b>שיפורי תשתית בצמתים</b>		
--	-52%	מעגל תנועה
**	-29%	רימזור צומת
-36%	--	הסדרת תמרורים בצומת *
-19%	-20%	ריבוד וטיפול במעקות, בצומת מרומזר
-11%	-28%	טיפול במעקות באזור הצומת, בצמתים מרומזרים
-25%	-50%	טיפול מיסעה, בצומת מרומזר*
<b>שיפורי תשתית במחלפים</b>		
--	-72%	הקמת מעגלי תנועה במחלף*
-28%	--	טיפול במעקות *
--	-23%	ריבוד רמפות *

סה"כ: 19 סוגי שיפורים  
ב-86 אתרים

# מספרי התאונות שנחסכו, מדי שנה, בעקבות שיפורי התשתית שמזוהים עם מקדמי ירידה בתאונות

כלל התאונות: ת"ד + כללי	תאונות עם נפגעים	סוג שיפור בתשתית
<b>שיפורי תשתית בקטעי דרכים</b>		
59	18	הרחבת קטע דרך חד-מסלולי לדו-מסלולי
18	--	טיפול משולב: טיפול במעקות, סימון מיסעה/ תמרור, בקטע חד-מסלולי
--	88	טיפול משולב: ריבוד, סימון מיסעה, טיפול במעקות, בקטע דו-מסלולי
104	--	טיפול משולב: ריבוד, התקנת סופגי אנרגיה, טיפול במעקות, בקטע דרך דו-מסלולית
...	...	...
<b>427</b>	<b>153</b>	<b>סה"כ בקטעי דרכים (34 אתרים)</b>
<b>77,659,993</b>	<b>27,898,017</b>	<b>ערך כלכלי של התאונות הנחסכות, ₪</b>

<b>שיפורי תשתית בצמתים</b>		
89	54	סה"כ בצמתים (45 אתרים)
16,220,707	9,779,507	ערך כלכלי של התאונות הנחסכות, ₪

<b>שיפורי תשתית במחלפים</b>		
15	17	סה"כ במחלפים (7 אתרים)
2,725,516	3,074,673	ערך כלכלי של התאונות הנחסכות, ₪

<b>531</b>	<b>224</b>	<b>סה"כ כולל (ב-86 אתרים): מספר תאונות נחסכות, בשנה</b>
<b>96.6</b>	<b>40.8</b>	<b>ערך כלכלי של התאונות הנחסכות, מיליון ₪</b>

## סיכום לממצאי המחקר

□ מקדמי ירידה בתאונות התקבלו עבור **19 סוגים** של שיפורי תשתית ב-86 אתרים, לרבות 34 קטעי דרכים, 45 צמתים, 7 מחלפים

□ תוכנית הטיפול באתרי תורפה התקשרה עם **חיסכון שנתי של 224 תאונות עם נפגעים ו-531 כלל התאונות (ת"ד+כללי)**, כאשר ערכן הכלכלי של תאונות אלה מגיע ל-41 ו-97 מיליון ₪, מדי שנה\*

□ תוכנית הטיפול באתרי תורפה התקשרה עם **חיסכון שנתי של 11 הרוגים, 36 נפגעים קשה, 555 נפגעים קל, או סה"כ 602 נפגעים בתאונות, מדי שנה**

➤ שימוש נוסף במקדמי ירידה בתאונות: לעדכון בסיס הידע של המנ"ב, הערכות בטיחות

➤ ערכים חסרים - להמשך מעקב



\* שני האומדנים אינם משלימים, להמחשה בלבד