

מכון ירושלים לחקר ישראל
המרכז למדיניות סביבתית
מייסודה של קרן צירלס ה' רבסון

**הבטחת יעילותם של ממירים קטליטיים
למניעת זיהום אוויר מכלי רכב ישנים
בישראל**

אלון טל

2005 – תשס"ה

פרסומי המרכז למדיניות סביבתית מס' 20

**הבטחת יעילותם של ממירים קטליטיים למניעת זיהום אוויר
מכלי רכב ישנים בישראל**

אלון טל

המרכז למדיניות סביבתית ומכון הערבה ללימודי הסביבה

פרסום זה רואה אור בסיוע קרן צ'רלס ה' רבסון, ניו-יורק.
המחבר מודה לקרן GM ראשון לציון, על תמיכתה בהכנת מחקר זה.
תודה לאוהד ארזי, עוזר מחקר, שסייע רבות בהכנת חלק מן המסמך.
הערות רבות-ערך לטיטת המסמך התקבלו ממלקולם פרגסון,
מהמכון למדיניות סביבתית אירופית בלונדון.
עם זאת, הדעות הנכללות בדו"ח זה הן של המחבר בלבד.

עריכת לשון: ורדה בן-יוסף
עימוד ועיצוב: אסתי ביהם
הפקה והבאה לדפוס: חמוטל אפל

© 2005, מכון ירושלים לחקר ישראל

בית חי אלישר

רח' רד"ק 20, ירושלים 92186

<http://www.jiis.org.il>

E-mail: machon@jiis.org.il

על המחבר

ד"ר אלון טל בעל תואר במשפטים מהאוניברסיטה העברית בירושלים ובעל תואר דוקטור במדיניות סביבתית מאוניברסיטת הרווארד.

אלון טל לימד דיני איכות הסביבה באוניברסיטת תל-אביב מאז 1990 והצטרף לאחרונה לסגל האקדמי של המכון לחקר המדבר באוניברסיטת בן-גוריון בנגב. כמו כן, ייסד את מכון הערבה ללימודי הסביבה ועבד כמנהל המחקר בו.

ספרו על ההיסטוריה הסביבתית של ארץ ישראל בהוצאת הקיבוץ המאוחד יראה אור בשנת 2006.

תוכן העניינים

7	א. מבוא
13	ב. ממירים קטליטיים: הלידה, ההתפתחות והאויבים הטבעיים
21	ג. מדיניות ישראל בנושא ביצועיהם של ממירים קטליטיים
25	ד. תכניות בינלאומיות לשיפור יעילותם של ממירים קטליטיים
25	1. שיפור איכות הדלק
26	2. שיפור יעילותן של התכניות לבדיקה ותחזוקה (I&M)
27	בדיקות פליטה במהלך בדיקת הרכב השנתית
30	תחזוקה ותיקון של מערכות לבקרת פליטה מכלי רכב
34	3. מדיניות ההחלפה של ממירים קטליטיים
35	החלפת ממירים
36	הבטחת אחריות היצרנים לביצועי הממירים
39	קריטריונים להחלפה
41	הבטחת התקנה מקצועית של ממיר חלופי
42	4. מדיניות עידוד לפרישה מואצת של כלי רכב ישנים
43	מזומנים תמורת גרוטאות
44	התנגדות והתרחבות
45	5. ייבוא וייצוא של כלי רכב מזהמים
47	ה. לקראת מדיניות ישראלית בנושא ממירים קטליטיים
47	ממירים קטליטיים והתקנות בישראל
50	מדיניות לבדיקת פליטה מכלי רכב וביצועים של ממירים קטליטיים בישראל
51	התקנת ממירים במכוניות ללא ממיר
52	תקני איכות דלק
54	ממירים חלופיים
55	תכניות הכשרה לבעלי מוסכים ולמכונאים

56	מסע ציבורי לקידום נושא הממירים הקטליטיים
57	תכניות עידוד לפרישה מואצת של כלי רכב ישנים בישראל
58	תקני ייבוא וייצוא של כלי רכב
58	מחקר עתידי ופיקוח
59	מסקנות והמלצות
63	ביבליוגרפיה
iii	תקציר באנגלית

טבלאות ותרשימים

7	טבלה 1: תרומתם של כלי רכב לזיהום האוויר הכללי בערים בעולם
	טבלה 2: ירידה בפליטת מזהמי אוויר בעקבות תכנית הבדיקה והתחזוקה של קולומביה הבריטית
29	
53	טבלה 3: תקן EURO 3 ו-EURO 4 לדיזל לעומת תקני מדינת ישראל
9	תרשים 1: השפעת גיל הרכב על פליטת CO, NO _x ו-HC
16	תרשים 2: תגובות כימיות בממיר דו-כיווני
16	תרשים 3: תגובות כימיות בממיר תלת-כיווני
18	תרשים 4: השפעת רמת הגופרית בדלק על פליטת NO _x (ביצועי ממיר)

א. מבוא

מספר כלי הרכב על פני כדור הארץ גדל פי 15 בתוך חמישים שנה, והמספר עתיד להגיע בקרוב למיליארד (UNEP, 1999). תופעה זו חוללה מהפכה בתחום הניידות בחיי רוב אוכלוסיית העולם, אך היא גם פגעה פגיעה ניכרת באיכות האוויר של אוכלוסייה זו, בעיקר בערים. התרומה הדומיננטית של מזהמי אוויר הנפלטים מכלי רכב לזיהום האוויר הכללי באזורים עירוניים מוצגת בטבלה 1. הטבלה משווה בין נתונים של פליטת מזהמים מכלי רכב בערים שאוכלוסייתן דומה לזו של ישראל, ומצביעה על נוכחותה של דינמיקה זו בכל מקום. פרופיל זיהום האוויר בישראל אינו שונה מבמקומות אחרים. מעקב שעשה המשדד הישראלי לאיכות הסביבה העלה שהתחבורה היא המקור העיקרי לפליטה של

טבלה 1: תרומתם של כלי רכב לזיהום האוויר הכללי בערים בעולם
(על פי סוגי מזהמים, באחוזים)

עיר	שנה	CO	HC	Nox	SO2	PM
בייג'ינג	1989	39	75	46	*NA	NA
	2000	84	NA	73	NA	NA
בומביי	1992	NA	NA	52	5	24
בודפשט	1987	81	75	57	12	NA
קוצ'ין	1993	70	95	77	NA	NA
זלהי	1987	90	85	59	3	37
לגוס	1988	91	20	62	27	69
מקסיקו סיטי	1990	97	99	53	33	75
	1996	77	22	21	35	26
סנטיאגו	1993	95	92	69	46	85
	1997	71	14	15	11	86
סאו פאולו	1990	94	89	92	64	39
ישראל	1999	98	62	45	NA	>50

NA = Not Applicable *

מקור: World Council for Sustainable Development, 2002, Gabbay, 2002

תחמוצות חנקן בארץ והגורם העיקרי לחריגות כרוניות מתקני זיהום האוויר בערים הגדולות – תל אביב, ירושלים וחיפה (המשרד לאיכות הסביבה, 2003).

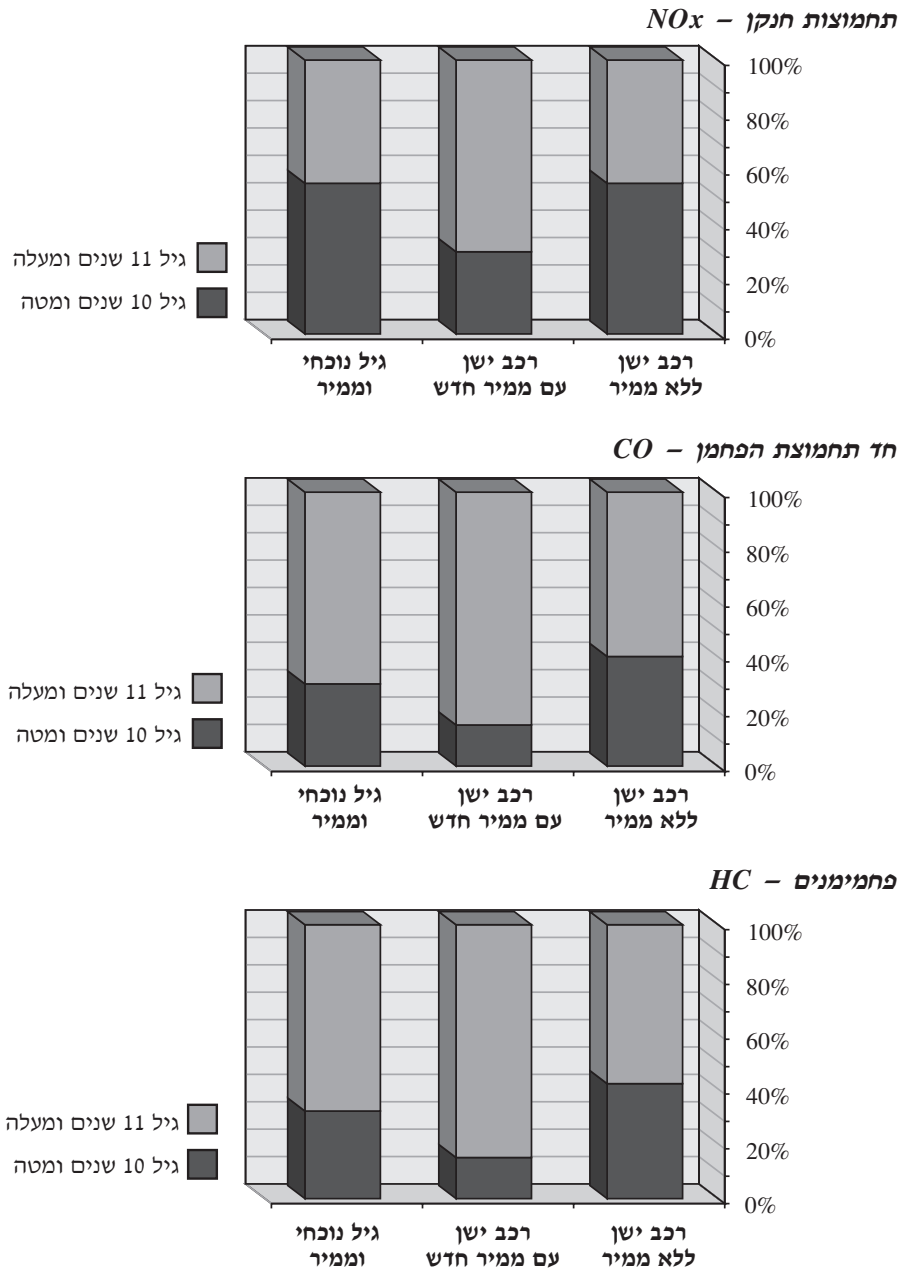
מאז אמצע שנות ה-70 הפכו הממירים הקטליטיים לטכנולוגיה הקונבנציונלית להפחתת זיהום אוויר מכלי רכב. היו פרשנים שמתחו ביקורת על המדיניות הממשלתית המרכזית לצמצום זיהום ממקורות ניידים, מדיניות שהתמקדה בטכנולוגיית הממיר הקטליטי במקום בחידושים יסודיים יותר, כגון חלופת "אפס פליטה" למניעת הבעירה הפנימית (Bunke, 1997). היום אי אפשר לערער על הצלחת הממירים. הממירים הקטליטיים מייצגים פתרון של "קצה הצינור"¹ – טכנולוגיה שבכוחה לסלק את רוב זיהום האוויר שמקורו בתחבורה העולמית. בארה"ב לבדה מייחסים לממירים הפחתה של יותר ממילארד וחצי טון של אוויר מזוהם. הממירים הקטליטיים, שתוכננו במקור למכוניות פרטיות, זמינים עתה לשימוש באוטובוסים (כמלכודות חלקיקים), במשאיות, באופנועים, בציד בנייה, במכסחות דשא ובמנועים אחרים (MECA, 2003).

ואולם ממירים קטליטיים אינם עמידים לנצח. תופעה המאפיינת את פרופיל איכות האוויר ברחבי העולם נעשית בולטת יותר ויותר לאחרונה: ככל שכלי הרכב ישנים יותר, הם מזהמים יותר. בארה"ב, למשל, דו"ח עדכני של U.S. National Academy of Science העריך שפחות מ-10% מצי הרכב בארה"ב תורמים יותר מ-50% מכלל זיהום האוויר מתחבורה (U.S. National Academy of Science, 2001).

מחקרים קודמים הראו ששיעור המכוניות הנוסעות בכביש יותר מעשרים שנה הוא 3.4% מכלל המכוניות המורשות; הן אחראיות רק ל-1.7% מכלל הנסועה (קילומטראז'), אולם תורמות 7.5% מה-HC ו-7.6% מה-CO. בקליפורניה דווח על נתונים דרמטיים יותר: כלי רכב ישנים אחראים ל-3% בלבד מסך כל הנסועה, אך תורמים 15% מה-CO ו-22% מהפחמימנים (U.S. Office of Technology Assessment, 1992). הנתונים בישראל מראים שמכוניות חדשות בעלות ממירים קטליטיים פולטות שביעית ממה שפולטות מכוניות בנות עשר שנים ויותר (Gabbay, 2002). תרשים 1 מציג תיאור גרפי של תופעה זו, על סמך מחקרים שנערכו בטייוואן.

¹ טכנולוגיה המטפלת בזיהום שנוצר במטרה לנקותו – להבדיל מטכנולוגיה המונעת זיהום מלכתחילה.

תרשים 1: השפעת גיל הרכב על פליטת CO, NOx ו-HC



מקור: תוכנית האו"ם לאיכות הסביבה, UNEP, 1999.

השחיקה המכנית – הניתנת למדידה – ברמת צי הרכב הופכת עשרות כלי רכב ישנים למחוללי זיהום אוויר כרוניים. בישראל תופעה זו מתועדת היטב. צוות מחקר של הטכניון העריך שכ-50% מכלי הרכב הישנים אינם עומדים בתקני הפליטה (הצנועים למדי) של המדינה (Gutman, 1998). הערכה עדכנית יותר של המוסכים המורשים לבדיקות רכב הצביעה על כך ש-25% מכלי הרכב ששנת ייצורם קודמת ל-1995 נכשלים בבדיקות הרישוי השנתיות, לעומת מספר זניח של כלי רכב חדשים. ברור למדי, שאם רוצים לשפר עוד את איכות האוויר בישראל, צריך למקד את המדיניות בשיפור רמת הפליטה מכלי הרכב הישנים יותר בצי הרכב (טל, 2002). מהלך כזה חייב לכלול את הרחבת הביצועים היעילים של ממירים קטליטיים או להבטיח שממירים יוחלפו מיד כאשר יעילותם פוחתת.

הא"ם הציע כמה חלופות של מדיניות לטיפול בתסמונת הפליטה בכלי רכב ישנים (UNEP, 1999). חלופות אלו כוללות את הרכיבים האלה:

- שימוש בדלק נקי או בדלק חלופי, כדי להסיר את המזהמים מהגזים הנפלטם;
- תכניות בדיקה ותחזוקה (I&M), להבטחת רמת הביצוע של מערכת הפליטה ברכב;
- שיפוץ כלי רכב ישנים, כולל תמריצים והטלת חובה להחליף ממירים קטליטיים. תמריצים לפרישה מואצת או לגריטת רכב, כדי להסיר מהכביש כלי רכב ישנים;
- הגבלת ייבוא מכוניות משומשות, כדי למנוע הצפת השווקים המקומיים בכלי רכב מזהמים.

בהקשר הישראלי, שלוש החלופות הראשונות הן הסבירות ביותר. מחירם הגבוה של כלי רכב חדשים עקב מסים על ייבוא פוגע בתמריצים לפרישה מוקדמת של כלי רכב. שדרוג סדיר של הרכב יקר מדי לרוב האוכלוסייה בישראל. עם זאת, מומלץ לחייב פרישה של כלי רכב ישנים מאוד – בני 23 שנה ומעלה. ייבוא כלי רכב משומשים אינו תופעה חמורה בישראל, בעיקר משום שהמדינות השכנות אינן נוטות לייצא, ומסי הייבוא מייקרים את ייבואן של מכוניות משומשות מאירופה והופכים אותו ללא כדאי. אף על פי כן, הדו"ח יבחן בקצרה גם חלופות אלו, כדי להציג תמונה שלמה. אפשר שסוגי דלק חלופי יהיו זמינים בישראל בטווח הארוך, אך המאמצים היום מתמקדים בניקוי דלק קונבנציונלי.

שדרוג איכותם של מקורות הדלק הקיימים בישראל יכול למלא תפקיד חשוב בשיפור ביצועי הממיר הקטליטי, בעיקר בכלי רכב ישנים. פעולה זו, נוסף על שתי החלופות האחרות (I&M והחלפת הממיר), מתאימה ביותר לישראל, במסגרת המאמץ להאריך את

חיי הממירים הקטליטיים ולהגביר את יעילותם. מדינת ישראל אמנם החלה לפעול במישור הראשון, אולם במרכז הניתוח הנוכחי עומד הניסיון הבינלאומי בתחומים אלו.

אם ממירים קטליטיים שביצועיהם טובים אמורים לעמוד בלבה של כל אסטרטגיה להפחתת פליטה של מזהמים מכלי רכב ישנים, מדיניות יעילה חייבת להתמודד עם הסיבות לבעיית הממיר ה"מחוסל". יש גורמים רבים לירידה ביעילותם של ממירים ישנים:

- עיכוב הפעולה בשל דלק לא מתאים;
- משטר תחזוקה שאינו הולם;
- חוסר נכונות להחליף את הממיר כאשר נגרם לו נזק בלתי הפיך.

אפשר לקשר בין שלושת הגורמים הללו לבין תחומים מוגדרים של מדיניות שיידונו בניתוח הנוכחי.

מחקר זה יפתח את הסקירה בבדיקת המאפיינים הפיזיים של ממירים קטליטיים ושל הגורמים לקיצור חייהם. לאחר מכן ידון המחקר במדיניות הישראלית המשפיעה היום על ממירים קטליטיים, ויעסוק גם במקומות המתאימים להתערבות ממשלתית בעתיד, לשיפור המצב. לאחר מכן יפורטו כמה מאפיינים של מדיניות הנהוגה ברחבי העולם – לטיפול בהיבטים שונים של ביצועים פגומים של ממירים קטליטיים בכלי רכב ישנים. חלקו האחרון של המחקר ממפה את התחומים שבהם נדרשות המלצות למדיניות. אלו גובשו לאחר סדרה של ראיונות בקרב מקבלי החלטות בישראל באביב 2004. מאחר שממירים קטליטיים מותקנים היום בישראל רק בכלי רכב המונעים בבנוי, הדו"ח מוגבל לפלח זה של צי הרכב.

ב. ממירים קטליטיים: הלידה, ההתפתחות והאויבים הטבעיים

ממירים קטליטיים הונהגו לראשונה בצי הרכב המונע בבנוין בשנת 1975, בעקבות דרישת החוק האמריקני משנת 1970. חוק האוויר הנקי של ארה"ב קבע שכלי רכב יפחיתו את פליטת חד-תחמוצת הפחמן שלהם הפחתה חדה. יצרני המכוניות בארה"ב מחו בפומבי נגד לוח הזמנים הקפדני של הקונגרס, בטענה שמדובר בחורבן כלכלי הממשמש ובא, אך למעשה יצרנים אלו התאימו עצמם להנחיה החוקתית השאפתנית (Guzy, 2002). יצרנים ביקשו מחברת Corning Inc. לפתח מוצר שיהיה מסוגל להמיר מזהמים הנפלטים ממכוניות לגזים בלתי מזיקים. בסופו של דבר פותח "רה-גנרטור קטליטי", שהתפתח לממיר המשמש את רוב המכוניות החדשות היום (U.S. Department of Energy, 2000).

הממירים הראשונים אלו מבוססים על חרוזים מצופים בזרזים, כדי להפחית את פליטת הגז. גזי הפליטה היו עוברים על גבי החרוזים, והפליטתם או הפלדיום שבתוכם היו עוברים ריאקציה עם הפחמימנים שלא נשרפו וממירים אותם למים ודו-תחמוצת הפחמן. הדגמים הראשונים נחשבו למעמסה על ביצועי הרכב הכלליים וצברו במהרה מוניטין של "מחסלי כוח סוס" (Hyper-flow, 2003).

דגמים מוקדמים אלו שופרו לקראת סוף שנות ה-70 – אז הונהג דור חדש של ממירים – "ממירים תלת-כיווניים". ממירים אלה היו יעילים יותר וטיפלו במגוון רחב יותר של מזהמים. המונח תלת-כיווני (three way converter) מתייחס לשלושת חומרי הפליטה שזרזי הצמצום טיפלו בהם (לתחמוצות חנקן – NOx ולזרזי החמצון שהפכו CO ותרכובות אורגניות נדיפות לדו-תחמוצת הפחמן). מנקודת מבט הנדסית, המטרה הייתה להגדיל ככל האפשר את שטח הזרז הבא במגע עם זרם הפליטה, בד בבד עם מזעור כמות הזרז המערכת כללה גם יחידת בקרה; זו מדווחת למחשב המנוע על כמות החמצן באדי הפליטה, כדי להגיע ליחס מיטבי בין אוויר לדלק, קרוב לנקודה הסטויכיומטרית².

