

הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית
קריית הטכניון

פיתוח בר-קיימא של אנרגיה בישראל

הוכן עבור מוסד ש. נאמן במסגרת פרויקט סדרי עדיפות לאומית בתחום איכות הסביבה

פרופסור אמריטוס דן זסלבסקי

יולי, 2004

תוכן עניינים

5	תקציר
7	מבוא
9	פרק 1 – משק האנרגיה בישראל
12	פרק 2 : העלויות החברתיות החיצוניות של שימוש בדלקים עקב פגיעה בסביבה
12	2.1 עלות חיצונית
14	2.2 המשמעות של הפנמת העלות החברתית החיצונית
17	2.3 העיקרון של פיתוח בר-קיימא
19	2.4 ההשקעות המותרות באנרגיה חלופית
20	2.5 פרוטוקול קיוטו וההתייחסות בישראל
25	פרק 3 : נתוני אנרגיה ועלויות סבסוד
25	3.1 סבסוד חשמל
26	3.2 סיכום ההשקעות המותרות במקורות אנרגיה מתחדשים ונקיים לייצור חשמל
27	3.3 חוסר כדאיות של אגירה שאובה וכדאיות של חסכון באנרגיה
28	3.4 הערכת מחיר ההסתגלות להגבלות פליטה של גזי חממה
29	3.5 המודלים הכלכליים ושיקולים שמעבר להם
32	3.6 סיכום נקודות למדיניות פיתוח משק אנרגיה בר-קיימא
33	פרק 4 : יישום החיסכון באנרגיה וניהול הצריכה
33	4.1 עיקרי הדברים
35	4.2 מגמות בחסכון באנרגיה
36	4.3 הישגים ומחדלים לחסכון בישראל
37	4.4 אנרגיה במבנים
38	4.5 טכנולוגיות שונות נוספות לאנרגיה במבנים
40	4.6 שימור וחסכון במגזרים שונים
47	4.7 חקיקה ואכיפה
48	4.8 כיצד לגרום לחסכון
49	4.9 סיכום עד כאן
50	4.10 תכנית לחסכון באנרגיה
57	פרק 5. טכנולוגיות לאנרגיה חלופית
57	5.1 אנרגיה הידרו-אלקטרית
57	5.2 אנרגיה ממקור ביולוגי
57	5.3 אנרגיות רוח
60	5.4 "ארובות שרב"
88	5.5 אחרים
92	5.6 דרישות שטח לייצור חשמל וחום
93	פרק 6 - תכנית פעולה אפשרית לשימור אנרגיה וניצול מקורות מתחדשים
98	פרק 7 : מחקר, פיתוח ותכנון
98	7.1 הגדרת התחום

99	7.2 תוצאות המו"פ ושימור אנרגיה
100	7.3 מצב המו"פ היום
101	7.4 כמה מו"פ?
103	7.5 מדוע בכלל תמיכה ציבורית במו"פ?
106	7.6 כיצד לממן מו"פ
108	7.7 תחומי המו"פ בנושאי אנרגיה
109	7.8 מערך תכנון, מחקר, פיתוח ופיקוח
109	7.9 פירוט של כמה מהנושאים למו"פ
114	נספח 1: תקציר מהספר "פיתוח בר-קיימא של אנרגיה בישראל - הערכת מצב ותכנית", יולי 1999
124	נספח 2: דו"ח האנרגיות החליפיות
126	ביבליוגרפיה

רשימת טבלאות

14	טבלה 1: עלויות חברתיות בייצור חשמל על ידי דלק
15	טבלה 2: הערכת הנזקים ב-mili EURO לקוט"ש חשמל בפורטוגל
16	טבלה 3: הערכה אגרסבית של הנזקים הסביבתיים עקב ייצור חשמל בפורטוגל
16	טבלה 4: נזקים באיזורים כפריים ביחידות יורו (1998) לטון מזהם בממוצע ל-13 מדינות באירופה
	טבלה 5: השקעות מותרות בדולרים בקילוואט ממוצע נטו כדי למנוע עלויות חברתיות חיצוניות במשך 30 שנה בגין השימוש בדלק
19	טבלה 6: השקעות מותרות בדולרים לקילוואט ממוצע נטו לפי ריבית של 5% למניעת שריפה של דלק
26	טבלה 7: השקעות מותרות בדולרים לקילוואט ממוצע נטו לפי ריבית של 0% למניעת שריפה של דלק
36	טבלה 8: פעולת שימור אנרגיה בשנים 1977-1995
36	טבלה 9: תקציב לשימור אנרגיה
37	טבלה 10: תקציב ממשלתי לשימור אנרגיה בארה"ב, הולנד וישראל (במיליוני \$)
45	טבלה 11: הערכת נזקים כלכליים הנובעים מריבוי כלי הרכב והנוסעים בדרכים (מיליארדי דולרים)
50	טבלה 12: שימור אנרגיה
52	טבלה 13: ההשקעות בשימור אנרגיה, מיליון \$ מצטבר
52	טבלה 14: פוטנציאל שימור אנרגיה
53	טבלה 15: פוטנציאל שימור אנרגיה אלפי טשע"נ בשנת 2010
53	טבלה 16: השקעת המשק המצטברת, מליון \$
53	טבלה 17: יחס התועלות באחוזים להשקעות באחוזים
54	טבלה 18: פוטנציאל שימור אנרגיה, מיליוני \$ (1995), מצטבר בשנים 1996 - 2010
54	טבלה 19: פוטנציאל שימור אנרגיה, מיליוני \$ (1995) בשנת 2010
55	טבלה 20: שימור אנרגיה שהושג ופוטנציאל השימור ביחידות אנרגיה
55	טבלה 21: אחוז שימור אנרגיה בסה"כ צריכה
55	טבלה 22: שימור אנרגיה שהושג ופוטנציאל השימור בערך כספי לשנה
56	טבלה 23: השקעת המשק ותקציב המשרד, מיליון \$
68	טבלה 24: הפירוט העולמי של הספק ארובה באיזורי אקלים שונים והערכת עלות ייצור החשמל
69	טבלה 25: פוטנציאל אספקת החשמל באיזורים שונים בעולם
73	טבלה 26: השקעות בארובה בערבה, לפי תכנון סטנדרטי בגובה 80 מ' מעל פני הים ומרחק 40 ק"מ מהים
75	טבלה 27: מחיר ייצור אופייני של חשמל בסנט לקו"ש לשנים 2005-2010
92	טבלה 28: דרישת שטחים בטכניקות שונות, לייצור חשמל בלבד

רשימת איורים

- איור 1 : תאור סכמטי של עקרון פעולת "ארובת שרב" 64
- איור 2 : חלוקת האנרגיה הפוטנציאלית 66
- איור 3 : איזורים אקלימיים באירופה, אסיה, אפריקה ואוסטרליה. 66
- איור 4 : איזורים אקלימיים באמריקה 67
- איור 5 : מיפוי ההספק נטו הממוצע של ארובת השרב בדרום הארץ 71
- איור 6 : מיפוי ההספק נטו הממוצע של ארובת השרב באזור המזרח התיכון 72
- איור 7 : עלות ייצור החשמל מארובת שרב באזור אילת כפונקציה של גובה הארובה וקוטרה עבור שיעור ריבית של 5% לשנה 73
- איור 8 : עלות ייצור החשמל מארובת שרב באזור אילת כפונקציה של גובה הארובה וקוטרה עבור שיעור ריבית של 10% לשנה 74
- איור 9 : הספק ממוצע של הארובה באיזור דרום הארובה עבור גבהים וקטרים שונים 74
- איור 10 : עוצמת הרסס 80

תקציר

מאמץ עקבי של מומחים מהשורה הראשונה, מהתעשייה, מהכלכלה ומהאקדמיה נכשל במשך למעלה מעשור בקידום של החיזוי בתחום האנרגיה בישראל והצבת תכנית ראויה.

הדו"ח שלהלן 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. השימוש בדלק גורם למיני זיהומים הפוגעים במצב איכות הסביבה המקומית והעולמית, תוך פגיעה בקיום מינים, בריאות, באדם ומביא אף לנזקי רכוש. מספר הנפטרים בישראל מוערך באלפים לשנה, כתוצאה מזיהום ביצור אנרגיה וצריכת דלק. ישנה עלייה בעשרות אחוזים במחלות דרכי הנשימה (www.iued.org.il).
2. לאור הנ"ל, יש להעריך לקריאה העולמית הדורשת להפחית רמת הפליטה של גזי החממה לרמה שלפני 1990.
3. ייבוא דלק לישראל (ל - 97% מכל השימוש באנרגיה) מהווה נטל כבד ביותר על מאזן התשלומים, וצפוי שהוא ילך ויגדל.
4. לניודים במחירי הדלק יש השפעה קשה מאוד על המשק, מבחינה חישובית וכן בתצפיות הנזק שהיה סביב 6% מכל התוצר הלאומי-הגולמי.
5. אי אפשר להתעלם מהעובדה שמאגרי הדלק הם סופיים. נפט וגז עשויים להיגמר תוך מספר עשרות שנים, אולם, הרבה לפני כן מחירם יאמיר.
6. לתלות בייבוא דלק ישנן משמעותיות מדיניות וכלכליות מרחיקות לכת. לחלוקה מאוד לא אחידה של מקורות אנרגיה פוסיליים ישנה משמעות חברתית קשה- שכן היא קשורה במדינות מוסלמיות קיצוניות הדוגלות בטרור.
7. ישנה חשיבות ממדרגה ראשונה גם בבטיחות האספקה של אנרגיה בישראל עצמה, בין אם בגלל תלות ביבוא, ובין אם בגלל פגיעות אפשריות במתקנים בארץ. ישנה פגיעה הולכת וגוברת בתפקוד מערכות החשמל במדינות המפותחות, זאת בגין התיישנות המערכת, בגלל רזרבה לא מספיקה של כושר ייצור ועלות אבטחה על ידי מערכת הולכה רזרבית ומערכות שליטה.
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.

התשובות האפשריות הן:

- א. שימוש יעיל באנרגיה וחסכון ;
- ב. פיתוח מקורות מקומיים של אנרגיה, ועד כמה שאפשר, נקייה ומתחדשת ;
- ג. הפחתת הזיהום בכלל, וגזי החממה בפרט, וזיהום שבא לא רק מייצור אנרגיה ;
- ד. בנייה מחדש ועידוד של מחקר ופיתוח בתחום התשתית, ובעיקר מים ואנרגיה כאשר ההיקף הדרוש צריך להיות בערך 3% מההוצאה הכוללת של התחום.
- ה. הפסקה מיידיית של סבסוד חשמל ;
- ו. חישוב "ירוק" הלוקח בחשבון את העלויות החברתיות.

מבוא

מסופר על חוני המעגל: "פעם היה מהלך בדרך, ראה אדם אחד שהוא נוטע חרוב. אמר לו: זה לכמה שנים טוען פירות? אמר לו: לשבעים שנה. אמר לו: כלום ברי לך שתחיה שבעים שנה, ותאכל ממנו? אמר לו: אני מצאתי את העולם בחרובים, כשם שנטעו אבותי לי כך אטע אני לבני..." (1)

זהו יסודו של הרעיון הבסיסי לשימור הסביבה, ושל "פיתוח בר-קיימא". זכותם של ילדינו ונכדינו חשובה כשלנו. עקרון יהודי זה הבא לידי ביטוי בדרכים שונות מתורגם כאן לערכים כלכליים בני זמננו ולהצעות טכנולוגיות קונקרטיות.

קטע ממאמר של דוד בן גוריון, "דרומה", 1956 (2)

"... לא ייבצר מאנשי המדע והטכנולוגים שלנו, אם יקדישו לכך מיטב מחקריהם ויקבלו לשם-כך כל הסיוע מצד המדינה, - למצוא תהליך זול להתפלת מי-הים. השקאת השממה במי-ים מזוקקים תיראה היום לרבים כהזיה, אולם פחות מכל מדינה אחרת צריכה ישראל לחשוש ל"הזיות" העשויות לשנות סדרי-בראשית בכוח החזון והמדע וכושר-חלוצי. כל היש בארץ זו הוא פרי "הזיות" שנתממשו בכוח החוט המשולש של חזון, מדע וכושר-חלוצי.

... מקור האנרגיה העצום והאדיר ביותר בעולמנו, - המקור שממנו ניזון כל חי וצמח ורק שמץ מנהו מנוצל עד היום על-ידי המין האנושי, - הוא השמש, המשפיע עלינו יום יום כמויות אסטרונומיות אנרגיה ההולכות לאיבוד. מומחים חישבו ומצאו, כי האנרגיה השמשית המגיעה לכדור הארץ במשך שלושה ימים שווה לכמות אנרגיה שאפשר להפיק משריפת כל אוצרות הפחם, הנפט, הגז הטבעי, הכבול וכל היערות שעל פני האדמה.

ודווקא הנגב הוא חבל-הארץ המבורך ביותר באנרגיה זו, כי מעטים כאן ימי עננים וגשם, וכמעט כל ימות השנה מקרינה אלינו השמש עצמתה הכבירה. עד עכשיו נוצל משפעת אנרגיה זו רק כטיפה מן הים - על-ידי הצמחים שאנו מגדלים, שסוד גידולם אינו אלא ספיגת אנרגיה שמשית בתהליך שקוראים לו פוטוסינתסיס. פחות מכל נהנה הנגב בימינו מספיגת קרני-השמש על-ידי צמחים, אולם אפשר להפוך אנרגיה זו לכוח מפעיל, דינאמי וחשמלי; וגם לאחר שיכלו כל אוצרות אוראניום וטוריום מעל פני האדמה - האנרגיה השמשית תוסיף לזרום אלינו כמעט לאין-קץ, ועל אנשי המדע והטכנולוגים לגלות המכשירים היעילים אשר יספגו, ולו מעט מן המעט, מאנרגיה אדירה זו ויפעילו אותה לצרכים הגדלים ומרובים של משקנו המסועף. אין זה מן הנמנע כי בכוח השמש נוכל לזקק מי-הים ולהכשירם להשקאת השממה הרבה בדרום ובנגב".

חזונו של בן גוריון טרם הוגשם עד היום אם כי הרלוונטיות שלו תקפה היום לא פחות. יותר מזאת, היא הפכה במשך הזמן לאתגר קיומי.

קריאתו של בן גוריון בשידור משדה בוקר היתה: "מי ייתן שלא יהיה זה קול קורא במדבר אלא קול קורא למדבר". הוא מחה על הביטוי "לרדת לנגב" במקום "לעלות לנגב".

בימים שכן-גוריון כתב את מאמרו "דרומה" לא היתה מודעות סביבתית כה רבה כהיום. גם הסכנות למשברים בינלאומיים עקב השימוש בדלק ותוצאותיו לא איימו במידה כזו שהן מאיימות היום. ההתנסות במשך שישים השנים האחרונות וההתפתחויות בתריסר השנים האחרונות רק מחזקות היום עוד יותר את הכורח לעשות כדי שהמגרעת העיקרית של המדבר, החום והיובש וקרינת השמש יהפכו למעלתו.

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 \$40) 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.

פרק 1: משק האנרגיה בישראל

היקף הפעילות בחשמל בלבד הוא קרוב ל - 5-3 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%, בשעה שבאירופה עצימות השימוש באנרגיה ירדה, כלומר, שימוש באנרגיה עלה פחות מהעלייה במספר התושבים או ברמת החיים, בישראל העצימות עלתה.

בעיות משק האנרגיה בישראל

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

1. ייחודיות משק האנרגיה הישראלי

ישראל הינה "איי" 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 שווה ערך טון 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 חיסכון פשוט במגזרי האנרגיה, החיסכון במטבע זר עשוי להגיע ל - 500 מיליון דולר בשנה ומעלה.

3. ניוזי מחירים

הניודים במחירי הנפט הם קיצוניים. הנזק הכלכלי מכך עשוי לעלות על 6% מהמדד של ההישג המבוקש. 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 ניוזים 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 מספר קטן של עשרות שנים, על כל המשמעותיות הכלכליות-פוליטיות-טכנולוגיות הנובעות מכך.

6. גיעות סביבתיות מקומיות

אחד האמצעים לאפיון זהום אוויר הוא ע"י מדידת קרינת השמש המגיעה לפני הקרקע. האוויר באיזור החוף מזוהם רוב ימות השנה, עד כדי כך שאפשר למדוד ירידה משמעותית של קרינת השמש המגיעה לקרקע. רמת הזיהום הלכה ועלתה בהתמדה עם השנים ככל שמספר כלי הרכב ותחנות הכוח על חוף הים התרבו.

בין השנים 1956 ל - 1987, נראתה ירידה של קרינת השמש בבית דגן ב - 17%. במשך 22 שנים ביום כיפור היתה עלייה פתאומית בקרינה לאותו יום, בגלל הקטנה של היקף התחבורה. ביום כיפור של 1973, עם התחלת הגיוס, נמדדה פתאום ירידה חוזרת של הקרינה. היתה קורלציה יורדת (0.7) עם הזמן וקורלציה של 0.62 עם מספר כלי הרכב שחלפו.

מספר ההרוגים בתאונות דרכים הוא בקרוב 600 בני אדם לשנה. אבל, מחקר 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 לעשרת אלפים ימי עבודה. מקרי המוות באיזור תל-אביב בגין פליטת חלקיקים, הגיע לפי הערכה ל - 1293 בשנה. סה"כ הנפגעים מזיהום אוויר הוא יותר מ - 1000 נפטרים בשנה והנזק הכלכלי עקב מקרי מוות עובר הרבה את המיליארד דולר בשנה.

7. השפעות סביבתיות עולמיות ומשמעותן

אין היום כבר כל ספק שזיהום האוויר על ידי שריפת דלקים פוסיליים גורם לנזקים סביבתיים קשים ביותר בעולם. לגבי ההשפעות הגלובליות, 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. (הערה: ההערכות הזניחו את האפקט של דליפות גז טבעי- מאחר שק"ג גז מתאן הוא שווה ערך ליותר מ - 50 ק"ג CO₂ (לטווח של 20 שנה), נמצא שדליפה קטנה ביותר של גז טבעי, שהיא בלתי נמנעת, מוסיפה משקל אדיר לגזי החממה. זאת בניגוד לרושם הראשוני המוצדק, לכאורה, שתחזית השימוש בגז טבעי במעגל משולב לייצור חשמל הרבה פחות מזיק.

שינויי האקלים מצטרפים לנזקים סביבתיים אחרים בכרייה, בהובלה ובדליפה של מערכות דלק ובגשם חומצי.

מדינת ישראל חתמה ואישרה את פרוטוקול קיוטו. אמנם, בהתאם לפרוטוקול ישראל נחשבת למדינה מתפתחת ולפיכך, היא נדרשת להכין מצאי פליטות גזי חממה (וזאת כבר נעשה) וברור, כי קיימות כיום הזדמנויות עיסקיות לפיהן מדינות מפותחות יכולות "לקנות" פליטות של גזי חממה ממדינות מתפתחות ע"י השקעה, לדוגמא, באנרגיות חלופיות במדינה המתפתחת. זהו מנוף כלכלי שיש לנצלו כיום, שכן לקראת סוף 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 השירות לשירותים ציבוריים-חשמל בעדותו לצוות הבינמשרדי לאנרגיות חליפיות: "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".

10. העדר ייעול ושימור אנרגיה

המדינה חדלה להשקיע בכלל 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 טון שווה ערך נפט, 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/אישית, 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).

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, תרתי משמע, 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.

הפנמת העלויות החיצוניות של ייצור ושימוש באנרגיה הינם חיוניים 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 ההחלטות 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 אחת מן החלופות יכולה להיות גם חוסר עשייה (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.

בהקשר זה חשוב לציין את הצעת הרשות לשרותים ציבוריים חשמל לתשלום פרמיות ליצרנים באנרגיות מתחדשות. עפ"י ההצעה שהתפרסמה במאי 2004 יצרנים באנרגיות מתחדשות יהיו זכאים לקבל מחברת החשמל 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 1.4 ל 2.2 סנט לקוט"ש, בהתאם לעונת השנה ולשעה ביממה (תעריפי שפל, גבע או פסגה).

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 ייחוס 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 ואף במיליארדים לשנה ישראל תצטרך לרכוש טכנולוגיה.

ס"ה הנזק הוערך, ע"י פרופ' מרדכי שכטר מאוניברסיטת חיפה, עד כדי עלות של למעלה מ- 600 דולר לטון פחמן. זהו סכום שהוא שווה ערך ל- 6 סנט לקוט"ש אנרגיה ראשונית, ופי שלושה מזה לקוט"ש חשמל.

המסקנה מעבודתו של פרופ' שכטר הוא שעדיף 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.

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.

אנו יכולים לסכם ולומר שלושה דברים:

- 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. מלבד סיוע באמצעים דרושים אווירה אוהדת, פישוט הליכים ופעולות הסברה והדגמה.

2.2 המשמעות של הפנמת העלות החברתית החיצונית

המשמעות של הפנמת העלות החברתית החיצונית היא לקיחה בחשבון של העלות הזו, הטלת העלות על זה שגורם לה בצורת קנס או במתן מענק למי שיכול לבצע אותה פונקציה מבלי לגרום לעלות הזו. המשמעות המעשית עשויה להיות העדפה של פרויקט אחד על השני כאשר לוקחים בחשבון את העלויות החברתיות.

חשוב לחזור ולהדגיש: העלות החברתית החיצונית היא עלות ממשית מאוד. ההבדל היחידי בינה ובין עלות "פנימית" או עלות "פרטית" הוא שבעל מפעל האנרגיה הנוהג לפי הכללים בהווה איננו טורח לשלם את העלות החיצונית או חברתית או לקחת אותה בחשבון בהחלטותיו. למעשה, בעיית היסוד היא שאין מי שלוקח לעצמו את הסמכות לגבות את התשלום עבור ההשפעה הסביבתית ולהעביר אותו ליעדו החברתי, ללא אינטרסים צדדיים. התעלמות מהעלות החברתית החיצונית איננה פחותה מאשר גרימת כל נזק כלכלי והשחתת משאבים עקב החלטות שגויות או חוסר התחשבות במזיד. 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.

סקרנו לפחות 8 עבודות בלתי תלויות וביניהן (23), (24), (25), (26). טווח הנתונים רחב מאוד ושונה זה מזה. לפחות באחת מהן ניכר ניסיון בולט למתן את התוצאות. המכנה המשותף לכולן הוא ההמעטה הגדולה במשקלו של גז טבעי (שעיקרו CH_4) בזיהום ומספר ניכר של סעיפים בהם טרם הגיעו לכימות הערכים. בעבודה הנרחבת ביותר בת כמה כרכים (25) מתוך יותר מ- 100 סעיפים, כמחצית לא זכו כלל לערכים כמותיים. ההבדלים הנרחבים ביותר נבעו מקביעת משך ההשפעה של גורם מסוים ומשער הניכיון לחישוב הערך הנוכחי. במרבית ההערכות ישנה המעטה רבה במשך השנים. פירושו מתן משקל פחות חשוב לאינטרסים של בנינו ונכדנו מאשר לשלנו.

אם יש צורך לבחור מספרים מייצגים של העבודות השונות ולא לנטות לממעיטים או למרבים, תהיינה התוצאות לייצור חשמל, בערך לפי הטבלה הבאה. (ואין אלה ערכים שאפשר להתייחס להם בקביעה מתמטית מדויקת).

טבלה 1: עלויות חברתיות בייצור חשמל על ידי דלק

עלות מינימום	ערך סביר	
1-2 סנט לקוט"ש	6-7 סנט לקוט"ש	פחם
2 סנט לקוט"ש	6-7 סנט לקוט"ש	נפט
1 סנט לקוט"ש	2 סנט לקוט"ש	גז טבעי

ספורות, שתמורת חשמל מאנרגיה נקייה ומתחדשת יש חובה לשלם 12 סנט לקוט"ש, כאשר ניתן לייצר ולספק לצרכן חשמל ממקורות של דלק נשרף ב- 4 סנט ולמכור אותו ב- 6-7 סנט.

כך הוחלט בספרד לשלם רבע יורו לקוט"ש חשמל ממקורות מתחדשים. יש להניח שדרך ההסדרה הציבורית המועדפת היתה צריכה להיות להטיל את מלוא העלות החברתית על ייצור החשמל

הקונבנציונאלי. אולם כל עוד האנרגיה המתחדשת מהווה נתח קטן יחסית מהס"ה אפשר להבין מדוע מבחינות שונות הבטחת מחיר גבוה לאנרגיה מתחדשת פשוטה יותר להשגה מבחינה פוליטית ומעשית. אבל סוגיה זו איננה משנה ביחס לדיון בסעיף זה. כללים דומים התקבלו כבר בכמה מדינות אירופאיות אחרות ובחלק מהן מיסוי גדל והולך על הדלק. מענק הרבה יותר מרחיק לכת ניתן לאנרגיה מתחדשת בארה"ב בסוף שנות השבעים ותחילת שנות השמונים, אלא, שמדיניות זו לא היתה עקבית. די היה בתקופת ביניים קצרה יחסית כדי להביא את הטכנולוגיה של טורבינות רוח לבגרות באופן שהן כמעט מתחרות היום בכוחות עצמן.

לאחרונה יצא משרד האנרגיה האמריקאי בהכרזה על מענקי מחקר נדיבים לשכלל את הטכנולוגיה של ניצול טורבינות רוח באיזור בעל מהירויות רוח נמוכות יותר כדי שיאפשרו הרחבה גדולה של ניצול הרוח לייצור חשמל. חשבון פשוט מראה שהגדלת התשלום של חלק קטן מהעלויות החברתיות יכול היה להשיג זאת לאלתר, ללא כל צורך להצדיק את השימוש בטורבינות בעזרת שיכלול טכני. למעשה די היה בתקציב של משרד האנרגיה האמריקאי (כ - 25 מיליארד דולר בשנה) כדי להשיג תוך עשור או שניים את כל הייצור החשמל בארה"ב מאנרגיות רוח. ישנן הערכות גם לנזק שולי גדול בהרבה מזה שבטבלה שלעיל (טבלה 1). לפי (Hamilton and Atkinson (1996) הערך השולי של טון מזהמים באוויר עקב נזק באירופה בלבד הוא 10,670 דולר. כאשר הוא מתורגם לערכי הטבלה שלעיל פחם כ - 8 דולר לקילוואט שעה חשמל (!), פי 100 יותר מערכי הטבלה. הנזק השולי לא צריך להיות שווה לנזק הממוצע, הוא בוודאי עשוי להיות גדול ממנו. אולם גם כך חשוב להדגיש שהערכים שנבחרו לטבלה רחוקים מלהיות קיצוניים או מוגזמים. כפי שאפשר יהיה לראות בהמשך, ההחלטות שבפניהן אנו עומדים אינן רגישות גם לטווח שינויים די רחב.

ההערכות של העלויות החברתיות מתחזקות מאוד על ידי העבודות שנעשו להערכת התרומה הכלכלית של המערכת הטבעית (13,14,14c). בארה"ב הערכה אחת היתה שבה בשעה שעלות דלק לרכב בשוק היא סביב 30 סנט לליטר, העלות החברתית היא סביב 70 סנט נוספים (9). ערך זה דומה מאוד להערכה שעשינו לעיל בתנאי ישראל. חלק גדול של העלות החברתית של 70 סנט בא מצרכי ביטחון. עבודה שנעשתה בפורטוגל (65) לפי הפרוצדורות שפותחו בעבודת היסוד (25).

טבלה 2: הערכת הנזקים ב- mili EURO לקוט"ש חשמל בפורטוגל

מקורות	ערך גבוה	ערך נמוך
מקורות הידרואלקטריים	<1	---
ביו מסה	29	11
גז טבעי	62	2
פחם	160	27

כאשר EURO=\$1.25.

טבלה 3: הערכה אגרגטיבית של הנזקים הסביבתיים עקב ייצור חשמל בפורטוגל

Mili \$	הוצאות לקוט"ש Mili EURO	עלויות חברתיות במיליוני EURO	כמות במיליארד קוט"ש	מקור
110.5-80	88.4-64	1193-868	13.5	פחם
99.6-68.6	79.7-54.9	590-406	7.4	נפט
0.38-0.34	0.3-0.27	3-2.7	10	הידרו
72.2-51.7	57.8-41.3	1786-1277	30.9	סה"כ

היקף הייצור האגרגטי דומה מאוד לישראל בשנת 1997. הנזק הסביבתי הכללי בפורטוגל עקב שימוש בדלק לחשמל הוא בין 1.6-2.2 מיליארד דולר בשנה (!) בשנת 1995. זהו ההיקף הדומה לנזקים בישראל. מאחר שבפורטוגל בערך 1/3 החשמל מסופק ע"י מקור הידרואלקטרי הרי שאצלנו הנזק בוודאי ב - 50% יותר גדול, כלומר 2.4-3.3 מיליארד דולר בשנה עלויות חברתיות חיצוניות בגין פגיעות סביבתית. הטבלה שהצעתי לעיל היא בוודאי בעלת ערכים מתונים ביחס לאלה שנמצאו בפורטוגל.

עבודה שנעשתה עבור האיחוד האירופי ב - 1998 : BeTa - Estimates of the marginal external costs of air pollution in Europe, Version E102a Netcen; Authors Mike Holland & Paul Natkiss

מנסה להעריך את הנזקים של SO₂ על ידי השפעה של הגז ושל ארוסולים המכילים סולפטים והשפעה חומצית על חומרים ועל בריאות.

NO_x - דרך השפעה של ארוסולים הכוללים ניטרט על הבריאות, האוזון ועל היבולים החקלאיים.

VOC - (Volatile Organic Compounds) דרך השפעה על האוזון, על הבריאות והיבולים החקלאיים.

PM - (Particulate Matter) בעיקר בקוטר קטן מ - 2.5 מיקרון, בעיקר השפעה בריאותית.

טבלה 4: נזקים באיזורים כפריים ביחידות יורו (1998) לטון מזהם בממוצע ל - 13 מדינות באירופה

SO ₂	NO _x	PM 2.5	VOC	
5200	4200	14000	2100	אזור כפרי וקרוב לחוף הים
-----	-----	33000	6000	עיר של 100 אלף תושבים
-----	-----	5X33000	5X6000	5 מיליון תושבים עירוניים
-----	-----	7.5X33000	7.5X6000	מיליון תושבים עירוניים
-----	-----	15X33000	15X6000	כמה מיליוני תושבים עירוניים
אזורים ימיים				
4500	4800	9100	1500	מזרח האטלנטי
1600	2100	2500	1000	הים הבלטי
5900	5400	12000	1900	התעלה האנגלית
4700	6200	10000	1700	ים התיכון הצפוני
4300	3100	9600	2600	הים הצפוני

בעבודה זו עוד הערות כמותיות מפורטות מאוד, למשל לנזקים לחומרים. הייתי נוהר מלהתייחס לכל אלה כאל מספרים מקודשים. אולם, אין ספק שאפשר לראות בהם סדרי גודל מאוד משמיעים.

נוכל לקחת בחשבון כמספר שמרני מאוד מייצג את הממוצע הכפרי שמתייחס כולו לתופעות מקומיות ולא לתופעות האקלים המשתנה המעורר חילוקי דעות.

כדי להשתמש בנתונים אלה צריך להוסיף טבלת ייחוס של כמויות המזהמים המוזכרים לטון דלק, ובסופו של דבר ליחידת אנרגיה שימושית, למשל קוט"ש חשמל.

תהיינה החלופות אשר תהיינה, לכאורה כאשר לוקחים בחשבון ריבית קרובה לאפס העלות החברתית שווה לכל הפחות למחירי הצל ואלה נקבעים לפי הטכנולוגיה הכי טובה שיש לנו להחליף את החסר. מאחר שישנם עוד נזקים סביבתיים מלבד התכלות של המקור, כאלה שאולי אין להם תחליף, העלויות החברתיות שוות לפחות לערך הנוכחי של מחירי הצל.

אם כנגד זה עושים שיקול קצר טווח יחסית כאשר אין כל מניעה להמשיך את השימוש בדלקים ולשריפתם בהחלט ייתכן המצב העקרוני שהעלויות החברתיות קטנות ממחירי הצל לטכנולוגיות של אנרגיה חליפית.

גישה עקבית לחישוב העלויות החברתיות עשויה להביא לטיעון סיבובי לכאורה. אם צריכת אנרגיה ומים נחשבים כחסרי גמישות, הרי מחירי הצל שלהם נקבעים לפי העלות של מקורות חליפיים כאשר המקורות הטבעיים המשמשים אותנו היום מתכלים.

תחזיות המצאי של דלקים והאפקטים הסביבתיים הם כאלה שכנראה לא יהיה מנוס, במוקדם או במאוחר, משימוש באנרגיות חליפיות. גם בהסתכלות ישראלית צרה כנראה שאין מנוס מהחלפת מקורות האנרגיה בגלל הסנקציות של הקהילה הבינלאומית והצורך להסיר או לפחות להקטין את התלות של ישראל במקורות אנרגיה החיצוניים. אם כך הדבר, לא נותר לנו אלא לבחור את הטכנולוגיות החלופיות הזולות ביותר, גם אם הן נראות היום יקרות מאוד. כך תמיד תהיינה אנרגיות חליפיות בעלות שהיא בדיוק בתחום של העלויות החברתיות. למזלנו, אפשר להצביע על אנרגיות חליפיות זולות ביותר שניתן לישמן בהקדם.

2.3 העיקרון של פיתוח בר-קיימא

מהו פירושו של "פיתוח בר-קיימא" או כפי שהדבר קרוי באנגלית "Sustainable Development"? רבות נכתב על נושא זה. אסופה אחת מקיפה של מאמרים בנושא מובאת במראה מקום (61).

א. ביטוי אחד למושג זה הוא ערכי ומשפטי.

זהו פיתוח שלא יפגע במשאבים ובתנאי החיים של בני האדם וסביבתם בסביבה הקרובה והרחוקה בזמן קצר ובזמן ארוך, באופן שלצאצאנו התנאים הללו לא יהיו נחותים מאשר היום ואולי אף טובים יותר.

מושג ערכי זה מבוסס עמוק במסורת היהודית, כעם שחי בארצו, בצווים ובסיפורי משל. הערבות ההדדית מדור לדור ותחושת ההמשכיות היא חלק עמוק של טעם החיים ושל מצוות היהדות. בצורתו החיובית הוא מתבטא בסיפור הקלאסי שהבאנו במבוא, על חוני המעגל ועל הזקן הנוטע עצי חרוב למען נכדיו שיהנה מפירותיו (1). בקוהלת ז' י"ג נכתב: מי ראה מעשה אלוהים, כי מי יכל לתקן את אשר עוותו? ובקוהלת רבה ז': "בשעה שברא הקדוש ברוך הוא את האדם הראשון, נטלו והחזירו אל כל אילני גן עדן, ואמר לו:

ראה מעשי כמה נאים ומשובחין הן, וכל מה שבראתי, בשבילך בראתי, תן דעתך ולא תקלקל ותחריב את עולמי, שאם תקלקל אין מי שיתקן אחריד".

בעולם אין עוד כל ויכוח על התוקף הערכי של פיתוח בר-קיימא ועל החשיבות המעשית שלו. הדבר חרג מזמן מספרי המדע וההנדסה והגיע לחצרות השלטון. אפילו חברות דלק התחילו להכיר בכך ולו רק כמס שפתיים או כתמרון של יחסי ציבור. אבל ישנו לחץ הולך וגובר שהתחיל לשאת פירות - לתרגם את העיקרון הערכי של פיתוח בר-קיימא למונחים כלכליים ממשיים.

