



Samuel Neaman Institute
FOR ADVANCED STUDIES IN SCIENCE AND TECHNOLOGY

מחויבות סביבתית של התחבורה הציבורית

מריאנה ארדץ	מוסד ש. נאמן
יצחק גורן	מוסד ש. נאמן
ד"ר נעם גרסל	אסיף אסטוטגיות
ד"ר תומר גודוביץ	קונקס
אבי מושל	משרד לאיכות הסביבה
ד"ר אופירה אילון	מוסד ש. נאמן

טיוטא אוגוסט, 2003

תוכן עניינים

1	הקדמה
2	חלק I: סקירה בין לאומית
3	1. מגמות בתחבורה בעולם
3	1.1 רקע כללי
5	1.2 מערך תחבורה ציבורית
11	2. השפעות סביבתיות של תחבורה בעולם
11	2.1 עלויות חיצוניות
15	2.2 השפעות סביבתיות של תחבורה
15	2.2.1 זיהום אוויר
15	2.2.1.1 פליטות "קונבנציונליות"
17	2.2.1.2 פליטה של גזי החממה
18	2.2.1.3 מתאם בין פיתוח כלכלי וזיהום אוויר מתחבורה
19	2.2.1.4 תקנים אירופאיים של פליטת מזהמים
21	2.2.1.5 אמצעים טכנולוגיים לצמצום זיהום אוויר – רקע וניסיון בין לאומי
29	2.2.1.6 אמצעים להקטנת פליטת גזי חממה
31	2.2.2 צפיפות
31	2.2.3 רעש מתחבורה
32	2.2.4 השפעות על קרקע, מים והמערכת האקולוגית
32	2.2.5 השפעות על תפיסת שטח
33	2.2.6 הפרעות לקהילות
33	2.2.7 תאונות דרכים
34	2.2.8 שימוש באנרגיה מתכלה, מבוססת על דלק פוסילי
34	2.2.9 פסולת מוצקה מתחבורה
35	2.3 הפרמטרים המשפיעים על היקף ההשלכות הסביבתיות של תחבורה
39	חלק II: תחבורה בישראל
39	1 מגמות בתחבורה
39	1.1 מקומה של המכונית הפרטית במערך התחבורה בישראל
41	1.2 מקומה של התחבורה הציבורית במערך התחבורה בישראל
43	1.3 צי האוטובוסים בארץ
44	1.3.1 מספר וגיל האוטובוסים
46	1.3.2 זמינות האוטובוסים
46	1.4 חברות התחבורה הציבורית בישראל
46	1.4.1 צי האוטובוסים של חברת "אגד"
49	1.4.2 צי האוטובוסים של חברת "דן"
50	1.4.3 צי האוטובוסים של חברת "קונקס"
53	2. השפעות סביבתיות של תחבורה בישראל
53	2.1 זיהום אוויר מתחבורה בישראל
54	2.1.1 נתונים כמותיים של זיהום אוויר
60	2.1.2 פליטה של גזי החממה
61	2.1.3 תקן פליטת מזהמים בישראל בהשוואה למדינות אחרות
62	2.2 רעש מתחבורה
64	2.3 תאונות דרכים
65	2.4 היחס בין מערכת התחבורה ושטחים פתוחים
67	חלק III: אמצעים לשיפור איכות הסביבה
67	1. הדרכים להשגת יעדים למדיניות תחבורה בת קיימא
69	2. אמצעי מדיניות להפחתת זיהום אוויר מתחבורה
69	2.1 אמצעי מדיניות כלכליים להפחתת זיהום אוויר
69	2.1.1 מסים

72 2.1.2 חידוש והסבה של רכב ציבורי וממשלתי

73 2.1.3 אגרת גודש

75 2.2 סיכום המלצות בנושא מיסוי השפעות חיצוניות

77 3. אמצעים לשיפור רמת השירות ואיכות הסביבה ע"י חברות האוטובוסים

77 3.1 אמצעים לוגיסטיים לשיפור רמת השירות של תחבורה ציבורית

77 3.1.1 קיצור זמני הגעה מדלת לדלת

77 3.1.1.1 אינטגרציה בקווים

79 3.1.1.2 ייעול מערך קווים

80 3.1.2 טכנולוגיות מידע ואמצעי כירטוס

80 3.1.3 נגישות של תחבורה ציבורית למוגבלים בתנועה

81 3.2 אמצעים לוגיסטיים וטכנולוגיים לשיפור איכות הסביבה

81 3.2.1 הצטיידות/ גיל גריטה

82 3.2.2 תחזוקת צי הרכב

82 3.2.3 התנהגות נאותה ונהיגה נכונה

82 3.2.4 שיפור תכונות דלק ושימוש בדלקים אלטרנטיביים

84 3.2.5 אמצעים טכנולוגיים לשיפור ביצועי המנוע

85 3.2.6 אמצעים להקטנת פליטות גזי חממה

87 סיכום

89 רשימה ביבליוגרפית

רשימת לוחות

6 לוח 1 : חלקה של התחבורה הציבורית במטרופולינים באירופה

11 לוח 2 : סקירה של השפעות חיצוניות עיקריות

15 לוח 3 : מזהמי אוויר עיקריים מתחבורה

20 לוח 4 : תקנים אירופאיים של פליטת מזהמים עבור מנועי דיזל (HD Diesel Engines), g/k Wh, במ"ק אוויר

20 לוח 5 : תקני פליטת מזהמים עבור מנוע דיזל ומנוע גז, על פי מבחן ETC, g/kWh, במ"ק אוויר

30 לוח 6 : אמצעים עיקריים לניהול תחבורה והאפקט הפוטנציאלי שלהם

39 לוח 7 : התפלגות של כלי רכב בארץ בין השנים 1951-2001

40 לוח 8 : רמת המינוע בערים הגדולות

40 לוח 9 : ערים עם רמת מינוע גבוהה

41 לוח 10 : אומדן הנסועה (קילומטרז') הארצית, לפי סוג רכב

44 לוח 11 : מספר וגיל ממוצע של אוטובוסים במדינת ישראל

45 לוח 12 : התפלגות האוטובוסים לפי שנת יצור בין השנים 1982-1999

45 לוח 13 : התפלגות האוטובוסים הזעירים לפי סוגים ולפי שנת יצור

46 לוח 14 : התפלגות האוטובוסים לפי סוגים ולפי שנת יצור

46 לוח 15 : אוטובוסים ציבוריים בישראל בין השנים 1970 ל- 2001 - כמות, מקומות ישיבה ונסועה

47 לוח 16 : צי האוטובוסים העירוניים של "אגד" בשנת 2002 על פי דור טכנולוגי

47 לוח 17 : צי האוטובוסים הבין עירוניים של "אגד" בשנת 2002 על פי דור טכנולוגי

49 לוח 18 : צי אוטובוסים של "דן", לפי שנת יצור סוג האוטובוסים ודור

51 לוח 19 : צי האוטובוסים של קונקס בשנת 2003

55 לוח 20 : התפלגות של מזהמי אוויר בישראל בשנת 2000 מסה"כ מקורות ומכלי רכב מנועים (טון)

58 לוח 21 : פליטות של מזהמי אוויר מתחבורה בישראל (באלפי טון לשנה)

59 לוח 22 : פליטת מזהמים שונים על ידי אוטובוסים באנגליה (גרם לק"מ בנסיעה באזור עירוני)

59 לוח 23 : פליטת מזהמים שונים על ידי אוטובוסים בישראל

70 לוח 24 : מבנה מחירי בנזין וסולר בתחנות הדלק (1 מרס, 2001)

70 לוח 25 : מבנה מחירי הגפ"מ לתחבורה – תחזית (1 מרס 2001)

71 לוח 26 : אומדן עלות הדלק בנסיעה בסוגי רכב שונים

72 לוח 27 : דוגמא לשווי החטבה לרכב בגין מענק השקול לניכוי פחת מואץ של 25% בשנה

86 לוח 28 : סיכום החלופות שהוצעו להקטנת פליטות גזי חממה במגזר התחבורה

רשימת איורים

- איור 1: מגמות בתחבורה באירופה בין 1980 ל-1998.....3
- איור 2: רמת הניידות (ק"מ/לאדם/לשנה) באמצעי תחבורה באזורים שונים בעולם (1997).....4
- איור 3: התפלגות של אמצעי תחבורה שונים (passenger-kilometers) באזורים שונים בעולם (1997).....4
- איור 4: התפלגות של סוגי תחבורה שונים בשנת 1990 ותחזית לשנת 2030 על פי EST ובחלופה עסקים כרגיל.....5
- איור 5: השפעות חיצוניות מתחבורה באיחוד האירופאי (מיליארד יורו/שנה).....12
- איור 6: עלויות שוליות של תחבורה למעבר נוסעים, לפי סוג השפעות חיצוניות ולפי אמצעי תחבורה.....13
- איור 7: עלויות חיצוניות ממוצעות לפי אמצעי תחבורה המשמשים נוסעים (יורו/1000 ק"מ/נוסע, 1995).....14
- איור 8: עלויות שוליות לפי השפעות חיצוניות ולפי אמצעי תחבורה (יורו/1000 ק"מ/נוסע 1995).....14
- איור 9: פליטות של מזהמי אוויר לפי אמצעי תחבורה באירופה.....16
- איור 10: פליטת פחמן דו חמצני בעולם, לפי סוגי פעילויות (1998).....17
- איור 11: מגמות כלכליות צפויות מול אינדיקטורים צפויים של זיהום אוויר מתחבורה במדינות OECD.....18
- איור 12: נסיעות בתחבורה ציבורית בערים נבחרות לתושב לשנה (1994).....41
- איור 13: נסיעות לנפש ביממה במערכת התחבורה הציבורית במטרופולינים באירופה ובמטרופולין תל אביב בשנת 1997 (לפי 300 ימי עבודה בשנה).....42
- איור 14: נסיעות לנפש ביממה באוטובוסים במטרופולינים באירופה ובמטרופולין תל אביב בשנת 1997.....42
- איור 15: שיעור המשתמשים בתחבורה ציבורית לפחות פעם בשבוע, לפי קבוצות נבחרות, ירושלים 1996.....43
- איור 16: התפלגות של מזהמי אוויר בישראל מכלי רכב מנועים (ללא CO₂).....55
- איור 17: אחוז המזהמים השונים מכלי רכב מנועים לעומת שאר המקורות.....56
- איור 18: פליטת תחמוצות חנקן מכלי רכב (גרם לק"מ בנסיעה).....56
- איור 19: פליטת CO מכלי רכב בישראל (גרם לק"מ בנסיעה).....57
- איור 20: פליטת פחמימנים מכלי רכב בישראל (גרם לק"מ בנסיעה).....57
- איור 21: פליטה יחסית של אקווילנטים פחמן דו חמצני בישראל כתוצאה משריפת דלקים, 1996,.....60
- איור 22: תרומה של אמצעי תחבורה שונים לפליטת CO₂, 1996.....61

הקדמה

במרבית מסמכי המדיניות, שפורסמו בשנים האחרונות, בתחום איכות הסביבה עולה הנקודה הדורשת את קידום התחבורה הציבורית בישראל. לאחרונה נוספו נתונים מדאיגים על איכות האוויר הירודה במרכזי הערים, הנובעת בעיקר מעומס התחבורה. נתוני מחקר אותו ערכו המשרד לאיכות הסביבה, עמותת אדם טבע ודין והסוכנות לאיכות הסביבה האמריקאית (EPA) מצביעים על כך כי מדי שנה מתים כ- 1,100 איש ועוד כ- 17,000 חולים במחלות נשימתיות (וזאת באזור מטרופולין תל אביב בלבד), נתונים אלו, רק מגבירים ומחזקים את הצורך בשינוי מקיף בו תהיה העדפה ברורה לתחבורה הציבורית. אולם, התחבורה הציבורית מחויבת לשפר את ביצועיה הסביבתיים הן ע"י שימוש ברכבים חדשים ושימוש בדלקים נקיים, הן ע"י הקפדה על תוכנית טיפולים אשר תבטיח תקינות הרכב והן ע"י נהיגה והתנהגות נאותות המתאימות לתנאי הדרך והסביבה (לדוגמא, השארת מנוע דולק שעות רבות על מנת למזג את האוטובוס בזמן שתלמידי בית הספר עולים למצדה לסיור של 4 שעות הוא נוהג פסול מכל הבחינות).

בחלק ראשון מובאת סקירה בין לאומית של מגמות בתחבורה בכלל ומערך תחבורה ציבורית בפרט. פרק זה דן בהשפעות חיצוניות והשפעות סביבתיות של התחבורה. הדגש הושם על השפעות התחבורה על זיהום אוויר ואמצעים לצמצומו.

בחלק השני, פרק ראשון עוסק בתיאור של תחבורה ציבורית בארץ, פרק שני דן בהשפעות סביבתיות של התחבורה ובייחוד זיהום אוויר. בחלק השלישי מובאים רעיונות בנושא המחויבות הסביבתית של התחבורה הציבורית העירונית¹, כאשר בחלק מהנושאים המחויבות מותנית אך ורק בחברות התחבורה עצמן (הקפדה על יומן טיפולים לרכב, לדוגמא) ובחלק מהנושאים קיימת תלות בתקצוב ממשלתי (הצטיידות), ברשות המקומית (הקצאת נתיב תחבורה ציבורית) או במכרזים (העדפה לחברות המקפידות על נושא איכות הסביבה במכרזי הסעה של תלמידים, לדוגמא).

¹ בשלב זה לא נעסוק בתחבורה המסילתית אלא רק בצורך בתיאום בין התחבורה המסילתית והציבורית האחרת.

חלק I: סקירה בין לאומית

מערכת התחבורה משרתת יעדים חברתיים וכלכליים חשובים. אנשים זקוקים לניידות הן למטרות האישיות והן על מנת להתגבר על המרחק בין מקום המגורים למקום עבודה, קניות, טיפול רפואי, בית ספר, עסקים או ביקור של חברים וקרובים. עסקים זקוקים לניידות על מנת להתגבר על המרחק ביניהם למקורות חומרי הגלם, לשווקים ולמועסקים.

באופן בסיסי קיים קונפליקט בין מטרות הסביבתיות והתחבורתיות. ככל שמערכת התחבורה משרתת באופן יעיל יותר את הפיתוח, הכלכלה והחברה, כך גוברת הפגיעה הפוטנציאלית - צפיפות, זיהום אוויר, הגברת אפקט החממה, פגיעה בשטחים פתוחים, רעש, תאונות ועוד. מקורו של קונפליקט זה בעובדה שמערכות פוליטיות דמוקרטיות נוטות ליחס משקל-חסר לעלויות סביבתיות ארוכות-טווח יחסית למשקל הניתן ליעדים בעלי נראות מיידית יותר.

דאגה נוספת היא שמערכות הניידות העולמית נשענות בעיקר על מקור האנרגיה היחיד, שלא מתחדש - דלק. הנגוד בין הצורך בניידות לבין דאגה להשפעות שליליות של התחבורה, מעלה שאלה האם הניידות היא בת קיימא (Mobility, 2001).

בחלק זה מובאת סקירה בין לאומית של מגמות בתחבורה בכלל ומערך תחבורה ציבורית בפרט. פרק נוסף דן בהשפעות חיצוניות והשפעות סביבתיות של התחבורה. הדגש הושם על השפעות התחבורה על זיהום אוויר ואמצעים לצמצומו.

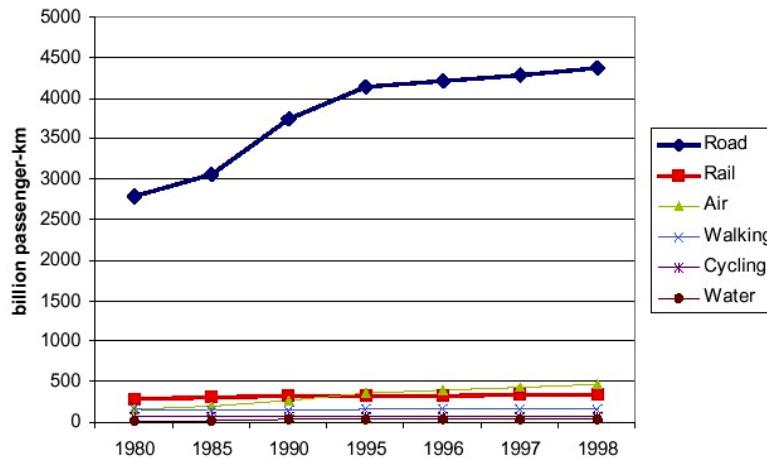
1. מגמות בתחבורה בעולם

1.1 רקע כללי

במהלך שני עשורים אחרונים חל גידול דרמטי בניידות. לדוגמא, בבריטניה בתקופה של 25 שנה המרחק המצטבר בנסיעה עלה ב- 45% (Department of Transport, Local Government and Regions, 2001).

איור 1 מציג שינויים בשימוש באמצעי תחבורה שונים באירופה בין השנים 1980 ל-1998. האיור מראה שהפעילות התחבורתית, בייחוד השימוש בתחבורה היבשתית בכבישים, נמצאת בעלייה מתמדת.

איור 1: מגמות בתחבורה באירופה בין 1980 ל-1998



מקור: European Environment Agency, 2001. בתוך OECD, 2002.

איור 2 מציג שימוש באמצעי תחבורה שונים לנפש בשנה במקומות השונים בעולם. הנתונים כוללים אמצעי תחבורה הבאים: אוטובוס, רכבת, רכב פרטי ותחבורה אווירית. תחבורה לא ממונעת, או תחבורה דו-ותלת גלגלית לא מופיעה, למרות שבמקומות מסוימים בעולם הם משחקים תפקיד חשוב (Mobility, 2001). ניתן לראות שבמדינות המתפתחות רמת הניידות נמוכה יותר מאשר במדינות המפותחות. מבין המדינות המפותחות בארה"ב השימוש בתחבורה הוא הגבוה ביותר. בקהילה האירופאית (EU) ומדינות אוסטרליה, יפאן וניו זילנד (PAO), המרחק אותו עוברים באמצעי תחבורה שונים כמעט זהה והוא כמחצית מזה שבצפון אמריקה.

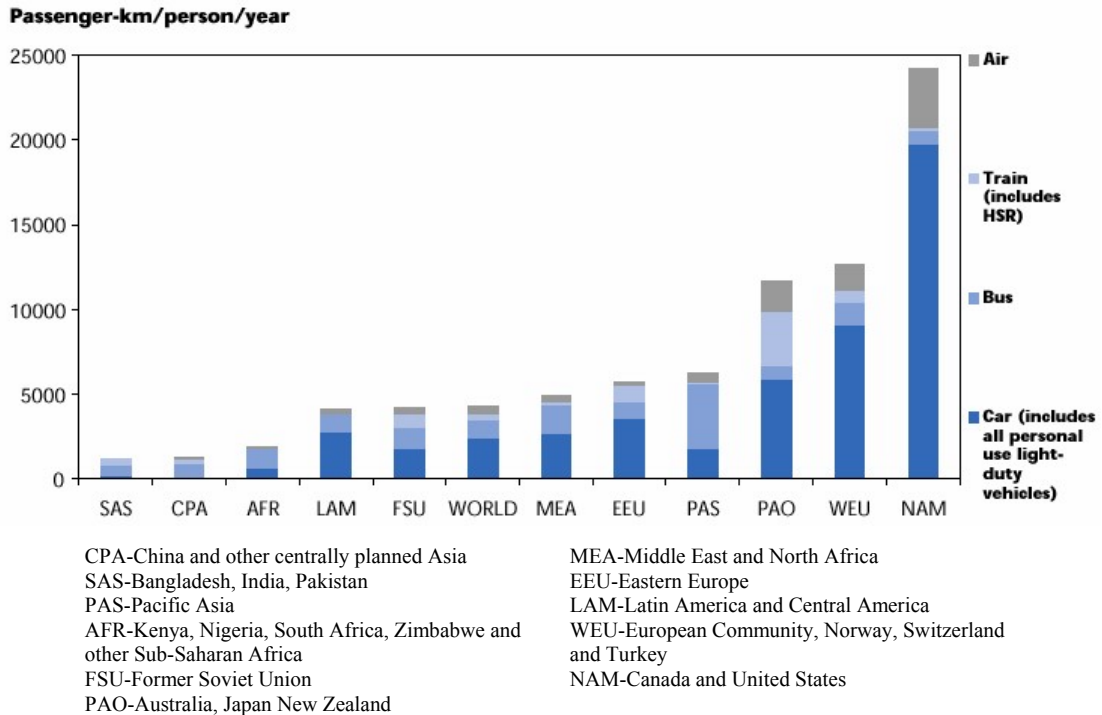
איור 3 מציג התפלגות של שימוש באמצעי תחבורה שונים באחוזים. גם כאן ניתן לראות הבדלים ניכרים בין האזורים השונים. מנתוני הממוצע העולמי ניתן לראות שכ- 57% מהמרחק האנשים עוברים ברכב פרטי, כ- 24% באוטובוסים, כ- 8% ברכבת וכ- 11% בתחבורה אווירית.

ברוב האזורים בעולם, פרט ל- 5 אזורים (סין ומרכז אסיה; הודו, בנגלדש ופקיסטן; מדינות אפריקה; בריה"מ לשעבר; ואסיה), מעל ל- 50% מהמרחק עוברים האנשים ברכב פרטי. מדינות בהן השימוש ברכב פרטי הוא הגבוה ביותר הם צפון אמריקה ומדינות האירופאיות. השימוש

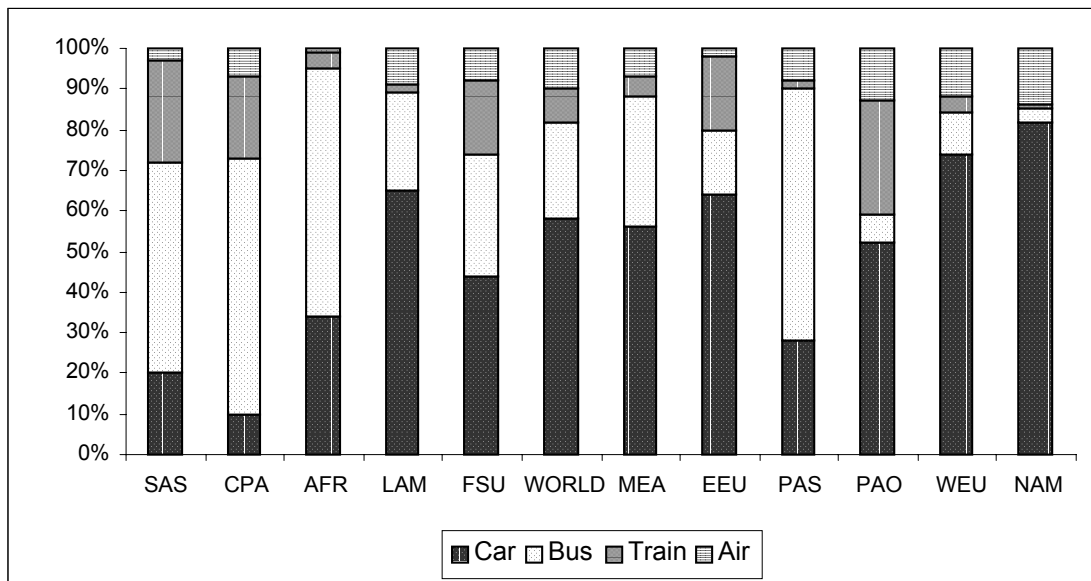
הגבוה ביותר ברכבת הוא באוסטרליה, יפן וניו-זילנד. שימוש גבוה באוטובוסים נמצא בעיקר במדינות המתפתחות (סין, מדינות באסיה, הודו, פקיסטן, מדינות באפריקה).

במזרח התיכון וצפון אפריקה כ- 55% מהמרחקים עוברים התושבים ברכב פרטי, 30% באוטובוסים, 6% ברכבת ו- 9% בתחבורה אווירית.

איור 2: רמת הניידות (ק"מ/לאדם/לשנה) באמצעי תחבורה באזורים שונים בעולם (1997)



איור 3: התפלגות של אמצעי תחבורה שונים (passenger-kilometers) באזורים שונים בעולם (1997).

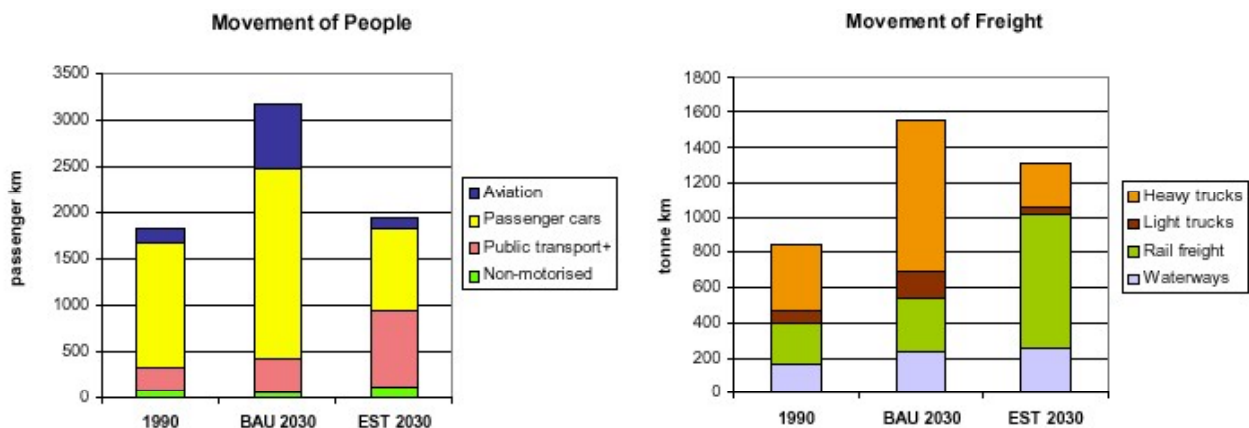


מקור: Mobility, 2001

בהכרת צורך בשיפור התחבורה, חבר מדינות ה OECD סיימו פרויקט רב שנתי של תחבורה בת קיימא - (EST) Environmentally Sustainable Transport. פרויקט ה- EST מפרט חזון ברור, מקיף, וחיובי של תחבורה בת קיימא בשנת 2030 (OECD, 2000). המדיניות המוצעת על ידי OECD מבוססת על המחקרים ב- 14 מדינות החברות ב- OECD ובאזור מרכז אירופה.

EST שואף לספק הזדמנויות חדשות לתעשיות התחבורה ומפעיליה, שירותי ניידות חדשים ונגישות מאוזנת למקומות, מוצרים ושירותים. בתהליך זה תפקיד חשוב מוקדש למסילות הברזל. איור 4 מציג התפלגות של אמצעי תחבורה של תנועת אנשים ותנועת משא במצב הקיים, בחלופה עסקים כרגיל ובחלופה של EST. תחבורה בת קיימא בשנת 2030 מאופיינת על ידי מעבר למודל בו בולטים אמצעי תחבורה כגון מסילות ברזל ותחבורה ימית בתנועת המשא ותחבורה ציבורית בתנועת האנשים. על פי EST מערכת תחבורה שמבוססת על תחבורה ציבורית עבור תנועת האנשים ומסילות ברזל עבור תנועת משאות, תהיה בעלת חשיבות במאמצים להפוך את התחבורה ליותר סביבתית.

איור 4: התפלגות של סוגי תחבורה שונים בשנת 1990 ותחזית לשנת 2030 על פי EST ובחלופה עסקים כרגיל



1.2 מערך תחבורה ציבורית

כאמור, בממוצע העולמי, 32% מהנוסעים משתמשים בתחבורה ציבורית יבשתית: 24% נוסעים באוטובוסים, 8% ברכבת. שימוש בתחבורה ציבורית נמוך יחסית במדינות מפותחות וגבוה מאוד (60%-90%) במדינות מתפתחות.

לוח 1 מציג חלקה של התחבורה הציבורית במטרופולינים מובחרים באירופה. ניתן לראות שבפראג, מדריד, ליון ונוטינגהם חלקה של התחבורה הציבורית הינו גבוה מהממוצע בעולם. בפראג אחוז הנסיעות בתחבורה ציבורית הינו הגבוה מבין המטרופולינים שנסקרו (65%). במטרופולין תל אביב נסיעות בתחבורה ציבורית בשנת 2000 היוו 30% מסה"כ נסיעות.

לוח 1: חלקה של התחבורה הציבורית במטרופולינים באירופה

אזור מטרופוליני	אוכלוסייה (מיליון)	נסיעות בתחבורה ציבורית (% מסה"כ נסיעות)
תל אביב	2.84	30%
מנצ'סטר	2.6	21%
המבורגר	2.6	21%
דבלין	1.8	28%
ליסבון	2.5	27.1%
נוטינגהם	0.65	50%-40%
ליון	1.2	46%
מדריד	5.0	54%
פראג	1.25	65%

מקור: Carlos Pinto, 2000 בתוך קפלן, 2002.

בחלק מהמדינות המפותחות והמתפתחות קיים מערך תחבורה ציבורית מפותח ומתקדם. פרק זה יציג מספר דוגמאות מובחרות של מערכות תחבורה ציבורית מוצלחות.

ניתן להגדיר "מערכת אוטובוס מתקדמת" כמערכת אוטובוסים בה מיישמים את התכונות הגורמות לתחבורה ציבורית מסילתית להצליח, ובו בזמן משמרים את עיקר היתרונות של אוטובוסים.

הדוגמה הקלאסית למערכת כזו היא עיר קוריטיבה. **קוריטיבה (Curitiba)** הינה עיר של כשני מיליון נפש בצפון ברזיל. מאז תחילת שנות השבעים נוקטת עיריית קוריטיבה במדיניות תחבורה וסביבה חדשנית ומוצלחת, (Rabinovitch, 1996). פרנסי העיר העניקו עדיפות מוחלטת לתחבורה ציבורית, אולם הדגש הושם על טכנולוגיה קונבנציונלית ולא מסילתית.

שיקולי יעילות ושיקולים של דרישות ההון הביאו להעדפת פיתוח נתיבי אוטובוסים (בעלות של כ-200,000 דולר לק"מ של נתיב אוטובוס, במקום השקעה של 60-70 מיליון דולר לק"מ של רכבת תחתית). שירות האוטובוסים זכה לטיפול מועדף על ידי סדרה של רעיונות מקוריים.

כתוצאה ממדיניות זו כ-75% מכלל היוממים משתמשים באוטובוסים בכדי להגיע למקום העבודה. זאת למרות שרמת המינוע בעיר גבוהה מכל ערי ברזיל, למעט הבירה, ברזיליה. צריכת הדלק לנפש בקוריטיבה נמוכה ב-25% מהצריכה בערים דומות בברזיל ורמות זיהום האוויר בעיר הן מהנמוכות בערי ברזיל.

תכנון העיר התבסס על חמישה צירים, אשר כל אחד מהם כלל שלושה כבישים. באמצע הכביש המרכזי בכל ציר עובר נת"צ, כאשר משני צידיו כבישים מקומיים. במרחק בלוק אחד לכל צד עובר כביש חד-סטרי, האחד לכיוון מרכז העיר, והשני חזרה. בכל ציר עובר קו אוטובוס אקספרס. הצירים מחוברים בקווים טבעתיים כל שני קילומטר, כאשר בקצה כל ציר נמצא חניון גדול, המהווה גם מוקד לקווים מזינים. בתחנות בנויות בפלטפורמות מקורות ומוגבהות, כאשר התשלום הוא בכניסה לתחנה. כך הכניסה והיציאה מהאוטובוסים היא מהירה ביותר, דבר המצמצם את העיכובים בתחנות ומשפר את רמת השירות. בצורה זו מתקבלת תבנית תפעול דומה לרכבת תחתית (זכות דרך בלעדית, כניסה ויציאה מהירים, מהירות נסיעה גבוהה), אך בעלות

נמוכה ביותר. במערכת זו משתמשים באוטובוסים בגדלים שונים בהתאם לביקושים, כאשר יש שימוש גם באוטובוסים דו-מפרקיים עם קיבולת של כ-270 נוסעים.

אלמנט חשוב במערכת זו הוא התיאום בין פיתוח שימושי הקרקע למערך קווי האוטובוסים המאפשר מתן שרות גבוה לרוב חלקי האוכלוסייה. רכיב נוסף בעל חשיבות הוא מערכת כרטוס אחידה, המאפשרת מעבר קל וזול בין קוים, וכך שרות רב-כיווני.

סינגפור

הינה עיר מדינה המוקמת על אי ומאופיינת, בין היתר, במבנה השלטון הסמכותי שבה. סינגפור מונה כ-4 מיליון נפש. בשל מגבלות הגודל שלה, הנהיגה סינגפור כבר בשנות השבעים מדיניות המגבילה את השימוש ברכב פרטי. בכך הייתה חלוצה בקנה מידה בינלאומי. ביוני 1975 הוגדר האזור שמסביב למרכז עירוני ראשי (מע"ר) כאזור שהכניסה אליו בשעות הגודש מוגבלת. מדיניות זו הביאה לצמצום הביקוש לנסיעות רכב פרטי לאזור המוגבל מ-74,000 כלי רכב לכדי 41,500 כלי רכב, בתוך פרק זמן של חצי שנה. הקטנת נפח התנועה הנכנסת לאזור המרכז אפשרה שיפור בתחבורה הציבורית אשר רמת השרות שלה עלתה בהעדר תחרות על הכבישים (פייטלסון, 1998).

אמצעי תחבורה ציבוריים עיקריים בסינגפור כוללים אוטובוסים, אמצעי תחבורה להסעה המונית, רכבת קלה ומוניות. במהלך השנים נעשו מאמצים לשפר את איכותם ולהפוך אותם לחלופה אטרקטיבית לרכב פרטי. נכון להיום כ-60% מסה"כ נסיעות בסינגפור נעשות בתחבורה ציבורית (Khaw, 2002). ממשלת סינגפור שמה לעצמה מטרה ש-75% מהנסיעות יעשו בתחבורה ציבורית.

במהלך השנים בוצעו הרבה יוזמות (המפורטות להלן) על מנת לשמור על אטרקטיביות של נסיעה באוטובוסים.

שימוש בנת"צים ותמרורים. אחד האמצעים הראשונים הוא שימוש בנתיבי תחבורה שמורים לאוטובוסים בו החלו כבר בשנת 1974. צד זה שיפר את מהירות הנסיעה ואפשר לאוטובוסים לעמוד בלוח זמנים. תמרור "B" הבהב לפני מתן אור ירוק לשאר הרכבים ובכך נתן לאוטובוסים זכות קדימה. כמו כן, בעורף האוטובוסים הוצב שלט "תן זכות קדימה".

שירותי אוטובוסים. בנוסף לשירותים הרגילים, במהלך השנים נוספו שירותים מיוחדים העונים על צרכים משתנים של הנוסעים.

שירות של אוטובוס אקספרס. על מנת לספק שירות מהיר וישיר שירות האוטובוס המהיר ניתן משכונות המגורים למע"ר.

שירותים פנים עירוניים. בעבר, על מנת לנוע בין השכונות, התושבים נאלצו להחליף הרבה קווים. שירות פני עירוני מונע זאת, עלות הנסיעה בו נמוכה יותר והוא מביא את התושב ישירות לשכונה המבוקשת.

שירות לילה. שירות זה פעיל בשעות הלילה בימי שישי ושבתות ובחגים. אוטובוסים אלה מאפשרים נסיעה בין מרכז העיר לשכונות בשעות הלילה, כאשר שאר אמצעי תחבורה אינם פועלים.

שירות אוטובוסים משלים. אוטובוסים מיוחדים שמתגברים את מערך ההסעה בשעות השיא במסלולים המבוקשים ביותר.

שירות אוטובוסים ראשי. שירות אוטובוסים ראשי הינו שירות ייחודי אשר משלים פער בין מערך אוטובוסים, רכבת, רכבת קלה, מוניות ורכב פרטי. אוטובוסים אלה גובים דמי נסיעה נוספים והם פועלים רק בימי חול בשעות השיא ומסיעים תושבים בין שכונות, תחנות רכבת ומע"ר.

שירות אוטובוסים יוקרתי (Niche public bus services). שלוש חברות מספקות שירות של אוטובוסים ציבוריים יוקרתיים. הם מספקים חלופה תחבורתית ייחודית עבור תושבים אשר מעדיפים רמת שירות יותר נוחה ומפוארת. קווים אלה פועלים בין שכונות מגורים למע"ר בשעות הבוקר ובשעות השיא.

בנוסף לצעדים אלה נעשו שיפורים טכנולוגיים רבים בשירותי מידע, כרטיסי נסיעה ועיצוב האוטובוסים. כמו כן הושם דגש חזק על אינטגרציה בין אמצעי תחבורה שונים כולל אינטגרציה של מידע, אינטגרציה פיסית ואינטגרציה תכנונית.

בירסביין, אוסטרליה

במקביל לשיקום המוצלח של מערכת הרכבות הפרברית, הוקמה בבירסביין מערכת אוטובוסים "Cityxpress". קווי ה-Cityxpress מופעלים כתוספת על גבי מערכת הקווים הקיימת, הנשארת במתכונתה המקורית. רוב המסלולים הם ברחובות עורקיים; חלקם הגדול בנתיבי תחבורה ציבורית-נת"צים. רוב השרות ניתן במסלולים ובאזורים שאינם משורתיים כהלכה ע"י הרכבת. רוב השרות מכוון אל מרכז העיר, אך יש גם שרות היקפי מפותח (Hull, 1998).

הקווים מתוכננים לשרת מרכזי פעילות ראשיים. צפיפות התחנות קטנה, דבר המקטין את משכי הנסיעה. (מחד, עצירות רבות מגבירות פליטת מזהמים, מאידך, צפיפות התחנות מגבירה את הנגישות ומשך נסיעה) התחנות דומות ככל האפשר לתחנות הרכבת: התכנון מורה על קביעות, לכל תחנה יש שם, התחנה כוללת במידת האפשר מבנה קל, מקום ישיבה מוגן, גינון וכו'. לוח הזמנים קבוע למשך כל שעות הפעילות, עם חיזוקם בשעות השיא. תדירות מינימלית היא של 30 דקות. בכל התחנות יש לוחות זמנים מעודכנים המתארים את מכלול שרות ה-Cityxpress.

אורלנדו, פלורידה

באורלנדו הוקמה מערכת Lymmo, המספקת שרות אוטובוס במרכז העיר. השרות פועל כולו בנתיבים בלעדיים, המיועדים לאוטובוסים בלבד בכל שעות היום. הנת"צ צבוע בצבע בולט להבלטת ייחודו. השרות ניתן ע"י אוטובוסים מודרניים, מונעים בגז, עם רצפה נמוכה. השירות ניתן בתדירות של 10 דקות במימי השבוע ו-15 דקות בסופי שבוע וחגים. אמינות השרות הגבוהה מבטלת למעשה את הצורך בלוחות זמנים (Hull, 1998).

קויבק, קנדה

קויבק יישמה כבר בשנות השמונים מערכת אוטובוסים שלמה שכיסתה את כל המטרופולין. המערכת התדרדרה בהדרגה ברמת השרות ומספרי הנוסעים. ב-1992 נעשתה פעולה דרסטית לשיפור המצב שכללה שלוש פעולות:

- נפתחו שני קווים עורקיים ה-Metro-Bus.
 - יושמה מערכת קווים מזינים, המביאים נוסעים למטרובוסים במרכזי מעבר.
 - יושמה מערכת קווי אקספרס לשעת השיא לשרות יוממים למרכזי תעסוקה הראשיים.
- שני קווי המטרובוס משרתים 3 פרוזדורים המובילים למרכז העיר. הם משרתים את רוב מרכזי הפעילות בעיר, כולל מרכזי תעסוקה, מרכזי קניות ואת האוניברסיטה. רוב מסלולי קווי המטרובוס פועלים על נת"צים הנבדלים ביניהם בפרטי התכנן ושעות הפעולה (Hull, 1998).