² בכימיה, סטויכיומטריה היא חקר השילוב של רכיבים בתגובות כימיות. המונח סטויכיומטרי בתרמו-דינמיקה משמש לעתים קרובות לציון תערובת מושלמת של דלק ואוויר.

בדור הבא של הממירים הקטליטיים חשוב ביותר לוודא שהממירים לא ייצרו תחמוצת חנקנית. תחמוצת חנקנית (הידועה גם בשם גז צחוק) היא "גז חממה" רב עוצמה – גז התורם לשינוי אקלימי שעוצמתו גדולה פי 300 בקירוב מזו של דו-תחמוצת הפחמן, והוא אחראי ל-7.2% מהתחמוצות הגלובליות. מחקר של ה-EPA מצביע על אפשרות שהממירים הקטליטיים אחראים לכ-50% מתחמוצות החנקן (Wald, 1998).

ממירים קטליטיים פועלים רק כאשר הם מגיעים לטמפרטורה גבוהה – בשעה שהגזים, שחוממו במנוע עד לטמפרטורה העולה על 300 מעלות, מספקים את האנרגיה הדרושה לתגובה כימית. כאשר מתניעים מכונית לראשונה, חום המנוע אינו מספיק להמרה יעילה של חומרי הזיהום. מיקום הממיר קרוב למנוע פתר את הבעיה חלקית, אולם קרבה רבה מדי עלולה להעלות את הטמפרטורה בממיר לרמה שתזיק לממיר עצמו. במכוניות חדשות יותר ניתן לחמם את הממירים בשלבים הראשונים של הנהיגה, אולם המערכת המותקנת ברובן היא בת 12 וולט, והיא אינה חזקה דיה לחמם את הממירים במהירות שתספק נהגים הרוצים להתניע את המכונית ולנסוע מיד. אחד מיתרונותיה הרבים של מכונית כלאיים (hybrid) היא המהירות שבה יכולה הסוללה שלה לחמם את הממיר הקטליטי (Nice, 2004).

בשנת 1977 היו וולוו וסאבב הראשונות שפיתחו זרז חמצון וצמצום דו-שלבי (תלת-כיווני), כדי לטפל בשלושת גזי הפליטה. שנה לאחר מכן החלו פורד וג'נרל מוטורס להשתמש בטכנולוגיה זו בכלי רכב נבחרים משנת ייצור 1978 (Reitze, 2000); השתמשו בעיקר ברודיום כדי לפרק את תחמוצות החנקן לחנקן וחמצן. שיפורים אלו הביאו לכך שבעודהלחץ האחורי של גזי הפליטה בממירים תלת-כיווניים גבוה מבדגמים הקודמים, ההשפעה של הממירים הקטליטיים על ביצועי המנוע בפועל נחשבת היום למזערית.

ממשלת גרמניה ויצרני מכוניות פאר לחצו בשנות ה-70 על הקהילה האירופית לאמץ סטנדרטים של פליטה שיחייבו התקנה של ממירים קטליטיים, אולם זו היססה. יצרני מכוניות קטנות בצרפת ובאיטליה (כגון רנו, פיאט, פז'ו) הוטרדו מהעלות הנוספת שתגזול מהם נתח שוק מכריע. רק בשנת 1984 הוחמרו התקנים האירופיים ל- CO , HC ו- NO_x , הערכים הופחתו ב-70%, ובמכוניות שנמכרו ביבשת החלו להופיע ממירים קטליטיים. היישום המלא התעכב שנים רבות, אולם נראה שהשפעת החקיקה האירופית הייתה גדולה בהרבה מהאמריקנית. מעבר למדינות החברות באיחוד האירופי, הניעה הנחיה זו את המדינות במזרח אירופה ששאפו להצטרף לקהילה האירופית. מדינות כגון פולין, הונגריה, צ'כיה וסלובקיה התחילו לשלוט בפליטת המזהמים שלהן, כדי לעמוד בתקני האוויר של האיחוד האירופי. בשנת 1995 החלו רוב המדינות במזרח אירופה לחייב ממירים קטליטיים במכוניות מקומיות חדשות (Casalino, 1995).

יצרני Emission Controls Association מדווחים היום בגאווה כי ממירים קטליטיים מסוגלים לצמצם פליטה של יותר מ-95% פחמימנים (HC), פחמן חד-חמצני (CO) ואף תחמוצות חנקן (NOx) (MECA, 2003). בהתחשב בתפקידים המכריע של פחמימנים ושל NOx ביצירת ערפיח פוטוכימי (smog), ממלאים הממירים תפקיד חשוב ביותר בצמצום הריכוזים הסביבתיים של המזהמים הללו. יתרה מזאת, למרות הנבואות השחורות של אנשי תעשיית הרכב, יעילות הדלק המשיכה להשתפר עם התרחבות השימוש בממירים הקטליטיים. 100% מכלי הרכב החדשים הנמכרים היום בישראל מצוידים בממיר קטליטי, לעומת 85% בעולם.

הממיר הוא מכל עשוי פלדת אל-חלד, המכיל זרז שצורתו כחלת דבש (honeycomb) והוא מצופה בשכבה נקבובית דקה של מתכות קטליטיות. המתכות בתוך הממיר נבחרות על פי התגובות הכימיות הרצויות, והן כוללות כמויות מזעריות של פלטינום, רודיום ופלדיום. ציפוי הזרז מכיל רק כמה גרמים של מתכות. ריכוז גבוה יותר של מתכות יקרות יכול להגביר את יעילות התהליך מבלי להגדיל את שטח הפנים של המצע (Hyper-flow). (2003).

בממיר עצמו אין חלקים נעים. הגזים עוברים דרך הזרז ומפעילים את התגובה הכימית, אולם הזרז המתכתי אינו מתכלה בתגובה. דגמים עדכניים מכילים בדרך כלל שתי "לבנים" מונוליטיות וביניהן רווח של כמה אינצ'ים. הציפוי של הלבנה הקדמית מכיל בדרך כלל רודיום, כדי לטפל ב-NOx, ואילו הלבנה השנייה מטפלת ב-HC ו-CO.

כאמור, הממירים הקטליטיים מתחלקים בדרך כלל לשתי קבוצות:

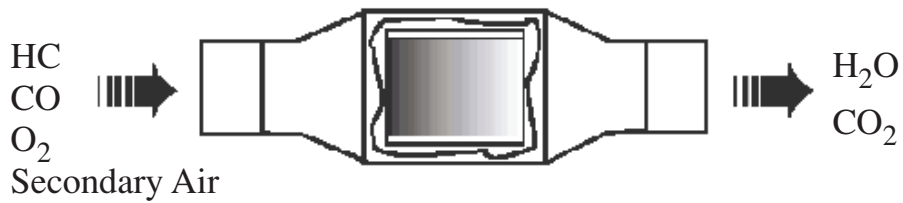
- ממירים דו-כיווניים או ממירי חמצון
- ממירים תלת-כיווניים

ממירים דו-כיווניים מייצגים את הטכנולוגיה הישנה והפחות מקיפה. הם תוכננו לחמצן פחמן חד-חמצני ופחמימנים. הפלטינה או הפולוניום שבזרז סופגים את הפחמימנים, את הפחמן החד-חמצני ואת מולקולות החמצן, ואלו מתחמצנים באמצעות תהליך הבעירה. דו-תחמוצת הפחמן ואדי המים המיוצרים בתהליך זה אינם מזיקים, והם משתחררים באמצעות צינור המפלט.

ממירים תלת-כיווניים הונהגו בצי הרכב האמריקני בשנות ה-80, והם קשורים בדרך כלל למערכות של הזרקת דלק. הם תוכננו להסיר את תחמוצות החנקן, נוסף על הגזים CO ו-HC. בפועל, ה-NOx מצטמצם לחנקן ולחמצן, ואילו CO ו-HC מתחמצנים בדיוק

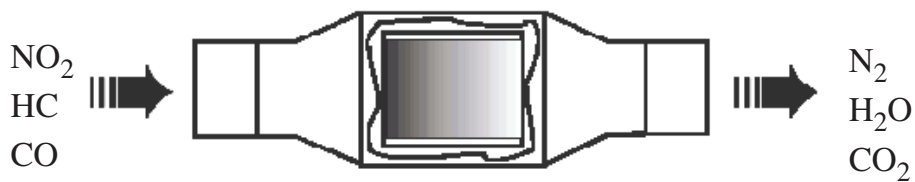
כמו בתהליך הדו-כיווני. התגובה הכימית הנוספת מסבכת את התהליך במידה ניכרת ומחייבת דיוק רב בכל הקשור לשמירה על יחס מיטבי בין אוויר לדלק. דיוק זה מושג באמצעות מערכת ניהול מנוע – "בקרה ממוחשבת" העוקבת אחר היחס אוויר/דלק ומשנה את הזרימה כדי לשמור על תערובת נאותה.

תרשים 2: תגובות כימיות בממיר דו-כיווני



מקור: MECA, Clear Air Facts

תרשים 3: תגובות כימיות בממיר תלת-כיווני



מקור: MECA, Clear Air Facts

בממיר תלת-כיווני של רכב עם מערכת הזרקת דלק נדרש מצע זרז יחיד – עם פלטינום, רודיום ולעתים פלדיום. כאשר מכונית מצוידת במאייד, קשה יותר לשמור על היחס אוויר/דלק בדיוק הנדרש. לכן יש צורך בשני מצעי זרזים נפרדים, שבהם צמצום ה- NO_x מופרד מחמצון ה- CO וה- HC .

תוחלת החיים של ממירים קטליטיים עלתה בהתמדה מאז הותקנו לראשונה בכלי רכב אמריקניים, לפני כשלושים שנה. על פי ההערכות היום, ממיר עמיד על פני יותר מ-160,000 ק"מ, בתנאי שתחזוקת הרכב מתבצעת כהלכה. תיאורטית, ממיר אמור לפעול במשך כל חייו של כלי הרכב, שכן אין בו חלקים נעים ויש בו זיווד של פלדת אל-חלד. זרז מסוגל לעמוד בטמפרטורות גבוהות (1100 מעלות פרנהייט) בבדיקות הזדקנות מואצת (MECA, 1998).

סעיפים 207 (א) ו- (ב) בחוק האוויר הנקי של ארה"ב כופים אחריות על רוב הרכיבים של מערכות הפליטה, ובכללם הממיר הקטליטי. בהסתמך על התקדמות הטכנולוגיה, גדלה תחולת האחריות – משיעור ראשוני של מינימום 50,000 מייל ל-8 שנים או 80,000 מייל. הכיסוי לרכיבי פליטה משניים צומצם לשנתיים או 24,000 מייל (Reitze, 2000).

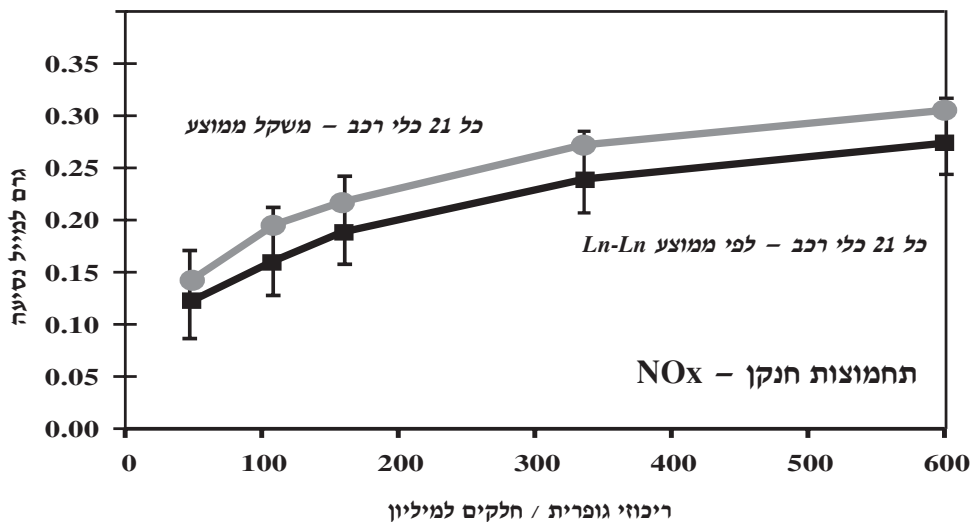
נושא זיהום האוויר ממשאיות דיזל אינו בטווח המחקר הנוכחי, אך ראוי להזכיר את ההתקדמות שחלה בהפחתת הפליטה של מזהמים ממשאיות אלה. ללא מכשור למניעת פליטה, משאיות ואוטובוסים פולטים חומר חלקיקי פי שלושים עד פי שבעים יותר מכלי רכב מונעי-בנזין המצוידים בממיר קטליטי. ברכב המונע בדיזל, המקבילה הטכנולוגית לממיר הקטליטי היא מלכודת חלקיקים. מכשיר זה מותקן בנתיב הפליטה של הרכב, לוכד את החלקיקים בתוך מסנן ושורף אותם בתהליך הנקרא רה-גנרציה. מלכודת חלקיקים גורמת הפחתה של ממש ב- HC , ב- CO ובריחות. דגם עדכני אחד, "המונוליטי הקרמי", מכיל מבנה חלת דבש הדומה לקיים בממירים הקטליטיים, אלא שהוא משתמש באמצעים חיזוניים כדי להתחיל את הבעירה. מלכודת חלקיקים אחרת היא "מלכודת רשת התיל הקטליטית", והיא מערכת מתחדשת. הגופרית בסולר יוצרת בעיות קשות למערכות הלכידה, ויש לה השפעה דומה על ממירים קטליטיים במכוניות המונעות בבנזין.

לעתים קרובות מתברר שהמציאות שונה למדי מהמתואר במפרטים הטכניים האופטימליים שמפרסמים היצרנים במדריכים המלווים את הממירים הקטליטיים. גורמים רבים יכולים להוביל לירידה בביצועים של ממירים. שריפת שמן מוגזמת או הצתה לא מוצלחת של המנוע דרך קבע יכולות לנבוע מתחזוקה לא נאותה של הרכב, והן פוגעות בתפקוד הממיר בטווח הארוך. יחס עשיר בין אוויר לדלק, שמן או חומר נוגד קפיאה במערכת הפליטה עלול לצמצם את יעילות הממיר – נוסף על פגיעה פיזית ישירה – ולהביא לרמות פליטה

גבוהות מהמותר. דלק שלא נשרף ונותר במערכת הפליטה יכול לגרום לעליית הטמפרטורה מעבר ל-2200 מעלות פרנהייט, חום המסוגל לשרוף את ציפוי המתכת או להתיך את הלבנים של הממיר הקליטי. מרגע שממיר מפסיק לתפקד כראוי, הוא מתחיל גם להגביל את זרימת הפליטה באופן הפוגע ישירות בעוצמת המנוע של הרכב.

דלק באיכות נמוכה יכול לפגוע בכושר הממיר להסיר מזהמים, ולכן לעתים רואים בעיצוב המנוע ובאיכות הדלק "שותפים" לבקרת הפליטה של המנוע. עופרת בדלק תהרוס את הזרז במהירות ותבטל את יעילות הממיר. זאת הסיבה המקורית לאיסור השימוש בבנוין המכיל עופרת בארה"ב (Gray, 1997). גופרית בדלק, שלא כעופרת, מעכבת את ביצועי הממיר אך אינה הורסת אותו כליל. הגופרית מתחרה עם מזהמי הפליטה על מקום בשטח הזרז הפעיל, אולם אינה גורמת נזק בלתי הפיך (Thompson, 1999). כמו כן, חמצון הגופרית באמצעות הזרז יוצר לעתים קרובות סולפטים או חומצה גופרתית, כאשר מערבבים אותו במים (MECA, 1998). מזהמים אלה נחשבים לחמורים יותר מגופרית דו-חמצנית רגילה. תרשים 4 מראה את היחס בין תכולת הגופרית בדלק לבין פליטת ה- NO_x ומדגים בבירור את הירידה בביצועי הממיר.

תרשים 4: השפעת רמת הגופרית בדלק על פליטת NO_x
(ביצועי ממיר)



מקור: AAMA/AIAM Fuel Sulfur Study, 1997

ממירים מפסיקים לעתים לפעול בעקבות "מכה" במהלך נסיעה. תאונה יכולה לשתק ממיר קטליטי ואפילו להרוס אותו. אם הממיר ייפגע ממכה – מפסי האטה, משפת מדרכה או ממחסום פיזי אחר – עלולות הלבנים הקרמיות שלו להיסדק, וההרעדה שתגרום המכה תשתק אותן (Hyper-flow, 2003). יש בעלי רכב המנתקים את הממירים ממערכת הפליטה, מתוך רצון – שמקורו במידע שגוי – לשפר את עוצמת הרכב או לחסוך בדלק. תופעה זו נפוצה בעולם.

בדיווחים על ממירים קטליטיים חדשים נזכרת תופעה של שחרור אמוניה בכמויות קטנות – חלק מתגובתם הכימית של הממירים. ואולם מחקרים הוכיחו כי התופעה שולית – לעומת הסילוק הכללי של זיהום שניתן להשיג באמצעות ממירים אלו (Harley et. al., 2000). בין כך ובין כך, מרגע שהממיר הקטליטי מפסיק לפעול, כלי הרכב הופך לרוב ל"מזהם-על" (super-polluter), ופליטת המזהמים שלו מגיעה עד פי עשרה משיעורי הזיהום הנמדדים כאשר הממיר פועל. נוסף על כך, מכוניות ללא ממיר עלולות לגרום רעש.

ג. מדיניות ישראל בנושא ביצועיהם של ממירים קטליטיים

כמעט עשרים שנה לאחר שהממירים הקטליטיים הפכו לחלק סטנדרטי במכוניות הנמכרות בארה"ב, החלה ישראל לחייב את התקנתם בכלי רכב המונעים באמצעות בנזין. לפני כן לא הסכים משרד התחבורה – הגורם האחראי על המפרטים לייבוא מכוניות – להאיץ את הדרישה, למרות הלחץ שהפעיל המשרד לאיכות הסביבה. משרד התחבורה דבק במדיניות הכללית, המחברת בין תקני מכוניות בישראל לבין התקנים האירופיים (טל, 1993).

לנוכח ההשפעה האירופית על המדיניות הישראלית, חשוב לתאר בקצרה את הגישה ההיסטורית באירופה לדרישות הממיר הקטליטי. במהלך שנות ה-70 וה-80 נחלקו מדינות מערב אירופה בקשר לנחיצותם של ממירים קטליטיים, בעיקר בשל לחצים שהפעילו אנשי תעשיית הרכב. הכוח הפוליטי – של התנועות המקומיות למען איכות הסביבה ושל המפלגות הירוקות – מילא אף הוא תפקיד בדיון. כאשר גרמניה איימה לפרסם, באופן חד-צדדי, תקנים האוסרים למעשה את כניסתן של מכוניות צרפתיות ואיטלקיות חדשות לשטח, ניסחה המועצה האירופית דאז פשרה בין המדינות הצפוניות (שתמכו בממירים למדיניות הדרומיות (שהתנגדו לממירים)). "פשרת לוקסמבורג" עיכבה את דרישת הממיר למכוניות קטנות עד שנת 1992 ו-1993. אז החלה גרמניה לחייב את השימוש בממירים במכוניות גדולות יותר, ואילו הולנד דרשה ממירים בכל כלי הרכב עוד קודם לכן – משנת 1988 (Dietrich, 1996).

ישראל החלה להתנסות בממיר הקטליטי בצי הרכב של שנת 1992. אף שלא נקבע מפרט טכנולוגי ספציפי למכוניות מיובאות, תקן הפליטה – 1% פחמן חד-חמצני לכלי רכב מהשנים 1992-1994 – הפך למעשה את הממירים לחובה. אירופים הכניסו את הממירים לשימוש בהדרגה; גם לישראל נדרשו שלוש שנים כדי ליישם את התקן לכל המכוניות המונעות בבנזין, החל מהמכוניות שמנועיהן גדולים ועד למכוניות הקטנות. תקני הפליטה היום עומדים על 0.5% CO לכל מכוניות הבנזין שיוצרו אחרי שנת 1995 (תקנת תחבורה 318 (א) 1961). כדי לעמוד בדרישות התפעוליות של כלי הרכב החדשים, החלו תחנות הדלק בישראל לספק בנזין נטול עופרת בשנת 1992. מאז ירדו ריכוזי הגופרית בארץ ירידה חדה (Tal, 2002).

