

קורס בהנדסת תנועה

כלכלת תחבורה ויישומיה



האם להקים?

באיזה
מסלול
ותצורה?

מתי?



26.2.2023

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 ורעש, 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 ההוצאה הנדרשת להקמה ותחזוקה, ושל ביצועי מערכת התחבורה עם ההשקעה ובלעדיה, לרבות בחינת השלכות חיצוניות, כגון על משתמשי דרך המושפעים בעקיפין, או בתחומי הבטיחות וזיהום האויר.

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.

עלות למשק מול עלות למשתמש

מבנה מחיר בנזין 95 אוקטן למשק בפברואר 2023

סעיף	ש"ל לליטר	%
מחיר בשער בית הזיקוק	2.36	34.5%
הוצאות שיווק	0.59	8.6%
בלו	2.90	42.4%
מע"מ	0.99	14.5%
סה"כ	6.84	100.0%

רוכש הבנזין משלם 6.84 ש"ל לליטר בשירות עצמי, אך מחיר הבנזין למשק הוא 2.95 ש"ל לליטר, 43% ממחירו לצרכן. גם על הסולר מוטל מס גבוה, ומחירו למשק דומה בערך לזה של הבנזין. בתקופה האחרונה האמיר מחיר הדלק בשער בית הזיקוק בשל התייקרות הנפט העולמית, ושיעור הבלו הופחת בניסיון לבלום את התייקרות המחירים. ב-2021 הבלו היווה מעל 50% מהמחיר לצרכן.

ברכישת רכב פרטי מרכיב המס העקיף הוא כ-50%-55% בהתאם לארץ הייבוא. יש הנחה לרכב חשמלי. גם חלפי הרכב ממוסים.

מיסים עקיפים אלה מנוכים מהתחשיב הכלכלי בבדיקות כדאיות למשק.

בנוסף לכך לא מובאים בחשבון 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:

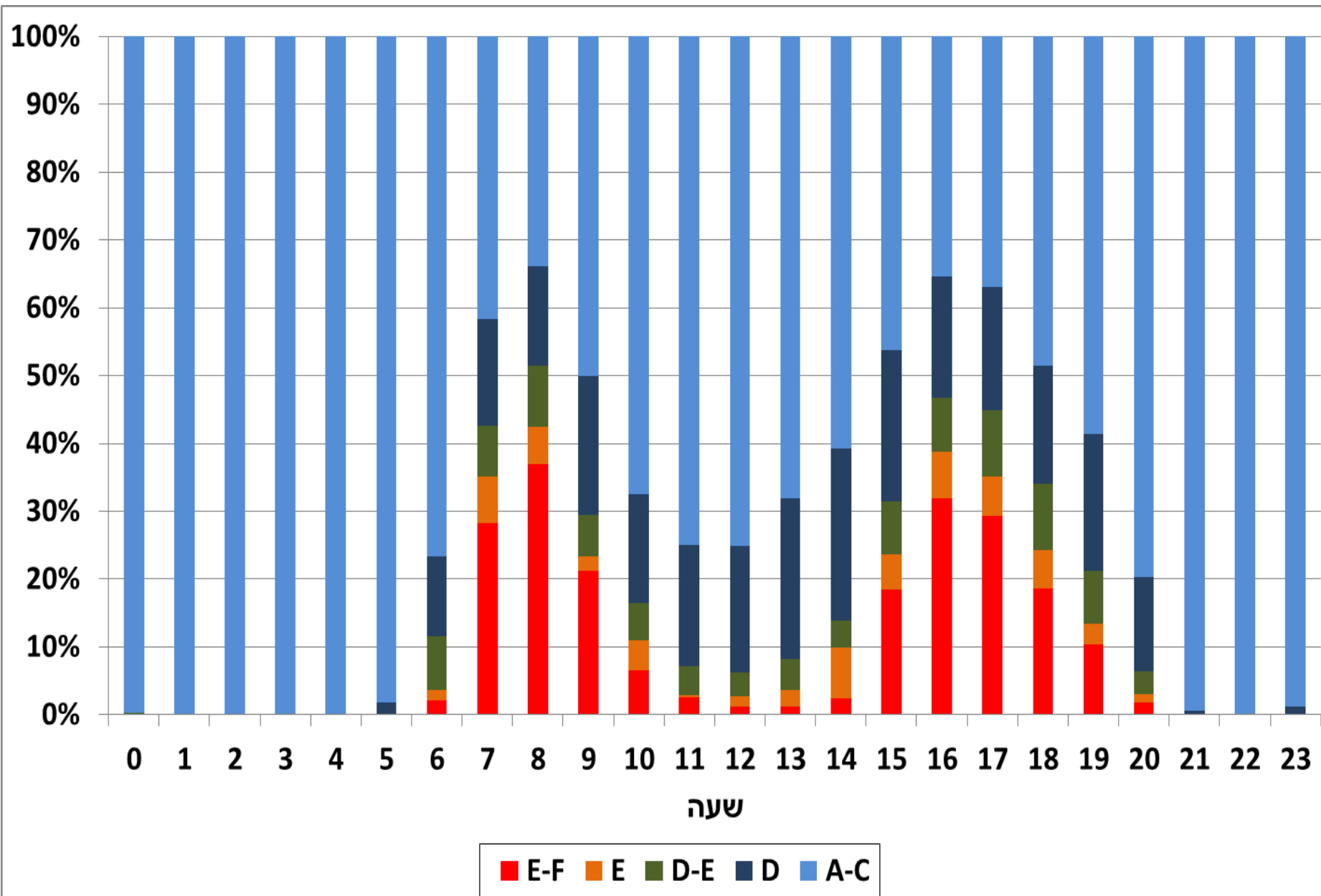
- בשעות השיא בכיוון המישני (לרוב כ 60% ויותר מהתנועה לכיוון העיקרי).
- בשעות השפל ביום (שהם שעות השיא לתנועת הרכב המסחרי ותנועת המטענים)
- בערבים (בין 19:00 ועד בלילות ועד 23:00)
- בסופי שבוע והחגים

