



משרד התחבורה והבטיחות בדרכים  
מינהל היבשה/אגף תכנון תחבורתי



# הנחיות לקביעת מהירויות ברשת הדרכים

אב תש"ע – יולי 2010



אמי-מתום – מהנדסים ויועצים בע"מ



משרד התחבורה  
והבטיחות בדרכים  
המשנה למנהל הכללי

ט' באדר, התש"ע  
23 פברואר 2010

סימוכין: 02265010  
תיק: 4.6.1

### הנחיות לקביעת מהירויות ברשת הדרכים בישראל

מהירות הנסיעה בדרך היא אחד המאפיינים החשובים ביותר בכל שלבי התכנון, התפעול והאחזקה של רשת הדרכים. המהירות קשורה להגדרת המדרג התפקודי של הדרכים, המאפיינים הפיסיים והסדרי התנועה בדרך.

למהירויות הנסיעה בפועל יש השלכות רבות, מהירויות נסיעה גבוהות יותר מקצרות, מחד, את זמני הנסיעה ובכך תורמות להתפתחות הכלכלית. מאידך למהירויות גבוהות יש השלכות על הבטיחות, איכות הסביבה ואיכות החיים באזורים עירוניים.

הנחיות אלו אמורות לשרת את קובעי המדיניות ומקבלי ההחלטות ברשויות התימורר לסוגיהן, את המתכננים, רשויות האכיפה וגורמים רבים נוספים.

אנו מתכוונים להמשיך במאמץ המתמשך בהבאת המידע העדכני והמקיף ביותר לעוסקים בתחום התחבורה, במגמה להשיג מערכת תחבורה ישראלית טובה יותר.

בכבוד רב,

אלכס לנגר



”מי שרוכב במהירות, אינו בטוח מן המכשול”<sup>1</sup>

רבי שלמה אבן גבירול

## צוות העבודה

### ראש הצוות

אינג' רן זילברשטיין

### הנדסת תנועה ודרכים

פרופ' דורון בלשה

ד"ר בני פרישר

אינג' רותי בן-זינו

אינג' דותן ריגלר כהן

### בטיחות בדרכים

ד"ר ויקטוריה גיטלמן

פרופ' שלום הקרט

### סטטיסטיקה

ד"ר אטי דובא

### הנדסת אנוש

ד"ר דוד זיידל

### כלכלת תחבורה

מר אהוד חסון

## ועדת היגוי

אינג' ישעיהו רונן – מנהל אגף בכיר תכנון תחבורתי, מת"ח – **יו"ר הועדה**  
פרופ' משה ליבנה – חב' ל.ק.י. מהנדסים  
ד"ר דן לינק – מנהל אגף בכיר תו"מ, הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים  
מר ערן כהן – רכז תחבורה משרד האוצר  
רפ"ק אינג' יוני גיז – מהנדס תנועה ראשי באת"ן, משטרת ישראל  
רפ"ק אינג' ערן סדן – סגן מהנדס תנועה ראשי באת"ן, משטרת ישראל  
אינג' אדולפו וורוביוף – מנהל אגף התכנון בחברה הלאומית לדרכים  
אינג' שקר נחלה – מנהל אגף הבטיחות בחברה הלאומית לדרכים  
אינג' ראובן לב און – מהנדס ראשי חב' כביש חוצה ישראל  
אינג' עירית רחמני – ראש מינהל תכנון, חברת נתיבי איילון  
אינג' דורון מגיד – מנכ"ל חב' יפה נוף, חיפה  
מר רובי רון – מנכ"ל בפועל חברת מוריה, ירושלים  
אינג' אפרים וינהבר – איגוד המהנדסים, ת"א  
אינג' אילן מרכוס – חב' אופק הנדסה  
אדר' דורון צפריר – חב' פרחי-צפריר אדריכלים  
אינג' מריה כהן אתגר – מהנדסת תנועה, מת"ח  
אינג' יעקב פרלשטיין – מנהל אגף תכנון מחוזות ת"א והמרכז, מת"ח  
אינג' מריאן ברוק – מנהל אגף תכנון מחוזות חיפה והצפון, מת"ח  
מר ישי טלאור – מנהל אגף תכנון מחוזות ירושלים והדרום, מת"ח  
אינג' שלמה פלדמן – מנהל אגף תנועה, עיריית תל אביב-יפו  
אינג' קובי בר-טוב – מנהל אגף תושי"ה עיריית ירושלים  
אינג' מיכאל רביב – מנהל אגף דרכים, עיריית חיפה  
מר נועם קלוד גבריאלי – ראש תחום ייעוץ ומחקר, אגף תכנון תחבורתי, מת"ח  
אינג' ג'אבר עומר – מהנדס מחוז ירושלים והדרום, מת"ח  
מר ולדימיר סימון – אגף תכנון וכלכלה במשרד התחבורה  
מר זאב שדמי – ראש תחום מחקר ופיתוח טכנולוגי, המדען הראשי, מת"ח  
אינג' סימון בג'אלי – מהנדס תנועה בחברה הלאומית לדרכים  
מר חיים בונז'ק – יועץ כלכלי מטעם אגף תכנון וכלכלה במשרד התחבורה  
ד"ר ציפי לוטן – המדען הראשי של עמותת אור ירוק  
אינג' לב קרסילשיקוב – מנהל מרכז בקרה, חברת נתיבי איילון  
ד"ר קרוליין מטר – חברת ארם מהנדסים  
אינג' אהוד ליתן – נציג חברת כביש חוצה ישראל  
אינג' עופר סלעי – יועץ תחבורה  
גב' אסתר אלבאום-אהד – **מרכזת הוועדה**, מת"ח

# תוכן עניינים

III	רשימת טבלאות	III
V	רשימת תרשימים	V
1	פרק 1 – מבוא	1
1	1.1 רקע	1.1
2	1.2 ניהול מהירויות בישראל	1.2
3	1.3 מטרת העבודה	1.3
3	1.4 תכולת ההנחיות	1.4
5	פרק 2 – מערכת הקשרים בין המהירות לבין תכונות הדרך והתנועה	5
5	2.1 מערכת הקשרים בין המהירות לבטיחות	2.1
10	2.2 הקשר בין המהירות לניידות	2.2
11	2.3 הקשר בין המהירות לאיכות הסביבה	2.3
13	2.4 השפעת המהירות על תכנון מאפייני דרך שונים	2.4
13	2.4.1 השפעת המהירות על קביעת מרחקי הראות	2.4.1
14	2.4.2 הקשר בין המהירות לטופוגרפיית הדרך	2.4.2
17	2.5 הקשר בין גורמי אנוש למהירות	2.5
19	2.6 הקשר בין מהירות לבין משתמשי דרך שונים	2.6
19	2.6.1 המשתמשים הלא-מנועיים	2.6.1
21	2.6.2 משתמשי הדרך המנועיים	2.6.2
22	פרק 3 – השפעות כלכליות של מהירות הנסיעה	22
22	3.1 הפרמטרים לאמידת ההשפעה הכלכלית	3.1
22	3.2 ניתוח הפרמטרים המשפיעים על עלות הנסיעה	3.2
27	3.3 מהירות נסיעה מיטבית	3.3
32	3.4 סכום ומסקנות	3.4
34	פרק 4 – קביעת מהירויות היעוד והתכן	34
34	4.1 הגישה החדשה	4.1
34	4.1.1 התפישה הכללית	4.1.1
35	4.1.2 ניהול מהירויות – הרציונל	4.1.2
36	4.2 סוגי מהירויות בתהליך התכנון	4.2
38	4.3 מהירויות ייעוד מומלצות לפי סוגי דרכים	4.3
38	4.3.1 דרכים בין-עירוניות	4.3.1
41	4.3.2 דרכים עירוניות	4.3.2
44	4.4 קביעת מהירויות תכן	4.4

44	4.4.1 כללי
46	4.4.2 קביעת ערכים למהירויות תכן
47	4.5 התייחסות לדרכים חד-מסלוליות קיימות
<b>49</b>	<b>פרק 5 – הערכת עקביות התכן ועקרונות ניהול המהירות</b>
49	5.1 הבטחת עקביות והדרגתיות בתכן דרך
49	5.1.1 מבוא
49	5.1.2 שימוש במהירות להערכת עקביות התכן
50	5.1.3 חיזוי מהירות התפעול
51	5.1.4 קריטריונים להערכת עקביות התכן
53	5.1.5 מודלים ישראליים לבחינת עקביות התכן
54	5.1.6 הדרגתיות בקביעת מהירות תכן
55	5.2 ניהול מהירות ברשת הארצית וברשויות המקומיות
57	5.3 המהירות המרבית המותרת והאכיפה
<b>60</b>	<b>נספח א' – נימוקים לבחירת מהירויות הייעוד, לפי סוגי הדרכים</b>
60	א.1 דרך מהירה
67	א.2 דרך פרברית / מעויירת מהירה ודו-מסלולית ממוחלפת
67	א.3 דרך דו-מסלולית אחרת
68	א.4 דרכים חד-מסלוליות
<b>71</b>	<b>נספח ב' – קשר כמותי בין מהירות תכן וממ"מ – ריכוז ממצאי הספרות</b>
71	ב.1 ממצאים מהספרות המחקרית
75	ב.2 מהירויות תכן לעומת ממ"מ, במדינות נבחרות
<b>77</b>	<b>נספח ג' – הבטחת עקביות והדרגתיות בתכן דרך – דוגמא בכביש 65, כביש הסרגל ....</b>
77	ג.1 רקע
77	ג.2 שיעורי התאונות
78	ג.3 נתונים גיאומטריים
79	ג.4 מהירויות הנסיעה
79	ג.5 חיזוי מהירות התפעול
<b>83</b>	<b>מראי מקום</b>
<b>86</b>	<b>רשימת תוצרי הצוות שהוגשו לוועדת ההיגוי</b>
<b>87</b>	<b>מקורות נוספים</b>

## רשימת טבלאות

טבלה 2.1:	יישום "מודל העוצמה" לסוגי דרך שונים.....	9
טבלה 2.2:	ממוצע המזהמים של מכוניות, בתנאי נהיגה רגילה ותוקפנית .....	13
טבלה 2.3:	ערכי תכן למרחק ראות מזערי לעצירה.....	15
טבלה 2.4:	ערכים תכנוניים לפרמטרים הבסיסיים בעקום אופקי למהירויות התכן השונות.	16
טבלה 2.5:	ערכי תכן עבור הרדיוסים המזעריים למהירויות התכן השונות.....	16
טבלה 2.6:	ערכי השיפועים המרביים לאורך בסוגי הדרכים השונות.....	17
טבלה 3.1:	התפלגות מטרות הנסיעה לפי תקופות יום.....	23
טבלה 3.2:	ערך זמן נוסעים (במחירי 12.2004).....	23
טבלה 3.3:	טבלת הפרמטרים.....	24
טבלה 3.4:	שיעורי עלויות רלבנטיים לכל נקודת מבט .....	27
טבלה 3.5:	תוצאות הערכת מגבלת המהירות הכלכלית המיטבית בנורבגיה.....	30
טבלה 3.6:	תוצאות הערכת מגבלת המהירות המיטבית בשבדיה.....	31
טבלה 4.1:	מהירויות ייעוד / מהירויות מרביות מותרות מומלצות בדרכים הבין-עירוניות....	39
טבלה 4.2:	תחום מהירויות ייעוד וממ"מ מומלצות לרכב פרטי בסוגי דרכים בין-עירוניות...	40
טבלה 4.3:	תפקוד תנועת ומהירות הייעוד ב"כרטיס הדיוקן".....	43
טבלה 4.4:	מהירויות ייעוד וממ"מ מומלצות בסוגי דרכים עירוניות.....	44
טבלה 4.5:	תחומים מומלצים של מהירויות התכן לפי סוגי הדרכים הבין-עירוניות.....	47
טבלה 5.1:	קריטריונים להערכת עקביות בתכן דרך.....	52
טבלה 5.2:	קריטריון לבחינת עקביות התכן של דרכים בישראל.....	54
טבלה א.1:	הרוגים, נסועה ומדד הרוגים לנסועה בדרכים מהירות, במדינות אירופה וישראל, בשנת 2006.....	61
טבלה א.2:	הרוגים, אורך דרכים, נסועה ומדד הרוגים לנסועה, בדרכים הבין-עירוניות בישראל, בשנים 2004-2006.....	63
טבלה א.3:	יישום "מודל העוצמה" לסוגי דרך שונים: שינויים צפויים במספרי תאונות ברמות חומרה שונות בעקבות שינויי מהירות.....	64
טבלה א.4:	אפקטים בטיחותיים שהתקשרו עם העלאת הממ"מ ב-10 מייל לשעה בדרכים מהירות בארה"ב.....	64
טבלה א.5:	ממ"מ לרכב פרטי בדרכים מהירות של מדינות ה-OECD.....	65
טבלה א.6:	ממ"מ לרכב פרטי בדרכים בין-עירוניות של מדינות ה-OECD.....	69
טבלה א.7:	מהירויות בטוחות עבור סוגי דרך שונים בהולנד, בהתחשב בקונפליקטים אפשריים בין משתמשי דרך שונים.....	70

- טבלה ב.1: גורמים שמשמשים לבחירת מהירות התכן, ע"פ מקורות שונים ..... 73
- טבלה ב.2: ערכי מהירויות טיפוסיים שנבחרו לדרכים בין-עירוניות,  
על סמך סקר רשויות הדרך בארה"ב ..... 74
- טבלה ב.3: ערכי מהירויות תכן וממ"מ, בדרכים בין-עירוניות, במדינות נבחרות ..... 76
- טבלה ג.1: הערכת הקטע הנבחן מבחינת היותו מקום תורפה ..... 78

## רשימת תרשימים

6	תרשים 2.1: מרחקי עצירה נדרשים במהירויות שונות
6	תרשים 2.2: סיכון יחסי למעורבות בתאונות בתלות במהירות הנסיעה
7	תרשים 2.3: סיכון הנהג להיות מעורב בתאונה בתלות במהירות נסיעתו
	תרשים 2.4: הקשר בין שינוי במהירות הממוצעת לבין שינוי בתאונות,
8	ברמות חומרה שונות (Power model)
	תרשים 2.5: הקשר בין בחירת מהירות הנסיעה ומעורבות יחסית בתאונות:
9	סיכום מחקרים שונים
	תרשים 2.6: זרימת תנועה לנתיב כפונקציה של מהירות נסיעה,
11	בדרך עירונית מהירה (2X2 נתיבים)
12	תרשים 2.7: פליטות מזהמי רכב כפונקציה של המהירות
14	תרשים 2.8: רעש מנוע ורעש צמיגים כפונקציה של המהירות
15	תרשים 2.9: מערכת הכוחות בעת מעבר כלי-רכב בעקום
	תרשים 2.10: הסתברות לפגיעה קטלנית בהולך רגל בתלות במהירות
20	ההתנגשות עם כלי הרכב
23	תרשים 3.1: עלות זמן נוסעים למשק כפונקציה של המהירות
25	תרשים 3.2: עלויות תפעול כלי-רכב למשק
28	תרשים 3.3: סך עלויות למשק בדרכים מהירות ממוחלפות בנורבגיה
	תרשים 3.4: מהירות מרבית מיטבית בדרך גישה באזורי מגורים בנורבגיה בהתייחס לנקודת
30	המבט
37	תרשים 4.1: קשרי גומלין בין סוגי מהירות בתהליך התכנון
	תרשים א.1: מספר הרוגים למיליארד ק"מ נסיעה בדרכים מהירות בשנת 2006
62	במדינות אירופה וישראל
	תרשים א.2: מדד קטלניות הנסיעה (הרוגים למיליארד ק"מ-רכב) בישראל, בדרכים
68	מהירות לעומת דרכים ממוחלפות נבחרות, בשנים 1997 עד 2002

# פרק 1 – מבוא

## 1.1 רקע

מהירות הנסיעה בדרך היא אחד המאפיינים החשובים ביותר בכל שלבי התכנון, התפעול והאחזקה של רשת הדרכים. המהירות קשורה להגדרת המדרג התפקודי של הדרכים, המאפיינים הפיסיים והסדרי התנועה בדרך. למהירויות הנסיעה בפועל קיים קשר ישיר עם התרחשות התאונות בדרך וחומרתן. המהירות המרבית המותרת מכתיבה את התנהגות המשתמשים בדרך ואת הבסיס החוקי לאכיפת מהירות.

מהירויות נסיעה גבוהות יותר, מחד, מקצרות את זמני הנסיעה ובכך תורמות להתפתחות הכלכלית ולשיפור איכות החיים. מאידך, למהירויות גבוהות יש השפעות שליליות, בעיקר בהקשר של הרעת הבטיחות, פגיעה באיכות הסביבה (רעש, זיהום אוויר), ופגיעה באיכות החיים באזורים העירוניים.

במערכת הדרכים הבין-עירונית קיים מדרג של דרכים שונות: בקצהו האחד – הדרכים המהירות והעורקיות, המיועדות להוליך נוסעים ומטענים למרחקים גדולים יחסית, ובקצה השני – הדרכים המקומיות, אשר עיקר תפקידן לאפשר נגישות למקומות יישוב. באופן דומה, קיים גם המדרג העירוני: דרך פרברית מהירה, דרך עורקית, רחוב מאסף, רחוב מקומי. מדרג הדרכים מתפקד היטב כאשר מרכיביו מתואמים ומשדרים למשתמש מסרים ברורים ועקביים לגבי ההתנהגות המצופה בכל סוג דרך, כאשר מהירות הנסיעה היא מאפיין מרכזי של התנהגות משתמשי הדרך.

קביעת מהירויות מרביות מותרות הוא אמצעי בסיסי וחיוני להשפיע על מהירות הנסיעה של הנהג היחיד, כמו גם על התוצר של מהירות התנועה בדרך. המהירות המותרת בדרך הינה המהירות המרבית שבה מותר לנהגים לנסוע בדרך זו, בתנאי תנועה ומזג אוויר רגילים, כאשר קביעה זו מתבססת על שיקולים הנדסיים של מאפייני הדרך והבטחת הבטיחות של משתמשי הדרך. רמת המהירות המותרת נקבעת על ידי הרשויות אשר ממונות הן על הבטיחות והן על ניידות הציבור. בקביעת מהירויות מרביות מותרות לסוגי דרכים שונות, חשוב להגיע לאיזון בין הניידות הנדרשת לבין שיקולי הבטיחות והסביבה, בראייה הכלל-מערכתית.

בפועל, ניתן למצוא בישראל דרכים ורחובות בסטנדרט נמוך יחסית, בהם מותר לנסוע במהירות גבוהה מן הרגיל בדרכים מסוג זה (למשל, עקב אילוצי הניידות באזור), ולהיפך, אפשר למצוא דרכים עם סטנדרט הנדסי גבוה, שמתפקדות כעורקים, אך מותר לנסוע בהן במהירות לא גבוהה (כי, לדוגמא, הדרך תוכננה כמאסף שכונתי). חוסר עקביות ביישום השיקולים בא לידי ביטוי בקטעי דרך עם מאפיינים הנדסיים דומים, אך עם ערכי מהירות מותרת שונים, מצב שאינו רצוי מבחינת הבנת הנהגים לגבי ההתנהגות הנדרשת והציות לחוק. חוסר העקביות וחוסר האיזון בין שיקולי הניידות והבטיחות עלול להתבטא בתופעות של פקקי תנועה, בשיעור גבוה של תאונות דרכים, או בשיעור גבוה של עבירות מהירות בקרב הנהגים בדרך.

מאחר שהמהירות המרבית המותרת מהווה בסיס לאכיפה, נהוג היה לחשוב בעבר שהמהירות המרבית המותרת אמורה להתאים גם ליכולת האכיפה של מהירות זו, או, במילים אחרות, להתחשב בהתנהגות הציבור בפועל. בהקשר זה ניתן לציין כי למרות התחשבות זו, בסקר מהירויות הנסיעה בדרכים הלא-עירוניות בישראל שנערך בשנת 2004 נמצא, כי בשעות הזרימה החופשית, חלק ניכר מציבור הנהגים נוסע במהירות שמעל למהירות המותרת. לדוגמא, אחוז הנוסעים מעל למהירות המותרת הגיע ל-90%-40% בדרכים המהירות ול-95%-50% בדרכים הדו-מסלוליות הממוחלפות. מכאן, שיש בעייתיות במערך הקיים של המהירויות המותרות בדרכים הלא-עירוניות בישראל.

מהירויות נסיעה גבוהות בפועל קשורות בקשר סטטיסטי וסיבתי מובהק עם שכיחות תאונות וחומרתן. קשר זה הוכח במחקרים רבים בעולם. בדומה לשינויים במאפייני התכן, בהסדרי התנועה או במתכונת האכיפה, גם שינויים במדיניות המהירות המותרת, יכולים להשפיע על התנועה באופן ישיר ועקיף ולגרום להקטנה (או להגדלה) של הסיכון הבטיחותי. על כן חשוב שמהירות מותרת תיקבע במסגרת רציונל מערכתית מבוסס לניהול מהירות, המעוגן במערך כולל יותר של ניהול תנועה ותחבורה.

קביעת המהירויות המותרות מהווה רק אחד ממרכיבי הניהול של מהירויות הנסיעה בדרכים. מרכיבים משלימים להשגת רמות מהירות רצויות, בכל מערכת הדרכים, הם אמצעים הנדסיים – מאפייני תשתית, אמצעים טכנולוגיים בתוך הרכב, מבצעי אכיפה והסברה ממוקדים.

אכיפת החוק מהווה מרכיב חיוני ביישום מדיניות המהירות המקובלת במדינה. יחד עם זאת, יש להדגיש שהאכיפה המקובלת בישראל אינה יכולה לשנות את התנהגותו של רוב הציבור, לאורך זמן, ובחלק משמעותי של רשת הדרכים. לכן, יש להבטיח התאמה טובה של תכן מערכת הדרכים, מבחינה תפקודית ובטיחותית, למהירויות הנסיעה הרצויות, כדי שהאכיפה הקיימת תוכל להתמקד בהתנהגויות החריגות בלבד. יחד עם זאת, לאכיפה יש פוטנציאל להשפיע מאוד על נסיעה במהירות מותרת, במידה שהיא תתבסס על גישה שונה המקובלת במספר מדינות אירופה (אנגליה, הולנד, צרפת).

## 1.2 ניהול מהירויות בישראל

הנחיות לקביעת מהירויות התכן בדרכים הבין-עירוניות פורסמו על ידי מע"צ בשנת 1994. כמו כן, היו קיימות הנחיות משרדי התחבורה והשיכון לתכנון רחובות בערים משנת 1983, אשר בהם משמשת מהירות התכן כבסיס לקביעת מאפייני דרך שונים. אין בהנחיות אלה הנחייה ברורה באשר למהירות המרבית שיש להתיר בהתחשב במהירות התכן שנבחרה, אלא רק התייחסות לקשר בין מהירות התכן למהירות המאווה או למהירויות הנסיעה בפועל (פרופיל מהירויות).

המדיניות לקביעת מהירויות נסיעה מותרות בישראל נבחנה שלוש פעמים במהלך העשור האחרון. עם זאת, ההמלצות שהתגבשו בבדיקות אלה מתייחסות בעיקר לדרכים הבינעירוניות. לגבי הדרכים בעיר, קיימת המלצה כללית להגבלת המהירות ל-50 קמ"ש, או ל-30 קמ"ש באזורי מיתון תנועה בתוך שכונות המגורים. המדיניות הכללית לא גיבשה דעה עקבית לגבי מהירויות הנסיעה בדרכים הראשיות בשטח העירוני – עורקי התנועה והמאספים. לאחרונה,

התפרסמו הנחיות חדשות לתכנון רחובות בערים (2009; ע"י משרדי התחבורה והשיכון). בהנחיות אלה מקבלת הסוגיה של התאמת התכנון למהירות תשומת לב מיוחדת (ראו פירוט בסעיף 4.3.2 במסמך הנוכחי).

לסיכום, ברקע להכנת מסמך זה היה הצורך לבחון את נושא המהירות לעומק, לפתח מערכת שיקולים מאוזנת, ולקבוע מהירויות תכן ומהירויות נסיעה מותרות לפי סוגי דרכים. זאת מתוך הנחה שתהליך זה נותן בסיס ליישום מדיניות ברורה ועקבית יותר לניהול מהירויות הנסיעה ברשת הדרכים בישראל.

### 1.3 מטרת העבודה

מטרת מסמך זה היא להביא הנחיות מקיפות לנושא המהירות לרכב המנועי לסוגיו השונים ברשת הדרכים בישראל. הנחיות אלה מתייחסות לכל תחום המהירויות הקיים, החל מרחוב משולב, ועד למהירויות הנסיעה בפועל בדרך מהירה.

המסמך נועד לשרת את קובעי המדיניות ומקבלי ההחלטות ברשויות התימור לסוגיהן, את המתכננים, רשויות האכיפה, החקירה וגורמים נוספים. המסמך נועד לתמוך בתהליכי קבלת ההחלטות בנושא המהירות, ולאפשר לגשת לבחינת הנושא באופן שיטתי, תוך התחשבות במאפיינים ההנדסיים, התנועתיים והסביבתיים של הדרך, וכן במידע העדכני על מהירויות הנסיעה בפועל, הן בסוגי דרכים שונות והן בנקודות מיוחדות בדרך.

### 1.4 תכולת ההנחיות

להלן תכולת הפרקים הבאים בהנחיות:

#### פרק 2: מערכת קשרים בין המהירות לתכנון הדרך והתנועה

פרק זה מביא את תמצית הממצאים מהספרות המקצועית, ומטרתו להציג סיכומי ידע עדכניים והמלצות בסוגיות העיקריות שקשורות לנושא המהירות וביניהן:

- מערכת הקשרים בין מהירות ובטיחות;
- הקשר בין מהירות לניידות;
- הקשר בין מהירות לאיכות הסביבה;
- השפעת המהירות על תכנון מאפייני דרך שונים;
- הקשר בין גורמי אנוש למהירות;
- הקשר בין מהירות ומשתמשי דרך לא מנועיים.

#### פרק 3: השפעות כלכליות של מהירות הנסיעה

מטרת הפרק הינה לבחון את הקשר בין העלות הכלכלית למשק של נסיעה, לבין מהירות הנסיעה.

גישת הכלכלה הציבורית מכמתת את כל העלויות הקשורות לנסיעה בכלי-רכב שונים באמצעות מדדים מצרפיים ובמונחים כספיים. המשתנים הכלכליים העיקריים המושפעים ממהירות נסיעה כוללים: זמן נוסעים, עלויות תפעול כלי-רכב, עלות תאונות דרכים, זיהום אוויר ורעש.

בפרק זה נדונים הקשרים בין הפרמטרים המשפיעים על עלות הנסיעה למשק לבין מהירות הנסיעה, ועל סמך מחקרים שנעשו, מוצג מהי מהירות הנסיעה האופטימאלית הכלכלית אשר ממזערת את העלות הכלכלית למשק.

#### **פרק 4: קביעת מהירויות הייעוד והתכן**

הפרק מציג גישה חדשה לקביעת מהירויות הנסיעה ברשת הדרכים, מגדיר את המהירויות השונות ומפרט את מהירויות הייעוד, המהירויות המותרות ומהירויות התכן המומלצות לפי סוגי דרכים עירוניות ובין-עירוניות.

#### **פרק 5: הערכת עקביות התכן ועקרונות ניהול המהירות**

הפרק מציג כלים להערכת עקביות בתכן הדרך ובמהירויות הנסיעה, וסוקר את המצב המקובל בארץ לניהול מהירויות מותרות ברמה הארצית והמקומית;

**נספחים:** מציגים את תמצית הממצאים שהוצגו בפני ועדת ההיגוי בתהליך הכנת ההנחיות, והם כוללים את הנימוקים לבחירת מהירויות הייעוד לסוגי דרך שונים (נספח א'), ממצאים להמחשת קשר כמותי בין מהירות התכן למהירות המותרת (נספח ב'), ודוגמה להערכת עקביות התכן על סמך מדדי המהירות (נספח ג').

# פרק 2 – מערכת הקשרים בין המהירות לבין תכונות

## הדרך והתנועה

### 2.1 מערכת הקשרים בין המהירות לבטיחות

מהירות הנסיעה היא אחד הגורמים המרכזיים בסיכוי לאירוע תאונה ובקביעת חומרת תוצאותיה. מהירות נחשבת כיום לאחד מגורמי הסיכון העיקריים בתנועה (Wegman & Aarts, 2006). על-פי הערכות ECMT/OECD<sup>1</sup>, מהירות מופרזת (excessive speed) או מהירות שאינה הולמת את תנאי הדרך והתנועה (inappropriate speed) הינה בעיית בטיחות ראשונה במעלה במדינות רבות, אשר גורמת, בממוצע, לשליש מהתאונות הקטלניות ופועלת כגורם מחמיר ברוב התאונות.

לאורך יותר מחמישים שנה, גורם המהירות נבחן במחקרים רבים, במדינות שונות בעולם, כאשר בחינת הקשר בין המהירות לבטיחות מתמקדת לרוב בסוגיות אלה: מיקום גורם המהירות בהתרחשות התאונות; השפעת מהירות על שכיחות התאונות; השפעת מהירות על חומרת התאונות; השפעת השונות במהירויות הנסיעה על בטיחות.

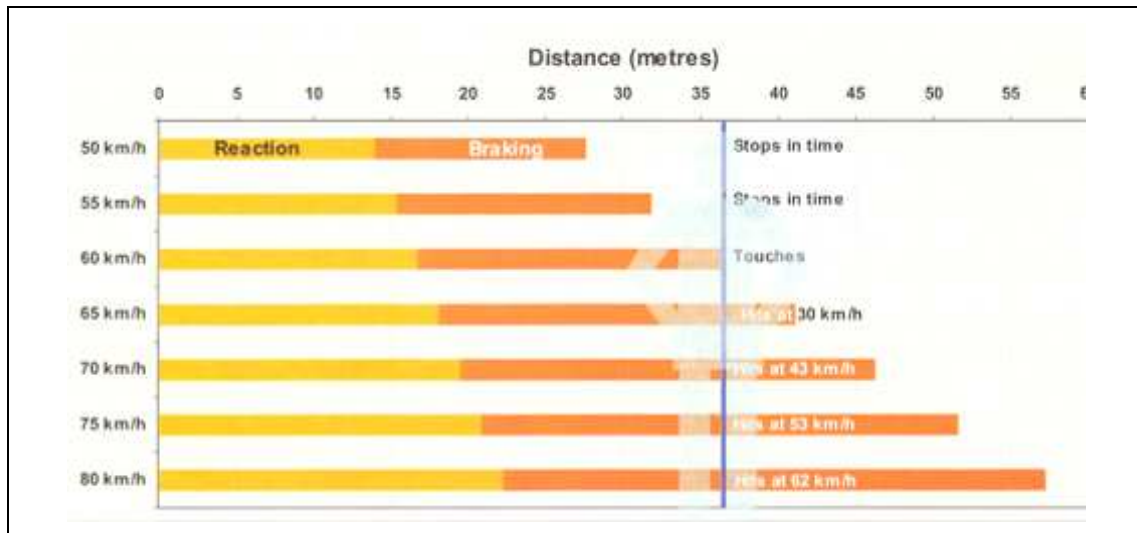
הבנות היסוד לתיאור הקשר בין מהירויות הנסיעה והבטיחות הן כלהלן:

- (1) מהירויות נסיעה גבוהות מתקשרות ישירות עם חומרת הפגיעה ועם ההסתברות להיות מעורב בתאונה;
- (2) מהירות מופרזת מהווה גורם שניוני לתאונות רבות שהגורם הישיר שלהן שונה;
- (3) פיזור גדול במהירויות אף הוא גורם לתאונות.

הזמן שעומד לרשות הנהג להגיב לאירועים חריגים עומד ביחס הפוך למהירות הנסיעה, בעוד שמרחק נסיעת הרכב בפרק זמן התגובה עולה עם מהירות גבוהה יותר. מצב חריג בנסיעה, שיכול להסתיים בהיחלצות במהירות נמוכה, עלול להסתיים בתאונה במהירות גבוהה. דוגמאות לאירועים כאלה הן רבות: הולך רגל שקופץ לכביש לפתע, מכונית שעוברת באור אדום בכיוון הניצב, פיצוץ גלגל, תקלה במערכת הבלמים ועוד.

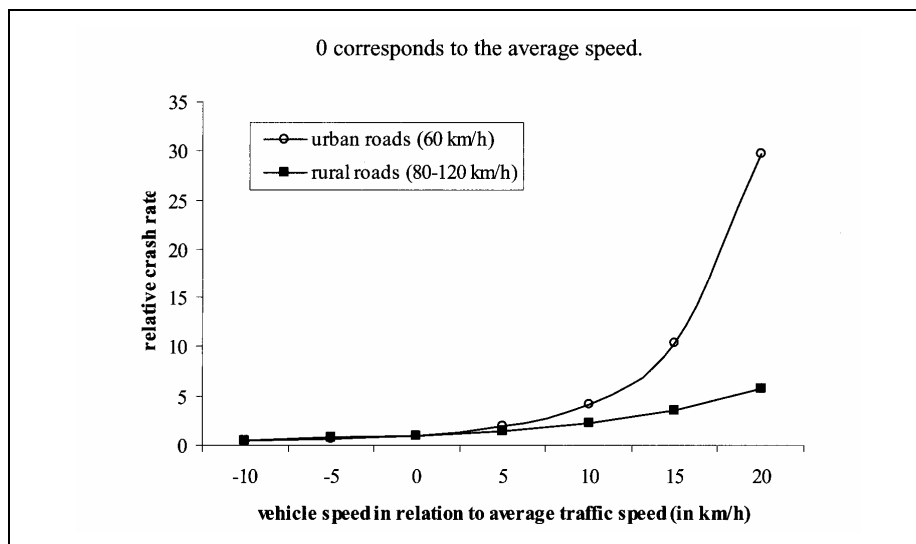
להמחשת סוגיה זו, מוצג חישוב שהוכן באוסטרליה (תרשים 2.1) לפיו, כאשר הרכב נוסע במהירות של 80 קמ"ש, ידרשו כ-22 מטר נסיעה לתגובת הנהג (1 שנייה), וסה"כ 57 מטר לעצירת הרכב. אם, בנסיבות אלה, הולך רגל מופיע במרחק של 36 מטר לפני הרכב, הנהג כפי הנראה יהרוג אותו אם הוא נוסע במהירות של 70 קמ"ש או יותר, יפגע בו אם הוא נוסע במהירות של 60 קמ"ש, ויוכל למנוע תאונה אם הוא נוסע במהירות של 50 קמ"ש (ATSB, 2006).

<sup>1</sup> Organization for Economic Co-operation and Development – OECD  
European Conference of Ministers of Transport – ECMT



**תרשים 2.1:** מרחקי עצירה נדרשים במהירויות שונות  
מקור: OECD (2006)

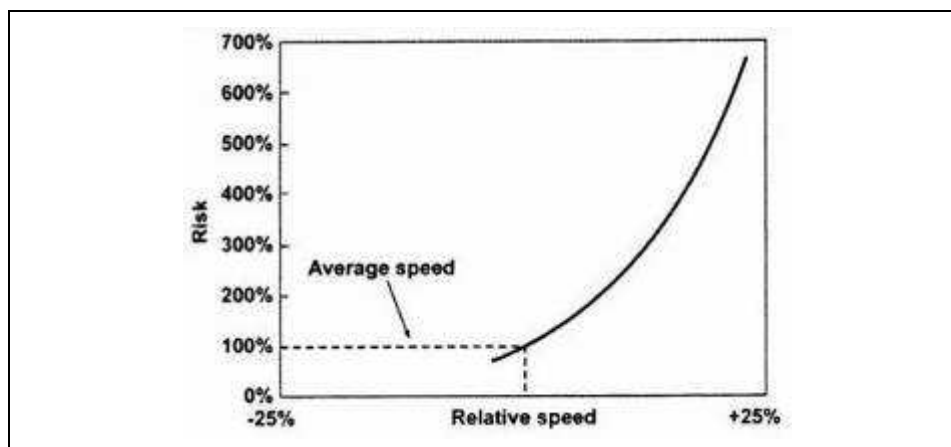
כפי שנמצא במחקרים רבים, מהירות מתקשרת ישירות עם חומרת הפגיעה ועם ההסתברות להיות מעורב בתאונה. ללא תלות בשיטות המחקר, מרבית המחקרים מצאו שצורת הקשר בין המהירות לשיעור התאונות היא מעריכית (exponential). לדוגמא, בסדרה של מחקרים שנערכו באוסטרליה ובהם נבחנה השפעת מהירויות הנסיעה של כלי הרכב על מעורבותם בתאונות, נמצא שהסיכון להיות מעורב בתאונה עולה משמעותית עם העלייה במהירות הנסיעה – תוך התרחקות ממהירות הנסיעה הממוצעת (תרשים 2.2).



**תרשים 2.2:** סיכון יחסי למעורבות בתאונות בתלות במהירות הנסיעה  
מקור: OECD (2006)

ממצא דומה התקבל גם במחקר רחב-היקף שנערך באנגליה (Taylor, 2001): לנהגים שנוטים לנסוע במהירות שעולה ב-10%-15% על המהירות הממוצעת, ההסתברות להיות מעורב

בתאונה עולה באופן חד, כאשר לנהגים שמהירותם עולה ב-25% מעל למהירות הממוצעת, הסיכון לתאונה עולה פי חמישה לעומת הסיכון לנהגים שנוסעים במהירות הממוצעת (תרשים 2.3).



**תרשים 2.3:** סיכון הנהג להיות מעורב בתאונה בתלות במהירות נסיעתו  
מקור: Taylor (2001)

החוקרים Finch et al (1994) מאנגליה סקרו ממצאים של מחקרים שנערכו במדינות השונות, במטרה ליצור ביטוי כמותי לקשר בין שינוי במהירות הנסיעה הממוצעת לבין שינוי בתאונות. לסיכום המודלים שפותחו במחקר, החוקרים הציעו כלל אמפירי, לפיו עלייה של 1 קמ"ש במהירות הממוצעת, מביאה לעלייה של כ-3 אחוז בתאונות עם נפגעים, ולהיפך, כאשר ממצא זה התייחס לכל סוגי הדרכים ולכל סוגי הפעילויות שהביאו לשינוי במהירות הנסיעה בפועל.

