

השלמת פערי מידע ומתודולוגיה עבור סקר הפליטות – תקציר מנהלים

מאת: זיו לזר, כלכלן ואנאליסט סביבתי

אדי דלקים בתחנות

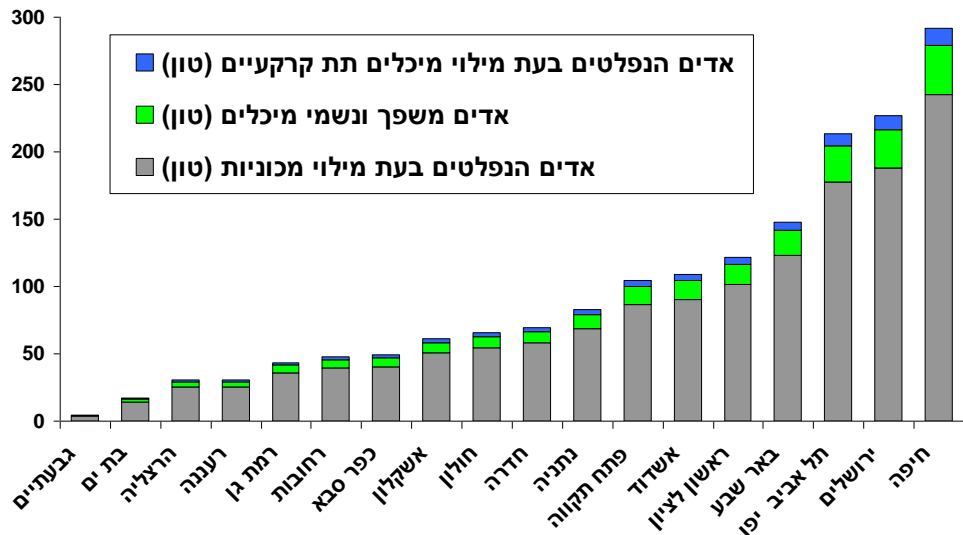
אדי דלקים הנם כל החומרים המתאדים לאוויר מדלקים נוזליים והמכילים פחמנים שאינם מתאן וכוללים מרכיבים אורגניים שונים כגון בנזן ועשרות חומרים אחרים המתאדים בטמפרטורת הסביבה. מילוי דלקים בתחנות גורר פליטת אדים אלו וכן תורם ליצירת אוזון בגובה הקרקע. הפליטות נגרמות בשלב מילוי מיכלי התחנה ע"י המיכליות ובשלב התדלוק של המכוניות. חומרים אלו ידועים כמסוכנים לאדם בשאיפה מתמשכת ומצטברת ומכאן הרצון לאמוד את היקף הפליטות ברחבי כל עיר ועיר.

השיטה: חושבה כמות הדלקים הממוצעת שנצרכה בתחנות הדלק השונות הפזורות בשטח המוניציפלי של ערי הפורום, מופו התחנות שהתקינו מערכות מסוג שלב 1 (stage I – VBS) ושלב 2 (stage II – VAS) ובוצע חישוב נידוף האדים בכל עיר על בסיס מקדמי הנידוף עם ובלי המערכות. הנתונים הם לשנת 2007 או במקרים מסויימים קרוב ככל הניתן לשנת 2007.

ב-2007 נרכשו כ-1.7 מיליארד ליטר דלקים (מתוכם כ-1.1 בנזין) ב 395 תחנות דלק ציבוריות ברחבי ערי הפורום.

פליטות אדי דלקים לפי עיר ומקור הפליטה שנת 2007

מילוי כמות זו במיכלים התת קרקעיים ולאחר מכן במכוניות גרמו לנידוף של 1,717 טון אדי בנזין.



בכל התחנות היו מערכות למישוב אדים במיכלים התת קרקעיים (שלב 1) כאשר רק בתחנה אחת בכ"ס היתה ב-2007 מערכת למישוב אדים בתדלוק עצמו (שלב 2).

התקנה מלאה של מערכות שלב 2 (במחיר של כ-250,000 ש"ח לתחנה קיימת ממוצעת על פי נתוני חברות הדלק) בכל התחנות בערי הפורום היתה מקטינה את נידוף האדים לכ-430 טון, כלומר ירידה של כ-70%

על פי הוראות שפרסם המשרד להגנת הסביבה ב-2006 יש להתקין בכל תחנות התדלוק שמרחקן מאזור מגורים קטן מ-40 מטר מתקני stage 2. התקנת המשאבות תעשה על פני תקופה של 4 שנים. כלומר אמורה להסתיים בקרוב. חלק מחברות הדלק הגיעו לסיכומים עם המשרד להגנת הסביבה המגדירים קבועי זמן שונים לביצוע ההתקנות.

על פי המידע הקיים במשרד להגנת הסביבה מאז 2007 ועד היום הותקנו מערכות שלב 2 ב-40 תחנות בערי הפורום, מתוכן כ-20 בת"א. כלומר, הדרך ליישום מלא של הנחיות עוד ארוכה. לעיריות יש יכולת להשפיע על יישום מיטבי של ההנחיות בתחומן. נושא זה מקבל משנה תוקף בשל צפיפות שימושי הקרקע במרבית שטחי ערי הפורום.

השוואה לנתוני העבר מראה שממוצע המכירות לתחנה (ברמה הארצית) אינו משתנה באופן משמעותי עם השנים כך שמרבית הגידול בביקוש לדלק מגיע מהוספת תחנות, עם כל המשמעויות הנלוות כלומר זיהום אוויר מים וקרקע, וכן בזבז משאבי קרקע. **בקצב הנוכחי נוספות 3% (כ-30 תחנות) בכל שנה**, שהוא בערך קצב הגידול השנתי בנוסחה הפרטית בערי הפורום.

על פי הוראות שפרסם המשרד להגנת הסביבה ב-2006 יש להתקין בכל תחנות התדלוק שמרחקן מאזור מגורים קטן מ 40 מטר - מתקני stage 2. התקנת המשאבות תעשה על פני תקופה של 4 שנים. כלומר אמורה להסתיים בקרוב.

להלן חישוב הפליטות לו היו מותקנות מערכות stage 2 בכל התחנות ב-2007:

