

קורס בהנדסת תנועה

כלכלת תחבורה ויישומיה



האם להקים?

באיזה
מסלול
ותצורה?

מתי?



1.04.2020

שוקי כהן

כלכלת התחבורה והשימושים בה

- כלכלת התחבורה היא ענף בתורת הכלכלה.
- היא מיישמת עקרונות כלכליים במסגרת ניתוחים כמותיים בתחום התחבורה והשלכותיה.
- כלכלת התחבורה מכוונת להקצאה רציונלית של משאבים בהשקעות בתשתית תחבורה, להקצאת משאבים לתחזוקת התשתית, ולהפעלת מערכות התחבורה.
- התמחויות:

- הכוונת פיתוח תשתית התחבורה
 - הכוונת פיתוח והפעלה של תחבורה ציבורית
 - כלכלת בטיחות
 - ניהול ביקושים לתחבורה
 - אופטימיזציה באחזקת התשתית (במיוחד של מערכת הכבישים)
- ועוד

ההתמודדות העיקרית של כלכלת התחבורה

- הקצאת משאבים רציונאלית היא כזו המאפשרת מקסימום תועלת מיחידת השקעה.
- היא מחייבת:
 - בחירת חלופות לפרוייקטים מוצעים
 - עיצוב נכון לכל חלופה ולבסוף לחלופה הנבחרת
 - קביעת עיתוי להשקעה בכל פרוייקט
 - בחירת "סל" פרוייקטים הממקסם את התועלת ממשאבים שניתן להפנות אליהם.
- ההתמודדות העיקרית של כלכלת התחבורה היא עם הערכת התועלות שניתן להפיק מפרוייקטים נבדקים. היא אינה פשוטה להערכה ע"פ נתוני ההווה, על אחת כמה שנדרשת גם הערכת התועלות לאורך עשרות שנות חיי הפרוייקט.

מה אנו מצפים ממערכת התחבורה?

- ✓ שתאפשר ניידות במרחב באופן מהיר ונוח.
- ✓ שתאפשר מרחב בחירה גדול של תעסוקה, מוסדות לימוד, שירותים ובילוי.
- ✓ שתהיה בטוחה ואמינה.
- ✓ שתהיה זמינה בכל עת ולכל יעד.
- ✓ שתהיה ידידותית לסביבה: ללא זיהום אויר, ללא רעש, ללא פגיעה בנוף.

התועלת מהשקעה בתחום התחבורה, או משינוי במאפייני השימוש בה, נאמדת לפי המידה בה היא תורמת לשיפור בכל אחת מהנקודות שלעיל ובשקלול שלהן ביחס לחלופת אי ביצוע ההשקעה/ שינוי.

מדידת התועלת מחייבת כימות, לרוב לערכים כספיים, של ביצועי מערכת התחבורה, ההשקעה הנדרשת להקמתה ולהפעלתה, והשלכותיה החיצוניות, כגון בזיהום אויר או ברעש.

בחינת תועלות למשק הלאומי

- התועלת הנמדדת היא החסכון במערך העלויות הכולל למשק כתוצאה מביצוע השקעה/ מהלך בתחום התחבורה בהשוואה לאי ביצועו ("חלופת אפס").
- לרוב נאמדת תועלת זו במספר חלופות ביצוע, ונמדדת התועלת היחסית של כל החלופות כנגד "חלופת האפס" וזו כנגד זו.
- ההשקעה בתשתית תחבורה וכן האחריות על ניהולו היא ציבורית והתועלת נמדדת במונחים של עלויות ותועלות למשק הלאומי.
- עקרונות התחשיב במונחים אלה:
 - ניכוי כל המיסים העקיפים מעלויות ההקמה ומהתפעול של כלי הרכב.
 - הפרדה בין עלויות הנובעות מביצוע עבודה לבין העברות כספים בין גורמים שונים, שאינן כרוכות בתשומות עבודה.

ניכוי מיסוי עקיף המוטל על משק התחבורה

מבנה מחיר בנזין 95 אוקטן למשק במרץ 2020

סעיף	ש"ל לליטר	%
מחיר בשער בית הזיקוק	1.42	23.9%
הוצאות שיווק	0.56	9.5%
בלו	3.07	51.9%
מע"מ	0.87	14.7%
סה"כ	5.92	100.0%

מחיר הבנזין למשק הוא 1.98 ש"ל לליטר, 33.4% ממחירו לצרכן. גם על הסולר מוטל מס גבוה, ומחירו למשק דומה בערך לזה של הבנזין.

מיסים עקיפים אלה מנוכים מהתחשיב הכלכלי. בדומה לכך מנוכים מיסי הקניה, המכסים, האגרות והמע"מ המוטלים על הרכב וחלפיו.

ההשקעה בתשתית המובאת בחשבון אינה כוללת:

- מע"מ ומיסים על חומרי גלם וציוד עבודה (כולל מכסים).
- תשלומי העברה. לדוגמא: פיצוי על הפקעת קרקע אינה עלות למשק אלא תשלום העברה. בתחשיב הכלכלי יובא בחשבון ערך אחר: השווי החלופי של הקרקע.

עקרון הכוללניות בבדיקות הכלכליות

בניתוחי התועלות למשק הלאומי נעשה מאמץ לכלול את כל העלויות והתועלות הנובעות מביצוע הנושא הנבדק. בהתאם לכך הבדיקה אמורה לכלול:

- **התייחסות לאזור גיאוגרפי נרחב** היכול להיות מושפע מהפרוייקט ולא רק לדרך בה הוא מתבצע – השקעה בציר כלשהו משפיעה על זרימת התנועה בצירים מקבילים ובדרכים מוליכות אליהם. ככל שהפרוייקט משמעותי יותר טווח השפעתו גדל.
- **התייחסות לכל סוגי הביקושים** היכולים להיות מושפעים מהפרוייקט. לדוגמא: לתנועות של רכב מסחרי ומשאיות מוליכות מטען.
- **התייחסות לביקוש היומי והשבועי הכולל** ולא רק לשעות שיא הבוקר או אחר הצהריים (רוב הנסועה השנתית מתבצעת מחוץ לשעות השיא).

האם הוספת מחלף באזור עם גודש בשעות השיא יכולה להיות בעלת תועלת למשק?

המחלף לא יוכל לתרום במקרים רבים לשיפור זרימת התנועה בשעות השיא לכיוון התנועה העיקרי, ועדיין יכול לתרום למשק בגלל עקרון הכוללניות: המחלף יכול לצמצם זמני נסיעה ועלויות תפעול:

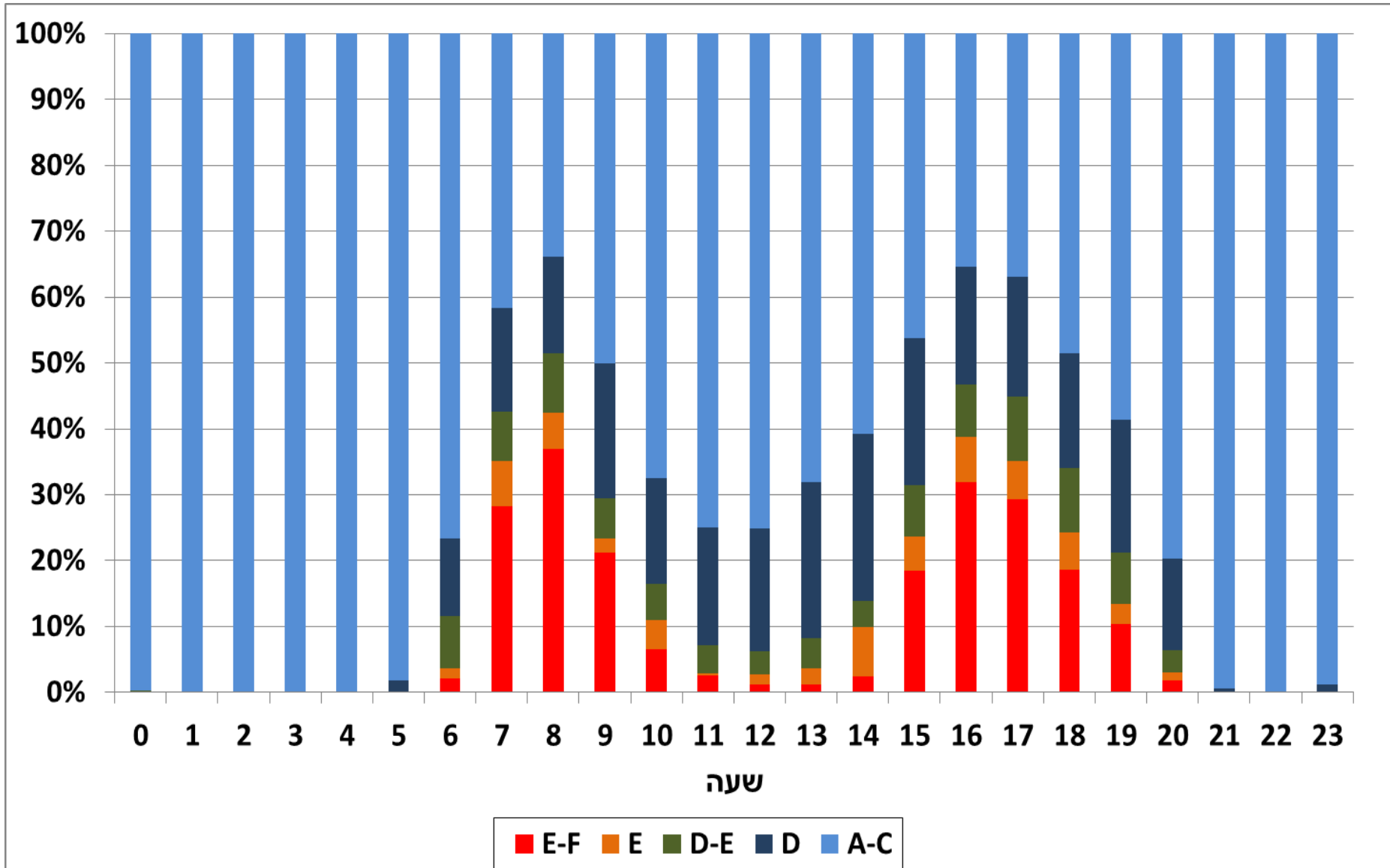
- בשעות השיא בכיוון המישני (לרוב כ 60% ויותר מהתנועה לכיוון העיקרי).
- בשעות השפל ביום (שהם שעות השיא לתנועת הרכב המסחרי ותנועת המטענים)
- בערבים (בין 19:00 ועד בלילות ועד 23:00)
- בסופי שבוע והחגים

התנועה בשעות השיא ובכיווני השיא מהווה גם במטרופולינים רק כשישית מכלל הנסועה השבועית.