כמעט עשור עבר מאז החלה ישראל לחייב את התקנתם של ממירים קטליטיים, אולם מעט מאוד נעשה כדי לבסס מדיניות שתטפל באובדן הכושר לסילוק מזהמים בכלי רכב ישנים (טל, 1993). יבואני המכוניות הישראליות קבעו בדרך כלל את אחריותם על הממירים הקטליטיים עד 80,000 ק"מ. רמת אחריות זו נמוכה במידה ניכרת מרמת האחריות הנהוגה בארה"ב, שם מחייב החוק אחריות יצרן עד 80,000 **מייל**. ראוי לציין שבהיעדר חובה משפטית, מדיניות היבואנים אינה אחידה: סוכנות KIA בישראל, למשל, מציעה אחריות גבוהה יותר – עד 100,000 ק"מ, ואילו סוכנות מרצדס מציעה אחריות לשלוש שנים על ביצועי הממיר הקטליטי.

האיכות הנמוכה יחסית של הדלק הזמין בתחנות הדלק בעבר הייתה הגורם לאובדן יעילותם של הממירים בישראל. מכונאי מוסכים שרואינו במסגרת המחקר מאשרים שברוב הדגמים של כלי רכב מאמצע שנות ה-90 ואילך הממירים כבר אינם יעילים. עם זאת, המחיר הגבוה של ממירים קטליטיים (בדרך כלל 3,000-4,000 ש"ח, ללא עלות ההתקנה) גורם למכונאים לסייע ללקוחות לעבור את בדיקות הפליטה באמצעים חלופיים, שתרומתם להפחתת הזיהום הנפלט לאוויר עשויה להיות זמנית. (ראוי לציין שבדגמים מסוימים של מכוניות, דוגמת מזדה 323 למשל, מחיר הממיר יורד עד 2,000 ש"ח, אולם מחירו של ממיר ברכב יוקרה אירופי מגיע עד 10,000 ש"ח!)

מחירים של הממירים הוא המכשול העיקרי הניצב בדרכן של תכניות מקיפות להחלפת ממירים בישראל. למרות ביטול המכס על הממירים הקטליטיים (84%), המע"מ (ששיעורו 18%) ועלויות הבסיס הכרוכות בהחלפת הממירים הקטליטיים יוצרים מחירים הגבוהים ב-100% מאלו הנהוגים בארצות אחרות. הקריאה לבטל מסים אלו (ביטול שנעשה בצידוד הקשור לבטיחות) (טל, 2002) עדיין לא הניבה פירות בעבור הצרכן.

בחוק הישראלי היום אין, כאמור, דרישה רשמית להחליף את הממירים הקטליטיים בהתאם ללוח זמנים קבוע. צוות משימה לאומי בחן אכיפה של תקן למזהמי אוויר ממקור נייד בישראל ושקל את האפשרות להנהיג דרישה גורפת להחלפת הממירים הקטליטיים לאחר 150,000 ק"מ של נסיעה (מקסיקו סיטי, למשל, יזמה מדיניות להחלפת ממירים כל ארבע שנים). ואולם הצעה זו לא התקבלה לבסוף; הוחלט שדרישה כזאת תהיה לא הוגנת כלפי נהגים רבים הנהנים מממירים שביצועיהם עדיין טובים – גם ברכב שגילו "מתקדם", עקב הרגלים נאותים של תחזוקה ונהיגה (טל, 2002).

אם כן, התכנית היחידה העוסקת בביצועים השוטפים של ממירים קטליטיים היא תכנית לבדיקת הפליטה במסגרת המבחן השנתי של כל מכונית בישראל. תקני הפליטה הקיימים, שנקבעו בתקנות משרד התחבורה, מודדים רק חד-תחמוצת הפחמן; במזהם זה

אפשר לעתים לשלוט ביעילות באמצעות כיוון המנוע – במקום באמצעות המרה קטליטית. בדו"ח קודם של המחבר הודגשו חסרונותיו של התקן הקיים וחוסר הרלוונטיות של תוצאותיו לתפקודם של ממירים קטליטיים (טל, 2002). כמו כן חסרים נתונים על תוחלת החיים של הממירים בפועל, לנוכח תנאי הנהיגה ואיכות הדלק בישראל. בארץ אין תמריצים שיעודדו נהגים להחליף את הממירים; להיפך – מחיריהם של הממירים הופכים החלפה כזאת ליקרה מדי, והם מהווים תמריץ שלילי.

אם יש ממש בדיווחים, שלפיהם 25% עד 50% מכלי הרכב בישראל נכשלים בבדיקות הפליטה, אות הוא שהממירים הקטליטיים בישראל מפסיקים לתפקד לאחר פרק זמן קצר יחסית. הכרת התכניות שאומצו במדינות אחרות כדי לטפל בדינמיקה זו עשויה לסייע בעת בחינה של מדיניות ישראלית מתאימה להארכת הביצועים היעילים של הממירים.

ד. תכניות בינלאומיות לשיפור יעילותם של ממירים קטליטיים

כפי שהוזכר לעיל, יש שלושה תחומים כלליים שבהם מדיניות מתאימה יכולה לתרום להארכת חייהם של ממירים קטליטיים ולשיפור יעילותם:

- שיפור איכות הדלק
- שיפור יעילותן של תכניות I&M
- החלפתם של ממירים שניזוקו באופן בלתי הפיך

1. שיפור איכות הדלק

כאשר יש בבנזין סיליקון, זרחן, עופרת וגופרית, אפשר שתהיה להם השפעה שלילית על ביצועי הממיר הקטליטי. החל משנת 2004, בעקבות החלטת הממשלה בעניין איכות הדלק ובהוראת משרד התשתיות הלאומיות, הוציאו לחלוטין את העופרת מהדלק הנמכר בישראל. בדלק ישראלי אין גם סיליקון וזרחן בריכוזים המצדיקים תשומת לב מיוחדת. הגופרית, לעומת זאת, היא מכשול ממשי לביצועי הממיר הקטליטי.

בהנחיית האיחוד האירופי הנוגעת לנושא מודגש תפקידה המרכזי של הגופרית בזיהום האוויר בכלל ובפגיעה בממירים בפרט: "הגופרית בדלק יכולה לפגוע ביעילות כמה טכנולוגיות רכב קיימות ומתפתחות, כמו הממירים הקטליטיים התלת-כיווניים, מלכודות אחסון NO_x המבוססות על זרזי חמצון ומלכודות חלקיקים" (European Commission, 2000). ה-EPA טען אף הוא שהורדה ברמת הגופרית תורמת לירידה בזיהום ממנועים שרמתם הטכנולוגית נמוכה, והיא חיונית בכלי רכב שמנועיהם חדישים.

כיוון שישראל בחרה לבסס את רוב תקני הרכב שלה על אלו של אירופה, למדיניות האיחוד האירופי יש חשיבות רבה גם בנושא זה. על פי תקני Euro III, רמת הגופרית המרבית המותרת בבנזין נקבעה ל-150 ppm (חלקים למיליון), ויש להפחית ריכוז זה ל-50 ppm עד לשנת 2005. בהנחיה של האיחוד האירופי הוכנס באחרונה תיקון (EC/2003/17) המחזק מגמה זו ודורש רמה של 10 ppm בלבד עד שנת 2009.

יש לראות בכך הכרה מרומזת, או מפורשת, שריכוז גופרית של 50 ppm בבנזין ובסולר הוא, בסופו של דבר, ריכוז גבוה מדי. התיקון בהנחיה האירופית, בהכירו בכוחה של

הגופרית שריכוזה 50 ppm לחבל במערכות החדשות והרגישות לבקרת פליטה, קורא לעבור בעתיד לבניין נטול גופרית לחלוטין. עדויות אמפיריות תומכות ביתרונות של מהלך כזה. לדוגמה, לאחר שבהונג קונג הפחיתו את שיעורי הגופרית ומוזהמים אחרים בדלק אל מתחת לרמות הנדרשות באירופה, ניכרה שם בתוך זמן קצר ירידה בריכוזי חלקיקים ובריכוזי תחמוצת החנקן בשיעורים של 6% ושל 11% בהתאמה (Tsang, 2002).

שאלת הריכוזים הגבוהים של גופרית בדלק הציתה מחלוקת משפטית גדולה הכרוכה בהחלפת ממירים קטליטיים – במדינת מסצ'וסטס, בשנות ה-90. החוק בארה"ב מחייב הרמוניה טכנולוגית בין המדינות בכל הקשור למערכות הקשורות לזיהום אוויר, כדי להימנע מעומס יתר על תעשיית הרכב. מפרטי הפליטה העצמאיים של קליפורניה הובילו לריתוך הממירים הקטליטיים ישירות אל המנוע. גישה זו נחשבה לסבירה בהתחשב בדלק דל הגופרית הנמכר שם, דלק שהאריך את חייהם האפקטיביים של הממירים. ואולם הדלק עתיר הגופרית הנמכר במסצ'וסטס גרם לצורך להחליף את הממירים לעתים קרובות יותר, ולמעשה כפה על היצרנים לייצר מה שהם כינו "כלי רכב שלישי". בתביעה משפטית בבית המשפט הפדרלי טענו יצרני הרכב, שכדי לצמצם את עלות החלפת הממיר, יהיה צורך לשנות את מנגנון החיבור של הממיר הקטליטי במכוניות המיועדות למסצ'וסטס. לטענתם, יהיה צורך לחבר את הממיר באמצעות בורג ולוחית במקום לרתך אותו. בית המשפט קיבל את טענות המדינה – שהשינוי הדרוש כרוך בהבדלי חומר בלבד ואינו מהווה מעמסה מופרזת (Ridge, 1994).

הנושאים הקשורים לדלק נידונים באריכות רבה יותר בדו"ח אחר של המחבר, המתמקד באופן בלעדי במדיניות איכות הדלק בישראל (Tal, 2003). די לציין שככל שהטכנולוגיות לבקרת הפליטה ישתפרו ויגיעו למכוניות ישראליות, כך יגבר הצורך להוריד את ריכוז הגופרית בדלק (לפחות מ-10 ppm).

2. שיפור יעילותן של התכניות לבדיקה ותחזוקה (תכניות I&M)

"בדיקה" (Inspection) ו"תחזוקה" (Maintenance) הם שני יעדים שונים זה מזה. שלב הבדיקה, בהקשר הנוכחי, ממלא תפקיד חשוב ביותר. הבדיקה במהלך מבחן הרישוי השנתי מזהה מכוניות שהממירים הקטליטיים בהן אינם פועלים כראוי; הבדיקה גם ממריצה נהגים לטפל במערכות הפליטה במכוניותיהם ובממירים הקטליטיים. תחזוקה

היא פעילות הנעשית ביסודה מרצון, והיא תלויה הן במוטיבציה חיצונית (שמקורה באכיפה ובבדיקות רכב) והן במוטיבציה פנימית (שמקורה בחינוך ובמודעות).

בדיקות פליטה במהלך בדיקת הרכב השנתית

הניסיון שהצטבר בשני העשורים האחרונים מראה שיש חשיבות להפרדה מוסדית בין שתי הפונקציות – "בדיקה" ו"תחזוקה". מיזוגן עלול ליצור תמריץ להחמרה יתרה או להקלה יתרה. כאשר מקסיקו אפשרה למוסכים פרטיים לבדוק את פליטת הרכב ולתקן את המכונות שחרגו מתקני הזיהום, למשל, היה שיעור הנכשלים במוסכים אלה נמוך בכ-50% מהשיעור בתחנות בדיקה מרכזיות, שניתנו לפיקוח ביתר קלות (UNEP, 1999). ישראל אימצה גישה המפרידה בין שתי הפונקציות: מכוני רישוי עצמאיים בודקים את איכות פליטת האוויר, ואילו המוסכים הפרטיים אחראים לתיקון בעיות הפליטה ולהכנת הרכב החורג ל"טסט" השני. בישראל כבר קיימת, למעשה, המערכת האדמיניסטרטיבית המתאימה למדיניות יעילה בתחום זה.

האוי"ם מצא שתכניות I&M מציעות יתרונות חשובים בתחום איכות האוויר, גם במדינות שלא הותקן בכלי הרכב שלהן ציוד למניעת זיהום. תקלות קלות במערכות האוויר והדלק או בניהול הניצוצות, אם לא מתקנים אותן, יכולות לגרום לפליטה מזהמת ביותר. לכן מדינות רבות – שמכונותיהן אינן מצוידות בממירים קטליטיים – בחרו בכל זאת לאכוף דרישות תחזוקה (UNEP, 1999). בהונג קונג, למשל, התברר, שקבוצה קטנה של פקחים המסיירים ברחובות זיהתה ביעילות רבה כלי רכב הפולטים עשן רב וחייבה את הנהגים לכוון את מנוע הרכב או לשלם קנס. עם זאת, טבען של בדיקות כאלה שהן אקראיות, ולכן עדיף ליישמן בתור יוזמה משלימה למבחן הרישוי השנתי.

אשר לבדיקות בצדי הכבישים, הן לעולם לא תוכלנה להיות מקיפות, זולות ויעילות כמו בדיקות רשמיות של כלי רכב בבדיקה שנתית או דו-שנתית. עם השיפור באמצעי חישה מרחוק ובטכנולוגיות ניטור שונות, חלופות כאלה אכן תוכלנה לשמש לאכיפה משלימה ורחבה יותר, אולם בעתיד הנראה לעין, בדיקת פליטה במוסך או במכון רישוי היא הדרך השיטתית והזולה ביותר לוודא שהממירים הקטליטיים עדיין פועלים.

יש מקום, כמובן, לשפר את שיטות הבדיקה הקיימות. האקדמיה האמריקנית למדעים סקרה לאחרונה את תכנית הבדיקה והתחזוקה בארה"ב (U.S. Academy of Science, 2001). הדו"ח האמריקני רלוונטי מאוד לישראל:

”אף שיתרונות תכניות הבדיקה והתחזוקה היו נמוכים מהתחזיות, הוועדה עדיין רואה צורך גדול בתכניות המתקנות או מסלקות מצי הרכב כלי רכב בעלי פליטה גבוהה, בהתחשב בהשפעה המרכזית של אחוז קטן זה של הצי על סך כל הפליטה ועל איכות האוויר. יתרה מזאת, תכניות בדיקה ותחזוקה צריכות לשפר את השיטה שבאמצעותה הן מזהות כלי רכב הזקוקים לתיקון ומוודאות את ביצוע התיקון”.

הבעיה כרוכה, בחלקה, בבדיקות הפליטה הישנות, שתוכננו בעבור ציי הרכב של שנות ה-70 וכבר אינן מתאימות לטכנולוגיית הממירים של היום. הדור החדש של כלי הרכב משתמש בבקרה אלקטרונית לניהול היחס בין אוויר לדלק ולניהול מערכת ההצתה, וכן בממירים קטליטיים תלת-כיווניים. הקריטריונים שגובשו בעבר לבדיקות פליטה שנתיות, המבוססות על קריאת CO כשהמכונת בהילוך סרק, אינם יעילים לבחינת יכולתו של הממיר לשלוט בגזים אחרים, כגון NOx. טכנולוגיות חדשות מאפשרות לאפיין את הגזים העיקריים הנפלטים במהלך הבדיקות. הבדיקות החדשות מעבירות את כלי הרכב בסדרה של האצות והאטות המדמות את תנאי הנהיגה בפועל. בדיקות אלה מספקות הערכה טובה בהרבה של הפליטה בפועל, ובעיקר – של ביצועי הממיר הקטליטי. ישראל הייתה בין המדינות הראשונות שהנהיגו מדמים כאלה בבדיקה השנתית של כלי רכב המונעים בדיזל, אך היא עדיין לא חייבה את השימוש בהם בבדיקת כלי רכב המונעים בבנזין.

חשוב ביותר שתקני הפליטה, שבאמצעותם מעריכים מכוניות בבדיקה השנתית, יספקו עדות אמינה לביצועי הממיר הקטליטי. תקן ה-CO הפשוט, המבוסס על תנאי הילוך סרק, שעדיין משמש במבחן השנתי בישראל, הוא, קרוב לוודאי, הפגם העיקרי באסטרטגיית הבדיקה והתחזוקה הקיימת במדינה. לא זו בלבד שיש טכנולוגיות המאפשרות לבדוק מכוניות במוסכים בהדמיה של תנאי דרך – אפשר גם למדוד את מלוא טווח המזהמים שהממירים תוכננו לסלקם, בבדיקה המכונה “4 גזים”. כוח המשימה הישראלי, שסקר את האכיפה על זיהום אוויר ממקורות ניידים, הגיע למסקנה שתקני פליטת האוויר בישראל, שנקבעו בתקנות התחבורה, צרים מדי (כלומר: היקף הגזים הנמדדים קטן מכדי לאפיין את תפקוד הממיר ואת סך כל הפליטה מכלי הרכב) (טל, 2002). מכונית יכולה לעבור את הבדיקה הקיימת עם ממיר פגום ולהגיע לרמת ה-CO הנדרשת באמצעים אחרים (כגון שינוי התזמון), ואילו פליטה של מזהמים אחרים, חשובים יותר, אינה מטופלת כלל.

חשוב לציין ש-CO אינו הגורם היחיד שאפשר לצמצמו באמצעים מכניים. גם אם יש ריידה ביעילות הפעולה של המנוע, שינוי כוונון המנוע (עיכוב תזמון הניצוצות, למשל) יכול להפחית את פליטת ה-NOx; גם הפחתה של לחץ הדלק ברגע ההתלקחות יכולה

לעשות זאת, באמצעות הורדת יחס הדחיסה וצמצום המרחק שהבוכנות עוברות בתוך קדח הגליל. ואולם קרוב לוודאי שאמצעים כאלה יעלו את רמות הפליטה של ה-CO² וה-HC (Reitze, 2000).

מדינות רבות בצפון אמריקה הנהיגו בבדיקות השנתיות קריטריונים רחבים יותר לפליטה – קריטריונים המאפשרים לאפיין את רמת הביצוע של הממירים התלת-כיווניים. מחוז קולומביה הבריטית בקנדה היה הראשון שחייב בדיקת דגם להדמיית תאוצה (ASM) בכלי רכב המונעים בבנזין בזמן הבדיקות של פליטת CO, HC ו-NO_x. הבדיקה כללה את ציוד בקרת הזיהום, כדי לוודא שלא חיבלו בו בכוונה. טבלה 2 מציגה נתונים מרשימים המראים ש-88% מהתיקונים סייעו להפחתת הפליטה של מזהמים – על פי הדיווח.

טבלה 2: ירידה בפליטת מזהמי אוויר בעקבות תכנית הבדיקה והתחזוקה של קולומביה הבריטית

NO _x (גרם/ק"מ)		CO (גרם/ק"מ)		HC (גרם/ק"מ)		שנת הדגם
אחרי התיקון	לפני התיקון	אחרי התיקון	לפני התיקון	אחרי התיקון	לפני התיקון	
1.4	3.3	17	33	1.9	3.5	לפני 1981
2.1	2.8	12	29	1.2	2.2	87-81
1.7	3.0	2.9	8.6	0.24	0.49	אחרי 1987

מקור: UNEP, 1999

מדינת טקסס (שהאקלים בה דומה לאקלים בישראל – הרבה יותר מהאקלים בקנדה) חייבה במשך כמה שנים בעלי כלי רכב בבדיקת ASM², במחוזות שבהם רמות הזיהום גבוהות. הבדיקה מבוססת על דינמומטר שלדה המודד את פליטת המזהמים בהדמייה של תנאי נהיגה (Texas, 2003). גם מדינת וויסקונסין הנהיגה בדיקה כזאת ודיווחה על הצלחה ניכרת (Wisconsin, 2003). דו"ח האקדמיה הלאומית למדעים בארה"ב ממליץ שתכניות

לשיפור איכות האוויר בעתיד תתמקדנה יותר ויותר בהפחתת תחמוצות חנקן ופליטה של חלקיקים דקים, ושהמדדים הללו ישולבו בפרוטוקולים של בדיקות הרכב.

משרד התחבורה והמשרד לאיכות הסביבה הגיעו להבנות בקשר לעדכון התקן במבחן השנתי. גם מבחן זה אינו רחב מבחינת היקף הגזים שהוא נדרש לבדוק, אולם הוא מחייב בדיקה בדינמומטר – בדיקה שתשקף טוב יותר את מצבו של הממיר. ואולם התקנות החדשות עוכבו עקב התערבותו של משרד האוצר, אף כי ברור שעמדת משרד האוצר איננה מבוססת על תקדים בינלאומי כלשהו או על ניתוח כלכלי המפנים עלויות חיצוניות הקשורות לתחלואה בשל זיהום אוויר מכלי רכב.

תחזוקה ותיקון של מערכות לבקרת פליטה מכלי רכב

בדיקות סדירות של תקינות מערכת הפליטה בלבד אינן תרופה כוללת לבעיות זיהום האוויר. הקביעה שממיר קטליטי אינו מתפקד כראוי, או שקיימת חריגה מתקני הפליטה, אינה אלא צעד ראשון בתכנית של פיקוח ואכיפה בנושא איכות האוויר. יש חשיבות מכרעת לשכנוע בעלי מכוניות לתקן מערכות פליטה פגומות או להחליף ממירים קטליטיים שחדלו לפעול. התחכום ההולך וגדל בטכנולוגיות לבקרת פליטה וההוצאות הנלוות הופכים נושא זה לאתגר לא קל למעצבי המדיניות. הולכת וגוברת ההכרה בקושי לשכנע את הציבור לתקן ממירים שאינם פועלים כראוי. אפשר שלגורם זה יש חלק בדיווחים המוגזמים על ההצלחה הראשונית של תכניות הבדיקה והתחזוקה בהפחתת פליטתם של מזהמי אוויר.