התקנה מלאה של מערכות מישוב											
צמצום פליטות כתוצאה מהתקנה מלאה של stage 2	סה"כ אדים מתחנות הדלק (טון) 2007 להשוואה	סה"כ אדים מתחנות הדלק (טון) התקנה מלאה stage 1+2	אדים משפך ונשמי מיכלים (טון)	אדים הנפליטים בעת מילוי מכונות (טון)	אדים הנפליטים תת קרקעיים (טון)	מזה מכירות במזין בתחנות	סה"כ מכירת דלקים בתחנות	תחנות עם VAS Stage 2	תחנות עם VBS Stage 1	מספר תחנות דלק כולל	ישוב
-81.4	108.9	27.5	13.7	9.0	4.7	68,531,250	106,250,000	25	25	25	אשדוד
-45.6	61.0	15.4	7.7	5.1	2.6	38,377,500	59,500,000	14	14	14	אשקלון
-110.7	148.1	37.4	18.6	12.3	6.4	93,202,500	144,500,000	34	34	34	באר שבע
-13.0	17.4	4.4	2.2	1.4	0.8	10,965,000	17,000,000	4	4	4	בת ים
-3.3	4.4	1.1	0.5	0.4	0.2	2,741,250	4,250,000	1	1	1	גבעתיים
-22.8	30.5	7.7	3.8	2.5	1.3	19,188,750	29,750,000	7	7	7	הרצליה
-48.8	66.4	17.6	8.8	5.8	3.0	43,860,000	68,000,000	16	16	16	חדרה
-48.8	65.3	16.5	8.2	5.4	2.8	41,118,750	63,750,000	15	15	15	חולון
-218.2	291.8	73.6	36.7	24.2	12.7	183,663,750	284,750,000	67	67	67	חיפה
-169.3	226.5	57.2	28.5	18.8	9.8	142,545,000	221,000,000	52	52	52	ירושלים
-39.1	52.3	13.2	6.6	4.3	2.3	32,895,000	51,000,000	12	12	12	כפר סבא
-61.9	82.8	20.9	10.4	6.9	3.6	52,083,750	80,750,000	19	19	19	נתניה
-78.2	104.5	26.4	13.2	8.7	4.5	65,790,000	102,000,000	24	24	24	פתח תקווה
-91.2	122.0	30.8	15.4	10.1	5.3	76,755,000	119,000,000	28	28	28	ראשון לציון
-35.8	47.9	12.1	6.0	4.0	2.1	30,153,750	46,750,000	11	11	11	רחובות
-32.6	43.6	11.0	5.5	3.6	1.9	27,412,500	42,500,000	10	10	10	רמת גן
-22.8	30.5	7.7	3.8	2.5	1.3	19,188,750	29,750,000	7	7	7	רעננה
-159.6	213.4	53.9	26.9	17.7	9.3	134,321,250	208,250,000	49	49	49	תל אביב יפו
-1,283.1	1,717.3	434.2	216.6	142.9	74.7	1,082,793,750	1,678,750,000	395	395	395	סה"כ

ניתן לצמצם את פליטות האדים בכ- 70% לעומת 2007 בערי הפורום ע"י חיוב חברות הדלק לממש את הוראות המשרד להגנת הסביבה בקצב ההקנה שסוכם עמן. חלק מהתחנות אינן מחוייבות בהתקנת stage 2, בשל מרחקן מאזור מגורים אולם גם בהן ממולצת ההתקנה מטעמי בריאות העובדים והלקוחות.

חשמל

יצור החשמל החשמל הנו המרכיב העיקרי בפליטת גזי החממה והמזהמים בישראל ובמקומות שונים בעולם. בישראל אחראי ייצור החשמל לכ-65% מפליטת ה-CO2, 75% מה-SOX, 60% מה-NOX, ויותר מ-50% מהחומר החלקיקי המרחף (המקור: למ"ס, שנתון סטטיסטי 2009). מקור פליטת גזי החממה מוגדר כעיר שבה נצרך החשמל שייצורו גרם לפליטה.

צריכת חשמל לפי מגזר שנת 2007

סה"כ שנתי קוט"ש

עיר	ביתי	חקלאי	מים	מסחרי	תאורה	תעשייתי	סה"כ
אשדוד	348,682,838	1,583,768	13,250,923	243,665,581	3,036,876	205,915,326	816,135,312
אשקלון	181,292,255	3,507,695	3,310,490	109,706,683	6,110,385	48,940,956	352,868,464
באר שבע	348,349,491	490,359	16,645,785	344,687,569	11,401,467	106,727,727	828,302,398
בת ים	254,394,503	68,749	4,366,813	107,285,023	3,454,360	30,392,453	399,961,901
גבעתיים	137,610,296	141,361	1,144,190	88,264,440	1,479,368	1,772,901	230,412,556
הרצליה	264,627,603	687,432	4,586,716	202,643,921	3,300,038	14,621,965	490,467,675
חדרה	148,882,340	1,848,627	4,660,101	88,106,183	3,612,352	17,766,850	264,876,453
חולון	349,890,113	253,420	2,310,420	173,212,254	4,542,856	88,609,174	618,818,237
חיפה	579,881,417	3,105,448	12,930,932	620,809,255	17,674,597	283,144,596	1,517,546,245
ירושלים	824,918,571	176,359	980,127	862,856,737	26,658,523	148,026,573	1,863,616,890
כפר סבא	196,988,177	646,318	4,405,657	116,578,858	4,363,301	26,069,097	349,051,408
נתניה	342,634,366	772,056	6,020,862	287,316,093	7,654,893	55,648,325	700,046,595
פתח תקווה	407,645,011	9,222,671	2,492,929	418,819,593	7,177,462	96,921,803	942,279,469
ראשון לציון	500,145,538	2,767,598	68,582,472	332,944,160	4,381,547	150,311,414	1,059,132,729
רחובות	228,272,406	443,168	4,080,685	135,787,047	4,588,573	79,122,075	452,293,954
רמת גן	374,257,700	302,573	3,777,124	437,925,094	3,965,965	21,757,760	841,986,216
רעננה	196,824,984	938,303	7,673,300	138,169,758	2,737,255	54,103,473	400,447,073
ת"א	1,115,956,896	2,259,216	1,810,488	1,772,272,863	20,711,651	163,748,867	3,076,759,981
סה"כ	6,801,254,505	29,215,121	163,030,014	6,481,051,112	136,851,469	1,593,601,335	15,205,003,556

התפלגות הסקטורים באחוזים בכל עיר בשנת 2007

עיר	ביתי	חקלאי	מים	מסחרי וציבורי	תאורה	תעשייתי	סה"כ
אשדוד	42.7%	0.2%	1.6%	29.9%	0.4%	25.2%	100.0%
אשקלון	51.4%	1.0%	0.9%	31.1%	1.7%	13.9%	100.0%
באר שבע	42.1%	0.1%	2.0%	41.6%	1.4%	12.9%	100.0%
בת ים	63.6%	0.0%	1.1%	26.8%	0.9%	7.6%	100.0%
גבעתיים	59.7%	0.1%	0.5%	38.3%	0.6%	0.8%	100.0%
הרצליה	54.0%	0.1%	0.9%	41.3%	0.7%	3.0%	100.0%
חדרה	56.2%	0.7%	1.8%	33.3%	1.4%	6.7%	100.0%
חולון	56.5%	0.0%	0.4%	28.0%	0.7%	14.3%	100.0%
חיפה	38.2%	0.2%	0.9%	40.9%	1.2%	18.7%	100.0%
ירושלים	44.3%	0.0%	0.1%	46.3%	1.4%	7.9%	100.0%
כפר סבא	56.4%	0.2%	1.3%	33.4%	1.3%	7.5%	100.0%
נתניה	48.9%	0.1%	0.9%	41.0%	1.1%	7.9%	100.0%
פתח תקווה	43.3%	1.0%	0.3%	44.4%	0.8%	10.3%	100.0%
ראשון לציון	47.2%	0.3%	6.5%	31.4%	0.4%	14.2%	100.0%
רחובות	50.5%	0.1%	0.9%	30.0%	1.0%	17.5%	100.0%
רמת גן	44.4%	0.0%	0.4%	52.0%	0.5%	2.6%	100.0%
רעננה	49.2%	0.2%	1.9%	34.5%	0.7%	13.5%	100.0%
ת"א	36.3%	0.1%	0.1%	57.6%	0.7%	5.3%	100.0%
סה"כ	44.7%	0.2%	1.1%	42.6%	0.9%	10.5%	100.0%