הערכת הנזקים שגורם גוף אחד או מפעל אחד לגוף אחר או מפעל אחר היא חלק מהמערכת הבסיסית של הצדק ושל מרבית מערכות המשפט. אלא שהעלות החברתית נמצאת בקצה הסקלה של מערכת החוקים בענייני נזיקין בגלל כמה קשיים מהותיים:

- הקושי לכמת את הנזק;
- הקושי לחלק את האחריות;
- חוסר מודעות, ומכאן היעדר יכולת להוכיח כוונת המזיק או אף ידיעתו על הנזק שהוא גורם במקרים בהם להוכחת הכוונה או האחריות יש חשיבות בשיקול המשפטי;
- הקושי להגדיר את הזכאים לפיצוי מבחינת המקום והזמן ואפילו מדור למדינה למדינה;
- כמעט הכרחי לערב גורם ציבורי בתביעה מחד גיסא ולעתים קרובות באחריות לנזק מאידך גיסא. מטרתם של דיני הנזיקין היא לתקן עוול או פגיעה שגרמו לפרט או למנעם בטרם בוצעו. מתברר שבהרבה מקרים הרשויות המזיקות הן היחידות שיכולות לייצג את העניין הציבורי ולקבל את הפיצויים. צריך להתקין תקנות ביחס לעלויות החברתיות הנגבות ומה השימוש המותר בהן.

בהתאם, ראוי היה שמעבר לדיון המובא כאן מבחינה טכנית וכלכלית ומעבר לגישה הרגשית מוסרית של נטורי הסביבה, "הירווקים", יטפלו בנושא זה המשפטנים והמחוקקים. אין זה שונה באורח עקרוני מקרן המחצבות המחייבת היום את כורי האבן להפקיד תמורת כל מטר קוב שכרו סכום כסף שמיועד לשיקום המחצבות. למען האמת, התשלום של בעלי המחצבות ובעקבותיהם הצרכנים היה צריך להתאים למלוא הנזקים הנגרמים כולל פתרון חלופי כשייגמרו חומרי הכרייה. ייתכן שתנאי השמירה של הקרן והשימוש בה צריכים להיות מופקעים מידי השיקולים קצרי הטווח של אוצר המדינה. במבנהו וסמכויותיו של משרד האוצר ישנם ניגודי אינטרסים מהותיים.

אחריות המדינה לנזקי שיטפונות שנגרמו משום שהאוצר לא הקציב דיו למניעתם צריכה להיות מפורשת בחוק ונקבעת בתקדימים משפטיים. אבל יש לחייב גם שימור קרקעות נגד סחף ונגד הרס על ידי המלחה ושימוש במי קולחים וקנסות עקב שימוש כזה או אחר בקרקע. מי יהיה זכאי לקבל ולשמור על הערכים הכלכליים שיצטברו עקב קנסות אלה? מה יהיו הכללים לשימוש בערכים אלה?

באותו אופן יש לבחון את הנזקים עקב שימוש באנרגיה ואת הדרכים ליצירת אקלים משפטי וכלכלי, כזה שיגן על האינטרסים המהותיים של בני אדם בקנה מידה רחב ולפחות בקנה מידה של ישראל כולה.

ב. ביטוי שני לפיתוח בר-קיימא הוא כמותי כלכלי

המושג "בר קיימא" יוגשם אם לצורך בחירת מדיניות פיתוח יביאו בחשבון גם את העלויות החברתיות החיצוניות ולחישוב הערך הנוכחי שער הניכיון בערכים ריאליים יהיה נמוך, קרוב לאפס. בחירת המדיניות צריכה להיות כזו שתטה את היזמים לבחור בפרוייקטים כאלה שמנקודת ראות מדינית ארוכת טווח תהיה

כדאית ביותר. אין אלה תחליף לצורך להשוות בכל מקרה בין חלופות שונות בנות-קיימא בכלים כלכליים מקובלים.

2.4 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 לחשמל בהספק של קילוואט במשך 8,760 שעות בשנה.

סנט אחד לקוט"ש ל - 8760 קוט"ש לשנה פירושו 87.6 דולר לקילוואט לשנה. חישוב הערך הנוכחי הסדרתי נותן את התוצאות בטבלה הבאה:

טבלה 5: השקעות מותרות בדולרים בקילוואט ממוצע נטו כדי למנוע עלויות חברתיות חיצוניות במשך 30 שנה בגין השימוש בדלק

השקעה חליפית מותרת לביטול העלות הסביבתית בדולרים לקילוואט ממוצע נטו לשיגור לפי ריבית ריאלית של	עלויות חברתיות חיצוניות בסנט לקילוואט שעה חשמל מסופק		שיטת יצירת חשמל בהשוואה לטכניקות ממקור נקי מתחדש
	0%	5%	
15768-18396	9424 - 8078	6-7	פחם
15768-18396	9424 - 8078	6-7	נפט
5256	2692	2	גז טבעי

ערכים אלה הם ערכי מינימום מאחר שטווח ההשפעה של הנזקים הוא הרבה מעבר ל - 30 שנות חיי תחנת כוח. הם מגיעים ליותר מ - 100 שנה לזיהום ב- CO₂. 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.

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? די באורך חיי מכונת של 8 שנים כדי לצבור 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.

מבלי לנקוט יוזמה ציבורית לשינוי, אין סיכוי רב להשגת המטרה. יוזמה זו יכולה להתבטא בתקנה מחייבת וסטנדרטים חדשים, בקנס גבוה דיו על שימוש בדלק או בבנוס 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.

למשל, להקטנת השימוש ברכב הפרטי תהיה השפעה סביבתית נוספת דרמטית מאוד בהשקעה בכבישים, תפישת קרקעות וחמור מכל בנזקי רכוש ונפש. דרך אחת להעריך את היקף העלויות החברתיות הנוספות כפי שכבר הזכרנו היא לאמוד את היקף הוצאות הביטוח על הרכב (כתשעה מיליארד שקל לשנה). ברור לגמרי שהביטוח איננו מכסה את מלוא הנזקים. נניח נזק שנתי ממוצע לרכב של 6700 ש"ח (של 1998), ונניח 17000 ק"מ בממוצע לשנה לפי 10 ק"מ לליטר או 1700 ליטר דלק לשנה. נמצא שהנזק הסביבתי מעבר לזיהומים עקב השימוש בדלק מגיע לכ - 4 ש"ח לליטר דלק, כלומר כדולר נוסף לליטר דלק. כימות של כל העלויות החברתיות של שימוש ברכב יביא את מחיר הדלק ליותר מ- 2 דולר לליטר. נמצא שהעלות החברתית הכוללת של השימוש ברכב כאשר הוא מושלך כולו על השימוש באנרגיה מגיע למספר המדהים של כ- 14 סנט לקוט"ש אנרגיה ראשונית (!)

חשוב לחזור ולהזכיר את הנזק לבריאות עקב זיהום אוויר כפי שהוערך לפני מספר שנים באיזור ת"א, שהוזכר לעיל, 290 מקרי מוות ו - 636 מיליון דולר בשנה. לאחרונה, עלו מקרי המוות ליותר מ- 1000 מקרי מוות לשנה, באיזור תל-אביב בלבד. בקנה מידה מלא של מדינת ישראל ערכים אלה כמובן כפולים לפחות פי שלושה.

ראוי היה שמשמששי הרכב ישלמו מחיר כל אימת שהם ממלאים את מיכל הדלק. ממילא יבקשו פתרונות חלופיים שבאמת יקטינו את העלויות החברתיות שיהפכו במידה רבה לעלויות פרטיות.

גם אם מתייחסים לחיוב מחירי הדלק כאל מס שימוש לכל מטרה שהיא, הרי מס זה עדיף ביותר על מיסוי על שכר עבודה משום שיש עימו הנעה להחלטות כלכליות חכמות יותר, ואין פגיעה במוטיבציה לעובד.

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. בישראל נבחנה שאלת הקמה של תחנה גרעינית בתקופתם של כמה שרי אנרגיה. בכל המקרים המסקנה היתה שלילית ונוסיף לכך את הנתון לפיו הנטייה היום בהרבה ארצות היא לסגור אפילו תחנות כוח גרעיניות פועלות וקיימות.

מעניין לציין שתקציבה של חברת החשמל לתחנת כוח גרעינית עולה עד היום ללא השוואה על תקציבה לאנרגיות חלופיות.

2.5 פרוטוקול קיוטו וההתייחסות בישראל

כבר הזכרנו שמדינות העולם הגיעו לכלל החלטה שיש לעשות מעשה. לאחר סדרה של ועידות שהחלו ב- Rio ב- 1992 ונמשכו בקיוטו ואחר כך במרוקו, הוחלט שיש בעיקרו של דבר להפחית את גזי החממה עד פחות מרמתם בשנת 1990, ויש לבצע זאת עד שנת 2010 או 2012. החלטה זו נוגעת באופן פורמלי למדינות המפותחות על כל צריכת אנרגיה שלהן. 158 מדינות חתמו על האמנה, וחזרו ואישרו אותה.

כפי שכבר הזכרנו, ישראל איננה נמנית באופן פורמלי על הארצות המפותחות, ולכאורה איננה חייבת בפרוטוקול קיוטו. אולם, אין לטעות בדבר.

המדינות שנטלו על עצמן את העול להקטנת גזי החממה עד מתחת לרמה של 1990 לא תשלמנה בשום אופן עם כך שמישהו מרשה לעצמו להתפרע מבחינה סביבתית ויתחרה איתן בייצור וייצוא של מוצרים. זה היה ניסיונה של ישראל באופן מפורש במקרים דומים, למשל בהגבלות החלות על השימוש בגזי קירור הפוגעים בשכבת האוזון.

בתקופת כהונתו של ג'ורג' בוש, ארה"ב החליטה לא לקחת על עצמה את הנטל של עמידה בפרוטוקול קיוטו. ארה"ב היא הצרכן הגדול ביותר של אנרגיה בהשוואה לכל צריכת העולם וברמת בזבז משועת. אולם, הדבר לא פגע במאמץ של שאר העולם לקיים את הפרוטוקול של קיוטו. ספק רב אם ארה"ב תוכל להרשות לעצמה המשך של מדיניות התעלמות וזאת על אף מעמדה האדיר. ואמנם לאחרונה יצאה עם מאמץ המפוקפק שנקרא על ידם "כלכלת מימן". ג'ורג' בוש הקציב לכך כ - 1.5 מיליארד דולר. האופנה הזו פופולרית מאוד גם באירופה, ולצדדי יש חשש שישקיעו בכך גם בישראל.

ישראל צריכה לבחור את דרכה בעניין פרוטוקול קיוטו. ראוי לקבוע:

- א. ישראל לא יכולה להרשות לעצמה בשום אופן לא לעמוד בדרישות פרוטוקול קיוטו, כמו ארה"ב;
- ב. אפשר להצביע על תכנית בת ביצוע שלא רק לא תפגע בכלכלת ישראל, אלא היא עשויה להביא להפיכה כלכלית חיובית אדירה.

גישה ביטוחית להחלטה ביחס לפרוטוקול קיוטו וביחס לכדאיות יישום של אנרגיות חליפיות

נשאלות כמה שאלות בסיסיות שיש להן תשובות ברורות והחלטיות שלא משאירות ספק בכך שישראל צריכה להתחייב וכדאי לה להתחייב לעמוד בדרישות קיוטו.

הקושי העיקרי הוא בדרך הדיון וקבלת ההחלטות המושפעת ממי שעדיין לא מאמין בחיוניותו של פרוטוקול קיוטו, מי שמעורר ספקות בחיוניותו והצדקתו של פרוטוקול קיוטו. ויש כאלה לא מעטים. ישנו קושי במערכת הניהול וקבלת ההחלטות בישראל שמעדיפה לא להחליט ושגורמת לסחבת אין סופית ויש בה ספקות האם ישראל אמנם תחויב בקיום הפרוטוקול. ואם ישראל תחויב ולא תעמוד בהתחייבות, האם היא באמת תסבול? האם לא יתנו לה זמן הסתגלות?

לשאלות אלה אפשר לתת שתי תשובות. סוג אחד תשובה באופן החלטי שפרוטוקול קיוטו ראוי גם ראוי, שאנחנו ללא צל של ספק נחויב לעמוד בו ושאים לאו, נינזק באופן קשה. אפשר גם להראות תכנית מושכת מאוד מבחינה כלכלית וסביבתית שאין דבר קל ורצוי יותר מלעמוד בדרישות פרוטוקול קיוטו, ותכנית כזו אנו ננסה להביא כאן. אבל, אפשר גם לתת סוג אחר, שלישי, של תשובה.

כפי שנסביר להלן, ישנה הסתברות P שנינזק אם לא נקיים את פרוטוקול קיוטו ועלות הפרקטיקה הקיימת בתוספת הנזקים שנינזק C. העלות המסתברת תהיה המכפלה $P \cdot C$.

כנגד זה תהיה הסתברות $(1-P)$ שאם ננקוט באמצעי להפחית גזי חממה נוציא אותם לריק כי באמת נמנע נזקים סביבתיים מקומיים בלבד, ולא נתבע על נזקים בינלאומיים עקב אי עמידה בפרוטוקול קיוטו, וההשקעה היתרה של המדינה במאמץ לעמוד בדרישת הפרוטוקול תהיה EC (Extra Cost), והיא תהיה בבחינת בזבז.

כדי להחליט נבטא את פקטור הסיכון D.

$$(1) D = \frac{P * C}{(1 - P)EC}$$

אם השבר D גדול מיחידה, כדאי להשקיע השקעות יתר EC במניעת הנזק C שהוא רק בהסתברות P. חשוב להבין שאם נמצא באורח פלא טכנולוגיה חלופית לאנרגיה, שהיא זולה ממה שאנו מוציאים היום, או אם נמצא דרכי ייעול של שימוש באנרגיה, כך שנקבל $EC=0$ או אפילו $EC < 0$ יש הצדקה אין סופית D לקיים את פרוטוקול קיוטו.

ייתכן שיש וויכוח ללא יכולת להכריע אם אמנם השימוש בדלק גורם לשינוי אקלים, ואם זה מקור לנזק ואם אמנם ישראל תחוייב בהקטנת כמות גזי החממה. לצורך הדיון נוכל להניח אז ש $P=0.5$. מה שנשאר מהשבר במשוואה (1) זה C/EC או עלות הנזק חלקי עלות היתר למניעת הנזק בעזרת אנרגיה חליפית.

אם למשל עלות ייצור של קוט"ש חשמל היא 6.04 סנט והעלויות החברתיות מוערכות ב - 7 סנט לקוט"ש, אז C שווה ל- 11 סנט לקוט"ש. כל עוד עלות ייצור של אנרגיה חליפית נמוכה מ - 11 סנט, הרי עלות היתר EC שלילית. גם אם עלות היתר שווה לאפס, ישנה כדאיות אינסופית להמיר את ייצור האנרגיה באנרגיה חליפית. נניח שעלות ייצור חשמל באנרגיה חליפית גדולה בסנטים בודדים מעבר ל - 11 סנט, עדיין השבר גדול מיחידה וכדאי לנו מבחינת הביטחון הציבורי להשקיע בה.

גם פרטים וגם המדינה עושים יומיום החלטות ביטוח שבהן ישנו סיכון כלשהו, $P * C$, וכדי להסירו. משלמים סכום שהוא קטן למדי, כך שהשבר D הוא מספר גדול. זוהי המשמעות של ההחלטה אם עלות המניעה EC קרובה לאפס או קטנה מאפס, כלומר, ברור לגמרי שיותר זול לבחור בדרך המונעת נזקים. השאלה איננה כלל של ביטוח אלא העדפה כלכלית סטטיסטית פשוטה. זהו בדיוק המקרה שלנו.

המודל הביטוחי הזה בא להחליף מודל שכלכלנים, חוקרים אוהבים מאוד, ובו מבקשים לצייר את ההוצאה הדרושה EC ההולכת ועולה כפונקציה של מידת המניעה של נזקים סביבתיים, וכן את מידת הנזק C הנותרת ההולכת ויורדת כפונקציה של מידת המניעה. מבקשים רמת השקעה מסוימת שעבורה הסכום S יהיה מינימלי. במקום משוואה (1) לעיל, כותבים את הסכום:

$$(2) S = P * C + (1 - P) EC$$

כאשר כל המשתנים הם פונקציה של מדד כלשהו למידת המניעה ומבקשים שהערך של S יהיה מינימלי. פתרון של משוואה (2) ידרוש בדרך כלל מחקר של הרבה שנים, ועד ששלב אחד שלו יסתיים, הטכנולוגיה והמסחר ישתנו כדי שיהיה צורך לחקור אותו מחדש. יש סיכוי לקבל הרבה מימון למחקר ולא לקבל אף תשובה. עם קצת מזל, למשוואה (1) בגישת הביטוח ישנה תשובה כבר עכשיו על ידי האינפורמציה הזמינה כיום. על כן יש לנסות אותה תחילה.

דוגמאות

אמרנו שישנן 3 טכנולוגיות אפשריות (שתפורטנה בהמשך) אשר ההשקעה בהן קטנה מ - 3000 דולר לקילוואט ממוצע, כך שהן יכולות להיות מוצדקות לאור נזקים סביבתיים, אפילו של תחנה עם מעגל משולב קיימת ומופעלת על ידי גז טבעי (ראה טבלה 5 לעיל שבה המינימום של העלות החברתית הוא 2692 דולר). הנחנו 5% ריבית ו - 30 שנות חיים לתחנה מופעלת גז שכבר קיימת (!) לא כל שכן שאלה עדיפות על הערך הנוכחי של העלויות החברתיות ביחד עם עלות ההקמה בתחנות חדשות מופעלות בגז, ולקיים שמעל 30 שנה.

לתועלת של מניעת נזקים סביבתיים והימנעות מנזקים עקב אי עמידה בדרישות קיוטו, יש הרי להוסיף שיפור משמעי במאזן התשלומים עקב אי צורך ברכישת דלק וכן חסכון בניית תחנה חדשה מופעלת גז, עלות שמתקרבת ל - 600 דולר לקילוואט. והרי במשוואה (1) לעיל במכנה $EC \rightarrow 0$ או אפילו שלילי. והרי מקדם הביטוח במשוואה $D \gg 1$ וכדאי גם כדאי לאתגר להשתמש בשיטות החלופות, אפילו אם ההסתברות P לנזק על אי קיום פרוטוקול קיוטו היא קטנה מאוד משום שעלות הנזק C היא אף פעם לא אפסית.

א. יש לחסל את כל ערימות הפסולת הפולטות מתאן. פסולת עירונית מכוסה מייצרת כ - 55 ק"ג מתאן לכל טון פסולת. כ - 5 מיליון טון לשנה מייצרים בסביבות 275 מיליון קילוגרם מתאן, שהם שווי ערך ל - 15 מיליון טון פחמן דו-חמצני, שהם כרבע עד שליש מכל גזי החממה בישראל.

חיסול ערימות הפסולת, אם כך, פותר קרוב לחצי מהמשימה של הפחתת הפליטה ב - $2/3$, לפי דרישת קיוטו, ביחס לישראל.

ב. לחיסול ערימות הפסולת יש עוד כמה בונוסים:

- הפסולת יכולה להחליף כ - 12% מכל הדלק לייצור חשמל או קרוב למחצית מכל צריכת הדלק (כ - 650 קוט"ש לטון פסולת).

- ערימות הפסולת מהוות גורם מזהם מס' 2 (אחרי הביוב) של מי התהום ומהוות מפגע יקר מאוד גם מבחינת בריאותית. מיחזור הפסולת וניצולה כדלק יקטינו את עלות הטיפול בפסולת יקטינו את השטח הדרוש לשם כך. הוא יקטיף את ההובלה בדרכים, ועוד.

ג. ניתן לייעל את השימוש באנרגיה בלא פחות מ- 20% מההיקף היום, זאת על ידי טכנולוגיה קיימת והשקעות שמוחזרות בפחות מ- 5 שנים. אם נחסוך כ - 20% מ- $2/3$ של גזי החממה, נחסוך עוד כ- 14% של גזי החממה, ונחסוך עד סוף העשור יותר מ - 600 מיליון דולר לשנה יבוא.

ד. אפשר להתקין בישראל חוות רוח בהיקף של לא פחות מ - 600 מגה-וואט. למעשה, אפשר להגדיל מספר זה באופן משמעי, אם מוכנים לשלם תמורת החשמל לפי העלויות החברתיות, ולו חלק קטן שלהן, לפרוטוקול קיוטו של החלופה. מכאן אפשר להחליף כמה אחוזים נוספים של צריכת הדלק.

אם נשכם עד כאן, נקבל בקרוב גס :

33%	חיסול פליטת מתאן מפסולת עד
6%	החלפת דלק לחשמל על ידי פסולת עד
20%	ייעול השימוש באנרגיה עד
4%	חוות רוח עד
63% מכל גזי החממה	סה"כ עד כאן

נפח החשמל המחליף יוכל להיות מיוצר בעלות נמוכה יותר מהחשמל המיוצר היום, אבל בוודאי בהפרש מחיר קטן. להיפך. למעשה, הוא נוצר תוך חסכון רב ושיפור במאזן התשלומים.

20%	חסכון עד
12%	פסולת עד
6%	רוח עד
> 38%	סה"כ חסכון בדלק לחשמל

ברור לגמרי שלפי משואה (1) של ביטוח, קל מאוד להגיע להחלטה שאסור להימנע מעמידה בדרישות קיוטו לאלתר לפחות בטכנולוגיות הקיימות שנמנו לעיל, ותוך רווחים גדולים. גם ללא הפרוטוקול כדאי ביותר לפעול.

בהמשך נפרט יותר את תיאור הטכנולוגיות השונות ובניהן לפחות עוד אחת שיכולה להצדיק לפחות את כל צריכת החשמל של ישראל ממקורות נקיים, מתחדשים, ובמחיר זול מאוד. ייתכן אז שהגז שנתגלה בחופי ישראל יוכל לשמש כולו להמיר דלק מתזקי נפט בגז טבעי לכל צריכת התחבורה הקרקעית.

לאור הניתוח שלעיל, אם נצדיק אותו בפרקים הבאים, קשה להבין כיצד קובעים במשרד התשתיות תחזית של אנרגיות חליפיות כדי 1-2% עד סוף העשור.

פרק 3: נתוני אנרגיה ועלויות סבסוד

3.1 סבסוד חשמל

סבסוד חשמל נפוץ מאוד בעולם. לפי הערכה אחת הוא עלה 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. הערכים שנשמעו סבירים נעו בין 2.5-4.5 סנט לקוט"ש, ובס"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, אם הם בכלל אפשריים. כמו כן אין זה כולל את העלויות החברתיות החיצוניות הנובעות מנזקים סביבתיים בגלל השימוש בדלק.

מחירי החשמל בישראל זולים מאוד בהשוואה לחברות בעולם המערבי. הרי הציוד בתחנות הכוח הוא אותו ציוד, ישראל לא רוכשת דלק זול יותר מאחרים ומלוא הדלק מיובא. 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.

אפשר להדגים שני סעיפים של הסבסוד. השקעה בתחנת כוח אופיינית היא בריבית ריאלית של 7-8%. רווח אופייני הצפוי על ההון למשקיעים פרטיים הוא כ- 7%, ובס"ה 14-15% על ההשקעה. בחברת החשמל שני סעיפים אלה לא עלו במשך שנים על 3.4% בערכים ריאליים. אם השקעה לקילוואט מותקן בתחנה פחמית היתה \$1300 (לפחות) ואם ההשקעה לקילוואט ממוצע היתה קרובה ל- \$2000 הרי שההפרש לקילוואט שעה היה בגין סעיף זה בלבד 2-2.3 סנט לקוט"ש. אם דרושים בתחנת כוח כ- 350 מטרים רבועים לייצור מיליון קוט"ש לשנה ואם עלות היתר לדונם על חוף הים היא 0.5 מיליון דולר בלבד הרי הסבסוד בגין סעיף זה מגיע קרוב לסנט לקוט"ש.

אם מקבלים את ההערכות הנ"ל או מספרים קרובים להם, נמצא שס"ה הסבסוד לחשמל הגיע ב- 1997 לפי הממעיטים בין 750 ל- 1350 מיליון דולר לשנה ולפי המרבים בין 1800 ל- 2250 מיליון דולר בשנה, הרבה יותר מאשר למים.

במשך השנים נראית ירידה נמשכת ברזרבות הייצור וחשש הולך וגובר לנפילות הרשת ולנזקים קשים למשק. חשוב להדגיש כי קוט"ש חשמל שלא סופק נזקו יותר מאשר פי 10 מהעלות של ייצור קוט"ש נוסף שימנע נזק זה.

תעריף החשמל הביתי במדינת ישראל לסוף שנת 2001, הוא בממוצע 8.8 סנט לקוט"ש למגזר הביתי, 6.4 סנט לקוט"ש למגזר התעשייתי, כמו בהולנד ובלגיה. הודו היא מעל פורטוגל וצ'כיה. התעריפים בארץ בממוצע גבוהים ב- 2.3 סנט מהתעריף בארה"ב לתעשייה וב- 2.4 סנט בממוצע בתעריף הביתי.

ההוזלה המלאכותית של מחירי החשמל בארץ גוררים אחריהם רק בזבוז. הסיכוי להפרטה קטן, אם בכלל, ויהיה כרוך בהפסדים של עשרות מיליארדי דולרים.

3.2 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. השורה הראשונה בטבלאות שלהלן מובאת מחישוב הערך הנוכחי של העלויות החברתיות החיצוניות ל - 30 שנה בלבד, לפי 5% ריבית או 0%, כפי שנעשה בסוף טבלה 1. השורה השנייה חושבה על ידי הערך הנוכחי של סבסוד שנמנע, כאילו היה שווה ל - 3 סנט לקוט"ש חשמל בלבד ועל מספר מינימלי זה אין כמעט ויכוח. השורה השלישית היא בגין החיסכון בעלות הישירה של דלק לפי מחירו היום לייצור קוט"ש חשמל.

סבסוד של 3 סנט הוא שווה ערך להשקעה של 4039 דולר לקילוואט לפי 5% ול - 7860 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). אגב, המרה של תחנות כוח קיימות לפעול על ידי גז טבעי כרוכה בייקור משמעי של ההפעלה בהשוואה להפעלה בפחם וסולר ללא הוזלה.

טבלה 6: השקעות מותרות בדולרים לקילוואט ממוצע נטו לפי ריבית של 5% למניעת שריפה של דלק

הגורם	סוג הדלק		
	פחם	נפט	גז טבעי
עלויות חברתיות עקב נזק סביבתי	8078-9425	8078-9425	2693
עקב מניעת סבסוד של 3 סנט	4039	4039	4039
מניעת הצורך בדלק	2693	2693	2020
סה"כ השקעה חליפית מותרת	14810-16157	14810-16157	8752

טבלה 7: השקעות מותרות בדולרים לקילוואט ממוצע נטו לפי ריבית של 0% למניעת שריפה של דלק

הגורם	סוג הדלק		
	פחם	נפט	גז טבעי
עלויות חברתיות עקב נזק סביבתי	15768-18396	15768-18396	5256
עקב מניעת סבסוד	7884	7884	7884
מניעת הצורך בדלק	5256	5256	3942
סה"כ השקעה חליפית מותרת	28908-31536	28908-31536	17082

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. כאשר אורך החיים של CO₂ הוא 120 שנה משקל הנזק של סנט אחד לקוט"ש מגיע לבדו ל - 10,513 דולר בערך נוכחי לקילוואט

ממוצע במקום 2628 דולר. 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 הח"י כדי שההשקעה המותרת כדי להחליף שימוש בגז טבעי תגדל מ - 8750 דולר ל - 12,270 דולר, גם לפי ריבית של 5%.

לא נכנס בחישוב ההשקעה המותרת גם השיקול של שיפור מאזן התשלומים ע"י מניעת יבוא והגברת הייצוא וכן תועלות נוספות שהוזכרו לעיל, 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 בתחנה מופעלת על ידי גז טבעי 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.

נקדים את המאוחר ונקבע כבר עתה שבמסגרת השקעות הרבה יותר קטנות מהמותר לעיל ניתן לספק את מלוא צריכת החשמל של ישראל ממקורות נקיים ומתחדשים וחלק ניכר מכך ניתן להפעיל מייד.

ארבעת הפעולות הכדאיות ביותר הן: חיסכון, ניצול פסולת, אנרגיות רוח וארובות שרב.

3.3 חוסר כדאיות של אגירה שאובה וכדאיות של חסכון באנרגיה

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 2.6-3 סנט לקוט"ש שהועבר משעת שפל לשעת שיא. עלות נוספת זו מעמידה בסימן שאלה את כל הכדאיות של אגירה שאובה.

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.**

לעומת זאת, החיסכון באנרגיה נעשה הרבה יותר מושך מבחינה כלכלית. אם מוסיפים את הערך של הסבסוד ושל העלויות החברתיות החיצוניות לחסכון, נמצא שמותר להשקיע אפילו במקרה של תחלופה לגז טבעי ואפילו לפי ריבית של 5%, 87.5 דולר לקילוואט ממוצע בחסכון של 1% ו - 1750 דולר לקילוואט ממוצע לחסכון של 20% שהוא אפשרי במרבית המקרים. נמצא שאם מפנימים את הערכים של התמחיר החסר לחשמל כפי שפירטנו לעיל, הכדאיות לחסכון נעשית הרבה יותר גדולה מאשר מובא בהמשך בפרק 5 לפי האגף לשימור אנרגיה.

צריכת חשמל אופיינית לבית בן 3 נפשות היא, כאמור לעיל, מעל 15,000 קוט"ש בשנה או שווה ערך ליותר מ- 1.7 קילוואט ממוצע. פירוש הדבר שהשקעה מותרת לחסכון של 20% בצריכת החשמל הביתי של לפחות \$3000 לאותו בית! אין ספק שזה אפשרי, ואפילו בקלות.

3.4 הערכת מחיר ההסתגלות להגבלות פליטה של גזי חממה

דרך אלטרנטיבית לבחון את הצורך הכלכלי הדחוף בשינוי מקורות האנרגיה ושימור אנרגיה הוא המחיר הכלכלי שישראל תשלם לכשיתממשו ההחלטות של ועידת קיוטו על הגבלת הפליטה של גזי חממה. כבר הזכרנו לעיל שעבודה כזו נעשתה בהדרכתו של פרופ' מוטי שכטר מאוניברסיטת חיפה. העבודה נעשתה במסגרת צוות שהוקם להערכת הפליטה של גזי חממה בישראל והמשמעויות שלה. תוצאות הביניים הוצגו ע"י פרופ' מוטי שכטר בצוות הבינמשרדי לאנרגיות חלופיות.

המשמעויות לפי עבודה זו הן שהימנעות מנקיטת צעדים לשינוי (business as usual) יגרמו ללא ספק למגבלות קשות בייצור וייצוא למדינות המערב ובתשלום קנסות כבדים מאוד. התוצאה בוטאה בין השאר בעלות כלכלית נוספת של טון פחמן כחלק נוסף של העלות הנומינלית של הדלק. עלות נוספת זו תגיע ליותר מ - 600 דולר לטון. **פירוש הדבר הכפלה כמעט בסדר גודל של עלות השימוש בדלק, או כאילו ייצור קוט"ש חשמל כרוך בהוצאה נוספת על דלק של 15-25 סנט לקוט"ש(!).** ההוצאה הנוספת לקוט"ש אנרגיה ראשונית מנפט תהיה עוד 5 סנט לפחות, למשל בתחבורה. תוספת זאת לא מבטלת כלל את ההוצאה עקב נזקים סביבתיים שיימשכו והערכנו אותם בכ - 3 סנט לקוט"ש.

נמצא שכך או אחרת יש מניע כלכלי ניכר מאוד לחסכון וכן למעבר למקורות אנרגיה מתחדשים ונקיים. **הברירה לחכות עד שניתבע לעשות זאת בכפייה נראית מאיימת הרבה יותר מבחינה כלכלית מאשר פעולה לשנות לאלתר ולו גם על ידי הפנמה של העלויות החברתיות החיצוניות. האיום הצפוי מבחינה כלכלית הרבה יותר חמור והמשבר הכלכלי שאנו נמצאים בעיצומו של המצב הבטחוני ולפקיעת הבועה של היי-טק.**

בפרק 4 נסקור את הטכנולוגיות לחסכון באנרגיה ולמקורות אנרגיה מתחדשים ונראה שיש חלופות ממשיות מאוד כדי להחליף יבוא דלק. נציג את יכולות מדינת ישראל לפתח טכנולוגיות להפקת אנרגיה חלופית ונצביע לפחות על שלוש טכנולוגיות שישראל פיתחה לייצור חשמל ובכוחה לא רק ליישם אותן בארץ אלא להפכן למקור ייצור ויצוא בקנה מידה גדול מאוד. התשובה לשאלה האם כדאי או לא כדאי לישראל לפתח לעצמה את הטכנולוגיות החסרות כוללת את ההיבטים הבאים:

א. נטען שכדאי מאוד לפתח טכנולוגיה כזו אם היא איננה זמינה אצל אחרים. כך עשינו בחקלאות בכלל ובהשקיה בפרט. כך עשינו בנושאי הגנה ובכל נושא אחר שהיה לנו חיוני. בכל המקרים הדבר השתלם מאוד. כך עשינו אפילו בתחום האנרגיה. באותה מידה שהשקענו במו"פ על כל השקעה של דולר ע"י המדינה הושקע קרוב לדולר נוסף מבחוץ והתועלת למשק היתה יותר מאשר פי 30.

ב. מדינת ישראל איננה יכולה להרשות לעצמה שלא לנקוט אמצעים נמרצים ביותר כדי למצוא או לפתח טכנולוגיות למקורות אנרגיה חליפיים ולחסכון. הוא הדין בתחום ההתפלה. קיומנו עשוי להיות תלוי בזה.

ג. גם אם לא יחולו משברים בינלאומיים קשים, אין זה אלא שאלה של זמן לא רב שנידרש להפחית את הפליטה של גזי חממה לאוויר ולהורידו אל מתחת לרמה של 1990 וזה בשעה שפיתוחה של ישראל בכלל והתפלת מים בפרט מחייבים גידול של צריכת האנרגיה ב-5%-6 לשנה.

ד. צריך להיזהר מאוד מאשליות זמניות, כמו הבשורה של אספקת גז בישראל או ניצחון על עירק וצינור נפט שעשוי לעבור לים התיכון ומשטר ידידותי בעירק.

3.5 המודלים הכלכליים ושיקולים שמעבר להם

פתרונות 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.

הכרח להשתתפות המדינה או עיקרון הביטוח

העיקרון של הביטוח הוא שאם קורה משהו לפרט, הוא עשוי להיות מחוסל מהעדר אמצעים לשקם את עצמו או לרפא מחלה המחייבת הוצאות גדולות. כנגד זה, ההוצאה הממוצעת לשיקום היא קטנה ואיננה מהווה עול כבד על הפרט המצטרף לתכנית ביטוח של החברה כולה.

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 בעצם קיומה את מערך הביטוח למחקר. 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 פלי מיטב שיפוטם הרדוד.

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 בלתי ראויה לכל הכנסת דבר חדש. חלק נובע מאינטרסים וחלק מבורות ואטימות וחלק מהכבדות שונות שבטבע הדברים, כולל סרבול בירוקראטי שהוא ספק סדום וספק חלם. על כל אלה ניתן להתגבר בסיוע מכוון היטב.

חשבון ירוק

פרופ' צ'מנסקי, שתרם רבות לדו"ח על פיתוח בר-קיימא מ-1999, מנסח בתמצית את עיקרי המדיניות הכלכלית הדרושה לדעתו:

"אחד האמצעים לבחינת האפשרויות להשגת פיתוח בר-קיימא ברמת המשק בכללותו, רמת המקרו, הינו מערך חשבונאות לאומית המתחשב בהשפעות הסביבתיות "מאזנים ירוקים" ("green accounts"). ברמה התיאורטית, חשבונאות מסוג זה כוללת את הערך הכלכלי של ההשפעות הסביבתיות של צריכת אנרגיה (51). מאזנים ירוקים יוכלו להצביע על מיקומו בהשוואה למשקים אחרים ועל האפשרויות העומדות בפנינו, להוציא כמובן את כוח היצירה לכשהאתגרים יועמדו בפני הקהילה המדעית והטכנולוגית. באמצעות חשבונאות נכונה ניתן לבחון חלופות מדיניות תוך התייחסות להשלכות כל חלופה ולבחור בצורה מושכלת מדיניות ברמת המקרו."

