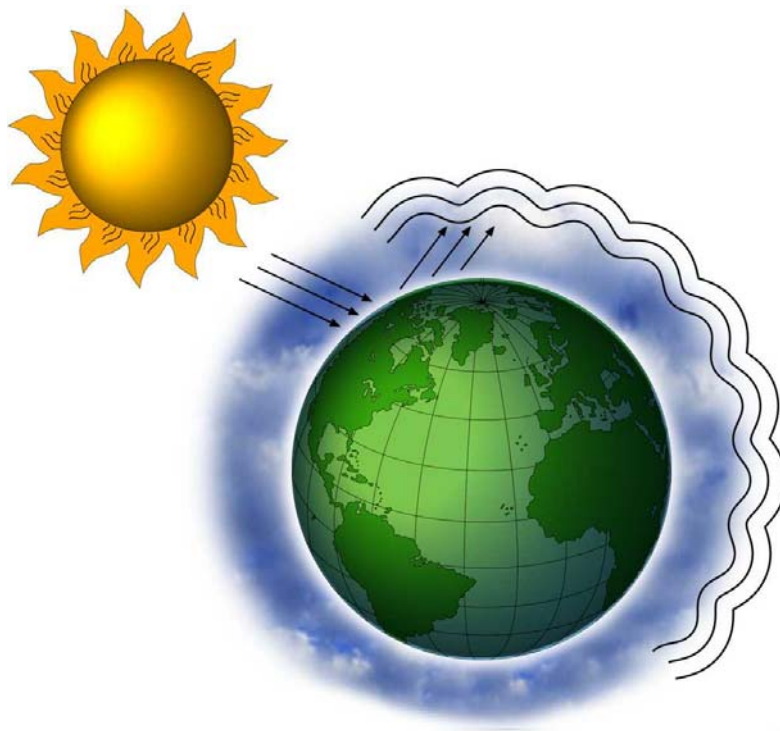


מוסד שמואל נאמן
למחקר מתקדם במדע וטכנולוגיה



חלופות להפחתת פליטות גזי חממה בישראל



מוגש למשרד לאיכות הסביבה

מרץ 2000



הקדמה

בחוברת זו מוגשת למשרד לאיכות הסביבה הצעת מדיניות למדינת ישראל להקטנת הפליטה של גזי חממה במהלך העשורים הבאים.

אין ספק בצורך הגלובלי במניעת הנזקים החמורים העלולים לנבוע מפעילות האוכלוסיה ההולכת וגדלה ומהפיתוח הטכנולוגי ומעלית רמת החיים ורמת הצריכה בעולם. הפיתוח הטכנולוגי, המדעי וההנדסי, שעד כה כוונו אך ורק לפיתוח מוצרים ותהליכי ייצור, חייבים להפנות את יכולתם לפיתוח האמצעים להקטנת הנזקים הסביבתיים ולשימור סביבה מאוזנת, תוך שמירה על רמת החיים של האוכלוסיה. חובתנו, חבורת אנשי הטכנולוגיה, המדע והכלכלה, לשנות את כיווני העבודה והמחשבה לכיוון נדרש זה.

אחד היעדים המרכזיים של מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם במדע וטכנולוגיה הינו לבצע בעזרת מדענים ומהנדסים מן הטכניון וממוסדות מחקר אחרים, מחקרי מדיניות עבור מקבלי ההחלטות במדינה ובגופים ציבוריים. תפקידו של מוסד שמואל נאמן הוא לזהות בעיה העומדת בפני המדינה, לנתח את האופציות השונות לטיפול בה ולהציג בפני מקבלי ההחלטות. העבודה המוגשת כאן הינה במסגרת תפקיד זה.

העבודה המוגשת בוצעה על ידי צוות של כעשרים חוקרים מהטכניון ומאוניברסיטת חיפה בראשות פרופ' יורם אבנימלך. אנו מקווים כי עבודה זו תשמש נדבך חשוב במסגרת גיבוש המדיניות הסביבתית של מדינת ישראל.

אנו מודים למשרד לאיכות הסביבה על שבחר במוסד שמואל נאמן לביצוע עבודה זאת. כן אנו מודים לצוות החוקרים שעשה עבודה מצויינת.

פרופ' ארנן סגינר
מנהל מוסד שמואל נאמן

השתתפו בהכנת מסמך המדיניות להפחתת פליטות גזי חממה בישראל

פרופ' יורם אבנימלך - מנהל הפרוייקט

רענן בורל - מרכז הפרוייקט

צוות מחקר	סקטור
פרופ' אפריים קהת- הפקולטה להנדסה כימית	אנרגיה
פרופ' גדעון גרדר- הפקולטה להנדסה כימית	
פרופ' ארתור שביט- הפקולטה להנדסת מכונות	
פרופ' גרשון גרוסמן- הפקולטה להנדסת מכונות	
פרופ' אפריים קהת- הפקולטה להנדסה כימית	תעשייה
פרופ' גדעון גרדר- הפקולטה להנדסה כימית	
פרופ' גרשון גרוסמן- הפקולטה להנדסת מכונות	
פרופ' חיים אהרוני- הפקולטה להנדסה כימית	
פרופ' עדנה שביב- הפקולטה לארכיטקטורה ובנוי ערים	אנרגיה
פרופ' רחל בקר- הפקולטה לארכיטקטורה ובנוי ערים	במבנים
ד"ר יצחק גדי קפלוטו- הפקולטה לארכיטקטורה ובנוי ערים	
פרופ' יורם זבירין- המכון לתחבורה, הטכניון	תחבורה
ד"ר יורם שיפטן- המכון לתחבורה, הטכניון	
ד"ר ליאוניד טרטקובסקי- המכון לתחבורה, הטכניון	
פרופ' גדליה מנור- הפקולטה להנדסה חקלאית	חקלאות
פרופ' יורם אבנימלך- הפקולטה להנדסה חקלאית	
גב' אופירה אילון- הפקולטה להנדסה חקלאית	פסולת
פרופ' יורם אבנימלך- הפקולטה להנדסה חקלאית	מוצקה
ד"ר ניר בקר- המרכז לחקר משאבי טבע וסביבה, אוניברסיטת חיפה	אספקטים
פרופ' מרדכי שכטר- המרכז לחקר משאבי טבע וסביבה, אוניברסיטת חיפה	כלכליים
עוזר המחקר מר אלכס גוריאש-	
המרכז לחקר משאבי טבע וסביבה, אוניברסיטת חיפה	
פרופ' יצחק עורף- הפקולטה לכימיה	כימיה של
	גזי חממה

המלצות למדיניות לאומית להפחתת פליטת גזי חממה בישראל.

נייר עמדה זה מהווה ניסיון ראשון לקביעת מדיניות לאומית ישראלית להפחתת פליטת גזי חממה. המסמך מבוסס על סקירה מפורטת של מוקדי פליטת גזי החממה והאמצעים הטכניים השונים העשויים להקטין את פליטת גזי החממה בתנאים הספציפיים לארץ.

התנאים בישראל שונים מהותית במספר תחומים משמעותיים:

1. מדינת ישראל הינה עדיין מדינה בתהליכי התהוות וגיבוש. כתוצאה מכך לא הגענו ליציבות ולמסלול התפתחו ברור במשורים החברתיים, דמוגרפיים, מדיניים וכלכליים. ישראל, בניגוד גמור למדינות מפותחות אחרות הינה מדינה בה יש חיזוי לגידול ניכר של אוכלוסיה (כולל אי וודאות רב בתרחישי גידול האוכלוסיה). יתר על כן, שנות הבסיס לנתוני פליטת גזי החממה בישראל הינן שנים בהן היה גידול מרבי במספר התושבים ובפעילות המשקית בארץ.
2. אי היציבות הדמוגרפית (וזאת בנוסף לאי וודאות במכלול שאלות קרדינליות אחרות), מקשה על השימוש בנתונים חזויים לעתיד. המרחק בין תרחישים שונים הינו רב וקשה לגישור. אי הוודאות בתחזיות והעדר נתונים ברורים, מוסכמים ומהימנים לגבי ההתפתחויות העתידיות מתבטא אף בעבודה זו, בה בנושאים שונים נאלצנו להתייחס לשנות יעד שונות בהתאם לזמינות נתונים ותחזיות מהימנות.
3. קיימת אי וודאות להתפתחות כלכלית ולכיווני התפתחות בתעשייה. מגזרי התעשייה הכבדה והתעשייה הכימית המהווים בארצות מפותחות גורמים מרכזיים בפליטת גזי חממה אינם מהווים סקטור עיקרי בארץ. כן לא נראית התפתחות בתחומים אלה, אלא כנראה בתחום התעשייה הקלה, תעשיית הטכנולוגיה המתקדמת, תעשייה שאינה יוצרת גזי חממה בכמות גדולה כחלק מתהליך היצור.
4. גורם שיהיה בעתיד בעל משקל רב בצריכת אנרגיה ובפליטת גזי חממה, התפלת מים, עדיין בחיתוליו ואין כל מדיניות מוסכמת או טכנולוגיה מוסכמת לתהליך זה. כמובן שאין תקדים למגזר זה בארצות מפותחות שהכינו מסמכי מדיניות דומים.
5. האקלים בישראל מחייב השקעת אנרגיה בחימום בחורף (הקצר יחסית) ומביא לצריכת אנרגיה רבה לקירור במהלך הקיץ. יחד עם זאת, אנו חיים באקלים ממוזג יחסית וניתן לנצל את גורמי האקלים החיצוניים (קרינת שמש, בריזת הים וכו') להקטנת צריכת האנרגיה.
6. גורם נוסף השונה מרוב הארצות המפותחות הינה העובדה כי במכלול הטיפול בפסולת מוצקה, כולל בוצות ממכוני טיפול בביוב, אין כיום למעשה כל מערכת מתקדמת של טיפול.

לאור כל אלו, חייבה העבודה להכנת מסמך המדיניות עבודה מקורית המחייבת גם הצעות לטכנולוגיות חדשניות.

ההמלצות וסדרי העדיפות שיוגשו להלן למדיניות לאומית להפחתת פליטת גזי חממה מבוססות על השיקולים הבאים :

- א. התרומה היחסית של המגזר הנבדק לפליטת גזי חממה.
- ב. הסיכוי הטכני של פעולה נתונה להפחית את פליטת גזי החממה.
- ג. ישימות הפעולה הנבחרת מהבחינה הציבורית והפוליטית.
- ד. העלות היחסית הנדרשת לביצוע.
- ה. הזמן הנדרש עד ליישום הצעד המומלץ. ההמלצה תתייחס לצעדים אשר ישימותם יכולה להיות מושגת בזמן קצר אך מאידך יומלצו צעדים הנדרשים לפיתוח אמצעים בעלי משקל רב לעתיד.

טבלאות א-ו מגישות סיכום ההצעות השונות להפחתת פליטת גזי החממה. לאור אי הוודאות הרב בתחזיות לעתיד, הוכנו הטבלאות על סמך חישוב לשנת 1996, שנה לגביה קיימים נתונים מדויקים. אנו מניחים כי העליה בפליטות גזי חממה ע"י הסקטורים השונים תהיה בקירוב יחסית לגידול באוכלוסיה ובתמ"ג וכי יחסית, יהיו הקשרים בין המגזרים השונים דומים להיום. נראה כי הנחה זו נכונה לגבי חלק גדול מהמגזרים, פרט למגזר האנרגיה במבנים, מגזר אשר בעתיד יצרוך כנראה יותר אנרגיה לבקרת אקלים יחסית לגידול בצריכה של מגזרים אחרים.

להלן דירוג ההצעות בהתאם לעדיפות המוצעת על ידנו :

1. **טיפול באשפה ובוצות ביוב.**

מגזר זה אחראי לפליטת למעלה מ 12% מגזי החממה בארץ (ערך זה נכון לטווח הזמן של 100 שנה. לטווח הזמן של 20 שנה, יהיה משקל פליטות המתאן מערימות האשפה שווה ערך לכ 24% מכלל פליטות גזי החממה ממדינת ישראל). קיימים אמצעים פשוטים יחסית להפחתת הפליטות להן גורם מגזר זה.

בבחינה של האמצעים השונים הקיימים נמצא כי האמצעי הזול ביותר הוא טיפול ברכיבים הפריקים של האשפה ע"י הכנת קומפוסט (השקעה של \$10 למתקנים להקטנת פליטה של שווה ערך לטון CO₂). שריפת האשפה גם היא אמצעי מאד יעיל להפחתת פליטת גזי החממה, אך עלות השריפה יותר גבוהה.

להפסקת הטמנת האשפה במטמנות היוצרות מתאן ומעבר לשיטות מתקדמות יותר יתרונות רבים פרט להקטנת פליטת גזי חממה. השינוי יביא לחסכון בשטח למטמנות, להגברת המיחזור, ליצירת חומר לטיוב קרקע ועוד. השינוי המוצע יתקבל בציבור בחיוב ויושמו תלוי בעיקר במדיניות הממשלה.

2. החלפת דלקים במערכת יצור החשמל ובתעשייה

ע"י מעבר מדלקים קיימים לגז טבעי, ניתן להקטין פליטת גזי החממה בשיעור של 30%-44%. החלפת התחנות המשתמשות בדלק נוזלי לגז תוריד 3.2% מסך פליטות גזי החממה בהשקעה נמוכה יחסית ומעבר של מחצית מתחנות פחמיות תוריד עוד 6.6% מפליטת גזי החממה. החלפת דלקים בתעשייה תקטין פליטות בעוד מספר אחוזים (עד 5%). ברור כי קיימים כאן שיקולים של מקור אספקה, עלות אספקה, אמינות אספקה וקיום אוגר חירום של דלקים, שיקולים שהינם מעבר לתחום מסמך זה. היקף הגדלת השימוש בגז טבעי בעתיד תלוי בין השאר בהתפתחויות מדיניות באיזור וביחסים שיווצרו עם המדינות השכנות..

3. פיתוח מערכות ליצור אנרגיה מתחדשת.

במסמך המפורט מוגשות הצעות שונות לפיתוח אנרגיה מתחדשת, משימוש באנרגיה גרעינית ועד לשימוש בארובות שרב, אנרגית רוח ואנרגית שמש. השימוש באנרגיה גרעינית מותנה בשיקולים פוליטיים, בפתרון בעיית סילוק הפסולת ובזמינות כורים בטוחים. השימוש באנרגית רוח מוכר בעולם, אך נדרשת בחינה מדוקדקת להתאמת השיטה אלינו. השיטות המוצעות להפקת אנרגית שמש (כולל ארובות שרב), הינן שיטות בפיתוח שעדיין מוקדם לקבוע ישימותן. מבין האמצעים המוצעים ניתן מיידית להגביר את יצור החשמל ע"י אנרגית רוח ובעתיד ליצר חשמל תוך ניצול ישיר או עקיף של אנרגית השמש. מכלול אמצעים אלו מחייבים מחקר, בדיקה מדוקדקת והדגמה. גם באם קיימת אי וודאות לגבי הצלחה של אמצעי זה או אחר, הפוטנציאל הרב הטמון בגישות אלו וההכרח בטווח הארוך להגיע להפחתת התלות בגורמי חוץ בתחום האנרגיה והתלות במשאב המתכלה של אנרגיה פוסילית, **מחייב השקעה במו"פ ובפעולה רצופה לבחינת מדיניות פיתוח מקורות אנרגיה.**

4. יצור חשמל במערכות משולבות.

בתחנות טורבינות גז המופעלות בדלק נוזלי או בגז אפשרי שימוש במערכות משולבות בהן גבוהה היעילות פי 1.5 ויותר ממערכות קיימות. קיים פוטנציאל להורדת בין 2 ל 7.3% מפליטות גזי החממה.

קו-גנרציה של חשמל.

מערכות בהן מנוצל גם החום השיורי מיצור החשמל ע"י תחנות כח, מוגבלות בארץ בגלל השוק המצומצם לחום ולקיטור (בניגוד לארצות באקלים קר בהן חימום העיר הסמוכה לתחנה מהווה שוק יציב). לעומת זאת קיים פוטנציאל להקמת תחנות פרטיות בהן ניתן לנצל הן את החשמל והן את החום השיורי, בעיקר לחימום ולמיזוג אויר. תחנות כאלו ניתן להקים בתעשייה (תוך הורדה חזוייה של כ 2% מפליטת גזי חממה) ובמבנים

ציבוריים ועסקיים גדולים (קמפוסים של אוניברסיטאות, בתי חולים, בתי מלון, מרכזי משרדים וכו'), תוך הורדה דומה לזו של התעשייה.
לישום יש צורך להסדרים נאותים עם חברת החשמל לאספקת חשמל ולרכישת חשמל.

5. עידוד בניה מודעת אנרגיה.

האקלים בארץ, אקלים בו החורף אינו כה קר והקיץ אינו כל הזמן חם, מאפשר ניצול אנרגיית שמש, רוח וכו' לחסכון בצריכת אנרגיה לבקרת אקלים. בניה מודעת אנרגיה יכולה לחסוך 20%-40 מצריכת האנרגיה לבקרת האקלים, שימוש שמשקלו הולך ועולה. ניתוח עלות-תועלת, עם כל מגבלותיו במקרה זה, מראה על השקעה של 0.5-3 ש"ח לחסכון של קוט"ש לשנה.
ההשקעה הנדרשת לחסכון באנרגיה במבנים כדאית כחסכון בחשמל תוך תקופת החזר של שנה עד שנים בודדות, בעיקר באם מחיר החשמל יהיה ריאלי ויכלול עלויות חיצוניות. יש לקדם תהליך של בניה מודעת אנרגיה על יד תקינה נאותה, אמצעים כלכליים של מיסוי מתאים ואשראי ופיתוח מודעות בין המתכננים, הבונים והאזרחים.