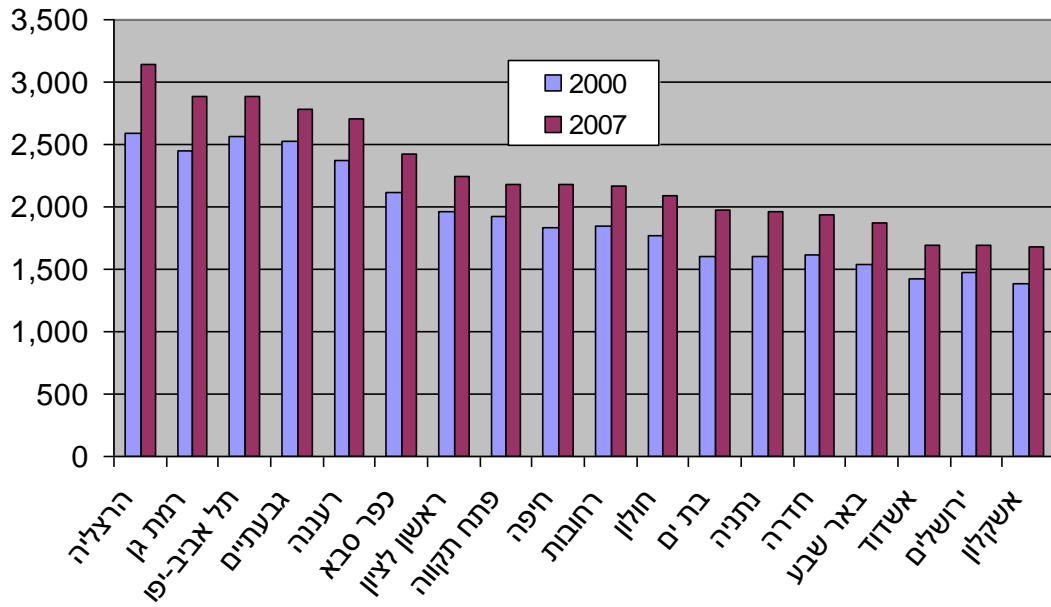
החשמל הביתי הוא בעל המשקל הרב ביותר במרבית הערים. בערים הגדולות ת"א, י"ם וחיפה וכן ברמת גן הסקטור הגדול הוא המסחרי – ציבורי.

צריכת החשמל ביתית הממוצעת לתושב 2000 מול 2007

צריכת חשמל ביתית לתושב	סה"כ צריכת חשמל ביתית (קוט"ש)			אוכלוסיה					
	2007	2000	שינוי	2007	2000	שינוי			
19%	1,696	1,427	40%	348,682,838	248,679,085	18%	205,594	174,224	אשדוד
21%	1,674	1,379	33%	181,292,255	136,434,028	9%	108,327	98,937	אשקלון
22%	1,875	1,533	31%	348,349,491	265,042,535	7%	185,781	172,860	באר שבע
23%	1,968	1,604	16%	254,394,503	219,692,791	-6%	129,265	136,980	בת ים
10%	2,781	2,521	16%	137,610,296	118,569,874	5%	49,490	47,031	גבעתיים
22%	3,145	2,584	23%	264,627,603	214,802,928	1%	84,140	83,139	הרצלייה
20%	1,941	1,612	29%	148,882,340	115,811,561	7%	76,710	71,842	חדרה
18%	2,084	1,764	20%	349,890,113	292,201,013	1%	167,928	165,669	חולון
19%	2,183	1,833	17%	579,881,417	495,919,120	-2%	265,611	270,518	חיפה
15%	1,694	1,472	25%	824,918,571	661,664,508	8%	487,000	449,543	ירושלים
14%	2,418	2,118	24%	196,988,177	158,976,710	8%	81,456	75,077	כפר סבא
22%	1,956	1,604	32%	342,634,366	259,191,302	8%	175,150	161,605	נתניה
14%	2,185	1,921	27%	407,645,011	321,627,964	11%	186,532	167,454	פתח תקווה
14%	2,241	1,964	26%	500,145,538	397,074,103	10%	223,153	202,209	ראשון לציון
17%	2,166	1,848	30%	228,272,406	175,651,755	11%	105,371	95,046	רחובות
18%	2,884	2,444	20%	374,257,700	311,588,566	2%	129,774	127,476	רמת גן
14%	2,699	2,374	26%	196,824,984	156,334,897	11%	72,921	65,859	רעננה
12%	2,882	2,562	23%	1,115,956,896	908,017,897	9%	387,234	354,428	תל אביב-יפו
17%	2,179	1,869	25%	6,801,254,505	5,457,280,636	7%	3,121,433	2,919,897	סה"כ/ממוצע

ניתן לראות כי בעוד שהאוכלוסיה גדלה משנת 2000 ועד 2007 ב-8% בממוצע - הצריכה הביתית הממוצעת לתושב גדלה בשיעור של 17% או כ-2.2% בשנה בממוצע.

אם נסדר את צריכת החשמל הביתית הממוצעת לתושב מהקטן לגדול עולה התמונה הבאה:



הצריכה הממוצעת לתושב בהרצליה בכ-85% מזו שבירושלים אשקלון ובאשדוד.

להלן פליטות הנגזרות מצריכת החשמל לעיל ומקדמי פליטה של חברת החשמל כמפורט בדוח "חברת החשמל - תמצית הביצועים הסביבתיים 2009". פליטות CO2 חושבו על סמך המקדמים שפורסמו במדריך להכנת סקר פליטות גזי חממה.

פליטות CO2 2007 בטון לפי מקדם 788.8 גרם/קוט"ש

עיר	ביתי	חקלאי	מים	מסחרי וציבורי	תאורה	תעשייתי	סה"כ
אשדוד	275,041	1,249	10,452	192,203	2,395	162,426	643,768
אשקלון	143,003	2,767	2,611	86,537	4,820	38,605	278,343
באר שבע	274,778	387	13,130	271,890	8,993	84,187	653,365
בת ים	200,666	54	3,445	84,626	2,725	23,974	315,490
גבעתיים	108,547	112	903	69,623	1,167	1,398	181,749
הרצליה	208,738	542	3,618	159,846	2,603	11,534	386,881
חדרה	117,438	1,458	3,676	69,498	2,849	14,014	208,935
חולון	275,993	200	1,822	136,630	3,583	69,895	488,124
חיפה	457,410	2,450	10,200	489,694	13,942	223,344	1,197,040
ירושלים	650,696	139	773	680,621	21,028	116,763	1,470,021
כפר סבא	155,384	510	3,475	91,957	3,442	20,563	275,332
נתניה	270,270	609	4,749	226,635	6,038	43,895	552,197
פתח תקווה	321,550	7,275	1,966	330,365	5,662	76,452	743,270
ראשון לציון	394,515	2,183	54,098	262,626	3,456	118,566	835,444
רחובות	180,061	350	3,219	107,109	3,619	62,411	356,769
רמת גן	295,214	239	2,979	345,435	3,128	17,163	664,159
רעננה	155,256	740	6,053	108,988	2,159	42,677	315,873
ת"א	880,267	1,782	1,428	1,397,969	16,337	129,165	2,426,948
סה"כ	5,364,830	23,045	128,598	5,112,253	107,948	1,257,033	11,993,707