הניסיון אומר ששינוי זה צריך להיות שונה בתלות בסוג הדרך ובמהירות הבסיס (שלעומתה נמדד השינוי). במחקרים אחרים שנערכו באנגליה ובהם נבנו מודלים לחיזוי מספר תאונות בקטע דרך על סמך נתוני המהירות, נפחי התנועה ומאפייני הדרך, אכן נמצא שהשינוי בתאונות, בעקבות ירידה במהירות הנסיעה, אינו אחיד בין סוגי הדרכים. ממצאי מחקרים אלה סוכמו באופן הבא (Lynam and Hummel, 2002):

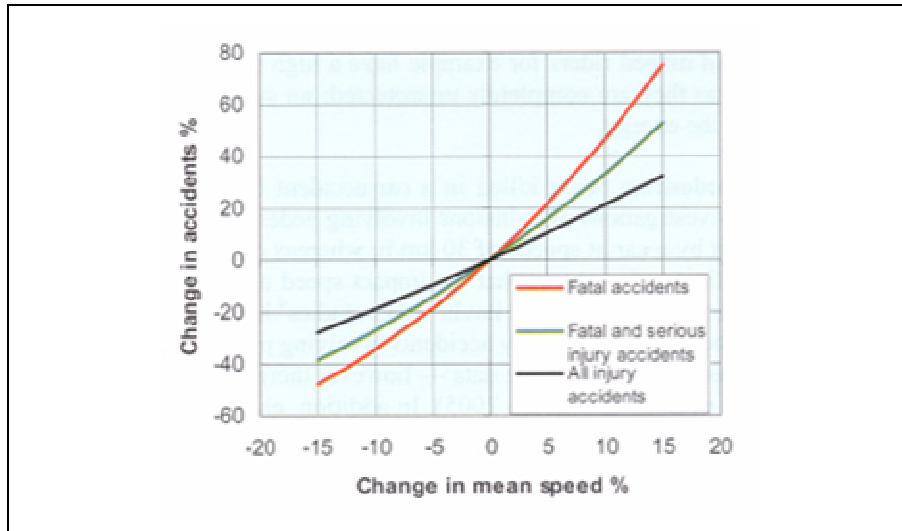
ירידה של 1 מייל לשעה במהירות הממוצעת מביאה לאחוזים הבאים של ירידה בתאונות:

- 9% בדרכים בין-עירוניות עם מהירויות (בסיס) נמוכות,
- 6% בדרכים עירוניות עם מהירות נמוכה ובדרכים בין-עירוניות עם מהירות בינונית,
- 4% בדרכים עירוניות עם מהירות בינונית ובדרכים בין-עירוניות עם מהירות נסיעה גבוהה,
- 3% בדרכים עירוניות עם מהירות נסיעה גבוהה.

כלומר, פוטנציאל בטיחותי מרבי מהורדת מהירויות הנסיעה, צפוי דווקא בדרכים עירוניות ובין-עירוניות שמיועדות, על פי תפקידן, למהירויות נסיעה נמוכות יותר.

כאשר מתרחשת תאונה, האנרגיה הקינטית שמשתחררת בעת האירוע גדלה ביחס ישר לריבוע המהירות, כך שככל שמהירות הנסיעה עולה, חומרת התאונה עולה במקביל. על-פי הערכות אחרונות (Elvik et al, 2004; Nilsson, 2004), הקשר בין שינוי המהירות והשינויים בתאונות

ברמות חומרה שונות מתואר באמצעות "מודל העוצמה" (Power model), כמוצג בתרשים 2.4. לפי המודל, השינוי בתאונות הקשות שמתקשר עם השינוי במהירות הוא בגודל שינוי המהירות בדרגה שלישית, השינוי בתאונות הקטלניות – בגודל השינוי במהירות בדרגה רביעית. לדוגמא, מצפים שעלייה של 5% במהירות הממוצעת תביא לעלייה של כ-10% בכלל התאונות עם נפגעים, ולעלייה של כ-20% בתאונות הקטלניות.



**תרשים 2.4:** הקשר בין שינוי במהירות הממוצעת לבין שינוי בתאונות, ברמות חומרה שונות (Power model) מקור: Nilsson (2004)

בהתבסס על "מודל העוצמה", Aarts and Van Schagen (2006) פיתחו אומדנים לאחוזי ירידה בתאונות, ברמות חומרה שונות, שצפויים בעקבות שינוי של 1 קמ"ש במהירות הממוצעת – טבלה 2.1. אומדנים אלה מתחשבים במהירות הבסיס, כאשר מהירות הבסיס מבטאת בעקיפין את סוג הדרך. ע"פ הממצאים, אפקט גדול יותר לשינוי המהירות על הבטיחות צפוי בדרכים עם מהירויות נסיעה נמוכות יותר (דרכים עירוניות). כמו כן, בהתאם לציפיות, אפקט משמעותי יותר, בכל סוגי הדרכים, יהיה בקרב תאונות ברמות חומרה גבוהות יותר.

פיזור גדול במהירויות הנסיעה גורם אף הוא לתאונות. המחקרים שבדקו את השפעת השונות במהירויות הנסיעה על הבטיחות מתחלקים לשתי קבוצות:

**קבוצה א'** – המחקרים שהשוו בין שיעורי התאונות בדרכים עם רמות גבוהות או נמוכות של שונות במהירויות הנסיעה; ע"פ רוב, הדרכים עם השונות הגבוהה יותר היו בטוחות פחות (Aarts & Van Schagen, 2006).

**קבוצה ב'** – מרבית המחקרים בנושא, החל מ-Solomon (1964), שהסתכלו על מעורבות בתאונות ומהירויות הנסיעה של כלי-רכב בדידים; במחקרים אלה לרוב (עד לעשור האחרון) נמצאה תלות דמויית U שהצביעה על מעורבות גבוהה יותר בתאונות של כלי-רכב מהירים יותר או איטיים יותר מהרגיל.

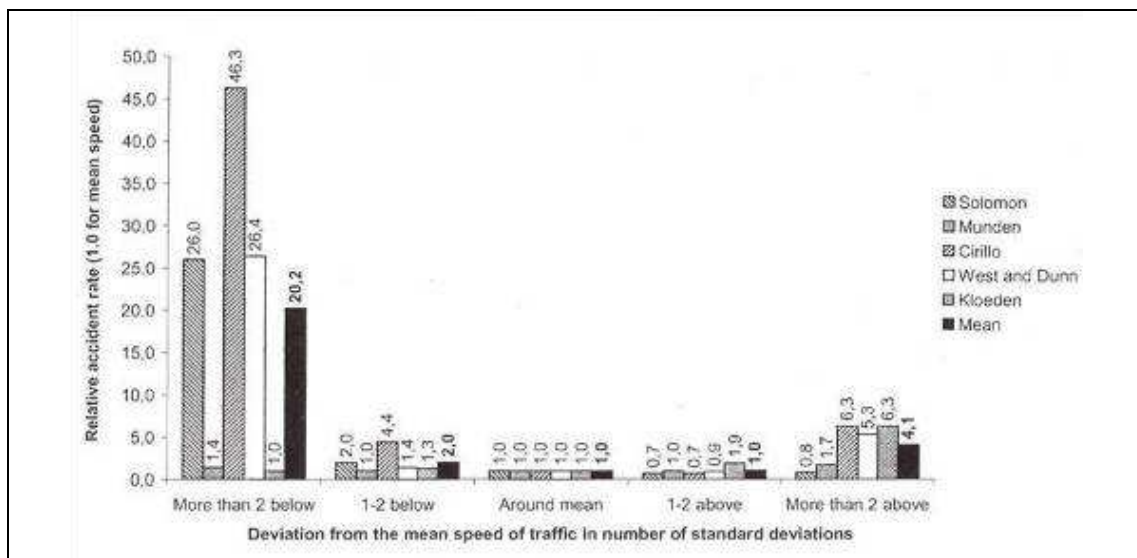
## טבלה 2.1: יישום "מודל העוצמה" לסוגי דרך שונים

מקור: Aarts and van Schagen (2006)

אחוז שינוי בתאונות, בעקבות שינוי של 1 קמ"ש במהירות הממוצעת						
מהירות בסיס, קמ"ש						חומרת התאונות
110	100	90	80	70	50	
1.7	2.0	2.2	2.5	2.9	4.0	תאונות עם נפגעים, %
2.5	3.0	3.4	3.8	4.3	6.1	תאונות עם נפגעים והרוגים, %
3.3	4.1	4.5	5.1	5.9	8.2	תאונות קטלניות, %

Elvik and Vaa (2004) בנו סיכום של ממצאי המחקרים מסוג זה – תרשים 2.5. ניתן להבחין בתרשים 2.5, שאם לגבי המהירויות הגבוהות הממצאים של המחקרים השונים היו קרובים (ככלל, צפויה עלייה במעורבות כלי-רכב אלה בתאונה), אזי לגבי המהירויות הנמוכות מהרגיל קיים תחום רחב של אומדנים: המחקרים הישנים ציפו לעלייה במעורבות בתאונות, בעוד שהמחקרים מהתקופה האחרונה אינם מזהים שוני משמעותי במעורבותם בתאונות של כלי-רכב איטיים יותר.

בהתחשב גם בסיכון למעורבות בתאונה בתלות במהירות הנסיעה (תרשימים 2.2-2.3), העמדה המקובלת היום הינה שלהגברת הבטיחות חשוב להוריד הן את מפלס המהירויות והן את השונות במהירויות הנסיעה, עם דגש על הקצה הימני של התפלגות המהירות (OECD, 2006).



## תרשים 2.5: הקשר בין בחירת מהירות הנסיעה ומעורבות יחסית בתאונות:

סיכום מחקרים שונים

מקור: Elvik & Vaa (2004)

לסיכום, מהירויות נסיעה גבוהות מתקשרות ישירות עם חומרת הפגיעה ועם ההסתברות להיות מעורב בתאונה, כאשר גודל ההשפעה שונה בתלות בסוג הדרך. אפקט גדול יותר כתוצאה משינוי המהירות על הבטיחות, צפוי בדרכים עם מהירויות נסיעה נמוכות יותר (דרכים עירוניות). כמו כן, אפקט משמעותי יותר, בכל סוגי הדרכים, יהיה בקרב התאונות ברמות חומרה גבוהות יותר.

פיזור גדול במהירויות הנסיעה גורם אף הוא לתאונות. לכן, להגברת הבטיחות חשוב להוריד הן את מפלס המהירויות והן את השונות במהירויות הנסיעה, בקצה העליון של התפלגות המהירות.

## 2.2 הקשר בין המהירות לניידות

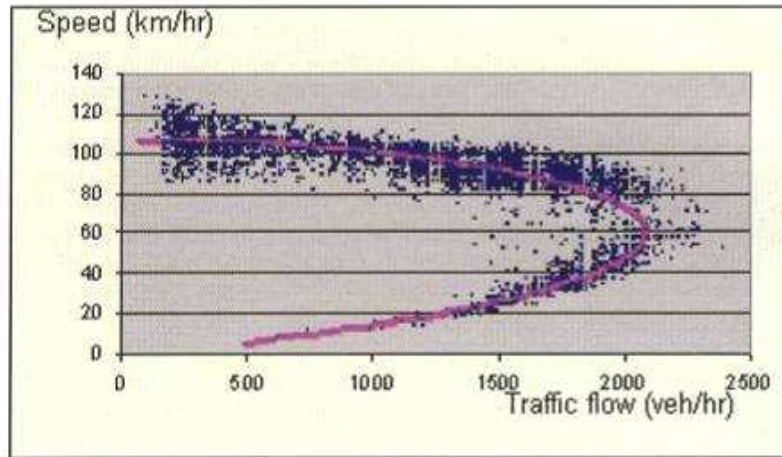
הזמן שנדרש לנסיעה קשור למהירות. על-פי הדעה הרווחת, במהירויות נסיעה גבוהות יותר טמון החיסכון בזמן ומכאן, קיים פוטנציאל לשימושים אחרים של זמן הנוסעים בדרך. עם זאת, בבדיקות פרטניות של נושא זה מסתבר, שמהירות גבוהה יותר מביאה לאפקט ניכר של חיסכון בזמן בעיקר בנסיעות הבינעירוניות, כאשר בדרך העירונית החיסכון המעשי בזמן הנסיעה שמתקשר עם מהירות גבוהה יותר לרוב זניח.

לדוגמא, בצרפת נערכו מחקרים בהם נמדדו זמני נסיעה בפועל במהירויות השונות. בעיר טולוז, זמן הנסיעה נמדד בנקודות זמן שונות במהלך היממה לאורך מסלול של 7.6 ק"מ הכולל 28 רמזורים. במחקר נבחנו שתי מהירויות נסיעה: רכב "מהיר" שנוסע במהירות עד 50 קמ"ש ורכב "איטי" שנוסע במהירות עד 30 קמ"ש. ע"פ הממצאים, מהירות הנסיעה הממוצעת של הרכב הראשון הייתה 19.1 קמ"ש, ושל הרכב השני – 15.9 קמ"ש. כמו כן, זמן הנסיעה הממוצע של הרכב הראשון היה כ-24 דקות, ושל הרכב השני – כ-29 דקות. כלומר, ירידה של כ-40% במהירות הנסיעה המרבית הביאה לגידול של כ-20% בלבד בזמן הנסיעה. תוצאה זו התקבלה בעיקר עקב מספר גבוה של האטות ליד הרמזורים לאורך המסלול (OECD, 2006).

הקשר הבסיסי בין נפח התנועה, צפיפות התנועה והמהירות הינו, שכלל שנפח התנועה והצפיפות עולים והקטע מתקרב לקיבולת, המהירות הממוצעת יורדת, עד ל-"מהירות אופטימלית" מסוימת שבה הקטע מצוי בכושר העברת התנועה המרבי שלו (קיבולת). מעבר לנקודה זו משטר זרימת התנועה הופך לבלתי יציב.

לדוגמא, על-פי מדידות שנערכו בדרכים פרבריות מהירות בצרפת, זרימת התנועה המרבית מושגת במהירויות של 50-80 קמ"ש. הקשר בין המהירות והקיבולת בדרכים פרבריות מהירות עם שני נתיבים לכל כיוון, מוצג בתרשים 2.6. ניתן להבחין שמהירות הנסיעה יורדת עם הגידול בנפח, כאשר זרימה מרבית נצפית במהירויות נסיעה של 60-70 קמ"ש (OECD, 2006).

יצוין שקשר זה נכון בעיקר עבור הקטעים בעלי פוטנציאל זרימה בלתי מופרעת, דהיינו קטעי דרך ללא צמתים, ברשת הבינעירונית. (ברשת העירונית, בשל ריבוי הצמתים וגודש התנועה, קיבולת קטע דרך בדיד לרוב חסרת משמעות.)



**תרשים 2.6:** זרימת תנועה לנתיב כפונקציה של מהירות נסיעה, בדרך עירונית מהירה (2X2 נתיבים) מקור: OECD (2006)

בישראל, נושא זה נחקר בהרחבה במסגרת הכנת הפרסום "HCM 2000 מתורגם ומותאם לתנאי הארץ" של האגף לתכנון תחבורתי במשרד התחבורה (2005), ולכן לא נדון מחדש במסגרת העבודה הנוכחית.

זמן הנסיעה הכולל חשוב לרוב משתמשי הדרך. עם זאת, יכולת החיזוי והאמינות של זמן הנסיעה חשובים לא פחות. התפלגות אחידה יותר של מהירויות הנסיעה תשפר את זרימת התנועה, ותאפשר הערכות אמינות יותר של זמני הנסיעה. מכאן, ניהול מהירויות הנסיעה לא בהכרח סותר את דרישות הניידות והשיקול הכלכלי, בעוד שיש לו יתרונות ברורים בהקשר לבטיחות ולאיכות הסביבה.

בראייה לטווח הארוך, ניהול מהירויות והשינויים במהירויות הנסיעה עשויים להשפיע על נפחי התנועה ברשת הדרכים. עם זאת, בספרות המחקרית חסרים עד כה ממצאים כמותיים לגבי השפעות שינוי המהירות על נפחי התנועה ברמת הרשת.

### 2.3 הקשר בין המהירות לאיכות הסביבה

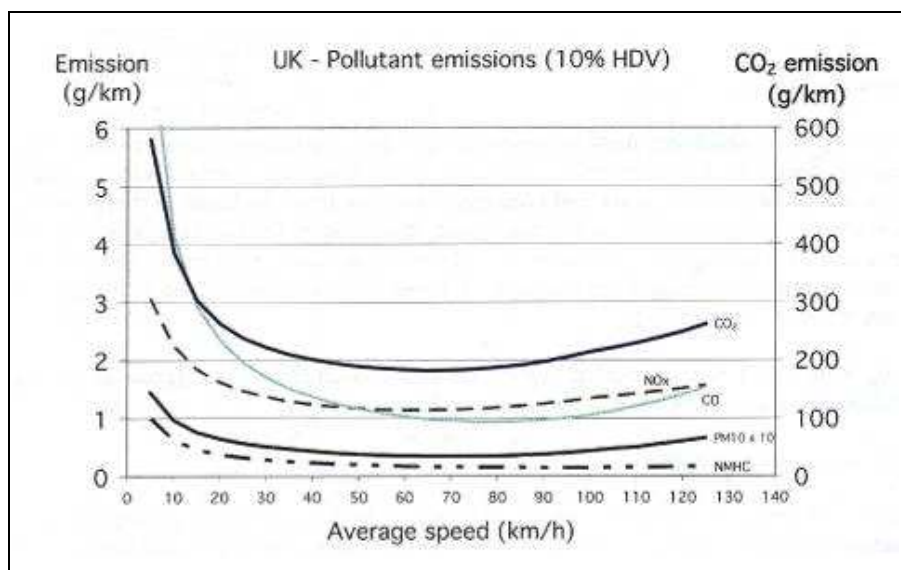
פליטות של כלי הרכב כוללות מגוון רחב של מזהמים, כאשר מזהמים אלה מיוצרים בכמות שונה במהירויות השונות. המזהמים העיקריים הם:

- פחמן חד-חמצני CO (carbon monoxide);
- פחמימנים HC (hydrocarbons);
- תחמוצות חנקן NOx (oxides of nitrogen);
- PM (particulate matter או particulates).

תהליך יצירת המזהמים מורכב ומשתנה בין סוגי כלי-הרכב, הטכנולוגיות וסוגי המנוע. תחמוצות החנקן מיוצרות במיוחד בפעולות המנוע בטמפרטורות גבוהות (כגון: נסיעה במהירות גבוהה), ולכן ירידה במהירות מביאה לצמצום משמעותי של פליטות מזהמים אלה. השפעת

ירידת המהירות על יצירת פחמן חד-חמצני ופחמימנים ברורה פחות: פליטות ה-HC יורדות במהירויות הנמוכות, בעוד שפליטות ה-CO וה-PM יהיו מזעריות במהירויות הבינוניות. כמו כן, פחמן דו-חמצני CO<sub>2</sub> (המזוהה עם בעיית ההתחממות הגלובלית) מיוצר פרופורציונלית לצריכת הדלק.

המהירות האופטימלית שמזוהה עם הפליטות המזעריות, תלויה בסוג הפליטה. לרוב, פליטות המזהמים יהיו נמוכות במהירות נסיעה קבועה של 40-90 קמ"ש, כמוצג בתרשים 2.7 על סמך מחקר אנגלי. בהתאם למחקרים יפניים, המהירות האופטימלית עבור משאיות ואוטובוסים נמצאת בתחום קטן יותר, בסביבות 50-70 קמ"ש. עם זאת, יש לציין שבתנאי נהיגה יציבים, פליטות ה-CO וה-CO<sub>2</sub>, במונחים של גרם לק"מ, יהיו מרביות דווקא במהירויות נמוכות מאוד: 15 קמ"ש או פחות (OECD, 2006).



**תרשים 2.7:** פליטות מזהמי רכב כפונקציה של המהירות  
מקור: OECD (2006)

הפליטות של כלי-רכב חדשים שמבוססים על טכנולוגיות מתקדמות, נמוכות משמעותית לעומת כלי-רכב ישנים, כאשר כמות הפליטות רגישה יותר לתאוצות מאשר למהירות הנסיעה. מכאן, שסגנון הנהיגה יכול להיות חשוב בהקשר זה, כאשר תאוצה מהירה מגדילה משמעותית את צריכת הדלק ומכאן, את כמות הפליטות.

לדוגמא, De Vlieger (1997) בחן את כמויות הפליטות של כלי-רכב בבלגיה, בתנאי נהיגה רגילה ותוקפנית (טבלה 2.2). הנהיגה התוקפנית מאופיינת בתאוצות פתאומיות ובבלימות חזקות, כאשר בנהיגה הרגילה התאוצות והבלימות מתונות. ע"פ הממצאים שבטבלה 2.2 ניתן לראות, שהנהיגה התוקפנית, ככלל, מתקשרת עם כמות גבוהה יותר של פליטות המזהמים מאשר הנהיגה הרגילה. כמו כן, התנעה קרה עם תאוצה התחלתית מהירה ("cold start") מגדילה משמעותית את כמות הפליטות.

**טבלה 2.2:** ממוצע המזהמים של מכוניות, גרם/ק"מ, בתנאי נהיגה רגילה ותוקפנית  
מקור: De Vlieger (1997)

סוג המזהם	סוג דרך	נהיגה רגילה	נהיגה תוקפנית
CO	City cold start	15.1±4.5	27.9±8.6
	City hot start	7.2±5.0	14.8±6.8
	Rural road	4.5±3.4	11.8±6.9
HC	City cold start	2.2±1.1	3.7±1.2
	City hot start	1.1±1.0	0.93±0.65
	Rural road	0.54±0.50	0.63±0.38
NO <sub>x</sub>	City cold start	0.32±0.20	0.54±0.21
	City hot start	0.25±0.20	0.34±0.18
	Rural road	0.18±0.15	0.21±0.13

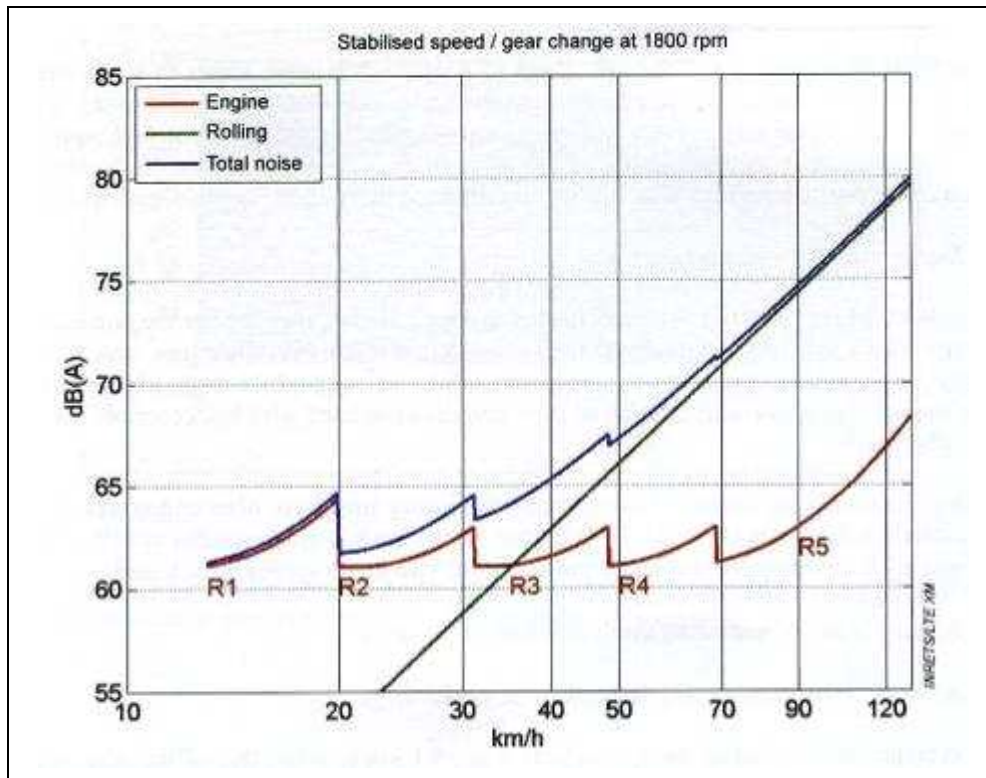
בנוסף, למהירות הנסיעה קיימת השפעה על רמות הרעש שמוצרות ע"י הרכב. קשר זה ככלל מונוטוני, כאשר מהירויות נמוכות יותר מביאות לרמות רעש נמוכות יותר. אולם, גורמים אחרים כגון: שכיחות התאוצות, לעיתים חשובים יותר מאשר מהירות הנסיעה הממוצעת. ברכב קיימים שני מקורות רעש עיקריים, שהם: יחידות הכוח (המנוע) והאינטראקציה בין הצמיג למיסעה. כמוצג בתרשים 2.8, רעש הצמיגים הופך למרכיב העיקרי במהירויות גבוהות יותר: מעל 20-40 קמ"ש למכוניות החדשות ומעל 30-60 קמ"ש למשאיות החדשות. זאת, כי סוג רעש זה עולה משמעותית עם המהירות, ככלל ב-12 dB(A) בכל הכפלת המהירות.

בכלי-רכב ישנים יותר, רעש הצמיגים הופך למרכיב העיקרי במהירות גבוהה יותר (בכ-10 קמ"ש), עקב רעש מנוע חזק יותר בהשוואה לכלי-רכב חדשים יותר. אפקט התאוצות והתאטות על רעש הרכב הופך לזניח במהירויות מעל 50 קמ"ש, אך יכול להיות משמעותי במהירויות נמוכות יותר. לכן, אפקט זה נלקח בחשבון, לדוגמא, במסגרת בחינת השפעתם של אמצעי מיתון תנועה כגון: פסי האטה או העתקות ציר (OECD, 2006).

## 2.4 השפעת המהירות על תכנון מאפייני דרך שונים

### 2.4.1 השפעת המהירות על קביעת מרחקי הראות

במהלך הנהיגה בכביש הנהג צריך להגיב על שינויים בסביבה התנועתית, ובייחוד על שינויים במאפייני הדרך שמחייבים התאמה במהירות הנסיעה ו/או במיקום הרכב בזרימת התנועה. משך תגובת הנהג נמצא בתחום 1.0-2.5 שניות (PIARC, 2003). ככל שמהירות הנסיעה גבוהה יותר, עולה מרחק נסיעת הרכב בפרק זמן התגובה. כמו כן, אם נדרשת עצירה של הרכב, מרחק הבלימה של הרכב עולה פרופורציונאלית לריבוע גודל המהירות.



**תרשים 2.8:** רעש מנוע ורעש צמיגים כפונקציה של המהירות  
מקור: OECD (2006)

מכאן, קיים קשר ישיר בין המהירות לבין מרחקי התגובה והעצירה של הרכב, אשר נלקחים בחשבון בהנחיות לתכנון ע"י קביעת מרחקי ראות נדרשים בדרך, בתלות במהירויות הנסיעה המתוכננות. בטבלה 2.3 מוצגים ערכי התכן למרחקי ראות מזעריים לעצירה כפי שעודכנו בהנחיות לדרכים הבין-עירוניות שנמצאות בהכנה עבור החברה הלאומית לדרכים (מע"צ, 2010).

כאשר הדרך בשיפוע אורכי, יש לכך השפעה על המרחק הדרוש למרכיב הבלימה שבמרחק הראות: מרחק הבלימה של הרכב העולה קצר מאשר של הרכב הנוסע במישור, ואילו מרחק הבלימה של הרכב היורד גדול יותר. על כן, כאשר ישנו שיפוע בירידה, ישנה תוספת לערכי מרחקי הראות המזעריים בטבלה, וכאשר השיפוע הינו בעלייה בלבד, ניתן להפחית במספר מטרים את מרחק הראות לעצירה לכל מהירות.

#### 2.4.2 הקשר בין המהירות לטופוגרפיית הדרך

טופוגרפיית הדרך משפיעה על מהירויות הנסיעה בה, כאשר בקטעי דרך עם עקומים אופקיים חדים ו/או שיפועי אורך חזקים (בעליה), נצפית האטה במהירויות הנסיעה. מאידך, בשיפוע אורכי שלילי (בירידה), נצפית האצה במהירות הנסיעה.

**טבלה 2.3:** ערכי תכן למרחק ראות מזערי לעצירה (מע"צ, 2010)

מרחק ראות - לעצירה - ערכי תכן (מ')*	מרחק ראות - לעצירה - מחושב (מ')*	מקדם החיכוך האקוולנטי (a/g)	תאוצה, a, (מ'/שני <sup>2</sup> )*	מהירות תכן (קמ"ש)
45	43	0.43	4.19	40
60	58	0.43	4.19	50
75	75	0.43	4.19	60
100	97	0.40	3.96	70
125	122	0.38	3.76	80
155	151	0.36	3.57	90
185	183	0.35	3.41	100
220	216	0.34	3.36	110
250	249	0.34	3.36	120

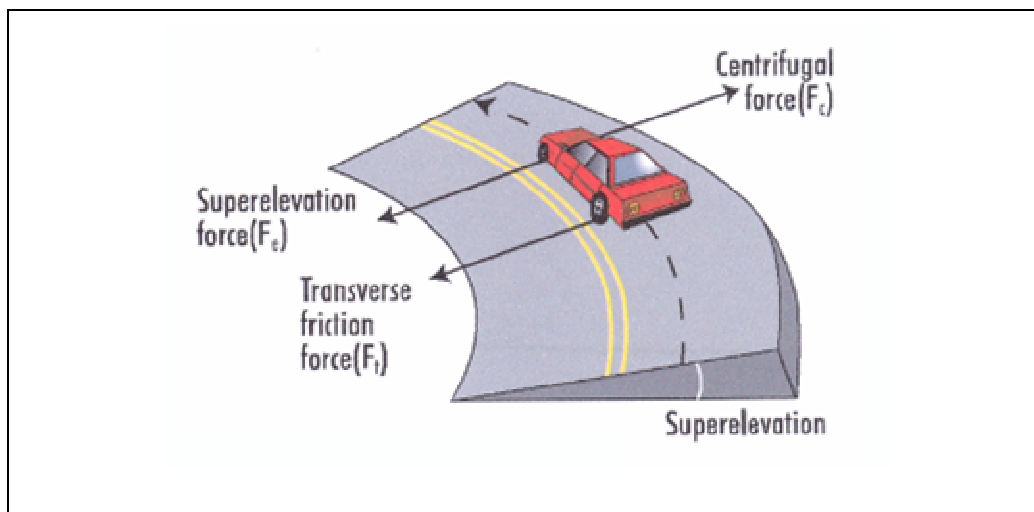
\* קטע מישורי בשיפוע הקטן מ-3%

הן רדיוס העקום האופקי והן שיעור השיפוע אמורים לאפשר נסיעה במהירויות המתוכננות. לכן, בהנחיות לתכנון קיימות מגבלות לרדיוס העקום האופקי ולאחוזי השיפוע שמתאימים לביצוע בסוגי דרך שונים (בהתאם למהירויות הנסיעה המתוכננות).

בעת המעבר בעקום, על כלי-הרכב משפיעים שלושה כוחות שהם: הכוח הצנטריפוגלי ( $F_c$ ) אשר דוחף את הרכב מחוץ לדרך, ומנגד, כוח ההגבהה הצידי ( $F_e$ ) וכוח החיכוך הצידי ( $F_t$ ) אשר מתנגדים לכוח הצנטריפוגלי (תרשים 2.9).

גודל הכוח הצנטריפוגלי עולה עם העלייה במהירות הנסיעה, עד לנקודת האיזון בה:

$$F_c = F_e + F_t$$



**תרשים 2.9:** מערכת הכוחות בעת מעבר כלי-רכב בעקום. מקור: PIARC (2003).

הביטוי הסטנדרטי לקשר בין המהירות, החיכוך הצידי, גודל ההגבהה הצידי ורדיוס העקום הינו כלהלן:

$$f = \frac{V^2}{127 \cdot R} - e$$

כאשר:

- f – מקדם החיכוך הצידי;
- R – רדיוס העקום (מ');
- V – מהירות התכן (קמ"ש);
- e – שיעור הגבהה צידית, בשבר עשרוני.

כאשר רדיוס העקום המזערי נקבע בהתחשב במהירות ובערכים מרביים של e ו-f, כלהלן:

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127 \cdot (e + f)}$$

טבלה 2.4, הלקוחה מתוך ההנחיות הקיימות (מע"צ, 1994), מרכזת את ערכי ההגבהה וגורם החיכוך הצידי המתאימים לכל מהירות תכן, אשר על פיהם ניתן לחשב את הרדיוסים המזעריים המתאימים לכל מהירות תכן, אשר מוצגים בטבלה 2.5.

**טבלה 2.4:** ערכים תכנוניים לפרמטרים הבסיסיים בעקום אופקי למהירויות התכן השונות (מע"צ, 1994)

120	110	100	90	80	70	60	50	מהירות התכן (קמ"ש)
0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	הגבהה מרבית e <sub>max</sub>
0.071	0.075	0.080	0.098	0.116	0.135	0.153	0.171	גורם החיכוך הצידי f

**טבלה 2.5:** ערכי תכן עבור הרדיוסים המזעריים למהירויות התכן השונות (מע"צ, 1994)

120	110	100	90	80	70	60	50	מהירות התכן (קמ"ש)
870	700	530	380	270	190	120	80	רדיוס אופקי מזערי R <sub>min</sub> (מ')

לשיפועים לאורך השפעה ניכרת על מהירות הנסיעה. השפעה זו באה לידי ביטוי בעיקר בתפעול כלי הרכב הכבדים, אשר בשיפועי אורך חיוביים 'תורמים' לעיכוב והאטת התנועה. בטבלה 2.6 מפורטים השיפועים המרביים שמתאימים למהירויות תכן שונות בהשפעת סוג הדרך.

הערה: ההנחיות לתכן גיאומטרי של הדרכים הבין-עירוניות מצויות כעת בעדכון – מע"צ (2010), ולכן עם השלמת ההנחיות המעודכנות, עשויים לחול שינויים בערכי טבלאות 2.4 - 2.6.

**טבלה 2.6:** ערכי השיפועים המרביים לאורך בסוגי הדרכים השונות (מע"צ, 1994)

מהירות התכן (קמ"ש)								סוג הדרך
120	110	100	90	80	70	60	50	
שיפוע מרבי לאורך (%)								
3	4	5	–	–	–	–	–	דרך מהירה
–	5	5	6	6	–	–	–	דרך ראשית
–	–	6	7	7	8	–	–	דרך אזורית
–	–	–	–	8	9	10	12	דרך מקומית

## 2.5 הקשר בין גורמי אנוש למהירות

ארבע קבוצות גורמי אנוש רלוונטיות לעניין המהירות והן:

- מיומנות השליטה ברכב;
- מגבלות פיזיולוגיות, קוגניטיביות ותפקודיות של נהגים;
- פגיעות הגוף האנושי בעומסי תאטות גבוהות ובהתנגשויות.
- נטיות התנהגותיות של נהגים בהקשר של מהירות.

מיומנות השליטה ברכב היא היכולת של הנהג לשמש כמנגנון בקרה רציף על תנועת הרכב. כל נהג עושה זאת, בדרך כלל בהצלחה, תוך תיקון סטיות וטעויות מהמסלול המתוכנן והתאמה של המסלול למצב מתחדש;

בכביש ישר וללא תנועת רכב אחר או הולכי-רגל, מרבית הנהגים יכולים, באופן עקרוני, לנהוג במהירות גבוהה ביותר. אולם, דרכים אינן תמיד ישרות, מתוכננות ומתוחזקות היטב, הנהג אינו בודד בכביש, ויכולת הבקרה העקרונית של נהג אינה משקפת את הביצוע האופייני, שהוא נחות מהביצוע הטוב ביותר. לכן, המהירות המותרת צריכה להתייחס להתנהגות בקרה אופיינית ולא לפוטנציאל המרבי של נהג.

'מהירות מרבית מותרת' מיועדת ל-'תנאים רגילים', כלומר אופטימליים, והנהג הוא שאמור להתאים את המהירות לדרישות המשתנות ולפצות, על ידי מנגנון הבקרה שלו, את החריגות בדרישות הדרך. מרבית הנהגים אומנם סבורים שהם מתפקדים כבקר הרגיש ביותר. בפועל, נמצא שנהגים אינם מעריכים נכון את מהירות התנועה ואת מהירותם יחסית לתנועה, וכן שאינם משנים את מהירות נסיעתם גם בעקבות שינויים גדולים בתנאי הדרך והתנועה, וזו סיבה נוספת להיות שמרניים בקביעת המהירות המותרת.

במצבים קריטיים – מצבי דרך או תנועה חריגים, פתאומיים ובלתי צפויים, אם לרכב יחיד או כתוצאה מפעולת רכב אחר, הדרישות מהבקר האנושי גבוהות במיוחד. עליו לזהות את המצב, לבחון דרכי תגובה, לבחור ולבצע פעולת בקרה לצורך תיקון טעויות. ככל שמהירות הנסיעה

גבוהה יותר, הסטיות האפשריות במסלול הנסיעה גדולות יותר, האפשרות לטעויות של נהגים אחרים גבוהה יותר, כאשר הזמן שנשאר לתיקון טעויות נעשה קצר יותר. מהירות היא גורם המגדיל את הדרישות מהנהג, ובה בעת מקטין את האפשרות לטפל בטעויות.

גם כאשר הנהג מבצע תימרון חירום, סיכויי ההצלחה של התימרון קטנים ככל שהמהירות גבוהה יותר. בין היתר, מרחק העצירה הוא יחסי לריבוע המהירות ההתחלתית. דוגמא להמחשה: שני נהגים הנוסעים במהירות 100 קמ"ש ו-80 קמ"ש, מזהים מכשול ומגיבים בבלימת חירום תוך 1.5 שנייה; בנקודה בה הרכב האיטי יותר כבר בעצירה (כ-65 מטר מנקודת הזיהוי), הרכב המהיר יותר עדיין במהירות 70 קמ"ש. (ראו דוגמא נוספת לקשר מהירות-מרחק עצירה, בסעיף 2.1 לעיל)

בקביעה קלסית של המהירות המותרת, קיימות הנחות לגבי 'הנהג המצוי והסביר', שאינן מתיישבות עם המגבלות הפיזיולוגיות, הקוגניטיביות והתפקודיות של בקרי הרכב האנושיים – הנהגים. הנהג המצוי אינו מרוכז 100% במטלת הנהיגה, מהירות התגובה שלו אינה בהכרח 1 שנייה, זמן הזיהוי של בעייה בדרך וזמן ההחלטה כיצד להגיב, יכולים להיות ארוכים בהרבה מזמן התגובה הפשוט.

