

נובמבר 2004

IV

מסמך עמדה

# סדרי עדיפות לאומית בתחום איכות הסביבה בישראל

כרך ב- משק האנרגיה  
והתחבורה בישראל



מרכזי הפרויקט -  
פרופ' יורם אבנימלך, ד"ר אופירה אילון  
הטכניון, מכון טכנולוגי לישראל

מוסד שמואל נאמן  
למחקר מתקדם במדע ובטכנולוגיה



הטכניון  
מכון טכנולוגי לישראל



## **סדרי עדיפות לאומית בתחום איכות הסביבה**

### **II. משק האנרגיה בישראל**

פרק 1: פיתוח משק אנרגיה בר קיימא בישראל- פרופ' דן זסלבסקי

פרק 2: הפחתת זיהום אוויר מתחבורה

פרק 3: זיהום מים קרקע ואויר בדלקים, שמנים ומזהמים אורגניים

## סדרי עדיפות לאומית בתחום איכות הסביבה, 2004

### כרך II - משק האנרגיה והתחבורה בישראל.

כרך זה הינו כרך שני מתוך שלושה מסמכי עדיפות לאומית בתחום הסביבה לשנת 2004. מסמכים אלה יוצאים לאור על ידי מוסד נאמן למחקר מתקדם במדע ובטכנולוגיה זו הפעם הרביעית, החל משנת 1999.

הכרך ראשון של המסמך השנה הוקדש לנושא החינוך הסביבתי, נושא הנראה לנו כמרכזי בתחום הסביבה. ללא התובנה של האוכלוסייה, המודעות של אנשי המקצוע והמעורבות הפעילה של מקבלי ההחלטות בתחום הסביבה, יהיה נושא הסביבה מוזנח ופגוע, בעיקר נוכח האינטרסים של בעלי עניין שונים, מגזר הנדל"ן, תעשיות ומגזרים עסקיים אחרים. אנו רואים את החינוך הסביבתי, ברמותיו השונות, מגן הילדים לאוניברסיטה, מהחינוך הפורמלי עד לפעילות של גופים ציבוריים ופעילות במסגרת הקהילה, כאמצעי חיוני לקידום תחום הסביבה בארץ ולכן הקדשנו לנושא כרך שלם.

הכרך הנוכחי מוקדש כולו לבעיות הקשורות במגזר האנרגיה והתחבורה בארץ, שוב תחום בעל חשיבות ראשונית לסביבה, לאיכות החיים ולכלכלה בישראל. בכרך זה שלשה פרקים:

1. משק האנרגיה בישראל תוך דגש על פיתוח משק בר-קיימא.
  2. תחבורה וסביבה.
  3. בעיות של זיהומי קרקע ומים מדלקים ומזהמים אורגניים.
- כל אחד מהפרקים כולל סקירה עובדתית לגבי נושא הפרק והמלצות למדיניות סביבתית נאותה.

#### הפרק הראשון בכרך זה עוסק בהרחבה וביסודיות במגזר האנרגיה.

כמעט כל פעולה במהלך חיינו מותנית בשימוש באנרגיה. החברה האנושית במאה ה-21 תלויה באנרגיה לבקרת האקלים, לתחבורה, לאספקת המים, להעברת אינפורמציה, להכנת האוכל וכו'. אנו תלויים באספקה של אנרגיה, כשרוב רובה של האנרגיה בה אנו משתמשים היא אנרגיה פוסילית. למקורות אנרגיה אלו חסרונות ומגבלות רבים. מקורות האנרגיה הפוסילית הולכים ומתכלים, וגם אם התחזיות הפסימיות לא התממשו, הרי שלגבי סופיות המקור אין וויכוח. בנוסף להתדלדלות מקורות הדלק, הרי העובדה כי חלק מאספקת הדלק העולמית תלויה במקורות שאינם מהימנים, אם בגלל משטרים לא יציבים או בגלל תלות כזו או אחרת בטרור - כל אלה מגבילים יציבות ואמינות אספקת הדלק.

ליצירת האנרגיה משמעות סביבתית. פחם ודלק נוזלי מלווה בשריפתו לשחרור דו תחמוצת הפחמן, גז המביא להגברת אפקט החממה, מעבר לוויסות שהיה בעולם מזה מיליוני שנים, ולשינויים אקלימיים בעלי משמעות גורפת כמעט לכל פעילויות חיינו. בנוסף גורמת שריפת הדלק לפליטה של מזהמי אוויר קונבנציונאליים כמו תחמוצות גפרית וחנקן, חלקיקים ועוד. נושא זה מקבל דגש רב יותר ויותר כיום עם הגברת השימוש באנרגיה בארצות כסין והודו שעד לאחרונה צרכו מעט מאד אנרגיה לנפש. המשך "העסקים כרגיל" בתחום זה יכול להיות קטסטרופלי ובעל

משמעות גלובלית חמורה. העלות שאנו, כחברה, משלמים למעשה עבור האנרגיה גבוהה במידה נכרת מזו המשולמת בקופה, מאחר וכל שימוש ביחידת אנרגיה מביא לנזק סביבתי, המתבטא בחשבון ארוך הטווח גם בנזק כלכלי. יש צורך חיוני בהכללת העלות החיצונית במחיר האנרגיה, הן לשם תמחור נכון של השימוש והן ככלי לדרבון פיתוח ושימוש בחלופות שנוזקן לסביבה נמוך יותר.

קיימות מספר דרכים לשנות מסלול ה"עסקים כרגיל":

בראש ובראשונה יש מקום לחסכון באנרגיה. הערכות המובאות בפרק זה מורות על האפשרות לחסוך למעלה מ 20% מצריכת האנרגיה לחשמל על ידי פעולות פשוטות של חסכון ויעול. כדוגמה, בעבודה אחרת המבוצעת בימים אלו על ידי מוסד נאמן מתברר כי ניתן לחסוך אחוזים ניכרים מצריכת האנרגיה למיזוג האוויר על ידי השימוש במזגנים יעילים יותר. יש מקום לחסוך עד ל 40% מצריכת האנרגיה לחימום וקירור הבית על ידי תכנון נכון, שימוש במערכות לבידוד ושימוש בקירור וחימום טבעיים, כפי שפורט ע"י פרופ' עדנה שביט ורחל בקר, בדו"ח קודם של מוסד נאמן (2002).

פתרונות יסודיים יותר יבואו על ידי הגברת השימוש במקורות אנרגיה מתחדשת. ניתן לייצר חשמל על ידי ניצול הרוח, דבר שמבוצע בהיקף נרחב בארצות שונות ואינו מיושם כמעט אצלנו. כן ניתן לקדם בהרבה השימוש הישיר והעקיף באנרגיית השמש. בפרק מובאת סקירה נרחבת לשיטות השונות תוך הדגשת שיטת ארובות השרב, שיטה שפותחה על ידי מחבר הפרק, פרופ' דן זסלבסקי. יש לציין כי פרק זה שונה בדרך הכנתו מהנוהל הקיים במסמכי מדיניות הסביבה שלנו לדורותיהם. ככלל, כל הסקירות שהוגשו עד היום התבססו על עבודת צוותים מתאימים תוך ניסיון לייצג הקונצנזוס המקצועי בתחום. הפרק הנוכחי נכתב על ידי פרופ' זסלבסקי תוך מעורבות מינימלית של המערכת ולכן הוא מייצג את דעותיו של המחבר ומבוססות על נסיונו הרב ועבודתו בתחום.

חישובים מפורטים המובאים בפרק מראים כי בתחשיב נכון, תחשיב הכולל עלויות חיצוניות, מתחרים מקורות אנרגיה חלופיים במחיר האנרגיה הקונבנציונאלית. הפרק דן בפערי ידע ונושאי מחקר חשובים לפיתוח מקורות אנרגיה חלופיים.

### **הפרק השני בכרך זה עוסק בתחום התחבורה.**

נושא התחבורה מהווה גורם ראשוני לאיכות הסביבה ולאיכות חיינו. בהתאם לסיכומי המשרד לאיכות הסביבה וארגונים סביבתיים, הרי הגורם העיקרי הקובע איזה אוויר אנו נושמים הינו התחבורה, ובוודאי כך בסביבה העירונית בה חיים רובנו. יתר על כן, האיכות הפגועה של האוויר אותו אנו נושמים הינו הסיבה העיקרית לתחלואה ותמותה בגלל גורמי סביבה (המחקרים מצביעים על תמותה עודפת של למעלה מ 1000 איש כתוצאה מזיהום אוויר תחבורתי בגוש דן בלבד). בנוסף להשפעה הרבה של התחבורה על איכות האוויר ובריאותנו, למערכת התחבורה השפעה רבה על איכות חיינו. האזרח הישראלי מבלה זמן רב בפקקי תנועה ונתקל בקשיי תחבורה יום יומיים. עומס התחבורה מביא בוודאי לעליה במכת המדינה של תאונות הדרכים. גם כאן עולה במהירות ההכרה כי עד כמה שמחירי הדלק גבוהים כיום (מעל 5 ₪ לליטר בנזין), הרי שהמחיר האמיתי של השימוש ברכב הפרטי גבוה אף בהרבה מכך.

ניתן לשפר את המצב על ידי נקיטה באמצעים טכנולוגיים שכבר קיימים: הרחבה והעמקה של השימוש בממירים קטליטיים ומערכות אחרות להקטנת פליטת מזהמים מכלי רכב, שימוש בכלי רכב יעילים יותר, מעבר לרכב היברידי (ההולך ונכנס לשימוש בארצות אחרות) וברכבים המונעים בדלקים נקיים. אולם, האמצעים הטכנולוגיים חייבים ליווי באמצעי מדיניות. יש צורך באמצעים כלכליים של מקל וגזר לעידוד השימוש ברכבים יעילים, יש צורך באכיפה לשימוש במסננים למיניהם ועוד. מעבר לכך, יש צורך במדיניות לניהול תחבורה, להקטנת השימוש ברכב הפרטי בשעות הגודש ובמרכזי הערים ויותר מכך, קידום, שיפור ועידוד השימוש בתחבורה הציבורית. מתברר, כי קידום תחבורה ציבורית יעילה וטובה הינו האמצעי היעיל ביותר להקטנת הפגיעה הסביבתית של התחבורה. בנוסף לכך, קיים ההיבט החברתי. לא לכל האוכלוסייה האפשרות הכספית לשימוש ברכב הפרטי. פיתוח מערכת תחבורה וחברה הבנויים כמעט בלעדית על השימוש ברכב הפרטי מביאה להגדלה נוספת של הפער הקיים בין עשירים לעניים, בריאים לחולים, פער חמור בכל מדינה, אך בוודאי כך אצלנו, כמדינה הבנויה מרבדי חברה שונים שעדיין לא התמזגו. הפעלת מדיניות תחבורה כוללנית הכוללת פיתוח וקידום תחבורה ציבורית נאותה חיוני לאיכות האוויר, לשימור סביבה ירוקה, לשיפור המתווה החברתי שלנו ועוד. חשוב מאד לקדם נושא זה. אנו רואים את הסקירה המובאת כאן ואת הצעות המדיניות בפרק זה כשלב חשוב לקידום הנושא.

**הפרק השלישי דן אף הוא בנושא הקשור למשק האנרגיה והוא - זיהומי קרקע, מים ואוויר בדלקים שמנים וחומרים אורגניים.**

הזיהום בדלקים, שמנים, ממיסים אורגניים ומזהמים אורגניים אחרים מהווה סיכון סביבתי חמור ביותר. חדירה של מזהמים אורגניים למקורות מי שתייה עלול לפסול השימוש במים, גם כשמדובר בריכוזים נמוכים ביותר. חדירה של מזהמים אורגניים למערכת הביוב מביאה לאילוח של הקולחים ולסיכון בשימוש בהם, גם לאחר טיפול בקולחים. הזיהום האורגני מצטבר בקרקע וכבר כיום יש בארץ מוקדים לא מעטים של קרקע מזהמת ומסוכנת, שטחים בהם לא ניתן לבנות וקרקעות מזהמות המסכנות בריאות התושבים החיים בקרבת מקום. בקרקע מזהמת בזיהום אורגני מצויים אדים של החומרים האורגניים, כשחלקם רעילים ומזיקים. כבר כיום יש אזורים בהם חודרים לקומות התחתונות ובעיקר, לקומות תת קרקעית אדים רעילים כאלו. **הבעיה חמורה ביותר לדעת כל המומחים ולדעת כל הנוגעים בדבר. הערכות למניעה ולפתרון הבעיה חייבת להיות בעדיפות גבוהה.**

**כל המומחים אשר נטלו חלק בהכנת המסמך מצפים להערכות נאותה של המדינה ומוסדותיה לטיפול ולפעולה.**

במהלך התקופה בה עסקנו בנושא, יצא דו"ח של מבקר המדינה הסוקר בעיות איכות הסביבה בתשתיות חברות האנרגיה. הדו"ח מעלה ליקויים חמורים בפעולת חברות האנרגיה והגופים הממלכתיים העוסקים בנושא.

הפעולה הנדרשת בתחום זיהומי דלק ושמנים מצויה בתחום הפעולה של מספר משרדי ממשלה: המשרד לאיכות הסביבה ונציבות המים, אך גם בתחום אחריות וסמכות של מנהל האנרגיה במשרד התשתיות, משרד התחבורה, התמ"ת, רשויות התכנון וכמו תמיד, משרד האוצר. קיימת בעיית תיאום בין הגופים השונים. אחת ההצעות לקידום הטיפול בנושא הינה הקמת מנהלת המשותפת למשרדים השונים, מנהלת שאחריותה העיקרית תהא הטיפול בבעיה.

הפיקוח והבקרה על מניעת זיהומי דלק על ידי הסקטור הממשלתי הינו מאבק של יחידות ממשלתיות דלות בתקציב ובאנשים מול גופים כלכליים חזקים, אלפי עובדים והרבה מיליוני דולרים, יורו ושקלים. הפתרון האידיאלי הינו העברת הפיקוח והבקרה לתעשייה עצמה, תוך קיום מערכת על ממשלתית שתבדוק ותבקר מבחוץ את מימוש הפעולה. קיימת אפשרות כזו באם האחריות למניעת הזיהום תוטל על בעל המתקן. אחריות כזו מוכרת לנו בהרבה תחומים כשבעל רכוש חייב לבטח רכושו (בנין, עבודת עפר או מוצרי צריכה) בפני גרימת נזק. בארצות רבות קיימת חובת ביטוח סביבתי. בארה"ב מפותח מאד נושא הביטוח הסביבתי, כשכל תחנת דלק חייבת בביטוח כזה לנזק אפשרי של מספר מיליוני דולרים, כשהאחריות על זיהום קרקע חלה על בעל הקרקע. ביטוח סביבתי הינו מימוש מנהלי וכלכלי של עקרון "המזהם משלם" ויהווה הליך לדרבון התעשייה לעשות כל הניתן למניעת נזקים סביבתיים. מומלץ מאד להחיל עקרון זה על מגזר הדלק בראש ובראשונה, כשלאחריו ניתן יהיה להשתמש בעקרון זה על מגזרים אחרים.

**אנו שבים וחוזרים על תקוותנו כי העמל הרב שלנו ושל צוותים שבצעו עבודה מסורה להכנת החומר, יביא להעלאת המודעות לנושאים שהועלו בסקירות אלה, להעמקת הדיון המקצועי ולסייע לקידום המדיניות הסביבתית בישראל.**  
**כן אנו מצפים מכם, קהל הקוראים, לתגובות, הערות והעמקת הדיון.**

פרופ' יורם אבנימלך  
ד"ר אופירה אילון

עורכים.

## פרק 1: פיתוח משק אנרגיה בר קיימא בישראל

פרופסור (אמריטוס) דן זסלבסקי<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> פרופ' דן זסלבסקי מכהן כפרופסור אמריטוס בפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית בטכניון (פרופסור מן המניין משנת 1970). פרופ' זסלבסקי כיהן במגוון רב של תפקידים: דיקן הפקולטה להנדסה חקלאית בטכניון, מדען ראשי של משרד האנרגיה (כיום, משרד התשתיות הלאומיות), נציב המים למדינת ישראל, יועץ לחברות שונות בתחומי פיתוח שונים בארץ ובחו"ל לרבות, מנהל המחקר החקלאי בארה"ב. כיום, פרופ' זסלבסקי הוא יו"ר המועצה הלאומית למחקר ופיתוח.





## תוכן העיניינים

4	תקציר
5	מבוא
6	הקדמה
7	פרק 1 – משק האנרגיה בישראל
9	פרק 2 - העלויות החברתיות החיצוניות של שימוש בדלקים עקב פגיעה בסביבה
9	2.1 עלות חיצונית
11	2.2 ההשקעות המותרות באנרגיה חלופית
14	פרק 3- מגוון הפתרונות המאפשרים יצירת משק אנרגיה בר קיימא בישראל
14	3.1 חשבונאות ירוקה
15	3.2 פתרונות טכנולוגיים
21	פרק 4: טכנולוגיות לאנרגיה חלופית
21	4.1 מקורות אנרגיה מפירות השמש
29	4.2 דרישות שטח לייצור חשמל וחום
30	פרק 5: תכנית פעולה אפשרית לשימור אנרגיה וניצול מקורות מתחדשים
39	ביבליוגרפיה
42	נספח I: תקציר מהספר "פיתוח בר-קיימא של אנרגיה בישראל - הערכת מצב ותכנית", יולי 1999
51	נספח II - דו"ח האנרגיות החליפיות

## רשימת טבלאות:

30	טבלה 1: השקעות מותרות בדולרים בקילוואט ממוצע נטו כדי למנוע עלויות חברתיות חיצוניות במשך
11	שנה בגין השימוש בדלק
13	טבלה 2: השקעות מותרות בדולרים לקילוואט ממוצע נטו לפי ריבית של 5% למניעת שריפה של דלק ...
13	טבלה 3: השקעות מותרות בדולרים לקילוואט ממוצע נטו לפי ריבית של 0% למניעת שריפה של דלק ..
16	טבלה 4: תועלות משמור אנרגיה בישראל 1977-1995 (עפ"י נתוני האגף לשימור אנרגיה)
16	טבלה 5: תקציב לשימור אנרגיה בישראל 1986-1999 (עפ"י נתוני האגף לשימור אנרגיה)
16	טבלה 6: תקציבי שמור אנרגיה בישראל, ארה"ב והולנד בשנים 1998/1999
20	טבלה 7: פוטנציאל שימור אנרגיה בישראל (עפ"י נתוני האגף לשימור אנרגיה)
29	טבלה 8: דרישת שטחים בטכניקות שונות, לייצור חשמל בלבד

## תקציר

מסמך העמדה המובא להלן הינו תקציר מתוך מסמך מלא שהכין פרופ' דן זסלבסקי. את המסמך המלא ניתן למצוא באתר האינטרנט של מוסד ש. נאמן ([www.neaman.org.il](http://www.neaman.org.il)).

המסמך מבוסס בחלקו על שתי עבודות קודמות: האחת שהסתיימה ודווחה ב 1999 על ידי צוות של 25 מומחים, במסגרת פרויקט בר-קיימא שארגן המשרד לאיכות הסביבה. העבודה השנייה נעשתה בעקבות החלטה של וועדת שרים להקים וועדה לבחינה של אנרגיות חליפיות מה- 6.8.98. הדוח הוגש באוגוסט 1999.

### להלן הבעיות העיקריות שיש צורך לעסוק בהן:

1. ייבוא דלק לישראל (ל - 97% מכל השימוש באנרגיה) מהווה נטל כבד ביותר על מאזן התשלומים, וצפוי שהוא ילך ויגדל.
2. לניודים במחירי הדלק יש השפעה קשה מאוד על המשק, מבחינה חישובית וכן בתצפיות הנזק שהיה סביב 6% מכל התוצר הלאומי-הגולמי.
3. אי אפשר להתעלם מהעובדה שמאגרי הדלק הם סופיים. נפט וגז עשויים להיגמר תוך מספר עשרות שנים, אולם, הרבה לפני כן מחירים יאמירו.
4. לתלות בייבוא דלק ישנן משמעותיות מדיניות וכלכליות מרחיקות לכת. לחלוקה מאוד לא אחידה של מקורות אנרגיה פוסיליים ישנה משמעות מדינית קשה- שכן היא קשורה במדינות מוסלמיות קיצוניות הדוגלות בטרור.
5. ישנה חשיבות ממדרגה ראשונה גם בבטיחות האספקה של אנרגיה בישראל עצמה, בין אם בגלל תלות ביבוא, ובין אם בגלל פגיעות אפשריות במתקנים בארץ.
6. השימוש בדלק גורם לזיהום הפוגע במצב איכות הסביבה המקומית והעולמית, תוך פגיעה בקיום מינים, בריאות האדם ומביא אף לנזקי רכוש. מספר הנפטרים בישראל בגלל זיהום אויר מוערך באלפיים לשנה. ישנה עלייה בעשרות אחוזים במחלות דרכי הנשימה ([www.iued.org.il](http://www.iued.org.il)).
7. בהיבט הגלובלי, יש להעריך לקריאה העולמית הדורשת להפחית רמת הפליטה של גזי החממה לרמה שלפני 1990. ישראל אישרה את פרוטוקול קיוטו בפברואר 2004. כרגע, מוגדרת ישראל כמדינה מתפתחת והיא נדרשת רק להכין רשימת מצאי של הפליטות (מטלה זו בוצעה) אולם, אין ספק כי בעתיד, ללא קשר עם ההגדרה הפורמאלית של מדינה מתפתחת או מפותחת, תצטרך ישראל לא רק להציג מסמכים המציגים דרכים אפשריות להפחתת פליטות, אלא לבצע הפחתות אלה בפועל ( IPCC, 1990; Koch & Dayan, 1997, אבנימלך ובורל, 2002).
8. הנזקים העקיפים משימוש בדלק (התחממות גלובלית, מחלות, תמותה עודפת, פגיעה ביבולים חקלאיים ועוד), הנקראים "עלויות חברתיות", נמדדים בלא פחות מאשר הכפלת ההוצאה ליצור קוט"ש חשמל.

### הפתרונות המאפשרים להתגבר על הבעיות שהוצגו לעיל:

1. שימוש יעיל באנרגיה וחסכון;
2. פיתוח מקורות מקומיים של אנרגיה, ועד כמה שאפשר, נקייה ומתחדשת, לרבות, אנרגית רוח, שימוש בביומסה והשקעה ממשלתית בטכנולוגית "ארוכות השרב" אשר תפורט בהמשך.
3. הפחתת הזיהום בכלל, וגזי החממה בפרט (ולא רק מייצור אנרגיה);
4. בנייה מחדש ועידוד של מחקר ופיתוח בתחום התשתית, ובעיקר מים ואנרגיה כאשר ההיקף הדרוש צריך להיות בערך 3% מההוצאה הכוללת של התחום.
5. הפסקה מיידית של סבסוד חשמל;
6. חישוב "ירוק" הלוקח בחשבון את העלויות החברתיות.

## מבוא

מוסד ש. נאמן עוסק זה שנים בנושא האנרגיה על כל תחומיו והשלכותיו. מבין פעילויותיו ניתן למנות שותפות ב OPET ישראל [פרויקט השייך לאיחוד האירופי ומטרתו, לקדם שימוש בטכנולוגיות אנרגיה חדשות ומתחדשות, קידום פעילויות לחיסכון ושימוש יעיל באנרגיה בכל המגזרים. אופט ישראל מתמקדת בקידום נושאים כגון הטמעת טכנולוגיות חדשות (מוסד נאמן עסק בקדום טכנולוגיות רוח וארובות שרב) וכן, גיבוש מדיניות אנרגיה ופיתוח בר קיימא בקרב קובעי מדיניות בסקטור האנרגיה]. בנוסף, הכין מר אמנון ענב, לשעבר מדען ראשי במשרד התשתיות הלאומיות, עבור מוסד נאמן, סקר בנושא האנרגיה בישראל (ענב, 2003).

מספר נקודות בסקר הצביעו על הצורך בחקר ובהרחבת הנושא במסגרת מסמכי העדיפות הלאומית, אותם מוציא מוסד נאמן מאז 1999. תכנון מערך האנרגיה בישראל לוקה, שכן הנתונים מצביעים על הרעה ביחס שבין צריכת האנרגיה לעומת התל"ג. הכלים הכלכליים המיועדים לבחון את חלופות הפיתוח של משק החשמל עצמו, אינם מתאימים לקביעת יעדים עבור משק האנרגיה. לא נקבעו מדדים שבוחנים גיוון וביזור מקורות אספקת האנרגיה. המדינה לא יצרה תנאים להגברת התחרות במשק. לא נבדקה המשמעות הכלכלית האמיתית של הבטחת רמת אמינות אחידה של אספקת החשמל לכל חלקי המשק. קיים ליקוי בכל הנוגע לשמירה על איכות הסביבה. אין ניצול מושכל של משאבי הקרקע לצורכי תשתיות. ניהול הביקושים לאנרגיה לא קיים. יש צורך ליצור שיפור היעילות והנצילות של המשק האנרגיה ולפתח מקורות אנרגיה חלופיים ועצמאיים במשק הישראלי.

מדיניות אנרגיה צריכה להביא בחשבון את ההתפתחויות הגיאופוליטיות הצפויות וגם את השינויים הטכנולוגיים הצפויים באופן שניתן יהיה להשפיע על המצב שיתקיים בישראל בתחום האנרגיה. למדינת ישראל ארבע מטרות אסטרטגיות בתחום האנרגיה, בהן ידון המסמך ויציע חלופות ופתרונות אפשריים.

1. הגדלת יעילות השימוש באנרגיה מתוך מטרה לחזק את הכלכלה (יותר תוצרים שימושיים בפחות אנרגיה) ולשפר את איכות החיים של התושבים.
2. הקטנת החשיפה של כלכלת ישראל לשינויים הצפויים לקרות במערך הספקת האנרגיה העולמי, בטווח הקרוב והרחוק.
3. מניעת פגיעה בסביבה על ידי כל המערכות המספקות אנרגיה, בייצור, במסירה ובחלוקה למשתמשים.
4. מיזעור החשיפה הבטחונית הנובעת משימוש נוכחי ועתידי באנרגיה.

## הקדמה

במשך השנים האחרונות נעשו בארץ כמה עבודות בנושא של פיתוח בר-קיימא של משק האנרגיה או בצורך באנרגיות חלופיות, בהפחתת גזי חממה בישראל, ובהפחתת הנזקים הנגרמים כתוצאה מהשימוש באנרגיה מוזנת בדלק והפחתת הסכנות המאיימות- במובן הפיזי, הבריאותי, הכלכלי והביטחוני.

ב- 1998 הוקם על ידי המשרד לאיכות הסביבה צוות של 25 מומחים לגבוש מדיניות אנרגיה בת קיימא בישראל. התוצאה היתה דו"ח מקיף של בעיות האנרגיה ואפילו תכנית פיתוח קוסמת ביותר מבחינה כלכלית וסביבתית.

דו"ח מוסכם על כל החברים התפרסם ב - 1999. הדו"ח צפה עלייה של מחירי הנפט קרוב ל- 30 דולר לחבית עד סוף העשור (היום המחיר עומד סביב \$50) והבשורה החיובית מאז פורסם הדו"ח היא כי התגלו כמויות גז גדולות בשטח ישראל וראוי לנצלן (אם כי אין לשנות את הניתוח ביסודו בגלל תוספת הגז).

תמצית ממצאי ומסקנות המסמך מופיעים בנספח מס' 1.

צוות בינמשרדי לבחינת הפיתוח והניצול של אנרגיות חלופיות, מונה על ידי השר לאיכות הסביבה באוקטובר 98 אשר יעדיו הוגדרו בהמשך להחלטת ממשלה מס' 4139 (ה"מ מיום 6.8.98) והמובא להלן:

*"יש להביא להפחתת התלות בדלק מיובא ולהקטנת זיהום הסביבה".*

*"על הצוות לגבש הצעת החלטה שתכלול:*

*א. אמצעים תחיקתיים ומנהליים לקידום שימוש באנרגיה חלופית.*

*ב. פרויקטים מומלצים.*

*ג. דרכים לשילוב משקיעים מהארץ ומחו"ל בפרוייקטים המנצלים אנרגיות חלופיות".*

בצוות הבינמשרדי השתתפו נציגים מהמשרדים הבאים: אוצר, משרד הפנים, משרד התשתיות, משרד התמ"ס, המשרד לאיכות הסביבה, משרד המדע, האקדמיה, ומנהל קונסורציום "קונסולר" ממשרד המסחר והתעשייה.

בנספח 2 מובאים עיקרי הממצאים וההמלצות העיקריות.

ישנה חפיפה ניכרת בין מסקנותיו ובין מסקנות הדו"ח של פיתוח בר-קיימא מאותה שנה.

בפרק זה, המובא במסגרת מסמך העדיפויות הרביעי בתחום איכות הסביבה, נציג בקצרה את בעיות משק האנרגיה הישראלי ואת העדיפויות והקדימויות הנדרשות על מנת לבססו כמשק בר קיימא.

**חשוב לציין, כי בכל העבודות שהוזכרו לעיל, לא נמצא קונפליקט בין שיקולים כלכליים ושיקולים סביבתיים.**

## **פרק 1 – משק האנרגיה בישראל**

היקף הפעילות במשק החשמל בלבד הוא 3-5 מיליארד דולר בשנה, יותר מפי 5 ממשק המים. גידול יבוא הנפט מ-1990 ל-2002 היה מ-11 מיליון טון ל-20 מיליון טון בקרוב. צריכת החשמל גדלה מ-20.9 מיליארד קוט"ש לשנה ב-1990, ל-45.4 מיליארד קוט"ש לשנה ב-2003. ההכנסה הגולמית במשק גדלה באותה תקופה רק ב-20%. זאת בשעה שבאירופה עצימות השימוש באנרגיה ירדה, כלומר, שימוש באנרגיה עלה פחות מהעלייה במספר התושבים או ברמת החיים. בישראל, לעומת זאת, העצימות עלתה.

### **בעיות משק האנרגיה בישראל**

נמנה להלן בצורה יבשה את הדאגות העיקריות בקשר למשק האנרגיה, את הסיכונים ואת הנזקים הממשיים.

#### **1. ייחודיות משק האנרגיה הישראלי**

ישראל הינה "אי" מבודד מבחינה חשמלית, ואי קטן מאוד. לעובדה זו השלכה עצומה לגבי החובה לייצר רזרבות גדולות מאוד על מנת להבטיח אמינות אספקה.

#### **2. עליית מחירים ומאזן תשלומים**

יבוא דלק בישראל היה ב-2002 בהיקף של 20 מיליון טשע"נ (טון שוה ערך נפט). עלות יבוא והפקה של דלק גולמי 9.5 מיליון טון נפט, בעלות של 1.68 מיליארד דולר, ויבוא פחם 12.75 מיליון טון בעלות של כ-700 מיליון דולר בשנה, ובסה"כ כ-2.4 מיליארד דולר בשנה, כ-10% מהיבוא, או כ-400 דולר לנפש לשנה. על ידי נקיטת צעדי חסכון (שיפורטו בהמשך) במגזרי האנרגיה, החיסכון במטבע זר עשוי להגיע ל-500 מיליון דולר בשנה ומעלה.

#### **3. ניודי מחירים**

הניודים במחירי הנפט הם קיצוניים. הנזק הכלכלי מכך עשוי לעלות על 6% מהמדד. יש לעשות מאמץ להקטין ככל האפשר את התלות ביבוא דלק ולייצב את מחירו. יש לציין כי השקעות באנרגיה ממקורות מתחדשים זוכות ביתרון יחסי גדול יותר גם בגלל אמינותן. לאור סעיפים 2 ו-3 לעיל, התחזית של עלייה ניכרת של עלויות אנרגיה מיובאת או לפחות ניודים קיצוניים שלה יפגעו מאוד במאזן התשלומים של ישראל וברווח של כלכלתה. חשוב להדגיש כי צמצום או ביטול הסבסוד של החשמל ועליית מחירי הדלק עשויים לייקר את התפלת המים ב-40%.

#### **4. ריכוזיות משאבי האנרגיה העולמיים**

החלוקה הבלתי אחידה של מקורות הדלק, השאירה חלק ניכר ממשאבי האנרגיה בידי עשרות המדינות המוסלמיות. הדלק משמש אמצעי סחיטה מהמערב והוא מקור המימון החשוב ביותר של הטרור העולמי. כל תרומה, ולו קטנה, לעצמאות השימוש באנרגיה היא בעלת ערך סגולי גבוה.

#### **5. סופיות מאגרי הדלק**

מעבר לבעיות שהזכרנו לעיל, צריך לזכור שמאגרי הנפט והגז הטבעי יגמרו תוך עשרות שנים מועטות, על כל המשמעויות הכלכליות-פוליטיות-טכנולוגיות הנובעות מכך.

#### **6. פגיעות סביבתיות מקומיות**

מחקר משותף למשרד לאיכות הסביבה ולעמותת אדם טבע ודין, בשיתוף ה-EPA (הסוכנות להגנת הסביבה בארה"ב) הראה שכל מיקרו-גרם מזהמים למטר קוב גורם בערך ל-0.7 מקרי מוות בשנה. כל עלייה של מיקרו גרם חלקיקים למטר קוב אוויר גורם לאובדן 29 ימי עבודה לעשרת אלפים תושבים. מקרי המוות באיזור תל-אביב בגין פליטת חלקיקים, הגיע לפי הערכה ל-1293 בשנה (www.sviva.gov.il). הנזק

הכלכלי עקב מקרי מוות עולה על מיליארד דולר בשנה, וזאת מבלי לקחת בחשבון עלויות אשפוזים, אבדן ימי עבודה בגין מחלה, הוצאות על תרופות וכו'.

#### **7. השפעות סביבתיות עולמיות ומשמעותן**

אין כל ספק שזיהום האוויר על ידי שריפת דלקים פוסיליים גורם לנזקים סביבתיים קשים ביותר בעולם. ישנן כל מיני הערכות לנזקים הסביבתיים הנגרמים על ידי גזי חממה. דוגמה מדהימה היא שהנזקים בעולם מאסונות טבע גדלו משנות השישים לשנות התשעים בין כ - 40 מיליארד דולר בשנה, ל - 400 מיליארד. למעלה מ - 90% מאסונות אלה הם תוצאה של תהפוכות אקלים. שינויי האקלים מצטרפים לנזקים סביבתיים אחרים בכרייה, בהובלה, בדליפה של מערכות דלק ובגשם חומצי.

מדינת ישראל חתמה ואישרה את פרוטוקול קיוטו. בהתאם לפרוטוקול, ישראל נחשבת למדינה מתפתחת ולפיכך, היא נדרשת להכין מצאי פליטות גזי חממה - וזאת כבר נעשה. ברור, כי קיימות כיום הזדמנויות עיסקיות לפיהן מדינות מפותחות יכולות "לקנות" פליטות של גזי חממה ממדינות מתפתחות ע"י השקעה, לדוגמה, באנרגיות חלופיות במדינה המתפתחת. זהו מנוף כלכלי שיש לנצל כיום, שכן עם תום העשור, ישתנו כללי המשחק והיתרונות העומדים כיום לישראל- לא יהיו שרירים.

#### **8. ייצור ויצוא**

ישנה סיבה חיובית לשימוש במקורות אנרגיה מקומית, בטכנולוגיות חדשות, מלבד חיסכון ביבוא. אלה יכולים ליצור מקורות עבודה, ייצור וייצוא.

#### **9. סבסוד מחיר החשמל**

נכון להיום, המדינה מסבסדת חשמל בהיקף של כ - 1.5 מיליארד דולר בשנה, עובדה המעודדת בזבוז ויוצרת מצב של חוסר כל סיכוי לתחרות עם חברת החשמל. לדברי פרופ' חיים אילתה, לשעבר ראש הרשות לשירותים ציבוריים-חשמל בעדותו לצוות הבינמשרדי לאנרגיות חלפיות: "תעריף החשמל היה צריך להיות ב - 50% יותר גבוה כדי שחברת החשמל לא תעבוד בתשואה שלילית על ההון, כדי שישלמו ארנונה וישלמו תמורת מאגרי דלק לשעת חירום, וכן יבטיחו רזרבה של כושר ייצור חשמל להבטחת אמינות האספקה".

סבסוד חשמל נפוץ מאוד בעולם. לפי הערכה אחת הוא עולה בהרבה על 500 מיליארד דולר בשנה. זאת בהשוואה ל- 7.5 טריליון דולר מיסים. פירוש הדבר שלפחות 7% של המיסים בעולם מוקדשים לסבסוד אנרגיה. למעשה מספר זה כנראה עולה על 10% (Roodman (1997). כתוצאה מסבסוד זה עולות הוצאות הממשלה, משקיעים נרתעים, מתקבלות החלטות שגויות ועודד הצריכה גורם, למעשה, להחמרה של הפגיעה בסביבה.

אין כל ספק שהאנרגיה בכלל והחשמל בפרט מסובסדים בישראל, כמו במרבית מדינות העולם. ישנו ויכוח כדי כמה. עפ"י הערכות שונות נמצא שסי"ה הסבסוד לחשמל הגיע ב - 1997 לפי הממעיטים בין 750 ל - 1350 מליון דולר לשנה ולפי המרבים בין 1800 ל - 2250 מליון דולר בשנה (הרבה יותר, אגב, מאשר סבסוד המים). כלומר, ערכים סבירים נעים בין 4.5-2.5 סנט לקוט"ש, ובסי"ה עלות חשמל לצרכן שבין 10 ל- 12 סנט לקוט"ש. זאת מבלי לכלול את התשלום לזכויות מעבר לרשת שהוא משותף גם לסוג אלטרנטיבי של מקורות אנרגיה אך לא למקורות מבוזרים כמו כן אין זה כולל את העלויות החברתיות החיצוניות הנובעות מנזקים סביבתיים בגלל השימוש בדלק (כפי שנראה בהמשך, נזק זה מוערך בין 1.4 ל 2.2 סנט לקוט"ש, עפ"י המתונים שבחוקרים).

ישראל הינה "איי" מבודד מבחינה חשמלית ואי קטן מאוד, מה שמחייב רזרבות ייצור גדולות יותר להשגת אותה רמת שירות. לאור זאת ברור שהצרכן הישראלי משלם תמורת חשמל מחירים שאינם מייצגים את העלות המלאה וזאת גם ללא הפנמה של העלויות החברתיות.

תעריפי החשמל במדינת ישראל, הכוללים הוזלה מלאכותית של מחירי החשמל, גוררים אחריהם רק **בזבוז**.

#### 10. העדר ייעול ושימור אנרגיה

המדינה חדלה להשקיע בייעול השימוש באנרגיה, והאגף שעסק בכך במשרד התשתיות- חוסל. ניתן היה בקלות לחסוך כ- 20% מכל צריכת האנרגיה, בהוצאה של 20-30 מיליון דולר לשנה, לכל היותר. בכך וויתרנו על חסכון ביבוא דלק כדי כ- 2.5 מיליון טשע"נ, וחסכון כללי למשק של קרוב ל- 400 מיליון דולר רק ביבוא דלק.

## פרק 2 - העלויות החברתיות החיצוניות של שימוש בדלקים עקב פגיעה בסביבה

הסביבה מורכבת, בין היתר, ממקורות טבעיים שונים כגון: אוויר, קרקע ומים, הנתפשים במערכת הכלכלית כמוצרים ציבוריים (מוצרים ציבוריים הם מוצרים שמשמשים לצריכה פרטית/עסקית, אך אינם בלעדיים). מוצר ציבורי הוא מוצר שהפרט עושה בו שימוש, כאשר לא ניתן לשלול מאחרים את ההנאה מהשימוש בו ומהרווח שהוא יוצר להם, והם אינם משלמים עבור זאת). לחילופין, כאשר נזק לאותו מוצר, שבעתיו נפגע הציבור, יהיה זה הציבור שישא בעלויות, לדוגמא, ע"י הוצאות בגין אשפוזים, תרופות וכו'.

### 2.1 עלות חיצונית

זיהום האוויר, הנגרם מהתעשייה והתחבורה פוגע בבריאות האדם ובסביבה האקולוגית. הפגיעה בבריאותו של הציבור, שמקורה בזיהום אוויר, נופלת לבסוף כנטל על מערכת הבריאות הלאומית. מערכת זו סופגת עלויות כספיות, הנרשמות כהוצאות בריאות בתקציב המדינה. הפגיעה בסביבה האקולוגית, למשל, נופלת כנטל על החקלאות (ירידה ביבולים), התשתיות (הרס מבנים עקב גשם חומצי, לדוגמא) ואף את התיירות (ממשלת איטליה נזעקת לפעולות הצלה של הפסלים ברומא הנפגעים עקב הגשם החומצי היורד וממיס, את הפסלים). כאשר עלויות אלו אינן נלקחות בחשבון כמרכיב במחיר מוצרי התעשייה והתחבורה היוצרים את הזיהום, הן הופכות לעלויות חיצוניות. העלות החיצונית היא העלות החברתית, המשולמת, כמשל הדוגמה הנ"ל, ע"י כלל הציבור, אשר נושא בנטל התחלואה והתמותה בגין זיהום אוויר וההשפעה של הפגיעה בסביבה על רווחתו (Turner & Kerry, 1993; Abramovitz, 1997; Hamilton & Atkinson, 1996).

הפנמת העלויות החיצוניות של ייצור ושימוש באנרגיה חיונית על מנת להשיג את המטרות הבאות:

- **בהעדר התחשבות בעלויות החיצוניות, מתקבלת העדפה מוטעית לטובת מקורות האנרגיה הקונבנציונאליים, המזהמים.**
- **הפנמת העלויות החיצוניות מאפשרת מציאת אמת מידה כלכלית לכדאיות ההשקעה במקורות אנרגיה חליפיים.** יש מקורות כאלה שאינם יותר יקרים מאשר מקורות המשתמשים בדלק ואף על פי כן יהיה קושי לדון עם מקבלי החלטות ללא אמות מידה מוסכמות כאלה המקובלות עליהם. קנה המידה המתאים ביותר הוא אומדן העלויות החברתיות החיצוניות עקב זיהומים ואפקטים כלכליים אחרים מוסכמים.
- **ההוצאות החברתיות החיצוניות הן הוצאות או נזקים הנגרמים גם במקום ובזמן אחר.** בהגדרה, חישוב

העלויות חברתיות ראוי שיעשה בהשוואה בין חלופות, כאשר החלופות חייבות לכלול גם את חלופת האפס (לדוגמא, אי הקמת תחנת כח פחמית).

למרות ההסכמה הכללית בגין הצורך להפנים עלויות חיצוניות במשק האנרגיה, ישנו פער רחב בין ההערכות השונות של העלויות החיצוניות. ערכים מייצגים של העלויות החברתיות מגיעים ל - 2 סנט לקוט"ש חשמל המיוצר מגז ול - 6-7 סנט לקוט"ש חשמל המיוצר מפחם או נפט (ExternE Project) בהקשר זה חשוב לציין את העובדה כי הרשות לשרותים ציבוריים חשמל אישרה ביולי 2004 תשלום פרמיות ליצרנים באנרגיות מתחדשות. יצרני אנרגיות מתחדשות יהיו זכאים לקבל פרמיה שתשקף את עלות הזיהום הנחסך על ידי יצרנים אלו. תשלום הפרמיה יביא להפנמת העלויות השליליות הנובעות מייצור חשמל בדלקים מזהמים בתעריף החשמל. גובה הפרמיה נע בין 6.4 ל 10.2 אגורות (1.4 ל 2.2 סנט) לקוט"ש, בהתאם לעונת השנה ולשעה ביממה (תעריפי שפל, גבע או פסגה). גובה הפרמיה הנ"ל משקף את העלויות החיצוניות הנגרמות מפליטת חלקיקים, תחמוצות חנקן וגופרית ופחמן דו חמצני. חשוב להדגיש, עם זאת, כי במערכת החדשה, יצרני האנרגיה הקונבנציונאלית אינם נקנסים בגין הנזק שהם גורמים.

במקום להפנים את העלויות החברתיות, כאמת מידה לשינוי האקלים הכלכלי הדרוש, אפשר גם לבחור בדרך אחרת: להעריך מה הקנס שישראל תשלם אם לא תתכונן בזמן להמעטה של גזי חממה ותמצא את עצמה בכל זאת נאלצת לכך.

א. אין ספק שכל עוד ישראל לא תעמוד בדרישות, ייחסם היצוא שלה לאיחוד האירופי, לצפון אמריקה ואולי גם ליפן. הנזק עשוי להימדד במיליארדי דולרים לשנה ומפולת כלכלית של מרבית התעשייה והחקלאות הישראלית. משך התיקון של המצב הזה עשוי להיות שנים רבות.

ב. כל או רוב ההשקעות במתקני אנרגיה שנעשו בתקופות הביניים, למשל בתחנות מופעלות בגז, ירדו לטמיון ויהיה צורך בהשקעות חדשות. אלה תימדדנה גם כן במיליארדי דולרים לשנה.

ג. במקום למכור טכנולוגיה ולייצא במאות מיליוני דולרים לשנה, ישראל תצטרך לרכוש טכנולוגיה. פרופ' מרדכי שכטר, בהופעתו בפני הצוות הבינמשרדי לאנרגיות חלופיות, הראה כי עדיף בהרבה, מבחינה כלכלית, לשלם תמורת טכנולוגיות חלופיות, כאשר עלות היתר אינה עולה על העלויות החברתיות, מאשר לדחות את הטכנולוגיות האלה ולשלם את הנזקים הנובעים מכך בעתיד הלא רחוק - נזקים שיהיה קשה מאוד לעמוד בהם.

בתחשיבים הכלכליים שיוצגו להלן אין אנו לוקחים בחשבון קטגוריה נוספת של עלויות חיצוניות והיא נושא ההוצאות לבטחון אספקת דלק. צוות מומחים העריך כי הוצאות הבטחון לליטר בנזין יכולות להגיע עד 30 סנט לליטר. הטרור העולמי ותלות ישראל בספקים חיצוניים יכולה להכפיל ולשלש סכומים אלה. בסיכום, הסתגלות מוקדמת לדרישה להפחית גזי חממה נראית הרבה יותר מושכת. אם יתברר שיש בידינו אמצעים לעשות חלק גדול מזה בעלות שהיא נמוכה באופן משמעי מהעלות הנומינלית של אנרגיה קונבנציונאלית אז מדוע לא? אם מתברר שלפעולה זו בונוסים אחדים נוספים במניעת פגיעות סביבתיות, בהקטנת יבוא, ביציבות מחירים ובייצור וייצוא טכנולוגיות. לבסוף, הטלת קנס השקול כנגד העלויות החברתיות הנגרמות, גם אם תיחשב כמס, הרי זה מס עדיף על מיסים בעלי השפעה שלילית כמו מס הכנסה.

ניתן לסכם חלק זה ולאמר:

א. לא נוכל להתחמק מתשלום כדי להמעיט בזיהום על ידי השימוש בדלק- אנו יכולים רק לברור לנו את הדרך הפחות יקרה.

ב. יש מספר דרכים לקבוע קנה מידה כלכלי לכוח הדחף הכלכלי. האחת היא הערכה של העלות



החברתית החיצונית, דרך אחרת היא קביעת הקנס שנשלם אם לא נסתגל לתביעה לצמצם את השימוש בדלק. הראשון קטן בהרבה ועל כן עדיף.

ג. יש הכרח ליצור את הכלים כדי לכוון את המשק בכיוון הדרוש. דרך אחת היא למסות את הגורמים להוצאות החברתיות כערכן. דרך אחרת, פחות טובה, היא לפצות טכנולוגיות נקיות. לפי דעת כל מי שדן בנושא בצוות המקורי שהיה שותף בהכנת החוברת שפורסמה ב-1999 וכן בפי כל העדים שהופיעו בפני הצוות הבינמשרדי לאנרגיות חליפיות, גם אם נשפיע על כוחות השוק בדרך זו, ספק אם יש בכך די. טכנולוגיות חדשות יש לעודד עד הבשלתן והתחלת כניסתן לשוק. לכך נדרשים מלבד סיוע באמצעים דרושים, אווירה אוהדת, פישוט הליכים ופעולות הסברה והדגמה.

ד. האקלים הכלכלי היום הוא, למרבה הצער, שהרשויות הציבוריות בישראל ובמרבית מדינות העולם מתעלמות כמעט לחלוטין מהעלות החברתית. התוצאה היא נזק כלכלי ממשי מאוד לציבור באופן מיידי ובאופן מצטבר ולטווח ארוך. חשוב לציין שגם כאשר נגבית עלות חברתית על ידי הרשות הציבורית, עפ"ר היא איננה מועברת ליעדה. כך המסים על רכב בהיקף של מיליארדים שאינם משמשים לשיפור הדרכים ולמניעת תאונות או להקמת תשתית לתחבורה ציבורית, מסילתית ואחרת, אשר תפחית את הגודש בדרכים, תצמצם תאונות דרכים ותפחית בצורה ניכרת שימוש בדלק לתחבורה ובזהום האוויר הנלווה.

## 2.2 ההשקעות המותרות באנרגיה חלופית

אפשר לחשב מהי ההשקעה המותרת כדי למנוע עלות חברתית של סנט אחד לקילוואט שעה. החישוב ייעשה בהשקעה לקילוואט ממוצע נטו, כלומר למכונה שמייצרת חשמל בהספק של קילוואט במשך 8,760 שעות בשנה.

סנט אחד לקוט"ש ל - 8760 קוט"ש לשנה פירושו 87.6 דולר לקילוואט לשנה.

ExternE הוא פרויקט ענק של הקהילה האירופית, אשר התבצע בתחילת שנות התשעים ותכליתו היתה להעריך עלויות חיצוניות של הפקת אנרגיה קונבנציונאלית, חלופית וגרעינית ([www.externe.info/](http://www.externe.info/)). מהמחקר עלה כי העלויות החיצוניות בהפקת אנרגיה מפחם נעות בין 4.1 ל 7.3 יורו-סנט לקוט"ש ובגז טבעי 1.3-2.3 יורו-סנט לקוט"ש

חישוב הערך הנוכחי הסדרתי נותן את התוצאות בטבלה הבאה :

**טבלה 1: השקעות מותרות בדולרים בקילוואט ממוצע נטו כדי למנוע עלויות חברתיות חיצוניות במשך 30**

### שנה בגין השימוש בדלק

שטח יצירת חשמל בהשוואה לטכניקות ממקור נקי מתחדש	עלויות חברתיות חיצוניות בסנט לקילוואט שעה חשמל מסופק	השקעה חליפית מותרת לביטול העלות הסביבתית בדולרים לקילוואט ממוצע נטו לשיגור לפי ריבית ריאלית של
0%	5%	
פחם	7-6	18,396-15,768
נפט	7-6	18,396-15,768
גז טבעי	2	5,256

ערכים אלה הם ערכי מינימום מאחר שטווח ההשפעה של הנזקים הוא הרבה מעבר ל - 30 שנות חיי תחנת כוח. ראוי לחזור ולהזכיר שאלה הן השקעות מותרות ולו רק כדי להשבית תחנות כוח קיימות ולחסוך את שריפת הדלק. עם בחינת כדאיות של הקמת תחנות כוח חדשות, ההשקעה המותרת עולה בלמעלה מ- 1500 דולר לקילוואט מותקן בפחם או נפט, ולא פחות מ- 700 דולר לקילוואט מותקן גז.