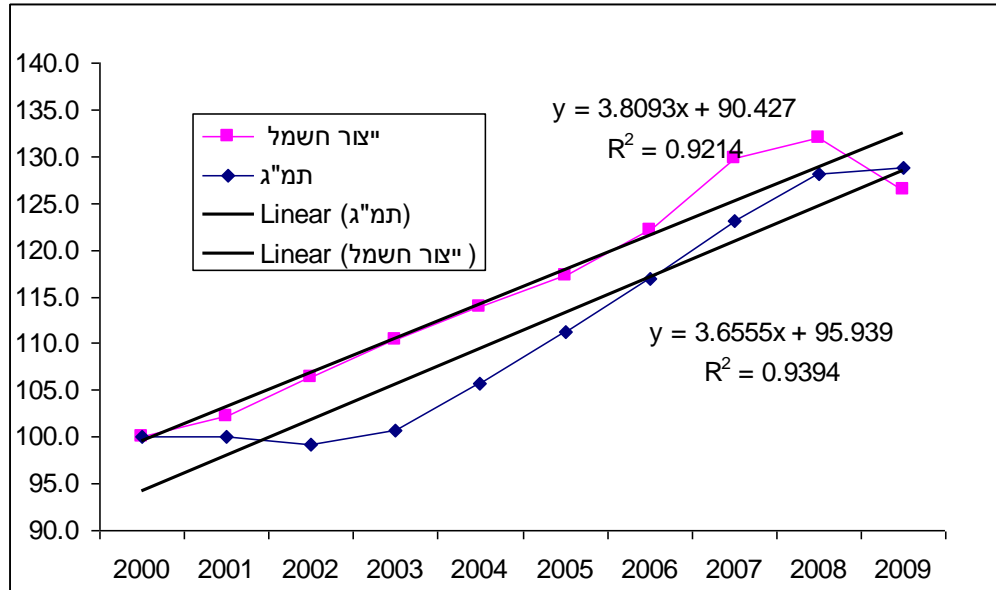
השינויים בפליטות הנובעות מיצור חשמל ברמת סה"כ עיר מ-2000 ל-2007

עיר	פחמן דו חמצני	SO2	NOx	חומר חלקיקי
אשדוד	30%	-36%	-12%	-39%
אשקלון	32%	-35%	-11%	-38%
באר שבע	28%	-37%	-13%	-40%
בת ים	8%	-46%	-27%	-49%
גבעתיים	25%	-38%	-16%	-42%
הרצליה	27%	-37%	-14%	-41%
חדרה	21%	-40%	-18%	-43%
חולון	16%	-43%	-22%	-46%
חיפה	16%	-43%	-22%	-46%
ירושלים	30%	-36%	-12%	-39%
כפר סבא	33%	-34%	-10%	-38%
נתניה	35%	-33%	-9%	-37%
פתח תקווה	29%	-36%	-13%	-40%
ראשון לציון	20%	-41%	-19%	-44%
רחובות	32%	-35%	-11%	-39%
רמת גן	21%	-40%	-18%	-44%
רעננה	37%	-32%	-8%	-36%
ת"א	21%	-40%	-18%	-44%
סה"כ	24%	-39%	-16%	-42%
שינוי שנתי ממוצע	3.1%	-6.7%	-2.5%	-7.5%

במזהמי האויר SO2, NOx, PM במקדם הפליטה (הנובע מסוגי הדלקים והתקנת מערכות שונות ע"י חברת החשמל) קיזז את אפקט הגידול בצריכה כך שסה"כ הזיהום בין 2000 ל-2007 ירד. בפחמן דו חמצני ירד מקדם הפליטה ב-8% בלבד ולכן גדלו הפליטות בתקופה הנדונה ב-24%

ישנו קשר הדוק בין צריכת החשמל לפעילות הכלכלית במשק. ההשמחה לכך ניתנת בגרף הבא:

יצור החשמל והתמ"ג לפי בסיס 2000 = 100



גם אם יש שנים בהן שיעורי הצמיחה אינם זהים הרי שלאורך זמן הקשר ברור תחזיות צמיחת התמ"ג הישראלי המקובלות במשק נעות סביב ה-4% בשנה.

על בסיס ההנחות בדוח מקינזי לבדיקת פוטנציאל הפחתת גזי החממה בישראל בצענו תחזית ל-2020 המצביעה על גידול של 56% בצריכת החשמל לעומת שנת 2007.

בהסתמך על תכנית הפיתוח של משרד התשתיות המפורטת במסמך "תכנית אב למשק החשמל" מיולי 2009 חישבנו מקדם פליטת Co2 של 686 גרם/קוט"ש לשנת 2020. יצוין כי תכנית זו כוללת הספק מותקן של GW1 של אנרגיות מתחדשות (בעיקר סולארי, רוח).

חיבור הנתונים והשוואתם לשנת 2007 נותן תחזית גידול של 36% בפליטות במשך 13 שנים מ-2007 ל-2020 או כ-2.4% בשנה.

תחבורה

שאלת המחקר שהוגדרה הנה : כמה דלקים נצרכו על ידי כלי רכב מסוגים שונים ולמטרות שונות בשטחי הערים. כמו כן הוגדר צורך בכלי עבודה המאפשר עדכון האומדנים מדי תקופה ובחינת השפעתם של צעדי מדיניות שונים הננקטים ע"י הרשויות לצמצום הפליטה ע"י כלי רכב בתחומן.

המתודולוגיה של ICLEI דורשת חישוב פליטות כנגזרת של נסועה בקטגוריות רכב השונות ולכן נדרש למעשה **אומדן טוב ככל האפשר של מספר הק"מ שנסעו כלי הרכב השונים ברחבי השטח המוניציפלי של כל אחת מערי הפורום בהפרדה לסוג הרכב**. בדפי החישוב הנלווים להוראות להכנת סקר הפליטות יש לכלל סוג רכב צריכת דלק ממוצעת וממנה נגזרת כמות הדלקים הכוללת שנצרכה והפליטות לפי מקדמי הפליטה.

קביעה נוספת של המתודולוגיה היא שיש לנטרל ככל הניתן את תנועת המעבר דרך העיר על מנת לחשב רק את הפליטות הקשורות לעיר ולא אלו הנובעות מהמצאותה על ציר תחבורה ראשי.

חסרונה של שיטה זו הוא האי דיוק הנוצר בדרך : צריכת דלק ממוצעת תלויה במהירות נסיעה של כל רכב בכל נקודת זמן וממוצעי מהירות ותוואי שטח אינם משקפים את המצב לאמיתו. צריכת דלק של אותו רכב יכולה להשתנות בעשרות אחוזים בתנאי נסיעה שונים. בנוסף – הפליטות של מזהמים אחדים תלויות בחום המנוע ולכן 5 נסיעות 10 ק"מ פולטות יותר מנסיעה אחת של 50 ק"מ באותו כלי רכב.