נהגים ממצמצים, מפנים מבט לצד הדרך, לפני הרכב, או טרודים במחשבה. חלק גדול מפעולות אלו קשורות ישירות לתפקוד הנהיגה ולא דווקא סימן להיסח הדעת. אפילו אם נהג סורק את הדרך והתנועה דרך השמשה ובמראות, כראוי לנהג אחראי, יתכן ודווקא כאשר סרק צד אחד, האירוע הקריטי יתרחש בצד השני. כל אחת מפעולות שכיחות אלו יכולה להאריך את משך הזמן עד אשר הנהג מזהה בעייה, סיכון, טעות, סטייה או כל גורם אחר המצריך פעולת תיקון. ככל שמהירות הנסיעה גבוהה יותר, המרחק שהרכב יעבור עד לזיהוי הבעיה יהיה גדול יותר, ואולי אף גדול מכדי שישארו זמן ואפשרות לבצע תיקון (בדרך כלל סטייה או בלימה). במהירות נסיעה של 100 קמ"ש, כל שנייה נוספת משמעותה עוד 28 מטר שהרכב יעבור לפני התחלה של פעולת תיקון.

לפגיעות הגוף האנושי (ולחוקי הפיסיקה) יש השלכה חד-משמעית לגבי מהירות: ככל שמהירות הרכב המעורב בתאונה גבוהה יותר, החומרה הצפויה של פגיעה ברקמות האנשים המעורבים תהיה גבוהה יותר. ההשפעה חזקה במיוחד בהקשר של פגיעה בהולכי-רגל, שאין להם אמצעי הגנה כפי שיש לנוסעי רכב. הפונקציה האמפירית המקשרת בין מהירות רכב פוגע להסתברות שהולך הרגל ייהרג היא תלולה מאוד. לפיכך יש חשיבות רבה במיוחד לקביעת ממ"מ נמוכה ככל האפשר בסביבת חיים ופעילות של הולכי-רגל.

למרבית הנסיות ההתנהגותיות של נהגים לגבי מהירות יש משמעות של סיכון גדול יותר במהירות גבוהה יותר. נהגים נוטים להעריך מהירות של רכב הנוסע לכיוונם (או בגישה לצומת ניצב להם) כנמוכה יותר מאשר בפועל, ובאופן משלים מעריכים את המרחק ביניהם כגדול יותר מאשר בפועל. במקרה של צומת, ההטיה של כל אחד מהנהגים עלולה להצטרף לטעות משותפת גדולה יותר.

רוב הנהגים סבורים שהם נוהגים במהירות סבירה לנסיבות, ושהם מתאימים את המהירות לנסיבות. יחד עם זאת, הרוב המוחלט של המעורבים בתאונות (מכל הסוגים) הם לא רק נהגים הנוהגים בסיכון (לדוגמה, הנהגים המודים שהם נוסעים מהר), אלא נהגים רגילים הנוסעים

"קצת" מעבר למותר או "כפי שנוהגים אחרים". ממדידות מהירות בנסיעה חופשית בכל סוגי הדרכים ברור, שמרבית הנהגים אומנם נוסעים מעל, ולעיתים הרבה מעל, המהירות המותרת. נהגים רבים סבורים, בטעות, שרק המהירויות הגבוהות במיוחד, החריגות במיוחד, הן המסוכנות, בעוד שהמהירויות של הרוב הן אולי לא בסדר מבחינת החוק, אך בסדר מבחינה בטיחותית. שיטת האכיפה של המשטרה מחזקת תפיסה מוטעית זו. פרסומים על "לכידת נהגים" שנסעו במהירויות גבוהות מאוד מעל הממ"מ, למשל 160 או 180 קמ"ש, אינם משפיעים על נהגים רגילים. החריגים הגדולים אינם קבוצת ההתייחסות שלהם. הם גם לא יחקו אותם כאשר אלו יחלפו על פניהם.

נמצא, כי נהגים מושפעים בעיקר על ידי כלי-רכב הנוסעים בתחום המהירות הסביר שלהם. ככל שירגישו שכלי-רכב אחרים נוסעים מהר מהם, יגבירו את מהירותם. הערכת המהירות והשכיחות במצב זה היא מוטה לכיוון של הערכת יתר של השכיחות, וגידול בערך המהירות הנחשב ל"סביר" (Range-Frequency Effect). לפיכך, כל גידול במהירות המרבית המותרת תמיד בא לידי ביטוי בגידול הן במהירות הממוצעת והן במהירויות הגבוהות.

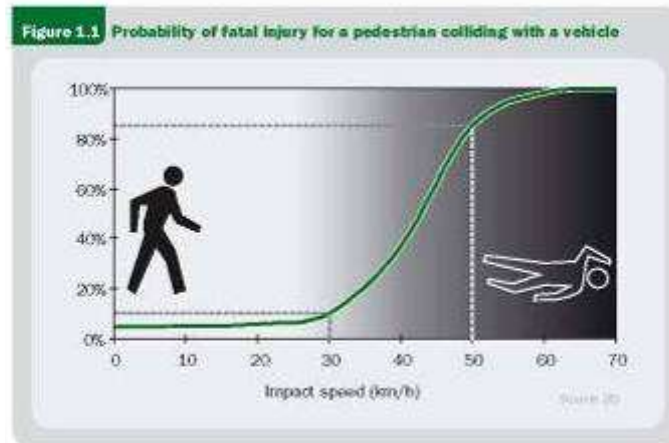
קבוצת הנהגים המהירים ביותר אומנם מסוכנת יותר, בממוצע, מיתר הנהגים, אך מבחינה כמותית, המסה הגדולה של נהגים (ותנועה) הנוסעים במהירות גבוהה בדרגות שונות מהמהירות המתבקשת בחוק ועל פי תנאי הדרך, היא המעורבת במסה הגדולה של אירועים שתחילתם אולי בטעות אך סופם בהתנגשות שלא הצליחו למנוע אותה. המהירות המותרת והאמצעים השונים למימושה מיועדים להשפיע על המסה הגדולה של כלל הנהגים, באופן שהתפלגות המהירויות כולה תהיה מוסטת כלפי מטה.

## 2.6 הקשר בין מהירות לבין משתמשי דרך שונים

### 2.6.1 המשתמשים הלא-מנועיים

למהירות השפעה מכרעת על השלכות התאונות, כאשר מדובר במשתמשי דרך לא מנועיים: הולכי-רגל ורוכבי אופניים. למשתמשי דרך אלה אין שריון מגן, ומשקלם קל יותר לעומת משקל הרכב, כאשר הסתברותם להיפגע באופן קשה או קטלני בהתנגשות עם כלי-רכב, עולה עם עלייה במהירות הפגיעה.

על-פי תוצאות החקירות לעומק של תאונות הולכי-רגל שנערכו במספר מדינות, 90% מהולכי-הרגל ישרדו פגיעה של מכונית במהירות של 30 קמ"ש, בעוד שרק 20% ישרדו את אותה הפגיעה במהירות של 50 קמ"ש. כמו כן, במהירויות של 40-45 קמ"ש, הסיכוי של הולך רגל לשרוד נמצא בסביבות 50% – תרשים 2.10 (GRSP, 2008). בנוסף, חומרת ההשלכות תלויה בגילו ובמצבו הפיסי של הנפגע, כאשר, בתנאים דומים, אנשים זקנים לרוב ייפגעו באופן חמור יותר מאשר אנשים צעירים.



**תרשים 2.10:** הסתברות לפגיעה קטלנית בהולך רגל בתלות במהירות ההתנגשות עם כלי הרכב  
מקור: GRSP (2008)

אסטרטגיות הנדסיות עיקריות למניעת היפגעות משתמשי דרך לא מנועיים הן באמצעות הפרדה בין משתמשי דרך שונים, בזמן ובמקום, ומיתון כללי של מהירויות הנסיעה באזורים עם ריכוזי פעילות הולכי-הרגל ורוכבי אופניים, כגון: שכונות מגורים, מרכזי ערים.

בהקשר התכנוני, למהירות משתמשי דרך לא מנועיים – הולכי-רגל ורוכבי אופניים, קיימות משמעויות תכן מסוימות. בין היתר, מהירות תנועתם נלקחת בחשבון בתכנון זמני פינוי ברמזורים, משך החצייה, מרחקי נראות נדרשים ועוד. מאפיינים רבים של משתמשי דרך אלה נסקרו במסגרת ההנחיות החדשות לתכנון רחובות בערים (2009) ולתכנון לתנועת הולכי רגל ואופניים.

בהנחיות החדשות של משרד התחבורה לתכנון תנועת הולכי-רגל (2009), ההתייחסות למהירות ההליכה היא כדלהלן:

**"מהירות הליכה** – מגוון מהירויות התנועה של הולכי-הרגל רחב למדי ומשתנה על פי התנאים והנסיבות. מהירות התנועה כגורם בתכנון מיושמת בעיקר בתכנון מקומות חצייה מרומזרים, אשר בהם קיים שימוש משותף לתנועות שונות באותו מרחב, וההפרדה בין התנועות נעשית על ידי חלוקה בזמן השימוש (שנקבעת על ידי הרמזור). מומלץ לחשב את מהירות תנועת הולך הרגל בשיעור של כ-1.0 מ'שני' – מהירות זו מאפשרת להתחשב בציבור רחב למדי של הולכי-רגל (ילדים, קשישים וכיוצ"ב). עם זאת, באזורים בהם יש אחוז גבוה של קשישים או משתמשים אחרים המוגבלים בניידות או המתקשים בהליכה, צריך להקטין את המהירות ל-0.8 מ'שני'. מהירויות אלה משמשות גם לתכנון פרק מעברי החצייה באותן הנחיות.

בהנחיות החדשות של משרד התחבורה לתכנון תנועת אופניים בערים (2009), ההתייחסות למהירות הרכיבה על אופניים היא כדלהלן:

"מהירות הרכיבה הממוצעת על אופניים היא 15-25 קמ"ש. בשיפוע יורד יכול רוכב האופניים לפתח מהירות גבוהה יותר העשויה להגיע ל-50 קמ"ש. לפיכך, מהירות התכן לתשתית לאופניים ברחובות עירוניים קרובה תמיד למהירות המרבית שיכולים האופניים לפתח".

## 2.6.2 משתמשי הדרך המנועיים

התאמת מהירויות מרביות מותרות לסוגי רכב שונים ידועה בשם Differential Speed Limits (DSL). סוגיה זו התעוררה בעקבות החלטת האיחוד האירופי משנת 1994, לקבוע למשאיות מכל הסוגים מגבלת מהירות של 90 קמ"ש<sup>2</sup>. כיום, מגבלות מהירות מיוחדות עבור אוטובוסים ורכב משא מקובלות ברוב מדינות האיחוד האירופי – ראו OECD (2006).

בארה"ב, בעקבות היתר העלאת המ"מ בשנת 1987, נקבעו במספר מדינות מהירויות מותרות שונות, לסוגי רכב שונים. מחקרים שנערכו לאחר מכן הראו, שמהירויות הנסיעה הממוצעות של המשאיות במדינות אלה היו נמוכות יותר לעומת מדינות אחרות, אך בד בבד, גדלה גם השונות במהירויות הנסיעה של כל סוגי הרכב בדרך. שינויי המהירות שנמצאו בהקשר זה, הן של המהירות הממוצעת והן של השונות, היו מובהקים רק כאשר ההפרש בין המהירויות המותרות היה בשיעור של 10 מייל (16 קמ"ש), לפחות. השוואת נתוני התאונות מדרכים אלה עם נתוני התאונות מדרכים מהירות עם מ"מ אחידה לכל סוגי הרכב, בחתכים של מספר כללי, שיעור וחומרת התאונות, לא הראתה שוני מובהק בין שני סוגי הדרכים (TRB, 1998).

במחקר אחר שהתפרסם בארה"ב (Garber et al, 2003), נערכה בחינה נוספת של השפעת ה-DSL לעומת מ"מ אחידה לכל סוגי הרכב, על מהירויות הנסיעה והבטיחות. במחקר נאספו נתונים על מהירויות הנסיעה, נפחי התנועה ותאונות הדרכים בדרכים מהירות בין-מדיניות ב-9 מדינות, בשנים 1991-2000. המדינות חולקו לארבע קבוצות, בהתאם למדיניות המ"מ שנקטה לאורך שנות הניתוח, כגון: מהירות מותרת אחידה בלבד, DSL בלבד, מעבר מהסף האחיד ל-DSL והמעבר הפוך. ההבדלים בין מדדי המהירות והתאונות של קבוצות המדינות נבחנו באמצעות מבחנים סטטיסטיים. ע"פ ממצאי המחקר לא נמצא שוני משמעותי בין האפקט הבטיחותי של ה-DSL לעומת מ"מ אחידה. כמו כן, נמצא כי מדדי המהירות ושיעורי התאונות נטו לעלות, לאורך השנים, בכל קבוצות הדרכים, ללא קשר עם מדיניות המ"מ.

סה"כ, עד כה, לא הצטברו הוכחות חד-משמעיות בעד או נגד שימוש במהירויות מותרות שונות, לסוגי רכב שונים.

---

<sup>2</sup> ע"פ הנחייה 92/24/EEC ועדכונה 2004/11/EEC חובה להתקין מגבילי מהירות ברכב משא (HGV) שמשקלו עולה על 3.5 טון וברכב עם יותר מ-9 מקומות ישיבה. במספר מדינות (דנמרק, אירלנד, אנגליה) קיימות מגבלות מהירות נוספות לרכב משא ואוטובוסים, בסוגי דרך מסוימים (OECD, 2006).

## פרק 3 – השפעות כלכליות של מהירות הנסיעה

### 3.1 הפרמטרים לאמידת ההשפעה הכלכלית

התוצר העיקרי של אמידת התועלת מנקודת ראות המשק הוא במספר מדדים כלכליים מצרפיים הקושרים בין מהירות הנסיעה לבין עלות הנסיעה למשק. בהיבט הכלכלי, מהירות הנסיעה המיטבית מנקודת ראות המשק, היא זו שמבטיחה ערך מזערי של העלויות למשק.

הפרמטרים הכלכליים המושפעים ממהירות הנסיעה הם:

- עלות זמן הנוסעים במערכת.
- הוצאות תפעול כלי הרכב.
- עלות כלכלית של תאונות דרכים.
- השפעות סביבתיות.

### 3.2 ניתוח הפרמטרים המשפיעים על עלות הנסיעה

להלן ניתוח של כל אחד מהמשתנים המצוינים לעיל, והקשר בינם לבין מהירות הנסיעה והעלות המחושבת בארץ, על בסיס הנחיות נוהל פר"ת (2006):

#### א. ערך זמן נוסעים

ערך הזמן הוא מרכיב מרכזי בהערכת התועלות הכלכליות למשק בהתייחס למהירות נסיעה מיטבית. מקובל להבחין בין ערך הזמן בנסיעות בענייני עבודה, נסיעות אל מקום העבודה ונסיעות אחרות. קיימת שונות בין המדינות בקביעת ערך זמן – בחלקן נקבע ערך זמן אחיד לכל מטרות הנסיעה ובחלקן ערך זמן שונה לפי מטרת הנסיעה. ערך הזמן בענייני עבודה באירופה הוא די אחיד ונע בתחום של 18 עד 21 דולר לשעה. ערך הזמן שלא בענייני עבודה נע בין 10% ל-50% מערך הזמן בענייני עבודה, כאשר הממוצע הינו 20%.

לצורך חישוב עלות זמן נוסעים, נוהל פר"ת מציע התפלגות של ערך הזמן על פי מטרות הנסיעה. מקדם ערך הזמן שונה לפי מטרות הנסיעה כדלקמן:

- נסיעות בענייני עבודה
- נסיעות לעבודה (אל ומעבודה)
- נסיעות אחרות

ערך הזמן לנסיעות בענייני עבודה מבוסס על ממוצע ערך שעת עבודה לשכיר (עלות מעביד). ערך הזמן לנסיעות לעבודה ולנסיעות אחרות מהווה אחוז קבוע מערך הזמן בענייני עבודה.

- ערך הזמן בנסיעות בעבודה הינו למעשה ממוצע שכר עבודה לשעה (עלות מעביד).
- ערך הזמן בנסיעות לעבודה מהווה 30% משכר העבודה הכולל לשעה.
- ערך הזמן בנסיעות אחרות מהווה 20% משכר העבודה הכולל לשעה.

משיקלול ההתפלגות היומית למטרות הנסיעה השונות (טבלה 3.1) בערך זמן הנוסעים לשעת אדם למטרות השונות (טבלה 3.2), מתקבל כי ערך הזמן הממוצע לשעה הינו: 16.2 ₪ לנוסע.

**טבלה 3.1:** התפלגות מטרות הנסיעה לפי תקופות יום\*

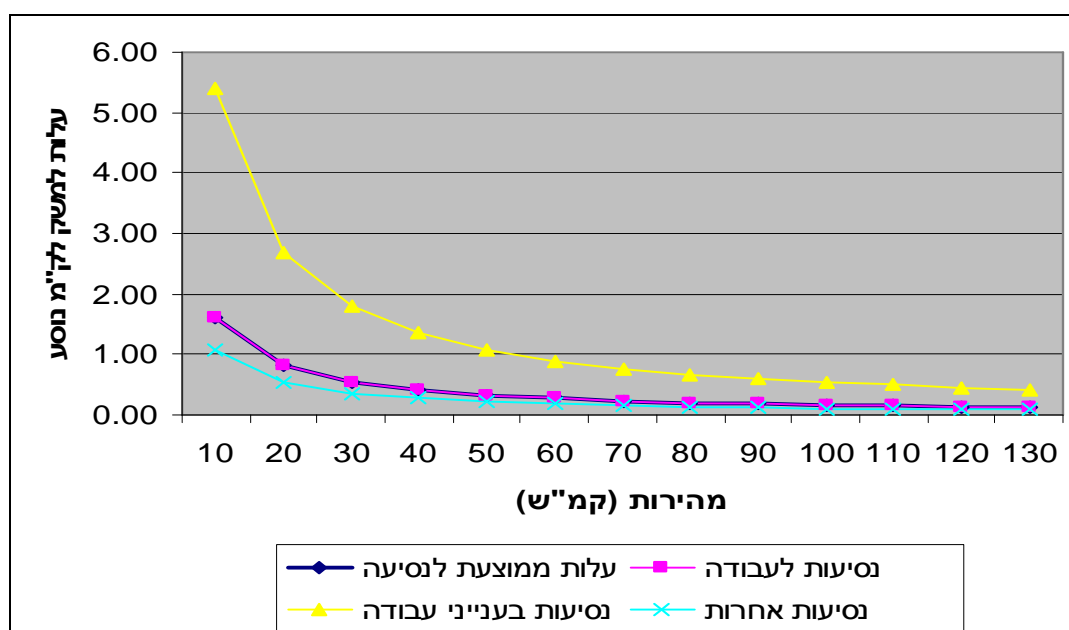
יומי	שעה						מטרות
	20-06	15-20	12-15	9-12	7-9	6-7	
15.3	14.0	2.7	7.1	11.0	34.7	52.5	לעבודה
10.6	8.3	3.1	10.7	21.1	16.2	19.4	בענייני עבודה
74.1	77.6	94.2	82.3	67.9	49.1	28.1	אחר
<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>סה"כ</b>

(\*) משוקלל בנוסעה

**טבלה 3.2:** ערך זמן נוסעים (במחירי 12.2004)

ערך הזמן (לשעת אדם) בנסיעות בעבודה	53.9 ₪ לשעה
ערך הזמן (לשעת אדם) בנסיעות לעבודה	16.2 ₪ לשעה
ערך הזמן (לשעת אדם) בנסיעות אחרות	10.8 ₪ לשעה

תרשים 3.1 מציג את הקשר בין מהירות הנסיעה לעלות למשק לק"מ נוסע לפי מטרת הנסיעה. מהתרשים ניתן לראות, כי ככל שהמהירות גבוהה יותר, אזי העלות של זמן הנסיעה למשק לק"מ נוסע פוחתת. עוד ניתן לראות כי ככל שעולה המהירות, אזי הפער של העלות למשק אל מול המהירות הנמוכה יותר הולך ומצטמצם. לדוגמא, בין מהירות 10 קמ"ש ל-20 קמ"ש חלה ירידה של 81 אג' בעלות הממוצעת למשק לק"מ, לעומת זאת בין מהירות 50 קמ"ש ל-60 קמ"ש חלה ירידה של 5 אג' בלבד בעלות.



**תרשים 3.1:** עלות זמן נוסעים למשק כפונקציה של המהירות

## ב. פונקציות הוצאות התפעול

פונקציות הוצאות התפעול שבנוהל פר"ת נקבעו על בסיס מחקר שנערך לאחרונה עבור אגף תכנון כלכלי במשרד התחבורה והנמצא בשלב בדיקה סופי<sup>3</sup>. הפונקציות כילו לכלי הרכב הבאים:

- רכב פרטי
- רכב מסחרי
- אוטובוס בעל 50 מושבים
- משאית במשקל כולל של 20 טון

הפונקציות הן במבנה  $Y = a + bv^2 + c \cdot \ln(v)$  שבו עלות התפעול של כלי הרכב (Y) בש"ח לק"מ היא פונקציה של מהירות הנסיעה. הפרמטרים a,b,c הינם קבועים כמפורט בטבלה 3.3, וה-V מייצג את מהירות הנסיעה בקמ"ש, כך שלמעשה המהירות הינה הגורם המשתנה המשפיע על עלות התפעול של כלי הרכב.

**טבלה 3.3:** טבלת הפרמטרים

סוג רכב	a	b	c
רכב פרטי	1.244502	0.000020	-0.225930
רכב מסחרי	1.793808	0.000031	-0.323050
אוטובוס	7.555102	0.000147	-1.618013
משאית	5.965730	0.000124	-1.249790

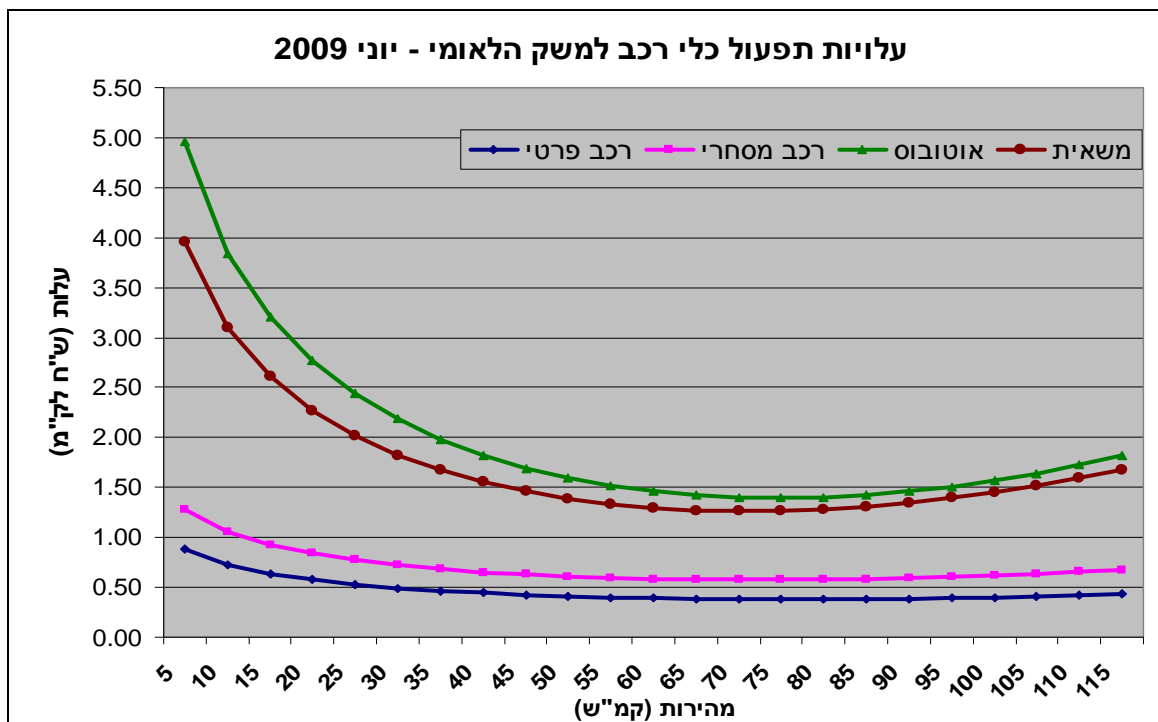
תרשים 3.2 מציג את הקשר בין מהירות הנסיעה לעלויות תפעול כלי-רכב למשק הלאומי במחירי יוני 2009. בתרשים ניתן לראות, כי מינימום עלויות התפעול לגבי כלי-רכב פרטיים ואוטובוסים הינו במהירות של כ-70-80 קמ"ש, והמינימום לגבי כלי-רכב מסחריים ומשאיות מתקבל במהירות של כ-70 קמ"ש.

עלות תפעול כלי הרכב הולכת וקטנה בקצב מהיר עד לנקודת המינימום במהירות 70-80 קמ"ש, ולאחר מכן עלות התפעול הולכת וגדלה, אולם בקצב מתון יותר. לדוגמא, בהעלאת המהירויות מ-10 קמ"ש ל-30 קמ"ש, עלות התפעול של כלי-רכב פרטיים פוחתת ב-24 אג' לק"מ, ובהעלאת המהירות מ-80 קמ"ש ל-100 קמ"ש, עלות התפעול גדלה רק ב-2 אג' לק"מ.

## ג. עלות תאונות דרכים

על פי מחקר שנערך עבור אגף תכנון כלכלי במשרד התחבורה ע"י חברת מת"ת (2004), הנזק הכלכלי הנגרם למשק הלאומי כתוצאה מתאונות דרכים ניתן לחלוקה ל-7 מרכיבים:

<sup>3</sup> נכון ליוני 2009



### תרשים 3.2: עלויות תפעול כלי-רכב למשק

- ירידה בתפוקה עקב תאונות – הכוללת אובדן תפוקה של הרוגים בתאונות, אובדן ימי עבודה מידי של המעורבים בתאונה, ירידה מתמשכת ביכולת העבודה של פצועים קשה, הנותרים נכים בעקבות התאונה, וכן אובדן ימי לימודים של תלמידים המעורבים בתאונות.
- פגיעה ברווחת החיים של נפגעים ומשפחותיהם – ערך חייהם של הרוגי התאונות, מלבד תפוקתם שאבדה, נזקי צער, כאב וסבל של קרובי ההרוגים, וכן נזקי צער, כאב וסבל של פצועים קשה וקרוביהם.
- עלויות ישירות של טיפולים רפואיים, שיקום וסיעוד.
- עלויות ישירות של טיפולים אחרים בתאונות – עלויות של גופים ציבוריים כמו משטרה ובתי משפט וכן עלויות של גופים פרטיים כמו חברות הביטוח, שמאים ועוד.
- נזקי רכוש – עלות תיקון כלי הרכב שנפגעו ונזקים לציוד ולמטען בכלי-רכב מעורבים, וכן למתקני דרך.
- הפניית משאבים לאומיים למניעת תאונות וצמצום נזקיהן.
- עלות עיכובי דרך עקב תאונות דרכים.

העלות הכוללת מורכבת, בהתאם לרשימה זו, ממרכיבים בעלי אופי שונה. חלקם מהווים הוצאה ישירה וידועה, חלקם קשים לכימות פיזי ו/או לכימות כספי, וחלקם תלויי גישה נורמטיבית, ואינם ניתנים לכימות מוסכם יחיד.

בעבודה שנערכה ע"י א.ב. פלאן (2008) בה נעשה שימוש באותם עקרונות מתודולוגיים של חברת מת"ת, נמצא שעלות תאונות הדרכים למשק בשנת 2007 נאמדת לפי הערכה נמוכה ב- 15.96 מיליארד ₪ (2.4% מהתמ"ג), וב-23.62 מיליארד ₪ לפי הערכה גבוהה.

כפי שצוין לעיל בסעיף 2.1, קיים קשר ישיר בין מהירויות הנסיעה לבין התרחשות התאונות בדרך וחומרתן. במחקרים רבים בעולם נמצא קשר סטטיסטי מובהק, לפיו ככל שמהירות הנסיעה בפועל גבוהה יותר, אזי קיימת שכיחות גבוהה יותר לתאונות דרכים ובייחוד, לתאונות חמורות יותר.

לדוגמא מחקרו של Elvik (2002) נמצא שעלות תאונות דרכים למשק עולה באופן מעריכי לעליית מהירות הנסיעה, מאחר שיותר תאונות דרכים חמורות מתרחשות במהירויות נסיעה גבוהות יותר.

#### **ד. עלות הפרמטרים הסביבתיים (רעש, זיהום אוויר)**

##### רעש

הגישות הנהוגות להערכת המחיר הכלכלי של הרעש הינן:

- השפעות הרעש על מחירי הנדל"ן.
- הנכונות לשלם על מנת להפחית את מטרד הרעש.
- פיצוי בגין מטרדי רעש.

##### זיהום אוויר

חשיפה לזיהום אוויר הנגרמת בגין חומר חלקיקי PM10 החודר לריאות, גורמת לסיכונים בריאותיים:

- תמותה (מעל גיל 30).
- אשפוזים בשל קשיי נשימה ובעיות כלי הדם.
- שכיחות מקרי ברוניטי ואסטמה.
- אובדן ימי עבודה.

הנזק הכלכלי המחושב על פי נוהל פר"ת הוא הגידול ברמת התמותה הנגרמת בשל תוספת החשיפה לרמת זיהום האוויר. לפרמטרים האחרים קיים אמנם משקל כלכלי רב, אך אין עדיין מדדים זמינים לחישוב נזקים אלו.

למהירויות נסיעה גבוהות יותר מיוחסות השפעות שליליות בהקשר של פגיעה באיכות הסביבה – רעש וזיהום אוויר ופגיעה באיכות החיים באזורים העירוניים.

בנוהל פר"ת לא נעשה קישור בין עלות הנזק למשק מרמת הרעש וזיהום האוויר לבין מהירות הנסיעה. על בסיס מחקרים שנערכו בחו"ל, כגון: מחקרו של Elvik (2002) שבחן את מהירות הנסיעה המיטבית, נמצא כי:

**עלות זיהום אוויר** – בעלת קשר מורכב עם המהירויות, אך כללית, ניתן לומר כי עלות זו נוטה להשתנות באותו אופן שעלויות תפעול כלי-רכב משתנות – הולכות ופוחתות עד למהירות של כ-70 קמ"ש (המינימום של פונקציה עלות זיהום האוויר), ולאחר מכן עלות זיהום האוויר גדלה באופן מתון עם העלייה במהירות הנסיעה;

**רעש** – הנזק הכלכלי למשק מרעש תנועה נוטה לעלות ככל שהמהירות עולה. (ראו גם סעיף 2.3 לעיל).

### 3.3 מהירות נסיעה מיטבית

מחקרו של Elvik (2002) דן בערכים מיטביים למהירויות נסיעה מותרות בדרכים ציבוריות בנורבגיה ובשבדיה, תוך התייחסות לארבע נקודות מבט שונות:

- נקודת המבט של המשק – הכוללת את כל העלויות (זמן נסיעה, תפעול כלי-רכב, תאונות דרכים, רעש תנועה וזיהום אוויר), ללא התחשבות האם העלויות פנימיות או חיצוניות מנקודת ראות הנהגים.
- נקודת המבט של משתמש הדרך – הכוללת את העלויות שמשתמש הדרך משלם מכיסו או אלו שהוא יכול לקבוע על פי מהירות הנסיעה בה הוא בוחר.
- נקודת המבט של משלם המיסים – הכוללת את העלויות שאינן נכללות במסגרת המיסים שמשולמים על השימוש ברכב מנועי. הנחת העבודה שהמס אותו משלם המשתמש ברכב (על דלק וכיו"ב) מממן בנורבגיה את כל עלות ההשפעות החיצוניות שנוצרות למשק בשל שימוש ברכב – תאונות דרכים, זיהום אוויר ורעש, ובשוודיה – 80% מעלות ההשפעות החיצוניות.
- נקודת המבט של התושבים – שיכולה לראות בתנועה מהירה מטרד ומקור דאגה, אף על פי שחסכון זמן נסיעה בדרך כלל נחשב כרווח מנקודת מבט הנוסע. בגלל המשקל הגבוה שהם נותנים לתאונות דרכים, ניתן משקל כפול לפרמטר זה. לגבי רעש וזיהום אוויר, היקף התנועה באזורי מגורים נמוך באופן יחסי, ובנוסף הפחתת המהירות מגדילה את הזיהום ולכן פרמטר זה לא נלקח בחשבון.

טבלה 3.4 מרכזת את שיעורי העלויות הרלבנטיים לכל נקודת מבט בהתייחס לכל מרכיבי העלות.

**טבלה 3.4:** שיעורי עלויות רלבנטיים לכל נקודת מבט לפי Elvik (2002)

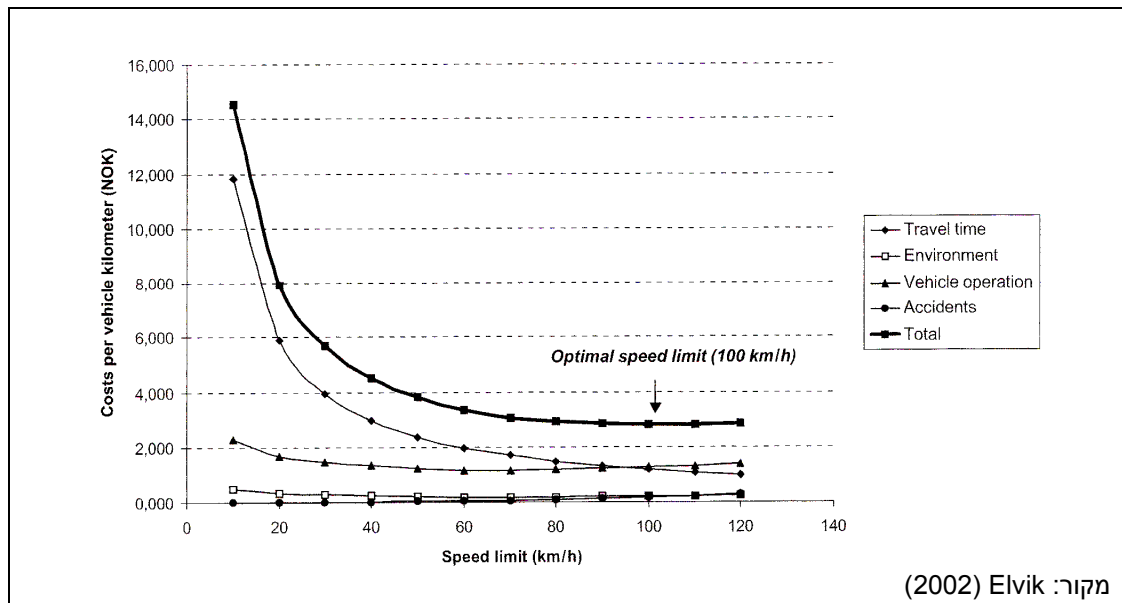
אחוזי עלות הנכללים בקביעת המהירות המרבית המיטבית לכל נקודת מבט				פרמטר
מנקודת ראות התושבים	משלם המיסים	משתמש הדרך	המשק	
100%	100%	100%	100%	זמן נסיעה
100%	100%	100%	100%	עלויות תפעול כלי-רכב
200% (כפול)	0% בנורבגיה ו-20% בשבדיה	60% בנורבגיה ו-70% בשבדיה	100%	עלות תאונות דרכים
0%	0% בנורבגיה ו-20% בשבדיה	0%	100%	עלויות השפעות סביבתיות

קביעת מהירות הנסיעה המיטבית בנורבגיה ובשבדיה נערכה לחמישה סוגים עיקריים של דרכים, כמפורט להלן:

- דרכים מהירות ממוחלפות.

- דרכים מהירות.
- דרכים ראשיות באזורים כפריים.
- דרכים עורקיות עירוניות.
- דרכי גישה באזורי מגורים.

תרשים 3.3 מציג את הקשר בין סך העלויות למשק (של כלל הפרמטרים שהוצגו) למהירות הנסיעה בדרכים מהירות ממוחלפות בנורבגיה, לפי נקודת המבט של המשק.



### תרשים 3.3: סך עלויות למשק בדרכים מהירות ממוחלפות בנורבגיה מקור: Elvik (2002)

מניתוח תרשים 3.3 ניתן לראות שלזמן הנוסעים, ולאחר מכן להוצאות תפעול כלי-רכב, יש את המשקל הגבוה בסך עלויות הנסיעה למשק, כאשר להשפעות על איכות הסביבה (רעש וזיהום אוויר) ולתאונות הדרכים משקל קטן יותר מסך עלות הנסיעה למשק.

במהירות נמוכות יותר, מרכיב זמן הנוסעים הוא גבוה יותר מהוצאות תפעול כלי-רכב, וככל שהמהירות עולה הפער מצטמצם, ובתחום של מהירויות נסיעה של 90-100 קמ"ש ומעלה המשקל של מרכיב עלויות תפעול כלי-רכב גבוה במעט ממרכיב זמן הנוסעים.

עלות זמן הנוסעים היא המשתנה היחיד שיורד באופן עקבי ככל שהמהירות עולה, זאת מאחר שככל שהמהירות גדלה, אזי זמן הנוסעים קטן. זמן הנסיעה המזערי יהיה במהירות הגבוהה ביותר. גם מנתונים בארץ, על סמך נוהל פר"ת, נתקבל קשר זהה בין עלות זמן נוסעים למהירות – ככל שמהירות הנסיעה גדלה אזי זמן הנוסעים קטן באופן ישיר.

עלויות תפעול כלי-רכב הקשורות גם לצריכת הדלק, נוטות להגיע למינימום בסביבות 70 קמ"ש. כפי שמוצג בתרשים 3.3, קיימת ירידה מהירה בעלויות התפעול עד למהירות של 70 קמ"ש, שהינה המהירות המיטבית מבחינת הוצאות התפעול, בדומה לפונקציות הוצאות

התפעול המעודכנות שנערכו עבור האגף לתכנון כלכלי במשרד התחבורה. לאחר מכן חלה עלייה מתונה באופן יחסי בהוצאות התפעול.

סך העלויות למשק המושפעות ממהירות הנסיעה הינו הסכום של עלויות זמן נוסעים, תפעול כלי-רכב, זיהום אוויר, רעש תנועה ותאונות דרכים. עלות הנסיעה יורדת באופן חד עם עליית המהירות מ-10 קמ"ש ל-70 קמ"ש. בתחום שבין 70 ל-120 קמ"ש, סך העלויות הן כמעט קבועות, עם אחוז שינוי של פחות מ-10%.

מגבלת המהירות המיטבית בדרכים מהירות ממוחלפות בנורבגיה, לפי הניתוח הכלכלי המוצג לעיל, היא 100 קמ"ש. סך העלויות למשק במגבלת מהירות זו הן רק 0.5% פחות מסך העלויות במגבלת מהירות של 110 קמ"ש, ונמוכות ב-1.2% מסך העלויות במגבלת מהירות של 90 קמ"ש.