האקדמיה הלאומית בארה"ב דיווחה על נטייה של EPA בארה"ב לדיווח אופטימי על יתרונות איכות האוויר שהושגו באמצעות יוזמות I&M של המדינות. מעריכים שתכנית בדיקה ותחזוקה שתיושם היטב תפחית את הפליטה בשיעורים של 28% ב-HC, 31% ב-CO ו-9% ב-NO. הערכה זו עולה בקנה אחד עם התוצאות שדיווח מחוז קולומביה הבריטית בקנדה, שם היו שיעורי השיפור 20%, 24% ו-2% בהתאמה, אחרי הערכה מפורטת מאוד של התכנית. האקדמיה למדעים בארה"ב, בסקירתה, רואה את היתרונות העיקריים של יוזמות הבדיקה והתחזוקה במדינות בארה"ב ביכולתן של יוזמות אלו לסלק מכוניות שביצועיהם גרועים משום שהממירים הקטליטיים בהן כבר אינם יעילים. עוד יתרון הוא החיסכון בדלק, שעל פי הדיווח הגיע ליותר מ-5% בקולומביה הבריטית ול-7% בתכנית הבדיקה והתחזוקה של העיר דנוור שבמדינת קולורדו (UNEP, 1999).

כמובן, אם מדיניות הבדיקה והתחזוקה יעילה, מספר הנכשלים במבחן השנתי יהיה נמוך מאוד ומספר הנכשלים החוזרים יהיה נמוך ממנו. המדד הטוב ביותר להצלחת

התכנית של קולומביה הבריטית – 53,000 כלי רכב שבשנת 1993 נכשלו במבחן השנתי ועברו אותו בהצלחה שנה לאחר מכן. מספר זה מייצג 88% מכלי רכב שנכשלו בבדיקתם הקודמת (Radian, 1994).

המדוניות של קולומביה הבריטית מסתמכת על תכנית ההכשרה המקפת שלה – "טיפול אוויר". מוסכים שהשלימו את התכנית מורשים ליהנות מיתרונות תחרותיים הנמנעים מהבלתי מורשים. אם מכונית נכשלה בבדיקה, נבדקה לאחר מכן במוסד "טיפול אוויר" מורשה ונכשלה שוב, היא תהיה זכאית ל"מעבר על תנאי" (למשל – 3 חודשים), ואילו המוסד המורשה יחויב לבחון את אסטרטגיית התיקון שלו ולתקן את המכונית ללא תשלום נוסף. מדינת קליפורניה מדווחת על שיעורי תיקון יעילים בשיעור 50% בלבד בקרב כלי הרכב שתוקנו לאחר שנכשלו בבדיקה (UNEP, 1999).

תיקונים לאחר בדיקה כושלת אינם מטרת העל של תכנית פיקוח. יצירת הרגלים ארוכי טווח בקרב הנהגים – הרגלים שיסייעו להם לשמור על מערכות פליטה תקינות – תניב תוצאות טובות יותר. במילים אחרות, אם תכניות התחזוקה תבצענה את חלקן, תרד חשיבותן של הבדיקות. תכניות התחזוקה, ביסודן, אינן אלא יוזמות למניעת זיהום, וצריך לממן ולתמוך בהן לפחות כמו בבדיקות השנתיות. גישה זו נכונה ביותר בישראל. כאמור, מכוני הרישוי המקומיים, העורכים את הבדיקות השנתיות, מנועים מביצוע תיקונים. הקו המפריד בין "בדיקה" לבין "תחזוקה" ברור מאוד.

השתתפות הציבור בתחזוקת כלי הרכב היא אפוא נדבך חשוב ביותר באסטרטגיית "הארכת החיים" של הממירים הקטליטיים. רכיבים רבים במכוניות (מצתים, מערכת מינון הדלק, תזמון ההצתה וכיו"ב) עלולים להגביר את פליטת האוויר המזוהם ואת צריכת הדלק, כאשר תפקודם לקוי. העלאת הקדימות של בדיקת החלקים האלו ושל הפליטה בכלל, במסגרת התחזוקה הכוללת של כלי רכב פרטיים, אינה עניין של מה בכך, שכן בדרך כלל אין רואים בהם חלקים מכריעים לצרכיה התפעוליים של המכונית. קשה מאוד לקבע בחוק פעילויות תחזוקה. רוב המדיניות שהנהיגו תכניות להארכת חיי הממירים מדגישות את חשיבות ההסברה; תחזוקת מערכות לבקרת פליטה עשויה לחסוך כסף בטווח הקצר וגם לדחות את ההחלפה היקרה של הממיר בטווח הארוך.

בארה"ב החלו מדינות וארגונים רבים לעודד את מעורבות הציבור באמצעות פעולות חינוכיות בשטח, שבהן מודגש היתרון הכלכלי לבעלי מכוניות – לצד הרווחים הסביבתיים. התאחדות הריאה האמריקנית, למשל, כותבת בעלון שלה את הדברים האלה:

"כמה בעלי מכוניות ומכונאים פוגעים לרעה בצידוד בקרת הפליטה שלהם, בשל הרושם המוטעה שבכך ישפרו את הביצועים ואת יעילות ניצולת הדלק. למעשה, בקרת פליטה

היא רכיב אינטגרלי של תפקוד מנוע במכונית שלך; אם פגעו במערכת, ייפגעו ביצועי הרכב ויעילות ניצול הדלק כאחד" (American Lung Association, 2003).

אפשר שהדרך הבסיסית – והיעילה ביותר – להילחם בתופעת הפגיעה בממירים היא לאמץ תקנות קשוחות "נגד פגיעה מכוונת" ולאחר מכן להודיע עליהן לציבור. ארה"ב הרחיבה איסור זה בהתמדה. בחוק האוויר הנקי משנת 1970, נאסר רק על יצרנים וסוחרים רכב לפגוע במערכות פליטה אחרי המכירה. בשנת 1997, הרחיבו התיקונים לחוק את האיסור על פגיעה אחרי מכירה, והוא כלל גם מתקנים לתיקון כלי רכב ומפעילי ציי רכב. סעיף 203 של חוק האוויר הנקי אוסר היום – על פי דין – "על כל אדם, להסיר או לשתק ביודעין את פעולתו של כל מנגנון כזה או מרכיב של תוכן כזה אחרי המכירה והאספקה לרוכש הסופי" (U.S. Clean Air Act, 1990). הקנסות על עברה זו – \$2,500 לאדם פרטי ו-\$25,000 לתאגיד. חברת Muffler התקינה ממירים קטליטיים דו-כיווניים במקום הסוג התלת-כיווני הנדרש על פי חוק, והיא נקנסה בסכום של \$239,000. מפקחים מטעם ממשלת ארה"ב מדווחים על ירידה תלולה בתופעה של חבלה בממירים קטליטיים, בזכות השילוב המנצח של פעולות פיקוח והסברה (Reitze, 2000).

הבטחת מומחיותם של המכונאים חשובה גם היא להצלחתה של תכנית בדיקה ותחזוקה. טכנולוגיית הרכב הלכה ונעשתה מתוחכמת במהלך העשורים האחרונים, רגישותה של מערכת בקרת הפליטה עלתה והיא נתונה לבקרת מחשב. אין די עוד בכיוון המאייד במברג כדי לכוון מנוע של רכב. קורס הכשרה משלים יכול להועיל למכונאים מאוד ולהבטיח שבתחום מניעת הפליטה, שהוזנח לעתים קרובות, תהיה למכונאים ברחבי הארץ שליטה בטכנולוגיות המתקדמות ביותר.

נושא שנוי במחלוקת בתחום המדיניות של בדיקת הרכב ברחבי העולם הוא תדירות הבדיקה. בישראל, אחרי תקופת חסד בת שנתיים, נבדקים כלי רכב אחת לשנה – עד שהם משלימים 19 שנים על הכביש. בהגיעם לגיל זה, בודקים אותם פעמיים בשנה. בעקבות הביצועים הגרועים של כלי רכב ישנים יותר, הדו"ח הישראלי על אכיפה המליץ לחייב בבדיקה דו-שנתית כבר כאשר הרכב מגיע ל-10 שנים – לעומת 19 כנהוג היום (טל, 2002). דרך אחת לאזן את העומס על הצרכנים הוא לפטור בעלי מכוניות מבדיקת פליטה בשנותיו הראשונות של כלי הרכב. קליפורניה, למשל, מחייבת כלי רכב לעבור בדיקת ערפיח רק אחרי השנה החמישית שלהם על הכביש (California Department of Consumer Affairs, 2003). מקסיקו מגבילה את דרישות הבדיקה הדו-שנתית לכלי רכב

מסחריים "בשימוש גבוה" – כגון מוניות – שם, לכאורה, גדולה בהרבה הסבירות לאובדן יעילותם של הממירים הקטליטיים.

הועלו שאלות על ההשלכות החברתיות של הגברת תדירות הבדיקות (והקפדה עליהן) לכלי רכב ישנים. שכבות חלשות יותר של האוכלוסייה מחזיקות במכוניות ישנות בשיעור גבוה מאוד מתוך כלל האוכלוסייה, והנהגים העיקריים בשכבות אלה הם קשישים וצעירים. מן הסתם, קבוצות אלה חסרות את המשאבים לשדרוג המכוניות הישנות (Dill, 1999). בדרך כלל, אוכלוסייה זו אף אינה יכולה לעמוד בתשלום בעבור בדיקה נוספת. מעמסה גדולה יותר היא עלות התיקונים של כלי רכב שאינם עומדים בתקנים. בישראל אין נתונים על עלויות תיקון, אולם בדנוור שבקולורדו הגיע מחיר התיקונים הקשורים לזיהום אוויר ל-\$189 בממוצע בשנת 1997 (UNEP, 1999). בהתחשב בגובה המסים על חלקי חילוף בישראל, נתון זה ודאי גבוה כאן יותר. לנוכח חומרת זיהום האוויר, אפשר להצדיק מעמסה זו. אכן, "עונני" אינו נחשב טיעון להגנה במקרים של גנבה או פגיעה בכל ערך מוגן, אולם מנקודת מבט מעשית, אם בעלי מכוניות מזהמות חסרים את המשאבים לתיקון מערכות הפליטה שלהם – גם ההתערבות הממשלתית היצרית והמשכנעת ביותר לא תועיל.

קולומביה הבריטית קבעה "תקרה" לעלות התיקונים, מתוך הנחה שלא הייתה פגיעה מכוונת בממירים הקטליטיים. הממשלה משלימה את העלויות למוסכים – אם עלויות התיקון גבוהות מהתקרה שנקבעה. ואלה עלויות התיקון המרביות שנקבעו: למכוניות ששנת ייצורן לפני 1980 – כ-\$300 (דולר קנדי), לשנות ייצור 1981-1987 – \$400, לשנות ייצור 1988-1991 – \$500 ולשנות ייצור 1992-1998 – \$600. אם חסר לרכב ממיר קטליטי או שממיר זה שונה בכוונה, בעלי המכוניות אינם זכאים ליהנות מתקרת המחירים (Aircare Vehicle Emissions, 2004). יתרה מזאת: אפשר לקבל הטבה זו רק במתקני תיקון מורשים שהשלימו תכנית הכשרה ל"טיפול אוויר".

קליפורניה הנהיגה יוזמה חדשה לטיפול במתח הקיים בין איכות האוויר לשוויון חברתי. המשרד לתיקוני מכוניות מציע "תכנית סיוע לצרכנים" – לבעלי מכוניות שיוכחו צרכים פיננסיים מיוחדים. בעלי מכוניות אלו זכאים להטבה בסך \$500 על חשבון תיקונים נדרשים, סכום שדי בו לתקן ממיר קטליטי או להחליפו. זכאים לסיוע בעלי מכוניות השייכים למשקי בית שהכנסתם פחותה ב-185% מההגדרה בהנחיות העוני הפדרליות. משפחה בת ארבע נפשות, שהכנסתה \$34,000 בשנה, זכאית לקבל את הסיוע (California Bureau of Auto Repair, 2003).

3. מדיניות ההחלפה של ממירים קטליטיים

גם אם תכניות התחזוקה יופעלו בקפדנות, עם חלוף השנים לא יהיה אפשר למנוע הידרדרות בביצועי הממירים הקטליטיים במכונות ישנות. לעתים קרובות הנזק לא יהיה ניתן לתיקון. רוב תכניות המדיניות להבטחת ביצועי הממירים, שאומצו בעולם עד כה, מתמקדות בהחלפת ממירים קטליטיים פגומים – ולא בתיקונים.

חשוב להבחין בין צורות מדיניות אלו לבין אלו השואפות לשדרג כלי רכב שלא היו להם ממירים קטליטיים בעבר (retrofitting). תכניות שדרוג אלו יושמו בכמה מקומות – בהונגריה, בגרמניה ובקליפורניה (UNEP, 1999). לאחרונה, עלו כמה יוזמות לסבסוד מעבר של ציי רכב בעלי מנועי דיזל לגפ"מ (גז פחמני מוצק) או לחשמל. בדיעבד, יוזמת שדרוג הייתה יכולה להיות רבת ערך בישראל בשנות ה-90, כאשר ברוב כלי הרכב המקומיים לא היו ממירים. ואולם עתה, כאשר שיעור המכונות שאין בהן ממיר קטליטי בצי הישראלי הולך ופוחת עקב שחיקה טבעית, לא סביר שהממשלה תבחר מדיניות גורפת כזאת. באוטובוסים, באופנועים ובכלי רכב אחרים בישראל, שאין בהם ממירים, אפשר וכדאי לבחון מדיניות זו.

בעת כימות ההשפעות של זיהום אוויר על הבריאות, ייתכן שהתקנת ממירים בכלי רכב ישנים תימצא כדאית מבחינה כלכלית. מדיניות זו תאפשר לטפל ביעדים חברתיים רחבים יותר. לונדון, למשל, הצליחה לשמור על "ניקיון" האוטובוסים הדו-קומתיים המסורתיים שלה, בני ה-40, ולהשאירם על הכביש. אלפי משאיות שוודיות ישנות עדיין פועלות, בזכות התקנה של CRT – מסנני חלקיקים לדיזל. גישות שונות למדיניות ה-retrofitting יושמו, כגון התקנתם של ממירים, כולל תקני התקנה מחייבים, נקודות זיכוי במס וסובסידיות ישירות. האו"ם, על פי הניסיון בכמה מדינות, ניבא הצלחה לתכניות התקנה המתמקדות בציי רכב ייעודיים המבוקרים ומתוחזקים היטב (UNEP, 1999).

בעבור מגזר המכונות המונעות בבנוי, שמחקר זה מתמקד בו, ראוי לרכז את המאמצים בהחלפת ממירים שאינם מספקים עוד את הרמה הנדרשת למניעת זיהום. הפרק הזה בוחן את הניסיון לעודד החלפתם של ממירים פגומים – בארה"ב, בקליפורניה (שלה מדיניות עצמאית ומחמירה בתחום איכות האוויר), במקסיקו סיטי ובאיחוד האירופי. אחרי אפיון קצר של התכניות להחלפת ממירים קטליטיים פגועים, יושוו הדרישות הכרוכות בשלושת השלבים הבסיסיים של מדיניות זו:

- אישוש יעילות הממיר אצל היצרנים
- תקינה הדורשת החלפת ממירים
- הבטחת ההצלחה בהתקנתו של הממיר החלופי

החלפת ממירים

ארה"ב: ארה"ב הייתה הראשונה שחייבה התקנת ממירים קטליטיים בכלי רכב, וכמתבקש – הראשונה שגם אימצה מדיניות להבטיח את החלפתם. אחרי עשר שנים בלבד של ייצור וייבוא מכוניות עם ממירים, התברר שיש צורך בהתערבות ממשלתית מקיפה – בשל השיעור הגבוה של מכוניות בצי שהממירים בהן לא פעלו.

היה אפשר לצפות מראש את ההתפתחות הטבעית של הסוגיה בארה"ב, ובדיעבד – נראה כי התפתחות זו חזרה על עצמה ברחבי העולם: בעלי כלי רכב לא התלהבו מהצורך לשלם את העלות הניכרת הכרוכה בהתקנת ממירים או בהחלפת ממירים פגומים (MECA, 2000). ממיר שהותקן במקור בידי יצרן הרכב זכה לכינוי "OE" (ראשי תבות של "ציוד מקורי"). אפשר היה להתקין גם ממיר מבית היוצר של יצרן הממיר המקורי או ממיר המתפקד ברמת הממיר המקורי של הרכב. עלות של החלפת ממיר הוערכה אז בטווח שבין 300 ל-\$1,000. היה מחסור תמידי בחלקים, והשוק שהתפתח בעקבות הביקוש כלל גם ממירים תת-תקניים וממירים משומשים. אלה נלקחו מכלי רכב לאחר תאונות, ורמת ביצועיהם לא הייתה ידועה.

כדי לטפל בבעיה, הנהיג ה-EPA האמריקני בשנת 1986 "תכנית פיקוח על השוק" (U.S. Federal Register, 1986). נראה שהתכנית הצליחה במידה רבה. בארבע עשרה שנותיה הראשונות של התכנית הותקנו בארה"ב כ-20 מיליון ממירים חלופיים – רובם בכלי רכב ישנים, כנראה, ובכך סולקו מזהמי אוויר בכמויות גדולות מאוד.

קליפורניה: התרבות המפורסמת של דרום קליפורניה – תרבות "מבוססת מכונית" – והנטייה ל"היפוכים אטמוספריים" באגן לוס אנג'לס הפכו את זיהום האוויר של המדינה הזאת לבעייתי ביותר. ריכוזי הערפיח הגבוהים דרך קבע הניעו את ממשלת המדינה להיות לחלוצה בתחום הפיקוח, בצד יוזמה עצמאית של תכניות שהיו – לעתים קרובות – מקוריות. בתחום החלפתם של ממירים קטליטיים, מתבססת המדיניות של קליפורניה על גישת ה-EPA הפדרלי, אם כי יש כמה הבדלים מהותיים, כולל דרישות קשיחות יותר בקשר לביצועי הממיר ולבקרת האיכות בתהליך הייצור.

מקסיקו סיטי: בשנת 1991 החלה מקסיקו לדרוש את התקנתם של ממירים קטליטיים בכלי רכב – חמש עשרה שנה אחרי ארה"ב, אך שנים רבות לפני אירופה (Strasser, 1997). כצפוי, היא התוודעה במהירות לאורך החיים הסופי של הממירים. עניין זה בעייתי במיוחד במקסיקו סיטי; עיר זו, הנחשבת לגדולה בעולם, סובלת מרמות גבוהות ביותר של זיהום

אוויר, עד כדי יצירת תנאי תברואה המסכנים את האוכלוסייה, בעיקר את ילדי העיר, החולים והקשישים. העיר החלה להפעיל את התכנית מרצון בשנת 1999, והתמקדה במכוניות נוסעים משנת 1993. התכנית נתונה לפיקוח – עירוני וממשלתי כאחד. כאן, במקום לחייב החלפה, השתמשו בתמריצים. נהגים שהחליפו ממירים קיבלו "מדבקת אפס" – מדבקה המאפשרת להם לנהוג במקסיקו סיטי במשך כל ימי השבוע. בעקבות הצלחת התכנית, היא הורחבה בשנת 2000 וכללה כלי רכב משנות ייצור 1994 ו-1995.

היו שהצביעו על הפוטנציאל של אגרת גודש (אגרה שנהג משלם בכניסה לערים צפופות – על פי רמת הזיהום שפולט רכבו) לעודד תחזוקת רכב ובעקיפין – הקפדה על ביצועי הממיר הקטליטי. מדיניות זו דומה למדי לזו שאומצה בכמה ערים אמריקניות, שם הותר למכוניות כלאיים ליהנות מיתרונות הנתיבים השמורים לתחבורה ציבורית ולכלי רכב המסיעים שני נוסעים לפחות (התוצאות שהתקבלו היו הפוכות מהרצוי, מכיוון שאנשים נסעו יחדיו לעבודה – כדי למלא מכונית ולנצל את הנתיב המהיר).

לונדון הטילה מס בסך 5 ליש"ט על כלי רכב הנכסים לתחומה בין השעות 07:00 ל-18:30. המס נועד לצמצם את גודש התנועה בשיעור של 15% (BBC, 2003). פליטת מזהמים לאוויר לא הייתה בין הקריטריונים הישירים לקביעת המס. עם זאת, העיר לונדון ציינה בין יתרונותיה של התכנית את השיפור באיכות האוויר (MacElean, 2002).