ישנן מספר גישות לנושא זה:

- שימוש ברישום כלי רכב לפי עיר ונתוני נסועה ממוצעת מסקרים שונים כבסיס, וביצוע התאמות שונות לחישוב אומדן סה"כ הק"מ שנסעו בעיר - הבעיה העיקרית כאן היא שמיקום רישום הרכב לא בהכרח מהווה אינדיקציה למיקום הבסיס של המשתמש ברכב. כמו כן ברחבי העיר נוסעים כ"ר של המתגוררים בה וגם של נהגים שרכבם רשום בעיר אחרת והם נוסעים אליה ובתוכה למטרות עבודה ובילוי. לא ידוע איזה חלק מהנסיעות של כל כלי רכב הרשום בעיר נעשה בתוך שטח העיר.
- ספירות תנועה ידניות המתבצעות על ידי מחלקות התחבורה בערים וכן ע"י גורמי תכנון אחרים למטרות שונות – **למרות ששיטה זו בוחנת את המציאות** בטווחי הזמן ובמקומות הנבדקים הרי ש המטרות בד"כ נקודתיות – בחינת עומסים או צורך בכביש חדש או ברמזור. ברוב המקרים אין ספירות לנקודות הזמן הדרושות לעבודה. הספירות אינן מתבצעות באותו אופן ולאותה מטרה בערים שונות. אין קשר סיבתי למשתנים אחרים ולכן יש לבצע מספר פעמים בשנה או בשיטת "לפני ואחרי" כדי לבחון השפעת צעדי מדיניות על התנועה. ספירה נותנת מספר כלי רכב בנקודה או מקטע – קשה מאד לתרגם אותה לק"מ רכב.
- מודלים של תחבורה - כלים המשמשים אנשי תכנון תחבורה לחיזוי נפחי התנועה מסוגים שונים ברחבי העיר על בסיס פרמטרים שונים שהוכחו כמשפיעים על היקף התנועה ומיקומה במרחב. המודלים מכילים את מרבית המשתנים ומאפשרים תחזיות (למעשה הם נועדו לתחזיות) אך הם עוסקים במישרין רק בתנועת הרכב הפרטי ולכן אינם מסייעים כיום בחישוב הנסועה האחראית על כמחצית מצריכת הדלקים (מסחרי, משאיות, אוטובוסים). כמו כן, הם מהווים מעין "קופסה שחורה" בה מניחים הנחות, מעדכנים נתונים וצירים ומקבלים תוצאה שקשה לעיתים להבין אינטואיטיבית.

האתגר היה בצורך לאזן בין מספר עקרונות כלליים בנושא אומדן הפליטות מתחבורה:

- דיוק בתאור המצב ששרר ב-2000 וב-2007.
- קישור נפח התנועה למשתנים מסבירים בתחומים שונים (מקרו כלכליים, סוציו-דמוגרפיים, תשתיתיים מקומיים, רגולטורים).
- יכולת לבצע אומדן לשנת 2020 וכן לשנות ביניים בזמן עדכון הסקר.

ניתן לקבוע כי אין בנמצא שיטה אחת העונה על כל העקרונות הללו בכל סוגי התחבורה.

בחרנו להתבסס כנקודת מוצא על מודל תחבורה מודרני מבוסס פעילויות מהסוג המכונה Activity Based (ABM) Models. רמת הפירוט של הקלט והפלט היא רמת הפרט. נוקטים גישה לא מצרפית (דיסאגרטיבית) אשר מסבירה את פעילויות הפרט ואת הנסיעות הנגזרות מהן. גישה זו מניחה שההחלטות השונות של הפרט הן תלויות זו בזו וקובעות את מכלול הנסיעות של אותו יום.

למודל מסוג ABM היתרונות הבאים:

- דיסאגרטיבי - מבטא החלטות ברמת הפרט ומשק הבית ונותן תוצר של הסבירות לביצוע נסיעה באופן ובמסלול מסויים.
- הביקוש לנסיעות הוא תוצאה של ביקוש להשתתפות בפעילויות והתנהגות הפרט הנמצאים כחלק אינטרלי מהמודל.
- יש הירארכיה מובנה לקבלת החלטות ברמת משק הבית בטווח הקצר והארוך כמו, בעלות על רכב וכו'.
- קיימת בו רגישות ליחס בין הנסיעות, תקופות היום, שינויים בגודש, משתני מדיניות תחבורתיים וכו'.

מודל התחבורה החדש למטרופולין ת"א פותח בשנים האחרונות במימון משרד התחבורה על ידי צוות מומחים הכולל את הפרופ' יורם שיפטן מהטכניון ובאחריות חברת Cambridge Systematics מארה"ב. יישום המודל בישראל נעשה על ידי מר ליאוניד חייפיץ ותחזוקתו נעשית על ידי חברת נתיבי איילון ע"ג' רותי אמיר.

פיתוח וכיול המודל התבסס על סקר הרגלי נסיעה ארצי שבוצע ע"י הלמ"ס, מפקדי אוכלוסין ארציים וסקרים נוספים למטרות ספציפיות, סקרים באזורים עם רכבות, סקרי חניה וכן סקרי תחבורה ציבורית שונים.

אנו בנינו מודל פשוט המתבסס על חלק מעקרונות מודל מטרופולין ת"א החדש והסקרים שנעשו עבורו וכן על סקרים שונים של הלמ"ס. מודל זה עוסק רק בנסיעה ברכב פרטי שהיא המרכיב הדומיננטי בנסועה. לתוצאות מודל זה נוסף קטגוריות של מסחרי, משאיות ומוניות ספיישל מנפחי רקע/ספירות תנועה. עבור נסועת אוטובוסים החישוב המפורט לפי הקווים נותן את המענה הטוב ביותר.

יודגש כי מדובר במודל כללי מאד ואף פשטני במונחים של עולם המודלים בתחום התחבורה אך מבדיקת המודלים הקיימים ושיחות עם העוסקים במודלים אלו עולה כי השיטה שלהלן כוללת חלק ניכר מהנסועה השנתית הממוצעת בכל עיר ועיר וזאת ללא הסיבוך הרב ואלמנט הקופסה השחורה המקשה על הבנת המודלים המורכבים.

תוצרי המודל: ק"מ רכב יומי של רכב פרטי בגבולות המוניציפלים של 18 הערים החתומות על האמנה בשנת 2007 וכן אומדן אחורה לשנת 2000 ואומדן "עסקים כרגיל" לשנת 2020.

רכב פרטי הנה הקטגוריה המרכזית והקשה לחיזוי, כאשר הקטגוריות האחרות, למעט אוטובוסים, מחושבות כנפחי רקע לרכב פרטי. לכן אם נמצא פתרון יעיל ופשוט יחסית עבור הסקר, נוכל להשתמש בנפחי הרקע מבוססי ספירות התנועה בערים השונות על מנת לחשב את הקטגוריות האחרות.

המשתנים המסבירים של המודל שלנו הנם:

1. מספר מקומות העבודה בעיר – לכל מקום עבודה צריך להגיע אדם באמצעי תחבורה כלשהו.
2. מספר תושבי העיר המשתייכים למעגל התעסוקה – חלקם עובדים בעיר וחלקם מחוצה לה.
3. אחוז תושבי העיר העובדים מחוץ לעיר – פרט כזה נוסע ליישוב אחר ובמקומו מגיע פרט אחר מחוץ לעיר.
4. רדיוס חיצוני : רדיוס עיגול השווה בשטחו לשטח המוניציפאלי של העיר. רק היוממיים מגיעים אליו או חוצים אותו.
- רדיוס פנימי : רדיוס עיגול השווה בשטחו לשטח הפנימי- אורבני. (שאינו פתוח או חקלאי ולפיכך כמעט שלא נוסעים בו). תושבי העיר העובדים/קונים/מבלים בה- אינם חוצים את קו העיגול הזה. ראו תרשים 8 להלן.
5. אחוז המגיעים ברכב פרטי למקום עבודתם כנהגים וכנוסעים – מקרב תושבי העיר, וכן ממוצע כלל ארצי הרלוונטי לאלה המגיעים לעיר מבחוץ.