מגבלת המהירות המיטבית רגישה לבחירה של נקודת מבט (המשק, משתמש הדרך, משלם המיסים או התושבים) ולהערכה הכספית של השפעות אלו.

מגבלות מהירות שונות כמו 70 קמ"ש ו-120 קמ"ש הן בעלות השלכות שונות, במיוחד לבטיחות בדרכים ולזמן הנסיעה. למרות זאת, ניתן לראות מהממצאים כי ההבדל בסך העלות למשק של מהירויות אלה בדרכים מהירות ממוחלפות הינו קטן ומסתכם בפחות מ-10%. ארבע נקודות המבט שצוינו לעיל אינן בעלות חשיבות רבה למגבלת המהירות המיטבית בדרכים מהירות ממוחלפות. מגבלת המהירות המיטבית מבחינה כלכלית, הן לפי נקודת המבט של המשק והן של התושבים, היא במהירות 100 קמ"ש. לפי נקודת המבט של משתמש הדרך, מגבלת המהירות המיטבית בדרכים מהירות ממוחלפות היא 110 קמ"ש, ומנקודת המבט של משלם המיסים מתקבלת מגבלת מהירות מיטבית של 120 קמ"ש.

המסקנות שונות כאשר נלקחים בחשבון דרכים באזורי מגורים, כמפורט להלן:

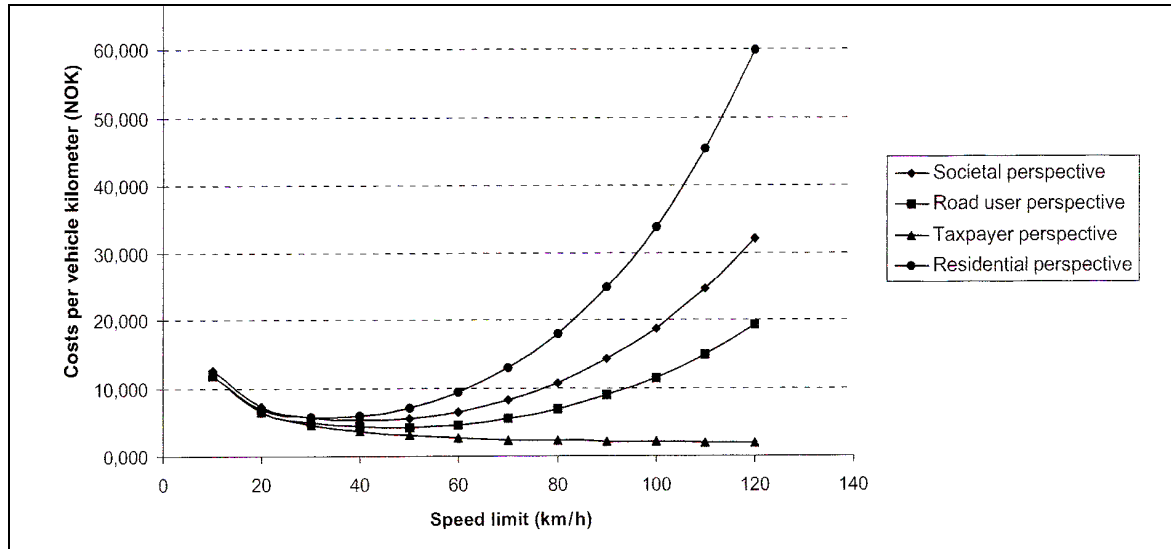
תרשים 3.4 מציג את התלות של סך עלויות הנסיעה במהירות בדרכים באזורי מגורים, בהתאם לכל אחת מנקודת המבט. המהירות המרבית המיטבית היא 30 קמ"ש מנקודת מבט התושבים, 40 קמ"ש מנקודת מבט המשק ו-50 קמ"ש מנקודת המבט של משתמשי הדרך. מנקודת המבט של משלם המיסים מתקבלת מגבלת מהירות מיטבית של 120 קמ"ש, אפילו בסוג זה של דרך שהינו באזורי מגורים. למרות האבסורד, התוצאה הזאת מעניינת על מנת להראות מה קורה כאשר מתעלמים מתאונות דרכים והשפעה סביבתית לצורך קביעת המהירות המיטבית.

טבלאות 3.5 ו-3.6 מסכמות את תוצאות הערכת מגבלת המהירות הכלכלית המיטבית בנורבגיה ובשבדיה.

חישוב מהירות הנסיעה האופטימאלית בשבדיה נקבעה באותה מתודולוגיה כמו בנורבגיה, תוך ביצוע התאמות בעלויות ובמאפיינים הייחודיים של כל מדינה.

ניתן לציין כי מנקודת ראות המשק בכל סוגי הדרכים, מגבלת המהירות המיטבית שנקבעה בנורבגיה נמוכה יותר מזו שבשבדיה. במחקר מצוינות שלוש סיבות עיקריות לכך שמגבלת המהירות המיטבית לדרכי גישה בשבדיה מוערכת בכ-50 עד 60 קמ"ש כנגד 30 עד 50 קמ"ש בנורבגיה: ראשית, החיסכון בזמן הנסיעה מוערך בסכום גבוה יותר בשבדיה מאשר בנורבגיה;

שנית, ממוצע עלות תאונות הדרכים גבוה יותר בנורבגיה מאשר בשבדיה; שלישית, שיעור הפגיעות הממוצע מתאונות לכל מיליון ק"מ של נסיעת כלי-רכב בדרכי גישה באזורי מגורים גבוה בערך פי 4 בנורבגיה (1 לכל מיליון ק"מ נסיעה) מאשר בשבדיה (בערך 0.25 לכל מיליון ק"מ נסיעה). כל ההבדלים האלה מביאים להעדפת מגבלת מהירות נמוכה יותר בדרכים באזורי מגורים בנורבגיה מאשר בשבדיה.



**תרשים 3.4:** מהירות מרבית מיטבית בדרך גישה באזורי מגורים בנורבגיה בהתייחס לנקודת המבט מקור: Elvik (2002)

**טבלה 3.5:** תוצאות הערכת מגבלת המהירות הכלכלית המיטבית בנורבגיה

מהירות מיטבית (קמ"ש)				מגבלת מהירות נוכחית (קמ"ש)	מהירות ממוצעת בקמ"ש	סוג הדרך
מנק' ראות התושבים	מנק' ראות המיסים	מנק' ראות משתמשי הדרך	מנק' ראות המשק			
100	120	110	<b>100</b>	90	95	דרך ממוחלפת
70	120	90	<b>80</b>	90	86	דרך בין-עירונית
60	120	80	<b>70</b>	80	77	דרך בין-עירונית באזור כפרי
50	120	60	<b>50</b>	50	50	עורק עירוני
30	120	50	<b>40</b>	30	40	דרך גישה

התיאוריה של מגבלת מהירות מיטבית הינה על מנת להציע דרך אידיאלית לקביעת מגבלת המהירות. הרצון לשמור על זמן נסיעה קצר ככל האפשר מוחלף מנגד בצורך בבטיחות ובהקטנת ההשפעה הסביבתית של התנועה. אף על פי כן, הדוגמאות שניתנו לעיל בהתייחס

לנורבגיה ולשבדיה מראות את הגבולות של סוג זה של אופטימום, וכמו כן את הפוטנציאל שלו. קיימות מספר נקודות נוספות שיש לקחת בחשבון:

- המחקר שנערך לא כלל את ההשפעה של שחיקת הכבישים ותחזוקתם. נושא זה הושמט מאחר שהתרומה שלו לעלויות הכוללות של המשק הינה קטנה באופן יחסי (פחות מ-5% לפי הערכות בנורבגיה ובשבדיה). השפעה נוספת שהושמטה, היא הצורך באכיפת מגבלת מהירות הנסיעה.
- חשיבות הערכה כספית אמינה ותקפה של כל ההשפעות של מהירות – ניתן לראות כי אף על פי שאותן השפעות של מהירות נכללו כאשר הוערכה המהירות המיטבית המרבית הן בנורבגיה והן בשבדיה, ההערכות הכספיות של כמה מההשפעות האלה שונות באופן ניכר. העלות שנקבעה להנפקה של 1 קילוגרם של פחמן דו-חמצני היא פי 4 גבוהה יותר בשבדיה מאשר בנורבגיה. למעשה, העלות של הנפקת פחמן דו-חמצני מהווה כמעט 90% מסך עלויות זיהום האוויר בשבדיה, לעומת 35% בלבד בנורבגיה. ההערכות הכספיות הרשמיות של זמן נסיעה ותאונות שונות אף הן, באופן מפתיע, שונות בין נורבגיה לשבדיה.

### טבלה 3.6: תוצאות הערכת מגבלת המהירות המיטבית בשבדיה

מהירות מיטבית (קמ"ש)				מגבלת מהירות נוכחית (קמ"ש)	מהירות ממוצעת בקמ"ש	סוג הדרך
מנק' ראות התושבים	מנק' משלם המיסים	מנק' ראות משתמשי הדרך	מנק' ראות המשק			
110	120	120	<b>110</b>	110	109	דרך מהירה ממוחלפת
80	120	100	<b>90</b>	110	108	דרך מהירה – מגבלת מהירות נוכחית 110 קמ"ש
70	120	90	<b>80</b>	90	96	דרך מהירה – מגבלת מהירות נוכחית 90 קמ"ש
80	120	100	<b>80</b>	90	95	דרך מהירה באזור כפרי
50	100	60	<b>60</b>	50	50	עורק עירוני
50	100	60	<b>60</b>	30	39	דרך גישה

מחקר נוסף לקביעת מהירות הנסיעה המיטבית נערך בספרד, ע"י Robuste et al (2003), עבור דרך מהירה ממוחלפת צפונית לברצלונה. מהבחינה המתודולוגית חושבו אותם הפרמטרים כמו במחקרו של Elvik (2002), וכמו כן, נלקח פרמטר נוסף של העדפת הנהג לגבי מהירות הנסיעה.

במחקר שנערך בספרד נמצא, שהמהירות הכלכלית האופטימאלית בה העלות למשק הנמוכה ביותר, הינה כ-124 קמ"ש. הערכת עלות תאונות דרכים, רעש וזיהום סביבתי במחקר הספרדי נמוכה יותר בהשוואה לממצאי המחקר שנערך בנורבגיה ובשבדיה, בו התקבלה מהירות מיטבית נמוכה יותר (100 קמ"ש בנורבגיה ו-110 קמ"ש בשבדיה).

מבחינת הראות החברתית, לא לכל המשתנים המעורבים בניתוח הכלכלי יש אותה חשיבות. לתאונות דרכים יש השפעה חברתית גדולה יותר מאשר למשתנים האחרים המשפיעים על עלות הנסיעה. בניתוח רגישות שנערך ע"י Robuste et al (2003), בו ניתן לעלות תאונות דרכים משקל גדול יותר מהערך הכספי, התקבלו הממצאים הבאים:

משקל תאונות הדרכים	מהירות מיטבית (קמ"ש)
1	124
2	122
3	118
5	112

כמו כן, במחקר שנערך בספרד נמצא, שהפערים בעלות הנסיעה בתחום של המהירות המיטבית קטנים. הפער בעלות הנסיעה למשק בין המהירות המיטבית (124 קמ"ש) למהירות 100 קמ"ש או 140 קמ"ש הוא כ-5%.

### 3.4 סיכום ומסקנות

הדילמה הכלכלית בקביעת מהירות הנסיעה המיטבית בדרכים בינעירוניות מתמודדת עם הקונפליקט הקיים בין המשתנים הקובעים את עלות הנסיעה למשק.

לעלות זמן הנוסעים המשקל הגבוה, כאשר בהיבט הכלכלי, ככל שמהירות הנסיעה עולה, עלות זמן הנוסעים קטנה. המשתנה הבא בחשיבותו מבחינת העלות למשק הוא הוצאות תפעול כלי-רכב, כאשר העלות למשק של משתנה זה הולכת ופוחתת ככל שמהירות הנסיעה גדלה עד למהירות של כ-70 קמ"ש, ובמהירויות גבוהות יותר העלות למשק הולכת וגדלה. במהירויות הגבוהות יש שינוי מגמה, והמשקל של הוצאות תפעול כלי-רכב גדול יותר מהמשקל של עלות זמן נוסעים.

למשתנים האחרים המשפיעים על עלות הנסיעה: תאונות דרכים, זיהום אוויר ורעש, קיים משקל קטן יותר. במהירויות הרלוונטיות לדרכים הבינעירוניות, המגמה במשתנים אלו היא גידול בעלות למשק עם הגדלת מהירות הנסיעה.

במחקרים שנערכו בחו"ל מתקבל, שבתחום המהירות הרלוונטי בדרכים הבינעירוניות, עלות זמן הנוסעים קטנה עם הגידול במהירות הנסיעה, ומקזזת את תוספת העלות הקיימת במשתנים האחרים, לכן השיפוע של פונקציית עלות הנסיעה הכוללת מתון, והפערים בעלות הנסיעה למשק במהירויות נסיעה שונות הוא קטן באופן יחסי.

עלות המשתנים הקובעים את עלות הנסיעה מבוססת על הנחות והערכות, ואין לה ערך חד-ערכי. במחקרים שנערכו בחו"ל על בסיס הערכות והנחות שונות לגבי אמידת המשתנים, התקבלו תוצאות שונות לגבי מהירות הנסיעה המיטבית.

בפני הצוות בעבודה הנוכחית עמדה הדילמה, האם להעלות את מהירות הנסיעה המומלצת, שבהיבט הכלכלי מביאה מחד להקטנת עלות זמן נוסעים למשק (ולשיפור היעילות הכלכלית),

ומאידך להגדלת העלות למשק בתחום של הוצאות תפעול כלי-רכב וההשפעות החיצוניות: תאונות דרכים וזיהום סביבתי.

מרכיב חשוב נוסף אותו יש לקחת בחשבון בהערכת מרכיב זמן נסיעה ועלות זמן נוסעים בהיבט המשק הישראלי, הוא ריכוז האוכלוסייה ומוקדי הפעילות הכלכלית במרחב גיאוגרפי קטן, לכן מרחקי הנסיעה ומשך זמן הנסיעה אינם גדולים.

כפי שיפורט בהמשך בפרק 4, הצוות בחר לא לשנות את המהירויות המומלצות שבתוקף, מלבד בדרכים פרבריות/מעויירות ובדרך דו-מסלולית ממוחלפת, בהן המהירות המרבית המומלצת הועלתה מ-90 קמ"ש ל-100 קמ"ש, ובדרכים חד-מסלוליות, בהן המהירות הופחתה מ-80 קמ"ש ל-70 קמ"ש.

המלצות הצוות להעלות את מהירות הנסיעה בדרכים פרבריות/מעויירות ודו-מסלוליות ממוחלפות נסמכת בין השאר על מהירויות הנסיעה בפועל, אשר גבוהות יותר בדרכים הדו-מסלוליות הממוחלפות מאשר בדרכים הדו-מסלוליות האחרות. להחלטה על העלאת מהירות הנסיעה המותרת לא תהא השפעה משמעותית על מהירות הנסיעה בפועל, ובנוסף, שיעור ההרוגים בתאונות בדרכים אלו נמוך, לכן להעלאת המהירות אין משמעות ניכרת בהיבט הכלכלי למשק או בהיבט החברתי.

ההחלטה לא להעלות את מהירות הנסיעה המותרת בדרכים מהירות ובדרכים דו-מסלוליות שאינן ממוחלפות, ולהפחית את מהירות הנסיעה בדרכים חד-מסלוליות, נתמכת במאפייני מרחקי הנסיעה הקצרים באופן יחסי בישראל, ובהערכה גבוהה לעלות התאונות למשק. על בסיס מאפייני פונקצית עלות הנסיעה למשק המוצגת במחקרים שנערכו בחו"ל, המלצת הצוות בקביעת מהירויות הנסיעה המותרות אינה בהכרח מביאה לתוספת עלות למשק, ומקבלת משנה תוקף בהיבט הציבורי וביעד הלאומי של הקטנת היקף תאונות דרכים.

## פרק 4 – קביעת מהירויות הייעוד והתכן

### 4.1 הגישה החדשה

#### 4.1.1 התפישה הכללית

מהירות הינה אחד ממאפייני זרם התנועה הבסיסיים, המגדירה את מצב הזרימה הן ברמת המאקרו והן ברמת המיקרו. מהירות גבוהה בדרך מצביעה על תנאי זרימה טובים, הן כתוצאה מנתוני הדרך והן כתוצאה של נתוני התנועה. מבחינת קיבולת הדרך, קיימת מהירות מיטבית, שאינה בהכרח קרובה למהירות הייעוד או המהירות המותרת, בה נפח התנועה בדרך מסוימת הינו המרבי. מהירות נמוכה מהמהירות המיטבית מהווה, בעיקר במערכת הדרכים הבין-עירונית והעורקית-עירונית, כשל תפעולי הבא לידי ביטוי בהפסדי זמן, בהגדלת הוצאות תפעול ובאי ניצול יעיל של התשתית.

בהיבט הבטיחותי, רוב המחקרים מצביעים על קשר בין המהירות ובין התרחשות וחומרה של תאונות הדרכים, כאשר גם השונות של המהירויות בין כלי הרכב השונים גורמת לחוסר בטיחות בדרך. מכאן, הסוגיה המרכזית כאשר עוסקים בנושא מהירויות תכן ומהירויות מותרות הינה: כיצד לקבל מערכת דרכים העונה על הצרכים התפעוליים, הבטיחותיים, הכלכליים, החברתיים ואחרים, כי הרי יש סתירות מובנות ביניהם. נראה שהתשובה טמונה בסיווג הברור והחד של מערכת הדרכים, ובתכונות הגיאומטריות השונות הבאות לידי ביטוי במהירויות התכן של כל סוג דרך, וכתוצאה, במהירויות נסיעה בפועל של משתמשי הדרך.

הדרכים המהירות, הפרבריות-מהירות והראשיות במערכת הבין-עירונית, והדרכים העורקיות העירוניות, מיועדות להזרמת תנועה מאזור לאזור, הן במרחב הארצי והן במרחב המטרופוליני. יש לשאוף ולתכנן כך, שדרכים אלה יישאו את עיקר התנועה, ויספקו רמת שירות גבוהה. דרכים אלה חייבות להיות מתוכננות בסטנדרט תכנוני גבוה, ולפיכך מהירות התכן שלהן והמהירויות המותרות בהן צריכות להיות גבוהות. כך גם תושג יעילות תפעולית וכלכלית, וכך גם יתקבל הדבר באופן חיובי ע"י החברה והפרט.

רמת הבטיחות באותן דרכים לא תיפגע בהכרח בתנאים אלה, אלא להיפך, כל עוד הן מתוכננות לרמת בטיחות גבוהה. המהירויות הנהוגות בדרכים אלו אינן מתיישבות עם הסיבולת של גוף האדם שאינו מוגן, כאשר מתרחשת תאונה. בקטגוריה זו נכללים הולכי-הרגל, רוכבי האופניים ורוכבי האופנועים הקלים (הטוסטוסים). על כן בדרכים אלה יש לדאוג להפרדה בין המשתמש הפגיע בדרך לבין יתר התנועה.

לעומת זאת, הדרכים האזוריות והמקומיות במערכת הבין-עירונית, והרחובות המאספים והמקומיים במערכת העירונית, מיועדים בעיקר לצורכי נגישות. דרכים אלו חייבות לבטא את מעמדן הנחות יחסית ברשת גם בסטנדרטים הגיאומטריים וגם במהירויות התכן ובמהירויות המותרות. עצם נחיתותן של דרכים אלה לצרכי תנועה עוברת ותפקודן בעיקר לצרכי נגישות, יצור מצב שתנועה תעבור מהן באופן טבעי לדרכים ברמה הגבוהה יותר, שהן גם הדרכים

הבטיחותיות יותר. מכאן, שהבטיחות תעלה לא רק בדרכים אלה, אלא גם בכלל רשת הדרכים, הן הארצית והן העירונית.

בנוסף, במערכת עירונית קיימים רחובות עם מיתון תנועה, בהם התפיסה התכנונית שונה, דהיינו – המהירות הנמוכה אינה מושגת ע"י הפחתת מהירות התכן, אלא באמצעות הסדרי תנועה מיוחדים. בשל המהירויות הנמוכות הנהוגות בדרכים אלה, ניתן לערבב את סוגי משתמשי הדרך, ולאפשר שימוש משולב של משתמשי דרך פגיעים עם יתר סוגי התנועה.

#### 4.1.2 ניהול מהירויות – הרציונל

ניהול מהירויות הנסיעה כולל מגוון אמצעים ופעילויות שמכוונים להשגת רמת מהירות רצויה, בכל מערכת הדרכים. מרכיבי ניהול מהירויות הנסיעה הם: קביעת מהירויות מותרות; אמצעים הנדסיים להסדרת תשתיות הדרכים; אמצעים טכנולוגיים בתוך הרכב; חינוך והכשרת נהגים; תוכניות אכיפה והסברה; יישום טכנולוגיות חדשות. לפי OECD (2006), במצב האידיאלי, לו היה ניתן להקים מערכת תחבורה חדשה, ניהול מהירויות הנסיעה ברשת היה באמצעות אמצעים אלה:

- סלילת דרכים, כאשר לכל סוג דרך תפקיד מוגדר וברור אשר בא לידי ביטוי בתכן הדרך. אופן הסלילה ומאפייני התכן של כל דרך היה מעביר לנהגים מסר ברור לגבי מהירויות הנסיעה המתאימות בדרכים אלה.
- הדרכה נוספת של נהגים באמצעות שלטים עם מהירויות מרביות מותרות (ממ"מ) אשר יוצבו בצידי הדרכים, כך שערכים של הממ"מ יהיו אמינים ותואמים את מהירויות הנסיעה המתוכננות בדרכים אלה. ממ"מ דינאמיות יהיו בשימוש תדיר, על מנת להבטיח התאמה מרבית לתנאי הדרך והתנועה.
- סיוע נוסף לנהגים, בכך שהדרכים יסומנו וישולטו עם כל המידע הדרוש לגבי מהירויות הנסיעה המתאימות.
- בנוסף, למען הגברת ציות הנהגים לממ"מ, ישמשו אמצעים טכנולוגיים בתוך הרכב; חינוך והכשרת נהגים; תוכניות אכיפה והסברה.

ניהול מהירויות הנסיעה ברשת הדרכים צריך להתבסס על רציונל מערכתי אחד: כשלב ראשון בתהליך זה, נדרשת הגדרה ברורה של תפקידי הדרכים ברשת – מדרג דרכים. בכל מדינה, מדרג הדרכים נקבע בהתחשב במבנה הטופוגרפי, בריכוזי אוכלוסייה, בצרכים תחבורתיים, בשיקולים סטטוטוריים ועוד, וכמו כן, בהתחשב בשיקולי הניידות בהגדרת תפקידי הדרכים: העברה/זרימת תנועה, פיזור תנועה או גישה לאזורי מגורים. לכל סוג דרך נקבע מרחב פיסי להקמה (זכויות דרך) ועקרונות תכן.

הראייה המערכתית של ניהול מהירויות הנסיעה ברשת הדרכים מחייבת שלכל סוג דרך מוגדר תיקבע מהירות נסיעה רצויה בדרכים אלה – "מהירות הייעוד". מהירויות הייעוד לסוגי דרך שונים נקבעות בהתאם למגוון שיקולים: הניידות, הבטיחות, איכות הסביבה, איכות חיים בריכוזי מגורים ועוד, אשר נבחנים ברמה המערכתית (של כל רשת הדרכים).

בחירה של מהירות הייעוד לסוג דרך מסוים צריכה לבוא לידי ביטוי במאפייני הדרך שיתוכננו בסוג דרך זה, כגון: החתכים הטיפוסיים, סוגי צמתים, אביזרי תנועה ובטיחות, אמצעי סימון

ותימרו וכו'. במהלך הזמן, מאפייני דרך אלה יזוהו בעיני הנהגים עם סוג דרך מסוים ועם מהירויות שמתאימות לנסיעה בסוג דרך זה. כלומר, השאיפה היא שניהול המהירויות יבוצע, קודם כל, באמצעות מאפייני התשתית אשר מעבירים לנהגים מסר עקבי וברור לגבי סוג הדרך בה הם נוסעים ומשטר המהירות המתאים, כאשר יתר האמצעים (הצבת תמרו מ"מ, אכיפה, אמצעים טכנולוגיים ברכב) אמורים לסייע בתהליך זה.

לעומת המציאות הקיימת בשטח, חשוב שקטעי דרכים עם מאפיינים הנדסיים דומים יאפשרו משטר מהירות זהה, וכמו כן, שהמסרים לגבי אפשרויות הנסיעה בקטעי דרכים אלה יהיו ברורים בעיני הנהגים.

גישה מערכתית כזאת תתרום לשיפור התנהגות הנהגים, להגברת הציות לחוק, ולשיפור רמת הבטיחות ברשת הדרכים.

## 4.2 סוגי מהירויות בתהליך התכנון

במונחים של מהירות, המטרה של תהליך התכנון הינה להגיע לאיזון בין שלושה סוגי מהירות, שהם: מהירות תכן, מהירות מותרת ומהירות תפעול, כאשר הערכים של סוגי מהירות אלה מתבססים על קביעת מהירות ייעוד לסוג דרך מסוים.

**מהירות הייעוד (target speed)**, בראיה המערכתית, הינה מהירות הנסיעה הרצויה בסוג דרך מוגדר. בעיני המשתמש בדרך זוהי מהירות שמתאימה לנסיעה בדרך מסויימת, אשר תכן הדרך וסביבתה אמורים לשדר. השאיפה הינה שרוב כלי הרכב בסוג דרך זה יסעו במהירות שקרובה למהירות הייעוד.

**המהירות המרבית המותרת (ממ"מ) (maximum speed limit)**, הינה המהירות המרבית שבה מותר לנהגים לנסוע בדרך זו, בתנאי תנועה ומזג אוויר רגילים.

**מהירות התכן (design speed)**, הינה המהירות הנקבעת לצורך התכן הגיאומטרי של הדרך: קביעת המאפיינים הגיאומטריים המשפיעים על תפעול כלי-רכב במרב הבטיחות.

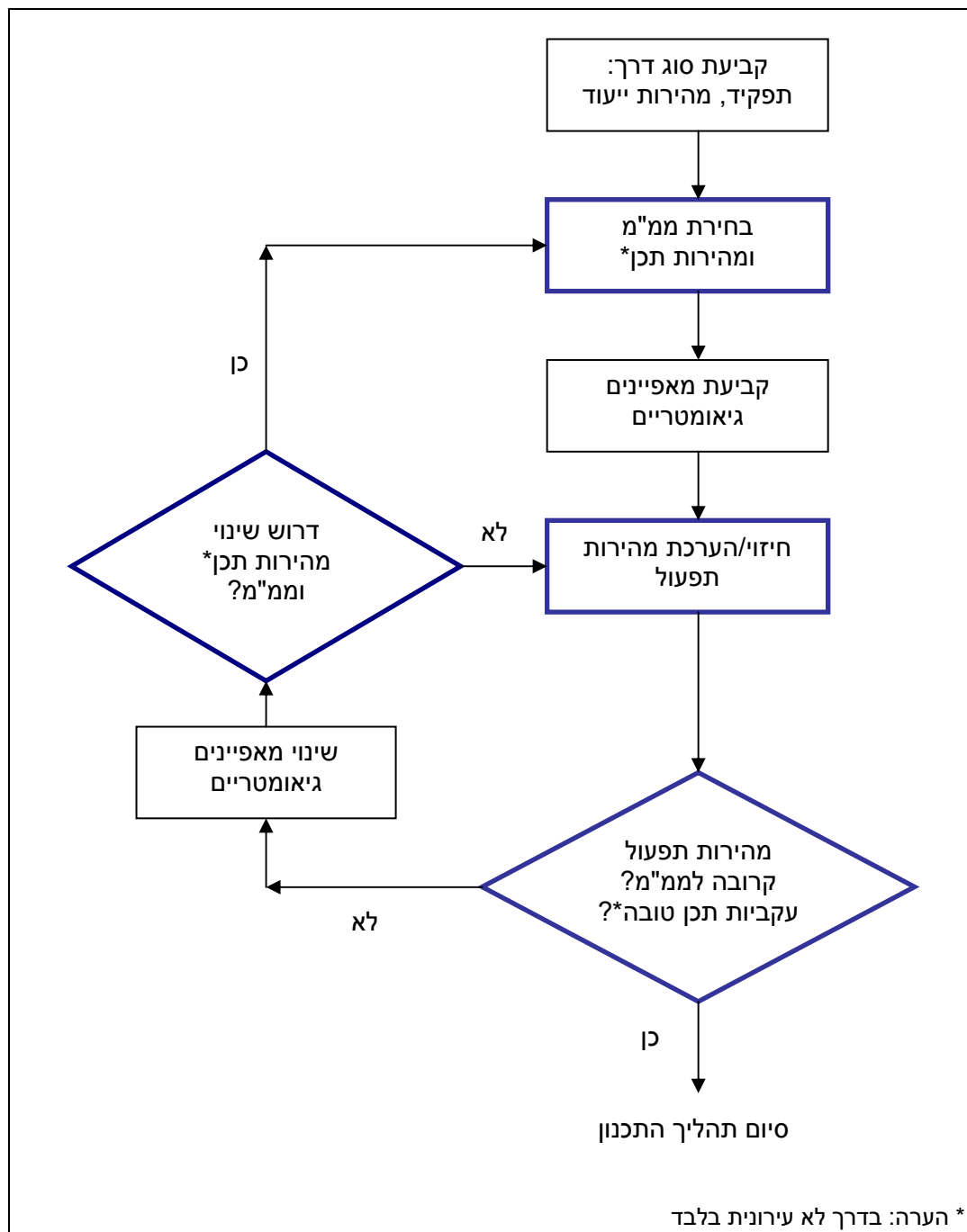
**מהירות התפעול (operating speed)**, הינה המהירות בה נצפים הנהגים הנוסעים בתנאי זרימה חופשית. בקטעים ישרים ומישוריים, מהירות התפעול הינה מהירות נסיעה חופשית שמשמשת לבחינת רמת ציות הנהגים למהירות המותרת (ממ"מ). בקטעים אחרים (עקומים, שיפועים), מהירות התפעול משמשת כמדד כמותי להערכת עקביות תכן הדרך.

תרשים 4.1 מתאר קשרי גומלין בין סוגי המהירות במסגרת תהליך התכנון.

תהליך התכנון מתבצע באופן הבא:

- בהינתן מדרג דרכים מוגדר במדינה, סוג הדרך לתכנון קובע את מהירות הייעוד. בדרך לא עירונית, מהירות הייעוד תקבע את מהירות התכן ואת הממ"מ. בדרך עירונית, מהירות הייעוד תקבע את מאפייני הדרך ואת הממ"מ, כאשר במהירות התכן לא יהיה שימוש, כאמצעי מדיניות.
- הממ"מ תהיה קרובה ככל הניתן למהירות הייעוד, ובמצב האידיאלי שווה למהירות הייעוד.

- עקב מרווח בטיחות מסוים שנדרש בכל תהליך תכנון, מהירות התכן תהיה גבוהה יותר ממהירות הייעוד.



#### **תרשים 4.1:** קשרי גומלין בין סוגי מהירות בתהליך התכנון

- בדרך הלא עירונית, הממ"מ ומהירות התכן ישמשו לתכנון המאפיינים הגיאומטריים של הדרך. לעומת זאת, ברחוב העירוני, קביעת המאפיינים הגיאומטריים ומאפייני דרך נוספים תהיה בהתאם לסוג הדרך, מהירות הייעוד והממ"מ, כאשר מהירות תכן תשמש רק לחישוב מרכיבים מסוימים במהירויות גבוהות.

- על סמך המאפיינים הגיאומטריים שנקבעו יבוצע חיזוי/הערכה של מהירויות הנסיעה בפועל (מהירות התפעול). כאשר נמצאה התאמה גבוהה בין הממ"מ והמהירות בפועל, וכמו כן תכן הדרך (עבור סוגי דרכים בין-עירוניות) עונה לסדרה של קריטריונים של עקביות תכן טובה, תהליך התכנון מסתיים.
  - אם התאמה זו לא הושגה, ו/או התכנון (בדרך לא עירונית) לא עונה לקריטריונים של עקביות תכן טובה, יבוצע שינוי במאפיינים הגיאומטריים של הדרך. בעקבות שינוי המאפיינים הגיאומטריים תבוצע הערכה חוזרת של מהירות התפעול, ובחינת תוצאות התכנון על-פי ההתאמה בין הממ"מ ומהירות התפעול לקריטריונים של עקביות תכן טובה. תהליך זה יכול לחזור על עצמו פעמים מספר עד לקבלת תוצאות משביעות רצון.
  - אם הוכח שלא ניתן לעמוד בדרישות ההתאמה בין הממ"מ ומהירות התפעול ו/או בקריטריונים של איכות התכן (בדרך לא עירונית) במסגרת ערכי הממ"מ ומהירות התכן שנקבעו לתכנון, יבוצע שינוי הערכים בשני סוגי המהירות, עם כל ההשלכות על מאפייני הדרך שנגזרות מכך.
  - בשום מקרה הממ"מ לא תעלה על מהירות התכן המאפיינת את הדרך.
- תחומי המהירויות המותרות ומהירויות התכן שמומלצים ליישום בסוגי דרך שונים מפורטים בסעיפים 4.3-4.4 בהמשך הפרק.
- כללים לשינוי ממ"מ ומהירות תכן (בדרך לא עירונית), עקב אילוצים סטטוטוריים או אחרים שלא מאפשרים לעמוד בדרישות המרביות של הממ"מ ומהירות התכן לסוג דרך מסוים, וכן כלים לחיזוי/הערכה של מהירויות הנסיעה בפועל (מהירות התפעול), וקריטריונים כמותיים לבחינת איכות התכן (עקביות תכן טובה), מובאים בפרק 5.

### **4.3 מהירויות ייעוד מומלצות לפי סוגי דרכים**

בהתאם לרצינון של ניהול מהירויות הנסיעה ברשת הדרכים ושל קשרי הגומלין בין סוגי המהירות בתהליך התכנון שהוצגו לעיל, יש לקבוע לכל סוג דרך מוגדר את מהירות הייעוד אשר למעשה תקבע את הממ"מ לסוג דרך זה.

#### **4.3.1 דרכים בין-עירוניות**

המדרג המעודכן של הדרכים הלא-עירוניות בישראל כולל מגוון סוגי דרכים, אשר נקבעו, מחד, בהתאם להגדרה הסטטוטורית, כגון: דרך מהירה, פרברית מהירה, ראשית, אזורית, מקומית, ומאידך, לפי רמת התכן של הדרך, דהיינו מספר המסלולים ורמת המיחלוף (דרך ממחלפת במלואה או לא). עם זאת, יש לצפות שריבוי ערכים של ממ"מ עבור רשת הדרכים בישראל יקשה, מחד, על המהנדסים שיצטרכו להעביר את מסר מהירות הייעוד באמצעות הסדרים גיאומטריים בכל סוג דרך, ומאידך, על הנהגים שיצטרכו לזהות את המסר ולהתאים את מהירות נסיעתם לממ"מ שנקבעה. כמו כן, על מנת להשיג הבחנה ברורה יותר בין תפקידי הדרכים ברשת, נדרשים הפרשים חזקים יותר בין מהירויות הייעוד וממ"מ לסוגי דרכים שונות, וכתוצאה מכך, במהירויות התכן ובמאפיינים הגיאומטריים של הדרכים.

בהסתמך על נימוקים אלה, הוחלט לקבוע תחומים של מהירויות הייעוד (והממ"מ) לפי סוגי הדרכים הבין-עירוניות, כאשר הקטגוריות של רמות המהירות נקבעות תוך כדי התחשבות המשולבת הן בהגדרה הסטטוטורית והן ברמות התכן של הדרכים.

בטבלה 4.1 מפורטות ההמלצות למהירויות הייעוד ולמהירויות הנסיעה המרביות המותרות בדרכים הבין-עירוניות למשתמשי הדרך המנועיים השונים, אלא אם מוצב תמרוך המגביל אחרת. כפי שניתן לראות בטבלה, המהירויות המרביות של כל כלי-הרכב באותה דרך בין-עירונית הן זהות, מלבד מהירות של רכב מסחרי מעל 12 טון בדרכים ממחלפות ואוטובוס בדרך מהירה. מהירויות אלו נובעות מהצורך לשמור, מצד אחד, על אחדות מסוימת במהירויות הנסיעה ולמנוע עקיפות מסוכנות, מאחר שכיום גם כלי-רכב כבדים יותר מסוגלים להגיע למהירויות גבוהות יותר, אך מצד שני ככל שמהירות הנסיעה של רכב כבד המעורב בתאונה גבוהה יותר, כך התאונה תהיה קטלנית יותר.

**טבלה 4.1:** מהירויות ייעוד / מהירויות מרביות מותרות מומלצות [קמ"ש] בדרכים הבין-עירוניות

סוג הדרך				סוג הרכב
חד-מסלולית	דו-מסלולית (מחולקת) אחרת	פרברית / מעויירת מהירה ודו-מסלולית (מחולקת) ממוחלפת במלואה	מהירה	
70	90	100	110	רכב פרטי עד 3.5 טון* ואופנוע (מכל נפח ומשקל)
70	90	100	100	אוטובוס שמשקלו הכולל עולה על 10 טון
70	90	90	90	רכב מסחרי שמשקלו הכולל המותר עולה על 12 טון

\* וכן כל אוטובוס ורכב מסחרי שלא נכלל בשורות האחרות

טענה זו מחוזקת בתקנה 364ה.ב) אשר קובעת שלא יירשם רכב ולא יחודש רישיון לרכב מסחרי בעל משקל כולל העולה על 12 טון, או אוטובוס שמשקלו הכולל עולה על 10 טון, ששנת ייצורם 1996 או אחריה, אלא אם הותקן בו התקן מגביל מהירות. הגבלת מהירות הנסיעה המרבית של אוטובוסים (מעל 10 טון) הינה 100 קמ"ש והגבלת הרכב המסחרי הכבד (מעל 12 טון) הינה 85 קמ"ש.

הערכים המרביים של מהירויות הייעוד (והממ"מ) קובעים תחום 70-110 קמ"ש למהירויות הנסיעה בדרכים הבין-עירוניות. שיקולים לבחירת רמות מהירות אלה, לפי סוגי הדרכים, מובאים בנספח א'. להלן תמצית השיקולים לבחירת מהירויות הייעוד, לפי סוגי הדרכים:

- דרך מהירה – רמת הבטיחות של דרכים מהירות בישראל אינה גבוהה יחסית למדינות המתקדמות. לכן, על אף ממצאי מדידות המהירות בשעות זרימה חופשית שמעידים על מהירויות נסיעה גבוהות יותר, מוצע לא להעלות את מהירות הייעוד (והממ"מ) בדרכים המהירות ולהשאיר ברמה שמקובלת היום (110 קמ"ש).