חשיבות שעות השפל בתחשיב הכלכלי

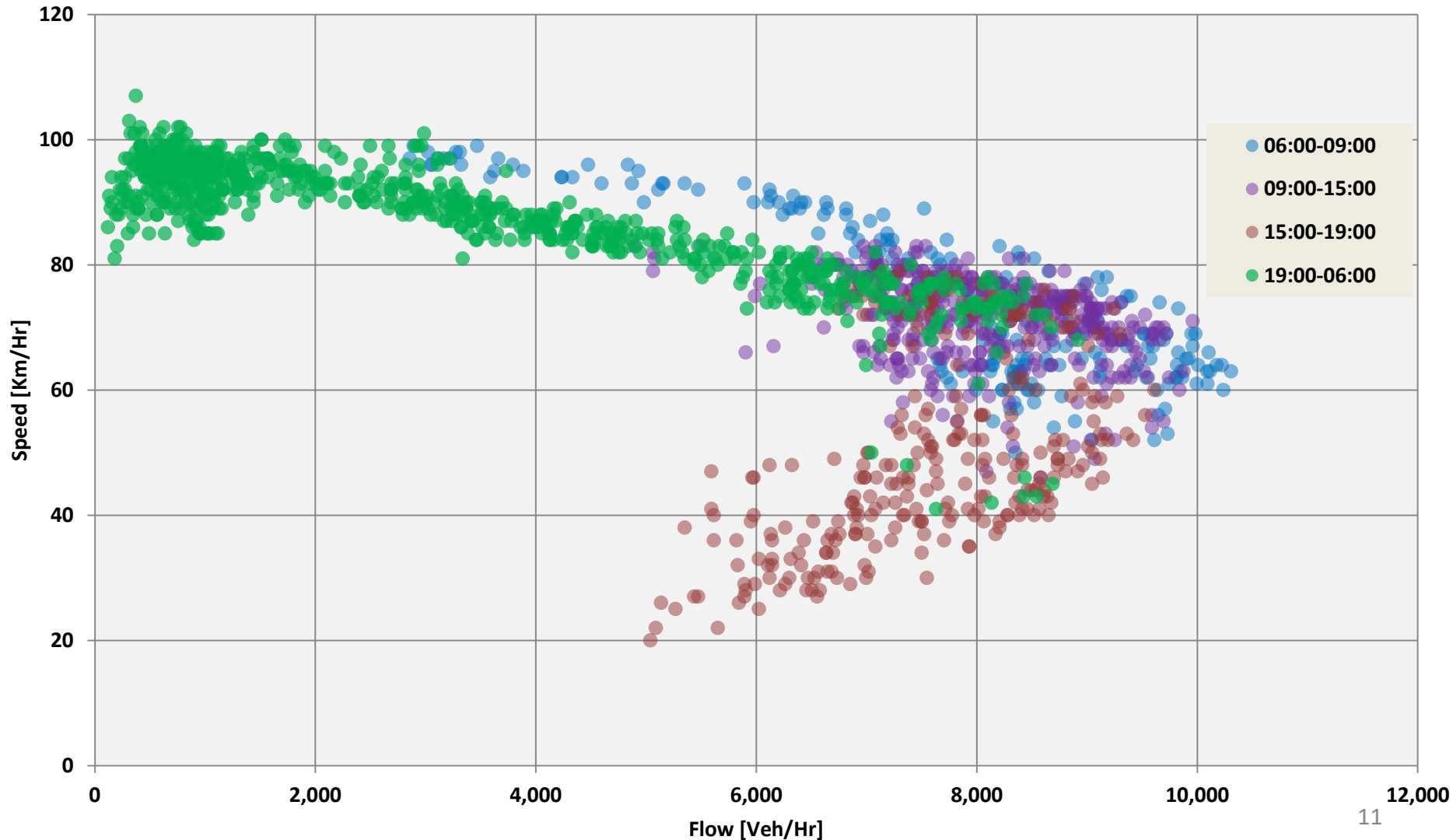
- האם יש מקום להשקיע עבור נסיעות בשעות שפל, לילות, וסופי שבוע? – בעקרון כן, התנועה בשעות השפל ובערבים, ובחלק משעות סופי השבוע רבה מאוד והייתה מתפוקת בדרכים לא מעטות אלמלא הרחבות התשתית שנעשו לכאורה לשפר זרימת תנועה בשעות וכיווני השיא.
- שעות השפל ביום מהוות את שעות השיא של תנועת המטענים והרכב המסחרי, ומאפייני הביקוש של הנוסעים שונים מאשר בשעות השיא, מפוזרים וקשים לשירות בתח"צ.
- **את יעילות התנועה לכיוון העיקרי בשעות השיא ניתן לשפר בכלים של ניהול תנועה וביקושים במגמה לעודד מעבר לתח"צ, להגדיל את מקדם המילוי של כלי הרכב או להסיט את זמן הנסיעה מעבר לשעות הגודש.**
- ניתוח לפי המוצג לעיל מחייב הערכת ביקושים לאורך רוב שעות היממה ולא רק בשעת שיא הבוקר או אחה"צ.

התפלגות שעות היר"מ הבין-עירוניות ב 2016 ע"פ רמות שירות ושעות יום בימי א'-ה' - תוצאות ניטור מהירויות שוטף לפי "גוגל" ב 4,300 ק"מ של הרשת הבין עירונית בארץ (1-3 ספרות) לפי מאי ויולי 2016



הקשר בין הנפח למהירות

נתיבי איילון בקטע השלום-ארלוזורוב (5 נתיבים), ימי חול בחודש 05/2013.
כל תצפית בגרף מתארת ממוצע לרבע שעה (בניפוח לשעה).



נוהל פר"ת

נוהל פרוייקטים תחבורתיים (נוהל פר"ת) הוא ניהול משותף למשרדי התחבורה והאוצר. מטרתו להשיג אחדות בבדיקות הכדאיות הכלכלית בתחום התחבורה, ובערכים מתואמים עם ענפי משק אחרים.

נוהל ראשון כזה נוצר ב 1996, ועדכנו המלא האחרון, שכלל תוספות רבות, נעשה ב 2012. מרכיבים שונים שלו התעדכנו מאז. ניהול מקיף מעודכן יתפרסם ב 2020.

הנוהל יוצר אחדות במתכונת הבדיקה הכלכלית ובמקדמי הבדיקה בין פרוייקטים שונים ובוחנים שונים, כשכולם נעשים לפי ערכי זמן דומים של הנוסעים, עלויות תפעול זהות בין הבדיקות בכל אחד מסוגי הרכב ועוד.

גם שערי הריבית, בחינות הרגישות, ההתייחסות לאורך חיי הפרוייקט נקבעו בנוהל (בהתאם לאופי הפרוייקט) ומחייבים בכל בדיקת כדאיות למשק של השקעות בתשתית תחבורה.

מתודולוגיה ומקדמים המוצגים בשקפים הבאים לקוחים מנוהל פר"ת.

התועלות הנמדדות

התועלות העיקריות הנמדדות הן:

- **שווי החסכון בזמן** במונחי שעות משתמשי הדרך (כבישים ומסילות). הזמן אמור להימדד במונחי נסיעה מדלת לדלת ולא רק בנסיעה בכלי הרכב (משמעותי במיוחד בתח"צ)
- **חסכון בעלויות תפעול** - (במחירים למשק) של כלי הרכב כתוצאה מהעלאת מהירות הנסיעה (ב"פקק" העלות לק"מ נסיעה גבוהה יחסית והיא קטנה ככל שהמהירות גדלה. האופטימום בכ 60-80 קמ"ש).
- **חסכון בזיהום אויר** - שינויים בהיקף הנסועה ובמהירותה משנים את פליטות המזהמים. התועלת בתחום זה ניתנת לכימות.
- **תועלות בטיחותיות אפשריות** - להרחבת כביש חד מסלולי לדו מסלולי יש תועלת בטיחותית ברורה, כנ"ל להפרדות מפלסיות בצומת, לרוב יש יתרון מובהק להסבת צומת למעגל תנועה ועוד.
- תועלות אפשריות נוספות: **חסכון בעלויות חניה**, **צמצום רעש**, **הגדלת פריון ע"י שיפור נגישות לאזורי תעסוקה**, **שיפור בשוויוניות בין חלקי האוכלוסייה** (בעיקר בהשקעה בתח"צ) ועוד. תועלות אלו נאמדות בפרוייקטים מסויימים.

שינויים ברוחת הנוסע

הנוסע מעוניין בנסיעה קצרה בזמן, נוחה וזולה. נוחות הנסיעה מהווה מרכיב חשוב ברווחתו. מטרת הכלכלה הלאומית היא להגדיל את רווחת כלל האוכלוסייה. חסכון בזמני נסיעה תורם לכך, אך גם שינוי בנוחות הנסיעה ובאמינותה.