"בפועל הבחירה כוללת הרבה מאוד החלטות וריבוי של מחליטים. רק בתחום החשמל, קיימים הרבה מוצרים ואמצעים שונים לייצורם. פיתוח בר-קיימא יצריך בסופו של דבר סל מוצרים מסוים ואמצעי ייצור ספציפיים מבין אלה האפשריים. ראשית דבר, יש צורך לתת אפשרות לכל זה להתפתח כך שמתוכו אפשר יהיה לבחור. כדי לסייע צריך שהמחירים ישקפו בנאמנות את כל העלויות. ההתנהגות האינטרסנטית של הצרכנים, המשקיעים והמפעילים של המערכות השונות יגרמו לשימוש בהיקף אופי ותזמון של אנרגיה המתאים לפיתוח בר-קיימא."

"במצב האידיאלי שבו המערכת הפנימה את הצורך לקחת בחשבון את העלויות החברתיות ולחשב עליות ריאליות, ובהנחה שאנו מסייעים באופן אינטנסיבי לפיתוח סל של מוצרים ללא דיעות קדומות, אפשר להגדיר את מטרת העל הכלכלית להביא לידי אופטימום את המאזן הירוק לנפש במדינת ישראל ולהביא לידי איזון במסגרת כל החלטה בין התועלת השולית לחברה (MSB) ובין העלות השולית לחברה (MSC). למעשה יש להביא לשוויון בין השניים."

"לא תמיד ניתן למדוד באופן מלא את הערכים הנוגעים לדבר אבל גישה זו צריכה להניע החלטה על מדיניות גם אם הערכים מקורבים. מתוך שיקול כזה הגיעו בקליפורניה למדיניות של תמחיר "ירוק" של מוצרי חשמל. המדיניות שהתקבלה ובוצעה הובילה למצב שכל הגידול הנדרש בצריכת החשמל במטרה לספק את צרכי הגידול באוכלוסיה ובצמיחה הכלכלית בעשור האחרון היתה באמצעות הגברת השימור. אל השימור ניתן להתייחס כאל "מוצרי חשמל" (52)."

"באופן דומה, יש להניח שהתנהגות רציונלית של הצרכנים תבקש להשוות בין העלות השולית הפרטית לתועלת השולית הפרטית. כך שעל ידי תמחור מתאים אפשר יהיה לכוון את התנהגות הצרכנים (בין אם הצרכן הביתי או התעשייתי). כך גם איזון העלות השולית של הייצור של יחידת מוצר נוספת וההכנסה השולית ממכירת אותה יחידת ייצור."

"בהנחה שהמחירים של מוצרי החשמל ומוצרי אנרגיה אחרים משקפים בנאמנות את כל העלויות של ייצור והספקת כל העלויות השוליות תשתוו (53). זה באופן בסיסי צריך להיות היסוד למדיניות המבטיחה מצב של יעילות הקצאתית (או allocative efficiency) תוך שימוש בסך של גורמי ייצור הממזער את העלויות לחברה במצב של יעילות טכנית או technical efficiency."

"בארץ, כמו במדינות רבות, בהיעדר שוק תחרותי לחשמל תפקידה של הרשות לפיקוח על המונופולים לגרום לתמחור המתאים למצב שהיה נוצר באופן אוטומטי בשוק תחרותי. לשם כך, המחיר צריך קודם כל לשקף באופן מלא את מבנה העלויות של ייצור ואספקת אנרגיה לצרכן. בהיעדר משטר מחירים כזה ישנה בהכרח השחתת משאבים שאינה קובעת צריכת אנרגיה אופטימלית ליחידת תוצר לאומי או תל"ג וכך גם עקומת הביקוש על פני השנה."

"רשות השירותים הציבוריים - חשמל תהיה חייבת בעתיד לאמץ מדיניות תיערוף על בסיס עלויות אמת ללא סבסוד בתוספת העלויות החברתיות ועל בסיס של עלויות שוליות."

"אחת מבעיות התמחור בישראל היא ההתבססות על עלויות היסטוריות במקום עלויות עתידיות (future test years). הדבר משמעותי ביותר בתקופות של אינפלציה. מחדל זה מגדיל באופן מעשי את הסבסוד."

דבריו של פרופ' דני צימנסקי המובאים לעיל הם חשובים ביותר והחובה להחיל חשבונות ירוקים קיימת. אני רק מבקש להזהיר מפני דקדוקים רבים מדי בקביעת אופטימום בדיוק של כמה ספרות אחרי הפסיק. ישנן דרכים פשוטות לחישוב שעם מעט מזל אפשר להגיע בהן למסקנות "עשה" מבלי לחכות דור שלם כדי לערוך חישוב מדויק של אופטימום. כך שעד שמסיימים את החשבון, הוא הופך להיות בלתי רלבנטי. זוהי אחת הסיבות הקשות ביותר שגורמות לכך שההתנהלות בישראל מבחינת התכנון והעשייה מתקיימת ללא משוב. עד שמחליטים על תכנית, היא הופכת, בהרבה מקרים, להיות בלתי רלוונטית.

חמור מזאת, הקושי להשיג אמצעי מחקר ולהבטיח רציפות בעבודה מדכא יוזמות מחקריות. הידיעה שבסופו של דבר יהיה לבזבז 10-20 שנה כדי להתמודד עם הבריקרטיה המקומית גם במקרה של הצלחה, מבזבזת את מרבית הידע שנוצר בארץ או בכלל מונעת את יצירתו. פרופ' דני צימנסקי איננו מציע פתרון לבעיה זו.

אין לדחות את הרכיבים המרכזיים שמזכיר פרופ' צימנסקי, שהם:

- ניהול חשבון ירוק למלא אורך 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.

אלה הם חלק מהתיקונים העקרוניים, בוודאי לא כולם.

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.

3.6 סיכום נקודות למדיניות פיתוח משק אנרגיה בר-קיימא

- א. יש 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. עקרון שלישי הוא שיש לקבוע כללי משחק מתאימים וחתימה מקסימלית למילוי אתגרים ולהשגת היעדים.
 - ד. 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.
 - ה. יש לאמץ מחיר ריאלי לאנרגיה כאמצעי לפיתוח בר-קיימא.
 - ו. יש למנוע כל סבסוד מבסיס התעריף במערך העלויות של אנרגיה ושימושי אנרגיה, אולי גם להציע תמיכה זמנית בטכנולוגיות חדשות ואנרגיה חלופית.
 - ז. יש, כאמור, לכלול בתעריף את כל ההשפעות הסביבתיות לפי ההערכות המחמירות וזאת תוך חישוב ערך נוכחי בשער ריבית נמוך.
 - ח. התעריף צריך להיות מבוסס גם על עלויות שוליות ומחירי צל. אולם, יש להיזהר - פעמים רבות בשימוש במחירי צל גורמים למיסוי מזיק ויש להשתמש בערכים ממוצעים.
 - ט. יש לאפשר פטור ממס על השקעות לשימור אנרגיה או לחסכון שאינו נופל מהפטור שהיה נוצר על הוצאות של האנרגיה הנחסכת.
 - י. יש להקצות אמצעים לתחיקה, אכיפה, הדגמה והדרכה.
 - יא. 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.
- כל העיקרים של סיוע בפיתוח בר-קיימא (שיש בהם מיזם של חפיפה הדדית) נובעים משיקולים כלכליים צרופים על אף שהם הולכים, כאמור, יד ביד עם מילוי היעדים האחרים הערכיים ואיכותיים.

בין הממליצים על פתרונות בני-קיימא יש הטוענים גם לביזור אמצעי הייצור כעקרון מבוקש. בעינינו זה טוב אם זה אפשרי אבל אין בכך כל עיקרון מקודש. בביזור עצמו יתרונות בהקלת הדרישות, לכאורה, לרשתות הובלה לעקיפה של מונופול לכאורה טבעי ובטחון מסוים באספקה. אבל כיום אין טכנולוגיה שתציע לכך פתרון כלכלי.

פרק 4: יישום החיסכון באנרגיה וניהול הצריכה

4.1 עיקרי הדברים

- אין כל ספק שחסכון באנרגיה, ייעול השימוש ושימור מהווים את הפעולה החשובה ביותר לפני, בזמן ואחרי יישום של מקורות אנרגיה מתחדשים.
- ישנה שורה ארוכה של טכנולוגיות לחסכון באנרגיה בחמשת המגזרים: בתחום אנרגיה במבנים; אנרגיה בתעשייה; אספקת מים והתפלת מים, בתחבורה, ובהתמרות אנרגיה.
- חסכון באנרגיה יכול להביא לתועלות הבאות:
 - א. חסכון בהוצאה על דלק ושיפור מאזן התשלומים;
 - ב. הקטנת הזיהום והעלויות החברתיות הן בשריפת הדלק והן בשימושים הנלווים;
 - ג. הקטנת היקף הסבסוד;
 - ד. במקרים לא מעטים תוספת תעסוקה ופיתוח תעשיות.
- האגף לשימוש יעיל באנרגיה במשרד התשתיות כאשר התקיים בעבר, העריך בעבר שניתן לחסוך למעלה מ- 21% של האנרגיה בטכנולוגיות קיימות ובהשקעה שהחזר שלה הוא בפחות מ- 5 שנים. למעשה ההיקף יכול להיות הרבה יותר גדול כאשר מפנימים את העלויות החברתיות עקב השפעות סביבתיות ואת התועלות הנלוות. זאת מפני שההשקעה המותרת גדולה פי כמה. לפי האגף לשימור משאבים במשרד התשתיות ניתן להגיע תוך שנים ספורות לחסכון של 1.3 מיליארד דולר בשנה (!) הדבר תלוי אך ורק בתקציב הנפה קטן ביותר.
- ההשקעה המותרת כדי להשיג חסכון של אחוז אחד בחשמל מפחם או נפט בגין הקטנת השימוש בדלק בלבד היא 150-160 דולר לקילוואט חשמל ממוצע; לחשמל מגזר ההשקעה המותרת היא 87 דולר וזאת לפי ריבית של 5%. הסכומים עולים ומגיעים כאשר חוסכים 1% של החשמל המיוצר ע"י פחם או נפט לפי ריבית של 0% להשקעה מותרת של 290-315 דולר לקילוואט ול- 170 דולר לקילוואט בהתאמה. נקל להכפיל ולקבוע את המספרים כאשר החיסכון הצפוי עשוי להגיע ליותר מ-20%.
- מרבית השיטות המוזכרות לחסכון דורשות השקעות קטנות בהרבה כדי לחזר בפחות מ- 5 שנים.
- חסכוניות בתחבורה אפשר להשיג בין השאר ע"י הגברת חלקה של התחבורה הציבורית, ע"י שיפור הכבישים ומניעה של פקקי תנועה, וע"י התקנה של תחבורה מסילתית. נוספות לאלה תועלות כלכליות בעלות ערך גבוה מאוד הנובעות מהקלת העומס על הכבישים, חסכון בשעות עבודה ובסלילת כבישים והמעטת תאונות ונפגעים.
- אחד הסעיפים החשובים ביותר בתחבורה הוא מעבר לשימוש בהנעה ע"י חשמל, או לפחות רכב היברידי. אפשר לדרוש שרכב חלוקה בעיר יהיה רק רכב חשמלי. החיסכון בדלק הוא גדול ביותר ומניעת זיהום האוויר היא בעלת משקל מכריע. כמו כן, רכב ציבורי בעיר יכול להיות רכב חשמלי

הנוסע מרבית הזמן לאורך קווי אספקת חשמל ומצויד במצברים לחיבורים קצרים בין קווי אספקת החשמל. אין באלה כל המצאה חדשה. ישנם עוד רעיונות חדשים לפיתוח.

- לתחליפים לדלק לשם ייצור חשמל יש משמעות דרמטית אפשרית לתחבורה. גז טבעי לא ראוי שימש לייצור חשמל. מוטב שימש להנעה מוטורית הרבה יותר נקייה. בינתיים אין לנו אמצעי אחר לתחליף באופן נרחב דלקים קיימים. החריג היחידי הוא ביו-גז המופק מספולת, ושעשוי להגיע ל - 12% מהחשמל הנצרך לא לכל צרכי התחבורה, אבל לחלק משמעי.

- על תחליפים לדלק ממקורות מתחדשים נדון בפרק הבא.

- ישנה רשימה ארוכה מאוד של אמצעים לחסכון באנרגיה במבנים, רובם בטכנולוגיות זמינות וקיימות.

- בתעשייה ניתן להמיר דלק נוזלי וגזי בחשמל. רוב הטכנולוגיות לחסכון אנרגיה במבנים ישימות גם בתעשייה.

- אחד האמצעים הנפוצים יותר ויותר בעולם הוא cogeneration המאפשר ניצול חום שיורי אחרי ייצור חשמל. דבר זה ישים בעיקר בתעשייה. ספק אם הוא ישים לתעשיות החשמל בישראל כפי שהוא ישים בארצות קרות. עם זאת, ניתן להשתמש בחום אבוד לקירור, להתפלה ולפעולות אחרות.

- יש מקום לחסכון רב בחשמל למשק המים וההשקיה.

- יהיה צורך לחפש דרכים להתפלה בעזרת מקורות אנרגיה מתחדשים אם אפשר עם סינרגיזם חיובי בין השניים. הדבר נראה אפשרי בטכנולוגיות המפותחות בישראל, הן בתהליך זיקוק והן באוסמוזה הפוכה.

- השגת החיסכון באנרגיה תיעזר על ידי :

א. מניעת כל סבסוד דלק ותיערוף מלא הכולל הוצאות חברתיות חיצוניות ;

ב. הטלת מיסים או הורדת מיסים בסעיפים המתאימים ;

ג. מדיניות עידוד והשקעות מדינה לשימושים חסכוניים ;

ד. חקיקה ותקינה בתחומים שונים והקפדה על אכיפה ;

ה. ניכוי מס שווי ערך להשקעות בחסכון כמו מהוצאות שנעשו לצורך ייצור רווח ;

ו. הכשרה, הדרכה והסברה ;

ז. מו"פ.

- יחס התועלות בחסכון להשקעה הממשלתית הדרושה כדי להפעיל אותו הוערך בעבר ע"י האגף לשימור אנרגיה ב - 1: 50. ברוב מפעלי החיסכון שהם בחנו התועלת היא פי 5 עד פי 10 מההשקעה. יחס המינוף בעתיד (התועלת ביחס לתקציב המדינה הדרוש לשם כך) עשוי לגדול ליותר מ - 1: 150.

- ההשקעה ע"י הממשלה בתקציב לשימור אנרגיה ירדה בצורה מבישה עד לערך הנמוך של 2 סנט לנפש לשנה. התקציב חייב לגדול עד ל - 4-5 דולר לנפש לשנה כמקובל בארצות מערב וגם בכמה

מהמדינות המתפתחות. בתנאי מדינת ישראל הוא צריך להיות סביב 20 מיליון דולר לשנה. כאמור לעיל, האגף לשימוש יעיל נסגר. יש לחזור להקים אותו ולהפעיל אותו מחדש בהקדם האפשרי.

- ההתייחסות של הממשלה לסעיף החיסכון באנרגיה מהווה הדגמה קיצונית ביותר ליחס הבלתי מקצועי לנושא, להיעדר כל ראייה מערכתית והיעדר כל תכנון של ממש. היחס אל חברת החשמל ותפקודה חיזק עוד יותר מאשר בעבר את חוסר המעש מצד חברת החשמל בתחום זה של חסכון. לחברת החשמל ישנו אינטרס מובנה הפוך. כאשר בכיר במשרד התשתיות הותקף בעניין זה בכנס על אנרגיות חלופיות ונדרש להסביר את העובדה שלמשרד אין בעצם כל תכנית, הוא אפילו לא הבין בדיוק על מה מדובר, ובתשובתו ציטט את תכניות המגירה של חברת החשמל. לאחרונה פורסמה אמנם תכנית של חברת החשמל והיא כוללת הקמת 6 (שש) תחנות כוח חדשות מופעלות בדלק עד שנת 2006. אין אף רמז למאמץ חסכון שבמקרה הרע ביותר יכול היה לדחות את כל ההשקעה בתחנות כוח לפחות לחמש שנים מעבר למועדים המומלצים בתכנית של חח"י.
- בנושא החיסכון כשלו גם הגופים האחרים. הרשות לשירותים ציבוריים-חשמל, ארגוני הצרכנים ובעלי המקצוע באשר הם. אין כמו סעיף זה של חסכון המעיד שיש הכרח בארגון מחדש של כל המערכת המטפלת בתחום האנרגיה והתשתית. בוודאי שאין למצוא אף מילה טובה למשרד האוצר. לפנינו עוד דוגמא של חיסכון לא של החשמל אל של ההוצאה כדי לחסוך חשמל - חיסכון השקעה של לא יותר מ - 20 מיליון דולר לשנה כדי להפסיד מעל מיליארד דולר לשנה!!!
- הניסיון וכן מחקרים מראים שבניגוד לכמה תיאוריות כלכליות הצרכן שאמור לחסוך איננו נוהג בהכרח לפי היגיון כלכלי אקדמי. הצרכן הטיפוסי מבקש בדרך כלל החזר תוך שנה או שנתיים, וזאת גם כשהחזר תוך 5-10 שנים כדאי מאוד, יותר מכל תכנית חסכון. יש הכרח בסיוע ציבורי ומתן דוגמא כדי שהחיסכון ימומש, סיוע שהוא בעל רמת כדאיות גבוהה מאוד למשק.
- לבסוף, הכרחי לבחון מחדש מדידות ותעריפים המעודדים חלוקה נבונה של הצריכה על פני זמן, הגדלת החלק הסולרי בחימום ובתאורה, והקטנת שיאי ביקוש.

4.2 מגמות בחסכון באנרגיה

ההתפתחויות שהתרחשו בתחום זה בארץ היו לאחרונה ברובן שליליות. היה עידוד לריבוי ציוד חשמלי ובזבוז יותר ויותר חשמל ודלק במבנים, יותר רכב פרטי גדול ופחות תחבורה ציבורית. מספר כלי הרכב גדל מחצי מיליון בקירוב בשנת 1980 למיליון כלי רכב ב - 1990 ולמיליון וחצי בשנת 1996. בהשוואה עם אירופה וארה"ב מספר כלי הרכב צפוי עוד לגדול בהרבה. כך גם בתחומי צריכה אחרים.

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 1980-94 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 ועוד עלייה בצריכת האנרגיה. לעומת זאת, ב - 1994 היא היתה גבוהה ב- 15% מזו שבאיחוד האירופי. זה מה שקרה בתקופה שבה היתה עלייה של מחירי האנרגיה. זהו יותר מרמז שהעלייה בהוצאות לדלק עשויה לגדול כפי שחזינו לעיל מבלי שהפעילות הכלכלית תגדל באותו יחס. אם תהליך זה יימשך כפי שהוא הרי עצימות האנרגיה תגדל עד שנת 2020 ביותר מ - 50%. עליית מחירי האנרגיה עשויה עוד להחמיר את התמונה. נתון אחר שהבאנו לעיל הוא גידול

ממוצע פליטת CO₂ לנפש מ - 1.6 טון לנפש לשנה ב - 1980 ל - 2.7 טון לנפש לשנה ב - 1996. בזה חלק ניכר לתעשייה ולתחבורה.

מימוש הפוטנציאל לחסכון באנרגיה יוכל להביא להורדה של עצימות האנרגיה בקרוב ל - 15% מ - 220.1 בשנת 1994 ל - 189.5 ביחידות של טון שווה ערך נפט לשנה למיליון דולר של תמ"ג בשנת 2010. עדיין גבוה מבאיחוד האירופי. אין כל מניעה להוריד אותו עוד יותר, הרבה יותר.

בתקופה קצרה יחסית היתה פעילות מורגשת של משרד האנרגיה בעידוד החיסכון (בתחילת שנות השמונים וראשית שנות התשעים). אך זו לא נמשכה ברמה נאותה. אין זו מכה משמייס. זו תוצאה של מידת ההערכה לחשיבות הנושא והפניית אמצעים. אפשר לראות בנתונים המובאים בהמשך שניתן לחסוך הרבה. אלא שלכך דרושה מדיניות מתאימה.

4.3 הישגים ומחדלים לחסכון בישראל

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

טבלה 8: פעולת שימור אנרגיה בשנים 1977-1995.

12.8 מיליון טשע"נ	חסכון מצטבר בדלק
3554 מיליון דולר	חסכון מצטבר בכסף
1003 מיליון דולר	חיסכון בהוצאת המשק
36 מיליון דולר	תקציב המדינה לשימור אנרגיה
170.1 דולר חסכון נטו לדולר	יחס המינוף - תועלת נטו למשק
תקציב מדינה	לתקציב המדינה
2.54 דולר חסכון נקי לדולר השקעה	יחס תועלת נטו

כל הנתונים נאספו ע"י האגף לשימור אנרגיה, קודם במשרד האנרגיה. חשוב להדגיש שאילו חושב הערך הנוכחי של כל התרומה המצטברת בשנים שיבואו התועלת המחושבת הנמדדת היתה הרבה יותר גבוהה. להלן שינוי התקציב הממשלתי לשימור אנרגיה בדולרים של 1986. להלן השוואה של תקציבי שימור אנרגיה אופייניים לשנים 1998 או 1999 (חלק מהנתונים ל - 8-1996 לפי עבודת האגף לשימור אנרגיה).

טבלה 9: תקציב לשימור אנרגיה

שנה	תקציב לשימור אנרגיה ב- 106\$ של 1988
1986	2.48
1987	2.19
1988	2.03
1989	1.9
1990	1.6
1991	1.35
1992	1.09
1993	0.43
1994	0.54
1995	0.48
1996	0.43
1997	0.35
1998	0.27
1999	0.07

טבלה 10: תקציב ממשלתי לשימור אנרגיה בארה"ב, הולנד וישראל (במיליוני \$)

ישראל	הולנד	ארה"ב	תקציב ממשלתי לשימור אנרגיה במיליוני \$
0.1	66.8	1197.8	
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

הפוטנציאל לחסכון הוא אדיר ונמדד בהיקף של מיליארדי דולרים. לפי רמת השימוש באנרגיה היום הוא עשוי להגיע קרוב ל - 1.3 מיליארד דולר בשנה (!)

היכולת לחסוך הוכחה בפועל בעבר. מעולם התקציב לשימור אנרגיה לא היה נמוך כמו בתקופת האדמיניסטרציות האחרונות, אם כי גם האדמיניסטרציות הקודמות לא נקיות מהזנחה. קשה להבין או לקבל התנהגות זו. התקציב המיועד לשנת 1999 מהווה פחות מ- 0.5% בהשוואה למדינות רבות אחרות ובוודאי אחוז דומה מהתקציב הדרוש בישראל.

יש הכרח דחוף בשינוי המדיניות לשימור אנרגיה. אסור שהתקציב השנתי ייפול מ - 18 מיליון דולר לשנה. אלא שמתמונת הטיפול בחסכון מצטיירת תמונה עגומה הרבה יותר. זהו כשל מביש לא רק של משרד התשתיות אלא של כל המערכות מסביב; הרשות לשירותים ציבוריים-חשמל וארגוני הצרכנים והמשרד לאיכות הסביבה. אי אפשר להאשים את חברת החשמל משום שהאינטרס המובנה שלה, בתפקיד שנגזר לה לפי התפישה הכלכלית השלטת, להגביר ככל האפשר את צריכת החשמל, ואם אפשר, לבנות עוד תחנות כוח. הכשל הוא קודם כל ברמה המקצועית של כל העוסקים בנושא. אבל אין ספק שמשוהו לקוי מאוד במבנה הארגוני. זוהי עדות מפחידה שלמשרד התשתיות ולמשרד לאיכות הסביבה אין כל תכנית, בין אם מתוך חוסר יכולת, בין אם מתוך חוסר אכפתיות או משיקולים זרים.

4.4 אנרגיה במבנים

חלק ניכר של האנרגיה משמש למבנים, צריכה ביתית ועירונית. 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. חלק מהן מוצלחות מאוד.

הבעיות המרכזיות הן:

א. קשה מאוד להקנות תרבות בנייה חדשה לשוק הבנייה. להוציא חוק להתקנת קולטי שמש לחימום מים וכמה טכניקות לבידוד קירות, כמעט לא היתה התקדמות בתחום זה. אין כיבוד של התקנות שהותקנו ואין אכיפה. לא נעשה מאמץ חינוכי של הקונים כדי שיבדקו את הצד האנרגטי כפי שהם בודקים את טיב הרצפה או אינסטלציה בבית חדש.

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. בוודאי שאילו משרד האוצר היה משתחרר מהדוגמה הפרימיטיבית שלו המביאה לסבסוד כבד של החשמל, צריכת החשמל

היתה יורדת. מחקרים בעולם מראים שהאלסטיות של שימוש בחשמל הוא בערך 50%. מכאן שהגדלת התעריף של החשמל ב- 50% כדרוש, היתה מסייעת לחיסכון של יותר מ- 20% חשמל. לאחרונה התפרסם מחקר של יעקב לביא ומישל סטרבציינסקי ממחלת המחקר של בנק ישראל. לפי הערכתם, העלאת המיסוי הישיר מקטינה את הצריכה הפרטית במלוא סכום עלות המס. הסוגיה שהם בחנו הרבה יותר סבוכה מאשר העלאת מחיר החשמל. אבל אלה אינדיקציות באותו כיוון. ההתעלמות הבוטה ביותר מהתועלות האנרגטיות היא במוסדות ציבור בכלל ובמוסדות הממשלה בפרט.

להלן רשימה מתומצתת של כמה אמצעים עם הערות בודדות:

1. העמדה נכונה של מבנים ביחס לקרינת השמש.
2. הצללה של קירות דרומיים ומערביים בקיץ וחשיפה בחורף.
3. חלונות דרומיים ומערביים המאפשרים קליטת חום ושימורו בחורף. ניסויים הראו שחלונות כאלה בשטח של כ- 10 מ"ר לדירה יכולים לחסוך חלק ניכר של צרכי החימום (10% משטח הרצפה).
4. בידוד קירות לחום וללחות בעזרת חומר הבנייה, מניעת גשרי חום, טיח תרמי ועוד.
5. בידוד והצללת גגות ואוורור סלקטיבי של תאי אוויר מתחת לגג.
6. אגירה של חום וקור ע"י מסת בנייה.
7. אגירה של חום וקור במערכות חימום וקירור מכניות במבנים גדולים.
8. פיתוח חלונות חכמים המשנים את התכונות האופטיות והבידודיות לפי הצורך.
9. אגירת חום בקרקע.
10. שיפור של תאורה טבעית על ידי שיטות לאספקת תאורה חיצונית.
11. אטימת חלונות ודלתות.
12. אוורור טבעי.
13. שימוש יעיל יותר בקולטי שמש לחימום מים, מניעת סתימות, הגדלת השטח ונפח האגירה והחלפת חימום על ידי אלמנטים פשוטים במשאבות חום.

4.5 טכנולוגיות שונות נוספות לאנרגיה במבנים

הרשימה האפשרית של חסכוניות ארוכה מאוד :

1. מפסיקים אוטומטיים של תאורה, מיזוג אוויר ומתקנים אחרים כשאין צורך בהם.
2. החלפת נורות להט בנורות יעילות (בערך פי 7).
3. הרחקת חום שמופק ממקרר כלפי חוץ בקיץ וכלפי פנים בחורף.
4. משאבות חום מרכזיות לכלל השירותים בבית שפועלות הן לקירור והן לחימום, ומפעילות :

- מקרר ואולי מקפוא נפרד ;
- קירור האוויר ;
- חימום האוויר ;

• חימום מים.

יהיה באלה חסכון בהתקנות וחסכון רב באנרגיה.

5. כירות בישול יעילות.

6. שימוש בכלי בישול יעילים.

7. חובת סימון של צריכת חשמל על ציוד ביתי בצורה שניתנת לפירוש קל על ידי בני הבית.

8. מדי חשמל חזותיים וחשבונות חשמל מחנכים.

9. עידוד ייצור וייבוא של מוצרים יעילים יותר.

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.

• קשר כלשהו של בונוס או קנס על שימוש באנרגיה לעובדים במוסד מסוים היה יוצר זיקה למאמץ לחיסכון.

אפשרי מעבר לקולטי השמש לחימום מים וחימום הבית.

• אפשר שיהיה אולי בעתיד להוסיף לקולטי השמש מתקנים קטנים לייצור חשמל המזינים מערכות שונות בבית עם תחלופה אוטומטית לרשת החשמל כאשר אין בכוחם לספק די חשמל. מיותר לנסות להזין את החשמל המיוצר לרשת או אפילו למתקני אגירה. אלה יכולים להיות בצורת תאים פוטוולטאיים או תאים פוטוולטאיים משולבים בקולטי שמש לחימום מים. הבעיה היא שתאים פוטוולטאיים היום הם יקרים מאוד בתור אמצעי המחליף אספקת חשמל מהרשת (עלויות שהן בקירוב פי 10).

• אחת הפעולות החשובות היא של תקינה ואכיפת התקנים. בין השאר כל מבנה יהיה חייב לעבור בדיקה אנרגטית, כפי שהוא חייב בבדיקה קונסטרוקטיבית או חשמלית בטרם יקבל אישור בנייה.

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 אינסטיטוב כלכלי או ארגוני כדי לשנות את מנהגי הצריכה המשפיעים מאוד מחיקוי ואופנה.

4.6 שימור וחסכון במגזרים שונים

4.6.1 התעשייה

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 מ - 1/3 האנרגיה הראשונית. **התעשיינים יעשו את מעשה החיסכון לבדם בטכנולוגיות ידועות אם יזכו אותם בניכוי מס באותה מידה שמזכים אותם לתשלום לאנרגיה ואם ישלמו עלות אמת תמורת האנרגיה. אין בכך כל ספק.** עם זאת, יש לתמוך במחקרים ופיתוחים שיספקו לתעשייה את הכלים הדרושים. כמו כן יש להכתיב תקנים קשוחים לשמירת איכות הסביבה ולהטיל קנסות על שימוש לא רצוי, כולל תמורת שריפת דלק עצמו.

אולי הטכניקה החשובה ביותר בתעשייה היא שילוב כוח וחום (קוגנרציה) על צורותיו השונות. ייצור אנרגיה מכנית או חשמל מותר 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"י כמות החשמל הדרושה עולה בהרבה על היקף הניצול האפשרי של החום.

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 לתכן מקורות חשמל עצמיים. די קל ומושך בתנאים הכלכליים היום להתקין גנרטור דיזל ולייצר חשמל במחיר נמוך מתעריף חברת החשמל. באופן מיוחד מושך להתקין אספקה עצמית של חשמל בשעות ביקוש שיא. את החום הנפלט מהמנוע ניתן לנצל למטרות שונות. אין כלל בטחון שיש לעודד התקנה כזו. בכל מקרה, כאשר המדיניות של ישראל צריכה להיות להמעיט ככל האפשר שימוש בדלק. אלא שאין צורך לבחון כל מקרה לגופו. אם יטילו על השימוש בדלק את העלויות החברתיות ואם יאפשרו גלגול (wheeling) של חשמל דרך רשתות של חברת החשמל יסירו את ההכבדות המלאכותיות של חברת החשמל וממילא תיעשה בחירה נבונה של כל צרכן. לשם כך אין הכרח בהפרטה של חח"י. עדיין הרשות הציבורית איננה פטורה מהגדרת תהליך שבו משהו דואג לאמינות האספקה הכוללת ולדרישות מיוחדות תוך ראייה ציבורית כוללת. שיטת ההפרטה היום מתעלמת מכך. קשה למצוא לכך גוף יותר מתאים מחברת החשמל עצמה, בתנאי שרשות ציבורית תקפיד על מספר עקרונות פשוטים יחסית.

לבסוף, יש להשקיע סכומים קטנים יחסית להדרכה וסיוע פעיל בתכנון ובהדגמה. אספקת חום וקיטור ממקורות סולריים תפורט בפרק הבא. אפשר לקשור את פליטת החום ממתקני קירור לצריכת החום במפעלי מזון. רשימת הדוגמאות היא ארוכה. 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. (להסבר קצר על בריכה סולרית, ראה בפרק הבא).

אחת הדרכים החשובות לחסוך בשריפת דלק ולהקטין את פליטת גזי החממה היא לנצל פסולת לייצור קיטור ולחשמל. חלק מהפסולת ניתן לשרוף במערכות תעשייתיות הכוללות דודי קיטור או שורפות דלק למטרות אחרות כגון ייצור צמנט. אפשר לשרוף לא רק פסולת ביתית ותעשייתית אלא בוצה המופקת ממיחזור מים וכן פסולת חקלאית. השריפה יכולה להיעשות באופן ישיר לפסולת או למוצרי לוואי כמו גז מתאן או מוצרי שריפה אחרים. ייתכן כמובן לנצל פסולת לאנרגיה גם שלא דרך שריפה (ראה פרק 6). טיפול נכון בפסולת הוא אולי הפעולה השנייה ביותר חשובה בנושא אנרגיה בתחום המידי.

אחת המגבלות לקידום נושא החיסכון באנרגיה בתעשייה נובע מהיעדר הון נוח להשקעה בנושא שאיננו מייעודיו המרכזיים של המפעל. יש פטור גמור 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. לא 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. נושא זה מת עם מותו של האגף לשימוש יעיל באנרגיה. מתברר שמאמץ זה לחסל כל מיני גופי שירות חשובים הוא עקבי מאוד. היתה יחידה שעסקה בייעול השימוש במים שת"פ עם מכון התקנים. שם פיתחו "חסכמים" והביאו לחסכונות אדירים. מוסד זה נסגר כדי לחסוך 2-3 תקנים. "שירות השדה" במשרד החקלאות שהיה הגורם הראשי להגדלת היבולים פי ארבעה, לכל קוב מים, נראה לאוצר מיותר, והוא דרש להפריט אותו ולמעשה לחסלו. התכנית לבריאות הציבור (או כפי שאנו מכירים בתור "טיפת חלב"), תרמו לבריאות העם יותר מכל משרד אחר או גוף רפואי אחר, ובמחיר זניח. זאת על ידי שיטות לרפואה מונעת. מדי שנה חוזרת הדרישה לחסל את המוסד הזה. זהו חלק מרשימת הסעיפים של האוצר המצטיינים בקוצר ראייה פרימיטיבי.

4.6.2 אספקת מים

המים צורכים היום כ - 7% מהאנרגיה הראשונית. החיסכון במגזר המים קשור בכמה סעיפים חשובים. הסעיפים שהופיעו בתכניות בעבר היו :

- 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. נמנה אותם להלן :

א. שינוי שיטות השקיה

הלחץ הגבוה ברשתות השקיה משמש לשלוש מטרות: לפיזור המים לטווחים ניכרים, לשבירת המים לטיפות, וכדי להשיג אחידות פיזור לאורך הקווים. האנרגיה נמדדת היום בלפחות 5 אטמוספירות שהם כ - 0.16 קוט"ש למ"ק. ס"ה האנרגיה למטרה זו בלבד מגיעה בקרוב ל - 200 מליון קוט"ש בשנה לפחות. בהרבה רשתות הלחץ בקווים גבוה בהרבה. ניתן לצמצם את האנרגיה הזו במידה רבה על ידי תכנון נכון של הרשת, על ידי השקיה בפולסים, שיטות שונות של השוואת לחצים ועוד.