לא הובאה כאן הערכה ביחס לעלויות חברתיות הכרוכות בשימוש באנרגיה גרעינית בטכנולוגיות הזמינות היום. לפי כל ההערכות, העלות החברתית הינה גדולה בהרבה מזו של השימוש בנפט או בפחם, על אף שאנרגיה גרעינית איננה כרוכה בפליטת גזי חממה. למעשה, ישנה הסתברות קטנה יחסית לנזק, אבל לנזקים גדולים מאוד מאוד. מטבען של מכפלות של מספרים קטנים מאוד במספרים גדולים מאוד שאי הוודאות שבהם רבה מאוד.

החישוב כאן נעשה ביחס לייצור חשמל רק כדוגמא נוחה. חישוב דומה צריך להיעשות גם ביחס לחלופות שונות בתחבורה ובתחומי אנרגיה נוספים.

אם נניח שבשריפת דלק הנזק הוא בס"ה 3 סנט לקוט"ש אנרגיה ראשונית, קל לעשות חשבון ולהראות שהעלות היא של 420 דולר ל - 1000 ליטר דלק. גם הערכות אחרות הגיעו לתוצאה דומה. מותר, אם כך, להשקיע מאות דולרים למכונת פרטית כדי לשפר את הביצועים שלה מ - 12 ל - 13 ק"מ לליטר. הערכות אחרות של הנזק ע"י בחירת דלק הן בין 200 ל- 2000 דולר לשנה למכונת, תלוי בכמות הנסיעות. כמה מותר להשקיע כדי למנוע נזק זה? באורך חיי מכונת של 8 שנים נגיע לערכים בין \$1200 ל- \$12,000. כדי לברר מהי ההשקעה המותרת כדי למנוע את העלויות החברתיות החיצוניות יש לחלק את הנזק המצטבר לנזק קצר טווח וארוך טווח ולחשב את הערכים הנוכחיים.

נדרשת יוזמה ציבורית, אשר יכולה להתבטא, לדוגמא, בתקנה מחייבת וסטנדרטים חדשים, בקנס גבוה דיו על שימוש בדלק או בבונוס למקור אנרגיה נקי. אין סיכוי רב שטכנולוגיה חדשה לרכב תבשיל בהקדם, כדי הפיכתה לטכנולוגיה מסחרית, ללא שילוב של אלה בעידוד ישיר של הטכנולוגיות החלופיות. הפעולה הציבורית היום היא בכיוון הפוך לדרוש- ישנו מיסוי בלתי הגיוני גבוה על רכישת רכב, דבר המטשטש כל שיקול של חסכון באנרגיה. זאת במקום מיסוי גבוה ביותר על הדלק, כאשר העלויות החברתיות תפחתנה, אם למשתמש יהיה עניין לרכוש רכב חסכוני וכן להמעיט בשימוש ברכבו.

### **סיכום ההשקעות המותרות במקורות אנרגיה מתחדשים ונקיים לייצור חשמל**

כאן המקום לסכם את כל העלויות, מעבר להשקעות בתחנת הכוח עצמה, ובהוצאות להפעלה ותחזוקה כדי להציב את הרף הכלכלי לאנרגיות חלופיות.

בסעיף הראשון בטבלאות שלהלן מובא חישוב הערך הנוכחי של העלויות החברתיות החיצוניות ל - 30 שנה בלבד, לפי 5% ריבית או 0%, כפי שנעשה בסוף טבלה 1.

הסעיף השני חושב על ידי הערך הנוכחי של סבסוד שנמנע, כאילו היה שווה ל - 3 סנט לקוט"ש חשמל בלבד ועל מספר מינימלי זה אין כמעט ויכוח.

הסעיף השלישי הוא בגין החיסכון בעלות הישירה של דלק לפי מחירו היום לייצור קוט"ש חשמל.

סבסוד של 3 סנט הוא שווה ערך להשקעה של 4,039 דולר לקילוואט לפי 5% ול - 7,860 דולר לפי 0%. נוסף לכך, נניח חסכון של 2 סנט לקוט"ש תמורת דלק בתחנה פחמית ו - 1.5 סנט לקוט"ש בטורבינות גז במעגל משולב (האחרון בוודאי הרבה יותר גבוה).

**טבלה 2: השקעות מותרות בדולרים לקילוואט ממוצע נטו לפי ריבית של 5% למניעת שריפה של דלק**

הגורם	סוג הדלק		
	פחם	נפט	גז טבעי
1. עלויות חברתיות עקב נזק סביבתי	9,425-8,078	9,425-8,078	2,693
2. עקב מניעת סבסוד של 3 סנט	4,039	4,039	4,039
3. מניעת הצורך בדלק	2,693	2,693	2,020
סה"כ השקעה חליפית מותרת	16,157-14,810	16,157-14,810	8,752

**טבלה 3: השקעות מותרות בדולרים לקילוואט ממוצע נטו לפי ריבית של 0% למניעת שריפה של דלק**

הגורם	סוג הדלק		
	פחם	נפט	גז טבעי
1. עלויות חברתיות עקב נזק סביבתי	18,396-15,768	18,396-15,768	5,256
2. עקב מניעת סבסוד	7,884	7,884	7,884
3. מניעת הצורך בדלק	5,256	5,256	3,942
סה"כ השקעה חליפית מותרת	31,536-28,908	31,536-28,908	17,082

ניתן לראות כי, ההשקעה המותרת בחסכון של שריפת הדלק הגיעה קרוב ל 9,000 דולר לקילוואט ממוצע בתחלופה לגז לפי שער ניכיון של 5% ול - 17,000 דולר לפי שער ניכיון של 0%. בחסכון של שריפת פחם או נפט הערכים יותר מאשר מוכפלים.

ראוי לחזור ולהדגיש שלא כללנו עדיין בחישוב ההשקעה המותרת את ההשקעה הכרוכה בבניית תחנת הכוח עצמה. ההנחה היא שמותר להשקיע במקור אנרגיה חלופית ובגיבוי תחנה קונבנציונאלית גם אם היא קיימת אך לא מופעלת כלל. ההשקעה המחושבת לעיל היא רק תמורת מניעת שריפה של הדלק.

ההנחה הפשטנית היא שעלות ההפעלה והתחזוקה דומה בשני סוגי תחנות הכוח. כמו כן, ההנחה היא שטווח הפגיעה בסביבה הוא רק 30 שנה. להנחה זו משקל רב בריבית קרובה לאפס. די אם נעלה את הערכת הסבסוד ל - 4 סנט לקוט"ש ונגדיל את תקופת החישוב ל - 50 שנה במקום 30 שנה, כפי שאמנם מקובל בחישובים הכלכליים של חח"י, כדי שההשקעה המותרת כדי להחליף שימוש בגז טבעי תגדל מ - 8,750 דולר ל - 12,270 דולר, בריבית של 5%.

לא נכנס בחישוב ההשקעה המותרת גם השיקול של שיפור מאזן התשלומים ע"י מניעת יבוא והגברת הייצוא וכן תועלות נוספות שהוזכרו לעיל (וייפורטו בהמשך), שעשויות להוסיף הכנסה של מספר סנטים נוספים, למשל לשיטה של "ארובות שרב".

כפי שנראה בהמשך, גם המעט שבמעט, חסכון בסבסוד ובאי צורך לשלם תמורת דלק - מספיקים כדי להצדיק השקעה במספר טכנולוגיות של אנרגיה חלופית וזאת אפילו לפי ריבית של 5%, למשל סביב 3000-4000 דולר לקילוואט ממוצע. בכדי שלא יהיה כדאי ליישם כמה מהטכנולוגיות האלטרנטיביות צריך

שהשגיאה בטבלאות שלעיל תהיה בין למעלה מ- 50% ל- 75% אפילו בהנחות השמרניות שנעשו. נותר לנו עתה לבחון טכנולוגיות שונות למקורות אנרגיה מתחדשים לאור ההשקעה המותרת.

### **פרק 3- מגוון הפתרונות המאפשרים יצירת משק אנרגיה בר קיימא בישראל**

הפתרונות האפשריים להפיכת משק האנרגיה הישראלי למשק בר קיימא, הם, למעשה, מגוון פתרונות כלכליים ופתרונות טכנולוגיים, אשר יוצגו בפרק 3 ופרק 4 להלן.

#### **3.1 חשבונאות ירוקה**

פרופ' ד. צ'מנסקי, שתרגם רבות לדו"ח על פיתוח בר-קיימא מ-1999, מנסח בתמצית את עיקרי המדיניות הכלכלית הדרושה (ראה דבריו במסמך השלם באתר האינטרנט של מוסד נאמן).

הרכיבים המרכזיים שמזכיר פרופ' צ'מנסקי:

ניהול חשבון ירוק מלא לאורך כל חיי הפרויקט;

בחינה רחבה של חלופות; השקעה במו"פ לחיפוש חלופות;

פיקוח ובקרה אינטליגנטיים כאשר לא תמיד ניתן ליצור באופן מלאכותי תחרות במדינה בגודל שלנו;

איזון בין הימנעות מסבסוד מחד, ומתן הזדמנות לרווח הוגן, מאידך.

ראוי מאוד להוסיף עוד סעיף אחד להנהלת החשבונות הלאומית. התקציב הנערך באוצר מכוון לשנה אחת בלבד. אין כל אפשרות לתת חוזה מחקר, תכנון או פיתוח עם המדינה לשנה אחת ואין כל אפשרות לקיים פעילות כלכלית מתוכננת ומבוצעת היטב, כאשר כל שנה יש להתחיל מחדש לעסוק בחתימה על חוזה.

#### **3.1.1 הכרח להשתתפות המדינה או עיקרון הביטוח**

ככל שהפרויקטים לפיתוח חדשניים יותר ומחייבים השקעות גדולות יותר, כך הסיכון נעשה גדול יותר. הם מחייבים בניית תשתית יקרה, גם אם ההוצאה לבחינה של נושא היא קטנה. סטטיסטיקה טיפוסית היא שאם הבחירה חכמה, אחד מעשרים נושאי המחקר עשוי להצליח, ודי בפרויקט מצליח אחד כדי להצדיק את ההוצאה על כל העשרים שנכשלו.

פשוט מאוד לבנות מערך תמיכה של המדינה המשמשת מערך הביטוח למחקר בעצם קיומה. כשם שהיא משמשת את מערך הביטוח לביטחון, לחינוך ולשירותים אחרים. אפשר בקלות להקים את מערך הביטוח למו"פ כאשר בונים קרנות בכמה רמות. בתחתית, מתן סכומים קטנים ביחס למספר רב של נושאים שנבחרו בדקדוק יתר אחרי בחינה ברמה הנמוכה. בשלב השני, סכומי המימון יכולים להיות גדולים יותר עם חישובי ביטוח המתאימים לרמה זו.

ברמה הגבוהה ביותר, צריכה המדינה לסייע במחקר מתקדם ובמפעלי הדגמה, כאשר המוסדות המיועדים למימון מחפשים ביטחון, לכאורה, של 100%, ואף אז יהיה קשה מאוד לפתות אותם להשקעה גדולה לטווח ארוך בטכנולוגיה שטרם נבנתה לפי מיטב שיפוטם.

כאמור לעיל, נצביע בפרקים הבאים על טכנולוגיות זמינות וטכנולוגיות בפיתוח מתקדם שיחד תאפשרנה לספק את כל החשמל בישראל ממקורות מתחדשים וחלקים גדולים של צריכת אנרגיה אחרת. **נראה גם שחלק ניכר של פתרונות אלה עומדים במבחן הכלכלי השמרני ביותר לפי חישוב פרטי עם סבסוד החשמל וללא כל התחשבות בעלויות חברתיות חיצוניות. כולן עברו את כל הבדיקות או נמצאות בשלב השלישי הגבוה עם צורך להדגמה ואף על פי כן, לא נעשה עד כה כל מאמץ ממשי ליישמן. להיפך, עפ"ר ישנה הכבדה על כל יוזמה או הכנסת דבר חדש.**

## 3.2 פתרונות טכנולוגיים

### 3.2.1 אגירה שאובה

אגירה שאובה נמצאה על ידי חברת החשמל ככדאית לפי התעריף הקיים ודגם הביקוש של החשמל. אולם יש לזכור שאגירה שאובה שורפת ב - 43% יותר דלק לאספקת קוט"ש של חשמל (כ - 30% הפסדי אנרגיה). אמנם ישנו רווח ניכר במכירת החשמל עקב הבדלי העלות השולית הגבוהה של הייצור בזמן ביקוש שיא לעומת העלות השולית הנמוכה לייצור בזמן שפל בביקוש. אבל, תוספת של 43% פירושה עלות חברתית נוספת של 3-2.6 סנט לקוט"ש שהועבר משעת שפל לשעת שיא. עלות נוספת זו מעמידה בסימן שאלה את כל הכדאיות של האגירה השאובה הרגילה.

ההשקעה המינימאלית המותרת בגין החלפת דלק במקור אנרגיה מתחדש היתה לפי 5% ריבית בעבור גז טבעי. 8,752 דולר לקילוואט. 43% מסכום זה מהווים 3,764 דולר לקילוואט ממוצע מותקן. זאת כאשר ההשקעה המקסימלית המותרת בפרויקט אגירה שאובה מתוכנן ע"י הח"י בישראל היתה סביב 1200 דולר לקילוואט וההשקעה הריאלית כ - 800 דולר לקילוואט. גם אם נניח רק 3 שעות עבודה ביממה של האגירה, יוצא שהמרווח הכלכלי לטובת אגירה שאובה הוא כ - 3200 דולר השקעה וההשקעה בפועל גדולה יותר. הצורך לשרוף יותר דלק מבטל מכל וכל יתרון זה של אגירה שאובה.

### 3.2.2 חסכון באנרגיה וניהול הצריכה

#### מגמות בחסכון באנרגיה

לצערנו, ההתפתחויות שהתרחשו בתחום זה בארץ היו לאחרונה ברובן שליליות: קיים עידוד לריבוי ציוד חשמלי, לשימוש בכלי רכב פרטיים ופחות בתחבורה ציבורית, עליה בצריכת האנרגיה למזוג אוויר וכו'. להערכת השימוש באנרגיה נוח להשתמש במושג "עצימות האנרגיה". זהו היחס בין צריכת האנרגיה למיליון דולרים לשנה של תמ"ג (תוצר מקומי גולמי) (בערכים קבועים של שנת 1990). בשנים 1980-1994 עלתה עצימות האנרגיה ב - 1.7% לשנה. ב - 1980 היתה עצימות האנרגיה בישראל נמוכה ב - 5% מזו של האיחוד האירופי- מאז היתה ירידה בתמ"ג ועלייה בצריכת האנרגיה. ב - 1994 היא היתה גבוהה ב - 15% מזו שבאיחוד האירופי. אם תהליך זה יימשך כפי שהוא, הרי עצימות האנרגיה תגדל עד שנת 2020 ביותר מ - 50%. נתון אחר הוא, כמובן, הגידול הממוצע בפליטת CO<sub>2</sub> לנפש מ - 1.6 טון לנפש לשנה ב - 1980 ל - 2.7 טון לנפש לשנה ב - 1996, חלק ניכר נובע מהתעשייה ומהתחבורה. מימוש הפוטנציאל לחסכון באנרגיה יוכל להביא להורדה של עצימות האנרגיה בקרוב ל - 15% מ - 220.1 בשנת 1994 ל - 189.5 ביחידות של טשע"נ לשנה למיליון דולר של תמ"ג בשנת 2010 (נתון זה עדיין גבוה מבאיחוד האירופי ואין מניעה מלהוריד אותו עוד יותר). בתקופה קצרה יחסית היתה פעילות מורגשת של משרד האנרגיה בעידוד החיסכון (בתחילת שנות השמונים וראשית שנות התשעים), אך זו לא נמשכה ברמה נאותה.

#### הישגים ומחדלים בחסכון בישראל

דוגמא מאלפת לפעולת שימור באנרגיה בשנים 1977 - 1995 מובאת בטבלה להלן. כל המספרים הם מצטברים לתקופה ובערך נומינלי בלבד.

**טבלה 4: תועלות משמור אנרגיה בישראל 1977-1995 (עפ"י נתוני האגף לשימור אנרגיה)**

פרמטר	ערך
חסכון מצטבר בדלק	12.8 מיליון טשע"י
חסכון מצטבר בכסף	3,554 מיליון דולר
חיסכון בהוצאת המשק	1,003 מיליון דולר
תקציב מדינה שנתי לשימור אנרגיה	36 מיליון דולר
יחס המינוף - תועלת נטו למשק לתקציב המדינה	127 דולר חסכון נטו לדולר תקציב מדינה
יחס תועלת נטו	2.54 דולר חסכון נקי לדולר השקעה

הנתונים נאספו ע"י האגף לשימור אנרגיה, במשרד האנרגיה. חשוב להדגיש שאילו חושב הערך הנוכחי של כל התרומה המצטברת בשנים שיבואו התועלת המחושבת הנמדדת היתה הרבה יותר גבוהה. להלן השוואה של תקציבי שימור אנרגיה אופייניים לשנים 1986 עד 1999.

**טבלה 5: תקציב לשמור אנרגיה בישראל 1986-1999 (עפ"י נתוני האגף לשימור אנרגיה)**

שנה	תקציב לשימור אנרגיה במיליון \$ של 1988	שנה	תקציב לשימור אנרגיה במיליון \$ של 1988
1986	2.48	1993	0.43
1987	2.19	1994	0.54
1988	2.03	1995	0.48
1989	1.9	1996	0.43
1990	1.6	1997	0.35
1991	1.35	1998	0.27
1992	1.09	1999	0.07

מדהים לראות כיצד ירד התקציב, ולמעשה הפך זניח בתקציב המדינה. אם נבחן את מיקומה של ישראל והקצאת המשאבים לנושא שמור אנרגיה, כפי שמוצג בטבלה הבאה, ברור כי המצב עגום. המספרים נלקחו מתוך עבודת האגף לשימור אנרגיה והם אופייניים לשנים 1998 או 1999.

**טבלה 6: תקציבי שמור אנרגיה בישראל, ארה"ב והולנד בשנים 1998/1999**

(עפ"י נתוני האגף לשימור אנרגיה)

ישראל	הולנד	ארה"ב	
0.1	66.8	1197.8	תקציב ממשלתי לשימור אנרגיה במיליוני \$
5.8	15.7	270.3	אוכלוסיה במיליוני תושבים
0.017	4.25	4.43	תקציב בדולר לנפש לשנה
95.2	306.0	7247.7	תל"ג במיליארדי דולרים
1	218	165	תקציב שימור לתל"ג ב-\$ תקציב למיליון \$ תל"ג

התקציב המיועד לשנת 1999 מהווה פחות מ- 0.5% בהשוואה למדינות רבות אחרות הפוטנציאל לחסכון הוא אדיר ונמדד בהיקף של מיליארדי דולרים לשנה. לפי רמת השימוש באנרגיה היום הוא עשוי להגיע קרוב ל - 1.3 מיליארד דולר בשנה (!) יש הכרח דחוף בשינוי המדיניות לשימור אנרגיה ואסור שהתקציב השנתי ייפול מ - 18 מיליון דולר לשנה. הגופים שאמורים לטפל בנושא הם, כמובן, משרד התשתיות, הרשות לשירותים ציבוריים-חשמל, ארגוני הצרכנים והמשרד לאיכות הסביבה.

### **3.2.2.1 אנרגיה במבנים**

חלק ניכר של האנרגיה משמש למבנים. הצריכה הביתית והעירונית היא כ - 50% מצריכת החשמל (שהם כ - 25% מצריכת האנרגיה הראשונית) ועוד 5% של הצריכה הראשונית דרך שימוש בדלקים ובסה"כ כ-30% מס"ה צריכת האנרגיה הראשונית. ישנם מחקרים רבים ביחס לשימוש נכון של אנרגיה במבנים והרבה מאוד הדגמות..

להלן מספר מצומצם של דוגמאות אשר יכולות להביא לצמצום צריכת האנרגיה במבנים (מתוך שביב ובקר בדו"ח אבנימלך ובורל, 2002, הוצאת מוסד נאמן):

1. ברמת התכנון: העמדה נכונה של מבנים ביחס לקרינת השמש, הצללה של קירות דרומיים ומערביים בקיץ וחשיפתם בחורף (ניסויים הראו שחלונות כאלה בשטח של 10- מ"ר לדירה יכולים לחסוך חלק ניכר של צרכי החימום, כ 10% משטח הרצפה), בידוד קירות לחום וללחות בעזרת חומר הבנייה, מניעת גשרי חום, טיח תרמי, בידוד והצללת גגות ואורור סלקטיבי של תאי אוויר מתחת לגג, אגירה של חום וקור ע"י מסת בנייה, אגירה של חום וקור במערכות חימום וקירור מכניות במבנים גדולים, פיתוח חלונות חכמים המשנים את התכונות האופטיות והבידודיות לפי הצורך, שיפור של תאורה טבעית על ידי שיטות לאספקת תאורה חיצונית ועוד.
2. ברמת תפעול הבניינים נמנה אפשרויות כגון: אטימת חלונות ודלתות, אוורור טבעי, שימוש יעיל יותר בקולטי שמש לחימום מים, מניעת סתימות, הגדלת השטח ונפח האגירה והחלפת חימום על ידי אלמנטים פשוטים במשאבות חום, התקנת מפסיקים אוטומטיים של תאורה, מיזוג אוויר ומתקנים אחרים כשאין צורך בהם, החלפת נורות להט בנורות יעילות, הרחקת חום שמופק ממקרר כלפי חוץ בקיץ וכלפי פנים בחורף. הצללת מבנים, הן ע"י צמחייה מתאימה והן ע"י תריסים, וילונות וכו' יכולה לסייע בצמצום הצורך במזוג הבנין בקיץ.
3. ברמת המדיניות: חובת סימון של צריכת חשמל על ציוד ביתי בצורה שניתנת לפירוש קל על ידי בני הבית, התקנת מדי חשמל חזותיים וחשבונות חשמל מחנכים, עידוד ייצור וייבוא של מוצרים יעילים יותר, לרבות מקררים, מקפיאים וכמובן, מזגני אוויר.

חסכון אופייני שניתן להשיג במרבית המבנים יכול להגיע ל - 20% ומעלה באמצעים שמכסים את עצמם בפחות מ - 5 שנים. סקרים שנעשו במוסדות ציבוריים הראו אפשרויות חסכון של יותר מ - 30% בהוצאת האנרגיה ועפ"ר גם חסכון במתקני האנרגיה.

### **הבעיות המרכזיות הן:**

א. קשה מאוד להקנות תרבות בנייה חדשה לשוק הבנייה. להוציא חוק להתקנת קולטי שמש לחימום מים, תקן לבידוד קירות ועוד פעילויות שוליות, כמעט לא היתה התקדמות בתחום זה. לא נעשה מאמץ חינוכי של הקונים כדי שיבדקו את הצד האנרגטי.

פיתוח משק אנרגיה בר-קיימא בישראל- זסלבסקי

ב. סיגול של מבנים קיימים למשק אנרגיה יעיל, איננו זול. רבים מהיישומים גבוליים בחישובי השוק הפרטי הקיים. אולם תשלום עלויות אמת של אנרגיה יגדילו מאוד את הכדאיות. מחקרים בעולם מראים שהאלסטיות של שימוש בחשמל הוא בערך 50%, כלומר, הגדלת התעריף של החשמל ב- 50% היתה מסייעת לחיסכון של יותר מ- 20% חשמל.

### **הפתרונות יכולים לכלול:**

- קשר כלשהו של בונוס או קנס על שימוש באנרגיה לעובדים במפעלים.
- מעבר לקולטי השמש לחימום מים וחימום הבית.
- אחת הפעולות החשובות היא של תקינה ואכיפת התקנים. בין השאר כל מבנה יהיה חייב לעבור בדיקה אנרגטית, כפי שהוא חייב בבדיקת קונסטרוקציה או חשמל בטרם יקבל אישור בנייה.
- הקלות במיסוי על אביזרים לחסכון באנרגיה.
- נחזור ונזכיר שבמחקרים שנעשו ביחס להתנהגות הצרכנים הביתיים נמצא שהם מחליטים על כדאיות של אמצעי מסוים רק אם ההחזר על ההשקעה בפועל היא תוך פרק זמן של 1-2 שנים לכל היותר. זוהי תשואה בלתי הגיונית על ההון. הניסיון מראה שדרוש שילוב של תקינה, הדרכה והסברה, וכן תמריץ כלכלי או ארגוני כדי לשנות את מנהגי הצריכה המשפיעים מאוד מחיקוי ואופנה.

### **3.2.2.2 שימור וחסכון במגזר התעשייתי**

פירטנו לעיל כמה מהאמצעים במגזר הביתי. חלק גדול מהם ישים גם לתעשייה. המגזר התעשייתי הוא בעל חשיבות רבה. חלקה בצריכה הראשונית של האנרגיה מגיע ל - 30% באופן ישיר וכ - 7.5% (15% מתוך 50%) דרך צריכת חשמל מהרשת ובס"ה למעלה משליש האנרגיה הראשונית. התעשיינים יעשו את מעשה החיסכון לבדם, בטכנולוגיות ידועות, אם יזכו אותם בניכויי מס באותה מידה שמזכים אותם בתשלום לאנרגיה ואם ישלמו עלות אמת תמורת האנרגיה.

אחת הטכניקות החשובות ביותר בתעשייה היא שילוב כוח וחום (קוגנרציה) על צורותיו השונות. ייצור אנרגיה מכנית או חשמל מותיר עוד 2/3 בקירוב חום שניתן לניצול. בתנאי מדינת ישראל, אפשרות היישום מוגבלת יותר מאשר בארצות קרות, בהן יש צריכת חום מסיבית מאוד. בארץ עפ"ר כמות החשמל הדרושה עולה בהרבה על היקף הניצול האפשרי של החום. (גרוסמן ושביט בתוך אבנימלך ובורל, 2002) לשילוב כוח וחום ישנו חסרון נוסף שצריך לשים אליו לב בהקשר ליישום עתידי. מפעלי תעשייה, יישובים קואופרטיביים או מתקנים ציבוריים גדולים כמו בתי חולים עשויים לתכנן מקורות חשמל עצמיים. בתנאים הכלכליים היום מעדיפים גופים אלה להתקין גנרטור דיזל ולייצר חשמל במחיר נמוך מתעריף חברת החשמל, בעיקר בשעות ביקוש שיא.

אם יטילו על השימוש בדלק את העלויות החברתיות ואם יאפשרו גלגול (wheeling) של חשמל דרך רשתות של חברת החשמל, ממילא תיעשה בחירה נבונה של כל צרכן.

לבסוף, יש להשקיע סכומים קטנים יחסית להדרכה וסיוע פעיל בתכנון ובהדגמה. כך, אפשר לקשור את פליטת החום ממתקני קירור לצריכת החום במפעלי מזון, טבעי מאוד לחבר עודפי חום מקירור במפעל בשר עם מים חמים הדרושים לעיבוד הבשר או מזון אחר כאשר המים נאגרים בבריכה סולרית שהיא במקרה זה "מחסן" חום ללא הפסדים.



אחת המגבלות לקידום נושא החיסכון באנרגיה בתעשייה נובע מהיעדר הון נוח להשקעה בנושא שאיננו מייעודיו המרכזיים של המפעל. מגבלה זו, אגב, נכונה גם לגבי תחומים נוספים של התקנת טכנולוגיות סביבתיות – טיפול בשפכים, טיפול בגזי פליטה ועוד.

למפעלים ניתן פטור מלא ממס על הוצאות חשמל ודלק. לעומת זאת, הצורך להשקיע הון במתקנים המביאים לחסכון, דוחה פעולות שניתן היה לבצע בכדאיות רבה. לבסוף, למפעלי תעשייה חסרים במקרים רבים המיומנות הדרושה והיכולת הניהולית לעסוק בתחום שנוסף על הייעוד העיקרי שלהם. אם ייווצרו התנאים הכלכליים המתאימים עשויים להיווצר גופים למתן שירות מיומן בנושאי אנרגיה לתעשייה ולא מן הנמנע לזרז תהליך זה ע"י הקמה יזומה של גוף שירות כזה ואחר-כך הפרטתו. בעבר ניתן ייעוץ הנדסי די מגוון לתעשייה על ידי עובדים של משרד האנרגיה. האגף לשימוש יעיל באנרגיה, ממש כמו האגף לשמור מים, שעסק בשת"פ עם מכון התקנים ופיתח את ה"חסכמים" שהביאו לחסכוניות אדירים.

### **3.2.2.3 שימור וחסכון במגזר אספקת המים**

המים צורכים היום כ - 7% מהאנרגיה הראשונית. החיסכון במגזר המים קשור בכמה סעיפים חשובים, לרבות, הנצלת אנרגיה בצנרת במקומות נמוכים; חלוקה חכמה לאזורי לחץ באזורים הרריים ללא צורך ב"שבירת לחץ"; התאמה של מהירות סיבובי מנועים להספק בתחנות שאיבה; החלפת משאבות ישנות; ניצול שעות שפל בביקוש לשאיבה ומילוי מאגרים ברמה יומית ושבועית.

יש סעיפים חדשים בעלי חשיבות רבה מאוד שיש לשקוד עליהם. בין השאר, יש לשנות שיטות השקיה (השקיה בפולסים, שיטות שונות של השוואת לחצים ועוד), אספקת מים והתפלה (שימוש בצינורות פוליאסטר משורייני בעלות יותר נמוכה ובהפסדי אנרגיה יותר קטנים, קיצור טווחי הולכה, העדפת אספקה ישירה מהמוביל הארצי והימנעות משאיבה, בחירה נבונה של אתרים להתפלה תחסוך שאיבה, קידום טכנולוגיות המקטינות כמות האנרגיה הדרושה להתפלה והפסקת שאיבת היתר). התוצאה הכוללת עשויה להיות הורדה משמעותית בכמות האנרגיה, הנצרכת במשק המים.

כמו כן, יש מקום לקיים דיון על דרך בחירת הנושאים, תכנון וניהול המחקר בנושאים כגון התפלת מי קולחים המהווה גם חסכון אדיר של אנרגיה (משום שכדי להוציא ק"ג אחד של מומסים במים יהיה צורך בהתפלת 2-3 קוב מי קולחים וכדי להוציא ק"ג מומסים ממי תהום, מאוחר יותר, יהיה צורך בהתפלה של 5-10 קוב מים) וגם הפסקת השאיבה מהכינרת.

### **3.2.2.4 שימור וחסכון במגזר התחבורה**

התחבורה צורכת כ - 30% מהאנרגיה הראשונית במדינת ישראל. הסוגיה של חסכון אנרגיה בתחבורה מתקשרת ישירות לנושא הפחתת זיהום אוויר מתחבורה באמצעות דלקים נקיים, פתוח טכנולוגיות רכב מתקדמות ואמצעי מדיניות. נושאים אלה נדונים בהרחבה בפרק 2 במסמך עדיפות זה.

לשימוש ברכב הוצאות חברתיות גדולות מאוד בנוסף לאלה הנגרמות על ידי שריפת הדלק. הן כוללות התקנת דרכים ושטחי תנועה, תפישת שטחי קרקע ופגיעה סביבתית, וסעיף נכבד מאוד של תאונות דרכים ונפגעים. במסגרת החיוב בעלויות חברתיות יש לכלול גם נזקים אלה. ישנה מידה רבה מאוד של סינרגיזם בין השיפורים לשם חיסכון בדלק ובין הקטנת העלויות החברתיות האחרות.

### 3.2.2.5 תכנית לחסכון באנרגיה

ההערכות לחסכון באנרגיה נעשו באופן יסודי ע"י חיים מלמד, יוסי נוברסקי ודוד רודיק, ופורסמו בסדרה של 4 חוברות ע"י האגף לשמור אנרגיה במשרד התשתיות הלאומיות.

**טבלה 7: פוטנציאל שימור אנרגיה בישראל (עפ"י נתוני האגף לשימור אנרגיה)**

מגזר	חסכון בדלק, אלפי טשע"נ		חסכון בחשמל, מליון קוט"ש		סה"כ חסכון באנרגיה, אלפי טשע"נ		% חסכון באנרגיה בצריכת המגזר	
	2010	1995	2010	1995	2010	1995	2010	1995
התמרת אנרגיה	19	267	24	68	25	284	3	16
תעשייה	278	909	321	1,453	362	1,287	8	15
מוסדות ציבור	246	1,224	831	3,742	462	2,197	12	31
בתי מגורים	82	278	1,425	3,926	452	1,299	18	27
חקלאות ומים	7	27	273	1,168	78	331	8	18
תחבורה	109	689	0	3	109	690	4	14
<b>סה"כ</b>	<b>741</b>	<b>3,394</b>	<b>2,873</b>	<b>10,360</b>	<b>1,488</b>	<b>6,088</b>	<b>10</b>	<b>21</b>

עפ"י הערכות תכנית לשימור אנרגיה - מדיניות ותכניות שנערכה ע"י נוברסקי, ראש האגף לניהול משאבי אנרגיה במשרד התשתיות, ופורסמה ב 1997, עד שנת 1995 ההשקעה המצטברת בחסכון היתה של כמיליארד דולר בעוד החסכון נמדד בכ 334 מיליון דולר לשנה (כלומר, בהנחת תועלת ל 30 שנה, בריבית 5%- ההשקעה, בערך נוכחי, עומדת על כחצי מיליארד דולר והתועלת מגיעה ל 5 מיליארד דולר!) חלוקת החסכון הצפוי עפ"י מגזרי המשק השונים ועפ"י סוגי הטכנולוגיות (טכנולוגיות שנקלטו, המותנות בתחיקה והסברה ואלו שעדיין בחזקת טכנולוגיות חדשות) מופיעות במסמך השלם הנמצא באתר האינטרנט של מוסד נאמן.

### 3.2.2.6 חסכון באנרגיה ובחשמל - סיכום

לסכום פרק זה נביא רשימה חלקית של נושאים בהם יש לדון ואותם יש לקדם על מנת להביא לחסכון ולייעול משק האנרגיה בישראל.

**חקיקה ואכיפה:** חיוב התקנת מערכות שמש בבתיים חדשים; אפשרות התקנת דודי שמש בבתיים משותפים קיימים; חיוב בידוד תרמי של בתי מגורים ובתי ספר; מינוי ממונים על שימור אנרגיה במפעלים ומוסדות וחובת הסמכת ממונים אלה; חיוב עריכת סקרי שימור אנרגיה אצל צרכני אנרגיה גדולים מידי 5 שנים; חיוב בדיקת נצילות דודי קיטור מידי שנה; חיוב סימון אנרגטי של מוצרי צריכה; הפעלת שעון קיץ; **חקיקה מתוכננת לשימור אנרגיה:** החלת חוק מקורות אנרגיה תקנות שימור אנרגיה על משרדי ממשלה; קביעת נצילות מינימלית של מוצרי צריכה; התקנת אמצעי שימור אנרגיה בתאורה; אמצעי שימור במעטפת מוסדות ציבור; Energy Rating של מבנים; חובת אישור חישובים אנרגטיים של מבנים חדשים; חובת יישום מסקנות סקרי שימור אנרגיה במפעלים ומוסדות; חיוב בדיקת נצילות של דודי סולר וקביעת נצילות מינימאלית; חיוב בדיקת נצילות של משאבות מים וקביעת נצילות מינימאלית; מניעת מילוי עודף של דלק בתחנות דלק; כיוול מתקני ניפוח צמיגים בתחנות דלק; התייעלות משרדי ממשלה ב -

10% לפחות (בבדיקות מדגמיות הוכח שניתן לחסוך גם למעלה מ- 30%); הרחבת סמכויות ממונים על שימור אנרגיה לחסכון במים, ולהיפך.

#### **פרק 4: טכנולוגיות לאנרגיה חלופית**

חח"י הכינה מסמך נרחב הנותן תמונה מפורטת של צריכת החשמל בהווה ובעתיד, וכן מונה את הבעיות הסביבתיות ואת הטכנולוגיות השונות לשיפור המצב הסביבתי. זאת מבלי פירוט עלויות, סדרי עדיפויות והמלצות. חברת החשמל הינה הגוף המקצועי והניהולי היחיד בישראל שעשוי היה לטפל באופן מערכתי בנושא החשמל, אולם, המדיניות הפורמאלית שמוכתבת על ידי הממשלה ועל ידי הרשות הציבורית - חשמל היא תחרות קצרת טווח בספקים פרטיים ללא מו"פ, ללא ביטול הסבסוד, עם הפנמה חלקית של העלויות חברתיות וללא כל שיקולים מערכתיים כגון רזרבה תפעולית, אמינות האספקה, עליית מחיר הדלק, אבטחת אספקת דלקים, חסכון ועוד. בתוכנית שהכינה חח"י עוד בשנות השבעים, היא ממליצה להצטייד בלא יותר מ 300- מגה-וואט ממקורות מתחדשים עד שנת 2020 (!).

ממשלת ישראל קיבלה בשנת 2002 החלטה כי עד 2007 לפחות 2% מהחשמל המיוצר לצרכנים יהיה ממקורות אנרגיה חלופיים. ההצעה גם קבעה כי עד 2016 יגדל נתח זה עד כדי 5%. כיום, שנתיים לפני המועד, מהווה יצור האנרגיה ממקורות חלופיים פחות מ 0.1% והממשלה אינה מעודדת יזמים ויוזמות להשקיע בטכנולוגיות אלו.

בפרק להלן נסקור בקצרה טכנולוגיות שונות ומגוונות להפקת אנרגיה. הסברים נרחבים ומפורטים יותר ניתן למצוא במסמך השלם, הנמצא האתר האינטרנט של מוסד נאמן [www.neaman.org.il](http://www.neaman.org.il)

#### **4.1 מקורות אנרגיה מפירות השמש**

מקורות אלה הם, כאמור, העתיקים ביותר ששמשו את האדם ועד היום מקורות האנרגיה היחידים שמתחרים בעלותם במחירי אנרגיה ממקורות של דלק פוסילי. אפשר למנות במקורות אלה בעיקר ארבעה:

##### **1. אנרגיה הידרו-אלקטרית**

זולה ביותר לאספקת חשמל במפעלים גדולים. בישראל אין אנרגיה הידרו-אלקטרית משמעות. רעיון תעלת הימים, העולה מפעם לפעם מחדש, הוא נושא שיש לתת עליו את הדעת, אך הוא מעבר למטרות עבודה זו.

##### **2. אנרגיה ממקור ביולוגי**

המקור הזה מתקבל על ידי שריפת חומר צמחי או טיפול בו ליצירת כהל או גז מתאן. מקור צמחי לאנרגיה יכול להתקבל על ידי גידולים ייעודיים- אלה בלתי מעשיים כרגע בישראל בגלל מגבלות קרקע ומים. אולם, בישראל ישנה פסולת אורגנית בהיקף של 5 מיליון טון לשנה בקרוב, ותוספת של כ - 4.5% כל שנה. פתוח טכנולוגי ישראלי על ידי חברת "חץ אקולוגיה" לתסיסה מתנוגגית מאפשר תפוקה אפשרית של חשמל כדי מעל 650 קוט"ש חשמל לטון פסולת (כלומר, כ - 8% מצריכת החשמל בישראל). התועלות הנלוות לשיטה זו כוללות הפחתה של כ 1/4 מכלל גזי החממה הנפלטים מערימות פסולת, הטכנולוגיה לניצול הפסולת הכוללת גם פעילות למיחזור של כל הזכוכית, הפלסטיק, מתכות ברזליות ומתכות אל-ברזליות. חישוב נכון והסרת הסבסוד מהחשמל מצביעים על כך כי חלופה זו כדאית לאלתר.

##### **3. אנרגיות רוח**

בעולם מדובר על אפשרות אספקה של 10% מהחשמל ממקורות אנרגיות רוח, זאת במחירים של ייצור חשמל המתחרים בחשמל ממקורות דלק. לשם כך יש צורך במהירות רוח ממוצעת של 6-7 מ' לשנייה לפחות. בארץ ההערכה היתה לאספקת 6% של כל צריכת החשמל. אם יופנמו חלק מהעלות החברתית

החיצונית, למשל כדי הכפלה של עלות החשמל מטורבינות רוח, אפשר היה להקטין את הדרישה למהירות רוח ממוצעת ל 4.7-5.5 מ' לשנייה. המשמעות היא הגדלה אפשרית של שטח שיכול לספק רוח מתאימה כמעט לכל שטח המדינה, ולמרבית אספקת צריכת החשמל.

החיסרון העיקרי של אנרגיית הרוח הוא בכך שאספקת אנרגיה היא רק בכ - 1/3 מהזמן. הנכונות להעלות את מחיר הייצור ולעבוד ברוח ממוצעת נמוכה יותר, מהווה תחליף מסוים להשקעה באגירת אנרגיה. אבל, ניתן גם להקים יחידות של אגירה שאובה בנפחי אגירה קטנים יחסית שמספיקים לימים ספורים. חשוב לציין כי בעולם ירדו, במהלך השנים, ההשקעות הנדרשות להקמת טורבינות רוח ובנוסף, מקבלות טכנולוגיות אלה עידוד בגין היותן טכנולוגיות מאנרגיה מתחדשת. נתונים אלה מגדילים את זמינות התחנות תוך הפעלתן במהירויות רוח נמוכות יותר.

בישראל, הפוטנציאל לניצול אנרגיות רוח שנמצא בעבר הוא, כאמור, כ - 600 מגה-וואט מותקנים, זאת ברמה תחרותית עם החשמל ברשת. גבול מהירות הרוח הממוצעת הכדאית היתה 6-6.5 מטרים לשנייה ומעלה. ייתכן שעליית הכדאיות של טורבינות רוח תרחיב את הפוטנציאל ליותר מ 1000 מגה-וואט. אין כל ספק שאם ההשקעה המותרת תגדל לפי החישוב של פיתוח בר קיימא, כתוצאה מהפנמה של עלויות חברתיות וכן יבוטל כל סבסוד של שריפת דלק, היקף השטחים בהם ניתן להתקין טורבינות רוח יגדל פי כמה. נניח שיתקינו רק מחצית מההיקף המוערך היום בישראל, שהוא מעבר לכל ויכוח, עם מקדם ייצור של 33% בלבד, כמוהם כ - 200 מגה-וואט ממוצעים נטו או  $1.75 \times 10^9$  קוט"ש לשנה שהם כ - 6% מצריכת החשמל ב - 1997. כל ההשקעה כולה תהיה לא יותר מאשר 0.5-0.65 מיליארד דולר, ניתן להסב חלק גדול של ייצור הטורבינות לחברות ישראליות. לפי זה, ההשקעה לקילוואט ממוצע נטו לא תעלה על 3000-4000 דולר. לפי חישוב ההשקעה המותרת כתחליף לייצור חשמל ממקורות פוסיליים (טבלאות 1,2 לעיל), מותר יהיה להשקיע בסופו של דבר פי 4.25 ויותר בטורבינות או להסתפק אפילו באיזור בעל מהירויות רוח שהיא רק 60% מהגבול שנבחר עד כה. פירוש הדבר כי רוב שטחי המדינה, בהם מהירות הרוח כ 5 מטר לשניה בממוצע יכולים לשמש כאתרים מתאימים להפקת אנרגית רוח והפוטנציאל גדול בהרבה מאשר 1000 מגה-וואט ממוצע נטו, כלומר, למעלה מ - 7000 מגה-וואט ממוצעים.

**המסקנה היא שכדאי להקים טורבינות רוח ולו בלבד כדי לחסוך דלק, ואפילו על ידי השבתת תחנות קיימות. לא יהיה זה בבחינת הגזמה כלל, על כן, אם נניח את ההיקף הצנוע יחסית עד שנת 2020 כדי 750 מגה-וואט מותקנים וחשמל מיוצר כדי 2600 גיגה-וואט שעה לשנה בלבד (כ - 9%-8% מצריכת החשמל ב - 1997).**

כדי לממש את היישום של טורבינות רוח צריך לחייב הכנת תכנית קווי איסוף של האנרגיה ומתקני חיבור לרשת תוך הבטחת מחיר נאות לאנרגיה. הדבר איננו יכול להיעשות ללא מעורבות של הרשות הציבורית ויוזמה מרכזית של חברת חשמל לאומית.

המשמעות הכלכלית של התקנת חוות של טורבינות רוח בישראל לפי המתכונת המינימאלית המוצעת עשויה להיות חסכון של קרוב ל - 550,000 טשע"נ לפי המתכונת המצומצמת ביותר או 55 מליון דולר לשנה ברכישת דלק בלבד במחירי היום וכ - 100 מליון דולר לשנה לקראת שנת 2020 בערכים קבועים.

#### **4. "ארובות שרב"**

זו צורה חדשה של ניצול פירות השמש ללא צורך בקולט שמש. "ארובות שרב" הוא שם של טכנולוגיה שפותחה בטכניון ובחברת "ארובות שרב" ובתמיכה ממשית וממושכת של המשרד לתשתיות לאומיות וחברת החשמל לישראל. הטכנולוגיה פותחה לייצור חשמל באיזורים יבשים וחמים. זוהי בעצם מכונה לייצור רוח 24 שעות ביממה. טכנולוגיה זו מובילה מבחינה כלכלית ביחס לכל הטכנולוגיות המפותחות היום בארץ ובעולם לייצור חשמל ממקורות מתחדשים ונקיים, להוציא מפעלים הידרו-אלקטריים גדולים שהם מוגבלים מאוד בזמינותם בעולם וחסרים בכלל בארץ.

עקרון הפעולה - בונים ארובה בקוטר גדול מאוד (כ 400 מטר) וגובה גדול מאוד (כ 1000 מטר). מתיזים מים בפתח שבראש הארובה והם מתאדים בחלקם ומקררים את האוויר. האוויר המקורר כבד יותר מהאוויר שבסביבה וכתוצאה מכך הוא זורם כלפי מטה בתוך הארובה להיפך מארובה רגילה בה אוויר חם זורם כלפי מעלה. האוויר מגיע למהירויות גבוהות ומניע טורבינות וגנרטורים הממוקמות בתחתית הארובה ומייצרים חשמל.

ההבדל הבולט ביותר בין הארובות ובין הרוב המכריע של אנרגיות ממקור סולרי הוא שאין צורך בקולט לקרינת השמש. דבר זה מביא לארבע תוצאות חשובות:

- א. חוסכים את המחיר הגבוה של הקולט, והתפוקה איננה מוגבלת על ידי ממדיו;
  - ב. התחנה המסחרית תעבוד 24 שעות ביממה ולא 6-8 שעות כמו מרבית השיטות הסולריות;
  - ג. אין צורך בגיבוי על ידי דלק או בשיטת אגירה המוסיפה עלות ומורידה יעילות;
  - ד. שטח הבנוי של התחנה הוא בסה"כ פחות משטח תחנת כוח רגילה ליחידת ייצור. יחד עם שטח איסוף הרסס, השטח הכולל לא יעלה על 9 פעמים משטח תחנת כוח רגילה ליחידת ייצור. זאת, לעומת שטח קרקע גדול לפחות פי 20 הדרוש לתחנה תרמית לאנרגיה סולרית. יותר מכך, אותו שטח נוסף ניתן לניצול לבריכות דגים, למתקני התפלה ומאגרים אופרטיביים, ללא תשלום נוסף.
- עלויות - מחיר ייצור חשמל צפוי להיות בתחום שבין 1.7-6.5 סנט לקוט"ש, תלוי בתנאי ריבית שבין 5% ל-10% ל-30 שנה, ועבור תנאים אקלימיים וטופוגרפיים שונים בעולם. מידת אי הוודאית בעלות החשמל תלויה ברכיבי עלות שונים ובהספק. אולם, עלות ייצור החשמל תתחרה כנראה ברוב מקורות החשמל: בפחם, בגז טבעי ובתחנות כוח גרעיניות. אין אף טכנולוגיה של ייצור חשמל ממקורות מתחדשים, להוציא מפעלים הידרו-אלקטריים גדולים, שמתחרה בארובות במחיר. עלויות הייצור הצפויות בארובה בממדים סטנדרטיים בדרום הערבה, בישראל, הן 2.5 סנט לקוט"ש, או 3.9 סנט לקוט"ש, בריבית של 5% ו-10%, בהתאמה, במרחק הובלה של מי ים כדי 40 ק"מ וגובה 80 מ' מעל פני הים. משך החזר - 30 שנה, והפעלה ותחזוקה 0.566 סנט לקוט"ש.

הפוטנציאל של "ארובות שרב" - בישראל הפוטנציאל הוא להגיע בהדרגה, ואף לעלות על אספקת כל החשמל גם בשנת 2020 והרבה מעבר לכך. אזורי ההקמה הם בעיקר בערבה ובפתחת רפיח, בואך ניצנה. בעולם יש כארבעים מדינות בהן אפשר לייצר חשמל בתנאים נוחים. אולם, על ידי קווי הולכה חדישים ניתן לספק חשמל לכמעט 2/3 מהאנושות. הפוטנציאל התיאורטי הוא פי 20 מכל צריכת החשמל בעולם כיום.

#### **תועלות כלכליות וחברתיות נוספות:**

בשילוב עם הארובה המייצרת חשמל, אפשר לנצל שישה מוצרים נוספים נלווים, וכן עוד תועלות מקרו-כלכליות חשובות מאוד.

אגירה שאובה - בניצול מלא כרוכה בתוספת הכנסה שהיא בסביבות 2 סנט לכל קוט"ש. ישנן עוד כמה דרכים להתאים את עקום האספקה לעקום הביקוש בעלויות יותר נמוכות מאשר בתחנות כוח קונבנציונאליות.

התפלה - הוכח שניתן במשולב לארובות להתפיל מי ים בחצי ההשקעה ובערך ב-2/3 האנרגיה. בהשוואה לאוסמוזה הפוכה. החיסכון עשוי להגיע ל-45% במחיר, או עלות של כ-30 סנט לקוב. הארובות שוברות למעשה את מחסום המחיר לשימוש בכל ענפי החקלאות, או כמעט בכלם. העלות אינה עולה על מחיר מים מ"מקורות" כיום. יותר מכך, השימוש בחשמל שאינו נזקק לדלק ומחירו נמוך, מבטיח נגד התייקרות קשה מאוד אפשרית כאשר מחירי החשמל יאמירו.