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

חשיבות שעות השפל בתחשיב הכלכלי

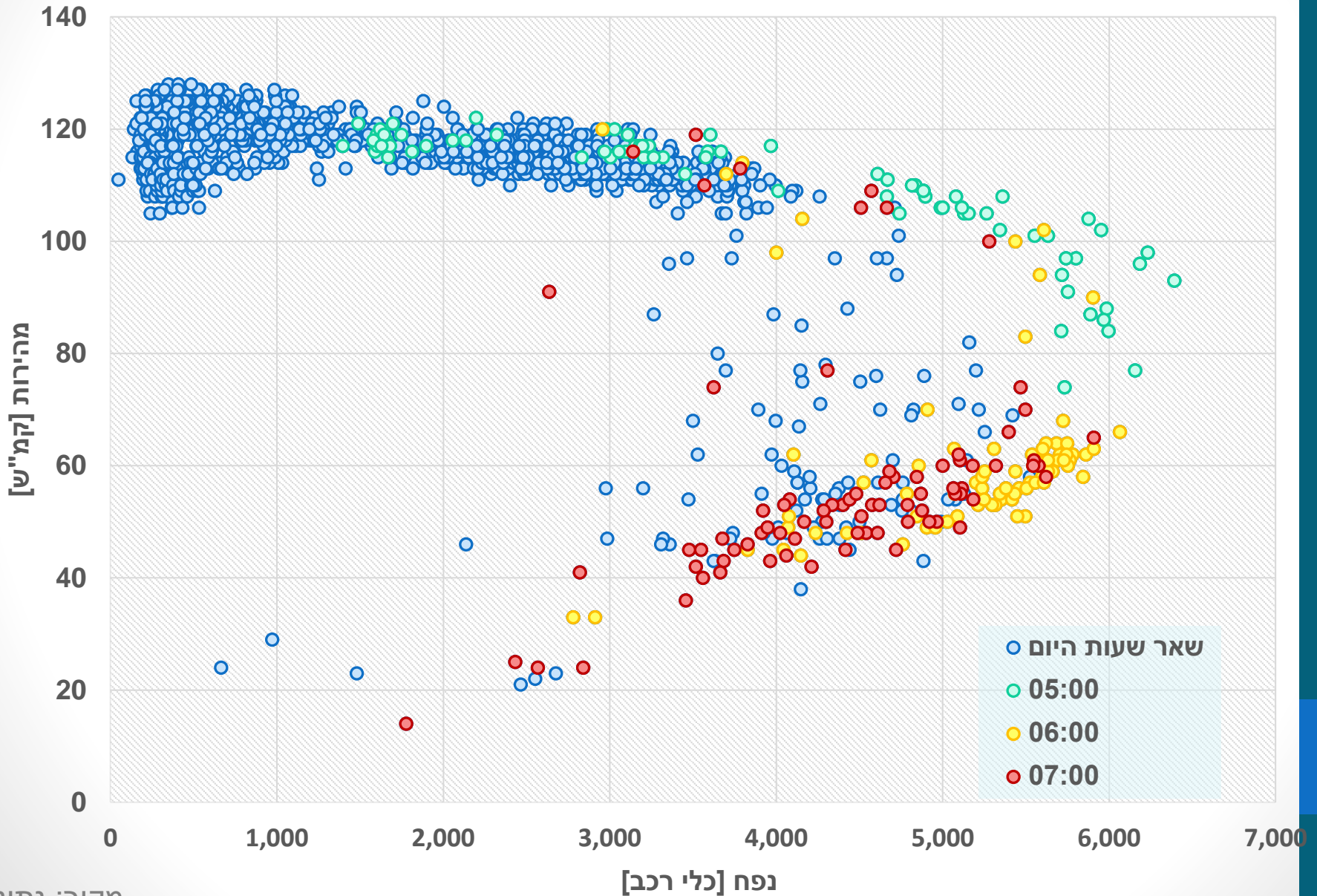
- האם יש מקום להשקיע עבור נסיעות בשעות שפל, לילות, וסופי שבוע? – בעקרון כן, התנועה בשעות השפל ובערבים, ובחלק משעות סופי השבוע רבה מאוד והייתה מתפוקת בדרכים לא מעטות אלמלא הרחבות התשתית שנעשו לכאורה לשפר זרימת תנועה בשעות וכיווני השיא.
- שעות השפל ביום מהוות את שעות השיא של תנועת המטענים והרכב המסחרי, 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



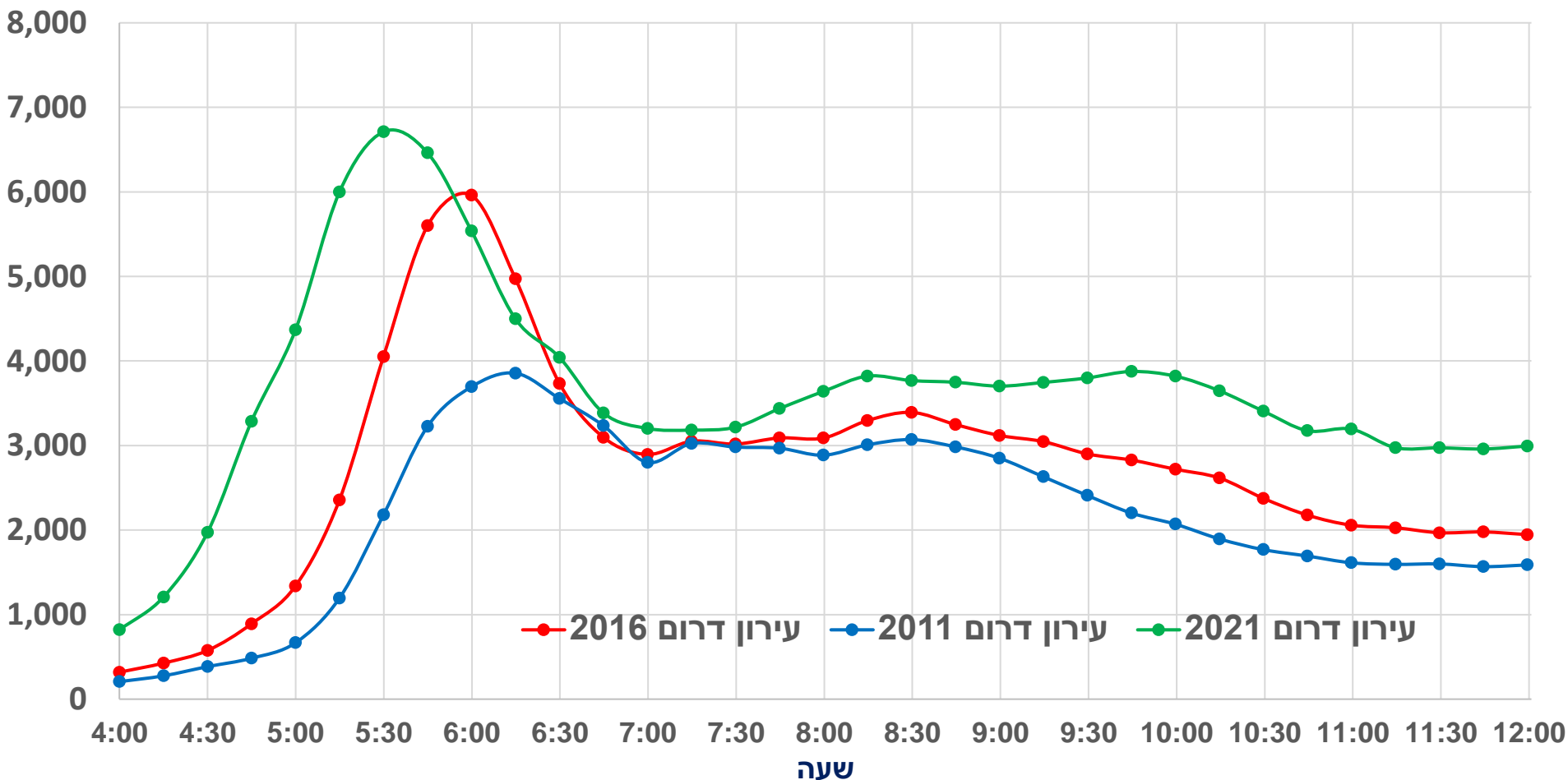
נתוני תנועה בכביש 6

עקומת נפח-מהירות בקטע ניצני עוז-אייל לכיוון דרום בימי א'-ה' בחודש 11/2019



התנועה בכביש 6 לדרום בין מחלפי עירון לבאקה – נפחים שעתיים בחודש נובמבר בבוקר בשנים 2011,2016,2021

ב 2021 נפח התנועה הגיע לשיא ב 5:30 בבוקר (הקו הירוק)- הביקוש עבר לזמן קצר את הקיבולת, חלה קריסה ביכולת ההעברה שתוצאותיה היו ירידה חדה בהיקף התנועה. התופעה היתה מתונה יותר ב 2016 (הקו האדום). שיא הביקוש הוקדם ב 2021 ל 5:30 בבוקר!