6. הסדרים נאותים בתחבורה.

מגזר התחבורה גורם לפליטות של כ 17% מכלל פליטת גזי החממה בארץ. במסמך המפורט מוגשת סדרה של אמצעים המאפשרים הקטנת נסועה והקטנת פליטות. אמצעים אלו חייבים להיות משולבים בפיתוח חלופות נסיעה ותכנון עירוני מתאימים יחד עם אמצעים כלכליים ומינהליים להגבלת נסיעה.
קשה לחזות ואפילו להעריך יעילות האמצעים, אך נראה כי חובה לטפל בנושא, במיוחד נוכח הגידול הרב הצפוי במגזר זה (הכפלת הפליטות עד שנת 2020), במיוחד באם הנושא לא יטופל.
קיים צורך בהסדרים נאותים בנושא התחבורה מתוך מגוון של שיקולים סביבתיים ולאומיים אחרים – כהכרח למנוע סתימת הערים ועורקי התחבורה העיקריים, בעיית זיהום האויר בערים, בעיית השטח הנדרש לתחבורה וכו'.

סיכום המלצות המדיניות.

תועלות נוספות	הקטנה צפויה (באחוזים מכלל הפליטות)			האמצעי/ תרחיש
	אופטימי	סביר	פסימי	
פתרון בעיות האשפה בארץ	12	10	8	1. טיפול בפסולת מוצקה וביוב
הקטנה בזיהום אויר	11	8	3	2. מעבר לגז בתחנות כח
יעול השימוש בדלק. דחיה בהקמת תחנות כח	7	5	2	3. הפקת חשמל במחזור משולב
יעול השימוש בדלק. דחיה בהקמת תחנות כח	4	3	2	4. קו-גנרציה
חסכון בחשמל ודחיה בהקמת תחנות.	7	5	3	5. בניה מודעת אקלים
הקטנת זיהום האויר. שיפור איכות הסביבה העירונית.	6	4	2	6. שיפורים בתחבורה
דחית תחנות כח. הקטנת זיהום אויר	10	7	4	7. שיפורים בתעשייה (ללא הכללת קו-גנרציה)
הקטנת זיהום מי תהום וזיהום אויר	2	1	0.5	8. חקלאות
	59	43	24.5	<u>סה"כ</u>

הערות לטבלת סיכום המלצות מדיניות

פרטי האמצעים המובאים בטבלה נדונו בפירוט במסמכים הנלווים. האמצעים המובאים בטבלת הסיכום דורגו בהתאם לשלשה תרחישים – התרחיש האופטימי הניח מיצוי הפוטנציאל של כל אמצעי, ואילו התרחיש הפסימי הניח ביצוע חלקי ביותר.

מירב האמצעים המוגשים בטבלת הסיכום הינם אמצעים שאינם מחייבים שינויים במכלול החיים ותהליכי היצור הקיימים כיום. חלק מהאמצעים המומלצים מביאים לתשומה כלכלית ישירה (יצור חשמל בקו-גנרציה, בנייה ירוקה או חלק ניכר מהשינויים במגזר החקלאי) וחלקם יביאו ליתרון כלכלי עקיף, כדחית הקמת תחנות כח חדשות. כמעט כל השינויים המוצעים מביאים לדיוידנדה כפולה ומביאים יתרונות נוספים, חלקם יתרונות סביבתיים מאד משמעותיים כהקטנת זיהום האוויר, הקטנת הגודש התחבורתי ושיפור הסביבה העירונית שיובא ע"י יעול כלי הרכב ויעול התחבורה. חלק מרכזי באמצעים המוצעים הינו למעשה יעול המערכות הכלכליות ומערכות השירותים ולא צמצום המערכות. ניתוח ההשקעות הדרושות לביצוע האמצעים המומלצים מוגש גרפית בציר א. יש להדגיש כי ההשקעות הינן חלק אחד המרכיבים הכלכליים. כך למשל ההשקעה להורדת פליטת טון דו-תחמוצת הפחמן ע"י בנייה מודעת אקלים הינה גבוהה מאד. אולם, הפעולה המומלצת מביאה לחסכון בחשמל בשיעור לא מבוטל, כפי שצויין כבר, דבר המשנה כליל את המאזן הכלכלי. כן יש לזכור כי פעולות רבות מהמומלצות נושאות תועלות כפולות, סביבתיות וכלכליות שאינן מודגשות בציר א.

שיקול נוסף לבחירת האמצעים לישום הינו לוח הזמנים לביצוע.

ניתן לשנות שיטות הטיפול באשפה בטווח זמן של שנים בודדות. אמצעים אחרים מחייבים כניסה מודרגת ופעולה ממושכת, כבנייה מודעת אנרגיה, שיפורים בתחבורה, שיפורים בתעשייה והכנסת מערכות של קו-גנרציה ומעגל משולב. החלפת דלקים בגז מחייב הסדרים לגבי מקור לגז, מערכות הולכה של הגז ומערכות גיבוי ואגירת אנרגיה.

שיקולים לגבי שנת הבסיס וגישת החישוב לישום המדיניות.

החלטות נוכחיות ועתידיות לגבי הצורך בהקטנת הפליטה הגלובלית של גזי החממה יחייבו את מדינת ישראל. הנסיון הדומה לגבי הקטנה והפסקה של יצור ושימוש בגזים הפוגעים בשכבת האוזון (האמנות הבינ"ל המתייחסות לפריאונים והלונים למיניהם והאמנות לגבי יצור ושימוש מתילן ברומיד), הדגימו את העובדה כי מדינת ישראל חייבת למלא אחרי הדרישות הבין לאומיות, כתנאי לשיתופנו בסחר ובכלכלה הבין לאומיים. מאידך, עלינו לפעול כך שהעמידה בדרישות לא תביא אותנו לעלויות לא סבירות. בפרק הכלכלי המוגש בעבודה זו, ניתן לראות כי ישום דרישות הקטנת פליטות גזי החממה, כשרמת היחוס הינה הפליטה הגלובלית של המדינה בשנת 1990 תביא אותנו להוצאה בלתי סבירה, בשיעור של 6.3% מהתל"ג. יש לזכור כי מדינת ישראל עברה בשנים 1990 – 1996 גידול ללא מקביל בעולם הן

באוכלוסיה, עם קליטת של כמיליון עולים ממדינות חבר העמים, והן בהיקף הפעילות הכלכלית.

בפרק הכלכלי בעבודה זו מודגם כי באם נקטין את פליטת גזי החממה לא בהתייחס לפליטה הגלובלית של המדינה, אלא נייחס פליטה לנפש ונקטין או נשמר אותה, המחיר לעמידה בדרישות יורד לכ 0.2% מהתל"ג.

יש לציין כי הגישה לחישוב הקטנת פליטה לנפש אינו יחודי לנו. גם גרמניה העשירה יותר, מתייחסת במסמך המדיניות הלאומי שלה לפליטה לנפש (גם שם משיקולים דומים של גידול באוכלוסיה עם האיחוד עם גרמניה המזרחית).

יתר על כן. היות והשנים 1996-1990 היו שנות גידול רב, סביר יותר מבחינת מדינת ישראל להתייחס, כפי שנעשה בדו"ח זה, לשנת 1996 כשנת בסיס לחישובי הקטנה וריסון בפליטת גזי החממה. התייחסות כזו ואולי גם החישוב לפליטה סגולית לנפש יכולים לאפשר למדינה למלא ההתחייבויות הבין לאומיות ללא הוצאות שאינן סבירות, מה עוד שרוב הפעולות המומלצת כאן להקטנת הפליטה נושאות דיווידנד כפול בהיותן פעולות המביאות לתועלות כלכליות וסביבתיות ניכרות פרט להקטנת הפליטואנו ממליצים על ביצוע מדיניות זו שלבית להקטנת פליטות גזי החממה במדינת ישראל.

שלב ראשון לביצוע המדיניות יחול על 20 השנים הקרובות, עד לשנת 2020. במהלך שנים אלו ניתן יהיה, כפי שיוצג בטבלת הסיכום שלהלן, להקטין 24 עד 59 אחוז מפליטות גזי החממה על בסיס המצב בשנת 1996, או לפתח את הפעילות הכלכלית בשיעור זהה מבלי להגדיל את פליטת גזי החממה. במהלך התקופה הנדונה יש להשקיע משאבים ולהקדיש מאמצים לפיתוח, הקמת מתקני חלוץ ובחינת ישום של מערכות חדשניות ליצור אנרגיה (בהתאם לרשימה מוצעת כאן ולכיוונים נוספים), מערכות חדשניות לניצול אנרגיה ותוך פיתוח גישות תכנוניות שיקטינו התלות באנרגיה, אם ע"י הקטנת היקף נסועה נדרש או ע"י תכנון טוב יותר של שכונות ומבנים להקטנת צריכת האנרגיה.

בשלב השני יש ליישם גישות חדשניות אלה.

א. הפחתת פליטות בסקטור יצור החשמל

חלופה	הקטנת פליטות CO2 טון לשנה	טכנולוגיה	עלות \$ ל KW	אחוז מפליטות בתחום	אחוז מפליטות כלליות	הערות
1. מעבר לגז טבעי						מחייב מערכת אספקת גז. בעיית אוגר דלק.
1א. מעבר לגז של תחנות דלק נוזלי	הקטנת פליטות ב 30%. 2 מיליון טון	קיימת	10	7.5	3.2	מחייבת הקמת מערכת אספקה
1ב. החלפה של 50% מיצור פחמי	הפחתת פליטות ב 41.4%. 4.1 מיליון טון	קיימת. קל בתחנות פחם/מזוט.	42	15.1	6.6	מחייבת הקמת מערכת אספקה
2. קו-גנרציה	עלית יעילות מ 40 ל 60%	מוכחת וזמינה	לא רלוונטי	לא רלוונטי	לא רלוונטי	מגבלת שוק לקיטור. יעיל להתפלת מים בתחנות כח.
3. מעגל משולב	עלית יעילות מ 40 ל 60% ומעלה. תרחיש א1: 1.3 מיליון טון עוד 3.3 מיליון בתרחיש ב1	קיימת. פשוט יותר ליישום בתחנות גז	500	בתרחיש א: 5% בתרחיש ב: 12.4%	בתרחיש א: 2% בתרחיש ב: 5.3%	בסך הכל - 7.3% בסך הכל - 17.4%
4. הגברת יעילות תחנות כח	עלית יעילות מערכות בכ 1% לשנה	טכנולוגיה תפותח בחו"ל	במסגרת החלפת ציוד והרחבת מערכת	עד 30%		ירידת פליטות ב 1/3 ב 2020
5. החלפת תחנות ישנות (*), בחדשות, כולל מעגל משולב	הפחתת 1.36 מיליון טון.	קיימת	במסגרת החלפת ציוד והרחבת מערכת	5%	2%	הקטנת פליטות מזהמים נוספים מהתחנות הישנות

(* חיפה ג', רידינג ב ותחנות אשכול א + ב

א-1 חלופות בפיתוח

הערות	אחוז מפליטות כלליות	אחוז מפליטות בתחום	עלות \$ ל KW	טכנולוגיה	הקטנת פליטות CO2	חלופה
						אנרגיה גרעינית
פוטנציאל תיאורטי 600MW	2.6%	6%	השקעה של 3200– 850	קיימת	החלפה של כ 6% מיצור החשמל	אנרגית רוח (1)
ראה התייחסות בפרק אשפה	1%	5%	כ \$3000	קיימת	החלפת 5% מיצור חשמל	שריפת אשפה (1)
	43%	100%	כ \$ 3000	בפיתוח	יצור כל החשמל בארץ	ארוכות שרב (1)
נדרש פיתוח מערכת אגירת אנרגיה	11%	25%	\$15000	בפיתוח	יצור 25% מצריכת החשמל	מראות פרבוליות (1)
"	11%	25%	\$13600	בפיתוח	יצור 25% מצריכת החשמל	מגדל שמש (1)

(1) נתונים מובאים מדו"ח זסלבסקי (1998).

(2) כל החישובים מבוססים על אקוויולנט לשנת 1996.

ב. הקטנת פליטות בתחום התעשייה

הערות	אחוז מפליטות כלליות	אחוז מפליטות בתחום	עלות \$ ל KW	טכנולוגיה	הקטנת פליטות (טון לשנה)	חלופה
מחייב מערכת אספקה	4.8%	16%	\$42-10	קיימת	פוטנציאל מירבי 3 מיליון טון	1. מעבר לשריפת גז טבעי
מחייב הסדרים עם חברת חשמל	1.9%	6.4%	חסכון ברוב המקרים	קיימת	חסכון של 1.5 מיליון קוט"ש, 1.2 מיליון טון	2. קו-גנרציה בתעשייה
מחייב תקינה	1.9%	6.4%	\$3-0.5	מתחייבת התאמה ופיתוח	חסכון עד 30% מצריכה לבקרת אקלים. 1.2 מיליון	3. בניה מודעת אנרגיה
המעבר לשיטה החל. הקטנת פליטות מזהמים	3.7%	12%	במסגרת שיפורים מתוכננים	קיימת	חסכון 53% באנרגיה. 2.3 מיליון	4. מעבר לשיטה יבשה ביצור מלט

ג. הפחתת פליטות בתחום אנרגיה למבנים

חלופה	הקטנת פליטות טון לשנה	טכנולוגיה	עלות \$ ל KW	אחוז מפליטות בתחום	אחוז מפליטות כלליות	הערות
1. שיפורים בצידוד חשמלי ביתי	הקפאת צריכת חשמל למרות גידול בשמוש	מבוססת על פיתוחים בחו"ל	ללא השקעה			
2. בניה מודעת אנרגיה (סדרת אמצעים)	הורדת פליטת בשיעור של 1,40%-20 מיליון טון* (עד 10 מיליון טון בשנת 2020)	קיימת. מחייבת התאמה ופיתוח	השקעה של 0.5-3 ש"ח לחסכון של קוט"ש לשנה	6%-12% (עד 10% בשנת 2020)	1.6%-3.2% (עד 40% בשנת 2020)	צפויה עליה רבה של רכיב השקעת אנרגיה במבנים בעתיד
3. קו-גנרציה במבני ציבור ומבנים עסקיים	הורדת צריכת חשמל לחימום וקירור ביותר מ 50%	קיימת	חסכון כספי			

* במהלך 20 השנים הבאות צפויות פליטות CO2 לגדול בשיעור ניכר ועל כן יש בהתייחסות לפליטות בשנת 1996 כדי לעוות את המציאות הצפויה. שיעור החיסכון בפליטות מגורם זה מגיע לכדי 10 מיליון טון בשנה.

ד. הפחתת פליטות בתחום התחבורה

מכלל פליטות גזי חממה ע"י התחבורה (למעלה מ 10.4 מיליון טון CO₂) בשנה, ניתן להקטין כלהלן:

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

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

ה. חלופות להקטנת גזי פליטה בתחום החקלאות

הערות	אחוז מפליטות כלליות	אחוז מפליטות בתחום	עלות \$ ל KW	טכנולוגיה	הקטנת פליטות טון לשנה	חלופה
משרת מטרות לאומיות אחרות, שטח ירוק, שמרית וכו' קרקע	0.8%		קשר למדיניות חקלאית	קיימת	0.5 מיליון טון	1 הגדלת שטח מעובד ב 10%
					הגדלת פליטה ב 0.5 מיליון טון	הקטנת שטח מעובד ב 10%
	0.3%		בד"כ חסכון לחקלאי	קיימת	שני מיליון טון במהלך 10 שנים	עיבוד ללא פליחה ב 25% מהשטח החקלאי
	0.3%			קיימת	8000 טון מתאן, 0.2 מיליון טון CO ₂	הזנה משופרת למעלי גירה
	0.16%			קיימת	2500 טון מתאן, 0.1 מיליון טון CO ₂	שיפור הטיפול בזבל בע"ח
	0.6%			קיימת, מחייב שכלול	1200 טון N ₂ O, 0.4 מיליון טון CO ₂	שיפור בדשנים ומשטר דישון

ו. הפחתת פליטות מפסולת מוצקה ובוצת ביוב.

הערות	אחוז מכלל פליטות גזי חממה	אחוז מתחום	השקעה, \$ לסילוק טון שוה ערך CO ₂	הפחתת שוה ערך טון CO ₂ לשנה	הפחתת טון לשנה מתאן, טון	חלופה
בקרה קשה	6.5%	48%	10	4 מיליון טון	50% ממתאן ישאב וישרף.	1. הטמנה, שאיבת גז ושריפה בלפידי
זיכוי עבור הפקת חשמל	6.5%	48%	24	4 מיליון טון	50% יעילות	2. הטמנה, שאיבת גז והפקת אנרגיה
צורך בהפרדה ו/או מיון.	11.1%	86%	9	7.2 מיליון טון	יעילות חמצון 90%	3. הכנת קומפוסט מאשפה
	12.9%	100%	195	8 מיליון טון	יעילות חמצון 100%	4. שריפת אשפה

חלופות להפחתת פליטת גזי חממה בישראל

1. מאזני פליטות גזי חממה בישראל.