הנוסע מעוניין:

- בנוחות גבוהה של אמצעי הנסיעה (שטף נסיעה, צפיפות, ויברציות)
 - בצמצום זמני הליכה והמתנה הכרוכים בנסיעה. המחיר במונחי רווחה של דקת המתנה גבוה משל דקת נסיעה.
 - בצמצום מספר המעברים ("טרנספרים") במהלך הנסיעה.
 - באמינות לגבי זמני ההגעה ליעד.
- דקת נסיעה בעמידה באוטובוס עירוני "עולה" במונחי רווחה הרבה יותר מאשר דקת נסיעה ברכבת (גם צפופה) או רכב פרטי.
- מודל פיצול נסיעות בוחן את פונקציית התועלת של הנוסעים ויכול לבטא במונחים כספיים את התועלות משינוי ברווחת הנוסע. **לפי שעה נעשו שימושים מוגבלים בכך בניתוח תועלות של פרויקטים תחבורתיים.**

מודל פיצול הנסיעות

- מודל פיצול נסיעות הוא מודל כלכלי התנהגותי הבוחן את הסתברות הבחירה של נוסעים שונים באמצעי תחבורה שונים.
- קיימת בו סגמנטציה בין סוגי נוסעים שונים, למשל לפי זמינות הרכב הפרטי.
- המודל בוחן את "מטרדי הדרך" של הנוסע בנסיעה בין מוצאים ויעדים נתונים ולפי שעות היום, בסימולציה מלאה של מסלול נסיעתו בין המוצא ליעד.
- תכונות הנסיעה מתורגמות לדקות נסיעה ברכב, לרבות: מחיר הנסיעה (לפי התפלגות ערכי זמן של הנוסעים), אי הנוחות של הליכות, המתנות (דקת המתנה נחשבת לרוב לשתי דקות נסיעה), מעברים וכדומה. התרגום מבטא יחסי העדפה בין תכונות הנסיעה של נוסעים שונים.
- לבסוף מוערכת הסתברות השימוש לכל קבוצת נוסעים בכל אמצעי על פי סכום מטרדי הדרך שלו בעיניהם. ככל שסכום מטרדי הדרך באמצעי מסויים נמוך יותר כך סיכויי הבחירה בו גדלים.
- ניתן לתרגם למונחים כספיים את התועלת של הנוסעים ולכלול בבדיקות כדאיות שינויים בה כתוצאה ממהלך נבדק. מגמה זו תמצא את ביטויה בנוהל פר"ת 2020.

בדיקה כלכלית בביקוש קבוע או משתנה

פרוייקט תחבורתי יכול להיטיב עם נוסעים קיימים, וגם יכול להוסיף נוסעים ונסיעות.

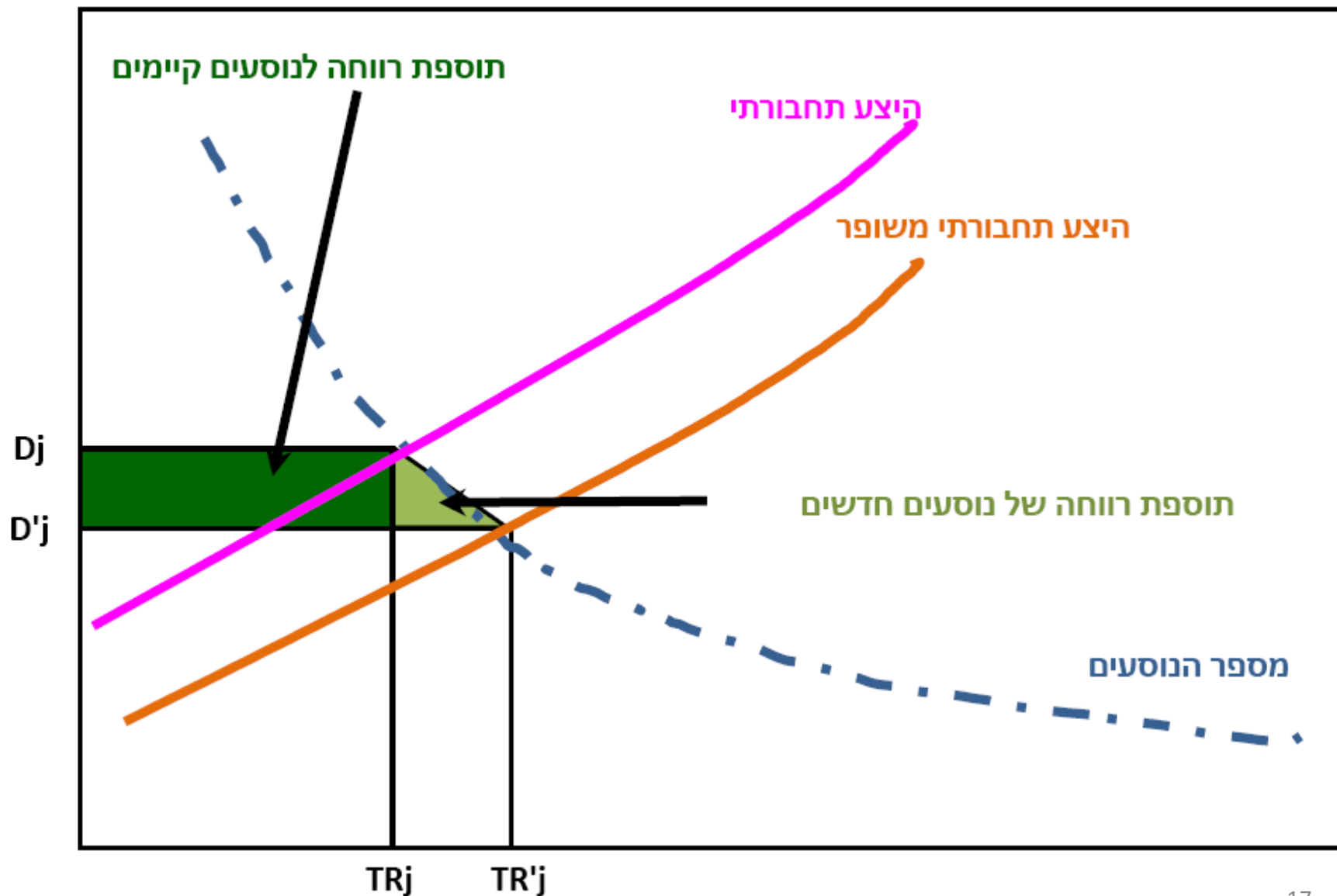
הבדיקות הכלכליות מזהות הסטות בין מסלולי נסיעה כתוצאה מביצוע פרוייקט, או מעבר בין אמצעי תחבורה, אך לרוב לא מביאות בחשבון הסטות זמן כתוצאה מביצוע פרוייקט, שינוי בפילוג נסיעות במרחב, ואף יצירת נסיעות חדשות.

נסיעות אלו לא היו נוצרות אלמלא היתה בכך תועלת. ניתן למדוד את תועלתן לפי "עודף הצרכן".

בחינות התועלת הנערכות כיום בארץ נערכות במטריצת (טמ"י) נסיעות קבועה, אך "עודף הצרכן" כלול בנוהל פר"ת ומובא בחשבון בחלק מהבדיקות.

עודף הצרכן

עלויות



העלויות הנמדדות

- ההשקעה הנדרשת.
- הנזק (כשקיים) מהפרעות לתנועה במהלך ההקמה.
- עלויות תחזוקה שנתיות. בכבישים: תיקונים במיסעה ובמתקני דרך, ריבוד תקופתי, תאורה ועוד. במסילות: תחזוקה יומית ורב שנתית של המסילה והתחנות.
- תחזוקת מערכת ההזנה החשמלית במסילות מחושמלות.
- "ערך הגרט" – שווי הפרוייקט בשנה האחרונה אליה מתייחס התחשיב הכלכלי. מוצג בתחשיב כהשקעה שלילית.

כל העלויות והתועלות מובאות בחשבון בהתאם לשנת ההוצאה/ תועלת ומהוונות לשנת בסיס בשער ניכיון (ריבית ריאלית) מוסכם.

תועלות מיידיות מול תועלות עתידיות

- בתחשיב מובא בחשבון שער ניכיון (ריבית ריאלית) כביטוי לערך הנוכחי של תועלות או עלויות של הפרוייקט לאורך חייו.
- התחשיב נערך לנקודת הזמן של תחילת ההשקעה.
- תועלת או עלות בשנה n תהיה: $A / (1+r)^n$
- כאשר A היא התועלת/ עלות בשנה n ו- r הוא שער הריבית.
- תחשיב זה מפחית מחשיבות השנים העתידיות ככל ששער הריבית גבוה יותר. לדוגמא: תועלת של 1.00 ₪ בשנה ה-15 תחושב כשווה בהווה ל-0.36 ₪ בריבית של 7% ושל 0.13 ₪ בשנה ה-30.
- שימוש בשערי ריבית אלה גם מקהה את חשיבות ההחלטה על אורך חיי הפרוייקט.
- שער הריבית מבטא את "מחיר הכסף" - השווי החלופי של המשאבים המופנים לפרוייקט.

מבנה ניתוח עלות-תועלת רב שנתי- עבור כביש מקומי

(תחשיב ל 15 שנות הפעלה)

תקופה	שנה	השקעה	הפרעות לתנועה	תחזוקה	תועלות	סה"כ שוטף	סה"כ מהוון
הקמה	0	-200	-10			-210	-210
	1	-250	-15			-265	-231
	2	-250	-20			-270	-220
	3	-300	-15			-315	-240
הפעלה	4			-15	150	135	96
	5			-15	160	145	97
	6			-15	172	157	98
	17			-15	256	241	71
	18	500		-15	265	750	207
סה"כ		-500	-60	-225	3,111	2,326	519
סה"כ מהוון		-700	-50	-136	1,800	519	

20 שער ריבית: 7%. ערך נוכחי נקי בדוגמא: 519, שיעור תשואה פנימי: 12.5%

מדדי תועלת עיקריים

1. **NPV - ערך נוכחי נקי** – התועלת הרב שנתית מההשקעה לאחר ניכוי עלויות ההקמה והתחזוקה במונחים מהווניים. חייב להיות גבוה מ 0 כדי להצדיק את ההשקעה.
2. **B/C - היחס בין התועלת לעלות**. היחס חייב להיות גבוה מ 1 כדי להצדיק את ההשקעה.
3. **IRR – שיעור תשואה פנימי** – שיעור הריבית השנתית עבורו מתקיים שוויון בערכים נוכחיים בין התועלות הנובעות מהפרוייקט לבין העלויות הנובעות ממנו. חייב להיות גבוה משער הניכיון. ככל ששיעור התשואה גבוה יותר הפרוייקט מועיל יותר.
4. **שנת התועלת הראשונה** - היא השנה שבה התועלת הנקייה שווה או גבוהה מהריבית על ההשקעה. רצוי ששנה זו תהיה קרובה ככל האפשר לשנת פתיחת הפרוייקט. מצב אחר מלמד על כך שעיתוי ההשקעה מוקדם מידי.