וונקובר, קנדה

וונקובר מיישמת מערכת תח"צ ענפה המשלבת תח"צ מסילתית ומערכת Rapid Bus. מערכת זו מתוכננת לשרת פרוזדורים ומגזרי שוק שאינם משורתיים במסילה. הציר הראשון של Rapid Bus שנפתח לשרות בשנת 1996 והחליף שרות מסורבל של מספר קווים מקומיים שלא כלל שרות רצוף לאורך כל הציר. שרות זה הפך להצלחה מיידית; הוא משרת כ-15 אלף נוסעים ליום, מתוכם כ-20% נוסעים חדשים (Hull, 1998).

2. השפעות סביבתיות של תחבורה בעולם

2.1 עלויות חיצוניות

העלייה בתנועה הממונעת כרוכה בתופעות לוואי, שהכלכלנים מכנים בשם "השפעות חיצוניות". בעלותן השפעות אלה נושא כלל הציבור, הן מי שמתמשים ברכב והן מי שאינם משתמשים בו. ההשפעות החיצוניות הבולטות ביותר הן זיהום אוויר, תאונות דרכים, רעש ברמה המקומית ופליטות גזים הגורמות לשינוי אקלימי ברמה הגלובלית (פלטשר, 2000).

מחקר של INFRAS (2000), בנושא השפעות חיצוניות במערב אירופה (שכלל 17 מדינות)², חילק את ההשפעות החיצוניות ל-9 קטגוריות והם: תאונות דרכים, רעש, זיהום אוויר, שינויי אקלים, טבע ונוף, השפעות אורבניות ועלויות נוספות (upstream processes) (ראו לוח 2).

לוח 2: סקירה של השפעות חיצוניות עיקריות

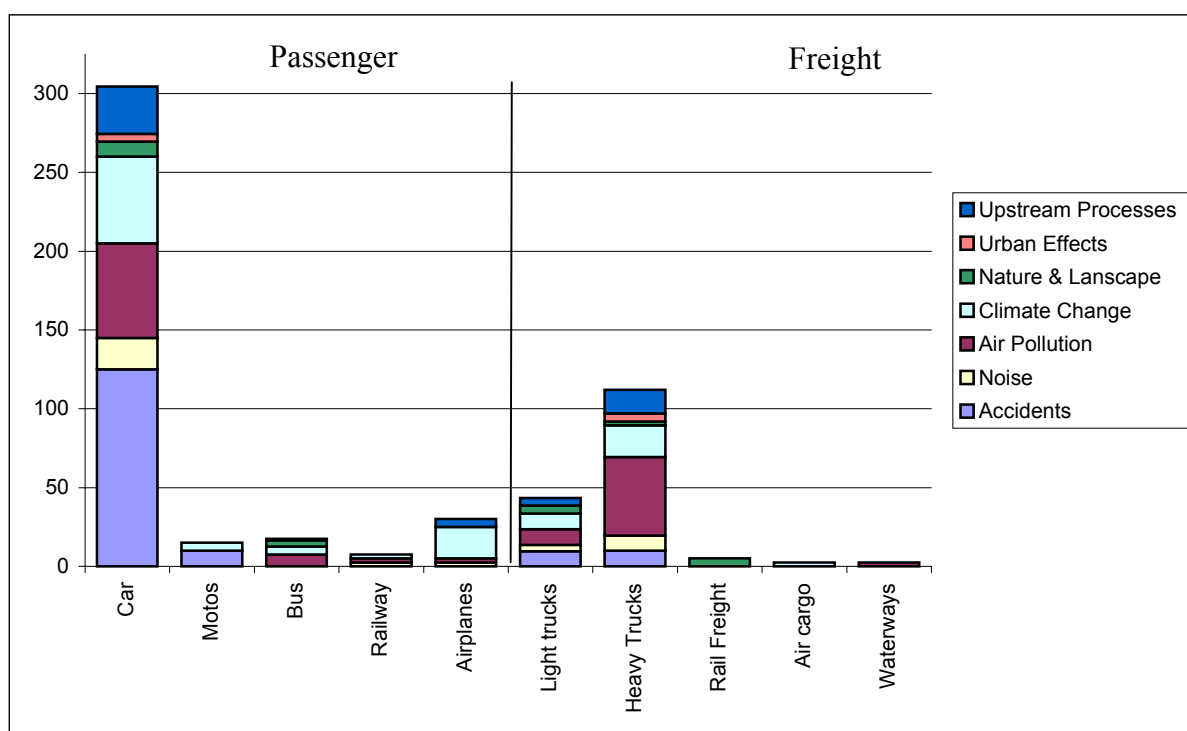
סוג ההשפעה	חלק יחסי מסה"כ העלויות	מרכיבי העלות	הנחות עיקריות
תאונות דרכים	29%	עלויות נוספות של: טיפול רפואי, עלויות מזדמנות של החברה (opportunity costs), סבל וצער	- ערך של חיי האדם 1.5 מיליון יורו - עלות הממוצעת שווה לעלות השולית. - תשלומי ביטוח נלקחו בחשבון על מנת להעריך מרכיבים של עלויות חיצוניות
רעש	7%	נזקים (עלויות מזדמנות של ערכי הקרקע) ובריאות האדם.	- שיטת ההערכה מבוססת על מוכנות לשלם עבור השקט מעל ל- db55. - עלויות ממוצעות מעורכות על ידי גישת top-down המבוססת על נתוני ECMT. - עלויות שוליות מעורכות על ידי גישת modeling
זיהום אוויר	25%	נזקים בריאותיים, חומריים, ביוספיריים.	- התוצאות מבוססות על בסיס נתונים חדש ועקבי של כל מדינות שהשתתפו המחקר. - עלויות בריאות מבוססות על מחקר WHO שהעריך עלויות עבור צרפת, אוסטריה ושוויץ - נזקי המבנים, איבוד יבולים ונזקי היערות מבוססות על מחקרים בשוויץ. - עלויות שוליות מחושבות בעזרת מודל ExternE.
שינויי אקלים	23%	נזקים של התחממות כדור הארץ	-בסיס נתונים TRENDS - יחידת עלות לטון CO2 שווה 135 יורו - עלויות שוליות שוות לעלות משתנה ממוצעת -יחידת עלות של תחבורה אווירית הוכפלה על מנת להתחשב בסיכון של פליטות ברום גבוה.
טבע ונוף	3%	עלויות נוספות לתיקון הנזקים, עלות פיצויים	- שימוש בתיקון העלויות בהערכה של עלויות עבור סוגי תשתיות שונים - ההשפעות לא רלוונטיות עבור עלות שולית חברתית מאחר ועלויות אלה קשורות לתשתית
הפרדה באזורים אורבניים	1%	הפסד זמן של הולכי רגל	- לפי מתודולוגיה ששימשה בגרמניה, הפסדי זמן הוערכו על בסיס סוגים שונים של ערים
צמצום שטח באזורים אורבניים	1%	פיצוי מקום עבור אופניים	- ההשפעות לא רלוונטיות עבור עלות שולית חברתית מאחר ועלויות אלה קשורות לתשתית - לפי מתודולוגיה ששימשה בגרמניה, הפסדי זמן הוערכו על בסיס סוגים שונים של ערים
עלויות נוספות מתהליכי upstream	11%	עלויות סביבתיות נוספות (זיהום אוויר, שינוי אקלים וסיכונים)	- מבוסס על צריכת האנרגיה, עלויות נוספות עבור קדם-בעירה, יצור וניהול של rolling stock ותשתית

²אוסטריה, בלגיה, דנמרק, פינלנד, צרפת, גרמניה, יוון, אירלנד, איטליה, לוקסמבורג, הולנד, נורבגיה, פורטוגל, שוודיה, שוויץ, הממלכה המאוחדת.

בשנת 1995, השפעות חיצוניות מתחבורה באיחוד האירופאי הוערכו ב- 530 מיליארד EUR, אשר מהווים 7.8% מהתל"ג האירופאי. לפי איור 5 המתאר השפעות חיצוניות הנגרמות ע"י נוסעים ומשאות ניתן לראות כי תחבורה בכבישים אחראית ליותר מ- 90% של עלויות חיצוניות של תחבורה, בעוד שרכבת אחראית על 1.6% בלבד (Environmental Policy Committee, 2001).

48% מכלל העלויות החיצוניות הנובעות מהתחבורה נגרמות כתוצאה מזיהום אוויר ושינוי אקלים, עוד 23% מהעלויות "נתרמות" כתוצאה מבעיות סביבתיות אחרות כמו רעש, טבע ונוף ועוד. לעומת זאת תאונות דרכים "תורמות" 29% מכלל העלויות החיצוניות הנגרמות מהתחבורה.

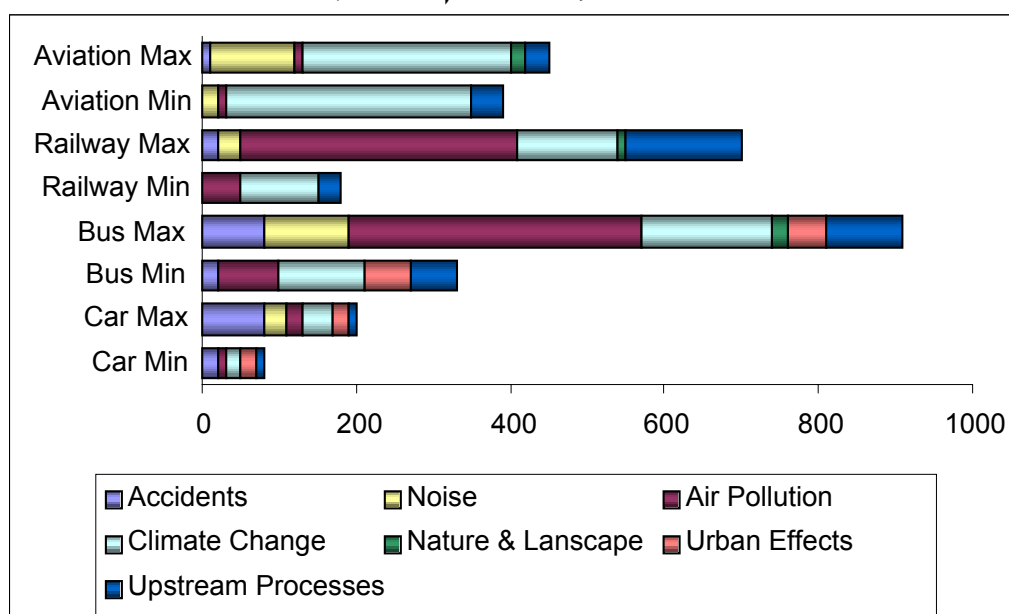
איור 5: השפעות חיצוניות מתחבורה באיחוד האירופאי (מיליארד יורו/שנה)



מקור: INFRAS, 2000; Environmental Policy Committee, 2001.

איור 6 מציג טווח ערכים של עלות השולית של השפעות חיצוניות מאמצעי תחבורה להסעת אנשים ביורו ל-1000 ק"מ של רכב. ניתן לראות שכאשר בודקים את ההשפעות החיצוניות ללא התחשבות במספר הנוסעים על הכביש, סה"כ העלויות מכל אמצעי התחבורה עולים ובמיוחד עלויות מאמצעי התחבורה הציבורית. לדוגמא, עלויות של השפעות חיצוניות על זיהום אוויר מאוטובוסים (ללא התחשבות במספר הנוסעים שהם מסיעים) הרבה יותר גבוהות (110-170 יורו) מרכב פרטי (20-40 יורו). לעומת זאת, כאשר עושים חישוב בהתאם למספר הנוסעים המשתמשים באוטובוסים וברכבים פרטיים, העלויות יורדות בצורה משמעותית (רכב פרטי 5-17 יורו; מאוטובוסים 4-25 יורו) (איור 8).

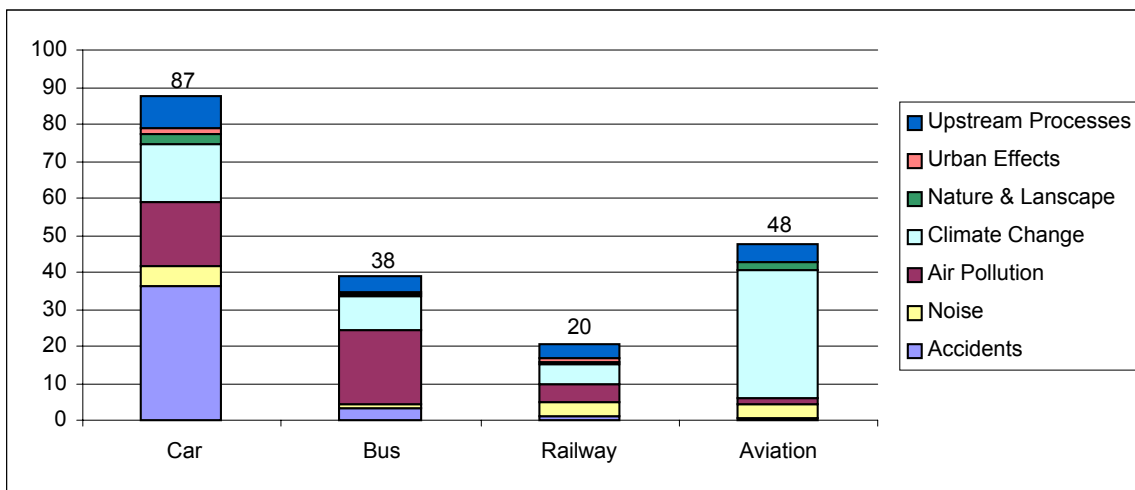
איור 6: עלויות שוליות של תחבורה למעבר נוסעים, לפי סוג השפעות חיצוניות ולפי אמצעי תחבורה (יורו/1000 ק"מ לרכב)



עד כה הוצגו נתונים המתייחסים למרחק שעוברים רכבים. כאשר מתייחסים למרחק שעוברים אנשים, התמונה משתנה (איור 7 ו-8). איור 7 מציג את העלות החיצונית הממוצעת ביורו ל-1,000 קילומטר נוסע³ (passenger km). ניתן לראות כי מתוך אמצעי תחבורה להסעת אנשים, רכבים פרטיים מגיעים ל-87 יורו ל-1000 ק"מ/נוסע. עלויות של תחבורה מסילתית מגיעות ל-20 יורו - פי 4.4 נמוך יותר מעלויות של תחבורה בכבישים. ההשפעות הבולטות של התחבורה המסילתית הן שינויי אקלים, רעש וזיהום אוויר. בתחבורה אווירית, ההשפעה הבולטת היא על שינויי אקלים. כאשר מתייחסים למרחק פר בן אדם, עלויות חיצוניות הנגרמות ע"י האוטובוסים נמוכות בהרבה מאלה של רכבים פרטיים. יחד עם זאת, עדיין ההשפעה הבולטת של אוטובוסים היא על זיהום אוויר (INFRAS,2000).

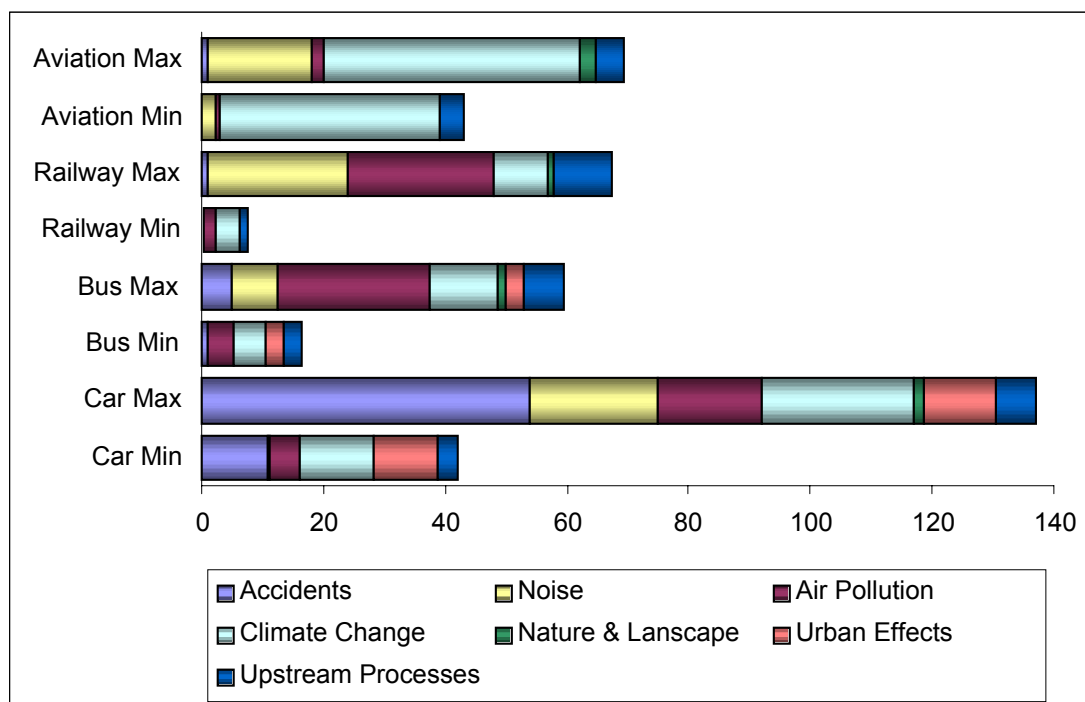
³ ק"מ נוסע/ ק"מ טון - הובלת נוסע או טון מטען למרחק של ק"מ.

איור 7: עלויות חיצוניות ממוצעות לפי אמצעי תחבורה המשמשים נוסעים (יורו/1000 ק"מ/נוסע, 1995).



איור 8 להלן מציג טווח ערכים של עלות השולית של השפעות חיצוניות מאמצעי תחבורה להסעת אנשים ב יורו ל- 1000 ק"מ של נוסע⁴. טווח הערכים חשוב למדי, מאחר ומתחשבים בסוגי התחבורה ומצב התנועה בהם הם נמצאים. באזורים אורבניים, לדוגמה, עלויות שוליות הרבה יותר גבוהות מאשר באזורים בין עירוניים. עלויות הנגרמות על ידי תחבורה יבשתית באזורים אורבניים מסתכמים ב- 113 יורו ל- 1000 ק"מ/נוסע, בעוד שבאזורים בין עירוניים העלות מסתכמת ב- 34 יורו בלבד.

איור 8: עלויות שוליות לפי השפעות חיצוניות ולפי אמצעי תחבורה (יורו/1000 ק"מ/נוסע 1995).



⁴ התפוסה הממוצעת ברכב היא 1.74 אנשים, תפוסה הממוצעת באוטובוס 17.2 אנשים (בממוצע, התפוסה באוטובוסים בממלכה מאוחדת 8.9, באוסטריה 30, בגרמניה 19, בפורטוגל 28) (INFRAS, 2000).

2.2 השפעות סביבתיות של תחבורה

התחבורה היבשתית גורמת לשורה של מפגעים סביבתיים (OECD, 1998; Mobility 2001) וביניהם: צפיפות, פליטות מזהמים, רעש מתחבורה, השפעות שליליות על קרקעות, השפעות על תפיסת שטח, מים ומערכות אקולוגיות, הפרעה לקהילות, תאונות דרכים, שימוש באנרגיה לא מתחדשת, פסולת מוצקה שקשורה לתחבורה. להלן מובאת סקירה כללית לפי הנושאים, בדגש על זיהום אוויר ואמצעים טכנולוגיים להפחתתו.

2.2.1 זיהום אוויר

2.2.1.1 פליטות "קונבנציונליות"

תחבורה ממונעת היא המקור העיקרי של זיהום אוויר מקומי, עירוני ואזורי (Mobility, 2001). חומרים הנפלטים על ידי הרכבים תורמים לזיהום אוויר הכולל: חלקיקים ותחמוצת חנקן (NOx), פחמן חד חמצני (CO), פחמימנים (HC) ותרכובות אורגניות נדיפות (VOC), עופרת, גופרית דו חמצנית (SO2) (ראו פירוט בלוח 3). אוזון (O3) הוא מזהם משני הנוצר מריאקציה פוטוכימית של תחמוצות חנקן ופחמימנים. לוח 3 מציג מזהמי אוויר עיקריים מתחבורה והשפעתם על הסביבה.

לוח 3: מזהמי אוויר עיקריים מתחבורה

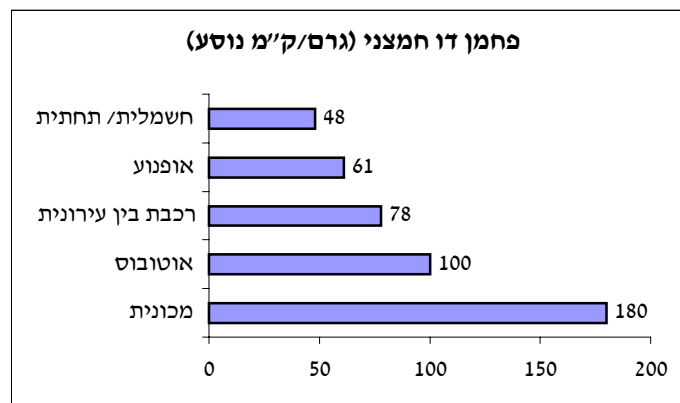
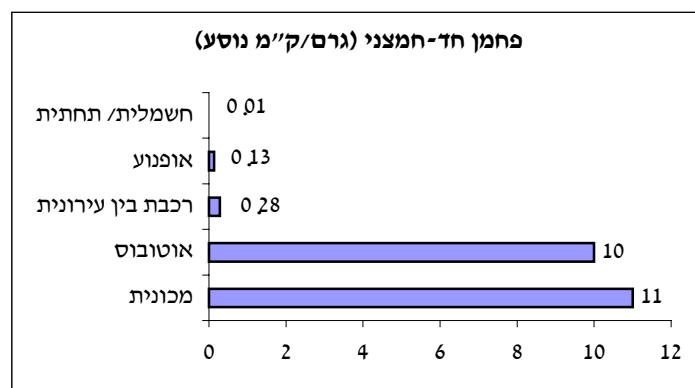
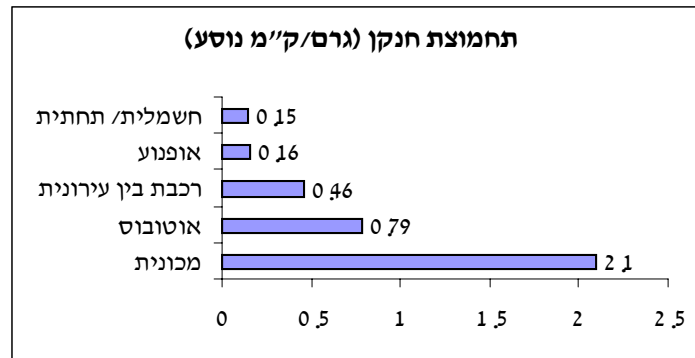
מקור המזהם והשפעתו	מזהם
מזהם אוויר משריפה לא מושלמת של דלק. מתקשר להמוגלבין בדם ומונע אספקת חמצן סדירה. חשיפה אליו לאורך זמן עלולה להחריף מחלות לב וכלי דם. במקומות לא מאווררים הוא יכול לגרום למוות.	פחמן חד חמצני (CO)
חלקיקים מסוכנים הקטנים מ- 2.5 מיקרון והחודרים לדרכי הנשימה. החלקיקים נוצרים בתהליך שריפת הדלק. הם גורמים לבעיות נשימה ולב, לפגיעה בריאות ואף לסרטן ריאות.	חלקיקים (PM2.5)
נוצרות בתהליך השריפה. הן אופייניות לפליטות מתעשייה, תחנות כוח ותחבורה. גורמות לגירוי בריאות ופוגמות בחסינות למחלות בדרכי הנשימה. התחמוצות הן אחד המשתתפים בתהליך יצירת האוזון	תחמוצת חנקן (NOx)
נוצרת בתלות ישירה ברמות הגופרית שבדלק. אופיינית לדלקים כבדים (פחם, מזוט) ופחות לדלק הקל (בנזין). גורמת לתחושת חנק, לגירויים בגרון ובעיניים ולהחרפת מחלות בדרכי הנשימה. מהווה מרכיב בגשם חומצי הפוגע ביערות, באגמים ובחקלאות.	גופרית דו חמצנית (SO2)
מזהם אופייני לתחבורה הנוצר משריפה לא מושלמת של דלק. עיקר השפעתו ביצירת אוזון, אך גורם גם לעיכוב גדילה של צמחים ולגירוי בדרכי הנשימה. חומרים מסרטנים – בנזן.	פחמימנים (HC) תרכובות אורגניות נדיפות (VOC)
מחמצן הנוצר מריאקציה פוטוכימית (תהליך כימי המשלב קרינת שמש) של תחמוצות חנקן ופחמימנים – שניהם מזהמים שמקורם בתחבורה. אוזון, המקושר לרוב לבעיית עשפל smog, גורם לבעיות בנשימה, מחריף אסטמה ופוגע בצמחיה.	אוזון (O3)
גז "חממה" עיקרי. גורם לשינויים אקלימיים בעולם.	פחמן דו חמצני (CO2)

מקור: פלטשר, 2000

מחקרו של Whitelegg (1993), מציג נתונים אשר מצביעים על כך שבאירופה מבין אמצעי התחבורה העיקריים – מכונית, אוטובוס, רכבת, אופנוע וחשמלית או רכבת תחתית – המכונית יצרנית הזיהום הראשונה במעלה (איור 9).

אומנם כלי רכב פולטים יותר מזהמים ליחידת מרחק מאשר תחבורה ציבורית, אולם מעורבים בכך גם גורמים נוספים, כולל שיעור הרכבים, גיל ורמת התחזוקה של הרכבים וכו'.

איור 9: פליטות של מזהמי אוויר לפי אמצעי תחבורה באירופה



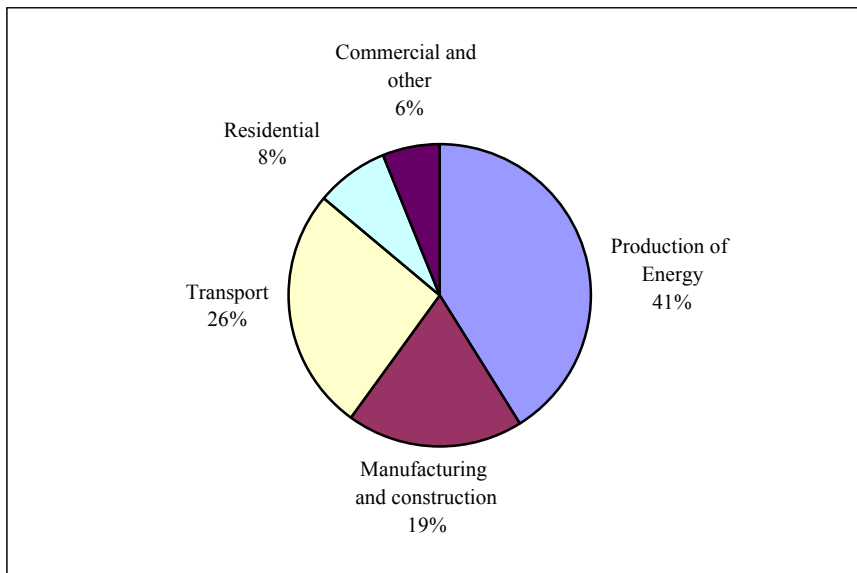
2.2.1.2 פליטה של גזי החממה

מזהמים שפורטו לעיל בעיקר מזוהים עם בעיות זיהום מקומיות, אורבניות או אזוריות. למזהמים אחרים השפעות גלובליות. פחמן דו חמצני (CO_2) נוצר מבעירה של דלקים פוסיליים. CO_2 נקרא "גז חממה", משום שכאשר הוא נמצא באטמוספירה, הוא קולט את הקרינה האינפרא אדומה אשר מוחזרת מכדור הארץ. בכך נגרם אפקט החממה, קרי, עולה הטמפרטורה הממוצעת של כדור הארץ.

מזהמים נוספים מתחבורה כגון: מתאן, תחמוצת החנקן (N_2O), ופליטות ממצנני אוויר שברכבים, גם הם גזי חממה. גזים אלה בעלי פוטנציאל השפעה רבה יותר על שינויי אקלים ליחידת מסה בהשוואה ל CO_2 . תחבורה מהווה מקור זניח לפליטות מתאן ו- N_2O . השימוש בנזולי מיזוג אוויר ברכבים (CFC) בעבר הלא רחוק - הוגבל בגלל תרומתם ל"חורים" באוזון ותחליפים שלהם משמעותיים גם הם מבחינת אפקט החממה. שימוש ב- CFC (פחמן כלור-פלואורי) הוחרם על ידי פרוטוקול מונטריאל, אף על פי זאת הייצור והסחר הבינלאומי מותרים כל עוד הוא קיים במלאי.

יש הסכמה בין לאומית כי חייבים לצמצם כמויות של CO_2 הנפלטות לאטמוספירה עקב פעילויות האדם השונות, כולל התחבורה. איור 10 מציג את פליטת CO_2 העולמי, הנגרמים מצריכת אנרגיה בלבד (ללא סקטורים כמו פסולת וחקלאות), לפי סוגי פעילויות (IEA, 2000). התחבורה אחראית על – 26% מכמות CO_2 העולמי, כאשר 16.9% נגרם על ידי תחבורה יבשתית. פליטת CO_2 נמצאת במתאם לצריכה של אנרגיה כאשר מקור הכוח הוא דלק פוסילי. כאשר הכוח מופק ממקורות האחרים (לדוגמה הידרו חשמלי או רוח), פליטת CO_2 היא מינימלית. כיום, אמצעי התחבורה היחידים אשר מסוגלים להשתמש במקור כוח נקי הוא תחבורה ציבורית במדינות כגון: שוויץ, נורבגיה וצרפת אשר מייצרות כמויות גדולות של חשמל על ידי שימוש בהידרו אנרגיה או אנרגיה גרעינית. אמצעי תחבורה אלה (רכבת תחתית, רכבת חשמלית ואוטובוסים חשמליים) יונקים את החשמל מקווים עליונים או מסילות מחושמלות.

איור 10: פליטת פחמן דו חמצני בעולם, לפי סוגי פעילויות (1998)

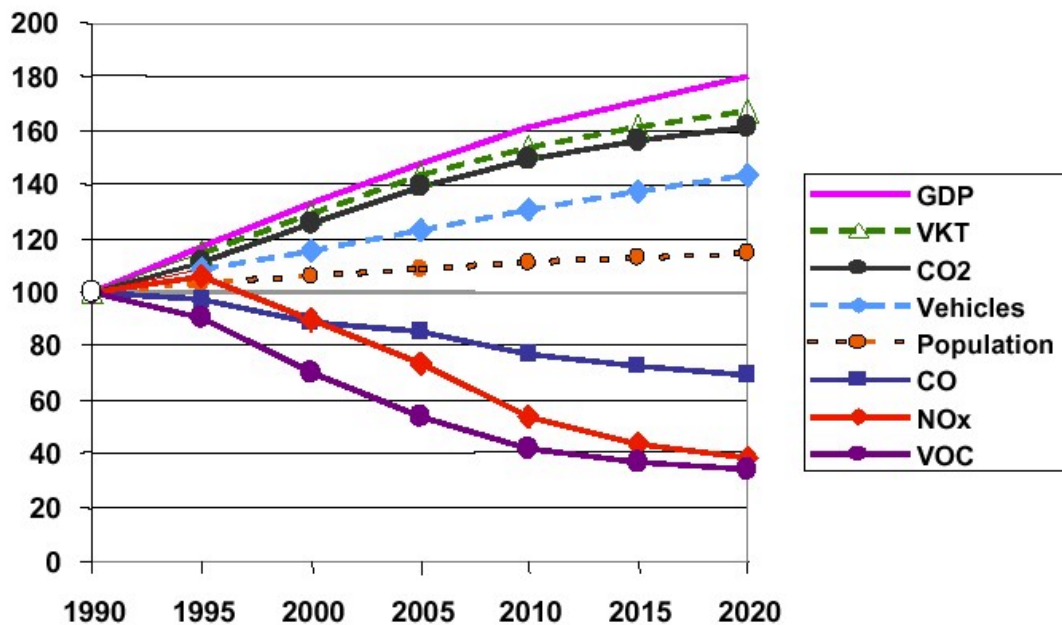


2.2.1.3 מתאם בין פיתוח כלכלי וזיהום אוויר מתחבורה

הישגים שהושגו על ידי שיפור בטכנולוגיות להתייעלות השימוש בדלק מתגמדים מול הביקוש לאנרגיה על ידי התחבורה שכבר היום צורכת יותר ממחצית הביקוש הדלק העולמי. איור 11 מציג מגמות כלכליות צפויות מול אינדיקטורים צפויים של זיהום אוויר מתחבורה במדינות OECD. אוכלוסייה ופרמטרים כלכליים כגון מספר הרכבים, VKT (Vehicle Kilometers) ותמי"ג (תוצר מקומי גולמי) נמצאים בעלייה מתמדת. הודות לפיקוח מחמיר במדינות OECD, פליטה של המזהמי האוויר העיקריים, כגון: CO, VOC, ו-NOx, מרכבים מנועים צפויה לרדת, יחד עם זאת, פליטות גזי החממה מתחבורה, בייחוד CO₂, צפויה לעלות (ראו איור 10). תחזית "עסקים כרגיל" אינה מתקבלת על הדעת, ולכן לדעת OECD, יש צורך להציע וליישם פתרונות חדשניים (OECD, 2002) (ראו איור 4).

איור 11: מגמות כלכליות צפויות מול אינדיקטורים צפויים של זיהום אוויר מתחבורה במדינות OECD.

(2020-1990)



מקור: OECD, 2002 Environmental Outlook, 2001 בתוך OECD, 2002

2.2.1.4 תקנים אירופאיים של פליטת מזהמים

נושא זיהום האוויר הוא אחד המרכזיים בהתייחסות לנושא התחבורה בכלל והתחבורה הציבורית, בפרט. יש לציין בהקשר זה כי מנועי דיזל פולטים חלקיקים נשימים עדינים אשר הוגדרו ע"י ארגון הבריאות הבינלאומי כרעילים והם חשודים כמסרטנים. תקנים אירופאיים למנועי דיזל כבדים (הנקראים EURO I..V) נקבעו על מנת להגדיר את רמות הפליטה המותרות ממנועים אלה. תקנים של EURO I עברו מנועי דיזל בינוניים וכבדים הוצגו בשנת 1992. תקנים של EURO II קיבלו תוקף בשנת 1996. תקנים אלה הוכנו הן למנועים כבדים ברכבים בין עירוניים והן לאוטובוסים עירוניים (לוח 4).

בשנת 1999, הפרלמנט האירופאי יחד עם מועצת איכות הסביבה של הקהילה, אימצו תקנים סופיים של EURO III והן תקנים של EURO IV & V לשנים 2005 / 2008. האיחוד האירופאי מצפה שהגבלת ערכי הפליטה לשנת 2005 ו-2008 תחייב את כל הרכבים הכבדים המופעלים בדיזל, להרכיב מתקנים משופרים להפחתת הזיהום הנפלט מהם, לדוגמה, מלכודת חלקיקים (particulate traps) או ממירים DeNOx.

בשנת 1999, הפרלמנט האירופאי יחד עם מועצת איכות הסביבה של הקהילה, אימצו תקנים סופיים של EURO III והן תקנים של EURO IV & V לשנים 2005 / 2008. (Directive 2001/27/EC of December 13, 1999, amending the Heavy Duty Diesel Emissions Directive 88/77/EEC). התקנים הגדירו ערכים קפדניים עבור רכבים בעלי פליטה נמוכה (הידועים בשם רכבים ידידותיים לסביבה – enhanced environmentally friendly vehicles – EEV) מנקודת מבט של תרומתם לצמצום של זיהום אויר בערים.

באפריל 2001, European Commission אימצה הנחיות חדשות - Directive 2001/27/EC, אשר מכניסות שינויים להנחיות הקודמות (Directive 88/77/EC). ההנחיות החדשות אוסרות שימוש ברכיב ממוחשב העוקף מנגנון בקרה על פליטה (emission defeat devices) ופוגע ביעילות של מערכת פיקוח על הפליטה⁵.

האיחוד האירופאי מצפה שהגבלת ערכי הפליטה לשנת 2005 ו-2008 תחייב את כל הרכבים הכבדים המופעלים בדיזל, להרכיב מתקנים משופרים (Aftertreatment devices) להפחתת הזיהום הנפלט מהם, לדוגמה: מלכודת חלקיקים (particulate traps) או ממירים DeNOx.

לוחות 4 ו-5 מציגים תקנים של פליטת מזהמים באיחוד האירופאי. השינויים במבחני מנועים (engine test cycles) הופיעו בתקנים של יורו 3 (שנת 2000). מבחן מנועים הישן ECE R-49

⁵ באוקטובר 2022, 1998, בית משפט קנס את 7 חברות ייצור דלק דיזל בארה"ב ב- \$83.4 מיליון (העונש החמור ביותר על עבירות על חוקים סביבתיים) על כך שהרכיבו רכיב ממוחשב במנועי דיזל כבדים אשר גורם לכמויות לא חוקיות של פליטה. החברות מכרו 1.3 מיליון מנועי דיזל כבדים הכוללים מתקנים "defeat devices", אשר מאפשרים לעבור מבחני פליטה לפי תקן EPA. כתוצאה מכך, מנועים אלו הגדילו פי 3 את רמת ה- NOx (U.S. Environmental Agency, 2002) <<http://www.epa.gov/compliance/civil/programs/caa/diesel/factsheet.html>>

הוחלף על ידי שני מבחנים חדשים : ESC (European Stationary Cycle) ו- ETC (European)
 (Transient Cycle). עשן נמדד על ידי מבחן (European Load Response) ELR.

לוח 4: תקנים אירופאיים של פליטת מזהמים עבור מנועי דיזל (HD Diesel Engines), g/k Wh, במ"ק אוויר

Tier	Date & Category	Test Cycle	CO	% Euro 2	HC	% Euro 2	NOx	% Euro 2	PM	% Euro 2	Smoke
Euro I	1992, <85 kW	ECE R-49	4.5		1.1		8.0		0.61 2		
	1992, >85 kW		4.5		1.1		8.0		0.36		
Euro II	1996.10		4.0		1.1		7.0		0.25		
	1998.10		4.0		1.1		7.0		0.15		
Euro III	1999.10, <i>EEVs only</i>	ESC & ELR	1.5		0.25		2.0		0.02		0.15
	2000.10	ESC & ELR	2.1	53%	0.66	60%	5.0	71%	0.10 0.13 *	7%	0.8
Euro IV	2005.10		1.5	38%	0.46	42%	3.5	50%	0.02	13%	0.5
Euro V	2008.10		1.5	38%	0.46	42%	2.0	29%	0.02	13%	0.5

* for engines of less than 0.75 dm³ swept volume per cylinder and a rated power speed of more than 3000 min⁻¹

מקור : <http://www.dieseltch.com.sg/Euroemsn.htm> ; <http://www.dieselnet.com/standards/eu/hd.html> ; 2002

לוח 5: תקני פליטת מזהמים עבור מנוע דיזל ומנוע גז, על פי מבחן ETC, g/kWh במ"ק אוויר.

Tier	Date & Category	Test Cycle	CO	NMHC ^d	CH ₄ ^a	NOx	PM ^b
Euro III	1999.10, <i>EEVs only</i>	ETC	3.0	0.40	0.65	2.0	0.02
	2000.10	ETC	5.45	0.78	1.6	5.0	0.16 0.21 ^c
Euro IV	2005.10		4.0	0.55	1.1	3.5	0.03
Euro V	2008.10		4.0	0.55	1.1	2.0	0.03

a - for natural gas engines only
 b - not applicable for gas fueled engines at the year 2000 and 2005 stages
 c - for engines of less than 0.75 dm³ swept volume per cylinder and a rated power speed of more than 3000 min⁻¹
 d- non-methane hydrocarbons

מקור : <http://www.dieselnet.com/standards/eu/hd.html>

קביעת תקני הפליטה לכלי רכב היא משימה מורכבת. אם אין בודקים את הפרמטרים המתאימים ברמה המתאימה, אין למערכת האכיפה אפשרות לשפר את איכות האוויר בפועל. עם זאת, אם ייקבע תקן שאינו בר מימוש (למשל, כתוצאה מאיכות ירודה של הדלק), לא ניתן יהיה לאכוף יישום התקנה (טל, 2002).