נוהל פר"ת

נוהל פרוייקטים תחבורתיים (נוהל פר"ת) הוא נוהל משותף למשרדי התחבורה והאוצר. מטרתו להשיג אחידות 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. נוהל מקיף מעודכן פורסם ב 2021.

הנוהל יוצר אחידות 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 ברוחת 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" (disutilities) של הנוסע בנסיעה בין מוצא ליעד נתון ולפי שעת היום, בסימולציה מלאה של מסלול נסיעתו קטעי הנסיעה וזמניהם.
- 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 מוטמעת חלקית בנוהל פר"ת 2021.

האם יש צורך בפיצול מוקדם בין נסיעה ברכב ובסייבר?

בדיקה כלכלית בביקוש קבוע או משתנה

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

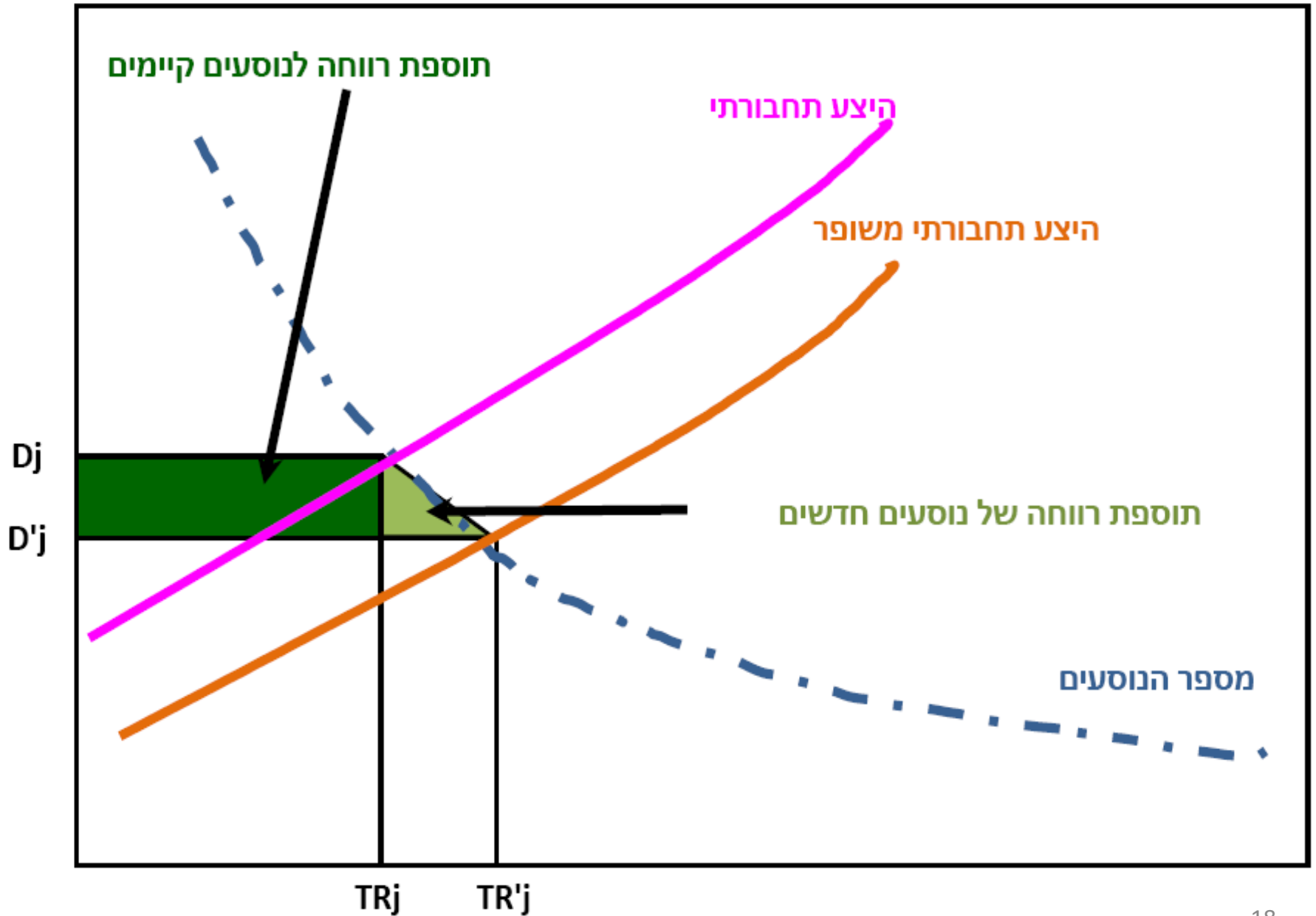
הבדיקות הכלכליות מזהות הסטות בין מסלולי נסיעה כתוצאה מביצוע פרוייקט, או מעבר בין אמצעי תחבורה, אך לרוב לא מביאות בחשבון הסטות זמן כתוצאה מביצוע פרוייקט, שינוי בפילוג נסיעות במרחב, ואף יצירת נסיעות חדשות.

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	

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 מהוונים. 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 2021

- ערך זמן אחיד לכל נוסע ללא תלות בגילו, הכנסתו או אזור מגוריו (נספרים נוסעים מגיל 8).
- קיימת, עם זאת, דיפרנציאציה לפי מטרות הנסיעה:
 - ערך הזמן בנסיעות במסגרת העבודה נקבע לפי העלות למעביד בממוצע לשעת שכיר במשק ופרמטרים נוספים. (ערך בסוף 2022: כ 104 ₪ לשעה)
 - ערך הזמן בנסיעות לכל מטרה אחרת, לרבות בנסיעה אל ומהעבודה, ללימודים, פנאי ועוד מחושב לפי 30% מערך הזמן בנסיעות במסגרת העבודה (כ 31 ₪ לשעה).

תחשיב ערך הזמן לספטמבר 2022 (ש"ח)

12,214		שכר עבודה חודשי ברוטו למישרת שכיר
4,031	+33%	תוספת הוצאות סוציאליות ותרומה לתקורה
-812	-5%	הפחתה כביטוי לניצול זמן הנסיעה
15,433		סה"כ לחודש
103.93	לפי 148.5 שעות בחודש	ממוצע לשעה בנסיעות במסגרת העבודה
31.18	30% ביחס לנסיעת עבודה	ערך שעה בנסיעות שאינן בעינייני עבודה

ערך הזמן – דרך יישום

- ❑ ערך הזמן המשוקלל כיום לשעת שיא בוקר (ע"פ התפלגות מטרות הנסיעה) הוא כ 38 ש"ח לשעת נוסע.
- ❑ 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 1.5% 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. ניתוח לפי מספרי רישוי הרכב מלמד 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.