בשנת 1996 היה סך הפליטות של גזי חממה בישראל בשיעור של כ 60 מיליון טון אקוויוולנט-
 דו תחמוצת הפחמן (דת"פ).

התפלגות פליטת הגזים ע"י הסקטורים השונים, כפי שדווחו ע"י צוות ממ"ג (קוד ודין,
 1997 וקוד 1998) ועובדו על ידנו מוגשים בטבלה מס 1.1.

טבלא 1.1 : פליטות פחמן דו חמצני, מתאן וחנקן דו חמצני לפי סקטורים, 1996

סקטור	פליטות CH_4 באקוויוולנט 2 CO (אלפי טון) למאה שנים	פליטות N_2O באקוויוולנט 2 CO (אלפי טון) למאה שנים
סה"כ פליטות משריפת דלקים	49,600	227
• ייצור אנרגיה	26,500	170
• שריפת דלקים בתעשייה	11,000	7
• תחבורה	10,300	35
• מבני מגורים ומסחר	1,800	15
יערות	400-	
חקלאות	2,500	1,200
תהליכים בתעשייה		
• מלט	1,700	530
פסולת מוצקה		
טיפול בשפכים	7,800 200	
סה"כ	53,400	1,957

סה"כ נפלטו בישראל בשנת -1996 64.257 מיליון טון אקוויוולנטים של פחמן דו חמצני

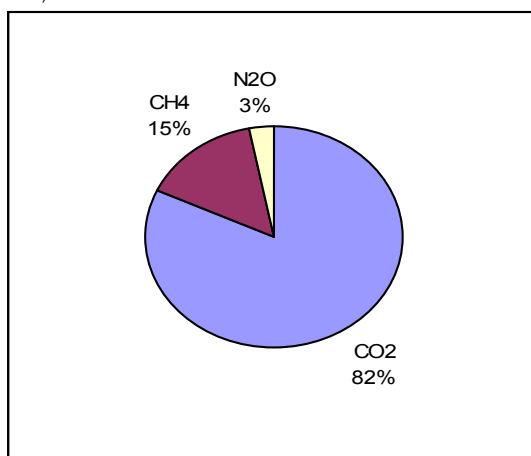
הגורם העיקרי בתרומת גזי החממה הינו שריפת דלקים שתרמה כ 50 מיליון טון CO_2 לשנה. תורם מרכזי נוסף הינו פליטת מתאן מאתרי הטמנת אשפה. אתרים אלו פלטו 370 אלף טון מתאן. השפעתו של המתאן כגז חממה עולה בהרבה על זו של דו תחמוצת הפחמן. בהתאם ל IPCC שוה הערך של המתאן בהשוואה ל CO_2 הינו 56 בחישוב לטווח זמן של 20 שנה ו 21 בחישוב לטווח זמן של 100 שנה. (בהמשך מסמך זה נשתמש בערך לטווח זמן של 100 שנה, בהתאם להנחיות IPCC). פליטת המתאן ממזבלות הינה שוות ערך לכן ל 7.8 מיליון טון CO_2 (20.7 מיליון טון לטווח זמן של 20 שנה). גז חממה נוסף, תחמוצת החנקן (N_2O) נפלט בכמות של קרוב ל 2 מיליון טון אקוויוולנט ל CO_2 . התפלגות המקורות לפליטת חד תחמוצת החנקן מוגש בטבלה מס' 1.2. התפלגות הגזים השונים ותרומתם לגזי החממה מוגשת בציור מס' 1.1 ואילו חלוקת תרומות המקורות השונים, באחוזים מסה"כ התרומה

לפליטת גזי החממה, מוגשת בצירורים מס' 1.2 ו- 1.3.

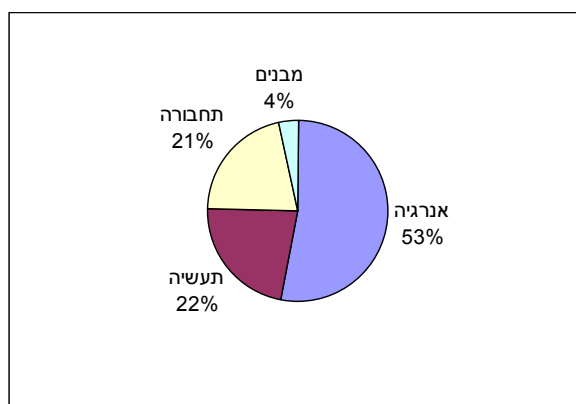
טבלא 1.2 : פליטות N₂O לפי סקטור, 1996

אקוויוולנט CO ₂ (אלפי טון)		N ₂ O (אלפי טון)	סקטור
100 שנים	20 שנים		
227	1524	0.55	אנרגיה ושריפת דלקים
530	484	1.73	תהליכים תעשייתיים
1,200	1,067	3.81	חקלאות
1,957	1,705	6.00	סה"כ

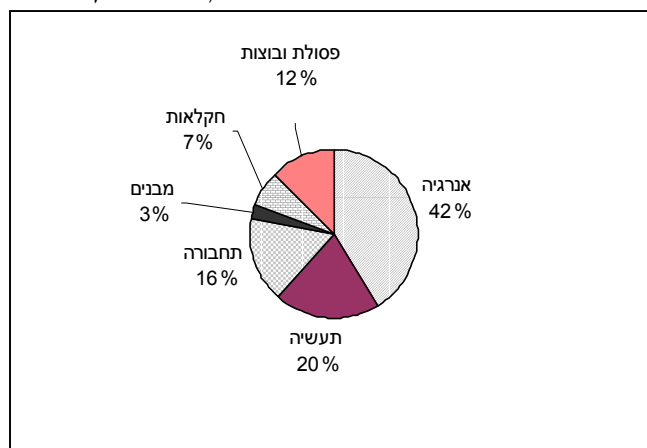
ציור 1.1 : פליטה יחסית של גזי חממה בישראל, 1996



ציור 1.2 : פליטה יחסית של פחמן דו חמצני בישראל כתוצאה משריפת דלקים, 1996, לפי סקטור



ציור 1.3 : פליטה יחסית של גזי חממה בישראל, 1996 (אקוויוולנט CO₂)



עיקר יצירת גזי החממה באה משריפת דלק. התפלגות התרומה מדלקים שונים וסקטורים שונים השורפים דלקים מוגשת בטבלה מס' 1.3. ניתן לראות כי הצרכן העיקרי של הדלקים (54% מסה"כ) הינו סקטור יצור החשמל. כשהתחבורה והתעשייה צורכים כל אחד כ 21% מתרומת הדלק. אולם, החשמל המיוצר מועבר לצריכה לסקטורים משקיים וצרכניים שונים. כשמעבירים את החיוב עבור פליטת CO₂ לצרכני החשמל השונים, מתקבלת תמונה שונה המוגשת בטבלה מס' 1.4. יצור החשמל עצמו גורם לצריכה של 3% בלבד מסך הפליטות, הסקטור הצרכני – בתי מגורים ובתי עסק צורכים חשמל הגורם לפליטת 29.5% מסך הפליטות של המדינה והתעשייה 15.4% (וזאת בנוסף לפליטות הנגרמות ע"י שריפת דלק ישירה בתעשייה. סה"כ פליטת גזי חממה ע"י התעשייה מגיע לכן ל 36.4% מפליטת גזי חממה בישראל).

טבלה 1.3 : שריפת דלקים ופליטות CO₂ לפי סקטור

תעשייה		מבני מגורים ומסחר		תחבורה		ייצור אנרגיה		סקטור
פליטת CO ₂ (אלפי טון)	צריכת דלקים (אלפי טון)	פליטת CO ₂ (אלפי טון)	צריכת דלקים (אלפי טון)	פליטת CO ₂ (אלפי טון)	צריכת דלקים (אלפי טון)	פליטת CO ₂ (אלפי טון)	צריכת דלקים (אלפי טון)	
366	124	1,194	404					גפ"מ
				6,657	2,159			בנזין
2,859	*900	632	199	2,876	1,013	435	137	דיזל
	769							נפטא
7,099	2,277					6,252	2,031	מזוט
675	168							פסקוק
				821	267			זפת
						19,882	8,190	פחם
10,999		1,826		10,354		26,569		סה"כ פליטות CO ₂
21		4		21		54		אחוז מסך פליטות

טבלא 1.4: תרומה יחסית של פליטות CO₂ כתוצאה משריפת דלקים וצריכת חשמל בישראל, 1996 לפי סקטור.

סקטור	פליטות CO ₂ כתוצאה משריפת דלקים (אלפי טון)	אחוז מפליטות CO ₂ כתוצאה משריפת דלקים	אחוז מצריכת חשמל (אחוז מפליטות CO ₂)	פליטות CO ₂ כתוצאה מצריכת חשמל (אלפי טון)*	פליטות CO ₂ (אלפי טון)	תרומה יחסית של פליטות CO ₂ (באחוזים) כתוצאה משריפת דלקים וצריכת חשמל
אנרגיה	26,569	54	5.7 (3)	1,515	1,515	3
תעשייה	10,999	21	29 (15.5)	7,705	18,704	37.5
חקלאות			9.7 (5.5)	2,577	2,577	5.5
מבני מגורים ומסחר	1,826	4	55.6 (30)	14,772	16,544	33
תחבורה	10,354	21			10,354	21
סה"כ	49,694	100	100	26,569	49,694	100

* עמודה זו מייצגת פליטת גזי חממה לפי סקטור בהתבסס על צריכת החשמל היחסית של כל סקטור.

2. יצור חשמל.

פליטת גזי חממה מסקטור יצור החשמל היתה ב 1990 16.66 מיליון טון, ועלתה עד 1996 ל 26 - מיליון טון. שיעור העליה בצריכת החשמל היה שיעור גבוה בכל קנה מידה שהוא. העליה בצריכת החשמל בעשור האחרון היתה בשיעור של 6% לשנה ובחמש השנים עד 1996 בשיעור גבוה אף יותר, 7.7%. קשה להניח כי שיעור צמיחה כזה ימשך בעתיד. התחזיות של חברת החשמל (חח"י) הינן לעליה עד לשנת 2020 (בתרחיש "עסקים כרגיל") ליצור של 74 מיליון קו"ש ולפליטת CO₂ בשיעור של קרוב ל 60 מיליון טון לשנה. על בסיס תחזיות אלה ופליטה אופיינית של CO₂ המשקפת את המצב הקיים צריכת החשמל כיום והתחזיות לעתיד מוגשות בטבלה מס' 2.1.

טבלא 2.1: ייצור חשמל ופליטות CO₂ לאורך 30 שנה

שנה	ייצור חשמל (מיליון kWh)	פליטות CO ₂ מיליון טון
1990	20,898	16,660
2010	55,760	44,213
2020	74,790	59,626

הערה: בשלב זה של דיונים בנוגע לעתיד מערכת החשמל בישראל אין אפשרות לספק נתונים

מדויקים באשר לצפוי, אולם מחברת החשמל נמסר כי הדממת יחידות ייצור ישנות והכנסת טכנולוגיות ייצור חשמל בעלות נצילות גבוהה יקטינו את פליטות CO₂ עד לכדי 50% מהמצוין בטבלא 2.1.

2.1 חלופות להקטנת פליטות גזי חממה.

יוגשו להלן שתי גישות להורדת פליטת גזי חממה, גישות שאינן סותרות זו את זו, אלא להיפך, משלימות האחת את השנייה. הגישה הראשונה מתבססת על שינויים, שיפורים ושכלולים במערכת ייצור החשמל כפי שהיא היום. לעומת זאת, תוגש גם גישה למערכות חדשניות לייצור חשמל, מערכות בהן ייוצר החשמל ע"י ניצול אנרגיות מתחדשות ללא פליטת גזי חממה.

א. שינויים ושיפורים במערכת קיימת של ייצור החשמל.

א.1 הגדלת יעילות מערכות קונבנציונאליות של ייצור החשמל.

יעילות ייצור החשמל ע"י המערכות הקיימות כיום בשוק הינה 40%-42%. בהתאם להערכות מקובלות בעולם (דו"ח IPCC, 1997), תעלה היעילות ב 30 השנה הקרובות לכ 60%. יש להניח כי תחנות הכח שיוקמו בארץ בטווח הזמן שעד 2050 יהיו בעלות יעילות בסדר הגודל המצוין.

א.2 קו-גנרציה.

במונח קו-גנרציה מכנים מערכות בהן מנצלים את החום השאריתי מייצור החשמל לשם ייצור קיטור בלחץ נמוך או למערכות חימום ויבוש שונות. ע"י שילוב צרכנים לחום נמוך ניתן להעלות ניצולת האנרגיה לשיעור של כ 70%.

המגבלה בניצול ופיתוח טכנולוגיות כאלו הינה במציאת צרכנים לחום השאריתי מתחנות הכח הגדולות. בארץ, בניגוד לארצות קרות, אין שוק לקיטור לחימום בתים בעיר הסמוכה לתחנת הכח. לא נראים כיום שווקים לחום השאריתי של תחנות הכח הגדולות. קיימת אפשרות ופוטנציאל לחסכון באנרגיה ובפליטת גזי חממה ע"י שימוש בקו-גנרציה ע"י שילוב תחנות כח קטנות עם מערכות חימום ומיזוג אוויר בתעשייה ובמוסדות. נושא זה מוגש במפורט במסמך השלם ונידון בפרק התעשייה בתקציר זה.

קוגנרציה אפשרית בתחנות כח המשמשות גם להתפלת מים.

א.3 מעגל משולב. (Combined cycle).

מערכות מעגל משולב מנצלות את האנרגיה השיוורית בגז השריפה לייצור קיטור המנוצל להפקת אנרגיה חשמלית. מערכות אלו מגיעות ליעילות של כ 60%. השימוש בטכנולוגיה זו אפשרי בתחנות המופעלות ע"י גז או דלק נוזלי. עדיין קיימות בעיות טכנולוגיות הנובעות מהשילוב בין שתי מערכות והצורך להשבית את התחנה בכל תקלה באחת משתי המערכות, דבר הפוגע בכלכליות המערכת בכללה. יש צורך לעקוב אחרי פיתוחים בעולם ולהתאימם

לצרכינו.

4. מעבר לשימוש בגז.

העברת תחנות כח מדלק נוזלי לשימוש בגז טבעי תקטין את פליטת גזי החממה ב 30% יחסית לפליטות לקוטייש כיום. העברת תחנות משימוש בפחם תוריד הפליטות ב 44%.

חישוב שיעור הפחתת CO₂ כתוצאה ממעבר חלקי לגז מוצג בטבלא 2.2.

האפשרויות המוצגות בטבלא 2.2 הם, בקירוב, הדומים ביותר להערכות חברת החשמל.

טבלא 2.2: שיעור הפחתת CO₂ כתוצאה מהעברת 25% מייצור החשמל לגז בשנת 2010 ו -

50% בשנת 2020.

שנה	ייצור חשמל מיליון קילוואט/שעה		פליטת CO ₂ מיליון טון				
	גז	תמהיל נוכחי	גז	תמהיל נוכחי	סה"כ	הפחתה	הפחתה משימוש
2010	13940	41820	6273	33874	40147	6134	13
2020	37395	37395	16828	30290	47118	14958	24

בשנת 2010- 25% מייצור החשמל הוא בגז ו - 75% בתמהיל נוכחי
בשנת 2020- 50% מייצור החשמל הוא בגז ו - 50% בתמהיל הנוכחי

מתוכנן יבוא של גז טבעי ומתוכננת העברת תחנות לשימוש בגז. יש להדגיש כי במעבר לגז יתרונות סביבתיים נוספים פרט לבעית גזי החממה, כהקטנה נכרת בפליטת תחמוצות גפרית וחנקן, מתכות וחלקיקים.

עלות העברת תחנות קונבנציונאליות לשימוש בגז טבע מובאת בטבלה מס' 2.3.

טבלא 2.3: עלות המרה של סוג דלק בתחנות כוח

סוג דלק	יכולת ייצור נקובה (מגהוואט)	מספר שעות תיפעול (שעות/שנה)	שימוש בדלק (ק"ג/מגהוואט שעה)	ק"ג CO ₂ לק"ג דלק	עלות המרה לגז (\$/קילוואט)	עלות תחנת כח חדשה (\$/קילוואט)	עלות \$/ק"ג דלק
מזוט	2160	8320	237	3.07	10*	1450*	0.12
סולר	1878	*1750	355	3.06	10*	1000*	0.19
פחם	3700	8250	360	2.47	42	1500	0.04
גז	----	8320	*2100	2.75	---	420	0.15

עלות הגז לשימוש בתחנות הכח הינה נעלם מאחר והדבר תלוי במקור הגז, בשיטת ההובלה (גז בצנורות או גז מעובה במיכליות). במקרה השני הובלת הגז כרוכה בהנזלתו במקור ובמתקנים לנידופו מחדש בארץ.)

העברת תחנות כח המשתמשות כיום בדלק נוזלי לשימוש בגז אינה מסובכת. כנ"ל הדבר לגבי תחנות פחמיות המצויידות במבערים לדלק נוזלי. יש לציין כי קיימת בעיה של רזרבת דלק לחירום, כששמירת הרזרבה קשה במקרה של גז. יש להניח כי בעתיד הנראה לעין, לא תהיה החלפת פחם בגז בכל התחנות.

א.5 טיפולים לסילוק CO₂ הנפלט מתחנת הכח.