ערך הזמן- נוהל פר"ת 2012

- ערך זמן אחיד לכל נוסע ללא תלות בגילו, הכנסתו או אזור מגוריו (נספרים לרוב נוסעים מגיל 8).
- קיימת, עם זאת, דיפרנציאציה לפי מטרות הנסיעה:
 - ערך הזמן בנסיעות במסגרת העבודה נקבע לפי העלות למעביד בממוצע לשעת שכיר במשק. (כיום כ 80 ₪ לשעה)
 - ערך הזמן בנסיעות אל ומהעבודה מחושב לפי 30% מערך הזמן בנסיעות במסגרת העבודה. (כ 24 ₪ לשעה)
 - ערך הזמן בנסיעות אחרות (לימודים, פנאי, סידורים) מחושב לפי 20% מערך הזמן בנסיעות במסגרת העבודה. (כ 16 ₪ לשעה).

ערך הזמן – דרך יישום

- ❑ ערך הזמן המשוקלל כיום לשעת שיא בוקר (ע"פ התפלגות מטרת הנסיעה) הוא כ 27 ש לשעה.
- ❑ השקלול נעשה לפי נסועת הנוסעים ולא לפי נסיעות.
- ❑ הזמן הנמדד אמור לכלול את כל משך הנסיעה (כולל הליכות, המתנות, חיפוש חניה).
- ❑ לאחרונה נקבע שזמן נסיעה של חיילים אל ומהבסיס יחושבו כזמן נסיעות לעבודה.
- ❑ ערך הזמן לשנים עתידיות כולל (כברירת מחדל) תוספת ריאלית של 1% בשנה כצפי לגידול הריאלי בעלות השכר.

ערך הזמן – אי התאמות, תהיות ומקרים מיוחדים

- ערך הזמן בנוהל מבוסס על שינויים בתפוקה, ופחות על שינויים ברווחת הנוסעים. הוא, כאמור, גם אחיד בין כל הנוסעים.
- יש אי התאמה בין ערכים מנהלתיים אלה של שווי שעת נוסע לבין התועלת שלהם בעיניהם וכנגלה מהתנהגותם, למשל בבחירת אמצעי נסיעה או בבחירה בכביש/ נתיב אגרה.
- מובן שבפועל התנהגות הנוסעים משקפת גם את אי השוויון ביניהם בהשתכרות ובערכי הזמן.
- מחקרים גם מלמדים שבעיני הנוסעים הפער בין ערכי הזמן למטרות הנסיעה השונות מצומצם בהרבה ביחס לנוהל וכמעט לא קיים.
- ערך הזמן הנגלה של המשתמשים בנתיב המהיר במערב כביש 1 (האגרה מחולקת לזמן הנחסך) מגיע למאות שקלים בשעה. למרבה ההפתעה נמצא שחלק גדול ממשתמשים אלה הם "חד פעמיים", מתחלפים מידי יום, ונראה שמדובר בתועלת רגעית של מי שממהר מאוד ביום נתון (לבחינה, בדיקה רפואית הגעה מחייבת בזמן למוסד כלשהו). **תועלתם הריגעית מביאה לידי ביטוי תוספת תועלת שאינה מיוחדת לקבוצת אוכלוסייה או רמה כלכלית מיוחדת.**

ערך הזמן- השינוי המתוכנן בנוהל פר"ת 2020

- ערך שעה במסגרת עבודה יגדל.
- חלק מהתוספת תקוזז עקב הבאה בחשבון של האפשרות לנצל את זמן הנסיעה לעבודה ולפעילויות אחרות.
- תעשה אבחנה רק בין נסיעות במסגרת עבודה לשאר הנסיעות.
- כתוצאה מכך יעלה הערך המחושב לשעות פנאי וכל פעילות אחרת שאינה קשורה לעבודה.
- תובא בחשבון "תועלת ארעית" גבוהה של נוסעים.

עלויות תפעול כלי רכב

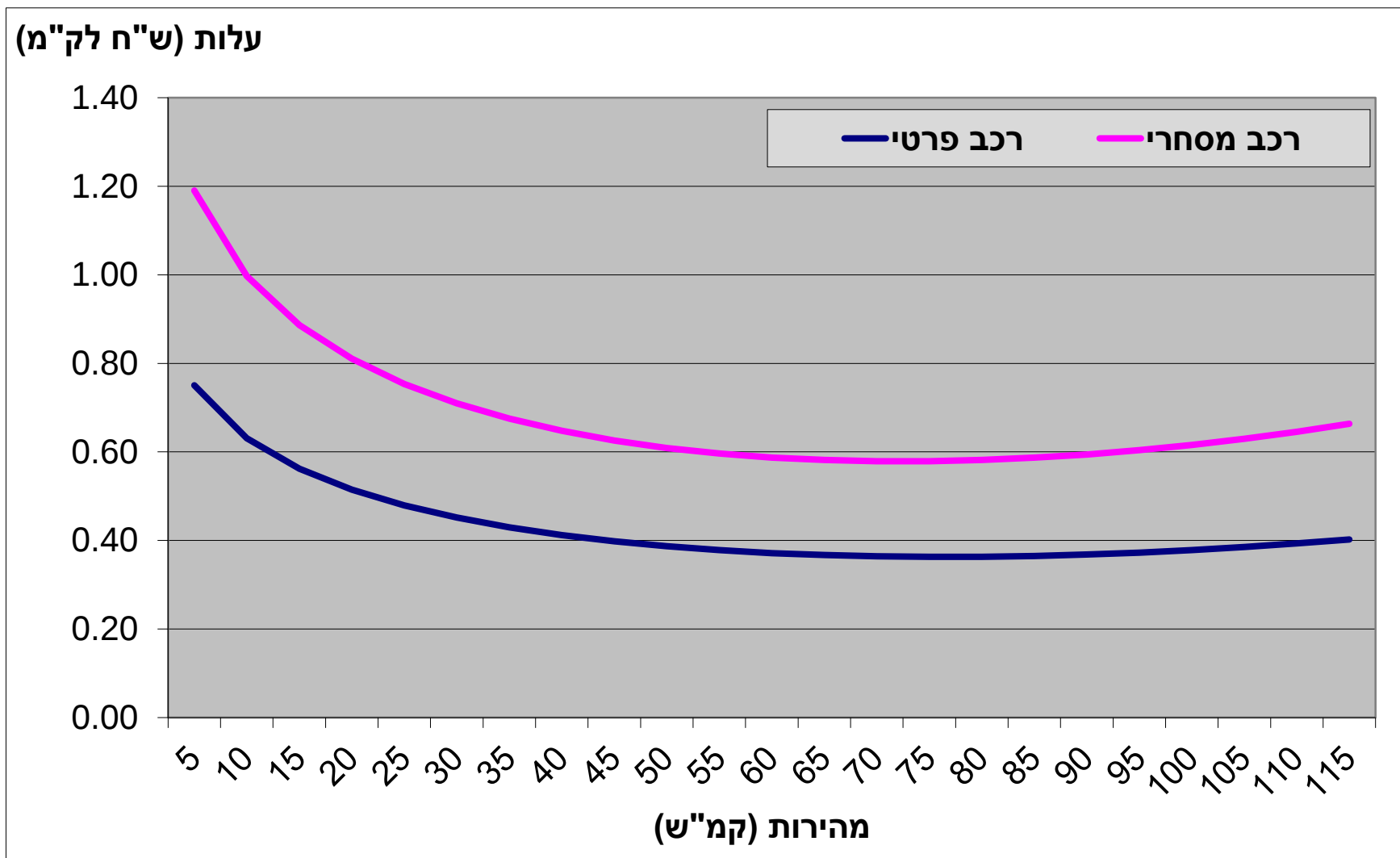
עלויות התפעול מחושבות במחירים למשק הלאומי של הדלק וחלקי הרכב. הן מחשבות את החסכון מהפחתת הנסועה בק"מ רכב בסוגי רכב שונים, או את החסכון בעלויות אם הנסיעה תתבצע במהירות משופרת. הן כוללות את:

- עלות הדלק
- עלות התחזוקה השוטפת
- עלות התיקונים
- עלות הצמיגים (משמעותי במשאיות)
- פחת – כל הפחת כשמדובר ברכב מסחרי, פחת שהוא תלוי נסועה ברכב הפרטי.