עלויות תפעול כלי רכב

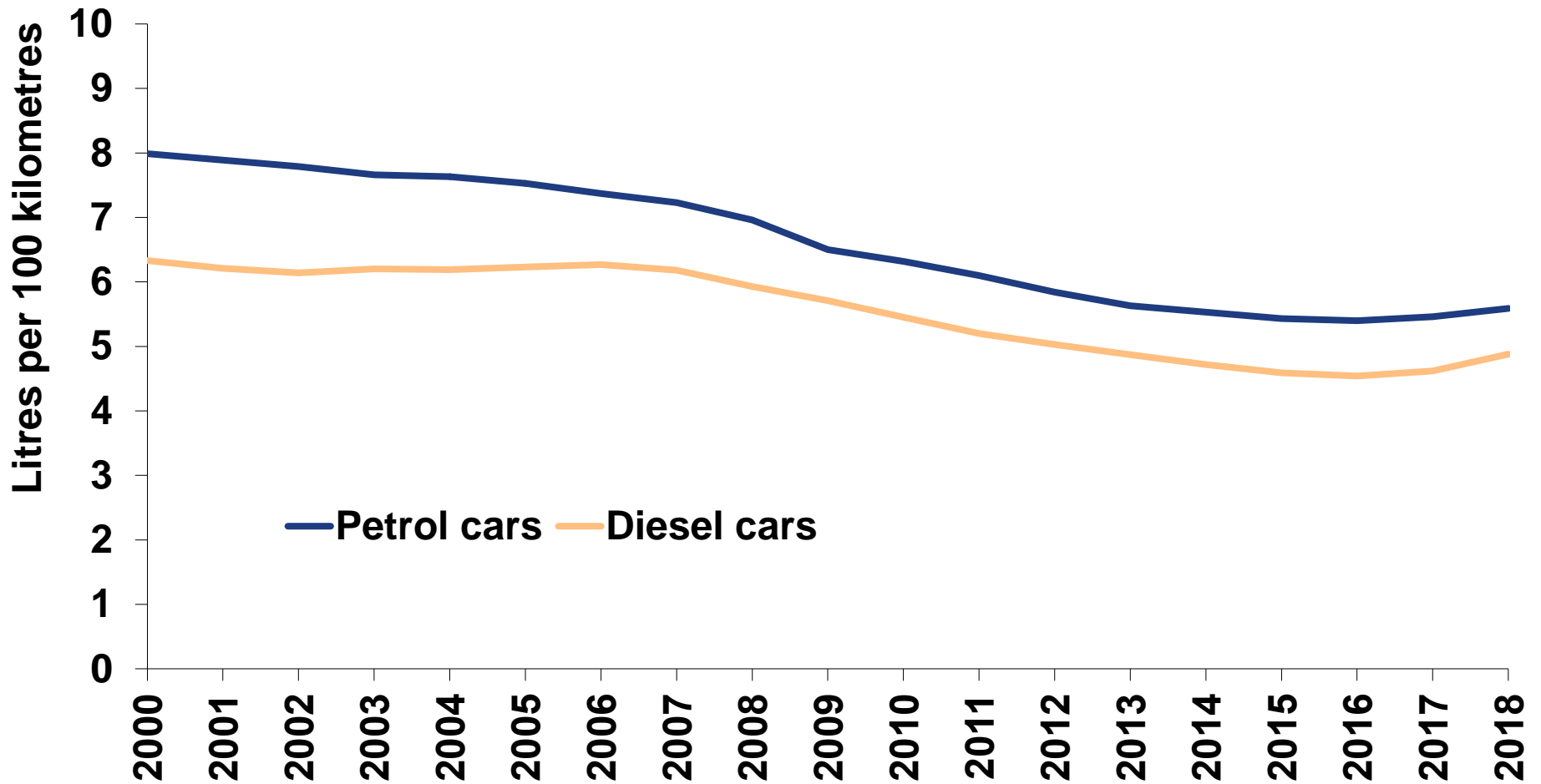
עלויות התפעול מחושבות במחירים למשק הלאומי של הדלק וחלקי הרכב. הן מחשבות את החסכון מהפחתת הנסועה בק"מ רכב בסוגי רכב שונים, או את החסכון בעלויות אם הנסיעה תתבצע במהירות משופרת. הן כוללות את:

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

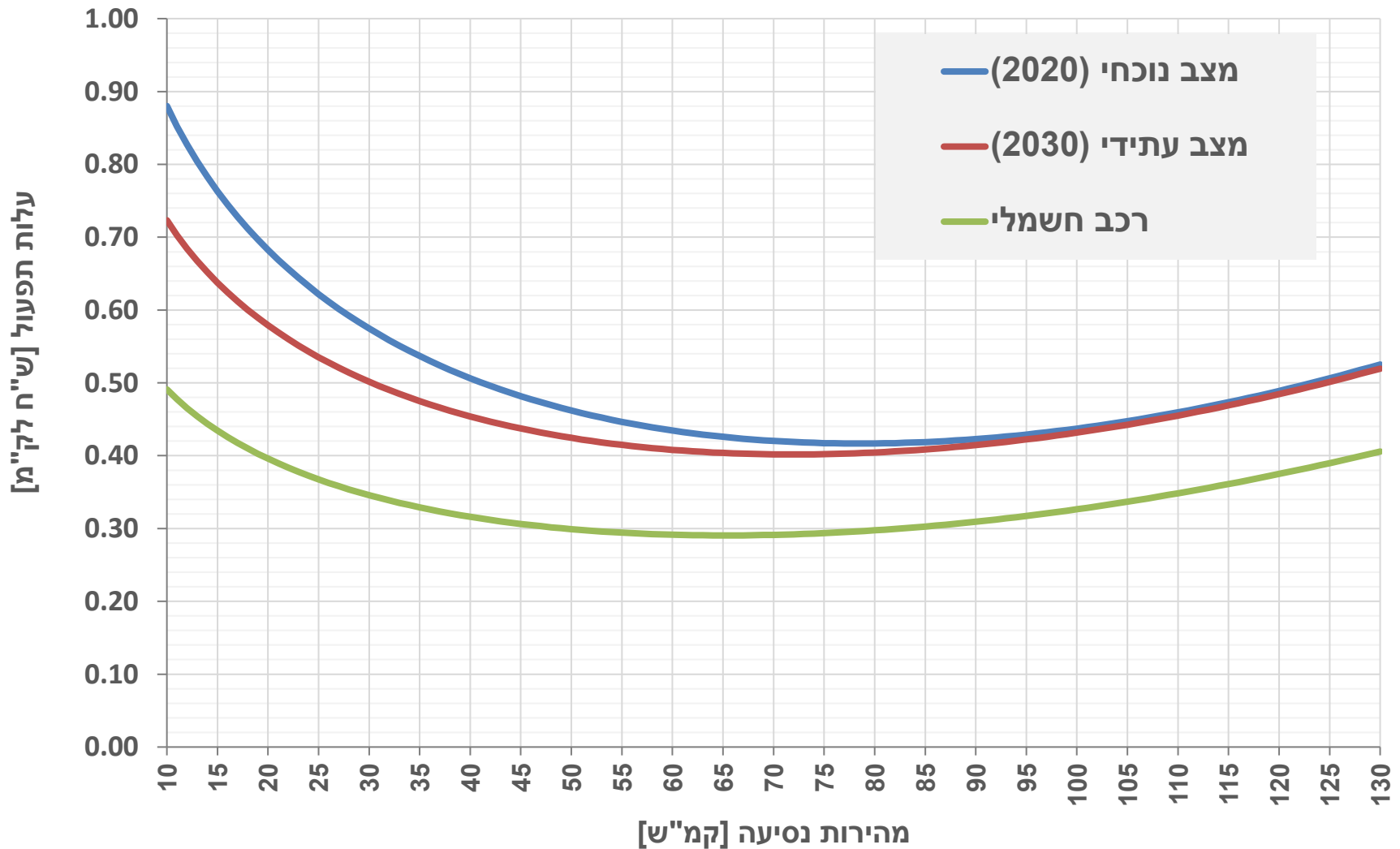
עלויות התפעול אינן כוללות את שכר הנהגים בתחבורה הציבורית ובמשאיות.