הועלו בעולם הצעות לדקרבוניזציה של גזי הפליטה. הצעות אלו אינן מעשיות מכיוון שצריכת האנרגיה לתהליך גבוהה מזו הנוצרת בתחנה. כן הועלו הצעות לאגירת CO₂ במעמקי האדמה. גם הצעות אלו אינן מעשיות. נפח האגירה יקר מאד ומוגבל. בנוסף, מאגרים תת קרקעיים שנבדקו בארץ למטרת אגירת דלקים, נמצאו כמאגרים שאטימותם מוטלת בספק. אמצעים אלו אינם מעשיים והינם בגדר של דמיון מדעי.

ב. פתרונות המבוססים על מערכות חדשניות.

אנו צופים כי מדינת ישראל, כמו כל המדינות המפותחות אליהן מבקשת ישראל להצטרף, יחויבו בעתיד לעמוד בדרישות קיוטו ואף יותר מכך, ועל כן אנו ממליצים להתקדם במחקר ופיתוח של אמצעים לא קונבנציונליים של ייצור אנרגיה

ב.1 שימוש באנרגיה גרעינית.

חלופה זו הינה בוודאי חלופה העשוייה להקטין במידה נכרת את פליטת גזי החממה. כורים גרעיניים משמשים בארצות מתקדמות רבות להפקת חשמל מזה שנים. אולם, נראה כי כניסת כורים גרעיניים חדשים, וכניסת השימוש באנרגיה גרעינית לארץ, מחייבים שיפורים טכנולוגיים שיבטיחו יותר את הסביבה.

סדרה של הצעות וחלופות שיובאו להלן עובדו ע"י פרופ' דן זסלבסקי במסגרת עבודה למשרד לאיכות הסביבה לפיתוח מקורות אנרגיה מתחדשת בת קיימא. החלופות המוגשות להלן מבוססות כמות שהן על דו"ח זה. יצוין שהדו"ח הינו ברמת טיוטא וטרם אושר והתקבל על ידי כל הנוגעים בדבר.

ההצעות המפרטות בדו"ח שהוגש למשרד לאיכות הסביבה (זסלבסקי וחבריו, 1998), נתמכות בניתוח סביבתי וכלכלי נרחב. יצור החשמל כרוך בעלויות ישירות ובסדרה של עלויות חיזוניות, אשר אפקט החממה הינו אחד מהם. ההערכה המוגשת הינה כי הוצאות סביבתיות הינן בערך 2 סנט לקו"טש המופק מפחם או שמן אדמה. הכללת ההוצאות החיצוניות בעלות האמיתית של החשמל תעודד ותצדיק יצור חשמל "נקי", כזה בו הנזק הסביבתי יהיה מינימלי. בהתחשב בכך שהחשמל מסובסד כיום (הסובסידיה מוערכת בכ 3 סנט לקוט"ש), מציג הדו"ח הצדקה כלכלית להשקיע ולפתח מקורות אנרגיה חלופיים (טבלה 2.4).

החלופות המוצעות הינן:

ב.2 שימוש באנרגית רוח.

פוטנציאל הפקת אנרגיה בארץ הינו מעל 1.75 ביליון קוט"ש לשנה. השקעות נדרשות הינן בסדר גודל של 2000 עד 3000 דולר לקילו וואט.

ב.3 שריפת ביומסה וחומר אורגני.

מדובר בעיקר על משרפות לאשפה. הפוטנציאל הינו 5 ביליון קוט"ש לשנה. העלות הינה בת

תחרות עם מקורות קונבנציונאליים. לא נראה כי גידול צמחים לשם הפקת אנרגיה תהיה חלופה ריאליה בישראל.

4.ב מגדלי אנרגיה (ארובות שרב).

תהליך ארובות השרב פותח בארץ וניתן לישום בעתיד הלא רחוק. השיטה עשויה לספק את כל צריכת האנרגיה של ישראל. המחיר לחשמל בר תחרות עם מחיר קונבנציונאלי ואף נופל ממנו. ההשקעה לקילו וואט הינה פחות מ 4000 דולר.

5.ב 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.

6.ב מגדל השמש.

שיטה שפותחה בארץ והינה בת תחרות עם מחירי חשמל הכוללים עלות חיצונית. מסוגלת לספק רבע עד שליש מצריכת החשמל בארץ. שתי השיטות האחרונות יכולות להגיע למלוא הפוטנציאל באם תפותח מערכת לאגירת החשמל ושימוש בשעות בחושך כשהמערכות אינן מייצרות חשמל.

סיכום הפוטנציאל והנתונים הכלכליים כפי שהוגשו בדו"ח זסלבסקי מובא בטבלה 2.4.

טבלא 2.4 : הצעה למקורות חליפיים לייצור חשמל

טכנולוגיה	סטטוס	מועד צפוי ליישום	השקעה דרושה עד יישום	השקעה משוערת לקו"ט נטו ממוצע	עלות חשמל צפייה	דלק נחסך לפי תסריט פחם	דלק נחסך לפי תסריט גז	השקעה מותרת נוספת תסריט פחם 0% חסכון במיליארד דולר \$10 ³ לקילוואט	השקעה מותרת נוספת לפי תסריט גז 0%	פוטנציאל בישראל	עד 2020
		שנים	\$10 ⁶	\$/kW	c/kWh	c/kWh	c/kWh		\$10 ³ לקילוואט	MW (GWh/year)	MW (GWh/year)
טורבינות רוח	מסחרי מלא	לאלתר	10	(2) 3250	8-4	2	1.5	19250 (4.8)	8064 (2)	>1000 (3504)	750 (2600)
ביומסה ואשפה	מסחרי מלא	לאלתר	(4) 5	(5) 2860	(6) 5.7	2	1.5	19640 13.7	8454 5.9	>1000 (>6000)	700 (4500)
קולטים מרכזים פרבוליים בחלק סולרי נטו	מסחרי מלא עם אפשרות שכלול	שנה	5	(7) 15000	>15	2	1.5	7499 0.25	(-) 3686 (0.06-)	לא מוגבל אלא בגיבוי	50 (540)
מגדל שמש לפי מכון וייצמן סולרי נטו	בפיתוח	5 שנים לגמר מפעל הדגמה	20	(9) 13600	>15	2	1.5	8899 0.3	(-) 2288 (0.08-)	לא מוגבל אלא בגיבוי	100 (1080)
ארוכות שרב ללא הגבלת הספק	גמר מו"פ לקראת הקמת מפעל חלוץ	3 שנים להתחלת בנייה, 7-8 לגמר תחנה מסחרית	49	3000	(8) 5-2.5	2	1.5	19450 (56)	8314 (23.9)	>9000 (>80000)	>2900 (24000)
סה"כ								(75)	(31.7)	לא מוגבל	4500 (32720)

הערות:

(1) פעולות להכנסת טורבינות רוח:

- I. השלמת סקר ארצי;
- II. הוצאת תקנות או תחיקה שתחייב לשלם תמורת החשמל ללא כל הגבלות הספק;
- III. קביעה של מחיר ליצרנים מחייב לחח"י;
- IV. חיוב הכנת תכניות אזוריות;
- V. הקמת קווים ראשיים בהשקעה ממשלתית שתנוכה מהחברות;
- VI. מכרזים להקמה.

(2) השקעה לקילוואט נטו:

לפי \$1300 לקילוואט מותקן ולפי 40% מקדם ביצוע.

(3) עלות חברתית לפחם רק 5 סנט לקו"ש לא כולל עלויות כלכליות לאומיות בתופסת 2 סנט לקו"ש דלק. עלות חברתית לגז רק 2 סנט לקו"ש לא כולל עלויות כלכליות לאומיות בתוספת 1.5 סנט לקו"ש.

(4) הכנות לניצול פסולת חקלאית וגזם:

- הכנת תכניות אזוריות ואומדן כמויות;
- הקצאת שטחים תעשייתיים;
- חקירות ותכנון איסוף הסעה ואחסון.
- מכרזים.

(5) השקעה צפויה לפי \$2000 לקילוואט מותקן עם מקדם קיבול של 70%.

(6) עלות דלק לקו"ש לפי \$40 לטון לפי 0.15 שווה ערך טון נפט
5% ריבית ל 20 שנה;
1 סנט הפעלה ותחזוקה.

(7) התקנה ליד שטחי תעשייה צרכני קיטור יכולה לחסוך עוד אנרגיה בהיקף כמעט כפול והשקעה יותר קטנה.

(8) גבולות העלויות תלויות בעיקר בריבית, בין 5.3% ל-12%. בעלות הממוצעת של ייצור החשמל לא הובאו בחשבון תועלות מהתפלה, משימוש בארובות כאגירה שאובה, לקירור תחנות תרמיות ולייעול של טורבינות גז. כמו כן לא הובאו בחשבון רווח של מכירת מים לגידול דגי ים. אלה עשויים לנכות מעלות החשמל נטו לפחות 2-3 סנט.

(9) מגדל השמש יכול לשמש גם כפתרון ביניים כשהוא מוסיף 1/4 אנרגיה סולרית לטורבינה מופעלת בגז. ההשקעה הפורמלית לקילוואט ממוצע היא אז מעט יותר מרבע מספר זה. אבל הפתרון אז איננו פתרון בר-קיימא במובן המלא של המלה ובכל מקרה איננו בר תחרות במחיר החשמל היום ללא ביטול הסבסוד והכרה בחלק מהעלויות החברתיות. ייתכן שלישיראל עניין רב לקדם את הפתרון בדרך לקידום מכירות יצוא. ספק אם זהו פתרון כדאי לישראל. לפי דברי המפתחים יהיה אפשר בעתיד לאחסן חום במחיר של 30 דולר

לקו"ש. מיחזור של איחסון כזה עד 360 פעם בשנה יוסיף עלות לקילוואט שעה לא יותר מאשר סנט אחד. הרבה יותר מושך מאשר גיבוי בגז טבעי. לפי הערכתם מחיר החשמל ל-24-שעות ממקור סולרי יורד ל-8-10 סנט. זאת במקום קרוב ל-19 סנט היום. אין כל מניעה אז שעד שנת 2020 יותקנו כמה מאות מגהוואטים ממקור חדשני ונקי זה. גדעון כרמל מבקש לתקן ולומר, ההשקעה הצפויה להפעלה בשילוב של אגירה ל-16 שעות ביממה היא 4500 דולר לקילוואט. להערכתי אין כל מניעה שעד שנת 2020 יותקנו גם מאות מגהוואטים. על כך אין חולק.

סיכום החלופות שהוצעו להקטנת פליטות גזי חממה בתהליך יצור החשמל:

הערות	עלות	טכנולוגיה	הקטנת פליטה	חלופה
עליית יעילות בכ 1% לשנה. הקטנת פליטות בתחנות חדשות.	במסגרת החלפת ציוד צפוי	פיתוח צפוי בחו"ל	עליית יעילות מ 40 ל 60%.	הגברת יעילות תחנות כח
מגבלה בגלל שוק מוגבל לקיטור. שימוש במקרה של התפלת מים בתחנות כח.		טכנולוגיה מוכחת וזמינה	עליית יעילות ל 60% ומעלה	קו-אנרציה
		טכנולוגיה קיימת אך מחייבת פיתוח נוסף. פועל בתחנות מופעלות בגז ודלק נוזלי.	עליית יעילות ל 60%	מעגל משולב
	השקעה של 10 \$ ל KWh בתחנות דלק נוזלי, 40 \$ ל KWh בתחנות פחמיות.	טכנולוגיה קיימת. בעיית אוגר דלק. מחייב מערכת אספקת גז.	הקטנת פליטות ב 30% במעבר מדלק נוזלי וב 44% במעבר מפחם.	שימוש בגז טבעי
	כני"ל	קיימת	הפחתת פליטות ב 41.4%	החלפת לגז של כל התחנות
	השקעה של 10 \$ ל KWh בתחנות דלק נוזלי		הפחתה של 6.1 מיליון טון CO ₂ בשנת 2010	החלפה לגז בכל התחנות המופעלות בדלק נוזלי
הקטנת פליטות מזהמים נוספים מהתחנות הישנות	כני"ל	קיימת	הפחתת 1.36 מיליון טון.	החלפת תחנות מזוט ישנות בחדשות, כולל מעגל משולב
	השקעה של 10 \$ ל KWh בתחנות דלק נוזלי, 40 \$ ל KWh בתחנות פחמיות.		הפחתה של 14.5 מיליון טון בשנת 2020	החלפת תחנות לגז המייצרות מחצית מההספק הכולל
				אנרגיה גרעינית
פוטנציאל תיאורטי 600 MW	השקעה של 850-3000 דולר ל KW	טכנולוגיה קיימת	החלפה של כ 6% מיצור החשמל	אנרגית רוח (1)
ראה התייחסות בפרק אשפה	השקעה של כ 3000 \$ ל kW	טכנולוגיה קיימת	החלפה של 5% מיצור החשמל	שריפת אשפה (1)
	השקעה של כ 3000 \$ ל kW	טכנולוגיה בפיתוח	יצור כל צריכת החשמל בארץ	ארובות שרב (1)
נדרש פיתוח מערכת אגירת אנרגיה למיצוי מלא		טכנולוגיה בפיתוח	יצור 25% מצריכת החשמל	מראות פרבוליות (1)
"		טכנולוגיה בפיתוח	יצור 25% מצריכת החשמל	מגדל שמש (1)

(1) נתונים מוגשים כמות שהם מדו"ח זסלבסקי (1998)

(2) מבוסס על אחוז מצריכת החשמל ב - 1996.

3. המגזר התעשייתי

המגזר התעשייתי הביא בשנת 1996 לפליטה של 18.5 מיליון טון CO₂ כש 60% מהם נבעו משריפה ישרה של דלק במפעלי התעשייה וכ 40% נבעו מצריכת חשמל ע"י התעשייה. צריכת החשמל השנתית ע"י התעשייה היתה ב 1990 5655 מיליון קוט"ש, מעל לרבע מצריכת החשמל הכללית של המדינה. הצריכה התעשייתית עלתה בשנת 1966 ל 8571 קוט"ש. עלית הצריכה בעתיד תהיה קרוב לוודאי מתונה יותר, לאור ההאטה בגידול התעשייתי והמעבר לתעשיות הצורכות פחות אנרגיה.

צריכת החשמל של הסקטורים התעשייתיים השונים מובאת בטבלה מס' 3.1.

טבלא 3.1 : צריכת חשמל בענפי תעשייה עיקריים

ענף	צריכת חשמל 1990 (מיליון קוט"ש)	צריכת חשמל 1996 (מיליון קוט"ש)	גידול ממוצע (% לשנה)
כימיקלים	1384	2011	5.5
מזון	728	982	4.4
כריה וחציבה	553	892	7.1
מוצרי מתכת	499	674	4.1
מינרלים לא מתכתיים	356	707	10.2
טקסטיל	350	498	5.0
פלסטיק וגומי	274	517	9.5
אלקטרוניקה	273	579	11.4
ברזל	234	296	3.5
נייר	108	291	15.4

צרכני האנרגיה העיקריים בין התעשיות הינם :

1. בתי הזיקוק בחיפה ובאשדוד שצרכו ב 1990 כ 663,000 טון דלק לחימום וליצור חשמל לצרכיהם. צריכת הדלק ע"י בתי הזיקוק מהווה כ 5.8% ממשקל השמן הגלמי שמעובד על ידם.

2. באם תהיה החלפה של דלקים נוזליים בגז, תשאר צריכת האנרגיה ע"י בתי הזיקוק בהיקף דומה להיות גם בשנת 2010.

3. תעשיות הצורכות אנרגיה אלקטרו-כימית ליצור כלור, סודה קאוסטית ומגנזיום, התעשיות האלקטרוכימיות בעכו, מכתשים, מפעלי הברום ומפעלי ים המלח.

4. מפעלי ים המלח הקימו תעשית מגנזיום המתוכננת להגיע ליצור של 50,000 טון בשנת 2010. ליצירת ק"ג מגנזיום נדרשים 18-25 קוט"ש. גם באם תוכפל היעילות, ידרשו בשנת 2010 כחמש מאות מיליון קוט"ש ליצור המגנזיום. אולם, מוצר לוואי של המגנזיום הוא כלור, כך שיחסך יצור כלור במפעלים אחרים ותחסך צריכה של כ 300 מיליון קוט"ש המשמשים ליצור הכלור.

5. יצור המלט הינו תהליך עתיר פליטת CO₂, הן בצריכת אנרגיה והן ע"י פליטת CO₂ מאבן הגיר. גם יצור סיד משחרר כמות גדולה של CO₂.

צריכת החשמל של המפעלים העיקריים מוגשת בטבלה מס' 3.2.

טבלה 3.2 : צרכני חשמל גדולים בתעשייה

חברה	מיקום	צריכת חשמל (מיליון קוט"ש)
דשנים וכימיקלים	חיפה	110
חיפה כימיקלים	חיפה	82
פריקלס	רותם	48
תעשיות אלקטרוכימיה	עכו	197
מכתשים	באר שבע	121
בתי זיקוק חיפה	חיפה	94*
תעשיות ברום	ים המלח	57
חברת האשלג	רותם	74
תעשיות פטרוכימיות	חיפה	106

*לא כולל חשמל בייצור עצמי

בעתיד לא נצפית הרחבה של צריכת החשמל ע"י דשנים וחומרים כימיים. עיקר הצריכה היתה ליצור אמוניה, כשהמתקן הזה נסגר ואין כוונה לחדשו. היצור בשני המפעלים של חיפה כימיקלים אמור להיות מוכפל עד 2010. קיימת כוונה לשלש את כושר היצור של התעשיות הפטרוכימיות בעכו מ 1990 ל 2010. החברות האחרות יגדלו קרוב לוודאי בכ 25%.