גידול דגי ים - היום גידול דגי ים בערבה מוגבל בשל סכנת זיהום חמורה, היעדר קרקעות לבריכות סמוך לים ומחיר גבוה מאוד לשאיבת מי ים למקום מרוחק יותר וגבוה יותר מאשר שפת הים. שילוב עם

הארובות פותר בעיות אלה באופן מושלם ומאפשר פוטנציאל גידול דגי ים בהיקף של 75,000 טון לכל ארובה ואף למעלה מ- 100000 טון, או היקף ייצור של 450 מיליון דולר לשנה ליד ארובה אחת, לעומת ייצור היום של כ- 2300 טון בלבד בסה"כ במפרץ אילת. מבחינה עולמית, הפוטנציאל הוא של 130 מיליון טון דגים. יותר מכל, הדייג בים בתוספת הגידול בבריכות.

קירור תחנות כוח תרמיות במי הים החוזרים מהארובה יכול להתאים להספק דומה לזה של הארובות. הוא יכול לשמש לתחנות כוח תרמיות גם אם סולריות.

שימוש באוויר קר לטורבינות גז - הייעול הוא במספר אחוזים השווה למידת קירור האוויר במעלות צלסיוס (למשל 10-14% לקירור אוויר של 10-14 מעלות צלזיוס).

מניעת המלחה במפעלי השקיה גדולים - זאת על ידי איסוף של מי ניקוז מליחים ושימוש בהם לייצור חשמל כדי 9-10 קוט"ש על קוב מים שהתאדה, והקטנת נפח המים שיש להרחיק לים ל- 2-3% מהנפח המקורי.

חוסר רגישות לניודי מחירים של דלק - ניודי מחירים של דלק גורמים להפסדים בתשואה הלאומית הגולמית כדי מספר אחוזים.

עמידה בהגבלות של שריפת דלק - לפי החלטת הקהילה הבינלאומית (פרוטוקול קיוטו להפחתת פליטת גזי חממה) תוטלנה מגבלות קשות ביותר על שריפת דלק. מגבלות אלה דורשות עד שנת 2012 לרדת מתחת לרמת השימוש בדלק ב- 1990 המהווה נסיגה של 2/3 מפליטת גזי חממה. דרישה זו היא בלתי נסבלת לישראל או נטל כלכלי כבד מנשוא. זאת אם כל הצמצום צריך לבוא על ידי הפחתת שריפה של דלק וצמצום השימוש באנרגיה. משום כך כבר היום ניתן לקבל בהרבה מדינות בונוס משמעי תמורת חשמל ללא גזי חממה. בישראל, ביטול הטמנת פסולת אורגנית פריקה ביולוגית והקמת הארובות יתגברו על דרישות פרוטוקול קיוטו.

הצעה שנערכה על ידי "הרשות לשירותים ציבוריים-חשמל" הכינה מסגרת לבונוס במחיר שיתקבל על ידי חשמל המופק בעזרת ארובות שרב. התוספת המחושבת היא בקרוב 3.5 סנט לקוט"ש נטו. יוצא בסה"כ שרק הסעיף על אנרגיה שאובה והבונוס על חשמל מאנרגיה נקייה ומתחדשת מביא תועלת נוספת כדי 5.5 סנט לקוט"ש, מעל לעלות הייצור של החשמל.

חסכון ביבוא דלק - כ- 80-100 מיליון דולר לשנה לפחות, לכל ארובה. לפי זה, הערך הנוכחי של החיסכון ביבוא על ידי המשאב של אפשרות ייצור החשמל בדרום הארץ מגיע לערך נוכחי קרוב ל- 20 מיליארד דולר (לפי ריבית של 5%), וזאת רק לחסכון של מטבע זר ליבוא דלק.

ייצוא טכנולוגי - יישום חכם יכול להבטיח ייצור וייצוא מישראל כדי לפחות 20% מההשקעה בארובות בעולם. הצפי הוא שתוקמנה מאות ארובות כבר בעשור או שניים הקרובים (מתוך צפי קרוב ל- 1550 ארובות), עם ערך נוכחי אפשרי של ייצוא כדי למעלה מ- 100 מיליארד דולר.

צמצום בעיות סביבתיות - הארובות תעזורנה לפתור בעיות סביבתיות מהקשות ביותר בארץ ובעולם - בעיות הנובעות משריפת דלק, בעיות של מחסור במים, של שאיבת יתר קשה של מים הגורמת להמלחה ולמעשה להשמדת מקורות המים והרס קרקעות, תהליך הנקרא "מידבור" (desertification), ובעיות של דייג יתר בים. ראוי גם לזכור שקילוגרם דג ידרוש בעתיד לא יותר מקילוגרם מזון יבש, הרבה פחות מהדרישה לגדול עוף (הדורש לגידולו כ- 2 ק"ג מזון יבש לכל ק"ג) או בקר (הצורך כ- 5 ק"ג מזון יבש לכל ק"ג, משקל גוף), ומכאן, חיסכון עצום בקרקעות ובמים.

השפעות פוליטיות ואסטרטגיות בעלות משמעות מכרעת בארץ ובעולם, זאת עקב הקטנת התלות ביבוא דלק, ותרומות משנה רבות. למשל, מים זולים ללא הגבלה יאפשרו הרחבת החקלאות, ולזו משמעויות ביטחוניות שונות ומגוונות.

יש גם מקום לשת"פ עם ירדן, בערבה, ועם הפלשתינאים ברצועת עזה באספקת מים, חשמל וכן במקומות

עבודה. כל אלה והסרת העוקץ של המלחמה על המים, יהיו תרומה חשובה.

#### מצב הפרויקט:

הטכנולוגיה בשלה להקים יחידת הספק גדולה. ההעדפה היא של תחנת כוח בהספק מלא של כ - 370 מגה-וואט ממוצע בערבה. אפשר להקטין מאוד את חוסר הוודאות הכלכלית והסיכון בהשקעה על ידי בחינה חוזרת של הפרוייקט מהבחינה הכלכלית, כלהלן:

שלב ראשון - השלמת תכנון כולל על ידי ספקים מומחים וקבלת הצעות לעלויות לקראת הקמה של ארובה בקנה מידה מסחרי. כבר היום ישנה אמינות גבוהה מאוד להערכות מבחינה טכנולוגית וכלכלית. היא תשתפר בהרבה. משך של שלב זה כשנה.

שלב שני - תכנון מפורט של תחנה גדולה והכנות לבנייה. משך שלב זה עוד שנה או פחות. עלות שני השלבים החיוניים הללו לא תעלה על 50 מיליון דולר, כולל מדידות באתר והשלמת התהליך הסטטוטורי והבדיקות הטכניות.

בעקבותיהם תובא הקמה של תחנת כוח עם קבלת אחריות מלאה על תיפקודה. ראוי לציין, למשל, ש - Alstom, חברה עולמית מובילה, החלה לשתף פעולה בתכנון, תוך כוונה לספק את הציוד המכני הדרוש, והיא נוטה להעדיף תחנת כוח בקנה מידה מלא הן משום הכדאיות הרבה יותר והן מתוך הרגשת בטחון באפשרות הבנייה, תוך ניצול טכנולוגיות קיימות ומנוסות. ישנה חשיבות ראשונה במעלה להמשך התמיכה בפרויקט לשם הקמה של התחנה הראשונה, ובעיקר עלויות התכנון ופעולות ההכנה האחרות לקראת הקמת התחנה. זאת כדי להקדים את הפיתוח ולאפשר מקסימום רווח לישראל מהטכנולוגיה.

בגלל ממדי ההשקעה ומשך הזמן הארוך, עד להנאה מהצלחה מסחרית, ישנו קושי מובנה לגייס אמצעים מקרנות ומשקיעים שהתרגלו להשקעות במה שנקרא hi-tech. ומכאן, חשיבות יתר של עזרת המדינה. בשלבים אלה, הדבר יכול להתבטא בהקצאת קרקעות, בהשתתפות בהשקעה או בהבטחת מחיר נאות לחשמל, לפחות בשלב של הקמת התחנה הראשונה.

לסיכום, עד כה, אף מקור של אנרגיות חליפיות לא הוכיח את עצמו כחלופה בקנה מידה גדול כל כך לשריפת דלק וחוסר כל תלות במקורות זרים. הטכנולוגיה של ארובות שרב מציגה את הסיכוי הראשון לעשות זאת, ללא צורך להיעזר באידיאולוגיה סביבתית. בניגוד לרושם המתקבל על ידי אנשים שונים שאינם קרובים לנושא מבחינה מקצועית, הטכנולוגיה הזו ניתנת ליישום באופן מידי.

בעצם, הטכנולוגיה של הארובות פותרת את כל הבעיות, לפחות בשלושה תחומים: חשמל, מים ואספקת פרוטאינים, ובאלה משפיעה בצורה מכרעת בתחום הסביבתי, בתחום הכלכלי ובתחום המדיני-ביטחוני. אין שום פרויקט לאומי שדומה לזה בחשיבותו.

פרטים מלאים על טכנולוגיה זו ניתן למצוא במסמך השלם הנמצא באתר האינטרנט של מוסד ש. נאמן [www.neaman.org.il](http://www.neaman.org.il).

בפרק 5 להלן מובא פרוט נושאי המו"פ בנושא ארובות השרב, כמו גם בנושאים אחרים. חשוב לציין כי חלק מהנושאים שיפורטו כבר מצאו, ברמה זו או אחרת פתרון, אולם, יש צורך להמשיך לבחון את הנושאים ולממש את הפוטנציאל של חלופה זו להעלאת היחס בין התועלת לעלות.

#### 5. מקורות אנרגיה אחרים

נוסו עוד כמה מקורות אנרגיה מתוצאת קרינת השמש, ובניהם: ניצול הפרש טמפרטורות באוקיינוסים OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) ואנרגיית גלים - טכנולוגיות אלה טרם הוכיחו עצמן. **הסיכום החשוב הוא שאפשר לייצר חשמל הרבה יותר מהביקוש, ועל כן ללמוד ליישמו למקסימום.**

### אנרגיה סולארית לחום

עפ"י חוק התכנון והבניה התשכ"ה-1965, נדרש כל בית חדש בישראל להתקין דודי שמש לחמום מים. כתוצאה מכך, כ 3% מכלל צריכת החשמל בישראל נחסכים. השימוש בקולטי שמש רגילים יכול וצריך להתרחב בכמה אופנים :

- הגדלת הקולטים ומיכלי המים החמים לשם כיסוי בצריכת שיא או בתקופות דלות שמש.
  - קולטי שמש מוגדלים לשם חימום הבתים בחורף.
  - קולטי שמש יותר יעילים עם מים בטמפרטורה יותר נמוכה ומשאבות חום לאספקת חום בטמפרטורה יותר גבוהה. אלה ניתנים לשילוב עם מערכות מיזוג אוויר מכניות קלאסיות. לפי הערכה אפשר להרחיב את החיסכון מ - 3% עד קרוב ל - 6%.
  - אספקת חום לתעשייה יכולה להגיע עד קרוב ל - 10% מכלל האנרגיה. נוכל להניח שלפחות מחצית מזה תסופק ע"י קולטי שמש, קולטי שמש מרכזים ושילוב בין קולטי שמש ומשאבות חום. (קולטי שמש מאפשרים גם בריכות סולריות מהטיפוס של "אראל אנרגיה" (בריכות מכוסות בדיודה תרמית).
- בס"ה אפשר, בהנחה צנועה, להמיר לפחות 8% נוספים של צריכת אנרגיה ראשונית לאנרגיה סולרית. זו יכולה להיות פעולה שאי אפשר לסרב לה אם יהיה סיוע לאשראי ופטור ממס לבתי חרושת וחברות כמו על תשלום לחשמל ודלק, ובנוסחים לחיסכון ביבוא, כמו על ייצוא. החיסכון בעלויות דלק יהיה קרוב ל - 190 מיליון דולר בשנה במחירים וערכים של 1995. עלויות חום ממקור סולרי הן זולות מאשר עלויות חום מכל מקור אחר. זאת כבר הוכח. מובן מאליה שהירידה בפליטת גזי חממה תהיה כ - 8% מתוך הרמה הצפויה בשנת היעד. זאת נוסף לתרומה צנועה למאזן התשלומים הן בחיסכון ביבוא והן באפשרות הקמה של תעשייה לייצוא.

### קולטי שמש

זהו מתקן המרכז את קרינת השמש על מנת לנצל אנרגיה סולרית לחימום. קולטי שמש מאפשרים ניצול אנרגיה למבנים (משולב עם חסכון) וחימום מים ואוויר. קולטי השמש בנויים בד"כ כך שהם מאפשרים לקרינה לא ישירה של השמש להקלט ולהפוך לחום. הסוגים העיקריים של קולטי השמש הם :

- קולטים שטוחים - לקולט השטוח יתרון בכך שהם יכולים לפעול גם בקרינה לא ישירה, בניגוד לשני האחרים היכולים לפעול רק בקרינת שמש ישירה.
- קולטים קעורים (פרבוליים) - מסוגלים ליצור חום עד ל 4,000(!) מעלות צלזיוס. המבנה שלהם דומה לצלחת לקליטת שידורים מלווינים.
- קולטים הליוסטטים - בקולטים אלה משתמשים במראה שטוחה או קעורה הניתנת לציוד ולמעקב אחרי תנועת השמש בשנים (היום בדרך מבוקרת במחשב). שימוש בקולט מסוג זה מאפשר ניצול של עד 30%.

חברת סולל, אשר רכשה מחברת לוז את הטכנולוגיה, ממשיכה בפיתוח מערכות סולאריות-תרמיות מתקדמות. החברה פיתחה מגוון של קולטי שמש המיועדים לשימוש גם באזורים שבהם זמינות המשאב נמוכה יחסית. חלק מעבודת הפיתוח נעשתה בתמיכת המשרד לתשתיות הלאומיות ובשיתוף עם המרכז הלאומי לאנרגיית השמש בשדה בוקר (אתר משרד התשתיות הלאומיות, 2004). החברה הקימה שדה הקולטים הממוקם על גג מבנה המפעל. הקולטים הם בעלי שטח חתך פרבולי כאשר צורת הקולט היא של



חצי גליל, במרכזו עובר הצינור עם הנוזל. חברת סולל מפתחת גם קולטי שמש לחימום נוזל לשימוש ביתי. קולטים אלו מתאימים במיוחד לארצות קרות, בהן כמות קרינת השמש אינה גבוהה. עקב יעילות איסוף הקרינה בקולטים מתוחכמים אלו, ניתן לנצל בצורה יעילה את קרינת השמש.

בני הקבוצה התרמית האחרים:

### מגדל שמש

שיטה שפותחה בארץ והינה בת תחרות עם מחירי חשמל הכוללים עלות חימום. מגדל שמש הוא מתקן המכיל שדה מראות גדול, המראות בשדה המראות נקראות הליוסטטים, וכל אחת מהן עוקבת אחר מיקום השמש בנפרד (מבוקרת מחשב). ניתן לאסוף את קרינת השמש אל מגדל מרכזי, בו ניתן לנצל את קרינת השמש הממוקדת בהספק גבוה. במכון ויצמן נבנה מגדל השמש. סה"כ שטח מראות של מעל 3500 מטרים מרובעים. אם נעריך שבצוהרי יום קיץ ניתן לקבל 1 קילוואט למטר מרובע, נקבל סדר גודל של 3,500 קילוואט מכסימום תיאורטי של אנרגיה שניתן לאסוף בשדה זה (אתר של משרד לאיכה"ס, 2004).

### בריכות השמש

בריכת שמש הוא מקווה מים גדול טבעי או מלאכותי המכיל מלחים בריכוז גבוה המאורגנים בשכבות. מבנה זה של שכבות המלחים יוצר מלכודת חום המונעת מהמים החמים לעלות לשכבות העליונות, ובכך מונעת את בריחת החום מהבריכה. הקרינה הנקלטת מהשמש לא יכולה להיפלט חזרה וכך קולטת בריכת השמש כמויות גדולות של אנרגיה.

בריכת השמש מהווה בו זמנית קולט בעל שטח גדול עבור אנרגיית השמש, ומאגר לאחסון חום שכמעט אינו מושפע מתנאי הסביבה. בריכת שמש לייצור חשמל נמצאת בבית הערבה, אלא שהפקת החשמל ממנה הופסקה עקב אי כדאיות כלכלית. בבריכת השמש בבית הערבה הפיקו 5 מגהוואט חשמל משטח של 250,000 מטרים רבועים (כרבע קילומטר רבוע). תאורטית, ניתן היה באמצעות תעלת הימים להפוך את ים המלח כולו לבריכת שמש (שטח של כ-1,000 קילומטר מרובע). כל אלה לא הצליחו להוריד די הצורך את עלות הייצור לקוט"ש מתחת ל-12 סנט (אתר משרד לאיכה"ס, 2004).

חברת אורמת שיתפה פעולה עם המשרד לאיכה"ס במחקר בריכות השמש. במסגרת המחקר פיתחה החברה תחנת כוח המתבססת על טורבינה המנצלת מקורות חום בטמפרטורה נמוכה. בהמשך פיתחה החברה קו ייצור של תחנות כוח מסוג זה. כיום אורמת היא יצואנית מובילה בישראל וחברה מובילה בעולם בתחום ניצול מקורות אנרגיה מתחדשים, בעיקר גיאותרמיים (אתר משרד התשתיות הלאומיות, 2004).

### תאים פוטו-וולטאיים (תאי שמש)

ניצול אנרגיית השמש באמצעות לוחות פוטוולטאיים ("תאי שמש") המוצבים על גגות מבנים זוכה אחרונה להתעניינות רבה בעולם (למשל "פרוייקט מיליון הגגות" בארה"ב). זאת הן עקב שיפורים בטכנולוגיה הפוטוולטאית והן עקב השאיפה להפחתת זיהום האוויר בסביבה העירונית (אתר משרד התשתיות הלאומיות, 2004).

תא שמש הוא מתקן ההופך ישירות את אנרגיית השמש לאנרגיה חשמלית. המתקן של תא השמש מבוסס על משפחת חומרים הנקראים חצי-מוליכים (Semiconductors), מהם מכינים את הרכיבים האלקטרוניים המשמשים לדוגמה במחשבים. העיקרון הפיזיקלי עליו מבוססת פעולתו של תא השמש היא האפקט הפוטו וולטאי, בו אור הפוגע בצומת המורכב משני חומרים שונים גורם לפליטת אלקטרון מהחומר. ברגע שמחברים מוליך חשמלי לחומר, זורמים האלקטרונים דרכו ליצירת זרם חשמלי.

## את ערכם הכלכלי של תאי שמש קובעים הפרמטרים הבאים:

- עלות הייצור של לוחות תאי השמש.
  - עלות ההתקנה של תאי השמש.
  - כמות החשמל שניתן להפיק מתא בודד (נצילות תא השמש).
  - עלות השימוש בתא השמש (האם ממירים את האנרגיה שלו למתח החילופין של רשת החשמל? האם יש צורך באיחסון האנרגיה החשמלית לשימוש במועד אחר?).
  - משך הזמן בו ניתן להשתמש בתא השמש (כמה שעות ביום, כמה ימים בשנה, כמה שנים עד שהתא נהרס).
  - שטח חשוף העומד לרשות המשתמשים.
  - עלות החשמל המיוצר בשיטות אחרות.
- ניתן לראות מתקנים הפועלים באמצעות תאי שמש על כבישים ברחבי הארץ. גם טלפונים להזעקת עזרה, וגם טרמפיאדות לחיילים מצוידות בלוחות תאי שמש המספקים את האנרגיה להפעלת תאורה ואספקת חשמל במקום המבודד. עדיין לא נפוץ השימוש בתאי שמש לאספקת חשמל אצל צרכנים פרטיים, פרט למקומות מבודדים (אתר משרד לאיכה"ס, 2003).
- זו אנרגיה שבה מחיר הקולט הוא גבוה ביותר ועוד דרושה השקעה באגירה הגוררת אחריה גם הפסדי אנרגיה גדולים.
- ברור למדי שהאנרגיה הפוטו-וולטאית עשויה להיות מעניינת היום או בעתיד הנראה לעין, אך ורק לשירות חיוני במקומות נידחים שאין מגיעים אליהם קווי חשמל מהרשת הראשית, שהובלת דלק אליהם יקרה מאוד או שהפעלה ותחזוקה יקרים בהם באופן מיוחד. **עלות החשמל פי כמה יותר יקרה היום אפילו ממחיר המפנים את העלויות החברתיות (פי 3 עד פי 7).**
- ישנו עניין מיוחד בתאים פוטו-וולטאיים לשם אספקה של מתקני קירור למזון ותרופות במקומות נידחים, לתחנות תקשורת רחוקות, לתאורת צמתים ותחנות על דרכים ראשיות וכו'.
- ברוב המקרים של המקרים, עלות אנרגיית רוח מהווה שבר קטן של אנרגיה פוטו-וולטאית, ויכולה לשמש כמעט בכל המקרים. יותר מכך, אגירת מים והתפלת מים יכולות לשמש מתקן אגירה זול מאוד.
- הפיתוחים הפוטו-כימיים נמצאים במצב לא יותר טוב. ביחס לישראל אין כל הצדקה להתייחס היום לתאים פוטו-וולטאים כפתרון לחלק מסיבי של אספקת אנרגיה. אם תחולנה התפתחויות דרמטיות בטכנולוגיה זו אפשר יהיה לחזור ולשקול מסקנה זאת מחדש. חשוב לזכור גם שבעולם משקיעים בפיתוחים בתחום זה מאות מיליוני דולרים לשנה זה עשרות שנים. בדו"ח לוועידת ריו העריכו שעד 2050 עלויות החשמל ממקור פוטו-וולטאי עשויות, בכל זאת, לרדת ל - 6 סנט לקוט"ש, שיפור שהוא בין פי 6 לפי 13.
- ההערכות האופטימיות מדברות על עלויות התקנה שתדנה עד כדי 3000 דולר לקילוואט מותקן. זוהי עלות של לא פחות מאשר כ - 12,000 דולר לקילוואט ממוצע. זהו סכום גבוה מההשקעה המותרת לדעת דו"ח זה, גם כאשר מפנימים את מלוא העלויות החברתיות החיצוניות (ראה פרקים קודמים). אחזור ואזכיר אחת הטענות הרווחות היא שאפשר יהיה לבזר את המתקנים ברמה ביתית עם חיבור כפול לקליטה ולשיגור של חשמל. זה נראה היום כפתרון רחוק יותר ויקר יותר מפתרונות הנמצאים בפיתוח וקרובים יותר ליישום.

## מראות פרבוליות.

הטכנולוגיה פותחה בארץ. ניתן יהיה לספק אנרגיה בת תחרות בעלות אנרגיה קונבנציונלית במידה וההוצאות החיצוניות של יצור החשמל יוכנסו למחירו. ניתן לספק בשיטה זו רבע עד שליש מצריכת החשמל בישראל וזאת בנוסף לקיטור.

**בסיכום, מסקירה קצרה זו, אנו רואים שאפשר למצוא תחליף לדלקים לכל צריכת האנרגיה, וזאת תוך פרק זמן קצר ביותר.**

## 4.2 דרישות שטח לייצור חשמל וחום

מכל הבעיות הסביבתיות החמורות מאוד במדינת ישראל היה דגש מרכזי על הבעיה של שטחי קרקע. אין ספק שבעיה זו היא בעיית אמת ובעיה מרכזית. אולם ההתעלמות הגמורה מבעיות סביבתיות אחרות היא שגיאה גסה. יותר מפעם אחת נשמעה ביקורת של ה"ירוקים" על תפיסת שטחים על ידי מפעלי אנרגיה מתחדשת.

### טבלה 8: דרישת שטחים בטכניקות שונות, לייצור חשמל בלבד

(כאילו כל החשמל סופק על ידי שיטה אחת בלבד)

האמצעי	שטח במ"ר למיליון קוט"ש לשנה	שטח נוסף בקמ"ר הדרוש עד שנת 2020	סוג השטח
תחנת כוח מופעלת על ידי דלק	300-400	13.5-18	בעיקר על שפת ים ובקרבת יישובים
ארובות שרב - מבנה - שטח המבנה ואיסוף רסס	< 250 < 2300	6.25 57.5	שטחי מדבר שוממים
מגדל שמש ומראות מרכזות בריכות סולריות לחשמל	> 5000-6000	150	שטחי מדבר שוממים
בריכה סולרית לחום טורבינות רוח	< 3125 ~2000	2200	שטחים מישוריים, רצוי על יד הים
שריפת פסולת וביו-מסה על ידי ביו-גז	400-500	שטח חד פעמי לניצול כל הפסולת כדי 0.2% קמ"ר לשנה	חסכון גדול מאוד בשטח לעומת קבורה סניטרית היום

כבר הראינו שגם אם כל האנרגיה הראשונית תצטרך להיות מוספת לישראל ממקור של מגדלי שמש בלבד (כולל קיטור והתמרות דלק) כ - 40 מיליון טשע"נ אשר מעבר לשנת 2020 (כיום כ - 15 מיליון טון) או כ - 440 בליון קוט"ש בשנה אנרגיה ראשונית. יהיה צורך בפחות מ - 300 קמ"ר משטחה של ישראל או פחות מ - 2% משטחה. אם הנצילות תוגדל ל - 20% כמו במגדלי השמש של מכון וויצמן השטח ירד למחצית, אבל רק 1/20 מזה בארובות שרב.

ראוי אולי לנסות בעתיד לשלב פתרונות גם של טורבינות רוח ושל שריפת אשפה שהם זמינים לאלתר ושל ארובות שרב ששטחן לאספקת כל החשמל בישראל הוא הנמוך ביותר לפי רמת הצריכה היום פחות מ - 60 קמ"ר.

לכל תצרוכת ישראל בשנת 2020 יפותח פתרון כלכלי המבוסס על תאים פוטו-וולטאיים שתאפשר התקנה מבוצרת על פני מבנים. אפשר יהיה להימנע כמעט מכל תשלום בשטח קליטה וכן משטח נוסף דרוש להובלת חשמל מעבר לתרבות הבנייה הקיימת היום. כך אפשר יהיה לספק כ - 20% מכל החשמל בישראל ללא כל השקעת שטח נוסף.

## **פרק 5: תכנית פעולה אפשרית לשימור אנרגיה וניצול מקורות מתחדשים**

הפתרונות לבעיות בכלל ובעיות סביבתיות בפרט הוא שילוב של שלושה גורמים: הכרת ההכרח, טיפוח היכולות בתחום המדע והטכנולוגיה ויצירת התנאים הכלכליים והאדמיניסטרטיביים שיאפשרו את תהליך פיתוח הפתרונות.

כפי שהובהר לאורך כל המסמך, על מנת לפתח בישראל משק אנרגיה בר קיימא אנו מחויבים:

- א. לקבוע כיעד ראשון במעלה שימור וחסכון אנרגיה בכל המגזרים.
- ב. יש לקבוע כיעד מרכזי מקביל להרבות ככל האפשר באנרגיה ממקורות מתחדשים שאינם פוגעים בסביבה ועד כמה שאפשר מייצור מקומי. לשם כך יש להרחיב באופן משמעי עידוד מו"פ וטיפוח התעשייה הנובעת ממנו.
- ג. יש להבטיח חשבונאות ירוקה הכוללת את הערכים של פגיעה בסביבה במסלולי חיים שלמים של כל פרויקט (life cycle). את הערכים הללו יש לבחור לפי המתקדמות שבאומות ולפי המחמירים בהערכת הנזקים. ישנו יתרון כלכלי מובנה למי שיקדים לעבור לאמצעים בני-קיימא בשימוש ובייצור לייצוא.
- ד. יש לאמץ מחיר ריאלי לאנרגיה כאמצעי לפיתוח בר-קיימא.
- ה. יש למנוע כל סבסוד מבסיס התעריף במערך העלויות של אנרגיה ושימושי אנרגיה, אולי גם להציע תמיכה זמנית בטכנולוגיות חדשות ואנרגיה חלופית.
- ו. יש לאפשר פטור ממס על השקעות לשימור אנרגיה או לחסכון שאינו נופל מהפטור שהיה נוצר על הוצאות של האנרגיה הנחסכת.
- ז. יש להקצות אמצעים לתחיקה, אכיפה, הדגמה והדרכה.
- ח. מתן מימון למחקר, הכשרה, פיתוח והדגמה של טכנולוגיות שתסייענה למשק אנרגיה בר-קיימא כך שזה יהפוך מתהליך אקראי, איטי ובלתי יעיל למאמץ שיטתי, מודגש ונמשך. מימון זה צריך לכלול גם מענקים להתחלת שיווק של טכנולוגיות חדשות כדי לסייע בהבשלתן.
- כ. כל העיקרים של סיוע בפיתוח בר-קיימא (שיש בהם מידה של חפיפה הדדית) נובעים משיקולים כלכליים צרופים על אף שהם הולכים, כאמור, יד ביד עם מילוי היעדים האחרים הערכיים ואיכותיים.

לפיכך, אנו נדרשים לשורה של פעולות אשר תבטחנה השגת יעדים אלה:

### **א. פעולות אדמיניסטרטיביות, ארגוניות ותחזוקתיות**

**1.א. פעולות לחסכון אנרגיה. הקמה מחדש של אגף חזק לניהול הצריכה ושימוש יעיל באנרגיה - בכל חמשת המגזרים של שימושי אנרגיה - היעד לחיסכון כ - 20% לפחות.**

- תקציב ההנף הממשלתי 20-30 מיליון דולר לשנה.
- חסכון שנתי צפוי ביבוא כ - 600 מיליון דולר שילך וייעלה בהדרגה.
- חסכון שנתי בתפעול באנרגיה כ - 600 מיליון דולר לשנה.

פיתוח משק אנרגיה בר-קיימא בישראל- זסלבסקי

## **א.2 הפסקת סבסוד חשמל**

העלאה הדרגתית של תעריפי החשמל בערך ב - 50%, וייצובם ללא ניוודים תקופתיים עם שינוי מחירי הדלק. היעד הוא כיסוי כל ההוצאות, כולל: ארנונה בכל השטחים, אספקה לשעת חירום, ערבות ממשלתית, הפחתה מהירה, הבטחת תשואה מקובלת על ההון, מו"פ בהיקף של כ - 3%, מהיקף הפעילות, ולבסוף לכלול את העלויות החברתיות או לפחות חלקן שישמשו בקרן לקידום תשתיות. תועלות:

- חיסכון בחשמל כדי 20%.
- דחייה של השקעות בתחנות כוח חדשות
- יצירת מצב שמאפשר הפרטה כדאית, אבל ספק אם הפרטה כדאית במקרה הזה משום שחברת החשמל יכולה לשמש כלי ביצוע חשוב ביותר של המדינה;
- יצירת מצב שמאפשר תחרות ביחס לטכנולוגיות חדשניות;
- יצירת מצב שמאפשר הנהגה של אנרגיות חליפיות;
- שימוש בחסכוניות מביטול סובסודיות על ההון להקמת מערך האנרגיות החליפיות;
- הקטנת זיהום ע"י שריפת דלק בכלל והפחתת זיהום כתוצאה מתחבורה יבשתי בפרט.

## **א.3 הנהגת חישובי פרויקטים "ירוקים" והקמה של קרנות למימון אנרגיות חליפיות, מו"פ, הדגמה והתקנה**

**א.4 שינוי התקנון של הרשות לשירותי ציבוריים - חשמל** שיאפשר:

- רווח;
- רווח סבסוד מותר לפי הצורך להשקעות בפיתוחים חדשניים;
- מימון מו"פ כדי לא פחות מ- 3% של ההיקף התפעולי;
- נוהלי פיקוח ואכיפה הגיוניים.

**א.5 תקנות בתחומים השונים של חסכון בכל המגזרים כולל תעו"ז לצריכה ביתית**

## **ב. התקנה של מקורות אנרגיה מתחדשים זמינים לאלתר לייצור חשמל**

**ב.1 איסור קבורה של פסולת מעבר ל - 10% וסיוע למיחזור חומרים וייצור אנרגיה על ידי ייצור ביו-גז, ובמקרים מיוחדים שריפה**

- הישגים צפויים:
- אספקה של למעלה מ - 10% של מקור האנרגיה לחשמל;
- חיסול קרוב ל - 40% של גזי חממה מתוך 2/3 שנדרש להפחית עד 2012.
- חיסול מקור גדול ביותר לזיהום מי תהום ומניעת בעיות סביבתיות אחרות;
- אפשרות לספק גם קיטור לתעשייה;
- אפשרות להפרדת מתאן ואגירת גז להספקת חשמל בשעות שיא.

**ב. 2 התקנת קווים ראשיים לאיסוף אנרגיות רוח על ידי חברת החשמל ועידוד הקמה של חוות רוח ע"י פרטיים לפי עלות ריאלית של חשמל ממקורות דלק, ללא סבסוד, ואפילו תרומה של חלק מהעלויות החברתיות לעידוד התקנת טורבינות רוח תועלות:**

- אספקת 6-10% מהצריכה של החשמל, וזאת בהמעטה.
- הפחתה של 3-5% בגזי החממה.

### **ב. 3 שימוש בגז טבעי לתחבורה**

אפשר בהדרגה להמיר דלק נוזלי שנרכש בחו"ל בגז טבעי שנמצא בחופי ישראל. התועלות הן:

- חסכון של מאות מיליוני דולרים לשנה ביבוא;
- הקטנה נוספת ברמת גזי החממה;
- קטנה בזיהום אוויר ושיפור הבריאות של עשרות אלפי התושבים והקטנת תחלואה ומוות.

### **ב. 4 עידוד התקנה של מתקנים סולריים לאספקת חום וקיטור לתעשייה ולמגורים**

הצפייה היא להחלפה של עוד כ - 10% של השימוש בדלק.

#### **סה"כ התרומה של סעיפים אלה, בביצוע מיידי:**

- קרוב ל - 40% של החשמל בחסכון או ממקור חליפי ללא דלק;
- הקטנת גזי חממה כדי קרוב ל - 60% ואולי אף מעל, זאת לעומת כ - 67% הנדרשים;
- הקטנה משמעות של זיהום מים;
- הקטנה משמעות של זיהום אוויר;
- הקטנה של ייבוא דלק כדי לא פחות מאשר 600 מיליון דולר בשנה, ואולי קרוב למיליארד דולר והסכום הולך ועולה בהדרגה.

**תכנית זו תורמת מבחינה סביבתית ותמחירית הרבה יותר מאשר שימוש בגז טבעי לחשמל.**

### **ג. הקמת מתקן הדגמה גדול של ארובות שרב (תוך 4 שנים)**

#### **1.1 ארובות שרב ותועלות נוספות**

שלב א' הקמת תחנת כוח גדולה תוך 3 או 4 שנים וחסכון של כ - 7.5% מהדלק לייצור חשמל. השקעה:

- השקעה של כמיליארד דולר.
- בתוספת השקעה של 350 מיליון דולר- התפלה של כ - 200 מיליון מ"ק מי ים, בעלות של 30 סנט לקוב;
- בגידול דגי ים - בהיקף של 100000 טון לשנה שיתמלא בהדרגה, ואפשרות פינוי של הדגים ממפרץ אילת אשר מייצרים היום בסה"כ כ - 2300 טון דגים לשנה;
- אגירה שאובה מובנית - ערך כלכלי של 1.5-2 סנט לקוט"ש.

יש לשקול הקמת שתי תחנות בעתיד הקרוב: אחת בערבה והשנייה בפתחת שלום.

#### ד. קידום מו"פ והדגמה (נושאים עיקריים בלבד)

- ד. 1 הבטחת תקציב שאיננו נופל מ - 3% מהיקף הפעילות
- ד. 2 פיתוח שיטות אחסון חשמל בריכוזים השואפים ל -  $60 \times 10^6$  גאול לליטר ונצילות גבוהה
- ד. 3 חיפוש דרכים שונות למהפכה תחבורתית חלקית או מלאה להקטנת השימוש בשריפה של דלק פוסילי בכלל, ודלק פוסילי מזהם מפרט. ניתן להמיר תוך זמן קצר יחסית רכב המונע בדלק לרכב חשמלי מלא או חשמלי היברידי
- ד. 4 פיתרון ביניים ע"י שימוש בגז עם המרה הדרגתית של מנוע המכוניות ושינוי של תחנות התדלוק.
- ד. 5 חיזוק תעבורה ציבורית.
- ד. 6 חיוב של רכב חלוקה בעיר בהנעה חשמלית וכלי רכב היברידיים
- ד. 7 אפשרות מיסוי לפי זמן שהיה על קטעי כביש שונים

#### **הערות לתכנית**

מיותר לחזור ולומר שישראל מפסידה הזדמנות לא רק לחסוך סכומים גדולים, אלא אף לפתח תעשיית ייצוא גדולה ולהתגונן בפני משברים צפויים. יתכן שישראל יכולה לתרום לבעיות האנרגיה והסביבה בעולם באופן משמעי עם סיכוי להקטין את הסיכון למשברים שיפגעו בה עצמה.

ישראל הוכיחה בתחומים אחרים שהיתה חלוצה טכנולוגית. הנכסים העיקריים שאפשרו זאת היו תחושת הצורך, העזה מחשבתית והכישרונות הטמונים בישראל אבל גם העזרה של המדינה.

המיוחד למקורות אנרגיה מתחדשים לחשמל הוא שכולם בשליטה גמורה של המדינה. אין שום מניעה שההתקנות המוצעות תיעשנה ע"י יזמים פרטיים. אולם גם אז הסיכוי היחידי לכך הוא אם תנאי המסגרת על חיבור לרשת, קבלת קרקע וקווי הסעה יזכו לתמיכת המדינה כאל פרויקט בעל חשיבות ודחיפות מתאימה. גם אם יהיה מכרז, לא ייתכן שהוא ייפרט לפרוטות של מפעלים קטנים ובמחירי אנרגיה מגוחכים המאפשר רק התקנה מסוג מסוים. יהיה הכרח להפנים לפחות חלק של העלויות החברתיות העתידיות ואת הסיכון שבשינוי מחירים בתוך המכרז. הכרחי גיבוי מלא לחברת החשמל תמורת הרכישה של החשמל, עם העדפות הגיוניות למקורות זולים יותר או בני סיכוי. יש צורך בקביעת סדרי עדיפויות בין הטכנולוגיות השונות ולכן, לדוגמא, ייתכן שאם יקימו את ארובות השרב לא יהיה צורך לגבות עלויות חברתיות כלל, או להגדיל אותן רק לתקופת ביניים שתסייע לשינוי מערך האנרגיה.

#### **מו"פ אנרגיה**

יש לעשות שינויים די דרמטיים בקביעת סדרי עדיפויות ונהלים בהענקת סיוע למו"פ. המחקר והפיתוח בנושאי האנרגיה בישראל צריכים להיות בתחומים הבאים:

- א. טכנולוגיות לפיתוח מקורות לאנרגיה חליפית מתחדשת;
- ב. טרנספורמציות של אנרגיה כמו למשל "תדלוק" של רכב על ידי דלק עשוי מביו-מסה או על ידי חשמל או על ידי כל מקור אחר של אנרגיה מתחדשת, שיטות אגירה שונות וערכי ניצול המאפשרים אבטחת אמינות האספקה בהוצאה מינימאלית;
- ג. שיטות שימור אנרגיה. תחום הכולל בין השאר גם מערכות עתירות אנרגיה כמו התפלת מים, ייצור מתכות וחומרים אחרים, תעבורה, אנרגיה במבנים ותעשייה.
- ד. מחקר על השפעות סביבתיות של ייצור, הסעה וניצול של אנרגיה;
- ה. אספקטים ניהוליים כלכליים ומשפטיים של אספקת אנרגיה.

פיתוח משק אנרגיה בר-קיימא בישראל- זסלבסקי

ההמלצה היא לרכז בשלב זה את מירב המאמצים במקורות אנרגיה מתחדשים ונקיים ובאמצעים לניצולה במרבית המגזרים וכן לשימור. כמו כן ראוי להתרכז בנושאים בני יישום בישראל בטווח סביר ועם יתרון סגולי. מאחר שנושאים אלה הולכים ונעשים חיוניים יותר בעולם אין להתעלם גם מהפוטנציאל לייצור וייצוא בשיקולים לבחירת הנושאים.

המושג מו"פ צריך להשתרע החל משלבים רעיוניים, הכנת הצעות מחקר, ובחינות מוקדמות וכלה בהקמת מפעל חלוץ לקראת יישום מסחרי. המחקר והפיתוח צריכים להתייחס לא רק אל רעיונות חדשים והמצאות יוצאות מן הכלל, אלא גם להכנת חומר הדרכה, בדיקות, חקירות סקרים או פיתוח שיטות עבודה. אסור לשכוח שחלק מהמחקר מהווה תהליך לימודי הכרחי, תהליך של הכשרת כוח אדם מקצועי שאין כל דרך בלעדיו.

למו"פ בתחום האנרגיה יש רקורד עם הישגים בלתי רגילים. מיום הקמת משרד האנרגיה עד 1997 הושקעו כ - 170 מיליון דולר במו"פ. סכום דומה הושקע על ידי התעשייה. כשבוחנים את התוצאות אי אפשר שלא להתפעל. הערכה גסה מצביעה על תועלת שעולה על 1: 30 וזו בהמעטה.

לישראל רקורד מרשים ביצור ושיווק טכנולוגיות סביבתיות, בעיקר בנושאי המים והאנרגיה החלופית (סקירה על שוק הטכנולוגיות הסביבתיות תוכלו למצוא באתר מוסד ש. נאמן) לשם דוגמא נזכיר כמה פרויקטים והישגיהם:

- פיתוח שיטת התפלה MED על ידי "הנדסת התפלה" ושיווקה בעולם;
- פיתוח קולטי שמש - התקנתם בארץ ויישומם בחו"ל; רק היישום בארץ חוסך יבוא דלק כדי 60 מיליון דולר בשנה וערך כפול מזה לפחות בהוצאות על אנרגיה. הערך הנוכחי מגיע לפחות ל - 1.8 מיליארד דולר.
- גילוי המחצבים של פצלי שמן ופיתוח טכנולוגיות הן להפקת נפט והן לשריפה לחשמל (חברת פמ"א); כמות החומר הדליק בפצלי השמן עולה על מיליארד טונות. (אך הוא לא תרם וכנראה לא יתרום לשוק).
- קולט שמש מרכז פרבולי שפותח על ידי חברת "לוז", ונמכר בהיקף ניכר של כ - 1.3 מיליארד דולר לארה"ב (כ- 350 מגה וואט מותקנים);
- פיתוח טורבינות ומחליפי חום על ידי "אורמת", שיווקם בעולם והקמת מפעלים גיאו-תרמיים (במסגרת פיתוח הבריכות הסולריות);
- פיתוח של מבודד שקוף על ידי "אראל אנרגיה" לבריכות סולריות ולחימום סולרי של מבנים (בינתיים לא תרם לשוק);
- שיטות חסכון אנרגיה במבנים ותקנות בניה;
- פרויקטים ביעול המשק האנרגטי של בתי חרושת (כולל בתי חרושת למלט, קוגנרציה, ייעול מתקנים חרושתיים באוויר דחוס ועוד);
- סקר משאבי רוח בכל הארץ והתקנת טורבינות רוח;

בחישוב התועלת עד כה אין להמעיט בערכן של הכשרת כוח אדם מקצועי ושמירה על מרכזי הידע בכמה תחומים חשובים שבלעדיהם לא היו מכשירים מהנדסים למכלול החברות העוסקות באנרגיה ובתחומים קרובים. אולם, במשך השנים הלך תקציב המו"פ וירד. דבר זה קורה לא רק בתחום האנרגיה אלא גם בתחומים תשתיתיים אחרים.

המסקנה היא שיש צורך להקים עבור תחומי התשתית מערך דומה לזה של משרד המדען הראשי של



התמ"ת עם אמצעים גדולים מאוד ומנגנונים דומים ואף משופרים כדי להשיג את מה שניתן בתחום זה. תקציב המחקר לאנרגיה, שהתפרס לאחרונה גם על תחומי תשתית אחרים, מגיע בס"ה ל - 1.8 חלקים לאלף מעלות יבוא של דלק ובערך 6 חלקים לעשרת אלפים מההוצאה הכוללת לאנרגיה. זאת לעומת לפחות 300 חלקים לעשרת אלפים בארה"ב. נוסף לכך שהתקציב לשימור אנרגיה ירד בערך ל - 2 סנט לנפש לשנה לעומת 4-5 דולר בארצות כמו צפון מערב אירופה וארה"ב, כלומר יחס של 1: 250.

האתגרים של ישראל מחד גיסא וההזדמנויות ליתרונות תעשייתיים מאידך גיסא, צריכים להביא אותנו להיקף מו"פ שאיננו פחות מ - 3% מההוצאה לאנרגיה או למים. לפי זה היתה הצדקה להוציא על מו"פ באנרגיה לא פחות מ - 100 מיליון דולר לשנה ולא פחות מ - 30 מיליון דולר לשנה למו"פ בתחום המים. בפועל, המו"פ בנושאי אנרגיה איננו מגיע אלא לכדי 1: 30 מהדרוש, ואילו סך הסבסוד הציבורי לחשמל הוא מעל מיליארד דולר לשנה - בסדר גודל יותר מאשר היקף המו"פ המוצע.

מדד אחד להיקף המימון הדרוש הוא יכולת הקליטה של המהנדסים והמדענים עם יכולת להשתמש בהוצאה זו באופן משכיל. אין ספק שכושר הפיתוח הן בתחום האנרגיה והן בתחום המים הלכו והתנוונו. מדד שלישי להיקף המימון הדרוש הוא סקירה בשטח של נושאים ספציפיים שנמצאים על סדר היום וישנו הכרח וכן כדאיות לקדם אותם בקצב מהיר.

**אין כל ספק שהנפת הדגל של מו"פ בתחום האנרגיה המתחדשת והגדלת מקורות המים תחזור ותמשוך בעלי מקצוע ותיקים וכן צעירים המחפשים את עתידם בתחומים אלה ורוצים מאוד לתרום לחברה בה הם חיים.**

#### **תחומי המו"פ בנושאי אנרגיה**

נושא האנרגיה מופיע כמעט עם כל נושא אחר במדע ובטכנולוגיה. מאחר שבכל תהליך ישנן התמרות אנרגיה, הרי לכאורה כל נושא צריך היה ליפול בתחום ההגדרה של הנושא הנדון ולכך כמובן אין כל הצדקה. ההערכה היא שצריך להגדיר את התחום בערך כלהלן (בתנאי שתהיה פתיחות לרעיונות חריגים):

- א. אספקה של החלק העיקרי של אנרגיה לצריכה בישראל, שיפור נצילותה, הורדת עלות הייצור, פיתוח שיטות תכן ויכולת ניהול ובקרה;
- ב. חיפוש מקורות אנרגיה חלופיים מתחדשים שהם ידידותיים לסביבה והקטנת התלות של ישראל במקורות אנרגיה חיצוניים;
- ג. מוצרים תעשייתיים לייצור ויצוא בתחום האנרגיה;
- ד. ייעול וחסכון של שימוש באנרגיה במערכות שונות כמו רכב, התפלה, ייצור אנרגיה במבנים, תעשייה ובחקלאות.
- ה. מדידת השפעות סביבתיות של ייצור אנרגיה ושימוש בה ושיטות להגנה על הסביבה.
- ו. כפי שכבר נאמר לעיל, הפעילות המחקרית צריכה להיות בכל הרמות, מניצול רעיון חדש דרך ניצול פיתוח של אחרים ועד הקמה של פרויקט חלוץ.

**הכרחי על כן להקים רשות ציבורית שלא תסתפק בחישוב תשומות לחשמל וקביעת מחיר אלא רשות שתעסוק בתכנון לאומי ארוך טווח, בעדכון התכנון לטווחים קצרים, ובניהול משק סגור להיטלים הציבוריים המופנים למו"פ, לתכנון, לפיקוח ולניהול במידת הצורך.**

**פירוט כמה מהנושאים למו"פ**

רוב הרעיונות החשובים צמחו בצורה לא צפויה. יש על כן חשש אמיתי שבגלל רשימה מפורטת כזו שכאן יידחה נושא שלא נמצא ברשימה. ואף על פי כן ננסה לפרט את הנושאים שנראים חשובים, ובעלי סיכוי ביחס לישראל. הם אינם מהווים אלא דוגמאות. חלק מהן הוא על גבול של נושאי תכנון ולאוו דווקא מחקר ואין בכך רע.

להלן סימנתי בכוכבית נושאים שלפי דעתי הקדומה הם מעניינים ביותר.