- דרך פרברית/מעויירת מהירה – עקב קטעי דרך קצרים יחסית וריבוי מחלפים וקטעי הפרדות/התמזגות/השתזרות בסוג דרך זה, מומלץ לאמץ מהירות ייעוד נמוכה יותר מאשר בדרך מהירה.
- דרך דו-מסלולית (מחולקת) ממוחלפת – עקב היעדר צמתים במפלס אחד וגם בהתחשב במהירויות הנסיעה בפועל שנמדדו בדרכים אלה, מומלץ להעלות מהירות ייעוד ל-100 קמ"ש שהיא גבוהה יותר לעומת הממ"מ הנוכחית. מאידך, רמת התכן של סוג דרך זה היום (רוחב נתיבים, רוחב שוליים, מהירויות תכן, מרחקי ראות, האצה והאטה וכו') ככלל נמוכה יותר מאשר בדרך מהירה, לכן מהירות הייעוד המומלצת נמוכה יותר מאשר בדרך המהירה. במקביל ליישום מהירות זו מומלץ למנוע כניסת משתמשי דרך שאינם מנועיים וכלי רכב איטיים, ולהסדיר הפרדה בטיחותית לתחנות תחבורה ציבורית, במידה וישנן.
- דרך דו-מסלולית (מחולקת) אחרת – מומלץ לשמור על מהירות הייעוד בהתאם למקובל היום (ממ"מ של 90 קמ"ש). עקב ריבוי דרכים קיימות מסוג זה, וכן בהתבסס על ממצאי מדידות של מהירויות הנסיעה בפועל (מהירויות ממוצעות בסביבות 90 קמ"ש או גבוהות יותר), נראה לא מעשי להציב היום כמהירות ייעוד ערך מהירות נמוך יותר.
- דרך חד-מסלולית – בהתאם לתפיסה של 'חזון אפס' אשר גורסת כי בדרכים ללא הפרדה בין כיווני התנועה המהירות הבטוחה הינה עד 70 קמ"ש (המהירות המרבית בה הנוסע ברכב ישרוד בהתנגשות חזיתית), מוצע להקטין את מהירות הייעוד ברוב הדרכים החד-מסלוליות ל-70 קמ"ש, למעט דרכים שהותאמו למהירות גבוהה יותר, כמפורט להלן בסעיף 4.5.
- למהירויות באתרי עבודה – ראו "המדריך להסדרי תנועה באתרי עבודה בדרכים בין-עירוניות".

טבלה 4.2 מציגה התחום של מהירויות ייעוד מומלצות (וממ"מ) לסוגי הדרכים הבין-עירוניות. תחום המהירויות שנקבע לכל סוג דרך מתחיל מערך מרבי של מהירות הייעוד (וממ"מ) שמומלץ לסוג דרך זה כמפורט בטבלה, כאשר רוחב התחום עצמו נקבע באופן אחיד לכל סוגי הדרכים כערך מרבי פחות 20 קמ"ש, לצורך הגמשת ערכי התכן כמפורט בהמשך. טבלה זו מבוססת על המתודולוגיה שנקבעה ב"תבחיני תכן למזעור הפגיעה בקרקע ובסביבה בדרכים בין-עירוניות".

#### **טבלה 4.2: תחום מהירויות ייעוד וממ"מ מומלצות לרכב פרטי (קמ"ש)**

בסוגי דרכים בין-עירוניות

סוג הדרך	מהירויות הייעוד המרבית	תחום הפחתה עקב רגישות
דרך מהירה	110	110 – 90
דרך פרברית/מעויירת מהירה + דרך דו-מסלולית ממוחלפת	100	100 – 80
דרך דו-מסלולית אחרת	90	90 – 70
דרך חד-מסלולית*	70	70 – 50

\* למעט דרכים שהותאמו למהירות גבוהה יותר, כמפורט בסעיף 4.5.

יצוין גם כי תחום הערכים של מהירות הייעוד שמומלצים לשלושה סוגי דרך עיקריים: דרך מהירה, דו-מסלולית וחד-מסלולית – מציגים הפרדה ברורה בין סוגי הדרכים, דהיינו מגדירים תחומים נפרדים של ערכי המהירות ללא אזורי חפיפה. רק קטגוריה נוספת של הדרכים – דרך פרברית מהירה או ראשית דו-מסלולית ממוחלפת – יוצרת תחומי חפיפה עם שתי הקטגוריות השכנות.

"הערך העליון" בטבלה 4.2 הינו הערך של מהירות הייעוד והממ"מ המוצע ככלל לסוג דרך זה. הערכים הנמוכים יותר בתחום המהירויות מיועדים למקרים של הפחתה עקב אילוצים ומגבלות שונים כגון: טופוגרפיה, שיקולים סביבתיים, בעיות בטיחות מיוחדות, מחסור בקרקע ועוד. באזורים רגישים סביבתיים, תחומי מהירות במקום ערך בודד למהירות הייעוד (הממ"מ) יאפשרו "הצנעת" הדרישות לרמת התכן (מהירויות התכן) של הדרך, תוך כדי שמירה על מאפייני סוג הדרך שנקבע – ראו "תבחיני תכן למזעור הפגיעה בקרקע ובסביבה בדרכים בין-עירוניות" (2010).

כמו כן, תחום המהירות יאפשרו מרווחי גמישות בתכנון קטעים של דרך מסוג מסוים, כאשר עקב אילוצים סטאטוטוריים או אחרים הוכח שלא ניתן לעמוד בדרישות של ממ"מ ומהירות תכן מרביות לסוג דרך זה. הצורך בשינוי של ערכי המהירות מתעורר, לדוגמא, כאשר במהלך התכנון נמצא שלא ניתן לעמוד בדרישות איכות התכן, כגון: התאמה בין הממ"מ ומהירות התפעול ו/או עמידה בקריטריונים של עקביות, במסגרת ערכי הממ"מ ומהירות התכן שנקבעו (ראו סעיף 4.2).

יש לציין שלגבי רוב סוגי הדרכים שבטבלה 4.1, הערכים המרביים המומלצים של הממ"מ אינם כרוכים בשינוי בתקנות התעבורה. עבור הדרכים החד-מסלוליות, יידרש שינוי בתקנת תעבורה 54 לממ"מ של 70 קמ"ש, במקום הערך של 80 קמ"ש המקובל היום. השינוי יהיה תקף לגבי כלל הדרכים החד-מסלוליות למעט דרכים שמיועדות בעתיד להפוך לדרכים דו-מסלוליות, או דרכים חד-מסלוליות ראשיות אשר מותאמות למהירויות נסיעה גבוהות יותר; בדרכים אלו יוצב תמרוך ב-20 עם ממ"מ של 80 או 90 קמ"ש (כמפורט בסעיף 4.5 בהמשך).

### **4.3.2 דרכים עירוניות**

לגבי מהירויות הייעוד והממ"מ לסוגי הדרכים העירוניות, מוצע לאמץ את הפילוסופיה שפותחה במסגרת ההנחיות החדשות לתכנון רחובות בערים (2009).

המגמות העדכניות בעולם מדגישות כי הרחוב הוא מרחב ציבורי בו מתקיימות מגוון פעילויות אנוש. על מנת לאפשר מגוון פעילויות כצורך, יש לחלק את הרחוב בין השימושים השונים, ולמצוא את האיזון הנכון ביניהם. לעיתים נדרשת העדפה מתקנת לטובת שימושים שנפגעו.

משרד התחבורה הישראלי הוציא בשנת 2008 מסמך מדיניות לפיתוח תחבורה יבשתית, שתואם את הגישה האירופית לתכנון תחבורה. היום ידוע שלא ניתן יהיה לספק את ביקושי הרכב הפרטי ההולכים וגוברים מדי שנה. הכמות הגדלה של הרכב המנועי פוגעת באיכות החיים של כלל משתמשי הדרך: גודש, רעש, זיהום אוויר ותאונות דרכים הן הדוגמאות הבולטות ביותר למפגעים הנגרמים על ידי משתמשי הדרך המנועיים. נוסף על כך, קיימת מגמה בעולם בכלל ובישראל בפרט של עידוד הליכה ברגל, רכיבה על אופניים ונסיעה

בתחבורה ציבורית, על מנת למזער את המפגעים. ההשלכות של מגמות אלו הן שרחובות לא יתוכננו למהירות הגבוהה היעילה כלכלית, אלא למהירות המתאימה ביותר לשלל הפעילויות והמשתמשים.

#### מהירות ייעוד ומהירות תכן:

בהנחיות לתכנון רחובות בערים (2009) כבר לא מדברים על מהירות תכן אלא על "מהירות ייעוד". זאת, מכיוון ששימוש במהירות תכן נמוכה עלול לגרור בעיות בטיחות קשות. משמעות המונח 'מהירות ייעוד' הוא "מהירות הנסיעה הרצויה ברחוב, אשר תכנון הרחוב וסביבתו אמורים לשדר לנהג". ניתן לשדר לנהג שמהירות הנסיעה המתאימה לרחוב נמוכה, מבלי לפגוע בבטיחות.

#### עקרונות לקביעת מהירות הייעוד:

א. כלל הדרכים העירוניות מתחלקות לשתי קטגוריות ראשיות: רחוב – מרחב בעיר המשמש לכלל הפעילויות העירוניות; דרך – מרחב עירוני המשמש למעבר בין חלקי העיר.

ב. סיווג תנועתי עיקרי – דרך או רחוב:

**בדרכים** עדיפות לניידות; תפקידן להעביר תנועה בין חלקי העיר.

- דרך פרברית/מעויירת: מסדרון תנועה המשמש למעבר תנועה בין ערים ואזורים במטרופולין. הדרך הפרברית מקשרת את רשת הדרכים הבין-עירונית עם רשת הדרכים העירונית. (מטופל בהנחיות נפרדות – הנחיות לדרכים מעויירות שבהליכי עריכה).
- דרך עירונית עורקית: מסדרון תנועה המקשר בין הדרך הפרברית או בין דרכים בין-עירוניות לבין רחובות העיר. הדרך העירונית משמשת גם למעבר בין אזורים מרוחקים של העיר.

**רחובות** הם בעלי עדיפות מובהקת לשימושי רחוב ולנגישות אליהם.

- רחוב מאסף: רחוב שהתנועה בו הן לצורך השימושים ברחוב והן לצורך מעבר בין חלקים אחרים של העיר.
- רחוב מקומי: רחוב שהתנועה בו היא בעיקר לצרכי השימושים ברחוב.

ג. סיווג תנועתי משני – רמה 1 או 2:

- רמה 1: תנועה מעטה ונגישות גבוהה.
- רמה 2: תנועה רבה יותר ונגישות נמוכה יותר.

ד. קביעת מהירות הייעוד של התנועה המנועית:

- על מנת לשמור על אחידות התכנון ושפה משותפת, נקבעו 3 מהירויות ייעוד עירוניות בלבד, והן המהירויות היחידות שמומלץ לקבוע בתחום העיר:
- 30 קמ"ש – מהירות ייעוד לרחובות באזורי מיתון תנועה, ולרחובות מקומיים או מאספים חד-מסלוליים בהם לפי הערכת המתכננים ונבחרי הציבור מהירות זאת מתאימה.

- 50 קמ"ש – מהירות ייעוד לרחובות עירוניים רגילים שאינם נמצאים באזורי מיתון תנועה. מהירות זאת מתאימה גם לעורקים החוצים אזורי מגורים ופעילות.
- 70 קמ"ש – מהירות ייעוד לדרכים עירוניות (עורקיות).

על פי ההנחיות החדשות לתכנון רחובות בערים, יש לשאוף שמרבית אזורי העיר יהיו אזורי מיתון תנועה (מהירות ייעוד של 30 קמ"ש), ושברובית הדרכים העורקיות מהירות הייעוד תהיה 70 קמ"ש. ברחובות מאספים מהירות הייעוד 30 או 50 קמ"ש.

ברחוב המשולב, שהינו בדרך כלל רחוב הבנוי מאבנים משתלבות ולעיתים נקרא 'רחוב הולנדי', זכות הדרך ניתנת להולכי הרגל, ועל כן מהירות הנסיעה בו נמוכה יותר מרחוב מקומי או מכל רחוב ממותן אחר ותהיה 20 קמ"ש.

חלק מ"דיוקן הדרך" הוא דיוקן תנועתי. טבלה 4.3 מתארת את הקשר בין תפקוד תנועתי ומהירות ייעוד ב"כרטיס הדיוקן".

#### **טבלה 4.3: תפקוד תנועתי ומהירות הייעוד ב"כרטיס הדיוקן",**

מתוך ההנחיות לתכנון רחובות בערים (2009)

מהירות	ת. משני	תפקוד	איפיון בסיסי
  	רמה 1	רחוב מקומי	רחוב
  	רמה 2		
  	רמה 1	רחוב מאסף	
 	רמה 2		
  	רמה 1	עורק	דרך
  	רמה 2		

#### **השפעת מהירות הייעוד על המשך התכנון:**

בדרך הלא עירונית, מהירות התכן הינה הפרמטר המשמעותי ביותר להמשך תכנון הדרך. כמעט כל פרמטר אחר נגזר באופן ישיר או עקיף ממהירות התכן של הדרך. כיוון שרחוב עירוני נועד לא רק להעביר תנועה מנועית, מהירות הייעוד של רחוב עירוני מהווה מרכיב אחד מבין הרבה מרכיבים שמשפיעים על תכנון הרחוב. המאפיינים הנוספים נקבעים על פי מגוון שיקולים, שלא כולם תחבורתיים. בין הנושאים המושפעים ממהירות הייעוד נמנים: שילוב רוכבי אופניים, מיקום חציות הולכי-רגל.

לדוגמא, לגבי אופן השילוב של רוכבי אופניים נקבע שכלל, ברחובות מקומיים בעלי מהירות ייעוד של 30 קמ"ש, אופניים נעים עם יתר כלי הרכב. לעומת זאת, ברחובות מאספים ובמהירות 50 קמ"ש ראוי להקצות נתיב נפרד, ללא הפרדה פיזית, בעוד שברחובות מאספים עתירי תנועה ובדרכים יוקצה ככל האפשר שביל אופניים, עם הפרדה פיזית.

טבלה 4.4 מסכמת את מהירויות הייעוד (וממ"מ) המומלצות לסוגי הדרכים העירוניות, לרבות פירוט של סוגי הדרכים.

**טבלה 4.4:** מהירויות ייעוד וממ"מ מומלצות בסוגי דרכים עירוניות בהתאם להנחיות לתכנון רחובות בערים (2009)

מהירות ייעוד וממ"מ	תיאור	סוג הדרך
20	רחוב המיועד לתנועה משותפת של הולכי רגל וכלי-רכב	רחוב משולב
30	רחוב עם היקף תנועה מזערי או מתון המכיל 2 נתיבי תנועה ותנועת אופניים משולבת בכביש.	רחוב מקומי
50 / 30	רחוב עם היקף תנועה נמוך-בינוני, המכיל 2 נתיבי תנועה לרכב מנועי, ותנועת אופניים מופרדת בנתיבי אופניים.	רחוב מקומי/מאסף 1
50	רחוב עם היקף תנועה בינוני-גבוה, המכיל 2 מסלולי תנועה לרכב מנועי ותנועת אופניים מופרדת פיסיית בשבילי אופניים.	רחוב מאסף 2
70 / 50	דרך עירונית משנית מחולקת, 2 נתיבי תנועה למסלול ושבילי אופניים.	דרך 1 – עורק בסיסי
70	דרך עירונית ראשית מחולקת, 2 נתיבי תנועה ומעלה למסלול ושבילי אופניים.	דרך 2 – עורק רב נתיבי

עם זאת, ישנן דרכים עירוניות אשר ניתן להתייחס אליהן כיוצא מן הכלל ולהותיר מהירויות של 60 קמ"ש במקום 70 קמ"ש. ההחלטה לגבי דרכים אלו תכלול את הקריטריונים הבאים:

- סיווג הדרך;
- טופוגרפיה;
- מעברי חציה לא מרומזרים;
- כמות הולכי-הרגל;
- חניות ציבוריות לאורך הרחוב;
- צפיפות בין צמתים;
- צפיפות הבינוי.

## 4.4 קביעת מהירויות תכן

### 4.4.1 כללי

בגישה המסורתית לתכן דרכים, תפקיד הדרך ורמת השירות הרצויה קובעים את בחירת מהירות התכן אשר, בתורה, מכוונת את בחירת המאפיינים הגיאומטריים. המאפיינים הגיאומטריים של הדרך וממ"מ בקטע משפיעים על מהירות הנסיעה שנבחרת בפועל ע"י הנהגים. מהירות הנסיעה בפועל (מהירות תפעול) משמשת כמדד תפקודי להערכת תכן הדרך. עם זאת, הניסיון המעשי של המדינות השונות מראה, שתוצאות תהליך התכנון לא תמיד תואמת את כוונות המתכנן. כדי לשנות מצב זה נדרש ידע אמפירי על מערכת הקשרים בין

מהירות התכן, מאפייני הדרך, ממ"מ ומהירות התפעול. ידע לגבי מערכת קשרים זו יתרום: ברמת המאקרו – להגדרה ברורה יותר של תפקידי ומאפייני הדרכים ולעקביות גבוהה יותר של תכן דרכים; ברמת המיקרו – להבנה טובה יותר של השלכות השינויים במאפייני הדרך על מהירויות הנסיעה ועל הבטיחות.

בגישה החדשה מוצע להתחיל מהגדרת מדרג הדרכים ומהירויות הייעוד לכל סוג דרך, כאשר מהירות התכן תיקבע בתלות במהירות הייעוד שנבחרה. בהקשר זה מתעוררות שאלות כגון: מהו הערך העליון של מהירות התכן שכדאי לקבוע, ומהי מערכת הקשרים בין מהירות הייעוד ומהירות התכן.

במערכת התחבורה פועלים במשולב מרכיבי התשתית, הרכב והמשתמשים בדרך. מערכת התחבורה בנויה באופן מדרגי (היררכי), ובה קיים מדרג של דרכים שונות: בקצהו האחד – דרכים מהירות ועורקיות, המיועדות להוליך נוסעים ומטענים למרחקים גדולים יחסית, ובקצה השני – דרכים מקומיות, אשר עיקר תפקידן לאפשר נגישות למקומות יישוב. ככלל, מערכת התחבורה מתפקדת היטב כאשר מרכיביה מתואמים ומשדרים למשתמש מסרים ברורים ועקביים. מהירות הנסיעה שבה יבחרו המשתמשים בכל אחד מקטעי המערכת היא מאפיין מרכזי במערכת זו.

כשבוחנים לחוד כל אחד ממרכיבי המערכת (הרכב, התשתית והמשתמש), ניתן לציין שלאורך השנים נצפית התקדמות מתמדת בטכנולוגיות ובאביזרי בטיחות שונים בתוך הרכב. עקרונית, רוב כלי הרכב היום מאפשרים להגיע למהירויות נסיעה גבוהות מאוד, שהן למעשה בלתי-מוגבלות ואינן ישימות במערכת הכבישים הקיימת. השיפור המתמיד במצב הרכב מהווה עילה לדרישות (אשר עולות מדי פעם מקבוצות מסוימות בציבור) להעלאת הממ"מ. מנגד, מקובל לציין שלמרות ההתקדמות הטכנולוגית, היכולות הפיסיולוגיות של בני האדם לא השתנו משמעותית לאורך השנים, כדוגמת זמן התגובה של הנהג לאירוע בלתי צפוי או יכולתו להתמודד עם מספר תהליכים במקביל (ראו סעיף 2.5 לעיל).

כמו כן, כפי שעולה מסקרים רבים של נהגים במדינות השונות (כגון: SWOV, 2006), נהג יחיד נוטה להערכת-חסר הן של מהירות נסיעתו והן של ההשלכות הבטיחותיות של המהירות, כאשר הוא מודע לרווח המידי של החיסכון בזמן הנסיעה. מאידך, הצורך בגישה הכוללת ובהסדרת נושא הממ"מ, נובע מהסיבות כגון (TRB, 1998):

- קיום "השלכות חיצוניות" מהתנהגותו בדרך של כל נהג: בחירה לא נאותה של מהירות הנסיעה ע"י נהג מסוים עלולה ליצור סיכונים למשתמשי דרך אחרים;
- חוסר הנחייה בנושא מגביל את יכולת הנהג לבחור במהירות הולמת, בייחוד תוך כדי הנסיעה בסביבה בלתי-מוכרת;
- יכולת שפיטה מוגבלת של נהג יחיד לגבי השפעות המהירות על שכיחות התאונות וחומרתן.

בנוסף, לאורך השנים ועם העלאת רמת המינוע, גברה המודעות להשלכות הבטיחותיות של מאפייני תשתית שונים, וכתוצאה מכך התרחב השימוש בפתרונות ובאביזרים אשר תורמים לירידה בשכיחות ו/או בחומרת התאונות. גם בהסתמך על שיפורי התשתית יש הטוענים לאפשרות להעלאת הממ"מ, לפחות בדרכים הבין-עירוניות. מנגד, מובאים הנימוקים על כך

שמהירות גבוהות יותר מגבירות את הסיכון לתאונות ובייחוד לתאונות החמורות, וכמו כן, מביאות לפגיעה קשה יותר באיכות הסביבה, כאשר יתרונות הניידות אשר נובעים מהמהירות הגבוהות יותר, אינם ברורים דיים בראיה המערכתית.

לכן, בחירת המהירות שמתאימות לנסיעה בסוגי דרך שונים צריכה להתבסס על בחינה כוללת של מגוון ההשלכות (על הבטיחות, הניידות ואיכות הסביבה), כאשר בחינה זו מתבצעת בראייה המערכתית. תכן הדרכים – מהירות התכן ומאפייני התשתית – יותאם למהירות שייבחרו, והוא ישמש להעברת המסרים לנהגים לגבי המהירות שמתאימות לנסיעה בדרך זו או אחרת.

#### 4.4.2 קביעת ערכים למהירות תכן

בהתאם לרציונל המערכתי, לכל סוג דרך מוגדר יש לקבוע את מהירות התכן על-פי מהירות הייעוד. כאמור, מהירות תכן הינה המהירות הנקבעת לצורך התכן הגיאומטרי של הדרך: קביעת המאפיינים הגיאומטריים המשפיעים על תפעול כלי-רכב במרב הבטיחות.

מרכיבי הדרך הקשורים באופן ישיר אל מהירות התכן הם: עקומים אופקיים, עקומי מעבר, הגבהות בעקומים, עקומים אנכיים, מרחקי ראות ושיפועים. יישומה של מהירות התכן הוא, אם כך, בקביעת הערכים הגבוליים של האלמנטים הגיאומטריים של הדרך (רדיוס מזערי בעקום אופקי ובעקום אנכי, מרחק ראות מזערי, שיפוע מרבי לאורך ולרוחב וכד'), והתיאום ביניהם. קביעה זו חייבת להיות מלווה בתכן גיאומטרי מאוזן (שילוב נכון של תוואי אופקי ותוואי אנכי), אשר בא לידי ביטוי במדדי עקביות התכן.

על סמך הבנת קשרי הגומלין בין סוגי המהירות (ראו סעיף 4.2), מוצע שמהירות התכן תהיה גבוהה יותר ממהירות הייעוד שנבחרה עבור אותו סוג דרך. ערך גבוה יותר של מהירות התכן נדרש עקב מרווח הבטיחות שמקובל בכל תהליך תכנון. מרווח הבטיחות המוצע הינו כ-10% מערך מהירות הייעוד, שמעשית מביא לתוספת של 10 קמ"ש מעל למהירות הייעוד, בכל סוגי הדרכים הבין-עירוניות.

טבלה 4.5 מציגה תחומים מומלצים של מהירות התכן לפי סוגי הדרכים הבין-עירוניות. (כפי שצוין קודם, המונח "מהירות תכן" אינו משמש כקריטריון גורף עבור הדרכים העירוניות). הערכים העליונים של מהירות התכן נקבעו על סמך הערכים העליונים של מהירות הייעוד, לפי סוגי הדרכים, בתוספת מרווח הבטיחות שצוין לעיל.

ערכים נמוכים יותר של מהירות התכן, בתחומים שנקבעו בטבלה 4.5, ניתנים ליישום בתכנון קטעי דרך מסוימים, בהתחשב באילוצים טופוגרפיים, סטטוטוריים, פיזיים, בטיחותיים, אורבניים, סביבתיים וכלכליים, כמפורט ב"תבחיני תכן למזעור הפגיעה בקרקע ובסביבה בדרכים בין-עירוניות", משרד התחבורה, 2010. יש לזכור שלירידה בדרישה למהירות תכן בתכנון קטע דרך מסוים תתלווה ירידה בדרישה לממ"מ לנסיעה בקטע דרך זה.

לבחינת הנכונות של גישה זו – קביעת מהירות תכן גבוהה יותר ממהירות הייעוד (ממ"מ) וההפרש המוצע של 10 קמ"ש – נערך ריכוז מידע וידע לגבי הקשר בין מהירות תכן וממ"מ, על סמך הספרות הבינלאומית (נספח ב'). לפי סיכומי ידע עדכניים בארה"ב ובאירופה, נמצא שלא קיימת תשובה ברורה לגבי קשר כמותי בין מהירות תכן וממ"מ. ככלל, מהירות התכן קובעת גבול עליון למהירות המותרת. עם זאת, פער גדול בין שני הערכים אינו תורם לבטיחות.

#### **טבלה 4.5:** תחומים מומלצים של מהירויות התכן לפי סוגי הדרכים הבין-עירוניות (קמ"ש)

תחום הפחתה עקב רגישות	מהירות התכן המרבית	סוג הדרך
120 – 100	120	דרך מהירה
110 – 90	110	דרך פרברית/מעויירת מהירה + דרך דו-מסלולית ממוחלפת
100 – 80	100	דרך דו-מסלולית אחרת
80 – 60	*80	דרך חד-מסלולית

\* למעט מקרים מיוחדים שנזכרו בסעיף 4.5, בהם יידון כל מקרה לגופו

אומדנים אמפיריים של הפערים בין מהירויות תכן וממ"מ בדרכים המיועדות למהירויות נסיעה גבוהות, מצביעים על הפרש של כ-10 קמ"ש או נמוך יותר בין שני סוגי המהירות. בחלק ניכר מהמדינות שעבורן נאספו הנתונים כגון: ארה"ב, אנגליה, אוסטרליה, הפערים הקיימים בין מהירויות תכן וממ"מ בדרכים עם מהירויות נסיעה גבוהות אינם גדולים ונעים בתחום 0-10 קמ"ש.

הגישה המעשית בשנים האחרונות מובילה להקטנת הפערים בין שני סוגי המהירות, כאשר נקודת המוצא של שניהם נמצאת במהירות הייעוד שנקבעה לסוג דרך מסוים. כמו כן, מושם דגש על הבטחת עקביות של ערכי מהירות התכן וערכי הממ"מ לאורך סוגי דרך מוגדרים, כאשר רמת העקביות נבחנת באמצעות מהירות התפעול.

#### **4.5 התייחסות לדרכים חד-מסלוליות קיימות**

בסעיף זה נתייחס בעיקר להשלכות של ההנחיות החדשות על המתחייב בדרכים חד-מסלוליות. בדרכים אלה, ההמלצה היא להוריד את המהירות המותרת ככלל ל-70 קמ"ש ובמיעוט הדרכים, כמפורט להלן, להשאיר את המהירות המותרת על 80 קמ"ש ובמקרים יוצאי-דופן 90 קמ"ש. הרציונאל להמלצה זו נובע בעיקר משיקולי בטיחות ומשיקולי הפעלה של מערכת הירארכית, עם כל המשתמע מכך.

טבלה א.2 בנספח א' מפרטת את ערכי הנסועה, אורך הדרכים ומספר ההרוגים בכל אחת משלוש שכבות הרשת הבין-עירונית. הדרכים החד-מסלוליות מהוות כ-86 אחוז מאורך רשת הדרכים, הן מעבירות רק 39 אחוז מהנסועה, אך מרכזות בהן כ-65 אחוז ממספר ההרוגים בדרכים הבין-עירוניות. המשמעות היא שדרכים אלה מסוכנות יותר לציבור המשתמשים בדרך. הדבר גם בא לביטוי בשיעורי ההרוגים, שהם 13.9 הרוגים למיליארד ק"מ נסיעה בדרכים החד-מסלוליות, לעומת 5.3 בדרכים דו-מסלוליות ו-3.6 בדרכים מהירות (בשנים 2004-2006).

השיקול השני שפורט בעבודה, הוא הרצון ליצור תפקוד יותר מדורג של המערכת, כך שרוב התנועה תתנהל בדרכים הדו-מסלוליות בעלות הקיבולת הגבוהה יותר ובעלות רמת הבטיחות המשופרת. הדבר יתרום גם להפחתת זיהום האוויר ולחסכון משמעותי באנרגיה.

מכאן נובעת ההמלצה לקביעה של 70 קמ"ש כמהירות המרבית המותרת בדרכים החד-מסלוליות.

ברור כי קביעה זו מתייחסת לדרכים חדשות, אשר להבא יצטרכו להיות מתוכננות למהירות החדשה, עם כל המשתמע מכך בקביעת מהירות התכן והתכנון הפיזי של הדרך. חשוב שמהירות זו תשודר לנהג באופן חד-משמעי באמצעות אלמנטי התכן ולא רק באמצעות שלטי המהירות והאכיפה. אחד האמצעים העיקריים להביא למהירויות הנסיעה הרצויות באזורי הצמתים היא הסתמכות נרחבת יותר על שימוש במעגלי תנועה בדרכים אלה, או הימנעות מצמתים עם פנייה שמאלה.

בדרכים קיימות, המצב מורכב יותר: ההמלצה הינה לא להחיל בינתיים את המהירות המותרת של 70 קמ"ש על דרכים חד-מסלוליות קיימות המיועדות להפוך בעתיד לדרכים דו-מסלוליות, או על דרכים חד-מסלוליות ראשיות אשר מותאמות למהירויות נסיעה גבוהות יותר. התנאי לאי הקטנת ה-ממ"מ הוא שההתאמה למהירות המרבית המותרת הגבוהה יותר צריכה לבוא לביטוי בטיפול האמצעים הסלחניים שיוקנו בדרכים אלה (מעקות בטיחות ברמה גבוהה יותר, הרחקת מכשולים או הגנה מפניהם, טיפול במניעת סטייה מנתיב הנסיעה במגוון אמצעים, וטיפול בצמתים). בדרכים אלו יוצב תמרור ב-20 עם ממ"מ של 80 או 90 קמ"ש בהתאם למאפייני הדרך.

לגבי אותו חלק של מערכת הדרכים החד-מסלוליות, שאינו מיועד להיות מורחב לדרך דו-מסלולית ואינו מהווה דרך ראשית ברמת תכנון גבוהה, יצטרכו לשקול את התאמת המהירות ע"י אמצעי מיתון התנועה השונים.

# פרק 5 – הערכת עקביות התכן ועקרונות ניהול המהירות

## 5.1 הבטחת עקביות והדרגתיות בתכן דרך

### 5.1.1 מבוא

מאפייני התכן של הדרכים הבין-עירוניות נקבעים על-פי סטנדרטים גיאומטריים ותנועתיים מקובלים. בנסיעתו לאורך הדרך מסתמך הנהג על ניסיונו מהנהיגה בדקות הקודמות, ולכן מצפה למאפייני דרך מסוימים. כאשר ציפיותיו אינן מתממשות, נוצר קונפליקט בין צורת הנהיגה הקיימת, בהתאם לציפיות הנהג, לבין הנתונים בשטח, מצב אשר עשוי לגרום לטעויות בהחלטות הנהג ומכאן, להביא לתאונות. ולהיפך, כאשר הכביש מתוכנן באופן עקבי ואחיד, הוא עונה לציפיות הנהג. כתוצאה, נהיגתו תהיה חלקה ורגועה יותר, בעלת פחות שגיאות, ולכן יותר בטוחה (חביב-מטר, 2001).

עקביות בתכן דרך מוגדרת כמידת האחידות של המרכיבים הגיאומטריים של קטע הדרך. עקביות טובה מאפשרת נהיגה במהירות אחידה, ועל-כן נהיגה נוחה ובטוחה יותר.

קיימות סיבות שונות לחוסר עקביות בתכן דרכים, וביניהן:

- הבדלים בין קטעים: תכנון עקומים אופקיים ואנכיים מתבסס על מהירות תכן. לעומת זאת, הקטעים הישרים אינם תלויים במהירות התכן. כתוצאה, נוצרים בתוואי קטעים עם מהירויות תפעול שונות לאורכו.
- התפתחות בדרישות התכנון: יתכן שקטעים שונים נבנו בתקופות שונות, כאשר בין התקופות היו שינויים בדרישות התכן ולכן, המשך בניית הדרך התבצע לפי דרישות אחרות.
- סיבות כלכליות: אפשרי שלחלק מהדרך היה תקציב מספיק לבניה ברמת תכן מסוימת, וחלק אחר נבנה בסטנדרטים גיאומטריים שונים, עקב צמצום בתקציב או שיקול אחר.
- טופוגרפיה: שינוי במאפייני התכן בגלל הטופוגרפיה השונה מאזור לאזור.

### 5.1.2 שימוש במהירות להערכת עקביות התכן

תוואי לא אחיד מחייב את הנהגים לשנות לעתים קרובות את מהירות נסיעתם בהתאם לאלמנטים הגיאומטריים של הדרך וללא כל קשר לעומס התנועה בדרך. מכאן, אחידות בתוואי תגרום להקטנת השונות במאפייני המהירויות, מצב אשר יתרום להעלאת רמת הבטיחות בדרך. הנחה זאת מסתמכת על ממצאי המחקרים אשר הצביעו על קשר הפוך בין גודל השונות במהירויות הנסיעה לבין הבטיחות, כאשר המחקר הראשון היה של Solomon (1964).

הערכת עקביות התכן מתבססת על הערכת מהירויות הנסיעה בכביש – מהירות התפעול אשר נמדדת על פי האחוזון ה-85 של מהירויות הנסיעה בפועל. הערכת המהירות מתבצעת על סמך מדידות או חיזוי מהירויות לאורך התוואי, ובניית פרופיל המהירות. פרופיל המהירות מוגדר

כתרשים רצוף המתאר את מהירות הנסיעה בכיוון מסוים, וניתן להכינו לכלי-רכב פרטיים וגם לכבדים. בעזרת פרופיל המהירות ניתן לראות את השפעת גיאומטריית הדרך על מהירויות כלי-רכב שונים, ולזהות את הקטעים אשר גורמים להפרשי מהירויות גבוהים.

גישת השימוש במהירות להערכת עקביות התכן בוחנת לרוב שני מרכיבים שהם: (1) ההפרש בין מהירות התכן והאחוזון ה-85 של מהירות הנסיעה בפועל – מהירות התפעול באותו קטע, (2) ההפרש באחוזון ה-85 של מהירות התפעול בין שני קטעים סמוכים. להשגת תוואי אחיד, שני המרכיבים שואפים לתת הפרש מהירויות מזערי (ראו סעיף 5.1.4).

### 5.1.3 חיזוי מהירות התפעול

מהירות התפעול היא המהירות הגבוהה ביותר שאפשר לשמור עליה בדרך, כאשר הגורמים הקובעים את המהירות הם המאפיינים הגיאומטריים של הכביש. תוואי הדרך מורכב מקטעים ישרים ומעקומים המחברים בין הקטעים הישרים. המדד המקובל ביותר להערכת מהירות התפעול הוא האחוזון ה-85 של המהירות בתנאי זרימה חופשית.

במדינות שונות בעולם פותחו מודלים לחיזוי מהירות התפעול. לביצוע הערכות בתנאי הארץ מומלץ להיעזר במודל שפותח ע"י חביב-מטר (2001), אשר משתמש בשני מודלים לחיזוי מהירות התפעול:

- (א) המודל של Krammes et al (1994) להערכת מהירות התפעול בעקומים;  
(ב) המודל של Polus et al (2000) לחיזוי מהירות התפעול בקטעים ישרים המחברים בין עקומים;

#### א. חיזוי מהירות תפעול בעקום מעגלי

במחקרם של Krammes et al (1994) שנערך בטקסס נבדקו 138 עקומים אופקיים. חיזוי האחוזון ה-85 של מהירות התפעול התקבל בצורה הבאה:

$$V_{85} = 102.40 - 1.57 \cdot D + 0.012 \cdot L_c - 0.10 \cdot \Delta$$

כאשר:

- $L_c$  – אורך העקום (מ');  
 $\Delta$  – זווית ההטיה (מעלות);  
 $D$  – דרגת העקמומיות (מעלות) =  $5729.6 / (3.28 \cdot R)$ .

#### ב. חיזוי מהירות תפעול בקטע ישר

מחקרם של Polus, Fitzpatrick & Fambro (2000) נערך בטקסס למטרת הערכת מהירות התפעול בקטעים ישרים שמחברים בין עקומים מעגליים. לצורך זה נבדקו 162 קטעים ישרים בכבישים דו-נתיביים בינעירוניים בארה"ב.

במחקר זה הוצגו ארבע קבוצות של אתרים להערכת המהירות בקטע ישר והן: (1) עם רדיוס עקום מעגלי קטן ואורך קטע ישר קטן; (2) עם רדיוס עקום מעגלי קטן ואורך קטע ישר בינוני; (3) עם רדיוס עקום מעגלי בינוני ואורך קטע ישר בינוני; (4) עם אורך קטע ישר גדול ורדיוס עקום מעגלי כלשהו שלא חורג ממידת ההיגיון.

המודלים שכולו עבור קבוצות האתרים היו כלהלן:

(1) אתרים עם רדיוס עקום מעגלי קטן ואורך קטע ישר קטן:

$$SP = 101.11 - \frac{3420}{GM_s}$$

$$GM_s = \frac{R_1 + R_2}{2}$$

$$R_1, R_2 \leq 250m, \quad L_T < 150m$$

(2) אתרים עם רדיוס עקום מעגלי קטן ואורך קטע ישר בינוני:

$$SP = 98.405 - \frac{3184}{GM_L}$$

$$GM_L = \frac{L_T \cdot \sqrt{R_1 \cdot R_2}}{100}$$

$$R_1, R_2 \leq 250m, \quad 150 < L_T < 1000m$$

(3) אתרים עם רדיוס עקום מעגלי בינוני ואורך קטע ישר בינוני:

$$SP = 97.73 + 0.00067 \cdot GM_L$$

$$R_1, R_2 \geq 250m, \quad 150 < L_T < 1000m$$

(4) אתרים עם אורך קטע ישר בינוני ורדיוס שלא חורג ממידת ההיגיון:

$$SP = 1058.00 - \frac{22.953}{e^{(0.00012 \cdot GM_L)}}$$

$$L_T > 1000m$$

כאשר:

- SP – האחוזון ה-85 של מהירות התפעול בקטע ישר (קמ"ש);
- $R_1, R_2$  – רדיוסים של העקום המעגלי הראשון והשני (מ');
- $L_T$  – אורך הקטע הישר (מ').