אמצעים להקטנת פליטת גזי חממה.

1. החלפת דלקים בגז טבעי.

מתוך 18.7 מיליון טון CO₂ שנפלטו ע"י התעשייה בשנת 1966, 11 מיליון היו בגלל שריפה ישירה של דלקים. החלפת דלקים בגז טבעי תקטין ב 30% את פליטת גזי החממה. ניתן לקדם שימוש בגז טבעי ע"י בניית צינור לגז טבעי מים המלח למישור רותם,, מקום בו קיימת צריכת אנרגיה רבה במפעלי פריקלס, חיפה כימיקלים ונגב פוספט.

2. שינוי הטכנולוגיה במפעלי יצור מלט.

מעבר מהשיטה הרטובה ליצור מלט לשיטה היבשה חוסך 53% מצריכת הדלק. המפעלים בחיפה ובהרטוב, מייצרים כ 23% מכלל המלט בארץ ומפעלי נשר כבר מצויים בעיצומו של המעבר מהשיטה הרטובה הקיימת במפעלים אלה לשיטה היבשה. המפעל ברמלה פועל משנת 99 במלואו בשיטה היבשה. במפעלי המלט ניתן להשתמש בחומרי פסולת כמו הרכיב היבש באשפה עירונית כתחליף לחלק מצריכת הדלק (ראה פרק העוסק באשפה).

3. בקרת אקלים במבני תעשייה.

התעשייה צרכה בשנת 1966 5,500 מיליון קוט"ש. הצריכה אמורה לעלות, עד שנת 2010 לערכים של בין 11,000 ל 13,000 מיליון קוט"ש ופליטת CO₂ (לערך ממוצע של 12,000 מיליון קוט"ש) תהיה 11.8 מליון טון לשנה.

החשמל נצרך בתעשייה תהליכי יצור ישירים ולבקרת אקלים (חימום, קירור ואוורור). בתעשיות המבוססות על טכנולוגיה ותעסוקת עובדים נצרך יותר ממחצית החשמל לבקרת אקלים. חלק ניכר של אנרגיה לבקרת אקלים ניתנת לחסכון ע"י יצור חשמל בגנרטורים בתוך המפעל וניצול החום השיורי לאקלום, בתהליכי קו-גנרציה. בשיטות קונבנציונליות (חשמל מהרשת) נוצר כ 0.375 ק"ג CO₂ לקוט"ש קירור. פליטות אלו יורדות ל 0.165 קוט"ש ול 0.114 קוט"ש ע"י ניצול קו-גנרציה או מערכת קירור היברידיית בהתאם. מדובר בהקטנת פליטת CO₂ לשליש מערכים הקיימים כיום, כשמדובר בערך בצריכה שנתית נוכחית של בערך 3 מיליון קוט"ש כיום. מומלץ להשתמש בטכנולוגיה זו גם במוסדות לא תעשייתיים כקומפלקסים של משרדים, בתי חולים, אוניברסיטאות, מלונות וכו'. הטכניון עומד להקים מערכת ליצור חשמל ומרכז חום וזאת כדי לחסוך בהוצאות אנרגיה.

סיכום החלופות שהוצעו להקטנת פליטות גזי חממה במגזר התעשייה

החלופה	הקטנת פליטה	טכנולוגיה	עלות	הערות
מעבר לגז	ירידה ב 30%		צורך בהקמת מערכת אספקה	רלבנטי בעתיד קרוב מישור רותם
מעבר לשיטה רטובה ביצור מלט	ירידת צריכת אנרגיה ב 50%	קיימת בארץ במפעל ברמלה		בנשר קיימת החלטה לעבור לתהליך היבש
קוגנרציה בתעשייה	חסכון של כ 1.5 מיליון קוט"ש כבר כיום	קיימת. מחייבת התאמה לכל מפעל	חסכון כספי	דרוש עידוד ממשלתי ותקינה

4. מגזר מבנים פרטיים וציבוריים

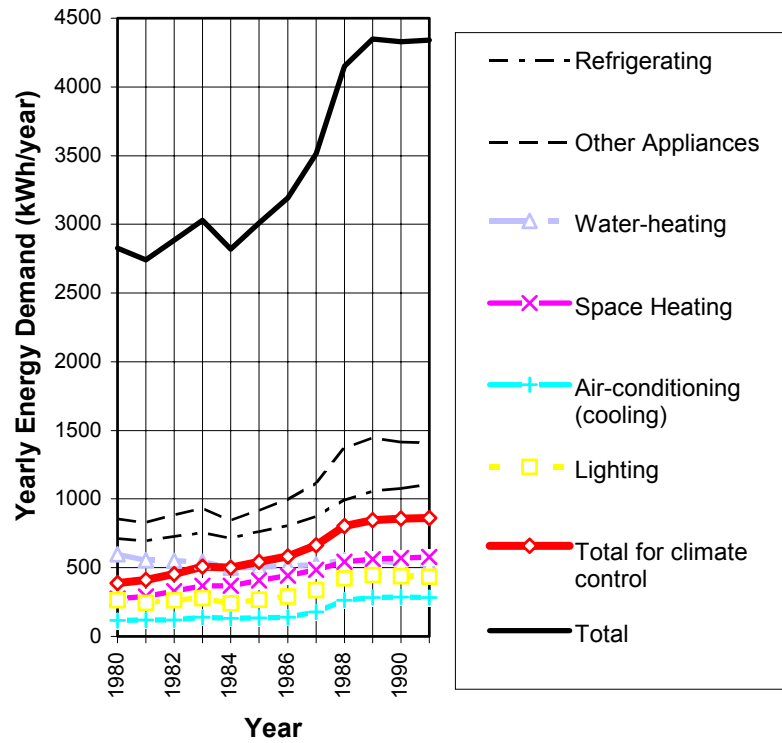
4.1 תחזיות צריכת חשמל

כשליש מפליטות ה- CO_2 בארץ הינן בגין צריכת החשמל ע"י מגזר המבנים למגורים והמבנים העסקיים. חלוקת צריכת החשמל לשימושים שונים במשקי הבית ותלותה בזמן, מוגשת בצירור מס' 4.1. במהלך העשור מ 1980 ל 1990, עלתה צריכת החשמל ע"י סקטור זה ב 53%. במהלך תקופה זו, עלתה צריכת החשמל לחימום הבתים ב 110% ואילו צריכת החשמל לקירור המבנים בקיץ עלתה ב 145%, למעלה מהעליה בצריכה של כל שימוש אחר בחשמל. כיום מהווה צריכת החשמל לבקרת אקלים כ 20% מצריכת החשמל הביתית. אין נתונים מקבילים לגבי הסקטור העסקי והציבורי, אם כי גם כאן צפויה עליה תלולה בשימושים לבקרת אקלים, כהכנסת מערכות בקרת אקלים לבתי ספר, מפעלי תעשייה, מוסדות מסחר, משרדים בנקים וכו'. במבנים עסקיים וציבוריים הכוללים מערכות בקרת אקלים, מהווה צריכת החשמל למערכות אלו 30%-50% מצריכת החשמל במבנים. קיימת ירידה מ 21% ל 12% בצריכת החשמל לחמום מים, כאינדיקציה להגברת ניצול אנרגית השמש לחימום מים.

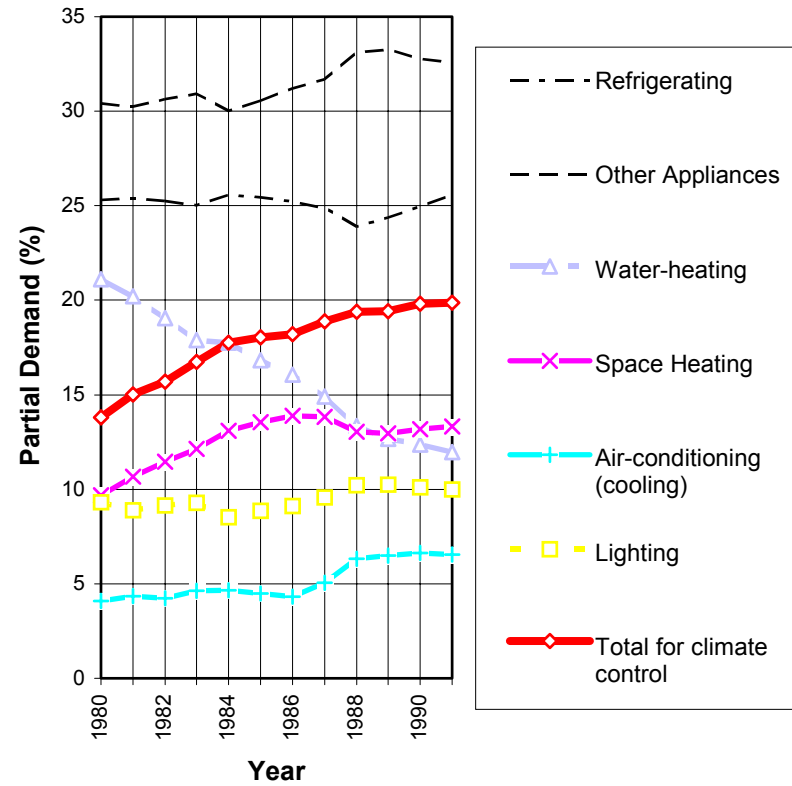
תחזית לגידול בצריכת החשמל הוכנה ע"י חברת החשמל, למספר תרחישים, החל מתרחיש לסטגנציה (אוכלוסייה בת 6 מיליון בשנת 2015) ועד לתרחיש לגידול רב מאד (אוכלוסייה בת 9 מיליון). שתי דוגמאות לתחזיות אלו מובאות בצירור מס' 4.2.

הגידול הצפוי בכמות מכשירי החשמל לא צפוי להביא לעליה בצריכת החשמל, וזאת מאחר והמכשירים יהיו יעילים יותר וחסכוניים יותר. המכשירים שיהיו בשימוש בישראל יהיו בעלי יעילות דומה לזו שתהיה מקובלת בשוק העולמי, אם בגלל יבוא או בגלל תחרות של התעשייה הישראלית עם השוק העולמי. הצפי הוא עליה בצריכת חשמל לבקרת אקלים מ 20% כיום ל 50% מצריכת החשמל הביתית בשנת 2010.

Time Evolution of Yearly Electricity Demands for an Israeli Household

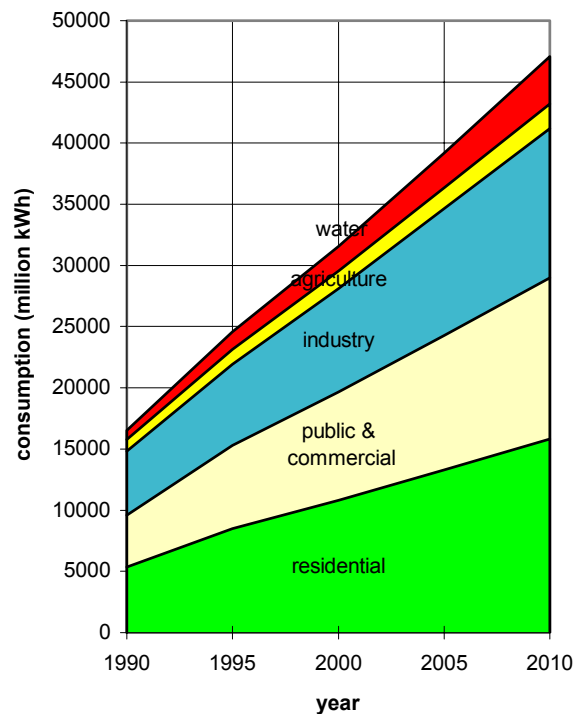


Time Evolution of Partial Yearly Electricity Demands for an Israeli Household

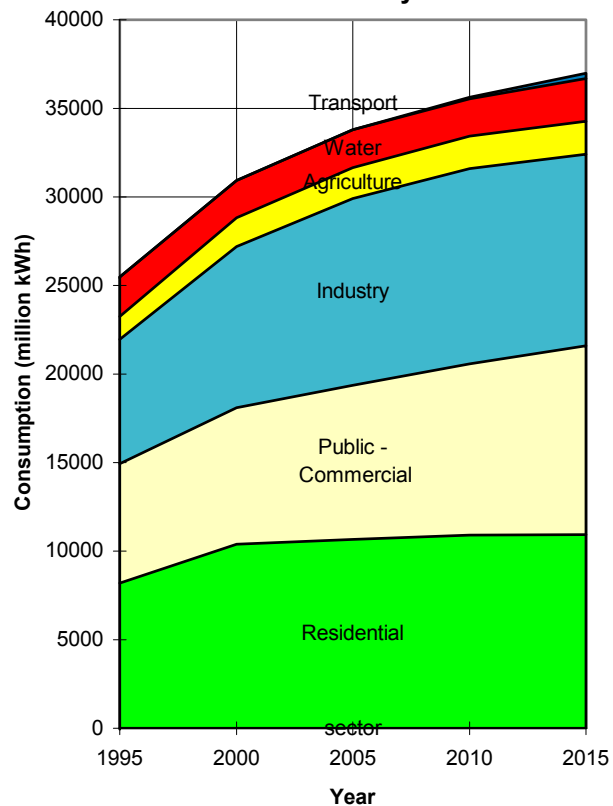


ציור 4.1 : תנודות במרכיבי צריכת החשמל של בתי מגורים (בקו"טש) ותנודות בחלק היחסי (באחוזים) של כל מרכיב מסך הצריכה

Electricity consumption by sector 1990 - 2010
"reasonable scenario"



Electricity consumption by sector 1995 - 2015
"stability scenario"



ציור 4.2: תחזיות צריכת חשמל לפי סקטור בין השנים 1990 - 2015. שתי התחזיות הוכנו על ידי חח"י תחת הנחות שונות, ביניהן "תרחיש יציבות" מניח אוכלוסיה של 7.5 מיליון בשנת 2015. "תרחיש סביר" (בניגוד לתרחיש אופטימלי) מניח שלא כל הפוטנציאל האנרגטי ינוצל בפיתוח הכלכלה.

אמצעים להקטנת פליטות גזי חממה.

קיימת סדרה של אמצעים לתכנון ותפעול מבנים להקטנת הצורך בחימום וקירור. שילוב נכון של אמצעים אלו עשוי להוריד הצורך בבקרת אקלים עתירת אנרגיה בעשרות אחוזים, בהרבה מקרים תוך השקעה כספית נמוכה ביותר.

פוטנציאל החסכון באנרגיה ע"י מספר אמצעים מוצעים מוגש בטבלה מס' 4.1.

טבלא 4.1:

פרמטרים תכנוניים ברמת הבניין והחיסכון הצפוי קוויט"ש לשנה למ"ר רצפה.

חלוקה לפי חיסכון בשלב התכנון לעומת חיסכון בשלב הפירוט.

		מגורים		ציבורי	
		ההר	שפלת החוף		שפלת החוף
+ הצללה : חלונות בקיץ	-10	11	29-18	24	24
חיצוני	12				
0 אי הצללה : חלונות בחורף	26-9	18	25-3	14	
+ בידוד : גג	18	18	13	13	7
+ אנרגיה סולרית פסיבית (חלון דרומי ותריס)	35-5	20	12-3	8	
+ איטום לחדירת אויר	-10	20	15-3	9	
	25				
+ בידוד : רצפה תלויה	15	15	11	11	
0 אוריינטצית הבניין	16-5	11	14-3	9	
0 מסה תרמית	15-8	12	10-5	8	
+ בידוד קירות	15-5	10	15-3	9	4
+איוורור לילה :	15-5	10	10-5	8	5
טבעי ומלאכותי					
- שטח מעטפת ביחס לנפח	16-5	10	8-5	7	
+איוורור נוחות :	10-5	8	10-5	8	8
טבעי ומלאכותי					
-גודל חלונות בכיוונים מזרח ומערב (עם תריס)	7-3	5	17-3	10	
0 צבע : גג	7-5	6	10-7	9	
0	15-2	9	6-2	4	
אוריינטצית הבניין הסולרי					
0 פרופורציות בניין סולרי	15-1	8	3-1	2	
-גודל חלונות בכיוון צפון (עם תריס)	3-1	2	8-4	6	
+ הצללה : גג			5-3	4	
0 ללא הצללה : גג	5-3	4			
+סוג הזיגוג :	5-3	4	4-2	3	10
כפול לעומת יחיד					
0 צבע : קירות	5-1	2	5-1	3	
+ הצללה : קירות	5-1	3	2-1	2	
0 פרופורציות	3-1	2	3-1		
מקרא					
- עלות נמוכה יותר					
0 עלות זהה					
+ עלות גבוהה יותר					

יש להדגיש כי הערכים לחסכון פוטנציאלי באנרגיה מתייחסים להשוואה בין מצב בו אין כל פעולה להקטנת צריכת האנרגיה לבין מצב בו ננקט האמצעי הנדון. כך למשל, הצללה של חלונות תביא לחסכון בצריכת קירור בקיץ בשיעור של 11% באיזור ההר ו 24% בשפלה, בהשוואה למצב בו אין כל הצללה על החלונות. כן יש להדגיש כי החסכון המושג מאמצעים בודדים אינו ניתן לחיבור כשננקטים מספר אמצעים ביחד. בטבלה 4.1 ניתן ציון איכותי להשקעה כספית נדרשת. חלק ניכר מהאמצעים המוצעים אינם דורשים השקעה נוספת בבניה ויש אף מקרים בהם בניה בהתאם לתכנון מודע אנרגיה חוסך בהוצאות הבניה (הקטנת גודל חלונות לכיוון מערב כדוגמה).