**פרוט נושאי מו"פ בתחום האנרגיה:**

<p><b>2. מרכזי שמש פרבוליים</b></p> <p>* 2.1 השלמה ושכלול הטכנולוגיות, כגון גודל היחידות, אגירת חום, שמירת ניקיון הקולטים ;</p> <p>* 2.2 שימוש אפשרי לייצור קיטור וצרכי חום אחרים ;</p> <p>2.3 שיווק יחידות למקומות נידחים ;</p> <p>2.4 ניצול משולב של חום ותאים פוטו-וולטאיים.</p>	<p><b>1. אנרגיות רוח</b></p> <p>* 1.1 השלמת מיפוי רוח בישראל ובדיקת הפוטנציאל לפי רמות השקעה שונות ;</p> <p>* 1.2 הכנת תכנית חיבורים לרשת מאיזורי רוח ראשיים ;</p> <p>1.3 סימולציה של נופים שונים למיקום אופטימאלי של טורבינה ;</p> <p>1.4 שימוש ב - CFD תלת ממדי ובמנהרת רוח ;</p> <p>1.5 בקרה אינדיבידואלית ללהבים או מהירות משתנה, ולעומת זאת בקרה של שדה טורבינות שלם ;</p> <p>* 1.6 ייצור מקומי של טורבינות רוח ;</p> <p>1.7 הקטנת רעש קולי ואלקטרוני.</p>
<p><b>4. מקורות חום וקור</b></p> <p>* 4.1 שיפור קולטי שמש ביתיים, כולל מניעה של הצטברות אבנית ;</p> <p>* 4.2 קולטי שמש לדירות דרומיות ומערביות בבתי קומות ;</p> <p>* 4.3 שילוב של קולטי שמש עם פילם נוזל ובריכות סולריות ;</p> <p>* 4.4 תיעוש של בריכות סולריות עם מבודד שקוף ;</p> <p>* 4.5 בריכות שמש תעשייתיות לאספקת מים חמים וקיטור ;</p> <p>* 4.6 שילוב של משאבות חום עם בריכות סולריות או קולטי שמש ;</p> <p>4.7 אופטימיזציה של בידוד שקוף ודיאודות תרמיות אחרות ;</p> <p>4.8 שילוב של קולטי שמש לחום ומרכזי קרינה ;</p> <p>* 4.9 מתקני ייבוש, קירור וחימום בעזרת משאבות חום ;</p> <p>4.10 מתקני ייבוש, קירור וחימום בעזרת תמיסות היגרוסקופיות ;</p> <p>* 4.11 אחסון חום וקור במבנים ובמערכות תעשייתיות ;</p> <p>4.12 אחסון חום בקרקע ;</p> <p>4.13 חומרים משני פזה ואחסון חום ;</p> <p>4.14 מקורות גאו-תרמיים ;</p> <p>4.15 ניצול ממקורות חום אבוד בתחנות כוח ובתעשייה ;</p> <p>4.16 תוספת חום לאוויר בתחנות כוח מונעות בדלק ;</p> <p>4.17 שילוב תהליכים תרמוכימיים סולריים ושימוש בפחמנים</p>	<p><b>3. מגדל שמש</b></p> <p>3.1 תכנון המגדל ;</p> <p>3.2 תכנון המראות ;</p> <p>3.3 הגדלת מקדם הריכוז ;</p> <p>3.4 קולט להספקים גדולים יותר ;</p> <p>3.5 שילוב עם תאים פוטו-וולטאיים ;</p> <p>3.6 פיתוח אמצעי אגירה והגדלת שעות העבודה ;</p> <p>3.7 שילוב של מגדל שמש בארובות שרב ;</p> <p>* 3.8 טכניקה למניעת הצטברות אבק על המראות ;</p> <p>* 3.9 הגדלת ההספק של מגדל בודד ;</p> <p>* 3.10 שיטות אגירת אנרגיה ;</p> <p>3.11 רפורמינג של דלקים בעזרת אנרגיה סולרית.</p>

<p><b>6. ניצול ביו-מסה</b></p> <p>6.1 * שיטות טיפול הסעה ואחסון פסולת חקלאית וגזם ;</p> <p>6.2 הפקת כוהל מפסולת חקלאית וגזם ;</p> <p>6.3 * גזיפיקציה של פסולת חקלאית וגזם ;</p> <p>6.4 ייבוש מוקדם באוויר יבש לשיפור הערך הקלורי בשריפה של פסולת חקלאית ;</p> <p>6.5 * ייצור ביו-גז.</p>	<p><b>5. תאים פוטו-וולטאיים</b></p> <p>לכל הפרק על תאים פוטו-וולטאיים ישנו ספק לכדאיות להשקיע במו"פ ;</p> <p>5.1 * המשך פיתוח תאים קריסטלינים ופוליקריסטלינים ;</p> <p>5.2 * שילוב של תאים פוטו-וולטאיים קטנים ומרכזי קרינה ופילטרים ; קרור ללא מערכות קרור.</p> <p>5.3 שילוב של קולטי שמש ותאים פוטו-וולטאיים ;</p> <p>5.4 תאים פוטו-וולטאיים אמורפיים ;</p> <p>5.5 תאים פוטו-וולטאיים בשכבות דקות ;</p> <p>5.6 חומרים פלסטיים מוליכים לתאים פוטו-וולטאיים ;</p> <p>5.7 שילוב בין תאים פוטו-וולטאיים ומתקנים אחרים ;</p> <p>5.8 תהליכים פוטו-כימיים ;</p> <p>5.9 חיפוש תחליפים לגבישי צורן ;</p> <p>5.10 שילוב של מתקנים לריכוז קרינה ותאים בשטח קטן.</p>
<p><b>8. ארובות שרב</b></p> <p>8.1 * המשך המו"פ לשיפור הנצילות והורדת העלויות (לפי הערכה יש פוטנציאל משמעי לשיפור) ;</p> <p>8.2 * הכנת מודלים אקלימיים ומדידות אקלימיות באתרים בישראל ;</p> <p>8.3 * הכנת מפות אקלים עולמיות ;</p> <p>8.4 * הקמת מפעל בערך בשביעית ההספק, ואספקות מקומיות של אנרגיה ;</p> <p>8.5 * גמר תכנון כל המערכות וקבלת הצעות ספקים ;</p> <p>8.6 * תכנון מתקן התפלה משולב ;</p> <p>8.7 * הקמה משולבת של בריכות דגים וטיפול גידול דגים נוספים, כמו טונה ;</p> <p>8.8 * גמר פיתוח מתזים ויישומם לתעשיות אחרות ;</p> <p>8.9 * פיתוח נוסף של שיטות למניעת פיזור רסס להגברת התפוקה בבריכות אידוי ;</p> <p>8.10 מניעת פיזור רסס והקטנת זיהום על ידי מגדלי קירור, ריסוס חקלאי ;</p> <p>8.11 יישום מסחרי של שיטות לחישוב קונסטרוקציות גדולות ;</p> <p>8.12 * חקירה ושכלול של אגירה שאובה משולבת עם ארובות שרב, כולל בחינה של מימוש האגירה על המבנה עצמו ;</p> <p>8.13 סקר בעיות סביבתיות מלא (כ- 10 נושאים) ופתרונות אופטימליים ;</p> <p>8.14 הגדלת נפח ייצור של מלח ביסול ;</p> <p>8.15 * הפקת מינרלים חשובים מהים ;</p> <p>8.16 * שילוב ארובות שרב עם אמצעים שונים לאגירת אנרגיה ברמה העונתית ;</p> <p>8.17 * ניתוח צורות שונות של שילוב של הארובות ברשת ;</p> <p>8.18 * הכנת תכנית פריסה אפשרית של הארובות בארץ ;</p> <p>8.19 * תכניות פריסה אפשריות של התפלה ;</p> <p>8.20 * שילובים אפשריים של "אגירה שאובה" יומית ועונתית.</p>	<p><b>7. פסולת</b></p> <p>7.1 * הפקת גז בתהליכי עיכול אנאירובי ;</p> <p>7.2 ייבוש מוקדם באוויר יבש לשיפור הערך הקלורי לפני שריפה (אם שריפה היא בכלל אופציה אפשרית) ;</p> <p>7.3 שריפת אשפה ;</p> <p>הפקת גז בחום ;</p> <p>7.5 * מיחזור חומרים.</p>

<p><b>10. חסכון באנרגיה ברכב ושימוש בחשמל</b></p> <p>10.1 * פיתוח רכב חשמלי עם תדלוק על ידי מתכת ;</p> <p>10.2 שילוב של מנוע שריפה פנימי וייעול "גלגל תנופה" מכני או חשמלי - רכב היברידי ;</p> <p>10.3 מעטפת רכב בעלת התנגדות נמוכה לאוויר ;</p> <p>10.4 צמיגים בעלי הפסד אנרגיה נמוך ;</p> <p>10.5 * פתרון בעיית התעבורה להקטנת פקקי תנועה ומשך השהייה של הרכב בדרכים ;</p> <p>10.6 * רכבים קטנים בעיר ומונעים בחשמל ;</p> <p>10.7 * מצברים בריכוזי אנרגיה גבוהים במיוחד ומחיר נמוך.</p>	<p><b>9. אגירת אנרגיה</b></p> <p>9.1 * פיתוח מצברים עם תדלוק על ידי מתכות ;</p> <p>9.2 שיפור שיטות לייצור ואגירת מימן ;</p> <p>9.3 תאי דלק ;</p> <p>9.4 * אגירת אנרגיה בתמלחות ;</p> <p>9.5 ניצול נוסף של אנרגיה בתמלחות סופיות במפעל ים המלח ובמפעלים אחרים ;</p> <p>9.6 אגירת אנרגיה על ידי מימן ותאי דלק (עדיפות נמוכה ביותר) ;</p> <p>9.7 * התאמת ההיצע והביקוש בזמן על ידי שיטות שונות כמו הסעה לטווח רחוק, שימוש למוצרים מיוחדים ובחירה אופטימלית של ההספק המותקן ;</p> <p>9.8 ייצור דלקים סינטטיים.</p>
<p><b>12. חסכון באנרגיה למים</b></p> <p>12.1 שיפור מקדמי חיכוך ;</p> <p>12.2 בקרת סיבובים במשאבות ;</p> <p>12.3 * שיטות השקיה המצריכות עומד מים נמוך יותר ;</p> <p>12.4 * שיטות התפלה חסכוניות באנרגיה (וכאלה המשתמשות באנרגיה מתחדשת) ;</p> <p>12.5 * הקטנת מטעני מלחים הנכנסים למקורות המים ;</p> <p>12.6 * הנצלה של אנרגיה ממערכות הובלת המים ;</p> <p>12.7 * הקטנת כמות האנרגיה במיחזור המים.</p>	<p><b>11. חסכון אנרגיה במבנים</b></p> <p>11.1 פיתוח חומרי בנייה ושיטות בנייה ;</p> <p>11.2 פיתוח חלונות תרמיים ;</p> <p>11.3 פיתוח שיטות עיצוב סביבתי נכון ;</p> <p>11.4 * מרכזי אנרגיה לדירות המשלבים קירור, מיזוג אוויר וחימום ;</p> <p>11.5 תאורה טבעית ;</p> <p>11.6 נורות יעילות ;</p> <p>11.7 * אמצעי בקרה לכיבוי אורות ומכשירים זוללי חשמל ;</p> <p>11.8 כלי בישול יעילים מבחינה אנרגטית ;</p> <p>11.9 * כיבוי אוטומטי של מכשירים שאין בהם צורך.</p>
<p><b>14. תאי דלק</b></p> <p>14.1 פתוח מצברים קטנים</p>	<p><b>13. אנרגיה בתעשייה</b></p> <p>13.1 * קוגנרציה ;</p> <p>13.2 * ניצול חום-אבוד ;</p> <p>13.3 * מתקני בקרה ;</p> <p>13.4 אמצעי בידוד.</p> <p>13.5 ניצול קולטי שמש לחום בתעשייה</p>
	<p><b>15 ייעול שריפת דלק</b></p>

"תכנית לשימור אנרגיה - מדיניות ותכניות EC-05-96 - ערוכה ע"י יוסי נוברסקי, ראש האגף לניהול משאבי אנרגיה במשרד התשתיות, ירושלים, 17.8.97 (גירסה 7). החוברת נערכה בהשתתפות דוד רודיק, חיים מלומד, נסים בן-אדרת, אמנון עינב, דודו סקברר.

"הערכת פוטנציאל שימור האנרגיה בישראל 1997-2010" באותה הוצאה, ירושלים, 5 במאי 1997, ע"י חיים מלומד, יוסי נוברסקי ודוד רודיק (EC-04-97, 05-97, 06-97, 07-97)

אבנימלך י., בורל ר. (2002). חלופות להפחתת פליטות גזי חממה בישראל. חיפה, מווסד ש. נאמן. 92 עמ'

**European Commission** - "European Energy to 2020 A Scenario Approach", Spring 1996, pp.209.

**Jones, J. MacKenzie**, "Oil as a Finite Resource: When is Global Production Likely to Peak. World Resources Institute 1709, New York, Ave. N.W., Washington D.C., 20006, 202-638-6300, March 1990.

**The US Dept. of Energy** "National Energy Strategy Report", 1991

**U.S. Dept. of Energy 1992** - "Integrated Analysis Supporting the National Energy Strategy: Methodology, Assumptions and Results DOE/S-0086P".

**Thomas B. Johansson, Henry Kelly, Amulya K.N. Reddy, Robert H. Williams**( Eds.) and Executive Editor **Lanvie Burnahan** "Renewable Energy - Sources for Fuel and Electricity", 1993, Island Press.

**Shimon Awerbuch**, 1995, "New economic cost perspectives for valuing solar technologies" in Advances in Solar Energy, Vol. 10, pp. 1-106, Ed. Karl W. Boer - American Solar Energy Society Inc. Boudler, Colorado, USA.

**Robert Constanza** et al. The Value of World's Ecosystem Services and Natural Capital. Nature. Vol. 387, 15 May 1997, pp.253-260.

**Janet N. Abramovitz** - Valuing Nature's Services, In "The state of the World, 1997" By Lester **R Brown, Christopher Flavin and Hillary French** (Eds.) W.W.Norton & Company, New York, London. . "State of the World 1996 - A Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society", 1996

"State of the world 1997- A Worldwatch Institute Report on Progress Towards A sustainable Society", 1997

**Gretchen C. Daily** (Ed.) Nature's Services - Societal Dependence on Natural Ecosystems, , 1997, Island Press, Washington D.C. & Covelo Cal.

“OECD Environmental Data Compendium ,1995” (OECD - Organization for Economic Co-Operation and Development; 2, rue Andre-Pascal, 75775 Paris Cedex 16, F

**International ENERGY AGENCY** “Comparing Energy Technologies”, 1996. “Overview by George Marsh of Energy Technology Support Unit (ETSU), United Kingdom

**Andreas Schafer and David Victor**, “The Past and Future Global Mobility”, Scientific American, October 1997, p. 37.

**David Thompson** (1995), “The Seasons, Global Temperature, and Precession”, Science, April 1995.

**Richard Lottinger, David R. Wooley, Nicholas A. Robinson, David R. Hadas, Susan E. Babb**, “Environmental Costs of Electricity Publication Inc., New York 1991.

**Olav Hohmeyer**, “Social Costs of Energy Consumption”, 1988, Springer Verlag Berlin  
“Studies Externe: Externalities of Energy” Compiled by ETSU, UK, EUR 16520 EN, 1995.

**Kirk Hamilton and Giles Atkinson** “Air Pollution and Green Accounts”;; Energy Policy, Vol. 24, pp. 675-684, 1996.

**A. Kriben, A. Segal, R. Zaibel, D. Carey and S. Kusak** Feasibility of a Solar-Driven Combined Cycle, Presented at ECE/WEC/UNESCO/MOST Workshop on the Use of Solar Energy, Bet Berl, Israel, August 1995

**F.E. Trainer** (1995), Can Renewable Energy Sources Sustain Affluent Society? *Energy Policy*, Vol. 23, pp. 1009-1026.

**S. Gabai**, “Environment in Israel (1994)”, Ministry of Infrastructure

**R.G.M. Crokell, M. Newborough, D.J. Highgate**, 1997 "Electrolyser Based Energy Management: A Means for Optimizing the Exploitation of Variable Renewable Energy Resources in Stand-Alone Application", Solar Energy Vol. 61, pp. 293-302.

**Lars Astrand**, “A Comment on the Paper by Marie Lynn Miranda and Brack Hale”, Energy Policy, Vol. 25, pp. 601-603, 1997.

**Gregory J. Kolb**, "Economic Evaluation of Solar-Only Hybrid Power Towers Using Malten-Salt Technology", Solar Energy, Vol. 62, pp. 51-61, 1997.

**Kathleen L. Abdalla**, "Energy Ppolicies for Sustainable Development in Developing Countries”, Energy Policy, 1994, pp. 29-36.

**Kirk Hamilton and Giles Atkinson**, "Air Pollution and Green Accounts", Energy Policy,

1996, pp. 675-683.

**IPPC - International Panel on Climate Change**, "Technologies, Policies and Measures for Mitigating Climate Change", IPCC Technical Report, 1996.

**Eric Russel**, Economics of Coal, International Power Generation, March 1998, pp. 51-52.

**Jean Koch and Uri Dayan**, "Inventory of Emission and Removals of Greenhouse Gases in Israel, Part A: Carbon Dioxide and Methane", Soreq Nuclear Research Center. Report No. .2784, Prepared under a Contract to Ministry of Environment, Dec. 1997

**Collin J. Campbell and Jean A. Lakerrere**, "The End of Cheap Oil", Scientific American Special Report, March 1998, pp. 60-65.

**Turner, R. Kerry**, (Ed). (1993), "Sustainable Environmental Economics and Management – Principles and Practice", John Wiley and Sons.

**Willem J.H. Van Groenendaal**, 1998, "The Economic Appraisal of Natural Gas"

**Gary Ginsburg, Aharon Serri, Elaine Fletcher, Joshua Shemer, Dani Kontik, Eric Karsenti** (1988), World Transport Policy and Practice 4/2, 27-31.

., "Photovoltaic Demonstrations Project", Commission )Eds(**Gilbert W.B., and R.J. Hacker**, of the European Communities (1991).

# נספח I: תקציר מהספר "פיתוח בר-קיימא של אנרגיה בישראל - הערכת מצב ותכנית", יולי 1999

הוכן על ידי צוות במסגרת פרויקט בר-קיימא של המשרד לאיכות הסביבה

## נוקים סביבתיים עקב שריפת דלק

- צריכה הולכת וגוברת של דלק בעולם גורמת לפגעים סביבתיים קשים ביותר ולנוקים כלכליים כבדים מאוד. רבים מהפגעים אינם הפיכים או שיידרש זמן ארוך מאוד לתיקונם.
- בעולם הגיעו להכרה שאין עוד מנוס מנקיטת אמצעים כדי לעצור תופעה קשה זו, שאם לא כן היא תלך ותחמיר עד לבלי נשוא. אין זו אלא שאלה של זמן שתינקטנה סנקציות בלתי נמנעות. אלה תופנינה תחילה כנגד המדינות היותר מפותחות והיותר נאורות וישראל תהיה ביניהן. משמעותן האפשרית הקטנת השימוש בדלק ופליטת גזי חממה לרמה של 1990 או למטה ממנה וביחס לישראל פירוש הדבר קיצוץ של 2/3 עד 3/4 מהשימוש באנרגיה החזוי לשנת 2010. יש השתהות באכיפה של הפרוטוקול הבינלאומי שהוצא בוועידת קיוטו בסוף 1997 אבל אין ספק שזה רק שאלה של זמן לא רב שהוא ייאכף. מדינות לא מעטות נקטו כבר צעדים כאילו הוא נאכף.
- הדלק הוא מאגר סופי. לפי הערכות מבוססות, נפט ייגמר תוך פחות מ-45 שנה, וגז תוך מעט למעלה מ-60 שנה, וצפויות עליות מחירים כבדות. יש חילוקי דעות על מספרים אלה בגדר של מספר שנים קטן יחסית. אבל אין ספק שמקורות הדלק הזולים יפחתו וילכו. מחירי הדלק הנמוכים היום אינם אלא עניין זמני. ההערכה היא ששיא השימוש בדלקים זורמים יגיע לפני סוף העשור הבא. גם אם הערכה זו איננה ודאית, הסיכון שבעליית מחירים כזו הוא דבר שמיותר לישראל להתנסות בו.
- בגלל האפקטים של שריפת דלק ובגלל גידול האוכלוסייה נוצר גם מחסור גובר במזון. לאחרונה היתה הכפלה של מחיר המזונות הבסיסיים ומגמה זו עשויה להימשך. יש ניצול יתר של מקורות מים, המלחה, הורדת יבולים והרס קרקעות. למעלה מ-10% של הקרקעות המושקות בעולם נמצא בתהליך חד כיווני של הרס ע"י המלחה. 2% נוספים להם מידי שנה. הערכות אחרות הן שכבר מעל 50% של הקרקעות המושקות הן בתהליך המלחה שדי בו כדי להוריד יבולים באופן ממש. תהליך זה מתרחש גם בישראל. הפתרון לבעיית המים תלוי בניצול הרבה אנרגיה. הגבלות על שימוש באנרגיה כמוהן כהגבלות על הפתרונות העתידיים לבעיות המים.
- בעקבות פגעי הטבע, בצורות ומחסור במשאבים או אפילו פחד ממחסור צפויים משברים כלכליים וסכסוכים אלימים בין מדינות, כולל מלחמות.

## ההשפעה על ישראל

- ישראל תלויה לגמרי ביבוא דלק ויבוא מרבית המזון לאדם ולבעלי חיים.
- עד שנת 2020 צפויה עלייה תלולה של הוצאות ישראל ליבוא דלק בלבד אף מעבר ל-10 מיליארד דולר בשנה, יותר מכל ייצוא ה-Hi-Tech בהווה. חמור מזאת, צפויים משברים שבהם ייתכן שישראל לא תוכל כלל לייצא ולייבא. יצוא של מה שקרוי היום Hi-Tech הוא בוודאי לא דבר אמין, לא יותר מאשר מתפרות ותעשיות אופנה בשעתן. ההערכה שעם ריבוי האוכלוסייה וגידול ברמת החיים יגבר גם הייצוא באותה פרופורציה רחוקה מלהיות ודאית, בוודאי לא בתחום הקרוי Hi-Tech. בכל מקרה, הנטל הכלכלי של יבוא דלק ומזון יכבדו וילכו. לפחות בעתיד הנראה לעין ישראל חייבת לדאוג לצרכי היסוד ולהבטיח אותם גם מעבר לשיקולים כלכליים קווייקטורליים. בין צרכי היסוד הללו נמצאים: קרקע, מים, אנרגיה ומזון.



- יותר ויותר מכירים בעולם שתעשייה "ירוקה" עשויה להפוך בעצמה ל-Hi-Tech של העתיד ובה אנרגיה נקייה תתפוש מקום מרכזי מאוד. המהפכה הצפויה לפי כמה איננה פחותה מאשר מהפכת המחשבים. האם ישראל תישאר מחוץ למהפכה זו? זו ללא ספק הזדמנות כלכלית בעלת משקל רב. היום לישראל עדיין יתרון יחסי בתחום הטכנולוגיות של אנרגיה חלופית. היא הולכת ומאבדת אותו. יש על כן חשיבות רבה ביותר לסייע לקידום טכנולוגיות בתחום התשתיות בנות הקיימא לפחות כמו במה שקרוי היה עד היום במידה רבה של התנשאות Hi-Tech.
- ישראל חתמה על אמנה בינלאומית בריו ואשררה אמנה זו, שתחייב אותה במוקדם או במאוחר להוריד את פליטת המזהמים ע"י דלק לרמה של 1990. בעקבותיה באה, כאמור, ועידת קיוטו שיצקה את ההחלטות הבינלאומיות לצעדים יותר קונקרטיים. אם לא יימצא פתרון לתביעה בלתי נמנעת זו, דבר זה ישים מחסום בלתי אפשרי לרמת החיים של ישראל ולכל המשך ההתפתחות שלה. זה יגביל לא רק את אספקת האנרגיה אלא גם מים שלא יהיו זמינים בעתיד ללא התפלה שהיא עתירת אנרגיה. חמור מזאת, עמידה בדרישות ועידת קיוטו כמוה כנסיגה חמורה ביותר ברמת הפעילות הכלכלית ורמת החיים. לפי הערכות שונות המשך המצב של "עולם כמנהגו נוהג" עשוי להתבטא עד שנת 2010 בעלויות הסתגלות שכמוהן כהכפלת מחירי הדלק פי 10 (!)
- ישנה נטייה של כמה להקל ראש בהתממשות של דרישות הקהילה הבינלאומית, אם משום שהם מקווים שהוויכוח הבינלאומי עם כמה סרבנים ומכלול אינטרסים יעכב לזמן ארוך את היישום, ואם משום שבמקור, הדרישות של ועידת קיוטו מופנות לארצות מפותחות וישראל באופן פורמאלי לא נמנית על המדינות המפותחות. גישה זו הינה הדחקה הרת אסון ע"י אינטרסנטים או ע"י מי שלא מבינים שהתגייסותה של ישראל להחלפת מקורות האנרגיה טומנת בחובה גדולה ולא עונש. גם ללא הדרישה הבינלאומית כדאי מאוד לישראל לעבור למקורות אנרגיה נקיים ובני-קיימא.
- מלבד זאת כל שנה שעוברת, האפקטים של השינויים הסביבתיים מחמירים והולכים ובניגוד לכל מיני מפיצי ספקות אין היום כל ספק שביצירתם יש רכיב אנטרופוגני מובהק. ישנה גם הכרה גוברת והולכת, לא רק בין המדענים אלא יותר ויותר בין מקבלי ההחלטות, שהסיכון בחוסר מעש הוא לאין שיעור יקר יותר ומסוכן יותר מאשר העלות לנקוט אמצעי נגד. אם למדינות המפותחות כך, לישראל לא כל שכן.
- אין להקל ראש גם במשמעויות המקומיות של השימוש באנרגיה, הגורם לזיהומים שונים, ביניהם השימוש בתחבורה, שריפת דלק בתחנות כוח ובתעשייה, שימושי קרקע ועוד. מחירם הכלכלי גבוה מכדי להקל בו ראש. אולם חשוב להדגיש שהשאלות הסביבתיות אינן עוד עניינה של ישראל פנימה בלבד. הכרח לעשות את השיקולים הגלובליים שישפיעו גם עלינו באופן מכריע. הם גם יקבעו מהו הסיכוי הטכנולוגי והכלכלי למצוא דרך נאותה לפיתוח בר-קיימא.
- תרומתה של ישראל אולי לא גדולה לזיהום העולמי. אולם תרומתה האפשרית של ישראל לשינוי דברים בעולם איננה זניחה בתחום זה כלל. הוא לא יורד מתרומתה לייעול ההשקיה והשימוש במים שהיה בשעתו. בכל אופן, הנזקים הישירים עקב שימוש מקומי בדלק גם הם ניכרים מאוד והם כשלעצמם סיבה כלכלית וחברתית ישירה לעבור למקורות אנרגיה נקיים.
- דגש חוזר ונשנה יש לאנשי התכנון בישראל על הנושא של ניצול קרקע. משום מה נתפשות הטכנולוגיות הנקיות ממקורות מתחדשים כעתירות קרקע ופוגמות בנוף. כפי שהראה הניתוח, די ב- 3%-5% משטח מדינת ישראל, לכל היותר, כדי להפוך את כל האנרגיה הדרושה למדינה לאנרגיה המתחדשת בפתרונות בני-קיימא. מרבית שטח זה נמצא בדרום הבלתי מיושב לגמרי. לא יהיה כל מנוס מקיום תחנות כוח ואף תוספת שלהן. עד שנת 2020 השימוש באנרגיה יגדל פי 2.5 עד פי 3. לא יהיה כל מנוס מהקצאת שטחים נוספים לתחנות הכוח. השאלה היא אם אלה יהיו ליד שפת ים או בלב המדבר, אם אלה יזהמו את הסביבה בצורה מסיבית ואם לאו, ואם מדינת ישראל תהיה תלויה ומשועבדת פיתוח משק אנרגיה בר-קיימא בישראל- זסלבסקי

יותר מבחינה כלכלית עם סיכונים קיצוניים בזמן משברים או תשתחרר מכך תוך פתיחת סיכוי לתעשייה גדולה ויצוא.  
התשובות הן כמעט טריביאליות. ישראל מבורכת במשאב הנקרא שמש ומוטב שתלמד להשתמש בו.  
האמרה שאנו עניים במשאבים אבל עשירים במוח מעולם לא היתה מדויקת ודי מהר היא הופכת לפארסה. איננו יודעים לנצל נכונה את המשאבים ואנו מנצלים פחות ופחות את השכל.

#### **הפתרון ארוך הטווח - פיתוח בר-קיימא**

- הפתרון בר-הקיימא הינו דרך לנצל את המשאבים הטבעיים מבלי לפגוע בסביבה של בני האדם וביכולת של בני אדם לנצל את המשאבים הטבעיים גם בזמן אחר או במקום אחר.
- בתחום האנרגיה הפתרון ארוך הטווח הוא למצוא דרכים לנצל מקורות אנרגיה מתחדשים ללא פגיעה סביבתית שהיא בעיקר עקב פליטת גזי חממה אך לא בלבד בגללם. בעצם ההליכה בנתיב של פיתוח בר-קיימא הכרחית בגלל שילוב של סיבות מקבילות:
- כדאי לישראל להקטין ככל האפשר ובהקדם האפשרי את תלותה הכלכלית והאסטרטגית ביבוא דלק, עם כל הכרוך בכך.
- ישראל תהיה מחויבת לפתח לעצמה מקורות אנרגיה מתחדשים ונקיים וליישם למקסימום השימושים וביניהם התפלה ותחבורה.
- ישראל חייבת לעשות מאמצים לחסוך באנרגיה. פעולת שימור באנרגיה לא רק מקטינה את שריפת הדלק אלא מפחיתה את העלות הכוללת של כל פתרון חלופי. לפיכך, שימור אנרגיה צריך לבוא לפני, בזמן ואחרי כל פתרון אחר.
- כדאי לישראל לפתח טכנולוגיות שיש להן שוק הולך וגדל.
- חשוב ביותר להמעיט את הנזקים הישירים של שימוש באנרגיה בישראל.

#### **המשמעות הכלכלית הקונקרטי של פתרון בר-קיימא**

- ישנו היום סבסוד כבד לאנרגיה וצריך להפסיק אותו. הביטוי סבסוד משמש כאן במשמעות כללית של מכירת אנרגיה לצרכנים במחיר חסר בהשוואה לתנאים הכלכליים של שוק חופשי. יש הכרח לחייב תשלום אמת מלא. לפי ההערכה הממעיטה הסבסוד בחשמל הוא לפחות 3.5 סנט לקו"ש. פירוש הדבר סבסוד של יותר ממיליארד דולר לשנה. לפי הערכות אחרות הסבסוד כפול.
- ישנה עלות ממשית לנזקים הסביבתיים. אלה הן "העלויות החברתיות החיצוניות". הערכנו את העלויות הללו. יחד עם הפסקת הסבסוד והעלות האמיתית של החשמל המיוצר מפחם צריך להיות יותר מכפול ממה שהוא היום. מחיר השימוש הישיר בדלק צריך גם הוא לגדול בהתאם.
- בבחירת חלופות אנרגיה ובניהול הכלכלי של מפעלי אנרגיה יש להביא בחשבון את ביטול הסבסוד ואת ההפנמה של העלויות החיצוניות ולהתוות תכנית כלכלית נאותה.
- בחישוב ערך נוכחי של חלופות אנרגיה העומדות להשוואה יש להפנים את העלויות החברתיות החיצוניות ולבחור להן שער ניכיון הרבה יותר קטן מהמקובל בעסקאות הרגילות, ולמעשה קרוב לאפס. השער ייקבע בסופו של דבר על ידי בחינה מקרו כלכלית ושיקולים של היצע וביקוש ברמה הלאומית. המשמעות הערכית של שער ניכיון נמוך היא מתן משקל דומה לרווחים או הפסדים, ותועלות או נזקים בעתיד, כמו לאלה היום.
- צריך לתת משקל שלילי לאי ודאות, לניודים בפרמטרים הכלכליים ולסיכון.
- צריך לתת משקל חיובי ניכר מאוד לכושר היצירה וכן לשכלול והבשלה של טכנולוגיות. מה גם שהן עצמן יכולות לשמש מושא לייצוא ישראלי בקנה מידה גדול. צריך לדאוג שיוגדרו היעדים המתאימים ויינקטו צעדים ליצירת האקלים הכלכלי והאדמיניסטרטיבי לפעולות יצירה כאלה.
- בין השאר צריך לתת הזדמנות תעשייתית ממשית לטכנולוגיות החלופיות עד שייכנסו לייצור בקנה מידה פיתוח משק אנרגיה בר-קיימא בישראל- זסלבסקי

יותר גדול. אין זה מונע את התנאי שיצטרכו לעמוד בתחרות בין לבין עצמן ובזמן הנכון.

### פתרונות בני-קיימא

- נמצא שישנו סיכוי מצוין לפתרונות מעשיים וכדאיים מאוד לישראל. להלן תזכורת קצרה של כמה מהן.

#### 1) מקורות של אנרגיה מתחדשת לחשמל וקיטור ביישום מיידי

**שתי טכנולוגיות ניתנות ליישום באופן מיידי**, הן בנות תחרות גם ללא הפנמה של עלויות חיצוניות או הפנמה חלקית בלבד, ויכולות להחליף לפחות מליון וחצי טון שווה ערך נפט לשנה. עם הפנמה מלאה של העלויות החברתיות החיצוניות ניתן לפחות להכפיל את הפוטנציאל. האחת היא אנרגיית רוח והשנייה שריפת פסולת הכוללת ביו-מסה ממקורות אחרים. עד כה נתפשה שריפת פסולת כבלתי כלכלית או בעלת ערך כלכלי לא גדול, רק משום שהגישה היתה שגרתית ולעתים מאוד בלתי מקצועית ומשום שערך המוצר נמדד בהשוואה לתעריפים מסובסדים. מובן מאלי שגם מעט רגישות סביבתית שתסלוד מהקמת הר אשפה בלב העיר חיפה, זיהום נורא של מי תהום בכל הארץ וסיכון התעופה האזרחית, יתנו משקל יתר ניכר לשריפת אשפה. ניצול האשפה לאנרגיה ימנע צורות שונות של זיהום סביבתי וביניהן החמורה שבהן - פליטת גז מתאן לאוויר.

#### 2) מקורות אנרגיה לחשמל וקיטור בשלבים אחרונים של פיתוח

ישנן שלוש טכנולוגיות בפיתוח ישראלי מקורי שאפשר יהיה ליישמן תוך פרק זמן קצר יחסית (2-4 שנים) והן עשויות לספק תחליף מסיבי לדלק. שיטה אחת בפיתוח ישראלי תוכל ככל הנראה להתחיל להיות מיושמת בעוד שלוש שנים אם רק יוחלט על כך ויוקדשו לכך האמצעים המתאימים. מחיר החשמל הצפוי נמוך מזה של חשמל מיוצר מפחם וגז גם ללא כל הפנמה של עלויות חיצוניות. **הפוטנציאל הוא לייצר את כל צריכת החשמל של ישראל בכל אופק שהוא. נוסף לכך היא יכולה לספק אגירה שאובה זולה מאוד של אנרגיה ברמה יומית ושבועית וניתן להשתמש בה אפילו לאספקת בסיס. כמו כן היא יכולה לשמש להתפלת מי ים בקנה מידה גדול במחיר מוזל מאוד, כמעט חצי המחיר. שיטה זו קרויה "ארוכות שרב" ופותחה ע"י הטכניון.** לטכנולוגיה עוד תועלות נוספות בעלות ערך רב. כל הדרוש הוא לסייע לקיום צוות הפיתוח ולהשתתף במימון הקמה של מפעל חלוץ.

שיטה שנייה בפיתוח ישראל יכולה להיות מיושמת לאלתר אם יפנימו את העלויות החיצוניות. לפי קונפיגורציה אחת היא יכולה לספק כרבע של כל תצרוכת החשמל של ישראל ממקור סולרי וכן אספקת קיטור לכל מיני מפעלים. שיטה זאת היא של **מראות פרבוליות מרכזות ע"י חברת סולל**. היא כבר עמדה במבחן מעשי בהיקף של 350 מגה-וואט בקליפורניה ובוודאי ניתנת לשכלול נוסף. סיוע מתאים יאפשר ללא ספק להקים מפעל הדגמה לשכלל את הטכנולוגיה ולקדם מכירות יצוא בעולם.

שיטה שלישית בפיתוח ישראלי תהיה מוכנה ליישום מסחרי בעוד מספר שנים קטן ועשויה גם היא לספק ללא גיבוי דלק כ - 1/4 של כל צריכת החשמל בישראל ממקור סולרי. גם היא מותנית בהפנמה של העלויות החברתיות החיצוניות. **זוהי טכנולוגיה של מגדל השמש בפיתוח מכון ויצמן.**

כמוצרי לוואי בפיתוח של מכון ויצמן יש להביא בחשבון שיטות אגירה שתאפשרנה שימוש באנרגיה הסולרית מספר רב יותר של שעות ביממה. תחום נוסף בעל חשיבות רבה הוא האפשרות של **התמרת מבנה כימי של תרכובות פחממניות (reforming)** תוך תוספת תכולת אנרגיה של דלקים ע"י אנרגיית השמש בריכוז גבוה מאוד. תהליך זה יש מקום לשלב בניצול פסולת, בניצול שאריות דלק ואפילו לשקול ייצור דלקים לשימוש בתחבורה.

#### 3) פתרונות ביניים

באופן עקרוני הטכנולוגיות המפותחות ע"י מכון ויצמן וכן חברת סולל עשויות גם לשמש **כפתרונות ביניים** פיתוח משק אנרגיה בר-קיימא בישראל- זסלבסקי

ע"י תוספת אנרגיה סולרית לשם חיסכון בדלק. ספק אם שימוש ביניים זה כדאי בטווח ארוך. פיתוח של שיטות אגירה שיאפשר שימוש של 24 שעות באנרגיית השמש נראה חשוב יותר ומבטיח יותר והוא מהווה היום נקודת התורפה של כל הטכנולוגיות הסולריות המצריכות קולט סולרי ישיר. הוא יאפשר הוזלה משמעותית של החשמל הסולרי ואפשרות אספקה של כל החשמל בישראל ממקור מתחדש בכל אופק חזוי שהוא. ישנן דרכים ריאליות לפתח אפשרויות אגירה של אנרגיה ובטווח זמן לא ארוך. השקעות הביניים בפתרונות הביניים תוך גיבוי ע"י דלק 3/4- של הייצור רק תדחינה להרבה שנים פתרונות בני-קיימא אמיתיים. פתרונות ביניים לא מבטיחים אנרגיה יותר זולה. הם אינם צפויים בלו"ז קצר יותר. ולבסוף, הם כרוכים בהשקעות גדולות שעשויות רק לדחות פתרונות אמת או שתהיינה השקעות אבודות.

לפי טענת המפתחים ישנן נישות שיווקיות בחו"ל גם לתצורות המוקדמות של הפיתוח, שהן חלקיות ואולי יקרות יותר. אם כאלה פני הדברים אין ספק שיש לתמוך בטכנולוגיה מבטיחה זו בתהליך שיביא בסופו של דבר לנכס בעל ערך ללא תחליף.

#### (4) ביוגז

אחד הפיתוחים המעניינים ביותר ע"י חברת חץ-אקולוגיה הוא של הפרדה הידרואולית של חלקי פסולת עירונית, עיכול החומרים האורגניים הפרוקים וייצור גז מתן, והוצאת מתכות, חומרים פלסטיים, זכוכית וחומרים אחרים לשם ניצול חוזר. היתרונות הצפויים הם במפעל נקי וסגור שניתן להיבנות בתוך תחומי מקור הפסולת וכן כנראה השקעה קטנה בהרבה בהשוואה לשריפת אשפה באופן ישיר. יש הכרח דחוף לממן בהקדם מפעל חלוץ לטכנולוגיה זו. פרויקט זה הוא דוגמא לרעיונות נוספים שיכולים להפוך דלק פלואידי מביו-מסה מתחדשת.

#### (5) פתרונות נוספים לאנרגיות חליפיות

הוצגו בפני הצוות לאנרגיות חלופיות וכן נסקרו בספרות פתרונות אפשריים נוספים ודו"ח זה איננו ממצה אותם. בין הפתרונות, כאלה שניתנים ליישום בטווח קצר מאוד. למשל:

א. קולטי שמש לאספקת חום. למשל, חברת כימת שכבר מכרה מתקנים באופן מסחרי, הקולטים הפרבוליים של חברת סולל וקולטי שמש משופרים למבנים ולתעשייה.

ב. בריכה סולרית של חברת אראל אנרגיה שיכולה לספק חום בטמפרטורה נמוכה לצורך התפלה בזיקוק בשיטת M.E.D שפותחה ע"י הנדסת התפלה ומובילה בעולם. היא יכולה לספק חום גם למכונת ספיגה לקירור שפותחה והחלה להימכר ע"י חברת Cool Tech. יש לסייע בחבירה של הפתרונות.

לפתרונות סולריים אחרים יש נישא בשוק אם כי אין לצפות מהם לפתרון חליפי מסיבי לשריפת דלק. הדוגמה האופיינית ביותר היא תאים פוטוולטאיים. באלה ההשקעה לקילואט מותקן ממוצע עדיין פי 25 גבוהה מאשר תחנת כוח רגילה ועלות החשמל גם היא בהתאם (בסדר גודל של 40 סנט לקו"ש). עם זאת, יש לישראל אולי יתרון מסחרי טכנולוגי בייצור מערכות לשימושים מיוחדים כמו תאורת הצטלבויות ותחנות הסעה, תקשורת, תאורת גנים ועוד.

#### (6) חסכון

בעבודה מפורטת מצא האגף לשימור משאבים אשר במשרד התשתיות שניתן וראוי לחסוך למעלה מ-20% של האנרגיה בהשוואה לתחזיות, וזאת בכל המגזרים, מבנים, תעשייה, תחבורה, ייצור אנרגיה ומים. הובאו בחשבון פרויקטים עם תקופת החזר קצרה מ-5 שנים. תמחור אמיתי של החשמל הוא הכרחי קודם כל והוא יעודד את החיסכון. נוסף לתמחור אמיתי יש צורך בתקנת תקנות ואכיפתן, במחקרי פיתוח, מפעלי פיתוח משק אנרגיה בר-קיימא בישראל-זסלבסקי

הדגמה והדרכה ותנאי היוון ומיסוי מתאימים להשקעות בחסכון. החיסכון הוא מצווה חיונית לא רק בשימוש בדלק אלא גם בטכנולוגיות החליפיות. אין ספק שהפנמה של העלויות החיצוניות והפסקת סבסוד יכפילו את היקף החיסכון האפשרי. חלק מרשימת הפתרונות המיוחסים לחסכון חופפים על טכנולוגיות שהוזכרו למקורות אנרגיה מתחדשים. בארצות מתקדמות כמו ארה"ב, הולנד והסקנדינביות ההוצאה הממשלתית לעידוד שימור האנרגיה היא בסביבות 5 דולר לשנה לאדם. בישראל התקציב ירד בשנה שעברה ל - 10 סנט לשנה לאדם, והשנה (1999) קרוב ל - 2 סנט לאדם לשנה. יחס התועלת של חסכון למשק לתקציב הממשלתי המושקע הוערך ב - 1:160. ניסיון העבר בשנות השמונים הוכיח שמספר זה איננו מוגזם. הרווח במשק היה בערך כפול מההשקעות. יישום השיטות לשימור אנרגיה עשוי להביא גם לפיתוח תעשייתי חשוב ותוספת תעסוקתית, כל זאת תוך חסכון של מיליארדי דולרים למשק מידי שנה.

**היחס של ממשלת ישראל לחסכון באנרגיה הוא ההמחשה הבוטה ביותר שההימנעות משינוי מגמה בנושא האנרגיה, הפסקת סבסוד, הפנמה של עלויות חברתיות ועידוד פיתוח ויישום של אנרגיות מתחדשות איננה נובעת בשום אופן מסיבות טכנולוגיות וכלכליות. יש כמה סיבות אפשריות שיכולות להסביר זאת. אולם יש מקום לחשד רציני שהטענות למיניהן על חוסר אפשרות, חוסר כדאיות, לוח זמנים ארוך ועוד הערות "פרקטיות מאוד" הן בתחום התירוצים או אינטרסים זרים או מתרבות ניהול שראוי היה לה להיעלם מהעולם.**

#### 7) תחליפי דלקים

בישראל נראה שלא כדאי לגדל ביו-מסה כתחליף לדלקים וזאת בגלל מחסור במים. אולם בכל זאת ניתן לייצר תחליפים כאלה במידה מסוימת. בעתיד יהיה על כן צורך לשימושים רבים להחליף דלק פוסילי בחשמל. יש לכך משקל רב בעיקר בתחבורה. שיטת ה - Reforming שהועלתה ע"י מכון וויצמן עשויה לשפר בעיה זו. מאמץ למצוא פתרונות חשמליים לתחבורה צריך להיות מרכזי ליעדי מדינת ישראל. יש הרבה יותר הגיון לחפש פתרונות לאספקת פחממנים ממקורות מתחדשים מאשר מחקר בתאים פוטו-וולטאיים. רמת המחירים היום היא לרעת האחרונים.

#### 8) גז טבעי

החלפת דלקים שונים בגז טבעי לא תיתן לישראל רווח כלכלי ניכר, אם בכלל, וכנגד זה תחמיר מאוד את תלותה של ישראל בספקי גז. התזמון של הפתרון על ידי אספקת גז לא יהיה יותר מהיר או יותר זול מאשר תזמון של פתרונות ברי-קיימא. יש חשש ממשי מאוד שרכישת גז שתהיה כרוכה בהשקעה ניכרת תהווה דחייה מזיקה וארוכה של פתרונות בני קיימא אמיתיים ותהווה בסופו של דבר מקח טעות מר מאוד. תחזיות שונות צופות הכפלה ואף שילוש של מחירי הגז בעתיד. יותר מזאת, מוכרי הגז ידאגו תמיד לשמור מרווח כלכלי קטן בין השימוש בגז ומקורות דלק אחרים.

**חשוב לציין שגם בתנאים כמעט אידיאליים עלות גז טבעי כפולה מעלות פחם לאותו ערך היסק (!) הנצילות בייצור חשמל במעגל משולב של גז טבעי רחוקה מלהיות כפולה מאשר בפחם. אי אפשר יהיה להפוך תחנות כוח קיימות למעגל משולב ולכן ההוצאה תגדל ולא תקטן. אספקת הגז לישראל תהיה רחוקה מתנאים אידיאליים ועל כן אין כמעט ספק שהשימוש בגז ייקר את האנרגיה ובאופן משמעי. שימוש יתר בגז במקום סולר בטורבינות גז ישנה את מאזן התזקיקים מנפט ויכוון יותר דלק נוזלי לשריפה בדרך אחרת. על כן ספק אם התועלת המצופה מהקטנת הפליטה של גזי חממה יש לה על מה לסמוך. חמור מזאת, לדליפה צפויה של 1% בלבד של גז טבעי בתהליך השימוש יש ערך מזיק כמו כמות פי 56 (!) יותר גדולה במשקל לעומת CO<sub>2</sub>.**

הפעולה היחידה שתחסוך במידה מספקת את עליית מחירי הדלק היא מציאה של מקורות אנרגיה פיתוח משק אנרגיה בר-קיימא בישראל- זסלבסקי

מתחדשים בטכנולוגיה זולה די הצורך. כל המאמצים צריכים להיות מושקעים בחתירה לפתרון אמיתי זה. גם אם כל החשמל ייוצר ע"י גז טבעי (דבר שאיננו אפשרי) הרי שכמות ה- CO<sub>2</sub> שתיפלט לאטמוספירה ממקור זה תקטן לכל היותר למחצית. מאחר שהאנרגיה הראשונית לחשמל מהווה רק כמחצית ס"ה האנרגיה הראשונית הרי שההפחתה של פליטת CO<sub>2</sub> תהיה כדי 1/4 לכל היותר. זאת כאשר ההפחתה שישראל תהיה חייבת בו הוא כדי 3/4 - 2/3. מכאן שגם אם בכל זאת, למרות כל החסרונות, יבאו גז טבעי, אין זה מפחית במידה כשלהי את הדחיפות לטפל במציאת מקורות בני-קיימא ובחסכון.

#### 9. האם דרושות עוד תחנות כוח מופעלות בדלק?

המלצות מיידיות לניצול אנרגית רוח ולניצול פסולת לאנרגיה וכן פעולות שימור אנרגיה יכולות לחסוך כדי קרוב ל-40% של תוספת לחנות כוח מופעלות בדלק. לפעולה זו טכנולוגיות קיימות וכדאיות כלכלית גבוהה ביותר. באותו הזמן אפשר להספיק להגיע לידי יישום טכנולוגיות הנמצאות לקראת גמר הפיתוח. לפיכך יש לאסור על כל בניה של תחנות כוח נוספות מופעלות בדלק פוסילי. במקום זאת חברת החשמל לישראל צריכה היתה לקבל על עצמה את עיקרי המשימה האמיתית העומדת בפני ישראל ולצידה משקיעים פרטיים לרוב.

#### 10. פצלי שמן

בישראל מאגר של פצלי שמן השווה ליותר ממיליארד טון שווה ערך נפט אבל השימוש בו לשריפה מהווה פתרון יקר יחסית וגורם זיהום חמור מאשר היום, בהכפלת פליטה של CO<sub>2</sub> ליצירת קו"ש ובעקירת הרים בשטחים ניכרים שקרוב ל-90% מהם יתמלאו באפר. מוטב שנשמור מאגר זה לעתיד הרחוק, אולי כחומר גלם לתעשייה הפטרוכימית.

#### ייצור וייצוא

השקעה בטכנולוגיות אשר בפיתוח מקומי תספק לישראל כר נרחב לייצור ויצוא בקנה מידה גדול ולזמן ממושך, כפי שהוכח גם בעבר. ומכאן עוד עדיפות לפתרונות בני קיימא מקוריים. החזון הוא במקום להוציא על יבוא דלק את כל ההכנסות מייצוא מתוחכם, להכפיל את הייצוא ולצמצם מאוד את הייבוא. רבים בעולם רואים את פיתוח הטכנולוגיות לאנרגיה בת-קיימא כמהפכה הטכנולוגית הבאה וה- Hi Tech הבא בתור.