ב. אספקת מים והתפלה

צריכת חשמל כוללת למים בחברת מקורות בלבד הגיעה ב - 1996 ל - 1.842 מיליארד קוט"ש ל - 1.372 מיליארד קוב מים שסופקו. כלומר כ - 1.35 קוט"ש לקוב מים. שני רכיבים חשובים הם אנרגיה להולכת מים בצנרת והתפלת מים בעיקר לעיר אילת. חסכון באנרגיה במים איננו יעד עצמאי. עם זאת, בתכנון עתידי של מערכות המים ראוי לחסוך אנרגיה. בין השאר, ראוי לעבור לשימוש בצינורות של פוליאסטר

משורייך בעלות יותר נמוכה ובהפסדי אנרגיה יותר קטנים. ראוי לקצר טווחי הולכה כאשר נקודות ההתפלה תהיינה מפוזרות לאורך החוף עם העדפה לדרום הארץ. יש להימנע מהחדרת מים ושאיבה מחדש כאשר יש להעדיף אספקה ישירה מהמוביל הארצי והימנעות משאיבה. יש להצמיד עד כמה שאפשר מקורות מים לאיזור בו הם נמצאים ללא הבדל מי המפעיל, ועוד.

כאמור לעיל, המדינה לא תתחמק, לדעתי, מהתפלה של יותר מ- 500 מליון מ"ק באופן מיידי לפי מצב השאיבה היום ויותר מ- 600 מליון מ.ק. לשנה לאחר תשלום החוב לירדן ולפלשתינאים. הכמות עשויה לגדול ב - 40 מליון מ"ק לשנה ויותר כל שנה. בשנים האחרונות היתה ירידה דרמטית בהשקיה בחקלאות בגלל פחיתה אכזרית שלמעשה חיסלה בערך מחצית מהחקלאות המושקית, ואסור יהיה להשלים עם פעולה הרסנית זו. יש הרבה סיבות (כעשר פונקציות חיוניות שיש לחקלאות) לשקם את החקלאות ואף להגדיל אותה. אזכיר כאן רק אחת המראה את מידת הטמטום הכרוך בחיסול זה. להשקיה של גידולי שדה היה תפקיד להבטיח את אמינות האספקה של מים לעיר ולתעשייה. אחת ל - 6-10 שנים ניתן יהיה להעביר זמנית את המים מצרכן לצרכן. דבר זה איננו מאפשר היום כאשר קיצצו את היקף ההשקיה והמירו כ - 250 מליון מ"ק מים שפירים במי קולחים. במקום זה, אמניות האספקה יכולה להתקבל רק על ידי מתקני התפלה. האם לא עדיף היה להקים את מתקני ההתפלה הכללו #### בכל השנים כדי התחלת צמצום שניזקה 2-3 דולר לקוב? הפיתרון החלופי של הפחתת המים לחקלאות והחלפת מים שפירים במי קולחים ומתקני התפלה שיפעלו אחת ל - 6-10 שנים. ???

בשיטה הכי יעילה היום (אוסמוזה הפוכה), צריכת החשמל תהיה יותר מ- 2.5 גיגה-וואט שעה (2.52 מיליארד קוט"ש לשנה) ותוספת של 220 מליון קוט"ש לשנה כל שנה. מספרים אלה עולים על אלה המופיעים בתכנית העשור של נציבות המים. על כך אפשר להתווכח. לדעתי, כדאי מאוד לישראל להגיע די מהר לספיקת התפלה של 750-800 מליון מ"ק לשנה, ואני מוכן להוכיח זאת. במקום זה עברו כבר 4 שנים ומעלה, והאוצר הצליח להגיע לשני הישגים: (א) לא נוספו מים מותפלים ממי ים אף לא קוב אחד; (2) החקלאות המושקית צומצמה למחצית. הנזק בשאיבת יתר של קוב אחד, כאמור, נמדד ב - 2-3 דולר. בשלוש השנים האחרונות הצליח האוצר לחסוך בערך 55 סנט לקוב, ליותר מ- 300 מליון מ"ק לשנה במחיר נזק של 2-3 דולר, נזק של יותר משני מיליארד דולר בשלוש שנים.

מכאן שלוש מסקנות מרכזיות:

1. בחירה נבונה של אתרים להתפלה תחסוך שאיבה. דוגמא אחת היא התפלה בדרום הארץ כדי למנוע צורך בהובלת מים דרומה. דוגמא שנייה חשובה ביותר היא לנצל מים באופן מקומי בבקעת הירדן ולהתפיל מים על חוף הים לשימוש למרכז האוכלוסייה בישראל.
 2. יש להשקיע מאמץ רב להקטנת כמות האנרגיה הדרושה להתפלה. ישנה היום התעלמות גמורה מהצורך לטפל בסוגיה זו. ישנן לפחות שתי טכנולוגיות הבשלות להדגמה שעשויות היו להחליף חשמל מיוצר על ידי דלק באנרגיה מתחדשת וברמת עלות פחותה באופן משמעי בהשוואה לאנרגיה הדרושה היום.
 3. ככל שנקדים להפסיק שאיבת יתר, לחסוך מים ולשפר את משק האנרגיה של המים כן נגדיל את החיסכון באנרגיה ורווחים אחרים.
- התוצאה הכוללת עשויה להיות הורדת כמות האנרגיה למחצית (!). למותר לדבר כאן על שיטות חדשות שעומדים על סף הדגמה אם יתקבל סיוע על ידי המדינה ובה טמון חיסכון דרמטי נוסף.

ג. פרויקטים מיוחדים הקשורים באספקת מים

תכנון מערכתי חכם של משק המים עשוי היה לחסוך בכל מיני צורות וגם בתחום האנרגיה.

1. התפלת קולחים

הוכח בטכניון שהתפלת מי קולחים, למרבה הפלא, היא פעולה חיונית, ותהווה 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.

2. הפסקת השאיבה מהכינרת

ישנה תכנית נוספת מהפכנית הניתנת ליישום מידי להקטנת ההמלחה של מי התהום בכ - 150,000 טון מלח לשנה, וחסכון כולל במשק המים של כ - 200 מיליון דולר ותועלות נוספות (9 סה"כ). לא כאן המקום לפרט אותה.

יש מקום לקיים דיון על דרך בחירת הנושאים, ניהול ותכנון המחקר.

4.6.3 תחבורה

התחבורה צורכת כ - 30% מהאנרגיה הראשונית במדינת ישראל. הסוגיה של חסכון אנרגיה בתחבורה מתחלקת לכמה קטגוריות חשובות שעל חלק מהן כבר דנו לעיל:

א. רכב חסכוני באנרגיה;

ב. הגברת השימוש בתחבורה ציבורית ומסילתית ודרכים אחרות לנסיעה רבת משתתפים;

ג. הסרת מכשולים המאריכים את משך הנסיעה;

ד. המרה של רכב מונע בדלק ברכב שמונע באופן חשמלי או לפחות רכב היברידי;

ה. שימוש בדלק המיוצר מביו-מסה;

ו. אמצעים שונים כגון הגבלת מהירות, תחזוקת צמיגים ואי מילוי מוגזם של מיכל הדלק.

בשימוש ברכב ישנם אלמנטים של תרבות הנהיגה. היו הערכות שעקב פיתוח של שיטות קומוניקציה אחרות היקף הנסיעות ירד. זה כנראה לא קורה. גם הצורך שלכל אחד יהיה רכב משלו איננו פוחת. עדיין רמת המינוע בישראל נמוכה בהרבה מזו של ארצות אליהן היא מתקרבת בתרבות החיים באירופה ובצפון אמריקה. בכל זאת ישנן דרכים להגביל את השימוש ברכב. למשל, ביטול המוסד הישראלי של "פקיד נדרש" המזכה פקידים בתחזוקת רכב צריך להיעלם מהעולם. ניתן אולי לשנות את הרגלי השימוש ברכב, ואפשר גם להתקין תקנות.

רכב חסכוני

החיסכון בדלק עקב התנהגות הרכב יכול להיות מושג על ידי הגורמים הבאים:

- גיאומטריה אווירודינמית;
- מהירות נסיעה נמוכה יותר. הורדת מהירות ב-10% מורידה את צריכת האנרגיה בכ- 20%;
- מנועים יותר יעילים;

- מכוניות קטנות יותר ;
- תוספת "גלגל תנופה" לרכב ;
- תחזוקה נכונה ;
- הימנעות ממילוי יתר של דלק ;
- ניפוח גלגלים מדויק.

אין ספק שתשלום אמת תמורת שימוש בדלק הכולל את ההוצאות החברתיות יביא להגדלת החיסכון. לשימוש ברכב הוצאות חברתיות גדולות מאוד בנוסף לאלה הנגרמות על ידי שריפת הדלק. הן כוללות התקנת הדרכים 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. שוק הרכב בישראל מעוות לגמרי על ידי כל מיני חוקים ותקנות שאי אפשר להסביר אותם. ביניהם מס על רכב דיזל, מס כבד על עלות הרכב במקום מיסוי יותר גדול על הדלק. מחיר גבוה זה איננו מצליח לעכב במידה משמעותית את הרצון לרכוש רכב אך מעוות את השיקול איזה רכב לקנות, מה גם שחלק מהמשכורת ניתן לעובדים כזכות מיוחדת לרכב ולקילומטרים לנסיעה. ביטול המוסד של "פקיד נדרש" יכול היה להביא כאמור לחסכון גדול.

לישראל עצמה אין היום כל השפעה על הטכנולוגיה של ייצור הרכב. הברירה היא רק ברכישה נכונה משוק המכוניות בעולם בחקיקה ובמיסוי. בכמה מדינות אירופה (למשל הולנד ודנמרק) הטילו כבר מס דלק על פליטת CO₂ ברכב.

ליצירת תדמית חיובית למי שנוהגים ברכב חסכוני יכולה להיות השפעה הולכת וגוברת.

הגברת השימוש בתחבורה ציבורית וריבוי נוסעים ברכב פרטי

כל ממשלות ישראל חטאו עד היום בכך שהזניחו בצורה שאין לה מחילה את פיתוח התחבורה המסילתית ואת השירותים של חנייה ונגישות ברכב ציבורי להשלמת הנסיעה. רק לאחרונה החלו בפיתוח מאוחר מאוד של התחבורה המסילתית. הרבה אפשרויות נחסמו כבר, אבל רבות עדיין קיימות וחשוב שהן תובטחנה.

אין כל ספק שתחבורה מסילתית נוחה ותחבורה של אוטובוסים יכולה היתה להשיג:

- חסכון רב מאוד בשריפת דלק ;
- הקטנה של זיהום קשה המגיע בכמה ערים לרמות חריגות ;
- נוחות רבה יותר לנוסעים, דיוק בזימון של הרכב הציבורי ותדירות נסיעה גבוהה. ייתכן שאילו קנסו את האוטובוסים על איחור בלוח הזמנים היו תורמים להקטנת נסיעה ברכב פרטי ובמספר נפגעים בתאונות יותר מאשר הקפדה מטופשת על כמה חוקי תנועה שאין להם כל השפעה על תאונות ;
- חסכון רב מאוד בשעות עבודה ;
- חסכון אפשרי בכבישים או בפקקי תנועה ;
- חסכון דרמטי במספר הנפגעים, הרוגים ופצועים.

מומחי תחבורה חזו בשלב מסוים ששום השקעה ושום פיתוח בקצב מוגבר לא ימנעו עוד פיקוק בלתי נסבל של כל גוש דן וחלקים נוספים בצפון ובדרום. זוהי כבר היום ההתנסות של הנוסעים בין אשדוד, ירושלים,

חיפה והעמקים בינם לבין עצמם ובכניסה לגוש דן וביציאה ממנו כל בוקר וערב. זוהי ההתנסות בתוך הערים בנסיעה מחלק אחד לשני אשר בשעות מסוימות ביום נעשית במהירות של הליכה. השימוש הרב בתחבורה פרטית במבואות הערים ופקקי תנועה גורמים גם לזיהום אוויר קשה ותחלואה יתרה.

בקצה השני של סקלת התחבורה, ישראל הזניחה לגמרי את השימוש באופניים. יתכן שעדיין לא מאוחר בכמה מקומות להתקין שבילי אופניים שיש בהם לא רק חסכון רב מאוד אלא תרומה לבריאות האוכלוסייה.

אין בידינו הערכה טובה של הנזקים הכלכליים הנובעים מריבוי הרכב והנסיעות בדרכים.

טבלה 11: הערכת נזקים כלכליים הנובעים מריבוי כלי הרכב והנוסעים בדרכים (מיליארדי דולרים)

2.45-1.75	הרוגים לשנה לפי 2.5-3.5 מיליון דולר לאדם לפי 700 הרוגים לשנה
3.0	פצועים 30,000 לפי 10,000 דולר בלבד לפצוע
5	תחלואה במערכת הנשימה לפי 100,000 חולים לפי \$50,000 לחולה
10.45-9.75	סה"כ במיליארדי דולרים לשנה

חלוקה בסה"כ הדלק המוקדש לתחבורה בשנה כ - 4.2 מיליון טון נותן עלות סביבתית נוספת לליטר דלק \$2.49-2.32 עלות נוספת בדולרים לליטר(!) אפשר לאשש את ההערכה הזו ע"י הכסף המושקע בביטוח ותזכורת פשוטה שהוא רחוק מלכסות את כל הנזקים ברכוש ובגוף. עלות זו איננה כוללת את כל שאר הסעיפים הסביבתיים כמו תפישת קרקע, פגיעה במערכת זרימות המים ושימור הקרקע, השפעה של גזי החממה, דליפת דלק ושמינים מתחנות דלק ורכב חונה, ועוד. לפי זה, התשלום לליטר דלק בתחנת הדלק היה צריך להיות לא פחות מאשר 10 שקלים (!) נכון ל- 1999. מחיר גבוה לדלק ופיתוח התחבורה הציבורית היה ללא ספק מקטין את מרבית העלויות האחרות.

הסרת מכשולים וקיצור משך הנסיעה

אין ספק שפתיחת עורקי התחבורה תמנע שריפה מיותרת של מאות אלפי טון דלק לשנה. נוסף לכך, ייתכן שתחסוך עשרות מיליוני שעות עבודה שערבן עשוי להצטרף ליותר ממיליארד דולר בשנה.

דרך טובה להסרת המכשולים היא כאמור בפיתוח התחבורה הציבורית ונסיעה משותפת של מספר אנשים ברכב, שימוש באופניים ואופנוע במקום שניתן. יש כמובן גם אמצעים אחרים של הרחקת רכב פרטי או רכב משא ממקומות מסוימים או בשעות מסוימות של היום והתקנת אמצעי חנייה המוניים ונוחים שמלווים שירות ציבורי. ולבסוף, תוספת מסלולי תנועה, מחלפים ושילוט מתאים.

בטכנולוגיה המודרנית אפשר לגרום לכך שנהגים ישלמו תמורת שימוש בדרך לפי מקום ולפי השעה ביום או היום בשבוע.

לבינוני הערים ותכניות פיתוח תהיה השפעה רבה מאוד על עומסי התחבורה. התפיסה שאומצה על ידי תכנית 2020 נכונה מהרבה בחינות וגם לנושא התחבורה. יש צורך ליצור מרכזים צפופים בממדי מרחק קטנים יחסית. המרכזים חייבים להיות עתירי חנייה ושירותי תעבורה ציבוריים נוחים. התעבורה בין

המרכזים תהיה בקווים ישירים רחבים וללא הצטלבויות, כאשר בקצותיהם אמצעי קליטה של רכב רב והתפצלות לשירותים מקומיים. אין זה מאוחר לנסות לשנות את אופי הבינוי הישן באותו כיוון.

אין בטחון שבניית עוד כביש מהיר מקביל והעלאת מהירות הנסיעה תפתור בעיות. יש הטוענים שהיא תחמיר את הבעיות. ישנן הוכחות ניסיוניות לגידול משמעי של מספר הנפגעים עם עליית המהירות מעבר למהירות מסוימת, אך נתונים אלה אינם החלטיים. צריכת הדלק גם כן עולה בערך בריבוע עם המהירות. עם זאת, פקקי התנועה כנראה יוחמרו ולא יהיו יותר קלים. **לאנשים ישנה נטייה (תצפית ניסיונית) לשמר את משך הזמן שהם משקיעים בנסיעה (שעה עד שעה וחצי ליום) ולהגדיל את הטווח ככל שההכנסות גדולות יותר. על כן ייתכן שהאצת הנסיעה רק תגדיל את מרחקי הנסיעה.**

המרת רכב מונע בדלק לרכב חשמלי

אין ספק שזהו השינוי החשוב ביותר שצריך לחול ברכב. יש לכך כמה סיבות:

א. הנצילות האנרגטית הבסיסית של הרכב עשויה לעלות באופן משמעי על זו של רכב מונע בדלק. זאת משני טעמים. טעם אחד הוא שהתנועה המכנית מיוצרת ביעילות גבוהה מאשר מדלק במנועי שריפה פנימית. רכב חשמלי עומד אינו מבזבז אנרגיה בשעה שרכב עם מנוע שריפה פנימית ממשיך לעבוד, גם אם בסיבובי סרק.

ב. לפיכך הראשונים להחלפה צריכים להיות רכבים לחלוקת תוצרת בתוך העיר ורכב עירוני ציבורי. זאת מפני שהשפעת הזיהום קשה ביותר בעיר. אבל הפתרון הטכנולוגי פשוט יחסית כי הקילומטרז' מוגבל ורצוף עצירות

ג. ככל שחלק גדול יותר של האנרגיה החשמלית יסופק ע"י אנרגיה מתחדשת כן אפשר יהיה גם להמיר את הדלק ברכב לחשמל. למעשה, יכולה היום מדינת ישראל לתכנן חשמל שכולו יבוא ממקורות מתחדשים ובזיל הזול.

תוצאה קצרת טווח תהיה בהקטנה משמעותית של הזיהום בתוך הערים. לא מן הנמנע לחייב שכל הרכבים לחלוקה בעיר יהיו רכבים חשמליים ובהדרגה גם שירות המוניות בעיר.

ד. בעניין רכב חשמלי יש עדיין לישראל סיכוי להשיג יתרונות טכנולוגיים לייצור וייצוא. רכב קטן ולא מהיר במיוחד יקטין את מספר הנפגעים וייקל מאוד על בעיות החנייה והזיהום בערים.

אפשר להוכיח שהשימוש במימן או בגז אורגני עם תא דלק לא יכול בשום אופן לפתור את הבעיה. כנגד זה ייתכן להשלים פיתוח מצברים חכמים או קבלי ענק.

אפשר לפתח ולהנהיג רכב חשמלי הניזון מקווי חשמל. הרכב עצמו יכול לכלול מנוע מופעל בדלק לקטעי נסיעה מיוחדים. יותר מזאת, אפשר לקיים מצברי חשמל או קבלים טעונים כדי לאפשר לרכב לנסוע מרחקים קצרים בין נקודה אחת לשנייה בה אפשר להתחבר לקו חשמל.

בנושא זה אפשר לראות משימה לאומית, כולל שת"פ עם חברה המייצרת רכב וחברה המייצרת מצברים.

הרכיבים שיקבעו את היקף התחלופה של רכב עם מנוע שריפה פנימית ברכב מונע חשמלית הם ללא ספק אופן ההטענה בחשמל, טווח נסיעה אפשרי והעלות של הרכב.

עד כה נבדקו כל מיני גישות:

- הטענה מחזורית של מצברים מהרשת
- מנוע שריפה פנימית יעיל, למשל טורבינת גז, שעובד בצורה מתונה ורצופה תוך שימוש במצברים כ"גלגל תנופה" לשיאי צריכה של אנרגיה.
- החלפת המצברים או הטענה מהירה של חומרים צוברי אנרגיה או אף קבלים.

מתקבל מאוד על הדעת שהצורה האחרונה תהיה זו שתקבע בסופו של דבר. באופן עקרוני, לפחות, ניתן להטעין את הרכב בסרט מתכת או בגרגירי מתכת שניתן לשחרר אותם לפי דרישה ליצירת תא גלווני שייצר חשמל כמעט לפי דרישה. לניודים קלים אפשר להשתמש במצבר ובגלגל תנופה, אך עיקר האנרגיה החשמלית תצטרך לבוא בצריכה ישירה ולא מהתמרה כפולה כמו השימוש במימן.

מבחינה תיאורטית, במעבר בין מתכת לתחמוצת למימה או לתרכובת כמו סולפט אפשר לספק אנרגיה דומה לזו שבתזקידי דלק באותו משקל. אולם בגלל נצילות הרבה יותר טובה בתנועה ע"י מנועים חשמליים, טווח הנסיעה "תדלוק" אחד יהיה יותר גדול מאשר בדלק למנועי שריפה פנימית. ייתכן גם שבסופו של דבר אלמנט ההנעה והדלק ברכב חשמל יהיה יותר מאשר ברכב עם מנועי שריפה פנימית. מיחזור הדלק יהיה ע"י ייצור חוזר של המתכת כמו אלומיניום או אבץ בתהליכים ידועים ללא טעינה מחדש של מצברים. 70% בערך מייצור אלומיניום הוא החשמל לתהליך גלווני.

ייצור דלקים מביו-מסה יכול בעיקרון להחליף שריפת דלק פוסילי. אין סיכוי רב לייצור דלק כזה בישראל בגלל מגבלות באספקת המים. במצב של מחסור עולמי במזון ספק אם זה יוכל לשמש פתרון כלכלי. כמות הביו-מסה המתחדשת בעולם גדולה מאוד, על כן ייתכן שביום מן הימים הדבר יהיה אפשרי.

ישנם רעיונות ל-reforming של תרכובות פחממניות ע"י חימום סולרי וטמפרטורות גבוהות מאוד ופירוק של מים. ההערכות הן שניתן יהיה להוסיף עד 30% לערך השריפה של דלקים אלה. ייתכן שהדבר יכול להיעשות גם ביחס לפסולת חקלאית וביתית.

בין האמצעים שכדאי לבחון לחסכון באנרגיה גם פתרון של אמצעי חניה. רשויות התכנון בכלל והרשויות המוניציפליות בפרט מתעללים ממש בציבור ולא מבטיחים מקומות חניה או שהם מנצלים את המצוקה כאמצעי נוסף לצבירת הכנסות.

איך אפשר להסביר, למשל, בניית שיכונים חדשים עם מקום חניה אחד בלבד למשפחה כאשר מקום החנייה קבוע למשפחה בלבד. אין כל אפשרות לחנייה של רכב שני או לחנייה של אורח או רכב שירות. זהו שילוב של טמטום ורשעות. אבל מעניין היה לבחון גם כמה נסיעת יתר של רכב יש בגין חיפוש מקום חנייה וכמה עיכובי רכב יש בגלל צפייה להתפנות מקום חנייה.

4.7 חקיקה ואכיפה

להלן חקיקה קיימת לשימוש אנרגיה:

1. חיוב התקנת מערכות שמש בבתים חדשים;
2. אפשרות התקנת דודי שמש בבתים משותפים קיימים;
3. חיוב בידוד תרמי של בתי מגורים ובתי ספר;
4. מינוי ממונים על שימור אנרגיה במפעלים ומוסדות;
5. חובת הסמכת הממונים;

6. חיוב עריכת סקרי שימור אנרגיה אצל צרכני אנרגיה גדולים מידי 5 שנים ;
 7. חיוב בדיקת נצילות דודי קיטור מידי שנה ;
 8. חיוב סימון אנרגטי של מוצרי צריכה ;
 9. שעון קיץ ;
 10. דיזליזציה (חלקית ומלאה).
- אלא שאין אכיפה של חלק ניכר מהתקנות.
להלן רשימה של נושאים מתוך החקיקה הדרושה עדיין.

חקיקה מתוכננת לשימור אנרגיה

- החלת חוק מקורות אנרגיה (ותקנות שימור אנרגיה) על משרדי ממשלה.
- נצילות מינימלית של מוצרי צריכה אחרים.
- 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.
- כיול 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.

4.8 כיצד לגרום לחסכון

נחזור ונמנה את הכלים להשגת החיסכון שהם כלהלן :

- א. מניעת כל סבסוד של דלק וחשמל.
- ב. הטלת מיסים מכוונת גם במחיר הורדת נטל המיסים בסעיפים אחרים שהם בעלי אופי כלכלי שלילי, כמו מס הכנסה. המיסים יכולים להיות מבוססים מבחינה כלכלית על העלות החברתית ועל מחירי הצל שבשימושים השונים.
- ג. אחת הדרכים שכדאי לחשוב עליהן היא התקנת כרטיס אלקטרוני לרכב שימסה אותו באופן אוטומטי לפי שימוש בדרכים שונות לפי מידת העומס בדרכים הללו ושעות השימוש. אותו מיתקן אלקטרוני יכול לשמש גם לחייב תמורת חנייה וכן לגילוי רכב גנוב.

- ד. מדיניות עידוד לשימוש נכון בכל אחד מהמגזרים כגון רכב ציבורי והתקנת רכב מסילתי חשמלי בתחבורה; הוזלה של נורות חסכוניות ע"י הסרת מיסים; חימום וקירור בעזרת משאבות חום והסרת המיסים, ועוד. מדוע אפשר לסבסד חשמל ולא לסבסד תחבורה שחוסכת חיי אדם מלבד שריפת דלק?
- ה. תקינה ואכיפה בתחומים שונים כמו סימון אנרגטי, תקנים למוצרים. חובת שימוש ברכב חשמלי כרכב חלוקה בערים, התקנת שבילי אופניים, תקינת בנייה ועוד.
- ו. ניכויים ממס והפחתה יותר מהירה בהשקעות בתעשייה המביאות לחסכון. היקף הניכוי צריך להיות לפחות כהיקף החיסכון בתשלום לחשמל או לדלק.
- ז. הכשרה והדרכה.
- ח. מימון מו"פ בקנה מידה הרבה יותר גדול.

4.9 סיכום עד כאן

מטבע הדברים, יש בתיאורים שלעיל חזרות וכן יש תערובת בין חיסכון בלבד ובין פיתוח טכנולוגיות להעצמת החיסכון.

בהמשך מפורטות תחזיות חסכון לדוגמא שהוכנו על ידי האגף לניהול משאבי תשתית במשרד התשתיות כאשר עדיין היה קיים. הן מגיעות ל- 21%. הנושאים היו מוגבלים בתקופת החזר על ההשקעה שאיננה עולה על 5 שנים וזאת מבלי להביא בחשבון את החיסכון בעלויות החברתיות או מניעת הסבסוד. אין כל ספק שהחיסכון יכול להיות גדול יותר, לפחות בתחום התחבורה ובתחום המים.

נחזור ונזכור שבפרק קודם הראינו שההשקעה המותרת בחסכון של שריפת הדלק הגיעה ל - 9000 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 הוכפלו. לפיכך, ההשקעה הנוספת המותרת ל - 21% באנרגיה ראשונית לקילוואט ממוצע תהיה חלק מתאים מערכים אלה או 630 דולר לקילוואט לפי שער ניכיון של 5% ובתמורה לגז ו- 1190 דולר לפי שער ניכיון 0%. לחסכון משריפה של נפט (למשל בתחבורה) הערכים הם כ - 1050 דולר לקילוואט ממוצע לפי שער ניכיון של 5% ו - 2100 דולר לקילוואט ממוצע לפי שער ניכיון של 0% שמותר להשקיע מעבר לבניית תחנות כוח קונבנציונאליות ובלבד כדי לחסוך ולא להשתמש בהן במלוא תפוקתן.

גם בפרק זה הבאנו כמה דוגמאות, למשל בתחום המים והתחבורה.

אלה הם סכומים ניכרים מאוד. כל צרכן יעשה לעצמו את החשבון ויסיק את המסקנות ודי בכך שיחויב בעלות הכוללת את העלויות החברתיות.

נביא כאן דוגמא אחת פשוטה של נורות תאורה שיכולה לסמל את גודל המחדל בישראל. נורה הצורכת 15% מהחשמל או הספק של 23 watt במקום 150 watt ופועלת בס"ה 2200 שעות בשנה (כרבע מס"ה השעות בשנה) שקול כנגד חסכון של 0.032 קילוואט ממוצע. פירוש הדבר השקעה מותרת של 480 דולר (!) לפי שער ניכיון של 5%. עלות נורה כזו איננה מגיעה אלא לאחוזים בודדים של סכום זה. כדאי למדינת ישראל לחלק נורות כאלה בחינם לצרכנים. התאורה מהווה כ - 10% מהחשמל או 5% מהאנרגיה

הראשונית. אם יחסכו 85% מהוצאה זו בלבד יגיעו לחסכון של 4.25% מהאנרגיה הראשונית תמורת השקעה מגוחכת (!).

צריכת החשמל לנפש לשנה מגיעה לא יותר מ- 1000-6000 קילוואט שעה השקולה כנגד 0.68 קילוואט ממוצע ומעלה. חסכון של 21% פירושו חסכון של 0.143 קילוואט ממוצע לנפש. אם מייצרים חשמל מפחם או נפט ההשקעה המותרת לחסכון של קילוואט היתה 29000-32000 דולר לקילוואט לפי 0% ריבית ו- 15000-16000 לפי ריבית של 5%. מכאן שההשקעה הראויה לחסכון לנפש בתחום החשמל בלבד ול- 21% בלבד חסכון היא \$2290 לפי 5% ו- 4600 דולר לפי ריבית של 0%. גם אם נחלק את המאמץ על פני 10 שנים ונניח שהתקציב הממשלתי היה צריך להיות 1:100 התקציב היה צריך להיות 2.3-4.6 דולר לנפש לשנה לעשור הבא. זאת בגין חסכון בחשמל בלבד.

4.10 תכנית לחסכון באנרגיה

טבלה 12: שימור אנרגיה

מגזר	חסכון בדלק, אלפי טשעני"ש		חסכון בחשמל, מליון קוט"ש		סה"כ חסכון באנרגיה, אלפי טשעני"ש		% 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
סה"כ	741	3,394	2,873	10,360	1,488	6,088	10	21

ההערכות לחסכון באנרגיה נעשו באופן יסודי ע"י חיים מלמד, יוסי נוברסקי ודוד רודיק, ופורסמו בסדרה של 4 חוברות (4) וכן מראה מקום (3).

בעבודות ממצות אלה מסוכם ניסיון עשיר של פעולות חסכון שיזם משרד האנרגיה יחד עם התעשייה במשך כמעט שני עשורים. הניסיון הזה וכן הערכות לעתיד הוכנו במסמך מדיניות לפי יוזמת מנכ"ל משרד התשתיות הלאומיות בעבר. אלא שבעקבות יוזמה זו התקציב לביצוע לשנת '99 היא \$100,000 (!) קשה להבין תופעה זו. זו עוד תופעה הרסנית של האוצר בליווי של פקידים לא ראויים ממש פעולת הרס של המשק בהיקף של מיליארדים, זאת בהמשך להרס החקלאות, לזיהום המדינה ע"י השקיה בקולחים בזבוז של מאות מיליוני דולרים לשנה, חיסכון מטומטם באמצעי מניעה בריאותיים לשם חיסכון קצר ראיה.

הרשימה ארוכה, והיא כוללת דחייה של עשרות שנים בפיתוח רכבות, חלוקה פרועה של קרקעות עוד. החברות של האגף לשימוש יעיל באנרגיה עוסקות בפירוט בשלושה תחומים חשובים:

- טכנולוגיות חדשות;
- טכנולוגיות שיישומן תלוי בתחיקה והסברה;
- טכנולוגיות שכבר נקלטו.

החדרת הטכנולוגיות למשק מותנית לדברי המחברים בשלוש דרכי הפעולה העיקריות הבאות:

- תחיקה;
- הסברה;
- מתן תמריצים מחד גיסא ומיסוי מאידך גיסא.

לא נפרט כאן את כל הפעולות הדרושות בכל אחת מדרכי הפעולה. רבות מהן כבר פורטו. אבל ראוי לחזור ולהזכיר קודם כל נושא של מיסוי וקנסות על שריפת דלק. בתחום המיסוי ישנה חשיבות ממדרגה ראשונה להכיר בהשקעות במתקנים חוסכי אנרגיה כהוצאה לכל דבר באופן שכדאיותן לא תיפול מהוצאה יתרה על דלק או חשמל.

מקרה אופייני של התקנים חוסכי אנרגיה הוא החזר ההשקעה תוך פחות מ - 5 שנים. לפי קריטריונים כלכליים מקובלים, חלק מכריע של פעולות החיסכון הן כאלה. אולם בחשבון עסקי רגיל, בהרבה מקרים מעדיף מפעל או משק בית הנמצא דרך קבע במשיכת יתר בבנק להוציא יותר כסף על חשמל או דלק מאשר להשקיע בסידורי חסכון. זאת בגלל הריבית על ההון ובגלל מדיניות הניכויים ממס וקצב הפחתת השקעות. תחום אופייני שני הוא מיסוי כבד על כל מה שכרוך בשריפת דלק.

מיסוי זה בא קודם כל להחזיר למדינה את ההוצאות הריאליות לדלק שלא מוטלות כיום באופן ישיר על המשתמש. תוספת נוספת למיסוי צריכה להיות עקב הנזקים הסביבתיים.

ישנה גמישות ניכרת לשימוש בדלק כפונקציה של המחיר ולכן צפוי שיהיה חסכון ניכר מאוד עקב כך. מקורות אנרגיה חליפיים, נקיים יש לפטור מהמיסים או אף לתת מחיר עידוד וכל זה לפי שיקולים כלכליים צרופים, אלא שאלה לא יכולים להיעשות על ידי כוחות השוק לבדם.

המחברים מחלקים את כל הנושא למגזרים הבאים:

- התמרות אנרגיה (שהן בעיקר ייצור חשמל וזיקוק נפט);
- תעשייה;
- בתי מגורים;
- מוסדות ציבור;
- חקלאות ומשק המים;
- תחבורה.

בטבלה 12 בראש פרק זה מובאת תחזית הצריכה והחיסכון בחשמל ובדלק במגזרים השונים. שני ערכים חשובים ביותר בולטים בסיכום הטבלה. בעבר הושג חסכון של 10% ובעתיד לשנת 2010 יכול להיות חסכון של 21% (!). מספרים אלה אינם מוגזמים. הם שמרניים. מובן מאליו שמומחים רבים הם בבחינת נביאים

הגורמים להגשמת נבואתם. מי שיטען שערכים אלה אופטימיים מידי עשוי לגרום למקבלי ההחלטות לא לנקוט בפעולות הראויות ובהיקף הראוי ומכאן להאט את הייעול ולהקטין את החיסכון. יש לראות בתחזיות המובאות כאן יעד אפשרי מינימאלי ולא הערכת סיכויים במערכת שמרנית.

בטבלה 13 מובאות ההשקעות המצטברות שהיו דרושות לשם השגת החיסכון בשנים 1977-1995 ואלה שתהיינה דרושות בשנים 1997-2010. בטבלאות 13 ו- 14 מובא פירוט הן לפי מגזר והן לפי מקור ההשפעה לחיסכון. בטבלה 15 הפירוט מסוכם לכל המגזרים ומחולק לפי ההשפעה המשוערת של מקורות החיסכון. כ- 80% היו בין השנים 1977 ו- 1995 מותנות בתחיקה ובהסברה. אין כל ספק שההשקעה של 7% בלבד עקב טכנולוגיות חדשות היא קטנה ביותר, אבל זאת ללא מקורות אנרגיה חדשים.

חשוב להעיר שלטבלאות המובאות כאן ישנה חפיפה מסוימת עם התמרות שהוצעו בפרק על מקורות חום סולריים.