בטבלה מס' 4.2 מוגש ניתוח עלות תועלת לסדרת אמצעים לבניה מודעת אנרגיה. עיון בטבלה מראה כי תחום היחס עלות/תועלת הינו ברוב המקרים השקעה של 0.5 עד 3 ש"ח לחסכון של קוט"ש.

נערכה תחזית לשנת 2020 לאפשרות חסכון באנרגיה ובפליטת גזי חממה במספר תרחישים לשיפורים אקלימיים בבנייני מגורים קיימים ובבנייני מגורים חדשים. התחזית מתייחסת למספר רמות לבקרת אקלים, כשהרמה הנראית ריאלית וסבירה הינה זו בה תשמר טמפרטורה מעל 17.5 מעלות בחורף ומתחת ל 25.5 מעלות בקיץ. נבדקו שלוש רמות של בניה מודעת אנרגיה. (א) רמה בה ינקטו רק האמצעים האלמנטריים (הצללת חלונות בעיקר) שתוריד צריכת האנרגיה בערך ב 16%, (ב) רמה בינונית שתתבסס על הצללה בקיץ והגברת קרינה סולרית בחורף שתביא לחסכון בשיעור של 24% ועד לרמה (ג) בה ינקטו מכלול אמצעים נרחב, דבר שיוריד צריכת האנרגיה ב 40%. צריכת האנרגיה לבקרת אקלים בהתאם לתרחישים אלו מוגשת בטבלה מס' 4.3. השפעת אמצעים מוצעים על פליטת CO₂ מוגשת בטבלה 4.4 ובצירוף 4.3. ניתן לראות כי טווח החסכון בפליטות CO₂ הינו בשיעור של עד 9 מיליון טון.

בדומה לאמצעי החסכון הפוטנציאליים במבני מגורים, יש מקום לאמצעים דומים במבני ציבור ובמבני עסקים. בנוסף לאמצעים שנדונו כאן, יש מקום למערכות קו-גנרציה ליצור חשמל ולניצול החום השאירי לחימום וקירור המבנה, כפי שנדון בפרק 3.

טבלא 4.2 : עלות פרמטרים טכנוניים ופוטנציאל חיסכון אנרגיה במבני מגורים. פרמטרים טכנוניים שאינם משפיעים על עלות בניה אינם כלולים בטבלא. הערכים המצויינים בטבלא מבוססים על *Shaviv and Capeluto, 1992* לבנין עם תקן בידוד לארבע פאות. מחירים מבוססים על פירסומי חשב 1996

פרמטר עיצוב	הר		מישור החוף		
	המחיר מבוסס על השינוי המתואר (ניתן ליישם שינויים אחרים)	עלות ש"ח/מ"ר	עלות/חיסכון ש"ח/קוטיש לשנה/מ"ר	עלות ש"ח/מ"ר	עלות/חיסכון ש"ח/קוטיש לשנה/מ"ר
אנרגיה סולרית פסיבית (חלון דרומי ותריס) הגדלת החלון והתריס מ - 5% ל - 20% והחלפת הפרופיל מקליל 1700 לקליל 7700	35	38.49	1.10	12	3.21
הצללת חלון (קיץ) כל החלונות ללא תריסים לעומת תריסים על כל החלונות	10	30.20	3.02	24	1.26
הצללת גג (צל כהה מתון) השינוי : גג עליון עשוי 8 מ"מ לוח בטון	4	(-)	הצללת גג (-)	5	1.26
איזור לילה - 20 חילופי אויר בלילה	15	10	0.67	10	1.0
איזור נוחות - 5 מאווררי תיקרה	10	15	105	15	1.0
איטום אויר והחלפת הפרופיל מקליל 1700 לקליל 7700	13	4.89	0.28	15	0.47
בידוד קיר - הוספת לוחות פוליסטירן באיזור ההר : 2.5 ס"מ / במישור : 2.0 ס"מ	18	7.7	0.43	13	0.51
בידוד גג - הוספת לוחות פוליסטירן באיזור ההר : 3.5 ס"מ / במישור : 3.0 ס"מ	15	6.6	0.44	10	0.44
בידוד ריצפה תלויה - הוספת לוחות פוליסטירן באיזור ההר : 3.0 ס"מ / במישור : 2.0 ס"מ	5	13.6	2.72	4	3.4

ש"ח=0.27\$US

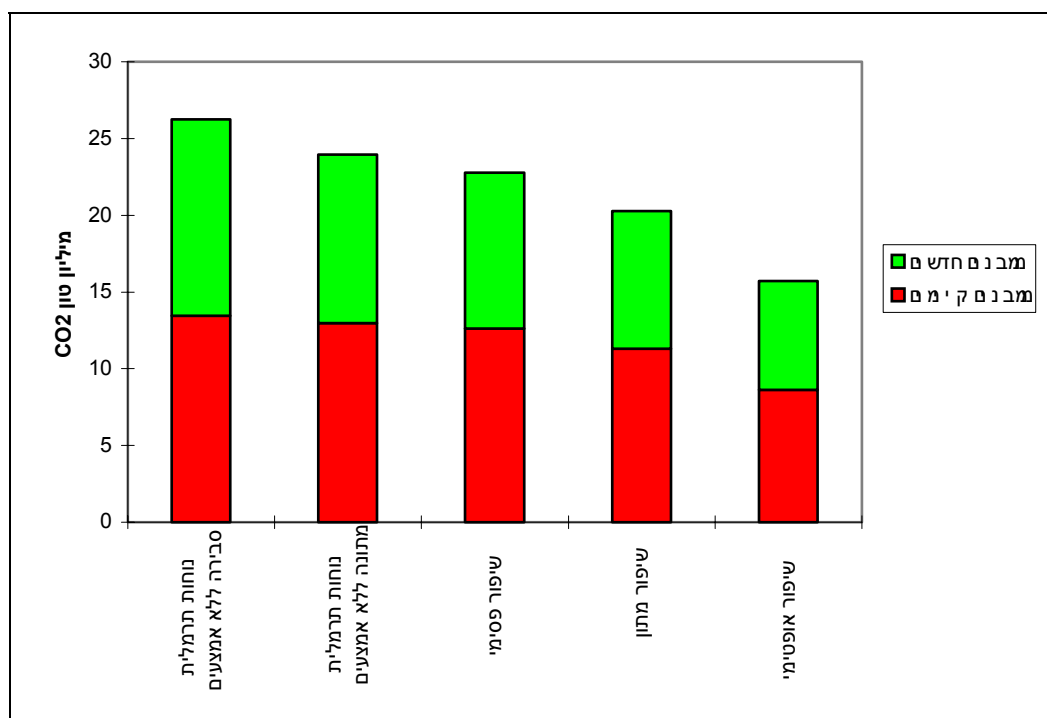
טבלא 4.3 : תרחישי צריכת חשמל ביתית לשנת 2020 בישראל. מוצגים חמישה תרחישים תחת שתי קטגוריות: "מבנים קיימים" מציג צריכת חשמל במבנים קיימים וכאלו שייבנו עד לשנת 2020 במתכונת הנוכחית של בניה בתוספת מספר שיפורים הנדונים בסעיף 4.4.1. "מבנים חדשים" מציג צריכת חשמל של המבנים הקיימים (במתכונת הישנה) ושל מבנים חדשים שייבנו עד לשנת 2020 לפי תקנים חדשים ומשופרים.

שנה	תרחיש	צריכת חשמל במבנים קיימים (מיליון קוו"ש/שנה)					צריכת חשמל במבנים חדשים (מיליון קוו"ש/שנה)				
		מבנים קיימים (שנת 2000) / מבנים חדשים (שנת 2020) (מיליון מ"ר)	נוחות תרמלית סבירה ללא אמצעים $Q_{reas} = 45$ (kWh/m ² /Y)	נוחות תרמלית מתונה ללא אמצעים $Q_{moderate} = 39$ (kWh/m ² /Y)	תרחיש שיפור פסימי $Q = 38$ (kWh/m ² /Y)	תרחיש שיפור מתון $Q = 34$ (kWh/m ² /Y)	תרחיש שיפור אופטימי $Q = 26$ (kWh/m ² /Y)	נוחות תרמלית סבירה ללא אמצעים $Q_{reas} = 40$ (kWh/m ² /Y)	נוחות תרמלית מתונה ללא אמצעים $Q_{moderate} = 34$ (kWh/m ² /Y)	תרחיש שיפור פסימי $Q = 29$ (kWh/m ² /Y)	תרחיש שיפור מתון $Q = 25$ (kWh/m ² /Y)
2000	200	9,000	7,800	7,600	6,800	5,200	9,000	7,800	7,600	6,800	5,200
2020	160	7,200	7,800	7,600	6,800	5,200	6,400	5,440	4,640	4,000	3,360
סה"כ	360	16,200	15,600	15,200	13,600	10,400	15,400	13,240	12,240	10,800	8,560

טבלא 4.4 : תרחישי פליטות CO2 למבני מגורים לשנת 2020 (מיליון טון)

תרחיש פליטת CO2	נוחות תרמלית סבירה ללא אמצעים	נוחות תרמלית מתונה ללא אמצעים	שיפור פסימי	שיפור מתון	שיפור אופטימי
ממבנים קיימים	13.45	12.95	12.62	11.29	8.63
ממבנים חדשים	12.78	10.99	10.16	8.96	7.10
סה"כ	26.23	23.94	22.78	20.25	15.73

ציור 4.3 : פוטנציאל הפחתה של פליטות במבני מגורים



אמצעים נדרשים.

I. תקנים לבניה מודעת אנרגיה.

- א.1. העלאת הדרישות לתקנים לחסכון באנרגיה במבנים.
- א.2. הכנסת דרישות נוספות לתקינה (כדוגמה – הכללת חלונות דרומיים).
- א.3. דרישה לבחינה אנרגטית לתכניות מבנים.
- א.4. הרחבת התקן למכלול מבנים רחב יותר.
- א.5. תו ירוק למבנים ולציוד חשמלי.

II. המלצות לתכנון.

- ב.1. תחיקה או המלצות לזכויות שמש למבנה.
- ב.2. תחיקה או המלצות לזכות לחשיפה לרוח לאורור נאות של המבנה.
- ב.3. תחיקה או המלצה לזכות לחשיפה לאור למבנה.

III. תמריצים כלכליים.

- ג.1. מרפסות שמש לא יכללו בשטח למיסוי המבנה.
- ג.2. הורדת מיסוי מחומרים ומוצרים להצללת מבנה, לאיטום ולבידוד.
- ג.3. עידוד ע"י הלוואות ומענקים לשיפוץ מבנים למבנים מודעי אנרגיה.
- ג.4. גביה עבור העלות הריאלית של החשמל.
- ג.5. תעריפי חשמל העולים עם הצריכה.

IV. מחקרים.

מחקרים לפיתוח תקנים, לתכנון עירוני מתאים ולפיתוח אמצעים כלכליים לעידוד בניה מודעת אנרגיה.

סיכום החלופות שהוצעו להקטנת פליטות גזי חממה במבנים

הערות	עלות	טכנולוגיה	הקטנת פליטה	אמצעי
	ללא השקעה	מבוסס על פיתוחים צפויים בעולם	הקפאת צריכת חשמל למרות גידול בשימוש	שיפורים בציוד חשמלי
<u>מומלצת תקינה והלוואות</u>	חסכון כספי	קיימת	הורדת צריכת החשמל לקירור וחימום ביותר מ 50%	קו-גנרציה במבני ציבור ומבנים עסקיים
<u>מחייב תקינה ועידוד</u>	השקעה של 0.5-3 ש"ח לחסכון של קוט"ש לשנה	קיימת, מחייבת התאמה ושכלול	הורדת פליטות בשיעור 20-40%, 9-4 מיליון טון CO ₂	בניה מודעת אנרגיה

5. מגזר התחבורה

צריכת הדלק לתחבורה בשנת 1996 היתה 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. מפרט נתונים על צריכת דלק לתחבורה ניתן בטבלאות 5.1 ו-5.2. תרומת רכב לפליטת CO₂ בשנת 1996 מוגשת בציור 5.1. פליטת גזי חממה ע"י התחבורה בשנת 1996 היתה למעלה מ-8 מיליון טון CO₂. התחזית לעליה בפליטת CO₂ מכלי רכב עד שנת 2020 מוגשת בציור מס' 5.2. נראה כי באם לא ינקטו אמצעי ריסון, תגדל פליטת CO₂ יותר מפי שניים.

טבלא 5.1 : צריכת דלק (בנזין) ופליטת CO₂ שנתית של סוגי רכבים שונים בישראל, 1996

סוג רכב	מספר כלי רכב	קילומטר אז' שנתי ממוצע	צריכת דלק ספציפית. ק"מוליטר	צריכת דלק שנתית. טון	פליטת CO ₂ שנתית. טון
מכוניות נוסעים	1,174,166	17,000	10.7	1,399,123	3,642,400
משאיות קלות	177,540	30,900	8.9	462,302	1,203,500
אופנועים	69,011	8,900	21.9	21,034	54,800
אחר				146,741	382,000
סה"כ				2,029,200	5,282,700

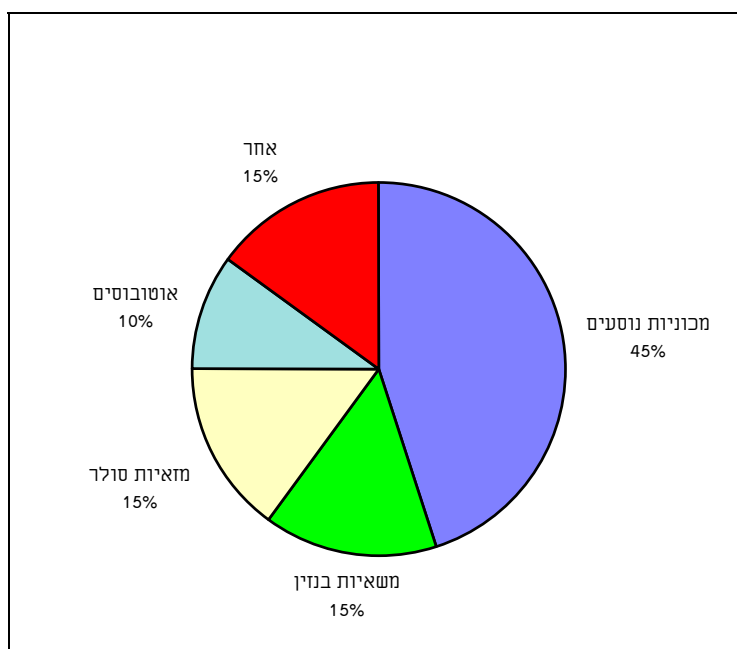
טבלא 5.2 : צריכת סולר ופליטת CO₂ שנתיים של כלי רכב שונים בישראל, 1996

סוג רכב	מספר כלי רכב	קילומטר אז' שנתי ממוצע	צריכת דלק ספציפית. ק"מוליטר	צריכת דלק שנתית. טון	פליטת CO ₂ שנתית. טון
משאיות	83,130	46,700	7.7	423,510	1,204,900
אוטובוסים	11,214	69,400	2.2	297,200	843,500
מוניות	10,000	94,500	9.6	82,690	234,700
אחרים				210,100	596,200
סה"כ				1,013,500	2,876,300

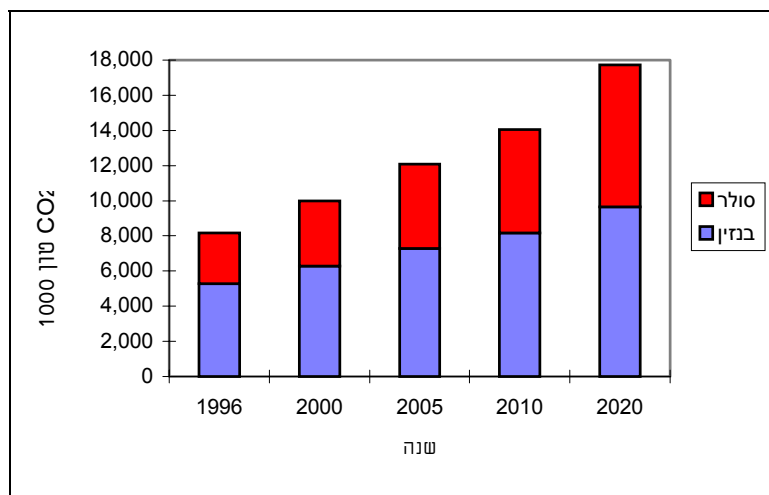
טבלא 5.3 : צריכת דלקים שנתית של כלי רכב בישראל 1992 - 1996

שנה	1992	1993	1994	1995	1996
בנוין (טון)	1,598,400	1,719,900	1,834,300	1,970,200	2,029,200
סולר (טון)	712,900	762,600	828,100	933,700	1,013,500

סך כל פליטות CO₂ מכלי רכב בישראל היו 8,159,000 טון. מכוניות נוסעים תרמו 45% מסך הפליטות בעוד שמשאיות היו אחראיות ל - 30% (ציור 5.1).
 ציור 5.1 : תרומת קטגוריות כלי רכב לפליטות CO₂, 1996.