#### פעולות שישראל חייבת בהם

- א. יש להפסיק לאלתר כל סבסוד אנרגיה ומוצרים עתירי אנרגיה כמו מים שהמחיר השולי שלהם הוא בהתפלה. יש לדאוג להפנמה של עלויות הייצונית ולהסדרה ציבורית.
- ב. יש להבטיח מחיר מתאים למקורות אנרגיה ברי-קיימא שאינם מצריכים יבוא. הערכים צריכים להיקבע תוך התחשבות בעלויות החברתיות שמבקשים לחסוך, בשיפור במאזן התשלומים וללא סבסוד. עדיף כמובן להעלות את מחירי האנרגיה ממקור של שריפת דלק לעלותם האמיתית כולל מחירי צל של המקורות החלופיים שיהיו בלתי נמנעים. בכל אלה חייבים להביא בחשבון גם תחזיות של עליית מחירים, ניוודי מחירים ושיפור דרוש במאזן התשלומים.
- ג. היקף הסבסוד הנוכחי לחשמל עולה על מיליארד דולר בשנה סכום שיש צורך לגבות מהמשתמשים לאלתר. השקעה של 10% ממנו צריכה להיות למו"פ, למפעלי הדגמה וסיוע בייצור וייצוא של טכנולוגיות חליפיות. הפנמה של העלויות החברתיות מוסיפה לפחות עוד מיליארד דולר לשימוש בחשמל ועוד סכום דומה לשימושי אנרגיה אחרים. הגבייה של הסכומים הנידונים משימושי אנרגיה כדי 3 מיליארד דולר לשנה

יכולים להחליף סוגי מס אחרים שהם שליליים ביותר ומזיקים מאוד לכלכלה הלאומית. תשלומים אלה תמורת שימושי אנרגיה הם עלויות אמת. אבל גם אם מישהו חושב שהם אינם עלויות אמת ראוי לזכור שניים:

- הימנעות מהכללת סכומים אלה במחיר לצרכן עשויה לגרום לעלות גבוהה פי כמה ואף למעלה מפי 3 ופגיעה הרסנית למשק.
  - אם נתייחס לתשלום הריאלי לאנרגיה כמיסוי הרי הוא מיסוי חיובי מאוד המעודד חסכון, יוצר מקורות תעסוקה, יזמות ויצוא בקנה מידה גדול. התועלת בתמחור אמת, על כן, כפולה ומכופלת.
- ד. יש הכרח דחוף להקים מינהל תכנון תשתיתי שיראה ראייה מערכתית של אנרגיה, מים, תחבורה, בנייה ושימושי קרקע. יש הכרח דחוף להכין תכניות פיתוח בתחומים אלה לטווח ארוך ולעדכן אותן באופן תדיר. כיום אין תכניות כאלה בכלל בישראל.
- ה. יש להקים מינהל למחקר תשתיתי. לפחות בתחום האנרגיה היקף התמיכה הממשלתית אסור שיירד מתחת ל-3% מהיקף ההוצאה לאנרגיה. זהו שבר קטן מהיקף הסבסוד שיתבטל. יש להגביר פי כמה את מאמצי המו"פ, החל מהגיית רעיון וכלה בהדגמת הטכנולוגיה. איננו עניינים במשאבים, אנו רק מזניחים אותם. והיורה על איכות וידע הופכת היום יותר ויותר למילה ריקה.
- ו. מעניין לציין שהאוצר הטבעי שבמפעלי ים המלח איננו רק המינרלים אלא במידה רבה אנרגיה סולרית בהיקף השקול כנגד כל האנרגיה הראשונית המיובאת לישראל ע"י דלק. קיומם של מפעלי ים המלח הוא תוצאה של חזון, תעוזה והרבה מו"פ. היום החליפו אותם גישה ספקולטיבית קצרת ראות כאל נכסי דלא נידי שניתנים למכירה חד פעמית.
- ז. פעולות לקראת הפרטה והחלשת המונופולים בתחום האנרגיה, כשלעצמן, אין להן כל תרומה בתחום השאלות הקיומיות של ישראל בתחום האנרגיה. בצורתן הפשטנית הן עומדות היום במידה רבה בניגוד לפתרונות המבוקשים. יש על כן הכרח דחוף לאזן אותן תוך ראייה של המטרות העיקריות שמנינו לעיל. הדבר לא יתבצע ללא מעורבות ציבורית וללא ראייה מערכתית שספק בודד לעולם איננו יכול להביא בחשבון.
- אין כל סתירה הכרחית בין תחרות ומאמץ להתייעלות ובין תכנון מערכתי לאומי ועידוד של טכנולוגיות שכדאיות יותר בטווח ארוך. רק גישה פשטנית פרימיטיבית יכולה להביא להשקפה כאילו ישנה סתירה.
- ניתן למשל להקצות בתעריף החשמל חלק לתפעול שהוא מדוד וחלק למחקר ופיתוח ולחייב בכך את כל היצרנים. ניתן ודרוש לסייע לכניסה של טכנולוגיות עד שלב מסויים ולהשאיר אותן לגורלן אחרי זה. ניתן לקצוב היקפים שונים בתמהיל של שיטות שונות המכסות תחומים שונים. דבר זה קרה כמעט תמיד בתחומים המתפתחים ומשתנים במהירות. במצב הקיים היום אין לאף גוף אחריות כוללת או אפילו הסתכלות כוללת. מדינת ישראל הפכה במידה רבה ל"מזבלה" שמשווקים אליה סחורות מיושנות.
- ח. כל הדוברים שהופיעו בפני הוועדה לאנרגיות חלופיות, ללא יוצא מן הכלל, הביעו את ביקורתם הקשה מאוד על ראייה צרה, קצרת טווח ועפ"ר בלתי משכילה של הרשויות השונות העוסקות בתחום האנרגיה. אין כיום בישראל אף גוף רציני שמתכנן, מפתח ומבקר את תחום האנרגיה. המשך המצב הקיים לא רק שלא יביא בשום אופן לכלל פתרונות נאותים בתחום זה והוא ללא כל ספק יביא להרעה משמעותית ברמת השירות בתחום האנרגיה. אין כל דרך שכוחות השוק לבדם ותכנית פרטנית של מפעל חשמל קטן נוסף בתנאים הכלכליים המוכתבים היום יביא לפתרון רצינוני לישראל וזאת במובן הכלכלי הצרוף. ההפתעה היתה שכך נקבע גם על ידי ממלאי תפקידים ברמה גבוהה מאוד במערכת פיתוח משק אנרגיה בר-קיימא בישראל- זסלבסקי

הציבורית שהופיעו בפני הצוות לאנרגיות חלופיות.

לפי תגובת המשתתפים, התפקיד השלילי ביותר בתחום זה נטלו לעצמם משרד האוצר ומשרד ראש הממשלה. הם אינם מתחשבים בלקחים ההולכים ומתבררים במדינות אחרות שבהן הפרטה בלבד מתגלה כגורמת לנזקים קשים. ביקורת וביקורת עצמית קשה באה גם מכיוון המשרדים המקצועיים - משרד התשתיות והמשרד לאיכות הסביבה. הם לא יצרו את הסביבה המקצועית הדרושה ולא לחמו על החלטות הדרושות. נשמעו הרבה נסיבות מקילות על תקציבים, על סמכויות ותירוצים אחרים. לפיכך, ישנו הכרח דחוף, כפי שכבר הזכרנו, בהקמת רשות אנרגיה בלתי תלויה שתעסוק בתכנון, פיתוח, הכתבת כללים ומחירים, ותפקח על משק האנרגיה. הרשות צריכה להיות בלתי תלויה באוצר או אפילו במשרד התשתיות אלא להתנהל כרשות כלכלית עצמאית.

הרשות הציבורית - חשמל גם היא לא מילאה כלל יעד זה, אם משום מגבלות חוק, משום הטלת קשיים בלתי אפשריים בגיוס כוח אדם, ואם משום ראייה צרה מידי של תפקידם.

י. כל דחייה בשנה אחת של הפעולות הדרושות נמדדת בנוק של מיליארדי דולרים. נזק זה הולך וגדל משנה לשנה.



המלצות וממצאים עיקריים

( "תקציר מנהלים" )

מסקנותיו המרכזיות של הצוות הינן כדלקמן:

1. יש להשקיע מקורות ציבוריים בפעולות לשימור ולחיסכון באנרגיה, בהגברת השימוש במקורות אנרגיה מתחדשים ובשילוב שני הצעדים יחדיו.
2. ניצול מוגבר של "אנרגיות חלופיות" יתרום משמעותי לשיפור איכות הסביבה והחיים במדינה, הואיל ואופן השימוש הנוכחי באנרגיה הינו גורם מרכזי למפגעים סביבתיים ולפגיעה בבריאות הציבור. הפחתת "עלויות חיצוניות" אלה ("מחיר" הפגיעה בבריאות ובאיכות הסביבה) תגדיל עוד את הרווח הכלכלי (והאסטרטגי) למשק מהגברת השימוש ב"אנרגיות חלופיות".
3. אימוץ מקורות אנרגיה מתחדשים בד בבד עם פעולות לשימור ולחיסכון באנרגיה ולייעול השימוש בה הינם תנאי הכרחי לעמידתה של ישראל בדרישות הפחתת "גזי החממה" - בהתאם ל"אמנת האקלים", שבעקבות ועידת קיוטו חתמה עליה (אף כי טרם אישרה) ממשלת ישראל.
4. העדפה לפיתוח טכנולוגיות המנצלות "אנרגיות חלופיות" קיימת כבר היום ברוב המדינות המתועשות. העדפה זו מתבטאת, בין השאר, גם בתמיכה ("סבסוד") בפרוייקטים כאלה - ובכלל זה העמדת כלים פיננסיים מיוחדים לרשות המחזירים "אנרגיות חלופיות", באופן שאינו סותר את המדיניות בדבר שוק אנרגיה תחרותי.
5. קיים בישראל מאגר של ידע ומיומנות ייחודיים לטכנולוגיות הנדרשות, הן ליישום השימוש במקורות אנרגיה מתחדשים והן לפעולות שימור וחיסכון - ובכלל זה פיתוח טכנולוגיות חדשות - והכל בתחומי יכולתו הכלכלית של המשק.
6. טכנולוגיות המנצלות "אנרגיות חלופיות", רובן פרי תכנון וחשיבה ישראלית, כבר קיימות כאן - בין כטכנולוגיה זמינה ובין בשלב של סיום המחקר והוכחת הרעיון.
7. ניתן ליישם מיד כמה מטכנולוגיות אלה, ואת רובן בטווח הקצר יחסית - במרוצת כמה שנים.
8. ישראל עלולה לאבד הזדמנויות עסקיות מתרחבות בשוק הבינלאומי, בין אם להגדלת היצוא ובין אם לגיוס הון, אם לא תקפיד להשתלב במהירה בנטייה הגוברת בו לפיתוח תחום ה"אנרגיות החלופיות" - כולל תכנון וייצור של מערכי אנרגיה כאלה. פיגור בתחום זה חייב להשליך, בחלוף הזמן, גם על ענפי משק וקשרים בינלאומיים אחרים - מה שייגרום נזק כלכלי לטווח ארוך.
9. המלצות הצוות מתייחסות לתחומים הבאים: תכנון, לטווח הקצר והארוך; כלכלה (בנושאי המחירים, המיסוי ועידוד השקעות); החקיקה, הפעילות הארגונית של הענף ומכלול המו"פ.

10. נושאי ההמלצות (המפורטות בגוף הדו"ח):

- תמיכה במו"פ ומתקני הדגמה ;
- הכללת עלויות חיצוניות במחירי האנרגיה ;
- נקיטת צעדים תחיקתיים, מינהליים וכלכליים לשימור אנרגיה ;
- עידוד "תחרות הוגנת" בין יצרני האנרגיה

## **פרק 2: הפחתת זיהום אוויר מתחבורה**

באמצעות דלקים נקיים, טכנולוגיות רכב מתקדמות וניהול תחבורה

### **עורכי הפרק:**

מוסד ש. נאמן	ד"ר אופירה אילון
מוסד ש. נאמן	מריאנה ארדץ
המכון לחקר התחבורה, הטכניון	שי ג'רבי
קבוצת לב-און, קליפורניה, ארה"ב	ד"ר מרים לב-און
ראש המכון לחקר התחבורה, הטכניון	פרופ' יוסי פרשקר

## תוכן העניינים

57.....	הקדמה
58.....	מבוא
59.....	<b>חלק I: זיהום אוויר מתחבורה</b>
59.....	1. רקע כללי
60.....	2. רמת זיהום האוויר מתחבורה בישראל
63.....	3. עלויות חיצוניות
64.....	<b>חלק II: אמצעים להפחתת זיהום אוויר מתחבורה</b>
64.....	1. שיפור תכונות דלק ושימוש בדלקים אלטרנטיביים
72.....	2. טכנולוגיות רכב מתקדמות ושיפורים במנוע
76.....	3. אמצעי מדיניות להפחתת זיהום אוויר מתחבורה
77.....	3.1 שיפור התקינה והאכיפה
79.....	3.2 אמצעים כלכליים וארגוניים
84.....	3.3 מדיניות תכנון וניהול תחבורה
90.....	<b>4. סיכום</b>
92.....	<b>רשימה ביבליוגרפית</b>
95.....	<b>נספח מס' 1: דוגמאות להפחתת הפליטות מצי רכב קיימים</b>

### רשימת טבלאות

61.....	טבלה 1: תרומתם היחסית של רכבים מנועיים לפליטה הכוללת
62.....	טבלה 2: מגמה של פליטות של מזהמי אוויר מתחבורה בישראל (באלפי טון לשנה)
63.....	טבלה 3: השוואת שיעור הפליטה של פחמן דו-חמצני על בסיס "מהבאר לגלגל"
64.....	טבלה 4: התפתחות החקיקה בנושא דלקים נקיים באיחוד האירופאי
64.....	טבלה 5: מפרטי תקן הדלק לתחבורה לפי חקיקת האיחוד האירופי
69.....	טבלה 6: פליטת מזהמים מאוטובוס גז טבעי לעומת תקני זיהום אוויר אירופאיים
78.....	טבלה 7: הצעות לשינויים במדיניות האכיפה
80.....	טבלה 8: אומדן עלות דלקים לסוגי הרכב השונים (מקור: מור וסרוסי 2001).

### רשימת איורים

60.....	איור 1: פליטת פחמן דו חמצני בעולם, לפי סוגי פעילויות (1998).
63.....	איור 2: עלויות חיצוניות ממוצעות לפי אמצעי תחבורה שונים (יורו/1000 ק"מ/נוסע, 1995).
66.....	איור 3: השוואת התרומה לפליטת פחמן דו-חמצני בין דלקים שונים ורכבים בעלי הנעות שונות
78.....	איור 4: תרחישי פליטת חלקיקים מרכבי דיזל עקב החמרת הבדיקה בטסט השנתי
97.....	איור 5: שיעורי הפחתה יחסיים של פליטת חלקיקים עם טכנולוגיות שונות בצי רכב כבד

## הקדמה

ב-5 לפברואר 2004 התקיימה בטכניון סדנה לדיון בהפחתת זיהום אוויר מתחבורה באמצעות דלקים נקיים, טכנולוגיות רכב מתקדמות וניהול תחבורה. הסדנה אורגנה על ידי מוסד שמואל נאמן והמכון לחקר התחבורה בטכניון ובשיתוף המשרד לאיכות הסביבה. מטרת הסדנה היתה להפגיש מומחים בתחומי התחבורה והתעשייה, מעצבי מדיניות תחבורתית וגופים רלוונטיים אחרים על מנת לבחון דרכים אופרטיביות ליצירת מערך תחבורתי בר קיימא בישראל.

הסדנה נפתחה ב 3 הרצאות אשר סקרו את המוקדים השונים :

- פרופ' יורם זבירין, "טכנולוגיות רכב מתקדמות"

- ד"ר מרים לב און, "Current Global Trends in Clean Transportation Fuels"

- פרופ' יורם שיפטן, "אמצעי מדיניות לפיתוח תחבורה בת-קימא"

בסדנאות הייעודיות נטלו חלק :

מדיניות	טכנולוגיות רכב	דלקים נקיים
פרופ' יוסי פרשקר, הטכניון	ד"ר נעם גרסל, אסיף אסטרטגיות	אהוד יחיאלי, מנהל מינהל הדלק, משרד התשתיות הלאומיות.
פרופ' דוד מהלאל, הטכניון	ד"ר לאוניד טרטקובסקי, הטכניון "טיפול בגזי פליטה מרכבי דיזל"	ד"ר מרים לב און "Clean Fuels - case studies of successful retrofits to existing heavy-duty vehicle fleets"
שולי נזר, רא"ג איכות אוויר, המשרד לאיכות הסביבה	שמואל בן ארי, מהנדס רכב ראשי, אגד. "תאי דלק".	אבנר פלור, ראש גף זיהום אוויר, משרד התחבורה. "גז טבעי ו LPG לרכב".
יהודה אלבז, ממונה תחבורה ציבורית, משרד התחבורה	אבנר פלור, ראש גף זיהום אוויר, משרד התחבורה. "שילוב תקינה וטכנולוגיה"	ריקי ברוקמן, מנהלת מבצעים ושיווק, בז"ן. "תוכניות בז"ן ליצור דלקים נקיים בישראל".
רונית דור- החברה להגנת הטבע		פרופ' מרסל גוטמן, הטכניון. "השפעת איכות הדלק על פליטות".
ד"ר ברננדה פליקשטיין, איגוד ערים חיפה לאיכה"ס		

בתום דיוני הקבוצות התכנסה המליאה ע"מ לשמוע דיווחים ואת ההמלצות הראשוניות שגובשו ע"י כל קבוצת עבודה.

דו"ח זה מציג רקע כללי לגבי זיהום אוויר בישראל ומתמקד באמצעים להפחתת זיהום אוויר הכוללים שיפור תכונות דלק, שימוש בדלקים אלטרנטיביים ובטכנולוגיות רכב מתקדמות ולבסוף מציג כלים כלכליים, טכנולוגיים ומנהליים לצמצום זיהום אוויר מתחבורה.

## מבוא

במהלך שני העשורים האחרונים חל גידול דרמטי בניידות. השינוי המשמעותי ביותר חל בהיקף השימוש בתחבורה בכבישים.

נתונים סטטיסטיים מצביעים על רמת ניידות נמוכה יותר במדינות המתפתחות מאשר במדינות המפותחות. בארה"ב השימוש בתחבורה הוא הגבוה ביותר מבין המדינות המפותחות. בקהילה האירופאית ומדינות אוסטרליה, יפן וניו זילנד, השימוש בתחבורה כמעט זהה והוא כמחצית מזה שבצפון אמריקה.

**בממוצע עולמי** כ- 57% מהמרחק עוברים אנשים ברכב פרטי, כ- 24% באוטובוסים, כ- 8% ברכבת וכ- 11% בתחבורה אווירית. במזרח התיכון וצפון אפריקה כ- 55% מהמרחק נוסעים ברכב פרטי, 30% באוטובוסים, 6% ברכבת ו- 9% בתחבורה אווירית (Mobility, 2001).

**בישראל** בסוף שנת 2003 מספר כלי הרכב המנועיים מנה כ- 1.98 מיליון, עלייה של כ- 1% בהשוואה לסוף שנת 2002; זאת לאחר גידול של 2.4% בשנת 2002 ו- 4.6% בשנת 2001. מתוך כלל כלי הרכב, 77% הם כלי רכב פרטיים, 17% משאיות, 4% אופנועים, כ- 1% אוטובוסים זעירים, 0.6% אוטובוסים, כ- 1% מוניות ו- 0.2% כלי רכב מיוחדים (למ"ס, 2003).

כמו בכל העולם, גם בישראל חלקם היחסי של הרכבים הפרטיים מתוך כלל כלי רכב גדל עם השנים. בשנת 1951 רכבים פרטיים היוו 28% ואוטובוסים 4.2% מכלל הרכבים. עד 2003 שיעור הרכבים עלה ל- 77%, ושיעור האוטובוסים ירד ל- 0.6% (למ"ס, 2003).

המצדדים בהמשך הרחבת רשת הכבישים בישראל מצדיקים זאת בכך ששיעור הבעלות על רכב בישראל עדיין נמוך מזה של אירופה (פלטר, 2000). קביעה זו נכונה כשלעצמה: בשנת 2000 היו בישראל 288 כלי רכב (פרטיים ולא פרטיים כאחד) ל- 1000 תושבים. הנתונים המקבילים עבור ארצות נבחרות אחרות היו כלהלן: ארצות הברית – 800, איטליה – 732, 708 בקנדה, יפן – 684, 689 בשווייץ, 680 באוסטריה, גרמניה וצרפת – 620, ו- 567 בנורבגיה. **רמת המינוע** בישראל בסוף שנת 2002 עלתה ל- 294 כלי רכב ל- 1000 תושבים מתוכם 225 כלי רכב נוסעים פרטיים (למ"ס, 2003).

אלא שלא די לבחון את שיעור הבעלות על רכב; יש לקחת בחשבון גם את מידת השימוש בו, כפי שהיא נמדדת במספר הק"מ שעושה הרכב. מידה זו מוגדרת **נסועה**. מתברר, כי במונחים של נסועה לרכב, ישראלים הם משתמשים "כבדים": הנסועה השנתית לכלי רכב לק"מ בישראל צפונה מהנגב כבר עולה על זו של מדינות רבות במערב אירופה (פלטר, 2000). בשנת 2001 הנסועה השנתית הממוצעת של רכב פרטי הסתכמה ב- 16,433 ק"מ (למ"ס, 2001).

בשעה שהנסועה של רכב פרטי בישראל עולה, ההזדקקות לתחבורה ציבורית יורדת. בעשור שבין 1985 ל- 1995 גדלה הנסועה לכלי רכב פרטי פי 2.1 (למ"ס, 1999), אך מספר הקילומטרים של נסיעה באוטובוסים ציבוריים עלה רק ב- 5.4% (למ"ס 1996).

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

# חלק I: זיהום אוויר מתחבורה

## 1. רקע כללי

התחבורה היבשתית גורמת לשורה של מפגעים סביבתיים וביניהם: צפיפות, פליטות מזהמים, רעש, זיהום קרקע, צמצום שטחים פתוחים, פגיעה במים ובמערכות אקולוגיות, הפרעה לקהילות, תאונות דרכים, שימוש באנרגיה לא מתחדשת, פסולת מוצקה שקשורה לתחבורה. דו"ח זה מתמקד בזיהום אוויר מתחבורה.

ככלל, מזהמי אוויר מתחבורה מתחלקים לפליטות קונבנציונליות ופליטות גזי חממה.

### פליטות "קונבנציונליות"

תחבורה ממונעת היא המקור העיקרי של זיהום אוויר מקומי, עירוני ואזורי (Mobility, 2001). חומרים הנפלטות על ידי הרכבים תורמים לזיהום אוויר הכולל: תחמוצת חנקן ( $\text{NO}_x$ ) - פונקציה של טמפרטורת השריפה, פחמן חד חמצני ( $\text{CO}$ ) - מוצר שריפה לא מושלמת בגלל חוסר בחמצן זמין, פחמימנים ( $\text{HC}$ ), חלקיקים נשימים ( $\text{PM}_{2.5}$ ), תרכובות אורגניות נדיפות ( $\text{VOC}$ ), עופרת, וגופרית דו חמצנית ( $\text{SO}_2$ ). אוזון  $\text{O}_3$  הינו מזהם משני הנוצר מריאקציה פוטוכימית של תחמוצות חנקן ופחמימנים.

### פליטה של גזי החממה

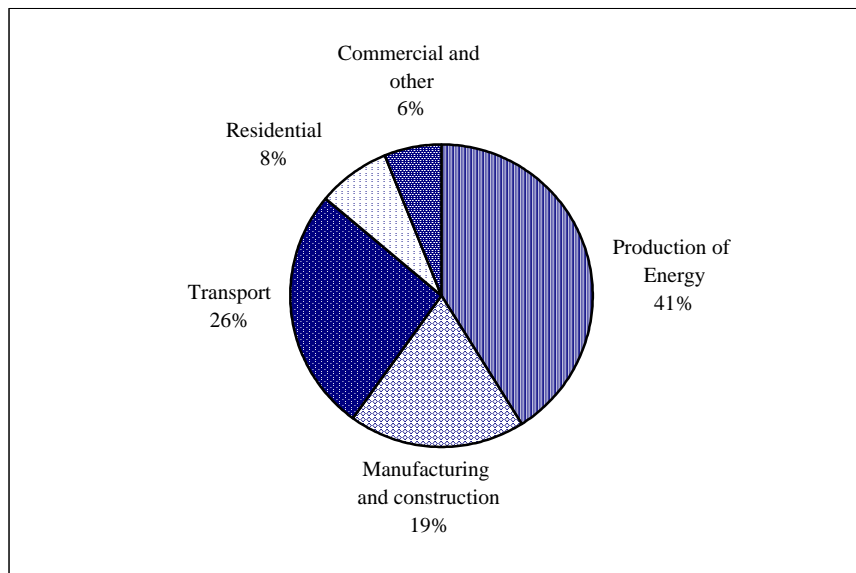
המזהמים שפורטו לעיל מזוהים בעיקר עם בעיות זיהום מקומיות, אורבניות או אזוריות. למזהמים אחרים השפעות גלובליות. פחמן דו חמצני ( $\text{CO}_2$ ) נוצר מבעירה של דלקים פוסיליים.  $\text{CO}_2$  נקרא "גז חממה", משום שכאשר הוא נמצא באטמוספירה, הוא קולט את הקרינה האינפרא אדומה אשר מוחזרת מכדור הארץ ולא מאפשר לה להתפזר בחלל. כך נגרם אפקט החממה, המביא לעליה בטמפרטורה הממוצעת של כדור הארץ.

מזהמים נוספים מתחבורה כגון: מתאן, תחמוצת חד-חנקנית ( $\text{N}_2\text{O}$ ), ופליטות ממזגני אוויר שברכבים, גם הם גזי חממה. גזים אלה בעלי פוטנציאל השפעה רבה יותר על שינויי אקלים ליחידת מסה בהשוואה ל  $\text{CO}_2$ . תחבורה המונעת בדלקים קונבנציונליים מהווה מקור זניח, בדרך כלל, לפליטות מתאן ו-  $\text{N}_2\text{O}$ . פליטת מתאן מרכב מתחילה להיות משמעותית כאשר הרכב מותנע בדלקים גזיים, כמו גז פחממני מעובה (גפ"מ) או גז טבעי דחוס. השימוש בנוזלי מיזוג אוויר ברכבים ( $\text{CFC}$ ) בעבר הלא רחוק - הוגבל בגלל תרומתם לפגיעה בשכבת האוזון ותחליפם שלהם משמעותיים גם הם מבחינת אפקט החממה. שימוש ב-  $\text{CFC}$  (פחמן כלורו-פלואור) נפסל ונאסר על ידי פרוטוקול מונטריאל, אף על פי זאת השימוש והסחר הבינלאומי מותרים כל עוד הוא קיים במלאי.

כיום ישנה הסכמה בין לאומית כי חייבים לצמצם כמויות של  $\text{CO}_2$  הנפלטות לאטמוספירה עקב פעילויות האדם השונות, כולל התחבורה. איור 1 מציג את פליטת  $\text{CO}_2$  העולמי, הנגרמים מצריכת אנרגיה בלבד (ללא סקטורים כמו פסולת וחקלאות), לפי סוגי פעילויות (IEA, 2000). התחבורה אחראית ל - 26% מכמות  $\text{CO}_2$  העולמי, כאשר 16.9% נגרמים על ידי תחבורה יבשתית. פליטת  $\text{CO}_2$  נמצאת במתאם לצריכה של אנרגיה כאשר מקור הכוח הוא דלק פוסילי. לעומת זאת, כאשר הכוח מופק מהמקורות האחרים (לדוגמה הידרו חשמלי או רוח), פליטת  $\text{CO}_2$  היא מינימלית. כיום, אמצעי התחבורה היחידים

אשר מסוגלים להשתמש במקור כוח נקי הוא תחבורה ציבורית במדינות כגון: שוויץ, נורבגיה וצרפת אשר מייצרות כמויות גדולות של חשמל על ידי שימוש בהידרו אנרגיה או אנרגיה גרעינית. אמצעי תחבורה אלה (רכבת תחתית, רכבת חשמלית ואוטובוסים חשמליים) יונקים את החשמל מקווים עליונים או מסילות מחושמלות.

**איור 1: פליטת פחמן דו חמצני בעולם, לפי סוגי פעילויות (1998)**



מקור: Mobility, 2001

מרכיבים מזהמים עיקריים הנפלטים ממנועי בנזין הם  $CO_2$ ,  $NO_x$ , HC, CO. מרכיבים מזהמים עיקריים ממנועי דיזל הם  $PM$ ,  $NO_x$  – חלקיקים,  $CO_2$ , ופליטות נמוכות של CO ו-HC. בעיות עיקריות הגורמות לזיהום אוויר מוגבר הם תחזוקה לקויה של כלי הרכב, גודש בכבישים והתיישנות של כלי הרכב (טרטקובסקי, 2004).

## 2. רמת זיהום האוויר מתחבורה בישראל

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

חלקה של התחבורה בסך הפליטות, ובמיוחד של כלי רכב מנועי דיזל, הוא מהגדולים והבעייתיים ביותר, זאת הן בשל הרכב המזהמים והן בשל סמיכות מקור הפליטה לאוכלוסייה (משרד לאיכות הסביבה, 2001). השימוש הגובר בכלי רכב המונעים בדיזל מגדיל את פליטת החלקיקים המיקרוניים -  $PM_{2.5}$  באוויר. החלקיקים חשודים כגורמים לסרטן, לעלייה בשכיחות מחלות לב ודרכי הנשימה ולשיעורים גבוהים של תמותה בטרם עת.

ע"פ סקר סיכונים השוואתי מזיהום אוויר בשני אזורים עירוניים בישראל לשנים 1995 – 1999, ניתן להעריך כי זיהום אוויר גורם לגידול בשיעורי התמותה והתחלואה גם באזור תל-אביב וגם באזור



אשדוד. הגידול בשיעור התמותה קשור הן לחשיפות קצרות טווח לזיהום אוויר (חשיפות אקוטיות) והן לחשיפות ארוכות טווח (חשיפות כרוניות). הגידול בתחלואה מתבטא במיוחד בגידול במספר האשפוזים ובסימפטומים הנשימתיים בילדים. מבין המזהמים שנבדקו, חלקיקים ואוזון נמצאו אחראים לשיעור הגדול ביותר מבין מקרי המוות והמחלות שניתן לייחס לזיהום אוויר (משרד לאיכות הסביבה ואחרים, 2003).

מנתונים של הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (למ"ס, 2003), עולה כי סך כל פליטות מזהמים שונים (CO, NOx, SOx, HC, CO2, חלקיקים, עופרת) בישראל הסתכמו בשנת 2002 ב- 66.5 מיליון טון. למרות שאין משמעות מעשית לחיבור פליטות אלה, ניתוח נתוני למ"ס 2003 מראה שמתוך הסה"כ, 23% מגיעים מכלי רכב מנועים. היות ופליטת פחמן דו-חמצני היא תופעה נלווית לתהליך השריפה של כל דלק פוסילי, הוא מהווה כ-98.72% מכלל הפליטות שלעיל בעוד ששאר הפליטות הן כ-1.85%. למרות שאחוז שאר הפליטות לאטמוספירה הוא זניח יחסית, הרי שהמרכיבים הנפליטים הם מזהמי האוויר העיקריים והם אלו שפוגעים בבריאות הציבור. בין המזהמים המסוכנים לבריאות הציבור, המזהמים הכבדים הם פחמן חד חמצני CO (61%) ותחמוצת חנקן NOx (29%). בהשוואה בין רכב דיזל לרכב בנזין ניתן לומר שהתורם העיקרי ל-CO הינו רכב בנזין, בעוד שרכבי דיזל פולטים יותר NOx וחלקיקים.

#### טבלה 1: תרומתם היחסית של רכבים מנועיים לפליטה הכוללת

רכב מנועי		סה"כ פליטות מזהמים בשנת 2000		מזהמי אוויר	
התפלגות המזהמים	אחוז מסה"כ פליטות	טון לשנה	אחוז	טון לשנה	
95.3%	22%	14,581,000	98.72%	65,652,000	פחמן דו חמצני CO <sub>2</sub>
2.8%	98%	440,215	0.67%	448,477	פחמן חד חמצני CO
1.35%	55%	206,330	0.56%	374,146	תחמוצת חנקן NOx
0.08%	4%	13,001	0.46%	306,361	תחמוצת גפרית SOx
0.3%	69%	*48,807	0.11%	70,658	פחמימנים HC
0.05%	30%	7,529	0.04%	25,186	חלקיקי אבק מרחף
0.0%	29%	**73	0.00%	250	עופרת Pb
100%	23%	15,296,955	100%	66,502,717	סה"כ

מקור: למ"ס, 2003, כלי רכב מנועים, פרסום 1229.

\* מרכב ממוצע בבנזין

\*\* מרכב ממוצע בבנזין טוול עופרת

מניתוח נתוני הפליטה, עולה כי בשנת 2000 חלקה של התחבורה מסך פליטת תחמוצת החנקן ממגזרים השונים היה 23%. חלקה של התחבורה בפליטת הפחמימנים גדולה יותר (69%), ואילו בפליטת פחמן חד חמצני חלקה של התחבורה 98% מסך הפליטה!

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

התורמים העיקריים לתחמוצת חנקן ממגזר התחבורה הם אוטובוסים, רכב מסחרי ורכב בנזין ללא ממיר קטליטי. מתוכם אוטובוסים ורכב מסחרי כבד פולטים בפועל יותר מחלקם היחסי בכלל צי הרכב

הישראלי. רכב מסחרי קל ורכב בנזין ללא ממיר פולטים בערך כחלקם בצי הרכב. כלי רכב עם ממיר קטליטי (בהנחה שהוא תקין) פולטים הרבה פחות מחלקם היחסי בצי הרכב (משרד לאיכות"ס, 2001). הרכבים בעלי מנוע דיזל היוו בשנת 1999 10% בלבד ממספרם של כלל כלי הרכב הנעים בכבישי הארץ, יחד עם זאת תרומתם לפליטת תחמוצת החנקן עמדה על 42% מהסה"כ הכללי, 32% לפליטת פחמנים ו-24% לחלקיקים.

עבור פחמימנים ופחמן חד חמצני אנו מקבלים תמונת פליטה הפוכה. רכבים המונעים בבנזין ללא ממיר קטליטי הם תורמים עיקריים לזיהום אוויר מעל לחלקם בכלל צי הרכב. רכבים מסחריים ואוטובוסים פולטים פחות.

לפי הערכות של חברת כביש חוצה-ישראל (טבלה 2), בשנים 2000-2020 צפוי גידול של 45% בפליטות חלקיקים נשימים, 37% בפליטת של תחמוצת חנקן. עד שנת 2020 צפויה הכפלה של פליטות אלה. לעומת זאת, ניתן לצפות לצמצום נוסף בפליטות של פחמן חד חמצני, שמקורן בעיקר בכלי רכב המנועים על ידי דלק, וזאת כתוצאה מהרכבת ממירים קטליטיים ברוב כלי הרכב הקלים (פלטר, 2000). יש לציין שהתחזיות נעשו לפני שנת 2000. היום ניתן לראות שכבר בשנת 2000 הייתה פליטת מזהמים אלו גבוהה מהמשוער.

**טבלה 2: מגמה של פליטות של מזהמי אוויר מתחבורה בישראל (באלפי טון לשנה)**

שנה	פחמן חד-חמצני	חנקן חד/דו חמצני	חלקיקים
1996	487.5	91.3	4.61
<sup>1</sup> 2000	400.1	92.1	3.92
2010	312.0	125.9	4.25
2020	325.0	172.7	5.69

מקור: למ"ס 1997 וחברת כביש חוצה-ישראל

### **פליטה של גזי החממה**

בשנת 1996 היה סך הפליטות של גזי חממה בישראל בשיעור של כ-60 מיליון טון אקוויולנט-דו תחמוצת הפחמן (דתי"פ). הגורם העיקרי בתרומת גזי החממה הינו שריפת דלקים שתרמה כ-50 מיליון טון CO<sub>2</sub> לשנה (מוסד נאמן, 1999).

התחבורה גורמת לפליטות של כ-17% מכלל פליטת גזי החממה בארץ. צריכת הדלק לתחבורה בשנת 1996 הייתה בהיקף כולל של כשלושה מיליון טון, מזה 2,029,200 בנזין (69% מהבנזין למכוניות פרטיות) ו-1,013,500 טון דיזל. צריכת הדלק לתחבורה עלתה בין השנים 1992 ל-1996 בשיעור של 27% ביחס לבנזין ו-42% בדיזל. התרומה הגדולה ביותר של CO<sub>2</sub> מגיעה מרכבים פרטיים, בעוד שמאוטובוסים נפליטים 10% מסה"כ הפליטות של CO<sub>2</sub>.

פליטת גזי חממה ע"י התחבורה בשנת 1996 הייתה למעלה מ-8 מיליון טון CO<sub>2</sub>. מתחזית לעליה בפליטת CO<sub>2</sub> מכלי רכב עד שנת 2020 נראה כי באם לא ינקטו אמצעי ריסון, תגדל פליטת CO<sub>2</sub> יותר מפי שניים.

<sup>1</sup>הנתונים לשנת 2000 היו בגדר הערכה, ניתן לראות בטבלה 1 את הנתונים העדכניים, על פיהם הזיהום אף גבוה מהערכה שעשו בחברת כביש חוצה ישראל. פליטת תחמוצת החנקן עולה כבר היום על תחזית שנעשה ל-2020.

בנוסף לכך, כאשר מעריכים את כלל הפליטה של פחמן דו-חמצני ממשק הדלק וכוללים אנליזה מקיפה, כמודגם בטבלה 3, נראה שלדיזל יש יתרון מה בהשוואה לבנזין ולגפ"מ. לפיכך דיזל "נקי" מהווה חלק חשוב באסטרטגיה של האיחוד האירופאי לשם עמידה במטלת הפחתת הפליטה המתבקשת ממחויבותם לפרוטוקול קיוטו של אמנת המסגרת על שינוי האקלים. טבלה 3 מביאה נתונים השוואתיים על שיעור הפליטה של פחמן דו-חמצני לקילומטר של נסועה.

**טבלה 3: השוואת שיעור הפליטה של פחמן דו-חמצני על בסיס "מהבאר לגלגל"**

דלק	CO <sub>2</sub> שיעור פליטת (gr/km) <sup>(*)</sup>
גז טבעי דחוס	158
דיזל (בהזרקה ישירה)	165
גפ"ם	167
בנזין (בהזרקה ישירה)	193

<sup>(\*)</sup> Source: IFP, report # 55949

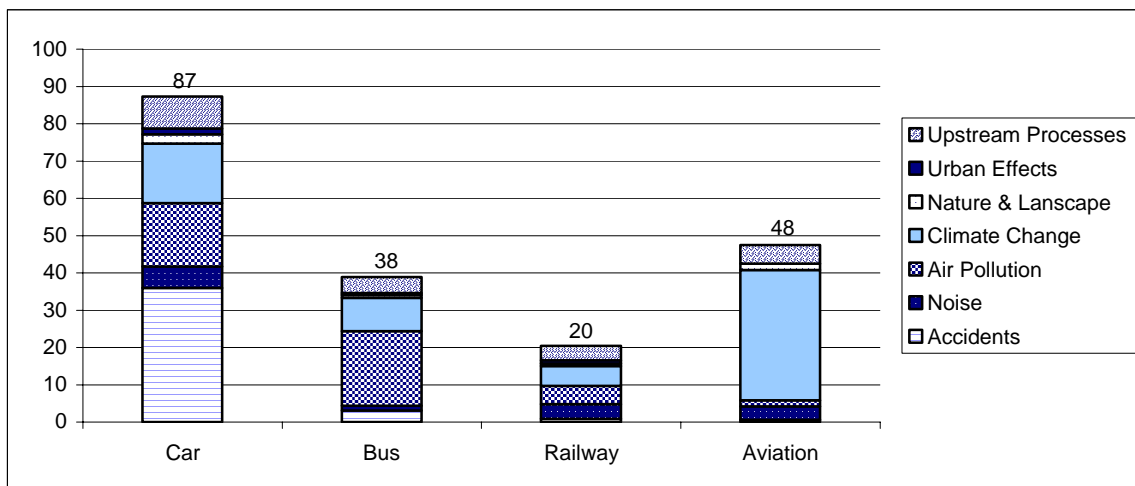
### 3. עלויות חיצוניות

העלייה בתנועה הממונעת כרוכה בתופעות לוואי, שהכלכלנים מכנים בשם "השפעות חיצוניות". מחקר של INFRAS (2000), בנושא השפעות חיצוניות במערב אירופה (שכלל 17 מדינות), חילק את ההשפעות החיצוניות ל- 9 קטגוריות והם: תאונות דרכים, רעש, זיהום אוויר, שינויי אקלים, טבע ונוף, השפעות אורבניות ועלויות נוספות (upstream processes).

בשנת 1995, השפעות חיצוניות מתחבורה באיחוד האירופאי הוערכו ב- 530 מיליארד יורו, אשר מהווים 7.8% מהתל"ג האירופאי. כלי רכב מנועים אחראים ל- 90% של עלויות חיצוניות הנגרמות ע"י סה"כ התחבורה, הרכבת אחראית על 1.6% בלבד (Environmental Policy Committee, 2001). 48% מכלל העלויות החיצוניות הנובעות מהתחבורה נגרמות כתוצאה מזיהום אוויר ושינויי אקלים, 23% מהעלויות "נתרמות" כתוצאה מבעיות סביבתיות אחרות כמו רעש, טבע ונוף ועוד. תאונות דרכים "תורמות" 29% מכלל העלויות החיצוניות הנגרמות על ידי התחבורה.

איור 2 מציג את העלות החיצונית הממוצעת ביורו ל- 1,000 קילומטר נוסע (passenger km). ניתן לראות כי מתוך אמצעי תחבורה שונים, עלויות חיצוניות הנגרמות על ידי רכבים פרטיים הם הגבוהים ביותר. עלויות חיצוניות של זיהום אוויר נובעות בעיקר מאוטובוסים ומרכבים פרטיים. (INFRAS, 2000).

**איור 2: עלויות חיצוניות ממוצעות לפי אמצעי תחבורה שונים (יורו/1000 ק"מ/נוסע, 1995).**



## חלק II: אמצעים להפחתת זיהום אוויר מתחבורה

### 1. שיפור תכונות דלק ושימוש בדלקים אלטרנטיביים

בשנות ה-80 של המאה העשרים התפתחה החשיבה שישנו קשר ישיר בין איכות האוויר ואיכות הדלק, בשנות ה-90 חשיבה זו התפתחה תוך הבנה שאיכות הדלק וטכנולוגיות הרכב גם יחד קובעים את ריכוזי הפליטה מתחבורה וע"י כך משפיעים ישירות על איכות האוויר ועל שינויי אקלים גלובליים. ממצאים אלו מהווים את הרקע להנחיות החדשות של האיחוד האירופאי ושל הממשל בארה"ב. הנחיות אלו אמורות להיות מיושמות בעשור הראשון של המאה ה-21 ולהביא להפחתה של למעלה מ-90% בפליטות מתחבורה. משרד התחבורה מאמץ תקנים מחמירים התואמים לסטנדרטים האירופאיים בישראל והוא פועל במסגרת החקיקה האירופאית ליורו-1,2,3,4,5 (בשלב 2 עד 5).

#### טבלה 4: התפתחות החקיקה בנושא דלקים נקיים באיחוד האירופאי

שנה	התפתחויות בנושא	חקיקה על דלקים נקיים
1993	Auto-Oil Euro-1	מפרט ראשוני לאיכות הדלק
1996	Euro-2	הנחיות מסגרת לאיכות האוויר
1998	Auto-Oil Directives	מאומץ ע"י האיגוד האירופאי
1999	Auto-Oil Daughter Directive	מפרט לתכולת תרכובות שונות בדלק
2000	Euro-3	מפרט לדלקים ומיסוי על מקורות אנרגיה
2001	Clean Air for Europe (CAFÉ)	חקיקה מקיפה בנושא פליטות מתחבורה, כולל מפרטי גופרית בבנזין ובדיזל (סולר)
2005	Euro-4	מפרט מחמיר יותר לאיכות דלקים
2009	Euro-5	צפוי מפרט נוסף לשיפור איכות הדלקים

טבלה 5 מסכמת את עיקרי מפרטי הדלקים הנקיים כפי שהם קיימים כיום בחקיקה האירופאית.

#### טבלה 5: מפרטי תקן הדלק לתחבורה לפי חקיקת האיחוד האירופאי.

דלק	תכונה (יחידות מדידה)	2000	2005	2008
בנזין	מס. אוקטן RON	95	95	
	אולפינים (% נפח)	18		
	ארומטיים (% נפח)	42	35	
דיזל	בנזן (% נפח)	1.0		
	גופרית (מג/קג)	150	50 (10)	10
	מס. צטן	51		
	PAH (% mass)	11		
	גופרית (מ"ג/ק"ג)	350	50 (10)	10

תקני הדלקים הנקיים שעליהם מדובר באירופה ובארה"ב עומדים להיכנס לתוקף בין השנים 2005 ל-2009. גם כשתקני הדלק יכנסו לתוקף הם לא ישנו את מאפייני צי הרכב, היות והתקנים החדשים לפליטות מרכבים חלים על כלי רכב חדשים שעומדים להיכנס לצי הרכב. החדרה של דלקים נקיים לשוק המקומי עשויה להביא להורדה של כ-8% ברמת הפליטה מרכבים שונים בממוצע. הניסיון בעולם מראה שניתן לאמץ אסטרטגיות נלוות להתקנת טכנולוגיות ואביזרים חדשים בכדי לשדרג את צי הרכב הקיים.

הכנסת הדלקים הנקיים לשוק יכולה להוות מנוף להחדרת אותן טכנולוגיות שכבר קיימות המאפשרות הפחתת הפליטה מרכבים בשיעור של עד כ-90%.

הדלקים הנקיים, ובמיוחד דיזל דל-גופרית, מאפשרים התקנת ממירי פליטה חדשים על צי הרכב הכבד הקיים, בפרט במשאיות ואוטובוסים.

בעשרים השנים האחרונות היו התפתחויות רבות בתעשיות הרכב והדלק. מספר חברות רכב התמזגו והפכו ליותר דומיננטיות בשוק הרכב. חברות הזיקוק והדלק עברו גם הן גל של מיזוגים שגרם להתחזקות של מספר קטן של חברות ענק. בנוסף, הציבור העולמי דורש תשומת לב גוברת לנושאי זיהום האוויר ודעת הקהל מפעילה לחצים המובילים לחקיקה מקיפה בנושאים של דלקים נקיים ומפירטי פליטה נמוכים מציי המכוניות.

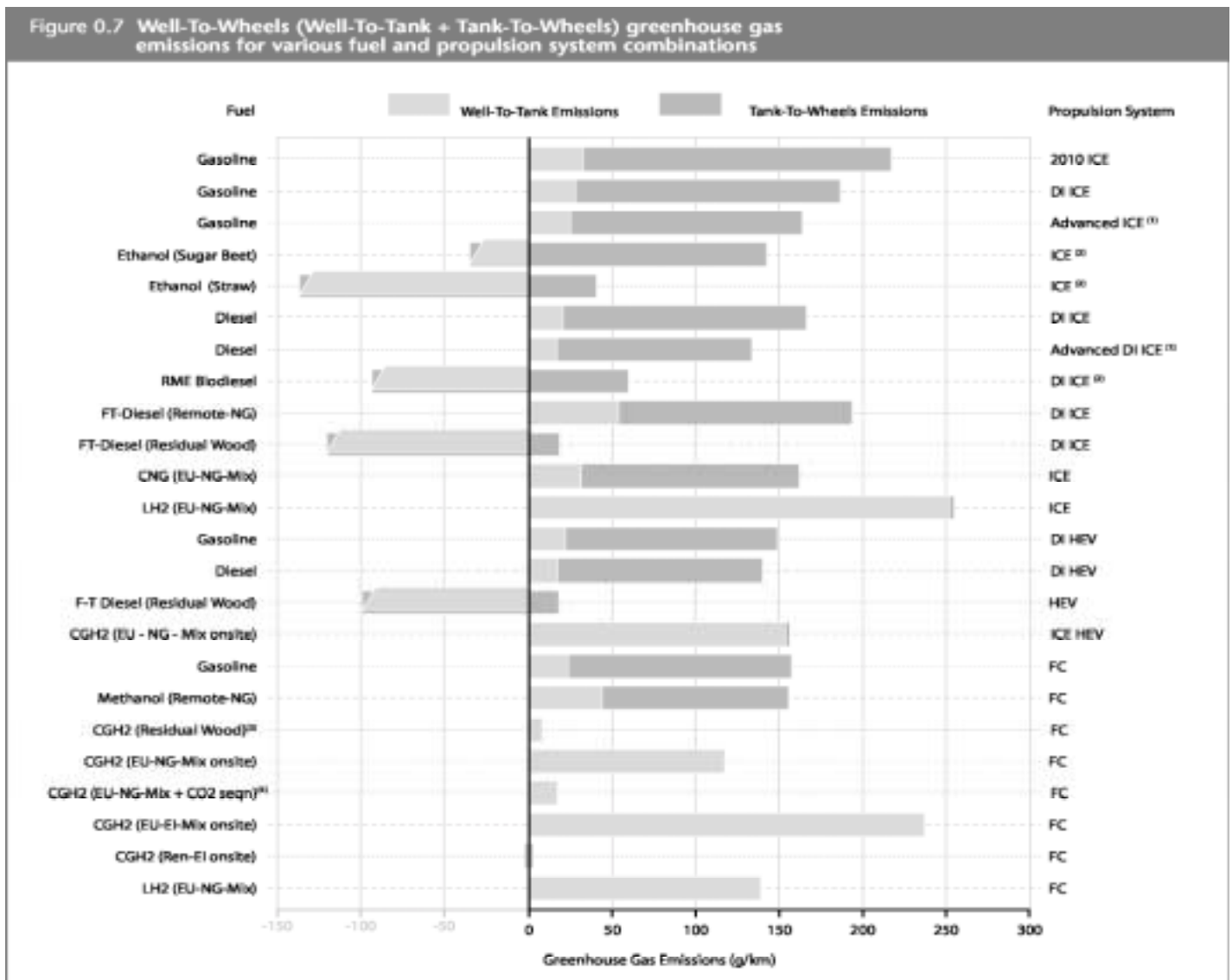
למרות ריבוי המחקרים וניסיונות להחדרת דלקים חליפיים, הנתונים כיום מצביעים על כך שבנזין ודיזל ימשיכו להיות הדלקים הדומיננטיים לתחבורה בעשרים השנים הקרובות. נתונים עכשוויים מראים שצריכת הדלקים בעולם היא כ-1,577 מיליון טון לשנה (ביחידות של שווה ערך לנפט) שמהם, 950 מיליון טון הם בנזין וכ-600 מיליון טון הם דיזל. סך כל הדלקים החילופיים מהווים כ-27 מיליון טון והם כוללים: גפ"מ, אתנול (אלכוהול), גז טבעי דחוס, ביו-דיזל, ואחרים.

כפי שראינו לעיל, כאשר מעריכים את כלל הפליטה של פחמן דו-חמצני ממשק הדלק וכוללים אנליזה מקיפה "מהבאר לגלגל" (Wells to Wheels) נראה שלדיזל יש יתרון מה בהשוואה לבנזין ולגפ"מ. לפיכך דיזל "נקי" מהווה חלק חשוב באסטרטגיה של האיחוד האירופאי לשם עמידה במטלת הפחתת הפליטה המתבקשת ממחויבותם לפרוטוקול קיוטו של אמנת המסגרת על שינוי האקלים. איור 3 מציג בהרחבה נתונים השוואתיים על התרומה לפליטת פחמן דו-חמצני בין דלקים שונים ורכבים בעלי הנעות שונות. (Mobility 2030; WBCSD, June 2004).

באופן מעשי מגמות השוק המצטיירות כיום מצביעות על שימת דגש מיוחד על נושא הורדת תכולת הגופרית בדלקים לתחבורה לרמה הנמוכה האפשרית בכדי לאפשר שימוש בממירים קטליטיים עם ביצועים מירביים. כמו כן יש דגש על שימוש בכלי רכב המנצלים דלקים ביעילות מקסימלית.