טבלה 13: ההשקעות בשימור אנרגיה, מיליון \$ מצטבר

התקציב המצטבר של המשרד		השקעת המשק מצטברת		מגזר
1997-2010	1977-1995	1997-2010	1977-1995	
0	0	1,690	28	התמרת אנרגיה
22	8	953	317	תעשייה
15	4	978	161	מוסדות ציבור
3	3	887	333	בתי מגורים
4	5	373	76	חקלאות ומים
2	1	1,172	87	תחבורה
46	21	6,053	1,003	סה"כ

טבלה 14: פוטנציאל שימור אנרגיה

אלפי טשע"נ מצטבר בשנים 1996-2010

מגזר	טכנולוגיות שנקלטו	טכנולוגיות מותנות בתחיקה והסברה	טכנולוגיות חדשות	סה"כ
תעשייה	2,306	5,707	5,331	13,345
מוסדות ציבור	1,930	15,285	3,480	20,694
בתי מגורים	1,645	10,963	370	12,978
חקלאות ומים	1,259	1,961	14	3,234
תחבורה	142	2,510	3,005	5,657
סה"כ	7,282	36,426	12,200	55,908

טבלה 15: פוטנציאל שימור אנרגיה אלפי טשע"נ בשנת 2010

מגזר	טכנולוגיות שנקלטו	טכנולוגיות מותנות בתחיקה והסברה	טכנולוגיות חדשות	סה"כ
תעשייה	251	556	763	1,571
מוסדות ציבור	210	1,489	498	2,197
בתי מגורים	179	1,068	53	1,299
חקלאות ומים	137	191	2	331
תחבורה	16	245	430	690
סה"כ	793	3,549	1,746	6,088

טבלה 16: השקעת המשק המצטברת, מליון \$

סוג הטכנולוגיה	1995 - 1977		2010 - 1996	
	מליון \$	%	מליון \$	%
טכנולוגיות שנקלטו	130	13	359	6
טכנולוגיות מותנות בתחיקה והסברה	804	80	2,478	41
טכנולוגיות חדשות	69	7	3,216	53
סה"כ	1,003	100	6,053	100

חלקן של טכנולוגיות חדשות בחסכון עולה מ - 7% ל - 53% בשנים הבאות 1996-2010. גם הערכה זו מצביעה על כך שזהו יעד רצוי וגם אפשרי. מעניין ליחס את חלק ההשקעות במשק ב - % לחלק תועלת באחוזים לשתי קבוצות השנים 1995-1997, 2010-1996 לפי שלוש הקטגוריות:

טבלה 17: יחס התועלות באחוזים להשקעות באחוזים

סוג הטכנולוגיה	1977-1995	1996-2010
טכנולוגיות שנקלטו	1	2.17
טכנולוגיות מותנות בתחיקה והסברה	0.814	1.42
טכנולוגיות חדשות	3.12	0.54

לאור סקירה של טכנולוגיות אשר נמצאות בפיתוח ולאור שיקולים כלכליים שונים, נראה שישנו סיכוי גדול יותר לטכנולוגיות חדשות. טוב לחזור ולהדגיש פעם נוספת שהתכנית צריכה לשמש הצבת יעד רצוי ולא הערכה סטטיסטית שמרנית. בתחום של טכנולוגיות חדשות ישנו תמיד המימד התעשייתי התורם לכל תחשיב גם שמעבר לחסכון באנרגיה עצמית ע"י זה שהוא משמש לייצור וייצוא.

לעומת ההשקעות מעניין לבחון מהן התועלות הצפויות לשנה. אלה מפורטות בטבלאות 18, 19. גם כאן בולט החלק הקטן, קטן מידי, בחסכון בתחבורה. ערך זה הוא שמרני מאוד. אפשר וראוי להגדיל את מידת החיסכון על ידי פיתוח תחבורה ציבורית ובעיקר תחבורה ציבורית חשמלית. החיסכון האפשרי בתחבורה הוא הרבה יותר גדול מאשר החיסכון באנרגיה עצמה. הוא כרוך בחסכון רב בקרקע, בהשקעות בכלי רכב, בהקטנה דרמטית במספר ההרוגים והפצועים בדרכים, ובחסכון רב מאוד בשעות עבודה. לא כאן המקום לפרט ערכים אלה שהם כשלעצמם מצדיקים באופן מוחלט את הפעולות המוזכרות גם ללא החיסכון באנרגיה. כבר הראינו שהחיסכון הנובע מכך ששורפים פחות דלק הוא רב מאוד, הרבה יותר מהחיסכון הישיר.

טבלה 18: פוטנציאל שימור אנרגיה, מיליוני \$ (1995), מצטבר בשנים 1996 - 2010

מגזר	טכנולוגיות שנקלטו	טכנולוגיות מותנות בתחיקה והסברה	טכנולוגיות חדשות	סה"כ
תעשייה	469	1,006	1,125	2,600
מוסדות ציבור	459	3,429	852	4,740
בתי מגורים	414	2,792	98	3,303
חקלאות ומים	331	513	7	851
תחבורה	28	503	601	1,131
סה"כ	1,700	8,243	2,683	12,626

טבלה 19: פוטנציאל שימור אנרגיה, מיליוני \$ (1995) בשנת 2010

מגזר	טכנולוגיות שנקלטו	טכנולוגיות מותנות בתחיקה והסברה	טכנולוגיות חדשות	סה"כ
תעשייה	51	98	161	310
מוסדות ציבור	50	334	122	506
בתי מגורים	45	272	14	331
חקלאות ומים	36	50	1	87
תחבורה	3	49	86	138
סה"כ	185	803	384	1,372

בסיכום, מובאות טבלאות 20-23 שמסכמות את כל התחזית המעשית מאוד, שכאמור אפילו שמרנית. החיסכון עד 1995 נמדד ב - 334 מליון דולר לשנה כאשר ההשקעה המצטברת היתה בס"ה כמיליארד דולר. אם מניחים תועלת ל - 30 שנה לפי ריבית של 5% התועלת בערך נוכחי היא כ - 5 מיליארד דולר וההשקעה בערך נוכחי היא בסביבות 0.5 מיליארד ובס"ה היחס של התועלת להשקעה כמעט 1:10.

החיסכון השנתי המוערך ל - 15 השנים הבאות הוא כ - 1373 מליון דולר בשנה כאשר ההשקעה המצטברת הצפויה היא כ - 6 מיליארד דולר. הערך הנוכחי של התועלת כ - 20 מיליארד דולר, והערך הנוכחי של ההשקעה בוודאי סביב המחצית כלומר 3 מיליארד דולר. היחס הוא 7:1 בקרוב דומה מאוד למה שבוצע בעבר. אין ספק בכמה מסקנות חד משמעיות:

ניתן לחסוך באנרגיה סכומים משמעיים ביותר, עד כדי לא פחות ממיליארד דולר בשנה.

יחס החיסכון של המשק להשקעות הוא בסדר גודל של 7:1, וזוהי הצעה שאי אפשר לסרב לה, מלבד במשרד האוצר של מדינת ישראל.

סביב חלק של פעולות החיסכון ישנן תועלות נוספות חשובות ביותר וביניהן תעשייה וייצוא עקב פיתוח טכנולוגיות חדשות או הקטנת מספר הנפגעים בתחבורה הציבורית, חסכון בקרקע, ברכישת רכב ובשעות עבודה במשק, יציבות מחירים ועוד.

היעדים לחסכון באנרגיה ראויים שיהיו יותר יומרניים מאשר אלה המוצגים בהערכות שכאן.

נוסף לתועלות הנמדדות בחסכון באנרגיה ובתועלות כלכליות מקובלות ישנן כמובן תחזיות בהקטנת הזיהום לפחות ביחס של הקטנת השימוש בדלק עד כדי למעלה מ - 20%, ואם טכנולוגיות תוחלפנה בטכנולוגיות נקיות יותר התועלת תהיה גדולה עוד יותר. הצעת התכנית שלנו היא בשלב מוקדם, עם החלפת ייצור החשמל במקורות אנרגיה מתחדשת להקדיש את הגז הטבעי לתחבורה, וזאת נוסף על כל השאר.

טבלה 20: שימור אנרגיה שהושג ופוטנציאל השימור ביחידות אנרגיה

פוטנציאל שימור 2010	שימור שהושג 1995	יח' המדידה	סוג האנרגיה
3,394	741	אלפי טשענ"ש מיליוני	דלק
10,360	2,873	קוט"ש	חשמל
2,694	747	אלפי טשענ"ש	חשמל
6,088	1,488	אלפי טשענ"ש	סה"כ

טבלה 21: אחוז שימור אנרגיה בסה"כ צריכה

פוטנציאל שימור 2010	שימור שהושג 1995	יח' המדידה	סוג האנרגיה
24	10	%	דלק
18	10	%	חשמל
21	10	%	סה"כ

טבלה 22: שימור אנרגיה שהושג ופוטנציאל השימור בערך כספי לשנה

פוטנציאל שימור 2010	שימור שהושג 1995	יח' המדידה	סוג האנרגיה
633	134	מליון \$ לשנה	דלק
740	204	מליון \$ לשנה	חשמל
1,373	339	מליון \$ לשנה	סה"כ

טבלה 23: השקעת המשק ותקציב המשרד, מיליון \$

2010 - 1996	1995 - 1977	נתונים כלכליים
6,053	1,003	השקעת המשק כוללת מצטברת
46	21	התקציב המצטבר של המשרד

מעניין לצטט עוד מספר נתונים. המחברים מחשבים את המנוף של התקציב הממשלתי לחסכון באנרגיה, כולל כוח אדם ומגיעים ליחס של 1:51 תוך חישוב פרטני של הערך הנוכחי של ההשקעה ושל החיסכון, מספר מרשים לכל הדעות.

המנוף הצפוי לשנים 1996 עד 2010 צפוי להיות 1:106, פי שתיים מזה שהיה בשנים 1977 - 1995.

בסעיפים 4.9-4.10 מנינו מה צריכים להיות עיקרי המדיניות שייתנו סיכוי להשגת היעדים. כל העיקרים הם בתחום ההיגיון הכלכלי המלא. **חסכון אפשרי למשק של 1.4 מיליארד דולר בשנה ואיש איננו נוקף אצבע?**

פרק 5. טכנולוגיות לאנרגיה חלופית

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:

5.1. אנרגיה הידרו-אלקטרית

אנרגיה זו 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. נציין רק כי אי אפשר להימנע מהמסקנה שפרויקט תעלת הימים הוא שלילי מאוד מבחינה כלכלית, אפילו אם מוסיפים לו את היתרון של הפנמת העלויות החברתיות הכרוכות באלטרנטיבה של שריפת דלק. הוא שלילי כשהוא מיועד לייצור חשמל ושלילי יותר כאשר מייעדים אותו להתפלת מים.

אסור לשכוח שבס"ה כל התרומה הכלכלית של תעלת הימים היא אנרגיה שאיננה עולה על מחצית הגידול השנתי של ביקוש בישראל, ועלויות גבוהות פי 5 מהדרוש.

כאשר ההשקעה בתעלת הימים היא בסדר גודל של 5 מיליארד דולר, את הייצור של 3/4 עד מיליארד אחד קוט"ש לשנה, דרושה השקעה שבסביבות 100 מיליון דולר כדי להשיג מטרה זו בדרכים אחרות. גם עלות התפלת מי ים במסגרת תעלת הימים היא לפחות פי שלושה מהתפלה רגילה ליד חוף הים ופי 6 מעלות התפלה בעזרת "ארובות שרב".

5.2 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 מאפשר תפוקה אפשרית של חשמל כדי מעל 650 קוט"ש חשמל לטון (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.

5.3 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 ל- 6% של כל צריכת החשמל.

אם מוכנים להפנים חלק מהעלות החברתית החיצונית, למשל כדי הכפלה של עלות החשמל מטורבינות רוח, אפשר היה להקטין את מהירות הרוח הכללית הממוצעת של 4.7-5.5 מ' לשנייה. המשמעות היא הגדלה אפשרית של שטח שיכול לספק רוח מתאימה כמעט לכל שטח המדינה, ולמרבית מצריכת החשמל.

החיסרון העיקרי של אנרגיית הרוח הוא בכך שאספקת אנרגיה היא רק כ- 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.

השקעות טיפוסיות בטורבינות בגרמניה ירדו ל - 1315 דולר לקילוואט מותקן בטורבינות של 500-600 קילוואט עם זמינות של 98%. (דו"ח מ - 1995/6) (36).

בשבדיה, אנרגיה מתחדשת קיבלה עידוד, כמו גם בגרמניה, לתשלום של 12 סנט לקוט"ש. בשבדיה פיתחו עקב כך טורבינה של 3MW שייצרה 6-7 GWh בשנה בזמינות של 93%. חישוב העלות של האנרגיה הצביע על 4 סנט לקוט"ש בייצור סדרתי.

בהולנד, עלות טיפוסית של טורבינות רוח ירדה ל - 1397 דולר לקילוואט מותקן, או 576 דולר למ"ר של רוטור. לקראת סוף '95 לטורבינה בקוטר 41.3 מ' עם הספק מותקן של 500 קילוואט דרושה השקעה של 489,913 דולר שהם רק 365 דולר למטר רבוע רוטור.

בארה"ב, הפרוגרמה היא להגיע לעלות חשמל של 4 סנט לקוט"ש מטורבינות רוח. דינים וחשבונות מ - 1999 מדברים על עלויות נמוכות מ - 3 סנט לקוט"ש. די קשה לפרש את הנתונים הללו מפני שלעיתים רחוקות מופיעה גם מהירות הרוח הקובית הממוצעת.

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 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 1.75×10^9 קוט"ש לשנה (כפול מתעלת הימים) שהם כ - 6% מצריכת החשמל ב - 1997. כל ההשקעה כולה תהיה לא יותר מאשר 0.5-0.65 מיליארד דולר, שתי עשיריות מההשקעה הדרושה לתעלת הימים. ניתן להסב חלק גדול של ייצור הטורבינות לחברות ישראליות שתשרתנה גם את האזור. לפי זה, ההשקעה לקילוואט ממוצע נטו לא תעלה על 3000-4000 דולר (לשם השוואה, ההשקעה הצפויה בתעלת הימים היא קרובה ל - 30,000 דולר לקילוואט ממוצע נטו (!!!). לפי הניתוח בפרק 4.6 שלעיל ההשקעה המותרת כתחליף לייצור חשמל בגז היא מעל 8700 דולר וכתחליף לפחם מעל 15,000 דולר, לפי ריבית של 5%. אפילו בחסכון ע"י מניעת הסבסוד ותמורת עלות הדלק בלבד הסכום המותר בהשקעה הוא 6059 דולר לקילוואט. בריבית של 0% הסכום המותר בהשקעה כשהוא כולל גם הפנמה של עלויות חברתיות חיצוניות מגיע ל - 17,000 דולר לקילוואט כתחליף לגז ו - 29,000 דולר כתחליף לפחם. זאת לעומת ההשקעה של 3000-4000 דולר לקילוואט נטו באנרגיות רוח. פירוש הדבר שמותר יהיה להשקיע בסופו של דבר פי 4.25 ויותר בטורבינות או להסתפק אפילו באיזור בעל מהירויות רוח שהיא רק 60% מהגבול שנבחר עד כה. לדוגמא, במקום מהירות רוח ממוצעת של 6-6.5 מ' לשנייה אפשר להסתפק ברוח ממוצעת של 3.7-4.0 מ' לשנייה (לפי שורש שלישי). זאת בתנאי שהטורבינה מתוכננת למהירות סף נמוכה. פירוש הדבר רוב שטחי המדינה ופוטנציאל גדול בהרבה מאשר 1000 מגה-וואט ממוצע נטו. כמעט בכל שטח המדינה מהירות רוח של כ - 5 מ' לשנייה בממוצע. אלה מאפשרים למעלה מ - 7000 מגה-וואט ממוצעים למעלה מ - 100% של צריכת החשמל ב - 1997. עם הפנמה של העלויות החיצוניות יש למדוד ולאמוד מחדש את הפוטנציאל. ייתכן מאוד שהוא עולה בהרבה אף מעל לכך.

המסקנה היא שכדאי להקים טורבינות רוח ולו בלבד כדי לחסוך דלק, ואפילו על ידי השבתת תחנות קיימות. הטענה שיש צורך בהשקעות יתרות לגיבוי טורבינות הרוח נופלת בזה כטענת שווא.

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 - 8%-9% 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. רק חברת החשמל הישראלית מתאימה להתקנה כזו. את הטורבינות האינדיבידואליות יכולים להקים יצרנים פרטיים. השאר יתרחש לבד. מדובר בטכנולוגיה בשלה וזמינה במבחר רחב. אבל דבר זה איננו יכול להיעשות ללא מעורבות של הרשות הציבורית ויוזמה מרכזית של חברת חשמל לאומית.

מוזרה המעורבות של שרים שונים בתמיכה של חלופות שונות של תעלת הימים כאשר מאנרגית רוח, לפי ההנחה השמרנית ביותר, אפשר להפיק יותר מכפול ובעלות שהיא חמישית. אין כל צורך בהשקעה חד פעמית גדולה. אפשר אפילו לבצע התפלה בעזרת אנרגית רוח. התפלה זו יכולה לשמש תחליף לאגירת אנרגיה וגיבוי.

המשמעות הכלכלית של התקנת חוות של טורבינות רוח בישראל לפי המתכונת המינימאלית המוצעת עשויה להיות חסכון של קרוב ל - 550,000 טון שווה ערך נפט לפי המתכונת המצומצמת ביותר או 55 מליון דולר לשנה ברכישת דלק בלבד במחירי היום וכ - 100 מליון דולר לשנה לקראת שנת 2020 בערכים קבועים. שר התמ"ת יעדיף לתת 100 מיליון ₪ להעתקת בית חרושת למשקאות מעיר אחת לעיר אחרת, אבל אין מי שייתן סיוע במימון של הקמת טורבינות רוח. זאת תוך הרחבת התעסוקה ולא העברתה מעיר אחת לעיר אחרת. ראוי לחזור ולהזכיר שבה בשעה שניתן להגיע לעלות חשמל בטורבינות רוח ל - 4-5 סנט, החוק בגרמניה הכיר ביתרונות של שימוש באנרגיות רוח וקבע מחיר של 12 סנט לקוט"ש ממקור זה. בשבדיה, אנגליה, ביפן וכן במדינות נוספות תוקנו תקנות דומות עם תשלום דומה לאנרגיה נקייה מתחדשת. **היה זה המשרד לאיכות הסביבה בישראל שעכב ומנע במשך שנים ארוכות את חברת החשמל מלהקים חוות רוח.** אחר כך היתה זו הרשות לחברות ממשלתיות בהנהגה של ראש הרשות לחברות ממשלתיות הנאורה שהורתה לחברת החשמל לחדול מעיסוק בחוות רוח. במקרים אחרים היה זה צה"ל שטען להפרעות תקשורת. הטענה הוכחה כטענת סרק. לאחרונה אמנם נבדק הדבר ונמצא כנראה כחסר בסיס.

כדי להביא דברים עד כדי אבסורד, נניח שהמיניסטריון לאנרגיה בארה"ב - D.O.E. יסגור את כל התקציב של 24 מיליארד דולר שיוקדש מכאן ואילך לבניית תחנות רוח. בסכום זה אפשר יהיה להקים 8300 מגה-וואט ממוצעים של אנרגיית רוח בכל שנה, ולייצר בערך 73 מיליארד קוט"ש בשנה שמספיקים ל - 7.3 מיליון אזרחים לכל צריכת החשמל שלהם בארה"ב, כמעט 3% מכל האוכלוסייה. במשך 30 שנה אפשר היה להחליף את כל צריכת החשמל מדלק לאנרגיית רוח. חבל על כל פרוטה שמשקיעים ב - D.O.E.

הסבסוד של החשמל בארץ הוא כדי 1.5 מיליארד דולר בשנה. אם יוקדש כולו להקמת טורבינות רוח, ללא סבסוד אלא מחיר מלא, אפשר היה להקים לפי 3000 דולר לקילו-וואט ממוצע, אפשר היה להתקין חצי מיליון קילו-וואט כל שנה, כ - 10% מכל צריכת החשמל בישראל בשנה אחת של הפסקת הסבסוד המטומטם של אגף התקציבים במלחמתו הפרטית בוועד עובדי חברת החשמל. רק החיסכון ברכישת דלק יכניס למדינה כ - 900 מיליון דולר בשנה אחרי השנה הראשונה. אחרי עשור, כל החשמל יהיה מיוצר על ידי אנרגיה חליפית.

5.4 "ארובות שרב"

זו הצורה החדשה של ניצול פירות השמש ללא צורך בקולט שמש. השיטה יכולה, באורח תיאורטי, לספק פעמים רבות מעבר לצריכת החשמל כמעט ב - 2/3 של העולם בעלויות לייצור שוות לייצור חשמל בדלק או נמוכות ממנו. אבל, נוסף לכך, ישנן כמה תועלות שעשויות להכפיל את ההכנסות מתחנות כוח, ולפתור עוד כמה בעיות סביבתיות מהחשובות ביותר בעולם, מחסור במים, המלחה, דייג יתר בימים ואספקת פרוטאין מן החי לאוכלוסיית העולם.

פרויקט "ארובות שרב"

הקדמה קצרה

הפרוט של פרק זה מובא לאו דווקא בגלל קרבתו של הכותב לנושא. הוא פחות מוכר משום שכמעט לא בא בפני הציבור הרחב על ידי פרסומים מפורטים, וכמעט לא עסקו בו אחרים. הפרויקט הוכר על ידי כמה וכמה גופים במדינות שונות כפריצת דרך מהפכנית בתחום האנרגיות החליפיות. הוא נבדק וחזר ונבדק ע"י משרד המדע והטכנולוגיה ההודי, ע"י חברת TERI ההודית, על ידי קבוצה הנדסית באוסטרליה ועל ידי שני צוותי בדיקה רב תחומיים שמונו ע"י המשרד הממונה בארץ. כל אלה שיבחו את הפרויקט בהתלהבות. הפרויקט קיבל במשך השנים ארוכות תמיכה של משרד התשתיות הלאומיות ושל חברת החשמל לישראל. אם אין במערך שפותח שגיא, הרי הטכנולוגיה מביאה לניצול משאב אדיר ביותר שהתגלה בישראל מאז ומעולם מבחינה כלכלית וסביבתית, וכן הוא בוודאי ביחס לעולם.

נשיא הטכניון לשעבר, פרופ' זאב תדמור, התבטא ואמר ש"זוהי התרומה החשובה ביותר של הטכניון לא רק לכלכלת ישראל אלא לאנושות כולה".

תקציר

השם - "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. כיום בדיקת הטכנולוגיה הזו מובילה לפער ניכר מבחינה כלכלית ביחס לכל הטכנולוגיות המפותחות היום בארץ ובעולם לייצור חשמל ממקורות מתחדשים ונקיים, להוציא מפעלים הידרו-אלקטריים גדולים שהם מוגבלים מאוד בזמינותם. כמו כן, יתרון נוסף משמעי מאוד יש בכך שנוסף לייצור החשמל, ניתן להתפיל מים בכמויות כמעט לא מוגבלות בקרוב לחצי המחיר וכן לגדל דגי ים בהיקף ענק.

עקרון הפעולה - בונים ארובה בקוטר גדול מאוד וגובה גדול מאוד. מתיזים מים בפתח שבראש הארובה. המים 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.

אנרגיה מתחדשת ללא צורך בקולט לקרינה סולרית - 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 לאנרגיה סולרית. יותר מכך, אותו שטח נוסף ניתן לניצול לבריכות דגים, למתקני התפלה ומאגרים אופרטיביים, ללא תשלום נוסף.

כלכלה - מחיר ייצור חשמל צפוי להיות בתחום שבין 6.5-1.7 סנט לקו"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, עלויות ייצור החשמל תתחרנה 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 לקו"ש, או 3.9 סנט לקו"ש, בריבית של 5% ו-10%, בהתאמה.

הפוטנציאל של "ארובות שרב" - בישראל הפוטנציאל הוא כדי להגיע בהדרגה, ואף לעלות על אספקת כל החשמל גם בשנת 2020 והרבה מעבר לכך. אזורי ההקמה הם בעיקר בערבה ובפתחת רפיח. 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 30 מכל צריכת החשמל בעולם כיום.

תועלות כלכליות נוספות:

בשילוב עם הארובה המייצרת חשמל, אפשר לנצל שישה מוצרים נוספים נלווים, וכן עוד כ-6 תועלות מקרו-כלכליות חשובות מאוד.

אגירה שאובה - בניצול מלא כרוכה בתוספת הכנסה שהיא בסביבות 2 סנט לכל קו"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 כ-30 סנט לקוב. הארובות שוברות למעשה את מחסום המחיר לשימוש בכל ענפי החקלאות. 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, וכן בעיות זיהום בים. שילוב עם הארובות פותר בעיות אלה באופן מושלם ומאפשר פוטנציאל גידול דגי ים בהיקף של 75,000 טון לכל ארובה ואף למעלה מ-100,000 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, שהם 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. לא יהיה צורך להעמיד עוד תחנות כוח על שפת הים.

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

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

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

עמידה בהגבלות של שריפת דלק.

פרוטוקול קיוטו Kyoto Protocol

לפי החלטת הקהילה הבינלאומית תוטלנה מגבלות קשות ביותר על שריפת דלק. מגבלות אלה דורשות עד שנת 2010 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 בונים משמעי תמורת חשמל ללא גזי חממה. ביטול קבורת פסולת והקמת הארובות יתגברו על דרישות פרוטוקול קיוטו.

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 - 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.

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, וזאת בשעה שקילוגרם עוף דורש כשני קילוגרם מזון יבש, קילוגרם חזיר, 3 קילוגרם מזון יבש וקילוגרם בקר למעלה מ - 5 קילוגרם מזון לנפש. מכאן, חיסכון עצום בקרקעות ובמים.

השפעות פוליטיות ואסטרטגיות בעלות משמעות מכרעת בעולם, זאת עקב הקטנת התלות ביבוא דלק.

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 לשלום ולפיתוח הנגב.

מצב הפרויקט - הגיע הזמן להקים יחידה 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 קונספטואלי 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 20 מיליון דולר.

בעקבותיהם תובא הקמה של תחנת כוח עם קבלת אחריות מלאה על תיפקודה.

ראוי לציין ש - Alstom, חברה עולמית מובילה, החלה לשתף פעולה בתכנון, תוך כוונה לספק את הציוד המכני הדרוש לבנייה, 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 20 מיליון דולר לתכנון ופעולות הכנה אחרות לקראת הקמת התחנה. זאת כדי להקדים את הפיתוח וכדי לאפשר 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. הדבר יכול להתבטא בהקצאת קרקעות, בהשתתפות בהשקעה או בהבטחת מחיר נאות לחשמל, לפחות בשלב של הקמת התחנה הראשונה.

נוסף לכך, יש להגן על המשאב הגדול הזה שהתגלה, וזאת על ידי התחשבות בתכניות שונות, מניעת פגיעה במשאב הזה ומתן קדימות למה שינצל בצורה חכמה ממשאב זה ובהקדם. יש להרחיק בקפדנות כל רעיון שעשוי לפגוע במשאב זה.

בסיכום 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. אין שום פרויקט לאומי שדומה לזה בחשיבותו.

"וירא מלאך ה' אליו בלבת אש מתוך הסנה, וירא והנה הסנה בוער באש והסנה איננו אכל" [שמות ג, ב].

5.4.1 הטכנולוגיה של "ארובות שרב" ותולדות פיתוחה

"ארובות שרב" הוא שם של טכנולוגיה לייצור חשמל מאנרגיה שמקורה בשמש. הוא מקור נקי ומתחדש. "ארובות השרב" נוטלות את מגרעותיו של מדבר, יובש וחום, והופכות אותן לנכסו הרב, מקור שופע של חשמל ומים ועוד תועלות נוספות. זהו גם שם החברה שנוסדה כחברת בת של הטכניון לפתוח הטכנולוגיה וליישומה - "ארובות שרב".

הטכנולוגיה הזו פותחה בארץ בתמיכה ממושכת של משרד האנרגיה ויורשו משרד התשתיות, ובסיוע של חברת החשמל לישראל.

הפיתוח נעשה בטכניון ע"י צוות פיתוח שבראשו עמד מלכתחילה פרופ' דן זסלבסקי, מי שהיה בעבר המדען הראשי של משרד האנרגיה וכן נציב המים.

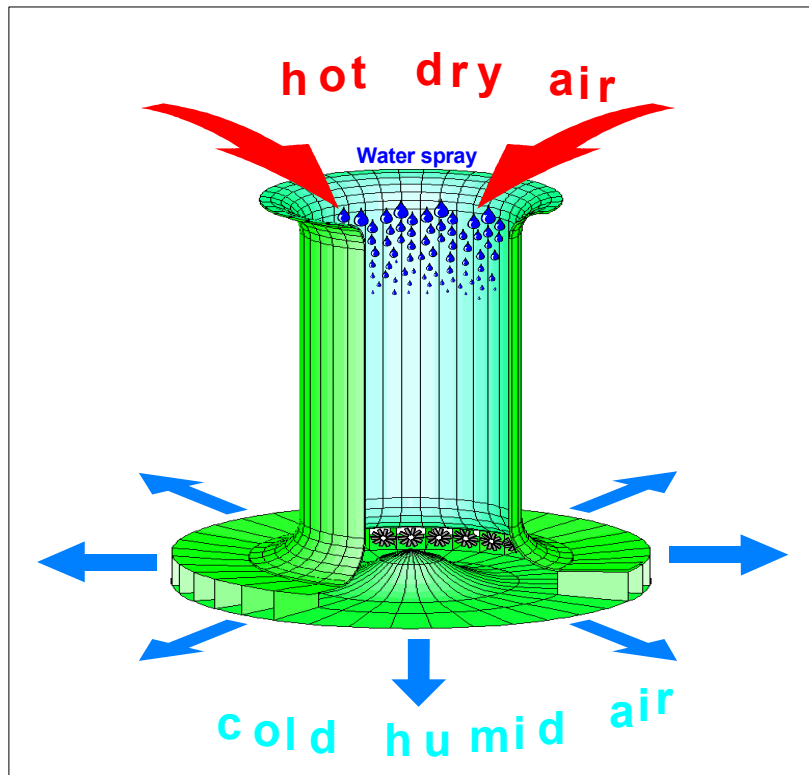
עד כה הושקעו קרוב ל - 150 שנות אדם, ממיטב בעלי המקצוע, בהוצאה שמתקרבת ל - 10 מיליון דולר. על כל דולר שהושקע על ידי המדען הראשי של משרד התשתיות הלאומיות (עד כה כ - 5 מיליון ₪) אפשר היה לגייס כמה דולרים בתרומות אחרות.

הרעיון הבסיסי היה של פרופ' דן זסלבסקי לנצל את פירות השמש ולא את קרינתה. הניצול של ארובות שרב היא עוד דרך לעשות זאת, נוסף לרוח, למים ולביו-מסה.

5.4.2 עקרון הפעולה

העיקרון הבסיסי פשוט. בונים ארובה בגובה וקוטר גדולים באיזור של אוויר חם ויבש. מתיזים מים בראש הארובה. חלק מהמים מתאדה ומצנן את האוויר. האוויר המצונן כבד יותר מהאוויר שמחוץ לארובה, והוא זורם כלפי מטה. בהגיעו לתחתית הארובה הוא פורץ החוצה מהפתחים אשר בתחתית (ראה איור 1). בדרך, האוויר מניע טורבינות המסובבות גנרטורים שמייצרים חשמל.

איור 1: תאור סכמטי של עקרון פעולת "ארובת שרב"



פעולת ארובת השרב הפוכה מפעולה של ארובה רגילה שבה האוויר מחומם ועולה כלפי מעלה. למעשה, "ארובת שרב" הינה מתקן לייצור רוח תוך שימוש באותם גורמים פיזיקליים כמו בטבע. להבדיל מרוח טבעית, הארובות תופעלנה ברציפות 24 שעות ביממה. הטורבינות נתונות בתוך שרוול שבו זורם האוויר. העלות הצפויה נמוכה בהרבה מאשר במרבית טורבינות הרוח הרגילות והפוטנציאל לניצול הוא עשרות פעמים יותר גדול. בטורבינות רוח רגילות, נדירות טורבינות בהספק גדול ממגה-וואט אחד. בארובות שרב עשויות להיות כ - 100 טורבינות, ובכל אחת מהן הספק ממוצע של 6-7 מגה-וואט. כך בשטח של פחות מקילומטר רבוע ישנו הספק רוח השקול כנגד מאות רבות של טורבינות רוח רגילות.

ערכן של הארובות שרב בולט באופן מיוחד באיזורים שבהם יש באופן יחסי ממילא מעט רוחות המתאימות לניצול, והם עניים במקורות מים שיכולים לשמש למפעלים הידרו-אלקטריים או לצריכת האדם. כמו כן, הם עניים בביו-מסה.

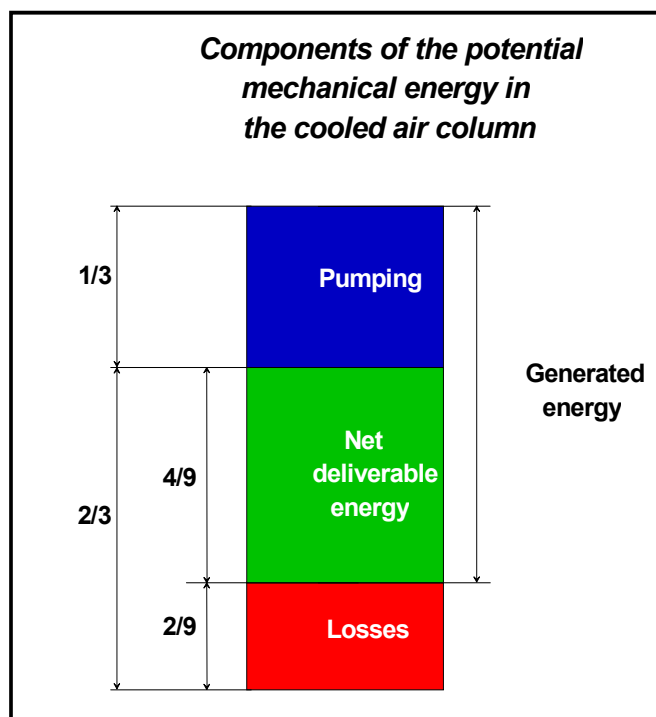
ישנה טכנולוגיה דומה לכאורה, הקרויה "ארובת שמש" (Solar Chimney) שפותחה על ידי פרופ' שלייד (Schlaich) משטוטגרט (Stuttgart), גרמניה. זוהי ארובה עם אוויר עולה הזקוקה למקור חום. זה מושג על ידי קולט שמש. למרות הדמיון בין הארובות, מחיר ייצור החשמל שנוצר ב"ארובות השמש" של פרופ' שלייד יהיה יקר פי 10 ממחיר החשמל ב"ארובות השרב", זאת בעיקר בגלל הצורך בקולט שמש לחימום האוויר. נוסף לכך, ארובת השמש של פרופ' שלייד פועלת רק כ - 8 שעות ביממה והיא נעדרת 6 מוצרי הלוואי המועילים מאוד שמאפשרות "ארובות השרב". שטח הקרקע הנדרש על ידי ארובות שרב הוא לכל היותר פי 9 משטחה של תחנת כוח רגילה (לאותו היקף ייצור), זאת כולל שטח איסוף הרסס שניתן לניצול נוסף. לעומת זאת, "ארובת השמש" של שלייד דורשת שטח גדול פי 400 (!)

בטכנולוגיה הסולרית הטובה ביותר כמו במגדל השמש של מכון וויצמן או במראות של חברת "סולל", עלות ייצור של החשמל, ללא שילב דלק, הוא פי 3-5 יותר מאשר עלות הייצור בארובות שרב (הרכיב הסולרי לא נופל מ - 12 סנט לקו"ש). השטח הדרוש ליחידת ייצור הוא פי 20 יותר מאשר תחנת כוח רגילה מופעלת בדלק ולפחות פי 2 יותר מאשר ארובות שרב.