האיחוד האירופי אימץ רק לאחרונה מדיניות של החלפת ממירים קטליטיים, משום שהממירים עצמם נפוצו ביבשת לא מזמן (EU, 1998). המדדים הראשוניים של המדיניות מעודדים. עד לשנת 1999 הוחלפו יותר ממיליון ממירים במסגרת התכנית של האיחוד האירופי (MECA, 2000). בהתחשב בנטייתה של ישראל לקשר את תקני פליטת הרכב שלה לאלו של אירופה, ייתכן שתהיה חשיבות מיוחדת לדרישות הפליטה של אירופה.

בפרק הבא יוצגו המאפיינים העיקריים של תכניות המדיניות שנסקרו להחלפת ממירים.

הבטחת אחריות היצרנים לביצועי הממירים

השלב הראשון במדיניות ההחלפה כרוך בבדיקת איכות הממירים העתידיים להחליף את הממירים הישנים – בטרם יוצעו בשוק הפתוח. המדיניות האמריקנית קבעה רמת בסיס ליעילות הממיר במניעת זיהום. הפחתת הזיהום צריכה להיות לפחות 70% לפחמימנים,

70% לפחמן חד-חמצני ו-30% ל-NO_x. קליפורניה העלתה את דרישות הביצוע – צמצום NO_x ל-50% בממירים המשתמשים בשני מצעי זרזים, ו-60% בממירים קטליטיים תלת-כיווניים, בעלי מצע יחיד. מקסיקו סיטי אימצה את העמדה הקליפורנית הדורשת שיעור סילוק גורף של 70% CO, 70% HC ו-60% NO_x.

לנוכח עלותם הגבוהה של ממירים מקוריים של יצרני הרכב, החליטה ארה"ב מראש שהממירים יהיו מדגם כללי – הניתן להתאמה למגוון סוגי רכב (ממירים גנריים) – בתנאי שהיצרנים יוכיחו את יעילותם בדגמים שונים של מכוניות. יעילות האב-טיפוס של הממירים החלופיים נבדקת בשני דגמים לכל קטגוריה של כלי רכב. הדגמה זו מבוססת על "הרכב הגרוע ביותר" או על המכונית שבה יהיה הכי קשה להגיע ליעדי צמצום הזיהום (דהיינו, משקל הרכב בעת הבדיקה / נפח המנוע הגדול ביותר בתוך הקטגוריה וכיו"ב).

תכניות המדיניות הציבורית של הממירים כוללות ברובן דרישות פרטניות לתיוג הממירים. רשויות הפיקוח בארה"ב, למשל, דורשות שכל ממיר יישא תווית ברורה, שאינה ניתנת להשמדה, המזהה את צופן הייצור שהנפיק ה-EPA לצד תאריך הייצור. מקסיקו סיטי קבעה תקן לתכולה מזערית של מתכות יקרות בממיר (20 גרם לרגל רבועה ו-0.7 גרם לפחות לממיר).

כל התכניות מחייבות אחריות מצד יצרני הממירים החלופיים, אך הדרישות הספציפיות משתנות מתכנית לתכנית. ה-EPA בארה"ב לא שינה את הדרישה המקורית שלו לאחריות של 25,000 מייל על הממיר החלופי, אחריות שתחול על יעילות השליטה במזהמים, ואחריות של 50,000 מייל (או חמש שנים) על המעטפת החיצונית ועל צינורות הקצה של הממיר. האחריות גם חייבת להבטיח שהממיר אינו מהווה מפגע בטיחותי (Minnesota, 1998). מקסיקו סיטי מחייבת אחריות ל"שלמות פיזית" המכסה 60,000 ק"מ או שנתיים – המוקדם מביניהם. הממירים האירופיים נדרשים לעבור "בדיקת התיישנות" בהגיעם ל-80,000 ק"מ, כדי לוודא שהם עדיין עמידים. בדרך כלל מתבטלת האחריות אם בעלי הרכב אינם מצליחים להוכיח שהשתמשו בו שימוש סביר, וכן תדלקו אותו ותחזקו אותו באופן סביר.

יצרן הממיר החלופי, משהצליח לעמוד במפרטי הייצור, מודיע על תוצאות בדיקותיו לרשות הפיקוח הממשלתית הרלוונטית. ה-EPA בארה"ב מחייב למסור מידע זה, כולל פרטי המתקן שבו נבדקו הממירים, חודש אחד לפני יציאת הממירים לשוק. ה-EPA בארה"ב יבדוק את הממירים החלופיים, ואם לא תוכח יעילותם, תוציא הסוכנות פקודה

לעצור את מכירת הממירים מהדגם הזה. קליפורניה עשתה צעד נוסף, והיא מחייבת את יצרני הממירים להנהיג תכנית מאושרת לבקרת איכות. לחלופין, יצרנים יכולים לבדוק ממיר אחד מכל 5,000 ממירים שהם מייצרים על פי הנחיות המדינה. ההוראה האירופית קובעת אף היא שיצרנים שמוצריהם לא יעמדו בסטנדרטים של הרישיון האירופי יאבדו את "תעודת ההכשר" שלהן. מקסיקו סיטי החליטה להפעיל תמריצים כספיים כדי להבטיח את רמות הביצוע של היצרנים. התכנית שלה מחייבת את היצרנים להפקיד ערבות בנקאית בסך מיליון פזו; הם יפסידו את סכום הערבות אם הממירים שייצרו לא יעמדו בתקנים.

התקנים האירופיים לממירים חלופיים קשיחים מאלו של ה-EPA בארה"ב. יצרנים חייבים לעמוד ברמת הצידוק המקורי לגבי כל שלושת המזהמים (CO, HC, NOx). גם כאן בוחנים את הרכב "הגרוע ביותר" לצד רכב מייצג ומשתמשים ב"מחזור הנהיגה" של האיחוד האירופי. ממוצע התוצאות של שלוש הבדיקות עם הממיר החלופי חייב להיות ברמת יעילות השווה ל-85% מהערך הממוצע של פליטה בעת שימוש בממיר קטליטי מקורי. קריטריון אחר מאפשר התאמה של הערך הממוצע ל"מקדם הידרדרות". נוסף על כך, קיימת רשימה ארוכה של קריטריונים תיאוריים שהממירים הנמכרים באירופה חייבים לעמוד בהם.

סעיף 2.3 בנספח 8 של ההוראה האירופית מס' EEC 70/220 תוקן כדי להגדיר ממירים חלופיים. ואלה ההגדרות:

- "אינם נבדלים בהיבטים חיוניים כגון
- 2.3.1 מספר המצעים המצופים, המבנה והחומרים;
 - 2.3.2 סוג הפעילות הקטליטית (חמצון, תלת-כיווני וכו');;
 - 2.3.3 נפח, יחס בין אזור קדמי לאורך המצע;
 - 2.3.4 תכולת החומר שממנו עשוי הזרז;
 - 2.3.5 יחס בין החומרים בזרז;
 - 2.3.6 צפיפות תאים;
 - 2.3.7 ממדים וצורה;
 - 2.3.8 הגנה תרמית."

לבסוף, הממירים חייבים לעמוד גם בתקן הרעש של האיחוד האירופי ובתקן המגדיר את הלחץ החוזר מהמפלט. דרישות התיוג משתוות לאלו של ה-EPA בארה"ב.

אפשר שסקירת יצרני הממירים, הזוכה לתשומת לב רבה כל כך בתקנות הבינלאומיות, אינה לגמרי רלוונטית לתעשיית הרכב בישראל היום. ישראל מייבאת את רוב הממירים

הקטליטיים שלה (אף שיש היום בישראל שתי חברות המייצרות ממירים קטליטיים). ובכל זאת, משרד התחבורה בחר לאמץ את התקנים ואת כתבי האחריות של האיחוד האירופי ושל ארה"ב גם יחד.

כמתואר בהמשך, מדינת ישראל קבעה סטנדרטים בתחום הממירים החלופיים. עם זאת, במסגרת תכנית פיקוח ישראלית תהיה חשיבות להוכחה שממירים חלופיים אכן יעילים. מוצרים גרועים לא רק יאפשרו שחרור מזהמים לסביבה בכמויות גדולות יותר, אלא גם יפגעו באמון הציבור בתכניות להחלפת הממירים. התאחדות יצרני הציוד למניעת זיהום אוויר בארה"ב מזדרזת לציין שאם לא יהיה פיקוח על ממירים קטליטיים, או שהפיקוח לא יהיה הדוק דיו, חברות העומדות בדרישות ביצוע קשיחות יענשו למעשה ויהיו בעמדה של נחיתות כלכלית.

קריטריונים להחלפה

אפשר שקביעת המועד להחלפת הממירים הקטליטיים היא ההוראה החשובה ביותר למעשה בתחום זה של המדיניות הציבורית. מנקודת מבט של יישום ושל פיקוח, קל יותר לחייב החלפה אוטומטית – על פי שנת הדגם של המכונית, כפי שהוחלט במקסיקו. עם זאת, רוב המדינות (וגם היצרנים) דחו גישה זו. משרד התחבורה הישראלי אף הוא אינו נוטה לקבל מדיניות זו, מאחר שהיא תוביל – באופן בלתי נמנע – להוצאת ממירים רבים, תקינים לחלוטין, מכלל שירות. במקום זה, מחייבים החלפה, בדרך כלל, רק אם יש ראייה ברורה לכך שחסר ממיר מקורי או שהממיר אינו פועל כהלכה.

בארה"ב מגדירים שני מצבים הגורמים לדרישה אוטומטית להחלפה:

- היעדר ממיר ברכב
- קביעה מצד מפקחי המדינה/המקום שהממיר ניזוק (הרעלת עופרת, למשל) ויש להחליפו

המצב השלישי פותח אף הוא פתח להחלפה:

- תוקפה של האחריות על הרכב פג (המכונית בת יותר מ-5 שנים או שנסעה יותר מ-50,000 מייל) ויש בסיס לגיטימי להחלפת הממיר

החלפת ממיר תידרש, בדרך כלל, כאשר הממיר הקיים סתום או מקולקל, ויש בו דליפת פליטה שאינה ניתנת לתיקון.

העדויות הדרושות לצורך החלטה על החלפת ממיר – כשל בבדיקה השנתית או נזק מבני לממיר עצמו. הקריטריונים האמריקניים כוללים היעדר ממיר ברכב, קביעה של בודק מורשה שקיימת הרעלת עופרת, סתימה, דליפה שאינה ניתנת לתיקון או נזק בלתי-הפיך מסוג אחר. אם הממיר נתון עדיין במסגרת אחריות היצרן, הצרכנים יכולים לדרוש ציוד מקורי.

משנקבע שיש להחליף ממיר, חשוב מאוד להתקינו בצורה נאותה. הוראות ההתקנה המומלצות על ידי התאחדות היצרנים נוגעות למיקום הממיר (קרוב ככל האפשר למיקום המקורי), לסוג הממיר (דו-כיווני לעומת תלת-כיווני) ולאישור לרכב הספציפי.

ה-EPA בארה"ב מחייב את המכונאים המתקינים את הממיר החלופי לרשום את שנת הייצור ואת הדגם של הרכב, את הנסועה (הקילומטראז'), את שם בעל הרכב וכתובתו ואת הסיבה להחלפה. הדרישות לשמירת התיעוד נועדו להבטיח שההתקנה תתבצע על פי התנאים שצוינו וברכב המתאים. "חוק צמצום הניירת האמריקני" מנסה לכמת ולצמצם במידת האפשר את ההשלכות הביורוקרטיות של חקיקה ראשית ושל חקיקת משנה. סקירה שנעשתה במסגרת החוק העריכה ששמירת התיעוד של כל 17,000 המתקינים הרשמיים של הממירים הקטליטיים כרוכה ב-118 פעולות תיעוד לעסקה (U.S. Federal Register, 1999).

בהסתמך על ההיסטוריה של התכניות הקיימות להחלפת ממירים, הסקירה של MECA (התאחדות היצרנים של ציוד למניעת זיהום האוויר) ממליצה על רשימה של רכיבים בסיסיים למדינות המעוניינות לקדם מדיניות אפקטיבית בתחום זה:

- תהליך לאישור חברות המועמדות להיות יצרניות של ממירים חלופיים
- דרישות לצמצום פליטה המבוססות על ביצועים שהודגמו באמצעות נוהל מאושר לבדיקה ואישור
- הוכחת עמידות שהיא חלק מתהליך האישור
- דרישה לתוויות קבועות על כל ממיר שנמכר
- דרישה לאחריות על ביצועי פליטה ועל שלמות מכנית
- אבטחת יכולתה של הממשלה לבצע בדיקות
- דרישות התקנה ברורות
- דרישות לשמירת תיעוד
- בדיקות שדה על ידי פקידי ממשלה
- תכניות השתלמות למתקני תיקונים ולמפעילי כלי רכב

ב"תכנית לדוגמה" ליצרנים יש כמה רכיבים המתאימים לתנאים בישראל, בייחוד בכל הנוגע למפרטים של מצבים המצדיקים החלפה של הממיר.

סביר להניח שמשדד התחבורה בישראל ישאף להשאיר בידיו את הסמכות לפקח על מדיניות החלפת הממירים בישראל, מאחר שהוא כבר מעורב בפיקוח על המוסכים במדינה. מאמציו בתחום זה אמורים לכלול כמה רכיבים. מכונאים ובעלי מוסכים מוסמכים יתעדו את כל רשומות ההחלפה, ובהן פרטי הרכב, תאריך ההתקנה וסוג הממיר. ה-EPA בארה"ב מחייב שמירה על רשומות אלו במשך שישה חודשים, אך לאור העובדה שברוב המוסכים הפועלים בארץ כבר מותקנת מערכת ממוחשבת, אפשר בקלות להרחיב דרישה זו בלא שהדבר יכביד על המוסכים המורשים בישראל.

משמסלקים ממכוננית ממיר קטליטי כושל, מן הראוי ליצור מצב שבו "ברירת המחדל" היא מחזור הממיר או שיפוצו. לפני שתהליך זה יתאפשר, יש לבדוק את הממירים (הבדיקות יקרות). בארה"ב נמכרים רוב הממירים המשומשים לקנייני ליבה או לממחזרי פסולת רכב, ולפליטנה שבתוך הממירים יש ערך שוק שדי בו לאפשר את מחזורו בנפרד. כדי להנהיג מדיניות יעילה ומקיפה בתחום הממירים, "מהעריסה עד הקבר", יש לשלב בתקנות הסופיות גם את הנושא של סילוק הפסולת ושל שיפוץ הממיר המשומש.

הבטחת התקנה מקצועית של ממיר חלופי

חשוב שנציגי הממשלה המבצעים בדיקות ופיקוח בשטח יהיו מומחים למערכות פליטה, או לפחות בעלי מיומנות סבירה בתחום. מיומנות של הנציגים במכונאות תוכל להתיע בעלי מוסכים מפני החלטות בלתי הולמות בעניין ההחלפה ולספק להם את התמיכה הטכנית הנחוצה – בהתחשב בניסיונם הדל של מכונאים רבים בישראל בהחלפת ממירים קטליטיים. הניסיון האמריקני מראה שעם הזמן אפשר לצמצם את פעילויות האכיפה בשטח – כאשר יש עלייה במודעותם של המכונאים לנוהלי ההחלפה ובמומחיותם, וגדלה מחויבותם לעמידה בדרישות ההוראות החדשות. מובן שבדיקות ללא התראה מראש יעילות יותר, בדרך כלל, מבדיקות שתואמו עם המכונאים הנתונים לפיקוח. גם אם בשעת הבדיקה אין לקוח שבודקים את מערכת הפליטה של מכוניתו, אפשר לבדוק תיעוד בקשר לכלי רכב שנכשלו במבחן השנתי ולסקור נהלים ספציפיים.

חיוני ללוות את ביצוע התכנית להחלפת ממירים ביוזמה חינוכית. חשוב שביוזמה החינוכית תהיה התאמה מרבית של המסרים ושל רמות הפירוט לקהל היעד. ראשית לכל צריך להעלות את מודעות הציבור הרחב לקשר המכריע בין תפקוד הממירים לבין איכות

האוויר. מודעות כזו עשויה לשפר את הפתיחות של הציבור להנחיות בנושא ולשכנע בעלי מכוניות להחליף ממירים, על אף העלויות הגבוהות. אפשר לשלב הסברים על הדרישות הבסיסיות – לתחזוקה ולתדלוק – שיסייעו להאריך את חיי הממיר.

ציבור המכונאים צריך גם הוא לשפר את השליטה בהיבטים הטכניים של תחזוקת מערכות פליטה. שליטה זו כוללת מידע על המקומות שאפשר לרכוש בהם ממירים מאושרים, על פרטי ההתקנה, וחשוב מכל – על התנאים המדויקים המחייבים החלפה של ממיר קטליטי. אפשר להיעזר בירחונים מקצועיים ולנצל את האינטרנט, שמוסכים רבים בישראל מחוברים אליו. אתר הרשת של ה־CCAR, למשל, תוכנן לספק הדרכה טכנית למכונאים אמריקניים בתחומים הקשורים לתחזוקתן של מערכות לבקרת זיהום אוויר.

רשויות ממשלתיות מזדרזות לשבח תכניות חינוך מקבילות כאשר הן מפרסמות תקנות חדשות כאלה. ה־EPA בארה"ב הפיץ לבעלי מוסכים הנחיות על קריטריונים להחלפת ממירים קטליטיים והנחיות להכנתם של מפרטים טכניים שיהיו מעוצבים בצורה בהירה ויהיו קלים להבנה. מעלותיה של התכנית החדשה והדרישות הנובעות ממנה פורסמו גם בירחוני הרכב הפופולריים המיועדים למכונאי רכב (MECA, 2000).

עם זאת, בסופו של דבר – המדיניות להחלפת ממירים אינה יכולה להיות כללית; עליה לענות על הצרכים המוגדרים של המדינה, בנסיבות המתאימות. התאחדות היצרנים, MECA, סקרה תכנית לדוגמה להחלפת ממירים קטליטיים, ובעקבותיה היא ממליצה למדינות השונות לשקול גורמים ספציפיים – ייחודיים למצבן – לפני אימוץ מדיניות כלשהי. גורמים אלו כוללים צרכים של איכות אוויר, זיהוי המזהמים הבעייתיים ביותר, מבנה האכיפה והיקפה, גיל כלי רכב וסוגי הממירים המותקנים בהם, וכן הזמינות של בנזין נטול עופרת ודל גופרית במדינה (ECA, 2000).

4. מדיניות עידוד לפרישה מואצת של כלי רכב ישנים

מדינות רבות הגיעו למסקנה, שהדרך החסכונית ביותר לטפל בכלי רכב ישנים שהם "מזהמי-על" היא – לשלם לבעלים כדי שיסירו מהכביש את כלי הרכב הללו. ניתוחי תועלת מול עלות תומכים בתכניות לפרישה מואצת או לגריטת כלי רכב. דרך זו מתאימה במיוחד במדינות שהתירו לכלי רכב ישנים להמשיך ליהנות מתקנים מקלים (ישראל, למשל). ההנחה היא שתכניות להחלפת ממירים קטליטיים – גם אם ייושמו בצורה המיטבית – לא יצליחו לייצר תוצאות סביבתיות מיטביות, והאצת סילוקן של המכוניות הישנות והמזהמות ביותר בצי הרכב היא הצעד היעיל ביותר.

מזומנים תמורת גרוטאות

יוזמת המדיניות הראשונה בקטגוריה זו פותחה בדרום קליפורניה, בעיר לוס אנג'לס, שם איכות האוויר היא הגרועה ביותר בארה"ב, עקב חריגות מתמשכות מתקני האוזון והערפוח הפוטו-כימי. כ-60% ממקדמי האוזון בעיר זו מיוחסים למקורות זיהום ניידים, ורק 5% מפליטת המזהמים מגיעים מתחנות כוח ומבתי זיקוק (U.S. Office of Technology Assessment, 1992).

עד לשנות ה-90 נסעו בדרכים כ-400,000 כלי רכב שיוצרו לפני שנת 1970. כלי הרכב הישנים יותר ניצבו בפני מס "זולל דלק" – עקב יעילות נמוכה ביותר של צריכת הדלק שאפיינה אותם (ממוצע של כ-5 ק"מ לליטר). עם זאת, אף שהיו רק חלק מזערי מצי הרכב הכולל, כלי רכב אלו היו אחראים, על פי ההערכה, ל-15% מזיהום האוויר באזור.

בשל החריגות מתקני איכות האוויר, מקורות זיהום נייחים גדולים (תחנות כוח) בלוס אנג'לס נדרשו לקצץ עוד בפליטת המזהמים שלהם. חברת הנפט המאוחדת של קליפורניה (UNACOL) – חברת חשמל מקומית שעליה אכפו דרישות אלו – הגיעה למסקנה שיהיה זול יותר לשלם לבעליהם של כלי רכב ישנים כדי להיפטר מרכבם. התכנית, שזכתה לכינוי הצבעוני "מזומנים תמורת גרוטאות" (Cash for Clunkers), אושרה בתור חלופה להתקנה של ציוד מתקדם, יקר, למניעת זיהום אוויר (Bearden, 1996).