כדי לקבוע את תקן הפליטה האופטימלי, נהוג במדינות רבות לבדוק את כל כלי הרכב ולגלות את הרמה שבה 70%-75% מכלי הרכב עוברים את המבחן. רמה זאת אמורה להוות "סטנדרט". לאחר קביעת הסטנדרט הראשוני, יש צורך להמשיך ולהוריד את התקן באופן רציף במשך הזמן. מטרת המדיניות – לקבוע תקן שהציבור יוכל לעמוד בו. קיומם של תקנים לפרמטרים שונים, ואף מחמירים יותר מאלה הקיימים היום בישראל, מצביע על צורך לבחון את האפשרות להוריד

בהדרגה את התקן – גם אל מתחת לתקן האירופאי, המהווה "מינימום" למדינות הקהילייה האירופאית (טל, 2002).

הגבלות לתכולת גופרית

הגופרית נמצאת בכל הדלקים הראשוניים. רוב הגופרית מסולקת בתהליך יצור של דלקים מסחריים. המושג דל גופרית יכול להיות מטעה מאחר ומשתמשים בו במדינות שונות עבור דלקים בעלי ריכוז גופרית שונה. באירופה מקובל להגדיר דלק כדל גופרית כאשר הוא כולל פחות מ- 50 חל"מ גופרית. דלקים שכוללים 10 חל"מ או פחות מוגדרים כנטולי גופרית. ביחס לאיכות בניין ודיזל הדרקטיבה האירופאית 98/70/EC מגדירה הגבלות מקסימליות לתכולת גופרית כמפורט להלן (ECMT, 2001):

הגבלות אירופאיות לגופרית	יורו 3, ינואר 2000	יורו 4, ינואר 2005
דיזל	350 חל"מ	50 חל"מ
בנזין	150 חל"מ	50 חל"מ

2.2.1.5 אמצעים טכנולוגיים לצמצום זיהום אוויר – רקע וניסיון בין לאומי

א. שיפור תכונות הדלק ודלקים אלטרנטיביים

1. שיפור תכונות דלק

מרכיבי הסולר המשמעותיים ביותר מבחינה זו הם:

- א. **אחוז הגופרית:** מקור הגופרית הוא בדלק הראשוני ממנו מופקים תוצרי הדלק השונים. ניתן להפחית את כמות הגופרית בתזקיקים ברמות שונות בהתאם לרמת הטיפול בדלק ולדרישות הצרכן או התקן. תכולת הגופרית בסולר משפיעה ישירות על כמות החלקיקים זעירים, אשר חלקם נראה לעין כ"עשן שחור" וחלקם בלתי נראה. כל רכבי הדיזל פולטים חלקיקים כאלה, וככל שכלי הרכב ישנים יותר או בלתי מטופלים כנדרש, הם פולטים יותר חלקיקים. (מושל, 2003).
- ב. **אחוז תכולת תרכובות פוליאורומטיות, מספר צטאן, צפיפות, נק' זיקוק מקסימלית:** פרמטרים אלה משפיעים (בין היתר) על אופן שרפת הדלק במנוע ועל יעילות השרפה וגוזרים את הרכב פליטת המזהמים. כל מרכיב משפיע באופן אחר על הפליטה, כאשר לחלק מהמרכיבים ישנה השפעה הפוכה על סוגי מנועים שונים. לכן, בבחינת הרכב הדלק האופטימלי יש להביא בחשבון את סוגי המנועים בשימוש בארץ ואת המגזר שבו אנו מעוניינים לטפל באופן המיטבי.
- ג. **תיסוף הסולר:** ועדת התקינה לדלק ומוצרי קיבלה החלטה לחייב תיסוף של הסולר המשווק בישראל. מטרת התיסוף היא למנוע היווצרות משקעים במערכות המנוע ולשפר את יעילות השרפה. השימוש בתוסף ואבטחת פעילות תקינה של מנועי הדיזל משמעותית במיוחד לגבי הפחתת פליטת חלקיקים.

כתוצאה מהמעבר לדלקים במפרטים שתוארו, צפויה הפחתה בפליטת תחמוצות החנקן הנפלטות מרכבי דיזל. מעבר מסולר במפרט הנוכחי (350 ח"מ גפרית) למפרט בתי הזיקוק (50 ח"מ גפרית) צפוי להביא להפחתה של כ 7% בפליטת תחמוצות החנקן מרכבי דיזל ומעבר לסולר במפרט הארופי (30 ח"מ גפרית) צפוי להביא להפחתה של כ 1% נוסף בפליטת מזהם זה.

השימוש בדלקים במפרטים המשופרים של בז"ן ואירופה צפויים להביא להפחתה כללית בסך פליטת החלקיקים מדיזל. השימוש בסולר במפרט בז"ן (בתי זיקוק נפט) צפוי להביא להפחתה כללית של כ 8% ובמפרט האירופאי כ 3% נוספים מסך פליטת החלקיקים מרכב בשנת 2005 (משרד לאיכוה"ס, 2001).

דוגמאות בעולם

- בהרבה מדינות הממשלה נותנת תמריצי מס על מנת לעודד יצור דלק אשר עומד בתקנים של יורו 4 לפני שנת היעד 2005. תמריצי מס קיימים בדנמרק, פינלנד, נורבגיה, בלגיה ופולין עבור דלק דיזל ובבריטניה, הולנד וגרמניה עבור בנזין ודיזל (ECMT, 2001).
- ערים רבות בעולם עברו לסולר בעל תכונות משופרות, הן מבחינת תכולת הגופרית שאינה עולה על 10 ח"מ (חלקים למיליון) והן מבחינת יעילות השרפה. השינוי גורם להפחתת פליטתם של תחמוצות גופרית, תחמוצות חנקן, וחלקיקים.
- בבריטניה ניתנה הנחה בבלו על סולר המכיל עד 50 ח"מ גופרית וכתוצאה מכך חלה ירידה בשימוש בסולר בעל ריכוז גופרית גבוהה יותר (התקו הקונבנציונלי עומד על 350 ח"מ) (ECMT, 2001).
- במדינות סקנדינביה נעשה מעבר לסולר 50 מ"מ בתחילת העשור הקודם ובשנים אחרונות אף לסולר המכיל עד 10 ח"מ בלבד.
- בגרמניה היה מעבר בסוף שנות ה-90 לסולר 50 ח"מ, והחל מ-2003 ישנו מעבר לסולר 10 ח"מ, בעקבות הנחה במיסוי לסולר זה.

2. גז פחמימני מעובה (גפ"מ) - LPG Liquified Petroleum Gas

זהו בעצם גז הבישול שהינו אחד מתוצרי הלוואי של זיקוק הדלק. גפ"מ נראה כיום כאחד מאמצעי ההנעה מעוטי המזהמים האטרקטיביים והזמינים ביותר. בשימוש גפ"מ במנועי שריפה פנימית במקום סולר או בנזין נפליטים מזהמים אופייניים כמו חד תחמוצת הפחמן CO, תחמוצות חנקן NOx, חלקיקים PM ופחמימנים HC בכמות מזערית יחסית (משרד לאיכוה"ס, 2001). מהשוואה בין מקדמי הפליטה (כמה גרם מזהם נפלט לכל קילומטר נסיעה) של אוטובוסים מונעי דיזל משנים שונות ושל אוטובוס מונע גפ"מ עולה כי:

- ככל שאוטובוס הדיזל מדגם חדש יותר - מקדם הפליטה שלו, לכל המזהמים, נמוך יותר. כלומר, ככל שהאוטובוס מדגם חדש יותר הוא פולט פחות מזהמים לכל ק"מ נסיעה.
- מקדמי הפליטה של אוטובוס מונע גפ"מ נמוכים יותר בהשוואה לאוטובוס יורו 3 שהינו החדש ביותר.

ההתאמות הנדרשות להסבת רכב לרכב מונע גפ"מ: השימוש בגפ"מ במנוע בנזין כרוך בהתאמה פשוטה בלבד. כך מתאפשרת נסיעה בבנזין או בגפ"מ לסירוגין על ידי לחיצה על מתג:

- מיכל הגפ"מ מותקן בתא המטען של כלי רכב בנזין ותופס עד 30% מהנפח המקורי.
- ניתן לרכוש כלי רכב כבדים (משאיות ואוטובוסים) בעלי מנועי גפ"מ.
- הסבת כלי רכב עם מנוע דיזל לשימוש בגפ"מ היא תהליך מורכב יותר הדורשת הסבה יקרה או החלפת המנוע.

יתרונות השימוש בגפ"מ (משרד לאיכה"ס, 2001):

- א. **פליטת מזהמים נמוכה ביותר:** ניתן להשתמש בממיר קטליטי (three way catalyst) (דבר שאינו ניתן במנועי דיזל).
- ב. **תחזוקה פשוטה יותר מכלי רכב אחרים:** שמני הסיכה מאריכים ימים - הודות לכך שהגפ"מ אינו חודר לשמן המנוע. עקב כך, השמן אינו מאבד את תכונותיו ואיכותו ולכן ניתן להחליפו בתדירות נמוכה עד פי חמשה מהמקובל.
- ג. **הארכת חיי המנוע:** הגפ"מ, בהשוואה לבנזין וסולר, יוצר פיח בכמות מזערית. הפיח אינו מתערבב עם השמן ואינו פוגע בו וכך אינו מצטבר בראש המנוע, דבר הדוחה את הצורך בשיפוץ.
- ד. **הארכת חיי צנרת הפליטה:** גזי פליטת הגפ"מ אינם קורוזיביים.
- ה. **התאמה לסוגי מנוע חדישים:** לגפ"מ אוקטן 100 ולכן הוא מתאים לכל סוגי המנועים החדשים.
- ו. **שרפה אחידה יותר:** מסת הגפ"מ קרובה לזו של האוויר. עקב כך מושגת תערובת אוויר/דלק מדויקת, הומוגנית ויציבה דבר המביא לשרפה טובה יותר.
- ז. **התקנה פשוטה בכלי רכב ישנים:** אפשרות התקנה פשוטה בכלי רכב מונעי בנזין ישנים, הגורמת להפחתת כמות המזהמים הנפלטת מהם.
- ח. **מניעת מפגעי רעש:** מנועי גפ"מ שקטים בהרבה ממנועי דיזל בהספק דומה.

דוגמאות לשימוש בגפ"מ בעולם (משרד לאיכה"ס, 2002):

- מיליון כלי רכב באיטליה.
- 325 אלף כלי רכב בהולנד (14% מכלל צי הרכב).
- 120 אלף כלי רכב בצרפת.
- 300 אלף כלי רכב ביפן.
- 500 אלף כלי רכב בדרום קוריאה.
- בהלסינקי הוסבו 5 אוטובוסים כפיילוט להסבת 340 אוטובוסים לגפ"מ.
- בתורכיה מונעות המוניות בגפ"מ

עלויות:

עלות אוטובוס חדש מונע בגפ"מ היא \$US 170,000, כ - 10% יותר מעלות אוטובוס מונע בסולר. כלומר עלות אוטובוס מונע בגפ"מ הינה כ - \$US 17,000 יותר מאוטובוס דיזל חדש (זבירין ואחרים, 2002).

עלות תחנת מילוי גפ"מ שלמה המסוגלת לטפל ב- 300 אוטובוסים עם מיכל על פני הקרקע כולל צנרת, משאבות ומונים היא כ- \$US 110,000, כלומר כ- \$US 370 לאוטובוס. עלות מוסד המסוגל לשרת 150 אוטובוסים המונעים בגפ"מ הוא \$US 7,700 לאוטובוס.

סך כל העלויות של אוטובוסים חדשים המונעים בגפ"מ (ללא הכשרת כח אדם) היא כ- 25,000 \$US לאוטובוס בהנחה שהדבר מבוצע עבור כמה מאות אוטובוסים (זבירין ואחרים, 2002).

3. גז טבעי - Compressed Natural Gas CNG

גז טבעי הוא דלק פוסילי זמין וזול יותר מדלק רגיל. גז טבעי הוא הדלק החלופי הנפוץ ביותר עבור אוטובוסים (TCRP, 1998). בהשוואה לדלק מסוג דיזל, גז טבעי מצמצם במידה משמעותית את תחמוצת חנקן (NOx) ומפחית פליטת החלקיקים (PM). יחד עם זאת, רמת הפליטה של אוטובוסים המונעים בגז טבעי רגישה לכיול מערכת הדלק. שימוש בגז טבעי מאפשר לחסוך בין 30%-35% בעלויות הדלק בהשוואה לדיזל. מאידך, עלויות אופרטיביות אחרות מפצות על חיסכון בעלות הדלק. עבור צי שכולל 200 אוטובוסים מוערך שעלויות אופרטיביות של שימוש בגז מסתכם ב-0.66 \$ למייל לעומת 0.62 למייל בשימוש בדיזל (TCRP, 1998).

4. גז טבעי מעובה - Liquefied Natural Gas

גז טבעי מעובה הופיע כחלופה לגז טבעי (TCRP, 1998). הוא מציע איכות יותר עקבית של דלק מאשר גז טבעי רגיל, משקל וערך אכסוני נמוכים יותר, וסיכון משמעותית נמוך יותר של לחץ. למרות שמכלי LNG מבודדים היטב, לא ניתן להימנע ממעבר חום לתוך המכל. באופן מבצעי זה אומר שאידוי הדלק והגבלת זמן אכסון של דלק ברכב בגלל תנאי מזג האוויר, הופכים את LNG למחמיר יותר מבחינה תפעולית מאשר CNG. בארה"ב, ברוב המקומות, השימוש ב-LNG יקר יותר מאשר שימוש ב-CNG.

5. מתנול ואתנול

מתנול, או אלכוהול מתילי, זה נוזל נקי ללא צבע אשר ניתן להפיק ממקורות כגון פחם, גז טבעי ודגנים שונים. כיום, מתנול מופק מגז טבעי כי היא השיטה הכלכלית ביותר. אתנול, או אלכוהול אתילי, ידוע גם כאלכוהול דגנים כי הוא בדרך כלל מופק מדגנים כגון תירס או גידולים חקלאיים אחרים. אתנול הוא הדלק האלטרנטיבי היחיד שמתחדש באמת מכיוון שהוא עשוי מיבולים חקלאיים ולא דלקים פסיליים פחממניים. נתונים זמינים של פליטת מזהמים מראים שאוטובוסים מנועים בעזרת אלכוהול בדרך כלל פולטים פחות תחמוצת חנקן מאשר אוטובוסים המנועים בדיזל. עלויות האתנול והמתנול גבוהים בהרבה מאשר עלויות הדיזל. נכון לנתוני 1998, הדבר הגביל את השוק הפוטנציאלי עבור דלקים אלכוהוליים, ומנע את ההשקעות הדרושות לפיתוח מודל של מנוע אלכוהול (TCRP, 1998).

6. ביו-דיזל

ביו-דיזל מתייחס לדלקים שמופקים משומן צמחי אשר מתאים למנועי דחיסה-הצתה Compression-ignition. ביו-דיזל מכינים על ידי אסטרופיקציה (החדרה של אטום חמצן לתוך

שרשרת HC) על ידי מתנול או אתנול. ניתן להשתמש בביו-דיזל במנוע דיזל ללא שינוי (AFDC, 2003). תערובת בריכוז 20% של ביו-דיזל (מעורבב עם דלק דיזל) יכול לשמש כל ציוד דיזל ומתאים לרוב ציוד אכסון והפצה. תערובת בריכוז נמוך של ביו-דיזל (20% ופחות) לא דורשת התאמת מנוע ויכולה לספק אותה קיבולת כמו דיזל. תערובת בריכוזים גבוהים או ביו-דיזל נקי, ניתנת לשימוש במנועים המיוצרים אחרי 1994 עם התאמה מזערית, או ללא התאמה כלל. יחד עם זאת, העברה ואכסון דורשים טיפול מיוחד.

שימוש בביו-דיזל במנוע דיזל מסורתי מפחית במידה ניכרת פליטות של פחמימנים לא שרופים, פחמן חד חמצני, גופרה, פחמימן ארומטי, וחלקיקים. ככל שריכוז של ביו-דיזל בדיזל עולה כך פליטת המזהמים הנ"ל נמוכה יותר. ביו-דיזל נקי מצמצם פליטה של דו תחמוצת חנקן (גז חממה העיקרי) ב- 75% בהשוואה לדיזל (AFDC, 2003).

7. מימן ותאי דלק

מימן משמש במנועי שרפה וברכבים אלקטרוניים העובדים עם תאי דלק. יתרונות העיקריים של מימן הם: צמצום פליטת גזי החממה, שיפור באיכות אוויר ויעילות גבוהה יותר של אנרגיה (AFDC, 2003).

בתאי הדלק מומרת האנרגיה האצורה בדלק ללא שריפה לאנרגיה חשמלית. הדבר נעשה באמצעות שימוש בממברנה, המאפשרת מעבר פרוטונים בלבד, מצידה האחד מוזרם מימן ומצידה השני חמצן.

קיימים היום כלי רכב המצוידים בתאי דלק, כאשר הדלק המשמש להנעתם הוא מימן, מתנול ואף בנזין רגיל (חברת GM). הפליטה מתא הדלק עצמו היא של מים בלבד, וכאשר נעשה שימוש בדלק המכיל פחמן גם פחמן דו חמצני. הטכנולוגיה נראית מבטיחה הן בשל הניצולת הגבוהה של התהליך והן בשל אמינותו.

החסרון העיקרי כיום - המחיר, מנוע תא דלק עולה פי כמה ממנוע רגיל, דבר ההופך את רכישתו ללא כדאית. כמו כן, תדלוק מימן הוא עדיין בעייתי בגלל תכונות הנפיצות שלו. בעוד הטכנולוגיות להמרת מתנול או בנזין למימן בכלי הרכב עצמו עדיין אינן בשלות להפצה מסחרית (אתר של משרד לאיכות הסביבה, 2003).

להלן ריכוז עלויות הון (נכונים לשנת 1998) עבור אוטובוסים מנועים בדלקים שונים.⁶

דלק	החלפת רכב	עלויות מתקני דלק עבור 200 אוטובוסים	התאמת מוסכים
דיזל	הזול ביותר מבין החלופות. \$250,000 לאוטובוס שמצוייד ברצפה נמוכה מיזוג, מנוע HHD, וציוד נלווה	מחירים מתונים וניתנים לחיזוי. אומנם, הנזילות יכולות לגרום לעלויות תיקון גבוהות.	אין. מוסכים הקיימים עוצבו לאוטובוסי דיזל
גז טבעי CNG	היקר מכלולם, פרט למימן \$320,000 לאחד.	בקירוב 1.7 מ' \$ עבור צי של 200 אוטובוסים	גילוי גז מתאן, איורור מוגבר, שרות חשמלי במקומות מובחרים ומערכת מיגון נגד אש. \$600,000 בממוצע
גז טבעי מעובה LNG	\$305,000 ליחידה, כולל מערכת הדחיקת אש ומערכת לגילוי דליפת מתאן	קרוב ל 1.8 מ' \$ עבור צי של 200 אוטובוסים. חומרים ועיצוב של מקום אכסון ושאיבה של דלק יקרים.	כמו ב- CNG
גז פחמימני מעובה LPG	\$290,000 ליחידה. מכלי דלק לא מבודדים וזה מוזיל את העלויות לעומת מכלי LNG אש כוללים מערכת הדחיקת	קרוב ל- 700k \$. תקן עיצובי מגובש; מחירים ניתנים לחיזוי. מכלים חייבים להיות מספיק חזקים על מנת לעמוד בלחצים.	אם המוסך מותאם לשירות רכבי גפ"מ, אין עלויות מיוחדות. אם לא, יש צורך בהגברת אוורור, שירות חשמלי באזורים נמוכים, מערכת מיגון אש משודרגת. עלות התאמת מוסך \$340,000 בממוצע.
מתנול	\$280,000, מעט יקר מדיזל בשל מכל דלק גדול יותר, עלות גבוהה יותר של מנוע וצורך בחומרים עמידים בקורוזיה במערכת הדלק.	מעט גבוה ממתקני דיזל: קרוב ל- \$400k. יש לבחור מזהירות חומרים שנרטיבים על מנת למנוע קורוזיה של דלק.	כמו LPG
אתנול	כמו מתנול	כמו מתנול	כמו LPG
מימן	היקר ביותר, \$500,000	עיצוב בשלב קונצפטואלי. כניראה יהיה יותר יקר מאשר ב- CNG.	נכון ל- 1998 אין הערכה

ב. שיפורים במנוע

1. ממירים מחמצנים לרכבי דיזל - DOC - Diesel Oxidation Catalyst

הממיר הופך פחמימנים, פחמן חד חמצני ותרכובות אורגניות בחלקיקים לפחמן דו חמצני, מים ומרכיבים נייטרליים אחרים.

בניסויים שנערכו עד כה בעולם נמצא כי הממירים מפחיתים רק חלק מן החלקיקים בגדולים מעל 1 מיקרון ואינם מפחיתים את פליטת החלקיקים הקטנים יותר. שימוש ב" סולר עירוני" שבו 10 ח"מ גופרית משפר את יעילות הממירים (ממצצם ב-41% נוספים את פליטת החלקיקים, ב-16% את פליטת תחמוצות הפחמן וב-7% את פליטת תחמוצות החנקן) (סרוסי ואחרים, 2001)

הרווח הסביבתי המושג ע"י ממיר מחמצן:

- בכלי רכב המונעים בדיזל, הממיר מפחית בשיעור של עד 95% את פליטתם של חד תחמוצת הפחמן (CO) ופחמימנים (HC) על ידי חמצונם.
- הממיר מפחית ב 40-50% את פליטת החלקיקים על ידי חמצון החלק האורגני שבהם.

⁶ ניתן למצוא פירוט וריכוז של עלויות הון, עלויות תפעוליות ודוגמאות לעלויות של צי שכולל 10, 50 ו- 200 האוטובוסים ב- Guidebook for Evaluating, selecting and implementing Fuel Choices for Transit Bus Operations, (1998)

דוגמאות לשימוש בממיר המחמצן:

- **בארה"ב:** ממירים מחמצנים נמצאים בשימוש בכל הערים המרכזיות ומותקנים באוטובוסים עירוניים ישנים וחדשים ובמשאיות חדשות.
- 500 אלף ממירים מחמצנים ברחבי ארה"ב; מהם 8,000 ממירים לחברות הסעה גדולות שעברו כבר מעל 240 אלף ק"מ. 3,000 ממירים בתוכנית פיילוט להפחתת מזהמים במקסיקו סיטי. בין הלקוחות בארה"ב: חברת ההסעה של ניו ג'רזי, MTA ניו יורק, MTA לוס אנג'לס.
- ב 20,000 אוטובוסים ברחבי אירופה הותקנו ממירים מחמצנים.

עלות הממיר המחמצן: (לרכב כבד) היא כ \$3000

2. מלכודת חלקיקים - Particulate Trap, Diesel Particulate Filter

מלכודות חלקיקים עשויות בצורת כוורת העשויה מחומרים קרמיים ואשר בה נלכדים החלקיקים שבגזי הפליטה. עם הצטברות החלקיקים על הפילטר מתרחשת שרפה שלהם, עקב עלייה בהתנגדות ובטמפרטורה. על מנת להוריד את טמפרטורת ההצתה העצמית של החלקיקים, שנתפסו במלכודת (כדי שהשרפה תתרחש בטמפרטורה נמוכה יותר) יש להוסיף תוסף לסולר. פוטנציאל הפחתת החלקיקים על ידי מלכודות החלקיקים נע בין 50% ל 90%.

יתרונות מלכודת החלקיקים:

- טיפול בחלק הבעייתי ביותר של גזי הפליטה - החלקיקים והפרקציה האורגנית הספוחה אליהם, אשר הוגדרו ע"י ה EPA כמסרטנים, וכגורמי תמותה מוקדמת בבני אדם.
- ניתן להשתמש במלכודות באוטובוסים הנמצאים בשימוש ע"י התקנה פשוטה, ובכך להפחית מיידית חלק ניכר מהזיהום הנפלט.

חסרונות מלכודת החלקיקים:

- הצורך לתסף את הדלק (בחלק מהמלכודות).
- יצירת לחץ נגדי על המנוע, בחלק מדגמי המלכודות, דבר המגדיל את תצרוכת הדלק.
- דרישה לתכולת גופרית נמוכה בדלק (בחלק מהמלכודות קיימת דרישה של פחות מ- 10 ח"מ גופרית).

דוגמאות לשימוש במלכודות חלקיקים בעולם (משרד לאכה"ס, 2001)

- **דנמרק:** לפני כשנתיים נערך ניסוי במספר אוטובוסים ובימים אלה מותקנות מלכודות חלקיקים ב 120 אוטובוסים.
- **אנגליה:** בלונדון הותקנו 20 מלכודות חלקיקים לניסיון באוטובוסים ישנים בשנת 1999. חברת Hove & Brighton מאנגליה הצהירה בשנת 2000 כי בכל האוטובוסים החדשים בהם היא מצטיידת יותקנו מלכודות חלקיקים.

- חב' **Engelhard** סיפקה מלכודות חלקיקים בארה"ב: חב' ההסעה במחוז אורנג' לוס אנג'לס, חב' ההסעה בניו ג'רזי; באירופה: RATP פריס, חב' ההסעה של לונדון; במזרח הרחוק: חב' ההסעה בטייפה טייוואן, חב' ההסעה בבנגקוק תאילנד.
 - **חברת NYC Transit**, ניו יורק: החברה בודקת מלכודות חלקיקים בשני סוגי מנועי דיזל ב- 50 אוטובוסים בניסוי שימשך כשנה. בניסוי ישתמשו בדלק דל מאוד בגופרית (ultra low) עשרת האוטובוסים הראשונים החלו את הניסוי ב-1.2.2000.
- עלות המלכודת:** כ \$8500 - 6500.

3. מלכודת ממחזרת רציפה - CRT Continuously Regeneration Trap

מערכת ה-CRT מהווה צרוף במתקן אחד של ממיר קטליטי מחמצן ומלכודת חלקיקים רגילה המותקנים זה אחר זה. עקרון פעולת אמצעי זה מבוסס על תכונת $2NO$ לחמצן פחמן. תכונה זו מאפשרת לנקות בעקביות את המסנן (מלכודת) מחלקיקי פח שנלכדו עליו. מלכודת ה-CRT מאפשרת להפחית פליטת חלקיקים מאוטובוס בתנאי נסיעה עירוניים בשיעור של עד 90%, דבר שאינו ניתן להשגה על ידי ממיר מחמצן בלבד. כמו כן המלכודת צפויה להפחית את פליטת ה-CO ו- HC בשיעור של למעלה מ- 95%.

יתרונות מערכת ה-CRT טיפול יעיל במיוחד בגזי הפליטה (למעט NO_x).

חסרונות מערכת ה-CRT דרישה לסולר המכיל לא יותר מ 50 ח"מ גופרית או אפילו 10 ח"מ.

- כמו כן המלכודת צפויה להפחית את פליטת ה-CO ו HC בשיעור של למעלה מ 95%

דוגמאות לשימוש:

ב- 13,000 אוטובוסים ברחבי אירופה הותקנו מערכות CRT. בגרמניה, יותר מ 3,000 אוטובוסים עירוניים, כולל ציים של ערים כמו ברלין ומינכן, ועל אוטובוסי מרצדס ומאן הנפוצים גם בארץ הותקנו אמצעים אלו.

4. הנעה היברידיית-חשמלית

הנעה היברידיית-חשמלית היא טכנולוגיה מבטיחה מאוד עבור דור הבא של אוטובוסים (AFDC, 2003). לכלי רכב המונעים בשיטה זו שני מנועים: האחד חשמלי והשני מנוע שריפה פנימית. המנוע החשמלי נכנס לפעולה כאשר נדרשת תוספת כוח להאצת הרכב או להתחלת נסיעה. מנוע השריפה הפנימית משמש הן לטעינת המצברים והן להנעת כלי הרכב.

היתרון ברכב היברידי הוא שנמנעת הפליטה הגבוהה של מזהמי אוויר בעת התחלת נסיעה או האצה וכן מושג חיסכון ניכר בצריכת הדלק של המכונית (כמות הקילומטרים לליטר דלק לעתים מוכפלת).

חסרון העיקרי: עלותן הגבוהה הנובעת ממורכבותן (אתר של משרד לאיכות הסביבה, 2003).

בעולם קיימת מזה זמן טכנולוגית הנעה ההיברידיית באוטובוסים. הטכנולוגיה מאפשרת חסכון בדלק (כ- 40%) ובפליטת מזהמים. בארה"ב ב- 1992 הוקם פרויקט "Advanced Technology Transit Bus" אשר שם לו למטרה לפתח אוטובוס קל, נמוך ריצפה שצורך מעט אנרגיה ופולט

מעט מזהמים יחסית לאוטובוסים מסורתיים. אוטובוס זה אמור לפעול בעזרת הנעה היברידית-חשמלית. ב-1998 נוצרו 6 אב טיפוס של אוטובוסים מסוג זה.

2.2.1.6 אמצעים להקטנת פליטת גזי חממה

א. אמצעים טכניים

האמצעים הטכניים מיועדים ליעל את פעולת הרכב ולהקטין פליטת גזי חממה, להחליף דלקים ולהקטין פליטת גזי חממה פרט ל CO_2 (זבירין ואחרים, 2002).

א.1. אמצעים ליעול פעולת כלי הרכב כוללים בין השאר:

- הקטנת משקל הרכב והמנוע.
- שיפור מערכות בקרה ממוחשבת על פעולת הרכב.
- שיפור המנוע, כולל הזרקה ישירה של דלק למנועי בנזין ודיזל, שיפור בפעולת שסתומים ועוד.
- שיפור במבנה הרכב להקטנת מקדם החיכוך.
- שיפור במערכות מיזוג האוויר ברכב.

הן בארה"ב והן באירופה עוסקת תעשיית הרכב במאמצים לשיפור כלי הרכב, ויש להניח כי הפיתוחים מחו"ל יגיעו לארץ. יש לזכור כי בגלל אורך חיי הרכב מגיעים פיתוחים ליישום בשטח אחרי כ-10 שנים לרכב פרטי ויותר מכך לרכב כבד (זבירין ואחרים, 2002).

התחזית לשיפור ביעילות הרכב הינה לירידת צריכת האנרגיה בשיעור של 20%-25% ב-2005. חברות הרכב בארה"ב מתכננות יצור רכב פרטי בשנת 2004 שצריכת הדלק שלו תהיה 32 ק"מ לליטר.

א.2. שימוש בדלקים חלופיים.

נידונה האפשרות להשתמש בגז למינור, שימוש בכוחלים – מתאנול ואתאנול, שימוש בביו-גז, שימוש במימן, שימוש ברכב מונע חשמל.

א.3. אמצעים טכניים להקטנת פליטת גזי חממה פרט ל CO_2 .

- הקטנת דליפת גז ממערכת מיזוג האוויר ברכב.
- פיתוח מתמרים קטליטיים שאינם יוצרים NO_x .

ב. מערכות בקרת תעבורה.

מערכות בקרת תעבורה מיועדות ליעדים הבאים:

- הקטנת תדירות הנסיעה ע"י הקטנת הצורך בנסיעה.
- הקטנת מרחקי הנסיעה ע"י שינוי יעדים או שינוי מיקום מגורים ועבודה.
- הקטנת השימוש ברכב לנוסע יחיד ומעבר לנסיעות ברכב רב נוסעי.

רשימה של אמצעי בקרת תעבורה שונים שנוסו והוצעו בעולם מוגשת בלוח 6. כן מוגשת בלוח הערכה ליעילות פוטנציאלית של כל אחד מהאמצעים. יש להדגיש כי אין בעולם מודל כמותי אמין לקביעת יעילות האמצעים השונים ולכן המספרים המוגשים בטבלה הינם הערכה בלבד (זבירין ואחרים, 2002).

לוח 6: אמצעים עיקריים לניהול תחבורה והאפקט הפוטנציאלי שלהם

אמצעי ניהול תחבורה	מטרה	דוגמאות	יעילות
תקינה ורגולציה	הפחתת נסועה	חיוב מעסיקים בביצוע תכניות להפחתת נסיעות ניהול תנועה אפיסודי כאשר צפויה חריגה מתקני איכות אויר מגבלות חניה	דורש אכיפה משמעותית התובעת משאבים. ידוע מה ייאסר על אנשים ומה הם לא יעשו, אולם אין ידיעות באשר לאלטרנטיבה בה יבחרו. תכניות אגרסיביות עם אכיפה טובה עשויות להשיג שיפור של 20% בהשגת המטרה, אולם תכניות שתתקבלנה פוליטית עשויות להשיג 5% בלבד.
שיפורים בניידות	להגביר אלטרנטיבות של רכבי נוסעים רבים	נתיבים בלעדיים לרכבי נוסעים רבים. שיפורים והרחבת מערכת להסעה המונית. מתקנים ותכניות לעידוד והלכי רגל ורכבי אופניים.	אין הסכמה למידת היעילות של אמצעים אלה. אפקט על פליטת גזי חממה מזערית בשל העובדה שמדובר בתנועה אל וממקום העבודה. מערכת הסעה המונית עשויה להפחית 8% מהפליטות מתחבורה. תוספת של אמצעים נוספים עשויה להעלות את התוצאה עד ל- 12%.
ניהול ביקוש נסיעה	הפחתת נסועה באמצעות שינוי התנהגות נוסעים	חינוך הציבור. תכניות הסעה מבוססות על מעסיקים שימוש בטכנולוגיות מידע מדיניות לריסון שימוש ברכב	חוסר ודאות באלטרנטיבות בהן יבחר הציבור. לתיקשוב אפקט מיזערי על הפחתת פליטה של גזי חממה. מדיניות לריסון שימוש ברכב הינה היעילה ביותר, אולם באיזורי מטרופולין עשויה לתרום רק 3% הפחתה של פליטות.
מכניזמים מבוססי שוק	לגבות מנוסעים את כל עלות הנסיעה כולל עלויות חיצוניות.	אגרות גודש מס זיהום מס על דלקים מחירי חניה	עשוי להפחית נסועה אולם לא ברור באיזו מידה. הפחתה מקסימלית של גזי חממה בשיעור של 7%. ברוב המקרים מדובר בהפחתה של 6% בנסועה כנגד עליה של 10% במחירי דלק. נסועה מושפעת בצורה מינורית כתוצאה מהורדת מחירי תחבורה ציבורית. אגרות גודש עשויות להפחית נסועה עד 8%.
ניהול גידול ופיתוח שימושי קרקע	קיצור מרחקי נסיעה או להחליפה בהליכה או נסיעה באופנים או תחבורה ציבורית.	שימושי קרקע מעורבים. תכנון ידידותי להלכי רגל ניהול חניה	יעילות לטווח ארוך. קשה להערכה. תכנון טוב של שימושי קרקע מעורבים עשוי להפחית עד 4% פליטות.
ניהול זרימת תנועה	במקום לנסות לשנות מנהגי נסיעה, לנסות לשפר את זרימת התנועה כך שתתנהל בתנאים נוחים יותר מבחינת פליטות.	מערכות תכנון וניהול גודש אוטומציה ותימור. מעקב אחר תנועה ומערכות בקרה.	תכניות כאלו עשויות להביא להפחתה של עד 10% אלא אם התכנית מושכת תנועה. במקרה כזה התוצאה עלולה להיות הפוכה.
טכנולוגיות מכוניות	בנוסף למטרות אחרות, הפחתת פליטות	תיגבור בדיקות רכב ופעולות אחזקה. מכוניות חשמליות	

מקור: (זבירין ואחרים, 2002).

2.2.2 צפיפות

כתוצאה מעלייה בדרישה לניידות פרטית, עולות במהירות הדרישות לתשתיות. את התשתיות ניתן לספק רק באופן קולקטיבי בממדים גדולים תוך השקעת משאבים וזמן. התפתחות שירותים תחבורתיים והתאמתם למערך העירוני עומדים בקצב המהיר של מעבר האוכלוסייה לרכבים ממנועים וכתוצאה מכך נוצר חוסר איזון של המערכת וצפיפות.

רכבים פרטיים צורכים יותר מרחב ותשתיות ליחידת נסיעה (per unit travel) מאשר תחבורה ציבורית, למרות שהדבר תלוי בתפוסה של אנשים בתחבורה הציבורית. אוטובוסים מלאים עושים שימוש יעיל יותר בתשתית הכבישים מאשר הרכבים הפרטיים, ואוטובוסים ריקים פחות יעילים.

צפיפות בכבישים גורמת לעיכובים ולתפקוד לא יעיל של רכבים. בנייה והרחבת התשתיות במטרה לפתור את בעיית הצפיפות אינה פתרון. יש לבחון את העלות הכלכלית והסביבתית לעומת התועלת הצפויה לנוסעים.

צפיפות נובעת מחוסר התאמה בין קיבולת הכבישים לבין התנועה בזמן הנתון. חוסר התאמה זה נובע בעיקר מהסיבה שאנחנו כחברה לא מסוגלים (או לא מעוניינים) לתכנן את פעילותנו ביום ובלילה בצורה אחידה. במילים אחרות, הצפיפות מוסברת טוב יותר על ידי בעיית שעת השיא, מאשר בעיית הקיבולת (Mobility, 2001).

המושג הכלכלי של השפעות חיכוניות הוא בסיסי לנושא הצפיפות. כל נוסע שנכנס לכביש במהלך שעות השיא לא משלם מחיר מלא של החלטתו לנסוע. מאחר ומחיר אינו עלות שולית שווה, הדרישה עולה על היצע וכתוצאה מכך יש צפיפות. לאורך שנים כלכלנים טענו שבעיית הצפיפות ניתן לפתור בתנאי שכל נוסע בכביש ישלם "עלות מלאה" שהוא כופה על אחרים על ידי החלטתו להשתמש בכבישים בשעות השיא. עד לאחרונה, הדיון על היבטים תיאורטיים של חיוב על צפיפות היה בעיקר דיון אקדמי, מאחר וזה היה בלתי אפשרי לגבות מסים מסוג זה ללא עצירת התנועה. אומנם, יחד עם ההתפתחות הטכנולוגיות שמסוגלות להפעיל כלים לגביית מס מהרכבים בשל הצפיפות, הדיון עבר מאקדמיה לזירה הפוליטית.

פרט לשיקולים לגבי העלויות הקשורות ליישום של תמחור של צפיפות, זה הפך לויכוח רחב יותר בנושא של מידת ההשפעות החיצוניות הנובעות מתחבורה והאם המסים על דלק ואגרות רישום אשר כבר משולמים על ידי הנהגים, בייחוד במדינות אירופה ויפן, מכסים את העלויות המלאות.

2.2.3 רעש מתחבורה

מכוניות, אוטובוסים ומשאיות הם המקור העיקרי למטרדי רעש ברוב הערים. לרוב המדינות המפותחות קיימות תקנות לרמת הרעש הנפלטת מאז 1970. רעש מתחבורה משפיעה מאוד על בריאות של תושבי העיר ועל איכות החיים. הרעש לעיתים נחשב כמטרדי העיקרי באזורים אורבניים, ורעש מתחבורה הוא הגרוע ביותר. לדוגמא, ערכי הנדל"ן הממוקמים ליד עורכי תחבורה ראשיים נמוכים יותר (Mobility, 2000).