5.4.3 מקור האנרגיה

מקור האנרגיה בארובות שרב הוא האוויר החם והיבש שמיובא מאיזור קו המשווה לשתי רצועות מדבר שעל פני כדור הארץ. האחת מדרום לקו המשווה והשנייה מצפון לקו המשווה (ראה איורים 3, 4). השמש יוצרת אוויר חם ולח באיזור קו המשווה. האוויר עולה לגובה של עד 10 ק"מ, מצטנן ומוריד גשם. האוויר מדולדל הלחות זורם בחלקו צפונה ובחלקו דרומה. ברדתו הוא נדחס ומתחמם, וכך גורם ליצירת ארצות חמות ויבשות. לבסוף, האוויר חוזר וזורם לכיוון קו המשווה. הוא סופג רטיבות ומתחמם וחוזר חלילה. מחזור זרימה זה נקרא על שם George Hadley שפרסם אודותיו לראשונה בשנת 1735. כמות החום המוסעת במעגל Hadley אל איזורי המדבר הוערכה בסדרי גודל אדירים של $2-4 \times 10^{16}$ קילואט שעה לשנה. בעצם זהו מקור אנרגיה היוצר גשם ורוח. אנחנו איננו יוצרים את מקור האנרגיה ואף איננו מעכבים אותו, אלא מאיצים את התהליך של ירידת האוויר חזרה אל פני כדור הארץ במקום הרצוי והנוח לנו. בארובות שרב אנו מנצלים מעט למעלה מ- 1% של החום הכמוס המיובא בעזרת מעגל Hadley כדי לייצר אנרגיה מכנית וחשמלית. זוהי נצילות נמוכה מאוד, אבל שפע האוויר הזורם שהוא מקור האנרגיה, הוא זול מאוד.

איור 2: חלוקת האנרגיה הפוטנציאלית



2 כיצד מתחלקת

מעניין לראות באיור

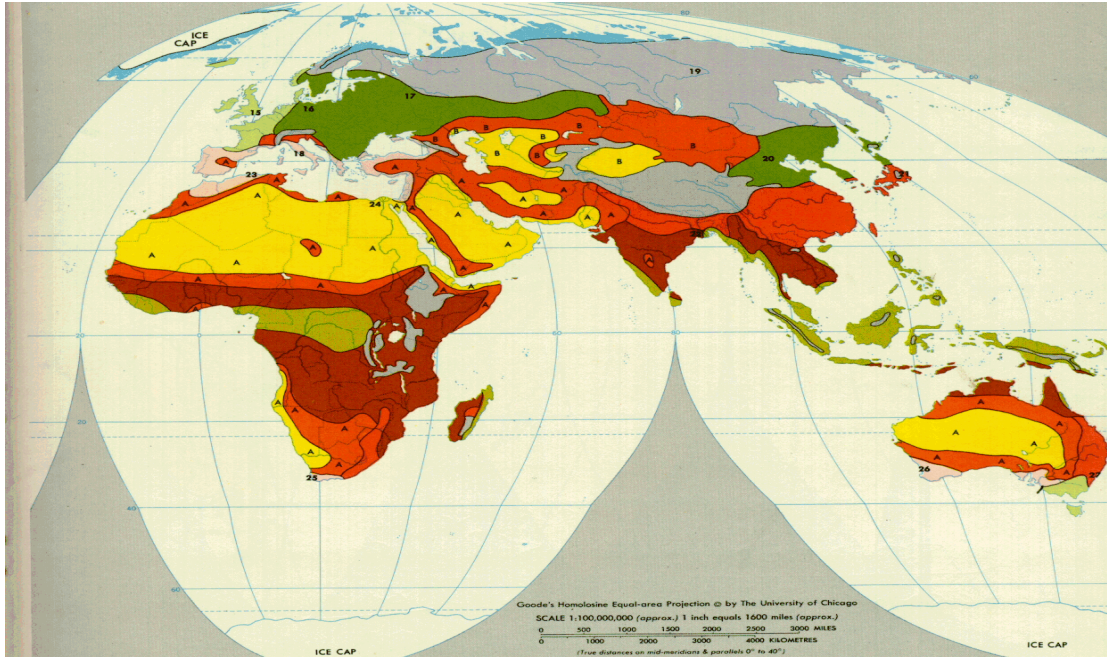
האנרגיה המכנית שנוצרת בארובה כתוצאה מניצול החום בדרום הערבה: כ - $4/9$ מסה"כ האנרגיה המכנית משמש לשיגור חשמל לצרכנים, $1/3$ משמש לשאיבת המים ו - $2/9$ הם הפסדים. זאת עבור ארובה במרחק 40 ק"מ מהים וגובה 80 מ' מעל פני הים. השטחים המתאימים להתקנת ארובות שרב הם אלה שבהם מייצרים אנרגיה מכנית יותר מאשר זו הדרושה לשאיבת מים ובמידה גדולה די הצורך כדי שהפרויקט יהיה כדאי.

5.4.4 הפוטנציאל העולמי של ניצול ארובות שרב

נניח שנצילות החום והפיכתו לאנרגיה חשמלית בארובת השרב הוא כדי 1% בקרוב, כמות החשמל שניתן לפי זה לייצר מהאוויר החם במחזור Hadley, מגיע ל - $2-4 \times 10^{14}$ קו"ש לשנה (בין 200 ל - 400 אלף ביליון קו"ש). לאחרונה עשינו שימוש בנתוני אקלים מלוויינים ונערך מיפוי של כל כדור הארץ להערכת הספקי חשמל אפשריים. לפי מספר הנחות שמרניות מאוד, הגענו לפוטנציאל עולמי לייצור חשמל של כ - $230,000 \times 10^9$ קו"ש לשנה, וזאת רק באיזורים בהם מחירי הייצור של החשמל לא יעלו על 3.9 סנט לקו"ש לפי ריבית של 5%, ולא יותר מ - 6.4 סנט לקו"ש, לפי ריבית של 10%. (ראו טבלה 24).

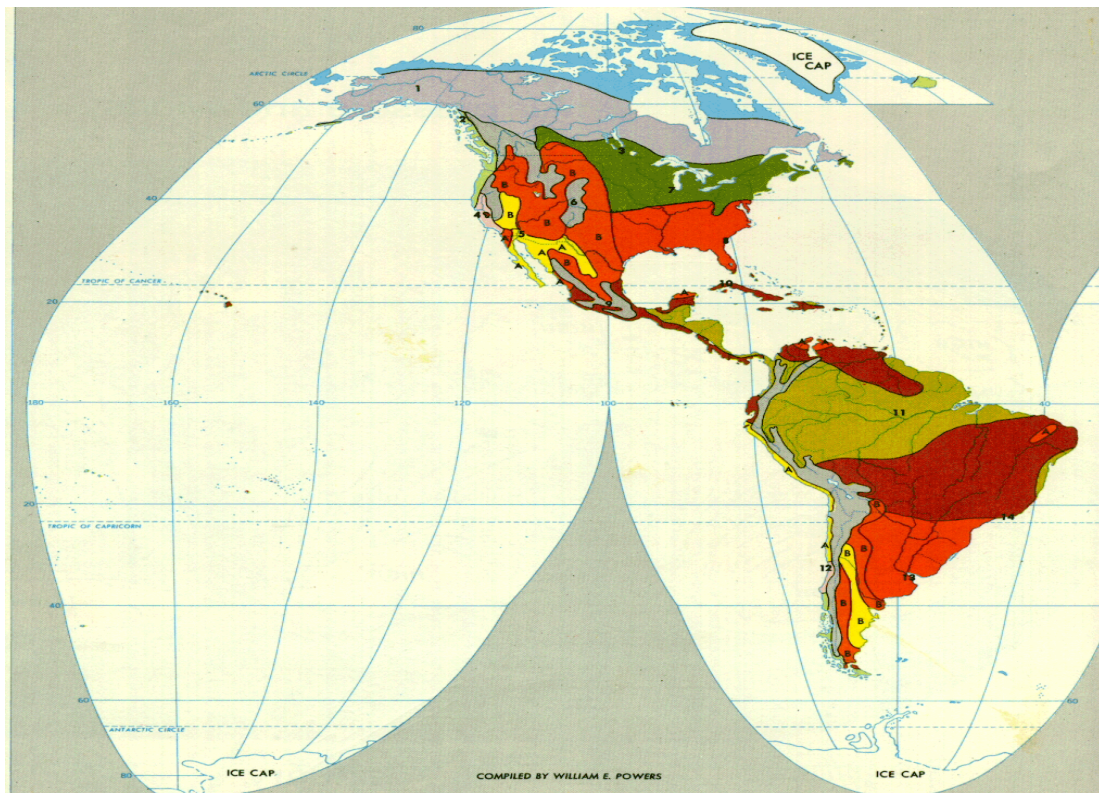
ראוי לציין להשוואה שכל צריכת החשמל הגלובלית היום אינה עולה על 8000 ביליון קו"ש לשנה, ולפי יתרון אחר, כ - 13000. פרוש הדבר, שהיקף הייצור התיאורטי, האפשרי מבחינה כלכלית, של חשמל על ידי ארובות שרב הוא יותר מאשר פי 30 מכל צריכת העולם כיום, ולפי הנתון האלטרנטיבי, פי 18. גידול הביקוש העולמי לשנה הוא כ - 2.5%, והצורך לחדש תחנות כוח שהתיישנו עשוי להגיע ל - 2%, ובסה"כ 4.5% לשנה, או כ - 360 ביליון קו"ש חדשים לשנה, כל שנה. כמוהו כ - 100 ארובות חדשות כל שנה, והשקעה של כ - 100 מיליארד דולר בשנה. גם אם רק חלק קטן מזה יהיה היקף הבנייה הממשית, זהו שוק אדיר ממדים, אם נדע לפתחו ולנצלו.

איור 3: איזורים אקלימיים באירופה, אסיה, אפריקה ואוסטרליה.



באיור 3 האיזורים המסומנים בצהוב והאיזורים באדום בהיר המסומנים באות "A" מציינים מדבריות או איזורים צחיחים.

איור 4: איזורים אקלימיים באמריקה



באיור 4 האיזורים המסומנים בצהוב והאיזורים באדום בהיר המסומנים באות "A" מציינים מדבריות או איזורים צחיחים

ישנן כ - 40 מדינות בהן כדאי מאוד לייצר חשמל בעזרת הארובות. קווי הולכה חדישים ובמתח גבוה של מיליון וולט, ואף בזרם ישר, יכולים להסיע את החשמל גם למרחקים של 3000 ק"מ ויותר. כך ניתן יהיה לספק את מרבית צריכת החשמל ממקור הארובות לקרוב ל - 2/3 של אוכלוסיית העולם. המגבלה היא בעיקר טווחי ההובלה של החשמל. בעתיד היותר רחוק, שימוש בעל מוליכים עשוי להסיר כל מחסום של הסעת החשמל.

בטבלה 24 להלן אנו מביאים הערכה שמרנית מאוד של היקף ייצור החשמל האפשרי בעולם ברמות שונות של נתוני אקלים וגיאוגרפיה, כאשר הספק הייצור נע בין 200 מגה-וואט בממוצע שנתי ל - 600 מגה-וואט בממוצע שנתי, בארובה מסחרית בתכנון סטנדרטי שגובהה 1200 מ' וקוטר 400 מ'. העלויות לקילוואט שעה מצוינות לפי ריבית של 5% ושל 10% וכן הכמות הכללית של האנרגיה.

טבלה 24: הפירוט העולמי של הספק ארובה באיזורי אקלים שונים והערכת עלות ייצור החשמל

עלות ייצור חשמל		אנרגיה שנתית בניצול מלא	מספר ארובות דרושות לניצול מלא	שטח זמין בעולם	תפוקה נטו ממוצעת
לפי 10% ריבית	לפי 5% ריבית				
סנטיים/קו"ש	סנטיים/קו"ש	10 ⁹ קו"ש לשנה	[-]	ק"מ ² 10 ³	מגה-וואט
2.51-2.69	1.68-1.78	839	173	69	550-600
2.69-2.90	1.78-1.90	2,679	583	233	500-550
2.90- 3.16	1.90-2.05	10,579	2,542	1,017	450-500
3.16 - 3.49	2.05-2.24	20,923	5,620	2,248	400-450
3.49-3.91	2.24-2.48	34,221	10,418	4,167	350-400
3.91- 4.47	2.48-2.80	42,627	14,973	5,989	300-350
4.47- 5.25	2.80-3.25	51,775	21,492	8,597	250-300
5.25 - 6.42	3.25-3.93	64,733	32,843	13,137	200-250
		228,376	88,644	35,457	סה"כ

החישוב בטבלה נעשית לפי ריבית בזמן ההקמה, במשך 4 שנים, ולפי אורך חיי התחנה - 30 שנה והפעלה ותחזוקה - 0.566 סנט לקו"ש. בחישוב לוקחים בחשבון לא רק את נתוני האקלים, פרופיל טמפרטורה ולחות, אלא גם את המרחק מהים וגובה מעל פני המים, וכן שטח שמיים מובטח לכל תחנה כדי 400 קילומטרים רבועים, הנחות שמרניות ביותר.

בטבלה 25 הערכנו את מספר האנשים שאפשר לשרת בעזרת בניית ארובות שרב בכמה איזורים, וזאת רק בכאלה שהספק הממוצע עולה על 300 מגה-וואט, ומכאן עלויות ייצור החשמל נמוכות מ - 2.8 סנט לפי 5% ריבית ונמוכות מ - 4.07 סנט לפי ריבית של 10%. מובן מאליה שבידינו לבחור לשיווק תחילה אתרים

בהם עלות ייצור החשמל נמוכה ובהם יש ערך גבוה לתועלות הנוספות שנמנה אותן בהמשך ומשקלן הכולל לא פחות מייצור החשמל.

כדאי למשל לשים לב שמצפון אפריקה אפשר יהיה לספק חשמל ל - 3.5 מיליארד בני אדם, הרבה יותר מצריכת צפון אפריקה ואירופה יחדיו. חשבון פשוט מצביע גם על כך שאפשר יהיה לייצר מי ים מותפלים זולים, בנפחים של עשרות פעמים הנילוס. צפון אפריקה תהפוך לאסם המזון של אירופה ומקור לרוב או כל החשמל ממקורות מתחדשים, ובעלות יותר נמוכה מהיום.

טבלה 25: פוטנציאל אספקת החשמל באיזורים שונים בעולם

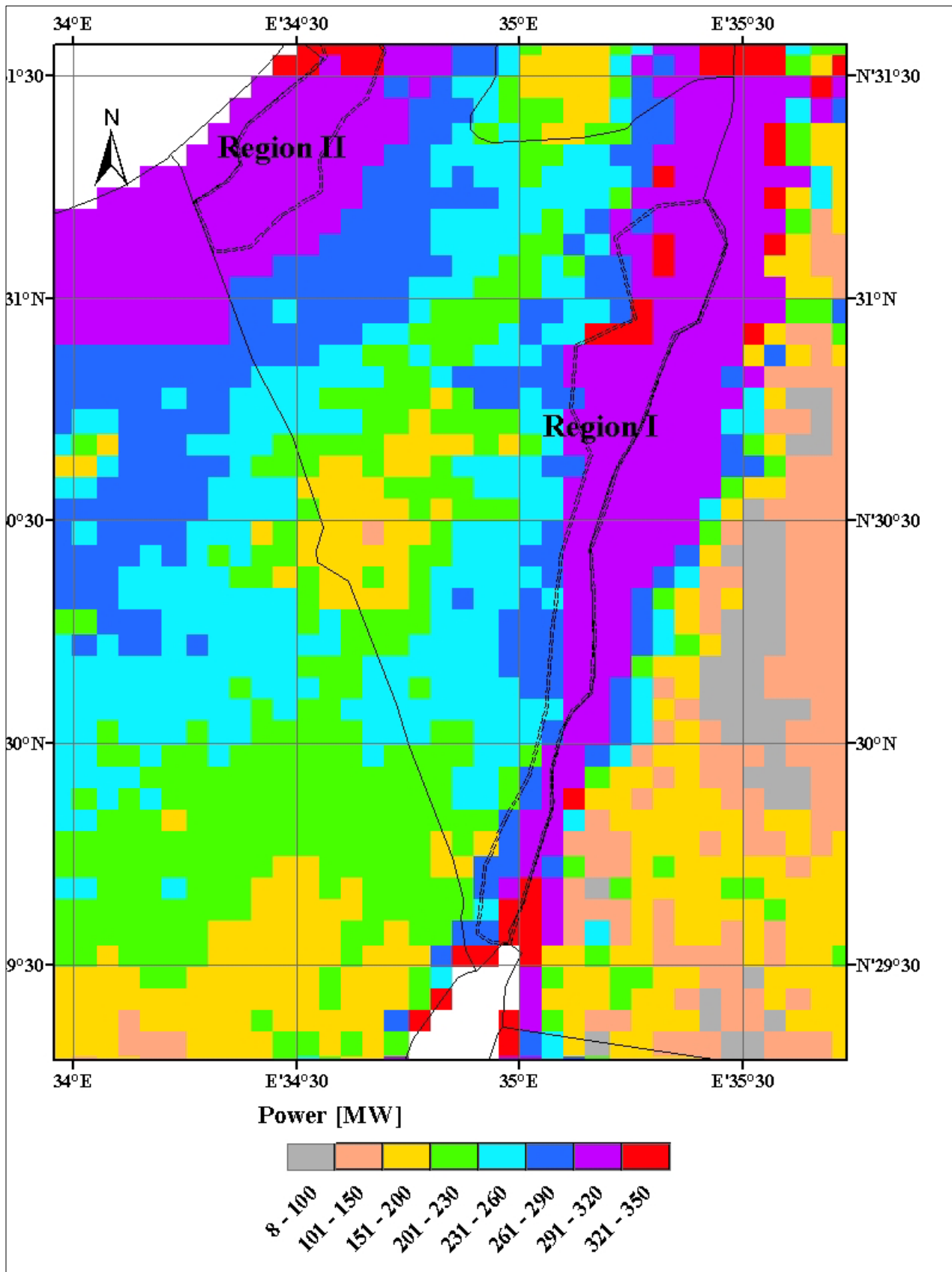
איזור	מספר האנשים (בביליונים) שניתן לספק להם חשמל	צריכת החשמל (בקו"ש לפש, לשנה)
צפון אפריקה	3.58	6000
דרום אפריקה	1.37	6000
הודו	1.19	6000
צפון אמריקה ומקסיקו	1.2	10000
צ'ילה ופרו	3.77	6000
דרום אירופה	0	6000
אוסטרליה	0.71	6000
ערב הסעודית	1.25	6000
המפרץ הפרסי	1.12	6000

5.4.5 הפוטנציאל של ניצול ארובות שרב בישראל וסביבתה

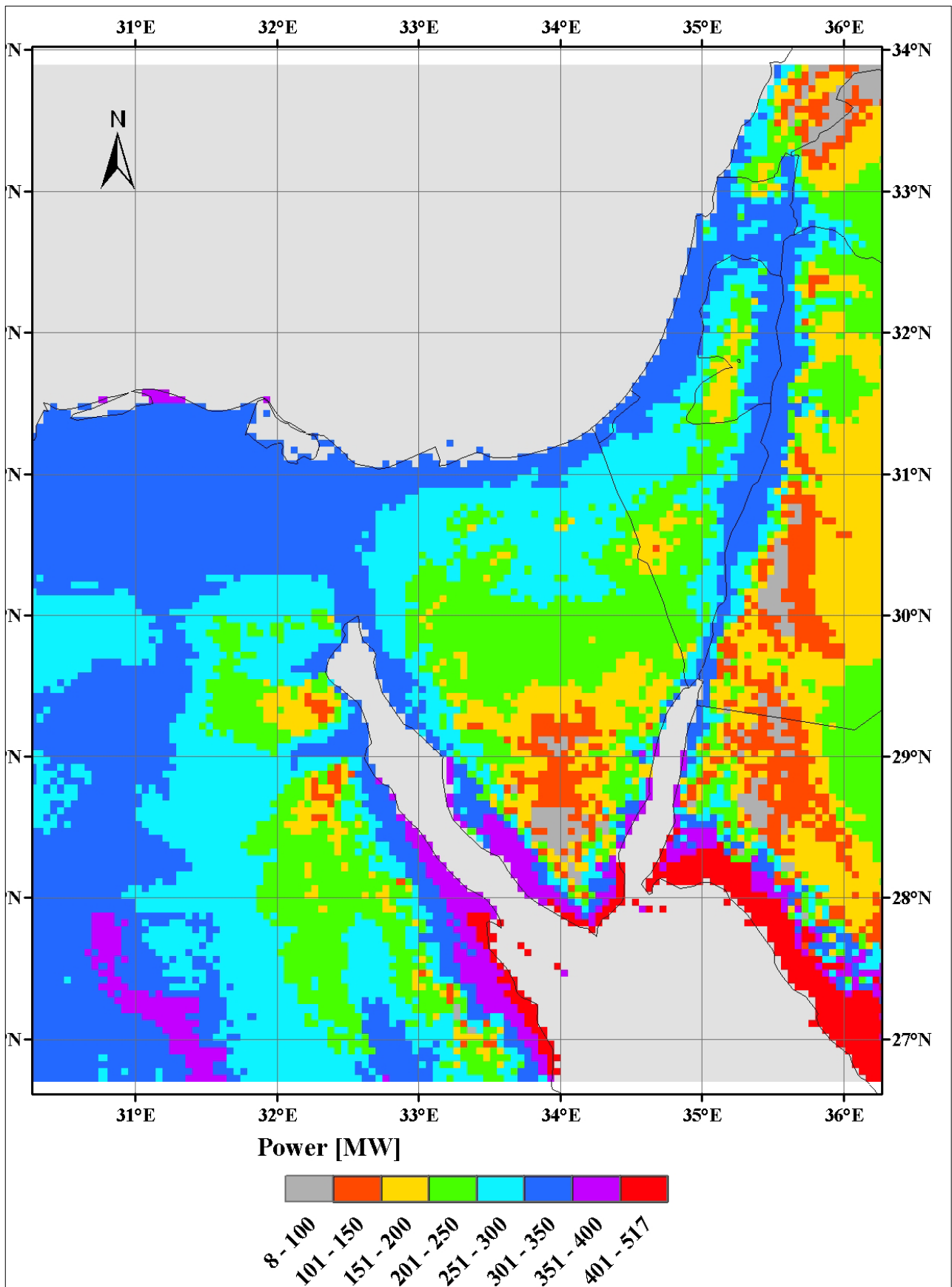
האיזור האקלימי המתאים ביותר בישראל לניצול של ארובות השרב הוא בערבה, מאילת צפונה בואך ים המלח. איזור שני לניצול הארובות הוא בפתחת רפיח בואך ניצנה. ניתוח נתוני הליון האקלימי והחישוב הפשטני יחסית אינם מאפשרים דיוק מרבי של ההספקים. אולם, אפשר לראות שאיזור הערבה וכן איזור פיתחת רפיח וקציעות, ההספק יהיה גבוה. יש לצפות שבאיזור פתחת רפיח הוא יהיה נמוך יותר, בעיקר בגלל טמפרטורה נמוכה יותר ולחות גבוהה יותר בגבהים נמוכים. האקלים והטופוגרפיה פחות טובים ברמת הנגב מאשר בערבה, אבל טווח ההובלה של החשמל, ועוד יותר טווח ההובלה של מים מותפלים קצרים יותר, ומשום כך אולי הם בעלי יתרון. כמות החשמל שניתן לייצר עשוי להגיע, ללא כל קושי, ל - 100 מיליארד קו"ש. זאת כאשר צריכת ישראל היום איננה עולה על 40 מיליארד קו"ש בשנה.

ייצור חשמל בארובות גורם לזרימת אוויר לח וקריר (עד שני מיליון קוב לשנייה לארובה המספקת 370 מגה-וואט בממוצע), אספקת כל צריכת החשמל של ישראל היום תייצר אוויר לח שיוכל, ללא כל קושי, להיות מפונה דרך בקעת הערבה דרומה, וכן בזרימה יומית לים התיכון. ראה להלן מפה של הנגב בואך אילת, וכן מפה הכוללת את חופי הים האדום ומפרץ סואץ. מעניין לציין שבממוצע, אפשר להתקין למעלה מ - 2 ארובות לרוחב קילומטר, ממזרח למערב, לאורך היקף כדור הארץ. התקנת 100 ארובות תנצלנה אוויר יבש ותפלוטנה אוויר לח וקר שינחת על קרקע המדבר, ויזרום דרומה ברוחב של פחות מ - 40 ק"מ. לכן, הערכת הפוטנציאל בישראל ל - 25-40 ארובות, כלל אינו מוגזם! השימוש בארובות בישראל עשוי לגרום מהיקף הפוטנציאל בערב הסעודית מצד אחד ומצריים, מצד שני.

איור 5: מיפוי ההספק נטו הממוצע של ארובת השרב בדרום הארץ



איור 6: מיפוי ההספק נטו הממוצע של ארובת השרב באזור המזרח התיכון



5.4.6 עלות הייצור של החשמל

להלן טבלת ההשקעות המוערכת בארובה בממדים סטנדרטיים בערבה וחישוב העלות. הממדים הסטנדרטיים של הארובה היו של גובה קירור של 1200 מ' וקוטר 400 מ'.

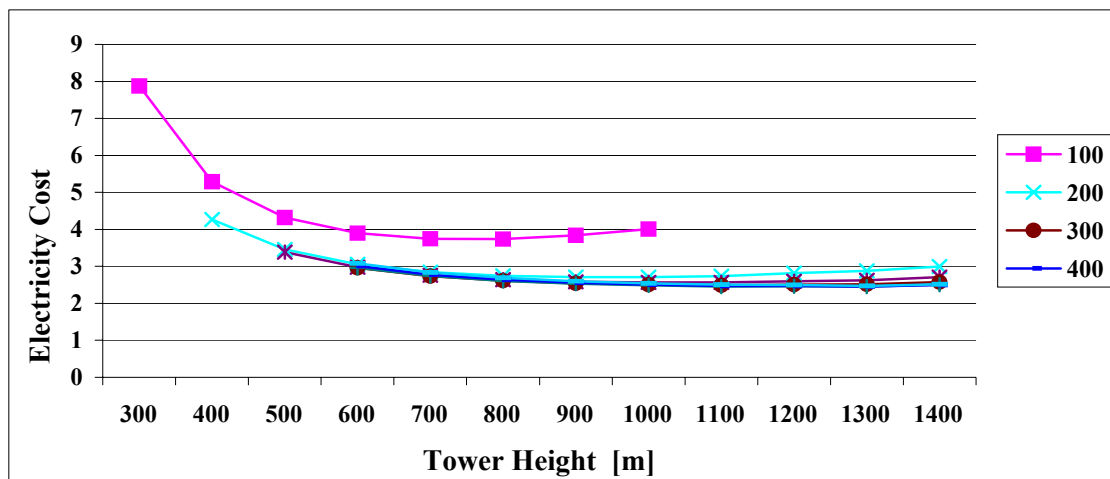
טבלה 26: השקעות בארובה בערבה, לפי תכנון סטנדרטי בגובה 80 מ' מעל פני הים ומרחק 40 ק"מ מהים

מערכת	השקעה נומינלית \$10 ⁶	השקעה נומינלית עם ריבית בזמן הקמה \$ 10 ⁶
1. מערכת אספקת מים	146.3	159.8
2. מבנה	267.5	292.3
3. מערכת טורבינות וגנרטורים	364.5	398.1
4. תשתית	43.5	47.5
5. שונות	29.2	31.9
ס"ה	851	929.6

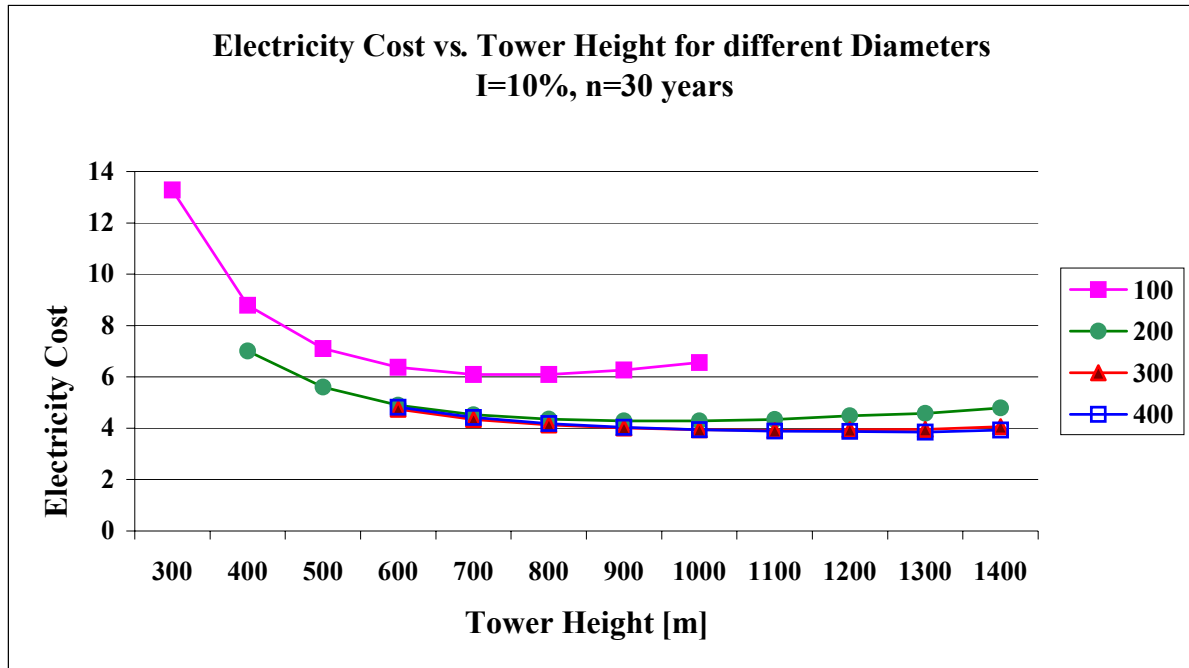
ההספק נטו הוערך ב - 388 מגה-וואט (ממוצע) וההשקעה הנומינלית היתה כ - 2200 דולר לקילוואט נטו ממוצע. להשוואה, גודל השקעה זה יהיה כ - 1800 דולר לתחנה פחמית מצויה. היא מגיעה לכ - 3000 דולר לקילוואט ממוצע בטורבינות רוח, והרבה יותר באנרגיות סולריות שונות. ההספק המותקן גדול יותר מ- 620 מגה-וואט. האנרגיה נטו למכירה היא 3.4×10^9 קו"ש לשנה. בעבודות שנעשו בתקופה האחרונה, התברר שניתן כנראה עוד לשפר את הביצועים וכן להקטין את עלות הייצור על ידי אופטימיזציה של ההספק המותקן. השיפורים עשויים לעלות על 10-15%. שיפורים אלה לא כלולים בכל החישובים המובאים כאן. בחישוב של עלויות ייצור החשמל המובאת באיורים 7 ו - 8 להלן, נלקחו בחשבון, כאמור, הפעלה ותחזוקה 0.566 סנט לקו"ש, 4 שנות בנייה ו - 30 שנות שירות של תחנת הכוח, וכן ריבית בזמן ההקמה על פני 4 שנים. מחיר פלדה בקונסטרוקציה הגמורה נחשבה כ - 1400 דולר לטון, וכן היתה הנחה שחלק של הטורבינות (כ - 2/3) תהיינה מחוברות ישירות למשאבות ללא צורך בהשקעות במנועים ובגנרטורים, וללא הפסד אנרגיה כפול.

ההערכה היא שסטיית התקן האפשרית בהערכת העלויות אינה עולה על 20%.

איור 7: עלות ייצור החשמל מארובת שרב באזור אילת כפונקציה של גובה הארובה וקוטר עבור שיעור ריבית של 5% לשנה



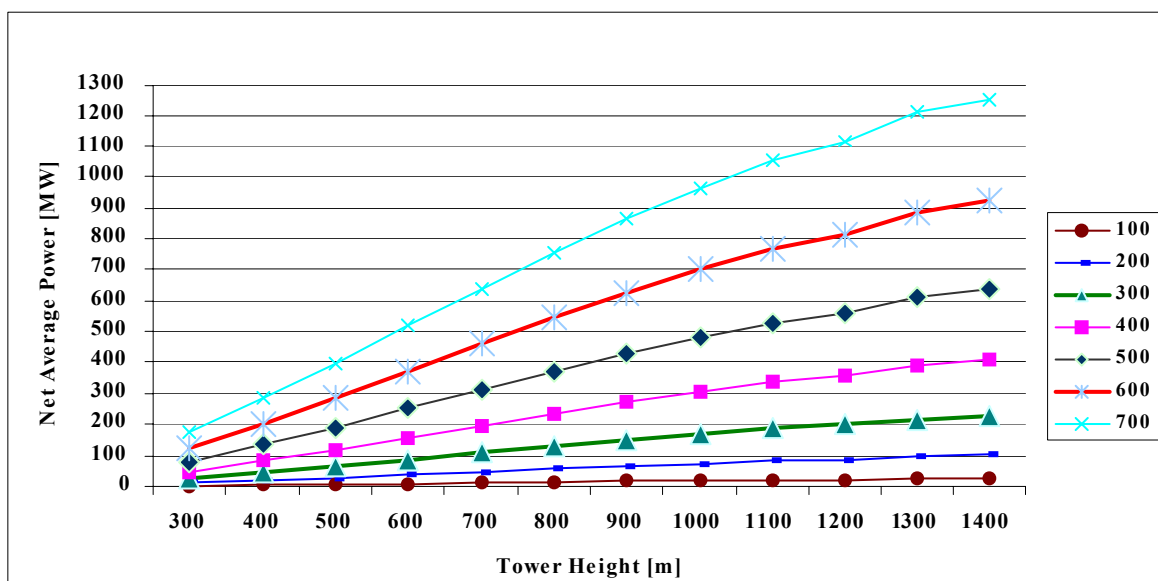
איור 8: עלות ייצור החשמל מארובת שרב באזור אילת כפונקציה של גובה הארובה וקוטרה עבור שיעור ריבית של 10% לשנה.



באיור 9 מובא ההספק כפונקציה של גובה הארובה וקוטרה. בארובה בעלת פרופורציות קבועות. ההספק גדל בקרוב טוב מאוד בחזקה שלישית של ממד אורך אופייני.

די ברור מדוע אנו מעדיפים ארובות בממדים גדולים, אבל ראוי לציין שאפילו לתחנות בהספק של 10 מגה-וואט בממוצע אין מתחרים באנרגיות חליפיות, להוציא אולי טורבינות רוח. בוודאי שאין מתחרים לתחנה מוקטנת בהספק של 50 מגה-וואט. זאת גם אחרי שנוספו לה הוצאות יתרות בגלל ראשונותה.

איור 9: הספק ממוצע של הארובה באיזור דרום הארובה עבור גבהים וקטרים שונים



5.4.7 השוואה של הארובות עם מקורות חשמל קונבנציונליים המופעלים בדלק

טבלה 27 להלן מתארת השוואות של עלויות ייצור לקילוואט שעה על ידי תחנות גרעיניות, תחנות מופעלות בפחם ותחנות מופעלות על ידי טורבינות גז טבעי. הטבלה לקוחה מסקר ממשי של 22 תחנות כוח במדינות שונות.

טבלה 27: מחיר ייצור אופייני של חשמל בסנט לקו"ש לשנים 2005-2010 (load factor 75% , 30 years)

מחירים ממוצעים מייצגים		טווח מחירים קיצוני		טכנולוגיה חלופית
10% ריבית	5% ריבית	10% ריבית	5% ריבית	
5.05	3.31	3.90-7.96	2.47-5.75	גרעין
4.99	4.07	3.74-7.61	2.48-5.64	פחם
4.47	3.98	2.36-8.44	2.33-7.91	גז
3.88	2.47	2.51-6.42	1.68-3.93	ארובות שרב

מקור: "Projected Costs of Generating Electricity - Update" 1998, Published by Organization for Economic Co-operation and Development and International Energy Agency (OECD/IEA).