עלויות הדלק ועוד משתנות בהתאם למהירות הנסיעה

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



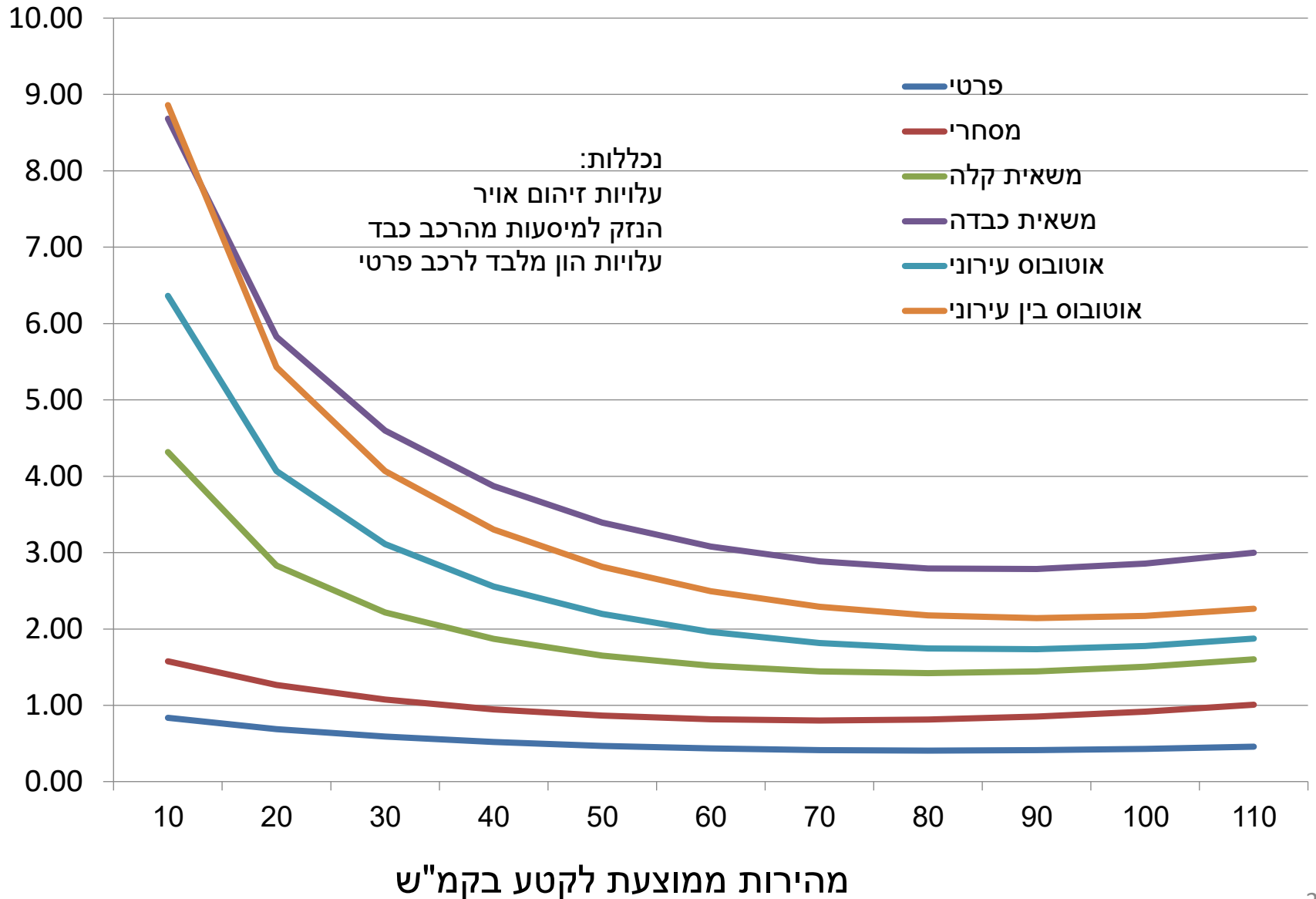
עלויות תפעול רכב פרטי כתלות במהירות הממוצעת בקטע נסיעה נוהל פר"ת 2021



העלות ב 2030 ברכב מנועי מביאה בחשבון שיפור במנועי הרכב ומרכיב היברידי בצי הרכב
בשקלול לכלל סוגי הרכב מובא בחשבון ש 30% מכלי הרכב ב 2030 יהיו חשמליים

עלויות תפעול ממוצעות לק"מ של סוגי רכב שונים ב 2020

ש"ק לק"מ

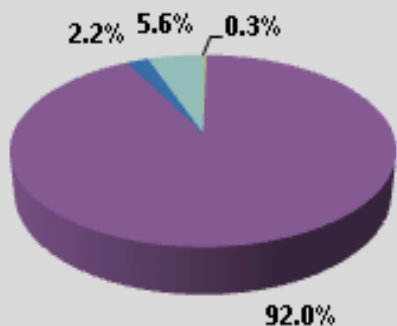


מקורות זיהום האוויר בישראל

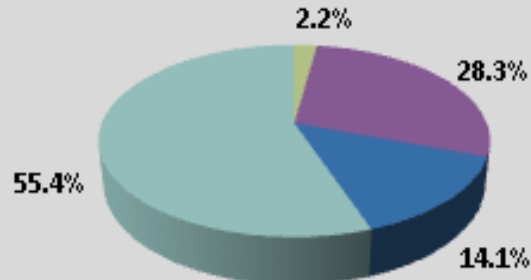
פליטת מזהמים לפי מגזרים

נתוני 2018

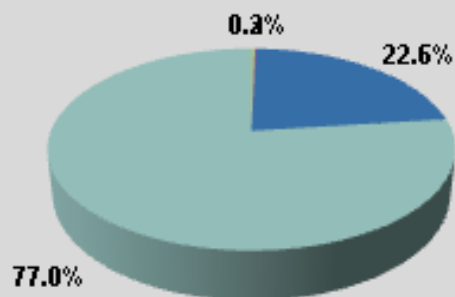
פחמן חד-חמצוני (CO)



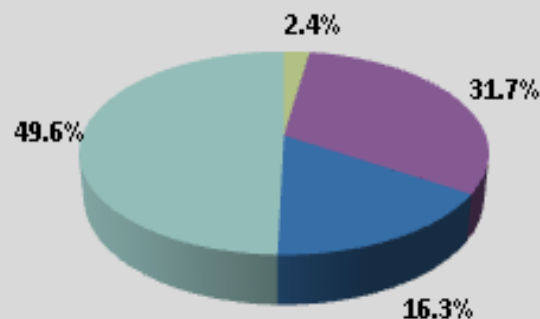
פחמן דו-חמצוני (CO2)



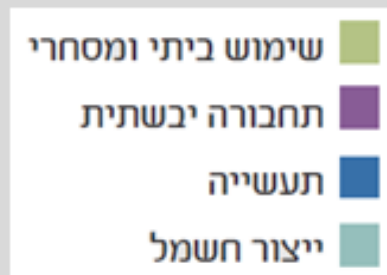
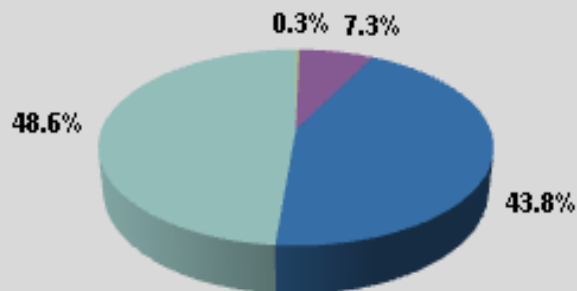
גפרית דו-חמצנית (SO2)