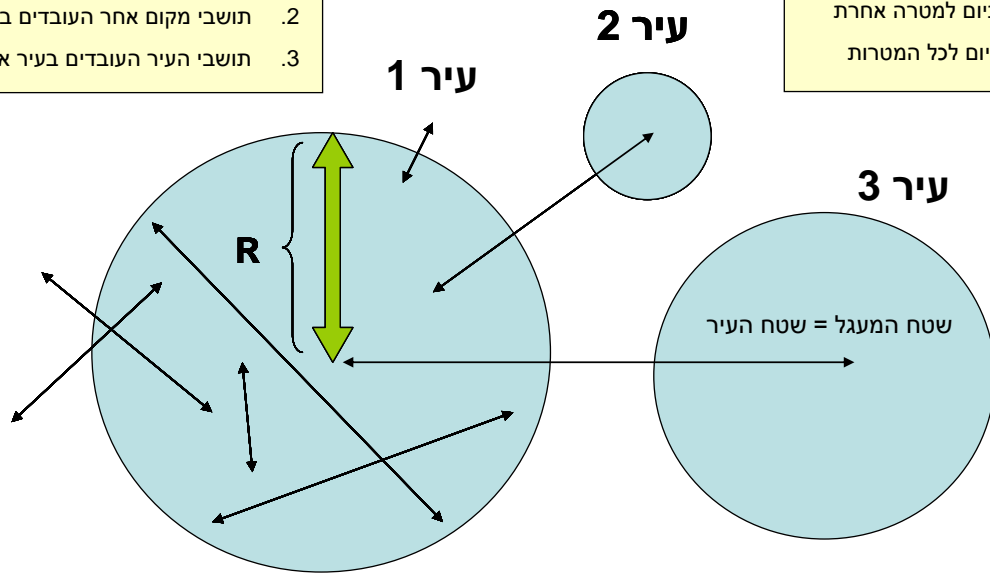
6. ממוצע נוסעים ברכב פרטי – גדול מאחד ושונה בין סוג פעילות אחד לאחר, וכן בין עיר לעיר. מפקד האוכלוסין של למ"ס לשנת 2008 סיפק לנו נתונים טובים בסעיף זה.

חישוב הק"מ בקטגוריית רכב פרטי מתבצעת כדלקמן: הנוסעה בעיר = מספר הנסיעות X אורך נסיעה ממוצעת בעיר X אחוז המשתמשים ברכב פרטי / מספר נוסעים ממוצע ברכב

תמצית מודל רדיוס תעסוקה

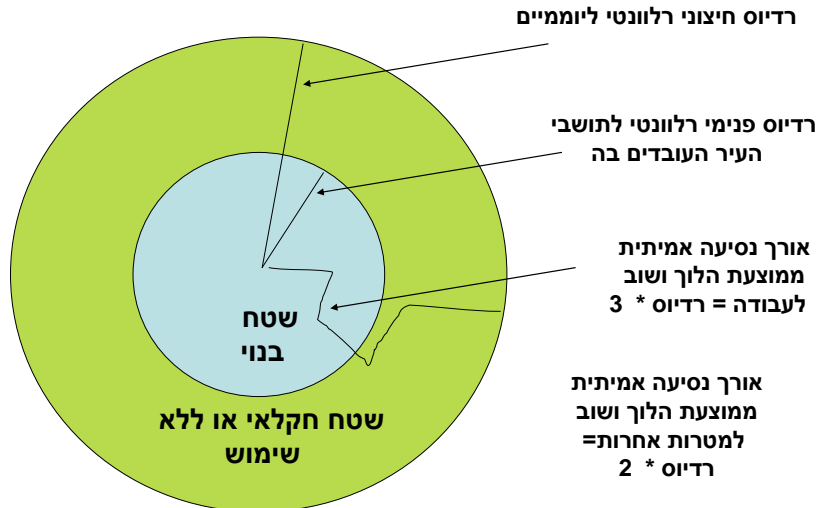
- 3 סוגי עובדים הנוסעים ברחבי העיר**
1. תושבי העיר העובדים בה
 2. תושבי מקום אחר העובדים בעיר
 3. תושבי העיר העובדים בעיר אחרת

- 3 סוגי נסיעות בכיוון אחד:**
1. ראשית ביום לעבודה
 2. ראשית ביום למטרה אחרת
 3. משנית ביום לכל המטרות



- מספר הנסיעות הראשיות בכיוון אחד לעבודה בכל אמצעי התחבורה = מספר מקומות העבודה בעיר + מספר המועסקים מקרב תושבי העיר שעובדים מחוצה לה.
- מספר הנסיעות הראשיות בכיוון אחד למטרה אחרת מעבודה = אחוז קבוע ממספר הנסיעות לעבודה לפי מודל מטרו ת"א
- מספר הנסיעות המשניות = אחוז קבוע ממספר הנסיעות הראשיות
- ק"מ נוסע ברכב פרטי = מספר הנסיעות X אחוז הנוסעים ברכב פרטי X רדיוס מעגל השווה לשטח העיר X 3 (עבודה) או X 2 (אחר)
- ק"מ רכב פרטי בעיר = ק"מ נוסע ברכב פרטי / מספר נוסעים ממוצע ברכב פרטי

תרשים 8 : רדיוס פנימי ורדיוס חיצוני



ריכוז נתוני מודל רדיוס-תעסוקה לשנים 2000, 2007 ו- 2020 בק"מ רכב שנתי על בסיס מקדם ניפוח 300 מיומי לשנתי.

שינוי שנתי ממוצע 2020 2000	שינוי 2007 2020	שינוי 2000 2007	נסועה פרטית 2020	נסועה פרטית 2007	נסועה פרטית 2000	
3.0%	45%	23%	1,905,462	1,313,701	1,064,363	ת"א
3.3%	52%	27%	142,115	93,456	73,669	רעננה
3.1%	47%	24%	354,191	240,164	193,039	רמת גן
3.0%	46%	24%	221,462	151,236	122,068	רחובות
3.1%	47%	24%	686,127	467,222	375,864	ראשון לציון
3.1%	48%	25%	538,373	363,877	291,758	פתח תקווה
3.5%	55%	28%	346,912	223,551	174,386	נתניה
3.2%	50%	26%	159,229	106,462	84,781	כפר סבא
2.5%	37%	19%	1,406,291	1,026,530	860,502	ירושלים
1.8%	25%	14%	854,294	685,407	603,572	חיפה
3.1%	47%	24%	323,860	219,844	176,717	חולון
3.7%	59%	30%	215,319	135,116	103,775	חדרה
3.1%	49%	25%	279,633	188,247	150,552	הרצליה
3.2%	50%	26%	46,506	31,086	24,748	גבעתיים
2.6%	38%	20%	92,578	66,973	55,935	בת ים
3.2%	49%	25%	552,432	370,330	295,653	באר שבע
3.2%	49%	25%	200,367	134,304	107,171	אשקלון
2.9%	45%	23%	294,905	203,486	165,207	אשדוד
2.8%	43%	22%	8,620,057	6,020,992	4,923,762	סה"כ

הנתונים לעיל מבטאים נסועה שנתי מבנית של רכב פרטי הקשורה לפעילות הכלכלית-חברתית בכל עיר, ללא תנועה המהווה תנועת מעבר בלבד (תושב חולון הנוסע לעבודתו ובחזרה דרך נתיבי איילון) אשר תלויה בפריסת הכבישים הבינעירוניים וכן ללא נסועת רכב המסווג כפרטי הנוסע ברחבי העיר כחלק מתהליך העבודה ולכן יש לראות את חלק זה של נסיעתו כמסחרית במהותה.