הערכת העלות של ייצור חשמל בארובות (בשורה התחתונה) לקוחה מטבלה 1 שלעיל, ובעמודות של מחירים ממוצעים מייצגים נרשמו עלויות הייצור בערבה.

לארובות שרב, כאמור, עוד כתריסר יתרונות כלכליים רבי משמעות שנפרטם בהמשך, כך שלא די בהצבעה על יתרון בעלות ייצור החשמל.

כבר היום ניתן לקבל בונוס עקב ייצור חשמל נקי. עבודה שנעשתה בארה"ב הראתה שהצורך לעמוד בדרישה של "פרוטוקול קיוטו" (Kyoto Protocol) להקטין את פליטת גזי החממה תגרום בארה"ב לעליית מחירי החשמל מ - 6 סנט בממוצע בערך, ל - 11 סנט. מצבה של ישראל לא יהיה יותר טוב אלא חמור יותר. ארה"ב יכולה אולי להרשות לעצמה לבעוט בפרוטוקול קיוטו, ואף זה בספק. ישראל בשום אופן לא תתחמק מעמידה בדרישות אלה והן עשויות להיות קיומיות מבחינה כלכלית. לפיכך ישנה הצדקה לסיוע לארובות לפחות בשלב של הקמה של התחנה הראשונה שתהיה, כך אנו מקווים, בהספק מלא שבין 350 ל - 380 מגה-וואט ממוצע, או כ - 7.5% מהחשמל בישראל בסוף 2003.

כפי שהזכרנו וכפי שנמנה בהמשך, לארובות עוד 6 מוצרי לוואי ותועלות מקרו-כלכליות שונות שעשויות להכפיל את ההכנסה לקו"ש. אולם, בכל הדיון שלהלן אנו מתייחסים לייצור החשמל כעומד בפני עצמו.

5.4.8 השוואה עם מקורות מתחדשים אחרים לייצור חשמל

את מקורות האנרגיה המתחדשת אפשר לחלק לשלוש קבוצות.

- א. קבוצה 1 שייכת לתוצרים של אנרגיית השמש והיא זו ששמשה את האדם עוד בתקופות פרה-היסטוריות: רוח, מים וביו-מסה.
- ב. קבוצה 2 שייכת לניצול ישיר של קרינת השמש לייצור עבודה מכנית או חשמל והיא פותחה בעיקר בשלושת העשורים האחרונים.

ג. קבוצה 3 מתייחסת לכל מיני רעיונות שספק אם אפשר בכלל להתייחס אליהם כמקורות אנרגיה מתחדשת, ובכל זאת הן זוכות לפופולריות שלא תמיד יש לה הצדקה של ממש.

קבוצה 1

רוח - פוטנציאל טורבינות רוח בישראל הוערך ב - 600 מגה-וואט, לא יותר מ - 5% של החשמל בישראל. זאת כאשר הגבול הוא לאיזורים שמהירות הרוח הממוצעת שם היא מעל 6.5-7 מטרים לשנייה. אולם, אם מוכנים לשלם תמורת אנרגיית רוח קרוב למה שמוכנים לשלם תמורת אנרגיה סולרית עם קולטי שמש, הפוטנציאל של חוות רוח גדל באופן דרמטי. בעולם מדובר על אפשרות שאנרגיית הרוח תוכל להחליף כ- 10% מהחשמל. אבל, אם מישהו מוכן לשלם מחיר יותר גבוה, למשל 10 סנט לקו"ש ומעלה, תמורת אנרגיה סולרית, למשל לפי הטכנולוגיה של חברת "סולל" או במגדל השמש של מכון וויצמן (והכוונה היא כמובן אך ורק לרכיב הסולרי ולא לתמיכה של גז טבעי ב - 2/3 של היממה). חשבון פשוט מראה אז שאפשר להסתפק במהירות רוח ממוצעת קרובה יותר ל - 5 מטרים לשנייה. אז ייתכן לספק על ידי אנרגיות רוח עשרות אחוזים של החשמל בישראל. יש לקרוא את תשומת לבם של משרד התשתיות והמשרד לאיכות הסביבה לעובדה הפשוטה זו. בתוספת של אגירה שאובה יכול להפוך למשאב טבעי חשוב ביותר והרבה יותר נוח וזול מאנרגיה סולרית מקרינה ישירה. בחודש אוגוסט 2003 אושרו לבנייה מספר טורבינות רוח בצפון הארץ. זה קרה סוף סוף אחרי עשרות שנים שהמשרד לאיכות הסביבה וחיל האוויר התנגדו להתקנת טורבינות רוח.

פסולת - היקף הפסולת לניצול לאנרגיה יכול להחליף לפחות 5% מכל תצרוכת החשמל בישראל. זאת בשום אופן לא בשריפה ישירה אלא בייצור ביו-גז. חיסול של ערימות אשפה יסיר מפגע קשה מאוד של זיהום מי תהום ויפחית בערך בשליש את כמות גזי החממה הנפלטת בישראל, וכמחצית של כל גזי החממה שיש למנוע, לפי פרוטוקול קיוטו. ניצול הפסולת לאנרגיה בארץ ובעולם היא על כן פעולה בעלת עדיפות כלכלית וסביבתית גבוהה ביותר. בישראל פותחה שיטה המאפשרת, בעת ובעונה אחת, למחזר חומרים שונים מהפסולת ולייצר אנרגיה בצורה נקיה וזולה, בטכנולוגיה של חברת "חץ אקולוגיה" שפותחה בישראל. ההמשך של קבורת פסולת הוא אחד הכישלונות הבוטים ביותר של המשרד לאיכות הסביבה ומשרד התשתיות, הן בתפישה הכוללת והן בפרטים טכניים שונים.

מפעלים הידרו-אלקטריים - המפעל ההידרו-אלקטרי הגדול היחידי שנבחר בישראל הוא תעלת הימים. בחמש בחינות קודמות הוא נדחה בגלל שילוב של סיבות. ביניהן:

א. כל ההספק איננו עולה על מחצית מגידול צריכת ישראל בשנה אחת לחשמל. ספק אם מותר לשנות סדרי בראשית למטרה כה שולית בעלות של כ - 5 מיליארד דולר, כאשר היא יכולה להיפתר בהשקעה של 120 מיליון דולר בקרוב;

ב. ההשקעה אדירה ועלות החשמל גבוהה ביותר;

ג. הובלת מי ים לימים המלח גוררת אחריה בעיות סביבתיות קשות ועשויה לחסל למעשה את מפעלי ים המלח בישראל ובידרן. הבעיה הסביבתית מחמירה עוד יותר כאשר נוספים חומרים כימיים הכרוכים בהתפלה ליד חופי ים המלח;

ד. הניסיון להשתמש בפוטנציאל ההידראולי באופן ישיר להתפלת מים מרע עוד יותר את הכלכלה של ייצור מים בעלות שהיא בוודאי פי שלושה ויותר מהתפלה באוסמוזה הפוכה סמוך לים. יש לכך עוד כמה סיבות בלתי תלויות שחבל להטריח בהן את הקורא. הן גובלות בטמטום ;

ה. לכל המטרות הלגיטימיות שתעלת הימים באה לכאורה, למלא, יש חלופות טובות וזולות יותר לאין שיעור, כולל תועלות סביבתיות וכלכליות מרשימות ביותר. הצלת הירדן, עצירת השפילה של פני ים המלח, הגדלת היקף הייצור של חומרי גלם במפעלי ים המלח ; דרך למנוע את ההגבהה הנמשכת של הסוללות סביב בריכות המלונות בים המלח, ועוד ;

ו. אין כל ספק שירידת פני ים המלח יוצרת כמה בעיות. אולם, כנגד זה ישנן כמה טענות. ראשית, אין אלו הבעיות החשובות ביותר. גם אם כן, הרמה של המים בים המלח לא פותרת אף אחת מהבעיות, וגם אם כן, רק בעוד 30-40 שנה. זאת כאשר ישנן חלופות נוחות, זולות ופשוטות לפתרון מידי ויש גם צורך בפתרון מידי.

לסיכום: ארובות שרב - בולטות מאוד בדברים הבאים :

א. מחירי חשמל והתפלה זולים מאוד, למעשה הזולים ביותר מכל השיטות ;

ב. פוטנציאל אדיר ללא כל השוואה לשיטות אחרות ;

ג. שטח דרוש קטן מאוד. יש סיכוי שהוא יהיה פחות מחצי משטח תחנה סולרית. יותר מכך, למעלה ממחצית השטח יוכל לשמש להקמת בריכות דגים ולגידול דגי ים וכן למתקני התפלה ומאגרי מים אופרטיביים ;

ד. תועלות נוספות שנמנה בהמשך.

והחשוב מכל, תכנית תעלת הימים עשויה לגרום לחיסול מפעלי ים המלח ולחיסול האפשרות לממש את הפוטנציאל העיקרי של ארובות השרב. אין על כן להתפלא שהמשרד לאיכות הסביבה עסוק כל כך בקידום של נושא תעלת הימים. אין גם להתפלא אם הוא יתנגד למימוש של ארובות השרב. זה עשוי חס וחלילה לפגוע במילה של מישהו מהמשרד לאיכות הסביבה.

סה"כ הכמות הכוללת של החשמל שיכולה להיות מיוצרת בתעלת הימים איננה מגיעה למיליארד קו"ש, הרבה פחות משליש ממה שאפשר לייצר בארובה אחת ופחות ממאית מהפוטנציאל הכללי של הארובות. כמות החשמל שתיוצר שם תהיה פחותה כאמור מגידול הביקוש בישראל בחצי שנה!

השוואה דומה אפשר לעשות ביחס להתפלת מים. העלות הצפויה בתעלת הימים בערך פי 5 יותר מהעלות הצפויה בשילוב עם ארובות שרב (ראה נתונים בהמשך). ההשקעה לייצור קילוואט ממוצע בתעלת הימים תהיה לא פחות מאשר 33000 דולר (!) ההשקעה לקילוואט ממוצע בארובות היא לא יותר מאשר 2400 דולר, פחות מעשירית!!!

את הארובות אפשר להתקין בשלבים. את ההשקעה הגדולה בתעלת הימים צריך לעשות בבת אחת.

דרך זו עדיפה בהרבה על חיפוש משקיעים חיצוניים. קשה להעלות על הדעת יותר משמעויות, אבל לשם כך יש צורך לשנות את ההתייחסות של שלושת המשרדים הנוגעים בדבר : אוצר, סביבה ותשתיות. למען האמת, גם משרד החקלאות וכן משרד התמי"ת היו צריכים לתמוך בהתלהבות בתכנית של ארובות שרב.

הראשון בגלל הרסת המחסום הקשה ביותר לחקלאות, והשני בגלל הפוטנציאל התעשייתי המדהים של הפרויקטים.

קבוצה 2: טכנולוגיות לייצור חשמל

טכנולוגיות סולריות תרמיות הצטיינו מאוד בישראל. זאת בעיקר בטכנולוגיה שפותחה ב - Luz (היום חברת Solel) והותקנה לניסיון בקנה מידה גדול בקליפורניה וכן בפיתוח המגדל הסולרי במכון ויצמן. אבל חישוב ריאלי של עלות הרכיב הסולרי של האנרגיה מראה שהוא איננו נופל מ- 10 סנט לקו"ש, וקרוב לוודאי 15 סנט. לאחרונה נבדקה האפשרות להקים תחנת כוח רגילה בטכנולוגיה של "סולל". נמצא שהעלות של הרכיב הסולרי איננו נופל מ - 12 סנט לקו"ש.

תאים פוטו-וולטאיים אינם מבטיחים היום עלות הנופלת מ - 40-30 סנט לקו"ש. יש כמה רעיונות לשיפור הכלכלה, אך הפיתרון לא קרוב, אם בכלל.

אין אמנם הוכחה כללית שלא ניתן להתגבר על העלות הגבוהה של שימוש בקרינת השמש. אבל בכל זאת, ישנן כמה סיבות בסיסיות לכך שיהיה קושי רב מאוד לסתור את התיזה הטנטטיבית הזו.

א. כדי לנצל את האנרגיה 24 שעות ביממה יש צורך בגיבוי. דרושה אגירה שמגדילה מאוד את ההשקעה, מחד גיסא, וגורמת לעוד טרנספורמציות של אנרגיה ההופכות את התהליך לפחות יעיל, מאידך גיסא. האלטרנטיבה ששימשה עד היום היתה שימוש בדלק כדי 2/3 של האנרגיה;

ב. קרינת השמש היא אקסטנסיבית וההשקעה בחומר גדולה מאוד, בהשוואה לרמות האנרגיה, עד כדי כך שיש הקובעים שחלק גדול מדי של האנרגיה יידרש כדי לבנות את המתקן ואין דרך להתגבר על כך.

עם זאת, אין לזלזל בסיכוי שאולי קיים, להקטין את העלויות במו"פ ואחר כך בקידום תעשייתי. יש גם הנחה שככל שהמחיר לתאים פוטו-וולטאיים יפחת, יגדל מספר השימושים המתחדשים שהם יכולים לשרת, כמו אספקת חשמל לאיזורים נדחים, למתקנים ניידים וכדומה.

קבוצה 3: "כלכלת מימן", תאי דלק ורעיונות דומים

ראשית, אלה אינם מקורות אנרגיה אלא חלק מתהליכי הטרנספורמציה ויצירת אגירה. נראה כיום, כמעט בהגדרה, שאין לאלה כל סיכוי להמרה של מקור האנרגיה בעולם בקנה מידה גדול. לכל היותר, יכולות להתפתח נישות מעניינות לשימושים מיוחדים, כמו לציוד נייד. אין לזלזל בהן מבחינה כלכלית, אך אין הן פותרות את הבעיה האנרגטית בקנה מידה גדול. גם להחלפה של הדלק ברכב, ספק רב אם יש היגיון כלשהו ברעיון הזה. באותו דלק שמשמש לייצור מימן או מיתן שיעבוד בתאי דלק, אפשר להניע את המכונות ברמת שימוש בדלק לא יותר גדולה. אנו חוזרים ומתבקשים להתחבר לאינטרסים כלכליים כבדי משקל ועל אופנות כמעט אלימות של כמה קבוצות מחקר בארה"ב ובאירופה ואדמיניסטרציות המזינות אותן. עלינו לשקול את הדברים מנקודת ראות של ישראל ולהיזהר מאוד מאופנות חולפות שקל לראות שהן כמעט חסרות סיכוי.

מההשוואה ברור שארובות שרב הוא מקור האנרגיה המתחדשת האטרקטיבי ביותר שפותח בשלושת העשורים האחרונים, להוציא מפעלי הידרו גדולים שהם נדירים מאוד, ולהוציא אנרגיית רוח באיזורים מוצלחים באופן מיוחד ובהיקף מוגבל שלא עלה בדרך כלל על כ - 10% מצריכת החשמל. לאנרגיית הרוח יש לצרף ניצול של פסולת לאנרגיה וכן הפסקת סבסוד החשמל ועידוד לחיסכון. לאחרון אין כל תחליף.

ראוי להזכיר שעדיין ישנו סבסוד של החשמל בישראל בהיקף העולה על מיליארד דולר.

הערכה בעבר של הרשות לשירותים ציבוריים-חשמל, היתה שהיה צורך להגדיל את מחיר החשמל ב - 50%. הטלת מחיר חשמל אמיתי היתה גוררת לכמה תוצאות מדהימות!

1. מקטינה את צריכת החשמל בערך ב - 20%.
2. עושה את תחרות של אנרגיות חליפיות יותר קלה.
3. אילו הכסף המבוזבז היה מושקע באנרגיות חליפיות, הרי ניתן היה להתקין בחינם כל שנה כ - 500 מגה-וואט הספק ממוצע באנרגיות רוח, או שלוש ארובות שרב כל שנתיים, קרי 22.5% מצריכת החשמל כל שנתיים.
4. היה סיכוי להפריט את חברת החשמל עם רווח ראוי.

עם שינוי המדיניות הבלתי מוסברת עד היום של האוצר ביחס לחברת החשמל ומחירי החשמל, ניתן ממחר בבוקר להגיע לחסכוניות ענק והמרה הדרגתית של כל צריכת החשמל ללא כל צריכת דלק, וללא צורך בהשקעה של פרוטה אחת מעבר לחסכון של כספים המבוזבזים היום. אספקת החשמל תוכל לבוא מקבוצת הטכנולוגיות המוכחות מהקבוצה של "פירות השמש", הכוללת מעתה את ארובות השרב.

אין כל ספק שאין היום אף טכנולוגיה לאספקת חשמל ממקורות נקיים ומתחדשים שאפילו מתקרבת לארובות בפורטנציאל הענק ובמחיר הנמוך המתחרה אפילו בנפט, פחם וגרעין. הטכנולוגיה של הארובות מקבלת יתרון מכריע כאשר בוחנים תועלות אשר מעבר לייצור חשמל. התרומות הסביבתיות, הכלכליות והמדיניות מקבלות אז משקל מדהים ממש.

אפשר לקבוע באופן חיובי שכל הניסיונות עד כה להחליף שריפת דלק לייצור חשמל במקורות אנרגיה נקיים ומתחדשים, בקנה מידה גדול, למעשה, נכשלו. הסיבות העיקריות הן מחיר וזמינות איזורית.

הסיכוי הראשון לבצע פעולה חיונית זו, מסתמן עם פיתוח הטכנולוגיה של ארובות שרב.

ראוי היה, לאור זה, שמדינת ישראל תשקיע בהקדם כדי להפיק מקסימום תועלת ממשאב אדיר זה. וכמו כן, ראוי היה לגלות יוזמה לנצל את העובדה שיהיה לנו חשמל זול מאוד ובשפע כדי להחליף שימושים שונים בדלק, וקודם כל להגביר היישום של גז טבעי וחשמל גם לתחום התחבורה היבשתית. ויש לכך אפשרויות מעניינות ביותר לפיתוח המשאב של ארובות שרב והתועלות הנלוות.

5.4.9 תועלות נוספות מארובות שרב

חזרנו והזכרנו שישנן לפחות עוד 6 תועלות נוספת ממוצרים שמעבר לייצור החשמל, וישנם עוד מספר דומה של סעיפים מהתחום של מקרו-כלכלה בעלי ערך רב ביותר.

1. התפלת מי ים

הוכח שבשילוב של אוסמוזה ההפוכה וארובות שרב ניתן להפיק מי ים מותפלים בפחות מ - 30 סנט לקוב, וזאת במאות מיליוני קוב לכל תחנה. למשל, תחנה טיפוסית בערבה תוכל בעזרת 20% מתפוקת האנרגיה, להתפיל כ - 200 מיליון מ"ק בשנה ובעלות שאינה עולה על 60 מליון דולר בשנה (30 סנט לקוב). על ידי 10 תחנות אפשר יהיה להפיק 2 מיליארד קוב בעלות דומה לזו של אספקת מים כיום על ידי חברת "מקורות".

הטכנולוגיה של "ארובות שרב" מונעת עלייה אפשרית בעתיד של מחירי החשמל. מחירים אלה יאמירו בהקדם קרוב ל - 50% אם רק מפסיקים לסבסד את חשמל!!! המשמעות היא ייקור שעשוי להגיע לכ -

3.5-4 סנט לקו"ש גם ללא ייקור של הדלק. התפלה של קוב אחד של מי ים מחייבת היום לא פחות מ - 4 קו"ש, או תוספת עלות וודאית של 14-16 סנט לקו"ש מי ים מותפלים. עליית מחירי הדלק שהיא כמעט וודאית, תייקר עוד יותר את מחיר המים. התפלה בשילוב עם הארובות תפחית את העלות ותמנע ייקור בעתיד.

הארובות למעשה תשבורנה את מחסום המחיר לשימוש במים ללא כל הגבלות למרבית ענפי החקלאות, או אף כולם, וכן תהיה אספקת מים לערכי טבע, להצלת הירדן מבחינה סביבתית והפסקת השפילה של פני ים המלח, ועוד שורה ארוכה של תועלות (ראו פרויקט "הדוגמא מצפון" שנכתב על ידי פרופ' דן זסלבסקי). היכולת לייצר מים זולים ללא הגבלת כמות, פירושה גם הסרת גורם פוטנציאלי למלחמות ויצירת קשרים בונים.

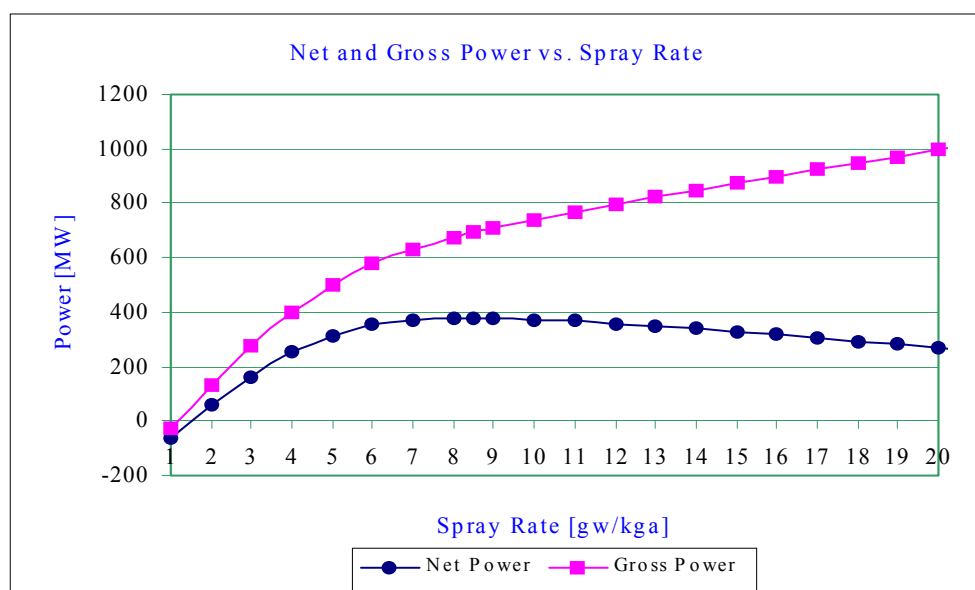
2. אגירה שאובה

באיזורים רבים כאשר בטווח קרוב לארובה, ישנו רכס גבעות או הרים, ניתן להשתמש ביכולת המובנית לאגירה שאובה.

באיור 10 רואים עקום ההספק ברוטו האפשרי עם הגדלת נפח מי הריסוס (בגרם מים לק"ג אוויר) ואת עקום האספקה נטו. הפסקת השאיבה בכל רגע ומעבר לשימוש במים שנאגרו בגובה, מאפשר הגדלת ההספק נטו לצרכנים, כמעט ב - 80%.

בתנאים של ישראל, למשל, התועלות הנוספות נמדדו ב - 1.5-2 סנט נוספים לקו"ש, מעבר לתשלום הישיר לחשמל. רכסי ההרים ממערב או ממזרח לערבה מתאימים לניצול אפשרות זו. שילוב מעניין באופן מיוחד הוא בין ארובות שרב ובין מפעלים הידרו-אלקטריים קיימים. אספקת עיקר החשמל מארובות שרב משאירה למפעלים ההידרו-אלקטריים תפקיד של התאמת האספקה לביקוש, מה שעשוי להגדיל את ערכם פי 5 ויותר. דוגמא לכך הם סכר אסואן במצרים, אספקת חשמל מארובות בצילה ופרו, בשילוב עם מפעלים הידרו-אלקטריים בברזיל. אספקת כל החשמל לארה"ב מקליפורניה וממקסיקו מארובות שרב והשלמה על ידי המפעלים ההידרו-אלקטריים במערב. ישנן עוד דרכים מעניינות מאוד להתאמה של עקום האספקה של הארובות לעקום הביקוש.

איור 10: עוצמת הריסוס



ייצור מים מותפלים יכול להשתמש בחלק ניכר של האנרגיה. הפסקת הייצור של המים בחורף, גם היא מגבירה את אספקת החשמל נטו לצרכנים.

הפחיתה של ההספק המותקן עשויה להביא תועלת רבה. הפחתה של כ - 30% תוזיל את מחיר החשמל ב - 10%, ותהפוך את עקום האספקה להיות יותר אחיד. הנמכה נוספת של ההספק המותקן בארובה עד כדי 40% מההספק הממוצע הישן המקסימאלי, תעלה אולי את עלות החשמל ב - 20%, אבל תיתן לנו אספקה אחידה על פני כל השנה.

מעניין מאוד לציין שמערכת אספקת החשמל היום בישראל היא בעלת מקדם עומס ממוצע של 0.57, כלומר, ההספק המותקן מנוצל רק כדי 57%. העלות של החשמל בשיא הצריכה עשויה לגדול פי 5. קל לראות שניתן להשיג התאמה של ההספק לביקוש, במחיר הרבה יותר נמוך, בעזרת ארובות השרב.

3. גידול דגי ים בבריכות

אספקת המים לארובות מאפשרת פיתוח בריכות לגידול דגי ים בהיקף ענק המגיע קרוב ל- 100 אלף טון דגים לכל ארובה בחילוף יומי של המים. ספק אם נוכל לפתח שוק עולמי בהיקף גדול, בזמן קצר, לכל הארובות. הפיתוח יצטרך להיות בהדרגה. בוודאי שאין עוד כל הצדקה להמשיך ולקיים את כלובי הדגים באילת והבריכות הקרובות לחוף, שמפיקות היום בסה"כ 2300 טון דגים לשנה. התועלת עשויה להגיע ליותר מסנט לקו"ש מעבר למחיר החשמל. אבל מוטב להסתכל בממדי התועלת של בריכות הדגים כשלעצמן.

כדי לקבל אמת מידה, חברת "ערג" המגדלת לא יותר מ - 2300 טון דגי ים, מחזור עסקיה הוא 50 מיליון שקל, או נניח, 10 מיליון דולר. מכאן, מובן שארובה אחת פותחת אפשרות עסקית בתחום הדגים של 500 מיליון דולר לשנה. הערכה אחת היא שההכנסה הממוצעת היא 25-27 ש"ק לק"ג דג. ביחס לדגים, ניתן להזכיר שישנם:

- א. אספקת מים ללא הוצאה מיוחדת;
- ב. אספקת קרקעות בשטח שסביב הארובה, ללא צורך ברכישת שטח נוסף;
- ג. ניקוי המים אחרי השימוש בבריכות על ידי סינון הדרוש ממילא;
- ד. הרחקת חנקן וזרחן מומסים במי הבריכות על ידי הזרמת התמלחת לקרקעית הים ומיהול ביחס של כמה אלפים.

ברמה העולמית, אם נניח יכול אספקת חשמל מארובות ללא יותר ממחצית צריכת החשמל היום בעולם, היקף הגידול של דגי ים מגיע ל - 130 מיליון טון בשנה, יותר מכל הצריכה של דגי ים מדיג בימים ומגידול בבריכות.

יחס המזון היבש לק"ג דג יגיע ל - 1:1. כבר היום בגידול סלמון, היחס כבר פחת מק"ג מזון יבש ולק"ג דג. זאת לעומת כ - 2 ק"ג מזון לק"ג עוף, 3 ק"ג מזון לק"ג חזיר, ולמעלה מ - 5 ק"ג מזון לק"ג בשר בקר. הרחבת הדיג משמעותה:

- א. הצלה של הדגה בים עקב הפסקת המצב של דיג יתר;
- ב. הקטנה משמעותית מאוד של השטח הדרוש לגידול המזון וכמות המים הדרושה כדי לייצר את החלבונים הדרושים לאוכלוסיית העולם.

4. קירור תחנות כוח תרמיות, כולל תחנות סולריות

ניתן להשתמש בתמלחת הנאספת אחרי הפעולה בארובה לקירור תחנות כוח בהספק דומה לזה של הארובה. לא יהיה צורך לאכלס את חוף הים בעוד תחנות כוח המופעלות בדלק. לאורך החוף גם אין היום אפשרות להקים עוד תחנות כוח. אם חברת החשמל תצטרך לשלם תמורת הקרקע סמוך לשפת הים, ההשקעה תגדל פי 2 ביחס לטורבינות גז וב - 30% בתחנה מופעלת בפחם. כל אלה ימנעו על ידי מי קירור מהארובות. השימוש יכול להיות גם לקירור בתחנות סולריות תרמיות, אם ביום מן הימים יהיה כדאי לבנותן.

5. אספקת אוויר קר לטורבינות גז

קירור האוויר במעלה אחת מעלה את היעילות של הטורבינות בערך באחוז אחד. האוויר הנשאב מהארובות יהיה ב - 10-14 מעלות קר יותר, ולכן יגביר את יעילות הטורבינות ביותר מ - 10%. אם בעתיד ימשיכו לבנות תחנות טורבינות גז (למשל לשימוש בביו-גז), יהיה כדאי מאוד לעשות זאת בליווי לארובות.

6. מניעת המלחה של מפעלי השקיה גדולים

כמו תעלת אינדירה גנדי ברג'סטאן - הודו, בנהר הקולורדו, נהר דרלינג באוסטרליה, באורנג' בדרום אפריקה ועוד. איסוף של מי הניקוז לאחר ההשקיה ושימוש בהם בארובות שרב ייצר 9-10 קו"ש חשמל לכל קוב מים שיתאדה וכמות התמלחת להרחקה תקטן עד כדי 2-3% מנפח המים המליחים בתחילה. על ידי כך יקטן מחיר ההרחקה של המלחים ותהיה תוספת הכנסה ניכרת מאוד.

בסיכום, ניתן להגיע במוצרים הנוספים הנ"ל עד הכפלה של התועלת מעבר למכירת החשמל, ואף למעלה מכך. בערבה ישנה תועלת אפשרית של חמישה מששת המוצרים.

7. פיתרון בעיות התחבורה

אם אפשר יהיה לייצר את כל החשמל הדרוש על ידי ארובות שרב, אפשר יהיה להימנע משימוש בגז טבעי לייצור חשמל. יש לכך סיבה טובה מאוד משום שניתן להשתמש בגז טבעי להנעת כל התחבורה, אותו חלק ממנה שלא ניתן להניע באופן ישיר על ידי חשמל.

אין כל ספק שראוי מאוד להניע את הרכבות בעזרת חשמל וכן כל רכבי חלוקת תוצרת בערים, איסוף דואר ושירותים דומים. ישנן עוד אפשרויות מלהיבות שלא נפרט כאן.

אבל, ניתן גם להניע מכוונות עם מנועי שריפה פנימית על ידי גז. הטכנולוגיה קיימת והמעבר אליה קל מאוד הן במכוניות והן בתחנות הדלק.

בעתיד אין גם מניעה לנצל את הגז הטבעי או חלק ממנו בתאי דלק. זאת במקום התהליך השגוי לייצר תחילה מימן שמבזבז הרבה מאוד אנרגיה והרבה מאוד כסף לייצור המימן, אחסון שלו והסעה שלו.

זמינות הגז לא תהיה ליותר ממספר עשורים. יהיה צורך לנצל זמן זה כדי למצוא דרכים חלופיות לקיום התחבורה ממקורות של אנרגיה חליפית (לא דרך מימן).

נראה שאחת הדרכים היא פיתוח מצברים יעילים מאוד עם ריכוז אנרגיה קרוב לדלק כימי .

תועלת מקרו-כלכלית

8. התועלת הנובעת מהקטנת הפליטה של גזי חממה ונזקים סביבתיים אחרים, עשויה להגיע לכמה סנטים לכל קו"ש. ההכרה בכך הולכת וגוברת בעולם. הערך שבו אפשר יהיה לזכות כבר בימים אלה עשוי לעלות על 2-3 סנטים לקו"ש. ראוי שמדינת ישראל גם היא תעניק תוספת זו לאנרגיות חליפיות.

9. הקטנת התלות בניודי מחירים של דלק עשויה לתרום לתרומה כלכלית משמעותית מאוד למשק. הווריאנס של מחירי הדלק מגיע ליותר מעשירית והנזקים הכלכליים עשויים להגיע לאחוזים אחדים מהתוצר הגולמי כולו.

10. ישראל תוכל להקטין מאוד את ההוצאה על יבוא דלק קרוב לשני מיליארד דולר בשנה. חסכון דלק על ידי ארובה סטנדרטית אחת בערבה מגיע ל - 2.5 סנט לקו"ש חשמל בקרוב, ובסה"כ למעלה מ - 80 מיליון דולר לארובה לשנה.

11. לביטחון באספקת דלק ישנה משמעות מרחיקת לכת. יישום של ארובות השרב יוכל בהדרגה להחליף כ - 2/3 מצריכת הדלק לחשמל בלמעלה ממחצית אוכלוסיית העולם. פיתוח עתידי של רכב מונע חשמלית יקטין עוד יותר את התלות באספקת דלק פוסילי. יש לכך משמעות כלכלית משולבת, פוליטית וביטחונית שאין היום למעלה ממנה.

12. הטכנולוגיה החדשה תוכל לשמש מקור לייצור וייצוא בהיקף של עשרות מיליארדי דולרים בשנה. ההערכה היא שניתן, ללא כל קושי, להגיע לייצוא כדי 20% של ההשקעה בארובות. עם הקמה של בתי חורשת לייצור מערך השאיבה וההספק החשמלי, ניתן להגיע גם קרוב ל - 50%.

סיכום התמונה הכלכלית

אם ננסה לצייר את כמות ההכנסות לקו"ש, נקבל את הסעיפים הבאים:

ערך לסנטים לקו"ש	
0-4	עלות יתר של האספקה הקונבנציונאלית
1-3	תוספת בגלל חשמל ממקור נקי מתחדש (מתוך עלויות חברתיות הרבה יותר גדולות)
1.5-2	הכנסה נוספת בגין אגירה שאובה מובנית
~ 1	תועלת עקב התפלה
0.5	תועלת בגלל גידול דגי ים
0-4	כל השאר
~ 4-14.5	ובסה"כ יש סיכוי להכנסה מעבר לתחלופה של מקור חשמל קונבנציונאלי

כל סנט לקו"ש מהווה תמורה של 87.60 דולר לקילוואט ממוצע לשנה, והערך הנוכחי ל - 30 שנה לפי 5% ריבית מגיע ל - 1314 דולר. נקל להבין את משמעות הדבר כאשר הכנסה נוספת של סנט אחד בלבד מעבר לעלות, סנט אחד מתוך 4-14.5 מביאה לערך נוכחי נקי ששווה בערך למחצית ההשקעה. בארובות נקל להבין מדוע אין היום אף טכנולוגיה לאנרגיה חליפית שאפילו מתקרבת לאטרקטיביות של ארובות שרב מכל שלושת הבחינות: כלכלית, סביבתית ומדינית.

5.4.10 מצב הפרויקט ותכניות להמשך

הפרויקט בשל להתחלת יישום מסחרי.

עד כה נעשתה בחינה יסודית ביותר של הפרויקט על ידי גורמים רבים, וביניהם:

1. ועדת מומחים שמונתה על ידי המדען הראשי בשעתו, פרופ' חיים אילתה;
2. ועדת מומחים בראשותו של פרופ' מוטי סוקולוב מאוניברסיטת תא-אביב, שמונתה על ידי שר האנרגיה; משרד המדע והטכנולוגיה ההודי שביקש להיות שותף למימוש הפרויקט;
3. קבוצה הנדסית אוסטרלית;
4. לאחרונה נחתם מכתב כוונות על חברת Alstom שמרכזה בצרפת. חברת אלסטום בחנה ביסודיות את החלק של אספקת המים וייצור החשמל המהווים כ- 60% של ההשקעה. היא בדרך לבדיקה דומה של הקמת הקונסטרוקציה.