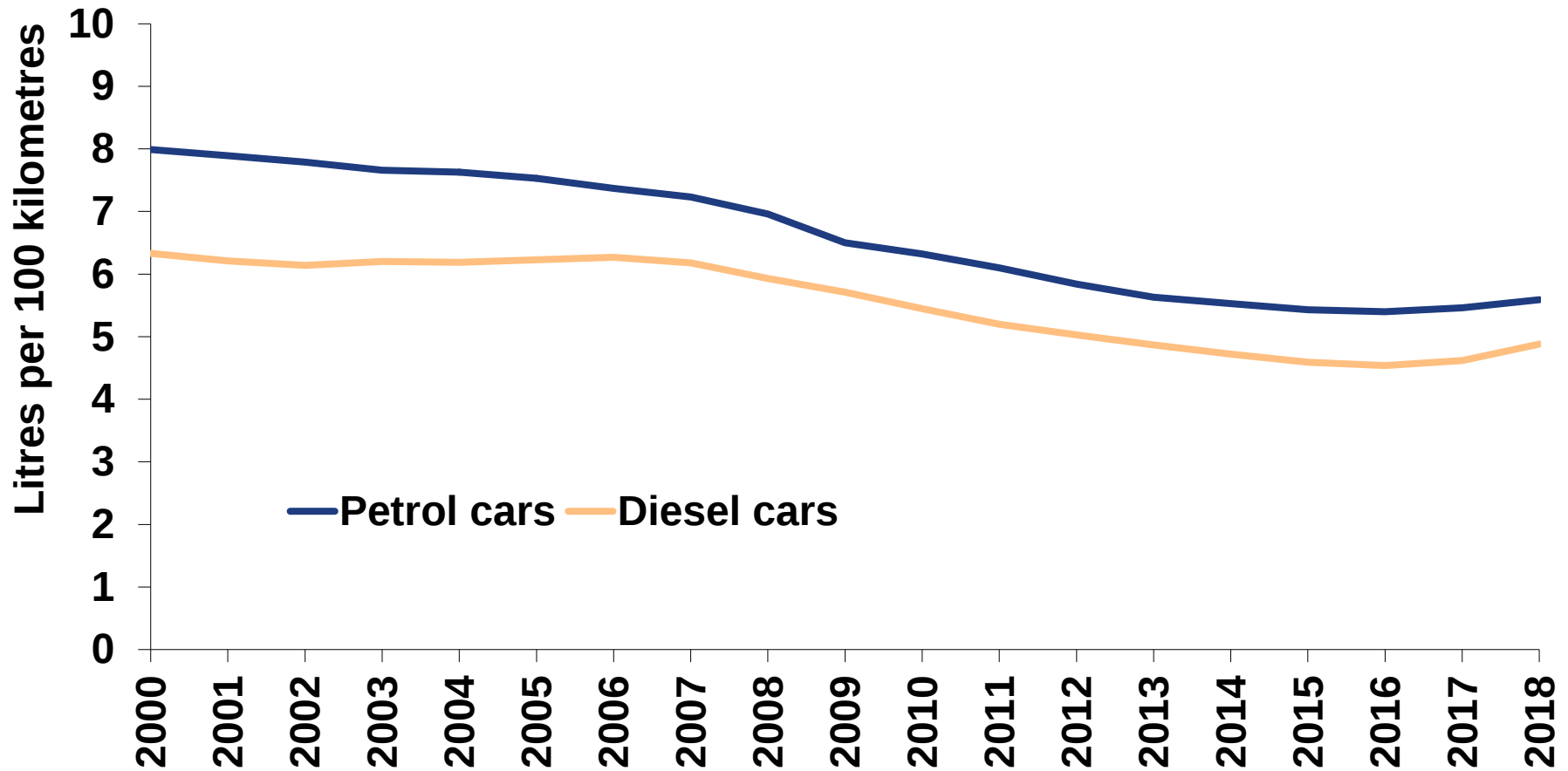
עלויות התפעול אינן כוללות את שכר הנהגים בתחבורה הציבורית ובמשאיות.

עלויות הדלק ועוד משתנות בהתאם למהירות הנסיעה

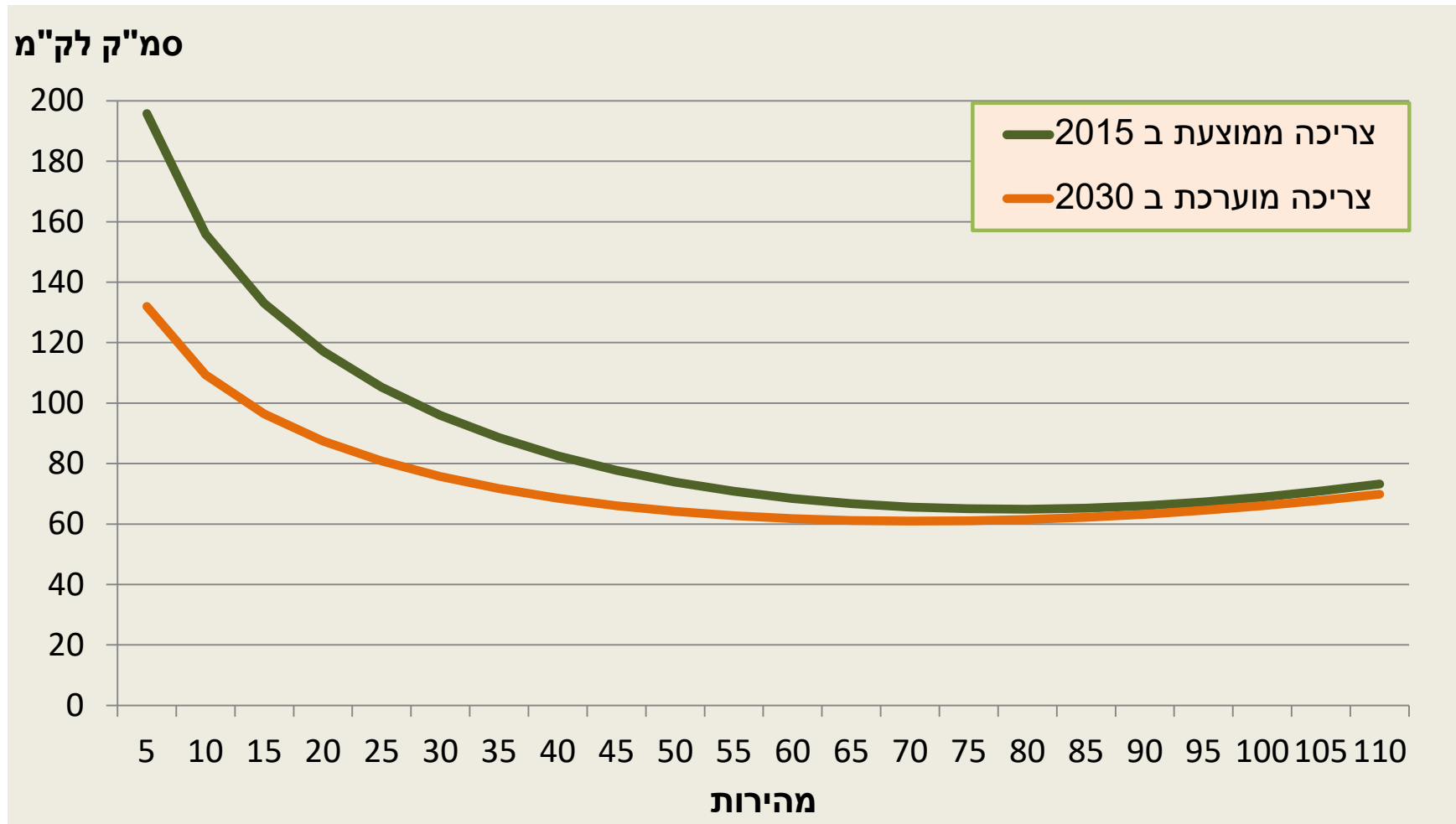
עלות תפעול למשק לק"מ נסיעה ברכב פרטי ומסחרי אופייני במחירי 2016 (ש"ח לק"מ)



Average new car fuel consumption (registration weighted) Great Britain: 2000-2018



צריכת דלק של רכב פרטי כתלות במהירות הממוצעת בקטע נסיעה נוהל פר"ת 2012

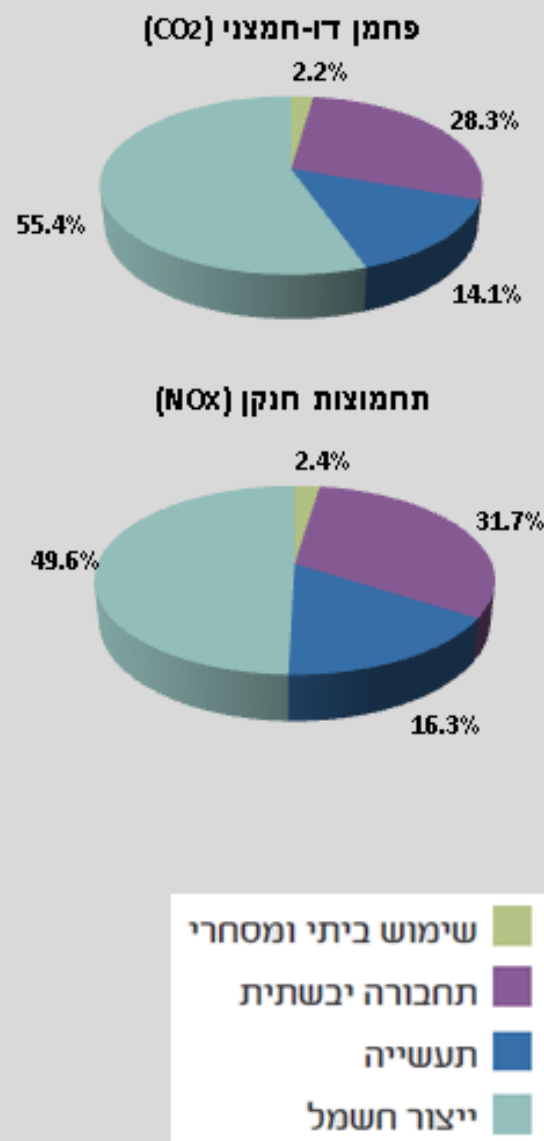
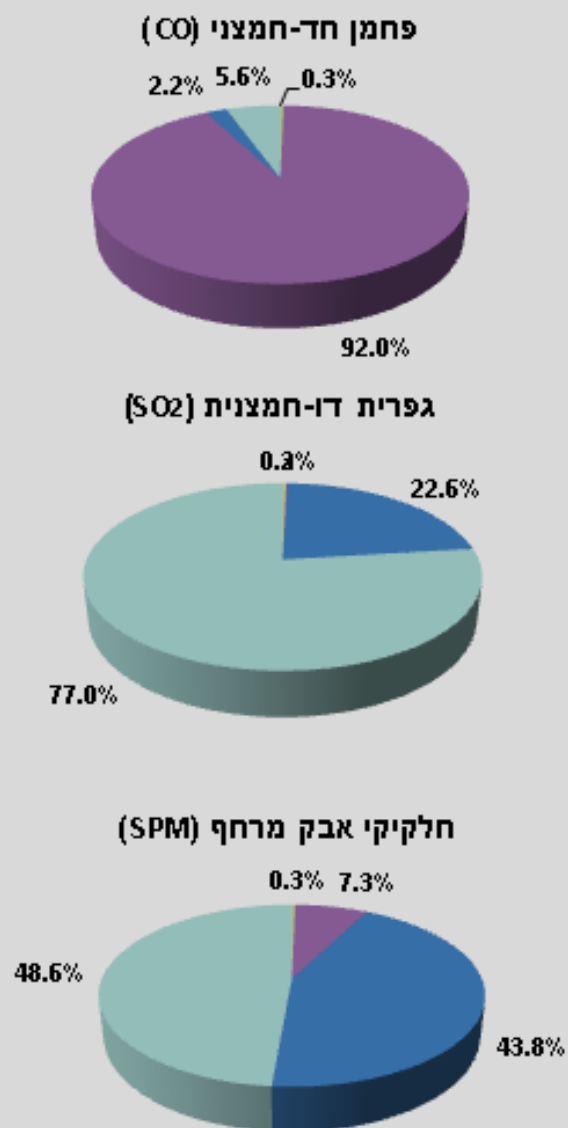