אוטובוסים

אוטובוסים צורכים כ-6.5% מכלל הדלקים בתחבורה הארצית (טבלה 1 לעיל) ובתוך הערים אף יותר מכך בשל היות נקודת ההתחלה, נקודת הסיום והמסלול ידועים ברמת התכנון של החברות, הרי שניתן להגיע לנתונים מדויקים יותר מאלו של רכב פרטי או של נפחי רקע מסחרי ומשאיות.

ק"מ אוטובוס בתחום הערים

ק"מ אוטובוס *2000	ק"מ אוטובוס 2007	שינוי 2007	נסועת רכב פרטי מודל רדיוס תעסוקה	פרטי 2007	אוטובוס 2007	יחס ק"מ אוטובוס רכב פרטי לק"מ אוטובוס 2007	
23,679,563	24,574,688	3.8%	1,313,701,337	1.87%	53	(1)	ת"א
1,508,250	1,299,375	-13.8%	93,455,804	1.39%	72	(1)	רעננה
5,131,500	4,808,813	-6.3%	240,164,085	2.00%	50	(1)	רמת גן
1,927,500	2,235,000	16.0%	151,236,463	1.48%	68	(1)	רחובות
6,567,000	7,009,313	6.7%	467,221,890	1.50%	67	(1)	ראשון לציון
5,669,813	6,481,875	14.3%	363,876,555	1.78%	56	(1)	פתח תקווה
2,898,188	2,914,500	0.6%	223,550,892	1.30%	77	(1)	נתניה
1,823,250	1,925,250	5.6%	106,462,431	1.81%	55	(1)	כפר סבא
23,198,972	23,198,972	0.0%	1,026,529,545	2.26%	44	(2)	ירושלים
17,755,293	17,755,293	0.0%	685,407,435	2.59%	39	(2)	חיפה
4,600,500	5,058,188	9.9%	219,843,747	2.30%	43	(1)	חולון
2,390,930	2,390,930	0.0%	135,116,232	1.77%	57	(2)	חדרה
2,926,125	3,059,250	4.5%	188,247,275	1.63%	62	(1)	הרצליה
743,063	754,688	1.6%	31,086,062	2.43%	41	(1)	גבעתיים
3,362,500	3,362,500	0.0%	66,973,074	5.02%	20	(3)	בת ים
6,331,847	6,331,847	0.0%	370,329,519	1.71%	58	(2)	באר שבע
1,860,601	1,860,601	0.0%	134,304,344	1.39%	72	(2)	אשקלון
3,825,563	3,318,375	-13.3%	203,485,628	1.63%	61	(1)	אשדוד
116,200,455	118,339,455	1.8%	6,020,992,315	1.97%	51		סה"כ

כלי רכב אחרים

כפי שנסקרו לעיל – אין בספירות תנועה כשלעצמן כדי להסיק את מספר הק"מ של כלי הרכב, אך כאשר נקבע העוגן (ק"מ רכב פרטי) ממקור חיצוני כלשהו, הרי שיחס כלי הרכב הנספרים לעומת כלי הרכב הפרטיים ייתן גם את יחס הק"מ אותו הם נסעו באזורים שנדגמו בספירות.

נפחי רקע ממוצעים 2008 על בסיס מספר כלי רכב פרטיים = 100%

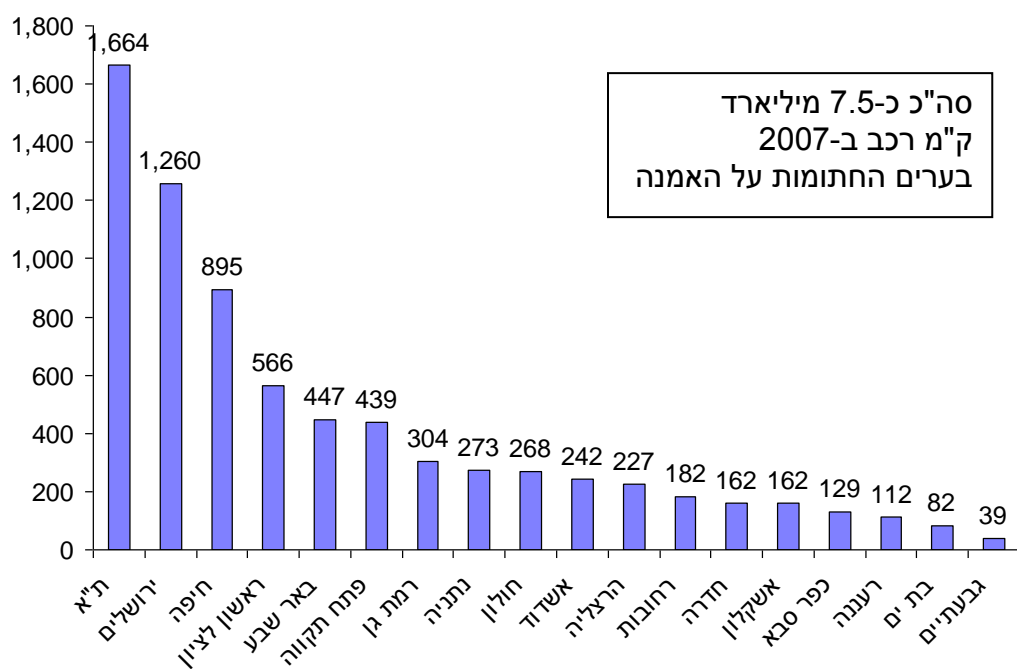
אופנוע	מונית	משאית	מסחרי	פרטי בלבד	
7.0%	9.0%	3.1%	5.7%	100.0%	ת"א
3.0%	4.0%	5.5%	5.5%	100.0%	רעננה
7.0%	9.0%	3.1%	5.5%	100.0%	רמת גן
3.0%	4.0%	5.8%	6.0%	100.0%	רחובות
3.0%	5.0%	4.8%	6.8%	100.0%	ראשון לציון
3.0%	4.0%	5.1%	6.9%	100.0%	פתח תקווה
3.0%	4.0%	6.7%	7.0%	100.0%	נתניה
3.0%	4.0%	5.2%	7.0%	100.0%	כפר סבא
2.4%	10.0%	4.3%	3.7%	100.0%	ירושלים
4.0%	8.0%	9.0%	7.0%	100.0%	חיפה
3.0%	5.0%	4.3%	7.5%	100.0%	חולון
3.0%	3.0%	5.0%	7.0%	100.0%	חדרה
3.0%	4.0%	5.9%	6.0%	100.0%	הרצליה
6.0%	7.0%	3.9%	5.0%	100.0%	גבעתיים
3.0%	4.0%	4.0%	7.0%	100.0%	בת ים
3.0%	4.0%	5.0%	7.0%	100.0%	באר שבע
3.0%	4.0%	5.0%	7.0%	100.0%	אשקלון
<u>3.0%</u>	<u>3.0%</u>	<u>4.3%</u>	<u>7.0%</u>	<u>100.0%</u>	<u>אשדוד</u>
4.1%	6.4%	4.9%	6.2%	100.0%	סה"כ

המקור : ספירות נת"ע/PGL ערי מטרו ת"א, יפה נוף – משאיות חיפה, צוות תכנית אב ירושלים- כל הפרמטרים של ירושלים.