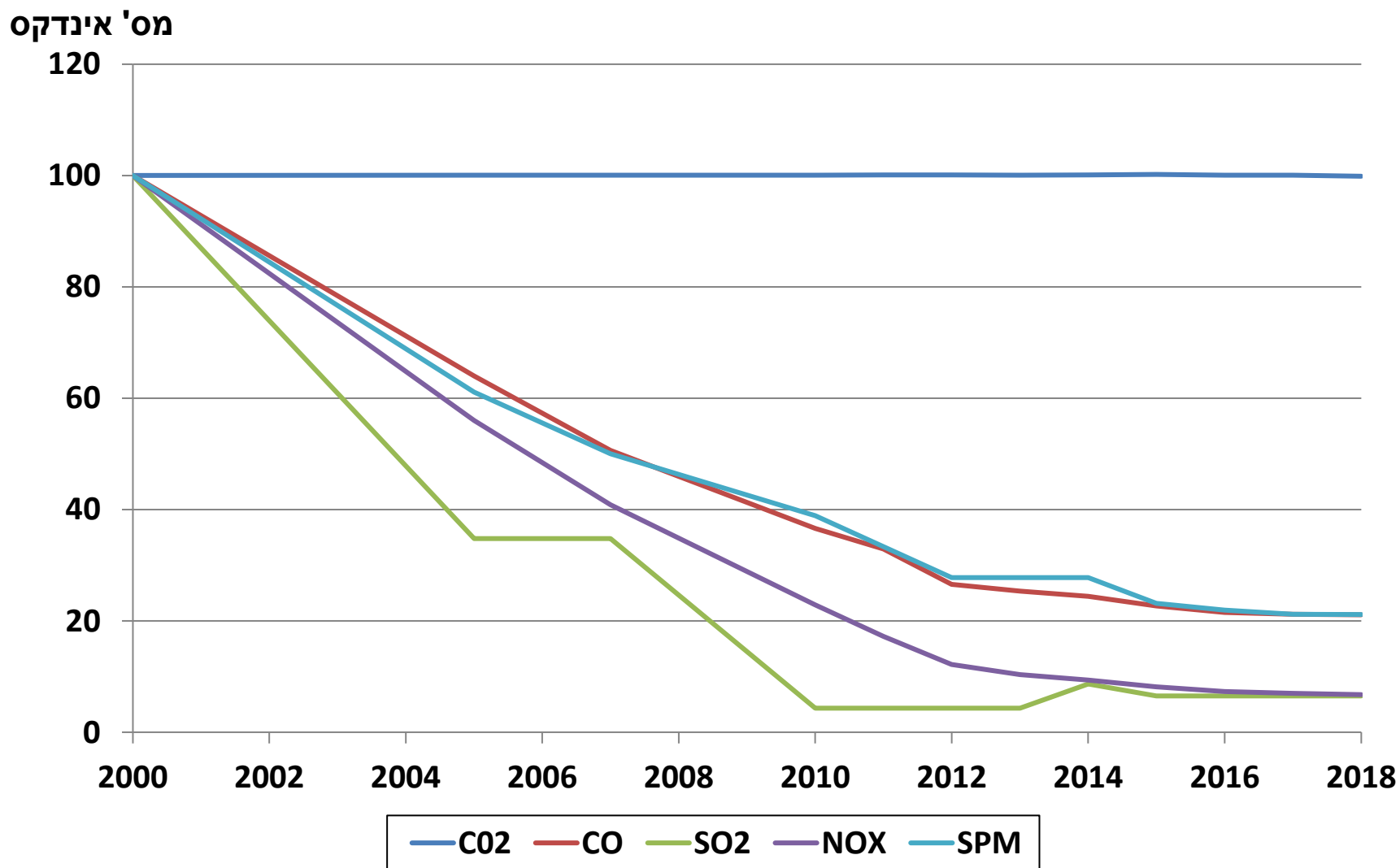
תחמוצות חנקן (NOx)



חלקיקי אבק מרחף (SPM)



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

PM	NOX	CO	CO2	תקן / מזהם
0.04	1.01	20.7	83.7	Euro 0
0.02	0.23	3.6	75.8	Euro 1
0.03	0.09	2.9	71.2	Euro 2
0.01	0.03	2.6	67.0	Euro 3
0.006	0.02	1.3	62.1	Euro 4
0.003	0.01	1.4	59.7	Euro 5
0.003	0.01	1.4	56.7	Euro 6
7.5%	1%	7%	68%	שיעור Euro 6 מ Euro 0

מקור: המשרד להגנת הסביבה, יולי 2016

עלות זיהום האוויר למשק במחירי 2019 (₪ לטון פליטה)

₪ 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)

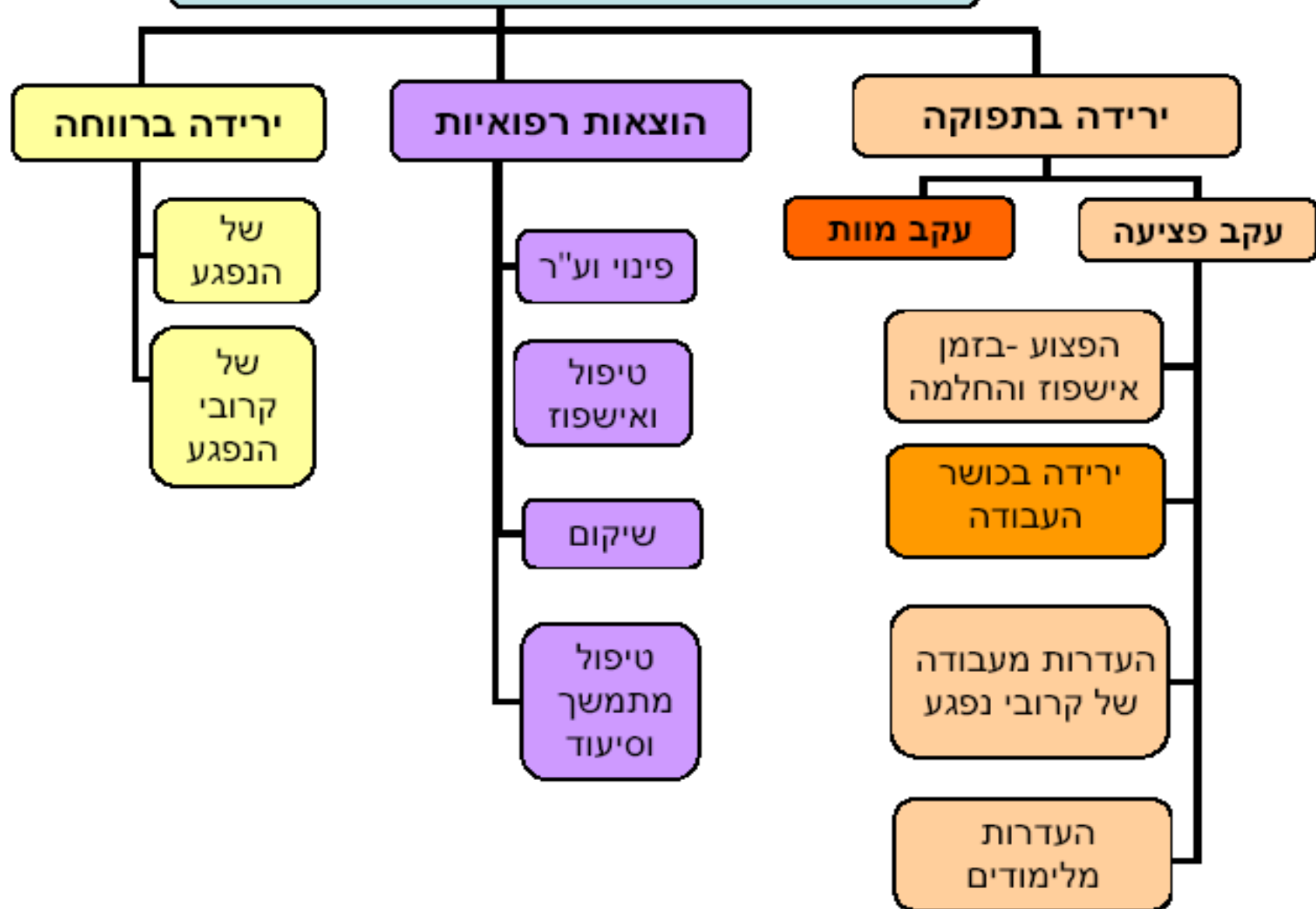
מחירי פליטה ב ש לליטר בנזין (במחיר 2019)