הצריכה הממוצעת ב 2030 הביאה בחשבון שיפור במנועי הרכב ושיטת ההינע, לפי מגמה שניתנה לאבחנה ב 2012. נהל פר"ת 2020 יבטא כבר את מהפיכת הרכב החשמלי

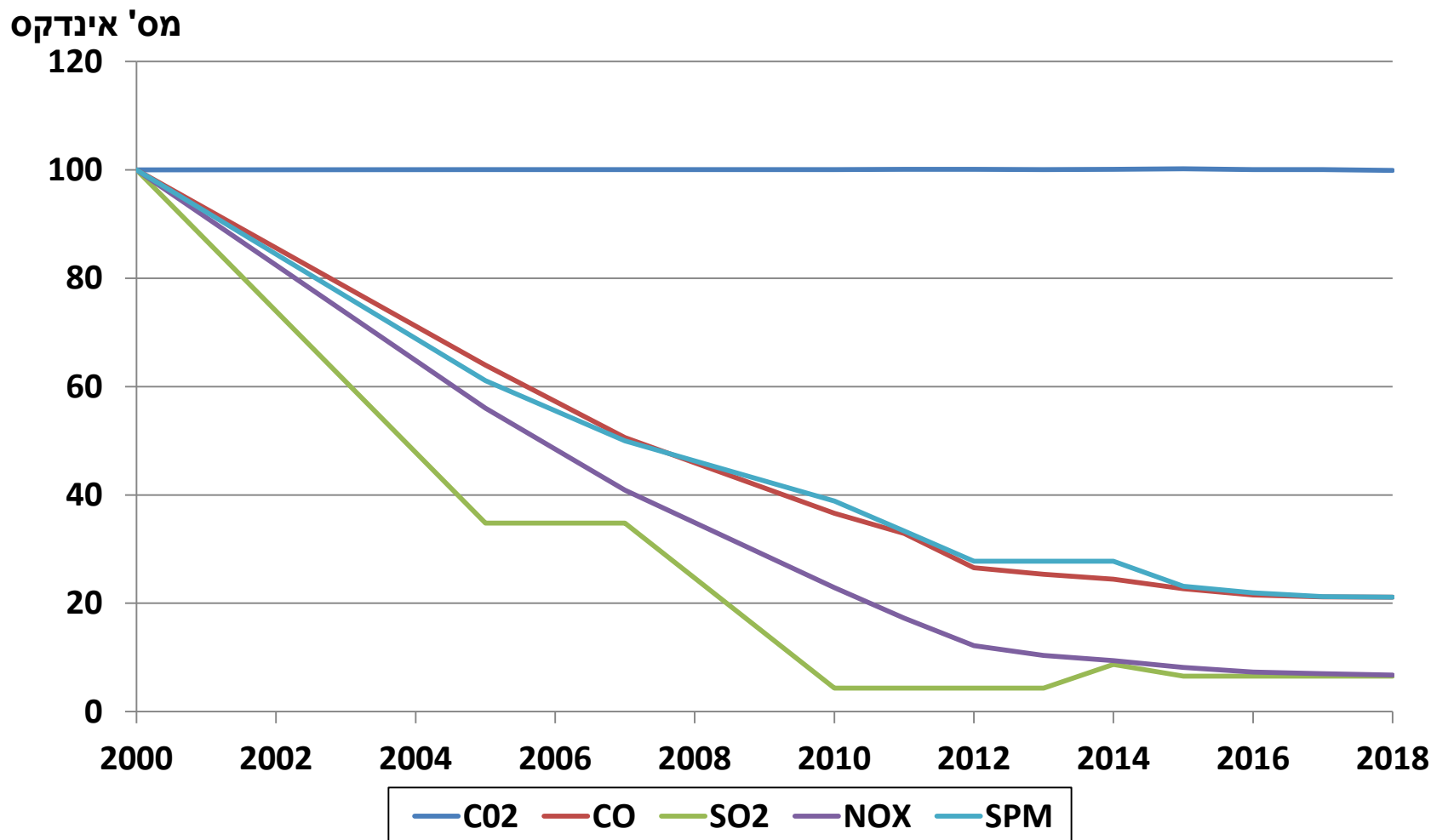
מקורות זיהום האוויר בישראל

פליטת מזהמים לפי מגזרים

נתוני 2018



ההפחתה (במספרי אינדקס) במקדמי הזיהום משריפת ליטר בנזין בכלי רכב בין השנים 2000-2018



מקדמי פליטה בתקני Euro שונים

ערכים בגרם פליטה לק"מ, רכב פרטי מונע בבנזין בדרך בינעירונית

תקן / מזהם	CO ₂	CO	NOX	PM
Euro 0	83.7	20.7	1.01	0.04
Euro 1	75.8	3.6	0.23	0.02
Euro 2	71.2	2.9	0.09	0.03
Euro 3	67.0	2.6	0.03	0.01
Euro 4	62.1	1.3	0.02	0.006
Euro 5	59.7	1.4	0.01	0.003
Euro 6	56.7	1.4	0.01	0.003
שיעור Euro 6 מ Euro 0	68%	7%	1%	7.5%

מקור: המשרד להגנת הסביבה, יולי 2016

עלות זיהום האוויר למשק במחירי 2019 (ש לטון פליטה)

ש לטון פליטה	
130	פחמן דו-חמצני (CO_2)
1,386	פחמן חד-חמצני (CO)
100,000	גופרית דו-חמצנית (SO_2)
100,359	תחמוצות חנקן (NO_x)
193,868	חלקיקי אבק מרחף (SPM)

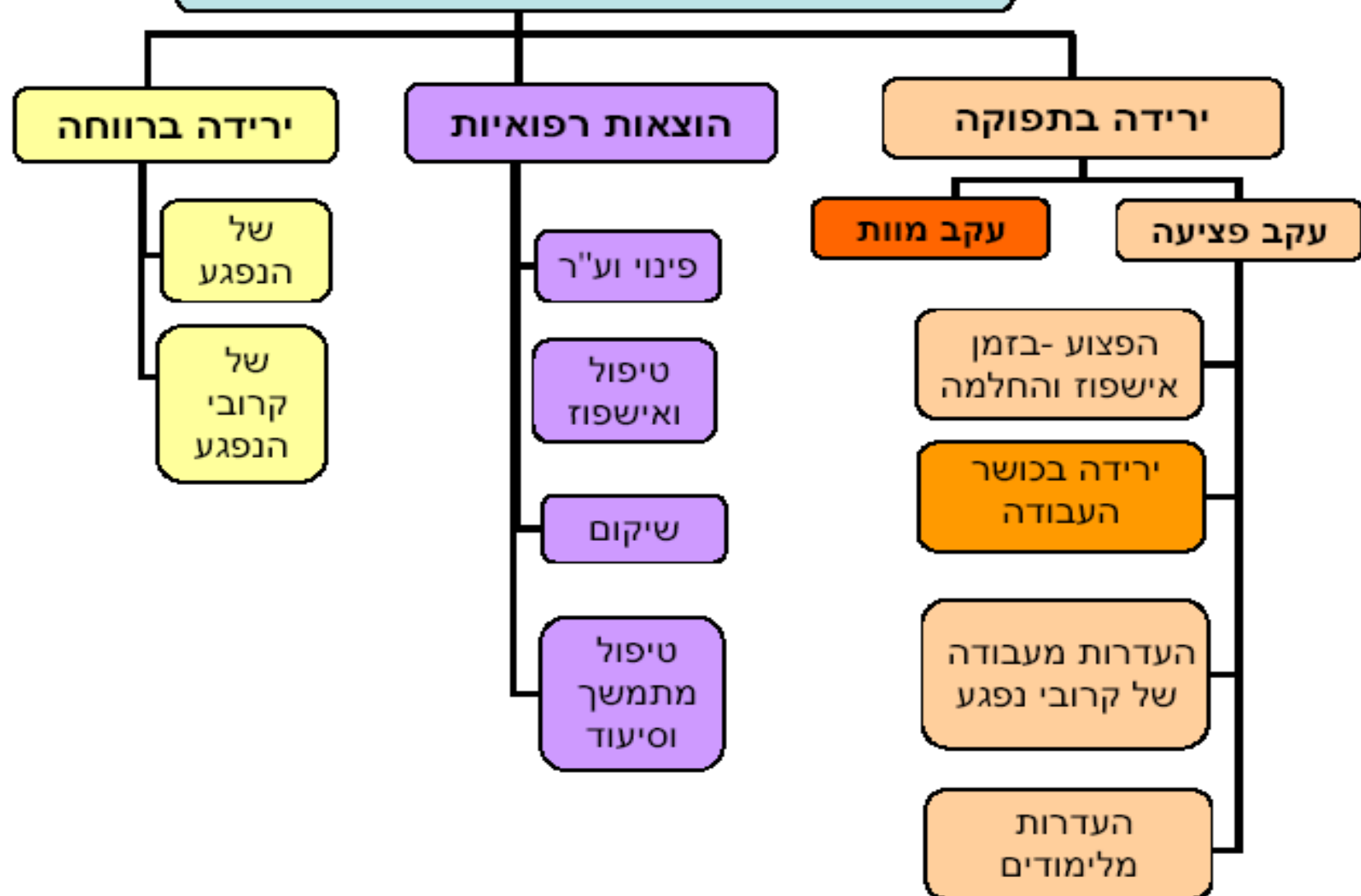
מחירי פליטה ב ש לליטר בנזין (במחיר 2019)