#### 5.1.4 קריטריונים להערכת עקביות התכן

חוקרים רבים בעולם תומכים בקריטריונים להערכת עקביות תכן דרך אשר פותחו במקור ע"י חוקרים מגרמניה: (1995) Lamm & Choueiri, (1999) Lamm et al.

- להערכת עקביות בתוואי האופקי של תכן דרך מוצעים שלושה קריטריונים שהם:
  - קריטריון אחידות אשר קובע כי ההבדל בין מהירות התפעול (מהירות האחוזון ה-85 של מהירויות הנסיעה בפועל) באלמנטים עוקבים צריך להיות קטן מגודל מסוים.

- קריטריון מהירות אשר קובע כי ההבדל בין מהירות התפעול (מהירות האחוזון ה-85 של מהירויות הנסיעה בפועל) למהירות התכן שנבחרה, צריך להיות קטן מגודל מסוים.
- קריטריון חיכוך המתייחס להפרש בין מקדם החיכוך הצידי הדרוש לתפעול בטוח (המקדם המתוכנן) לבין מקדם החיכוך הצידי שקיים בפועל (המסופק ע"י הכביש).

שלושת הקריטריונים הללו מוצגים בטבלה 5.1 והם מהווים כלים להבחנה בין:

- תכנון טוב שבו קיימת עקביות בתוואי האופקי ואין צורך בשיפור התכנון הגיאומטרי;
- תכנון סביר שבו קיים חוסר בעקביות בתכנון הגיאומטרי במידה מסוימת ובדרך כלל לא נחוץ תיקון לתוואי הקיים;
- תכנון גרוע הגורם לחוסר עקביות בתכנון הגיאומטרי האופקי יחד עם הבדלים משמעותיים בפרופיל המהירות.

קטע כביש המתוכנן באופן גרוע (ברמת עקביות נמוכה) זקוק לתכנון מחדש ולשיפור התוואי בקטעים המסוכנים.

לגבי הוכחות אמפיריות לקשר בין עקביות התכן ושיעורי התאונות, ניתן לציין את מחקרם של Anderson et al (1999) אשר בחנו נתוני תאונות ב-5287 עקומים אופקיים בשש מדינות בארה"ב. במחקר זה נמצא ששיעור תאונות מרבי נצפה בעקומים עם תכנון "גרוע" ושיעור תאונות מזערי – בעקומים עם תכנון "טוב", כאשר סיווג התכנון היה לפי קריטריון II שמוצג בטבלה 5.1.

### טבלה 5.1: קריטריונים להערכת עקביות בתכן דרך

תכנון			קריטריונים
גרוע	סביר	טוב	
$\Delta V_{85} > 20\text{km/h}$	$10 \leq \Delta V_{85} \leq 20\text{km/h}$	$\Delta V_{85} \leq 10\text{km/h}$	(I) קריטריון אחידות: מהירות תפעול באלמנטים עוקבים
$V_{85}-V_d > 20\text{km/h}$	$10 \leq V_{85}-V_d \leq 20\text{km/h}$	$V_{85}-V_d \leq 10\text{km/h}$	(II) קריטריון מהירות: מהירות תפעול באלמנט בודד
$f_R-f_{RA} < -0.04$	$-0.04 \leq f_R-f_{RA} < 0.01$	$f_R-f_{RA} \geq 0.01$	(III) קריטריון חיכוך: יציבות הרכב

#### הסברים לטבלה 5.1:

- $\Delta V_{85}$  – תחום השינוי במהירות התפעול בין קטעים סמוכים לאורך התוואי;
- $V_d$  – מהירות תכן (קמ"ש);
- $V_{85}$  – מהירות התפעול (האחוזון ה-85 של מהירויות נסיעה בפועל);
- $f_R$  – מקדם חיכוך צידי שמסופק על ידי הכביש (הערך המתוכנן);
- $f_{RA}$  – גורם חיכוך צידי – החיכוך המנוצל ע"י הרכב בעת נסיעתו בעקום.

לשימוש בקריטריונים I ו-II: קריטריון האחידות וקריטריון המהירות – נדרשת הערכה של מהירויות התפעול בקטעי הדרך הנבחנו. כלים לביצוע הערכות אלה מוצגים לעיל בסעיף 5.1.3.

מדד יציבות הרכב עבור קריטריון III מוערך כהפרש בין מקדם החיכוך המתוכנן ( $f_R$ ) ומקדם החיכוך בפועל ( $f_{RA}$ ), כאשר הנוסחאות להערכת מקדמים אלה יהיו כלהלן:

$$f_{RA} = \frac{(V_{85})^2}{127 \cdot R} - e$$

$$f_R = 0.22 - 1.79 \cdot 10^{-3} \cdot V_D + 0.56 \cdot 10^{-5} \cdot V_D^2$$

כאשר:

- R – רדיוס העקום (מ');
- $V_{85}$  – מהירות התפעול (קמ"ש);
- e – שיעור הגבהה צידית (שבר עשרוני);
- $V_D$  – מהירות תכן (קמ"ש).

הנוסחה הראשונה הינה ביטוי סטנדרטי לקשר בין מהירות, חיכוך והגבהה צידית בעקום, כאשר הנוסחה השנייה לקוחה מ-Lamm et al (1999).

### 5.1.5 מודלים ישראליים לבחינת עקביות התכן

מודל לתכנון עקבי של דרכים דו-נתיביות בישראל, בהתבסס על מאפייני התוואי האופקי, פותח ע"י חביב-מטר (2001). המודל מוצג במשוואה הבאה:

$$C_{TL} = 2.808 \cdot e^{-0.278 \left( RA \cdot \frac{\sigma}{3.6} \right)}$$

כאשר:

- $C_{TL}$  – מדד עקביות לדרך בין-עירונית חד-מסלולית;
- RA – שטח יחסי המנורמל (מ"שנ');
- $\sigma$  – סטיית התקן של המהירות (קמ"ש).

המדד RA הוא השטח התחום בין פרופיל המהירות לבין המהירות הממוצעת, המנורמל לאורך קטע דרך. ככל שהשטח התחום RA גדול יותר, כך גדלה גם החריגה מהמהירות הממוצעת וכן, קטנה העקביות. המדד RA (מ"שנ) מחושב בצורה הבאה:

$$RA = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{L}$$

כאשר:

- $\sum A$  – סכום השטחים בקטע (מ"ר לשנייה);
- L – אורך כל הקטע (מ');
- n – מספר אלמנטים גיאומטריים (עקומות וישרים) בקטע.

Polus et al (2005) שיפרו את מודל העקביות הבסיסי שהוצג לעיל, בהתחשב בדרכים הרריות. מודל העקביות המשופר לדרכים ההרריות בוחן את אחידות התכנון באמצעות ההפרש במהירות בין שני אלמנטים גיאומטריים סמוכים, ובאמצעות הערכה "אורכית" של מידת הסטיות

של המהירות מהמהירות הממוצעת. כמו כן, מודל זה מתייחס להפרשי המהירויות בין כלי-רכב פרטיים ומשאיות. מדד העקביות בשטח ההררי יחושב לפי הנוסחה הבאה:

$$IC = [2.808 \cdot e^{(-0.278 \cdot RA \cdot \sigma)}] \cdot e^{(-0.01 \cdot A_{CT})}$$

כאשר:

- IC – מדד העקביות לדרך חד-מסלולית הררית;
- RA – שטח יחסי מנורמל (שטח התחום בין פרופיל המהירות והמהירות הממוצעת של רכב פרטי, המנורמל לאורך קטע דרך, מ'/שנ');  
σ – סטיית התקן של המהירות (מ'/שנ');
- A<sub>CT</sub> – השטח המנורמל בין פרופילי המהירויות של כלי-רכב פרטיים ומשאיות בשטח הררי.

להערכת עקביות התכן של הדרכים הדו-מסלוליות מוצע להיעזר במודל שכויל ע"י חביב-מטר (2001). כיול המודל נעשה ע"י שני כבישים בינעירוניים דו-מסלוליים טיפוסיים, האחד בעל תכנון טוב והשני בעל תכנון סביר. באמצעות ערכי העקביות של שני הכבישים התקבלו שתי משוואות עם שני נעלמים אשר ניתנות לפתרון וכך מתקבל מודל העקביות לכבישים בינעירוניים דו-מסלוליים:

$$C_{FL} = 2.74 \cdot e^{-0.204 \cdot RA \cdot \frac{\sigma}{3.60}}$$

כאשר:

- C<sub>FL</sub> – מדד עקביות לדרך בין-עירונית דו-מסלולית;
- RA – שטח יחסי מנורמל (השטח התחום בין פרופיל המהירות והמהירות הממוצעת של רכב פרטי, מ'/שנ');
- σ – סטיית התקן של המהירות (קמ"ש).

להבחנה מסכמת בין תכנון "טוב", "סביר" ו-"גרוע" מוצע לסווג את ערכי מדד העקביות (C<sub>TL</sub> או C<sub>FL</sub>) כמפורט בטבלה 5.2 (חביב-מטר, 2001).

### טבלה 5.2: קריטריון לבחינת עקביות התכן של דרכים בישראל

תכנון	טוב	סביר	גרוע
ערכי הקריטריון	C > 2	1 < C ≤ 2	C ≤ 1

נספח ג' מביא דוגמא ליישום המודלים לבחינת עקביות התכן של קטע כביש 65.

### 5.1.6 הדרגתיות בקביעת מהירות תכן

ברמת העיקרון, המתכנן צריך לשאוף לתכנן את הדרך למהירות הגבוהה ביותר בתחום המהירויות המתאים לסוג הדרך, וזאת משיקולי עקביות בתכנון הרשת. כאשר צוות התכנון מחליט כי יש צורך להגמיש את מהירות התכן, תיבחר מהירות תכן חדשה, נמוכה יותר, על פי תחום המהירויות המקובל.

במידה ומתקבלת החלטה להגמשת מהירות התכן, המתכנן ינסה לרדת במספר המדרגות המזערי שניתן בהתאם לסביבת הפרויקט. כאשר מתקבלת החלטה לשנות את מהירות התכן בקטע או במרכיב מסוים של הדרך עקב סיבות סביבתיות, נופיות, כלכליות או אחרות, יש לבדוק את כל השלכות השינוי, החל מהשלכות בטיחותיות באותו מקום, וכלה בעקביות התכנון של הדרך כולה.

בכל מקרה, משיקולי עקביות התכן, אין לרדת באותה הדרך ירידה כוללת של יותר מ-20 קמ"ש במהירות התכן, ואין להחיל ירידה זו על מרכיב בודד, אלא על קטעים באורך 2 דקות נסיעה במהירות התכן, לפחות. בנוסף, יש לשאוף שהפרש מהירויות התפעול בין מרכיבים עוקבים בתוואי לא יעלה על 10 קמ"ש, ובמקרים חריגים בלבד – על 20 קמ"ש.

על כן, יש צורך לתכנן את תוואי הדרך כך שהחיבור בין שני קטעי דרך בעלי הפרש מהירות גדול (כגון: קטע ישר – 100 קמ"ש ועקום בעל רדיוס קטן יחסית – 60 קמ"ש), יהיה דרך קטע דרך נוסף אשר יוריד את מהירות הנסיעה בהדרגתיות (כגון: באמצעות עקום בעל רדיוס גדול יותר, עם מהירות תכן 80 קמ"ש).

## 5.2 ניהול מהירות ברשת הארצית וברשויות המקומיות

תקנת התעבורה מספר 54 קובעת את המסגרת הכללית של מהירות נסיעה מרבית לפי סוג הדרך, כאשר המסמך הנוכחי וההנחיות לתכנון רחובות בערים (2009) מספקים מסגרת מקצועית מפורטת יותר, הכוללת את המצבים ההנדסיים והתנועתיים לחריגה בהתאמה של ממ"מ לדרך מסוימת, שלא לפי מדרג הדרכים.

במערכת הדרכים הבינעירונית הסיבות לחריגות הן מועטות, וקשורות בעיקר לחוסר התאמה בין התכן ההנדסי בפועל של הדרך לבין מיקומה של הדרך במדרג הדרכים, או לתכן הנדסי הלוקה בחסר של דרך מסוימת יחסית למה שנחוץ לסוג דרך זה.

שינויים בממ"מ לגבי דרך בינעירונית צריכים להיעשות על ידי וועדת תימרוך מרכזית. בפועל, ועדה מקצועית במחוז הרלוונטי של החברה הלאומית לדרכים (מע"צ) יחד עם המפקח על התעבורה ומהנדס תנועה של המשטרה באותו המחוז, יזמים ומחליטים על החריגים. במקרים מסוימים, כגון 'עבודות בכביש', רשות הדרך רשאית לקבוע ממ"מ ולהציב תמרוך מהירות גם ללא התייעצות עם משרד התחבורה (לפי תקנה 51).

בתחום העירוני, ניהול המהירות הוא מורכב יותר. אומנם ברשת העירונית יש שאיפה לקיים מדרג רחובות – מקומי, מאסף, דרך עורקית – וממ"מ של 30-50-70 קמ"ש, בהתאמה, אך התשתית העירונית שהתפתחה לאורך שנים היא מגוונת ומורכבת מאוד. רחוב או דרך עורקית בעיר יכולים לעבור באזור מבונה ואזור פתוח לסירוגין; פעילות הולכי-רגל, רוכבי אופניים או מתקני חנייה משפיעים על תנועה ובטיחות בדרכים עורקיות; דרכים אזוריות ואפילו ארציות עוברות לעיתים בתחום העירוני; באזורים מטרופוליניים ההבדל בין רחובות מאספים לרחובות עורקיים יכול להיטשטש בקטעי מעבר מיישוב ליישוב; לתושבים הגרים ברחוב או אזור עירוני נתון יש צרכים וציפיות שונים מאלו של משתמשי דרך שרק עוברים ברחוב.

גורמים אלו ואחרים מהווים אתגר מתמיד למהנדסי התנועה ביישובים עירוניים, אשר צריכים להתחשב בצרכי נגישות, תפעול ובטיחות מיוחדים לכל רחוב, צריכים לאזן בין דרישות התנועה לרכב פרטי וציבורי לבין דרישות איכות החיים של התושבים, וצריכים לממש את מדיניות משרד התחבורה אך גם של נבחרים הציבור ביישוב.

ביישובים עירוניים חלה מסגרת בסיסית של ממ"מ של 50 קמ"ש. במקרים רבים קיים רצון, צורך תפעולי או בטיחותי לקבוע מהירות מרבית מותרת גבוהה או נמוכה יותר, בהתאם לצרכי המקום וצרכי השעה. השינויים נעשים על פי החלטות של ועדות תנועה/תימרוך מקומיות, אשר ממנות מהנדס תנועה מומחה חיצוני בכל נושא של קביעת מהירויות. הכלים העומדים לרשות הוועדות הם משני סוגים: קביעת ממ"מ שונה (30 או 70 קמ"ש ותמרוך נלווה); החלטה להתקין אמצעים הנדסיים למיתון תנועה (הורדת מהירות) או, החלטה לשדרג את התכן הנדסי/בטיחותי של דרך עירונית עורקית כדי להכשירה למהירות גבוהה יותר. כמובן שניתן גם לבצע שינויים בכיוון הפוך – לחזור למהירות 50, להסיר אמצעי מיתון או לשנות תכן של דרך עורקית מהירה ולהתאימה למהירות 50 קמ"ש (ראו ההנחיות לתכנון רחובות בערים, 2009).

סקר שנערך בשנת 2008 אצל ועדות התנועה המקומיות הצביע על סוג הבעיות, בהקשר של מהירות, אשר מעסיקות את אנשי המקצוע והתושבים, מה השיקולים שנלקחים בחשבון, באיזה מידה יש מדיניות של העיר בנוגע לניהול המהירות, מה הכלים שמפעילים ומה היו ההחלטות. הסקר בוצע באמצעות שאלון לראשי ועדות התנועה והתימרוך ברשויות, ראיון טלפוני משלים, וראיון אישי בארבע הערים הגדולות ובמדגם ערים בינוניות.

הסקר המפורט<sup>4</sup> מכיל פרטים ייחודיים לכל יישוב, כמו ממ"מ חריג לרחוב מסוים והסיבות ההיסטוריות לכך, או האופן שראש עיר מסוים השפיע על מדיניות של מיתון תנועה, או להיפך, על העלאת מהירות מרבית. בהקשר הנוכחי נציג את הממצאים הכלליים המשקפים את סוגי הבעיות של ניהול מהירות ביישוב עירוני וכיצד ניתן לטפל בהן.

הרשויות העירוניות אימצו את המדיניות שמהירות התנועה ביישוב תיקבע לפי העיקרון של 30-50-70 לפי תפקוד הדרך ומאפייני הסביבה העירונית. קיימת הבנה מלאה לכך שהתנהלות התנועה בפועל מותנית בהתאמה של הרחוב והדרך למהירות שנקבעה, ועל כן יש גם לבצע שינויי תשתית דרכים בנוסף לתמרוך המהירות.

רחובות או אזורים של 30 קמ"ש נתפסים כאידיאל שיש לשאוף אליו, אך המימוש מחייב תכנון מקורי הולם או השקעה גבוהה בשדרוג רחובות קיימים מ-50 קמ"ש ל-30 קמ"ש. גם במקומות שבהם נעשות פעולות למיתון תנועה למהירויות נמוכות מ-50 קמ"ש, לא נהוג עדיין להציב תמרוכים עם ממ"מ של 30 קמ"ש.

במרבית היישובים יש דרישה של תושבים לפעול להורדת מהירות הנסיעה ברחובות מגוריהם. תושבים מבקשים להפעיל אכיפה, להתקין רמזורים או מעגלי תנועה. הדרישה הנפוצה ביותר

---

<sup>4</sup> ראו רשימת תוצרי הצוות ברשימה הביבליוגרפית לעבודה זו

היא להתקין פסי האטה, מה שמעיד על תחושת אי-נוחות וסיכון ממהירות התנועה ברחוב, ועל נכונות התושבים לקבל על עצמם את חוסר הנוחות במעבר על פסי האטה.

במרבית היישובים קיימת מדיניות או נכונות להיענות לבקשות תושבים בנושא פסי האטה כאשר הרחובות הם מקומיים, ומאפייני הרחוב והתנועה אינם מנוגדים בעליל להנחיות להתקנת פסי האטה. בערים הגדולות מבצעת מחלקת ההנדסה בדיקה נקודתית באתרים הנדונים. במקרים של ספק, או כדי לקבוע עדיפויות, מבצעים מדידות מהירות ברחוב. ביישובים קטנים יותר נעזרים ביועץ תחבורתי שעשוי להזמין מדידת מהירות.

בפועל, עשרות התקנות של פסי האטה מתבצעות מדי שנה, כאשר המספר המבוקש על ידי תושבים והמספר המאושר עקרונית על ידי ועדות התנועה הוא גדול בהרבה. חלק קטן מהתקנות פסי האטה ביישובים נעשה ביוזמה של הרשות, בדרך כלל במסגרת טיפול ברחובות מאספים בעייתיים, או באתרים נקודתיים כגון סמוך לבתי ספר.

לגבי רחובות מאספים, מהנדסי התנועה בערים מעדיפים להשתמש באמצעים גיאומטריים למיתון תנועה, בעיקר מעגלי תנועה ואוזניים בצמתים, ואיי תנועה בנויים או מצוירים בקטעים או בגישה לצמתים. בערים הגדולות והבינוניות היקף השימוש בפסי האטה ובמעגלי תנועה (אלמנטים בולטים בנוף העירוני) קשור לגישה הכללית של ראשי העיר לאמצעים אלו ולעדיפות שהם נותנים להם.

בקצה הגבוה של מדיניות 30-50-70 קמ"ש בערים, היוזמות להעלות או להוריד ממ"מ הן בעיקר של הרשות עצמה, כאשר התושבים עצמם בדרך כלל מרוצים מ-ממ"מ גבוהה מ-50 בדרכים עורקיות. במהלך השנים נעשה שימוש בממ"מ של 60, 70, ואף 80 קמ"ש. משנות ה-90 המגמה היא להוריד את הממ"מ בצירים עורקיים עקב ריבוי תאונות, גידול בשימושי קרקע ופעילות הולכי-רגל ואופניים באזור הציר. מאידך, במקומות שניבנו צירים עורקיים ממחלפים חדשים (כגון בירושלים, חיפה), המגמה היא לאפשר מהירויות גבוהות יותר מ-70 קמ"ש, עד 90, בתנאי שלדרך יהיו חזות ותפקוד של דרך פרברית מהירה. בלבטים בנושא הדרכים העורקיות והפרבריות המהירות מעורבים שיקולים רבים, מקומיים, מטרופולינים ואזוריים, והם אינם בהכרח נדונים בוועדות התנועה המקומיות.

למהנדסי התנועה בערים ברור כיום, שכדי לשנות ממ"מ של דרך, יש לשנות גם את התכן ההנדסי של הדרך ולהתאימו למהירות נמוכה או גבוהה יותר. כיוון ששינוי התכן ההנדסי כרוך בהשקעה גבוהה באמצעים ובזמן, ברירת המחדל של הרשויות היא להשאיר את מצב הממ"מ הקיים, ולטפל במפגעי בטיחות נקודתיים לאורך הציר. לעיתים רחוקות הטיפול מתבסס על הורדת מהירות נקודתית באמצעות תמרור בלבד.

### **5.3 המהירות המרבית המותרת והאכיפה**

התפיסה ההנדסית של מחברי מסמך זה היא, כי יש לשאוף להתאמה מיטבית בין התכן ההנדסי לבין המהירות המותרת. יש לתת לנהגים אינדיקציה למהירות הייעוד בכל קטע דרך, ולשם כך יש לחזור ולציין לנהגים את המהירות המרבית המותרת, כאשר זו שונה מתקנה 54. בקטעי דרך מסוימים בהן נדרשת/מומלצת מהירות מותרת נמוכה יותר, רצוי לציין זאת.

כיום מיידעים את הנהגים לגבי הממ"מ באמצעות תמרור, ובדרכים אחדות משתמשים בשילוט מתחלף אלקטרוני ליידע נהגים לגבי מהירות מומלצת. יש לצפות שבעתיד הקרוב יתרחב וישתפר שירות המידע לנהג בתוך הרכב, שכבר כיום יכול להציג / להתריע לנהגים בזמן אמת על המהירות המותרת בדרך שבה הם נוסעים (למשל, ע"י שילוב של טכנולוגיות תקשוב ותצוגה ברכב, GIS, מיקום GPS). מכאן קצר המרחק לאפשרויות של ניטור מהירות הרכב בפועל בהשוואה למהירות המרבית המותרת (או מהירות רצויה על פי קריטריונים אחרים המובנים במערכת).

זיהוי הפערים בין המהירות בפועל למהירות המרבית המותרת ברכב נתון, יכול לשמש בסיס לשורה של אמצעי שכנוע, כלכליים ואחרים, להביא את הנהגים לנסוע במסגרת המהירות המותרת / חסכונית / בטיחותית / ירוקה וכד'. בפועל, קיימת חפיפה גדולה בין קריטריונים אלו, מה שמקל בהנעה של ארגונים ויחידים לאמץ טכנולוגיות המאפשרות ומעודדות נהיגה במהירות חוקית ובטיחותית. יתרון חשוב נוסף בגישה זו, שהיא אינה תלויה בהפעלת אכיפה אקטיבית של מהירות הנסיעה.

מסוף שנות ה-90 במאה הקודמת חלה התפתחות רבה במדינות האיחוד האירופי, באוסטרליה, ובשנים האחרונות גם בצפון אמריקה, בתחום האכיפה של מהירות. התפתחות זאת ניכרת בשלוש מגמות התומכות זו בזו:

- המשגה של תופעת הנהיגה במהירות מופרזת כבעיה מערכתית-אפידמיולוגית ועל כן העברת הדגש על פעילות אכיפה התומכת ישירות במניעה, בניגוד לגישה המסורתית שחיפשה לתפוס עברייני תנועה ולמצות איתם את הדין.
- פיתוח אמצעים מבוססי טכנולוגיה דיגיטלית המאפשרים אכיפה אוטומטית מהירה של מהירות בכל שרשרת האכיפה – מזהו דרך פענוח ושליחת הדוח, ועד איסוף הקנס.
- העברת מטלות טכניות ומנהליות הקשורות לאכיפה סטנדרטית של מהירות לגופים אחרים (כגון רשות דרכים, חברת תפעול, רשות עירונית, תאגיד ציבורי), כדי לשחרר כוחות של משטרת התנועה לעסוק בהתנהגויות תנועה חריגות במיוחד, או כאלו עם מאפיינים פליליים.

האמצעים הטכנולוגיים אפשרו במדינות רבות, בהן נורווגיה, פינלנד, אנגליה, הולנד, צרפת, ספרד, אוסטרליה, פורטוגל ומדינות אחרות, הפעלה מאסיבית של אכיפת מהירות אוטומטית, במיוחד בדרכים בין-עירוניות, עם מעורבות מזערית של שוטרים בכל התהליך.

גישת המניעה נתמכה, בחלק מהמדינות, בפישוט ההליך המשפטי המסורבל על ידי הפיכת הרכב למושא האכיפה האוטומטית, כך שהאחריות מוטלת על בעל הרכב (גם, ובעיקר אם זאת חברה), ובעלי הרכב הם שיהיו בעלי עניין לאכופה בנהיגה במהירות המותרת על הנהגים ברכבם. גישת המניעה שמה את הדגש לא על כמות הנהגים הנתפסים בגין עבירת מהירות, אלא על כמות הנהגים החשופים למערכת ונהגים במסגרת החוק.

גישת המניעה, בניגוד לגישה של תפיסת חריגים קיצוניים, מעודדת אכיפת מהירות בקטעי דרך (מהירות ממוצעת לקטע) ולא אכיפה נקודתית בלבד. לאכיפה מהירות בקטע יש השפעה לאורך גדול של קילומטרים, והיא נתפסת על ידי הציבור כצודקת יותר מאכיפה נקודתית. גישת

המניעה והיכולת הטכנולוגית מעודדות אכיפה של כל החריגות מהמהירות (טולרנס אפסי בניכוי גבול טעות מדידה), ולא אכיפה סלקטיבית שהיא פחות יעילה וגם כן נתפסת כלא הוגנת.

לגבי ניהול המהירות בתחום העירוני, יותר ויותר רשויות עירוניות במדינות באירופה ובארצות הברית מקבלות על עצמן (התהליך מלווה בגיבוי משפטי לפי הצורך) חלקים ממרכיבי האכיפה של המהירות, כדי לשרת טוב יותר את צרכי היישוב מאשר המשטרה מסוגלת לבצע בכוחות המצומצמים שלה. למרות התנגדות התחלתית של המשטרה, הפעילות הקהילתית בתחום אכיפת מהירות כחלק מניהול תנועה, זוכה לבסוף לעידוד ותמיכה מהמשטרה המקומית. בחלק מהרשויות, קיימים פתרונות ארגוניים מגוונים לביצוע האכיפה, אך נראה שהמגמה היא להשתמש בטכנולוגיות זיהוי ורישום אוטומטיות כדי להימנע מחיכוך עם נהגים.

ההצלחה של אכיפת מהירות בגישת המניעה אינה במספר הדוחות (דוחות הם סימן לכישלון המניעה), אלא ברידה במדדי מהירות התנועה בפועל באזורי האכיפה, ובהקטנת כמות התאונות. במדינות בהן הפעילו מדיניות אכיפה מסיבית, אוטומטית ובגישה מניעתית, השיגו הקטנה משמעותית של מספר הנהגים העוברים על המהירות המותרת, הזיזו כלפי מטה את התפלגות המהירויות של כל התנועה, והביאו להקטנת הפערים בין המהירות המותרת לבין מהירויות הנסיעה בפועל. במדינות אלו השיגו גם תוצאות מרשימות בהפחתת תאונות.

# נספח א' – נימוקים לבחירת מהירויות הייעוד, לפי

## סוגי הדרכים

להלן ריכוזי הנימוקים לבחירת הערכים המרביים של מהירויות הייעוד לפי סוגי הדרכים הבין-עירוניות:

### 1.א דרך מהירה

#### ערך מרבי מומלץ של מהירות הייעוד (וממ"מ) בדרך מהירה – 110 קמ"ש.

רמת הבטיחות של הדרכים המהירות בישראל אינה גבוהה יחסית למדינות המתקדמות. לכן, על אף ממצאי מדידות המהירות בשעות זרימה חופשית שמעידים על מהירויות נסיעה גבוהות יותר, מומלץ לא להעלות את מהירות הייעוד (והממ"מ) בדרכים המהירות ולהשאיר ברמה שמקובלת היום – 110 קמ"ש.

ממצאים תומכים בבחירה זו:

#### א. רמת בטיחות של הדרכים המהירות בישראל לעומת מדינות אירופה

לפי ריכוז מידע של ETSC (2008) – ראו טבלה א.1 ותרשים א.1, רמת הבטיחות של הדרכים המהירות בישראל דומה לממוצע של מדינות אירופה: מדד הרוגים ל-מיליארד ק"מ-רכב בדרך מהירה בישראל הינו 3.11, כאשר הממוצע של מדינות אירופה (מערב ומזרח ביחד) הינו כ-3.7.

לפי מדד בטיחות זה, ישראל נמצאת במקום ה-11 מתוך 19 המדינות שהשוו. מבחינת רמת הבטיחות של הדרכים המהירות, ישראל שייכת לקבוצת המדינות השלישית. מדד ההרוגים לנסועה בדרכים המהירות במדינות הבטוחות ביותר, כגון: שוויץ, דנמרק, הולנד, אנגליה, נמוך בכ-50%-40% מאותו מדד בדרכים המהירות בישראל.

רמת הבטיחות הבינונית של הדרכים המהירות בישראל צוינה גם בדו"ח ועדת ליבנה, אשר בחנה את המצב בשנים 2000-2002. כתוצאה, אחת ההמלצות של ועדת ליבנה (2004) הייתה לא להעלות את הממ"מ בדרכים המהירות בישראל ולהשאיר 110 קמ"ש.

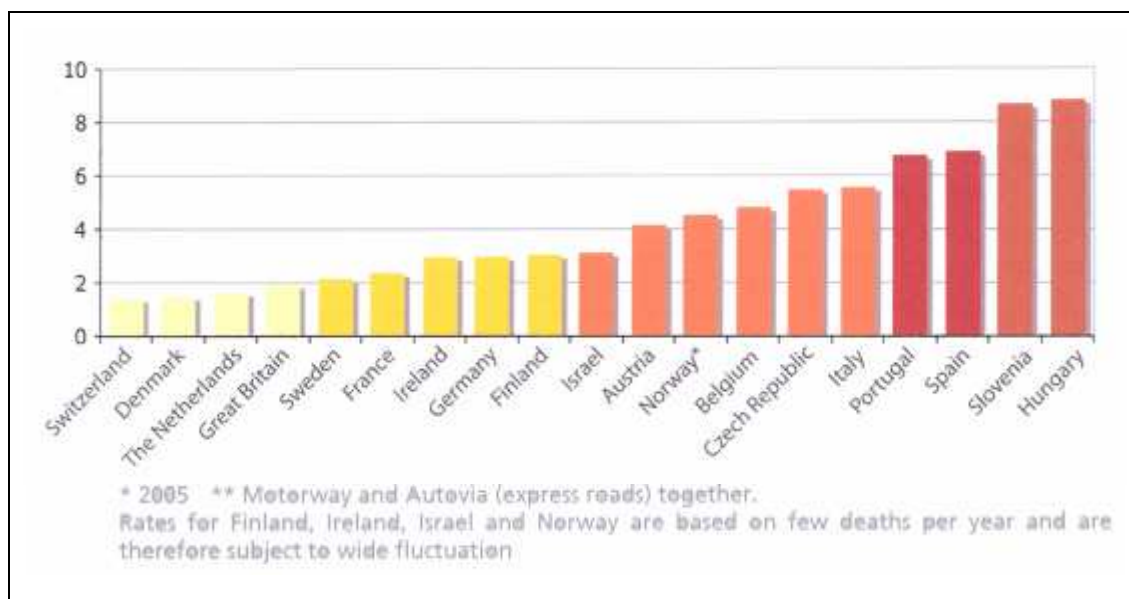
**טבלה א.1:** הרוגים, נסועה ומדד הרוגים לנסועה בדרכים מהירות,  
במדינות אירופה וישראל, בשנת 2006

Country	Number of deaths on motorways	Vehicle-km on motorways (billions)	Deaths per billion vehicle-km in 2006
Switzerland	31	22.00	1.41
Denmark	19	12.65	1.50
The Netherlands <sup>(1)</sup>	92	53.48 <sup>(2)</sup>	1.72
Great Britain	187	99.20	1.89
Sweden	28	13.00	2.15
France	296	125.00	2.37
Ireland	11	3.75	2.39
Germany	645	217.10	2.97
Finland	17	5.63	3.02
Israel	16	5.14	3.11
Austria <sup>(3)</sup>	80	19.17	4.17
Norway <sup>(4)</sup>	9	2.00	4.50
Belgium	163	34.08	4.78
Czech Republic	37	6.75	5.49
Italy <sup>(5)</sup>	456	81.89	5.57
Portugal	74	10.95	6.76
Spain <sup>(6)</sup>	827	120.00	6.89
Slovenia	29	3.34	8.69
Hungary <sup>(7)</sup>	55	6.22	8.84
<b>EU (16) average</b>	<b>3016</b>	<b>812</b>	<b>3.7</b>
<b>PIN (19) average<sup>(8)</sup></b>	<b>3063</b>	<b>839</b>	<b>3.65</b>

Source: national data provided by PIN panelists, CARE and IRTAD

\* Motorways are with dual carriageways, at least two lanes each way, entrance and exit signposted; grade separated interchanges; central barrier or central reservation; no crossing movements at the same level; no stopping permitted unless in an emergency. Use of motorway on foot and by some types of vehicles is restricted in various ways in different countries.

- (1) Data for the Netherlands only cover the national network administrated by Rijkswaterstaat
- (2) Estimation based on the rough assumption that 40% of all motor vehicle-km are in motorways
- (3) Motorways and express roads (Autobahn and Schnellstrasse)
- (4) 2005
- (5) Data for Italy only cover the network that belong to the Association of Italian toll motorway and tunnel concessionaires (AIS CAT)
- (6) Motorways and Autovia. Autovia are express roads were some of the motorway design requirements are nor fulfilled
- (7) National road network only
- (8) EU (16) average plus Israel, Norway and Switzerland



**תרשים א.1:** מספר הרוגים למיליארד ק"מ נסיעה בדרכים מהירות בשנת 2006 במדינות אירופה וישראל

**ב. היקפי תנועה בדרכים המהירות בישראל**

טבלה א.2 מציגה את מספרי ההרוגים, כמויות הנסועה, אורך הדרכים ושיעורי ההרוגים לנסועה בדרכים הבין-עירוניות בישראל בשנים 2004-2006. הדרכים מוצגות לפי שלוש קטגוריות: מהירות, דו-מסלוליות וחד-מסלוליות.

בטבלה א.2 ניתן להבחין כי אחוז הנסועה העובר בדרכים המהירות מגיע בשנים 2004-2006 לכ-20% מהנסועה הבינעירונית, כאשר אורך דרכים אלה מהווה רק כ-2% מרשת הדרכים הבין-עירונית. כמו כן, הדרכים המהירות הן הבטוחות ביותר ברשת הדרכים, כאשר שיעור הרוגים לק"מ-נסיעה בדרכים הדו-מסלוליות גבוה בכ-50% מאותו השיעור בדרכים המהירות.

**ג. השלכות צפויות מהעלאת מהירות מותרת בדרכים המהירות**

על פי מחקרי הערכה רבים, וכמו כן סיכומי ידע עדכניים מאירופה ומארה"ב (ראו טבלאות א.3, א.4), להעלאת ממ"מ בדרכים המהירות יהיו השלכות בטיחות חמורות, אשר יבואו לידי ביטוי בעיקר בעלייה במספרי הרוגים ונפגעים קשה בתאונות.

**טבלה א.2:** הרוגים, אורך דרכים, נסועה ומדד הרוגים לנסועה, בדרכים הבין-עירוניות בישראל, בשנים 2004-2006

א. הרוגים (בקטעים בלבד, ללא צמתים ומחלפים)

2006	2005	2004		
14	16	26	דרכים מהירות*	דרכים מופרדות
45	55	63	דרכים דו-מסלוליות**	
117	135	151	דרכים חד-מסלוליות	
176	206	240	סה"כ דרכים בין-עירוניות	

ב. אורך דרכים (ק"מ)

2006	2005	2004		
167.5	167.5	167.5	דרכים מהירות	דרכים מופרדות
962.6	962.6	946.4	דרכים דו-מסלוליות	
6723.9	6675.9	6630.1	דרכים חד-מסלוליות	
7854	7806	7744	סה"כ דרכים בין-עירוניות	

ג. ק"מ-נסיעה (מיליון)

2006	2005	2004		
5144	5012	5208	דרכים מהירות	דרכים מופרדות
10162	10436	9987	דרכים דו-מסלוליות	
10610	9604	8849	דרכים חד-מסלוליות	
25916	25052	24044	סה"כ דרכים בין-עירוניות	

ד. הרוגים למיליארד ק"מ נסיעה

2006	2005	2004		
2.7	3.2	5.0	דרכים מהירות	דרכים מופרדות
4.4	5.3	6.3	דרכים דו-מסלוליות	
11.0	14.1	17.1	דרכים חד-מסלוליות	
6.8	8.2	10.0	סה"כ דרכים בין-עירוניות	

\* דרכים המוכרזות כמהירות: כביש מס' 6, כביש מס' 1 ת"א – שער הגיא; כביש מס' 4 מחלף אשדוד-ראשון לציון.

\*\* כל יתר הדרכים הדו-מסלוליות כולל כאלה שבחלקן או ברובן ממוחלפות.