בשכונה עירונית טיפוסית בארה"ב רמת הרעש נעה בין 55 db ל-70 db. חשיפה ממושכת לרעש מעל 85 db גורמת לאיבוד שמיעה. מחקר הנעשה לאחרונה באוסטריה על תלמידי בית הספר מצא

כי רעש נמוך אך מתמשך מתנועת רכבים היום יומית יכול לגרום למתח אצל הילדים, לעלייה של לחץ דם ושל דופק.

פרט למנועים ומערכת הפליטה, הרבה רעש מיוצר על ידי תחבורה אווירית ועל ידי מגע של צמיגים עם הכביש. ניתן לצמצם את הרעש מגלגלים על ידי עיצוב צמיגים ושיפורים במרקם משטח הנסיעה (Mobility, 2000).

2.2.4 השפעות על קרקע, מים והמערכת האקולוגית

כבישים, גשרים, שדות תעופה, נמלים והרכבים שמשמשים בתשתיות אלה, משפיעים על קהילות אקולוגיות ומינים בטבע. תשתיות תחבורה במדינות המפותחות הן עצומות במידה ובהיקף. מערכת אינטנסיבית כזו היא מקור להפרעות אקולוגיות רבות. חלק מהן נגרמות במהלך הקמתם וחלקן במהלך השימוש (Mobility, 2000). דוגמאות להפרעות אלה הם: נגר של חומרים עיליים, שינויים בהידרולוגיה מקומית, הפרדה של מרחב המחיה של בעלי חיים, הכנסה ושגשוג של מינים פולשניים.

ברגע שהתשתיות נבנו והופעלו הם משפיעות על איכות המים וההידרולוגיה המקומית. תשתיות אלה מהוות מקור לסחופת וגורמי זיהום כתוצאה מנגר של חומרים הנפלטים על הכביש מרכבים ומפעילויות תחזוקת הכבישים ועל ידי ארוזיה של מדרונות צדדיים וחומרי בנייה. חלחול של מלחים ודלקים מהכבישים אל תוך מאגרי מים ציבוריים ובארות פרטיים מהווים בעיה משמעותית. לחותם הפיזי של מערכת התחבורה השפעות משמעותיות נוספות: זרמים מתועלים מחדש וגורמים להיווצרות ביצות, הפרעות לזרמי המים ותזוזה של מיקום הזרמים ורשת הניקוז.

הפרעות אקולוגיות הנגרמות מפעילות בכבישים מתפשטות הרבה מעבר לאזור שהם פועלים בו. הפרעות הנוצרות על ידי רעש מתחבורה, תנודות ואור, לדוגמא, מתפשטות למרחק מסוים, ופוגעות בהתנהגות בעלי החיים, כגון תזונה ורבייה. כבישים מחלקים את הנוף לחלקים קטנים, מפרידים בין בעלי חיים ומפריעים למעבר טבעי שלהם במרחב. אם המרחק בין הכבישים קטן מדי, בעלי חיים אינם מסוגלים לספק משאבים הדרושים לניהול תקין של אוכלוסיית חיות בר.

זיהום אוויר גם כן משפיע על התנהגות של מערכת האקולוגית. לפליטות המזהמים מתחבורה השפעות ארוכות טווח על תפקוד והרכב הביולוגי של מערכות אקולוגיות. אוזון גם הוא משפיע לרעה על מערכות אקולוגיות של יער והר, תוך פגיעה בגידול. פליטות של NOx גורמים לגשם חומצי והעשרה בחומרים מזינים הגורמים לשינויים ביולוגיים במערכת הקרקע והמים.

2.2.5 השפעות על תפיסת שטח

השפעות מערכות התחבורה היבשתית על היקף השטחים הנתפסים נחלקות להשפעות ישירות והשפעות עקיפות. השטחים הנתפסים ישירות על ידי מערכת התחבורה הם אותם שטחים המשמשים את מערכות התחבורה עצמן. ההשפעות העקיפות של מערכת התחבורה הן אלה הגורמות או מעודדות שינוי שימושי קרקע, כגון פיתוח אזורי מגורים בצפיפות נמוכה, מרכזי קניות וכו'. אלה, באופן מחזורי עלולים להביא שוב להגברת הביקוש לנסיעות. השפעות אלו קשורות באופן הדוק למידת ואופי השימוש ברכב.

השטח הנתפס על ידי מערכות התחבורה היבשתית כולל את שטח מערכות ההסעה, כבישים ומסילות ברזל, את שטחי החניה, וכן שטחי תפעול של מערכות התח"צ ומערכות השרות לרכבים (תחנות דלק וכד'). מבין אלמנטים אלו החשובים ביותר הם שטחי הכבישים וחניה. היקף השטחים הנתפסים למטרות אלו, ומידת הפגיעה של השטחים הנתפסים הם פונקציה של כמה החלטות מוסדיות, ובעיקר ההחלטות על סטנדרטים, כגון מרחקי ראות, התוואי האופקי והאנכי, חתך לרוחב הדרך, שילוב המרכיבים השונים ותכן עקלתונים. (פייטלסון ואחרים, 1998).

ככל שסיווג הדרך גבוה יותר (דרך מקומית, דרך מאספת, דרך עורקית, דרך מהירה), ומהירות התכן גבוהה יותר, מרחקי הראות הנדרשים ארוכים יותר, הרדיוסים רחבים יותר וחתך הרוחב רחב יותר, בייחוד בשל הצורך בהגבלת הנגישות לדרך משני צידיה. לכן, ככל שסיווג הדרך גבוה יותר קשה יותר להתאימה לפני השטח, והפגיעה הנופית הצפויה ממנה קשה יותר וסך השטח הנתפס על ידה רב יותר. בנוסף, דרכים מהירות מחייבות מחלפים, שגם להם יש סטנדרטים.

2.2.6 הפרעות לקהילות

הגדלת חלקה של התחבורה העירונית, בעיקר ע"י הרכב הפרטי, משפיעה על איכות חיי הקהילה, למרות שקשה לכמת את ההשפעות. כבישים עירוניים נבנו באמצע קהילות קיימות, ובכך חילקו את הקהילה ויצרו מחסום פיזי בין שני חלקים.

ישנן מעט הזדמנויות לאינטראקציה בין התושבים החיים בקהילה שמסתמכת בעיקר על רכב פרטי, משום שכאשר האנשים עוזבים את בתיהם הם מבודדים את עצמם ברכבים. זה עלול להוביל לאיבוד תחושה של קהילתיות וליכוד חברתי.

"השפעות מחסום" לא מוגבלות לכבישים בלבד. גם מסילות ברזל מחלקות קהילות, בייחוד כאשר הן מורמות על מנת ליישר שיפועים. קהילות התנגדו לפעילויות (כגון חיבור המסילות והקמה של קווים חדשים) הננקטות לעליית במספר רכבות המשא שעוברות דרכן, אפילו כאשר נקיטת אמצעי זה מביא להפחתה של תנועת המשאיות על הכבישים (Mobility, 2000).

2.2.7 תאונות דרכים

מחיר של חיי האדם, וסבל הנגרם עקב תאונות הדרכים הם מזעזעים, במיוחד בהשוואה לרמת הסיכון מפגיעות הפחות מקובלות אשר מעוררות פרסום רב יותר והקורבנות מעטים יותר. תאונות דרכים נחשבות, בדרך כלל, לעלות חברתית הגבוהה ביותר של התחבורה הממונעת.

לקראת סוף שנת 1990, קרוב ל- 42,000 אנשים נהרגו כל שנה בתאונות הדרכים במערב אירופה. בארה"ב, מספר האנשים הנהרגים בתאונות הדרכים כל שנה נע בין 40,000 ל- 45,000. בממוצע בשני האזורים יחד, אדם נהרג בתאונה כל 6 דקות. במדינות מסוימות, תאונות דרכים הן הגורם העיקרי למוות בקבוצת גיל 15-30. מספר האנשים הנפצעים בתאונות הדרכים בדרך כלל גבוה מפי עשר ומספר האנשים הסובלים פציעות קלות גבוה פי 65 מאשר מספר מקרי מוות. מספר מקרי מוות בערים בעולם המתפתח עולה במהירות ולעיתים מגיע לשיעורים מאוד גבוהים בהשוואה לרמת המינוע (Mobility, 2000).

2.2.8 שימוש באנרגיה מתכלה, מבוססת על דלק פוסילי

הרכבים צורכים אנרגיה. על מנת לספק את אותה האנרגיה – האנרגיה להעברת נוסעים ומשאות בכל העולם באמצעות יבשה, ים ואוויר. במוצע, נצרך יותר מאשר ליטר אחד של בנזין לכל אחד מתוך 6 מיליארד תושבים. במדינות המתועשות, התחבורה צורכת יותר ממחצית כמות הבנזין המיועדת לכל הצרכים. במדינות המתפתחות חלקה של התחבורה בצריכת האנרגיה הכוללת נמוך מחצי, אך הוא נימצא בעלייה מתמדת וצפוי כי יגיע למחצית במהלך העשור.

בנוסף לכך שתחבורה צורכת הרבה נפט גולמי, היא צורכת מעט מאוד אנרגיה ממקורות האחרים. דלקים המופקים מנפט גולמי מהווים יותר מ-96% מכלל מקורות האנרגיה המנוצלים בתחבורה, ואין סימן לירידה באחוז זה (IEA, 2000b). מקורות אנרגיה נוספים, כגון: פחם, גז טבעי, אלכוהול, חשמל, היו משמעותיים במקומות או זמנים מסוימים, אך הם היוו חלק מינורי מהסך הכל.

על כן, עלייה צפויה בדרישה לניידות מובילה לעלייה בצריכת דלק לתחבורה. תחזיות מקובלות מצביעות על הכפלה של רמת הצריכה תוך 25-30 שנה (IEA 2000b; EIA/US DOE 2001). יכולת ההיצע קשורה גם לעובדה ש-65% ממלאי העולמי הידוע של נפט נמצא במזרח התיכון (BP, 2000), ודאגה של שאר העולם שהוא תלוי באזור הפכפך מבחינה פוליטית.

הצורך בצמצום פליטות CO₂ הנובעות משימוש בדלקים לצורכי התחבורה, הוא הכוח המניע העיקרי מאחורי התעניינות בדלקים כמו אתנול ומתנול אשר מופקים מביומסה, ובדלקים כמו מימן וחשמל אשר מופקים ממקורות אנרגיה ראשיים (primary energy) שאינם פולטים CO₂. דרך לתחבורה בת קיימא צריכה לחקור אפשרויות אלה.

נכון להיום, קיימים מכשולים כלכליים, טכניים ואחרים רבים למסחור של הדלקים החלופיים, אך עבודה נוספת יכולה לצמצם הרבה מאותם המכשולים (Mobility, 2000).

יש להמשיך לחקור ולפתח חלופות אלה ולהפוך אותן לכלכליות וזמינות.

2.2.9 פסולת מוצקה מתחבורה

כלי רכב, בייחוד רכבים פרטיים ומשאיות קלות – הם המשתמשים העיקריים של חומרים כגון פלדה, ברזל, אלומיניום, זכוכית, גומי ופלסטיק. מידה בה נעשה שימוש חוזר בחומרים אלה, משתנה לפי האזור. לדוגמה בארה"ב יותר מ-95% מחומרים מכילי ברזל ברכבים ממונעים ממוחזרים, ולפחות 75% מהכמות חוזרת לשימוש. האחוז הגבוה נובע מעוצמה של תעשיית הפלדה ושוק מוכן למוצריה. במדינות האחרות, אחוזי המיחזור והשימוש החוזר נמוכים יותר. כמות ניכרת של רכבים משומשים מובלים מחוץ לאירופה (לצפון אפריקה ומזרח אירופה) ומחוץ ליפן (לדרום מזרח אסיה) (Mobility, 2000).

2.3 הפרמטרים המשפיעים על היקף ההשלכות הסביבתיות של תחבורה

כפי שראינו בפרק קודם התחבורה היבשתית גורמת לשורה של מפגעים סביבתיים. באופן כללי, ככל שיש יותר שימוש בתחבורה היבשתית כן יתרחב היקף המפגעים. אולם, בפועל היקף המפגעים אינו פונקציה ישירה של "תחבורה יבשתית", אלא מושפע משורה של פרמטרים שהם מהווים את מכלול הגורמים בתחום התחבורה היבשתית המשפיעים על איכות הסביבה.

בהכללה ניתן לקבוע כי מידת השימוש בכלי רכב פרטיים עומדת ביסוד הבעיות הסביבתיות הנובעות ממערכת התחבורה (פייטלסון, 1996). למידת השימוש בכלי רכב יש השפעה ישירה על פליטת מזהמי אוויר. כל נפח הדלק הנשרף במנוע מייצר מזהמי אוויר מגוונים הנפלטים לאטמוספירה. בנוסף למידת השימוש ברכב יש השפעה על ביקוש לתשתית, ולכן השפעה עקיפה על תפיסת שטחים פתוחים ופגיעה במערכות חי וצומח עקב כך. לפיכך, לכל צמצום במידת השימוש ברכב, ובמיוחד פרטי, עשויה להיות תועלת סביבתית. אולם, מהות המושג "שימוש ברכב" איננה טריוויאלית. למעשה יש מספר פרמטרים המאפיינים את מידת השימוש ברכב. פרמטרים אלו כוללים את כמות הנסיעות, אורכן, פיתולן בין אמצעי הנסיעה, מידת השיתוף באמצעי הנסיעה, כיוון ועיתוי הנסיעות, מהירות הנסיעה ומספר העצירות במהלך הנסיעה. על הפרמטרים הללו משפיעים גם על היקף המפגעים ואופי הפגיעות הסביבתיות. אולם לכל פרמטר יש השפעות שונות (פייטלסון, 1996).

תכונות צי הרכב

כלי רכב השונים מבחינת מבנה, גודל וטכנולוגיה, משפיעים במידה שונה על מידת הפליטה של מזהמי אוויר ורעש. בהכללה, ככל שצי הרכב מתקדם יותר מבחינה טכנולוגית, כך פוחתת מידת ההשפעה על הסביבה, הן בתחום פליטת המזהמים והן בתחום הרעש. כמו כן, רמת התחזוקה של צי הרכב משפיעה על מידת המפגעים. תחזוקה נאותה של כלי רכב עשויה להפחית באופן משמעותי את השפעתם השלילית על הסביבה.

כמות כלי רכב

למרות שקיים קשר בין משתנה זה לכמות הנסיעות, כמות כלי הרכב הוא פרמטר גס מדי בכדי לאפיין את כמות זיהום האוויר הנפלט מכלי הרכב. אולם, מספר כלי הרכב בפני עצמו משפיע על היקף השטחים הנדרשים לתשתית, שכן אפילו אם כלי רכב אילו אינם נוסעים כלל הם תופסים מקום. התפרוסת המרחבית של השטח הנדרש בפועל היא פונקציה של החלטות מדיניות, המתבטאות בעיקר בתקני החניה. בנוסף לכך מספר כלי הרכב עשוי להשפיע על ההיבט הקרקעי גם בעקיפין, שכן ככל שגדל מספר כלי הרכב גם מספר כלי הרכב הנגרטים גדל, דבר שמחייב שטחים לסילוק גרוטאות.

כמות נסיעות

לכאורה, ככל שמספר הנסיעות גדל, כן יגדלו היקף הפליטות וכתוצאה מכך מפגעי איכות האוויר והרעש. אולם, בפועל, גם פרמטר זה גס למדי שכן היקף מפגעי איכות אוויר יושפע ממאפייני הנסיעות לא פחות מאשר ממספר הנסיעות בלבד. למספר הנסיעות יש השלכה סיבתית חשובה בהיבט של "התנעות קרות". בדקות הראשונות של פעולת המנוע, שיעור הפליטה גבוה מאוד לעומת המצב של מנוע חם. מכאן שריבוי נסיעות הכרוך בהתנעות קרות, מזיק יותר מנסועה

הנעשית במספר נסיעות קטן יותר. כמו כן, ניתן לטעון שהיקף מפגעי הרעש מושפע יותר ממספר הנסיעות, שכן רוב מפגעי הרעש נגרמים בקרבת המגורים, שהם לרוב באחת מקצוות הנסיעה.

פיצול נסיעות

פיצול הנסיעות בין אמצעי נסיעה שונים מגלם את הפער שבין היעד החברתי-כלכלי של שמירה על ניידות לבין היעד הסביבתי של צמצום תנועת כלי הרכב המנועיים. ככל שמספר הנוסעים בכלי רכב גדול יותר, ניתנת ניידות רבה יותר מבלי שנוספת תנועת כלי רכב. לכן, התחבורה הציבורית, שבה יש מספר נוסעים גבוה יחסית לכלי רכב, אטרקטיבית מנקודת ראות סביבתית. ישנה גם חשיבות להבחנה באיזו תחבורה ציבורית מבוצעת הנסיעה. ככל שהכלי הינו בעל קיבולת רבה יותר וצורך פחות אנרגיה לנוסע, כמות הפליטות קטנה. זה הרקע להעדפה הניתנת על ידי רבים לרכבת מנקודת ראות סביבתית (פייטלסון, 1996)..

מימד אחר של פיצול הנסיעות מתייחס לאבחנה בין תנועה מוטורית לתנועה שאיננה מוטורית. מבחינה סביבתית יש עדיפות ברורה לתנועה הלא-מוטורית (אופניים, הליכה ברגל וכד').

פילוג נסיעות

הפילוג של הנסיעות במרחב הגיאוגרפי נובע מדגם שימושי הקרקע. ככל שקיימת הפרדה רבה יותר של שימושי הקרקע השונים (מגורים, תעסוקה, מסחר, אתרי בילוי ופנאי כך נוצרות יותר נסיעות ואורכן גדל. תמהיל שימושי קרקע בו משולבים שימושי קרקע שונים עשוי להיות עדיף מבחינת המפגעים הסביבתיים, שכן הנסיעות קצרות יותר ועשויה להיות התבססות רבה יותר על נסיעות באמצעים לא-מוטוריים.

פילוג הנסיעות משפיע בראש ובראשונה על התפלגות המפגעים במרחב, ובמידה מועטת יותר על עצם יצירת המטרדים. בהקשר זה ההשפעה העיקרית היא לגבי מפגעים מקומיים יחסית (כגון רעש), ואשר מיקומם הוא הגורם העיקרי המשפיע על היקף הנחשפים להם. כמו כן, פילוג הנסיעות הוא הגורם העיקרי הקובע את תפוסת הביקושים לתשתית, ומאן שיש לו חשיבות רבה גם לגבי היקף הפגיעה בשטחים הפתוחים (פייטלסון, 1996)..

מהירות נסיעה

למהירות הנסיעה השפעה על מידת הפליטה של מזהמים שונים ועל הרעש. השפעה זו הינה מורכבת. ראשית, יש צורך להבחין בין מהירות הנסיעה במהירות קבועה, לבין פרופיל שינויי המהירות, שני גורמים המשפיעים על מידת פליטת המזהמים והרעש. המהירות הממוצעת עשויה להסתיר שינויי תאוצה ותאוצה שיש להם השפעה סביבתית ניכרת.

למהירות הנסיעה יש כמה השפעות. מהירות הנסיעה היא פרמטר חשוב לקביעת כמות הפליטות בקטע דרך נתון. במהירויות שונות כלי רכב פולטים כמויות שונות לאותה יחידת דרך. ראוי לציין כי מזהמים שונים נפלטים בשיעור שונה של שינויי המהירות. הקושי העיקרי נעוץ בכך שמידת הפליטה של מזהמים תחבורתי אחד (NOx) הולכת וגדלה עם עליית המהירות, בעוד מידת הפליטה של אחרים (HC ו-CO) הולכת ופוחתת עם הגידול במהירות. לפיכך, מדיניות השואפת להגדיל או להקטין את מהירות הנסיעה יוצרת אפקט דיפרנציאלי מבחינת פליטות.

מהירות הנסיעה משפיעה על הרעש הנגרם מכלי רכב. אולם, יש הבדל מבחינת מהות השפעה זו בין רכב כבד לרכב קל. ברכב קל הגברת המהירות מקטינה לרוב את הרעש. לעומת זאת, כאשר מדובר ברכב כבד הגברת המהירות עלולה להביא להחמרת הרעש.

מהירות הנסיעה משפיעה על הדרישות לתשתית. ככל שקטע דרך מיועד לנסיעות מהירות יותר הוא צריך לעמוד בסטנדרטים גבוהים יותר, דבר המשפיע על היקף תפיסת השטחים.

נסועה

המדד החשוב ביותר מבחינת ביטוי עצמת הפעילות התחבורתית הינו נסועה הכוללת של כלי רכב. הנסועה הכוללת (VMT בספרות האמריקנית ו-VKT בספרות האירופאית) מבטאת דרך קשרים מסוימים התלויים בעיקר בתכנון צי הרכב ובפיצול הנסיעות, את מידת צריכת האנרגיה על ידי כלי הרכב ולפיכך גם את מידת הפליטה של מזהמי האוויר. קשר זה הדוק יותר במרחב הבין-עירוני מאשר במרחב הפנים-עירוני.

כמו כן, ככל שסך הנסועה שכלי הרכב מייצרים גבוהה יותר נדרשת תשתית רבה יותר להעברת הנסיעות. על כן הנסועה משפיעה לא רק על מפגעים הנגרמים מהנסיעות, אלא גם על תפיסת השטח (פייטלסון, 1996).

חלק II: תחבורה בישראל

1 מגמות בתחבורה

מספר כלי הרכב המנועיים הגיע בסוף שנת 2001 ל- 1.915 מיליון כלי רכב – עלייה של כ- 5% בהשוואה לסוף שנת 2000. מתוך כלל כלי הרכב, היו כ- 1.461 מיליון כלי רכב נוסעים פרטיים, כ- 326 אלף משאיות, כ- 80 אלף אופנועים, כ- 16,800 אוטובוסים זעירים, כ- 11,900 אוטובוסים, כ- 15,200 מוניות וכ- 4,100 כלי רכב מיוחדים (למ"ס, 2002). מספר האוטובוסים הולך וגדל עם השנים אך החלק היחסי שלהם מכלל כלי הרכב המנועים קטן עם השנים. לעומת זאת, אחוז האוטובוסים הזעירים גדל בין השנים 1993 ל- 2001 (למ"ס, 2002).

1.1 מקומה של המכונית הפרטית במערך התחבורה בישראל

לוח 7 מציג התפלגות של כלי רכב מנועים בארץ. ניתן לראות שאחוז הרכב הפרטי הולך וגדל עם השנים, אם כי מ- 1986 חלה ירידה מסויימת מ- 79.2% עד ל- 76.3% בשנת 2001. מספר האוטובוסים הולך וגדל עם השנים אך החלק היחסי שלהם מכלל כלי רכב מנועים קטן עם השנים. לעומת זאת, אחוז האוטובוסים הזעירים גדל בין השנים 1993 ל- 2001 (למ"ס, 2001).

ישראל נכנסה לעידן המכונית הפרטית רק לאחר מלחמת ששת הימים (פלטשר, 2000). ב- 1960 עוד היו בישראל בסך הכל 24,000 כלי רכב פרטיים, רמת מינוע של 11 מכוניות לכל אלף תושבים. ב- 1988 כבר היו בישראל 1,273,285 כלי רכב פרטיים – 210 מכוניות לכל אלף תושבים.

לוח 7: התפלגות של כלי רכב בארץ בין השנים 1951-2001.

שנה	סה"כ מספר	רכב פרטי	משאית	אוטובוס זעיר		אוטובוס		מוניות	רכב מיוחד	אופנוע
				מספר	אחוז	מספר	אחוז			
1951	34,103	28.1	39.8	..	..	4.2	1,419	3.6	1.2	23.1
1960	69,580	34.5	30.8	..	..	3.4	2,394	3.6	1.2	26.5
1970	266,233	55.5	24.8	..	..	1.7	4,655	1.3	0.9	15.8
1980	539,525	75.9	16.5	..	..	1.4	7,298	0.9	0.6	4.7
1990	1,015,404	79.1	15.1	..	..	0.9	8,886	0.9	0.3	3.7
1993	1,261,004	77.6	16.1	0.4	5,267	0.8	9,761	0.8	0.3	4.0
1999	1,729,757	76.1	16.9	0.9	16,240	0.7	11,303	0.8	0.2	4.4
2000	1,831,530	76.3	16.9	0.9	16,476	0.6	11,849	0.8	0.2	4.2
2001	1,914,895	76.3	17.0	0.9	16,725	0.6	11,897	0.8	0.2	4.2

מקור: למ"ס, 2001

ישראלים המצדדים בהמשך הרחבת רשת הכבישים מצדיקים זאת בכך ששיעור הבעלות על רכב בישראל עדיין נמוך מזה של אירופה (פלטשר, 2000). קביעה זו נכונה כשלעצמה: בשנת 2000 היו בישראל 288 כלי רכב (פרטיים ולא פרטיים כאחד) ל- 1000 תושבים. הנתונים המקבילים עבור ארצות נבחרות אחרות היו כלהלן: ארצות הברית – 800, איטליה – 708,732 בקנדה, יפן – 684, 689 בשוויץ, 680 באוסטריה, גרמניה וצרפת – 620, ו- 567 בנורבגיה. רמת המינוע בישראל בסוף שנת 2001 עלתה ל- 294, מתוכם 224 כלי רכב נוסעים פרטיים (למ"ס, 2002).

בלוחות 8 ו- 9 מוצגים נתונים לגבי רמת המינוע בערים הגדולות, וערים עם רמת מינוע גבוהה בשנת 2001. ניתן לראות כי תל אביב-יפו הינה עיר עם רמת המינוע הגבוהה ביותר בארץ – 665 רכבים שמתוכם 464 רכבים פרטיים ל- 1000 תושבים (למ"ס, 2002).

לוח 8: רמת המינוע בערים הגדולות

עיר	רמת מינוע	מזה רכב פרטי
ירושלים	214	167
תל אביב-יפו	665	464
חיפה	337	273
ראשון לציון	350	276

לוח 9: ערים עם רמת מינוע גבוהה

עיר	רמת מינוע	מזה רכב פרטי
סה"כ ממוצע	309	240
פתח תקווה	481	386
הרצליה	474	382
גבעתיים	412	328
רמת גן	405	304
כפר סבא	397	316
קריית אונו	397	326

אלא שלא די לבחון את שיעור הבעלות על רכב; יש לקחת בחשבון גם את מידת השימוש בו, כפי שהיא נמדדת במספר הנסיעות שנעשות בכלי הרכב לכל ק"מ. מידה זו מוגדרת נסועה (בלעז, קילומטראז'). מתברר, כי במונחים של נסועה לרכב, ישראלים הם משתמשים "כבדים": הנסועה השנתית לכלי רכב לק"מ רבוע בישראל צפונה מהנגב כבר עולה על זו של מדינות רבות במערב אירופה (פלטשר, 2000).

אחת הסיבות לנסועה הגבוהה היא שישראלים מרבים בנסיעות כדי להגיע לעבודה, לבית הספר ולמקומות הביילוי. נסיעות אלה הולכות ומתארכות: בישראל נסיעות יוממיות (מהבית לעבודה ובחזרה באותו יום) טיפוסיות הן ארוכות יותר מאשר בהולנד ובדנמרק, שתי המדינות האירופאיות הדומות ביותר לישראל מבחינת גודל ורמת הפיתוח שלהן (פלטשר, 2000).⁷

לוח 10 שבהמשך מציג את התפתחות הנסועה השנתית לפי סוגי רכב הבין 1970 ל-2001 (למ"ס, 2002). ניתן לראות שהנסועה השנתית הגבוהה ביותר היא של הרכב הפרטי. הלוח מצביע על ירידה גדולה בנסועה לכלי רכב בין 1970 ל-1980, שנבעה ככל הנראה מכך, שלפחות חלק מכלי הרכב הפרטיים המעטים שהיו בארץ ב-1970 שימשו מספר נהגים, ו/או מכך שבעלי הרכב המעטים באותן שנים נזקקו להם לנסיעות רבות וארוכות יותר. מאז 1990 יש עלייה – דבר המשקף באופן חלקי, לפחות, את מגמת היציאה מן העיר אל הפרברים ואת העלייה הנובעת מכך באורך הנסיעה בין מקום המגורים למקום העבודה (פלטשר, 2000). **בה בשעה שהנסועה ברכב פרטי בישראל עולה, ההזדקקות לתחבורה ציבורית יורדת** (לוח 10).

The Netherlands, Ministry of Transport, Annual Report on Transport in the Netherlands, 1995.
 הנתונים על ישראל הם מ: חברת כביש חוצה ישראל בע"מ, ניתוח תנועה והערכה כלכלית, נספח 1.1, סקר הרגלי נסיעה ארצי יוני-נובמבר 1993, עמ' 14.

לוח 10: אומדן הנסועה (קילומטרים) הארצית, לפי סוג רכב

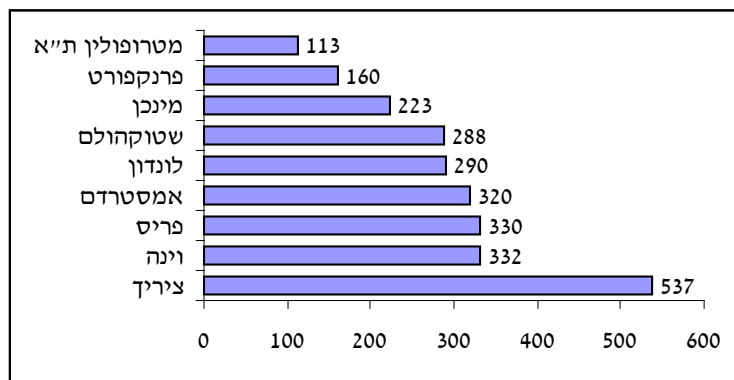
2001	2000	1998	1990	1980	1970	נסועה לפי סוג רכב
37,658	36,482	34,075	18,668	10,861	5,892	נסועה סה"כ (במיליוני ק"מ לשנה)
24,006	22,800	21,300	12,170	6,424	2,845	מכוניות פרטיות
16,433	16,321	16,728	15,687	15,687	19,251	נסועה לכלי רכב פרטי לשנה (חלוקה של הנסועה במס' כלי הרכב הפרטיים)
10,279	10,216	9,375	4,842	3,430	2,011	משאיות
(652)	786	830	-	-	-	אוטובוסים זעירים
746	814	756	565	419	372	אוטובוסים
1,182	(1,104)	1080	635	374	259	מוניות
649	619	619	330	214	363	אופנועים

מקור: למ"ס, 2002, שנתון סטטיסטי לישראל, מס' 53.

1.2 מקומה של התחבורה הציבורית במערך התחבורה בישראל

בעשור שבין 1985 ל-1995 גדלה הנסועה לכלי רכב פרטי פי 2.1 (למ"ס, 1999), אך מספר הקילומטרים של נסיעה באוטובוסים ציבוריים עלה רק ב- 5.4% (למ"ס 1996).⁸ באותה תקופה נרשמה גם ירידה במספר הנסיעות בתחבורה ציבורית לתושב לשנה במטרופולין תל אביב, מ-183 נסיעות לתושב ב-1984 ל-113 נסיעות לתושב ב-1994. נתונים השוואתיים לשנת 1994 מעלים כי מספר הנוסעים בתל אביב היה נמוך יחסית לערים אירופאיות מרכזיות, כפי שניתן לראות באיור 12 להלן (תוכנית אב ארצית לתחבורה יבשתית, 1998). בשנת 1996, רק 20% מהנסיעות ביום חול ממוצע בישראל נעשו באוטובוס (למ"ס 1997).

איור 12: נסיעות בתחבורה ציבורית בערים נבחרות לתושב לשנה (1994)

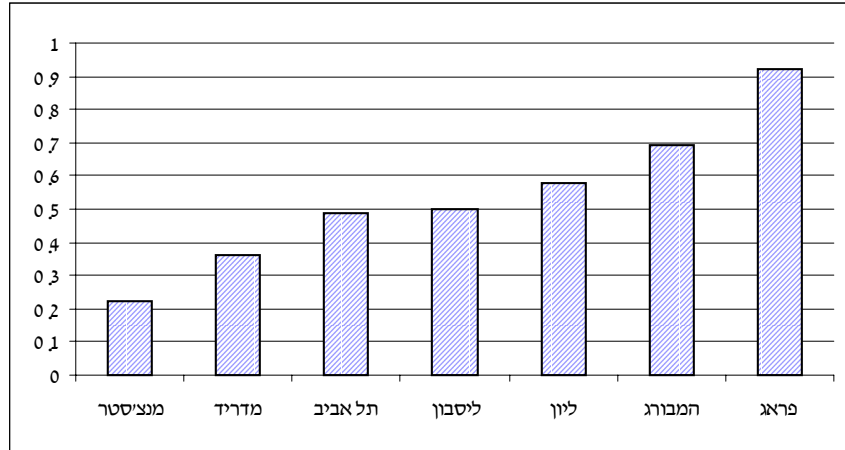


מחקר אחר (קפלן, 2002) שסקר מערכות תחבורה ציבורית בשמונה מטרופולינים באירופה משווה את הממצאים עם מערכת תחבורה ציבורית במטרופולין תל אביב. איור 13 מציג נסיעות לנפש ביממה במערכות התחבורה הציבורית ואיור 14 מציג נסיעות לנפש ביממה באוטובוסים בערים נבחרות באירופה בהשוואה למטרופולין תל אביב. מהאיורים עולה כי כמות הנסיעות לנפש ביממה בתחבורה הציבורית (בהתייחס לכל אמצעי התחבורה) במטרופולין תל אביב נמוכה יחסית למרבית המטרופולינים האחרים שמוצגים. כמות הנסיעות באוטובוס במטרופולין תל אביב גבוהה יותר מאשר בחלק מהמטרופולינים שנסקרו באירופה, אולם יש לזכור שבשאר המטרופולינים שנסקרו ישנן מערכות הסעה המונים מסילתית מפותחות העונות על חלק ניכר

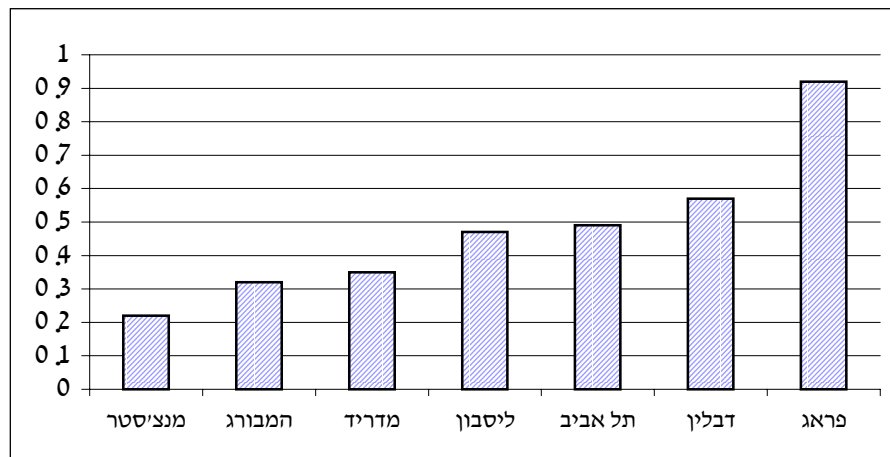
⁸ אוכלוסייה: ב-1985 – 4,266,200; ב-1995 – 5,619,000; קילומטרים באוטובוסים ב-1985 – 371 מיליון ק"מ; ב-1995 – 391 מיליון ק"מ.

מהביקוש. בהשוואה בין תל אביב לדבלין, אשר בה לא קיימת היום מערכת הסעה המונית מפותחת, כמות הנסיעות לנפש ביממה בדבלין גבוהה מזו של תל אביב.

איור 13: נסיעות לנפש ביממה במערכת התחבורה הציבורית במטרופולינים באירופה ובמטרופולין תל אביב בשנת 1997 (לפי 300 ימי עבודה בשנה)



איור 14: נסיעות לנפש ביממה באוטובוסים במטרופולינים באירופה ובמטרופולין תל אביב בשנת 1997 (לפי 300 ימי עבודה בשנה)



בשנת 1996, רק 20% מהנסיעות ביום חול ממוצע בישראל נעשו באוטובוס (למ"ס, 1997).

ממצאי סקר הרגלי נסיעה בישראל, 1996-1997, בנושא התפלגות הנסיעות לפי אמצעי הנסיעה מצביע על הנתונים הבאים: הנסיעות ברכב פרטי מהוות 59% מכלל הנסיעות ביממה, ברכב ציבורי - 24%, בהסעה מאורגנת - 8% והנסיעות בטנדר ובמשאית מהוות 8% מכלל הנסיעות.

חלקו של הרכב הפרטי בנסיעות מגיע במטרופולינים תל אביב וחיפה ל-60%, לעומת 54% במטרופולין בארבע ו-52% בירושלים וסביבתה.

הנסיעה באוטובוס משמשת בעיקר את מעוטי האמצעים, הקשישים העירוניים, החרדים, הנשים והצעירים.⁹ גברים בגילאי 25-59, חילוניים, בעלי הכנסה גבוהה, נוטים להשתמש פחות

⁹ כ-40% מהסובסידיה התפעולית השנתית של אוטובוסים מיועדת להנחות לקבוצות אלו בשיעורים הבאים: 33% הנחה לקשישים ומיעוטי אמצעים, 50% הנחה לילדים וצעירים ו-70% הנחה לחיילים (פלטשר, 2000).

באוטובוסים, כפי שניתן לראות באיור 15 (תוכנית אב לתחבורה בירושלים). אולם, מחיר הנסיעה בתחבורה הציבורית עלה בין 1980 ל-1996 ב-98% (במונחים ריאליים), בעוד שמחיר הנסיעה ואחזקה של מכונית פרטית ירד ב-27%. נושא זה מתקשר, כמובן, לנושא הצדק החברתי-סביבתי, המופיע במסמך סדרי עדיפות לאומית, 2003.

בנוסף לכך, הנסיעה במכונית הופכת זולה יותר לאחר שכוסו ההוצאות הקבועות של רכישת הרכב, ביטוח ואחזקתו השוטפת. עיוות זה בשיטת התמחור יוצר תמריץ לנסיעה ברכב פרטי גם כשהדבר לא נחוץ, ובכך הוא פועל להפחתת השימוש בתחבורה הציבורית (פלטשר, 2000).

איור 15: שיעור המשתמשים בתחבורה ציבורית לפחות פעם בשבוע, לפי קבוצות נבחרות, ירושלים 1996.



צרכני התחבורה הציבורית נוטלים חלק, בתור משלמי מסים, במימון הכבישים, אך מפיקים מהם תועלת נמוכה, יחסית לזו שמפיקים מהם הנוסעים ברכב פרטי. הם גם משלמים את המחיר הבריאותי והחברתי של גודש התחבורה, הרעש והזיהום שלא הם יוצרים. הנוסעים בתחבורה הציבורית הם, הנפגעים הראשיים מהצמצום במספר קווי השירות הוירידה בתדירות השירות, הנגרמים כתוצאה מהמעבר לרכב פרטי ומהירידה במספר המשתמשים בתחבורה הציבורית.

הממשלה, הבונה את הכבישים, מסבסדת למעשה את הנוסעים ברכב פרטי. בה בעת, מבקשים מקבלי ההחלטות בישראל להפחית את הסובסידיות לתחבורה הציבורית (פלטשר, 2000).

1.3 צי האוטובוסים בארץ

לפי הגדרה של הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה קיימים שני סוגי אוטובוסים: אוטובוסים זעירים ואוטובוסים.

אוטובוס זעיר: רכב מנועי, במשקל כולל של עד 4 טונות, בעל התקן להסעת נוסעים, המורשה להסיע עד 15 אנשים בנוסף על הנהג, ואשר צוין ברישיון הרכב כאוטובוס זעיר. עד שנת 1992, נכלל סוג זה ב"משאית עד 4 טונות" – רכב משא בעל התקן להסעת נוסעים.