ואלה היו עיקרי התכנית:

- \$700 ישולמו בעבור כל מכונית שיוצרה לפני 1971, ללא קשר לפליטה בפועל
- תנאי הכרחי: המכונית צריכה להיות רשומה על שם הבעלים – 6 חודשים לפחות לפני רכישתה ממנו (כדי למנוע ספקולציות ויבוא של כלי רכב ישנים ממדינות שכנות)
- ייעול הביורוקרטיה הקשורה לסילוק המכונית (בדרך כלל, עבודת הניירת הכרוכה בהפסקת השימוש במכונית ובסילוקה דרשה עד אז 5-10 ימים)

הצלחת היוזמה הייתה יוצאת דופן. עוד חברות, בהן חברת המכוניות פורד, תרמו כסף כדי להרחיב את תכנית הניסוי למספר גדול יותר של כלי רכב. נמצאו משאבים לפרישה מואצת של 8,400 מכוניות, ומעבר לציפיות – כבר ביום הראשון של התכנית התקבלו 3,000 פניות, ובתוך יומיים חתמו 1,500 בעלי מכוניות על השתתפות בתכנית (Dill, 2004).

גם ההשפעות הסביבתיות היו הפתעה נעימה. התברר שפליטת הפחמימנים מהמכוניות הישנות הייתה גבוהה פי שלושה ממה שניבא המודל הכלכלי – ועד פי 100 מהפליטה

ממכוניות חדשות. רמות הפחמן החד-חמצני במכוניות שסולקו היו גבוהות פי שניים ממה שציפו, ושיעור ה- NO_x היה גבוה פי 11 מהשיעור הנפלט ממכוניות חדשות. עד לסיום המבצע ייחסו לפרישה המואצת את סילוקם של כ-6 מיליון ק"ג של מזהמים – כפול מהמצופה (U.S. Office of Technology Assessment, 1992). מדינת קליפורניה החליטה להפוך את התכנית ליוזמה קבועה – למען שיפור איכות האוויר.

התנגדות והתרחבות

התכניות לפרישת מוקדמת של כלי רכב לא זכו לפופולריות אוניברסלית (Petersen, 2004). הביקורת שכוונה כלפי התכניות הללו כללה את הנושאים האלה:

- אובדן חלקי רכב החשובים לאספנים ובזבוז חומרים בני-מחזור;
- אפלייתן של משפחות עניות;
- בעיות באכיפה פותחות פתח לרמאות;
- כלי רכב ישנים המשמשים מכונית שנייה או שלישית נוסעים בפועל רק לעתים. כלי הרכב הישנים נדירים, ולכן סביר להניח שהייתה הגזמה בהערכות על צמצום הפליטה מהם.
- בתשלומי הסילוק אין כדי ליצור תמריץ אמיתי;
- ביצועיהם הסביבתיים של כלי רכב ישנים רבים עדיין סבירים (Lavie, 2003).

בהסתמך על הצלחת התכנית הקליפורנית, הפיצה הרשות להגנת הסביבה בארה"ב הנחיות שנועדו לעודד מדינות אחרות להשיק תכניות כאלה (U.S. EPA, 1993). קולורדו, דלוור, אילינוי, טקסס ווירג'יניה הנהיגו כולן תכניות כאלה, במידות שונות של הצלחה. לאחרונה העלתה קליפורניה את דמי ה- AVR שלה (accelerated vehicle retirement) – האצת פרישה של כלי רכב) מ- $\$450$ ל- $\$1,000$, ובכך הובילה לגידול מידי במספר הבקשות להשתתף בתכנית (CNN, 2000).

אירופה הנהיגה אף היא מדיניות שהובילה לפרישה מואצת של מיליוני כלי רכב. ההוראה שהוציאה, "רכב בסוף חייו", קובעת קריטריונים לשימוש חוזר בחומרי רכב, למחזורם ולהצלתם. במקום להתמקד בצמצום הפליטה מהרכב, המטרה היא למחזר את הרכב ולנצל 95% מחומרי הגלם עד שנת 2015. איטליה, למשל, טוענת שהצליחה להביא לפרישתם המוקדמת של 2.7 מיליון כלי רכב (Lavie, 2003).

5. ייבוא וייצוא של כלי רכב מזהמים

הייצוא של כלי רכב בעלי שיעורי פליטה גבוהים הפך למדיניות סטנדרטית ברוב מדינות העולם. מערב אירופה "הציפה" את מזרח אירופה בכלי רכב משומשים במשך שנים רבות (European Policy Decisions, 2004). מכוניות יפניות משומשות מהוות פלח הולך וגדל של שוק המכוניות בניו זילנד. פליטתן, הגבוהה יחסית למכוניות חדשות, נחשבת היום למכשול בדרך להשגת תקנים סביבתיים בשתי הערים בניו זילנד שבהן יש בעיות של זיהום אוויר. המצב במדינות מתפתחות נחשב בעייתי אף יותר. בקואלה לומפור, בירת מלזיה, למשל, כ-60% מזיהום האוויר מקורו במקורות ניידים, והמכוניות המשומשות מובילות את הגידול המתמשך ברמת הפליטה (Kaur, 2001).

הפעלת מגבלות על כלי רכב מיובאים היא מדיניות "קלה" יחסית, ועם הרחבת הקהילה האירופית – היא הופכת לחלק מן הרגולציה של היבשת. הפתרון לבעיה הוא השוואת תקני הייבוא לכלי רכב חדשים ומשומשים.

ה. לקראת מדיניות ישראלית בנושא ממירים קטליטיים

משבר איכות האוויר בישראל מחייב מדיניות של התערבות יעילה מצד הממשלה. הכנסתם של ממירים קטליטיים בשנות ה-90 הייתה צעד ראשון מכריע – אולם ללא אמצעים נוספים, שיבטיחו את אמינותם של הממירים ואת ביצועיהם, איכות האוויר במדינה לא תיחנה ממלוא היתרונות של חידוש טכנולוגי זה. כדי להעריך את התאמתן של חלופות מדיניות שיושמו בחו"ל לישראל, נערך סקר בקרב קבוצה של 12 מומחים ובעלי מקצוע. הסקר עסק במגוון של בעיות הקשורות לנושא. במדגם "בעלי העניין" נכללו פקידי הממשלה הבכירים המפקחים על זיהום אוויר ממקורות ניידים במשרד לאיכות הסביבה ובמשרד התחבורה, יו"ר מכוני הרישוי הישראליים, מכונאים, אקדמאים, פעילי איכות סביבה ועוד. התוצאות מצביעות על תחומים חשובים של רפורמה, שבקשר למשמעותם ולכדאיותם יש תמימות דעים ממשית. הפרק הזה סוקר בפירוט רב יותר את המצב הנורמטיבי בישראל המניע את הכנסתם של ממירים קטליטיים, את תפיסת הדינמיקה של השימוש המקומי ואת הפוטנציאל של התערבות ממשלתית להארכת חייהם של הממירים.

ממירים קטליטיים והתקנות בישראל

סקירת המסגרת הרגולטיבית לטיפול במקורות הניידים של זיהום האוויר בישראל חיונית להבנת הפוטנציאל של תכניות חדשות בהארכת יעילותם של ממירים קטליטיים ובשיפור תפקודם. לפני הערכת האפשרויות הספציפיות, כדאי לחזור ולציין שישראל אינה מחייבת בחוק התקנה של ממירים קטליטיים בכלי רכב – לא ברכב המונע בבנזין ולא בכלי תחבורה אחרים. הממירים הקטליטיים מותקנים היום בידי היצרנים כדי לעמוד בתקן הפליטה של CO – 0.5%. מאחר שהשימוש אינו מונע על ידי תקן ביצוע או תקן טכנולוגי, אין דרישה מוגדרת בחוק הישראלי להתקין ממירים קטליטיים. השלכה אחת של גישה זו היא שבישראל אין היום איסור חוקי לפגוע בממירים קטליטיים או לנתקם – איסור הקיים בכמה מדינות.

תקני הפליטה בישראל (והשימוש בממירים קטליטיים) מעוגנים בתקנות התחבורה. תקנה מסי' 318 (א)(א) ו-(ב) קובעת תקן פליטה של 0.5% ל-CO בכלי רכב חדשים, תקן

שנכנס לתוקף לפני עשר שנים. בשנת 1992, בעקבות לחץ ניכר מצד הציבור והמשרד לאיכות הסביבה, חייב משרד התחבורה כלי רכב שנפח המנוע שלהם עולה על 2000 סמ"ק לעמוד בתקן פליטת CO ששיעורו 1%. בשנה שלאחר מכן הורחב התקן למנועים שנפחם 1600 סמ"ק, ובשנת 1994 הוחל התקן על כל כלי הרכב המנועים בבניין. לאחר מכן הופחת התקן לרמה של 0.5% CO, וזה התקן היום (טל, 1993).

שיטת הבדיקה מבוססת על התקן האירופי, EC 69.69, הקובע שיש לבצע את הבדיקות כשהמנוע פועל בהילוך סרק. בדיקות הפליטה מרכב דיזל מבוססות אף הן על אותו תקן אירופי (תקנות מניעת מפגעים, זיהום אוויר מכלי רכב בדרך, 2001).

אכיפת תקני הפליטה מרכב נעשית בפועל באמצעות רשת של מכוני רישוי, שבה 54 מכוניים בבעלות פרטית. המכוניים פועלים ברחבי הארץ לאחר שזכו במכרז וקיבלו ממשרד התחבורה הסמכה רשמית לביצוע בדיקות. בכל שנה נדרשים בעלי כלי רכב לשלם אגרת רישוי לממשלה, ועליהם להביא את הקבלה על התשלום למרכז הרישוי לפני ביצוע הבדיקה. רכב שעבר את מבחן הרישוי מקבל מדבקה שתודבק על השמשה הקדמית, ובה מצוין מועד הבדיקה – החודש והשנה.

מבחן הרישוי השנתי ("טסט" בעגה המדוברת) תוכנן בעיקר להעריך את תקינותם של מאפייני הבטיחות (ביצועי הבלמים, מצב הצמיגים וכיו"ב), אולם ברכב המנוע בבניין, כולל המבחן גם בדיקה של פליטת פחמן חד-חמצני כאשר הרכב בהילוך סרק. ברכב דיזל מודדים את שקיפות הפליטה כשהרכב מדמה תנאי נהיגה אמיתיים, על פי יחידות "Hartridge". עד לאחרונה רשמו הטכנאים במכוני הרישוי את התוצאות של בדיקות הפליטה רישום ידני, על פי הנתונים שהופיעו על צגי הגז. לאחרונה, אוספים מחשבים את רמות הפליטה שנמדדו במהלך הבדיקה ומספקים מספר משולב אחד; שיטה זו מצמצמת את פוטנציאל ההטיה של התוצאות.

למשרד התחבורה יש צוות פיקוח קטן, העוקב אחר מרכזי הבדיקה ומבצע כ-900 בדיקות שדה בשנה. כך זוכה כל מכוני רישוי לביקור הצוות פעמיים בחודש, בממוצע. בשנים האחרונות נסגרו שלושה מכוני רישוי שלא עמדו במפרטי משרד התחבורה.

מכונית שנכשלה בחלק כלשהו מדרישות הבדיקה מחויבת בתיקון. למכוני הרישוי עצמם אסור לבצע את התיקונים. ההנחה היא שמטרת החלוקה בין "מוסכים" ל"מכוני רישוי" היא לסלק כל תמריץ לשינוי תוצאות הבדיקה כדי לחולל "עסקים". מכונית שלא עמדה בבדיקה לאחר תום שנה מהבדיקה הקודמת לא תוכל לחזור לכביש, ובעליה עלול להיקנס אם ייתפס נוסע במכונית זו. דרישה זו אינה נאכפת באופן שיטתי, והטיפול הלקוי המתמשך מצד משרד הרישוי ומשרד התחבורה זכה לביקורת ועדת הכלכלה של

הכנסת בשנת 2001. על פי רוב, לאחר שמכונת נכשלה במבחן השנתי, מבצע מוסך פרטי את התיקונים הדרושים, ובעל המכונת חייב לחזור לאותו מרכז בדיקה, שם יבדקו שוב את נקודות הכשל שנמצאו.

המשרד לאיכות הסביבה מפעיל מערכת משלימה הבודקת פליטה מכלי רכב באקראי, בצד הדרך. התקנות שפורסמו בשנת 2001 נועדו להסדיר את הנושא ולשלב בין שתי מערכות של תקנות שפורסמו על ידי משרד הפנים ומשרד הבריאות. בד בבד התפתחו שתי יוזמות בדיקה מקומיות: איגוד הערים לאיכות הסביבה של חיפה ומלר"ז (המועצה למניעת רעש וזיהום אוויר) הנהיגו באזור גוש דן מערכות בדיקה מצליחות בצד הדרך.

איגוד הערים בחיפה הוא החלוץ מבין הרשויות המקומיות המתמודדות עם בעיית זיהום האוויר ועם כלי רכב מזהמים. בדיקות בצד הדרך באמצעות הניידת של האיגוד מיישמות תקני פליטה ארציים אשר אומצו ברמה של חוק העזר. על פי נתוני האיגוד, בין השנים 2001 ל-2003 נבדקו 4,315 כלי רכב המונעים בבנין (כ-20% נכשלו) ו-1,755 כלי רכב המונעים בדיזל (13% נכשלו) (פליקשטין, 2004). האיגוד חייב לתקן את כלי הרכב שנכשלו, וקיבל אישורים על תיקונים של 73% מכלי הרכב המונעים בבנין שנכשלו, אך מכלי רכב הדיזל שנכשלו – רק 57% הציגו אישורים על תיקונים. אפשר, כמובן, לתרגם את היוזמה המקומית לכמויות ניכרות של זיהום אוויר שנמנעו עקב פעולות אלה.

משרד התחבורה מפעיל שלוש יחידות ניידות, ובעבר אף ערכו הניידות בדיקות רכב בצד הכביש. לפני שנים אחדות הוגבל הפיקוח, והיום הניידות רק מוודאות שכלי הרכב עומדים במפרכי הבטיחות. המשרד לאיכות הסביבה הוא המוסד הראשי המפקח על בדיקת פליטה מכלי רכב בצד הדרך. ניטור פליטת האוויר הושעה זמנית בשנת 2000, עקב חוסר דיוק מתמשך של ציוד הבדיקה.

בקיץ 2002 קיבל המשרד לאיכות הסביבה אישור משר המשפטים להטיל ברירת משפט (קנס אדמיניסטרטיבי) על בעל רכב החורג מתקן הפליטה, במקום שייאלץ לנקוט הליך משפטי פורמלי בבית המשפט. תהליך מואץ זה מאפשר לזרז את פעילות האכיפה, אולם כאשר בשטח פועלות רק שלוש יחידות בדיקה, והקנס המרבי הוא 1,000 ש"ח לרכב דיזל ו-500 ש"ח לרכב בנין – לא ברור מה מידת ההרתעה הנוצרת.

שלוש היחידות הניידות של המשרד לאיכות הסביבה נועדו לבדוק פליטה מרכב דיזל ובנין כאחד. בשנת 2001 ערער נהג על דיוק הבדיקה של ניידת כזאת – בדיקה שקבעה שרכבו מזהם. הדיון בבית המשפט נסב על דיוק הבדיקה לצד הדרך של יחידות המשרד לאיכות הסביבה (מדינת ישראל נגד הירש, 2001). מאז שדרג המשרד את צוותי הפיקוח

שלו, והצוותים מתמקדים בציי דיזל. מאז שנת 2001 הורדו מהכביש כ-2,000 כלי רכב, עקב חריגות מתקני איכות האוויר.

נוסף על כך, המשרד לאיכות הסביבה מוסמך להטיל קנסות על כלי רכב שהפליטה שלהם עולה על רמה 2 על פי "לוח רינגלמן". מבחן רינגלמן הוא סולם המאפיין אטימות על ידי גוונים של השחרה. מדובר במבחן גס למדי (אך קל ליישום) המבוסס על התרשמותו החזותית של המפקח. התקנות אוסרות על פליטת עשן כהה מדי מצינור המפלט. המפקח חייב לתעד שלוש דקות רצופות של פליטת עשן בתוך שעה.

מדיניות לבדיקת פליטה מכלי רכב וביצועים של ממירים קטליטיים בישראל

תכנית הבדיקה השנתית ונוהלי הבדיקה לרכב דיזל בישראל נחשבים ליעילים בעיני רוב המומחים. עם זאת, רבים ציינו שהתקן המיושם ישן וגבוה לעומת מפרטי הייצור של כלי רכב חדשים ודרישות הפליטה במדינות רבות במערב. אין ספק, שהורדת תקן הפליטה למנועי דיזל בהתאם לשנת הייצור תהיה תיקון נחוץ למדיניות הקיימת. בארץ נעשה היום מחקר להערכת ביצועיהם של כלי רכב בתנאים המקומיים, במטרה לקבוע תקן חדש.

לעומת זאת, יש חשיבות מכרעת לרפורמה בתקן לפחמן חד-חמצני לרכב בנזין הנבדק בהילוך סרק במסגרת המבחן השנתי. בדיקה מקיפה יותר של הפליטה תיעשה כאשר המנוע מגיע לסל"ד גבוה – בתור חלק מהמבחן השנתי וצעד ראשון לקראת שיפור תקן הפליטה הקיים. הבדיקה צריכה לאפיין את הביצועים של הממיר הקטליטי. למעשה, בדיקה המתבצעת בהילוך סרק אינה יכולה להעיד על תפקוד הממיר הקטליטי, כלומר: ניתן לעבור בדיקת CO עם ממיר קטליטי פגום המאפשר פליטת ריכוזים גבוהים של NOx, פחמימנים ומוזהמים אחרים לאוויר.

צריך לעדכן את תקן הפליטה בתקנות התעבורה כדי שישקף את התפתחותן של טכנולוגיות חדשות המאפשרות שיטות בדיקה מדויקות ויעילות יותר. בהיעדר רפורמה כזאת, יהיה קשה מאוד ליישם מדיניות אפקטיבית להארכת חייהם של ממירים קטליטיים, משום שלמפקחים ולמוסכים לא יהיו נתונים ברורים על יעילות פעולתם של הממירים.

נציגי משרד התחבורה והמשרד לאיכות הסביבה הסכימו לעדכן את הבדיקה ולחייב בדיקה של רמות ה-CO כאשר המכונה פועלת ברמות סל"ד גבוהות. משך הבדיקה הצפוי –

20-15 דקות, והיא תספק אפיון יעיל יותר של מצב הממיר הקטליטי. בדיקות כאלה נוסו בשנת 2000 ולאחר מכן אושרו. העיכובים הנוכחיים מיוחסים לסחבת מצד משרד האוצר. ד"ר לאוניד טרטקובסקי, חוקר זיהום אוויר מהטכניון, טוען שבדיקות פליטה יעילות צריכות למדוד מזהמים לפני זרימת הגז דרך הממיר הקטליטי ואחריה.

לדעתם של כמה מומחים, יש צורך בשינויים יסודיים עוד יותר. במדינות אחדות בארה"ב, למשל, כולל התקן המחייב של בדיקות הפליטה גם את ריכוזי תחמוצות החנקן והפחמימנים בגזי הפליטה. מדדים אלו נבדקים במהלך המבחן השנתי. נוכח העובדה שבישראל אין בעיה של חריגות מריכוזי CO הסביבתיים באוויר, יש הצדקה מסוימת למקד את הבדיקה במזהמים הממשיים המטרידים את האוכלוסייה המקומית. עם זאת, כיוון שהתקן האירופי 96/96 אינו כולל דרישה לבדיקת NO_x, שילוב תחמוצות חנקן בתקן בישראל נראה לא סביר בעתיד הנראה לעין.

יש לשקול גם את תדירות הבדיקות השנתיות, בעיקר לרכב מונע-בנזין בצי ולכל רכב דיזל מסחרי (אוטובוסים, מוניות ומשאיות), שבדרך כלל נוסעים בדרכים יותר מכלי רכב פרטיים). היום מחייבים רכב בבדיקה דו-שנתית של פליטה רק משהגיע לגיל 18. עם זאת, נתונים מראים שהממירים הקטליטיים מפסיקים לתפקד זמן רב לפני מועד זה, ויש לשקול הצעות להגברת תדירות הבדיקות לכלי רכב ישנים, בד בבד עם מתן הקלות לכלי רכב חדשים (טל, 2002).

התקנת ממירים במכוניות ללא ממיר (retrofitting)

כפי שצוין, מחקרים רבים בכמה מדינות מאשרים ששיעור קטן יחסית מצי הרכב אחראי כנראה לשיעור גבוה של פליטת זיהום אוויר בפועל. אף שאין לכך תמיכה אמפירית מתועדת, יש טוענים לעתים קרובות כי "10% מהמכוניות מייצרות 50% מהזיהום". המדיניות הציבורית בנושא איכות האוויר צריכה לרכז את משאביה המוגבלים של ישראל במגזרים הגדולים – אלו שיש להם פוטנציאל ליצור באוויר מטעני זיהום כבדים, בידיעה שהתקנת ממירים קטליטיים תפחית את פליטת המזהמים הפחתה של ממש. אי לכך, מדיניות כזאת תתרכז בכלי רכב ישנים המונעים בדיזל, בעיקר בצי אוטובוסים "מזדקנים". בקרב המומחים שרואינו למחקר קיימת הסכמה מסוימת על הצדק שבמתן סובסידיות ומענקים ממשלתיים לציים בעייתיים – למטרה זו.