דוגמאות להפחתת פליטות מציי רכב קיימים מובאות בנספח מס' 1.

איור 3: השוואת התרומה לפליטת פחמן דו-חמצני בין דלקים שונים ורכבים בעלי הנעות שונות



Notes:

- (1) Estimated by VKA
- (2) Estimated by BP, from GM data
- (3) Net output from energy use in conversion process
- (4) Based on Hydro figures Source: Sustainable Mobility Project calculations.

Source: Mobility 2030, WBCSD, June 2004

## שיפור תכונות הדלק

איכות הסולר בכלל ורמת הגופרית שבו בפרט, הינם בעלי השפעה ישירה על רמת המזהמים הנפלטים מכלי הרכב (אדם, טבע ודין, 2002).

הסולר אינו מוצר אחיד אלא תערובת חומרים בעלי תכונות שונות, אשר כמותם והיחסים ביניהם יכולים לגזור באופן ישיר על כמות המזהמים הצפויה להיפלט בשרפת הדלק במנוע. מרכיבי הסולר המשמעותיים ביותר מבחינה זו הם:

**תכולת הגופרית:** מקור הגופרית הוא בדלק הראשוני ממנו מופקים תוצרי הדלק השונים. ניתן להפחית את כמות הגופרית בתזקיקים ברמות שונות בהתאם לרמת הטיפול בדלק ולדרישות הצרכן או התקן. תכולת הגופרית בסולר משפיעה ישירות על כמות החלקיקים הזעירים, אשר חלקם נראה לעין כ"עשן שחור" וחלקם בלתי נראה. כל רכבי הדיזל פולטים חלקיקים כאלה, וככל שכלי הרכב ישנים יותר או בלתי מטופלים כנדרש, הם פולטים יותר חלקיקים (מושל, 2003).

דו"ח שלב א' של הטכניון (טרטקובסקי, 2000) בעניין אמצעים להפחתת פליטות מרכבי דיזל קובע שנדרש סולר בתכולת גופרית, שלא תעלה על 50 ח"מ, על מנת שהאמצעים להפחתת זיהום אוויר המותקנים בכלי רכב יהיו אפקטיביים. סולר חדש זה בתכולת גופרית של 50 ח"מ צריך שיהיה הסולר הסטנדרטי לתחבורה הישראלית כולה. בארה"ב עוברים לתקן של 15 ח"מ גופרית ב-2007 ואילו באירופה מתכננים שיורו-5 (10 ח"מ גופרית) יחול מהשנים 2009-2010.

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

מחלוקת ממושכת נסובה סביב העלאת מחיר הסולר לצרכנים. המלצות הועדה אשר עסקה ב"אמצעי מדיניות כלכלית להפחתת זיהום אוויר בתחבורה" היו להעלות בהדרגה את הבלו על הסולר. כיום (נובמבר 2004), מחיר ליטר בנזין ומחיר ליטר סולר דומים ועולים על 5 ₪ לליטר!

**אחוז תכולת תרכובות פוליאורומטיות, מספר צטאן, צפיפות, נק' זיקוק מקסימלית:** פרמטרים אלה משפיעים, בין היתר, על אופן שרפת הדלק במנוע, יעילות השרפה והרכב המזהמים. כל מרכיב משפיע באופן אחר על הפליטה, כאשר לחלק מהמרכיבים ישנה השפעה הפוכה על סוגי מנועים שונים. לכן, בבחינת הרכב הדלק האופטימלי יש להביא בחשבון את סוגי המנועים בשימוש בארץ ואת המגזר שבו אנו מעוניינים לטפל באופן המיטבי.

**תיסוף הסולר:** ועדת התקינה לדלק ומוצרי קיבלה החלטה לחייב תיסוף של הסולר המשווק בישראל. מטרת התיסוף היא למנוע היווצרות משקעים במערכות המנוע ולשפר את יעילות השרפה. השימוש בתוסף ואבטחת פעילות תקינה של מנועי הדיזל משמעותית במיוחד לגבי הפחתת פליטת חלקיקים.

כתוצאה מהמעבר לדלקים במפרטים שתוארו, צפויה הפחתה בפליטת תחמוצות החנקן הנפלטות מרכבי דיזל. מעבר מסולר במפרט הנוכחי (350 ח"מ גפרית) למפרט בתי הזיקוק (50 ח"מ גפרית) צפוי להביא

להפחתה של כ-7% בפליטת תחמוצות החנקן מרכבי דיזל ומעבר לסולר במפרט הארופי (30 חל"מ גפרית) צפוי להביא להפחתה של כ 1% נוסף בפליטת מזהם זה.

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

### **דוגמאות בעולם**

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

### **שימוש בדלקים אלטרנטיביים**

#### **1.1 גז פחמימני מעובה (גפ"מ) - Liquefied Petroleum Gas LPG**

גז פחמימני מעובה זה גז בישול שהינו אחד מתוצרי הלוואי של זיקוק הדלק. גפ"מ נראה כיום כאחד מאמצעי ההנעה מעוטי המזהמים האטרקטיביים והזמינים ביותר. בשימוש גפ"מ במנועי שריפה פנימית, במקום סולר או בנזין נפלטים מזהמים אופייניים כמו חד תחמוצת הפחמן CO, תחמוצות חנקן NOx, חלקיקים PM ופחמימנים HC בכמות מזערית יחסית (משרד לאיכה"ס, 2001).

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

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



גז טבעי צפוי להגיע למגזר התחבורה בישראל, להערכת המומחים, ב- 2006-2009 (מור, 2001). נוכח מגמת ההחרפה בזיהום האוויר בערים הגדולות אין הצדקה למדיניות של המתנה עד להגעתו של הגז הטבעי לישראל. הגפ"מ הוא דלק מוכר וזמין שבתי הזיקוק בישראל מיצרים וכן ניתן לייבאו בכמויות הדרושות. במדינות רבות משמש הגפ"מ דלק זמין ואיכותי למכוניות. החוק הפדרלי האמריקאי למניעת זיהום אוויר משנת 1990 והתקנים האירופיים המקבילים מאשרים את הגפ"מ כדלק תחליפי לכלי רכב. זמינותו של הגפ"מ והפתרונות הטכנולוגיים שפותחו בעולם להנעת כלי רכב בגפ"מ אינם מותירים ספק ביחס לצורך במדיניות לעידוד הסבת כלי רכב לגפ"מ, כמקובל במקומות רבים (מור, 2001).

### היבטים אנרגטיים

יש לבחון את ההיבטים האנרגטיים של דלקיים גזיים כחלק אינטגרלי מהכדאיות הכלכלית שלהם במשק. למשל, תצרוכת הדלק (ליטר ל-100 ק"מ) עבור רכב המונע בבנזין היא 8.7 לעומת 11.3 כאשר הוא מונע בגפ"מ. לפיכך טווח הנסיעה הממוצע עבור רכב נוסעים הוא נמוך יותר בגז טבעי לעומת בבנזין.

#### טבלה 6: פליטת מזהמים מאוטובוס גז טבעי לעומת תקני זיהום אוויר אירופאיים

פליטות	ערכים [g/kWh]			
	גז טבעי	דיזל יורו-4	דיזל יורו-3	דיזל יורו-2
CO	2.0	1.5	2.1	4.0
HC	0.5	0.46	0.66	1.1
NOX	2.0	3.5	5.0	7.0
PM	0.05	0.02	0.10	0.15

**הסבת אוטובוסים לגפ"מ** מחייבת שינויים גדולים במרכב האוטובוס, החלפת מנוע והקמת נקודות תדלוק ומוסכים לטיפול ותחזוקה. לפיכך, בדרך כלל נהוג לרכוש אוטובוסים ייעודיים לגפ"מ במסגרת הצטיידות חדשה של צי האוטובוסים. חשוב לציין גם את ההערכות הקשורה לבטיחות הנובעת מכך שהגפ"מ הוא גז דליק השוקע למקומות נמוכים (בחניונים תת קרקעיים, במוסכים וכד') בהם סכנת ההתלקחות גדולה יותר, במיוחד באזור עירוני צפוף אוכלוסייה. ועדה מייעצת לעניין היבטים טכנולוגיים ובטיחותיים של מתקני תדלוק גפ"מ פעלה במשרד התשתיות הלאומיות בהשתתפות נציגי חברות הגז והקואופרטיבים לתחבורה אגד ודן (מור, 2001)

**הסבת מוניות ורכב דיזל** מחייבת החלפת הרכב לרכב חדש בעל מנוע דואלי הפועל על בנזין או על גפ"מ. **הסבת רכבי בנזין** יחסית פשוטה יותר, ברכב מותקנת מערכת ההופכת את הרכב לדואלי המונע בבנזין או בגפ"מ על פי בחירת הנהג. עלות המערכת כ- 2000 דולר לרכב. יש לציין כי מחיר רכב דואלי נמוך יותר ממחיר רכב דיזל מאותה קטגוריה. בנוסף גם בלאי המנוע והוצאות הטיפול ברכב דואלי נמוכות יותר. הגורם הבעייתי יותר הוא הקמתן של תחנות תדלוק גפ"מ במספר נקודות בערים הגדולות (מור, 2001).

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

א. **פליטת מזהמים נמוכה ביותר**: ניתן להשתמש בממיר קטליטי (three way catalyst) (דבר שאינו ניתן במנועי דיזל).

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

## 2. גז טבעי - Compressed Natural Gas CNG

גז טבעי הוא דלק פוסילי זמין וזול יותר מדלק רגיל. גז טבעי הוא הדלק החלופי הנפוץ ביותר עבור אוטובוסים (TCRP, 1998). בהשוואה לדלק מסוג דיזל, גז טבעי מצמצם במידה משמעותית את תחמוצת חנקן (NOx) ומפחית פליטת החלקיקים (PM). יש לקחת בחשבון שרכב המנוע בגז טבעי יש לו פליטות גבוהות יותר של מתאן ושל פחמימנים אחרים הפעילים מאוד בריאקציה השרשרת הפוטוכימית המביאה ליצירת האוזון באטמוספירה התחתונה. יחד עם זאת, רמת הפליטה של אוטובוסים המונעים בגז טבעי רגישה לכיול מערכת הדלק וכן היא מצריכה שימוש בממירים קטליטיים גם לרכבים הכבדים כדי למנוע החמרת העשפל הפוטוכימי בערים. שימוש בגז טבעי מאפשר לחסוך בין 30%-35% בעלויות הדלק בהשוואה לדיזל. מאידך, נדרשות עלויות אופרטיביות אחרות כמו הצורך במערכת תידלוק ואספקה נפרדים. עבור צי שכולל 200 אוטובוסים מוערך שעלויות אופרטיביות של שימוש בגז מסתכם ב-\$0.66 למייל לעומת 0.62 למייל בשימוש בדיזל (TCRP, 1998). בנוסף לכך יש גם לקחת בחשבון את העלות הראשונית של הקמת התשתית להעברה, דחיסה ותדלוק של הרכבים בגז ואת הצורך להקים מערך תחזוקה נוסף עם בעלי מקצוע מיומנים לטיפול בדלק הגזי ובמנועי הרכב. כלומר, אם השיקולים הכלכליים אינם כוללים את ההשפעות החיצוניות, ההצדקה הכלכלית אינה חד משמעית.

## 3. גז טבעי מעובה - Liquefied Natural Gas

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

## 4. מתנול ואתנול

מתנול, או אלכוהול מתילי, הוא נוזל ללא צבע אשר ניתן להפיק ממקורות כגון פחם, גז טבעי ודגנים שונים. כיום, מתנול מופק מגז טבעי כי היא השיטה הכלכלית ביותר.

אתנול, או אלכוהול אתילי, ידוע גם כאלכוהול דגנים כי הוא בדרך כלל מופק מדגנים כגון תירס או גידולים חקלאיים אחרים. אתנול הוא הדלק האלטרנטיבי היחיד שמתחדש באמת מכיוון שהוא עשוי מיבולים חקלאיים ולא דלקים פסיליים פחמימניים, אולם, ישימותו בארץ עקב מגבלות מים וקרקע אינה ריאלית.

נתונים זמינים של פליטת מזהמים מראים שאוטובוסים מונעים בעזרת אלכוהול בדרך כלל פולטים פחות תחמוצת חנקן מאשר אוטובוסים המונעים בדיזל. עלויות האתנול והמתנול גבוהים בהרבה מאשר עלויות הדיזל. נכון לנתוני 1998, הדבר הגביל את השוק הפוטנציאלי עבור דלקים אלכוהוליים, ומנע את ההשקעות הדרושות לפיתוח מודל של מנוע אלכוהול (TCRP, 1998).

## **5. ביו-דיזל**

ביו-דיזל מתייחס לדלקים שמופקים משומן צמחי אשר מתאים למנועי דחיסה-הצתה Compression-Ignition. ביו-דיזל מכינים על ידי אסטריפיקציה (החדרה של אטום חמצן לתוך שרשרת HC) על ידי מתנול או אתנול. ניתן להשתמש בביו-דיזל במנוע דיזל ללא שינוי (AFDC 2003). תערובת בריכוז 20% של ביו-דיזל (מעורבב עם דלק דיזל) יכול לשמש כל ציוד דיזל ומתאים לרוב ציוד אכסון והפצה. תערובת בריכוז נמוך של ביו-דיזל (20% ופחות) לא דורשת התאמת מנוע ויכולה לספק אותה קיבולת כמו דיזל. תערובת בריכוזים גבוהים או ביו-דיזל נקי, ניתנת לשימוש במנועים המיוצרים אחרי 1994 עם התאמה מזערית, או ללא התאמה כלל. יחד עם זאת, העברה ואכסון דורשים טיפול מיוחד. שימוש בביו-דיזל במנוע דיזל מסורתי מפחית במידה ניכרת פליטות של פחמימנים לא שרופים,  $SO_2$ ,  $CO$ , HC, וחלקיקים.

## **6. מימן ותאי דלק**

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

בתאי הדלק מומרת האנרגיה האצורה בדלק ללא שריפה לאנרגיה חשמלית. הדבר נעשה באמצעות שימוש בממברנה, המאפשרת מעבר פרוטונים בלבד, מצידה האחד מוזרם מימן ומצידה השני חמצן. קיימים היום כלי רכב המצוידים בתאי דלק, כאשר הדלק המשמש להנעתם הוא מימן, מתנול ואף בנוזן רגיל (חברת GM). הפליטה מתא הדלק עצמו היא של מים בלבד, וכאשר נעשה שימוש בדלק המכיל פחמן גם פחמן דו חמצני. הטכנולוגיה נראית מבטיחה הן בשל הניצולת הגבוהה של התהליך והן בשל אמינותו. החסרון העיקרי כיום - המחיר, מנוע תא דלק עולה פי כמה ממנוע רגיל, דבר ההופך את רכישתו ללא כדאית. כמו כן, תדלוק מימן הוא עדיין בעייתי בגלל תכונות הנפיצות שלו. לכן, הטכנולוגיות להמרת מתנול או בנוזן למימן בכלי הרכב עצמו עדיין אינן בשלות להפצה מסחרית (אתר המשרד לאיכות הסביבה, 2003).

## **7. חשמל**

ניתן להשתמש בחשמל להטענת רכבים חשמליים ורכבים בעלי תאי דלק. במקרים אלו החשמל מאוכסן ביחידה לאכסון אנרגיה כגון בטרייה. יכולת אכסון של בטריות ברכבים חשמליים היא מוגבלת, לכן יש צורך לחדש את המלאי על ידי חיבור הרכב למקור אנרגיה. החשמל לטעינה מחדש של בטריות ניתן

להפיק מרשת חשמל קיימת או ממקורות מתחדשים כגון אנרגיה סולרית או אנרגיית רוח ( AFDC, ) (2003).

## **2. טכנולוגיות רכב מתקדמות ושיפורים במנוע**

### **2.1 רכבים טכנולוגיים מתקדמים**

רכבים טכנולוגיים מתקדמים (Advanced technology vehicles) כוללים רכבים עם הנעה היברידית-חשמלית, רכבים בעלי תאי דלק, רכבים חשמליים שכונתיים ואופניים חשמליים.

עד היום נמכרו בעולם קרוב ל- 150,000 רכבים היברידיים קלים ומתרחב שוק הרכבים ההיברידיים כבדים. רכבים בעלי תאי דלק אטרקטיביים בגלל שימוש במימן. רכבים חשמליים שכונתיים משמשים קהילות קטנות, קמפוסים אוניברסיטאים ומקומות אחרים בהן נסיעות קצרות ובטוחות. כוחות משטרה ופקחים עירוניים הם הצרכנים עיקריים של אופניים חשמליים (U.S Department of Energy, 2004).

#### **1. הנעה היברידית-חשמלית**

לכלי רכב המונעים בשיטה זו שני מנועים: האחד חשמלי והשני מנוע שריפה פנימית. המנוע החשמלי נכנס לפעולה כאשר נדרשת תוספת כוח להאצת הרכב או להתחלת נסיעה. מנוע השריפה הפנימית משמש הן לטעינת המצברים והן להנעת כלי הרכב.

היתרון ברכב היברידי הוא שנמנעת הפליטה הגבוהה של מזהמי אוויר בעת התחלת נסיעה או האצה וכן מושג חיסכון ניכר בצריכת הדלק של המכונית (כמות הקילומטרים לליטר דלק לעתים מוכפלת). חסרון העיקרי: העלות הגבוהה נובעת ממורכבות הטכנולוגית (אתר המשרד לאיכה"ס), אם כי רכבים אלו הולכים ונכנסים לשימוש, למשל בארה"ב, מקום בו ניתנת הנחת מס לרוכשים רכב היברידי.

#### **2. תאי דלק**

תאי דלק מייצרים חשמל ישירות מתגובה בין מימן וחמצן מהאוויר. בדומה למנוע בעירה פנימי ברכב קונבנציונלי, הוא הופך דלק לכוח שמשחרר אנרגיה. הדלק מתחבר עם חמצן וכתוצאה מכך מייצר אנרגיה בצורת חום ותנועה מכנית. תוצר הלוואי היחיד מהתגובה הם חום ומים. נכון להיום אין רכבים בעלי תאי דלק למכירה בארה"ב. הרבה רכבים מסוג זה מוצגים בתערוכות.

#### **3. רכבים חשמליים שכונתיים**

רכבים חשמליים שכונתיים יכולים לענות על צרכים של הרבה אנשים ועסקים. רכב מסוג זה יכול להתאים אם נוהגים למרחקים קטנים ברחובות פנימיים ללא מטען גדול ובמהירות נמוכה. רכבים חשמליים שכונתיים, או רכבים בעלי מהירות נמוכה, הם רכבים קטנים לשנים עד ארבעה נוסעים שמונעים על ידי בטריות נטענות ומנוע חשמלי.

#### **4. אופניים חשמליים**

אופניים חשמליים דומים לאופניים רגילים פרט לכך שהם מצוידים במנוע חשמלי קטן שמופעל בעזרת בטריות נטענות. רוכבים יכולים לפדל בצורה רגילה או להפעיל מערכת חשמלית. מנוע חשמלי לא משחרר פליטות מזיקות וניתן להטעין את הבטריות תוך מספר שעות.

## 2.2 טכנולוגיות להפחתת הפליטה

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

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

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

חלק ניכר מרכבי הדיזל הקלים המגיעים ארצה מאירופה מצוידים בממיר מחמצן. בישראל נערכה הדגמה של ממירים מחמצנים על אוטובוסים של "אגד" בחיפה ע"י חוקרי הטכניון במימון המשרד לאיכות הסביבה.

#### הרווח הסביבתי המושג ע"י ממיר מחמצן:

- בכלי רכב המונעים בדיזל, הממיר מפחית בשיעור של עד 95% את פליטתם של חד תחמוצות הפחמן (CO) ופחמימנים (HC) על ידי חמצונם.
  - הממיר מפחית ב 40-50% את פליטת החלקיקים על ידי חמצון החלק האורגני שבהם.
- עלות הממיר המחמצן: (לרכב כבד) היא כ 3000\$

### 2. ממיר קטליטי לרכב בנזין

ממיר קטליטי הוא התקן שתפקידו להפחית פליטת מזהמי אוויר. ממירים קטליטיים מותקנים בארץ בכל רכבי הבנזין הפרטיים משנת ייצור 1994 ומעלה.

#### איך פועל ממיר קטליטי?

הממיר הופך מזהמי אוויר - פחמימנים, פחמן חד חמצני ותחמוצות חנקן - למים, פחמן דו חמצני וחנקן. ממיר קטליטי הוא אמצעי לטיפול בגזי השרפה המותקן לאורך צינור המפלט סמוך לאזור יציאת הגזים מהמנוע. עקרון פעולת הממיר הורדת אנרגיית האקטיבציה הנדרשת (ע"י חומר קטליטי שמצפה את הממיר וסופח אליו חמצן), על מנת לחמצן את תוצרי השרפה הבלתי מושלמת (שאריות דלק שלא התחמצנו במנוע) ובכך להשלים את תהליך השרפה לדו תחמוצת הפחמן ולמים.

הממיר גם מחזר את תחמוצות החנקן לחנקן אטמוספרי בלתי מזיק. לצורך חיזור תחמוצות החנקן נדרשים תנאי עבודה "מחזרים" כלומר, ללא עודף חמצן בגזי הפליטה. תנאים אלו קיימים רק כאשר יחס האוויר והדלק קרובים למצב הסטויכיומטרי. מצב זה קיים במנועי בנזין אך אינו קיים במנועי דיזל העובדים בעודף אוויר. לכן, הממיר הקטליטי המותקן ברכבי בנזין אינו יעיל ברכבי דיזל.

### 3. מלכודת חלקיקים לרכב דיזל - Particulate Trap, Diesel Particulate Filter

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

בישראל נערכה הדגמה של מלכודות חלקיקים על אוטובוסים בתל אביב ובבאר שבע ע"י חוקרי אוניברסיטת בן גוריון במימון המשרד לאיכות הסביבה. עפ"י נתונים הנמצאים כיום בידי אגד (גרסל, 2003), רכב דיזל מדור יורו 5 בשילוב עם מלכודת חלקיקים ייתן מענה טוב באותה רמה כמו גפ"מ או גז טבעי דחוס לבעיית זיהום אוויר. שיפור תכונות הדלק והתקנת מלכודת חלקיקים הינו פתרון זול בהרבה מהסבת אוטובוסים לגפ"מ שכן, הסבת אוטובוסים לגפ"מ מחייבת שינויים גדולים במרכב האוטובוסים, החלפת מנוע והקמת נקודות תדלוק ומוסכים לטיפול ותחזוקה (מור, 2001).

#### **יתרונות מלכודת החלקיקים:**

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

#### **חסרונות מלכודת החלקיקים:**

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

### 4. מלכודת ממחזרת רציפה - Continuously Regeneration Trap CRT

**מערכת ה-CRT** מהווה צרוף במתקן אחד של ממיר קטליטי מחמצן ומלכודת חלקיקים רגילה המותקנים זה אחר זה, אשר מאפשר לנקות בעקביות את המסנן (מלכודת) מחלקיקי פיח שנלכדו עליו. מלכודת ה-CRT מאפשרת להפחית פליטת חלקיקים מאוטובוס בתנאי נסיעה עירוניים בשיעור של עד 90%, דבר שאינו ניתן להשגה על ידי ממיר מחמצן בלבד. כמו כן המלכודת צפויה להפחית את פליטת ה-CO ו-HC בשיעור של למעלה מ- 95%

**יתרונות מערכת ה-CRT** טיפול יעיל במיוחד בגזי הפליטה (למעט  $\text{NO}_x$ ).

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

- כמו כן המלכודת צפויה להפחית את פליטת ה CO ו HC בשיעור של למעלה מ 95%
- עלות המלכודות לחלקיקים עבור רכב כבד נע בין 8,000 – 12,000 \$ אולם התקנתם צריכה להיות מכוילת למערך הבקרה של המנוע ולעומס המשא הצפוי ברכב, בכדי להבטיח שהמלכודות תגענה לטמפרטורות המתאימות לחימצון ושריפה יעילים של החלקיקים הפחמניים.

### 2.3 ניסיונות בעולם להתאמת הדלקים לטכנולוגיות הרכב

ישנם היום כבר הרבה דוגמאות מארצות שונות לניסיונות שונים בהם נחקרו הגורמים השונים שיביאו להפחתת זיהום אויר מתחבורה, כאשר הבסיס הוא התאמת הכנסה של דלקים נקיים לשוק יחד עם אכיפה של תקני פליטה מתקדמים ושימוש גובר בממירים קטליטיים ופילטרים שונים.

- בשש ערים בצרפת נערך ניסוי שכלל כ-180 אוטובוסים המונעים בגז טבעי. הניסוי הראה שיש הפחתה של כ-90% מפליטת החלקיקים, 60% מפליטת הפחמן החד-חמצני ותחמוצות החנקן, ו-50% מפליטת הפחמימנים. בעוד שעלות הדלק הגזי הינה נמוכה לאור סובסידיה כבדה של הממשלה, עלויות התפעול היו גבוהות בכ-20%.
- פרויקט Zeus באירופה כלל 247 כלי רכב המונעים בגפ"מ ו-424 המונעים בגז טבעי. בכל המקרים נרשמה הפחתה ברמת המזהמים. בניית תחנות תדלוק לגפ"מ לא היתה יקרה ביותר, לעומת זאת תחנות לגז טבעי הוכחו כיקרות ביותר. כמו כן הוכחו שהחזר עלות הרכישה תלויה ישירות בגודל התמריץ הניתן לרכב.
- במחקר רב שנתי שנערך בדרום קליפורניה הופעלו כ-180 כלי רכב כבדים השייכים לחמישה ציי רכב: אוטובוסים עירוניים, אוטובוסים להובלת תלמידים, משאיות קרור, משאיות הספקת דלק, ומשאיות איסוף אשפה (Le Tevac et. al., 2002; Lev-On et. al., 2002). כל כלי הרכב שנרתמו לניסוי המשיכו לפעול כהרגלם על הכביש, ובכחציתם הותקנו פילטרים לחלקיקים של דיזל. הפילטרים הוכחו כאמינים לתקופה ארוכה על הכביש (למעלה מ-100,000 מייל) ובבדיקות פליטה נתגלה ששעור פליטת החלקיקים ירד בלמעלה מ-90% כאשר הרכב שבו הושם פילטר לחלקיקים הופעל בדלק דיזל דל גופרית (15%) ובנוסף, שיעור הפליטה היה זהה או נמוך יותר מזה שמאוטובוסים המונעים בגז טבעי.

נספח 1 מציג ביתר הרחבה שתי דוגמאות של ערים בארה"ב (ניו-יורק וסיאטל) שהחלו במשימה לשדרג את מערך האוטובוסים שלהם ע"י התקנת טכנולוגיות רכב חדישות ומעבר לתדלוק בדלקים נקיים.

### 3. אמצעי מדיניות להפחתת זיהום אוויר מתחבורה

ההתפתחויות הטכנולוגיות בתחום הדלקים וטכנולוגיות הרכב עשויות להביא לשיפור ברמת זיהום האוויר הנגרם כתוצאה מהתחבורה. יחד עם זאת, רוב האמצעים שהוצגו לעיל מחייבים שיפורים נוספים והמשך התפתחות של מגמות עולמיות לצורך מימושם בפועל. במקביל לתהליכים אלה נדרשים צעדי מדיניות אותם ניתן לנקוט ברמה המקומית והארצית, על מנת להביא להקטנה בהיקף הפליטות בטווח הקצר והארוך.

להלן יפורטו מספר הצעות לאמצעי מדיניות להפחתת זיהום אוויר מתחבורה. אמצעי המדיניות מתבססים על תמריצים חיוביים ("גזרים") ושליילים ("מקלות"), כאשר ביישום המדיניות יש לשאוף לשילוב מאוזן בין השניים. חלק מאמצעי המדיניות ישפיע באופן ישיר על רמת זיהום האוויר, באמצעות פעולה ישירה מול גורמים מזהמים, בעוד שחלקם ישפיע באופן עקיף ולטווח הארוך, באמצעות הקטנת מספר הנסיעות ברכב פרטי.

אמצעי המדיניות המוצעים, כפי שעלו לדיון בכנס, הינם:

- שיפור התקינה והאכיפה
- שינוי המיסוי על מוצרי דלק
- חידוש והסבה של כלי רכב, ובכלל זה התקנת אמצעים לצמצום היקף הפליטות.
- עידוד גריטת כלי רכב ישנים ומזהמים.
- שינויים בתנאי ההעסקה – ביטול תמריצי מעסיק לנסיעה ברכב פרטי.
- עדכון המדדים והמודלים התחבורתיים, כך שיתייחסו להשפעות של זיהום אוויר.
- הפנמת העלויות החיצוניות של נסיעה בכלי רכב, באמצעות הטלת אגרות גודש.
- עידוד נסיעה ברכב רב נוסעי.
- תכנון משולב של תחבורה ושימושי קרקע.

כל אמצעי המדיניות יביאו בסופו של דבר להקטנה ברמת הפליטות. אם כי לצורך הערכה מדויקת ומוסמכת של מידת ההשפעה, נדרשת סקירה נרחבת יותר מזו המוצעת להלן. כל אחד מהאמצעים ראוי שיבחן בנפרד על פי סדר עדיפות ומקורות תקציבים שיידרשו להפעלתו במסגרת של מדיניות כוללת להפחתת זיהום אוויר.



### 3.1 שיפור התקינה והאכיפה

אמצעי תקינה ואכיפה מתבססים בעיקר על בדיקות תקופתיות ובדיקות פתע של הזיהום הנפלט מכלי הרכב. כלי הרכב החורגים מתקנים שהוגדרו מורדים מהכביש או שנקטת נגד בעליהם סנקציה אחרת. טל וחובריו (2002) מדגישים מדגיש כי המטרה העיקרית של אמצעי מדיניות זה היא **הרתעתית**, וזאת מאחר ואין כל אפשרות תקציבית לבצע אכיפה ישירה כנגד כל כלי הרכב המזהמים. המפתח ליצירת הרתעה אפקטיבית הוא החדרת הרושם שקיימת סבירות גבוהה להיתפס, בצירוף קנס מהיר ומחמיר. יישום מוצלח של מדיניות אכיפה זו צפוי להביא להעלאת מודעות הציבור בכל הקשור לתחזוקת כלי הרכב.

טל וחובריו (2002) סוקרים מספר שיטות טכניות לבדיקת זיהום אוויר מכלי רכב. בהקשר זה יש להבחין בין בדיקות עבור רכבי בנזין לבדיקות של רכבי דיזל. כאשר מדובר ברכבי בנזין, קיימות שלוש שיטות עיקריות לבדיקה:

- בדיקה בהילוך סרק – נבדקת פליטת CO, CO<sub>2</sub> ופחמימנים. יתרונות הבדיקה הם הזמן הקצר הדרוש לה ועלותה הנמוכה (עלות הציוד כ-\$4000). מצד שני היא נחשבת ללא אפקטיבית באופן יחסי, משום שאינה נותנת אינדיקציה לגבי NO<sub>x</sub> ובנוסף אינה נותנת כל מידע לגבי תקינות הממיר הקטליטי.
- בדיקה בסל"ד גבוה – בשיטה זו הרכב עולה על דינמומטר ונוסע במהירות של 30 עד 40 קמ"ש במשך מספר דקות. בדיקה זו מודדת גם ערכי NO<sub>x</sub> בנוסף ל CO ופחמימנים. אלא שהציוד הנדרש לבדיקה זו יקר באופן משמעותי (פי 10) בהשוואה לציוד הנדרש לבדיקה בהילוך סרק.
- בדיקת IM240 – נהוגה במדינות שונות בארה"ב והוכחה כיעילה במיוחד, משום שהיא מחקה בהצלחה את אופן פעולת הרכב. עלות הציוד הנדרש לבדיקה זו היא כ-\$160,000. טל (2002) מציין כי מחקרים אירופיים עדכניים מראים כי במכוניות עם ממיר קטליטי בדיקות בסרק אינן רלוונטיות, וכי הבדיקה הטובה ביותר לרכבים אלה היא IM240.

באשר לכלי רכב דיזל, מורות התקנות כי הבדיקות יערכו לפי המשקל הכולל המותר של כלי הרכב, קרי "בתנאי עומס". בדיקה כזו מתבצעת על דינמומטר, היא נחשבת אמינה ומשקפת את פליטות הרכב בפועל בזמן הנסיעה. עם זאת, ממליצים טל וחובריו (2002) לאמץ תקן בדיקה חדש, מחמיר יותר.

טרטקובסקי (2004) מציע שינויים במדיניות האכיפה כך שתכלול את המרכיבים המופיעים בטבלה 7. יצוין כי בכל טווחי הזמן נדרש שיפור מתמיד במיומנות וברמת ההכשרה המקצועית של צוותי האכיפה והבחינה.

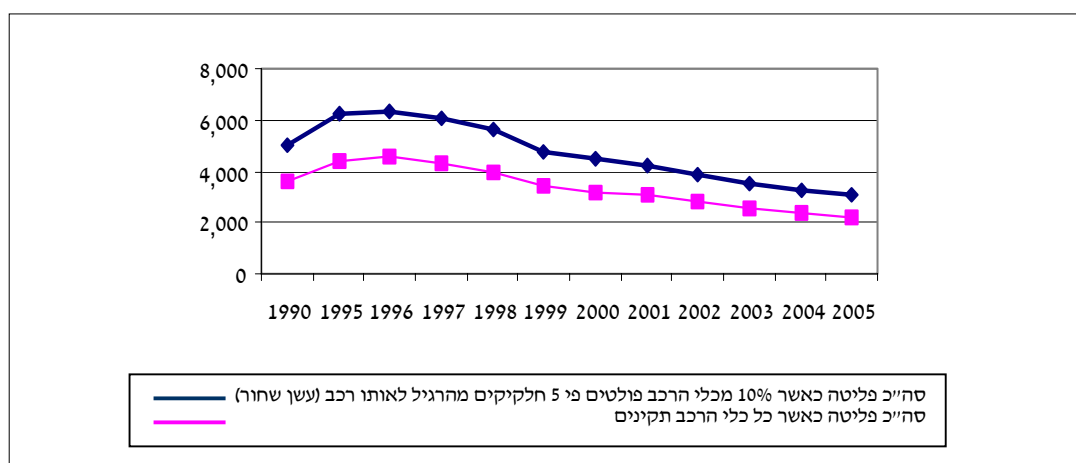
**טבלה 7: הצעות לשינויים במדיניות האכיפה**

סוג המנוע	טווח הזמן	ארוך
מונע בנזין	מייד	מעבר משיטת בדיקה בסרק לבדיקה בסל"ד גב
דיזל	ביניים	מעבר לשיטת HC בנוסף ל-CO אפיון תקינות הממיר הקטליטי
רכב דו גלגלי	ארוך	מעבר לשיטת המאפשרת עידכון שוטף של דרישות התקן
		עדכון נוהל מדידת עשן
		כיום אין אכיפה כלל יש להגדיר דרישות האכיפה

מקור: טרטקובסקי, 2004

לפי ענבר (2004), ישנה קבוצה קטנה של כלי רכב האחראית לחלק גדול מסך הזיהום הנפלט, כאשר עיקר הבעיה נובעת כיום מרכבים בעלי מנוע דיזל. אחת הדרכים לטפל בבעיה היא באמצעות החמרת הבדיקה בטסט השנתי. באיור 4 מוצגים תרחישי פליטת חלקיקים מרכבי דיזל עקב החמרת הבדיקה בטסט השנתי.

**איור 4: תרחישי פליטת חלקיקים מרכבי דיזל עקב החמרת הבדיקה בטסט השנתי**



מקור: ענבר 2004

כידוע, רכבי דיזל נפוצים במיוחד במגזר ההובלה והתחבורה הציבורית. בהקשר זה מציינת פליקשטיין (2004) את הצורך בבדיקת עשן נוספת במסגרת הבדיקות התקופתיות של תקינות המוניות (לשם כך נדרש שינוי בחקיקה). לגבי אוטובוסים, מציין ענבר (2004) כי בהתאם לסעיף 8 לחוק למניעת מפגעים, התשכ"א, 1961, מוסמך השר לאיכות הסביבה להוציא "צו אישי" נגד פליטות מאוטובוסים. הוראות חדשות שהופעלו כבר על פי סעיף זה, מחייבות הפחתה של 50% בפליטות של חלקיקים, הפחתה של 35% בפחמימינים והפחתה של 25% בסך הפליטות של תחמוצת חנקן, בתוך 3 שנים. בנוסף לאכיפת הוראות אלה על צי הרכבים של אגד ודן, יש לאכוף תקני זיהום אוויר מחמירים במכרזים החדשים לתחבורה ציבורית.

## 3.2 אמצעים כלכליים וארגוניים

אמצעי מדיניות כלכליים וארגוניים מיועדים להשפיע על התנהגות המשתמשים באמצעות יצירת תמריצים חיוביים ושליליים. מנגנונים אלה יעילים מבחינת יכולתם לממש יעדים בתחום ההתנהגות, מאידך עלולות להיות להם השפעות לוואי בלתי רצויות, כמו פגיעה בהוגנות מערכת המס, או חוסר אטרקטיביות פוליטית. לפיכך, יש לקחת בחשבון מגוון רחב של שיקולים כאשר מיישמים מדיניות להקטנת שיעורי זיהום האוויר מתחבורה באמצעים כלכליים.

שילוב מאוזן של אמצעי מדיניות כלכליים וארגוניים עשוי להביא לשיפור ניכר ביעילות התפקוד של מערכת התחבורה. שינוי במחירי התחבורה באמצעים אלה עשוי להביא להקטנת היקף הנסועה ברכבים פרטיים ולעודד שימוש בחלופות, כגון נסיעה בתחבורה ציבורית, או הקטנת מרחק הנסיעה הכולל ע"י העתקת מקום מגורים או תעסוקה (פייטלסון ואחרים, 1998).

האמצעים שיפורטו בסעיף זה אינם כוללים אמצעים כלכליים הקשורים לתכנון תחבורה, כגון אגרות גודש או הפנמת עלויות חיצוניות. אלו יפורטו בסעיף 3.3 להלן. עיקר ההמלצות שיובאו בסעיף זה מתבססות על מסמך מור וסרוסי (2001), בנושא "אמצעי מדיניות כלכלית להפחתת זיהום האוויר משריפת דלקים במגזרי התחבורה, החשמל והתעשייה בישראל". מסמך זה הוגש לצוות הבינמשרדי לבחינת אמצעים כלכליים להפחתת זיהום האוויר אשר כלל את משרד האוצר, המשרד לאיכות הסביבה, המשרד לתשתיות לאומיות, משרד התחבורה ומשרד הבריאות. יש לציין כי בשלוש השנים שחלפו מאז פרסום המסמך יושמו רק חלק מההמלצות. בהמשך תעשה הבחנה בין ההמלצות שכבר יושמו לבין אלו שעדיין ממתונות למימוש.

### 3.2.1 שינויי מיסוי על מוצרי דלק

המס העיקרי המוטל על מוצרי דלק, בעיקר הבנזין לסוגיו והסולר לתחבורה, מכונה "מס בלו". המס הוא קצוב ומתעדכן אחת ל-3 חדשים על פי מדד המחירים לצרכן. בעוד שהממשלה הפחיתה את הבלו על הסולר בשנת 1994, נותר הבלו על הבנזין צמוד למדד המחירים לצרכן ובשנת 1996 הממשלה אף העלתה אותו ב-27 אחוזים במונחים ריאליים. על פי נתוני 2001, מס הבלו על הבנזין מהווה כ-50% מסך העלות לצרכן, בעוד שהמס המוטל על סולר הוא 5% בלבד.

אפליית מס זו, שנועדה במקור להזיל את מחיר הסולר לתחבורה ציבורית ולמגזר ההובלה מחד, ומאידך לייקר את מחיר הבנזין לרכבים פרטיים, אינה משרתת כיום את עניין זהום האוויר. בשנים האחרונות עם כניסתם של רכבי דיזל חדשים למגזר הפרטי, הפכה אפליית מס זו לתמריץ המניע את תהליך הדיזליזציה (לרכבים הפרטיים) בישראל. למגמה זו יש השפעה שלילית הולכת וגדלה על זהום האוויר במרכזי הערים הגדולות, לאור העובדה שרמת הזיהום הנפלטת ממנועי דיזל גבוהה יותר (מור וסרוסי 2001).<sup>2</sup> המדד העיקרי להערכת הכדאיות של הצרכן לגבי סוג הרכב בו ישתמש הינו מדד עלות לק"מ. מדד זה משלב את עלות הדלק עם צריכת הדלק הממוצעת של המנוע. טבלה 8 מציגה את השוואת העלויות של בנזין, סולר וגפ"מ, עבור סוגי רכב שונים, ובהתאם להערכות חברות הגז.

<sup>2</sup> יש לציין כי ממועד כתיבת הדוח (2001) חל שיפור משמעותי בתקני הפליטה ממנועי דיזל. יחד עם זאת, תקנים אלה טרם יושמו בישראל. ההמלצות בדבר העלאת המס על סולר מתייחסות למנועי הדיזל על פי התקן הישראלי הקיים. במדינות בהן תקני הפליטה ממנועי דיזל מאפשרים איכות פליטות טובה יותר בהשוואה לבנזין, גם מחיר הסולר נמוך בהתאם.

**טבלה 8: אומדן עלות דלקים לסוגי הרכב השונים (מקור: מור וסרוסי 2001).**

גפ"מ	סולר	בנוזין	
1.63-1.33	2.31	4.07	מחיר לליטר (ש"ח)
<b>רכב פרטי ומסחרי</b>			
10	13	12	ק"מ לליטר
0.16-0.13	0.18	0.34	עלות לק"מ (ש"ח)
<b>אוטובוסים ורכב כבד</b>			
1.2	2.2	2.2	ק"מ לליטר
1.35-1.10	0.91	1.05	עלות לק"מ (ש"ח)

טבלה 8 מתייחסת לתרחיש שבו השימוש בגפ"מ לצורכי תחבורה הינו זמין ללקוח. ניתן לראות שעל פי התחזיות מחיר הגפ"מ צפוי להיות קרוב לזה של הסולר, בערכי עלות לק"מ, עבור רכבים פרטיים, וגבוה מזה של הסולר עבור אוטובוסים ורכב כבד. לפיכך יש לבחון מה תהיה מידת ההשפעה של העלאת מס הבלו על הסולר, לגבי מעבר אפשרי להנעה בגפ"מ ולגבי היקף הפליטות הכולל.

מור וסרוסי (2001) מעריכים כי הביקוש לסולר במגזר ההובלה והתחבורה הציבורית יגדל בשנים הקרובות וקשיחותו ביחס למחיר תמשך. זאת בהנחה שמגזרים אלה ימשיכו להשתמש במנועי דיזל בעתיד הנראה לעין. מצד שני, העלאת מס הבלו על הסולר צפויה להקטין את מגמת החדירה של רכבי דיזל לשוק הפרטי. שינוי מגמה זה צפוי להתרחש באטיות ולטווח הארוך, ומתייחס לרכש עתידי של רכבים פרטיים. קצב השינוי יושפע משמעותית מקצב החדירה של רכבים מונעי גפ"מ לשוק.

עיקר התועלת מהעלאת מחיר הסולר בטווח הקצר תהיה להכנסות המדינה. הצריכה האזרחית של סולר לתחבורה בישראל (ללא מערכת הביטחון וללא הרשות הפלשתינאית) הגיעה בשנת 1999 ל- 2.4 מליון ליטר. על בסיס נתוני 1999 צפויה העלאת מס הבלו על הסולר באגורה אחת לתרום כ-24 מליון ש"ח הכנסות בשנה לאוצר המדינה. השפעה ישירה על היקף הפליטות הכולל צפויה להתרחש רק במידה ויעשה שימוש בתקבולים לעידוד אמצעים להקטנת זיהום אוויר.

לסיכום, מור וסרוסי (2001) מציעים לקבוע מדרג יורד לפיו מס הבלו יהיה גבוה יותר על הבנוזין והסולר ונמוך יותר על גפ"מ וגז טבעי. כאשר המטרה היא להפנים עלויות חיצוניות של זיהום אוויר ולהביא לאיזון בצריכת דלקים נקיים, וזאת בהנחה שגז פחמימני מעובה יהיה זמין בשוק בעת יישום ההמלצות. בהתאם למדיניות זו עלתה ההצעה להעלות בשלב הראשון (עד לשנת 2005) את מס הבלו על הסולר במידה שתאפשר מימון התמריצים לתחבורה הציבורית, למגזר הציבורי ולמגזר ההובלה.

המלצה זו יושמה חלקית בשנים 2002-2003, עת הועלה הבלו על הסולר ב-25 אגורות לליטר וב-30 אגורות לליטר בהתאמה. יחד עם זאת, אין אפשרות לקבוע האם השימוש שנעשה בתקבולים אכן הועבר לאמצעים להקטנת זיהום אוויר. בנוסף, עיכובים בהחדרת השימוש בגפ"מ למגזר התחבורה אינם מאפשרים למצות את תועלות התכנית בהיבט של הקטנת זיהום האוויר.

## לפיכך ההמלצות העדכניות בתחום המיסוי על מוצרי דלק הן:

- יש להמשיך את מגמת העליה ההדרגתית במס הבלו על הסולר (זאת בהנחה שלא יחול שיפור בתקני הפליטה ממנועי דיזל בהשוואה למנועי בנזין).
- יש להסדיר את אופי השימוש בהכנסות המדינה כתוצאה מהעלאת המס, כך שהתקבולים אכן יועברו למימון אמצעים להקטנת זיהום האוויר.
- לצורך יישום מלא של התכנית, יש להסיר את החסמים המעכבים חדירת גפ"מ לשוק התחבורה.

### 3.2.2 חידוש והסבה של כלי רכב

פיתוחים טכנולוגיים שנעשו בשנים האחרונות הביאו לשיפור מסוים באיכות הפליטות מרכבים חדשים. בנוסף מתחזקת ההערכה כי לשימוש בגז פחמימני מעובה (גפ"מ) יש עדיפות בראיה כוללת של איכות הסביבה. על בסיס נתונים אלה יוגדרו להלן עקרונות מדיניות לעידוד חידוש והסבה של כלי רכב, בין אם באמצעות מעבר לרכבים מונעי גפ"מ, או מעבר לרכבים מונעי בנזין חדשים ומזהמים פחות.

מור וסרוסי (2001) מציעים שורת המלצות לעידוד חידוש והסבת כלי רכב. בניסוח ההמלצות נבחין בין עידוד הסבת רכבים במגזר הציבורי לבין המגזר הפרטי. ההמלצות למגזר הציבורי מתבססות על יכולת ההשפעה המיידית והישירה של המדינה, כמפעילה במישרין של צי כלי רכב ממשלתיים באמצעות מנהל הרכב הממשלתי ובעקיפין באמצעות גופים נתמכים (רשויות מקומיות, מוסדות צבור, חברות ממשלתיות, קואופרטיבים לתחבורה ציבורית). הממשלה יכולה לפעול באמצעות הכלי שברשותה – חוק התקציב, חוק ההסדרים במשק והסדר הסובסידיות לתעריפים ולהצטיידות חדשה לאגד ולדן, לקביעת כללים מחייבים לחידוש והסבה של כלי רכב ממשלתיים וכלי רכב בגופים נתמכים. לעומת זאת, במגזר הפרטי ניתן להשיג יעדי חידוש והסבת רכבים באמצעות תמריצים ו/או היטלים. מור וסרוסי (2001) מציעים שורת המלצות לעידוד חידוש והסבת כלי רכב לכל אחד מהמגזרים:

#### המלצות להסבה במגזר הציבורי

- א. יש לקבוע שיעור חובה של רכישת כלי רכב נקיים (מונעים בגפ"מ) מסך רכישת כלי רכב חדשים בכל שנה על ידי מנהל הרכב הממשלתי והגופים הנתמכים. שיעור זה ילך ויגדל בהתאם להערכות המשק לאספקת גפ"מ (מיצור מקומי ומיבוא) ופריסת תחנות תדלוק גפ"מ בערים הגדולות.
- ב. יש לקבוע שיעור חובה להסבת כלי רכב ישנים (התקנת ציוד להפחתת זיהום אוויר) בכל שנה, על ידי מנהל הרכב הממשלתי והגופים הנתמכים.
- ג. שעורי החובה בסעיפי א ו-ב לעיל יקבעו בתיאום עם מנהל הרכב הממשלתי על פי אמות מידה כלכליות תקציביות ויעוגנו בחוק התקציב.
- ד. שיעור הסבת אוטובוסים ישנים ושיעור הצטיידות חדשה של הקואופרטיבים לתחבורה אגד ודן ברכבי גפ"מ יקבעו בהסדר הסובסידיות לתחבורה הציבורית החל בשנת 2001. בהסדר זה תישקל הקדמת הצטיידות באוטובוסים חדשים והוצאה מן השירות של אוטובוסים ישנים, שתרומתם לזיהום האוויר גדולה.

עדכון לגבי יישום ההמלצות: בשנת 2003 רכש מנהל הרכב הממשלתי 2 רכבים היברידיים לניסיון. במקביל נרכשו אוטובוסים היברידיים ניסיוניים ע"י חברות אגד ודן, אולם, נכון להיום אף חברת אוטובוסים לא משתמשת ברכבים היברידיים במסגרת צי הרכבים הפעיל. חשוב לציין גם כי מיום 30.6.2004 הוקל מס הקנייה על מכוניות היברידיות- מ 95% על מכוניות רגילות ל 45% למכוניות היברידיות.

#### עידוד ההסבה במגזר הפרטי (מור וסרוסי 2001).

א. יש לקבוע מסגרת תקציבית רב שנתית למתן מענקים להסבת כלי רכב להנעה בדלקים נקיים. המענק יינתן על ידי המשרד לאיכות הסביבה על פי קריטריונים מוסכמים, ויהיה בגובה ההטבה במס מהכרה בהוצאות פחת מואץ של שווי הרכב<sup>3</sup>. המענקים יינתנו לחברות המפעילות ציי רכב הובלה או רכב ציבורי שעיקר נסיעתם היא במרכזי הערים הגדולות בגין הצטיידות חדשה או הסבת רכב קיים להנעה בדלקים נקיים (גפ"מ, ובעתיד גם טבעי וחשמל). מענק שיהיה שקול להכרה מלאה בהוצאות הסבה לכלי רכב נקיים ולהכרה בשעור פחת מואץ של 25% בשנה עשוי לעודד חברות ועצמאיים להקדים את המעבר לשימוש ברכב נקי.