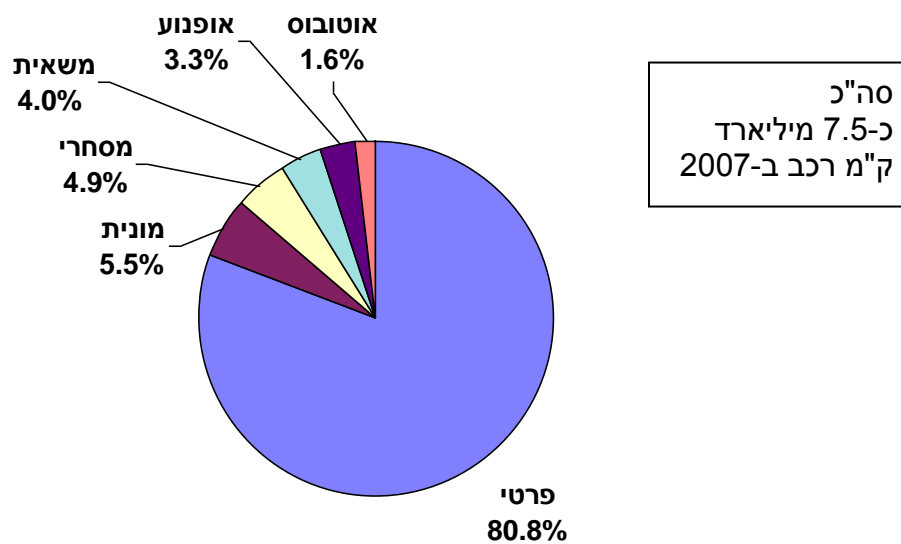
מרבית האחוזים לעיל מבוססים על מידע מנת"ע שכבר הועבר לצוותים בצורת נתוני נסועה מצטברים של רכב פרטי, משאיות ואוטובוסים ל-2009. לא נעשה שימוש בק"מ רכב פרטי של נת"ע אבל היחס בין ק"מ רכב פרטי לבין ק"מ משאית הוא בעל ערך עבורנו.

האומדנים מבוססים על ספירות בשני הכיוונים, בכל ימות השבוע, בכ-120 נקודות ספירה ברחבי מטרופולין ת"א, וספירות נפרדות בירושלים (מכתב יהושע בירוטקר מספט' 2009 לצורך הכנת סקר הפליטות, שם סה"כ מספר כל סוגי הרכב = 100%).

נסועה של כל סוגי הרכב אומדן 2007 במיליוני ק"מ רכב שנתי

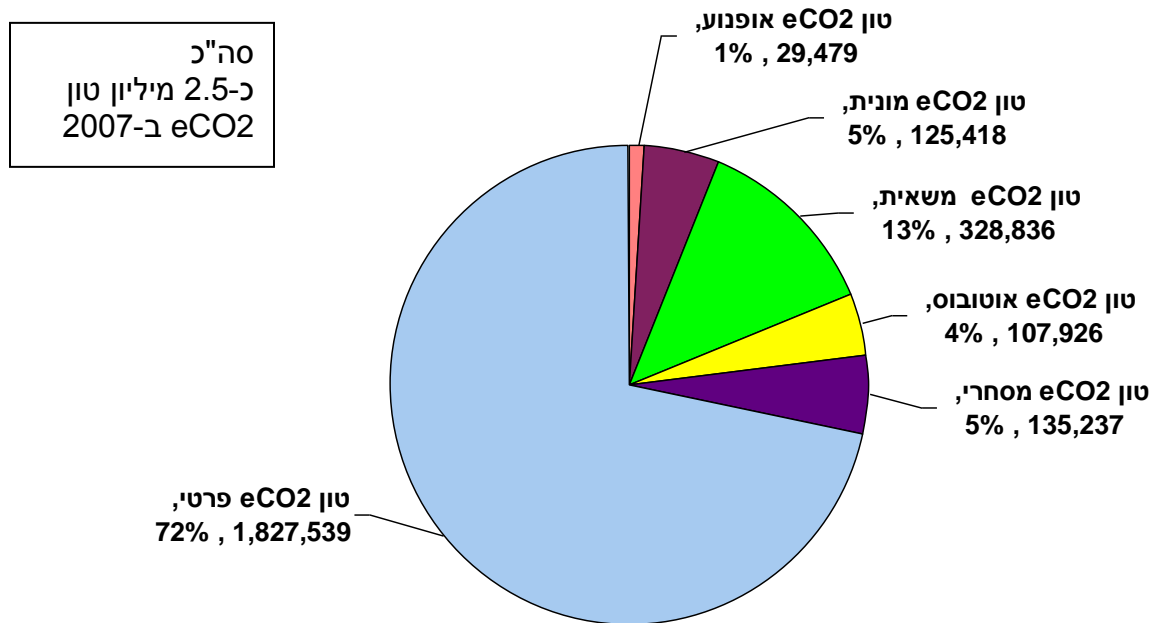


נסועה של כל סוגי הרכב אומדן 2007 במיליוני ק"מ רכב שנתי בכלל הערים החתומות על האמנה



על בסיס נתוני הק"מ שחושבו לעיל, חלוקה לרכבי בנזין וסולר, ומקדמי הפליטה שהופצו בהנחיות לביצוע הסקרים ניתן לחשב את הפליטות של גזי החממה בערים החתומות על האמנה

פליטות גזי חממה של כל סוגי הרכב 2007 במיליוני ק"מ רכב שנתי בכלל הערים החתומות על האמנה



בחינת צעדים להקטנת פליטות על בסיס המודל

קיים מגוון גדול של צעדים אותם ניתן לנקוט בכל הרמות והאזורים על מנת להשפיע על הפליטות, ועל כל צעד להבחן בהשפעתו על מספר הק"מ ובחירת אמצעי התחבורה.

לכל צעד שעולה כאפשרות יש שיטה מיטבית לבחינת השפעתו ברמה המוניציפלית. צעדי מדיניות שונים נידונים מעת לעת ברמה המוניציפלית והארצית וכוללים שינויים בתשתיות, רגולציה, חינוך, תמרוץ כלכלי ועוד. נעסוק כאן בקצרה רק במספר נושאים הקשורים בצורה כלשהי למודל רדיוס-תעסוקה.

המודל שהוצע בעבודה זו מאפשר חשיבה בכמה כיוונים וכן מאפשר בחינה מסויימת של השפעת צעדי מדיניות.

נוכל לראות זאת דרך המשתנים המסבירים הספורים במודל.

- הקטנת אחוז תושבי העיר העובדים מחוצה לה מקטין את הנסועה בעיר. תושב העיר העובד מחוץ לה נוסע גם במעגל החיצוני של העיר וגם מחייב הגעת עובד נוסף מבחוץ.
- ניתן לבחון את השפעת נסיעה משותפת ברכב (carpooling) על הנסועה בעיר.
- ניתן לבחון את ההשפעה על הנסועה בעיר של השינויים באחוז המגיעים לעבודה/נוסעים לפעילויות אחרות ברכב פרטי. למשל השפעת יוזמות עירוניות לארגון וסבסוד הסעות מרוכזות מרחבי העיר אל מספר אזורי תעסוקה עיקריים יכולה להבדק ע"י שינוי פרמטרים במודל.