**טבלה א.3:** יישום "מודל העוצמה" לסוגי דרך שונים:  
 שינויים צפויים במספרי תאונות ברמות חומרה שונות בעקבות שינויי מהירות  
 מקור: Aarts and van Schagen (2006)

אחוז שינוי בתאונות, בעקבות שינוי של 1 קמ"ש במהירות הממוצעת						
מהירות בסיס, קמ"ש						חומרת התאונות
120	100	90	80	70	50	
1.7	2.0	2.2	2.5	2.9	4.0	תאונות עם נפגעים, %
2.5	3.0	3.4	3.8	4.3	6.1	תאונות עם נפגעים והרוגים, %
3.3	4.1	4.5	5.1	5.9	8.2	תאונות קטלניות, %

**טבלה א.4:** אפקטים בטיחותיים שהתקשרו עם העלאת הממ"מ ב-10 מייל לשעה  
 בדרכים מהירות בארה"ב\*

Safety Effects Associated with a 10 mi/h Speed Limit Increase on High Speed Roads

Increase in Speed Limit (mi/h)	Change in Average Driving Speed (mi/h)	Change in Total Crash Count	Change in Probability of Fatal Injury	Total Change in Fatal Injury Count
55 to 65	+3	+3.3%	+24%	+28%
65 to 75	+3	+0.64%	+12%	+13%

Note: Calculations assume average high-speed roadway geometry

\*Source: Safety Impacts and Other Implications of Raised Speed Limits on High-Speed Roads. NCHRP Web-Only Document 90 (Project 17-23): Contractor's Final Report. Prepared for: National Cooperative Highway Research Program. Submitted by: Kara Kockelman, CRA International, Inc., March 2006

#### ד. ממ"מ קיימות בדרכים המהירות

ממ"מ בדרכים המהירות בישראל היום הינה 110 קמ"ש. (ערך זה מיושם בכביש מס' 6 כאשר ביתר הכבישים – מס' 1 ו-מס' 4 – ממ"מ הינה 100 קמ"ש). ערך זה שייך לתחום הממ"מ שמקובלות במדינות אחרות, כמוצג בטבלה א.5. בקרב המדינות שמצטיינות במדד נמוך של הרוגים לנסועה בדרכים המהירות (ראו סעיף א' לעיל) קיימים הערכים הבאים של הממ"מ:

- שוויץ – 120 קמ"ש;
- דנמרק – 130 קמ"ש כאשר בכ-50% קיימת מגבלה של 110 קמ"ש;
- הולנד – 120 ו-100 קמ"ש (100 קמ"ש בכ-25% מרשת הדרכים המהירות);
- אנגליה – 113 קמ"ש;
- שוודיה – 110 קמ"ש (קיימים קטעים עם 90 קמ"ש).

**טבלה א.5:** ממ"מ לרכב פרטי בדרכים מהירות של מדינות ה-OECD  
מקור: OECD (2006)

**Current speed limits on motorways for passenger cars**

Country	Speed Limit	Comments
Australia (Victoria)	110 – 100 km/h	110 km/h is restricted to high standard, low volume, freeways with a good safety record.
Austria	130 km/h	
Canada	90 km/h, 100 km/h, 110 km/h typically 100 or 110 km/h	Limits vary within and between provinces.
	80-90 km/h (urban expressways, other than provincial highways) and parkways).	In Quebec, there is a minimum speed limit of 60 km/h.
Czech Republic	130 km/h	80 km/h for motorways in urban areas.
Denmark	130 km/h (110 km/h – 90 km/h)	General speed limit. On approx. 50% of the motorway network there is a local speed limit of 110 km/h (90 km/h in a few places).
Finland	120 km/h	100 km/h in winter.
France	130 km/h or 110 km/h	130 km/h in rural areas (with some exceptions). 110 km/h in urban areas or for the so-called "routes pour automobiles".
Germany	None (on some motorways).	It is recommended not to drive beyond 130 km/h.
Greece	120 km/h	Speed limit for motorcycles under 125 c.c. is 70 km/h.
Iceland	90 km/h	
Ireland	120 km/h	Ireland shifted to the metric system in 2005.
Japan	100 km/h (national expressways).	
Korea	Freeways: max.100-110km/h min. 50km/h Motorway: max. 90km/h, min 50km/h depending on road condition.	
Mexico	110 km/h	
Netherlands	120 km /h - 100 km/h	100 km/h on approximately 25% of the Dutch motorway network near cities and towns, mainly in the Western part of the Netherlands.
Norway	90 km/h or 100 km/h	100 km/h, if lighting and physical barrier in the middle.
Poland	130 km/h	110 in divided carriageway.
Portugal	120 km/h	
Russia	110 km/h	Minimum : 40 km/h Motorcycles: 90 km/h Light vehicles with trailer: 90 km/h
Slovak Republic	130 km/h 80 km/h in urban areas.	
Sweden	110 km/h sometimes 90 km/h rarely 70 km/h.	120 km/h will be tested with variable signs.
Switzerland	120 km/h	60 km/h (minimum speed)
United Kingdom	70 mph (113 km/h)	
United States	Varies by State: Rural: 65-75 mph (104-120 km/h) Urban: 55-70 mph (88-113 km/h)	Nominal 70 mph (113 km/h) – Rural 65 mph (104 km/h) – Urban

**ה. חישובים של ממ"מ אופטימאלית**

דרך נוספת לקביעת ערכים אופטימאליים של ממ"מ היא באמצעות הערכה כלכלית. ממ"מ אופטימאלית היא זו שמבטיחה ערך מינימאלי של העלויות לחברה, כאשר מגוון השלכות

שנלקחות בחשבון הן: זמן הנסיעה, הוצאות תחזוקה לרכב, תאונות דרכים, השפעות על איכות הסביבה (רעש, זיהום אוויר). במספר מדינות נערכו חישובים מסוג זה.

Elvik (2002) חישב ערכים אופטימאליים של ממ"מ בדרכים ציבוריות בנורבגיה ושוודיה. בהערכה זו נבחנו ארבע נקודות מבט (תסריטים) והן:

(א) נקודת המבט החברתית שכוללת את כל השלכות המהירות;

(ב) נקודת המבט של משתמש הדרך שאינה מתייחסת ישירות להשלכות החיצוניות (היבטי איכות הסביבה);

(ג) נקודת המבט של משלם המסים אשר אינה כוללת השלכות שכבר משולמות ממילא במסגרת המסים לשימוש ברכב;

(ד) נקודת מבט התושבים בה כל ההשלכות נבחנות מצד התושבים המתגוררים לאורך הדרך (ראו פירוט בסעיף 3.3).

נמצא שלדרכים המהירות בנורבגיה, הערך האופטימלי של הממ"מ, ע"פ נקודת המבט החברתית ונקודת המבט של תושבים, היה 100 קמ"ש, בעוד שע"פ נקודת המבט של משתמש הדרך, הערך המועדף הנו 110 קמ"ש, וע"פ נקודת המבט של משלם המסים – 120 קמ"ש. לאותם סוגי הדרכים בשוודיה, הערך האופטימלי ע"פ נקודת המבט החברתית ושל התושבים – 110 קמ"ש, בעוד שע"פ נקודות המבט האחרות – 120 קמ"ש. עם זאת, יש לציין שבמקרה של דרכים מהירות, השונות בין ערכי העלויות המסכמות הייתה קטנה מאוד בתחום הממ"מ מ-70 עד 110 קמ"ש. כלומר, בתחום זה של הממ"מ לא נמצא הצדק כלכלי (המתחשב בהשלכות הניידות, הבטיחות ואיכות הסביבה כאחד) לבחירת הערך המועדף של הממ"מ.

גם במחקר שנערך בספרד (Robuste et al, 2003) בוצעה הערכה של ממ"מ אופטימאלית בדרך מהירה. הערך האופטימלי נקבע ע"פ מינימום העלויות החברתיות שמתחשבות בגורמים כמו חיסכון בזמן, העדפות הנהגים, שיעורי התאונות וההשלכות על איכות הסביבה. התוצאה הייתה ש-120 קמ"ש (הממ"מ היום) הנו הערך האופטימלי, ע"פ כל הבחינות ביחד.

Cameron (2003) ביצע הערכות תועלת-עלות של השינויים בממ"מ בדרכים הבינעירוניות באוסטרליה. נמצא שאם שיטת הנכונות לשלם מיושמת לאמידת עלות התאונות, אזי הממ"מ המיטבית תהיה:

- בדרכים מהירות – 120 קמ"ש לרכב פרטי ומסחרי, ו-95 קמ"ש למשאיות;

- בדרכים דו-מסלוליות מופרדות – 110 קמ"ש ו-90 קמ"ש, בהתאמה.

לפי Cameron (2003), קביעת הממ"מ בהתאם לערכי המהירות האופטימאלית הייתה מביאה לחסכון כולל בעלויות החברתיות, כאשר, עדיין, הייתה צפויה עלייה ברמת ההיפגעות בתאונות בדרכים המהירות.

לסיכום, רמת הבטיחות של הדרכים המהירות בישראל בינונית לעומת המדינות האחרות, כאשר ערך הממ"מ בדרכים המהירות בישראל שייך לתחום הערכים שמקובל במדינות המתקדמות. בשנים האחרונות, חל שיפור ברמת הבטיחות של הדרכים המהירות בישראל, כאשר העלאת הממ"מ עשויה להביא להחמרת המצב. לכן, מומלץ לקבוע ערך מרבי של 110 קמ"ש למהירות הייעוד וממ"מ בדרכים המהירות בישראל.

## 2.א דרך פרברית / מעויירת מהירה ודו-מסלולית ממוחלפת

ערך מרבי מומלץ של מהירות הייעוד (ו-ממ"מ) בדרך פרברית / מעויירת מהירה ודו-מסלולית ממוחלפת – 100 קמ"ש.

נימוקים תומכים בבחירה זו:

- עקב קטעי דרך קצרים יחסית וריבוי מחלפים וקטעי התמזגות, הפרדות והשתזרות בדרך פרברית/מעויירת מהירה, מומלץ לאמץ מהירות ייעוד נמוכה יותר מאשר בדרך המהירה.
- גישה זו – קביעת ממ"מ נמוכה יותר בדרך פרברית/מעויירת מהירה מאשר בדרך מהירה – מיושמת במספר מדינות כגון: צרפת, דנמרק, הולנד (ראו טבלה א.5).
- עקב היעדר צמתים במפלס אחד, וגם בהתחשב במהירויות הנסיעה בפועל אשר גבוהות יותר בדרכים הדו-מסלוליות הממוחלפות מאשר בדרכים הדו-מסלוליות האחרות\*, יש מקום להעלות מהירות הייעוד בדרכים אלה ל-100 קמ"ש – ערך גבוה יותר לעומת הממ"מ הנוכחית (90 קמ"ש). מאידך, רמת התכן של סוג דרך זה היום (רוחב נתיבים, רוחב שוליים, מהירויות תכן, מרחקי ראות, האצה והאטה וכו') ככלל נמוכה יותר מאשר בדרך מהירה, לכן מהירות הייעוד המומלצת נמוכה יותר מאשר בדרך המהירה.
- קביעת רמות שונות של הממ"מ לדרך דו-מסלולית ממוחלפת לעומת לא ממוחלפת במלואה היתה אחת ההמלצות של ועדת ליבנה (2004).
- במסגרת ועדת ליבנה (2004) נערכה בחינת רמת הבטיחות של הדרכים הדו-מסלוליות הממוחלפות. נמצא שרמת הבטיחות של דרכים אלה דומה לרמת הבטיחות של הדרכים המהירות – ראו תרשים א.2.

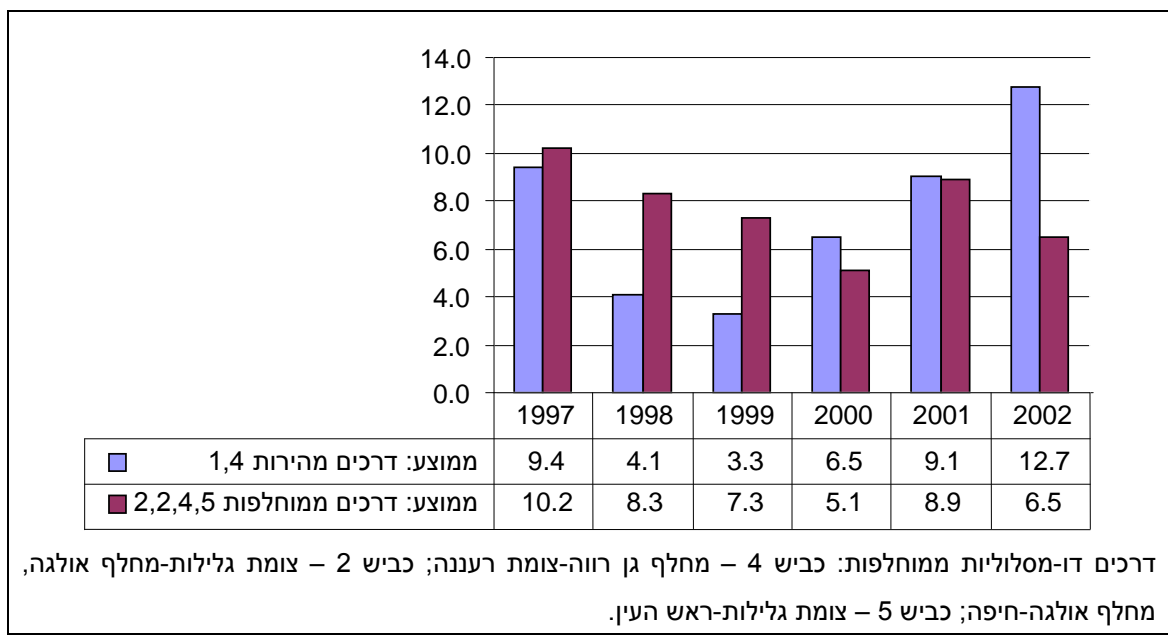
## 3.א דרך דו-מסלולית אחרת

ערך מרבי מומלץ של מהירות הייעוד (וממ"מ) בדרך דו-מסלולית אחרת – 90 קמ"ש.

נימוקים תומכים בבחירה זו:

- בדרך דו-מסלולית אזורית מומלץ לשמור על מהירות הייעוד בהתאם למקובל היום (ממ"מ 90 קמ"ש) עקב ריבוי דרכים קיימות מסוג זה.
- בהתבסס על ממצאי מדידות של מהירויות הנסיעה בפועל (מהירויות ממוצעות בסביבות 90 קמ"ש או גבוהות יותר), נראה לא מעשי להציב כמהירות הייעוד ערך מהירות נמוך יותר.
- אחוז הנסועה העובר בדרכים הדו-מסלוליות היווה, בשנים 2004-2006, כ-40% מהנסועה הבינעירונית, כאשר אורך דרכים אלה מהווה כ-12% מרשת הדרכים הבין-עירוניות (ראו טבלה א.2). כמו כן, רמת הבטיחות של הדרכים הדו-מסלוליות טובה בכ-40%-50% לעומת רמת הבטיחות של הדרכים החד-מסלוליות.

\* ע"פ ממצאי סקר מהירות שנערך במסגרת ועדת ליבנה (2004)



**תרשים 2.:** מדד קטלניות הנסיעה (הרוגים למיליארד ק"מ-רכב) בישראל,

בדרכים מהירות לעומת דרכים ממוחלפות נבחרות,

בשנים 1997 עד 2002

- מבחינת ממ"מ בדרכים דומות בעולם (טבלה א.6) עולה, כי הערך המקובל בישראל נמצא בתחום הממ"מ שמקובלות במדינות האחרות. לדוגמא, בקרב המדינות הבטוחות יותר (שמצטיינות במדד נמוך של הרוגים לנסועה בדרכים המהירות) ניתן להבחין בערכים הבאים של הממ"מ (טבלה א.6 – main highways):

- שוויץ, דנמרק – 80 קמ"ש;
- הולנד – 100 קמ"ש;
- אנגליה – 97 קמ"ש;
- שוודיה – 90 קמ"ש.

**4.א דרכים חד-מסלוליות**

ערך מרבי מומלץ של מהירות הייעוד (וממ"מ) בדרך חד-מסלולית – 70 קמ"ש.

נימוקים תומכים בבחירה זו:

- בדרך חד-מסלולית מוצע להקטין את מהירות הייעוד ל-70 קמ"ש, לעומת ממ"מ 80 קמ"ש שמקובלת היום. זאת, בהתאם לתפיסה של 'חזון אפס' אשר גורסת שבדרכים ללא הפרדה בין כיווני התנועה המהירות הבטוחה הינה עד 70 קמ"ש.

**טבלה א.6:** ממ"מ לרכב פרטי בדרכים בין-עירוניות של מדינות ה-OECD  
 מקור: OECD (2006)

Current speed limits on main highways and rural roads for passenger cars

Country	Speed Limit on main highways	Speed Limit on rural roads	Comments
Australia (Victoria)	100 km/h	100 km/h	Sections with low standards and very poor safety record can be reduced to 90 or 80 km/h.
Austria	100 km/h	100 km/h	
Canada	80 km/h, 90 km/h, 100 km/h	70 km/h to 100 km/h on paved roads (Typically 80 km/h and 90 km/h)	Limits vary within and between provinces and territories.
Czech Republic	90 km/h	90 km/h	
Denmark	80 km/h	80 km/h	It is possible locally to lay down a lower or higher speed limit. However, the highest speed limit cannot exceed 90 km/h.
Finland	100 km/h or 80 km/h (depending on road characteristics)	80 km/h	During winter, some 100 km/h roads are limited to 80 km/h.
France	90 km/h	90 km/h	No limitation for "lieux dits" (very small villages).
Germany	100 km/h	100 km/h	
Greece	110 km/h	70-100 km/h 50 km/h	For rural roads, 50 km/h when crossing small towns/ villages, etc.
Iceland	90 km/h	90 km/h / 80 km/h	Paved roads/gravel roads.
Ireland	100 km/h	80 km/h	Ireland shifted to metric system in 2005.
Japan	40, 50, 60 km/h (national highways)		
Korea	One lane :60km/h Two lanes or more: 80km/h	One lane :60km/h Two lanes or more: 80km/h	
Mexico	110 km/h	100 km/h	
Netherlands	100 km/h	80 km/h	60 zones in rural areas (settlements/recreational areas).
Norway	80 km/h	80 km/h	
Poland	100 km/h	80 km/h	
Portugal	100 – 90 km / h	90 km/h	100 km/h on road reserved to motorised traffic. 90 km/h – all other rural roads.
Russia	90 km/h	90 km/h	70 km/h for light vehicles with trailer.
Slovak republic	90 km/h	90 km/h	
Sweden	Mostly 90 km/h sometimes 70km/h or 110 km/h	Mostly 70 km/h also 90 km/h	70 km/h is the general speed limit outside built up areas. Due to the general conditions of a road the national Road Administration can decide that the speed limit shall be 90 or 110 km/h. The Regional governmental authorities may decide that the speed limit locally shall be lower than 70 km/h, or lower than 90 or 110 km/h if that speed limit has been decided.
Switzerland	80 km/h	80 km/h	
United Kingdom	60 mph (97 km/h)	60 mph (97 km/h)	
United States	Varies by State 55-70 mph (88-113 km/h)	Varies by State 55-70 mph (88-113 km/h)	Nominal: 55 mph (88 km/h)

התפיסה של חזון אפס מעמידה את שיקולי הפגיעה האנושית במרכז ההחלטות לגבי מהירויות מותרות שמתאימות לסוגי דרך שונים. לדוגמא, מהספרות המחקרית ידוע שיכולת ההישרדות של משתמשי דרך פגיעים יורדת משמעותית במהירות התנגשות מעל 30 קמ"ש; מכאן, שבדרכים שבשימוש משותף ע"י הולכי-רגל וכלי-רכב, ממ"מ (מהירות הייעוד) לא תעלה על 30 קמ"ש. השיקול הבא הינו שבכלי-רכב מודרניים, הנוסע ברכב ישרוד פגיעה צידית במהירות שלא תעלה על 50 קמ"ש; מכאן, המהירות המותרת בצמתים (עם סיכון מוגבר להתנגשות צידית) לא תעלה על 50 קמ"ש. כמו כן, ידוע שבכלי-רכב מודרני, הנוסע ברכב לא ישרוד התנגשות חזיתית במהירות שעולה על 70 קמ"ש; לכן, בדרכים בהן קיים סיכון לתאונות התנגשות חזיתית המהירות המותרת לא תעלה על 70 קמ"ש. בדרכים בהן רצויה מהירות נסיעה גבוהה יותר, יש להתקין מפרדה בין כיווני התנועה.

על סמך עקרונות חזון האפס בשוודיה, מהירויות נסיעה בטוחות לסוגי דרך שונים הוגדרו במסגרת בטיחות בת-קיימא בהולנד, כמוצג בטבלה א.7.

**טבלה א.7:** מהירויות בטוחות עבור סוגי דרך שונים בהולנד, בהתחשב בקונפליקטים אפשריים בין משתמשי דרך שונים  
מקור: SWOV (2007b)

Road types in combination with permitted road users	Safe speed (km/h)
Roads with possible conflicts between cars and unprotected road users	30
Intersections with possible transverse conflicts between cars	50
Roads with possible frontal conflicts between cars	70
Roads with no possible frontal or transverse conflicts between road users	≥100

- אחוז הנסועה העובר בדרכים החד-מסלוליות היווה, בשנים 2004-2006, כ-40% מהנסועה הבינעירונית, כאשר אורך דרכים אלה מהווה כ-86% מרשת הדרכים הבין-עירוניות (ראו טבלה א.2). רמת הבטיחות של הדרכים החד-מסלוליות נמוכה בהשוואה עם יתר סוגי הדרכים: מדד הרוגים לנסועה בדרכים החד-מסלוליות גבוה בכ-40%-50% לעומת הדרכים הדו-מסלוליות וגבוה יותר פי 3-4 לעומת הדרכים המהירות.

# נספח ב' – קשר כמותי בין מהירות תכן וממ"מ – ריכוז

## ממצאי הספרות

### ב.1 ממצאים מהספרות המחקרית

דו"ח TRB (1998) הביא ממצאים של מחקר מקיף שבו נערכו סקרי ידע וסיכומי עקרונות במגוון נושאים הקשורים לניהול מהירויות, כולל שיטות לקביעת ממ"מ, הקשר בין מהירות ובטיחות, שיטות אכיפת מהירות, שיטות הנדסיות לניהול מהירויות ועוד.

לפי TRB (1998), נושא המהירות נלקח בחשבון בתכנון דרכים חדשות באמצעות קביעת מהירות תכן אשר מבטאת את תפקיד הדרך ורמת השירות הצפויה, תוך כדי התחשבות במגבלות שטח, שיקולי פיתוח וגורמים סביבתיים נוספים. מהירות התכן שנבחרה משפיעה על החלטות תכן קריטיות, בעיקר בנוגע לעקומים אופקיים ואנכיים. עם זאת, שיטות התכנון של המאפיינים הקריטיים (לפי הנחיות AASHTO) כוללות מרווחי בטיחות משמעותיים עקב העובדה שהנחות החישוב במקרים רבים מתבססות על "התסריט הגרוע ביותר" (כגון: בלימת חירום על מיסעה רטובה) ויכולות של כלי-רכב מיושנים. מאידך, ממ"מ (בארה"ב) נקבעת על סמך מהירויות הנסיעה בפועל בתנאי זרימה חופשית ובתנאי דרך ומזג אוויר טובים. לכן, במצבים מסוימים, ממ"מ יכולה להיות גבוהה יותר ממהירות התכן, מצב שלא אמור לעורר דאגות עקב מרווחי הבטיחות הרבים שמובנים בתכן הדרך.

לפי TRB (1998), בהתאם להנחיות AASHTO, דרכים מהירות מהדרגה הגבוהה ביותר מתוכננות למהירויות של 68-75 מייל לשעה (110-120 קמ"ש). במדינות מסוימות, ממ"מ בסוגי דרכים אלה נקבעו ל-75 מייל לשעה והן יכולות לעלות על מהירויות התכן, באתרים מסוימים.

בקצה השני של סיווג הדרכים בארה"ב – דרכים מקומיות באזורי מגורים – מהירויות התכן נבחרות בתחום 19-31 מייל לשעה (30-50 קמ"ש), וגם ממ"מ נקבעות ככלל בתחומים אלה.

סה"כ, דו"ח TRB (1998) מייחס חשיבות רבה לאבטחת עקביות בתכן דרך, ולא דן במיוחד בסוגית הפרשים בין מהירות התכן והממ"מ.

דו"ח OECD (2006) מביא סיכום ידע עדכני בנושא ניהול מהירויות. דו"ח זה מותח ביקורת על הגישה המסורתית, לפיה ממ"מ נקבעת על סמך האחוזון ה-85 (או מדד אחר) של מהירויות הנסיעה בפועל, אשר היסטורית שימש כאינדיקציה למהירות שקולה ובטוחה. הגישה המסורתית מתבססת על הנחה שמרבית הנהגים ייסעו במהירות נאותה.

לפי OECD (2006), גישה זו אינה הולמת את המציאות. לא מציאותי לצפות מנהגים שבבחירת מהירויות הנסיעה בתנאי דרך מסוימים הם יתחשבו במגוון ההשלכות של מהירות זו. כמו כן, לפי ממצאים אמפיריים רבים והידע המצטבר בעולם, עלייה קטנה במהירויות בפועל מתקשרת עם עלייה משמעותית בסיכון לתאונות. לכן, ערך הממ"מ שמתאימה לנסיעה בדרך

מסוימת צריך להתבסס על שיקולים מערכתיים של השגת רמת בטיחות גבוהה של כל רשת הדרכים. לפי OECD (2006), הגישה המומלצת לקביעת ממ"מ צריכה לבחון סיכון משולב אשר נובע מאינטראקציה של התשתיות, מהירויות הנסיעה (בהתאם לממ"מ אפשרית), נפח התנועה והרכבה, כאשר ערך הממ"מ שמומלץ לאימוץ צריך להבטיח רמת סיכון דומה או טובה יותר מאשר הסיכון הממוצע הקיים.

לפי OECD, מהירות התכן תלויה בתפקיד הדרך וברמת מהירות רצויה (desired speed) אשר מכתבים את איכות הדרך ואת מאפייני התכן של צידי הדרך. מהירות התכן קובעת **גבול עליון** למהירות המותרת. מאידך, פער ניכר בין שתי המהירויות (ממ"מ נמוכה משמעותית ממהירות התכן) פוגע באמינות של הממ"מ ומכאן, אינו תורם לבטיחות.

סה"כ, OECD אינו דן בערכים כמותיים של מהירויות תכן לעומת ממ"מ, אך מדגיש את הצורך בשינוי גישה, כאשר התהליך אמור להתחיל בהגדרת מהירויות ייעוד לסוגי דרך שונים, ולהמשיך בהתאמת מאפייני התשתית למהירויות הייעוד שנקבעו. כמו כן, מודגשת החשיבות של שמירת עקרון העקביות בקביעת ממ"מ לקטעי דרך דומים ברשת, ושל עקביות במהירות התכן לאורך קטעי דרכים בין-עירוניות.

במכון לתחבורה בטקסס, ארה"ב, התנהלה סדרה של מחקרים במטרה לבחון את מערכת הקשרים בין מהירות תכן, ממ"מ והמהירויות בפועל, ולהציע חלופות הולמות וקריטריונים לקביעת מאפיינים גיאומטריים של דרך.

בין היתר, Fitzpatrick et al (2003) חיפשו לאפיין שיקולים וגישות לבחירת מהירויות תכן בארה"ב. בחינת הנושא נערכה בשלושה מישורים: בחינת ההנחיות הקיימות, ניתוח הניסיון המעשי וסיכום הניסיון הבינלאומי. סיכום הממצאים מוצג בטבלה ב.1.

מבחינת ההנחיות לתכן (AASHTO) עולה כי:

- (א) הנחת היסוד בקביעת מהירות התכן (שתחילתה עוד בשנות ה-1930) הינה שלא יותר מ-5% מהנהגים (עדיף פחות מ-2%), יעברו את מהירות התכן;
- (ב) ההנחיה הכמותית לבחירת מהירות התכן מתבססת על תפקיד הדרך, מקומה (עירונית/לא עירונית) וסוג שטח (מישורי, גבעי, הררי), כאשר שיקולים אחרים כגון: מהירות תפעולית, שימושי קרקע או בטיחות, מוזכרים אך אינם נתמכים בהנחיה ספציפית.

בחינת הניסיון המעשי התבססה על סקר רשויות ב-40 מדינות, באמצעות שאלוני דואר. מסיכום הממצאים (ראו טבלה ב.1) עולה כי הגורמים העיקריים שנלקחים בחשבון בבחירת מהירויות התכן הם: תפקיד הדרך, ממ"מ, נפח התנועה ומהירות תפעולית צפויה.

סיכום הניסיון הבינלאומי הסתמך על מחקרם של Krammes et al (1994), אשר סיכם נהלים לבחירת מהירויות תכן במדינות כגון: אוסטרליה, קנדה, צרפת, גרמניה, אנגליה ושווייץ. נמצא שבעבר, הגישות של כל המדינות היו דומות לגישה האמריקנית, בעוד שבעשרים השנים האחרונות חלו במדינות אירופה ואוסטרליה התפתחויות אשר הביאו להתחשבות ישירה במהירות תפעולית צפויה בעת בחירת מהירות התכן. על אף השוני ברמת הפרטים, בכל הגישות של מדינות אלה קיימת לולאת משוב (feedback loop) של תוצאות התכנון, על מנת

לזהות ולפתור אי-התאמות במהירות התפעול. בכל המדינות, מהירות התכן משמשת לקביעת רדיוס העקום המזערי במסגרת התכנון המקדמי.

**טבלה ב.1:** גורמים שמשמשים לבחירת מהירות התכן, ע"פ מקורות שונים  
מקור: Fitzpatrick et al (2003)

AASHTO Policy	State DOT Survey (%*)	International Practices
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Functional classification</li> <li>▪ Rural versus urban</li> <li>▪ Terrain type</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Functional classification (90%)</li> <li>▪ Legal speed limit (43%)</li> <li>▪ Legal speed limit plus a value, e.g. 5 or 10 mph (28%)</li> <li>▪ Anticipated traffic volume (38%)</li> <li>▪ Anticipated operating speed (38%)</li> <li>▪ Terrain type (18%)</li> <li>▪ Development</li> <li>▪ Costs</li> <li>▪ Consistency</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anticipated operating speed</li> <li>▪ Feedback loop</li> </ul>

\* אחוז מהמדינות בסקר שצינו שיקול זה (סה"כ: 40 מדינות)

בנוסף, במסגרת סקר רשויות הדרך בארה"ב, החוקרים ביקשו מהמשיבים לקבוע ערכים למהירות תכן, מהירות תפעול וממ"מ, בסוגי דרך מוגדרים. ערכים טיפוסיים שהתקבלו בחלק זה של הסקר מובאים בטבלה ב.2.

בטבלה ב.2 ניתן להבחין שבקטעי דרך מישוריים לא קיים הפרש משמעותי בין מהירויות התכן לבין הממ"מ: למעשה, בדרכים המהירות מדובר בגבול **עליון זהה**, כאשר ביתר סוגי הדרכים מדובר בפער של **כ-5 מייל לשעה**. פער דומה, של כ-5 מייל לשעה בין מהירויות התכן והממ"מ, צפוי גם בקטעי דרך הרריים, בכל סוגי הדרכים, כאשר לגבי שני סוגי המהירות מדובר בתחום של ערכים ולא בערך בודד. כמו כן, ברוב המצבים קיימת ציפייה לכך שמהירויות התפעול יהיו בגובה מהירויות התכן.

אותו המחקר – Fitzpatrick et al (2003) – חיפש ביטוי כמותי למערכת הקשרים בין מהירויות בפועל ומאפיינים גיאומטריים ואחרים של קטע דרך, בקטעי דרך ישרים בסמוך לעקומים (משיקים). נבדקו כ-80 אתרים, כאשר בכל אתר נערכו מדידות מהירות בתנאי זרימה חופשית, בשעות יום, וכמו כן, נאספו מאפיינים גיאומטריים וסביבתיים וביניהם: סוג דרך וסוג אזור; מאפייני החתך לרוחב; אפיון צידי הדרך; אמצעי בקרה; חתך אורכי. הממצאים תומצתו במאמר Fitzpatrick et al (2005).

בניתוח סטטיסטי של הנתונים עבור כל סוגי הדרכים ביחד נמצא שהמסבירים הטובים ביותר לחיזוי מהירויות התפעול (האחוזון ה-85 של מהירויות הנסיעה בפועל) הם: ממ"מ בקטע וצפיפות נקודות הגישה לאורך הדרך. בהנחה שמהירות התפעול מייצגת את מהירות התכן

(לפי Krammes, 2000; Stamatiadis, 2005), ניתן להיעזר בנוסחאות של Fitzpatrick et al (2005) לבחינת הקשרים הקיימים בין הממ"מ ומהירות התכן.

**טבלה ב.2:** ערכי מהירויות טיפוסיים שנבחרו לדרכים בין-עירוניות, על סמך סקר רשויות הדרך בארה"ב

Terrain	Speed terms (mph)	Two lanes		Multilane Highways		Freeway
		Low	High	Undivided	Divided	
Level/rolling	Anticipated Operating Speed מהירות תפעול	35-55	60-65	60-65	60-70	70-75
	Anticipated Posted Speed ממ"מ	55	55	55	65	70
	Design Speed מהירות תכן	60	60	60	60-70	70
Mountain	Anticipated Operating Speed מהירות תפעול	30-35	30-60	50-60	50-60	60-70
	Anticipated Posted Speed ממ"מ	25-35	55	45-55	50-60	55-65
	Design Speed מהירות תכן	30-40	35-60	50-60	50-60	65-70

לדוגמא, הקשר הכללי שהתקבל לכל סוגי הדרכים ביחד הינו:

$$FF85 = 12.4 + 0.98(SL) \quad (1)$$

Where: FF85=free-flow 85th percentile speed (km/h); and SL=posted speed limit (km/h).

נוסחה (1) כבר מצביעה על הפרש של כ-10 קמ"ש, בממוצע, בין הממ"מ ומהירות התפעול, כאשר לדוגמא,  $SL=100$  קמ"ש מביא ל- $FF85=110$  קמ"ש;  $SL=90$  קמ"ש מביא ל- $FF85=101$  קמ"ש.

נוסחאות שהתקבלו לסוגי דרך מסוימים הן:

לעורק פרברי/עירוני (Suburban/Urban arterial)

$$FF85 = 13.9524 + 0.963(SL) \quad (2)$$

לעורק לא עירוני (Rural arterial)

$$FF85 = 58.689 + 0.517(SL) \quad (3)$$

Where: FF85=free-flow 85th percentile speed (km/h); and SL=posted speed limit (km/h).

לדוגמא, חישוב לפי נוסחה (2) לעורק פרברי מספק אומדנים כלהלן:

100=SL קמ"ש מביא ל-110 FF85=קמ"ש;  
90=SL קמ"ש מביא ל-101 FF85=קמ"ש.

חישוב לפי נוסחא (3) לעורק לא עירוני מספק אומדנים כלהלן:

100=SL קמ"ש מביא ל-110 FF85=קמ"ש;  
110=SL קמ"ש מביא ל-116 FF85=קמ"ש.

כלומר, לפי אומדנים אמפיריים בארה"ב, בתחום המהירויות הגבוהות, מדובר **בפער של כ-10 קמ"ש בין הממ"מ ומהירות התפעול** (המייצגת את מהירות התכן).

עם זאת, בהסתמך על ממצאי מחקר זה ורבים נוספים, החוקרים Fitzpatrick et al (2003) הסיקו כי מערכת הקשרים בין מהירות תכן, מאפייני הדרך והמהירויות בפועל טרם הגיעה למצב שמאפשר לשמש בסיס מוצק לתכנון. אחת המגבלות של רוב מערכות הקשרים שפותחו במחקרים השונים הייתה בתחום רחב של שינוי המהירות בפועל, שעמד מול ערך מסוים של מהירות תכן או מאפיין דרך אחר.

באופן דומה, Stamatiadis (2005), אשר סיכם התפתחויות אחרונות בתכן דרכים ובתכנון רגיש מקום (context sensitive design), מציין שמרבית המחקרים בנושא מהירות ובטיחות בחנו השפעת ממ"מ על בטיחות וכי, כללית, **חסר ידע בנושא השפעת מהירויות תכן על בטיחות**. ניתן להניח שקיים קשר מסוים בין מהירויות תכן ומהירויות מותרות, אך מערכת קשרים זאת עד כה לא פותחה על בסיס שיטתי (לטענתו, בין היתר, עקב השיטות שמשמשות לקביעת ממ"מ במדינות השונות). דרך מעשית להתמודדות עם סוגיה זו הינה באמצעות שימוש במהירויות תפעול כתחליף למהירויות תכן.

## **2.ב מהירויות תכן לעומת ממ"מ, במדינות נבחרות**

מתוך הממצאים שנאספו בסקר הספרות לעבודה זו, קיימת אפשרות להשוואה בין מהירויות תכן, מחד, וממ"מ, מאידך, שמקובלות במדינות מסוימות. טבלה ב.3 מרכזת ממצאים עבור ארבע מדינות דוברות אנגלית שהנחיותיהן לתכן דרכים היו זמינות והוצגו בסקר. ערכי מהירויות התכן מובאים לדרכים בין-עירוניות/פרבריות. ערכים טיפוסיים של ממ"מ לאותן המדינות נלקחו מפרסום OECD (2006).

בטבלה ב.3 מובאים בעיקר הערכים הגבוהים של מהירויות התכן שנקבעו עבור דרך מישורית ונפחי תנועה גבוהים, כאשר בהנחיות ככלל קיים תחום של ערכים נמוכים יותר לעומת הערך העליון, אשר מיושמים בתלות בטופוגרפיה, בנפחי תנועה וברגישויות אחרות. כמו כן, יש לזכור שסיווג הדרכים במדינות השונות אינו זהה.

ניתן להבחין בטבלה ב.3 שבמדינות כגון: ארה"ב, אנגליה, אוסטרליה, הפערים בין מהירויות תכן וממ"מ בדרכים עם מהירויות נסיעה גבוהות אינם גדולים ונעים **בתחום 0-10 קמ"ש**. פערים משמעותיים יותר קיימים בקנדה, עקב ערכים עליונים גבוהים של מהירויות התכן, בכל סוגי הדרכים.