2030	2020	2018	2017	2016	2015	2010	
0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	פחמן דו- (CO ₂) חמצני
0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.07	פחמן חד- (CO) חמצני
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	גפרית דו- (SO ₂) חמצנית
0.04	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10	0.28	תחמוצות (NO _x) חנקן
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

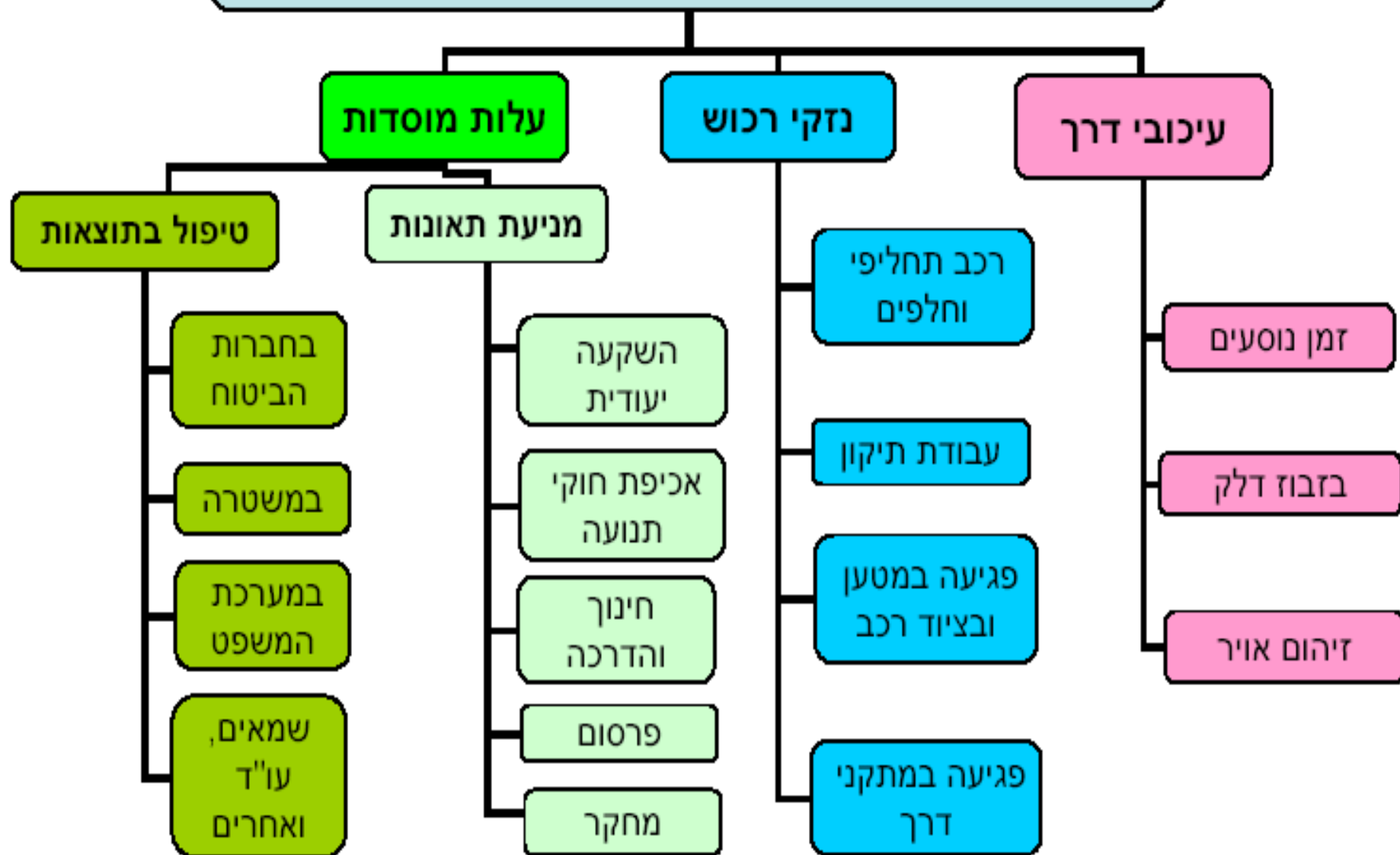
כלכלת בטיחות - עקרונות

- 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 הפינני 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 פגיעה 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 *

כמה תאונות דרכים יש בישראל בשנה ?

יש לנושא זה מידע מ 3 מקורות:

1. **משטרת ישראל** (באמצעות הלמ"ס) – מדווחת על תאונות עם נפגעים בשני סוגי תיקי תאונות (אך לרוב על סוג אחד)
 2. **בתי החולים** (מרכז הטראומה/ מכון גרטנר) – מידע מהם משולב חלקית מאוד בנתוני הלמ"ס.
 3. **חברות הביטוח** – ברשותן מידע על כל סוגי התאונות אך הן מנתחות את המידע בפרמטרים מסחריים, ולא ניתן לקבל מהן מידע בטיחותי.
- המידע הבטיחותי העיקרי הוא ממקור 1, והוא חלקי. ככל שהזמן עובר המשטרה רושמת פחות תאונות.**

סה"כ	תאונות ת"ד		תאונות "כללי עם נפגעים"	
	מהן קטלניות	סה"כ		
77,037	338	16,433	60,604	2008-10
63,452	278	13,516	49,936	2012-14
58,613	324	12,822	45,790	2016-18
-23.9%	-4.1%	-22.0%	-24.4%	שינוי יחסי בין 2016-18 ל 2008-10

האם באמת פחת מספר התאונות עם נפגעים בכ 24% בעשור המתואר ? - לפי נתוני בתי החולים לא חלה כל ירידה במספר הנפגעים השנתי.

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
אחוז הדיווח בלמ"ס	מרכז הטראומה	הלמ"ס	
51.8	18,821	9,755	1-8
53.8	6,344	3,414	9-14
62.3	2,368	1,475	16-24
67.8	2,033	1,379	25-75
	10	225	אחר/לא ידוע
54.9	29,576	16,248	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
אחוז הדיווח בלמ"ס	מרכז הטראומה	הלמ"ס	
63.1	7,211	4,553	נהג רכב
64.8	5,281	3,422	נוסע רכב
67.8	3,929	2,665	רוכב אופנוע
12.5	4,475	558	רוכב אופניים
65.8	5,860	3,858	הולך רגל
42.3	2,820	1,192	יתר הנפגעים
54.9	29,576	16,248	סה"כ

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	נהג 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

בשנת 2019 נהרגו בסה"כ 355 איש ובשנת 2020 (שנת הקורונה) 302, מתוכם 68 רוכבי אופנוע

נפגעים קשה וקשה מאוד במעורבות אופניים עפ"י רישום בתי החולים 2015-18

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 למשק של היפגעות בתאונות דרכים

לרבות מרכיב של "צער כאב וסבל" (נוהל פר"ת 2021 במיליוני ₪)