אוטובוס: רכב המיועד להסעת 16 אנשים או יותר בנוסף על הנהג, ואשר צוין ברישיון הרכב כאוטובוס. החל בשנת 1996, כולל סוג רכב "טיולית" שהועבר לסוג רכב "אוטובוס" (183 טיוליות ב-1996).

קיימים שלושה סוגי אוטובוסים/אוטובוסים זעירים: פרטי – הסעת נוסעים ללא תשלום; ציבורי – הסעת נוסעים בתשלום; סיור – הסעת נוסעים בתשלום בסיורים מיוחדים.

1.3.1 מספר וגיל האוטובוסים

לוח 11 מציג נתונים כלליים לגבי צי האוטובוסים בין השנים 1996-2001. כפי שניתן לראות, לא היו שינויים משמעותיים בצי האוטובוסים הרגילים בארץ מאז 1996. אחוז הגידול בין השנים 1996 ל- 2001 הסתכם ב- 6.1%, הגיל הממוצע של האוטובוסים ירד במקצת מ- 7.7 שנים בשנת 1996 ל- 6.9 שנים ב- 2001. יחד עם זאת, אחוז האוטובוסים מסה"כ כלי הרכב המנועים ירד מ- 0.7% ל- 0.6%. כלומר, גם היקף הנסועה בתחבורה הציבורית פוחת וגם גילם של האוטובוסים לא משתפר בצורה שיכולה להשפיע משמעותית על הפליטות מרכבים אלה.

בצי האוטובוסים הזעירים חל שינוי משמעותי יותר- אחוז הגידול בין השנים 1996-2001 הסתכם ב- 24.8% והגיל הממוצע עלה מ- 2.4 ל- 4.4. אחוז האוטובוסים הזעירים מהווים אחוז גבוה יותר מסה"כ כלי הרכב המנועים מאשר האוטובוסים הרגילים, ולאורך השנים הוא עמד על 0.9%. בשנת 2001 אוטובוסים ציבוריים היוו 38% מסה"כ אוטובוסים הזעירים ו- 78% מסה"כ אוטובוסים גדולים.

לוח 11: מספר וגיל ממוצע של אוטובוסים במדינת ישראל

אוטובוס			אוטובוס זעיר			שנה
גיל ממוצע, שנים	% מסה"כ כלי רכב מנועים	מס' אוטובוסים	גיל ממוצע, שנים	% מסה"כ כלי רכב מנועים	מס' אוטובוסים זעירים	
7.7	0.7	11,214	2.4	0.9	13,405	1996
7.6	0.7	11,095	2.8	0.9	15,239	1997
7.7	0.7	11,141	3.3	0.9	15,881	1998
7.5	0.7	11,303	3.7	0.9	16,240	1999
7.5	0.6	11,849	3.9	0.9	16,476	2000
6.9	0.6	11,897	4.4	0.9	16,725	2001 סה"כ
7.1		(76%) 8,990	3.5		(38%) 6,347	2001 אוטובוסים ציבוריים

מקור: למ"ס, כלי רכב מנועים, 2002.

במחקר של טרטקובסקי (2000), נעשתה התפלגות של אוטובוסים (לא כולל אוטובוסים זעירים) לפי שנת יצור ולפי דור טכנולוגי בין השנים 1982-1999. מתוך הנתונים המוצגים בלוח 12 ניתן לראות שמעל 9% מן האוטובוסים בארץ הם אוטובוסים ישנים מאוד, שיוצרו לפני שנת 1983, כלומר – לפני הכנסה לפועל של תקן אירופי ראשון המגביל פליטות מזהמים גזיים ממנועי דיזל. הרוב המוחלט של האוטובוסים – מעל 80%, הם אוטובוסים מהדורות הטכנולוגיים של "לפני יורו 0", "יורו 0" ו- "יורו 1". האוטובוסים החדשים של יורו 2 מהווים 10% בלבד מסך כל האוטובוסים בארץ. אוטובוסי יורו 1 הם הקבוצה הגדולה ביותר בצי הארצי של האוטובוסים (כ- 35%) (טרטקובסקי, 2000).

לוח 12: התפלגות האוטובוסים לפי שנת יצור בין השנים 1982-1999

שנת יצור	עד 1982	1983 - 1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
כמות	1,018	2049	429	392	671	486	365	747	927	1093	999	839	465	579	82
דור	-	Before Euro 0	Euro 0			Euro 1			Euro 2						

מקור: טרטקובסקי ואחי (2000).

בין השנים 1999 ל-2001 הובאו לארץ אוטובוסים נוספים, על כן התמונה הכוללת של התפלגות האוטובוסים לפי שנת ייצור ולפי הדור הטכנולוגי השתנתה במעט. מצבת כלי רכב מנועים לשנת 2001 מציגה נתונים מעודכנים יותר של התפלגות האוטובוסים לפי אוטובוסים רגילים וזעירים ולפי סוג האוטובוסים: ציבוריים, פרטיים ואוטובוסי סיור. הנתונים מרוכזים בלוחות 12 ו-13 שבהמשך. התקן הישראלי מחייב "יורו 3" החל מאוקטובר 2001, על כן אנו מניחים שכ-25% מהאוטובוסים משנת 2001 וכל האוטובוסים משנת 2002 עומדים בתקן החדש.

מתוך לוח 13 ניתן לראות ש-9% מהאוטובוסים הזעירים הם מהדור הטכנולוגי לפני יורו 1, 39% מדור יורו 1, 48% מדור יורו 2. בהנחה שכל האוטובוסים החל מאוקטובר 2001 עומדים בתקן של יורו 3, 4% מסה"כ האוטובוסים הזעירים בארץ שייכים לדור הטכנולוגי החדש. 60% מאוטובוסים זעירים ציבוריים שייכים לדור יורו 2 ו-5% שייכים לדור יורו 3.

לוח 13: התפלגות האוטובוסים הזעירים לפי סוגים ולפי שנת יצור

שנת יצור	סה"כ	עד 1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
			861	1,644	2,163	1,852	1,884	1,793	1,232	1,875	1,696	249
אוטובוסים ציבוריים	6,347	193	143	546	659	783	840	819	570	915	863	106
אוטובוסים פרטיים	10,405	1,310	718	1,188	1,504	1,069	1,044	974	662	960	833	143
סה"כ	16,752	1,503	6,520			8,056 (כולל 75% מ-2001)			673 (כולל 25% מ-2001)			
אחוזים	100%	9%	39%			48%			4%			
דור			Euro 1			Euro 2			Euro 3			

לוח 14 מציג התפלגות של האוטובוסים הגדולים. אפשר לראות כי רוב האוטובוסים הגדולים (76%) הם אוטובוסים ציבוריים. שאר האוטובוסים הם אוטובוסי סיור ואוטובוסים צעירים. 64% מסה"כ האוטובוסים שייכים לדורות טכנולוגיים ישנים: יורו 0 ויורו 1; 32% שייכים לדור טכנולוגי יורו 2, ו-3% בלבד הם אוטובוסים חדשים העומדים בתקן יורו 3. בהשוואה בין סוגי האוטובוסים כמעט ואין הבדלים בהתפלגות האוטובוסים לפי הדורות.

בהשוואה בין אוטובוסים זעירים לאוטובוסים רגילים ניתן לראות שאוטובוסים רגילים ישנים (עד יורו 2) מהווים אחוז גבוה בהרבה מאחוז אוטובוסים זעירים ישנים (64% לעומת 48%).

מעל שלושה רבעים (77.5%) מצי האוטובוסים בארץ הם תוצרת גרמניה. יש לציין שמאז 1995, נתח האוטובוסים תוצרת גרמניה הולך וקטן, בעוד שנתח האוטובוסים תוצרת שבדיה (Volvo) הולך וגדל. שלושת יצרני האוטובוסים הנפוצים ביותר בארץ נשארים Mercedes, MAN ו-Volvo (כ-94% מן האוטובוסים) (טרטקובסקי, 2000).

לוח 14: התפלגות האוטובוסים לפי סוגים ולפי שנת יצור

2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	עד 1992	סה"כ	סוג האוטובוס
91	1,018	1,352	653	674	462	823	912	1,021	843			
80	846	954	444	508	360	558	516	707	625	3,392	8,990	אוטובוסים ציבוריים
-	66	312	154	114	56	179	335	256	181	254	1,907	אוטובוסים סיור
11	106	86	55	52	46	86	61	58	37	402	1,000	אוטובוס פרטי
345 (כולל 25% מ-2001)		3905 (כולל 75% מ-2001)				3599				4,048	11,897	סה"כ
3%		32%				30%				34%	100%	אחוזים
Euro 3		Euro 2				Euro 1						דור

מקור: למ"ס, (2002).

1.3.2 זמינות האוטובוסים

לוח 15 מציג את הנתונים לגבי צי אוטובוסים ציבוריים בישראל. ניתן לראות שבין השנים 1995 ל-2001 חלה ירידה במספר אוטובוסים ציבוריים, ובהתאם לכך במספר מקומות ישיבה (למ"ס, 2002). אורך הנסועה גדל ב-26% בין השנים 1970 ל-2000, וירד ב-7% בשנת 2001 (לעומת השנה הקודמת). בהשוואה, עלתה אוכלוסיית ישראל מ-1995 עד שנת 2001 מ-5,619,000 עד 6,508,800. דבר המפחית באופן חד עוד יותר את מספר מקומות הישיבה באוטובוסים.

לוח 15: אוטובוסים ציבוריים בישראל בין השנים 1970 ל-2001 - כמות, מקומות ישיבה ונסועה.

2001	2000	1999	1995	1990	1980	1970	אוטובוסים ציבוריים
5,381	5,697	5,736	5,932	5,307	5,622	3,654	מס' אוטובוסים ציבוריים
259	275	277	284	252	274	163	מקומות ישיבה (ממוצע שנתי באלפים)
370	397	398	391	339	353	314	נסועה (במיליוני ק"מ)

מקור: למ"ס, 2002, שנתון סטטיסטי לישראל, מס' 53.

1.4 חברות התחבורה הציבורית בישראל

חברות האוטובוסים המובילות בישראל הם "אגד" ו"דן" ועם פתיחת שוק התחבורה הציבורית לתחרות נוספו חברות חדשות, שבין הגדולות שבהן, חברת "קונקס". בנוסף, קיימים מפעילים פרטיים המבצעים הסעות למוסדות ציבוריים (מפעלים ממשלתיים, בתי ספר וכו') וכן מפעילים המבצעים טיולים וסיורים.

1.4.1 צי האוטובוסים של חברת "אגד"

"אגד" הוא מפעל התחבורה הציבורית המוביל בישראל. החברה מפעילה קווים בכל רחבי הארץ - ממטולה ועד אילת. ברחבי הארץ פרוסים 39 סניפי תפעול, 25 תחנות מרכזיות ו-4 מסופי צומת, מערך משקי המונה 30 מוסכים (אגד, 2003).

צי האוטובוסים מונה 3,726 אוטובוסים, מתוכם 1,672 אוטובוסים עירוניים ו-2,054 אוטובוסים בינעירוניים. בחברה מועסקים 6,654 עובדים שמתוכם 4,479 נהגים - 1.9 מועסקים לאוטובוס, בעוד שבחברה בגודל דומה בעולם היחס המקביל הוא במוצע 4.3 עובדים לאוטובוס.

האוטובוסים מבצעים במהלך היום 27,246 נסיעות יומיות ו- 3,549 נסיעות מיוחדות קבועות והם עוברים כ- 635,404 ק"מ ומסיעים 1.05 מיליון נוסעים ביום (אגד, 2003).

לוחות 16 ו-17 מציגים צי האוטובוסים של "אגד" לפי שנת יצור, סוג האוטובוסים והדור הטכנולוגי. מהנתונים ניתן לראות שרוב האוטובוסים של "אגד" עומדים בתקנים הישנים יורו 0, ויורו 1 (56%). 32% מהאוטובוסים שייכים לדור טכנולוגי יורו 2 ו- 12% שייכים לדור הטכנולוגי החדש-יורו 3. ניתן לראות שיותר אוטובוסים עירוניים (21%) עומדים בתקן יורו 3 מאשר אוטובוסים בין עירוניים (4%) (לוח 16 ולוח 17).

לוח 16: צי האוטובוסים העירוניים של "אגד" בשנת 2002 על פי דור טכנולוגי

סה"כ	Euro3	Euro 2 מפרקית	Euro2	Euro1	Euro 1 מפרקית	Euro0	אוטובוסים עירוניים
1672	350	20	310	167	25	800	כמות לפי דור
1672	350	330		192		800	סה"כ
100%	21%	20%		11%		48%	אחוזים

לוח 17: צי האוטובוסים הבין עירוניים של "אגד" בשנת 2002 על פי דור טכנולוגי

אחוזים	כמות	יצרן		דור טכנולוגי
34%	700	מרצדס O303 (שנים 88-93)		Euro 0
20%	410	350	מרצדס 404	Euro 1
		60	Volovo	
42%	860	100	מרצדס 404	Euro 2
		310	Man	
		450	Volovo	
4%	84	9	Man	Euro 3
		75	Volvo	
100%	2054			סה"כ

המחויבות הסביבתית של אגד

אגד, הרואה עצמו חלק ממרקם החיים בישראל, פועל לשיפור איכות הסביבה באמצעות קידום התחבורה הציבורית המשולבת, שיפור מתמשך בביצועיה, שיפור השירות לאזרח ודיאלוג עם גורמי ממשל, ארגונים סביבתיים וחברתיים והציבור. בחודש נובמבר 2002 ערך אגד כנס בנושא "מחויבות לסביבה בתחבורה הציבורית" וב- 2003, יפרסם דו"ח סביבתי ראשון מסוגו בישראל, על-פי קריטריונים בינלאומיים. בדו"ח ינותחו ההשלכות הסביבתיות, חיוביות ושליליות, של פעילות אגד והתחבורה הציבורית ותערך סקירה פרטנית של המדיניות הסביבתית באגד, יעדיה וביצועיה לאורך השנים (אגד, 2003)

בשנתיים האחרונות מתחוללת ב"אגד" מהפכה שמטרתה להטמיע בקרב החברים והעובדים תרבות עסקית חדשה. במסגרת מהפכת השירות עוצבו מדים חדשים לנהגים, לקופאים ולכל אנשי "אגד" הבאים במגע עם הקהל. הוחלף הלוגו המיושן של החברה ואומץ הצבע הירוק כאות להתחדשות ולרענון ולמחויבות לאיכות חיים ולאיכות הסביבה (<http://www.egged.co.il>).

על פי דברי "אגד", בד בבד עם מעבר לצבע הירוק עוברת החברה בהדרגה לשימוש בסולר אולטרה דל גופרית, העונה לתקנים המחמירים של הקהילה האירופאית, ורוכש אוטובוסים חדישים

המצוידים במנועים העומדים בתקן "יורו 3". כיום החברה משתמשת בדלק "סיטי דיזל" דל גופרית, 50 חל"מ בקווים העירוניים והפרבריים בכל רחבי המדינה (אגד, 2003). 434 אוטובוסים (12% של "אגד" הם בעלי מנוע העומד בתקן יורו 3. עד סוף שנת 2003 יתווספו 160 אוטובוסים חדשים וחלקם היחסי יגדל ל-14%. על כל רכב חדש שיכנס יוצא לגריטה רכב ישן בעל מנוע יורו 0 (אגד, 2003).

על פי דיווח החברה הצעדים בהם נוקטת החברה לצמצום זיהום האוויר הם כדלקמן:

- מעקב על פליטת עשן מאוטובוסים וטיפול מידי בתלונות עשן מצד אזרחים
- איסור חנייה מעל 10 דקות עם מנועים פועלים בשטחים עירוניים
- התייעלות מערך הקווים בחיפה וירושלים
- תחזוקה קפדנית להבטחת ביצועי המנועים
- הצטיידות באוטובוסים חדשים העומדים בתקן יורו 3.

בנוסף אגד הציבה לעצמה יעדים סביבתיים לשנים הקרובות והם:

- לצמצם ב-50% את פליטת מזהמי האוויר מכלי הרכב העירוניים בתוך 3 שנים באמצעות מעבר לסולר דל-גופרית ותכנית הצטיידות אגרסיבית שתוסיף 160 אוטובוסים העומדים בתקנים האירופאים העדכניים והמחמירים ביותר.
- מעבר לכך, פועל אגד לצמצום נוסף בפליטות המזהמים בעיר באמצעות שיפור מערך קווי התחבורה. במרכזי הערים של ירושלים וחיפה הושגו הפחתות במהלך השנתיים האחרונות בשיעורים של 15% ו 30%, בהתאמה, בזכות ייעול של מערכי התחבורה הציבורית בעיר.
- לנהל את מרכיבי הסביבה החיוניים במוסכים ובחניונים - הפחתת ומיחזור פסולת השמנים, הפילטרים והחביות, צמצום מלאי החומרים המסוכנים ושיפור הבטיחות הסביבתית של עובדים.
- להצטייד באוטובוסים עירוניים חדישים ונמוכי רצפה הנוחים לקשישים ולעגלות ילדים ופיתוח הדרישות והאפשרויות הסביבתיות לדור הבא של כלי רכב בשרות אגד.
- לגבש ולפעול לקידום תוכניות לנתיבים מהירים לתחבורה ציבורית במבואות הערים הגדולות ולהקמת מרכזי תחבורה משולבים ומודרניים. אלו נועדו להפוך את התחבורה הציבורית ליעילה ומהירה כאלטרנטיבה לרכב הפרטי.

1.4.2 צי האוטובוסים של חברת "דן"

חברת האוטובוסים "דן" מפעילה את שירותי התחבורה הציבורית במרחבי המטרופולין בגוש דן ובאזור יהודה ושומרון. בנוסף, מפעיל "דן" את קו 400 מבני-ברק לירושלים. בחברת "דן" מועסקים כ- 3000 עובדים, ומדי חודש מובילים אוטובוסי "דן" כ- 20 מיליון נוסעים (כ- 800 אלף ביום) (www.dan.co.il).

"דן" מקיימת שיתוף פעולה עם "רכבת ישראל", ומציעה לציבור הנוסעים מגוון רחב של כרטיסים משולבים לנסיעה ברכבת וב"דן", במחירי הנחה הן על בסיס יומי והן על בסיס חודשי.

צי האוטובוסים של חברת "דן" כולל 1310 אוטובוסים, מתוכם 90% הם אוטובוסים עירוניים ו- 105 אוטובוסים בין עירוניים (לוח 18). כמחצית מהאוטובוסים העירוניים הם נמוכי רצפה, 3% אוטובוסים מיני/מידי ו- 43% אוטובוסים רגילים. לוח 18 מציג צי האוטובוסים של "דן" לפי שנת יצור, סוג האוטובוסים ודור טכנולוגי. מהנתונים ניתן לראות שרוב האוטובוסים של "דן" עומדים בתקנים הישנים יורו 1, יורו 0 ולפני יורו 0 (55%). 37% מהאוטובוסים שייכים לדור טכנולוגי יורו 2 ו- 8% שייכים לדור טכנולוגי חדש ויורו 3 (בהנחה ש-25% מאוטובוסים משנת יצור 2001 עומדים בתקן יורו 3).

לוח 18: צי אוטובוסים של "דן", לפי שנת יצור סוג האוטובוסים ודור.

2003	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	עד 1992	סה"כ	סוג האוטובוסים	
		8	1				16		10			35	עירוניים מיני/מידי	
33	6	163	71	41	76	122	116	10	1			638	עירוניים נמוכי רצפה	
									82	130	291	503	עירוניים רגילים	
								7	10	13	21	51	בינייני SU	
	12	34		9	8	9	10					82	בינייני מפואר	
33	18	205	72	50	84	131	142	17	103	143	312	1310	סה"כ	
102 (כולל 25% משנת 2001)			491 (כולל 75% משנת 2001)				405			312	1310			
Euro 3			Euro 2				Euro 1							דור

מקור: דיווח של טאובקין גרא, מנהל מחלקת פיתוח אסטרטגי, אגף התנועה "דן", 2003.

ניתן לקבוע על סמך נתונים אלו שצי האוטובוסים של החברות "אגד" ו"דן" מבוסס בעיקרו על אוטובוסים מיושנים טכנולוגית, בעלי פוטנציאל גבוה למטרדים סביבתיים.

המחויבות הסביבתית של דן

על פי דיווח החברה, האוטובוסים החדשים של "דן" עומדים בכל התקנים המחמירים הקיימים בנושא איכות הסביבה. כמו כן, החברה פועלת להתקנת מנועים העומדים בתקן יורו 3 באוטובוסים הישנים. בתחילת שנת 2000, דן הכריזה על מעבר מלא ל"סיטי דיזל" – דלק מופחת גופרית, ונכון להיום כל אוטובוסי "דן" פועלים על דלק מסוג זה.

לטענת החברה, במקביל לגרמניה, ישראל (ע"י חברת "דן") היא אחת משתי המדינות הראשונות בעולם שבשנת 2001 החלה בהפעלת תחבורה ציבורית בתקן "יורו 3" והחלה לייבא אוטובוסים מתוצרת MAN העומדים בדרישות התקן. כשהוכנס התקן הקודם, "יורו 2", "דן" הייתה הראשונה שרכשה אוטובוסים בטכנולוגיה זו (www.dan.co.il).

מיחזור מים במוסכים

את 1500 האוטובוסים של "דן" ושל חברת הבת "יונייטד טורס" שוטפים במכונות שטיפה חסכוניות ובמים ממוחזרים. המערכת ממחזרת את כל המים במוסך. לאחר כל שטיפה מופרד השמן ומועבר לריכוז בבור ספיגה מיוחד למניעת זיהום. שאר המים מסוננים ומטוהרים ומושבים לשימוש חוזר (<http://www.dan.co.il>).

התאמת האוטובוסים לצורכי הציבור

האוטובוס העירוני מסוג "Niederfloor" הוא האוטובוס המתקדם אשר הושקעו בו מאמצי תכנון רבים כדי לעשותו הנוח ביותר והמותאם ביותר לתחבורה עירונית והוא זכה בפרסים רבים. "דן" הייתה החברה הראשונה שהביאה אותו לישראל ומאז הוא פועל בכל הארץ.

האוטובוסים החדשים של "דן" תוכננו להתאמה לצורכי הנוסע העירוני: ריצפה נמוכה ללא מדרגות המקלה במיוחד על כניסת עגלות תינוקות, נכים, קשישים, ילדים ונוסעים עם מטען כבד. סידור מיוחד מאפשר לנכים להיכנס בשעת הצורך גם מהדלת האחורית בנוחות ובבטחה.

החברה מקדמת נושא של מידע לגבי האוטובוסים כך, שהציבור יוכל לשמוע במודיעין או לראות בשלטי המידע האלקטרוניים במסופים את זמני היציאה של אוטובוסים נמוכי רצפה או אוטובוסים עם "רמפה" להעלאת עגלת נכים בדלת האחורית.

בשלב זה (ינואר 2003), מפוזרים אוטובוסים נמוכי רצפה כמעט בכל הקווים. אוטובוסים המותאמים במלואם לנכים פועלים בקו 5 ת"א בכל שעות היום, ומתוכננים להיכנס גם לקו 27 ובהמשך לקווים נוספים.

1.4.3 צי האוטובוסים של חברת "קונקס"

"קונקס" היא החברה המובילה באירופה בתחום ההסעות ואחת משלוש החברות המובילות בעולם התחבורה הציבורית. "קונקס" מפעילה כ- 20,000 אוטובוסים ברחבי העולם, קווי רכבות ומוניות. בעקבות תהליך הפרטת קווי תחבורה ציבוריים, זכתה "קונקס" במכרזים להפעלת קווי אוטובוסים בטבריה ובאשדוד (<http://connex.co.il>).

על פי דיווח החברה, "קונקס" מנהיגה מהפך בתרבות הנסיעה בתחבורה הציבורית בארץ. החברה מנפיקה כרטיס אישי חכם Cפס, אשר מחליף את כרטיסיות הנייר הישנות. את הכרטיס ניתן להטעין גם בתחנה המרכזית וגם באוטובוסים. קיימת אפשרות לבחור בין טעינת הכרטיס בנסיעה רב-פעמית "כרטיסיית Cפס לבין "Cפס חודשי".

בשלב ההתחלתי, חברת "קונקס" נכנסה לפעילות בערים טבריה ואשדוד בלבד. כחלק מהמהפך בתרבות נסיעה בתחבורה ציבורית, קונקס מציעה את שורותיה גם לנסיעות מיוחדות לכל אגודה ובעתיד, החל משנת 2006, תפעיל את הרכבת הקלה בירושלים.

לוח 19 מציג את הנתונים לגבי צי האוטובוסים של חברת קונקס בשנת 2003. החברה מפעילה 94 אוטובוסים, מתוכם 32 אוטובוסים עירוניים ו- 62 אוטובוסים בין עירוניים. מתוך האוטובוסים העירוניים 20 הם אוטובוסים זעירים ו- 12 נמוכי ריצפה. הגיל הממוצע של האוטובוסים עומד על 1.5, כאשר 32 מהם הוצרו בשנת 2003. רוב האוטובוסים שהחברה מייבאת, מיוצרים בגרמניה. על

פי דיווח של חברת קונקס, כל האוטובוסים העירוניים עומדים בתקן יורו 3 וכולם מותאמים לנכים.

לוח 19: צי האוטובוסים של קונקס בשנת 2003

מספר כלי רכב	סוג	שירות	יצרן	ארץ ייצור	שנת דגם	גיל	תקן איכות סביבה	התאמה לנכים
20	מיניבוס	עירוני	מרצדס	גרמניה	2003	0	יורו 3	כן
12	אוטובוס נמוך רצפה	עירוני	MAN	גרמניה	2003	0	יורו 3	כן
10	אוטובוס	בין-עירוני	מרצדס	גרמניה	2000	3		
11	אוטובוס	בין-עירוני	MAN	ספרד	2000	3		
41	אוטובוס	בין-עירוני	וולוו	שבדיה	2001	2		
94				ממוצע גיל		1.5		

מקור: דיווח על ידי תומר גודוביץ', חברת קונקס, 2003

2. השפעות סביבתיות של תחבורה בישראל

2.1 זיהום אוויר מתחבורה בישראל

על פי דו"ח מצב איכות האוויר 2001 של משרד לאיכות הסביבה, בשנים האחרונות הולכת ומחריפה הירידה באיכות האוויר בישראל, המתאפיינת במאות חריגות מתקני איכות אוויר הנמדדים בעיקר במרכזי הערים. בערים הגדולות בישראל נרשמות כיום רמות של זיהום אוויר הדומות לאלה שבאזורים עירוניים מזהמים בארצות הברית, כגון ניו יורק, ניוארק, ניו ג'רסי ולוס אנג'לס (פלטר, 2000). ירידה זו נובעת מהעלייה המתמדת ברמת החיים, המביאה להגדלה ניכרת בפליטת מזהמי אוויר לאוטמוספירה מפעילויות אנתרופוגניות כגון יצור אנרגיה, תחבורה ותעשייה.

חלקה של תחבורה בסך הפליטות, ובמיוחד של כלי רכב מנועי דיזל, הוא מהגדולים והבעייתיים ביותר, זאת הן בשל הרכב המזהמים והן בשל סמיכות מקור הפליטה לאוכלוסייה (משרד לאיכות הסביבה, 2001).

השימוש הגובר בכלי רכב המונעים בדיזל מגדיל את פליטת החלקיקים המיקרוניים - PM_{2.5} באוויר. חלקיקים אלה, הנמצאים בעשן השחור הנפלט ממכוניות, מאוטובוסים, ממשאיות ומציוד מכני-הנדסי, גורמים לסרטן, לעלייה בשכיחות מחלות לב ודרכי הנשימה ולשיעורים גבוהים של תמותה בטרם עת.

ע"פ סקר סיכונים השוואתי מזהום אוויר בשני אזורים עירוניים בישראל לשנים 1995 - 1999, ניתן להעריך כי זיהום אוויר גורם לגידול בשיעורי התמותה והתחלואה גם באזור תל-אביב וגם באזור אשדוד. הגידול בשיעור התמותה קשור הן לחשיפות קצרות טווח לזיהום אוויר (חשיפות אקוטיות) והן לחשיפות ארוכות טווח (חשיפות כרוניות). הגידול בתחלואה מתבטא במיוחד בגידול במספר האשפוזים ובסימפטומים הנשימתיים בילדים (משרד לאיכות הסביבה ואחרים, 2003).

מבין המזהמים שנבדקו, חלקיקים (PM) ואוזון (O₃) נמצאו אחראים לשיעור הגדול ביותר מבין מקרי המוות והמחלות שניתן לייחס לזיהום אוויר (מספר אחוזים מתוך כלל המקרים הקיימים באופן נורמלי). בפועל, מתבטאים נתונים אלה במאות ועד אלפי מקרי נוספים של מוות או מחלות בכל שנה באוכלוסיות של אזורי תל-אביב (כ-1 ממיליון נפש) ואשדוד (כ-220,000). בתל-אביב ובאשדוד נמצאו שיעורים דומים (מתוך הסה "כ השנתל) של תמותה ותחלואה שניתן ליחס לזיהום אוויר. ההבדלים במספרים המוחלטים של מקרי מוות ומחלות לשנה נובעים ברובם, אך לא כולם, מהבדלים בגודל האוכלוסיות של שני האזורים. ראוי לציין כי סיכונים משמעותיים נגרמים כתוצאה מחשיפות למזהמי אוויר גם ברמות שהן נמוכות מתקן הסביבה בישראל. צפוי כי אזורים עירוניים נוספים בארץ בהם נמדדים ריכוזים דומים של מזהמי אוויר לאלו שנמדדים באזורי תל-אביב ואשדוד, יסבלו מהשפעות דומות על בריאות הציבור. להלן הנתונים ביתר פירוט:

תמותה: שיעור התמותה בתל-אביב רבתי ואשדוד רבתי עקב חשיפה ארוכת טווח ל-PM_{2.5} (חלקיקים בקוטר 2.5 מיקרון ומטה) כתוצאה ממקורות אנתרופוגניים מוערך בכ 8% לשנה מכלל התמותה הטבעית השנתית בקרב האוכלוסייה הבוגרת מגיל 30 ומעלה בשני האזורים. בתל-אביב

רבתי, הממוצע השנתי נאמד בכ- 620 מקרי מוות לשנים 1995-1999. באשדוד, הממוצע השנתי נאמד בכ- 90 מקרי מוות לשנים 1998-1999.

התמותה השנתית בתל-אביב רבתי ובאשדוד רבתי עקב חשיפה לאוזון (O_3) כתוצאה ממקורות אנתרופוגניים נאמדת בכ- 1% מכלל התמותה הטבעית השנתית בשני האזורים. בתל-אביב רבתי, הממוצע השנתי נאמד בכ- 70-90 מקרי מוות לשנים 1995-1997. באשדוד רבתי הממוצע השנתי נאמד בכ- 10-15 מקרי מוות עבור אותם שנים (משרד לאיכות הסביבה ואחרים, 2003). **אשפוזים**: שיעור האשפוזים בבתי חולים בתל-אביב רבתי בשנת 1997, שניתן לייחס לחשיפה אנטרופוגנית ל- $PM_{2.5}$ עבור כלל האוכלוסייה, נאמד בכ- 2% מכלל האשפוזים לשנה הקשורים עם גורמים נשימתיים. נתון זה מבטא כ- 370 מקרים. שיעור האשפוזים בבתי חולים עקב כל הגורמים הנשימתיים שניתן לייחס לחשיפה אנטרופוגנית ל- PM_{10} בגילאים 65 ומעלה נאמד בכ- 6% או כ- 800 מקרים בשנת 1997. שיעור האשפוזים של בני 65 ומעלה עקב מחלות לב וכלי דם שניתן לייחס לחשיפה ל- PM_{10} מוערך בכ- 3%, או כ- 1,200 מקרים בשנת 1997. באזור אשדוד, נתוני הניטור עבור PM לא היו זמינים בשנים 1995-1997.

בשנת 1997, שיעור האשפוזים הנאמד עבור האוכלוסייה המבוגרת מגיל 65 ומעלה מגורמים נשימתיים שניתן לייחס לחשיפה אנטרופוגנית לאוזון בתל-אביב רבתי ובאשדוד רבתי הוא כ- 8% וכ- 2% בהתאמה. אומדן זה מתבטא ב-1,120 ו-180 מקרים באותה שנה. משנת 1995 עד 1997 ניכרת מגמת גידול במספר האשפוזים בשני האזורים. למעשה, באשדוד, כמעט והוכפל מספר האשפוזים (משרד לאיכות הסביבה ואחרים, 2003).

שיעור האשפוזים עקב כל הגורמים הנשימתיים המיוחסים לגופרית דו-חמצנית (SO_2) בתל-אביב רבתי ובאשדוד רבתי נאמד בכ- 6% אחוז בשני האזורים, שווה-ערך לכ-1000 מקרים באזור תל-אביב וכ-200 מקרים באשדוד בשנת 1997.

אשפוז בגין זיהום כלי הנשימה שניתן ליחס לחשיפה לחנקן דו-חמצני (NO_2) בתל-אביב רבתי ובאשדוד רבתי נאמד בכ- 4% וכ- 2% בהתאמה, או 615 ו-60 מקרים נוספים בשנת 1997. ניכרת מגמת גידול במספר האשפוזים באשדוד בין השנים 1995 ו-1997. הערכת הסיכונים הבריאותיים הקשורים עם חשיפה ל- SO_2 ול- NO_2 הם בעלי אי-וודאות גדולה יותר בהשוואה להערכות שנעשו עבור חלקיקים (PM) ואוזון (משרד לאיכות הסביבה ואחרים, 2003).

עוצמת הפגיעה היא תוצאה הן של מספר כלי הרכב המזהמים והן של סמיכות מקורות הפליטה לאוכלוסייה. מעבר לפגיעתם בבריאות הציבור, זיהום האוויר גורם לנזקים כלכליים כמו למשל בירידת היבול החקלאי, נזק למבנים ולתשתיות ומפגעים אסתטיים שונים (טל, 2002).

כן יש נתונים המצביעים על כך שזיהום האוויר ממנועי דיזל, גורמים לכ- 78% מכלל מקרי הסרטן הנוספים הנגרמים ממהמי אוויר מסוכנים.

2.1.1 נתונים כמותיים של זיהום אוויר

מנתונים של הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (למ"ס, 2001), עולה כי סך כל פליטות מזהמים שונים (CO , NOx , SOx , HC , CO_2 , חלקיקים, עופרת) בישראל הסתכמו ב- 64,729,155 טון.

למרות שאין משמעות מעשית לחיבור פליטות אלה, ניתן לראות כי מתוך הסה"כ, 23% מגיעים מכלי רכב מנועים (לוח 20). מזהם אוויר העיקרי מסה"כ מקורות הוא פחמן דו חמצני (98.15%). אחוז שאר מזהמי אוויר זניח יחסית לפחמן דו חמצני, אך הם אלו שפוגעים בבריאות הציבור. איור 16 מציג את התפלגות של המזהמים השונים מכלי רכב מנועים, ללא CO₂. ניתן לראות כי בין המזהמים המסוכנים לבריאות הציבור, המזהמים הכבדים הם פחמן חד חמצני CO (61%) ותחמוצת חנקן NO_x (29%).

לוח 20: התפלגות של מזהמי אוויר בישראל בשנת 2000 מסה"כ מקורות ומכלי רכב מנועים (טון)

רכב מנועי			סה"כ בשנת 2000		מזהמי אוויר
אחוז	אחוז*	טון לשנה	אחוז	טון לשנה	
95.4%	23%	14,300,000	98.15%	63,533,000	פחמן דו חמצני CO ₂
2.8%	98%	423,161	0.67%	431,790	פחמן חד חמצני CO
1.3%	56%	198,337	0.55%	354,552	תחמוצת חנקן NO _x
0.1%	4%	13,133	0.49%	315,000	תחמוצת גפרית SO _x
0.3%	69%	**46,916	0.10%	67,921	פחמימנים HC
0.0%	27%	7,169	0.04%	26,613	חלקיקי אבק מרחף
0.0%	22%	***62	0.00%	279	עופרת PB
100%	23%	14,988,778	100%	64,729,155	סה"כ

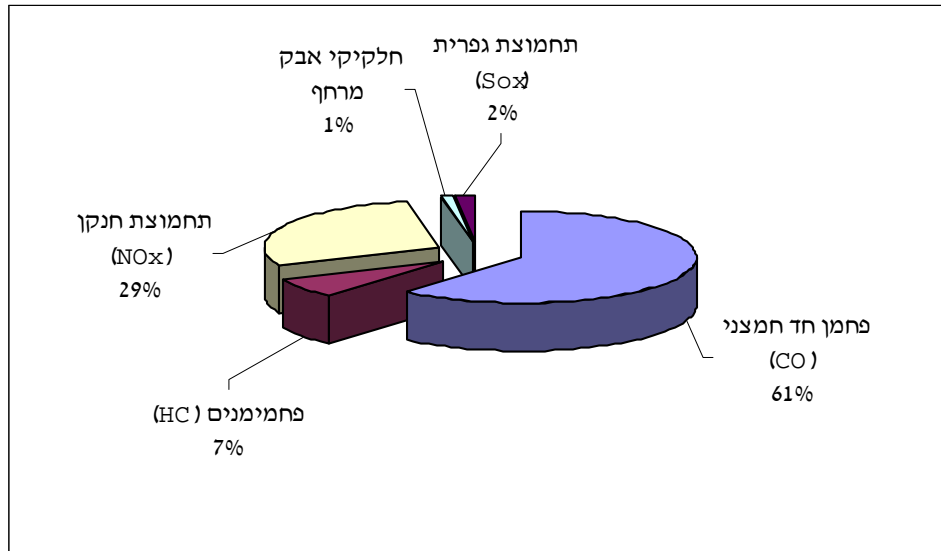
מקור: למ"ס, 2001, כלי רכב מנועים, פרסום 1184.

* אחוז מסה"כ הפליטה של אותו מזהם.

** מרכב ממנוע בבנוין

*** מרכב ממנוע בבנוין נטול עופרת

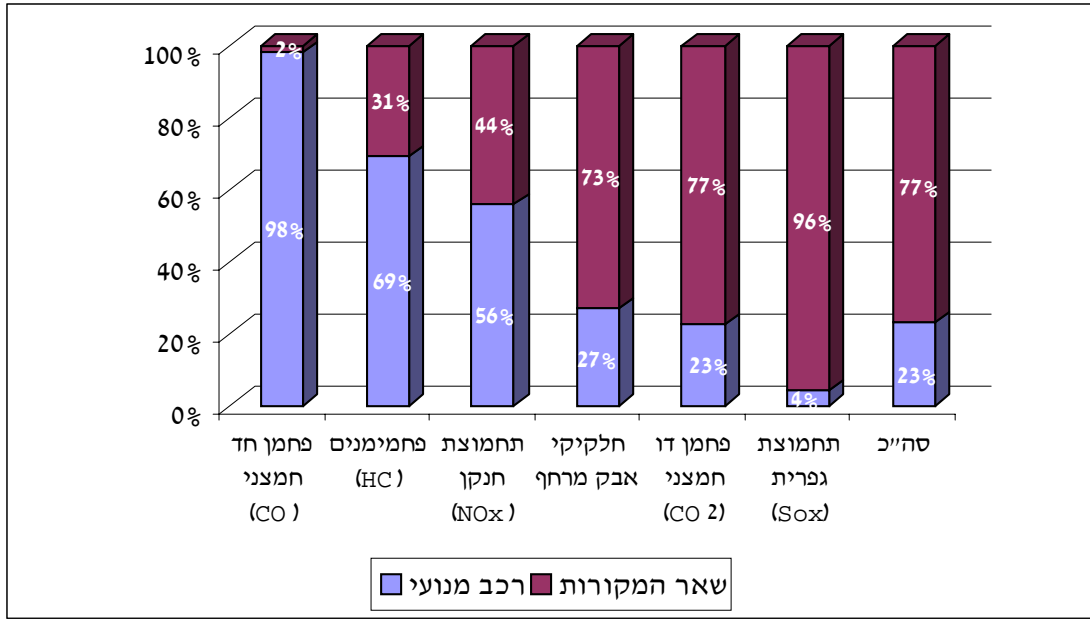
איור 16: התפלגות של מזהמי אוויר בישראל מכלי רכב מנועים (ללא CO₂)



מניתוח נתוני הפליטה המופעים בפרסום למ"ס "כלי רכב מנועים" 2001, עולה כי חלקה של התחבורה מסך פליטת תחמוצת החנקן בשנת 2000 היה 23% מסך פליטת המזהם מכל המקורות (איור 17). חלקה של התחבורה בפליטת הפחמימנים גדולה יותר, והוא מוערך בכ- 46,916¹⁰ טון מתוך 67,921 (69%), ואילו בפליטת פחמן חד חמצני חלקה של התחבורה 98% מסך הפליטה!