**טבלה ב.3:** ערכי מהירויות תכן וממ"מ, בדרכים בין-עירוניות, במדינות נבחרות

מדינה	מהירויות תכן לפי הנחיות*, קמ"ש	ממ"מ לפי OECD (2006), קמ"ש
ארה"ב	דרך מהירה: 110	דרך מהירה לא עירונית: 113 (נומינלי), תחום 104-120 (במדינות)
	דרך עורקית: 100-120	דרך מהירה עירונית: 104 (נומינלי), תחום 88-113 (במדינות)
קנדה	דרך מאספת: דרך מקומית: 100 80	דרך ראשית/לא עירונית: 88 (נומינלי), תחום 88-113 (במדינות)
	דרך מהירה: 130	דרך מהירה לא עירונית: 100-110 קמ"ש (טיפוסי)
	דרך עורקית: 130	דרך מהירה עירונית: 80-90 קמ"ש (טיפוסי)
	דרך מאספת: 110	דרך ראשית לא עירונית: 80-90-100 קמ"ש
אנגליה	דרך מהירה ו-Type 1 dual Carriageways: 120	דרך לא עירונית: 80-90 קמ"ש (טיפוסי)
	Single Carriageway, Type 3 Dual Carriageway: 100 דרכים לא לאומיות: 80	דרך ראשית/לא עירונית: 97 קמ"ש
אוסטרליה	High Speed Roads: מהירות תכן מעל 100	(מדינת ויקטוריה) דרך מהירה: 110-100 קמ"ש
	80-100: Intermediate Speed Roads 50-70: Low Speed Roads	(מדינת ויקטוריה) דרך ראשית/לא עירונית: 80-100 קמ"ש

\*הנחיות: AASHTO (2004), TAC (1999), DMRB (2002), Austroads (2003)

# נספח ג' – הבטחת עקביות והדרגתיות בתכן דרך – דוגמא בכביש 65, כביש הסרגל

## 1.ג רקע

במסגרת הפרויקט להכנת הנחיות למהירויות הנסיעה בדרכים בין-עירוניות, נתבקשנו לבדוק את הקשר בין פרטי התכן ההנדסי לבין מהירויות הנסיעה ותאונות הדרכים בכביש "הסרגל" – כביש מס' 65 בקטע המתחיל בצומת מגידו (ק"מ 35) ומסתיים כ-3 ק"מ לאחר צומת הסרגל (ק"מ 41.5).

כביש זה הוא יוצא דופן בנוף הישראלי בכך, שיש בו קטע דו-מסלולי של כ-8 ק"מ ישר לחלוטין, ללא צמתים. בקטע כזה אין הרבה משמעות למונח "מהירות התכן", מאחר שהנהגים יכולים לפתח בו כמעט כל מהירות הרצויה להם, במגבלות ביצועי הרכב ואפקט ההרתעה של האכיפה. הביצועים של רכב מודרני, גם הקטנים שבהם, מוציא אותנו מתחום הדיון, מאחר שגם רכב קטן בנפח מנוע של 1100 סמ"ק ואף פחות יכול כיום לנסוע במהירויות של כ-140 קמ"ש לפרקי זמן ארוכים.

אחת הכוונות של הפרויקט הנוכחי היא להביא ליתר התאמה בין מאפייני הדרך לבין מהירויות התפעול באמצעות מה שמכונה *Self explaining roads*. הדבר בא לביטוי בבדיקת עקביות התכן של קטעי הדרך ובעקביות פרופיל המהירות לאורך הדרך.

בקטע הדרך הנדון אין למעשה התייחסות לשיקולים אלה, והדבר מביא לכך שהנהגים יכולים לפתח מהירויות נסיעה גבוהות בהרבה מן המהירות המותרת ומן המהירות הרצויה בקטע דרך מסוג זה.

## 2.ג שיעורי התאונות

בשלב זה בדקנו את שיעורי התאונות בקטע דרך זה ונמצא שלמרות היותו ישר וארוך, הוא לא נמצא חריג בשיעור התאונות לעומת קטעים דו-מסלוליים. להלן פרטי הבדיקה שנערכה:

- 1) בקטע כביש זה (כביש 65 ק"מ 34-42) בין השנים 2006-2008 נרשמו סה"כ 25 תאונות עם נפגעים, לרבות תאונה קטלנית אחת, 8 תאונות קשות ו-16 קלות.
- 2) נפחי התנועה כביש זה בשנת 2008, לפי מדידות הלמ"ס, היו כלהלן:  
40.1 אלף כלי-רכב ביממה – בין ק"מ 34.2-39.1,  
34.8 אלף כלי-רכב ביממה – בין ק"מ 39.1-42,  
מה שמביא לאומדן משוקלל בין שני הקטעים – 38.1 אלף כלי-רכב ביממה.
- 3) קטע הכביש הנבחן, באורך כולל של כ-8 ק"מ, נבדק מבחינת היותו "קטע תורפה" בהתאם למודל של המערכת לניהול הבטיחות של מע"צ. במודל זה מוערך מספר תאונות אופייני

לקטע הנבחן אשר, לאחר מכן, מושווה עם מספר תאונות רגיל בקטעים מסוג זה (כבישים דו-מסלוליים, עם נפח תנועה דומה). לבסוף, מוערך ההפרש המשוקלל בין מספר התאונות האופייני לקטע הנבחן, לבין מספר התאונות הרגיל בקטעים מסוג זה. כאשר ההפרש המשוקלל עולה על 2, הקטע הנבחן נחשב ל"מקום תורפה". מרכיבים של הערכה זו מוצגים בטבלה ג.1.

**טבלה ג.1: הערכת הקטע הנבחן מבחינת היותו מקום תורפה**

נפח תנועה = 38100 כלי-רכב, אורך = 8 ק"מ

מקדם שקלול בהערכה בייסיאנית		מספר תאונות רגיל, בשנה, בקטעים מסוג זה		רמות חומרה של תאונות
0.959936	W_F	0.5439595	SP_F	קטלניות
0.906217	W_S	1.34880568	SP_S	קשות
0.686497	W_L	5.95195371	SP_L	קלות

עלויות של ההפרשים בתאונות	הפרש בין מספר התאונות האופייני לקטע הנבחן לבין מספר תאונות "רגיל"	מספר תאונות אופייני, בשנה, לקטע הנבחן	תאונות שנצפו בקטע ב-3 שנים	רמות חומרה של תאונות			
-53,319	-0.00844	Gap_F	0.535521	M_F	1	ACC_F	קטלניות
109,764	0.123593	Gap_S	1.472399	M_S	8	ACC_S	קשות
-9,372	-0.19394	Gap_L	5.758014	M_L	16	ACC_L	קלות

סיכום: הפרש משוקלל בין שיעורי התאונות = 0.93, בעלות 47,093 ₪.

במקרה הנוכחי, מספר התאונות הקטלניות והקלות שאופייני לקטע הנבחן נמוך מהמוצע בקטעים מסוג זה, כאשר מספר התאונות הקשות גבוה במקצת. סה"כ, ההפרש המשוקלל בין שיעורי התאונות אינו גבוה, עם ערך כלכלי נמוך. מכאן, הקטע הנבחן – "כביש הסרגל", אינו מהווה מקום תורפה ואינו חריג מבחינת שיעורי התאונות לעומת קטעים אחרים של הדרכים הדו-מסלוליות.

**3.ג נתונים גיאומטריים**

כדי לבחון את עקביות התכן של כביש הסרגל, חילקנו את קטע הכביש ל-5 קטעים אשר בהן נמדדו מהירויות ונרשמו הנתונים הגיאומטריים, כאשר החלוקה הינה על פי המודול של חביב-מטר (2001) אשר מבדיל בין קטעים ישרים לעקומים, וכמובן שבין שני עקומים תמיד יבוא ישר:



קטע (1): עקום אופקי לפני צומת מגידו (כק"מ 32.5)  
רדיוס = 780 מ' באורך 570 מ'

קטע (2): ישר בין שני העקומים  
אורך 420 מ'

קטע (3): עקום אופקי לפני צומת מגידו (כק"מ 33.5)  
רדיוס = 1390 מ' באורך 600 מ'

קטע (4): ישר בין ק"מ 35-41.5  
אורך 6500 מ'

קטע (5): עקום אופקי לפני עפולה (כק"מ 42)  
רדיוס = 2590 מ' באורך 940 מ'

#### 4.ג מהירויות הנסיעה

במסגרת פרויקט זה נמדדו מהירויות הזרימה החופשית ב-5 קטעים שונים המתחלקות: שלושה קטעים בחלק הישר של כביש הסרגל ושניים בעקומים שלפני ואחרי הקטע הישר, על פי הנקודות המפורטות בסעיף הקודם, על מנת לבדוק את תוצאות חיזוי מהירות התפעול.

כל מדידה כללה 50 כ"ר קלים בזרימה חופשית בנתיב השמאלי, ובוצעה בתנאים אידיאליים של יום חול, בשעות יום, ללא עומסי תנועה או אירועים מיוחדים עם תנאי מזג אוויר אופטימאליים.

תוצאות המדידות מופיעות בטבלה שלהלן:

קטע (5)	קטע (4)	קטע (3)	קטע (2)	קטע (1)		
113	120	120	–	110	max	מדידות מהירות בפועל
82	85	73	–	82	min	
99	103	92	–	97	average	
110.6	110	105.3	–	104	אחוזון 85	

#### 5.ג חיזוי מהירות התפעול

המודול של חביב-מטר (2001) מבדיל בין קטעים ישרים לעקומים, ובכל סוג משתמש במודל חישוב אחר כדלקמן:

- בעקומים – Krammes et al (1994)
- קטע ישר – מודל ישראלי Polus et al (2000)

א. המשוואה שבה נשתמש לחישוב מהירות התפעול בעקומים, Krammes et al (1994) הינה:

$$V_{85} = 102.40 - 1.57 \cdot D + 0.012 \cdot L_c - 0.10 \cdot \Delta$$

כאשר:

$L_C$  – אורך העקום (מ');

$\Delta$  – זווית ההטיה (מעלות);

$D$  – דרגת העקמומיות (מעלות)  $= 5729.6 / (3.28 \cdot R)$ .

בדוגמא זו ישנם שלושה קטעים אשר נחשבים עקומים ועל כן נכנסים לקטגוריה זו. אלו הם קטעים 1,3,5. כפי שניתן לראות הקלט הינו אורך העקום והרדיוס, כאשר הפלט היוצא במשוואה הוא מהירות האחוזון ה-85 משמע מהירות התפעול.

פלט	קלט
(חיזוי מהירות התפעול)	(הרדיוסים ואורכם)
$V_{85}=105.6 \text{ km/hr}$	קטע (1): $R=780 \text{ m}$ , $L_C=570 \text{ m}$
$V_{85}=107.6 \text{ km/hr}$	קטע (3): $R=1390 \text{ m}$ , $L_C=600 \text{ m}$
$V_{85}=112.6 \text{ km/hr}$	קטע (5): $R=2590 \text{ m}$ , $L_C=940 \text{ m}$

ב. לחישוב מהירות התפעול בישרים, Polus et al (2000), יש מספר משוואות כאשר כל אחת מתאימה לקלט אחר, רדיוסים ואורכי קטע שונים:

(1) אתרים עם רדיוס עקום מעגלי קטן ואורך קטע ישר קטן:

$$S = 1 - \frac{3}{G}$$

$$P = 0$$

$$GMS = \frac{(R_1 + R_2)}{2}$$

$$L_T < 150m \quad R_1, R_2 \leq 250m$$

(2) אתרים עם רדיוס עקום מעגלי קטן ואורך קטע ישר בינוני:

$$S = 9 - \frac{3}{G}$$

$$P = 8$$

$$GML = \frac{L_T \cdot \sqrt{R_1 \cdot R_2}}{100}$$

$$150 < L_T < 1000m \quad R_1, R_2 \leq 250m$$

(3) אתרים עם רדיוס עקום מעגלי בינוני ואורך קטע ישר בינוני:

$$S = 9 + 0 \cdot G$$

$$150 < L_T < 1000m \quad R_1, R_2 \geq 250m$$

(4) אתרים עם אורך קטע ישר בינוני ורדיוס שלא חורג ממידת ההיגיון:

$$S = 1 - \frac{2}{G}$$

$$P = 0$$

$$5 L_T > 1000$$

$$0$$

$$0$$

$$0$$

כאשר:

- SP – האחוזון ה-85 של מהירות התפעול בקטע ישר (קמ"ש);
- $R_1, R_2$  – רדיוסים של העקום המעגלי הראשון והשני (מ');;
- $L_T$  – אורך הקטע הישר (מ').

בדוגמא זו ישנם שלושה עקומים וביניהם שני קטעים ישרים, קטעים 2,4. כפי שניתן לראות, הקלט הינו אורך הקטע הישר ורדיוס העקומים לפני ואחרי הקטע הישר בבדיקה, כאשר הפלט היוצא במשוואה הוא מהירות האחוזון ה-85 משמע מהירות התפעול.

פלט	קלט
(חיזוי מהירות התפעול)	(אורך הקטע הישר + הרדיוסים לפני ואחרי)
	R=780 m
$V_{85}=100.6$ km/hr	$L_T=420$ m
	R=1390 m
$V_{85}=105.0$ km/hr	$L_T=6500$ m
	R=2590 m

#### סיכום חיזוי מהירויות התפעול:

קטע (1)	קטע (2)	קטע (3)	קטע (4)	קטע (5)	
104	-	105.3	110	110.6	מדידות מהירות בפועל - אחוזון 85
105.65	100.6	107.6	105	112.6	חיזוי מהירויות

#### ג. הערכת העקביות

מודל לתכנון עקבי של דרכים דו-נתיביות בישראל, בהתבסס על מאפייני התוואי האופקי, פותח ע"י חביב-מטר (2001). המודל מוצג במשוואה הבאה:

$$RA = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{L}$$

$$C_{FL} = 2.74 \cdot e^{-0.204 \cdot [RA \cdot (\sigma/3.6)]}$$

כאשר:

- $C_{FL}$  – מדד עקביות לדרך בין-עירונית דו-מסלולית;
- $\sigma$  – סטיית התקן של המהירות (קמ"ש);
- RA – שטח יחסי מנורמל (שטח התחום בין פרופיל המהירות לבין המהירות הממוצעת, המנורמל לאורך קטע דרך, מ'שנ');;
- $\sum A$  – סכום השטחים בקטע (מ"ר/שנ');;
- L – אורך כל הקטע (מ');;
- n – מספר אלמנטים גיאומטריים (עקומות וישרים) בקטע.

בשלב הבא משווים את מדד העקביות המחושב ( $C_{FL}$ ) לגבולות הקריטריון בכדי לבדוק את איכות התכנון:

תכנון	טוב	סביר	גרוע
ערכי הקריטריון	$C_{TL} > 2$	$1 < C_{TL} \leq 2$	$C_{TL} \leq 1$

ובדוגמא זו:

$$\sigma = 3.9 ; RA = 1.65$$

$$1 < C_{TL} = 2.74 \cdot e^{-0.204[1.65 \cdot (3.9/3.6)]} = 1.9 < 2$$

ועל כן ניתן לומר שקטע דרך זה בכביש 65 מתוכנן תכנון סביר.

## מראי מקום

1. א.ב. פלאן, (2008), **הערכת עלות תאונות הדרכים למשק הישראלי**, עבור עמותת "אור ירוק".
2. ועדת ליבנה (2004), **דו"ח הוועדה המקצועית לבחינת מהירויות מרביות מותרות בדרכים הבינעירוניות בישראל**, חיפה. מוגש למנכ"ל משרד התחבורה אינג' בן-ציון סלמן.
3. חביב-מטר ק. (2001), **פיתוח מודלים לתכנון עקבי של כבישים**, חיבור לתואר שלישי, טכניון – מכון טכנולוגי לישראל.
4. מע"צ – מחלקת עבודות ציבוריות (1994), **הנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות, צמתים ומחלפים-כרך 1: תכן גיאומטרי של דרכים**.
5. מע"צ – החברה הלאומית לדרכים (2010), **עדכון ההנחיות לתכנון גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות**, בהכנה ע"י אמי-מתום מהנדסים ויועצים בע"מ.
6. מע"צ – החברה הלאומית לדרכים (2010), **המדריך להסדרי תנועה באתרי עבודה בדרכים בין-עירוניות**, בהכנה ע"י לוי-שטרק מהנדסים ויועצים בע"מ.
7. משרד התחבורה מינהל היבשה (2008), **מדיניות פיתוח התחבורה היבשתית למדינת ישראל**.
8. משרד התחבורה ומשרד השיכון (2009), **הנחיות לתכנון רחובות בערים – מרחב הרחוב**.
9. משרד התחבורה ומשרד השיכון (2009), **הנחיות לתכנון רחובות בערים – תנועת הולכי רגל**.
10. משרד התחבורה ומשרד השיכון (2009), **הנחיות לתכנון רחובות בערים – תנועת אופניים**.
11. משרד התחבורה והבטיחות בדרכים (2010), **תבחיני תכן למזעור הפגיעה בקרקע ובסביבה בדרכים בין-עירוניות**, בהכנה ע"י אמי-מתום מהנדסים ויועצים בע"מ.
12. מת"ת (2004), **תאונות הדרכים בישראל, היקפן, מאפייניהן ואומדן נזקן למשק הלאומי**.
13. **נוהל פר"ת 2006** – בהוצאת משרד התחבורה ומשרד האוצר, מאי 2006.
14. Aarts L. and Van Schagen I.N.L.G. (2006), **Driving Speed and the Risk of Road Crashes: A Review**, Accident Analysis and Prevention, 3892, 215-224.
15. Anderson I.B., Bauer K.M., Harwood D.W. and Fitzpatrick K. (1999), **Relationship to Safety of Geometric Design Consistency Measures for**

- Rural Two-Lane Highways**, TRR 1658, 43-51, Transportation Research Board, Washington D.C.
16. ATSB (2006), **Impact Speed** (Road Safety Education Resources), Australian Transport Safety Bureau, Available at: [www.atsb.gov.au/impact\\_speed.pdf](http://www.atsb.gov.au/impact_speed.pdf).
  17. Cameron M. (2003), **Potential Benefits and Costs of Speed Changes on Rural Roads**, Report CR216, Monash University Accident Research Center, Australia.
  18. De Vlieger I. (1997), **On-Board Emission and Fuel Consumption Measurement Campaign on Petrol-Driven Passenger Cars**, Atmospheric Environment, 31(22), 3753-3761.
  19. Elvik R. (2002), **Optimal Speed Limits: the Limits of Optimality Models**, TRB 2002 Annual Meeting CD-ROM.
  20. Elvik, R. and Vaa, T. (2004), **Handbook of Road Safety Measures**, Elsevier Science, Oxford.
  21. Elvik R., Christensen P. and Amundsen A. (2004), **Speed and Road Accidents: An Evaluation of the Power Model**, Institute of Transport Economics, Oslo.
  22. ETSC (2008), **Reducing Deaths on Motorways**, Road Safety Performance Index PIN Flash 8, European Transport Safety Council.
  23. Finch, D.J., Kompfner, P., Lockwood, C.R. and Maycock, G. (1994), **Speed, Speed Limits and Accidents**, TRL Project Eeport 58, Crowthorne, UK.
  24. Fitzpatrick K., Carlson P., Brewer M.A. et al (2003), **Design Speed, Operating Speed, and Posted Speed Practices**, NCHRP Report 504, Transportation Research Board.
  25. Fitzpatrick K., Miaou S.P., Brewer M. et al (2005), **Exploration of the Relationship between Operating Speed and Roadway Features on Tangent Sections**, Journal of Transportation Engineering, 131(4), 261-269.
  26. GRSP (2008), **Speed Management: A Road Safety Manual for Decision-Makers and Practitioners**, Global Road Safety Partnership, Geneva.
  27. Kara Kockelman (2006), **NCHRP Web-Only Document 90 (Project 17-23): Contractor's Final Report**, Prepared for: National Cooperative Highway Research Program, CRA International, Inc.
  28. Kloeden C.N., McLean A.J., Moore V.M. and Ponte G. (1997), **Travelling Speed and the Rate of Crash Involvement**, Report CR 172, Federal Office of Road Safety, Canberra.

29. Kloeden C.N., Ponte G. and McLean A.J. (2001), **Traveling Speed and the Rate of Crash Involvement on Rural Roads**, Report CR 204, Australian Transport Safety Bureau.
30. Kloeden C.N., McLean A.J. and Glonek G. (2002), **Reanalysis of Traveling Speed and the Risk of Crash Involvement in Adelaide South Australia**, Report CR 207, Australian Transport Safety Bureau.
31. Krammes R. A., Brackett R.Q., Shafer M.A. et al (1994), **Horizontal Alignment Design Consistency for Rural Two Lane Highways**, Report No. FHWA-RD-94-034, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
32. Krammes R. (2000), **Design Speed and Operating Speed in Rural Highway Alignment Design**, J. Transp. Res. Board, 1701, 68-75.
33. Lamm R. and Choueiri E. (1995), **The Relationship between Highway Safety and Geometric Design Consistency: A Case Study**, Road Safety in Europe and Strategic Highway Research Program (SHRP), pp. 133-151.
34. Lamm R., Psarianos B. and Mailaender T. (1999), **Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook**, Mc-Graw Hill.
35. Lynam D. and Hummel T. (2002), **The Effect of Speed on Road Deaths and Injuries: Literature Review**, TRL Limited Unpublished Project Report PR SE/627/02, Vägverket TR80 2002:15779.
36. Nilsson G. (2004), **Traffic Safety Dimensions and the Power Model to Describe the Effect of Speed on Safety**, Lund bulletin 221, Lund Institute of Technology.
37. OECD (2006), **Speed Management**, Organization for Economic Co-operation and Development, European Conference of Ministers of Transport.
38. PIARC (2003), **Road Safety Manual**, Recommendations from the World Road Association (PIARC).
39. Polus A., Fitzpatrick K. and Fambro D.B. (2000), **Predicting Operating Speeds on Tangent Sections of Two-Lane Rural Highways**, TRR 1737, pp. 50-57.
40. Polus, A., Pollatschek, M. and Mattar-Habib, C. (2005), **An Enhanced Integrated Design-Consistency Model for both Mountainous Highways and Its Relationship to Safety**, Road and Transportation Research 14(4), pp. 13-26.
41. Robuste F., Velez M. et al (2003), **Optimal Social Speed Limits in a Highway: Suitability of the 120 km/h Speed Limit in Barcelona**, European Transport Conference, Strasburg, France.

42. Solomon, D. (1964), **Accidents on Main Rural Highways Related to Speed, Driver and Vehicle**, US Government Printing Office, Washington.
43. Stamatiadis N. (2005), **Context-Sensitive Design: Issues with Design Elements**, ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol. 131, No 5, pp 374-378.
44. SWOV (2006), **Speed Choice: The Influence of Human, Vehicle and Road**, SWOV Fact Sheet, Leidschendam, the Netherlands, December 2006.
45. SWOV (2007b), **Background of the Five Sustainable Safety Principles**, SWOV Fact Sheet, Leidschendam, the Netherlands, October 2007.
46. Taylor M.C. (2001), **Managing Vehicle Speeds for Safety: Why? How?** Traffic Engineering & Control, 07/08, pp 226-229.
47. TRB (1998), **Managing Speed: Review of Current Practice for Setting and Enforcing Speed Limits**, Special Report 254, Transportation Research Board, National Safety Council, Washington D.C.
48. Wegman F.C.M. and Aarts L.T. (Eds) (2006), **Advancing Sustainable Safety: National Road Safety Outlook for 2005-2006**, SWOV, the Netherlands.

## רשימת תוצרי הצוות שהוגשו לוועדת ההיגוי

1. סקר ספרות – אוגוסט 2008.
2. הקשר בין סוגי המהירויות + סקר ספרות בנושא אכיפת מהירויות – נובמבר 2008.
3. המלצות לקביעת מהירויות ברשת הדרכים, חוברת משלימה – ינואר 2009.
4. נייר עמדה – מאי 2009.
5. השלמות לחמרי רקע בנושא מהירויות לפי סוגי רכב ודרך – ינואר 2010.

## מקורות נוספים

1. גיטלמן ו., הקרט ש., זילברשטיין ר. (2001), פסי האטה: סקר ספרות, חברת אמי מתום.
2. הקרט, ש., בן-שבת א., גיטלמן, ו. (1999), מרכזיות גורם המהירות להפחתת תאונות הדרכים, המכון לחקר התחבורה, חיפה. הוגש לרשות הלאומית לבטיחות בדרכים, משרד התחבורה.
3. הקרט ש., גיטלמן ו., בן שבת א., אברהם ג. (2002) הערכה בטיחותית של הסדרי תנועה בשכונות מגורים של משרד הבינוי והשיכון, דו"ח מחקר 290/2002, המכון לחקר התחבורה.
4. ועדה (1993), דו"ח ועדת מומחים שמונתה ע"י שר התחבורה מר ישראל קיסר לבחינת מהירויות מרביות מותרות בישראל, חיפה.
5. חברת כביש חוצה ישראל בע"מ (דצמבר 1995), קריטריונים הנדסיים לכביש מספר 6.
6. מרכוס א. (1993) הנחיות לתכנון רחובות משולבים באזורי מגורים, עדכון והרחבה של הצעת הנחיות משרד התחבורה לתכנון רחובות משולבים מיולי 1981, חב' "דגש הנדסה", פורסם ב"תנועה ותחבורה", יולי 1993.
7. פולוס א., קראוס י., ליבנה מ., שמואלי ס. (1997), פיתוח קריטריונים לתכנון אחיד ולהערכה אלטרנטיבית, דו"ח מחקר 97-254, המכון לחקר התחבורה, הטכניון.
8. Al-Masaeid H. R., Hamed M., Ela M. A. and Gannam A. G. (1995), **Consistency of Horizontal Alignment for Different Vehicle Classes**, Transportation Research Record 1500, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp.178-183.
9. AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials (2004), **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**, Washington D.C., U.S.A.
10. AUSTRROADS (2000), **Urban Speed Management in Australia**, Sydney, Australia.
11. AUSTRROADS (2002), **Urban Road Design: A Guide to the Geometric Design of Major Urban Roads**, Sydney, Australia.
12. AUSTRROADS (2003), **Rural Road Design: A Guide to the Geometric Design of Rural Roads**, Sydney, Australia.

13. AUSTRROADS (2006), **Guide to Road Design Part 1: Introduction to Road Design**, Sydney, Australia.
14. AUSTRROADS (2006), **Guide to Road Design Part 2: Design Considerations**, Sydney, Australia.
15. Badeau N., Baass K. and Barber P. (1998), **Method Proposed to Determine the Safe and Advisory Speeds in Curves**, 1998 Annual Conference of the Transportation Association of Canada.
16. Baruya A. (1998), **Speed-Accident Relationships on Different Kinds of European Roads**, Deliverable D7 Master-project, Transport Research Laboratory, Crowthorne.
17. Bird R., and Hashim I. (2006), **Exploring the Relationship between Safety and the Consistency of Geometry and Speed on British Roads**, TRB 85th Annual Meeting.
18. Bonnosen J. (1999), **Side Friction and Speed as Controls for Horizontal Curve Design**, Journal of Transportation Engineering, 125(6), pp. 473-480.
19. Borsje, J.F. (1995), **The Effects of the 1988 Differentiation of Speed Limits in the Netherlands**, Proceedings of Road Safety in Europe Conference, VTI Conference 2A, Part 4, Lille, France, pp 25-36.
20. Chowdhury M.A., Warren D. L. et al (1998), **Are the Criteria for Setting Advisory Speeds on Curves Still Relevant?**, ITE Journal, February.
21. Collins, J., Fitzpatrick, K., Bauer, K.M. and Harwood, D.W. (1999), **Speed Variability on Rural Two-Lane Highways**, Transportation Research Record 1658, pp 60-69.
22. Davis, J.W. (1998), **The Effects of Higher Speed Limits in New Mexico**, Division of Government Research, University of New Mexico.
23. DETR (2000), **New Directions in Speed Management – A Review of Policy**, Department of the Environment, Transport and the Regions, London.
24. DfT (2006), **Setting Local Speed Limits**, Department of Transport (DfT) Circular 01/2006.
25. Donald, D. (1994), **Using Expert System Technology to Set Appropriate, Consistent Speed Limits – the Australian Experience**, In Proceedings, 3rd International Conference on Safety and the Environment in the 21<sup>st</sup> Century, Tel Aviv, Israel, pp 284-295.

26. Donald D. (1997), **Be Warned! A Review of Curve Warning Signs and Curve Advisory Speeds**, Research Report ARR 304, Australia.
27. ETSC (1995), **Reducing Traffic Injuries Resulting from Excess and Inappropriate Speed**, European Transport Safety Council, Brussels.
28. ETSC (1999), **Police Enforcement Strategies to Reduce Traffic Casualties in Europe**, European Transport Safety Council.
29. ETSC (1999b), **Safety of Pedestrians and Cyclists in Urban Areas**, European Transport Safety Council, Brussels.
30. Farmer, C.M., Retting, R.A. and Lund, A.K. (1997), **Effect of 1996 Speed Limit Changes on Motor Vehicle Occupant Fatalities**, Insurance Institute for Highway Safety, Arlington, VA., USA.
31. Federal Highway Administration (1998), **Synthesis of Safety Research Related to Speed and Speed Management**.
32. Feng C. (2001), **Synthesis of Studies on Speed and Safety**, Transportation Research Record 1779, Transportation Research Board, Washington, DC.
33. Figueroa M.A. and Tarko A. (2007), **Speed Changes in the Vicinity of Horizontal Curves on Two-Lane Rural Roads**, ASCE Journal of Transportation Engineering, 133(4), pp. 215-222.
34. Fitzpatrick K., Krammes, R.A. and Fambro, D.B. (1997), **Design Speed, Operating Speed and Posted Speed Relationships**, ITE Journal, February, pp.52-59.
35. Garber, N. and Gadiraju, R. (1988), **Speed Dispersion and its Influence on Accidents**, AAA Foundation for Traffic Safety, July.
36. Garber, S. and Graham, J.D. (1990), **The Effects of the New 65 mph Speed Limit on Rural Highway Fatalities: A State-by-State Analysis**, Accident Analysis & Prevention, Vol. 22, No.2, pp.137-149.
37. Garber N.J., Miller J. et al (2003), **Safety Effects of Differential Speed Limits on Rural Interstate Highways**, Transportation Research Record 1830, TRB, Washington, DC.
38. Gibreel G.M, Easa S.M., Hassan Y. and El-Dimeery I.A. (1999), **State of the Art of Highway Geometric Design Consistency**, ASCE Journal of Transportation Engineering, 125(2), pp. 305-313.
39. Hauer, E. (1971), **Accidents, Overtaking and Speed Control**, Accident Analysis and Prevention, Vol.3, pp 1-13.

40. Hassan Y., Sayed T. and Taberner V. (2001), **Establishing Practical Approach for Design Consistency Evaluation**, ASCE Journal of Transportation Engineering, 127(4), pp. 295-302.
41. Hidas, P. (1993), **Speed Management in Local Streets: A Continuous Physical Control Technique**, Roads and Transport Research (Australia), Vol. 2, No. 4, pp. 18-27.
42. Highways Agency (2002), **Highway Link Design**, Design Manual for Roads and Bridges, Vol. 6, Section 1, Part 1, TD 9/93, HMSO, U.K.
43. Hildebrand E.D., Ross A. and Robichaud K. (2004), **The Effectiveness of Transitional Speed Zones**, ITE Journal, October, 30-38.
44. Hirsh M. (1987), **Probabilistic Approach to Consistency of Highway Alignment**, Journal of Transportation Engineering, 113(3), pp. 268-276.
45. Hodge, A.R. (1992), **A Review of 20 mph Speed Zones: 1991**, Traffic Engineering & Control, Vol.33, No.10, pp. 545-547.
46. Hollo P. and Zsigmond O. (2004), **Practical Forecast Example Concerning the Road Safety Impact Analysis of Increased Speed Limits**, 3d Conference on Safe Roads in XXI Century Proceedings, Budapest.
47. IHSDM (2007), **Interactive Highway Safety Design Model**, Federal Highway Administration. Site: [www.tfhr.gov/Safety/ihsdm/ihsdm.htm](http://www.tfhr.gov/Safety/ihsdm/ihsdm.htm)
48. Islam, M. N., and Seneviratne, P. N. (1994), **Evaluation of Design Consistency of Two-Lane Highways**, Inst. of Transp. Engrs. J., 64(2), 28-31.
49. Johansson, P. (1996), **Speed Limitation and Motorway Casualties: A Time Series Count Data Regression Approach**, Accident Analysis and Prevention, Vol. 28, pp 73-87.
50. Kallberg, V.P. (1997), **Unpublished Data**, Cited in Shinar (1998), p.267.
51. Kallberg, V.P., Ward, H., Allsop, R. et al (1998), **Strategies and Tools for Speed Management on European Roads**, Proceedings of Seminar J and K, European Transport Conference, Volume P428, Loughborough University.
52. Kanellaidis, G., Golias, J., and Efstathiadis, S. (1990), **Driver's Speed Behaviour on Rural Road Curves**, Traffic Engrg. and Control, London, 31(7/8), 414-415.
53. Knowles, V., Persaud, B., Parker, M. and Wilde, G. (1997), **Safety, Speed and Speed Management: A Canadian Review**, Transport Canada, March.

54. Krammes R.A. and Graham M.A. (1995), **Worldwide Review of Alignment Design Policies**, International Symposium on Highway Geometric Design Practices, Massachusetts.
55. Krammes, R.A. (1997), **Interactive Highway Safety Design Model: Design Consistency Model**, Public Roads, September/October, pp 47-51.
56. Lamm R., Choueiri E. and Mailaender T. (1990), **Comparison of Operating Speed on Dry and Wet Pavement of Two Lane Rural Highways**, TRR 1280, pp.199-207.
57. Lamm R., Choueiri E., Psarianos B. and Soilemezoglou G. (1995), **A Practical Safety Approach to Highway Geometric Design: International Case Studies: Germany, Greece, Lebanon, and the United States**. International Symposium on Highway Geometric Design Practices, Massachusetts.
58. Leisch J.E and Leisch J.P, (1977), **New Concepts in Design Speed Application**, TRR 631, pp. 4-14.
59. Mazet C., Dubois D. and Fleury D. (1987), **Categorisation et Interpretation de Scenes Visuelles: Le Cas de L'Environnement Urbain et Routier**, in Psychologie Francaise, Numero Special sur L'Environnement, 85-96.
60. McCarthy, P. (1998), **Effect of Speed Limits on Speed Distributions and Highway Safety: A Survey of the Literature**, In Special Report 254: Managing Speed, TRB, Washington DC.
61. McFadden, J., and Elefteriadou, L. (1997), **Formulation and Validation of Operating Speed-Based Models Using Bootstrapping**, TRR, 1579, pp. 97-103, Washington D.C.
62. Misaghi P. and Hassan M. (2005), **Modeling Operating Speed and Speed Differential on Two-Lane Rural Roads**, Journal of Transportation Engineering, 131(6), pp. 408-417.
63. Najjar Y.M., Stokes R.W. and Russell E.R. (2000), **Setting Speed Limits on Kansas Two-Lane Highways**, Transportation Research Record 1708, TRB, Washington, DC.
64. NHTSA (1998), **The Effect of Increased Speed Limits in the Post-NMSL Era**, Report to Congress, National Highway Traffic Safety Administration, US Department of Transportation, Washington DC.
65. Nicholson A. (1998), **Superelevation, Side Friction and Roadway Consistency**, Journal of Transportation Engineering, 124(5), pp. 411-418.

66. Nilsson, G. (1981), **The Effect of Speed Limits on Traffic Accidents in Sweden**, Paper presented at the OECD Symposium on the Effects of Speed Limits on Traffic Accidents and Transport Energy Use, Dublin, Ireland.
67. NRA – National Roads Authority (2003), **Guidance on Road Link Design**, Volume 6, Section 1, Part 1A – NRA TA 43/03, Dublin, Ireland.
68. NRA – National Roads Authority (2007), **Road Link Design**, Volume 6, Section 1, Part 1 – NRA TD 9/07, Dublin, Ireland.
69. OECD (1998), **Safety of Vulnerable Road Users**, Scientific Expert Group on the Safety of Vulnerable Road Users (RS7), Organization for Economic Co-operation and Development, Paris.
70. Parker, M.R., Jr. (1997), **Effects of Raising and Lowering Speed Limits on Selected Roadway Sections**, Report FHWA-RD-92-084, Federal Highway Administration, US Department of Transportation.
71. Peltola H. (2000), **Seasonally Changing Speed Limits, Effects on Speeds and Accidents**, Transportation Research Record 1734, Transportation Research Board, Washington, DC.
72. Preisler F., BRoadhurst K.J. and Gillard K.J. (1992), **Review of the Procedure for Curve Advisory Speed Determination**, Road & Transport Research, Vol.1, No.1, pp 42-50.
73. Ragnoy A. (2004), **Changes of Speed Limits: Effects on Speed and Accidents**, TOI Report 729/2004, Oslo.
74. Rama P. (1997), **Effects of the Weather-Controlled Traffic Management System on Driver Behavior**, Proc., 4th World Congress on Intelligent Transport Systems, Berlin, Germany.
75. Retting, R.A. and Greene, M.A. (1997), **Traffic Speeds Following Repeal of the National Maximum Speed Limit**, ITE Journal, May, pp 42-46.
76. Salvatore S. (1967), **Vehicle Speed Estimation from Visual Stimuli**, Public Roads, 34 (6), 128-131.
77. Schurr K., McCoy P. et al (2002), **Relationship between Design, Operating and Posted Speeds on Horizontal Curves on Rural Two-Lane Highways in Nebraska**, TRB Annual Meeting 2002, Transportation Research Board, Washington, D.C.
78. Shinar, D. (1998), **Speed and Crashes: A Controversial Topic and an Elusive Relationship**, In Special Report 254: Managing Speed, TRB, Washington D.C.

79. Smulders S.A. and Helleman, D.E. (1998), **Variable Speed Control: State-of-the-Art and Synthesis**, Road Transport Information and Control, Conference Publication No. 454, IEE, London, pp 155-159.
80. Speed Management (1999), **National Practice and Experiences in Denmark, the Netherlands and in the United Kingdom**, Report No.167, Road Directorate, Ministry of Transport, Denmark.
81. SWOV (2007a), **Recognizable Road Design**, SWOV Fact Sheet, May 2007.
82. TAC – Transportation Association of Canada (1999), **Geometric Design Guide for Canadian Roads**, Ottawa, Canada.
83. Taylor M.C., Baruya A. and Kennedy J.V. (2002), **The Relationship Between Speed and Accidents on Rural Single Carriageway Roads**, TRL Report 511, Transport Research Laboratory, Crowthorne.
84. Theeuwes J. and Godthelp H. (1995), **Self-Explaining Roads: How People Categorize Roads Outside the Built-up Area**, Road Safety in Europe and Strategic Highway Research Program Conference, Lille, France.
85. Transit New Zealand (2000-2003), **State Highway Geometric Design Manual**, Wellington, New Zealand.
86. West, L.B. and Dunn, J.W (1971), **Accidents, Speed Deviation and Speed Limits**, Traffic Engineering, Vol. 41, No. 10, pp. 52-55.
87. Wilmot, C.G. and Khanal, M. (1999), **Effect of Speed Limits on Speed and Safety: A Review**, Transport Reviews, Vol. 19, No.4, 315-329.