ציור 5.2 : תחזית פליטת CO₂ לפי סוג דלק



5.1 אמצעים להקטנת פליטת גזי חממה.

I. אמצעים טכניים.

האמצעים הטכניים מיועדים ליעל את פעולת הרכב ולהקטין פליטת גזי חממה, להחליף דלקים ולהקטין פליטת גזי חממה פרט ל CO₂.
א.1. אמצעים ליעול פעולת כלי הרכב כוללים בין השאר:

- הקטנת משקל הרכב והמנוע.
 - שיפור מערכות בקרה ממוחשבת על פעולת הרכב.
 - שיפור המנוע, כולל הזרקה ישירה של דלק למנועי בנזין ודיזל, שיפור בפעולת שסתומים ועוד.
 - שיפור במבנה הרכב להקטנת מקדם החיכוך.
 - שיפור במערכות מיזוג האוויר ברכב.
- הן בארה"ב והן באירופה עוסקת תעשיית הרכב במאמצים לשיפור כלי הרכב, ויש להניח כי הפיתוחים מחו"ל יגיעו לארץ. יש לזכור כי בגלל אורך חיי הרכב מגיעים פיתוחים לישום בשטח אחרי כ 10 שנים לרכב פרטי ויותר מכך לרכב כבד.
התחזית לשיפור ביעילות הרכב הינה לירידת צריכת האנרגיה בשיעור של 20%-25 ב 2005. חברות הרכב בארה"ב מתכננות יצור רכב פרטי בשנת 2004 שצריכת הדלק שלו תהיה 32 ק"מ לליטר.

א.2. שימוש בדלקים חלופיים.

- נידונה האפשרות להשתמש בגז למינור.
- שימוש בכוהלים – מתאנול ואתאנול.
- שימוש בביוגז.
- שימוש במימן.
- שימוש ברכב מונע חשמל.

בשל האחידות באמצעי תחבורה ציבורית אנו מציגים בקצרה את כמות CO₂ שניתן להפחית מאוטובוסים במעבר מסולר לגפ"מ. חשוב לציין כי בשל מיעוט מקורות ספרות העוסקים בנושא זה יש להתייחס לנתונים המוצגים בזהירות. החישובים מראים כי במעבר של אוטובוסים מסולר לגפ"מ ניתן להפחית את כמות CO₂ הנפלטת ב - 20% בעלות נמוכה: עלות אוטובוס חדש מונע בגפ"מ היא \$US 170,000, כ - 10% יותר מעלות אוטובוס מונע בסולר. כלומר עלות אוטובוס מונע בגפ"מ הינה כ - \$US 17,000 יותר מאוטובוס דיזל חדש.

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

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

א.3. אמצעים טכניים להקטנת פליטת גזי חממה פרט ל CO₂.

- הקטנת דליפת גז ממערכת מיזוג האויר ברכב.
- פיתוח מתמרים קטליטיים שאינם יוצרים N₂O.

יש להניח כי סדרת האמצעים הטכניים יפותחו בחו"ל ויכללו ברכב שייבא לארץ.

I. מערכות בקרת תעבורה.

מערכות בקרת תעבורה מיועדות ליעדים הבאים:

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

רשימה של אמצעי בקרת תעבורה שונים שנוסו והוצעו בעולם מוגשת בטבלה 5.9. כן מוגשת בטבלה הערכה ליעילות פוטנציאלית של כל אחד מהאמצעים. יש להדגיש כי אין בעולם מודל כמותי אמין לקביעת יעילות האמצעים השונים ולכן המספרים המוגשים בטבלה הינם הערכה בלבד.

טבלא 5.4 : אמצעים עיקריים לניהול תחבורה והאפקט הפוטנציאלי שלהם

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

סיכום החלופות שהוצעו להקטנת פליטות גזי חממה במגזר התחבורה.

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

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

6. המגזר החקלאי.

הפעילות החקלאית מביאה לפליטת גזי חממה שונים ומאידך מביאה לקליטה של דו תחמוצת הפחמן ע"י הצמחים.

קליטת דו-תחמוצת הפחמן ע"י הצמחים הינה בשיעור ממוצע של כ 1.33 טון לדונם. כלל השטח הראוי לעיבוד בישראל הינו בשיעור של קרוב ל 4 מיליון דונם. הקטנת השטח המעובד ב 10% משמעותה עליה בפליטה של כחצי מיליון טון CO₂ לשנה. כמובן שעליה בעיבוד משמעותה הפוכה.

גורם נוסף המשפיע על מאזן CO₂ הינו הגדלה או הקטנה של אוגר הפחמן בקרקע. ניתן להגדיל האוגר ע"י מעבר לשיטת עיבוד של אי-פליחה או מינימום עיבודי קרקע. העברת רבע מהשטח החקלאי לשיטת עיבוד חדשה זו משמעותו הקטנה של כ 2 מיליון טון CO₂ באויר. יש להדגיש כי מדובר בשיפור חד פעמי ולא בפעולה מתמשכת.

החקלאות צורכת אנרגיה ופולטת CO₂. הכמות אינה גדולה יחסית לסקטורים אחרים.

מתאן, גז בעל פוטנציאל זיהום רב כגז חממה, נפלט ע"י משק בעלי החיים, אם כפליטת גאזים ממעלי גירה או כפליטה משנית מזבל בע"ח שאינו מעובד כראוי בתנאי אורור. המתאן הנפלט הינו שוה ערך לכ 0.8 מיליון טון CO₂. ניתן להקטין את היקף הבעיה במידה נכרת ע"י האבסה של מזון המקטין פליטות וע"י טיפול הולם בזבל בע"ח.

גז נוסף, N₂O, נפלט מהקרקע ביחס ישר, בקירוב, לכמות הדשן והזבל הניתנים לקרקע. הכמות השנתית הנפלטת שוות ערך ל 0.4 מיליון טון CO₂. ניתן להקטין פליטה ע"י בקרת רמת הדישון, שימוש בדשנים לשחרור איטי ואיזון בשימוש בזבלים.

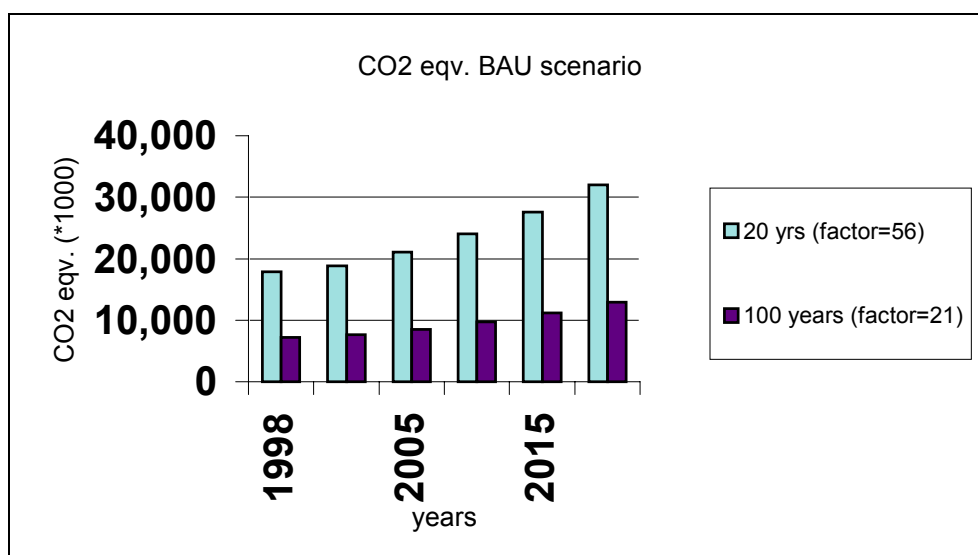
סיכום החלופות שהוצעו להקטנת פליטות גזי חממה במגזר החקלאות

יתרונות נוספים	שזה ערך CO ₂ מליון טון לשנה	השפעה על פליטה	אמצעי
מטרות לאומיות נוספות: שטח ירוק, שמירת קרקע ועוד	פחות 0.5	הפחתה ב-0.5 מיליון טון	הגדלת שטח מעובד ב-10%
	הגברה ב-0.5	הגברת מאזן פליטה בחצי מיליון טון	הקטנת שטח מעובד ב-10%
חסכון כספי לחקלאי.	2, במהלך 10 שנים (חד פעמי)	הפחתה בשני מיליון טון (במהלך 10 שנים)	עיבוד ללא פליחה ב-25% מהשטח החקלאי
	הפחתת 0.2	הפחתה של פליטת 8000 טון מתאן	הזנה משופרת למעלי גירה
זבלים משופרים. פחות ריחות	הפחתה, 0.1	הפחתה של כ-2500 טון מתאן	שיפור הטיפול בזבלי בע"ח
הקטנה של זיהום מים.	הפחתה, 0.4	הפחתה, 1200 טון N ₂ O	שיפור בדשנים ומשטר דישון

7. פסולת מוצקה וביוב.

פסולת מוצקה המוטמנת באתרי סילוק פסולת עוברת תהליכי תסיסה ויוצרת מתאן, גז אשר פוטנציאל החממה שלו גבוה פי 21-56 מזה של דו תחמוצת הפחמן. (כאמור בפתיחה, נלקח בחשבון הערך הנמוך של פי 21 לטווח זמן של 100 שנה). פוטנציאל יצירת מתאן של האשפה בארץ היה ב 1996, בהתאם להנחות זהירות המתבססות על חישובים של IPCC, שוה ערך ל 7.8 מיליון טון CO₂, היינו כ 12% מכלל פליטות גזי החממה בארץ. בציור מס 7.1 מוגשת התחזית ליצירת גזי חממה ע"י האשפה, בתרחיש לפיו נמשיך לזרוק 90% מהאשפה למטמנות ולפיו הגידול בכמות האשפה יהיה דומה לגידול באוכלוסיה.

ציור 7.1: תחזית פליטות אקוויוולנט CO₂ בתרחיש "עסקים כרגיל"



גורם נוסף היוצר מתאן הינו בוצת הביוב. בתהליך הטיפול בביוב נוצרת שארית מוצקה בכמות של 35-40 גרם לנפש ליום (14.5 ק"ג לשנה). לאוכלוסיה של 6 מיליון תושבים נוצרת כמות של 87,000 טון בוצה (כחומר יבש). בתהליכי תסיסה אנארובית יוצרו כ 58,000 טון מתאן, האקוויוולנטים ל 1.2 מיליון טון דו תחמוצת הפחמן. הן הבעיות והן הפתרונות לגבי הבוצה דומים מאד לאלו הקשורים לאשפה וסך פוטנציאל ייצור מתן מהפסולת המוצקה ומבוצת הביוב מגיעים ל 9 מיליון טון אקוויוולנטים פחמן דו חמצני.

7.1 אמצעים להקטנת הפליטות.

בטבלה מס' 7.1 מוגשים האמצעים השונים להקטנת הפליטות, למעשה אמצעים לפליטה של

טבלא 7.1 : אמצעים להפחתת פליטות גזי חממה מפסולת מוצקה

פליטות גזי חממה, שיקולים והנחות (=+ גידול בפליטות, -= הפחתה בפליטות)	אלטרנטיבה
25% מכלל גזי חממה בישראל 1996 (כאשר פקטור CH ₄ הוא 56 שנים ן - 12% כאשר פקטור הוא 21 שנים) - זיכוי עבור קשירת פחמן לטווח זמן ארוך במטמנה + כתוצאה מתחבורה למטמנה	הטמנה ללא טיפול בגז המתאן
CH ₄ הופך ל - CO ₂ . סך פליטות מהוות רק 3% מכלל פליטות גזי חממה ב - 1996. - זיכוי עבור קשירת פחמן לטווח זמן ארוך במטמנה + כתוצאה מתחבורה למטמנה	הטמנה עם שריפת גז המתאן (הנחה: יעילות מבער 100%)
<ul style="list-style-type: none"> • CH₄ הופך ל - CO₂. סך פליטות מהוות רק 3% מכלל פליטות גזי חממה ב - 1996 • מניעת פליטה ממקורות ייצור אנרגיה קונבנציונליים (לפי DOE 1993 טון פסולת מחליפה צורך בייצור 80 קילוואט שעה) - זיכוי עבור קשירת פחמן לטווח זמן ארוך במטמנה + כתוצאה מתחבורה למטמנה 	הטמנה עם השבת אנרגיה מגז המתאן (הנחה יעילות 100%)
CH ₄ הופך ל - CO ₂ . סך פליטות מהוות רק 3% מכלל פליטות גזי חממה ב - 1996 + פליטות Nox + כתוצאה מתחבורה למפעל שריפת אשפה	שריפה ללא השבת אנרגיה
CH ₄ הופך ל - CO ₂ . סך פליטות מהוות רק 3% מכלל פליטות גזי חממה ב - 1996 מניעת פליטה ממקורות ייצור אנרגיה קונבנציונליים (לפי אנוש 1996 טון אשפה מחליף צורך בייצור 468 קילוואט שעה) + פליטות Nox + כתוצאה מתחבורה למפעל שריפת אשפה	שריפה עם השבת אנרגיה
הפחתה בצריכת אנרגיה בייצור מוצרים (לעומת ייצור מחומרי גלם) - מיחזור נייר מגדיל קשירת פחמן ביערות + כתוצאה מתחבורה למפעל המיחזור	מיחזור
- CH ₄ הופך ל - CO ₂ . סך פליטות מהוות רק 3% מכלל פליטות גזי חממה ב - 1996 - גידול בקשירת פחמן בקרקע - גידול בכמות פחמן קשור (טון אחד חומר יבש שווה 2 טון CO ₂) + כתוצאה מתחבורה למפעל קומפוסטציה + פליטות מכשירי קומפוסטציה	קומפוסטציה אירובית
- CH ₄ הופך ל - CO ₂ . סך פליטות מהוות רק 3% מכלל פליטות גזי חממה ב - 1996 - מניעת פליטה ממקורות ייצור אנרגיה קונבנציונליים (לפי לאדוס 1997 טון אשפה מחליפה צורך בייצור 173 קילוואט שעה) - גידול בכמות פחמן קשור (טון אחד חומר יבש שווה 2 טון CO ₂) + כתוצאה מתחבורה למפעל	קומפוסטציה אנאירובית (עיכול אנאירובי)
- הפחתה בצריכת אנרגיה כתוצאה מהפחתת ייצור - הפחתה בפליטות מתהליכים - הפחתה בצריכת מוצרי עץ ונייר ולכן גידול בקשירת פחמן - הפחתה בפליטות מתחבורה	הפחתה במקור

האמצעים הינם :

- I. שאיבת מתאן ממטמנות. בטבלה 7.1 הנחנו הנחה מאוד אופטימית ולא ריאלית ליעילות הפקת מתאן של 100%. הנחה ריאלית יותר תהיה הפקה של 50% מהמתאן. ניתן לשרוף את המתאן ללא הפקת אנרגיה או להפעיל תחנת כח.
- II. שריפה של האשפה. בתהליך שריפת האשפה הופך הפחמן האורגני ל CO₂ ולא למתאן.
- III. קומפוסטציה אירובית של האשפה. גם בתהליך זה, כשהוא מבוצע בצורה נכונה, הופך כל הפחמן האורגני לדו תחמוצת הפחמן.
- IV. תסיסה אנאירובית. הפיכת המסה הביולוגית שבאשפה לביוגז. מהביוגז ניתן להפיק אנרגיה.
- V. מיחזור, הקטנת כמות אשפה וכו'.

עלות הפתרונות השונים מובאת בטבלה מס' 7.2.

טבלא 7.2: הערכת עלויות להפחתת פליטות גזי חממה מפסולת מוצקה

אלטרנטיבה	השקעה במפעל (10 ⁶ \$)	גודל מפעל (טון/ליום)	סך כל ההשקעה (10 ⁶ \$)	עלות הפחתה (טון/\$) אקוויוולנט (CO ₂ ט)	החזר על השקעה בלבד (טון/\$) אקוויוולנט (CO ₂ ט (15 שנה)
הטמנה עם מבער לטיפול בגז	2	400	14	10 (3)	0.65 (0.21)
הטמנה עם השבת אנרגיה של גז	5	400	34	24 (8)	1.62 (0.52)
קומפוסטציה אירובית	1	250	11	8 (3)	0.52 (0.17)
תסיסה אנאירובית	10	500	60	39 (13)	2.59 (0.9)
שריפה	50	500	274	195 (63)	12.98 (4.18)

נראה כי הפתרון הזול ביותר להפחתת פליטת גזי החממה הינו הקומפוסטציה (8 דולר להפחתה של טון CO₂) ואילו שריפה הינה הפתרון היקר ביותר (195 דולר להפחתה של טון CO₂).

כאמור, פתרונות אלה יהיו ישימים גם לטיפול בבוצות ביוב. העלויות ייגזרו מגודל המתקנים ומאפשרויות שילוב בין שני סוגי הפסולת הנ"ל.

8. העלות הכלכלית של צמצום גזי חממה: המשק הישראלי

מטרת הניתוח הכלכלי היא לבנות את פונקציית העלות השולית של הפחתת גזי חממה במשק הישראלי, בהתאם לתרחישים שונים. פונקציה כזו אמורה לייצג את העלות המינימלית להשגת יעדי הפחתה שונים. אם קיימים נתונים ברמה מפורטת דייה, הניתוח הכלכלי יכול גם להצביע על הסדר הרציונלי הרצוי של הפחתה, מהסקטור או הטכנולוגיה הזולים ביותר ועד ליקרים ביותר.