¹⁰ בלמ"ס הנתון לגבי פחמימנים מתייחס לרכב ממנוע בבנוין.

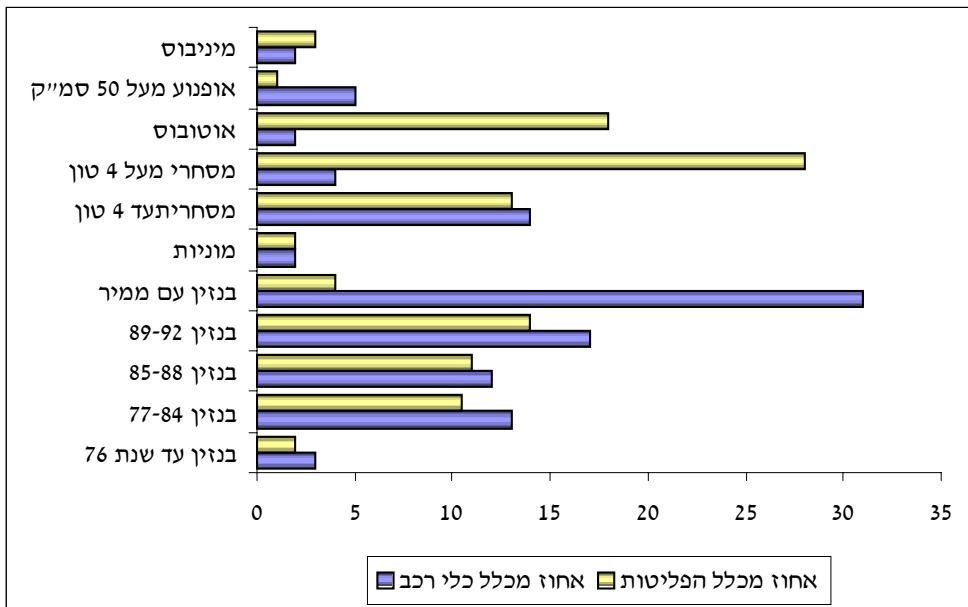
איור 17: אחוז המזהמים השונים מכלי רכב מנועים לעומת שאר המקורות



מקור: למ"ס, 2001, כלי רכב מנועים, פרסום 1184.

במחקר המבוצע בטכניון בשיתוף המשרד לאיכות הסביבה, מתקבלים מקדמי פליטה עבור צי הרכב הישראלי, כלומר כמה גרם מזהם נפלטים עבור כל קילומטר של נסיעה, כאשר יש כמובן הבדלים בין סוגי כלי הרכב, גיל הרכב, מהירות הנסיעה ועוד. באמצעות מקדמים אלה ובתוספת ידיעת מספר כלי הרכב מכל סוג והערכת הנסועה (קילומטר) השנתית שלהם, ניתן לחשב התפלגות הפליטות מתחבורה. להלן תוצאות עיקריות ממחקר זה (איור, 18-19) (משרד לאיכות הסביבה, 2001).

איור 18: פליטת תחמוצות חנקן מכלי רכב (גרם לק"מ בנסיעה)

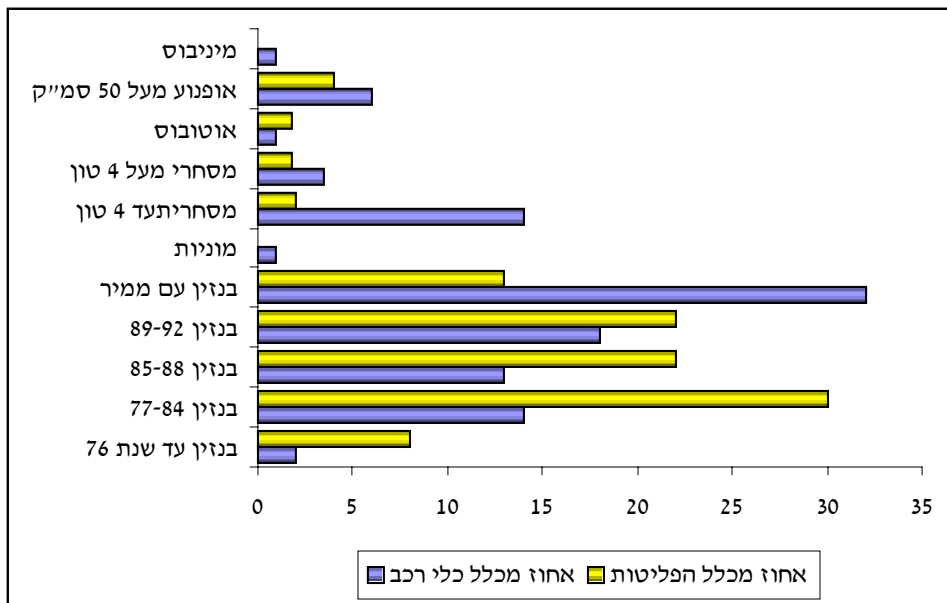


ניתן לראות כי התורמים העיקריים לתחמוצת חנקן ממגזר התחבורה הם אוטובוסים (איור 18), רכב מסחרי ורכב בנזין ללא ממיר קטליטי. מתוכם אוטובוסים ורכב מסחרי כבד פולטים בפועל יותר מחלקם היחסי בכלל צי הרכב הישראלי. רכב מסחרי קל ורכב בנזין ללא ממיר פולטים בערך

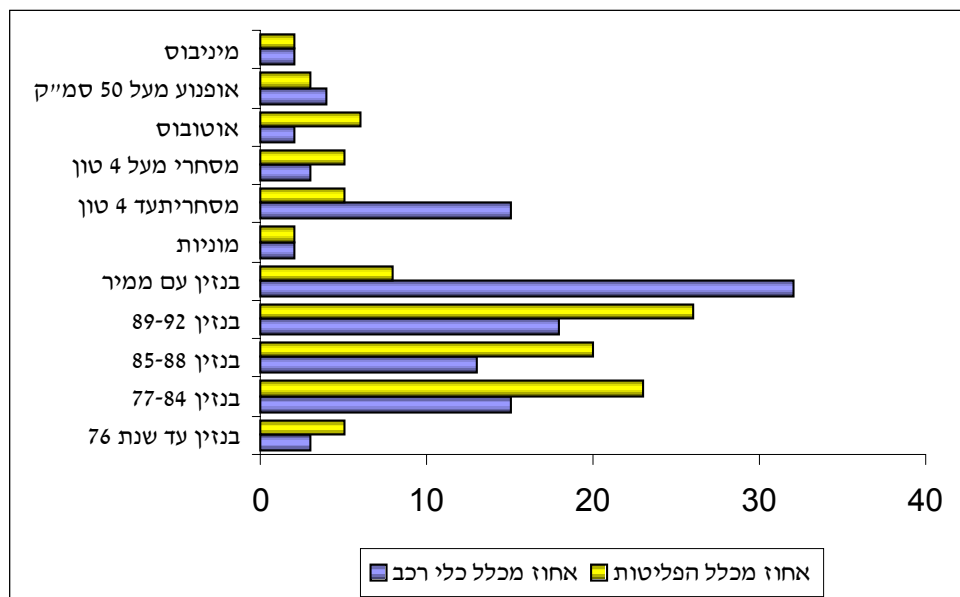
בחלקם בצי הרכב. כלי רכב עם ממיר קטליטי (בהנחה שהוא תקין) פולטים הרבה פחות מחלקם היחסי בצי הרכב (משרד לאיכוה"ס, 2001).

הרכבים בעלי מנוע דיזל היוו בשנת 1999 10% בלבד ממספרם של כלל כלי הרכב הנעים בכבישי הארץ, יחד עם זאת תרומתם לפליטת תחמוצת החנקן עמדה על 42% מהסה"כ הכללי, לפליטת פחמנים 32% מהסה"כ ולחלקיקים 24% מהסה"כ. איכות הסולר בכלל ורמת הגופרית שבו בפרט, הינם בעלי השפעה ישירה על רמת המזהמים הנפלטים מכלי הרכב (אדם, טבע ודין, 2002). עבור פחמימנים ופחמן חד חמצני (איור 19 ו-20) אנו מקבלים תמונת פליטה הפוכה, כאשר רכבי בנזין ללא ממיר קטליטי הם התורמים העיקריים במגזר התחבורה מעל לחלקם בכלל צי הרכב. רכבים מסחריים ואוטובוסים פולטים פחות.

איור 19: פליטת CO מכלי רכב בישראל (גרם לק"מ בנסיעה)



איור 20: פליטת פחמימנים מכלי רכב בישראל (גרם לק"מ בנסיעה)



תחזית תנועה שערכו מתכנני כביש "חוצה ישראל" באמצע שנות התשעים, צפתה שעד שנת 2020 יחול גידול של 226% בנסיעות ברכב פרטי, של 207% בתנועת המשאיות ושל 153% בנסיעת האוטובוסים (בהשוואה ל-1992). ואולם, כבר בין השנים 1992 ל-1977 נרשם גידול גבוה מזה בשיעור הנסיעות בישראל (חברת כביש חוצה-ישראל). אם נשלב את המגמות בשנות התשעים יחד עם תחזיות של חברת כביש "חוצה ישראל" לשני העשורים הבאים, ניתן לצפות לגידול בפליטת שני מזהמים מסוכנים ביותר, שמקורם בתחבורה יבשתית: תחמוצת חנקן (NOx) וחלקיקים (לוח 21). הגידול בפליטות מזהמים נובע בעיקר מהמעבר המואץ למנועי דיזל להנעה של משאיות קטנות, כלי רכב מסחריים ומכוניות פרטיות.¹¹ אף שנסיעות ברכבי הדיזל היוו רק כ-17% בלבד מסך כל הנסיעות בארץ בשנת 1996, הן גרמו לכ-59% מכלל זיהום תחמוצת החנקן מכלי הרכב ולכ-81% מכלל הזיהום על ידי חלקיקים זעירים (למ"ס, 1997).

לפי הערכות של חברת כביש חוצה-ישראל (לוח 21), בשנים 2000-2020 צפוי גידול של 45% בפליטות חלקיקי ה-10PM הקטלניים, 37% בפליטת של תחמוצת חנקן. עד שנת 2020 צפויה הכפלה של פליטות אלה. לעומת זאת, ניתן לצפות לצמצום נוסף בפליטות של פחמן חד חמצני, שמקורן בעיקר בכלי רכב המנועים על ידי דלק, וזאת כתוצאה מהרכבת ממירים קטליטיים ברוב כלי הרכב הקלים (פלטר, 2000). חשוב לציין שהתחזיות נעשו לפני שנת 2000. היום ניתן לראות שבשנת 2000 זיהום אוויר מהמזהמים השונים גבוה יותר מהמשוער. על כן גם התחזית ל-2010 ו-2020 עלולה להיות שונה.

לוח 21: פליטות של מזהמי אוויר מתחבורה בישראל (באלפי טון לשנה)

שנה	פחמן חד-חמצני	חנקן חד/דו חמצני	חלקיקי PM10
1996	487.5	91.3	4.61
¹² 2000	400.1	92.1	3.92
2010	312.0	125.9	4.25
2020	325.0	172.7	5.69

מקור: למ"ס 1997 וחברת כביש חוצה-ישראל

בחמש השנים האחרונות אנו עדים לתהליך מואץ של מעבר לרכבי דיזל מונעי בסולר (דיזליזציה) הנובע בעיקר ממס בלו נמוך על סולר תחבורה בהשוואה לבנזין (11 אג' לליטר סולר לעומת 205 אג' לליטר בנזין במרץ 2001). צריכת סולר תחבורה בישראל בשנים 1996-1999 גדלה בקצב ממוצע של 10 אחוזים בשנה, בעוד צריכת הבנזין לסוגיו פחתה בכ-0.5 אחוז לשנה (מור, 2001). על פי מחקר וניסיון בינ"ל לגבי הנזק הסביבתי של כלי רכב מפליטת מזהמים, למדים כי הנזק הסביבתי של רכב דיזל (EURO2) גבוה פי 3 בהשוואה לרכב בנזין וגבוה פי 4 מרכב גפ"מ (גז פחמימני מעובה) או גז טבעי (Allen, 2000).

לוח 22 להלן, מראה כי אוטובוסי דיזל בתקן EURO2 עם תכולת גופרית נמוכה ו-CRT (מלכודת חלקיקים) מפחית בצורה משמעותית את זיהום האוויר למעט תחמוצת חנקן. אוטובוס גפ"מ

¹¹ בתחזיות הזיהום מביאים בחשבון שיפורים צפויים בטכנולוגיות הדיזל ומניחים כי כלי רכב חדשים עומדים בתקני האירופי לפליטת מזהמים.

¹² הנתונים לשנת 2000 היו בגדר הערכה, ניתן לראות בלוח 18 את הנתונים העדכניים, על פיהם הזיהום אף גבוה מהערכה שעשו בחברת כביש חוצה ישראל.

משפר גם את פליטת תחמוצת החנקן ואוטובוס גז טבעי נותן את המענה הטוב ביותר לבעיית זיהום אוויר (מור, 2001).

לוח 22: פליטת מזהמים שונים על ידי אוטובוסים באנגליה (גרם לק"מ בנסיעה באזור עירוני)

PM10	NOx	CO	HC	סוג דיזל
0.32	15.70	1.30	0.70	EURO2 – דיזל
0.18	14.27	1.29	0.61	EURO2 – דיזל תכולת גופרית נמוכה
0.02	11.90	0.20	0.14	EURO2 – דיזל תכולת גופרית נמוכה ומלכודת חלקיקים
0.09	3.53	0.91	0.36	אוטובוסים גפ"מ – דור חדש
0.02	0.70	0.06	0.13	אוטובוסים גז טבעי – דור שני

אם נתעלם מההבדלים בסוגי האוטובוסים ותנאי הנסיעה באירופה נראה כי המצב בישראל גרוע יותר בכל סוגי המזהמים מזה של אנגליה, במיוחד בולט פער גדול בפליטת תחמוצת חנקן ופחמן חד חמצני (לוח 23). זאת גם לאחר שיוכנס לשירות בישראל אוטובוס דיזל משופר EURO3, מונע בסולר בעל תכולת גופרית נמוכה (City Diesel).

לוח 23: פליטת מזהמים שונים על ידי אוטובוסים בישראל

PM10	NOx	CO	HC	סוג דיזל
0.32	15.70	1.30	0.70	EURO0 – דיזל תכולת גופרית 350
0.18	14.27	1.29	0.61	EURO1 – דיזל תכולת גופרית 350
0.02	11.90	0.20	0.14	EURO2 – דיזל תכולת גופרית 350
0.09	3.53	0.91	0.36	EURO3 – דיזל תכולת גופרית 350 (הערכה)
0.02	0.70	0.06	0.13	אוטובוסים גפ"מ (הערכה)

מקור: טרטקובסקי ואח, 2000.

מחקר שנערך בטכניון על ידי המכון לחקר התחבורה (טרטקובסקי ואח, 2000) הוצגו הערכות וניתוח מקדמי הפליטה מאוטובוסים בארץ. ממצאי המחקר היו כדלקמן:

1. מסתמנת מגמה ברורה של הפחתת הפליטות מהאוטובוסים שיוצרו לפי טכנולוגיות החדשות יותר. מגמה זו משותפת הן לאוטובוסים עירוניים, והן לאוטובוסים בינעירוניים.
2. נתגלתה הפחתת פליטות משמעותית יותר במעבר מטכנולוגיות יורו 0 לטכנולוגיות יורו 1, לעומת במעבר מיורו 1 ליורו 2.
3. מקדמי הפליטה של אוטובוסים עירוניים גדולים משמעותית מאלה של אוטובוסים בינעירוניים, וזאת בעיקר עקב הנהיגה בסגנון "stop & go" הגורמת לעליה בפליטות וצריכת הדלק. פליטות CO של אוטובוסים עירוניים מדורות שונים גדולות במוצע בכ- 25% מאלה של אוטובוסים בינעירוניים, פליטות HC – בכ- 60%, פליטות NOx – בכ- 35% ופליטות חלקיקים – בכ- 45%.
4. אוטובוסים עירוניים מסוג מפרקית פולטים במוצע ב- 50%-30% יותר מזהמים מאשר אוטובוסים עירוניים רגילים מאותו הדור. ההבדל גדול אף יותר לאוטובוסים מדור החדש.

5. נסיעת אוטובוס עירוני במסלול הררי מובילה לעליה של כ- 20%-30% בפליטות של כל המזהמים לעומת נסיעה במסלול עם פרופיל שטח משולב.

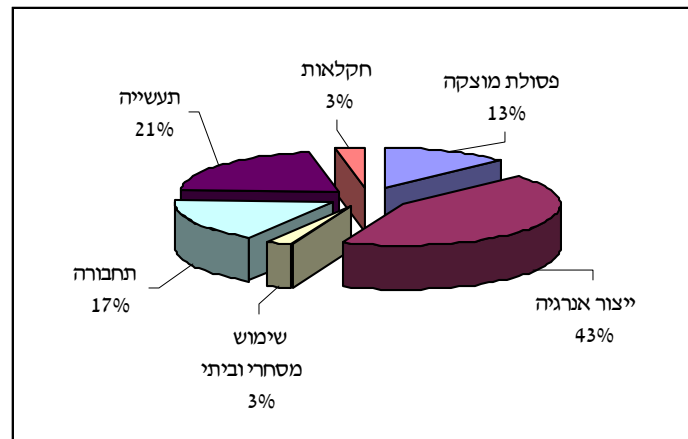
2.1.2 פליטה של גזי החממה

מוסד ש. נאמן הגיש למשרד לאיכות הסביבה בשנת 1999 מסמך בנושא חלופות להפחתת גזי חממה בישראל.

בשנת 1996 היה סך הפליטות של גזי חממה בישראל בשיעור של כ 60 מיליון טון אקוויולנט- דו תחמוצת הפחמן (דתי"פ). הגורם העיקרי בתרומת גזי החממה הינו שריפת דלקים שתרמה כ 50 מיליון טון CO₂ לשנה. איור 21 מציג חלוקת תרומות המקורות השונים, באחוזים מסה"כ התרומה לפליטת גזי החממה.

איור 21: פליטה יחסית של אקוויולנטים פחמן דו חמצני בישראל כתוצאה משריפת דלקים, 1996

לפי סקטור



מהפרק העוסק במגזר התחבורה עולה כי מגזר זה גורם לפליטות של כ- 17% מכלל פליטת גזי החממה בארץ. במסמך המלא מוגשת סדרה של אמצעים המאפשרים הקטנת נסועה והקטנת פליטות. אמצעים אלו חייבים להיות משולבים בפיתוח חלופות נסיעה ותכנון עירוני מתאימים יחד עם אמצעים כלכליים ומינהליים להגבלת נסיעה.

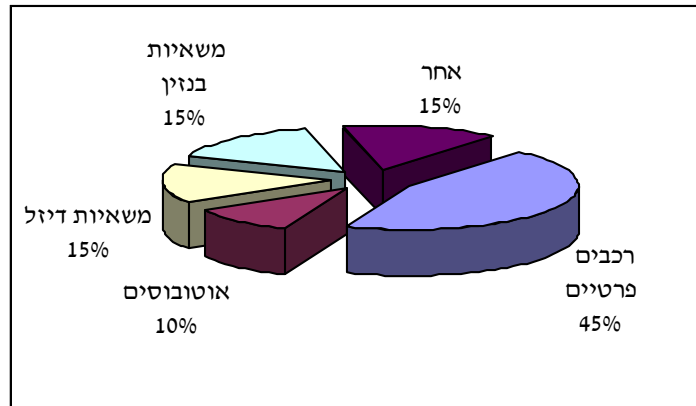
צריכת הדלק לתחבורה בשנת 1996 הייתה בהיקף כולל של כשלושה מיליון טון, מזה 2,029,200 בנזין (69% מהבנזין למכוניות פרטיות) ו-1,013,500 טון דיזל. צריכת הדלק לתחבורה עלתה בין השנים 1992 ל-1996 בשיעור של 27% ביחס לבנזין ו- 42% בדיזל.

פליטת גזי חממה ע"י התחבורה בשנת 1996 הייתה למעלה מ 8 מיליון טון CO₂. מתחזית לעליה בפליטת CO₂ מכלי רכב עד שנת 2020 נראה כי באם לא ינקטו אמצעי ריסון, תגדל פליטת CO₂ יותר מפי שניים.

איור 22 מציג התפלגות של תרומתם של אמצעי תחבורה שונים לפליטת CO₂. התרומה הגדולה ביותר של CO₂ מגיעה מרכבים פרטיים, בעוד שמאוטובוסים נפטים 10% מסה"כ הפליטות של CO₂.

פירוט אמצעים להקטנת פליטת גזי חממה במגזר התחבורה, כפי שהובא במסמך "חלופות להפחתת פליטות גזי חממה בישראל, 2002, מופיע חלק I במסמך זה.

איור 22: תרומה של אמצעי תחבורה שונים לפליטת CO₂, 1996



2.1.3 תקן פליטת מזהמים בישראל בהשוואה למדינות אחרות

השוואה בינלאומית מגלה כי לעומת מדינת ישראל, ברוב המדינות המתקדמות יש, מאז שנות התשעים, תקן לפחמנים, נוסף על תקן ל- CO – לכלי רכב בנזין, והמגמה היא להשלים את הבדיקות במצב סרק עם בדיקה בקצב גבוה של סיבובי מנוע. מתברר כי תקן הפליטה ל- CO בישראל לכלי רכב אינו בין המחמירים; בשנת 1995 כבר היה בשוויון תקן פליטה של 0.1% CO לכלי רכב חדשים – חמישית מהערך הנדרש היום בישראל (טל, 2002).

התקן הישראלי לכלי רכב דיזל בבדיקות בצד הדרך הוא המכנה המשותף הנמוך ביותר שנקבע בדריקטיבה האירופאית EC 96/96. בדריקטיבה נקבע כי על כל רכב לעמוד בערכי הסולר שהוצהרו על ידי היצרן ורק בהעדרם 2.5 (או 3 יח' לרכב עם טורבו) יחידות עשן (אבי מושל, 2003). אין הוא שונה במהותו מזה המקובל במדינה כמו גרמניה: זה מחייב במבחן שנתי בדיקת האצה חופשית, המתבצעת בהתאם לסטנדרט האירופי, שם תקן הפליטה המרבי הוא 2.5 יח' עכירות עשן למ"ק אוויר לרכב המצויד במנוע ללא טורבו, ו- 3.0 גרם יחידות עכירות עשן למ"ק אוויר לרכב המצויד במנוע עם טורבו. יש להדגיש כי ערכים אלה מהווים מעין "ברירת מחדל" או מכנה משותף נמוך. במדינות מתקדמות באירופה מופעלים תקנים מחמירים יותר לכלי רכב דיזל, לפי סוג הרכב ושנת ייצור שלו. מדיניות זאת מאפשרת שיפור הדרגתי ומבטיחה שמירה על ההתקדמות הטכנולוגית השוטפת. על כל פנים, נראה כי במקביל לשינוי בסטנדרט לפליטות ברכב דיזל, יש לטפל גם באיכות הסולר עצמו (טל, 2002).

2.2 רעש מתחבורה

רעש הנגרם על ידי תחבורה הוא רצוף בזמן ופוגע בהיקף רחב של אוכלוסייה במרבית שעות היום, במיוחד בקרבת עורקי תחבורה ראשיים. מפלסי הרעש הנגרמים על ידי כלי הרכב מושפעים בעיקר מהגורמים הבאים (אתר משרד לאיכות הסביבה, 2003):

- נפח התנועה - ככל שגדל מספר כלי הרכב העוברים בכביש, גדל מפלס הרעש.
 - הרכב התנועה - מפלסי הרעש הגבוהים והמטרידים ביותר נגרמים על ידי כלי הרכב הכבדים - אוטובוסים, משאיות ואופנועים. ככל שגדל חלקם של אלו בתנועה, גדלים מפלסי הרעש והמטרד שהם גורמים.
 - מהירות התנועה, אופי הזרימה, פרופיל הדרך - כל אלו משפיעים על מפלסי הרעש. רכב הנע במהירות גבוהה יוצר מפלסי רעש גבוהים יותר מרכב הנע במהירות אטית באותו הילוך נסיעה. בצומת, שבו תנועת הרכב היא מסוג "עצור וסע", מפלסי הרעש גבוהים יותר וכך גם בכבישים בעלי שיפוע עולה.
 - גיל הרכב ותחזוקתו - ככל שגיל הרכב עולה ומצב התחזוקה שלו יורד, עולה מפלס הרעש שגורם כלי התחבורה.
- רעש מרכב חירום נגרם בעיקר מהפעלת הצופרים. אלה הגרים ליד תחנת משטרה, תחנת כיבוי אש, תחנת מגן דוד אדום, בית חולים או בתוואי הנסיעה של רכבי החירום, יכולים להיות מושפעים, ברוב השעות היממה, מרעש זה.

קריטריונים לרעש מדרכים

על פי החלטת ממשלה מס' 1540 מיום 29 בינואר 1997, הוקמה ועדה בין-משרדית בראשות המשרד לאיכות הסביבה, אשר בחנה את מלוא העלויות הכרוכות בשינוי בקריטריון לרעש מכבישים.

החלטה זו התקבלה על רקע העובדה שבישראל אין תקן לרעש מכבישים, ולאחר שמשרדי הממשלה לא הצליחו להגיע להסכמה על תקן, בדיונים שקיימו החל מ-1990, ולכן פרויקטים תחבורתיים רבים מתעכבים (מחלף הכפר הירוק התעכב במשך שלוש שנים). לפי תחשיבים כלכליים, עיכובים אלה עולים מאות מיליוני שקלים למשק הלאומי.

הוועדה מינתה שני צוותים מקצועיים לגיבוש המלצה לתקן:

- צוות כלכלי לבחינת המשמעויות הכלכליות ביישום רמות תקן שונות לרעש מכבישים.
- צוות מקצועי (אקוסטי) שהמליץ לחברי הוועדה על שיטות החיזוי והמדידה ועל הקריטריונים לתכנון הפחתת רעש מכבישים.

הקריטריונים לרעש מכבישים שנקבעו על ידי הוועדה ותואמו עם משרד האוצר, משרד הפנים, משרד התחבורה, משרד לאיכות הסביבה ומע"ץ הם:

א. כבישים חדשים:

64dBa - מפלסי הרעש שווה הערך השעתיים לשעת שיא הרעש באזור מגורים, מחוץ למבנה.
59dBa - מפלסי הרעש שווה הערך השעתיים לשעת שיא הרעש למוסד ציבורי רגיש לרעש, מחוץ למבנה.

ב. דרך קיימת שנעשה בה שינוי מהותי: 70dBa - 64dBa בהתאם למצב לפני השינויים.

בחינת ההשפעות בכלכליות של רעש מכבישים בישראל

הגורמים הכלכליים בוועדה דרשו לבצע ניתוח כלכלי, שיאפשר להשוות בין עלויות כספיות לתועלות כספיות. לשם כך הוקם צוות כלכלי שבו כלכלן, מהנדס רעש ומהנדס כבישים. הצוות בדק כמה מדינות מערביות, וגילה כי בכל המדינות שנבדקו, תקן הרעש מכבישים נקבע על סמך קריטריונים ערטילאיים, ולא על סמך בחינה כלכלית מעמיקה. לכן החליטה הוועדה לפתח מתודולוגיה כלכלית ייחודית לקביעת התקן.

הוועדה החליטה לבדוק שלוש רמות תקן רעש אפשריות - 67dBa (הצעת מע"ץ), 64dBa (הצעת המשרד לאיכות הסביבה) ו-59dBa. כמו כן החליטה הוועדה לבחון מהם האמצעים הנדרשים לעמידה ברמת התקן הפחות מחמירה, כלומר 67dBa, ולאחר מכן לבחון מהם האמצעים הנוספים הנדרשים לעמידה בתקן 64dBa ובתקן 59dBa. באותה שיטה - המבוססת על עקרון העלות והתועלת השולית - הוחלט לבדוק את התועלת מהחמרת התקן.

אמידת הנזק מרעש נעשתה עפ"י השיטה העקיפה (לפי שיטה זו בודקים מהו השינוי בהתנהגות הצרכן עקב מפגע הרעש. לאחר מכן בודקים את המשמעות הכלכלית של השינוי בהתנהגות לפי שיטה זו בודקים מהו השינוי בהתנהגות הצרכן עקב מפגע הרעש. לאחר מכן בודקים את המשמעות הכלכלית של השינוי בהתנהגות, כאשר הניתוח מבוצע על ההשפעה על מחירי הדירות הסמוכות למקור הרעש, כלומר הכביש). לשם כך נבדקו אלפי יחידות דיור ברחבי ישראל ונמצא כי כאשר הרעש יורד, מחיר הדירה עולה:

תוצאות הבחינה היו מפתיעות: **התברר שעבור כל הפחתה של יחידת dBA, מחירי הדירות עולים ב- 2%**. כלומר, עקב הורדת הרעש מ- 67dBa ל- 59dBa, עלה מחיר כל דירה רלוונטית ב- 16%.

תוצאה זו גבוהה משמעותית מהתוצאות במחקרים העולמיים. הסיבה לכך היא טעויות מדידה חמורות ברוב המחקרים העולמיים.

בחינת העלויות הייתה קלה יותר, כיוון שהעלויות לטיפול אקוסטי בכביש היו ידועות. הקושי במדידת העלויות נבע מהבדלים בעלויות הטיפול בסוגי כבישים שונים, במרחק של יחידות הדיור מהכביש ובמספר הקומות בבניין.

לכן, נבנתה מטריצת עלויות תאורטית לסוגי כבישים שונים, למרחקים שונים ולגבהים שונים. עלויות הטיפול בכל אלטרנטיבה חושבו לפי סוג הפתרון הזול ביותר, המביא לפתרון הרצוי (שיטת

(cost effective). מטריצת העלויות נבחנה על פי מספר גדול של פרויקטים קיימים. התוצאה הראתה שהמטריצה התאורטית עומדת במבחן המציאות.

תקן הרעש מכבישים בישראל מבוסס על העקרונות הבאים:

- התקן בישראל יהיה dBA64, לפי עמדת המשרד לאיכות הסביבה.
- אם נדרשות עלויות גבוהות מאוד לעמידה בתקן (כלומר, קפיצת עלויות), בונה הכביש יכול לפעול בדרכים אחרות, ובהן מיגון דירתי של היחידות החשופות לרעש.
- לא יהיה הבדל בתקן בין אוכלוסיות שונות - תושבי שכונות יוקרה לעומת שכונות מצוקה, ואזורים כפריים לעומת אזורים עירוניים.
- מבנים רגישים כגון בתי חולים, יקבלו מיגון גבוה יותר (עמידה בתקן של dBA59)
- מבחינים בין אופן הטיפול בהרחבה של כביש קיים לבין סלילת כביש חדש (בכביש חדש יש גמישות גדולה יותר, ולכן ניתן להוזיל את עלויות המיגון).
- יש להתחשב ברמת הרעש שהייתה קיימת לפני הקמת הכביש (אוכלוסייה רגישה יותר לשינוי ברמת הרעש מאשר לרמת הרעש האבסולוטית).

2.3 תאונות דרכים

קצב הגידול שנרשם בישראל בשנים 1989-1993 באחוז הפגיעות מתאונות היה מהגבוהים בעולם המערבי (פלטשר, 2000).

בעבר הניחו כי הגורם העיקרי לתאונות בישראל הוא מערכת הכבישים הגרועה. אלא שבין 1990 ל-1993 הושקעו משאבים רבים בשיפור מערכת הכבישים, ולמרות זאת עלה שיעור הנפגעים השנתי מ-594 ל-100,000 נפש ל-723 ל-100,000 נפש.

התחבורה בכבישים מסוכנת יותר מתחבורה מסילתית. נתונים מארה"ב מראים, שמספר ההרוגים מתאונות דרכים של רכבות הוא 0.4 למיליארד ק"מ נוסע לעומת 7 הרוגים למיליארד ק"מ נוסע ברכב פרטי. באירופה, שיעור ההרוגים בתאונות רכבת הוא פחות מרבע מן ההרוגים בתאונות ברכב פרטי, ושיעור הנפגעים אף נמוך מזה. העלות החיצונית של תאונות ברכב באירופה (לקילומטר נוסע) גבוהה פי 3 עד פי 13 מעלות הנסיעה ברכבת (פלטשר, 2000).

2.4 היחס בין מערכת התחבורה ושטחים פתוחים

מדיניות ותכנון שימושי הקרקע ושמירת השטחים הפתוחים חייבת להיות יעד לאומי בעל חשיבות עליונה במדינת ישראל שמתמודדת עם מצוקת קרקע חמורה. המחסור החמור בעתודות קרקע ובשטחים פתוחים נובע משתי קטגוריות של סיבות השונות במהותן (שמשוני ואחרים, 1997):

א. מדדי הארץ וגודל האוכלוסייה המאכלסת אותה – צפיפות האוכלוסייה הממוצעת באזור שמצפון לנפת באר שבע הוא כ- 520 נפש לקמ"ר. לשנת 2020 חזויה לאזור זה צפיפות של 850 נפש לקמ"ר. זוהי צפיפות אוכלוסין הגבוהה יותר מכפולת הצפיפות של הולנד (366 נפש לקמ"ר) הנחשבת לצפופה במדינות המערב.

ב. המשך מדיניות פיתוח לאומית מוסכמת ומקובלת של "כיבוש הקרקע" המתעלמת מהנתונים וממצוקות הקרקע החמורה.

אלה, בצירוף העובדה שהקרקע והנוף הפתוח הנם מן המשאבים היחידים שלא ניתן לייצרם או למחזרם הופכים את משאב הקרקע בישראל לנדיר וליקר מכל המשאבים.

צריכת השטח הפתוח על ידי מערכת הכבישים בישראל עמדה ב-1996 על כ-100 קמ"ר מחוץ לערים (קפלן, 1996). השפעת השטח הבנוי אינו דווקא בהיקף השטח, כי אם בפרישתו. הצפי לעלייה בביקוש לכלי רכב ועימו הצורך בכבישים נוספים, ובעיקר המגמות של פרישה פרברית בלתי מבוקרת, קניונים ומרכזי מסחר ומערכת הכבישים הנדרשת לשרתה יחריפו את מצב השטחים הפתוחים בארץ. רשת הכבישים הצפויה במצב כזה תסתור את המגמה להותיר לדורות הבאים מרחבים פתוחים ובלתי מופרים, העיקרון הראשון והבסיסי של פיתוח בר-קיימא.

הפתרון ימצא בניסוח שונה של הדברים. בהצגת השאלה בדבר הצורך להביא לפתרון של בעיות התחבורה, ולא פתרון לבעיית ריבוי המכוניות. לאמור, פתרון לסיפוק דרישה להגיע בזמן סביר ובתנאים נוחים מנקודה אחת לאחרת, לאו דווקא פתרון לכמות המכוניות הצפויה בתסריטים השונים (קפלן, 1996). **ניסוח כזה של השאלה מוליך לפתרונות המתבססים על מערכת תחבורה ציבורית על כל מרכיביה וגווניה**, תחבורה ציבורית שהיא בת-תחרות לרכב הפרטי. יש לתת קדימות בביצוע למרכיבי מערכת שיכולים לסייע לחולל את השינוי לקידום תחבורה ציבורית במערכת תחבורתית, מבלי להוריד את רמת הרווחה של האוכלוסייה ותוך מגמה לשפר את רמת הרווחה בטווח הארוך (שמשוני, 1997).

הסעה המונית המשלבת ומתזמנת סוגים שונים של אמצעי תחבורה, אוטובוסים, מסילות ברזל ותחבורה פרטית. פתרונות מסוג זה הם היחידים אשר יש בהם כדי להביא לפיתוח בר-קיימא של השטחים הפתוחים (קפלן, 1996).

חלק III : אמצעים לשיפור איכות הסביבה

1. הדרכים להשגת יעדים למדיניות תחבורה בת קיימא

לאור הנתונים שהוצגו ועליית מספר כלי הרכב בישראל אנו עדים, מדי יום, לתופעה בה הערים והגישות לערים מאופיינות בתופעת גודש - תנועה צפופה המלווה בפקקים ובעצירות תכופות. במצב תנועה זה הרחבת הנסועה פוגעת בסביבה אולם לא פחות נפגעת גם יכולת הניידות, ולמעשה מערכת התחבורה אינה ממלאת את יעדיה ביעילות. הפתרונות התחבורתיים המתאימים להקלת הניידות בתנאי גודש (הגדלת חלקה של התחבורה הציבורית, לדוגמא) מקלים גם על השפעות מערכת התחבורה על הסביבה. לכן, במרחבים העירוניים ובכבישי הגישה לערים העמוסים (שם עיקר בעיות התחבורה), מדיניות תחבורה המתמודדת בהצלחה עם בעיות ניידות בתנאי גודש התנועה, יכולה גם לתרום לשיפור הסביבה (מהלאל, סדרי עדיפות לאומית בתחום איכות הסביבה, 1999).

עוד בשנת 1996 הכין צוות סביבתי של תוכנית אב לישראל 2020 בשיתוף עם המשרד לאיכות הסביבה מסמך מדיניות בנושא איכות הסביבה שבו קיימת התייחסות ליישום מדיניות הפיתוח בר הקיימא בסקטור התחבורה. היעדים למדיניות התחבורה שהובאו במסמך הני"ל (פייטלסון, 1996):

1. צמצום תפיסת השטחים למתקני תחבורה למינימום – כדי לשמור על מרב חופש הבחירה של הדורות הבאים לגבי המרחב הבנוי, ולצמצם את הפגיעה במשאבי הטבע והנוף, ובייחוד משאבי הקרקע והמים.
2. הבטחת נגישות למוקדי הזדמנויות לכלל האוכלוסייה, ובכללה חסרי הרכב- כדי לקדם את המטרה של ניידות לכל, ולצמצם ככל האפשר את התלות ברכב פרטי, דבר שיש לו גם תועלות רבות מבחינת צמצום היקף המפגעים מתחבורה.
3. צמצום סך צריכת האנרגיה על ידי מערכות התחבורה היבשתית- דבר המחייב צמצום סך הנוסע-ק"מ וכן צריכת אנרגיה לק"מ-נוסע. צמצום המפגעים בעקבות זאת יביא הן להפחתת הנזקים לדורות הבאים והן יאפשרו שיפור התחלקות המפגעים בהווה.
4. שמירת האפשרויות לגמישות במערך התנועות למרב הנוסעים והגופים הכלכליים – וזאת כדי למנוע היווצרות צווארי בקבוק תחבורתיים למגמות הצמיחה במשק הפוסט-פורדיסטי.

להלן הדרכים העיקריות להשגת היעדים שהוצעו על ידי הצוות הסביבתי (פייטלסון, 1996):

1. **טיפול במקור** – הכנסת או עידוד שינויים באמצעי הנסיעה ובתשתית ע"י: מדיניות תחזוקה ואכיפה באמצעות רישוי, מדיניות לגריטת רכבים ללא ממירים קטליטיים, עידוד אימוץ טכנולוגיות חדשות הידידותיות לסביבה ושימוש במיסעות שקטות וחדירות, ותכנון אמצעים לעיכוב והחדרת נגר.