2030	2020	2018	2017	2016	2015	2010	
0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	פחמן דו-חמצני (CO_2)
0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.07	פחמן חד-חמצני (CO)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	גפרית דו-חמצנית (SO_2)
0.04	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10	0.28	תחמוצות חנקן (NO_x)
0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	חלקיקי אבק מרחף (SPM)
0.37	0.42	0.43	0.43	0.44	0.45	0.66	סה"כ

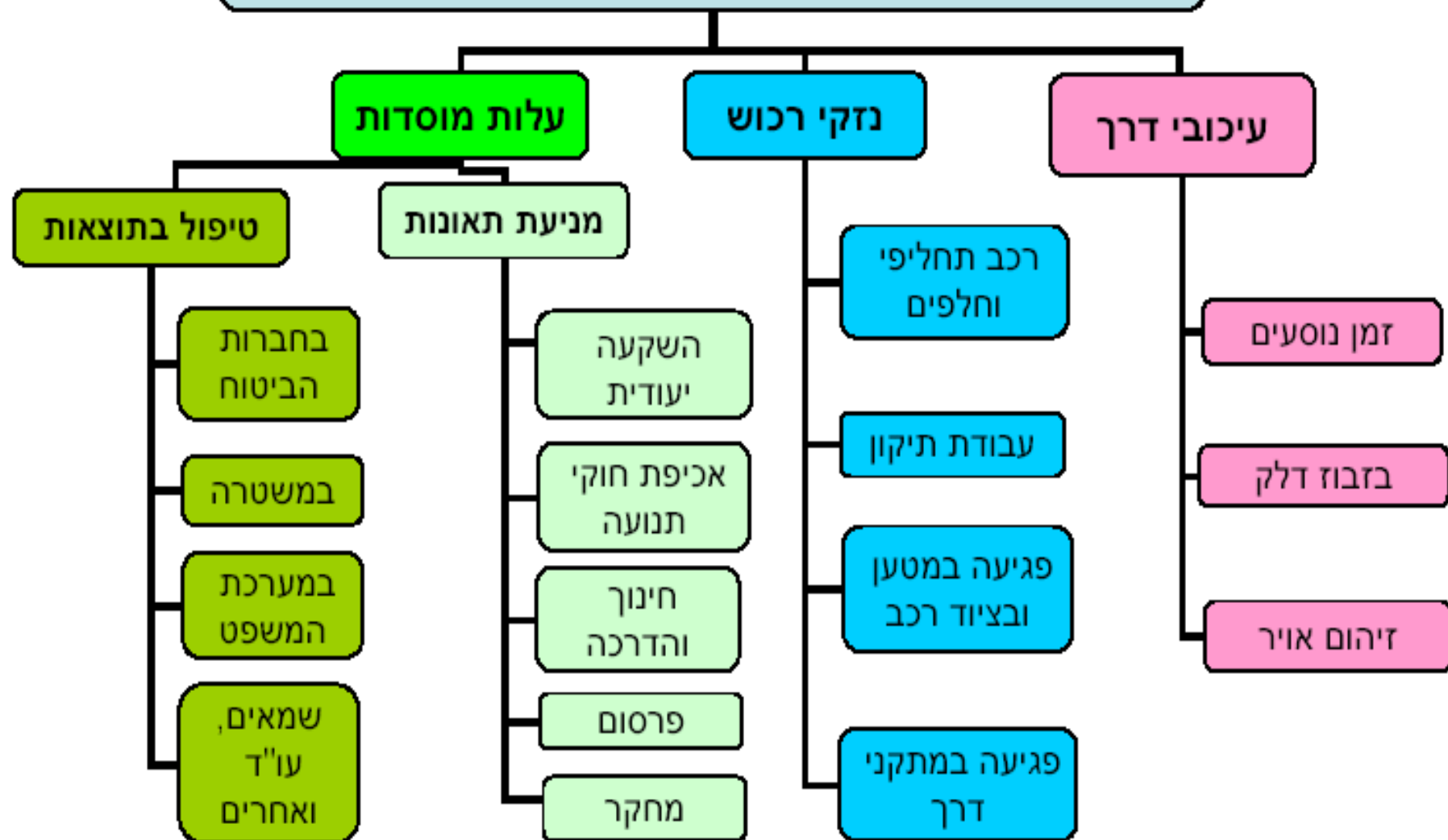
כלכלת בטיחות - עקרונות

- המטרה- כימות הנזקים למשק כתוצאה מתאונות דרכים במצב נתון והחיסכון האפשרי בעלויות עקב שיפורים במבנה הדרך או שיפורים אחרים.
- בין תאונות מסוגים שונים ובדרגות חומרה שונות יש הבדלים ניכרים (עד ל 1:1,000 ויותר) ואין לבחון שינוי אפשרי במספר התאונות ללא התייחסות לחומרתן ולמספר הנפגעים בהם. יש חשיבות רבה בהפחתת תאונות חמורות גם אם (במקרים מסויימים) יגדל מספר התאונות קלות.
- חרף האמור לעיל רצוי להביא בחשבון גם תאונות ללא נפגעים, בעיקר בשל תרומתן לעיכובי דרך בדרכים עמוסות, אך אין עליהן מידע.
- יש לחשב באופן זהיר עלויות עתידיות בתחום. שיפורים טכנולוגיים, שיפור בהגנה הפנימית בכלי הרכב, שיפורים בתחום הפינוי והרפואה עשויים להפחית את מספר התאונות, ולהפחית עלויות פגיעה גם ללא שינוי בתשתית.
- "פקק תנועה" הוא מצב בטוח מאוד בתחום הבטיחות...

עלות התאונות - מרכיבי פגיעות בגוף



עלות התאונות - מרכיבי נזקי רכוש ועלויות נילוות



סיווג חומרת פציעה של נפגעי תאונות דרכים ע"י בתי החולים

ממוצע ימי אשפוז ואחוז המופנים לשיקום רפואי

מבין המאושפדים עקב תאונות דרכים בשנים 2015-17

25-75	16-24	9-14	1-8	חומרת הפגיעה במדד ISS*
קשה מאוד	קשה	בינוני	קל	תיאור החומרה
18.6	8.9	6.7	2.8	משך אשפוז ממוצע (ימים)
13	5	4	1	משך אשפוז חציוני (ימים)
48.9%	17.8%	13.4%	1.7%	אחוז המאושפדים שנשלחו לשיקום

Injury Severity Score *

הרוגים בתאונות דרכים בשנים 2015-18

לפי סוג ההרוג וסוג דרך

2018			2017			2016			2015			סוג / דרך נוסע
סה"כ	בין- עירונית	עירונית	סה"כ	בין- עירונית	עירונית	סה"כ	בין- עירונית	עירונית	סה"כ	בין- עירונית	עירונית	
115	86	29	110	87	23	126	99	27	106	76	30	נוסע רכב
50	42	8	74	60	14	100	84	16	72	67	5	נוסע רכב
46	27	19	63	32	31	44	27	17	57	36	21	אופנוע
18	8	10	14	5	9	11	6	5	17	8	9	אופניים
102	28	74	121	34	87	110	39	71	123	39	84	הולך רגל
331	191	140	382	218	164	391	255	136	375	226	149	סה"כ

נפגעים קשה וקשה מאוד במעורבות אופניים עפ"י רישום בתי החולים 2015-2018

פצועים קשה

2018	2017	2016	2015		
22	24	29	20	אופניים רגילים	פגיעת רכב מנועי
32	17	27	15	אופניים חשמליים	
73	71	67	62	אופניים רגילים	תאונות עצמיות
49	31	30	16	אופניים חשמליים	
176	143	153	113	סה"כ	

פצועים קשה מאוד

2018	2017	2016	2015		
26	23	24	27	אופניים רגילים	פגיעת רכב מנועי
27	14	18	6	אופניים חשמליים	
25	32	28	24	אופניים רגילים	תאונות עצמיות
18	15	6	6	אופניים חשמליים	
96	84	76	63	סה"כ	

עלויות "צער כאב וסבל" הנכללות בעלויות למשק של הרוגים ופצועים מאושפדים (מעודכן ל 2/2020 במיליוני ₪)

סיווג נפגע	חומרת פגיעה	אובדן תפוקה ועלויות ישירות	"צער, כאב, וסבל"	סה"כ
הרוג	הרוג	3.05	3.63	6.68
פצועים שאושפדו בבתי חולים ליומיים או יותר	פצועים קשה מאוד	2.14	2.19	4.33
	פצועים קשה	0.87	0.76	1.63
	פצועים בינוני	0.80	0.28	1.08
	פצועים קל	0.13	0.00	0.13
פצועים שלא אושפדו בבתי חולים	פצוע קל	0.02	0.00	0.02

מקדמי עלות מוצעים לתאונות דרכים

(במחירי 11/2015) באלפי ₪

סה"כ	עלות נלווית	נזקי גוף			עלות לנפגע
6,830	520	6,310	הרוג		
4,450	360	4,090	קשה מאוד	פצועים מאושפדים יומיים לפחות לפי סיווג בתי החולים	
1,690	150	1,540	קשה		
1,100	80	1,020	בינוני		
140	20	120	קל		
25	3	22	פצוע שלא אושפד		