ב. תועלה האגרה על כלי רכב מעל 3.5 טון (דיזל ובנזין) שגילם עולה על 14 שנים (כ-15 אחוזים ממצבת כלי הרכב משנתון 1986 ומטה). ההיטל ייגבה בכל שנה כתוספת לאגרת הרישוי השנתית<sup>4</sup>.

ג. תועלה האגרה על רכב דיזל מסחרי עד כדי השוואתה לאגרה המוטלת על רכב דיזל פרטי. (ההמלצה יושמה בשנת 2001)

ד. יופחת מס הקניה על רכבים נקיים בתקופת ההחדרה (עד שנת 2005) בשיעור שיקבע על ידי הצוות המקצועי. (בשנת 2002 ניתן זיכוי במס קניה לרכבים המגיעים כרכבי גז/דואלים, ובשנת 2004 ניתן זיכוי במס קניה לרוכשי רכבים היברידיים).

ה. יש לשקול הפחתת מס קניה על אמצעים להפחתת זיהום אוויר. (בשנת 2002 ניתן פטור ממס קניה על ערכות להסבת רכב להנעה בגפ"מ)

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

### **3.2.3 אישור תוכנית לעידוד גריטת כלי רכב ישנים**

לשימוש בכלי רכב ישנים יש השפעה רבה יותר באופן יחסי על זיהום האוויר. זאת מאחר וכלי רכב חדשים נבנים בסטנדרטים מחמירים יותר מבחינת היקף הפליטה והזיהום, וכן משום שהבלאי המצטבר של

<sup>3</sup> חברות ועצמאים זכאים להכרה בהוצאות רכב ולהוצאות פחת מוכרות לצורך מס בשיעור של 20% בשנה לרכב כבד (מעל 3 טון) ובשיעור של 15% בשנה לכלי רכב פרטיים ומסחריים. ההכרה בהוצאות פחת מהווה שקול מרכזי בהחלטות של חברות ועצמאים על רכישת רכב חדש, במיוחד ביחס לעיתוי החלפת רכב ישן וסוג הרכב (קבוצת מחיר) שיירכש.

<sup>4</sup> להמלצה זו עשויות להיות השפעות חברתיות שליליות, מאחר וכלי רכב ישנים שייכים על פי רוב לקבוצות אוכלוסיה עניות יחסית, והמיסוי עלול לפגוע בניידותן (סלומון ואחרים 1999)

הרכבים הישנים מוביל להגברת הזיהום הנפלט מהרכב. לפיכך קיים אינטרס ציבורי לצמצם את השימוש ברכב ישן ולהביא ל"הצערה" של צי הרכב.<sup>5</sup>

העלאת המיסוי על רכבים ישנים באמצעות היטלים על אגרות הרכב עשויה לעודד בעקיפין תהליכי הצערה של צי הרכב. אולם למיסוי כזה ישנן השפעות חברתיות שליליות מאחר שכלי רכב מיושנים משרתים לרוב קבוצות אוכלוסיה עניות יחסית, והמיסוי עלול לפגוע בניידותן (סלומון ואחרים 1999). אפשרות אחרת היא לייצא את הרכבים הישנים למדינות אחרות, אלא שבראיה גלובלית אין בכך פתרון.

בימים אלה נבחנת במשרד לאיכות הסביבה בשיתוף עם משרד האוצר תכנית לגריטה מוקדמת של כלי רכב, שמטרתה לעודד בעלי רכבים לבצע גריטה באמצעות מתן תמריצים.<sup>6</sup> הגריטה תתאפשר לרכבים בני 23 שנה ומעלה, כאשר התשלום שיוצע לבעלי הרכב יעמוד על 3,000 ש.ה. ההערכה היא כי בתנאים אלה תוספת הגריטה תהיה בין 6,000 ל-11,000 רכבים בשנה. רוב בעלי הרכב הללו (כ 70%) יעברו לרכב חדש יותר ולכן יחול גידול ברכישת כלי הרכב בישראל בהתאם, אך היקף הזיהום יפחת בכ-80%.

דו"ח המשרד לאיכות הסביבה (לביא וחובריו 2003) בחן את כדאיות הגריטה למשק, על פי סוגי רכבים, במטרה לקבוע מדיניות אופטימלית של גריטה. תוצאות הניתוח מראות כי ישנה כדאיות להפעלת תוכנית גריטה וולנטרית לרכבים פרטיים, אך אין כדאיות לתוכנית דומה למשאיות ואוטובוסים. על פי הדו"ח, התועלת נטו למשק מהפעלת תוכנית לרכב פרטי מגיעה לכ 25 עד 68 מיליון ש"ח בשנה (תלוי בצפי הגריטה). מאחר ורמת המיסוי על רכב פרטי מגיעה לכ 60% ממחיר הרכב, תוספת המס (על פי תחשיב המשרד) צפויה לגדול בכ- 250 עד 460 מיליון ש"ח, בעוד שעלות הינה 20 עד 34 מיליון ש"ח (כלל הרכבים הנגרטים בנוסף ל 400 כלי רכב הנגרטים באופן טבעי מבלאי). תחשיב זה מביא את עורכי התכנית למסקנה כי אין כל קושי לממן את התכנית, וזאת מעבר לתועלת העקיפה הצפויה למשק. כלומר, גריטת כלי רכב פרטיים היא כדאית למשק גם בהיבט זיהום אוויר וגם בהיבט כלכלי ישיר.

לעומת התוצאות החיוביות ברכבים פרטיים, התוצאות בשאר מצבת כלי הרכב אינן מראות על כדאיות כלכלית - במשאיות עד 16 טון התוכנית הינה גבולית ובקושי עומדת במבחן עלות-תועלת למשק. מעבר לכך כמות כלי הרכב שולית ומגיעה לתוספת גריטה של 90 משאיות בלבד כל שנה. בנוסף, במקרה זה אין מקור מימון לתוכנית מכיוון שלא חלים מסי קנייה על משאיות וניתן לקזז את המע"מ. במקרה של משאיות גדולות ואוטובוסים נמצא שהפעלת תכנית לגריטה וולנטרית אינה כדאית, מכיוון שמחירם של רכבים אלה, או הפיצוי אותו ידרשו בעלי הרכבים תמורת הגריטה, הינו גבוה יחסית לתועלת מהגריטה.<sup>7</sup> יחד עם זאת, מאחר והמשאיות הגדולות והאוטובוסים אחראים לחלק גדול מהזיהום, ממליצים לביא וחובריו (2003) לקבוע תקנות המגבילות את השימוש ל 14 שנה בלבד ללא כל פיצוי.

יש לציין כי לתהליך הגריטה יש עלות סביבתית גבוהה בפני עצמו, מאחר ויש לטפל הן בפסולת הפיזית והן בחומרים מזהמים כגון עופרת ממצברי כלי הרכב. מדיניות גריטה חייבת להתבצע לפי קריטריונים סביבתיים קפדניים, אשר מטבע הדברים משפיעים על עלות התהליך (סלומון ואחרים 1999).

### 3.2.4 שינויים בתנאי ההעסקה

<sup>5</sup> סלומון ואחרים (1999) מציינים כי מדיניות זו עומדת בסתירה חלקית ליעד מדיניות אחר, של הקטנת שיעור הגידול ברמת המינוע.

<sup>6</sup> נכון לאוגוסט 2004, התכנית אושרה באוצר אך מעוכבת במשרד לאיכות הסביבה, מסיבות משפטיות.

<sup>7</sup> ביתר פירוט, במשאיות קטנות התועלת השנתית מהגריטה גבוהה יותר ממחיר הרכב (תועלת של 17000 לעומת מחיר של 11000), ולעומת זאת באוטובוסים העלות גבוהה פי 5.5 מהתועלת.

בשוק העבודה הישראלי בכלל, ובמגזר הציבורי בפרט, מקובל להעניק הקלות מס או הטבות תחבורתיות לעובדים המעודדות מאוד את השימוש ברכב פרטי. שינויי המחירים של התחבורה הפרטית אינם משפיעים על אותם נהגים, שכן הם זוכים לכיסוי מלא של הוצאותיהם על ידי המעביד. משמעות הדבר היא שקיים מגזר רחב של משתמשי רכב פרטי, שאינו רגיש כלל לעלויות הנסיעה, ובנוסף לא ניתן להשפיע עליו בשום מדיניות תעריפים. מצב זה אינו עולה בקנה אחד עם מדיניות תחבורה השואפת לצמצם את העלויות החיצוניות.

יש לבטל את התמריצים הקיימים כיום למעסיקים למתן הוצאות רכב (או רכב) במקום תמורה אחרת. התמורה הכספית שתעמוד לרשות העובד תאפשר לעובד להחליט על הדרך להשתמש בו, כאשר נסיעות ברכב פרטי יתומחרו בהתאם לעלותן החברתית. הדברים אמורים גם לגבי אספקת חנייה חופשית במקום העבודה. יש לאפשר לעובדים להחליף זכות חנייה במקום העבודה בפיצוי כספי מקביל או חנייה במתקני חנה וסע לשירות מועדף עם נסיעה חופשית בתחבורה ציבורית. לחילופין הם עשויים לרכוש חנייה במקום העבודה, במחירי שוק, ללא הקלת מס (פייטלסון ואחרים, 1998).

### 3.3 מדיניות תכנון וניהול תחבורה

הפחתת מזהמים כתוצאה משיפורים טכנולוגיים, שיפור בדלקים או אכיפה עשויה להיות זמנית, משום שהגידול בנסועה עלול לבטל את השפעתה לאורך זמן. בטווח הארוך יש לשאוף למערכת תחבורתית-מרחבית המממשת את היעדים המרכזיים של הגדלת הצמיחה הכלכלית והנגישות לפעילויות, תוך שמירה על אותה רמת נידות משתמשים. מדיניות כזו יכולה להיות יעילה גם מבחינת שיעורי זיהום האוויר מתחבורה.

יש לנסות ולפתח מערכות תחבורה שתהיינה ידידותיות לסביבה יותר מאלה שהיו מקובלות בעבר. האתגר האמיתי הוא להשיג שיפורים סביבתיים, ובכלל זה בהיבט זיהום האוויר, מבלי לפגוע בניידות. עם זאת יש לזכור כי מערכת התחבורה מאופיינת במורכבות מערכתית, כיוון שממדיה השונים סותרים לעתים זה את זה, וכי התערבות במימד אחד גורמת לא פעם לגלישה של השפעות לממדים האחרים (סלומון ואחרים, 1999).

עיקר התועלת הסביבתית והתחבורתית תמומש אם תפחת הנסועה של כלי הרכב הפרטיים במקומות ובמועדים שבהם היא אינה יעילה (כאשר העלות הכוללת, כולל השפעות חיצוניות, גבוהה מהתועלת הכללית). מצב זה של חוסר יעילות מתקיים בעיקר בתנאי גודש. לתופעת הגודש השפעה שלילית על זיהום האוויר, מכמה סיבות. ראשית, בתנאי גודש מתארך זמן הנסיעה של כל אחד מהרכבים במערכת, דבר המביא להגדלת הפליטות בערכים מוחלטים. שנית, נסיעה במהירות נמוכה מגדילה את שיעור הזיהום הנפלט, בערכי זיהום לשעת נסיעה. בנוסף, צפיפות הרכבים המאפיינת את מצב הגודש אינה מאפשרת את ערבול האוויר וסילוק החלקיקים מפני השטח.

בניגוד לעבר, קיימת היום נחישות גבוהה ונכונות רבה יותר להתמודד עם בעיית גודש התנועה וצמצום היקפי התופעה בתעבורה העירונית (מהלאל, 2004). עד לעשור האחרון היתה התפיסה המקובלת בתחום תכנון תחבורה זו של "חזה וספק" (predict and provide), כלומר תכנון המתבסס על יצירת היצע העונה לביקוש. בעוד שהביקוש נתפס כחיצוני למערכת התכנון. בשנים האחרונות תופסת תאוצה גישה התכנון של "חזה ונהל" (Predict and Manage), לפיה ניהול הביקוש כולל בתוכו מגוון תגובות למצב החזוי מלבד תוספת היצע. גישה זו רואה בביקוש גורם שאינו חיצוני ושניתן לניהול (סלומון ואחרים, 1999).



התמורות שחלו בגישה לתכנון תחבורה באות לידי ביטוי גם במדיניות הרשמית של משרד התחבורה, המפורטת בתכנית האב לתחבורה יבשתית בישראל (1999). התכנית מצביעה על ההשפעות החיצוניות השליליות, ובכללן עליה בזיהום האוויר, הנגרמות כתוצאה מהשימוש הגובר ברכב פרטי והרחבת תשתית הדרכים. התכנית קוראת להתערבות מוסדית שתבלום את הגידול בשימוש ברכב הפרטי ותאפשר הסטת חלק משמעותי מהביקוש לנסיעות - לתחבורה ציבורית תחרותית.

להלן יוצגו מספר אמצעי מדיניות לתכנון תחבורה, שעשויים להשפיע על היקף הפליטות בטווח הארוך. יחד עם זאת יש לציין כי להערכה מדויקת של מידת ההשפעה של כל אמצעי נדרשת בחינה מפורטת החורגת מהיקפו של מסמך זה.

### שיפור המודלים התחבורתיים וכלי ההערכה

תכנון תחבורה מתבסס על מודלים יעודיים על פיהם מתבצעות תחזיות בדבר מצב התנועה, ועל מדדים שונים להערכת אופן התפקוד של מערכת התחבורה. בהקשר לסוגיית זיהום האוויר מתחבורה ניתן להצביע על שתי בעיות עיקריות בפרקטיקה הקיימת. ראשית, המדדים הקיימים אינם מתייחסים להשפעת התחבורה על זיהום האוויר. שנית, המודלים התחבורתיים שמים דגש רב על תנועת רכבים, ודגש קטן יותר על תנועת נוסעים.

על מנת להעריך טוב יותר את היקף הפליטות ממערכת התחבורה, יש לעדכן את תהליכי התכנון התחבורה המתבצעים כיום, בהתאם להמלצות מהספרות המחקרית העדכנית. המודלים והמדדים צריכים לשלב התייחסות להשפעות סביבתיות, ובכלל זה פליטת מזהמים ופיזור מזהמים. להלן יוצגו מספר אפשרויות לעדכון המודלים:

- מעבר למודלים תחבורתיים המתבססים על "שרשור נסיעות". מודלים אלה מתייחסים לעובדה שחלק ניכר מהנסיעות לא מתבצעות בין מוצא ויעד אחד, אלא משלבות כמה תחנות ביניים במהלך הנסיעה. מודלים אלה יתנו אינדיקציה טובה יותר לגבי זיהום האוויר, וזאת בשל העובדה שהיקף הפליטות מרכב שמנועו עדיין "חס", הוא קטן יותר בהשוואה לרכב "קר" (שיפטן, 2004).
- בניתוח זרימת התנועה בקטע דרך, מומלץ לשלב מודלים המתייחסים לזרימת התנועה ברמת הרכב הבודד (מודלים מיקרוסקופיים), בנוסף למודלים המקרוסקופיים המקובלים כיום. המודלים המיקרוסקופיים, המתייחסים לאופן הנסיעה, ההאצה וההאטה ברמת הרכב הבודד, יכולים לשקף טוב יותר את היקף הפליטות כתוצאה מזרימת התנועה הכוללת.
- שימוש במדדים שישקפו באופן טוב יותר את משמעות הנסיעה בתנאי גודש. כאשר בוחנים מצב גודש ברמה מקרוסקופית, מומלץ להתייחס בזירות למדד המקובל של "נפח תנועה" ולהעדיף שימוש במדד של "אורך תור" (בר גרא וג'רבי, 2003). שילוב השימוש במדד זה יאפשר להעריך בצורה טובה יותר גם את היקף הפליטות, עבור קטע דרך הנמצא בתנאי גודש.

עדכון המודלים כך שיתייחסו להשפעות של זיהום אוויר, עשוי לשנות את אופי הפתרון המוצע כתוצאה מהשימוש במודל. כך למשל שימוש במדדים להערכת רמת הפליטות בדרך מהירה עשוי להביא להעדפת

פתרון של ניהול כניסות (Ramp metering)<sup>8</sup> על פני פתרון של הוספת נתיב. וזאת מאחר ורמת הפליטות של רכב עומד (בכניסה לדרך המהירה) קטנה יותר מזו של רכב הנוסע בתנאי גודש (שיפטן, 2004).

ככלל, המדדים המסורתיים בתחום התחבורה מתייחסים לרמת השירות של קטע הדרך מבחינת צפיפות הרכבים. מדדים אלה, הנפוצים גם כיום במדריכים כגון Highway Capacity Manual (2000) ודומיו, מתבססים על הגישה הרואה בניידות רכבים ערך בפני עצמו. אלא שהמטרה העיקרית של מערכת התחבורה אינה הגדלת ניידות הרכבים אלא הגדלת הנגישות לפעילויות של המשתמשים. לפיכך קיים חוסר בכלים ומדדים שיוכלו לספק הערכה לגבי מידת השגת מטרה זו בכל פרויקט תחבורתי מוצע.

שיפטן (2004) מציין כי המודלים התחבורתיים צריכים להיות מבוססים על נגישות לפעילויות במקום על ניידות רכבים. מודלים כאלה ישקפו בצורה טובה יותר את יעילות המערכת גם מבחינת המשתמשים וגם מבחינת היקף הפליטות וזיהום האוויר. מדדים המשקפים את יעילות המערכת למשתמשים הם אלה הבוחנים את היחס בין פעילות תחבורתית ות"ג. בנוסף, ניתן להתייחס למדדים כגון מרחק הנסיעות השנתי לאדם או זמן הנסיעה השנתי לאדם. מדדים אלה עשויים לסייע בהשגת היעד של צמצום כמות הנסועה של כלי הרכב (בערכי רכב-ק"מ), מבלי לפגוע בניידות משתמשי המערכת (בערכי אדם-ק"מ). בנוסף ניתן להרחיב את השימוש בממד פיצול הנסיעות כיעד של תכנון התחבורה (שאיפה לשינוי פיצול הנסיעות לטובת התחבורה הציבורית).

### הפנמת העלויות החיצוניות

במסגרת הדיון הציבורי בדבר הקשר בין תחבורה כלכלה וסביבה, הולכת ומתגבשת ההכרה כי למערכת התחבורה יש עלויות חיצוניות (ובכללן זיהום אוויר) שלא נלקחו עד כה בחשבון. הפנמת עלויות חיצוניות יכולה להתבצע בשתי רמות: ברמת משתמשי המערכת, וברמת מתכנני המערכת.

ברמת המתכנן, הפנמת עלויות חיצוניות רלבנטית בעיקר לשלב התכנון המקדים של פרויקט תחבורתי כלשהו. בשלב זה אמורות להתבצע בדיקות הנדסיות וכלכליות לצורך בחינת הכדאיות שבהקמת הפרויקט. הפרמטרים העיקריים בבדיקות אלה מתייחסים לערכים כלכליים, בעיקר בהקשר של חסכון בזמן נסיעה, ולשיקולים הנדסיים, בהתאם למאפייני כל פרויקט.

למרות שלזיהום האוויר ישנו ערך כלכלי מדיד (לביא וחובריו 2003), הרי שנושא זה לא נלקח כיום בחשבון בעת הערכת טיב הפרויקט המוצע. ניסוח השיטה הרצויה לחישוב העלויות החיצוניות היא עניין מורכב החורג מהיקפו של מסמך זה. לפיכך, יש לקדם מהלך מסודר של עדכון הפרמטרים בהם נעשה שימוש בבדיקות הכדאיות, ובכלל זה את אלו המתייחסים לזיהום אוויר. יש לציין כי במקרים מסוימים עשויה התייחסות כזו להשפיע על היקף הפרויקט, אופיו ואף על סיכויי מימושו.

הפנמת עלויות חיצוניות ברמת המשתמש מתייחסת בעיקר לשימוש באגרות גודש. אגרות אלו הן למעשה כלי מיסוי המופעל באופן דיפרנציאלי בזמן ובמרחב, על מנת להשפיע על המשתמשים באזורים הגדושים בתנועה, בעיקר בשעות שיא הביקוש (פייטלסון ואחרים, 1998). אגרות גודש<sup>9</sup> זוהו כבר לפני שנים רבות ככלי המתאים להפנמת העלויות החיצוניות, אלא שלא ניתן היה לגבות אגרות כאלה מבלי להביא לעיכובי תנועה בגבייה עצמה. טכנולוגיה של גבייה אלקטרונית, שאינה מחייבת עצירת כלי הרכב זמינה היום באופן מסחרי. אגרה אלקטרונית, המתאימה את "מחיר" הנסיעה לתנאי הגודש ולכן משתנה בין מקומות

<sup>8</sup> מערכת לניהול כניסות (Ramp metering) שולטת על ויסות התנועה ברמפות העליה לדרך המהירה. כאשר המערכת מזהה התרחשות אפשרית של מצב גודש, נסגרים שערי הכניסה לדרך המהירה על מנת למנוע ממצב הגודש להתרחש.  
<sup>9</sup> יש להבחין בין אגרות גודש לבין אגרות מימון, שיעודם לממן תשתית ולא להשפיע על מידת השימוש בכלי הרכב.

ובשעות היום השונות, מהווה את אחד הפתרונות לויסות עצמת הגודש בערים לרמה הרצויה. הרמה הרצויה של הגודש תלויה באיזון הרצוי בין הפגיעה בחיוניות העיר, איכות הסביבה בה, המשמעויות של הסטת תנועה לכבישים שוליים, וכמובן, בקיומן של חלופות תחבורתיות (פייטלסון ואחרים, 1998).

בשנים האחרונות נכנסו אגרות הגודש לשימוש בארצות מערב אירופה, אמריקה והערים הגדולות בדרום-מזרח אסיה. כאשר אחת הדוגמאות המוצלחות בתחום זה היא תכנית היטל הגודש למרכז העיר לונדון. במסגרת תכנית תחבורה כוללת בעלת יעדים מוגדרים, יישמה עיריית לונדון תוכנית להיטל גודש בהיקף של כ-5 פאונד לכל כניסה למרכז העיר. כאשר רכבים ציבוריים ורכבים היברידיים פטורים מתשלום, וזאת על פי העקרון של "המזהם משלם". התקבולים מאגרת הגודש מועברים ישירות לצורך שיפורים בתחבורה הציבורית.

לאחר שנתיים של הפעלת התכנית, ניתן להצביע על שיפור משמעותי באיכות האוויר במרכז לונדון, נתונים שנאספו ע"י Bevers (2004) מראים על ירידה של כ-12% בכמות החלקיקים הקטנים (PM10), ירידה של כ-20% בפליטת גז CO, ירידה של 12% בפליטת תחמוצות חנקן וירידה של כ-20% בהיקף פליטת ה-CO2 (הערכים בממוצע ליממה). כמו כן, נצפתה ירידה של כ-20% בצריכת הדלק השנתית של האוטובוסים הפועלים באזור.

מבחינת זרימת התנועה במרכז העיר, נרשמה ירידה של כ-30% בנפחי התנועה של רכבים פרטיים וירידה של 11% בתנועת המשאיות. לעומת זאת נרשמה עליה של כ-20% בתנועת האוטובוסים, כאשר הנתון המשמעותי ביותר הוא עליה של 20% במהירות הנסיעה הממוצעת במרכז העיר. Bevers (2004) קושר בין עלית המהירות לבין השיפורים שנרשמו באיכות האוויר וטוען, שלמהירות הנסיעה הממוצעת יש השפעה על היקף הפליטות לא פחות מאשר לשיפורים הטכנולוגיים במנועים, שנעשו במהלך התקופה.

בארץ, לעומת זאת, הטלת אגרות גודש רחוקה משלב היישום. הדוגמא הקרובה ביותר ליישום אגרת גודש היא תכנית "הנתיב המהיר" שמקדם משרד התחבורה באזור הכניסה לת"א. תכנית זו שונה מהותית מהדוגמאות העולמיות בארבעה מרכיבים עיקריים:

- התכנית מתבססת על הוספת נתיב במקום על הנתיבים הקיימים
- התכנית פועלת על נתיב אחד בלבד, בעוד שבשאר הנתיבים אין כל הגבלה.
- התכנית אינה מאפשרת זרימה חופשית לתחבורה הציבורית.
- תקבולי התכנית לא מיועדים לעידוד תחבורה ציבורית, אלא למימון סלילת הנתיב עצמו.

ככלל, יש לצפות כי תהליך האימוץ של אגרת גודש ימשך זמן רב והוא תלוי בנקיטת צעדי הסברה על ההגיון של אגרות אלה. לצד הטלת אגרת גודש ניתן להפחית מסי תחבורה אחרים, כך שסך ההוצאה הפרטית לתחבורה לא תשתנה, אבל ייווצר תמריץ שלא להשתמש ברכב פרטי במקום בו יעילותו נמוכה ועלויותיו החברתיות הן הגבוהות ביותר (פייטלסון ואחרים, 1998).

### אמצעי ניהול תנועה

המונח "ניהול תנועה" מתייחס לסדרה של אמצעים הנדסיים וטכנולוגיים לשיפור התפקוד של מערכת התחבורה. האמצעים פועלים גם על "צד הביקוש" לשיפור זרימת התנועה והגדלת קיבולת המשתמשים בדרך, וגם על "צד ההיצע", בדמות הגבלות על תנועת רכבים במקומות וזמנים מסוימים.

אמצעים להגדלת הקיבולת כוללים שיפורים הנדסיים מקומיים, מערכת תחבורה חכמות (ITS), מערכות לניהול אירועים (Incident Management), ניהול כניסות (Ramp metering), ומערכות בקרת רמזורים. אמצעים להגבלת ההיצע מתייחסים בעיקר להגבלות על חניה ותנועה במרכזי הערים, כאשר ההגבלות יכולות לבוא לידי ביטוי בהגבלות פיסיות (מדרחוב או אמצעי מניעת חניה) ובאגרות חניה או אגרות גודש, כמפורט לעיל.

אמצעים להגדלת הקיבולת עשויים להפחית את זיהום האוויר בטווח הקצר בשל השיפורים בזרימת התנועה, יחד עם זאת סביר להניח שכתוצאה מהפעלתם יתווספו רכבים חדשים למערכת, דבר שיקטין את התועלת מבחינת היקף הפליטות. כלומר, השיפורים הטכנולוגיים הללו עשויים להזיק לעניין הסביבתי בשל הגידול בנסועה הנובעת משיפורים בזרימת התנועה. על מנת למנוע גידול בנסועה כתוצאה מניהול תנועה משופר, יש לשלב אמצעים להגבלת תנועה כמתואר בדוגמה הלונדונית.

### **עידוד נסיעה ברכב רב נוסעי**

יש לתת עדיפות לתחבורה ציבורית ולרכבים רבי נוסעים באמצעות נתיבי העדפה ועדיפות בצמתים. בנוסף, יש לשפר את האטרקטיביות של התחבורה הציבורית. קידום התחבורה הציבורית צפוי להשפיע על מדד פיצול הנסיעות, ולפיכך להקטין את זיהום האוויר. כל זאת בהנחה שהאוטובוסים פועלים על פי התקנים האירופאים המחמירים, כמוזכר לעיל.

### **תכנון משולב של תחבורה ושימושי קרקע**

מדיניות פיתוח הקרקע בישראל צריכה לתת עדיפות למיקום שימושי קרקע עתירי פעילות באיזורי נגישות גבוהה לתחבורה ציבורית, בין היתר באמצעות הגדלת אחוזי הבניה סביב תחנות ההסעה ההמונית (משרד התחבורה 1999). תכנון משולב של תחבורה ושימושי קרקע עשוי להביא להקטנת הצורך בנסיעות ברכב פרטי, ובפרט אם יעשה בשילוב עם תכנון ידידותי לאופניים ולהולכי רגל, ופיתוח מתון ומבוקר של מערכת הכבישים.

יש לבחון בצורה מקיפה ומדוקדקת את מידת ההשפעה של כל פרויקט תחבורתי על הסביבה הקרובה, ובכלל זה על רמת זיהום האוויר. בחינה זו נדרשת גם לגבי פרויקטים של פיתוח בסביבה העירונית, שעשויים להגדיל את הביקוש לנסיעות באותו איזור. יש לציין כי נושא זה קודם באופן משמעותי בשנים האחרונות עד לכדי מסמך הנחיות (המדריך להכנת בחינת השלכות תחבורתיות – משרד התחבורה 2003). יחד עם זאת, המבחן העיקרי של מדיניות זו יהיה האופן והמידה בה היא תיושם בשטח.

### **מתווה כללי ליישום מדיניות תחבורתית**

בקביעת מדיניות יש להגדיר באופן ברור את מדדי ההצלחה שעל פיהם תיעשה הערכת המדיניות ותיבחן יעילותה. סלומון ואחרים (1999) מזכירים שמדדי ההצלחה חייבים להתייחס לא רק לתוצאה המיידית הנראית לעין אלא גם להשפעות לוואי של הפתרון המוצע. כך למשל מדיניות ריסון השימוש ברכב פרטי (באמצעות אגרות חניה או גודש) המופעלת על איזור מוגדר, עלולה להביא להעתקת בעיית הגודש לאיזורים שכנים. בנוסף, יש להגדיר באופן ברור את טווח הזמן הסביר שלאחריו אפשר להעריך את יעילות הפתרון. לדוגמה, מערכת בקרה לשיפור זרימת התנועה עשויה להביא להקטנת הגודש והפליטות

בטווח הקצר, בעוד שבטווח הארוך היקף הפליטות יעלה מחדש עקב הגדלת הקיבולת ומשיכת רכבים חדשים למערכת.

בבחינת האמצעים יש לבדוק חבילות אמצעים (אמצעים משלימים, אמצעים מתחרים, ואמצעים בלתי תלויים). מהו סך התועלות והעלויות של ישום האמצעי (איזון בין השפעת חיוביות ושליליות של האמצעים השונים). ומתוך כך מהי חבילת האמצעים האופטימלית. כך לדוגמה רצוי ליישם הגבלות חניה בעיקר באיזורים בהם יש שירות טוב לתחבורה ציבורית. בנוסף יש לקחת בחשבון את תגובת הנוסעים לאמצעי המדיניות, ובעיקר מה תהיה מידת הפחתת המזהמים כתוצאה מיישום האמצעי.

## 4. סיכום

להלן ההמלצות שגובשו בעת הדיון בקבוצת העבודה והובאו לישיבת המליאה. חלק מהאמצעים ניתנים להפעלה בטווח זמן מיידי, וחלק בטווח הארוך.

- זיהום האוויר הכבד במרכזי הערים קשור ישירות לתחבורה. ממצאים מראים שכ-20% מזיהום האוויר נובע ממקורות ייצור אנרגיה ואילו כ-80% מהתחבורה.
- יש לאמץ את התקנים האירופאיים בישראל. התקינה בנושאי דלקים נקיים כבר מוכנה ליישום והיא מתחילה להתבצע בשטח מתחילת 2004.
- דרוש עידוד של השלטון בכדי לתמרץ כניסה של דלקים נקיים למשק, תוך אכיפה מתאימה של התקנות.
- היות ובישראל, לפי התקנות, הדלק מתוסף בתהליך הייצור, יש להקפיד להשתמש בתוספים אחרים רק לפי המלצת יצרן הרכב ולהביא מידע זה לציבור אשר נחשף בעת התדלוק להצעות להוספת התוספים בעת התדלוק.
- טכנולוגיות הרכב השתפרו באופן מהותי, בפרט בעשור האחרון, ובעוד שהשימוש בדלקים נקיים עשוי להוריד את פליטת המזהמים בכ-8%, החדרה לשוק המקומי של ממירים חדשים המתאפשרים ע"י דלקים אלו עשויים להביא להפחתות בשיעור של למעלה מ-50%.
- יש לשדרג את הטיפול במנועים ואת מערכות הפליטה כדי להשיג את ההפחתות המירביות האפשריות באמצעים הטכנולוגיים הקיימים.
- לאור החידושים הטכנולוגיים המתפתחים כעת נראה שירדת חשיבות השימוש בגפ"מ כדלק לתחבורה, אולם הוא עדיין עשוי להוות שסתום ביטחון להספקת דלקים לשוק המקומי לאור קשיי שוק הדלקים הנקיים באגן הים התיכון.
- השימוש בגז טבעי דחוס יכול להביא להפחתה בפליטת חלקיקים אולם הוא גם יגרור להגברת פליטה של פחמימנים קלים העוזרים להיווצרות עשפל פוטוכימי. בנוסף מערך השיווק והתחזוקה של רכב מופעל בגז מעלה בהרבה את העלויות למשק.
- יש לעודד תהליכי שדרוג אוטובוסים וציי רכב כבד ובינוני המצויים כיום על הכביש. וזאת מאחר ותקנות הפליטה חלות רק על רכבים חדשים. במקביל, יש לעודד גריטה של רכבים ישנים. ישום תוכנית הגריטה של המשרד לאיכות הסביבה בהיקף של 6,000 עד 11,000 כלי רכב פרטיים תביא להפחתת היקף הזיהום בכ-80% (ענבר, 2004).
- במקרה של משאיות גדולות ואוטובוסים נמצא שהפעלת תכנית לגריטה וולנטרית תביא לתועלת שלילית למשק. עקב הזיהום הגדול מרכבים אלה, יש לקבוע תקנות המגבילות את השימוש ל 14 שנה בלבד ללא כל פיצוי.
- יש לעדכן את המודלים התחבורתיים כך שישלבו התייחסות להשפעות של זיהום אוויר. בנוסף, המודלים התחבורתיים צריכים לשים דגש רב יותר על נגישות המשתמשים, מאשר על תנועת הרכבים.

- יש לפעול למימוש המדיניות המוצהרת של משרד התחבורה, ובכלל זה ליישם אמצעים לבלימת הגידול בשימוש ברכב הפרטי. בהקשר זה יש לבחון הטלת אגרות גודש בהקשר של מדיניות כוללת לשיפור מערכת התחבורה, כפי שנעשה בלונדון, ולא רק לצורך מימון פרויקטים, כפי שנעשה בארץ.
- יש לתת עדיפות לתחבורה ציבורית (נקיה) ולרכבים רבי נוסעים באמצעות נתיבי העדפה ועדיפות בצמתים.
- יש לקדם תכנון משולב של תחבורה ושימושי קרקע, באופן שיקטין את הצורך בנסיעות ברכב פרטי. מדיניות פיתוח הקרקע בישראל צריכה לתת עדיפות למיקום שימושי קרקע עתירי פעילות באיזורי נגישות גבוהה לתחבורה ציבורית, בין היתר באמצעות הגדלת אחוזי הבניה סביב תחנות ההסעה ההמונית (משרד התחבורה 1999).

## רשימה ביבליוגרפית

- אבנימלך, י. ואחרים. 2002. **חלופות להפחתת פליטות גזי חממה בישראל**. חיפה: מוסד שמואל נאמן, טכניון.
- אדם טבע ודין. 2002. **מכתב לשרי התשתיות, התחבורה ואיכות הסביבה: הפעילו סמכותכם וחייבו מעבר לסולר דל-גופרית**. באתר אינטרנט: [www.yarok.org.il/viewpress.asp?ID=198&P=p1](http://www.yarok.org.il/viewpress.asp?ID=198&P=p1)
- בר-גרא, ה., וג'רבי, ש. 2003. **מאפיינים של גודש שגרתי בנתיבי איילון**, תנועה ותחבורה, גליון 71.
- המשרד לאיכות הסביבה. 2002. **אמצעים להפחתת מזהמים מכלי רכב**. בתוך אתר אינטרנט: <http://www.environment.gov.il>
- המשרד לאיכות הסביבה. 2003. **סקר סיכונים השוואתי מזהום אוויר באזורי תל אביב ואשדוד לשנים 1999-1995**. בשיתוף עם אדם טבע ודין, הרשות לאיכות הסביבה עיריית תל אביב, איגוד ערים לאיכות הסביבה אשדוד חבל יבנה, הסוכנות האמריקאית להגנת הסביבה. בתוך אתר אינטרנט: <http://www.yarok.org.il>
- זבירין, י., שיפטן, י., טרטקובסקי, ל. (2002). בתוך אבנימלך, י. 2002. **חלופות להפחתת פליטות גזי חממה בישראל**. חיפה: מוסד שמואל נאמן, טכניון.
- טל, א. 2002. **זיהום אוויר מכלי רכב**. ירושלים: מכון ירושלים לחקר ישראל, המרכז למדיניות סביבתית.
- טרטקובסקי, ל., 2004, **מצגת: זיהום אוויר מכלי רכב בארץ – בעיות ופתרונות**, הפקולטה להנדסת מכונות, טכניון.
- חברת כביש חוצה ישראל בע"מ, ניתוחי תנועה והערכה כלכלית, חלק 17-4. בתוך פלטר, א. (עורך). **תחבורה, סביבה וצדק חברתי בישראל**, תל אביב: מרכז אדוה.
- לביא, ד., בקר, נ., בן שלמה, ו., איתן, א., 2003, **הערכה כלכלית של כדאיות גריטת כלי רכב בישראל – דוח סופי**. פארטו הנדסה והמשרד לאיכות הסביבה.
- לשכה מרכזית לסטטיסטיקה. 2003. **כלי רכב מנועים**, פרסום מס' 1229.
- לשכה מרכזית לסטטיסטיקה. 2002. **שנתון סטטיסטי לישראל**, פרסום מס' 53, לוחות 24.
- מור, ע. וסרוסי, ש. 2001. **אמצעי מדיניות כלכלית להפחתת זיהום האוויר משריפת דלקים במגזרי התחבורה, החשמל והתעשייה בישראל**. הרצליה פיתוח: אקו אנרג'י מ.ס. בע"מ.
- מושל, א. 2003. **תועלת לכלל המשק. גלובס, יוני 2003**.
- משרד התחבורה, 1999. **תוכנית אב ארצית לתחבורה יבשתית: מדיניות פיתוח התחבורה למדינת ישראל**, גדעון השמשוני וצוות המכון הישראלי לתכנון ומחקר תחבורה.



- סלומון, א. (עורד), ואחרים, 1999, לקראת פיתוח תחבורה בת קיימא בישראל – יעדים ומדיניות ביחסי מערכת התחבורה ואיכות הסביבה, מסמך מדיניות במסגרת UN/MAP CAMP Sustainable Development Programme והמשרד לאיכות הסביבה.
- ענבר, י., 2004, מצגת ביום העיון 5.2.2004: הפחתת זיהום אוויר מתחבורה, משרד לאיכות הסביבה.
- פלטשר, א., גינזברג, ג., גארב, י. 2000. תחבורה, סביבה וצדק חברתי בישראל, תל אביב: מרכז אדוה, מידע על שיוויון 10.
- פליקשטיין, ב., 2004, מצגת ביום העיון 5.2.2004: מדיניות צמצום זיהום אוויר מתחבורה – נסיון חיפאי, איגוד ערים חיפה לאיכות הסביבה.
- פייטלסון, ע., סלומון, א., כהן, ג., בינשטוק, מ., נבות, ד. (1998), מדיניות תחבורה לשמירת הסביבה. ירושלים: האוניברסיטה העברית.
- פייטלסון, ע., מרינוב, א. וקפלן מ. 1996. מדיניות מרחבית נושאת, כיוונים לפיתוח בר קיימא. תוכנית אב לישראל בשנות האלפיים.
- שיפטן, י., 2004, מצגת ביום העיון 5.2.2004: אמצעי מדיניות לפיתוח תחבורה בת-קיימא, המכון לחקר התחבורה, טכניון.
- תוכנית אב ארצית לתחבורה יבשתית, טיוטא מיום 20.01.98. בתוך פלטשר, א. (עורד), תחבורה, סביבה וצדק חברתי בישראל, תל אביב: מרכז אדוה, מידע על שיוויון 10.
- תוכנית אב לתחבורה בירושלים, סקר הרגלי נסיעה 1996-1994. בתוך פלטשר, א. (עורד), תחבורה, סביבה וצדק חברתי בישראל, תל אביב: מרכז אדוה, מידע על שיוויון 10.
- Allen, J. (2000). **Future markets and technologies for natural gas vehicles.** Lotus Engineering UK & Bob Carpenter, BG Technology
- AFDC -Alternative Fuels Data Center. (2003). <http://www.afdc.doe.gov/altfuel/biodiesel.html>
- ARC. (2004). **Mobility 2030** – Regional Transportation Plan. Web site: <http://www.atlantaregional.com/transportationair/mobility2030.html>
- Beevers, S. (2004). In: [http://pubs.acs.org/subscribe/journals/esthag-w/2004/oct/policy/rp\\_london.html](http://pubs.acs.org/subscribe/journals/esthag-w/2004/oct/policy/rp_london.html)
- Environmental Policy Committee. (2001). **Environmentally Sustainable Transport: Is Rail on Track?** Paris: OECD
- European Conference of Ministers of Transport. (2000). **Sustainable Transport Policies.** Paris: OECD.
- ECMT- European Conference of Ministers of Transport. (2001). **Sulfur-free fuels.** Paris: OECD.
- Ginsberg, G., Aharon, S., Fletcher, E., Shemer, J., Koutik, D. and Karsenty, E. (1998). Mortality from Vehicular Particulate Emissions in Tel-Aviv-Jafo. **World Transport and Policy and Practice.** Vol. 4/2, pp. 27-31.

- IEA- International Energy Agency. (2000a). **CO2 Emissions from Fuel Combustion 1971–1998**. 2000 Edition. Paris: OECD.
- INFRAS. (2000). **External costs of transport (accidents, environmental and congestion costs) in Western Europe**. Paris. INFRAS Zurich, IWW, University of Karlsruhe. On Web Site: <http://www.unece.org/doc/poja/poja.uic.2.e.pdf>
- Highway Capacity Manual (2000), Transportation Research Board
- Lev-On, M., LeTavec, C., Uihlien, J., Alleman, T., Lawson, D., Vertin, K., Thompson, G., Guatam, M., Wayne, S., Zielinska, B., Sagebiel, J., Chatterjee, S., Hallstrom, K. (2002). **Chemical Speciation of Exhaust Emissions from Trucks and Buses Fueled on Ultra-Low Sulfur Diesel and CNG**, SAE Technical Paper 2002-01-0432.
- LeTavec, C., Uihlien, J., Vertin, K., Chatterjee, S., Hallstrom, K., Wayne, S., Clark, N., Lyons, D., Chandler, K., Coburn, T. (2002). **Year-Long Evaluation of Trucks and Buses Equipped with Passive Diesel Particle Filters**, SAE Technical Paper 2002-01-0433.
- OECD. (2000). **Environmentally Sustainable Transport (EST), Synthesis report: futures, strategies and best practices**.
- Rabl, A. (2002). Environmental Benefits of natural gas for buses, **Transportation Research, Part D**. Vol. 7, pp. 391-405.
- TCRP. (1998). **Guidebook for Evaluating, selecting and implementing Fuel Choices for Transit Bus Operations**. Washington, D.C.: National Academy Press.
- U.S. Department of Energy. (2004). **Clean Cities-Advanced technology Vehicles**. Web site: <http://www.eere.energy.gov/cleancities/atv>
- World Business Council for Sustainable Development. (2001). **Mobility 2001 – Overview**. Massachusetts Institute of Technology and Charles River Incorporated. Web site: <http://www.wbcsmobility.org>

## נספח מס' 1: דוגמאות להפחתת הפליטות מצי רכב קיימים

תקני הדלקים הנקיים שעליהם מדובר באירופה ובארה"ב עומדים להכנס לתוקף בשלבים שפורטו לעיל בין השנים 2005 ל-2009. גם כשתקני הדלק יכנסו לתוקף הם לא ישנו את מאפייני צי הרכב, היות והתקנים החדשים לפליטות מרכבים חלים על כלי רכב חדשים שעומדים להכנס לצי הרכב. החדרה של דלקים נקיים לשוק המקומי עשויה להביא להורדה של ב-8% ברמת הפליטה מרכבים שונים בממוצע. הניסיון בעולם מראה שניתן לאמץ אסטרטגיות נלוות להתקנת טכנולוגיות ואביזרים חדשים בכדי לשדרג את צי הרכב הקיים. הכנסת הדלקים הנקיים לשוק יכולה להוות מנוף להחדרת אותן טכנולוגיות שכבר קיימות המאפשרות הפחתת הפליטה מרכבים בשיעור של עד כ-90%.

הדלקים הנקיים, ובמיוחד דיזל דל-גופרית, מאפשרים התקנת ממירי פליטה חדשים על צי הרכב הכבד הקיים, בפרט במשאיות ואוטובוסים. בכדי להדגים את האפשרויות הכלולות באסטרטגיות כאלו נביא כאן שתי דוגמאות קצרות על יישום אסטרטגיות אלו בניו יורק שבמזרח ארה"ב ובאזור סיאטל שבמדינת וושינגטון במערב ארה"ב.

### 1. שדרוג צי האוטובוסים של התחבורה הציבורית בניו יורק

חברת האוטובוסים העירוניים של ניו-יורק התחילה בשנת 2000 בתוכנית להביא להפחתה מיידית של הפליטות מצי האוטובוסים בעיר תוך אימוץ טכנולוגיות חדשות ובהן: אוטובוסים ממונעים בגז טבעי דחוס, אוטובוסים חשמליים היברידיים, והתקנת ממירים בשילוב דיזל "נקי". המדד החשוב להערכת הטכנולוגיות השונות היתה "יעילות העלות", כלומר מקסימום הפחתה בזיהום האויר במינימום עלות תוך שימת דגש על אפשרויות ביצוע ויישום מידיים.

#### תוצאות התכנית בניו-יורק:

- החלפת מנועי דיזל ישנים – עד היום הותקנו כ-600 מנועים חדשים ברכבים קיימים וכן נקנו למעלה מ-2,900 אוטובוסים חדשים בחמש השנים האחרונות.
- שימוש בדלק נקי – דלק דיזל בעל תכולה של פחות מ-30 חל"מ גופרית הינו הדלק היחיד המותר לשימוש מאז תחילת התוכנית. השימוש בגז טבעי דחוס גם הוא מביא להפחתת מזהמים אבל הוא מסבך את מערך התחזוקה ותדלוק הרכבים כך שהעלויות הנלוות הן גבוהות מאוד ולא יעילות.
- שדרוג מערכות המפלט של אוטובוסים – מערכות פילטרים מיוחדות לסינון והמרה של חלקיקים ממנוע דיזל (DPF) הותקנו עד כה למעלה מ-2,300, ומצפים שעד סוף שנת 2004 מספרם יעלה לכ-3,600.

## לקחי הניסיון בניו-יורק:

- שדרוג צי האוטובוסים הקיים באמצעות החלפת מנועים הינו אופציה בעלת יעילות רבה להפחתת הפליטה.
- דיזל בעל תכולת גופרית מאד נמוכה אינו מעלה את ניצולת המנועים, וכלשעצמו מביא להפחתת הפליטה בכ- 8% ועיקר היתרון של דלק זה הוא ביכולתו להביא לירידה משמעותית בפליטת חלקיקים כאשר פילטרי חלקיקים מסוג DPF מותקנים על המפלט.
- מסנני החלקיקים מסוג DPF הוכחו כיעילים בהתקנה על מנועים העומדים בתקן Euro-II או Euro-III, אך אינם מתאימים למנועים ישנים יותר.
- שיעור הסתמות הפילטרים הוא בערך כ-5% לשנה והם בדרך כלל קשורים לתקלות חמורות במערכת ההנעה. רוב הפילטרים הסתומים ניתנים לתיקון ע"י ניקוי מתאים ורק פילטרים מעטים יצריכו החלפה.
- עצם ההתקנה של הפילטרים על מערכת הפליטה עשויה למסך בעיות מנוע שבדרך כלל "עשון" הרכב מעיד עליהן. לפיכך, עם התקנת הפילטרים המערכת חייבת להערך לתחזוקה תקופתית מוקפדת.
- העלות של ה-DPF היא כ- \$7,000 לאוטובוס, והתחזוקה הנדרשת היא כ- \$150 ועוד שלוש שעות עבודה בשנה לניקוי, הרכבה או החלפה לכל פילטר.

## 2. שדרוג צי האוטובוסים להסעת תלמידי בתי הספר במדינת וושינגטון

מדינת וושינגטון שמה לה למטרה לשדרג בין 5,000 ל-8,000 אוטובוסים המיועדים להסעת תלמידי בתי הספר בחמש השנים הקרובות. לצורך זה אושר תקציב מיוחד בבית הנבחרים של מדינת וושינגטון בנוסף למענק מהממשלה הפדרלית. הוקמו וועדי פעולה מקומיים שמאגדים בתוכם חברות מסחריות, אגודי ערים למניעת זיהום אויר ומפעילי האוטובוסים בכדי להתוות תוכניות פעולה משותפות ליישום המטרות.

### תוצאות התכנית במדינת וושינגטון:

- דיזל דל גופרית מאפשר הורדה של כ-10% מסך הפליטה לעומת אותם אוטובוסים עם דלק קונבנציונלי.
- התקנה של ממירים קטליטיים מחמצנים לדיזל הביאה להפחתת פליטת חלקיקים של כ-30% ולהפחתת פליטת פחמימות וגזים אורגניים רעילים בשיעור של כ-50%.
- התקנת פילטרים לחלקיקים מסוג DPF הביאה להפחתה של למעלה מ-90% בפליטת החלקיקים, הפחמימנים, והגזים האורגניים הרעילים.
- פיתרון אחר דרוש להפחתת פליטת תחמוצות החנקן.