תמריצים כלכליים באמצעות מיסוי, המעניקים העדפה לכלי רכב "נקיים" יותר, צריכים להיחשב לחלק מהמאמץ הכללי לשיפור הציות לתקנים בנושא ואמצעי משלים

להתקנת ממירים קטליטיים. בין הצעדים שראוי לשקול – צמצום מכס על כלי רכב מסוג כלאיים (hybrid) והנחות במכס בעקבות גריטת כלי רכב ישנים. גילו הממוצע של רכב בצי הישראלי הוא היום כ-6.5 שנים, ואילו לפני כעשר שנים הסתכם גילו הממוצע ב-8 שנים (הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 2003). נתון זה התקבל מאנשי סביבה המודאגים מתרבות הצריכה בישראל, אולם בהתחשב בירידה בביצועים עם הזמן, מדובר בהתפתחות חיובית מבחינת איכות האוויר. ובכל זאת, גילה של המכונית הישראלית עדיין גבוה מהגיל הממוצע של המכוניות ברוב המדינות האירופיות – חמש שנים.

בצי רכב גדול, יש להטיל על פקיד אחראי בתוך התאגיד תפקיד של אחראי על פליטת אוויר. פקיד כזה יהיה אחראי להבטיח את ביצועיהם היעילים של ממירים קטליטיים בצי הרכב. לעתים קרובות יש לחברות כאלה קצין בטיחות שיכול להיות מועמד טבעי לתחום אחריות נוסף זה. דרישה כזאת תעודד מניעת זיהום, במקום להסתמך רק על אסטרטגיה של תגובה. ואולם דרישה כזאת עשויה לחייב תקנות חדשות.

תקני איכות דלק

ביום 4 בנובמבר, 2002, קיבלה ממשלת ישראל החלטה (מס' חכ/46) בזו הלשון:

"להטיל על משרדי התשתיות הלאומיות, התחבורה, איכות הסביבה והאוצר לפעול להחלת הנחיות תקן 'אירו' לפליטת המזהמים מכלי רכב המונעים במנועי דיזל, תוך מעבר לשימוש בלעדי בסולר בעל תכולת גפרית מרבית של 50 ppm, וזאת ככל שניתן עד 1.1.04".

אפשר לטעון שהחלטה זו הייתה החשובה ביותר בתולדות המדינה – מבחינת בריאות הציבור ואיכות האוויר. ביום 5 במאי, 2003, אישרה ועדת הכלכלה של הכנסת צו של שר התשתיות הלאומיות שאסר על ייבוא דיזל שריכוז הגופרית בו עולה על 350 ppm (חלקים למיליון), החל מ-1 בינואר, 2004. תחזיות של המשרד לאיכות הסביבה מעלות כי הירידה ל-50 ppm גופרית בדיזל עשויה להפחית את פליטת החלקיקים לאוויר (המשרד לאיכות הסביבה, 2001).

באותה עת קידם מכון התקנים כמה שיפורים בתקן הישראלי לאיכות הדלק. טבלה 3 מסכמת השוואה עדכנית בין איכות הדלק הנדרשת בישראל היום ובין התקנים הקיימים אירופה (EURO 3,4), בהתחשב בפרמטרים חיוניים לאיכות האוויר (תקן 90, I, II ו-III עם תקן 107, I).

טבלה 3: תקן 3 ו-4 EURO לדיזל לעומת תקני מדינת ישראל

Type of Diesel	Density (g/l) at 15 C	Aeromatic Polycyclic Hydrocarbons (max. %)	Cetane Number	Distillation Volatility. Temp. at which 95% of fuel collected in C	Maximum Sulfur Concentrations
<i>Israel (EN 590)</i>	860	6	50	360	50
EURO 3	845	11	51	360	350
EURO 4	840	2	55	340	10

החלטת הממשלה מס' חכ/46 בוצעה במלואה. החל מ-1 בינואר, 2004, לאחר ארבע שנות "שדרוג", עמדו תקני הדלק בישראל בדרישות האירופיות הקיימות (EURO 3), תחנות הדלק חויבו לספק דיזל שריכוז הגופרית בו 50 ppm, ואף החלו להורידו לכיוון EURO 4. כמו כן, בתחום הבנזין, הורד ריכוז הגופרית מ-1500 ppm ל-150, ובמכון התקנים החלו ההכנות לפרסום תקן המתיר ריכוז מרבי של 50 ppm (Gabbay, 2004).

רוב המומחים שרואיינו חשבו שלאחר השדרוג האמור, אפשר להשוות את תקני הדלק הישראליים לבנזין לתקנים האירופיים, ולאחר שיושלם המעבר לבנזין דל גופרית, אם אכן ייושם, הבנזין המקומי לא יזיק לממיר הקטליטי. אלה שחשבו אחרת הודו שאין להם עדויות מוצקות התומכות בעמדתם.

ואולם, למרות ההתקדמות המרשימה, אין לנקוט גישה של שאננות בסוגיית איכות הדלק ואיכות האוויר בישראל. רמת הפיקוח על איכות הדלק בישראל אינה גבוהה במיוחד וייתכן, כמו בכל תחום סביבתי, שיתגלו פערים בין התקנים הרשמיים לבין המצב בשטח – ברמת המשאבה. יתר על כן, ייתכן שהממירים כבר ניזוקו ברובם, לאחר תקופה ארוכה שבה סוגי דלק בישראל הכילו רמות גבוהות של גופרית ושל תרכובות אחרות, המזיקות לביצועיהם של ממירים קטליטיים. נציגי משרד התחבורה אישרו שאפשר שבעלי מכוניות השתמשו בעבר בדלק בלתי מתאים (דלק המכיל עופרת, למשל) שגרם לירידה בביצועי הממירים. ובכל זאת, אפשר לראות בחיוב את המדיניות הממשלתית הקיימת, ולהעריך שמגמה חיובית זו תימשך.

ממירים חלופיים

המומחים הישראליים שותפים להערכה שבעלי מכוניות אינם מחליפים, בדרך כלל, את הממיר הקטליטי שלהם כאשר הוא נפגעים או אינו מתפקד כראוי. בדיקה בכ-20 מוסכים כלליים בישראל מאשרת השערה זו. הסיבות העיקריות לתופעה הן עלותו הגבוהה של הממיר ועמימות של הוראות הפיקוח, שאינן מחייבות החלפת ממיר שנתגלו פגמים בביצועיו.

מאז נכנסו לישראל הממירים הקטליטיים, הושפע מחירם של ממירים חלופיים ממס ייבוא ששיעורו 84%, נוסף על 17% מע"מ. מחירו הממוצע של ממיר חלופי למכונית פרטית היה כ-4,000 ש"ח. לאחרונה כללו רשויות המס בישראל את הממירים הקטליטיים בקטגוריה של "ציוד בטיחות לרכב" – כדי לעודד את רכישתם. קטגוריה זו אכן פטורה ממכסי ייבוא, אולם דו"ח שפרסם משרד האוצר מראה שהירידה בעלויות לא באה לידי ביטוי במחיר הסופי לצרכן, מכיוון שבעלי סוכנויות לחלפי רכב השאירו את המחיר הגבוה והגדילו את רווחיהם.

בשנת 2002 הוציא משרד התחבורה הנחיה ששמה: "הנחיה להתקנת ממיר קטליטי חלופי בכלי רכב" (הנחיה מס' 75 RP). ההנחיה מאמצת ביסודה את התקנים האירופיים הקיימים לממירים קטליטיים (ECE 103) ואת התקנים הפדרליים של ארה"ב (כרך 51, מס' 150), בהתאם למקור ייצורו של הרכב: כלי רכב המיוצרים בארה"ב ישתמשו בממירים המתאימים לתקנים האמריקניים, וכלי רכב המיוצרים באירופה ישתמשו בממירים המתאימים לתקנים האירופיים. מחיריהם של ממירים חלופיים אלה נמוכים בהרבה ממחיריהם של ממירים מקוריים (עד 1,500 ש"ח, ללא אחריות), אולם לא תמיד הם זמינים. מסקר של מוסכים בארץ עולה, שמוסכים גדולים ומוסכים מרכזיים מציעים ללקוחותיהם לרוב ממירים מקוריים, ואילו מוסכים קטנים יותר מציעים ממירים חלופיים.

ההנחיה מגדירה את המצבים המחייבים להתקין ממירים – על פי סוג הרכב. ההנחיה אף קובעת שמשרד התחבורה רואה במכונאים ובעלי מוסכים שותפים במאמץ לצמצם את פליטת זיהום האוויר. למעשה, למכונאי מוסכים אין קווים ברורים שינחו את החלטותיהם בנוגע להחלפה של ממירים. זמינותם של ממירים חלופיים גנריים בשוק הישראלי לא שינתה שינוי של ממש את מחירם של הממירים או את גישתם של בעלי מוסכים.

התקנים הקיימים אינם עוסקים באפשרות (או בדרישה) למחזר ממירים שהוחלפו. שתי חברות בישראל קיבלו חסות בלתי רשמית מהמשרד לאיכות הסביבה ליכולת המחזור שלהם (לרבות שימוש חוזר בזרזים המתכתיים), אולם המודעות לשירותיהם הייתה עד

כה מזערית. אפשר שמחזור ממירים קטליטיים יזכה לעידוד אם יפורסמו תקנות ברורות בנושא – כמו התקנות הסביבתיות שקידמו את מחזור הנפט.

מומחים שנשאלו על התאמתן של תכניות סבסוד לבעלי כלי רכב מזהמים, שמעמדם הכלכלי נמוך, הביעו דעות שונות. הבסיס להבדלי הגישות נבע, כנראה, מתפיסות עולם כלכליות שונות, ולא ממחלוקת מקצועית. מומחים אחדים טענו שסיוע כספי לישראלים במעמד חברתי-כלכלי נמוך צריך להיות כללי ולא להתבצע באמצעות המדיניות הסביבתית. אחרים הציעו שהחלפת ממיר קטליטי במוסך המוסמך לכך תעניק לבעלי הרכב זכאות להנחות של ממש במבחן הרישוי השנתי. ראוי לציין, נכון להיום, שמחיר המבחן השנתי נמוך במידה ניכרת מעלותו של ממיר חדש, ולכן לתמריץ כזה אין משמעות כלכלית אמיתית.

תכניות הכשרה לבעלי מוסכים ולמכונאים

העוסקים בתחום איכות האוויר חולקים תחושה אינטואיטיבית שחלק לא מבוטל מבעלי המוסכים בישראל משמשים לעתים "שותפים לדבר עברה". ההערכה היא שבמוסכים רבים מסייעים לבעלי הרכב לשתק את הממירים הקטליטיים. נראה גם שמכונאים נוקטים לעתים קרובות אמצעים זמניים – כדי לסייע לבעלי מכוניות לעבור את בדיקת הפליטה במבחן השנתי באופן שלא יחייב החלפה של ממיר קטליטי פגום. אבי גזלנר, יו"ר התאחדות מכוני הרישוי, מתאר תופעה של מכונאים המשאירים במכונית מנגנון חלול הנראה כממיר קטליטי, אך למעשה אין בו שום מנגנון המסנן את הגזים. מספר רב של מכונאים מאשרים את הדברים; ה"ממיר" החלופי החלול, המכונה "דוד", מסייע לרכב לעבור את המבחן בלי שפעל לסינון הגזים.

כל עוד הקריטריון למבחן הפליטה "CO בהילוך סרק" תקף, ייתכן מצב שבו מכוניות שעברו את הבדיקה יוסיפו לזהם את האוויר בישראל. בדיקת הממירים הקטליטיים בתור חלק מהבדיקה השנתית, עם אפשרות של פסילה בגין פגיעה בממיר, הוצעה על ידי אנשי משרד התחבורה כתרופה אפשרית. בקרב המכונאים בישראל רווחת הדעה שממירים קטליטיים מעכבים את ביצועי המנוע (25% ירידה בעוצמה – זה הנתון שמשמיעים בעלי מוסכים ועובדיהם). כבר הוסבר לעיל שאין תוקף מכני להנחה כזאת, אך סילוקה תלוי במסע הסברה יעיל.

על פי התיאור שהובא לעיל, נראה שרוב מכונאי הרכב היום אינם מאנשי איכות הסביבה שיתגייסו במסגרת אסטרטגיית הטיפול בבעיית זיהום האוויר ממקורות ניידים

בישראל. לא ברור אם הדבר נעוץ בהיעדר ידע טכני בקרב המכונאים בישראל, היודעים, לטענתם, "להחליף ממיר קטליטי באותה קלות שבה מחליפים בלמים". לדעתו של אבנר פלור, המהנדס האחראי לתחום איכות האוויר במשרד התחבורה, הנושא החשוב ביותר הקשור לתכניות ההכשרה וההשתלמויות למכונאים צריך להיות "מודעות סביבתית". רק כאשר יפנימו המכונאים את ההשלכות הבריאותיות של פליטת מזהמים גבוהה, הם יהיו מחויבים יותר להפחתת פליטת הזיהום במכוניות לקוחותיהם.

מומחים אחרים טוענים שיש להפוך את בדיקת מצבם של הממירים הקטליטיים לפריט חובה בתכנית התחזוקה הנהוגה במוסד, כאשר המכוניות מגיעות לגיל נתון (100,000 ק"מ, למשל). למעשה, משרד התחבורה מגביל את הדרישה מהמוסכים בקשר לתכניות הטיפוליים המומלצות על ידי יצרני הרכב; הסמכות לדרישה זו מעוגנת בצו הפיקוח על מוסכים ויצרני רכב משנת 1957. אם רוצים לשלב בדיקה של ביצועי הממיר הקטליטי ושל הפליטה בבדיקות השגרתיות במוסכים בישראל, יש לפנות אל יבואני הרכב בבקשה שישנו את הנחיותיהם כך שתכלולנה בדיקות איכות אוויר, או – לחלופין – לחוקק חוקי משנה מיוחדים לנושא. עד אז יכול החינוך להציע פתרון חלקי.

מכונאים חדשים בתחום חייבים לקבל אישור של משרד התחבורה. כמו כן, כל המכונאים חייבים לעבור השתלמויות תקופתיות שמקיים משרד התחבורה בשיתוף עם משרד העבודה ועם התאחדות יבואני הרכב. עם זאת, קורסי ההסמכה וההכשרה מתמקדים בעיקר בהיבטים טכניים ולא בנושאים של בריאות או סביבה. זה תחום שבו מדיניות ציבורית יכולה להתערב כדי להרחיב את האוריינטציה הסביבתית בהכשרה של אנשי מקצוע בתחום הרכב.

מסע ציבורי לקידום נושא הממירים הקטליטיים

בקרב המומחים שהשתתפו בסקר הייתה מחלוקת ממשית בכל הקשור ליתרונות של מסע הסברה בקרב הציבור הישראלי – לעודד תחזוקה טובה של הממירים הקטליטיים. עם זאת, התומכים מציעים לא להגביל מסע הסברה כזה לממירים קטליטיים, אלא להרחיבו לבעיה הכללית של זיהום האוויר ממקורות ניידים. קהילת בעלי הרכב עדיין לא הכירה בחשיבותם של ממירים ושל תחזוקה שוטפת של מערכת הפליטה לאסטרטגיית האוויר הנקי של המדינה. המשרד לאיכות הסביבה רואה יתרונות סביבתיים בהשקת מסע הסברה כזה בהקשר פוליטי: אפשר שיוזמה ציבורית כזו תוסיף לו כוח במאבקים המסורתיים עם פקידים במשרד האוצר. כידוע, משרד האוצר נוטה להדגיש את העלויות

הישירות של יוזמות למניעת זיהום אוויר – לעומת העלויות הנסותרות הכרוכות באי עשייה.

מסע הסברה כזה, העוסק בנושא הממיר הקטליטי, צריך לכלול את הנושא של פגיעה בממיר. ד"ר טרטקובסקי מן הטכניון מניח שפלח נכבד של ציבור בעלי הרכב גאים בגלוי בכך שפירקו את הממירים הקטליטיים שלהם. חשוב לשכנע פלח זה שאין כל יתרון מכני בנקיטת אמצעים כאלה, אך יש להם מחיר סביבתי ברור. מכל מקום, ברור שמסע הסברה שיעסוק בזיהום האוויר מתחבורה לא יהיה הפתרון לבעיה אלא רק אמצעי משלים לאכיפה יעילה יותר.

תכניות עידוד לפרישה מואצת של כלי רכב ישנים בישראל

הנהגת תמריצים לפרישתם של כלי רכב ישנים בישראל נחשבה תמיד למדיניות בלתי סבירה, בשל מכסי הייבוא הגבוהים, שהפכו את החלפתם של כלי רכב ישנים ליקרה ביותר. המשרד לאיכות הסביבה הזמין סקר של תועלת מול עלות, לבדיקת הכדאיות של תכנית כזאת בישראל, על סמך הניסיון הבינלאומי (לביא, 2003). המחברים ביצעו סקירה מקיפה של תכניות דומות ברחבי העולם, ובעקבותיה ערכו ניתוח של מדיניות ישראלית אפשרית. ואלה הרכיבים המרכזיים של מדיניות כזו:

- מכוניות היעד: מכוניות בנות 23 שנים לפחות
- תשלום תמורת העברה לפסולת – 3,000 ש"ח
- תחזית השתתפות – כ-6,000-11,000 מכוניות
- מבין המכוניות שיסולקו, 70% יוחלפו במכוניות "נקיות" יותר
- שיעור הזיהום אחרי ההחלפה יהיה נמוך ב-80% מבמכוניות הישנות

החוקרים הגיעו למסקנה שאכן, יש היגיון כלכלי בהנהגת תכנית לפרישה מואצת מרצון בישראל. התברר שתכנית כזאת כדאית כשמדובר במכוניות ישנות, אך לא היה ברור אם תהיה כדאית באותה מידה כשמדובר במשאיות ובאוטובוסים. הם העריכו שהחיסכון – נטו – למשק הלאומי מתכנית זו יהיה 25-68 מיליון שקלים בחודש.

משרד האוצר בחן את הדו"ח והשתכנע שתיתכן תועלת ציבורית בקידום יוזמה של גריטת כלי רכב בישראל. כאמור, ביצוע המדיניות מתעכב, ככל הנראה מחמת הקושי בגיוס יזם או עסקים קיימים לקליטת כלי הרכב, לנוכח דרישות סביבתיות הקשורות לגריטתם.

תקני ייבוא וייצוא של כלי רכב

כמתואר לעיל, יש ברחבי העולם "הצפה" של העולם המתפתח בכלי רכב מזהמים מהעולם הראשון. אפשר לחשוש שישראל עלולה להיות חשופה אף היא לתופעה זו, אולם הסיכוי לכך אינו גבוה. תקני הייבוא הישראליים למכוניות משומשות מכונים תקני "ייבוא מקבילי", והם זהים לתקנים החלים על מכוניות חדשות. מספר קטן של סוחרים רכב עשויים למצוא דרכים לעקוף תקנים אלו או להפר אותם, אך התופעה של ייבוא כלי רכב משומשים היא היום תופעה שולית.

תושב החוזר לישראל יכול להביא את מכוניתו עמו. בייבוא אישי כזה לא מדובר, בדרך כלל, במכוניות ישנות, מפני שערך נמוך יחסית לעלות הגבוהה של ההעברה. יוחאי שנהר, מומחה לייבוא רכב ב-EMI, מעריך שמספר כלי הרכב המזהמים המיובאים בייבוא אישי מזערי. מכוניות כאלה, אם יובאו לארץ, יצטרכו לעבור בדיקות של פליטת אוויר.

יבואני רכב היו רוצים, כמובן, בהפחתת מחסומי הפיקוח המגבילים את הייצוא של כלי רכב ישנים מישראל – חלק מהמחויבות לסילוק כלי רכב מזהמים מכבישי ישראל. ואולם הפרוטנציאל של "ייצוא" כזה – בתור מערך משלים למדיניות הפרישה המואצת – אינו סביר בישראל בעתיד הנראה לעין. הסיבה קשורה לתפקידים המרכזיים של מכסי הייבוא בקביעת מחיר הרכב בישראל. לממשלה אין כל כוונה להציע את הנחות המס הנדרשות כדי לקבל את הרעיון לייצא כלי רכב משומשים מישראל. רכב משומש יהיה תמיד שווהיתר בישראל מבחו"ל, עקב השפעת מכסי הייבוא על ערך הרכב המשומש בשוק המקומי. אנשי איכות הסביבה יכולים להעלות טיעונים משכנעים על כדאיותן של הנחות מס ממשלתיות ליצואני מכוניות מזהמות, אך קשה להאמין שמשרד האוצר יסכים למדיניות כזאת.