מקדמי עלות מוצעים לתאונות דרכים

(במחירי 11/2015) באלפי ₪

לדו גלגלי	לרכב	נזקי גוף		
12	45	קשה מאוד	בתאונה עם פצוע מאושפז יומיים לפחות	עלות רכוש ועוד בהתנגשויות
10	40	קשה		
10	35	בינוני		
7	35	קל		
5	30	בתאונה ללא פצועים מאושפזים		
6	35	קשה מאוד	בתאונה עם פצוע מאושפז יומיים לפחות	עלות רכוש ועוד בתאונות עצמיות
5	30	קשה	בתאונה עם פצוע מאושפז יומיים לפחות	
5	25	בינוני		
5	25	קל		
3	20		בתאונה ללא פצועים מאושפזים	

עלות ממוצעת לתאונה מדווחת בלמ"ס בתקופה 2015-17 לפי סוג דרך וסוג תאונה (אלפי ₪ במחירי 2020)

סוג התאונה	תאונות עירוניות	תאונות בין-עירוניות
פגיעה בהולכי רגל	284	1,638
התנגשויות בין כלי רכב (ללא אופנועים)	79	140
	136	477
	206	2,128
	87	242
	104	258
התנגשויות רכב- אופנוע	206	586
פגיעה ברוכב אופניים (ותאונות אופניים עצמיות)	202	1,167
תאונות עצמיות (ללא אופנועים)	206	362
תאונות עצמיות של אופנועים	133	435
סה"כ	142	344

עלות התאונות המדווחות ע"י הלמ"ס בממוצע לשנה בתקופה 2015-17 לפי סוג דרך וסוג תאונה (מיליארדי ₪ במחירי 2020)

סוג התאונה	עלות לשנה	התפלגות ב %
פגיעה בהולכי רגל	2.34	20.9%
התנגשויות בין כלי רכב (ללא אופנועים)	פנים-אחור	20.3%
	חזית-צד	14.6%
	חזית-חזית	9.1%
	כל היתר	8.0%
	סה"כ	52.0%
התנגשויות רכב- אופנוע	0.98	8.8%
פגיעה ברוכב אופניים (ותאונות אופניים עצמיות)	0.37	3.3%
תאונות עצמיות (ללא אופנועים)	1.25	11.2%
תאונות עצמיות של אופנועים	0.42	3.8%
סה"כ	11.18	100.0%

השוואת נתוני הלמ"ס עם נתוני מרכז הטראומה לפצועים מאושפדים בשנים 2015-17 נפגעים לפי חומרה

סה"כ נפגעים בשלוש השנים ע"פ נתוני:			ISS
הלמ"ס	מרכז הטראומה	אחוז הדיווח בלמ"ס	
9,755	18,821	51.8	1-8
3,414	6,344	53.8	9-14
1,475	2,368	62.3	16-24
1,379	2,033	67.8	25-75
225	10		אחר/לא ידוע
16,248	29,576	54.9	סה"כ

השוואת נתוני הלמ"ס עם נתוני מרכז הטראומה לפצועים

מאושפדים בשנים 2015-17

סה"כ נפגעים ע"פ סוג הנפגע

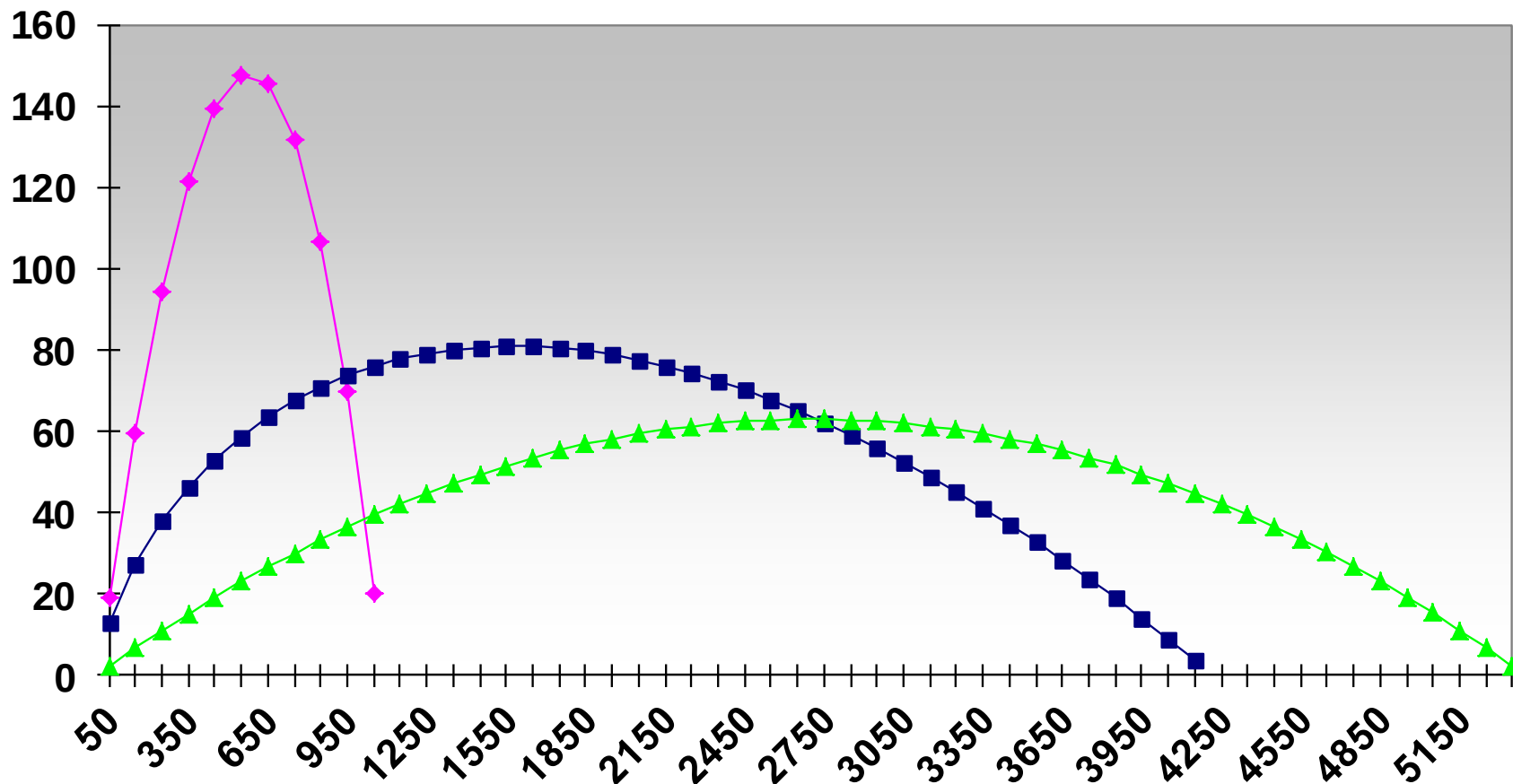
סה"כ נפגעים בשלוש השנים ע"פ נתוני:			סוג נפגע
הלמ"ס	מרכז הטראומה	אחוז הדיווח בלמ"ס	
4,553	7,211	63.1	נהג רכב
3,422	5,281	64.8	נוסע רכב
2,665	3,929	67.8	רוכב אופנוע
558	4,475	12.5	רוכב אופניים
3,858	5,860	65.8	הולך רגל
1,192	2,820	42.3	יתר הנפגעים
16,248	29,576	54.9	סה"כ

עלות כוללת למשק בממוצע לשנים 2012-14 של תאונות עם נפגעים בצירוף מידע מתיקי המשטרה ובתי החולים

סוג נפגע	ממוצע לשנה	עלות לנפגע	סה"כ	
		(באלפי ₪)	(במליארדי ₪)	
פצועים שלא אושפזו		82,377	2.16	
	פצועים שאושפזו בבתי חולים	קל	3,174	0.47
		בינוני	1,119	1.29
		קשה	488.5	0.87
		קשה מאוד	413	1.93
הרוגים		386.5	7,172	2.77
סה"כ		87,958	108	9.49

עלות תאונות הדרכים לק"מ במהלך שעה, יום

עלות לק"מ שעה
(בש"ח)



נפח תנועה לכיוון אחד

- ◆ כביש חד מסלולי
- כביש דו מסלולי, 2 נתיבים לכיוון
- ▲ כביש דו מסלולי, 3 נתיבים לכיוון

התבוננות על תועלות עתידיות

- תחזיות התנועה לאופק התכנון והבדיקות הכלכליות מבוססות על הרגלי נסיעה וטכנולוגיה עכשווית, ורק באופן מוגבל וזהיר מביאות בחשבון שינויים באורח החיים, הרגלי עבודה או טכנולוגיה.
- לא ניתן לקבוע בוודאות, לדוגמא, מתי יחל השימוש ברכב אוטונומי ומה יהיו השלכות השימוש בו (הן יכולות להיות עצומות), כיצד יתפתח באמצעות הטכנולוגיה הנוכחית נושא הנסיעות המשותפות ברכב, העבודה מהבית וסביבתו ועוד.
- עם זאת, ההנחה שהתנועה בארץ (ובכלל בעולם) ב 2040 או ב 2050 תתנהל כפי שהיא מתנהלת היום, **נראית לא סבירה**.
- במצב זה ניתן להשתמש בכלים של תכנון תחבורה וכלכלת תחבורה ליצור ולבחון בבדיקות רגישות חלופות טכנולוגיות לפני ביצוע השקעות גדולות בטכנולוגיות נוכחיות.

סיכום

- כלכלת תחבורה מודדת עלויות ותועלות במשק התחבורה, ומאפשרת קבלת החלטות ראציונליות בתחום ההשקעות בתשתית התחבורה או בניהולה.
- בחינות כלכליות במשק התחבורה מחייבות מידע נרחב ומחקר, ורגישות להתפתחויות בתחומים רבים: היקף ופריסת המגורים והתעסוקה, שינויים טכנולוגיים, מחירי תשומות ועוד.
- ולבסוף- זהו עדיין רק כלי עזר מכוון, אך הוא יכול לסייע בעיצוב פרויקטים, בבחירת חלופות, ובגיבוש סלי השקעות. היכרות כללית עם תכונותיו ע"י העוסקים בתחום מהיבטים אחרים (למשל הנדסיים) יכולה לקדם תכנון משופר.