2. **שינויים התנהגותיים** – עידוד שינויים בהתנהגות נוסעים, מפעילים, פירמות ומשקי בית באופן שיתאם את היעדים. האמצעים העשויים לשמש לשם צמצום ההישענות על רכב פרטי נחלקים לשלוש קבוצות:

- **אמצעים המייקרים או מקשים על שימוש ברכב פרטי**- ובהם ייקור הרכבים, ייקור הנסיעות או העמדת קשיים בשימוש ברכב, כגון קשיי חניה.
- **אמצעים הבאים לשפר את אטרקטיביות החלופות לרכב הפרטי** – ובעיקר שיפור האטרקטיביות של התחבורה הציבורית.
- **אמצעים הבאים להשפיע על טעמי הצרכנים** – ובעיקר להביא להכרה גדולה יותר בעלות החברתית של השימוש ברכב הפרטי ומכאן בצורך בשינויים התנהגותיים.

3. **ניהול המוביליות** – ניהול סך האפשרויות לנסיעות, והצורך בנסיעות מוטוריות. ניתן להשפיע על דרכי הנסיעה וצרכי המוביליות ברמה כוללת. עיקר הדגש בהקשר זה הוא על המועסקים, אשר בהחלטותיהם קובעים במידה רבה את צרכי הניידות ועיתוי הנסיעות של עובדיהם וכן את החלופות העומדות בפני העובדים מבחינת אמצעי הנסיעה. באופן קונקרטי ניתן להשפיע על עיתוי ההגעה לעבודה, האמצעים שהמעסיק מעמיד כדי להגיע לעבודה ומיקום מקום העבודה ביחס לתחבורה ציבורית. בנוסף, ניתן להשפיע על דפוסי הנסיעות באמצעות מידע המועמד לרשות הנוסעים.

4. **תכנון פיסי** – ניהול המרחב הבנוי ושינויו באופן שימזער את המפגעים והמטרדים מהתחבורה, ויתרום להשגת מטרות ויעדי מדיניות התחבורה בת קיימא. יש כמה דרכים בהן ניתן להשפיע על המבנה המרחבי כפונקציה של המערך התחבורתי, ובייחוד מערך התחבורה הציבורית:

- התניית סוגי פיתוח שונים בהיצע התחבורה הציבורית

- מתן עדיפות לתחבורה ציבורית בתוכניות פיסיות שונות.

- תכנון עירוני על בסיס תחבורה ציבורית

2. אמצעי מדיניות להפחתת זיהום אוויר מתחבורה

כבר בחודש יולי 2001 הגישו ד"ר עמית מור ושמעון סרוסי מחברת אקואנרג'י סקירה, שהוזמנה ע"י המשרד לאיכות הסביבה, בנושא: "אמצעי מדיניות כלכלית להפחתת זיהום האוויר משריפת דלקים במגזרי התחבורה, החשמל והתעשייה בישראל". הדו"ח הוגש לצוות הבינמשרדי לבחינת אמצעים כלכליים להפחתת זיהום האוויר אשר כלל את משרד האוצר, המשרד לאיכות הסביבה, המשרד לתשתיות לאומיות, משרד התחבורה ומשרד הבריאות. את המסמך השלם ניתן למצוא באתר המשרד לאיכות הסביבה: www.sviva.gov.il

2.1 אמצעי מדיניות כלכליים להפחתת זיהום אוויר

כלים כלכליים כוללים מגוון של אמצעי מדיניות שתפקידם להשפיע על התנהגות המשתמשים באמצעות יצירת תמריצים חיוביים ושליילים. מנגנונים כאלה יעילים מבחינת יכולתם לממש יעדים בתחום ההתנהגות, אולם להם יש חסרונות בדמות השפעות על חלוקת הכנסות וחוסר אטרקטיביות פוליטית.

אחת הבעיות המרכזיות של השימוש ברכב הפרטי, בעולם כולו, הנה העובדה שאין מנגנון יעיל להפנמת ההשפעות החיצוניות השליליות שנוצרות אגב הנסיעה. עלות השימוש בכלים כלכליים עשוי ליצור תמריצים לשימוש יעיל במערכת התחבורה (ויטנברג, 1996). חלק ניכר מהשפעות חיצוניות אלה הן השפעות שליליות של איכות הסביבה.

שינוי במחירים על ידי התערבות בתחום המיסוי עשויה, במקרה של התחבורה, לא רק להביא לשינוי בכמות הנצרכת (נסועה של רכב פרטי) אלא גם להסטה לתחליפים, כמו, למשל, הסטה מרכב פרטי לציבורי, מרכב גדול לרכב קטן או ממרחק נסיעה גדול לקטן יותר, על ידי העתקת מקום מגורים או תעסוקה (פייטלסון ואחרים, 1998).

2.1.1 מסים

מס הבלו על מוצרי דלק

מס הבלו הוא המס העיקרי המוטל על מוצרי דלק, בעיקר הבנזין לסוגיו והסולר לתחבורה. ההכנסות ממס זה לאוצר המדינה בשנת 1999 הגיעו לכ-6 מליארד ₪. המס הוא קצוב ומתעדכן אחת ל-3 חדשים על פי מדד המחירים לצרכן. בעוד שממשלה בעבר הפחיתה את הבלו על הסולר והקרוסין בשנת 1994, נותר הבלו על הבנזין צמוד למדד המחירים לצרכן ובשנת 1996 הממשלה אף העלתה אותו ב-27 אחוזים במונחים ריאליים (מור, 2001).

אפליית מס זו, שנועדה במקור להוזיל את מחיר הדלק לתחבורה ציבורית ולמגזר ההובלה המונעים ברובם בסולר ולייקר את מחיר הדלק לרכבים פרטיים המונעים רוב ככול בבנזין, אינה משרתת היום את עניין זיהום האוויר.

בשנים האחרונות עם כניסתם של רכבי דיזל חדשים למגזר הפרטי, הפכה אפליית מס זו לתמריץ המניע את תהליך הדיזליזציה בישראל. למגמה זו יש השפעה שלילית הולכת וגדלה על זיהום האוויר במרכזי הערים הגדולות.

בשנות ה-80 היה מס הבלו יחסי למחיר הדלק. עם הנהגת הרפורמה במשק הדלק, הוחלט משקולי גביה להופכו למס קצוב. אופיו זה של המס גורם לנטל המס לעלות כאשר מחירי הדלק יורדים ולרדת כאשר מחירי הדלק עולים.

בלוח 24 שלהלן מוצגים מבנה מחירי הבנזין והסולר מהם משתקפים פערי מס הבלו בין הבנזין (50.3% מהמחיר לצרכן) והסולר (4.8% מהמחיר לצרכן) במרס 2001.

לוח 24: מבנה מחירי בנזין וסולר בתחנות הדלק (1 מרס, 2001)

סולר לתחבורה		בנזין 95 ו-96		רכיב המחיר
אחוזים	ש"ח לליטר	אחוזים	ש"ח לליטר	
39.9%	0.92	22.9%	0.93	מחיר בשער בז"ן
4.8%	0.11	50.3%	2.05	מס בלו
14.5%	0.34	14.5%	0.59	מע"מ
40.8%	0.94	12.3%	0.50	מרווח השיווק (1)
100%	2.31	100%	4.07	מחיר לצרכן כולל מע"מ

(1) מרווח השיווק כולל הוצאות הובלה, ניפוק, תפעול ועמלת תחנה, עלויות הון ורווח.

בלוחות 25 ו-26 שבהמשך מוצג תחשיב למחיר חזוי לליטר גפ"מ המבוסס על מחיר הגפ"מ בשער בז"ן, מס הבלו הקיים על הגפ"מ ומרווח השיווק, שלהערכתנו יהיה כ-40 אג' לליטר (30% מהמחיר לצרכן) או גבוה יותר עד 65 אג' לליטר (40% מהמחיר לצרכן). על פי תחשיב זה מחיר ליטר גפ"מ יהיה בטווח של 1.33 ש"ח עד 1.63 ש"ח. במחירים אלה צפויה העלות לק"מ נסיעה ברכב גפ"מ להיות דומה לזו של רכב דיזל או נמוכה יותר אם חברות הגז יסתפקו במרווח שווק בטווח הנמוך יותר. נציין כי העלות לק"מ נסיעה היא הפרמטר העיקרי שמשפיע על ההחלטה לעבור לרכב נקי. יודגש כי מחיר הגפ"מ, המובא בדוגמא זו, מייצג את רמת המחירים בשיא החורף, שהינה גבוהה במידה רבה ממחירי הגפ"מ ביתר עונות השנה.

מלוח 25 ניתן לראות כי העלאת מס הבלו על הסולר בכ-50 אג' לליטר מבלי לשנות את מס הבלו על הגפ"מ, תביא את העלות לק"מ נסיעה באוטובוסים וברכב כבד המונעים בסולר או בגפ"מ לאיזון בלבד. יצוין כי העלאת מס זה, תיצור עלות נמוכה יותר ב-3 עד 6 אג' לק"מ, ברכב מונע בגפ"מ בהשוואה לרכב דיזל המונע בסולר. הפרש זה יוכל לבלום במעט את תהליך הדיזליזציה וישפר את כדאיות המעבר לרכב גפ"מ.

לוח 25: מבנה מחירי הגפ"מ לתחבורה – תחזית (1 מרס 2001)

מרווח שווק 40% מהמחיר לצרכן		מרווח שווק 30% מהמחיר לצרכן		רכיב המחיר
אחוזים	ש"ח לליטר	אחוזים	ש"ח לליטר	
42.4%	0.59	51.8%	0.69	מחיר בשער בז"ן (1)
3.1%	0.05	3.7%	0.05	מס בלו (1)
14.5%	0.24	14.5%	0.19	מע"מ
40.0%	0.65	30.0%	0.40	מרווח השיווק (2)
100%	1.63	100%	1.33	מחיר לצרכן כולל מע"מ

(1) מחושב לפי יחס המרה מק"ג גפ"מ לליטר – 0.562 (משקל סגולי)

(2) מרווח השיווק כולל הוצאות הובלה, ניפוק, תפעול ועמלת תחנה, עלויות הון ורווח.

לוח 26: אומדן עלות הדלק בנסיעה בסוגי רכב שונים

גפ"מ	סולר לאחר 30 אג' הנחה מזומן	סולר במחיר מומלץ לצרכן	בנזין	
1.33-1.63	2.01	2.31	4.07	מחיר לליטר ב-ש (1 במרס 2001)
רכב פרטי ומסחרי				
10	13	13	12	ק"מ לליטר דלק
0.16-0.13	0.15	0.18	0.34	עלות לק"מ ב-ש
אוטובוס/רכב כבד				
1.2	2.2	2.2		ק"מ לליטר דלק (1)
1.35-1.10	0.91	1.5		עלות לק"מ ב-ש

(1) נתונים מהולנד מ- Erwin van den Berkmortel, Vialle b.v., לאוטובוסים במהירות נסיעה של 100 קמ"ש.

הצריכה האזרחית של סולר לתחבורה בישראל (ללא מערכת הביטחון וללא הרשות הפלשתיאית) הגיעה בשנת 1999 ל- 2,435 אלף ק"ל. על בסיס נתוני 1999 צפויה העלאת מס הבלו על הסולר באגורה אחת לתרום כ-24 מליון ש"ח הכנסות בשנה לאוצר המדינה. אנו מעריכים כי הביקוש לסולר יגדל בשנים הקרובות וקשיחותו ביחס למחיר תמשך. העלאת מחיר הסולר לכל היותר תאט את תהליך הדיזליזציה. אין אנו צופים שנוי משמעותי בצריכת הסולר גם אם מס הבלו עליו יוכפל (יעלה ב-11 אג' לליטר) וההכנסה הנוספת מהמס תגיע לכ-267 מליון ש"ח.

מוצע להעלות מס הבלו על הסולר במידה שתאפשר מימון התמריצים לתחבורה הציבורית, למגזר הציבורי ולמגזר ההובלה.

הצריכה האזרחית של גפ"מ בישראל על ידי התעשייה והמגזר הביתי בשנת 1999 עמדה על כ-440 אלף טון (780 אלף ק"ל). מזה כ-100 אלף טון שמשו חמר גל לתעשייה הפטרוכימית, שהייתה פטורה ממס בלו. על היתרה הוטל מס בלו (91 ש"ח לטון במחירי מרס 2001), שתרם כ-30 מליון לשנה להכנסות המדינה.

המלצות של הדוח (מור, 2001):

מוצע לקבוע מדרג יורד לפיו מס הבלו יהיה גבוה יותר על הבנזין והסולר ונמוך יותר על גפ"מ וגז טבעי כמקובל במדינות רבות באירופה ובארה"ב (לדוגמה בדנמרק המס על בנזין עם עופרת גבוה פי 9.1 מהמס על הסולר, המס על בנזין נטול עופרת גבוה פי 6.1 והמס על הגפ"מ עומד על 0.67 מהמס על הסולר).

בהתאם למדיניות זו מוצע בשלב ראשון לתקופת ההחדרה (עד לשנת 2005) להעלות את מס הבלו על הסולר במטרה להפגים עלויות חיצוניות של זיהום אוויר ולהביא לאיזון בצריכת דלקים נקיים. **יודגש כי הפעלת אמצעים ותמריצים להפחתת זיהום האוויר אינה מותנית בהעלאת הבלו על הסולר. כל אמצעים ראויים שיבח בנפרד על פי סדר עדיפות ומקור תקציבים שיידרש להפעלתו במסגרת של מדיניות כוללת להפחתת זיהום אוויר (מור, 2001).**

מענק להסבת כלי רכב (מור, 2001):

מוצע לקבוע מסגרת תקציבית רב שנתית למתן מענקים להסבת כלי רכב להנעה בדלקים נקיים. המענק יינתן על ידי המשרד לאיכות הסביבה על פי קריטריונים מוסכמים. מוצע שהמענק יהיה בגובה ההטבה במס מהכרה בהוצאות פחת מואץ של שווי הרכב בשיעור שיקבע. המענקים יינתנו

לחברות המפעילות ציי רכב הובלה או רכב ציבורי שעיקר נסיעתם היא במרכזי הערים הגדולות בגין הצטיידות חדשה או הסבת רכב קיים להנעה בדלקים נקיים (גפ"מ, ובעתיד גז טבעי וחשמל).

חברות ועצמאים זכאים להכרה בהוצאות רכב ולהוצאות פחת מוכרות לצורך מס בשיעור של 20% בשנה לרכב כבד (מעל 3 טון) ובשיעור של 15% בשנה לכלי רכב פרטיים ומסחריים. ההכרה בהוצאות פחת מהווה שקול מרכזי בהחלטות של חברות ועצמאים על רכישת רכב חדש, במיוחד ביחס לעיתוי החלפת רכב ישן וסוג הרכב (קבוצת מחיר) שיירכש. מענק שיהיה שקול להכרה מלאה בהוצאות הסבה לכלי רכב נקיים ולהכרה בשעורי פחת מואץ של 25% בשנה עשוי לעודד חברות ועצמאיים להקדים את המעבר לשימוש ברכב נקי.

לוח 27: דוגמא לשווי ההטבה לרכב בגין מענק השקול לניכוי פחת מואץ של 25% בשנה

מסגרת תקציב לשנה (אלפי \$)	מספר כלי רכב שיוסבו בשנה	שווי הטבה פחת מואץ 25% (1) (\$ לרכב)	שווי הרכב (אלפי \$)	סוג רכב
5,006	2,000	2,503	100	רכב פרטי ומסחרי (מעל 3 טון)
1,446	3,000	482	50	מיניבוסים ומשאיות קלות
1,205	5,000	241	25	מוניות ורכב מסחרי קל
7,657	10,000			סה"כ

(1) מחושב בערך נוכחי לפי מחיר הון 7% לשנה

המלצות

מוצע כי כל הוצאה להסבת רכב ציבורי (אוטובוסים, מיניבוסים ומוניות) ורכב הובלה (מעל 3 טון) לשימוש בדלק נקי וכל הוצאה להתקנת ממירים, מלכודות חלקיקים או ציוד אחר להפחתת זיהום אוויר, תוכרנה במלוא לחברות ולעצמאים כהוצאות לצור מס במועד הוצאתן.

2.1.2 חידוש והסבה של רכב ציבורי וממשלתי

למדינה יכולת השפעה רבה על מגזר התחבורה בישראל, כמפעילה במישרין של צי כלי רכב ממשלתיים באמצעות מנהל הרכב הממשלתי ובעקיפין באמצעות גופים נתמכים כגון: רשויות מקומיות, מוסדות צבור, חברות ממשלתיות והקואופרטיבים לתחבורה ציבורית (אגד ודן). הממשלה יכולה לפעול באמצעות הכלי שברשותה – חוק התקציב, חוק ההסדרים במשק והסדר הסובסידיות לתעריפים ולהצטיידות חדשה לאגד ולדן, לקביעת כללים מחייבים לחידוש והסבה של כלי רכב ממשלתיים וכלי רכב בגופים נתמכים (מור, 2001).

המלצות (מור, 2001):

- א. מוצע לקבוע שיעור חובה של רכישת כלי רכב נקיים (בשנים הקרובות, רכב גפ"מ) מסך רכישת כלי רכב חדשים בכל שנה, על ידי מנהל הרכב הממשלתי והגופים הנתמכים. שיעור זה ילך ויגדל בהתאם להערכות המשק לאספקת גפ"מ (מיצור מקומי ומיבוא) ופריסת תחנות תדלוק גפ"מ בערי הגדולות.
- ב. יקבע שיעור חובה להסבת כלי רכב ישנים (התקנת ציוד להפחתת זיהום אוויר) בכל שנה, על ידי מנהל הרכב הממשלתי והגופים הנתמכים.

- ג. שעורי החובה בסעיפי 1 ו 2 לעיל יקבעו בתיאום עם מנהל הרכב הממשלתי על פי אמות מידה כלכליות תקציביות ויעוגנו בחוק התקציב.
- ד. שיעור הסבת אוטובוסים ישנים ושיעור הצטיידות חדשה של הקואופרטיבים לתחבורה אגד ודן ברכבי גפ"מ יקבעו בהסדר הסובסידיות לתחבורה הציבורית החל בשנת 2001. בהסדר זה תישקל הקדמת הצטיידות באוטובוסים חדשים והוצאה מן השירות של אוטובוסים ישנים, שתרומתם לזיהום האוויר גדולה.
- ה. תועלה האגרה על כלי רכב מעל 3.5 טון (דיזל ובנזין) ישנים שגיל עולה על 14 שנים (כ-15 אחוזים ממצבת כלי הרכב משנתון 1986 ומטה). ההיטל ייגבה בכל שנה כתוספת לאגרת הרישוי השנתית.
- ו. תועלה האגרה על רכב דיזל מסחרי עד כדי השוואתה לאגרה המוטלת על רכב דיזל פרטי.
- ז. יופחת מס הקניה על רכבים נקיים בתקופת ההחדרה (עד שנת 2005) בשיעור שיקבע על ידי הצוות המקצועי (מס הקניה מגיע היום עד לשיעור של כ-95 אחוזים משווי הרכב).
- ח. לשקול הפחתת מס קניה על אמצעים להפחתת זיהום אוויר (מלכודות חלקיקים, מערכות לרכב דואלי וכד').

2.1.3 אגרת גודש

כדי לממש את היעד של הפנמת העלויות החיצוניות, יש צורך במיסוי המופעל באופן דיפרנציאלי בזמן ובמרחב, על מנת להשפיע על המשתמשים באזורים הגדושים בתנועה ובעיקר בשעות שיא הביקוש (פייטלסון ואחרים, 1998).

אגרות גודש זוהו כבר לפני שנים רבות ככלי המתאים להפנמת העלויות החיצוניות, אלא שלא ניתן היה לגבות אגרות כאלה מבלי להביא לעיכובי תנועה בגבייה עצמה.¹³ טכנולוגיה של גבייה אלקטרונית, שאינה מחייבת עצירת כלי הרכב, נמצאת כיום בשלבי יישום התחלתיים וצפויה להיות זמינה באופן מסחרי בעתיד הקרוב. (הנתונים נכונים לשנת 1998). אגרה אלקטרונית, המתאימה את "מחיר" הנסיעה לתנאי הגודש ולכן משתנה בין מקומות ובשעות היות השונות, מהווה את הפתרון המיטבי לניתור עצמת הגודש בערים לרמה הרצויה. הרמה הרצויה של הגודש הנה תלויה באיזון הרצוי בין הפגיעה בחיוניות העיר, איכות הסביבה בה, המשמעויות של הסטת תנועה לכבישים שוליים, וכמובן, בקיומן של חלופות תחבורתיות.

אגרות צפיפות נכנסו לשימוש בארצות מערב אירופה, אמריקה והערים הגדולות בדרום-מזרח אסיה. בנורבגיה ישנם כבר ניסיונות ראשוניים בשימוש בה. האיחוד האירופאי פרסם ב-1995 "נייר ירוק" הממליץ למדינות איחוד על אימוץ אגרות גודש. חלק ממדינות אירופה כבר הגיבו בחיוב על הנהגת אגרות כאלה וגם בארצות הברית נדונים אמצעים אלה ומומלצים ליישום. אם וכאשר מדיניות של אגרות צפיפות תיושם במדינות אירופה וארצות הברית, בטווח של כעשר שנים, מדיניות התחבורה בישראל תבשיל לקליטת גישה זו. יש לצפות כי תהליך האימוץ של אגרת

¹³ אגרת גודש שונה מאגרות המימון המוכרות, אשר נגבות בכבישי אגרה, בדרך-כלל בינעירוניים, ושייעודם לממן תשתית ולא להשפיע על מידת השימוש בכלי הרכב.

גודש ימשך זמן רב והוא תלוי בנקיטת צעדי הסברה על ההגיון של אגרות אלה (פייטלסון ואחרים, 1998).

יש להדגיש כי לצד הטלת אגרת גודש ניתן, ואולי צריך, להפחית מסי תחבורה אחרים, כך שסך ההוצאה הפרטית לתחבורה לא תשתנה, אבל ייווצר תמריץ שלא להשתמש ברכב פרטי במקום בו יעילותו נמוכה ועלויותיו החברתיות הן הגבוהות ביותר. כך ניתן למשל להפחית את המס על דלק כך שתושבי אזורי שוליים ייהנו מניידות רבה יותר, שכן ההשפעות החיצוניות באזורי שוליים נמוכות מאלה שבמרכזי הערים (ושם גם מגוון החלופות מצומצם יותר). שינוי יחסי במבנה המסים יכול להיעשות כך שתקבולי המדינה ממיסי רכב לא ישתנו, אך ייווצרו התמריצים הנכונים.

עכבה מרכזית נוספת הנה קיומם של מנגנונים סבוכים המעניקים הקלות מס או הטבות תחבורתיות לעובדים המעודדות מאוד את השימוש ברכב פרטי.

שינויי המחירים של התחבורה הפרטית אינם משפיעים על אותם נהגים הזוכים לכיסוי מלא של הוצאותיהם על ידי המעביד, שכן ההוצאה בפועל מכוסה כולה. כלומר, על מידת השימוש ברכב של מגזר זה לא ניתן להשפיע על ידי מדיניות תעריפים. רכב חברות מהווה מקרה קיצוני של בעיה זו, בה המשתמש אינו רגיש לחלוטין לעלויות הנסיעה, ולכן ריבוי כלי רכב הזמינים למשתמשים מבלי שהם נושאים בעלויות תפעולם עומד בניגוד למדיניות התחבורה השואפת לצמצם את העלויות החיצוניות.

המדיניות צריכה להביא לביטול את היתרון למעסיק במתן רכב לעובדים נדרשים במקום פיצוי כספי. התמורה הכספית שתעמוד לרשות העובד תאפשר לעובד להחליט על הדרך להשתמש בו, כאשר נסיעות ברכב פרטי יתומחרו בהתאם לעלותן החברתית. דברים אלה נכונים גם לגבי אספקת חנייה חופשית במקום העבודה. יש לאפשר לעובדים להחליף זכות חנייה במקום העבודה בפיצוי כספי מקביל או חניה במתקני חנה וסע ליש שירות מועדף עם נסיעה חופשית בתחבורה ציבורית. לחילופין הם עשויים לרכוש חנייה במקום העבודה, במחירי שוק, ללא הקלת מס (פייטלסון ואחרים, 1998).

תנאים אלה לבד, ודומיהם, כשהם מלווים באספקת שירות תחבורה ציבורית אמין ומועדף, יביאו להקטנה משמעותית בשיעור הגידול בנסועת הרכב הפרטי.

2.2 סיכום המלצות בנושא מיסוי השפעות חיצוניות

המלצות בנושא מיסוי השפעות חיצוניות במגזר התחבורה כוללות התייחסות לכלי הרכב המונעים בדיזל (ביניהם, כמובן, צי האוטובוסים) וכן רכבי הבנזין¹⁴ (מור, 2001). ההמלצות הנוגעות לצי רכבי הדיזל והאוטובוסים מובאות להלן:

1. מוצע לקבוע את חמש השנים הבאות כתקופת ההחדרה של אמצעים להפחתת זיהום אוויר ומעבר לכלי רכב נקיים בישראל.
2. מוצע להטיל על צוות מקצועי מצומצם, משותף למשרד האוצר, משרד התחבורה והמשרד לאיכות הסביבה, לקבוע תוכנית עבודה אופרטיבית לקדום הנושא, כולל שיווק, הסברה, תפעול ובקרה של אמצעי המדיניות שיופעלו.
3. בחמש השנים האחרונות אנו עדים לתהליך מואץ של מעבר לרכבי דיזל מונעים בסולר (דיזליזציה) הנובע בעיקר ממס בלו נמוך על סולר תחבורה בהשוואה לבנזין (11 אג' לליטר סולר לעומת 20.5 אג' לליטר בנזין במרץ 2001). צריכת סולר תחבורה בישראל בשנים 1996-1999 גדלה בקצב ממוצע של 10 אחוזים בשנה, בעוד צריכת הבנזין לסוגיו פחתה בכ- 0.5 אחוז לשנה (מור, 2001). על פי מחקר וניסיון בינ"ל לגבי הנזק הסביבתי של כלי רכב מפליטת מזהמים, למדים כי הנזק הסביבתי של רכב דיזל (EURO2) גבוה פי 3 בהשוואה לרכב בנזין וגבוה פי 4 מרכב גפ"מ (גז פחמימני מעובה) או גז טבעי (Allen, 2000).
- במסגרת ההמלצות הוצע כי הצוות המקצועי יקבע את נוסחת מס הבלו, שיוטל על סוגי דלק שונים ואת המשמעות התקציבית של הפעלת אמצעי המדיניות המוצעים להפחתת זיהום האוויר. הצוות ימליץ על יישום המדיניות לפי סדר עדיפות ולוח זמנים מוסכם.
4. מוצע לקבוע מדרג יורד לפיו מס הבלו יהיה גבוה יותר על הבנזין והסולר ונמוך יותר על גפ"מ (גז פחמימני מעובה) וגז טבעי כמקובל במדינות רבות באירופה ובארה"ב.
5. בהתאם למדיניות זו מוצע בשלב ראשון, לתקופת ההחדרה - עד לשנת 2005, להעלות את מס הבלו על הסולר במטרה להפנים עלויות חיצוניות של זיהום אוויר ולהביא לאיזון בצריכת דלקים נקיים.
6. מוצע כי כל הוצאה להסבת רכב ציבורי (אוטובוסים, מיניבוסים ומוניות) ורכב הובלה, מעל 3 טון, לשימוש בדלק נקי וכל הוצאה להתקנת ממירים, מלכודות חלקיקים או ציוד אחר להפחתת זיהום אוויר תהיה הוצאה מוכרת לצורך מס.
7. מנהל הרכב הממשלתי וגופים נסמכים על ידי הממשלה יעברו לרכישת כלי רכב חדשים-נקיים, כולל רכב המופעל בגפ"מ. שיעורו של רכב זה ילך ויגדל בהתאם להערכות המשק לאספקת גפ"מ (מיצור מקומי ומיבוא) ופריסת תחנות תדלוק גפ"מ בערים הגדולות. שיעור החובה יקבע בתיאום עם מנהל הרכב הממשלתי על פי אמות מידה כלכליות תקציביות

¹⁴סקירה והתייחסות גם לגבי סוגי דלקים נוספים, לרבות ביו-דיזל, מימן ותאי דלק מוצגים במסמך הכולל הנמצא באתר האינטרנט של מוסד ש. נאמן.

ויעוגנו בחוק התקציב.

8. יקבע שיעור חובה להסבת כלי רכב ישנים (התקנת ציוד להפחתת זיהום אוויר), בכל שנה, על ידי מנהל הרכב הממשלתי והגופים הנתמכים. שיעור החובה יקבע בתיאום עם מנהל הרכב הממשלתי על פי אמות מידה כלכליות תקציביות ויעוגנו בחוק התקציב.

9. שיעור הסבת אוטובוסים ישנים ושיעור הצטיידות חדשה של הקואופרטיבים לתחבורה "אגד" ו"דן" ברכבי גפ"מ יקבעו בהסדר הסובסידיות לתחבורה הציבורית החל בשנת 2001. בהסדר זה תישקל הקדמת הצטיידות באוטובוסים חדשים והוצאה מהשירות של אוטובוסים ישנים, שתרומתם לזיהום האוויר גדולה.

10. תועלה האגרה על כלי רכב מעל 3.5 טון (דיזל ובנזין) ישנים שגילם עולה על 14 שנים (כ 15% ממצבת כלי הרכב הם משנתון 1986 ומטה). ההיטל ייגבה בכל שנה כתוספת לאגרת הרישוי השנתית.

11. תועלה האגרה על רכב דיזל מסחרי עד כדי השוואתה לאגרה המוטלת על רכב דיזל פרטי.

12. יופחת מס הקניה על רכבים נקיים בתקופת ההחדרה, עד שנת 2005, בשיעור שיקבע על ידי הצוות המקצועי (מס הקניה מגיע היום עד לשיעור של כ- 95% משווי הרכב).

13. הצוות המליץ כי תישקל הפחתת מס קניה על אמצעים להפחתת זיהום אוויר (מלכודות חלקיקים, מערכות לרכב דואלי וכד').

14. משרד התחבורה והמשרד לאיכות הסביבה יקבעו תקני פליטה מחייבים על פי תקנה או צו, שיוטלו בשלב ראשון על: כלי רכב חדשים, תחבורה ציבורית ורכב הובלה.

15. התקנים יאכפו בבדיקת הרישוי השנתית לרכב ובביקורות שגרתיות בדרכים.

16. מוצע לקבוע תקנים לאמצעים להפחתת זיהום אוויר (ממירים, מלכודות חלקיקים) ותקנים לבדיקת יעילות על פני זמן.

17. מוצע לקבוע מועד יעד מחייב למעבר לסולר עירוני דל גופרית 50 חלקים למיליון (ח"מ), כמקובל באירופה.

אולם, במקביל לקידום דרוש של האמצעים הנ"ל, ובהתאם למטרת מסמך זה, יוצגו להלן פעולות ומנגנונים שקיימים כבר כיום ויכולים להיות מופעלים בידי חברות האוטובוסים לאלתר, כחלק ממחויבותן לאיכות הסביבה.

בידי מפעילי החברות קיימות, למעשה, מספר חלופות לקידום הנושאים הסביבתיים וללקיחת אחריות אמיתית לטובת שיפור הסביבה וצמצום ההשפעות השליליות. ניתן לחלק את האמצעים, כפי שייסקרו להלן, לאמצעים לוגיסטיים/ תיכנוניים ולאמצעים טכנולוגיים.

3. אמצעים לשיפור רמת השירות ואיכות הסביבה ע"י חברות האוטובוסים

3.1 אמצעים לוגיסטיים לשיפור רמת השירות של תחבורה ציבורית

3.1.1 קיצור זמני הגעה מדלת לדלת.

קיימות דרכים שונות לשיפור רמת השרות של התחבורה הציבורית לסוגיה. המרכיב החשוב ביותר הינו קיצור זמן הנסיעה והגדלת המהירות המסחרית של התחבורה הציבורית. חלופת התחבורה הציבורית והעדפת השימוש בה על ידי האזרחים חייבת להיות בת תחרות לתחבורה הפרטית. סביר להניח, כי אם אזרח יידרש לנסוע מביתו לחניה הסמוכה לתחנת האוטובוס, לחפש חניה, לנסוע ליעדו ומשם ללכת או לקחת אוטובוס נוסף וכל זאת, בזמן ארוך יותר מהזמן הנדרש להגיע במכונית הפרטית ליעד, ההעדפה תהיה לתחבורה הפרטית. לפיכך, נדרשת אינטגרציה של קווי הנסיעה וייעול מערך הקווים.

3.1.1.1 אינטגרציה בקווים

הניסיון הבינלאומי מלמד כי במרבית המטרופולינים באירופה מערכת התחבורה הציבורית היא מערכת היררכית, אשר פועלים בה מספר אמצעי תחבורה ציבורית, ואשר יש ביניהם יחסי גומלין. ברוב המטרופולינים באירופה הושם דגש על שילוב בין אמצעי תחבורה (קפלן, 2002).

להלן דוגמא המתארת את שילוב אמצעי תחבורה במטרופולין נוטינגהם. בנוטינגהם קיימים שני אמצעי תחבורה – רכבת ואוטובוס ובעתיד מתוכננת גם רכבת קלה. מתוך ארבע תחנות הרכבת בתחומי העיר, שלוש תחנות נמצאות בקרבת צירים בהם עוברים אוטובוסים בתדירות של כל עשר דקות והתחנה הרביעית מקבלת שירות משני קווי אוטובוסים בתדירות של כל 30 דקות. שתיים מתחנות הרכבת נמצאות בסמיכות לתחנות אוטובוס ראשיות. ממרכז העיר לתחנת הרכבת פועל קו אוטובוס בתוך המרכז העירוני (מע"ר) המקשר בינה ובין מוקדי הפעילות העיקריים במע"ר. בנוסף, קיימת אפשרות לנסיעה חינם במהלך שעה אחת בקו המשרת את מרכז העיר, לנוסעים באוטובוס המעוניינים לבצע מעבר בין קווי אוטובוס הנמצאים בשתי תחנות מרכזיות שונות במע"ר. שילוב בין קווי אוטובוסים מתבטא גם בתעריפים, בעזרת כרטיסים המאפשרים מעבר בין קווי אוטובוס בעזרת כרטיס "חופשי יומי" (קפלן, 2002).

ברוב המטרופולינים באירופה קיים שילוב בין אמצעי תחבורה ציבורית ובין אמצעי תחבורה ציבורית לתחבורה פרטית ע"י חינוכי "חנה וסע". שילוב זה מהווה מרכיב חשוב במערכת התחבורה הציבורית מכיוון שאמצעי התחבורה הציבורית משלימים זה את זה. במערכות התחבורה הציבורית הנ"ל למערך האוטובוסים שני תפקידים:

- הזנה ופיזור – מערך האוטובוסים הוא מערך מזין ממערכת התחבורה המקומית אל מערכת הסעת ההמונים המובילה אל הליבה.
- שירות משלים – מערך האוטובוסים הוא מערך משלים למערכת הסעת ההמונים. המערך המשלים יכול לכלול קווים מהירים רדיאליים אל הליבה בצירים שבהם לא פותחו עדיין

קווי הסעת המונים, קויים המקשרים בין מוקדי פעילות בפרברים וקויים מקומיים לשירות המע"ר או הפרברים. המערך המשלים יכול לכלול גם שירות בצירים מקבילים לאוטובוס ולהסעת המונים כאשר לאוטובוס מספר תחנות גבוה יותר.

במטרופולין תל אביב קיים שילוב בין אוטובוס לרכבת ובין מפעילי האוטובוסים השונים אולם שילוב זה הוא חלקי בלבד והמערכת אינה מתוכננת כמערכת משולבת. מערכת התחבורה הציבורית במטרופולין תל אביב מבוססת ברובה על נסיעות ישירות. לפיכך, הן מערך הקויים והן אמצעי התשלום אינם מכוונים לעידוד ביצוע טרנספרים בין קויים ובין אמצעים (קפלן, 2002).

מטרת יעד - 30% אינטגרציה בקויים.

בין האמצעים להשגת אינטגרציה בין אמצעי תחבורה השונים :

א. אמצעי תשלום - מגוון "מוצרי תחבורה" למגוון אפשרויות רכישה

מגוון תעריפים - ניסיון בינלאומי מלמד, שקיים מגוון צורות תשלום לפי תדירות הנסיעה (נסיעות חד פעמיות או יומיות), סוג הנסיעה (מהיר, מאסף), יעד הנסיעה (לפי מרחק), מספר הנוסעים (כרטיס משפחה), גיל הנוסע ואפשרויותיו הכלכליות (קשיש, תלמיד, סטודנט). כלומר, ההתייחסות לתחבורה הציבורית היא כאל מוצר, ובשל כך קיים מגוון "מוצרי תחבורה" למגוון אפשרויות רכישה (קפלן, 2002).

תעריף לביצוע טרנספרים – במטרופולינים נבחרים באירופה, ביצוע מעבר בין אמצעי תחבורה, הן בנסיעות יומיות והן בנסיעות חד פעמיות, לרוב איננו כרוך בתשלום נוסף ומתבצעות באמצעות **הכנסת כרטיס חכם** שמאפשר נסיעה בכל אמצעי התחבורה הציבורית. קיימות וריאציות שונות לכרטיס חכם.

להלן מספר דוגמאות :

- בפראג קיים כרטיס בסיסי למעבר בין אמצעי תחבורה המאפשר נסיעה בכל אמצעי תחבורה הציבורית במשך 60 דקות מרגע התחלת השימוש בכרטיס.
 - בנוטינגהם קיימת אפשרות לרכישת כרטיס שבו ניתן להחליף בין קווי אוטובוס בעיר ללא הגבלה במשך שעה (transticket) וכן כרטיס "חופשי יומי" בתוך העיר (city rider) וכרטיס "חופשי יומי" לנסיעות בתוך ומחוץ לעיר (network rider).
 - במדריד יש שני סוגי כרטיסים משולבים. כרטיס משולב של אוטובוסים עירוניים ומטרו הכלול עשר נסיעות, וכרטיס משולב אזורי לכל אמצעי התחבורה הציבורית ללא הגבלה.
- במטרופולין תל אביב, נכון להיום, תעריפי הנסיעה נקבעים לפי מרחק הנסיעה. ישנו תעריף לנסיעה בודדת וישנו למספר נסיעות (באמצעות כרטיסייה). בנוסף, ישנם כרטיסים תקופתיים (כרטיס חודשי וכרטיס יומי) לפי אזורים. הכרטיס היומי מיועד לשימוש מהשעה 9 בבוקר, כלומר אינו כולל את שעות השיא של הבוקר. מרבית הכרטיסים אינם משותפים למפעילים השונים. במטרופולין תל אביב, ביצוע מעבר בין קווי אוטובוס אינו כרוך בתשלום נוסף עבור כרטיס תקופתי, אולם כרוך בתשלום נוסף עבור נסיעה בודדת (קפלן, 2002).

נכון להיום, משרד התחבורה הוא זה שמכתיב את מחירי הכרטיסים המשולבים. מתברר, כי מחיר זה גבוה מדי, כך שאין תמריץ לשלם מחיר זה.

ב. מכרזי הפרטה.

יש להכניס תנאי לשילוב מערכות חדשות עם מערכות הסעה קיימות בעת הוצאת מכרזי הפרטה של קווי נסיעה עירוניים.