בניתוח הכלכלי אימצנו את גישת ה-**top-down**, המתבססת על מודל **מקרו-כלכלי** של המשק, כלומר על יחסים המתארים את המערכת הכלכלית בצורה מיצרפית. זאת, בניגוד לגישת ה-**bottom-up**, המתבססת על הצגה **מיקרו-כלכלית**, פרטנית, של הסקטורים השונים, יחסי הייצור והתפוקה המאפיינים אותם, והשווקים של היצע וביקוש לתפוקות הסקטורים השונים. שתי הגישות מקובלות בספרות הכלכלית בנושא גזי החממה, אולם הבחירה שלנו נבעה מכך שעדיין אין ברשותנו נתונים כלכליים מפורטים דיים מהסקטורים השונים שנסקרו ע"י צוותי המחקר אשר היו מאפשרים שימוש בגישה השנייה. להשלמת וביסוס הניתוח הכלכלי, יהיה צורך במחקרים עוקבים אשר בעזרתם ניתן יהיה להשלים את המודל בגישה השנייה, המפורטת, ולבחון ביתר עומק את תרחישים חלופיים.

הניתוח הכלכלי מניח ששנת הבסיס היא 1996 ותאריך היעד שנת 2010. בבסיס הניתוח מודל כלכלי דינאמי המבוסס על פונקציית הפחתה (abatement cost function), פונקציית צמיחה כלכלית ופונקציית צריכת אנרגיה הלקוחות מהספרות העולמית בנושא, עם התאמה למשק הישראלי באמצעות ספציפיקציה של פרמטרים מאפיינים מקומיים. הרצת המודל בנתונים המקומיים מניבה את העלות הכוללת, הממוצעת והשולית של הפחתה על-פני 15 שנה עד לתאריך היעד.

הבדיקה הנוכחית בחנה שני תרחישים המייצגים **בקרוּב** את פרוטוקול קיוטו (ניתן כמובן להריץ את המודל תחת תרחישים חלופיים):

תרחיש 1 המניח עמידה בהתחייבות של המדינות מפותחות (Annex B), קרי הפחתה לרמת פליטות של גזי חממה של 1990.

תרחיש 2 המאמץ את הגישה מחמירה פחות של convergence scenario לגבי מדינות מתפתחות, קרי הפחתה לרמת הפליטות לנפש של גזי חממה בשנת בסיס כלשהי (גם כאן הנחנו שזו שנת 1990). ניתן להצדיק תרחיש זה בגלל שיעור הצמיחה הגבוה באופן

יוצא-מן-הכלל שאפיין את המשק הישראלי במחצית הראשונה של שנות ה-90, במיוחד עקב העלייה ממדינות חבר העמים, שעור שמשמעותו היקף הפחתה עמוק יותר ממדינות מפותחות אחרות בהן לא התרחשו תהליכים כאלו.

תוצאות הניתוח הכלכלי מצביעות על מחיר גבוה במיוחד שיצטרך לשלם המשק הישראלי תחת תרחיש 1, המתקרב לשיעור של 6.3% מהתל"ג בשנת היעד, אלא אם כן יינקטו צעדים מתאימים לשימור אנרגיה, יישום מערכת מחירים ריאליים לאנרגיה, ואימוץ טכנולוגיות חלופיות. אולם גם אם יינקטו צעדים כאלו, ייתכן ולא יהיה מנוס מהעלאה מתואמת ומושכלת של מחירי האנרגיה (באמצעות מס פחמן, לדוגמא) בכדי לעמוד בהתחייבויות המדינה תחת פרוטוקול קיוטו. ברור שתחת תרחיש 2 העלות למשק נמוכה בהרבה, ותגיע רק ל-0.18% מהתל"ג בשנת היעד. ברם, גם תחת תרחיש זה אם אכן יתקבל ע"י הקהילייה הבינלאומית - יהיה צורך בנקיטת צעדי מדיניות מתאימים. יש לשער שהמחיר האמיתי מצוי בטווח בין שני המספרים, אולם לשם כך יהיה צורך בבדיקה פרטנית ומעמיקה, כפי שצוין לעיל.

הניתוח הכלכלי בדק גם את האפשרות שיוטל מס פחמן בכדי להגיע ליעדי ההפחתה בתרחישים השונים. מס "ירוק" זה יוצר זרם הכנסות משמעותי לממשלה, אשר ניתן באמצעותו להפחית מיסים אחרים במשק, יעילים אולי פחות (כמו מיסים על עבודה או הון), ולהניב - בהנחות מסוימות - את מה שקרוי בספרות "דיווידנד כפול", כלומר תוספת רווחה לציבור כתוצאה מהחלפת מס יעיל יותר (המס הירוק) במס פחות יעיל.

1. Amann C., The scotch for better passenger car fuel economy: a critical look. Part 1. Automotive Engineering, February 1998.
2. Apogee Research Inc., 1994. Cost and Effectiveness of Transportation Control Measures, A Review and Analysis of the Literature, Prepared for the National Association of Regional Councils, Washington, D.C.
3. Backer & Pacuk, 1990. "The influence of structural factors on the efficiency of use of energy in different heating patterns. " (in Hebrew). The National Institute for Construction Research, the Ministry of Energy and Infrastructures, the Department of Research and Development.
4. Bank Hapoalim (1998). "Economic Overview". Vol. 106.
5. Bovenberg, L. and R. de Mooji (1994). "Environmental Levies and Distortionary Taxation." *American Economic Review*, 84(4): 1085-1089.
6. Brandberg A., Ekelund M., Johansson A. and Roth A., The life of fuels: motor fuels from source to end use. Ecotraffic AB, Stockholm, March 1992.
7. Cambridge Systematics Inc., 1983. The Cost-Effectiveness of Transportation Measures to Improve Air Quality, Prepared for the U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
8. Cambridge Systematics, 1997. Changes in Air Quality and Transportation Associated with the 1996 Atlanta Summer Olympics. Draft report of NCHRP Project 8-33 prepared for the National Cooperative Highway Research Program.
9. Cambridge Systematics, Inc., 1997b An Analytical Framework for the Evaluation of Air Quality Transportation Control Strategies. Prepared for the National cooperative Highway Research Program.
10. Central Bureau of Statistics (1998). *Statistical Abstract 1997*. Jerusalem, Israel.
11. Cervero R., and R. Gorham (1995). The Transportation Land Use Connection Still Matters. Access. No. 7. Fall.
12. Chichilnisky G., and G. Heal (1993). "Global Environmental Risks." *Journal of Economic Perspectives*, 7(4): 65-86.
13. Cline, W.R. (1992). "The Economic Benefits of Limiting Global Warming." In the Economics of Global Warming. Institute for International Economics, Washington, DC
14. Commission of the European Communities, COM(1998) 348 Final, 98/0202(SYN), June 1998.

15. A proposal of Council decision: establishing a scheme to monitor the average specific emissions of carbon dioxide from new passenger cars.
16. Comsis Corp, et al. (1993). Implementing Effective TDM Programs. Prepared for the Deaking E., G. Harvey, and D. Reinke (1993) Transportation-Air Quality Planning: Current and Future Analysis Needs. Prepared for the United States Environmental Protection Agency, Region IX.
17. de Larcos H. F., Debois S., Stinmuller C., 1997. Anaerobic Digestion of source sorted waste: results of Valgora full - scale plant in Tilburg (NL). In ORBIT 97 edited by E. Stentiford. p. 25 - 28.
18. Ekins, P. "How Large a Carbon Tax is Justified by the Secondary Benefits of CO₂ Abatement?" *Resource and Environmental Economics*, 18: 161-187.
19. Electric Power Research Institute (EPRI) (1994). "Economic Impacts of Carbon Taxes: Detailed Results." EPRI TR-104430-V2.
20. Enosh - Externalities of waste management. Working paper submitted to the Ministry of Environment, 1996.
21. EPA, 1997. DOE report - Externalities. Energy Project LFG utilization software (E - PLUS). EPA # 430-B97-006. www.epa.gov/globalwarming.
22. EPA, 1997. Feasibility assessment for gas - to - energy at selected landfills in Sao Paulo, Brazil. EPA # 68-W6-0004.
23. European Conference of Ministers of Transport (ECMT), 1997. CO₂ emissions from transport.
24. Federal Highway Administration and the Federal Transit Administration, US DOT Report No. DOT-T-94-02.
25. Envair with Cambridge Systematics (1998) Relationships Among Implemented Transportation Control Measures, Emissions, and Measured Pollutant Levels
26. NCHRP 8-33 Research Results Digest No. 217, July 1997
27. EPA, 1997. Feasibility assessment for gas-to-energy at selected landfills in Sao Paulo, Brazil. EPA # 68-W6-0004.
28. EPA, 1997. Energy Project LFG utilization software (E-PLUS). EPA # 430-B97-006.
29. Goulder, L.H. and K. Mathai (1998). "Optimal CO₂ Abatement in the Presence of Induced Technological Change." Working paper 6494, NBER, Cambridge, Massachusetts.

30. Harvey G., and E. Deaking (1993) A Manual of Regional Transportation Modeling Practice for Air Quality Analysis. Report for the National Association of Regional Councils.
31. Heshev, 1998. "Price Database for the Construction Industry - April 1988". Heshev Publications.
32. Hoel, M. (1994). "Efficient Climate Policy in the Presence of Free Riders." *Journal of Environmental Economics and Management*, 27(3): 259-274.
33. IPCC, 1995b: *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Emission Inventories*. Three volumes: Reference Manual, Reporting Guidelines and Workbook. UNEP/OECD/IEA/IPCC. IPCC WGI Technical Support Unit, Hadley Center, Meteorological Office Bracknell, UK.
34. IPCC 1996a: *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
35. Israel Central Bureau of Statistics, July 1997, Survey of mileage 1996 in Israel, a summary of statistical data of recent surveys, No. 21.
36. Israel Central Bureau of Statistics, 1997, Quarterly of transportation statistics, Vol. 2.
37. Israel Central Bureau of Statistics 1997, Motor vehicles in Israel, registration status for 31 Dec. 1996, pub. No. 1065.
38. Knapp, K.K., K.S. Rao, J.A. Crawford, and R.A. Krammes. (1995). The Evaluation and Monitoring of Transportation Control Measures. Final Report for the Federal Highway Administration prepared by the Texas Transportation Institute.
39. Koch J. and Dayan U., December 1997. Inventory of emissions and removals of greenhouse gases in Israel Part A: Carbon dioxide and methane, Soreq Nuclear Research Center
40. Koch J., July 1988. The inventory of nitrous oxide (N₂O) emissions in Israel.
41. Lind R.C. (1995). "Intergenerational Equity, Discounting and the Role of Cost-Benefit Analysis in Evaluating Global Climate Policy." *Energy Policy*, 23(4/5): 379-389.
42. Mann, A. and R. Richels (1997). "Toward the Stabilization of CO₂ Concentrations: Cost-Effective Emission Reduction Strategies." Working paper, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA.

43. Marshall S. and Banister D., "Travel Reduction Strategies: Intentions and Outcomes." Pre-Prints of the 8th Meeting of the International Association for Travel Behavior Research, Workshop on Response to New Transport Alternatives and Policies, Austin, Texas, September, 1997.
44. Mendelshon, R., W.D. Nordhaus and D. Shaw (1994). "The Impact of Global warming on Agriculture: A Ricardian Analysis." *American Economic Review*, 84(4): 753-771.
45. Noham R., 1995. M.Sc. Thesis: "The Influence of Different Design Parameters on the Thermal Performance of Residential Buildings In Lower Inland In Israel" (in Hebrew). Supervision: Prof. Edna Shaviv
46. Paustian, K. Andren, O., Janzen H.H., Lal R., Smith P., Tian g., Tiessen H., Van Noordwijk M., & Woomer P.L., 1977. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil use & Management*, 13:230-244
47. Poterba J.M. (1991). "Tax Policy to Combat Global Warming: On Designing a Carbon Tax." In Durenbush R. and J.M. Poterba (eds.): *Global Warming: Economic Policy Responses*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
48. Reinhorn, T. & Y. Avnimelech. 1974. Nitrogen release associated with the decrease in soil organic matter in newly cultivated soils. *J. Environ. Quality*, 3:118-121
49. Rosenzweig C., and M. L. Parry (1994). "Potential Impact of Climate Change on World Food Supply." *Nature*, 367 (Jan.): 133-138.
50. Saleh W.S., J.D. Nelson, and M.G.H. Bell. (1998) "Determinants of Energy Consumption: Examination of Alternative Transport Policies Using the TEMIS Program" *Transportation Research Part D*, Vol 3, No. 2
51. Schelling T.C. (1992). "Some Economics of Global Warming." *American Economic Review*, 82(1): 1-14.
52. Schodl Hans, Wiener Stadtwerke – Verkehrsbetriebe. *Autobusbetrieb mit Flüssiggas*
53. Shaviv E., I.G. Capeluto, 1992. "Climatic and Energy Conscious Design Guidelines for Residential Buildings - in Temperate-Cool and Hot-Humid Mediterranean Climate". (in Hebrew). Sponsored by the State of Israel, Ministry of Construction and Housing. Contract no. 022-474). Technion Research & Development Foundation Ltd., Haifa. Publishing: Aked, Shmuel Neaman Institute for Advanced Studies in Science and Technology.

54. Shaviv E., A. Yezioro, I.G. Capeluto, 1998. "Climatic and Energy Aspects of Urban Design in Hot-Humid Region of Israel". Part 2: Principles for Climatic and Energy Conscious Urban Design and recommendations for the Urban block and street. (in Hebrew). Sponsored by the Ministry of National Infrastructures. Contract no. 96-8-29/96-11-016. Rd-33-97. Technion Research & Development Foundation Ltd., No. 022-632, Sponsored by the Ministry of Infrastructures.
55. Shiftan Y, Suhrbier J, and Pickrell D. (1996) "Transportation Perspective of Ozone Trends in Clean Air Act Nonattainment Areas" Transportation Research Record, No. 1520, 1996.
56. Shiftan Y. & Suhrbier J. "Transportation Control Measures as a Means to Improve Air Quality, Reduce Congestion, and Improve Safety". Proceeding of The Fourth International Conference on Safety and the Environment in the 21st Century, Tel-Aviv, Israel, November, 1997
57. Shiftan Y. (1998) "The Effects of Parking Pricing and Supply on Travel Patterns to a Major Business District" Paper presented at the NECTAR EUROCONFERENCE No. 4 - Shefayim, Israel, April, 1998.
58. System Application International, 1991. Estimating Travel and Emission Effects on TCMs. Prepared for the U.S. Environmental Protection Agency, Office of Mobile Sources.
59. Tartakovsky L., Kirzhner Y., Metchnikov M., Gutman M. and Zvirin Y., Effects of detergent additives on performance of bus engines. Progress Report, Project 034-027 sponsored by Egged, Faculty of Mech. Eng., Technion, June 1995.
60. Tartakovsky L., Gutman M., Dayan Y, and Zvirin Y., A survey of airconditioning systems for electric vehicles and preliminary plan for experiments of an EV with zinc - air batteries. Progress Report, Project 6034-22 sponsored by the Israel Electric Corp., Faculty of . Eng., Technion, July 1996.
61. Tartakovsky L., Gutman M., Zvirin Y., Golgotiu E., Aleinikov Y. and Serry A., Estimate of emission coefficients of motor vehicles in Israel. Report No, 97-246, Transportation Research Inst., Technion, June 1997.
62. Tartakovsky L., Gutman M., Zvirin Y., Aleinikov Y., Serry A. and Golgotiu E., Influence of urban driving conditions on on-road exhaust emissions and fuel consumption of gasoline cars. Paper 97EN036, presented at the 30-th ISATA, June 1997.
63. Tartakovsky L., Gutman M., Zvirin Y. and Kutick D., Summary and analysis of data on electric and hybrid vehicles (state of art review). Project for the Israeli Ministry of Infrastructures, March 1998.

64. Technology opportunities to reduce U.S. greenhouse gas emissions. Prepared by National Laboratory directors for the U.S. Department of Energy, October 1997.
65. Thermie Programme Action No. T85. IDEA Report, Spain. Clean Fuels for Urban Public Transport: LPG and CNG.
66. TRB 1994. Special Report 242: Curbing Gridlock: Peak-Period Fees to Relieve Traffic Congestion, VOL. 1. National Research Council, Washington, DC.
67. TRB 1997. Special Report 251: Toward a Sustainable Future: Addressing the long-Term Effects of Motor Vehicle Transportation on Climate and Ecology. National Research Council, Washington, DC.
68. Tur-Reumi H., 1997. M.Sc. Thesis: "The Influence of Different Design Parameters on the Thermal Performance of Residential Buildings in the Hot Climate of Israel" (in Hebrew). Supervision: Prof. Edna Shaviv
69. Van Wee G.P., K. Van Velze & H.C. Herens "Traffic and Local Air Pollution: A Forecasting Method Applied to the Netherlands" Proceedings of the Van Het Symposium, October 1996, Amsterdam.
70. Watson R. T., Zinyowera M. C. and Moss R. H. (eds.), Technologies, policies and measures for mitigating climate change. IPCC Technical Paper 1, November 1996.
71. Weyant, J.P. (1993). "Costs of Reducing Global Carbon Emissions." *Journal of Economic Perspective*, 7(4): 27-46.