סה"כ	"צער, כאב, וסבל"	אובדן תפוקה ועלויות ישירות	חומרת פגיעה	סיווג נפגע
9.00	4.77	4.23	הרוג	הרוג
5.77	2.95	2.82	פצועים קשה מאוד	פצועים שאושפזו בבתי חולים ליומיים או יותר
2.18	1.03	1.15	פצועים קשה	
1.40	0.33	1.07	פצועים בינוני	
0.16	0	0.16	פצועים קל	
0.02	0.00	0.02	פצוע קל	פצועים שלא אושפזו בבתי חולים

מקדמי עלות מוצעים לתאונות דרכים עם נפגעים (במחירי 2020) באלפי ₪

סה"כ	עלויות נוספות	נזקי גוף			עלות לנפגע
9,150	150	9,000	תאונה קטלנית		
5,930	160	5,770	קשה מאוד	בתאונות עם פצועים מאושפזים לפי חומרת הפגיעה	
2,310	130	2,180	קשה		
1,490	90	1,400	בינוני		
210	50	160	קל		
50	28	22	תאונה עם פצוע שלא אושפז		

עלות ממוצעת לתאונה מדווחת בלמ"ס בתקופה 2016-18 לפי סוג דרך וסוג תאונה (אלפי ש" במחירי 2020)

תאונות בין-עירוניות	תאונות עירוניות	סוג התאונה
2,151	347	פגיעה בהולכי רגל
175	94	פנים-אחור
594	152	חזית - צד
2,618	217	חזית - חזית
243	105	כל היתר
365	110	סה"כ
701	246	התנגשויות רכב- אופנוע
1,559	247	פגיעה ברוכב אופניים (ותאונות אופניים עצמיות)
428	183	תאונות עצמיות (ללא אופנועים)
714	175	תאונות עצמיות של אופנועים
438	171	סה"כ

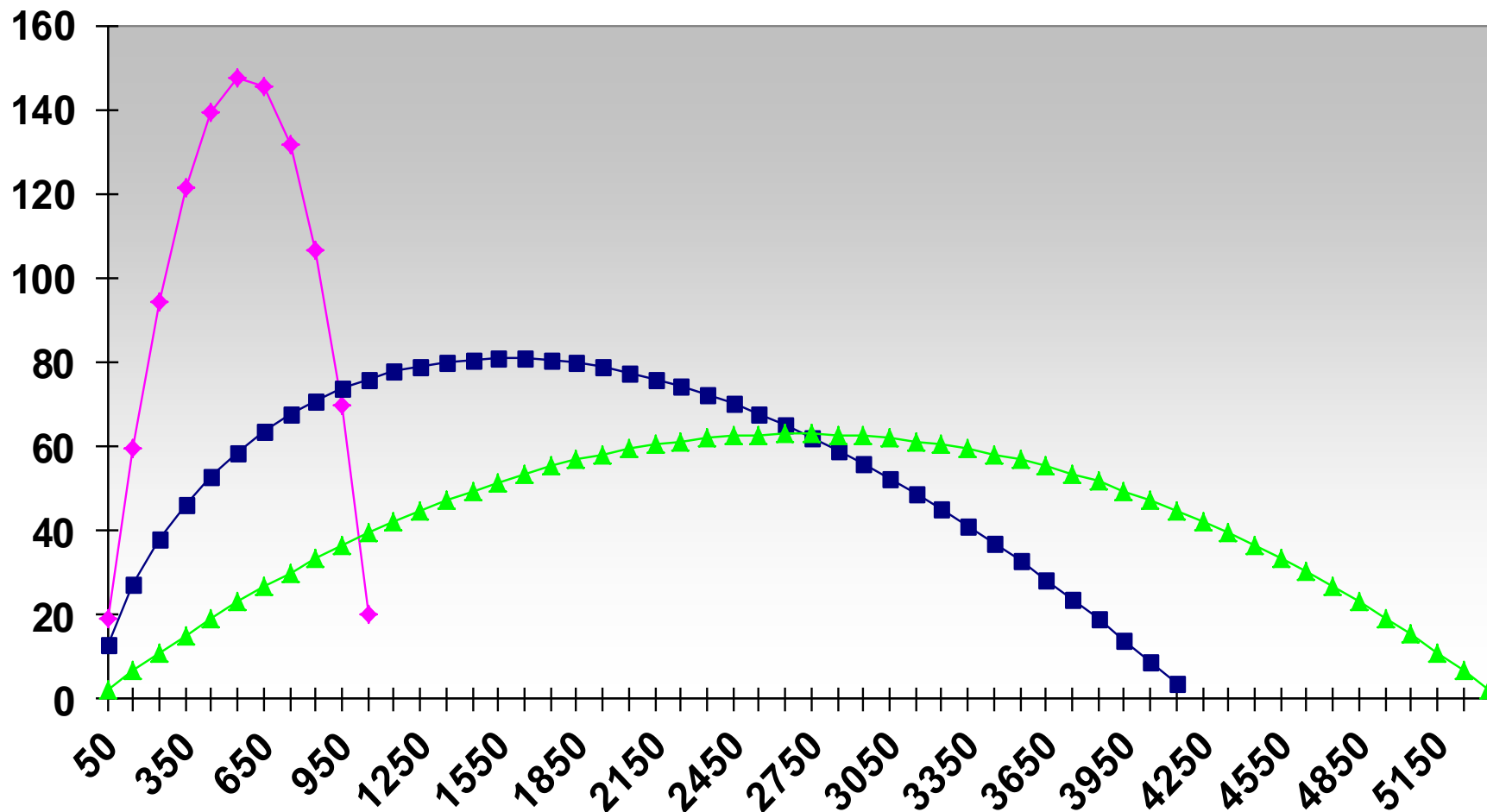
עלות התאונות המדווחות ע"י הלמ"ס במוצע לשנה בתקופה 2016-18 לפי סוג דרך וסוג תאונה (מיליארדי ₪ במחירי 2020)

התפלגות ב %	עלות לשנה	סוג התאונה
20.8%	2.86	פגיעה בהולכי רגל
19.6%	2.69	פנים-אחור
13.4%	1.85	חזית-צד
8.8%	1.21	חזית-חזית
5.1%	0.71	כל היתר
47.0%	6.45	סה"כ
10.1%	1.39	התנגשויות רכב- אופנוע
3.3%	0.45	פגיעה ברוכב אופניים (ותאונות אופניים עצמיות)
13.9%	1.91	תאונות עצמיות (ללא אופנועים)
4.9%	0.68	תאונות עצמיות של אופנועים
100.0%	13.74	סה"כ

בהתחשב בתאונות הידועות לבתי החולים ולא מוצגות בנתוני הלמ"ס העלות היא כ 15.8 מיליארד ₪ בשנה

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

דוגמאות למקדמי הפחתה מומלצים בנוהל פר"ת לעלויות תאונות עקב שיפור בתשתית

הערות	שינוי/ אחוז הפחתה	השיפור
הפחתת עלות של כ 0.5 מיליון ₪ לק"מ כביש בשנה בנפח תנועה של 12-19 אלף יר"ב ביממה.	כ 50%	הוספת מסלול בדרך עירונית חד מסלולית
	הפחתת כ 0.03 ₪ לק"מ יר"מ	מיחלוף קטעי כביש בין עירוני דו מסלולי
רק בתאונות רכב – לא הולכי רגל	57%	מעגל תנועה בצומת עירוני לא מרומזר
	18%	רימזור צומת עירוני
מעלות תאונות הלילה	18%	הוספת תאורה בקטע בין עירוני (לא בצומת)

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, בהרגלי העבודה, ביכולות לשנות הרגלי נסיעה, 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 מכון, 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.