מחקר עתידי ופיקוח

היעדר מידע קונקרטי – על שיתוף הפעולה הממשי מצד המכונאים, על מספר הממירים הקטליטיים שהוחלפו בישראל, על השפעת הדלק הישראלי על ביצועי הממיר הקטליטי ועוד – מראה שהפיקוח מצד ממשלת ישראל על בדיקת מערכות הפליטה בכלי הרכב ועל תיקון טעון שיפור. היעדר רשות רגולטיבית יחידה המפקחת על זיהום האוויר ממקורות ניידים נחשב לבעייתי בעיני כמה מהעוסקים בנושא. אין זה קשור בהכרח בצורך להגביר את שיתוף הפעולה בין שני המשרדים העוסקים בתחום, המשתפר בשנים האחרונות; ואולם המשרד לאיכות הסביבה ומשרד התחבורה אינם מסוגלים לקבץ יחדיו מסה

קריטית של מומחים ופקחים, בעלי ניסיון במכונאות רכב ובמערכות פליטה, כדי לטפל בבעיה.

מכל מקום, משיונהג תקן חדש ויעיל יותר לפליטה מכלי רכב, שייבדק במהלך המבחן השנתי, תהיה חשיבות מכרעת למעקב אחר יכולתו להעריך את יעילות פעולתו של הממיר הקטליטי. ישראל, שיש בה מערכות לניטור איכות האוויר – מן היעילות בעולם, התברכה בתשתית הערכה חלשה ביותר בכל הקשור לזיהוי המקורות הספציפיים של זיהום אוויר מתחבורה. על כך מעיד השיעור הגבוה של הנכשלים במבחן השנתי. סוגיה זו צריכה להפוך ליעד מרכזי של המשרד לאיכות הסביבה בשנים הבאות.

מסקנות והמלצות

הציבור הרחב אינו ער לחלק המרכזי של כלי רכב ממונעים בפגיעות בריאותיות הקשורות לזיהום האוויר, לא כל שכן – לחשיבותם של הממירים הקטליטיים ושל תחזוקת הרכב במניעת הזיהום. נדרש מסע הסברה רחב שיביא את המסר לידיעת הציבור, לגופים ממשלתיים ולגופים שאינם ממשלתיים, כדי להביא לשיפור המחויבות להפחתת זיהום האוויר מכלי רכב ישנים בישראל.

פרופיל כלי הרכב בישראל אינו שונה מהפרופיל במדינות מתועשות אחרות. כלי רכב ישנים (בעיקר רכב דיזל) תורמים לזיהום האוויר בשיעור החורג מהתחום הסביר. פתרון לדינמיקה זו נעוץ בתפקודם של ממירים קטליטיים המהווים המתקן הטכנולוגי המקובל לצמצום פליטות בדור הנוכחי של כלי רכב.

החל משנת 1975 – הוספו לצי הרכב הממירים הקטליטיים, תחילה בארה"ב ובמשך שנות ה-80 באירופה, כפתרון טכנולוגי מועדף לבעיית פליטת זיהום האוויר. הממיר, מעין "כבשן" קטן השורף גזים לפני פליטתם לאוויר, מסוגל להפחית את ה-CO כמעט לחלוטין, ולהחפית את מרבית הפליטות של פחמימנים ותחמוצות חנקן. במדינת ישראל, החובה להתקין ממיר קטליטי הופיעה לראשונה בשנת 1994 כמשתמע מתקני הפליטה החדשים שנדרשו מרכבים חדשים. היום 85% מכלי הרכב בנזין הנמכרים בעולם מכילים ממירים – ובישראל, מדובר ב-100%.

עתה עם מלאת עשור להנהגה המלאה של ממירים קטליטיים בצי הרכב, הגיעה שעתה של המדינה לשקול את עניין אורך חייו של הממיר ולהנהיג נהלים ברורים להחלפתו. מהלך זה הוא חלק חשוב באסטרטגיה הכוללת לשיפור איכות האוויר בישראל.

התשתית הקיימת בישראל בהקשר של זיהום אוויר מתחבורה היא תשתית מבטיחה ומושתתת על יסודות חשובים:

1. המבחן השנתי מופעל באופן מקצועי
2. קיימים תקנים לממירים חלופיים
3. ציבור המכונאים מוכשר על פי אמות מידה בינלאומיות
4. תקני הדלק הקיימים, בעיקר בקשר לריכוזי הגופרית והעופרת, די בהם לענות על צורכי הדור הנוכחי של הציוד לבקרות פליטה. המשך ההיצמדות לתקני הדלק האירופיים מספקת את צרכי הסביבה בישראל.

עם זאת יש מקום לערוך שינויים מיידיים בשני תחומים מרכזיים:

1. שינוי תקן הפליטה בטסט השנתי:

תקן הפליטה הנקבע בתקנת התעבורה 318 (א) קובע ריכוז של 0.5% CO עבור כל רכבי הבנזין המיוצרים אחרי 1995. תקן זה אמור לשמש בסיס במבחן השנתי להערכת ביצועי הממיר הקטליטי בכלי רכב בנזין, אולם בפועל הוא תקן מיושן ואינו בוחן את תקינות הממיר כלל. מדינות רבות בצפון אמריקה הנהיגו קריטריונים רחבים יותר לפליטות עבור הבדיקות השנתיות, באופן שמאפשר אפיון רמת הביצוע של הממירים התלת-כיווניים. למשל, זה שנים שקיימת בקנדה בדיקת דגם הדמיית תאוצה (ASM) עבור רכבי בנזין בזמן בדיקות פליטות CO, HC ו-NOx. הבדיקה כוללת בדיקה של ציוד בקרת הזיהום כדי לוודא שלא "חיבלו בו בזדון". טקסס, במשך מספר שנים חייבה אף היא את בעלי כלי רכב באזורים בהן רמות הזיהום גבוהות לעבור את בדיקת ה-ASM₂, המבוססת על דינמומטר שילדה המודד את הפליטות תוך הדמיה של תנאי נהיגה.

2. תדירות הבדיקות בכלי רכב ישנים נמוכה מידי:

אחרי תקופת פטור בת שנתיים לרכב חדש, נבדקים כלי רכב בישראל אחת לשנה עד שהם נמצאים על הכביש תשע עשרה שנה. כאשר הם מגיעים לגיל זה, בודקים אותם פעמיים בשנה. בעקבות הביצועים הגרועים של כלי רכב ישנים יותר מומלץ כי בדיקה דו-שנתית תתחיל כבר כאשר הרכב מגיע ל-10 שנים לעומת 19 כפי שנהוג היום במדינות אחדות.

להלן המלצות נוספות שיש ליישמן כדי לייעל את המערכת ולהגיע להפחתה משמעותית של זיהום האוויר ממקורות ניידים.

המלצות מרכזיות

1. לערוך תקן חדש של פליטה שיבחן את יעילות הממירים במצבים המדמים מאמץ של כלי רכב בנסיעה ולא רק פליטות במצב נייח.
2. להורות לבעלי המוסכים לזהות ממירים שניזוקו ולהנחותם לביצוע התיקונים הנדרשים בכלי רכב מזהמים.
3. לקבוע איסור על פגיעה בממירים (היום, בניגוד למרבית המדינות המערביות, אין כל בסיס חוקי בישראל למנוע את התופעה ולפעול נגד המסייעים בדבר).
4. חיוני להתקין ממירים בציי רכב ישנים, בעיקר מלכודות חלקיקים ברכב דיזל.
5. ניסוח הנחיות מפורטות לתחזוקה של מערכות פליטה בכלי רכב, לפי גילם, ופיקוח קפדני על תיקונים במוסכים, כדי להבטיח טיפול יסודי בהחלפת ממירים פגומים. לחינוך ולהכשרה של העוסקים במלאכה ובעלי המוסכים יכולים להיות חשיבות מכרעת במערכה לשיפור איכות האוויר.
6. בדומה למדינות באירופה וארה"ב, על הממשלה להכין תכנית לפרישה מואצת של כלי רכב. פרישה כזו תוכל לצמצם את פליטת המזהמים.
7. נוכח העובדה שקבוצות חלשות מבחינה חברתית-כלכלית נוטות להחזיק בכלי רכב ישנים יותר, ייתכנו השלכות חברתיות ליוזמות להארכת חיי הממיר הקטליטי ולשיפור ביצועים של כלי רכב ישנים. הניסיון הבינלאומי מצביע על דרכים **לרכך** מעמסה כזאת, לרבות סבסוד ממרים קטליטיים לבעלי כלי רכב עם הכנסות נמוכות.

ביבליוגרפיה

- הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, ירחון סטטיסטי, "תחבורה", ירושלים, 2003.
- המשרד לאיכות הסביבה (2004). "איכות אויר", www.sviva.gov.il.
- טל, א' (1993). "רפורמה במניעת זיהום אוויר מכלי רכב, לקראת עידן הממיר הקטליטי", הביוספירה, 6 (6), עמ' 22.
- טל, א' (1999). "האויר חינם", ארץ וטבע, ספטמבר-אוקטובר.
- טל, א' (2002). זיהום אויר מכלי רכב, נייר עמדה, מכון ירושלים לחקר ישראל, ירושלים.
- לביא, ד', בקר, נ', בן שלמה, ו' ואיתן, א' (2003). הערכה כלכלית של כדאיות גריטת כלי רכב בישראל, דו"ח סופי המוגש למשרד לאיכות הסביבה על ידי פארטו הנדה בע"מ.
- מדינת ישראל נגד יעקב הירש (2001). פ.ת. 5828/01, בית המשפט לתעבורה, ירושלים.
- פליקשטין, ב' (1999). "איכות אויר", סדרי עדיפות לאומית בתחום איכות הסביבה, עמ' 29.
- פליקשטין, ב' (2004). "מדיניות צמצום זיהום אוויר מתחבורה, ניסיון חיפאי", יום עיון, מכון ירושלים לחקר ישראל, 20 באוקטובר, 2004.
- תקנות מניעת מפגעים (זיהום אויר מכלי רכב בדרך), 2001, קובץ תקנות תשס"א, עמ' 283.
- תקנות התעבורה (1961) 318א.
- Aircare Vehicle Emissions Testing Program in Vancouver, British Columbia, Canada (2004) – Inspection Info., www.aircare.ca/insppinfo-bro-whatif.php.
- American Automobile Manufacturers Association (AAMA) (1997). *Study on the Effects of Fuel Sulfur on Low Emission Vehicle Criteria Pollutants*, Association of International Automobile Manufacturers, December, 1997.
- American Lung Association (2003). "How Is Car Maintenance Linked To Clean Air?" Brochure.
- Appel, B.R., Tokiwa, Y., Kothny, E.L. and Hahn, E. (1985). Visibility as related to atmospheric aerosol constituents, *Atmos. Environ.*, 19, pp. 1525-1534.

- BBC (2002). "Motorists to Pay London Toll", February 26, 2002, <http://news.bbc.co.uk/1/hi/england/1841315.stm>.
- Bearden, D. (1996). "A Clean Air Option: Cash for Clunkers", *Congressional Research Service Report for Congress*.
- Bunke, T. (1997). "Environmental Upgrade: The Potential for Chile to Use Market Incentives in Preparing for NAFTA Accession", *Colorado Journal of International Environmental Law and Policy*, vol. 8, p. 165.
- California Bureau of Auto (2003). "Consumer Assistance Program" Fact Sheet, available with Author.
- California Department of Consumer Affairs (2003). "Environmental Compliance for the Automotive Industry", <http://www.ccar-greenlink.org>.
- Casalino, J. (1995). "Shaping Environmental Law and Policy of Central and Eastern Europe: The European Union's Critical Role", *Temple Environmental Law and Technology Journal*, vol. 14, p. 227.
- CCAR — Green Line, "Environmental Compliance for the Automotive Industry", <http://www.ccar-greenlink.org/>
- CNN (2000). "California Pays Cash to Crush Clunkers", July 25, 2000 (www.cnn.com).
- Dietrich, W. (1996). "Harmonization of Automobile Standards Under International Trade Agreements: Lessons from the European Union to the WTO and NAFTA", *William and Mary Environmental Law and Policy Review*, vol. 20, p. 175.
- Dill, J. (2004). "Estimating Emissions Reductions from Accelerated Vehicle Retirement Programs", *Transportation Research, Part D*, 9(2):87-106 (2004).
- Dill, J. (2001). "Older Vehicles and Air Pollution: Insights from the 1995 NPTS", *Transportation Research Circular Number E-C026 Personal Travel: The Long and Short of It*, Conference Proceedings, June 28 — July 1, 1999, Transportation Research Board: Washington, D. C. (March, 2001).
- Epstein, M. (2002). "Air Quality", *Vital Signs, Israel*, Heschel Center, Tel Aviv.
- European Community Directive 96/96.
- European Policy Decisions (2004). "Road Traffic in Western Europe", www.swedetrack.com
- European Union (EU) (1998). Directive 98/77, Annex XIII (October, 1998).
- European Commission (2000). *The Auto-Oil II Programme, A report from the Services of the European Commission*, Brussels.
- European Union, Commission Directive 70/220/EEC.
- European Union (1998). Commission Directive 98/77/EC, 20 October, 1998.

- Gabbay, S. (2002). *The Environment in Israel*, Jerusalem, Ministry of Environment.
- Ganor, E. (1994). The frequency of Saharan dust episodes over Tel-Aviv, Israel, *Atmos. Environ.*, 28, pp. 2867-2871.
- Ginsberg, G., Aharon, S., Fletcher, E., Shemer, J., Koutik, D., Karsenty, E. (1998). "Mortality from Vehicular Particulate Emissions in Tel-Aviv-Jafo", *World Transport and Policy and Practice*, vol. 4/2, pp. 27-31.
- Goren, A., Helman, S. (2000). "The Impact of Air Pollution from Transportation on the Health of Children in Tel Aviv", Tel Aviv Medical School, Tel Aviv.
- Gray, G., Saligman, L. and Graham, J. (1997). "The Demise of Lead in Gasoline", *The Greening of Industry: A Risk Management Approach* (eds. J. D. Graham, J. K. Hartwell), Boston, Harvard University Press.
- Gutman, M., Tartakovsky, L. et. al. (1998). "Estimates of Emission Coefficients From Vehicles in Israel", *Proceedings of the ISATA Conference, 1998*.
- Guzy, G. (2002). "Reconciling Environmentalist and Industry Differences: The New Corporate Citizenship 'Race to the Top'?", *Journal of Land Use and Environmental Law*, vol. 17, p. 409.
- Hyper flow (2003). "Catalytic Converter Information", reprinted from *Turbo and High Tech Magazine*, <http://www.hyper-flow.com/technical.htm>.
- Harley, R. A., Coulter-Burke, S.C., Young, T.S. (2000). Relating Liquid Fuel and Headspace Vapor Composition for California Reformulated Gasoline Samples Containing Ethanol, *Environmental Science & Technology*, vol. 34, pp. 4088-4094.
- Lavie, D., Becker, N., Ben Shlomo, V., Eitan, E. (2003). "Economic Estimations of Feasibility of Vehicle Scrappage in Israel", Final Report to Ministry of Environment by Pareto Engineering, Ltd.
- MacErlean, N., "High Cost of Cleaning Air", *The Observer*, March 10, 2002, [http://observer/guardian.co.uk/print/0,3858,4371225-102272.00.html](http://observer.guardian.co.uk/print/0,3858,4371225-102272.00.html).
- Manufacturers of Emission Controls Association (MECA) (2003). *Clean Air Facts*, "The Catalytic Converter: Technology for Clean Air", available at: <http://www.meca.org/jahial/Jahial/cache/offonce/pid/229>.
- MECA - Manufacturers of Emission Controls Association (1998). *The Impact of Gasoline Fuel Sulfur on Catalytic Emission Control Systems*, Washington, D.C.
- MECA - Manufacturers of Emission Controls Association (2000). *Effective Catalytic Converter Replacement Programs for Gasoline-Powered Vehicles*, Washington, D.C.
- Minnesota, Pollution Control Agency (1998). "Catalytic Converters" (Air Operations and Planning Department).

- Nice, K. (2004). "How Catalytic Converters Work", <http://auto.howstuffworks.com/catalytic-converter.htm>.
- Peleg, M., Burla, E., Cohen, I. and Luria, M. (1989). Deterioration of Jerusalem limestone from air pollution, "Field observations and laboratory simulations", *Environmental Monitoring and Assessment*, 12, pp. 191-201.
- Petersen's Four Wheel Off Road (2004). "Cash for Clunkers: Why Does Big Brother Give a Hott About We're Already Drive?", www.4wheeloffroad.com.
- Prevention of Nuisance Standards (Air Pollution from Vehicles on the Road), 2001, K.T. 5761, p. 283.
- Radian Corporation (1994). "Audit Results: Air Care I/M program", Prepared for BC Ministry of Environment, Lands and Parks and B.C. Ministry of Transportation and Highways, December.
- Reitze, A. (2000). "Mobile Source Air Pollution Control", *The Environmental Lawyer*, vol. 6, p. 309.
- Ridge, J. (1994). "Deconstructing The Clean Air Act: Examining The Controversy Surrounding Massachusetts's Adoption Of The California Low Emission Vehicle Program", *Boston College Environmental Affairs Law Review*, vol. 22, p. 163.
- Schurway, D. (1999). "To Defeat Congestion, Attack Its Source", http://www.demandprice.com/lice_direct.htm.
- Society of Automotive Engineers (1996). *Snap Acceleration Smoke Test Procedure for Heavy-Powered Vehicles, J1667 Recommended Practice*.
- St. Denis, M. J. et al. (1996). "Effects of In-Use Driving Conditions and Vehicle/Engine Operating Parameters on Off Cycle Events: Comparison with Federal Test Procedure Conditions", *Air and Waste* 44, January, p. 31.
- Strasser, K. (1997). "Cleaner Technology, Pollution Prevention And Environmental Regulation", *Fordham Environmental Law Journal*, vol. 9, p. 1.
- Sukhvinder, K., Schoder, A. and Krishnakumar, A. (2001). "Ban Used Car Exports to Developing Countries", Environmental Seminar — Fojo, www.fo.hik.se.
- Tal, A. (2002). *Pollution in a Promised Land, An Environmental History of Israel*, Berkeley, University of California Press.
- Tal, A. (2003). "Improving Air Quality through Reform of Israel's Fuel Standards", Report submitted to the GM Foundation, Israel/U.S.
- Texas Department of Public Safety (2003). *All About The New High-Tech Emissions Testing Program*, http://www.txdps.state.tx.us/vi/publications/brochures/Overview_copy.htm.

- Thompson, S., McCarthy, J. (1999). *Sulfur in Gasoline*, Congressional Research Service, Washington, D.C.
- Tsang, M. (2002). "The Implementation of Stringent Emission Standards and Fuel Specifications, a Hong Kong Example", Better Air Quality in Asian and Pacific Rim Cities, Conference Proceedings, Hong Kong, December 16-18, 2002.
- United Nations Environmental Program (UNEP) (1999). *Older Gasoline Vehicles In Developing Countries and Economies in Transition: Their Importance and the Policy Options For Addressing Them*, Paris, France, UN Publication ISBN: 92-807-1796-9.
- U.S. Clean Air Act (1990). Title 42, Chapter 85, Subchapter I, Part A, Sec. 7401.
- U.S. Congress Office of Technology Assessment (1992). *Retiring Old Cars: Programs to Save Gasoline and Reduce Emissions*, OTA-E-536, Washington, D.C.
- U.S. Department of Energy (2000). "Catalytic Converters for Cleaner Vehicles" (fact sheet), April, 2000.
- U.S. EPA (1993), in 58 Federal Register, 11111, February, 23, 1993.
- U.S. Federal Register (1986), vol. 51, pp. 28114-28119.
- U.S. Federal Register (1999), vol. 64, pp. 10,660-10,661.
- U.S. National Academy of Science (2001). *Evaluating Vehicle Emissions Inspection and Maintenance Programs*, Executive Summary.
- U.S. Office of Technology Assessment (1992). Retiring old cars: Programs to save gasoline and reduce emissions. GPO 052-003-01288-0, Washington, D. C.
- Vehicular Particulate Emissions in Tel-Aviv-Jafo, *World Transport and Policy and Practice*, vol. 4/2, pp. 27-31.
- Wald, M. L. (1998). "EPA Says Catalytic Converter Is Growing Cause of Global Warming", *New York Times*, May 29, 1998.
- Wisconsin Vehicle Inspection Program (2003). *Annual Report* (Program Overview), http://www.wivip.com/annual_report/prog.html
- World Council for Sustainable Development (2002). *Sustainable Mobility*, July, 2002, Progress Report, Geneva, Switzerland, 8 *COLO. J. INT'L ENVTL. L. & POL'Y*, p. 165.
- World Health Organization (1996). "Diesel Fuel and Exhaust Emissions", *Environmental Health Criteria* 171, Geneva.