## הלקחים המופקים מהניסיון במדינת וושינגטון:

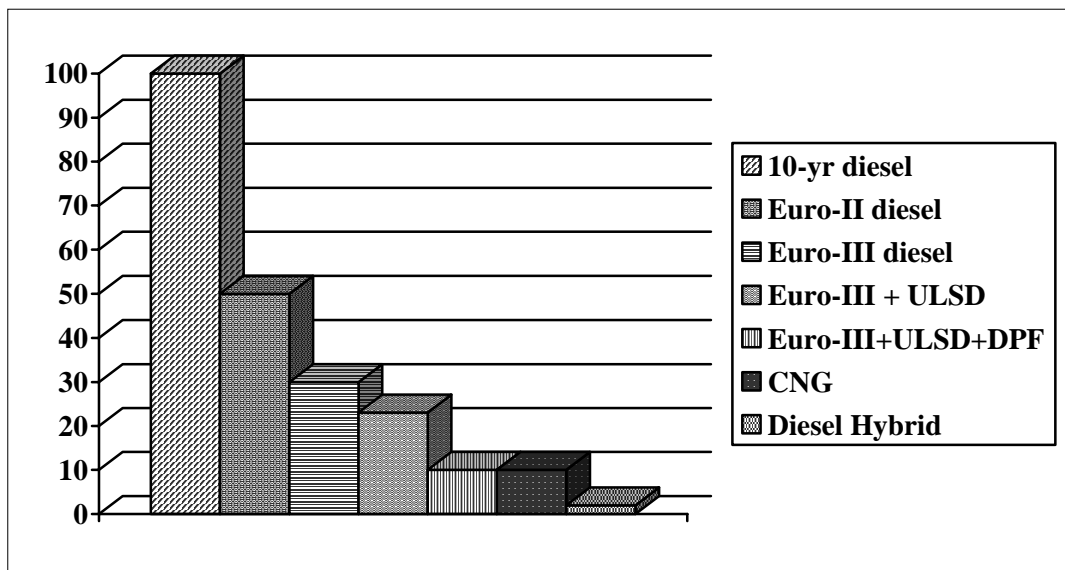
- העלות לשדרוגים נעה בין \$5,500 ל-\$8,000 לאוטובוס בעבור פילטר חלקיקים מסוג DPF, בעוד שממירים קטליטיים מחמצנים עלו בין \$1,500 ל-\$2,500 לאוטובוס.
- סתימת פילטרים היתה תלויה לעתים בכך שמיכל הדלק לא מטופל כיאות ויש בו משקעים.
- חשוב מאד שהדיזל הנקי יהיה מתוסף בכדי שיהיה בעל סיכות (lubricity) מתאימה.
- ישנה אפשרות להשתמש גם בדלקים חליפיים כמו ביו-דיזל (20%) או גז טבעי דחוס, אולם העלויות הן הרבה יותר גבוהות ויש בצורך בתשתית כפולה ומכופלת בכדי לאפשר אחסנה ותדלוק בדלקים השונים.
- מנהלי התחזוקה של ציי הרכב חייבים לעבור הדרכה מדוקדקת בתפעול הממירים בכדי לוודא שהרכבים יקבלו תחזוקה תואמת באופן שוטף.

לאור ממצאים אלו ועוד דוגמאות רבות מציי רכב כבד אחרים מצטיירות שלוש אפשרויות מרכזיות להפחתת פליטה מציי רכב כבד:

- I - גריטה מזורזת של מכוניות ישנות (טרם תקן Euro),
- II - הגברת רמת התחזוקה והביקורת של ציי הרכב הקיים כולל שיפוץ או החלפת מנועים,
- III - החדרת דלקים נקיים לשימוש נרחב בתחבורה ושדרוג מערכות הפליטה, סינון והמרה בהתאם לדלקים הזמינים.

איור 5 מראה באופן השוואתי את שיעור הפחתת פליטת חלקיקים עם "סולם הטכנולוגיות" הניתנות ליישום בציי רכב כבד.

איור 5: שיעורי הפחתה יחסיים של פליטת חלקיקים עם טכנולוגיות שונות בציי רכב כבד



### **פרק 3: זיהום מים קרקע ואויר בדלקים, שמנים ומזהמים אורגניים** **דוגמה ומסקנות לגבי מערכת הטיפול בנושאי סביבה בישראל.**

עורך הפרק יורם אבנימלך (\*)

חברי הצוות:

שרה אלחנני נציבות המים

דניאל רונן, נציבות המים

ברוך ובר, משרד איכה"ס

ד"ר אריה פיסטינר, משרד איכה"ס

שמעון צוק, אדם טבע ודין

עו"ד שירלי בבאי, אדם טבע ודין

שרון יניב, טכניון

פרופ' הלל רובין, טכניון

איריס האן, החברה להגנת הטבע

ד"ר אברהם מרכזו, יועץ, הידרולוגיה וסביבה

פרופ' אורי מינגלגרין, מנהל המחקר החקלאי

פרופ' יורם אבנימלך, מוסד נאמן, הטכניון.

(\*) עורך הפרק מודה לכל חברי הצוות על עבודה משותפת ויעילה. תודה מיוחדת לברוך ובר על העברת חלק ניכר מחומר הרקע, ועל הצעות ורעיונות שסייעו רבות להכנת הפרק.

## סיכום

זיהום קרקע, מים ואוויר בדלקים, שמנים וממיסים אורגניים מהווה סיכון משמעותי לבריאות האדם ולמערכת האקולוגית ביבשה, בנחלים ובים. הרגישות לזיהום זה היא רבה ומדובר בחומרים רעילים, יציבים לאורך זמן ונפוצים מאד במערכת האנושית המודרנית.

אין ספק בנזקים החמורים שזיהום כזה כבר גורם ויכול לגרום בעתיד.

חובה לפעול ביעילות, בתקיפות ומהר להקטין את התופעה ונזקה.

לאחרונה הובאה לידיעת הציבור, על ידי מבקר המדינה, הידיעה כי אין טיפול הולם ומתואם בנושא.

הבעיות הכרוכות במדיניות סביבתית נאותה לטיפול בבעיות הזיהום בדלקים אינן ייחודיות לנושא זה. מסקנות הצוות שדן בנושא ישימות גם לנושאים אחרים, אם כי נראה שלפחות בחלק מהמקרים כדאי ליישמן לגבי נושא הזיהום בדלקים.

1. הוכח כי אחריות לנושא המוטלת על מספר יחידות ממשלתיות אינה מביאה לפעולה מתואמת. יתר על כן, מתפתחת בהרבה מקרים יריבות בין משרדים ממשלתיים שונים, דבר הגורם לעיכובים, להפרעה הדדית בפעולה ולאי קידום הנושא. לעומת זאת, נמצא כי הן בישראל והן בעולם, הפעלת נושא רב תחומי על ידי מנהלת המוקמת ומקבלת ייפוי כוח מצד המשרדים השונים העוסקים בתחום היא שיטה יעילה. מוצע לכן להקים **מנהלת** אגן היקוות (מנהלת אקוויפר החוף בעדיפות גבוהה) או מנהלת העוסקת באיכות המים.

2. העברת האחריות למניעת זיהום אל התעשייה או יצרן זיהום אחר, על ידי **החובה לבטח המערכת כנגד נזק סביבתי**. פעולה כזו תביא לאינטרס של המזהם הפוטנציאלי לעשות הכל למניעת זיהום ויותר מכך, תכניס לתמונה חברות ביטוח, ישראליות ובין לאומיות שיבצעו פיקוח מטעמן. מוצע להפעיל בהקדם גישה זו, גישה שאף הועלתה בפני בית המחוקקים על ידי ח"כ גבי מלי פוליצי'וק.

נראה כי מגזר האנרגיה יהיה מגזר הולם להתחיל בישום גישה זו בישראל.

3. **שיפור הליכי החקיקה** ואישור הקמת תחנות דלק ומתקנים

4. **הקמת קרן סביבתית ייעודית למימון** תוכניות שדרוג מתקנים, שיקום קרקעות וטיפול במים שזוהמו בדלק.

5. **הגברת המודעות הציבורית, הבקרה הציבורית והשקיפות** חיונית להפעלת שיווי המשקל הנדרש בין התעשייה לגווינה מחד והמוסדות האמונים על איכות הסביבה מאידך. אלמנט חשוב הוא השקיפות לגבי איכות המים והדיווח השוטף לאזרחים על איכות המים המסופקים לבית האזרח (ומן הראוי כי מידע זה יהיה זמין לאזרח, כמקובל, לדוגמא, באתרי אינטרנט בארה"ב).

6. נדרשים **צעדים נקודתיים**: כגון תקינה למיכלי דלק שונים בתעשייה, בחקלאות, במערכת הביטחון ובבית האזרח.

7. נדרשת **הכשרה מקצועית נאותה** לעובדי תדלוק ולעוסקים בהתקנת צנרת תדלוק.

## רקע

הפעילות האנושית המודרנית כרוכה בשימוש נרחב בדלק ופחמימנים אחרים. דלקים מהווים מזהם פוטנציאלי בעל תפוצה מאד נרחבת. ישראל מבותרת בקווי דלק לאורכה וגם לרוחבה מאשדוד לחיפה וחזרה, לירושלים, לשדות התעופה השונים ועוד. בארץ כ-800 תחנות דלק לשירות הציבור הרחב ועוד כ-2000 תחנות פרטיות, מוסדיות ואחרות. מיכלי דלק בגדלים שונים לשימוש ביתי, בעיקר לצרכי חימום, מצויים בעשרות אלפי בתים. ברחבי הארץ מצויות חוות מיכלי דלק בהן מאוכסנים מיליוני ליטרים של דלק. כן מבוצעות מידי יום מאות אלפים של פעולות תדלוק-תדלוק מכוניות, מילוי מיכלי דלק ביתיים, תדלוק מטוסים בשדות תעופה אזרחיים וצבאיים, תדלוק טרקטורים ממכלי דלק ניידים, תדלוק מיכליות ממסופים ימיים ועוד ועוד. ההסתברות לאירועי זיהום הינה וודאית. ניתן רק להקטין עצמת האירועים להקטין מספרם ולפעול להקטנת השפעת אירועים כאלו.

מירב הפעילות האנושית בארץ מבוצעת בתחום המילוי של האקוויפרים העיקריים, בשפלת החוף מעל אקוויפר החוף וברצועת ההרים מעל אקוות ההר. איזורים אלו הינם איזורים בעלי רגישות גבוהה לזיהום מי התהום. חלחול הדלק בשכבות החול הרדודות מעל אקוות החוף או דרך סדקי הסלע באקוות ההר הוא מהיר והסיכוי לחדירת הזיהום גבוה מאד.

כפי שיובהר בהמשך, עלול זיהום בדלקים, ולו זיהום ברמות נמוכות ביותר, להיות קריטי מבחינת הסיכון התברואי לשימוש במים כמי שתייה. כן גורם זיהום, ולו בעקבות בלבד, לטעם וריח דוחים של המים. כמה דוגמאות בודדות, מיני רבות אחרות, מובאות כאן:

- על פי נתוני משרד הבריאות, למעלה מ-11% מקידוחי מי השתייה במחוז תל אביב נמצאו מזוהמים במרכיבי דלקים.
- כל קידוח, שנעשה בתוואי הרכבת התחתית בתל אביב ונבדק למרכיבי דלק, הצביע על זיהום חמור בדלקים, שמקורו קרוב לוודאי הוא תחנות תדלוק. באחד המקרים נמצאה שכבת סולר צפה על פני מי תהום ברחוב ז'בוטינסקי ברמת גן, כאשר אף תחנת תדלוק לא דיווחה על דליפה כלשהי.
- קידוח מנהרות כביש בגין גילו זיהום חמור מאוד מדלקים ושמנים שטפטף מגג המנהרה. הדלקים והשמנים הגיעו ממתחם המוסכים המצוי בתחנות התדלוק בכניסה לירושלים. במתחם זה נתגלו כ-200 טון קרקע מזוהמת בדלקים מתחת למשטחי התפעול של תחנת תדלוק ואשר מקורם היה קרוב לוודאי מדליפה בתחנת הדלק.
- בחלק מהתחנות בהן מותקן מכשיר נטור רציף מסוג ATG, האמור להתריע מפני מילוי יתר של מיכלי הדלק, מתעלמים בעלי התחנה מההתרעות ונמצאו גלישות דלק.

**במצב זה, של סיכוי רב לאירועי זיהום, רגישות הידרולוגית גבוהה ופגיעות רבה של המים, חובה לנקוט בצעדים יעילים ונחוצים להקטנת הסיכון והקטנת הנזק.**



### סוגי דלקים ופגיעתם באדם ובמערכת האקולוגית

בפרק השני במסמך זה הצגנו את ההשפעה של סוג הדלק על איכות האוויר ועל השיפור האפשרי עם השיפור בתכונות הדלק. אולם, מרכיבי הדלק, כאשר הם דולפים, נשפכים ומחלחלים לקרקע ולמי התהום, יכולים לגרום להשפעות סביבתיות ובריאותיות חמורות, כפי שנראה בהמשך.

טבלה 1: הרכב תוצרי הזקוק (%)

תוצר זקוק	פחמימנים רוויים - פרפינים	פחמימנים רוויים טבעתיים-נפתלים	פחמימנים לא רוויים טבעתיים-PAH	לא רב	תוסף MTBE	תוסף עופרת
בנזין 95	60-100	0-20	1>	עד 15		
בנזין 96	60-100	0-20	1>	עד 10		0.01
דלק סילוני	40-60	20-30	0-10			
סולר	30-50	20-30	5-20			
מזוט, אספלט, שמנים	0-40	10-30	10-40			

פחמימנים גולמיים משמשים ליצור דלקים על ידי סדרת תהליכי זיקוק, תוך יצירת דלקים קלים כבנזין, דלקים כבדים יותר כסולר ומזוט וסדרה של פחמימנים מוצקים ומוצקים למחצה כאספלט. הדלקים השונים נבדלים בגודל המולקולה, צורת המולקולה, משרשרת פחמימנים עד לטבעות ודלק רב טבעתי. עם עלית המשקל המולקולרי עולה נקודת הרתיחה. קיים שוני במסיסות במים ובספיחה לקרקע.

מרכיבי דלק פוגעים באדם ובמערכת האקולוגית במנגנונים שונים. מספר רב של רכיבי דלק, בעיקר רכיבי דלק קלים רעילים לאדם.

### א. רכיבים ארומטיים

התרכובות האורגניות בדלק נקראות בקיצור BTEX שכן הן מכילות את החומרים הבאים:

#### Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene

בסקירה להלן נציג מספר מאפיינים של חומרים אלה, למעוניינים להרחיב הידע נמליץ, לדוגמה על אתר <http://www.atsdr.cdc.gov/> של סוכנות ATSDR (Agency for toxic substances and disease) (registry)

## 1. בנזן

שימוש: מצוי בבנזין. עד לאחרונה נמצא בשיעור של עד 5% בבנזין בארץ ובשנים האחרונות הורד התקן לרמה מירבית של 1%.

תכונות פיזיקאליות: מסיס מאד במים (1750 מ"ג לליטר) ונייד בקרקע בגלל כושר ספיחה נמוך. הבנזן נדיף.

סכנות בריאותיות: מוכח כגורם סרטן. בנשימה מביא לעייפות, סחרחורת ועד איבוד הכרה. חשיפה ממושכת מביאה לסרטן (לוקמיה) ואנמיה.

תקן מותר במי שתייה: בארה"ב- 0.005 מ"ג לליטר. בארץ- 0.01 מ"ג לליטר.

(רק להמחשה: ליטר בנזין תקני, מכיל עד 10 גרם בנזן, או 10,000 מג"ר. ליטר בנזין במים יכול, פוטנציאלית, להביא מיליון ליטר, 1000 מ"ק, לרמה שתמנע השימוש במים למי שתייה).

זמן דעיכת זיהום<sup>1</sup>: 30 שנה

## 2. טולואן

תכונות פיזיקאליות: נדיף. מסיסות גבוהה במים, 535 מ"ג לליטר. נייד בקרקע בגלל ספיחה מועטת. בניסויי סימולציה לזיהום בבנזין נמצא ריכוז של 35-83 מ"ג לליטר במי תהום.

סכנות בריאותיות: חשיפה בעיקר בנשימה, משפיע על מערכת עצבים וחשוד כמסרטן.

תקן אמריקאי מותר במי שתייה: 1 מ"ג לליטר

זמן דעיכת זיהום: חצי שנה

## 3. אתיל בנזן

שימוש: מצוי בדלק וצבעים.

תכונות פיזיקאליות: מסיסות במים 152 מ"ג לליטר, ניידות בקרקע בינונית.

בניסויי סימולציה לזיהום בבנזין, ריכוז במי תהום 10.8-24 מ"ג לליטר.

סכנות בריאותיות: גורם לסחרחורת ופגיעה בכבד וכליות.

תקן אמריקאי מותר במי שתייה: 0.7 מ"ג לליטר.

זמן דעיכת זיהום: 5 שנים

## 4. קסילן

שימוש: בעיקר חשיפה תעסוקתית מדלקים ומדללי צבע.

תכונות פיזיקאליות: מסיסות במים 198 מ"ג לליטר. ספיחה וניידות בקרקע בינוניים.

סכנות בריאותיות: גורם לסחרחורת, פגיעה בשיווי משקל, היפר אקטיביות.

תקן אמריקאי מותר במי שתייה: 10 מ"ג לליטר.

זמן דעיכת זיהום: 4 שנים

## **ב. ארומטיים רב טבעתיים PAH, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons**

שתי קבוצות עיקריות, נפתלנים ומתיל-נפתלנים.

תכונות פיזיקאליות: ספיחה רבה לקרקע ומסיסות נמוכה (פחות מ"ג לליטר). פירוק ביולוגי איטי,

הצטברות ביולוגית רבה בשרשרת המזון במערכות מימיות.

סכנות בריאותיות: PAH עם 3-6 טבעות ידועים או חשודים כמסרטנים. מסוכנים כבר בחשיפה לריכוזים

נמוכים במים או בקרקע. מאחר וחומרים אלה נדיפים מאוד, קיים חשש מחשיפה לאדים מסוכנים

<sup>1</sup> זמן דעיכת הזיהום מבוסס על זמן מחצית החיים במי התהום מבלי להתייחס לאפקט המיחול זיהום מים קרקע ואויר בדלקים, שמנים ומזהמים אורגניים

במבנים השוכנים מעל קרקעות מזוהמות (לדוגמא, מסעדות הממוקמות בשטחי תחנות דלק מזהמות).  
חומרים אלה יכולים להיות מסוכנים גם באמצעות מגע עורי.

### 1. נפתלן : 2 טבעות ארומטיות. $C_{10}H_8$

תכונות פיזיקאליות : מסיסות במים 31 מ"ג לליטר . נדיפות גבוהה  
סכנות בריאותיות : חשיפה בעיקר מפאזה גאזית, אויר מזוהם משריפת דלקים ועץ, שפכי תעשייה, עשן  
טבק. חשיפה ממושכת פוגעת בתאי דם אדומים.  
המלצת EPA לתקן מי שתייה : עד 0.02 מ"ג לליטר.  
זמן דעיכת זיהום : שנה וחצי

### 2. מתיל נפתלנים

תכונות פיזיקאליות : מסיסות נמוכה, ספיחה רבה וניידות מועטה. יציב ביולוגית ולכן מצטבר בקרקע.  
המתיל נפתלנים פחות רעילים מהתרכובות שהוזכרו לעיל.

### 3. בנוז פירנים

תכונות פיזיקאליות : מסיסות נמוכה, 1.2 חלקים לביליון (ח"ב).  
המלצת EPA למי שתייה : פחות 0.2 ח"ב. במים עם דגים פחות מ 0.003 ח"ב בגלל הצטברות ביולוגית  
רבה.

## ג. תוספי דלק.

### 1. MTBE -Methyl Tertiary Butyl Ether

שימוש : תוסף המחליף עופרת. מצוי בדלק עד לרמה של 15%, מיועד להקטין פליטת OC ולהעלות מספר  
אוקטן.

תכונות פיזיקאליות : נדיף ומסיס מאד (מסיסות במים 48,000 מג/לי) ולכן ניידות גבוהה בקרקע ובסביבה,  
הן כנוזל עם המים או כגז.

סכנות בריאותיות : חשיפה בשתייה או בנשימה גורמת לבחילה, גירויי אף וגרון, פגיעה במערכת עצבים.  
סף השפעה 3 מ"ג למ"ק. בניסויים גורם לסרטן בבע"ח ברמה של מעל 70 ח"ב. מתפרק בכבד  
לפורמאלהיד ובוטיל פורמט שלישוני המצטבר בגוף.

גורם לטעם וריח דוחים במים כבר בריכוזים נמוכים מאד.

תקן מותר : ריכוז סף מומלץ בארה"ב 40 ח"ב בהתייחס לטעם המים ו 20 ח"ב בהתייחס לריח.

בקליפורניה ריכוזי סף נמוכים יותר : 5 ח"ב בהתייחס לטעם וריח במים, 13 ח"ב תקן בריאותי למי  
שתייה.

זיהום מאד נפוץ ליד תחנות דלק. כך לדוגמא, בדרום קליפורניה נערך סקר וב 50% מהתחנות נמצא זיהום  
MTBE.

מספר של קידוחים בארץ זוהמו בחומר : באיזור התעשייה בקיסריה רמה של 50 ח"ב בקידוחי תצפית ו  
75 ח"ב בתעלות ניקוז. במספר קידוחים ששימשו למי שתייה נמצא זיהום ב MTBE.  
זמן דעיכת זיהום : 60 שנה. מבוצעת בעולם עבודה לחיפוש חומרים חילופיים.

### 2. עופרת

שימוש : עופרת גם היא תוסף לדלק

סכנות בריאותיות : נזק מוכח למערכת עצבים ופגיעה בהתפתחות שכלית בילדים.

זיהום מים קרקע ואויר בדלקים, שמנים ומזהמים אורגניים

תקן : שימוש בעופרת בדלק נאסר בארה"ב 1989 ובארץ נאסר השימוש מ 2004 .  
זמן דעיכת זיהום : עופרת איננה מתפרקת ולכן הזיהום נותר לנצח.

ניתן לציין כי מרכיבי הדלק מביאים לזיהום מקורות מים כבר ברמת ריכוזים נמוכה ביותר. דליפה של כמות דלק מועטת עלולה לזהם מיליוני מ"ק מים עליים או מי תהום. רכיבי הדלק חלקם ניידים מאד ומגיעים מהר למי התהום וחלקם נספחים לקרקע ומהווים מוקד ממושך לזיהום. קצב הפרוק האיטי של רוב מרכיבי הדלק מביא לכך שהזיהום נותר במים למשך שנים רבות.  
טיפול במים מזוהמים בדלק קשה ויקר. יש להוריד את ריכוזי הדלק לרמות הנמוכות הנדרשות בתקינה. התפלת מים מקובלת לא תצלח לביצוע משימה זו, כך שגם באם יופעלו בארץ מערכות התפלה, עדיין לא נפתרה בכך בעיית זיהום מי התהום בדלקים.  
זיהום קרקע גם הוא מסובך, כשהקרקע מהווה מקור לזיהום מים עילי או תחתי. קרקע מזוהמת עלולה להגיע ישירות על ידי בליעה לילדים המשחקים בשטח, או כאבק למערכות הנשימה. ניקוי קרקע מזוהמת בדלקים יקר, כשהעלויות נעות מ-כמאה דולר לטון בשיטות ביולוגיות ועד לאלף דולר בשיטות כימו פיזיקליות.

#### זיהום בדלקים מתחנות דלק.

בתחנת דלק אופיינית בישראל מספר מיכלים תת קרקעיים, בדרך כלל 4-5 מיכלים לתחנה. ומערכת צנרת תת קרקעית. הצנרת כוללת כ 400 מחברים בממוצע, כאשר מדובר בתחנות בהן מותקנת צנרת קשיחה. דליפות דלק תת קרקעיות חלות כתוצאה מפגמים וקורוזיה במיכל ובצנרת, שפיכות בעת מילוי מכלים ומילוי יתר אחראים על כ- 50% מהדליפות. לאחרונה הסתבר שגם נידוף אטמוספירי של מרכיבי דלק – ובעיקר MTBE – גורמים לזיהום מי תהום.  
המשרד לאיכות הסביבה מעריך כי בכ- 80% מהתחנות יש דליפה לפחות באחר ממיכלי הדלק, ואילו 35% ממיכלי הדלק בתחנות דולפים. יש לציין כי רגישות הבדיקות הנערכות בארץ מאפשרת גילוי של דליפה העולה על 10 ליטר ליום, כלומר 3.65 מ"ק דלק לשנה, כמות העלולה לגרום לפגיעה משמעותית במי התהום.  
בבדיקה בתחנה בה התגלתה דליפה נמצא כי 25% מהצינורות היוו מוקד לדליפה. ברוב התחנות אין מתקנים להגנה קטודית, אם כי כיום חלה חובה להתקין הגנה קטודית ולתחזקה כראוי.  
נמצאו מקרים בהם מתחת תחנת דלק דולפת נמצאה שכבה של כמטר דלק על פני מי התהום.  
יחד עם זאת, בהתאם לתוצאות קידוחים שבוצעו על ידי אגף איכות מים בנציבות המים, נמצא כי בדרך כלל שטח הזיהום מוגבל ומצוי ברדיוס של כ 100 מטר מהתחנה. נתונים אלו לא מסבירים את העובדה כי קרוב ל- 11% מקידוחי המים במחוז תל אביב נמצאו מזוהמים במרכיבי דלק, עוד ללא בדיקת MTBE, וכי בסקר אחר שנערך על ידי משרד הבריאות נמצא כי בכ- 10% מהקידוחים השואבים נמצא MTBE.  
בנוסף לדליפה תת קרקעית קיימת דליפה על קרקעית כתוצאה ממילוי יתר, חוסר הקפדה בשעת תדלוק ועוד.  
סקירת סטטוס תחנות הדלק במחוז תל אביב מוצגת בטבלה 2 להלן.

## טבלה 2: סטטוס תחנות דלק – מחוז תל אביב

מספר התחנות לפי סיווג	סיווג התחנות
14	לא תקין
11	תקין
9	לא ידוע
4	לא תקין, הוגשה תביעה
72	לא תקין, בהליך אכיפה
110	<u>סה"כ</u>

מקור: דרכים, שטחים בנויים: "Gasrael" – "מפה".

### ניתן לראות כי 10% בלבד מהתחנות נמצאו תקינות.

תקנות המים (מניעת זיהום מים) (תחנות דלק), התשנ"ז – 1997 מהוות את הבסיס לאכיפת התקנות המתקדמות להקמת תחנות דלק ע"י המשרד לאיכות הסביבה. תקנות אלה כוללות:

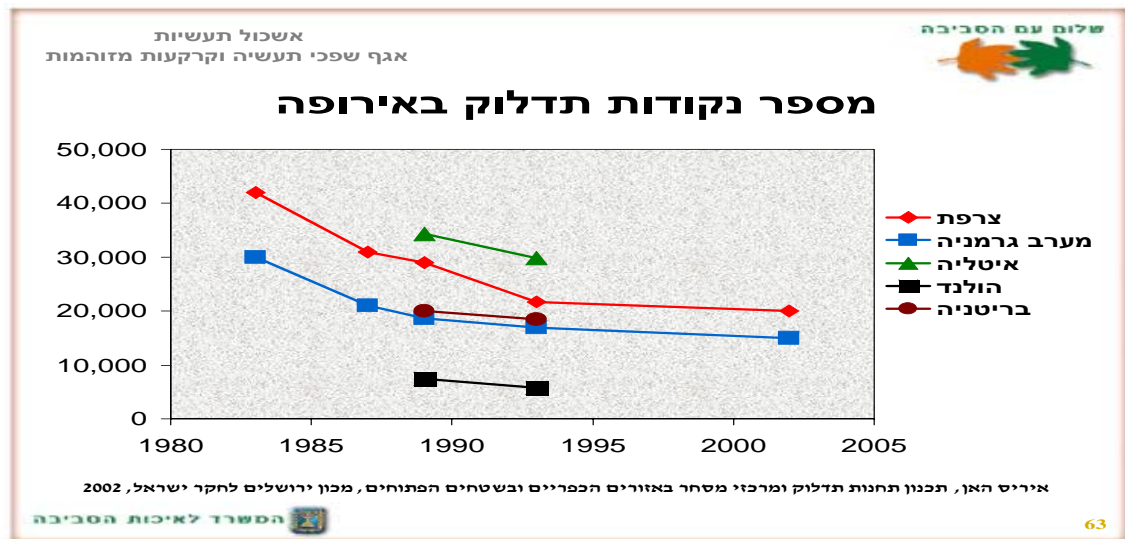
- **מערכת של הגנה קטודית**
- **מיכול כפול**. באיזורים רגישים, כדוגמה בתחום רצועת מגן לקידוחי מי שתייה, נדרש על ידי המשרד לאיכות הסביבה מיכול משולש.
- **אביזרי הגנה שונים דוגמת שוחות תת-קרקעיות** אטומות וכן בניה על פי מפרטים שאושרו על ידי EPA-V והמשרד לאיכות הסביבה.
- **מיכלים תת קרקעיים מחייבים מערכת ניטור** לגילוי מוקדם של דליפה. יש בדיקות חודשיות לבדיקת דליפות ברמה של 0.1 גלון לשעה ובדיקות אחת לחמש שנים ברמה של 0.05 גלון לשעה. את הבדיקות החודשיות ניתן לבצע גם בפיאזומטרים (צינורות ניטור)<sup>2</sup>, אם כי רוב חברות הדלק מעדיפות אמצעים אוטומטיים. חשיבות הפיאזומטרים הוא בכך שהם מאפשרים לרשויות ניטור בלתי תלוי, אבחון דליפות ולו זעירות, המצטברות לאורך הזמן).
- **נדרש ביצוע בדיקות אטימות**.

אפשרות נוספת היא, כמובן, **להתקין מיכלים עיליים** (על קרקעיים), מיכלים בהם דליפה נראית בשלב מוקדם. למיכל עילי יש להתקין מאצרה מתאימה ולהגן על דפנות המיכל. בטקסס, באיזור המילוי של אקוויפר אדוארדס (4000 קמ"ר) הוקמה רשות להגנת האקוויפר אשר אסרה כליל התקנת מתקני אגירת דלק תת קרקעיים. גם בארץ, באיזור תעשייה קיסריה נאסרו מיכלים תת קרקעיים.

<sup>2</sup> המונח פיאזומטרים אינו מונח מדויק ובוודאי אינו מתאים לפיאזומטרים המשמשים לבדיקת לחצי מים בתת הקרקע. ה"פיאזומטרים" המשמשים לניטור דליפות הינם צינורות המוחדרים לתת הקרקע באיזור התחנה. תקופתית שואבים אויר מחלל נקבובי הקרקע ונבדקת נוכחות אידי דלק בתערובת הגזים.

פתרון נוסף, המאפשר מיקוד וצמצום מקורות הזיהום הוא **הקטנת מספר המיכלים ומספר תחנות התדלוק**.

בארה"ב הושבתו בעשור האחרון 67% ממכלי הדלק התת קרקעיים. באירופה יש ירידה במספר תחנות הדלק (כשחברות מתחייבות לסגור 4 תחנות ישנות לעומת פתיחת תחנה חדשה). בצ'כיה, אשר נאספו ע"י החברה להגנת הטבע ונמצאים באתר המשרד לאיכות הסביבה ניתן לראות את מגמת הקטנת מספר התחנות בעולם, לעומת הגידול במספר התחנות בארץ.



בישראל, אגב, הדבר תואם מדיניות רשמית. החלטת ממשלה מיום 2.9.01 מורה למנהל מקרקעי ישראל להוסיף תחנות דלק בכבישים הראשיים (1, 2, 4). כן התירה הממשלה ב 1998 לממ"י לשווק 125 מגרשים לצורך הקמת תחנות דלק חדשות.

יש לציין תחנות הדלק הציבוריות (כולל תחנות פיראטיות) מהוות רק את קצה הקרחון. בארץ מופעלות אלפי נקודות תדלוק, מתחנות דלק בישובים כפריים (למעלה מ-800 תחנות ברמות הפעלה שונות), מספר מאות תחנות בבסיסי צה"ל, תחנות בתעשייה (מספרם אינו ידוע וגם כאן, התחנות ברמות תפעול שונות) ועד למגדלי תדלוק לטרקטורים ומיכון אחר. ההערכה היא שיש למעלה מ-15,000 נקודות תדלוק (לרבות מיכלים עיליים) של דלקים.

### **מקורות שונים לזיהום בדלקים**

**צנרת דלק.** בארץ 1300 ק"מ של קווי דלק

**במהלך 10 השנים, 1975-1984 היו ידועים 36 אירועים של דליפות דלק מקווים, כשדלפו 36,000 מ"ק דלק.**

הגורמים לדליפות מגוונים, מפגיעה בקו דלק במהלך גניבת חול ודלק, פגיעה בקווים על ידי טרקטורים במהלך עבודות חפירה ללא תיאום מספיק (כולל פגיעה במהלך חפירות לבניית כביש מס' 6). תופעת אירועי הזיהום כתוצאה מפגיעות מכניות גורמת לדליפות דלק משמעותיות. עפ"י נתוני המשרד לאיכות הסביבה בשנים 1992 עד 2000 היו דליפות ידועות של למעלה מ-3100 מ"ק (לגבי חלק מהשנים אין נתונים כלל).

הדליפה השנתית הממוצעת משנות התשעים עומדת על כ-350 מ"ק דלק בשנה. כמות זו דומה לכמות הדולפת במערכות הדלק באירופה (360 מ"ק בשנת 2000, לשם הדגמה), אולם אורך הצנרת באירופה הוא פי 25 ארוך יותר מהצנרת בישראל!

בנקודות תדלוק רבות, כולל נקודות תדלוק של צה"ל בכלל וחיל האוויר בפרט, נשפכו במשך שנים כמויות דלק גבוהות, ברוב המקרים מחמת העדר מתקנים למניעת שפיכת דלק והן מחמת זלזול וחוסר בנהלים תקינים (עורך רשימה זו, נתקל לאחרונה, בעת סיור מקרי, בנקודת תדלוק קטנה במאחז צה"ל באיזור ההר. במקום נוצרו נחל ושלוליות של סולר, בגלל טפטוף מתמיד של דלק ממגדל תדלוק). באחד מבסיסי צה"ל בדרום דלפו במשך השנים כ-20,000 מ"ק דלק. נוצרה על גבי אופק מי תהום המזין קידוחי מי שתייה עדשה של דלק בעובי 90 ס"מ בשטח של 120X300 מטר (36,000 מ"ר). כן מצויים כתמי דלק באיזור בתי הזיקוק לדלק, חברת חשמל ותעשיות רבות.

בנוסף לאלו חלים מדי שנה אירועים של זיהום בדלק בגלל תאונות רכב הנושא דלקים וכימיקלים אחרים.

מקור אחר לזיהום הוא מוסכים בגדלים שונים. אמנם, שמן משומש אמור להיות מורחק למיחזור או לסילוק מוסדר, אך בפועל חלק ניכר מהשמנים מגיע למערכות הניקוז והביוב. כדוגמה ניתן לראות כמות השמן המגיע לשפד"ן, כמות העולה פי 50 לערך על הכמות שהיתה צריכה להגיע לו השפכים היו בתקן הנדרש.

עפ"י נתוני השפד"ן 16 טון שמן מינרלי יכולים להגיע ממוסכים במידה והמוסכים עומדים בתקנות, לעומת 738 טון המגיעים כיום והמעידים על חריגות מהתקן המגיעות אף ל-4700% חריגה!

## סיכום, מסקנות והמלצות.

### 1א. תמונת מצב

הזיהום בדלקים, שמנים, ממיסים אורגניים ומזהמים אורגניים אחרים מהווה סיכון סביבתי חמור ביותר. חדירה של מזהמים אורגניים למקורות מי שתייה עלול לפסול השימוש במים, גם כשמדובר בריכוזים נמוכים ביותר. חדירה של מזהמים אורגניים למערכת הביוב מביאה לאילוח של הקולחים ולסיכון בשימוש בהם, גם לאחר טיפול בקולחים. הזיהום האורגני מצטבר בקרקע וכבר כיום יש בארץ מוקדים לא מעטים של קרקע מזוהמת ומסוכנת, שטחים בהם לא ניתן לבנות וקרקעות מזוהמות המסכנות בריאות התושבים החיים בקרבת מקום. בקרקע מזוהמת בזיהום אורגני מצויים אידי החומרים האורגניים, כשחלקם רעילים ומזיקים. כבר כיום יש איזורים בהם חודרים לקומות תחתונות ובעיקר לקומות תת קרקעית אידי רעילים כאלו. **הבעיה חמורה ביותר לדעת כל המומחים ולדעת כל הנוגעים בדבר. הערכות למניעה ולפתרון הבעיה הינה בעדיפות גבוהה. היינו כולנו מצפים להערכות נאותה של המדינה ומוסדותיה לטיפול ולפעולה.**

במהלך התקופה בה עסקנו בנושא, יצא דו"ח של מבקר המדינה הסוקר בעיות איכות הסביבה בתשתיות חברות האנרגיה. הדו"ח מעלה ליקויים חמורים בפעולת חברות האנרגיה והגופים הממלכתיים העוסקים בנושא. להלן, מספר ציטוטים מהדו"ח:

"נמצא שחברות תשתית האנרגיה אינן מקיימות את מלוא החובות המוטלות עליהן כדי למנוע את זיהום הסביבה. חלק ממתקני החברות פעלו בלא רישיון עסק; החברות גם לא הקפידו על מילוי חלק מהתנאים שברישיונות העסק של האתרים שהיו להם רישיונות. ואולם המשרד, רשויות הרישוי ואיגודי הערים שמפעלי החברות נמצאים בתחומם, לא תמיד הפעילו את מלוא סמכויותיהם ולא אכפו על המפעלים לעמוד בדרישות החוקים ובהוראות שנקבעו להם.

נתוני הנציבות והמשרד על דליפות דלקים מבוססים על מקורות מידע שאינם שלמים, והדבר מעמיד בספק את מהימנותם. למשרד ולנציבות אין מערכת לאיסוף נתוני דליפות המאפשרת בקרה ואימות של הנתונים, ולנציבות גם אין מערכת ניטור ייעודית מקיפה, המאתרת זיהומי דלק במי התהום.

בעניין מניעת זיהום המים חשוב במיוחד שיתוף הפעולה בין המשרד לבין נציבות המים, ואולם בגלל חילוקי דעות מתמשכים ביניהם על סמכויות, נפגעת יכולת הפיקוח והאכיפה שלהם. גם לאחר שנים של דיונים, טרם הסכימו המשרד והנציבות על תוכן של תקנות למניעת זיהום המים מקווי צנרת דלק ומחוות מכלים, והתקנות לא הותקנו."

### 2א. תכנון.

כיום נערך שינוי כולל לתמ"א 18, הנמצא בשלבי דיון מתקדמים, ויש בתוכנית מתאר זו כמה שינויים חיוביים:

- יש החמרה בתנאים להקמה של תחנות פנימיות (תחנות חצר)
- בוטלה הכוונה לאפשר הקמת תחנות זעירות בדרך של היתר בלבד
- בדיון על תחנות חדשות יהיה צורך לשקול את פריסת התחנות במרחב



אולם, ההליך הקיים כיום בנושא החמרת התנאים להקמת תחנות חדשות באזורים בעלי רגישות הידרולוגית, רחוק מלהיות מספק. בנושא תחנות פנימיות קיים נוהג פסול להכשיר, בדיעבד, תחנות שהוקמו ללא היתר, בהליך של שימוש חורג.

### **ב. פעולות באחריות מספר משרדי ממשלה – הקמת מנהלת אקוויפר החוף.**

הפעולה הנדרשת בתחום זיהומי דלק ושמיים מצויה בתחום הפעולה של מספר משרדי ממשלה. הוזכרו בדו"ח מבקר המדינה שני שחקנים ראשיים, המשרד לאיכות הסביבה ונציבות המים. אולם, ללא ספק, הנושא מצוי גם בתחום אחריות וסמכות של מנהל האנרגיה במשרד התשתיות, משרד התחבורה, התמ"ת, רשויות התכנון וכמו תמיד, גם משרד האוצר.

הניסיון בתחום הנדון ובנושאים אחרים, מראה על קשיים רבים במקרים בהם מספר משרדי ממשלה עוסקים באותו נושא. התחרות האישית, ממסדית ופרסומית מביאה לכך שכל יחידה מעוניינת לקדם סמכויותיה תקציבית ושמה הטוב, וכדי להשיג זאת, למעט במה שמגיע ליחידות האחרות. הדבר נכון בכל העולם, אך בוודאי ובוודאי הגענו כאן בישראל להישגים רבים בתחום זה.

הן מבנה הממשל אצלנו והן אי היציבות הנובעים מחילופי שרים, מפלגות ואישים, מקשים מאד על תיאום יציב בין משרדים ויחידות שונות. אנו חוששים כי הטפת המוסר, כזו שהגיעה ממבקר המדינה, לא תביא לשינוי בכללי ההתנהגות ולא תביא לקידום משמעותי ומתמיד של הטיפול בבעיה הנדונה.

פתרון שנוסה בעבר במערכת הממשל הישראלית במקרים דומים בהם יש צורך בפעולה מתואמת, הינו **הקמת מנהלת משותפת למשרדים השונים**, מנהלה האחראית לביצוע משימה מוגדרת. להערכתנו, יש הוכחות כי פתרון זה מייעל מאד את הביצוע, ויש לכך מספר לא קטן של דוגמאות.

נושא הכנרת הינו, ללא ספק, נושא משותף למספר רשויות בממשל המרכזי (נציבות המים, משרד איכה"ס, משרדים כלכליים, משרד הפנים ועוד) וכן נושא בו מעורבות רשויות מקומיות, תעשייה וחקלאות. כשהנושא עלה לדיון, תוך הערכה כי יש צורך חיוני בפעולה, הוקמה **מנהלת הכנרת**, גוף שמקבל סמכויות ביצוע מהגופים השונים וגוף שבניהולו משתתפים גופים אלו. אין ספק, כי פעולות מנהלת הכנרת הינן מההצלחות החשובות של המנהל הסביבתי בישראל.

קיימות דוגמאות נוספות: משרד איכות הסביבה ומשרד התשתיות (מ. האנרגיה) היו מסוכסכים שנים בעניין פינוי ושימוש באפר הפחם. לפני כ-15 שנה הוקמה **מנהלת אפר הפחם**, שינקה סמכותה משני משרדים אלו ופועלת כללית בהנחייתם. מאז אין סכסוכים ואפר הפחם מנוצל ומסולק בצורה סבירה וחלקה.

נושא הטיפול בביוב היה מהנושאים רבי הויכוח והחיכוך, תוך יצירת ניירת, דברת וביוב לא מטופל. בהחלטת ממשלה, ובהסכמת משרדי הפנים, הסביבה, נציבות המים, האוצר ומשרד הבטחון הוקמה **מנהלת הביוב**, שינקה סמכותה ועבדה בהנחיית הגופים הנ"ל, אבל תוך מתן סמכות למנהלת ותוך לקיחת האחריות לקידום על המנהלת. וראו זה פלא (ולמרות שעדיין יש מקום נרחב לפעילות בתחום זה), מאז הקמת המנהלת, נמצאו תקציבים ותכניות והוקמה מערכת מודרנית לטיפול בביוב. כן קיימות דוגמאות נוספות להצלחה של מנהלות במקרים של פעולה בתחומים בין משרדיים.

למדנו גם כי הקמת מנהלת לפעולה מתואמת אינו פטנט שלנו, כך למשל הוקם בארה"ב גוף האחראי לאקוויפר אודוארדס, והוקמה בזמנו רשות עמק טניסי, במקרים דומים, בהם יש צורך בפעולה מתואמת של רשויות שונות.

יש מקום, אם כן, להקים מנהלת משותפת למשרדים השונים, מנהלת שתהיה אחראית לשמירת איכות המים ומניעת הזיהום בדלק. בזמנו הוצע, להקים מנהלת לאקוויפר החוף. יתכן שגוף כזה יוכל למשימה. מדובר כיום על הקמת מנהלת מי שתייה, מנהלת שאופייה ותחומי אחריותה עדיין לא ברורים. בכל מקרה, נראה לנו כי תנאי לניהול המאבק בזיהום מדלקים ושמונים הוא הקמת מערכת יציבה לפעולה מתואמת ומשותפת. יש לציין, כי **המשרד לאיכות הסביבה מתנגד להקמת מנהלה**, שכן רוב החוקים האכיפתיים נמצאים בידיו.

#### **ג. "הפרטת הפיקוח", ביטוח סביבתי**

הפיקוח והבקרה על מניעת זיהומי דלק על ידי הסקטור הממשלתי הינו מאבק של יחידות ממשלתיות דלות בתקציב ובאנשים מול גופים כלכליים חזקים, אלפי עובדים והרבה מיליוני דולרים, יורו ושקלים. די לציין כי במשרד לאיכות הסביבה קיימים 6 עובדים העוסקים בניטור ופיקוח על תעשיית הדלק. הפתרון האידיאלי הינו העברת הפיקוח והבקרה לתעשייה עצמה, תוך קיום מערכת על ממשלתית שתבדוק מבחוץ את מימוש הפעולה, אך לא האם לכל צינור יש הגנה קתודית או שכל מיכל אינו דולף. קיימת אפשרות כזו באם האחריות למניעת הזיהום תוטל על בעל המתקן. אחריות כזו מוכרת לנו בהרבה תחומים כשבעל רכוש חייב לבטח רכושו (בנין, עבודת עפר או מוצרי צריכה) בפני גרימת נזק. בארצות רבות קיימת חובת ביטוח סביבתי. בארה"ב מפותח מאד נושא הביטוח הסביבתי, כשכל תחנת דלק חייבת בביטוח כזה לנזק אפשרי של מספר מיליוני דולרים, כשהאחריות על זיהום קרקע חלה על בעל הקרקע (ולכן כל קונה קרקע או מתקן בודק היטב בעצמו האם יש זיהום בקרקע).

חיוב מגזר הדלקים לבטח עצמו נגד נזקים סביבתיים יצור אינטרס עצמי של התעשייה להקטין את הסיכון לפגיעה בסביבה, יצור מערכת של פרמיות ביטוח הקשורות ברמת התפעול של התעשייה תוך הפעלת מערכת בקרה וניטור על ידי חברות הביטוח, ולא על ידי הממשל. ביטוח ממשי בפני פגיעה סביבתית מתאים לעקרון המוסכם של "המזהם משלם" ומתאים למגמה של הפנמת עלויות חיצוניות בתמחיר המפעל. הדבר נכון בתחומים השונים ויכול לשמש תקדים חשוב למדיניות הסביבתית בישראל. הפעלת עקרון זה בתחום תעשיית הדלק קל יותר מאשר במקרים אחרים. תעשיית הדלק בישראל היא תעשייה בהיקף של כ 4 מיליארד דולר. תעשייה זו יכולה לשאת בעלות הביטוח הסביבתי הנדרש שיהווה אחוז נמוך מכלל ההיקף הכספי של התעשייה.

#### **ד. בקרה ציבורית.**

כמו בכל תחום אחר בנושא הסביבה, יש צורך במודעות ציבורית ובמעורבות הציבור. האינטרס החברתי של שמירה על מים, קרקע ואויר נקיים עומד הרבה פעמים אל מול אינטרסים כלכליים של גופים עתירי הון, עצמה וקשרים. בהרבה מיקרים נדרשת התערבות מאסיבית של דעת הציבור לשם איזון הולם בין הכוחות.

לכן נדרשת מערכת של **הסברה ומתן אינפורמציה מאוזנת ועדכנית לציבור.**

מערכת הניטור וקבצי הנתונים לגבי זיהומי דלק ושמונים צריכה להיות פתוחה לציבור. יש מקום לחזור כאן שוב על דרישתנו שהובאה בדו"חות קודמים שלנו, להגיע לשקיפות מלאה לאזרח לגבי איכות המים המסופקים לביתו. שוב נחזור ונאמר כי האזרחים במדינת ישראל מודאגים לגבי איכות המים בברז, בחלקם הגדול לא מאמינים לממסד הטוען כי "הכל בסדר" ומכאן, הנהירה הגדולה לקניה של מי שתייה בבקבוקים.

## ה. נושאים לביצוע

- 1.** כאמור לעיל, דליפת דלקים קיימת לא רק בתחנות תדלוק ממוסדות. מדובר בחביות תדלוק או מגדל תדלוק בכל חניית טרקטורים ובמחנות צה"ל קבועים וזמניים, מדובר במיכלי דלק לחימום ביתי ומיכלי דלק ושמנים בתעשייה. יש צורך להתקין ולאכוף תקנים למיכלי תדלוק כאלה.
- 2.** נמצא כי בביוב רמת שמנים גבוהה מהתקן ומההערכות לטיפול בשפכים במתקני הטיפול. גורם מרכזי הוא דלק שמוזרם לביוב ולמערכת הניקוז העירונית, ישירות או דרך רצפת מוסכים וחצרות צמודים למוסך ולתעשייה. יש לשקול מספר צעדים להקטנת היקף הבעיה:  
יש מקום להטיל פיקדון (משמעותי!) על שמן מנוע, פיקדון שיוחזר לבעל הרכב ישירות או למוסך כשמוחזר שמן משומש.  
יש מקום לחייב מוסכים בביטוח בפני נזקים של דליפת שמן משומש.  
יש מקום לקיים תחרות המוסך הנקי, כשמוסכים שעומדים ברמה יקבלו תעודה. יותר מאוחר ניתן יהיה לחייב הצגת תעודה כזאת.
- 3.** הקמת קרן ייעודית לשדרוג מתקני תדלוק והולכת דלק קיימים ולשיקום קרקעות מזוהמות בדלק. כפי שכבר הדגשנו בעבר במסמכי העדיפות הלאומית בתחום איכות הסביבה, קיימת חשיבות ויעילות כלכלית בהקמת קרנות ייעודיות לטיפול במפגעים סביבתיים. הקרן המוצעת כאן, יכולה לקבל הכנסות בשני אופנים: האחד, כדוגמת הנעשה בארה"ב, להעלות את מחיר הדלק באגורה אחת לכל ליטר. לחילופין, ניתן להפנות חלק מהכנסות המדינה ממס הבלו (העומד על 7 מיליארד ₪ בשנה) לקרן. הקרן תממן פעולות שדרוג תחנות לאותם גורמים אשר יציגו בפניה תוכניות עבודה ויממנו מחצית מהסכום הנדרש לשדרוג.
- 4.** שפור הליכי התכנון ואישור הקמת תחנות תדלוק. כיום, בתוקף הסמכות הניתנת לוועדה המקומית בחוק התכנון והבניה, יכולה וועדה מקומית לאשר הקמת תחנות תדלוק בקרקע חקלאית או לאשר אישור חורג של תחנות שהוקמו שלא עפ"י חוק והיתרים נדרשים. יש להחמיר התנאים להקמת תחנות דלק במיוחד באיזורים רגישים הידרולוגית.
- 5.** עבודת התידלוק, ובוודאי עבודת אחראי תחנה או אחראי משמרת מחייבת הכשרה. ההכשרה חיונית לבטיחות וחשובה מאד למניעת דליפות. יש לחייב הכשרה מתאימה מעובדים בתחנות. ביצוע הדרישה אינו מורכב והדבר יכול לקדם את הנושא.
- 6.** בדומה לדרישות מקצועיות מטכנאי צנרת גזים דליקים, יש לדרוש ידע מקצועי ובחינות מטכנאי צנרת דלק.
- 7.** להכיר בדלקים כחומרים מסוכנים, עובדה אשר תיטיב את התקינה הסביבתית הנוגעת להם.