3.1.1.2 ייעול מערך קווים

א. חלופות קווי אוטובוס

על מנת לייעל מערכת תחבורה ציבורית חשוב לבחון חלופות קווים שונות כפי שנעשה במטרופולינים רבים באירופה ומצויים גם במטרופולין תל אביב (קפלן, 2002):

- חלופת איסוף ופיזור – מדובר בחלופות הנבדלות ביניהן בתחנת הקצה בלבד (לדוגמה קווים היוצאים משתי שכונות מגורים ונוסעים בציר משותף אל המע"ר).
- חלופות מסלול – חלופות שמסלולן שונה מהקו הרגיל כדי לתת שירות לאזור נוסף בחלק מהקו.
- חלופות מהירות – חלופות מהירות לקווים מאספים, נועדו לאזן בין צרכי הניידות והנגישות (שאיפה לשירות "מדלת לדלת") של האוכלוסייה.

ב. קווי לילה

קווי הלילה מופעלים במסגרת מדיניות הגורסת כי על מערכת התחבורה הציבורית להיות זמינה לתושבים בכל שעות היממה ובכל ימות השבוע, אם גם במערך מצומצם.

בתל אביב אין שירות קווי אוטובוס ייעודי הפועל בשעות הלילה. עם זאת, יש קווי שירות היום שממשיכים גם בשעות הערב במתכונת ובתדירות מצומצמת יותר. חלק מהקווים מסתיימים בשעות הערב המוקדמות (בין 20:00-22:00) וחלקם מסתיימים בשעות הערב המאוחרות (00:00-24:00). לקווי השירות הפועלים עד שעות מאוחרות אין סימון מיוחד, והשימוש בקווים בשעות הערב מבוסס בדרך כלל על היכרות הנוסעים עם הקווים. בסופי שבוע קווי השירות פועלים במוצאי שבת.

ג. קווים מהירים

קווים אלה כוללים קווים מהירים ו/או קווים דלילי תחנות. על מנת לקצר את זמן ההגעה, יש להבטיח כי נתיב התחבורה הציבורית (נת"צ) או מסלול התחבורה הציבורית (מת"צ) יהיו פנויים ויאפשרו לעמוד ב"כלל האצבע" לפיו, קטע הנת"צ צריך להיות **פי שתיים יותר מהיר**, בהשוואה לנסיעה ברכב הפרטי. רק כך תהיה עדיפות לתחבורה הציבורית מבחינת קיצור הזמן.

חלקם היחסי של הקווים המהירים בתל אביב (6%) מתאים לסדר הגודל שנמצא בחלק מהמטרופולינים באירופה (קפלן, 2002). הקווים המהירים במטרופולין תל אביב הם קווים רדיאליים מאזורי הפרברים המרוחקים אל המע"ר. קווים אלה הם בעלי מספר תחנות מוגבל. בחלק מהמקרים, הקווים המהירים מהווים חלופות לקווים מאספים. לקווים המהירים

במטרופולין תל אביב אין סימון שיטתי או אחיד, ותעריף הנסיעה זהה לתעריף הנסיעה בקווים המאספים.

ד. העדפה לתחבורה ציבורית

- **הצדקה לפיתוח צירי העדפה** – ההצדקה לפיתוח צירי העדפה לתחבורה ציבורית הוא שיפור רמת השירות בצירים עיקריים.
- **אורך צירי העדפה** – האורך הכולל של צירי העדפה בחלק מהמטרופולינים באירופה נמצא בתחום של 30-80 ק"מ – נתיב. אורכם של נתיבי העדפה לתחבורה ציבורית במטרופולין תל אביב כ- 43 ק"מ.
- **מיקום ציר העדפה** – מבחינת תכנון ציר העדפה, ישנה חשיבות גדולה למיקומו מאשר לאורכו. בדרך כלל ניתנת העדפה בצירים הרדיאליים הראשיים מהפרברים אל המע"ר.
- **מרכיבים עיקריים בתכנון נתיבי העדפה** – ההעדפה לתחבורה ציבורית מתבטאת גם בהעדפה בצמתים, בנוסף להקצאת הנתיב. כמו כן, צריך להתבצע תכנון של צירי הנתיב והתחנות כדי להקל על קליטת הנוסעים ופיזורם וכדי להפחית את הזמן הנדרש לכך (קפלן, 2002).

לאחרונה, הועלו מספר הצעות "למכור את עודף הקיבולת של הנתיבים". משמעות הצעה כזו, היא, למעשה, לגבות אגרה מתחבורה פרטית על מנת לקצר את זמן הנסיעה של הרכב הפרטי ולגרום להארכת זמן הנסיעה בתחבורה הציבורית. כמובן, שרעיון כזה יניב הכנסה מסוימת, אך הוא עומד בניגוד גמור למדיניות הנדרשת לייעל ולקצר את קווי התחבורה הציבורית.

3.1.2 טכנולוגיות מידע ואמצעי כירטוס

מערכות מידע לנוסעים מהוות כלי עזר למשתמשים המערכת. המידע שניתן למשתמש צריך להיות מקיף, קל להבנה וזמין. זאת, מכיוון שהמידע למשתמש הוא מרכיב חשוב בהבנת המערכת וביכולת ההתמצאות בה בצורה נוחה ומהירה ע"י הנוסע. לכן, אחד המדדים המאפשרים לפשטות המערכת הוא איכות המידע הניתן לנוסעים המשתמשים בה.

- **זמינות המידע** – מתן מידע זמין ושוטף לנוסעים, הן לפני הנסיעה והן במהלכה. המידע מועבר לנוסעים באמצעות אינטרנט, הטלפון, מידע כתוב, מידע בתחנות ומידע בזמן נסיעה בתחבורה ציבורית.
- **איכות המידע ורמת הפירוט** – איכות המידע שניתן לנוסעים צריכה להיות גבוהה, הן מבחינה ויזואלית והן מבחינת מידת הפירוט הניתן.
- **שאלות ותלונות הציבור** – יש לאפשר לנוסעים לפנות אל נציגי הרשות בשאלות או בתלונות באמצעות הטלפון או אינטרנט.

3.1.3 נגישות של תחבורה ציבורית למוגבלים בתנועה

מחויבותה הסביבתית של התחבורה הציבורית כוללת גם מחויבות חברתית. לדוגמה, שימוש באוטובוס המותאם לתחבורה עירונית - ריצפה נמוכה ללא מדרגות המקלה במיוחד על כניסת

עגלות תינוקות, נכים, קשישים, ילדים ונוסעים עם מטען כבד. סידור מיוחד מאפשר לנכים להיכנס בשעת הצורך גם מהדלת האחורית.

3.2 אמצעים לוגיסטיים וטכנולוגיים לשיפור איכות הסביבה

3.2.1 הצטיידות/ גיל גריטה.

במחקר שנערך בטכניון, עבור המשרד לאיכות הסביבה, ע"י המכון לחקר התחבורה (טרטקובסקי ואח', 2000) הוצגו הערכות וניתוח מקדמי הפליטה מאוטובוסים בארץ. מסקנות המחקר היו כי מסתמנת מגמה ברורה של הפחתת הפליטות מהאוטובוסים שיוצרו לפי טכנולוגיות חדשות יותר. מגמה זו משותפת הן לאוטובוסים עירוניים, והן לאוטובוסים בינעירוניים. מסקנה נוספת הייתה כי נתגלתה הפחתת פליטות משמעותית יותר במעבר מטכנולוגיות יורו 0 לטכנולוגיות יורו 1, לעומת במעבר מיורו 1 ליורו 2.

ככל שגיל צי הרכב של חברת האוטובוסים יהיה נמוך יותר, סביר להניח כי הפליטות מרכבים אלה יהיו נמוכות יותר.

כפי הניתן לראות בלוח 4 לעיל, הגיל הממוצע של האוטובוסים הרגילים בארץ הוא 7.1 ושל האוטובוסים הזעירים 3.5.

יש לציין, כי רכישת אוטובוסים ציבוריים נעשית בשליטת הממשלה באמצעות ועדת הצטיידות. בקשות הקואופרטיבים לתחבורה להשתתפות הממשלה בהצטיידות מוגברת יותר והצעת הצי אינה נענית בקצב התואם את דרישות הביצועים הסביבתיים של המשרד לאיכות הסביבה.

מטרת יעד - גיל ממוצע 5 שנים, גיל מקסימלי 10 שנים.

אחד האמצעים להשגת היעד הוא באמצעות מכרזים. במכרזי הפרטת קווים כמו גם במכרזים להסעות למוסדות ציבור (הסעות תלמידים¹⁵, הסעות למפעלים ממשלתיים, משרד הביטחון וכו'), יש להוסיף סעיף הדורש מהחברה הניגשת למכרז להציג את גיל האוטובוסים שלה. פרמטר זה יהווה שיקול בהעדפה חברה זו או אחרת במכרז.

פרמטר נוסף המשפיע על מקדמי הפליטה מאוטובוסים בארץ הוא הנתון כי אוטובוסים עירוניים מסוג מפרקית פולטים בממוצע ב- 30%-50% יותר מזהמים מאשר אוטובוסים עירוניים רגילים מאותו הדור. ההבדל גדול אף יותר באוטובוסים מהדור החדש. לפיכך, צי הרכב צריך להתאים לנטיעה עירונית הן במגוון האוטובוסים (מיני, מידי ורגיל) הן באיכות מנועיהם וסוג הדלק שבשימוש.

את האוטובוסים הישנים המונעים ע"י מנועים מרמה שלפני יורו 0 ועד לרמת יורו 2 יש לשדרג באמצעות טכנולוגיות קיימות ומוכחות וזאת במטרה להפחית את זיהום האוויר העירוני הקשה, ממנו סובלות כמעט כל ערי גוש דן, ירושלים, חיפה וערים אחרות.

4. בימים אלה שוקדים במשרד לאיכות הסביבה ובמשרד החינוך על הכנת נהלים ברורים להענקת "תו ירוק" לבתי ספר. הקריטריונים להענקת התו כוללים שימוש מושכל במשאבים (מים, אנרגיה וכו'), תוכניות לימוד סביבתיות ופעילות חברתית- סביבתית עם הקהילה. אין ספק, כי פרמטר חשוב הוא ההסעות לבית הספר באוטובוסים תקינים מבחינה בטיחותית וסביבתית!

3.2.2 תחזוקת צי הרכב.

רכב אחד שמנועו חדיש, אך לא מכוון עשוי לפלוט פי 100 ואף פי 1000 יותר מזהמים מרכב מדור מיושן יותר, שמנועו מכוון ומתוחזק היטב.

אין ספק, כי תחזוקה תקופתית של הרכב היא מצב רצוי הן מבחינת מפעיל הרכב והן מבחינת איכות הסביבה. תקינות הרכב וכיוון המנוע הם אמצעים המביאים לירידה בצריכת הדלק ולצמצום ימי השבתת הרכב כתוצאה מתקלות. בכך נראה יתרון ברור למפעיל והערך המוסף הוא צמצום פליטת מזהמי אוויר והפחתת מטרדי הרעש.

בנושא התחזוקה קיים הבדל עקרוני בין רכבים ישנים (לגביהם קיימים צווים אישיים המחייבים בדיקה כל חצי שנה שכוללת CO ועשן, אולם, הבדיקה מתבצעת על ידי המפעילים עצמם) ובין רכבים החדשים, מפוקדי מחשב (בהם צריכת הדלק מתריעה על כיוון לקוי).

תחזוקת צי הרכב צריכה להתבצע במוסד שעומד בתקנים סביבתיים ובעל היתרים כנדרש.

3.2.3 התנהגות נאותה ונהיגה נכונה.

פרמטר נוסף המשפיע על צריכת הדלק ועל פליטת מזהמי האוויר הנלווית לכך היא נהיגה נכונה (האצה, בלימה, מקצב נסיעה, משקל ועוד) ומשטר תפעולי מקצועי ונאות (השארת מנוע דולק שעות רבות על מנת למזג את האוטובוס).

במחקר הנ"ל, שנערך ע"י המכון לחקר התחבורה (טרטקובסקי ואח', 2000) הוצגו הערכות וניתוח מקדמי הפליטה מאוטובוסים בארץ. מסקנות המחקר היו כי מקדמי הפליטה של אוטובוסים עירוניים גדולים משמעותית מאלה של אוטובוסים בינעירוניים, וזאת בעיקר עקב הנהיגה בסגנון "stop & go" הגורמת לעליה בפליטות וצריכת הדלק. פליטות CO של אוטובוסים עירוניים מדורות שונים גדולות בממוצע בכ- 25% מאלה של אוטובוסים בינעירוניים, פליטות HC – בכ- 60%, פליטות NOx – בכ- 35% ופליטות חלקיקים – בכ- 45%. בנוסף, נסיעת אוטובוס עירוני במסלול הררי מובילה לעליה של כ- 20%-30% בפליטות של כל המזהמים לעומת נסיעה במסלול עם פרופיל שטח משולב.

3.2.4 שיפור תכונות דלק ושימוש בדלקים אלטרנטיביים

האוטובוסים הנעים היום בישראל מונעים כולם בסולר. הסולר אינו מוצר אחיד אלא תערובת חומרים בעלי תכונות שונות, אשר כמותם והיחסים ביניהם יכולים לגזור באופן ישיר על כמות המזהמים הצפויה להיפלט בשרפת הדלק במנוע.

כאמור, מרכיבי הסולר המשמעותיים ביותר מבחינה זו הם :

תכולת הגופרית: דו"ח שלב א' של הטכניון (טרטקובסקי, 2000) בעניין אמצעים להפחתת פליטות מרכבי דיזל קובע שנדרש סולר בתכולת גופרית, שלא תעלה על 50 ח"מ, על מנת שהאמצעים להפחתת זיהום אוויר המותקנים בכלי רכב יהיו אפקטיביים.

הקואופרטיבים לתחבורה "אגד" ו"דן", ע"פ צווים אישיים אשר הוצאו להם, משתמשים בערים בסולר "עירוני מיוחד" עם תכולת גופרית של 50 חל"מ והרכב משופר הצפויים להפחית את פליטת החלקיקים ותחמוצות החנקן בכ- 4%-5%.

סולר חדש זה בתכולת גופרית של 50 חל"מ צריך שיהיה הסולר הסטנדרטי לתחבורה הישראלית כולה, ואילו התחבורה העירונית, זו אשר כל או מירב נסיעותיה מתרחשת בתוך גוש דן, ירושלים וחיפה צריכה להשתמש בעתיד הקרוב, ולא אחרי 2005, בסולר נקי בעל תכולת גופרית של 10 ח"מ.

יש לציין בהקשר זה כי, ועדת הכלכלה של הכנסת אישרה בראשית מאי 2003 כי החל מיולי 2003 לא יהיה יותר יבוא או ייצור של דלק בו תכולת הגופרית גבוהה מ-50 ח"מ (עד ינואר 2004 ישווק עדיין הדלק עם שיעורי הגופרית הגבוהים יותר). כתוצאה מכך, כל רכבי הדיזל ישתמשו בדלק בעל תכולת גופרית של 50 חל"מ, למעט צה"ל. שנוי זה צפוי לצמצם את פליטת תחמוצות הגופרית בשני שלישים ואת פליטת החלקיקים באחוז נוסף.

לפני מספר שבועות אישרה ועדת הכלכלה הוצאת צו על ידי שר התשתיות, יוסף פריצקי, המחייב מעבר המשק לשימוש בסולר, שתכולת הגופרית שבו אינה עולה על 50 חל"מ לעומת 350 חל"מ בסולר הנוכחי (מושל, 2003).

עלות המעבר מסולר מחלוקת ממושכת נסובה סביב תוספת עלות הסולר לצרכנים, ורק לאחרונה גובשה נוסחת מחיר מוסכמת, אשר צפויה להעלות את מחיר הסולר בשיעור ממוצע של כ-2 אגורות לליטר (מושל, 2003).

פרמטרים נוספים, כאמור בחלק I, הם תכולת תרכובות פוליאורומטיות, מספר צטאן, צפיפות, נק' זיקוק מקסימלית ותיסוף הסולר.

על מנת לתת מענה סביר לבעיית זיהום האוויר העירוני החמור הקיים בישראל, יש לחייב שינוי תמהיל איכות המנועים ברכבי התחבורה הציבורית, בסוג הדלקים ולחייב הנעה בגז טבעי בטווח הזמן המייד. לגבי טווח הזמן הבינוני יש להכין תוכניות לימוד ובצוע הערכות לקליטת דלקים חדישים וירוקים המתפתחים כעת בעולם, כמו למשל המימן.

יש לקבוע לאלתר כי החל משנת 2005/6 10% מצי התחבורה הציבורית העירונית יונע בגז טבעי ושאחוז זה ילך ויגדל בכל שנה על פי קצב ההצטיידות השנתי של אוטובוסים עירוניים. **כמו כן, יש צורך בבדיקת דלקים אלטרנטיביים** בהם משתמשים ברחבי העולם כגון: **מימן ותאי דלק, דלקים על בסיס כהלים, גז טבעי, גז טבעי מעובה, ביו-דיזל (ראו חלק I במסמך).**

גז פחמימני מעובה (גפ"מ)

כדאיות כלכלית: מחישוב שנערך עבור הצוות הבינמישרדי לבחינת אמצעים להפחתת מזהמי אוויר, על ידי היועצים הכלכליים ע. מור ו. ש. סרוסי (2001) עולה, כי שמירה על מדיניות המיסוי הנוכחית לגפ"מ תהפוך את השימוש בו לכדאי כלכלית מבחינת תצרוכת הדלק, וזאת מבלי להביא בחשבון את התועלת בהארכת חיי המנוע והפחתת עלויות האחזקה הכרוכות בכך (משרד לאכה"ס, 2001).

בשנת 2001 נקבע תקן ישראלי רשמי לגפ"מ. בינואר 2001 חתם שר התשתיות על צו המתיר שימוש בגפ"מ כדלק להנעת כלי רכב. בכך נפתחה הדרך לשימוש ברכבי גפ"מ בארץ (משרד אכה"ס, 2001). מחיר בנזין 95 ו-96 לצרכן הוא 4.07 ש"ח, מחיר סולר לצרכן הינו 2.31 ש"ח (מור, 2001). על פי תחשיב שנעשה על מנהל הדלק והערכות חברות הגז, מחיר ליטר גפ"מ יהיה בטווח של 1.33 עד 1.63 ש"ח. במחירים אלה צפויה העלות לק"מ נסיעה ברכב גפ"מ להיות דומה לזו של רכב דיזל או נמוכה יותר אם חברת הגז יסתפקו במרווח שווק בטווח הנמוך יותר (מור, 2001).

גז טבעי צפוי להגיע למגזר התחבורה בישראל להערכתנו רק בעוד 5-8 שנים (מור, 2001). נוכח מגמת ההחרפה בזיהום האוויר בערי הגדולות אין הצדקה למדיניות של המתנה עד להגעתו של הגז הטבעי לישראל. הגפ"מ הוא דלק מוכר וזמין שבתו הזיקוק בישראל מיצרים וכן ניתן לייבאו בכמויות הדרושות. במדינות רבות משמש הגפ"מ דלק זמין ואיכותי למכוניות. החוק הפדרלי האמריקאי למניעת זיהום אוויר משנת 1990 והתקנים האירופיים המקבילים מאשרים את הגפ"מ כדלק תחליפי לכלי רכב. זמינותו של הגפ"מ והפתרונות הטכנולוגיים שפותחו בעולם להנעת כלי רכב בגפ"מ אינם מותירים ספק ביחס לצורך במדיניות לעידוד הסבת כלי רכב לגפ"מ, כמקובל במקומות רבים (מור, 2001).

הסבת אוטובוסים לגפ"מ מחייבת שינויים גדולים במרכב האוטובוס, החלפת מנוע והקמת נקודות תדלוק ומוסכים לטיפול ותחזוקה, ובדרך כלל נהוג לרכוש אוטובוסים ייעודיים לגפ"מ במסגרת הצטיידות חדשה של צי האוטובוסים. חשוב לציין גם את ההערכות הקשורה לבטיחות הנובעת מכך שהגפ"מ הוא גז דליק השוקע למקומות נמוכים (בחניוני תת קרקעיים, במוסכי וכד') בהם סכנת ההתלקחות גדולה יותר, במיוחד באזור עירוני צפוף אוכלוסייה. ועדה מייעצת לעניין היבטים טכנולוגיים ובטיחותיים של מתקני תדלוק גפ"מ ותק גפ"מ אוטומטיבי פעלה במשרד התשתיות הלאומיות בהשתתפות נציגי חברות הגז והקואופרטיבים לתחבורה אגד ודן (מור, 2001) הסבת מוניות ורכב דיזל מחייבת החלפת הרכב לרכב חדש בעל מנוע דואלי הפועל על בנזין או על גפ"מ. הסבת רכבי בנזין יחסית פשוטה יותר, ברכב מותקנת מערכת ההופכת את הרכב לדואלי המונע בבנזין או בגפ"מ על פי בחירת הנהג. עלות המערכת כ-2000 דולר לרכב. יש לציין כי מחיר רכב דואלי נמוך יותר ממחיר רכב דיזל מאותה קטגוריה. בנוסף גם בלאי המנוע והוצאות הטיפול ברכב דואלי נמוכות יותר. הגורם הבעייתי יותר הוא הקמתן של תחנות תדלוק גפ"מ במספר נקודות בערים הגדולות (מור, 2001).

3.2.5 אמצעים טכנולוגיים לשיפור ביצועי המנוע

חברות האוטובוסים נדרשות לגבש תוכנית אסטרטגית, ארוכת טווח, לצבירת ניסיון לשימוש באמצעים לצמצום פליטות. כאמור בחלק I במסמך זה, קיימים אמצעים טכנולוגיים לשיפור ביצועי המנוע כגון: ממירים מחמצנים לרכבי דיזל, מלכודת חלקיקים, מלכודת ממחזרת רציפה, הנעה היברידי-חשמלית.

חלק ניכר מרכבי הדיזל הקלים המגיעים ארצה מאירופה מצויידיים בממיר מחמצן. בישראל נערכה הדגמה של ממירים מחמצנים על אוטובוסים של "אגד" בחיפה ע"י חוקרי הטכניון במימון המשרד לאיכות הסביבה. כמו כן, נערכה הדגמה של מלכודת חלקיקים על אוטובוסים בתל אביב ובבאר שבע ע"י חוקרי אוניברסיטת בן גוריון במימון המשרד לאיכות הסביבה.

עפ"י נתונים הנמצאים כיום בידי אגד (נועם גרסל, 2003), רכב דיזל מדור יורו 5 בשילוב עם מלכודת חלקיקים ייתן מענה טוב באותה רמה כמו גפ"מ לבעיית זיהום אוויר. שיפור תכונות הדלק והתקנת מלכודת חלקיקים הינו פתרון זול בהרבה מהסבת אוטובוסים לגפ"מ שכן, הסבת אוטובוסים לגפ"מ מחייבת שינויים גדולים במרכב האוטובוסים, החלפת מנוע והקמת נקודות תדלוק ומוסכים לטיפול ותחזוקה. בנוסף, יש צורך בהערכות הקשורה לבטיחות הנובעת מכך שגפ"מ הוא גז דליק השוקע למקומות נמוכים (חניונים תת קרקעים, מוסכים וכד') בהם סכנת התלקחות גדולה יותר, במיוחד באזור עירוני צפוף אוכלוסייה (מור, 2001).

3.2.6 אמצעים להקטנת פליטות גזי חממה

מוסד ש. נאמן הגיש למשרד לאיכות הסביבה בשנת 1999 מסמך בנושא חלופות להפחתת גזי חממה בישראל. מהפרק העוסק במגזר התחבורה עולה כי מגזר זה גורם לפליטות של כ- 16% מכלל פליטת גזי החממה בארץ. להלן סדרה של אמצעים המאפשרים הקטנת נסועה והקטנת פליטות. אמצעים אלו חייבים להיות משולבים בפיתוח חלופות נסיעה ותכנון עירוני מתאימים יחד עם אמצעים כלכליים ומינהליים להגבלת נסיעה. לוח 28 מציג את סיכום החלופות שהוצעו להקטנת פליטות גזי חממה במגזר התחבורה. (סקירה של אמצעים המקובלים בעולם ראו בחלק I).

לוח 28: סיכום החלופות שהוצעו להקטנת פליטות גזי חממה במגזר התחבורה.

הערות	עלות	טכנולוגיה	אפקטיביות צפויה	החלופה
	ייקור הרכב	תפוחת בחו"ל	20%-25% הפחתת פליטה לק"מ	שיפורים ברכב
הפחתה במזהמי אוויר בעיר	עלות גבוהה כיום	קיימות	לא תהיה הקטנת פליטה בתחנות כוח קיימות. ירידה של עד 40% במעבר לגז בתחנות הכוח	מעבר לרכב חשמלי
הפחתת זיהום אוויר בעיר	עלות להקמת מערכת שירות ואספקה	קיימות	הקטנת פליטת CO ₂ בשיעור של 10%-30%	מעבר לרכב מונע בגז
	תוספת 2% למחיר הרכב	בפיתוח	מניעת פליטת N ₂ O. שוה ערך להקטנת 10% מפליטת גזי חממה	ממירים קטליטיים חדשניים
בקרת תעבורה				
מחייב תקינה ואכיפה			הפחתת נסועה עד 20%, ערך סביר 5%	תקנות לבקרת תעבורה (1)
מחייב תקינה ואכיפה והסברה			הפחתת נסועה בשטח מטרופוליטני עד 8%.	הקטנת נסועה של רכב לנוסע בודד (2)
			הקטנת פליטת גזי חממה ב 3%	בקרת דרישה לנסיעה (3)
מחייב מדיניות מחירים מרכזית			הקטנת פליטת גזי חממה עד 7%	מנגנוני שוק (4)
			עד ל-10% הפחתה. סכנה להגברת תנועה משנית	ניהול תנועה (5)

מקור: (זבירין ואחרים, 2002).

הערות ללוח 28 :

- (1) האמצעים כוללים הגבלת חניה, חיוב מעבידים להקטנת נסיעות, סגירת איזורים לתנועה, סגירת איזורים לתנועה בתנאי זיהום אוויר קשים.
- (2) האמצעים כוללים הקצאת נתיבים לרכב רב נוסעים, שיפור בתחבורה ציבורית, עידוד והסדרים לאופניים והולכי רגל.
- (3) חינוך, הסדרי תנועה במקומות העבודה, שיתוף בנסיעה, החלפת נסיעות בתקשורת אלקטרונית.
- (4) מיסי גודש, מיסי פליטת מזהמים, מיסי דלק, עלות חנייה.
- (5) מערכת ניהול תנועה מתוחכמת, הכוונת תנועה בזמן אמת, בקרת רמזורים ממוחשבת.

סיכום

לאור הסקירה הנ"ל, ניתן לראות, כי במשך השנים פוחתת זמינות האוטובוסים הציבוריים, דבר הפוגע ביעילות השירות וגורם לירידה במספר הנוסעים בתחבורה הציבורית. אלו הממשיכים להשתמש בתחבורה הציבורית עושים זאת, למעשה, בלית ברירה וברמת שירות פוחתת (קשישים, נוער ומעוטי יכולת שאינם יכולים לרכוש מכונית פרטית), כאשר ברור כי לנושא זה השפעות חברתיות ניכרות. בנוסף, ההצטיידות וההשקעות בתחבורה הציבורית גם הן מוגבלות וכתוצאה מכך, גיל האוטובוסים, המשפיע ישירות על הביצועים המכניים, צריכת הדלק ופליטות מזהמים אינו פוחת וההשפעות הסביבתיות רק מחמירות.

חברות התחבורה הציבורית, משרתות את הציבור ועליהן לפעול גם מתוך התחשבות בציבור זה ע"י שיפור הנגישות, שיפור מערך ההיסעים, שיפור איכות הדלקים, גריטה כפי הנדרש, התחשבות בנכים באמהות ובמוגבלים, כרטיסים חכמים ומשולבים ועוד.

העדפת הציבור להשתמש בתחבורה הציבורית תגבר באם תהיה עדיפות, במושגי זמן ועלות, לתחבורה הציבורית. לשם כך, יש צורך ביעול מערך הקווים, באינטגרציה בין אמצעי הסעה שונים ובין קווי האוטובוס עצמם וביעול אמצעי התשלום והמידע לנוסע.

חברות התחבורה הציבורית עצמן מחויבות להקפדה על תחזוקה נכונה ועל תרבות נהיגה מקצועית ונכונה אשר תפחית את עלויות התפעול של החברות, ותשפר את איכות האוויר בערים. החברות כולן, כולל חברות פרטיות להסעת תלמידים או עובדים למפעלים וגופי הסמך (הממשלתיים), מחויבות לפעול על פי התקנות, להקפיד על מצבו המכני התקין של הרכב ולהשתמש בסוג הדלק המתאים, תוך שהן בוחנות וצוברות ניסיון בבדיקת חלופות כגון רכבים היברידיים, שימוש באמצעי קצה כגון לוכדי חלקיקים וממירים קטליטים לדיזל ולטווח הארוך מעבר לאנרגיית מימן.

מאידך, מערכת התחבורה הציבורית תלויה גם בגורמים חיצוניים- ממשלתיים, מוניציפאליים וכו'. העדפה אמיתית של התחבורה הציבורית תוכל להתבצע באם תהיה תמיכה בתוכנית הגריטה וההצטיידות אשר יבטיחו צי צעיר, העדפה אמיתית של נתיבי התחבורה הציבורית והעדפה במכרזים לחברות המקפידות על מחויבותן הסביבתית. מדיניות כזו תוכל להבטיח לתושבים שיפור באיכות האוויר הנשם בערים.

אין לנו ספק, כי הכללת שיקולי סביבה, בריאות וביטחון במערכת הכלכלית - כימות ההשפעות הסביבתיות והבטיחותיות ושילובן בתהליך הערכה הכלכלית של פרויקטים תחבורתיים יביא להעדפה יחסית של פרויקטים המזיקים פחות לסביבה מפרוייקטים אחרים. בצורה זאת השפעות הסביבה והבטיחות יופנמו ויזכו לביטוי מפורש בתהליך קבלת ההחלטות. כתוצאה מכך, יוצר מנגנון יעיל יותר המווסת טוב יותר בין התועלות החברתיות והקצאת המקורות של המשק.

רשימה ביבליוגרפית

- אבנימלך, י. ואחרים. 2002. **חלופות להפחתת פליטות גזי חממה בישראל**. חיפה: מוסד שמואל נאמן, טכניון.
- אגד, חברת אוטובוסים. 2003. **אודות חברת "אגד"**. באתר אינטרנט: <http://www.egged.co.il>
- אגד. 1998. מערכת אוטובוסים מתקדמת. **סקירת הספרות בנושאי תחבורה ציבורית, גליון 3**. תל אביב: אגד בע"מ, היחידה לתכנון אסטרטגי.
- אדם טבע ודין. 2001. **אגד בדרך שלה – הקמפיין החדש**. באתר אינטרנט: <http://www.yarok.org.il>
- אדם טבע ודין. 2002. **מכתב לשרי התשתיות, התחבורה ואיכות הסביבה: הפעילו סמכותכם וחייבו מעבר לסולר דל-גופרית**. באתר אינטרנט: <http://www.yarok.org.il/viewpress.asp?ID=198&P=p1>
- דן, חברת אוטובוסים. 2003. **אודות חברת "דן"**. באתר אינטרנט: <http://www.dan.co.il>
- המשרד לאיכות הסביבה. 2002. **אמצעים להפחתת מזהמים מכלי רכב**. בתוך אתר אינטרנט: <http://www.environment.gov.il>
- המשרד לאיכות הסביבה. 2002. **רעש מתחבורה בישראל**. בתוך אתר אינטרנט: <http://www.environment.gov.il>
- המשרד לאיכות הסביבה. 2003. **סקר סיכונים השוואתי מזהום אוויר באזורי תל אביב ואשדוד לשנים 1995-1999**. בשיתוף עם אדם טבע ודין, הרשות לאיכות הסביבה עיריית תל אביב, איגוד ערים לאיכות הסביבה אשדוד חבל יבנה, הסוכנות האמריקאית להגנת הסביבה. בתוך אתר אינטרנט: <http://www.yarok.org.il>
- ויטנברג. 1996. בתוך פייטלסון, ע., סלומון, א., כהן, ג., בינשטוק, מ., נבות, ד. (1998), **מדיניות תחבורה לשמירת הסביבה**. ירושלים: האוניברסיטה העברית
- זבירין, י., שיפטן, י., טרטקובסקי, ל. (2002). בתוך אבנימלך, י. 2002. **חלופות להפחתת פליטות גזי חממה בישראל**. חיפה: מוסד שמואל נאמן, טכניון.
- טל, א. 2002. **זיהום אוויר מכלי רכב**. ירושלים: מכון ירושלים לחקר ישראל, המרכז למדיניות סביבתית.
- טרטקובסקי, ל., ויינבלט, מ., גוטמן, מ., אלייניקוב, זבירין, י. 2000. **הערכת מקדמי פליטת מזהמים של כלי רכב דיזל בישראל (שלב א' – אוטובוסים)**. חיפה: המכון לחקר התחבורה, טכניון.

- חברת כביש חוצה ישראל בע"מ, ניתוחי תנועה והערכה כלכלית, חלק 17-4. בתוך פלטשר, א. (עורך). **תחבורה, סביבה וצדק חברתי בישראל**, תל אביב: מרכז אדוה.
- לשכה מרכזית לסטטיסטיקה. 2002. **כלי רכב מנועים**, פרסום מס' 1184.
- לשכה מרכזית לסטטיסטיקה. 2002. **שנתון סטטיסטי לישראל**, פרסום מס' 53, לוחות 24.
- לשכה מרכזית לסטטיסטיקה. 1996. **שנתון סטטיסטי לישראל**, טבלאות 18.5 ו-2.1.
- לשכה מרכזית לסטטיסטיקה. 1997. **שנתון סטטיסטי לישראל**, לוח 17, 18.
- לשכה מרכזית לסטטיסטיקה. 1997. **סקר הרגלי נסיעה ממצאים**, בתקליטור.
- לשכה מרכזית לסטטיסטיקה. 1999. **שנתון סטטיסטי לישראל**, לוח 17, 18.
- לשכה מרכזית לסטטיסטיקה. 1997. **סקר הרגלי נסיעה**. בתוך פלטשר, א. (עורך), **תחבורה, סביבה וצדק חברתי בישראל**, תל אביב: מרכז אדוה, **מידע על שיוויון 10**.
- מור, ע. וסרוסי, ש. 2001. **אמצעי מדיניות כלכלית להפחתת זהום האוויר משריפת דלקים במגזרי התחבורה, החשמל והתעשייה בישראל**. הרצליה פיתוח: אקו אנרגי מ.ס. בע"מ.
- מושל, א. 2003. תועלת לכלל המשק. **גלובס, יוני 2003**.
- קפלן, מ. 1996. מדיניות פיתוח בר קיימא של השטחים הפתוחים. בתוך פייטלסון, ע., מרינוב, א. וקפלן מ. **מדיניות מרחבית נושאת, כיוונים לפיתוח בר קיימא**. תוכנית אב לישראל בשנות האלפיים.
- פלטשר, א., גינזברג, ג., גארב, י. 2000. **תחבורה, סביבה וצדק חברתי בישראל**, תל אביב: מרכז אדוה, **מידע על שיוויון 10**.
- פייטלסון, ע., סלומון, א., כהן, ג., בינשטוק, מ., נבות, ד. (1998), **מדיניות תחבורה לשמירת הסביבה**. ירושלים: האוניברסיטה העברית.
- פייטלסון, ע., מרינוב, א. וקפלן מ. 1996. **מדיניות מרחבית נושאת, כיוונים לפיתוח בר קיימא**. תוכנית אב לישראל בשנות האלפיים.
- תוכנית אב ארצית לתחבורה יבשתית, טיוטא מיום 20.01.98. בתוך פלטשר, א. (עורך), **תחבורה, סביבה וצדק חברתי בישראל**, תל אביב: מרכז אדוה, **מידע על שיוויון 10**.
- תוכנית אב לתחבורה בירושלים, סקר הרגלי נסיעה 1994-1996. בתוך פלטשר, א. (עורך), **תחבורה, סביבה וצדק חברתי בישראל**, תל אביב: מרכז אדוה, **מידע על שיוויון 10**.
- קונקס, חברת אוטובוסים. 2003. **אודות חברת "קונקס"**. באתר אינטרנט:
<http://connex.co.il>
- Allen, J. (2000), **Future markets and technologies for natural gas vehicles**. Lotus Engineering UK & Bob Carpenter, BG Technology

- AFDC -**Alternative Fuels Data Center**. (2003).
<http://www.afdc.doe.gov/altfuel/biodiesel.html>
- Advanced Technology Transit Bus,
<<http://www.fta.dot.gov/library/technology/attb.html>
- Environmental Policy Committee. (2001). **Environmentally Sustainable Transport: Is Rail on Track?** Paris: OECD
- European Conference of Ministers of Transport. (2000). **Sustainable Transport Policies**. Paris: OECD.
- ECMT- European Conference of Ministers of Transport. (2001). **Sulfur-free fuels**. Paris: OECD.
- Emission Standards: European Union. (2002) Heavy-Duty Diesel Truck and Bus Engines. On Website: <http://www.dieselnets.com/standards/eu/hd.html>
- Euro Emission Standards. (2003). On Website:
<http://www.dieseltech.com.sg/Euroemsn.htm>;
- Environment Policy Committee. (2002). **Environmentally Sustainable Transport: Is Rail on Track?** Paris: OECD. On Web site:
<http://www.oecd.org/pdf/M00037000/M00037485.pdf>
- Ginsberg, G., Aharon, S., Fletcher, E., Shemer, J., Koutik, D. and Karsenty, E. (1998). Mortality from Vehicular Particulate Emissions in Tel-Aviv-Jafo. **World Transport and Policy and Practice**. Vol. 4/2, pp. 27-31.
- Hull, M. (1998). Rapid bus cities. In Egged (ed.). **Literature Survey on Public Transport**. Vol. 3, pp17-19.
- IEA- International Energy Agency. (2000a). **CO2 Emissions from Fuel Combustion 1971–1998**. 2000 Edition. Paris: OECD.
- INFRAS. (2000) **External costs of transport (accidents, environmental and congestion costs) in western Europe**. Paris. INFRAS Zurich, IWW, University of Karlsruhe. On Web Site: <http://www.unece.org/doc/poja/poja.uic.2.e.pdf>
- Israel Ministry of the Environment. (2003). **A Comparative Assessment of Air Pollution Public Health Risks In Two Israeli Metropolitan Areas 1995-1999**. On Web site: <http://www.yarok.org.il>
- Khaw, B. (2002). The ticket to seamless travel. In Muhammad, F. I. (Ed). Improvements and integration of a public transport system: the case of Singapore. **Cities**, Vol. 20, pp. 205-216.
- Muhammad, F. I. (2003). Improvements and integration of a public transport system: the case of Singapore. **Cities**, Vol. 20, pp. 205-216.
- OECD. (2003). **About OECD**. On Web site: <http://www.oecd.org/EN/about/>
- OECD. (2000). **Environmentally Sustainable Transport (EST), Synthesis report: futures, strategies and best practices**.
- Rabl, A. (2002). Environmental Benefits of natural gas for buses, **Transportation Research, Part D**. Vol. 7, pp. 391-405.
- Rabinovitch, J. (1996). Innovative land use and public transport policy. The case of Curitiba, Brazil. **Land Use Policy**, Vol. 13, pp. 51-67.

- TCRP. (1998). **Guidebook for Evaluating, selecting and implementing Fuel Choices for Transit Bus Operations**. Washington, D.C.: National Academy Press.
- World Business Council for Sustainable Development. (2001). **Mobility 2001 – Overview**. Massachusetts Institute of Technology and Charles River Incorporated. Web site: <http://www.wbcsmobility.org>
- Whitelegg, J. (1993). Transport for a sustainable Future: the case for Europe. In Phletsher, A. (Ed), 2000, **Transportation, environment and public good**. Tel Aviv: Adva Center, p. 45.