המסקנות של הבוחנים היו:

1. העקרונות הפיזיקליים הוכחו מעבר לכל ספק;
 2. ניתן לממש את הפרויקט בעזרת טכנולוגיות ידועות ומוכחות;
 3. יש מרווח כלכלי רחב להצדקת הפרויקט (האוסטרלים נמצאים היום עדיין בספק ביחס לעלות המבנה. הוא יוצא יקר בעיקר מפני שתכננו אותו בבטון מזוין במקום בפלדה ולקחו מקדם ביטחון כפול בגלל רמת התכנון הלא מספקת שלהם. עם זאת, יש אצלם התלהבות נחרצת לפעול ליישום הארובות בתחילה בדרום אוסטרליה במידה רבה לשם התפלת מי ים);
 4. דרושה הקמה של מפעל ראשון גדול יחסית - לפי ההודים בהספק של כ- 10 מגה-וואט, ולפי אוסטרלים ואחרים, עד 50 מגה-וואט שהם כשביעית מהספק של ארובה מסחרית בקנה מידה מלא בערבה או במערב אוסטרליה. המלצתה של Alstom שמתכוונת להקים את תחנת הכוח היא לבנות ארובה בקנה מידה מלא.
 5. הערכה היא שללא תמיכה ממשלתית ומקור מימון לתכנון הקונספטואלי ולתכנון המפורט, יהיה קשה מאוד לקדם את הפרויקט. לשותפות הממשלתית ישנה חשיבות עקרונית לפי מערכת הציפיות של כל מי שהיה מעורב בנושא. הקושי הוא שמקבלי החלטות בממשלות הם חסרי יכולת מקצועית להחליט, ותולים את החלטתם בנכונות של משקיעים פרטיים להחליט. אבל, רוב המשקיעים הפרטיים נעדרים גם הם יכולת מקצועית אמיתית והחלטתם, ללא ספק, תושפע באופן מכריע על ידי השתתפות ממשלתית. יש הכרח להתחיל בתהליך של החלטות על בסיס של בחינה מקצועית.
- כל דברי הבוחנים של הפרויקט רוכזו בשלושה כרכים בני כ- 250 עמוד וניתן יהיה לזמן אותם למי שמבקש לבחון ברצינות את הפרויקט.
- תכנית עבודה מפורטת מאוד הוכנה על ידי צוות הפיתוח, וחזרה ונערכה לאור הערות של גורמים שונים. לפי התכנית ישנן שבע קבוצות עבודה, ולמעלה מ- 50 משימות מפורטות. עלותן של המשימות עד להתחלת הבנייה היא כ- 20 מיליון דולר.
- הפעולה הדחופה ביותר והחשובה ביותר היא תכנון כללי של ארובה בקנה מידה מסחרי, תוך כדי מדידה אקלימית, בחירת אתרים ותהליך סטטוטורי. עם קבלת הצעות לבנייה שלהן, אפשר יהיה לחזור ולבחון את

כל ההערכות בוודאות הרבה יותר גדולה. לא מעט מומחים טענו שאין כל צורך בדגם, ויש לגשת באופן ישיר לבניית הארובה בקנה מידה מלא.

צוות הפיתוח התקשר, כאמור, עם חברה מובילה בעולם בבניית תחנות כוח הידראליות (Alstom).

אין כל ספק שמעבר לכל בחינה של מומחים, נכונות של חברה כזו לספק את הציוד ולבנות תחנת כוח עם כל בקרת האיכות הגבוהה, הבטחת אמינות ומתן אחריות - עולה על כל בחינה אחרת.

למרות זאת שמצב הידע היום הוא כזה שיש לגשת למימוש של תחנת כוח ולעסוק בהכנות לבניית תחנה בקנה מידה מסחרי מלא, אין להזניח את התמיכה בצוות הפיתוח, ואולי אף הרחבתו, לכמה מטרות עיקריות:

א. ליווי הכרחי של מהלך התכנון ויציקת הידע שהצטבר לתוך הכלים שימשו בתכנון. זאת ככל האפשר תוך שמירה קפדנית של הידע ברשות חברה ישראלית;

ב. המשך השכלול והפיתוח שלפי הערכה יכול להשיג כמה דברים חשובים, כגון: שיפור נוסף של הביצועים על ידי אופטימיזציה של הגיאומטריה; בקרה של הטורבינות; בקרה של הריסוס ועוד; אופטימיזציה של ההספק המותקן; אופטימיזציה של קוטר הטורבינות ביחס לשטח הארובה; מתזים יעילים; הגבהה של מישור ההתזה; הגדלה של יעילות ייצור החשמל יכולה להיות עד כדי 15% ואולי יותר. שיפורים אלה לא רק מחזקים את הטכנולוגיה, אלא אף מסייעים להבטחה של הבעלות של ישראל על הטכנולוגיה;

ג. ייצור מתועש של כמה מערכות, כמו בקרה ואמצעי לימוד למתזים ואיסוף טיפות שיכולים להיעשות בישראל;

ד. העברת חלק מייצור הציוד לישראל;

ה. יישום של חלק ממה שנלמד בפיתוח הארובות לשורה ארוכה של יישומים אחרים. אבל כאמור, אין כל סיבה להשהות את הקידום העסקי של ארובות השרב בגלל הסיכוי לעוד שכלולים.

ההצטרפות של חברת Alstom לקידום הפרויקט בתור מתכננים ובתור ספקי ציוד, יוציא את הנושא באופן סופי מכלל רעיון פיתוח לידי תכנון מעשי שיעמוד בדרישות המחמירות ביותר של הבטחת איכות ואמינות וכן אחריות לפעולת התחנה כמו למשל פרויקט B.O.T.

5.4.11 אמינות ההערכות וגודל הסיכון הכלכלי

נעשה ניתוח האמינות של הערכות המחיר שנעשו על ידי צוות הפיתוח. נמצא שסטית התקן בהערכת עלות ייצור החשמל היא כ - 20%. פרוש הדבר שההסתברות לכל עלות גבוהה מההערכות היא 50%. ההסתברות לעלויות גבוהות ב - 20% או יותר היא 15.9%. ההסתברות למחיר גבוה ב - 40% או יותר היא 2.3%, והסתברות למחירים גבוהים ב- 60% או יותר היא אך ורק 0.14%.

בבחינה שטחית שנעשתה לאחרונה עם אחד הספקים החשובים ביותר בעולם שמתעתד לייצר בערך שש עשיריות מכל ההשקעה בארובה, נמצא שההערכות שלנו היו זהירות ושמרניות ביותר.

לאחר תכנון הארובה וקבלת הצעות מספקים העומדות בכל התביעות המחמירות, סטיית התקן תרד לפחות מ - 10%. ההסתברות למחירים גבוהים ב - 10%, 20% ו - 30% או יותר תהיה אז בהתאמה פחות מ- 15.9%, 2.3% ו - 0.14%. יש מעט מאוד מפעלי פיתוח עם סיכון כל כך קטן.

שיפורים ביחס העלות לתועלת שנבחנו שעשויים כאמור להגיע ליותר מ - 10%.

עלות התכנון לא תהיה מעל 20 מיליון דולר. זהו כל הסיכון הכלכלי. אפשר יהיה להגיע למסקנה בעלת אמינות גבוהה ביותר לפי תכנון כללי תוך פחות משנה, ולפי תכנון מפורט, תוך פחות משנתיים. עם הבטחה מינימאלית מצד הרשות, לא יהיה כל קושי לגייס את כל הסכום לאלתר.

חשוב מאוד לחזור ולהדגיש שמקדמי בטחון ששמשו את הפיתוח וכן הסיכויים לשיפור הביצועים מצביעים על אפשרות יותר סבירה שהעלות תהיה נמוכה יותר ולא גבוהה יותר. השיפור הצפוי הוא בסדר גודל של סטיית התקן ויותר.

5.4.12 בניית התחנה הראשונה

הוחל בטיפול של משרד התשתיות הלאומיות להשגת הדברים הבאים :

א. קבלת מעמד של מפעל תשתית לאומית שיביא לתהליך סטטוטורי שלא יעלה על חצי שנה ;

ב. מעמד של יצרן חשמל פרטי ;

ג. קביעת מחיר לחשמל ;

ד. אישור של רשות החשמל הממונה על תכנון המערכת.

ישנן המלצות של המועצות האיזוריות "הר נגב" ו"אשכול".

אחד הכלים הטובים ביותר שעשויים לעמוד לישראל במימוש הפוטנציאל האדיר של הארובות, ובזמן קצר, הוא לשלב את חברת החשמל וכן חברת "מקורות" בארגון של חברת בת להקמה של הארובות ולהפעלתן תחילה בארץ.

חשוב שהתכנון יוזמן מחברה כמו Alstom בתשלום, וכל הזכויות תישמרנה. חשוב גם לעמוד על כך שאם

חברה כמו Alstom תבקש לבנות את הציוד, הדבר ייעשה לאחר פרק זמן לא רב, מבתי חרושת בישראל.

דחייה של היישום לרצונם של משקיעים פרטיים יבטיח רק שני דברים :

א. שהדבר ייסחב עוד תקופה ארוכה ;

ב. שמיינומם תועלת יישאר בישראל.

5.4.13 המשך התמיכה של המדען הראשי בקבוצת הפיתוח וסיוע המדינה להקמת תחנת

הדגמה

נחזור ונאמר שבמסגרת הפעולה העתידית של המדען הראשי ראוי להבטיח כבר בשלב הקרוב של מימוש הארובות תקציב למטרות הבאות :

1. שכלולים נוספים שעשויים לשפר את הביצועים כדי למעלה מ - 10%-15% ;

2. מיפוי בעולם והכנת תיקים לשיווק ;

3. הבטחת יישומים נוספים והגנה על נכסים אינטלקטואליים ;

4. עריכה מחדש של התכנית העסקית ;

5. סיוע לפעילות היישום, סיוע בתכנון, פעילות עסקית ופרסומים ;

6. מדידות באתר ותהליכים סטטוטוריים לקראת התחלת הבנייה של התחנה הראשונה ושל התחנה המסחרית הבאה אחריה ;
7. הכנות לבנייה של הארובה המסחרית הראשונה בקנה מידה מלא ;
8. אופטימיזציה ;
9. בקרה ;
10. שיפור הביצועים.

יש צורך בהכרה בפרויקט בתור תשתית לאומית דחופה ופרויקט לאומי. יהיה צורך לתת לו עדיפות גבוהה הן בערבה והן ברמת הנגב, בין דרום הרצועה וקציעות. יהיה צורך להתחיל מיד במדידות בשטח וקבלת נתוני אקלים מדויקים וכן יש צורך לממן לפחות את התכנון הקונספטואלי על ידי ספקים מוכרים ומיומנים.

5.4.14 הגנה על המשאב הגדול ביותר שהתגלה בישראל עד כה וניצולו

מעניין כמה היו מוכנים להשקיע בחיפוש נפט עם סיכויים גבוהים וכמעט וודאיים, שנמצא מאגר נפט שמספיק ליותר ממחצית הצריכה בישראל, לאורך זמן בלתי מוגבל. ערכו של אוצר כזה לפי שיקולים כלכליים ברמות של 5% מגיע ל - 20 פעם ההוצאה השנתית הנחסכת לדלק הוא לפחות כ-20 מיליארד דולר. (אם הריבית השנתית היא i , הרי הערך הנוכחי להרבה שנים הוא הרווח השנתי בחסכון ביבוא מחולק ב - i). כל זאת לארובה אחת. הפוטנציאל הוא ליותר מ - 25 ארובות. החשבון פשוט. ככל שלוקחים בחשבון ערך ריבית קטן יותר משום שמתייחסים לרווחת אזרחי ישראל בעתיד כמשקלה, יגדל הערך הנוכחי של האוצר שהתגלה. אם נוסיף לחישוב את התועלות הנוספות שמנינו לעיל, הרי גודל הנכס שהתגלה עשוי להגיע ליותר ממאה מיליארד דולר.

כמה ראוי לתמוך בתהליך הפיתוח כדי שחלק מקסימלי של הנכס יישאר בידי ישראל? חשוב שכל משרדי ממשלה העוסקים באספקטים השונים של פיתוח המדינה יהיו מודעים לנכס הזה ולא יעשו כל פעולות שמסכנות את האפשרות ליישום.

5.5 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 שימושי אנרגיה אחרים הצורכים היום דלק.

שימושי אנרגיה אחרים הצורכים היום דלק:

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, ובנוסעים 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 - 4000 מעלות צלזיוס. המבנה שלהם דומה לצלחת לקליטת שידורים מלווינים.
- קולטים הליוסטטים - בקולטים אלה משתמשים במראה שטוחה או קעורה הניתנת לצידוד 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 היא 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 החדשות (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.

5.6 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 28: דרישת שטחים בטכניקות שונות, לייצור חשמל בלבד
(כאילו כל החשמל סופק על ידי שיטה אחת בלבד)

סוג השטח	שטח נוסף בקמ"ר הדרוש עד שנת 2020	שטח במ"ר למיליון קוט"ש לשנה	האמצעי
בעיקר על שפת ים ובקרבת יישובים	18-13.5	400-300	תחנת כוח מופעלת על ידי דלק
שטחי מדבר שוממים	6.25 57.5	< 250 < 2300	ארובות שרב - מבנה - שטח המבנה ואיסוף רסס
שטחי מדבר שוממים	150	> 6000-5000	מגדל שמש ומראות מרכזות
שטחים מישוריים, רצוי על יד הים	2200	~50,000	בריכות סולריות לחשמל
(השטח הנתפש נטו קטן מאוד)		< 3125 ~2000	בריכה סולרית לחום טורבינות רוח
חסכון גדול מאוד בשטח לעומת קבורה סניטרית היום	שטח חד פעמי לניצול כל הפסולת כדי 0.2% קמ"ר לשנה	500-400 וחסכון הולך וגדל של שטח לפני אשפה	שריפת פסולת וביו-מסה על ידי ביו-גז

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 תתאפשר התקנה מבוזרת 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 6 - 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 הנוקים. 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.
- 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

א1. פעולות לחסכון אנרגיה וקודם כל הקמה מחדש של אגף חזק ביותר לניהול הצריכה ולשימוש 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.

א2. 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 קרוב ל - 10% על ההון, מו"פ בהיקף של כ - 3%, מהיקף הפעילות, ולבסוף לכלול את העלויות החברתיות או לפחות חלקן שימשו בקרן לקידום תשתיות.

תועלות:

- סיוע בחסכון בחשמל עם אלסטיות צפויה של 50% וחסכון של כ - 1.5 מיליארד דולר לשנה, של המדינה. אחרי חיסכון בחשמל כדי 20%, היתרה שתישאר בידי חברה ממשלתית תהיה כ - 1.1 מיליארד דולר בשנה, לא פחות;
- הפסקת בזבז השקעות בנושאים מיותרים כמו תחנה גרעינית;
- דחייה של השקעות בתחנות כוח בהיקף של למעלה מ - 2 מיליארד דולר;
- 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 בחסכונות מביטול סיבסודיות על ההון להקמת מערך האנרגיות החליפיות;
- הקטנת זיהום ע"י שריפת דלק בכלל והפחתת זיהום כתוצאה מתחבורה יבשתי בפרט.

א3. הנהגת חישובי פרויקטים "ירוקים" והקמה של קרנות למימון אנרגיות חליפיות, מו"פ, הדגמה והתקנה, פרויקטים שיהיו מנותקים לגמרי משליטה או השפעה של האוצר. היעד הראשון להפחתה חייב להיות התנתקות גמורה ממשרד זה המחבל בכל הנהלים, עוצר כל יוזמה ומשתמש בכספי הציבור למטרות שליליות. פעולה שכל כך מגונה על ידי האוצר ונקרא "סבסוד צולב" מבוצעת בצורות החמורות ביותר על ידו עצמו. גם ביוזמות ציבוריות כלל, וממשלתיות, בפרט, יש לשמור על היגיון כלכלי פנימי וקשר הגיוני בין הכנסות והוצאות בקבלת החלטות.

א4. שינוי התקנון של הרשות לשירותי ציבוריים - חשמל ש מאפשר:

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

א5. תקנות בתחומים השונים של חסכון בכל המגזרים כולל תעו"ז לצריכה ביתית

ב. התקנה של מקורות אנרגיה מתחדשים זמינים לאלתר לייצור חשמל

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

דרישת ביצוע תוך 5 שנים - גם אם יהיה צורך בתמיכה.

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 יותר לזיהום מי תהום ומניעת בעיות סביבתיות אחרות ;
- אפשרות לספק גם קיטור לתעשייה ;
- אפשרות להפרדת מיתן פחמן דו-חמצני ואגירת גז להספקת חשמל בשעות שיא.

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

תועלות :

- 6-10% מהצריכה של החשמל, וזאת בהמעטה.
 - הפחתה של 3-5% בגזי החממה.
- שני אלה בתור מינימום עם סיכוי להכפלה פי כמה.

13. שימוש בגז טבעי לתחבורה

אפשר בהדרגה להמיר דלק נוזלי שנרכש בחו"ל בגז טבעי שנמצא בחופי ישראל. הגז לא ישמש בעתיד לייצור חשמל.

התועלות הן :

- חסכון של מאות מיליוני דולרים לשנה ביבוא ;
- הקטנה נוספת ברמת גזי החממה ;
- הקטנה בזיהום אוויר ושיפור הבריאות של עשרות אלפי התושבים ואלפי מקרי מוות בשנה.

14. עידוד התקנה של מתקנים סולריים לאספקת חום וקיטור לתעשייה ולמגורים

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

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 (מכוסה מחיסכון בסובסידיות בחשמל של פחות משנה אחת);
- 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 לקו"ש.

הקמת הארובה בנגב היא פיתוח דרמטי שלו ויש לשקול הקמת שתי תחנות בעתיד הקרוב: אחת בערבה והשנייה בפתחת שלום.

חברת Alstom העלתה את האפשרות שלאחר גמר חלק מפעולות התכנון, ימצא צידוק מידי לגשת לתחנה בהספק מלא. חוות דעתה ביחס לחלק של אספקת המים ומערך ההספק המקיף כ - 60% של ההשקעה חיובית כבר עכשיו.

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

1.1. הבטחת תקציב שאיננו נופל מ - 3% מהיקף הפעילות

2.2. התפלה מוזלת מאוד של מי ים, תוך שימוש באנרגיה סולרית ב - 3 שיטות:

- ארובות שרב - יישום ראשון;
- זיקוק עם מים חמים בחימום סולרי - הקמת תחנת הדגמה בשילוב של צריכה סולרית, מגדל סולרי או מראות פרבוליות, כולם בשילוב אפשרי של קולטים עם פילם מים נופל;
- שיטה אלקטרו-כימית חדשה - האצה של קידום המחקר העקרוני עם הוזלה צפויה ל - 1/5 המחיר ובניית דגם חצי מעבדתי

3.3. פיתוח שיטות אחסון חשמל בריכוזים השואפים ל - 60×10^6 גאול לליטר ונצילות גבוהה

4.4. 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

5.5. חיזוק תעבורה ציבורית.

6.6. חיוב של רכב חלוקה בעיר בהנעה חשמלית וכלי רכב היברידיים

7.7. אפשרות מיסוי לפי זמן שהיה על קטעי כביש שונים

רוב, אם לא כל המשימות, יכולות להיות מבוצעות על ידי הון פרטי מהארץ ומחול"ל. דרושים, ולמעשה הכרחיים, תנאי סיוע ממשלתיים למינוף, להשתתפות כמענק או כהלוואה, ולהקלת מיסוי הם כמעט תנאיי להצלחה. יש להפסיק את הדחיפה הכפייתית למקורות מימון אירופאים או אמריקאיים, המחזקים למעשה את שיתוף הפעולה בתהליך של מכירת הבכורה בנזיד עדשים.

היקף תקציב המו"פ חייב, כאמור, לעלות על 3% מהיקף הפעילות בתחום האנרגיה, ויש לתקן את כל מערך הניהול של המחקרים.

הערות לתכנית

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 ברי סיכוי. ייתכן שאם יקימו את ארובות השרב לא יהיה צורך לגבות עלויות חברתיות כלל, או להגדיל אותן רק לתקופת ביניים שתסייע לשינוי מערך האנרגיה.

קשה לשכוח את ההופעה של האחראי לאגף החשמל במשרד התשתיות שבתחושת גאווה אמר שהוא עשה את חלקו והקצה 100 מגה-וואט למקורות אנרגיה מתחדשים ואיש לא נענה למכרז. וכי מה הפלא כאשר יש להתמודד עם מחירי חשמל מסובסדים, כאשר קבלת קרקע ממניהל מקרקעי ישראל היא בעיה בלתי אפשרית בתנאים רגילים, כאשר כל מי שהולך למכרז כזה תלוי במו"מ עם חברת החשמל, שהיא אנטגוניסטית בהגדרה ובצדק מבחינתה, כאשר חלק גדול מאלה שיכולים לגשת למכרז מבחינת זמינות טכנולוגית מוגבלים לאתרים בתוך מדינת ישראל, קשר עם רשויות מקומיות, אישור בלתי אפשרי של המשרד לאיכות הסביבה (ככל שהדבר מפליא), אישורים של צה"ל ועוד. כל זאת למרות שאין כל סיבה מהותית לא ליישם מייד התקנות של אנרגיה מתחדשת בהיקף של יותר מ- 16% מאספקת החשמל ולדחות הקמה של תחנות כוח המופעלות בדלק אף לעשר שנים ואפילו ע"י גז טבעי.

יש לעשות שינויים די דרמטיים בקביעת סדרי עדיפויות ונהלים בהענקת סיוע למו"פ. השליטה הרסנית של החשב הכללי עם תמרונים שאינם נותנים כל סיכוי לעבודה ברצף ומעלים דרישות נבובות ומנופחות של מכרזים מלאכותיים. (ראה מכרזים בנושא התפלה שדחו גופים אמינים וגרמו להתמוטטות מוחלטת של כל מערך ההתפלות). יש לאסור, בין השאר, על סודיות של ביקורת רפרנטים. רפרנט שלא יסתכן במשוב לביקורת שלו, יוצא באופן סופי מרשימת הרפרנטורה.

פרק 7: מחקר, פיתוח ותכנון

7.1 הגדרת התחום

המחקר והפיתוח 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.

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.

לא פעם נאמר שיתרונונו הוא באיכות כוח האדם שמחפה על הגודל הקטן של ישראל ועל העוני במשאבים. אם נפתח אנרגיה מתחדשת יתברר שישראל גם פחות ענייה במשאבים. בכל מקרה האימרה מתרוקנת מכל תוכן אם אין אפשרות לטפח מחקר ופיתוח וזה היום המצב בתחום התשתיות בכלל ובאנרגיה בפרט. היווהרה על מצוינות וידע הפכה יותר ויותר למלה ריקה מתוכן וגם משרד התשתיות עשה ככל שלא ידו כדי להמחיש זאת.

מצער לראות הוצאות ענק, בזבוז ונזקים שנובעים בעיקר בגלל חוסר יכולת לחשוב, לנתח ולהחליט באמת על בסיס מקצועי. האמת היא בדיוק ההיפך מסיסמא הנבונה שאנו חזקים לא משאבים אלא ש"מה שנמצא בין האוזניים", פתגם השגור בפי מי שיכול להיחשב מלך של החלטות המתנשאות ומתעלם מכל שיקול מקצועי רציני.

כל המסמך שנכתב לעיל מוכיח שבישראל יש די אנרגיה מתחדשת כדי לא להזדקק לדלק מיובא, מה שסותר לגמרי את הקביעה שאנו דלים במשאבים. המסמך גם מעיד על התנהלות שרחוקה מלהיות חכמה ומכובדת.

7.2 תוצאות המו"פ ושימור אנרגיה

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 מותרם על ידי הגופים החוקרים. כשבוחנים את התוצאות אי אפשר שלא להתפעל. הערכה גסה מצביעה על תועלת שעולה על 1:30 וזו בהמעטה.

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. (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", שיוקם בעולם והקמת מפעלים גיאותרמיים (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;
- התקנת מגיני רוח אווירודינמיים למשאיות;
- פרויקטים בייעול המשק האנרגטי של בתי חרושת (כולל בתי חרושת למלט, קוגנרציה, ייעול מתקנים חרושתיים באוויר דחוס ועוד);
- סקר משאבי רוח בכל הארץ והתקנת טורבינות רוח;
- הנהגת תעריפי תעוז

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.

פעולות המו"פ של ישראל קיבלו מחמאה בלתי רגילה מד"ר Alvin Trivelpiece שהיה בשעתו אחראי לכל המחקר הבסיסי ב - D.O.E. בהיקף של מיליארד דולר בשנה. כיום הוא המנהל של המעבדה הלאומית לאנרגיה ב - Oak Ridge מטעם Martin Marieta עבור ה - D.O.E. בפתחה להרצאה בפני מאות חוקרים ב - Oak Ridge, אמר שאיננו יכול להבין כיצד בתקציב של 10 מיליון דולר לשנה (אין זה חשוב אם סכום זה מדויק) לישראל ישנם יותר הישגים מחקריים בתחום האנרגיה מאשר ארה"ב עם כל תקציבי הענק שעומדים לרשותם (באותה שנה לעיסוק האזרחי ב - Oak Ridge התקציב היה 560 מיליון דולר). מעבדה זו מהווה רק אחת מתוך 6, והתקציב הכללי של ה - D.O.E. כ - 24 מיליארד דולר בשנה.

ייתכן שיש בהערכת ההישגים של מו"פ אנרגיה הגזמה מסוימת. בתחום האנרגיה המתחדשת אין כל ספק שהכרזתו קרובה לאמת. אלא שמרבית ההישגים הללו הם היום היסטוריה שחלק מכריע בה הוזנח לגויים או לא יושם.

לאמריקאים מוחות לא נחותים מאלה של בני ישראל. ההבדל הוא בהרגשת הצורך ובמחויבות שמרגיש הפרט ביחס לחברה שבה הוא חי. ההבדל הוא אולי באיכות מקבלי ההחלטות ובאיזה מידה יש להם הרגשת שליחות ותחושת שירות. בן-גוריון במאמרו "דרומה", שכבר הזכרנו בהקדמה, וחזרנו והזכרנו, טוען שמה שהביא את מדינת ישראל להישגים כה כבירים, בין השאר בתחום המים, הוא השילוב של תחושת הכורח בזיקת הפרט לכלל ובאוסף תכונות וסממני התנהגות שהוא מכנה בשם הכולל "חלוציות". הנזק הנגרם על ידי "מומחי" הממשלה החוסכים חצי דולר במחיר 2-3 דולר במים, גורמים נזק של קרוב ל - 3/4 מיליארד דולר בהשקיה בקולחים, מסבסדים חשמל ב - 1.5 מיליארד דולר, ושל אלה שהחניקו את המחקר התשתיתי עד קרוב לאפס. איננו רק כספי פשוט. הוא גורם לירידה בכושר הטכני-מדעי שקשה מאוד לתיקון, ועוד חמור מזה, הוא גורם לדמורליזציה. הגאוניים הללו לא מסתפקים בכך, ובחכמתם האינסופית, שולחים את אלה שעוד נותרו להגשים את כל כושר יצירתם לטובת האיחוד האירופאי.

7.3 מצב המו"פ היום

במשך השנים הלך תקציב המו"פ וירד. דבר זה קורה לא רק בתחום האנרגיה אלא גם בתחומים תשתיתיים אחרים. כל אימת שיש לקצץ בתקציב, כלומר לעשות דיאטה ולהוריד במשקל, מקבלי ההחלטות מעדיפים להשיג זאת קודם כל על ידי הסרת הראש ואיברי הרבייה. התוצאה היא שחוסמים את העתיד. מבטיחים שהדברים ייעשו בדרך פרימיטיבית עם פיגור הולך וגדל. דבר זה קורה ממש בימים אלה גם במשרד לתשתיות לאומיות ובמשרד לאיכות הסביבה. ***אין כל קשר הגיוני בין השיקולים לקביעת תקציבי המחקר בנושאים הנידונים כאן ובין הצרכים, הסיכויים או אפילו האפשרויות. בוודאי שכמעט שאין שאיפות. לפעמים הדבר מבוטא בפירוש שאין ישראל יכולה להרים לבדה את האתגרים. חלוקת הכסף לחוקרים מצטיידת לכל היותר כרע הכרחי. גישה זו משליכה גם על האופן שבו נעשית בחירה במחקרים הנתמכים.***

משקיעים מחו"ל שהתכוונו להשקיע עשרות מיליוני דולרים בהקמת מפעל הדגמה לטכנולוגיה ישראלית בתחום האנרגיה עם פוטנציאל יצוא אדיר זכו לתשובה ממנכ"ל נאור "אנחנו החלטנו בממשלת ישראל שאנחנו לא משקיעים בפרויקטים כאלה. זה עניין למשקיעים פרטיים בלבד". שר התשתיות באותו זמן לא מצא כל זמן לעסוק בעניין.

התקציב לשימור אנרגיה ירד ל - \$ 100,000 בשנה (!)

אחד המודלים שראוי לבחון הוא משרד התמ"ס עם תקציב מו"פ גדול מאוד ושורה של מנגנוני סיוע אחרים. גם אם ישנה הגזמה מסוימת בזכויות של המשרד לתרומה הכלכלית, הרי אין ספק שלמוסדות שהוקמו במשרד התמ"ס ערך ללא תחליף. בין הכלים: תקציב של כמיליארד שקל בשנה למו"פ, תקציב לחממות, מחקר גנרי (מגנ"ט), רשות ההשקעות ועוד. ישנה אפילו אפשרות להיעזר לצורך מחקרי שוק. כל אלה ואחרים הכרחיים כדי ליצור יתרונות כלכליים לתעשייה הישראלית. כל הכללים הללו הכרחיים וחיוניים ביותר גם במשרדים כלכליים אחרים כמו משרד התשתיות הלאומיות בכלל ואנרגיה ונושאי מים בפרט.

לכל התחומים התשתיתיים יתרונות מהותיים ביותר ועקרוניים על התחומים שנטלו לעצמם את השם היומרי Hi Tech ונתמכים בעיקר על ידי משרד התמ"ס.

1. למוצרים תשתיתיים יתרון אופייני בכך שיש להם אורך חיים עסקי רב (למוצרים בתחום הקרוי Hi-Tech אורך חיים אופייני למוצרים בתעשיית האופנה).
2. למוצרים תשתיתיים יתרון בכך שהם פחות רגישים לניודים במצב הכלכלי בעולם בהשוואה למוצרי צריכה שונים.
3. למוצרים התשתיתיים יתרון נוסף בכך שהם מצטיינים בתרומה כלכלית בשימוש בבית ובעת ובעונה אחת יכולים לשמש ליצוא. כך היה עם מוצרי השקיה וכך עם מוצרים ביטחוניים. כך היה גם במוצרים שפותחו או יפותחו בתחום האנרגיה.
4. לפיתוח בתחומי התשתית משמעות סביבתית רבת משקל.

המסקנה היא שיש צורך להקים עבור תחומי התשתית מערך דומה לזה של משרד המדען הראשי של התמ"ס עם אמצעים גדולים מאוד ומנגנונים דומים ואף משופרים כדי להשיג את מה שניתן בתחום זה. ההיקף צריך לעלות על זה של תקציב משרד המדען הראשי של התמ"ס.

למו"פ בתשתיות ישנו תפקד מכריע גם בעבודות מטה למקבלי ההחלטות. די להסתכל על תכנית ההצטיידות באנרגיה, חלוקה לא מאוזנת של אמצעי המחקר, חוסר כל התייחסות לפרקים חשובים וניצול לא חכם של האמצעים, כדי לראות כמה חסר ידע מסודר שישרת את מקבלי ההחלטות במידה סבירה של אמינות.

7.4 כמה מו"פ?

ארגון EPRI - Electric Power Research Institute מאגד את מאמץ המחקר של חברות החשמל בארה"ב. התקציב של ארגון זה לבדו מגיע באופן אופייני קרוב ל 2% ממכירות החשמל בארה"ב, אבל לזה מצטרפים תקציבי המחקר של משרד האנרגיה האמריקאי ותקציבי מחקר ממקורות ציבוריים שונים. בדו"ח מה - 26.6.96 של החשב הכללי מארה"ב סוכם שתקציב המחקר של משרד האנרגיה האמריקאי, שיש לו מימון משלים של התעשייה, יגיע לכ - 8 מיליארד דולר, שהוא כ - 1.5% מכלל הוצאות לאנרגיה. ממנו רק 2.5 מיליארד שמיועדים להחזר למדינה אם למחקר תהיה הצלחה מסחרית וזה רק ב - 4 תחומים ספציפיים. יש להניח שהתעשייה בערך מכפילה מאמץ זה. בוודאי לא נגזים אם נעריך שהמחקר והפיתוח הוא בתחום שמעל 3%-4% מהיקף ההוצאה בתחום.

בישראל היחס של מימון המו"פ להוצאה הכללית באנרגיה צריך להיות גבוה יותר. חברות שרוצות להתקדם ורוצות להיות בנות תחרות, מוציאות על מו"פ גם יותר. חברת אל-אופ מגיעה לכ - 8% ממחזור המכירות וזה כדאי לה מאוד. בעצם בזה תלוי קיומה.

סה"כ ההוצאה למו"פ אזרחי בישראל היתה ב - 1994 - 5.2 מיליארד ש"ח במחירים שוטפים (כ - 1.7 מיליארד דולר). מתוך זה התקציב הממשלתי כ - 11%. ס"ה המחקר מהווה כ - 1.7% מהתוצר הלאומי הגולמי וחלקה של המדינה היה 0.17% מהתוצר הלאומי הגולמי (כך לפי השנתון הסטטיסטי 1997, עמ' 515). המשמעות החד משמעית היא פשיטת רגל. אין זה אלא שאלה של זמן שהיתרון האדיר שזכינו לו בגין העלייה הרוסית ייעלם. הדור הצעיר ילך ויתרחק ממדע וטכנולוגיה, ואנשי הסביבה והגיאוגרפים יחליפו

מומחים בתחום המדעים המדויקים ובתחום ההנדסה. רבים יורדים מהארץ וגם אנשי האקדמיה מחכים לקיץ כדי להיעלם ולכתוב מאמרים במוסדות בחו"ל.

לפי טבלה אחרת בשנתון, ההוצאה הממשלתית למו"פ ב - 1996 במחירים שוטפים היתה 1,695 מיליארד ש"ח. ההוצאה של ההשכלה הגבוהה למו"פ היתה 36% מס"ה ההוצאה הלאומית למו"פ ומתוכה 41.3% מחו"ל ב - 1990/91.

אין כל סיבה להיות גאה במספרים אלה. זוהי למעשה הצהרה של בורות ושטחיות שכל כך אופיינית לממשל בישראל. המצב במחקרים בתחום התשתית עוד גרוע יותר מאשר בס"ה.

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 ("הענייה" במשאבים ביחס לישראל). נוסף לכך שהתקציב לשימור אנרגיה ירד בערך ל - 2 סנט לנפש לשנה לעומת 4-5 דולר בארצות "העניות" כמו צפון מערב אירופה וארה"ב, כלומר יחס של 1:250.

מתעורר שוב חשד שהאמירה הנפוצה שהמשאב העיקרי שלנו הוא המשאב האנושי והמצוינות נעשים יותר ויותר אימרה ריקה ונבובה ולא יותר מאשר התייהרות שווא ובעניין זה למשרד התשתיות הישג ייחודי. חמור מזאת, בן גוריון במאמרו "דרומה", שצוטט בראש הדו"ח, מנתח ומוצא שלא די במוחות מצוינים. צריך אווירה חלוצית, תחושת הצורך והשליחות, ההכרה ולבסוף גם הסיוע של המדינה. ואלה, כך נדמה, הולכים וחסרים. חזונו של בן גוריון לא התגשם לא רק משום שלא הלכנו לנגב ולא פיתחנו טכניקה לנצל את אנרגיית השמש והתפלת מים. הוא הולך ונמוג בגלל קטני אמונה וקצרי ראות שמחקר ופיתוח עבורם הוא הכרח לא יגונה. הם לא היו מסוגלים להעמיד בפני עצמם אתגר ויעד אלא הם עסקו בתחזיות והשתדלו מראש שהתכניות תהינה פשרה שיש סיכוי שתתקבל על הדעת של איזה וועדה של בורים ועמי ארצות.

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. זהו סדר הגודל שיש לו הצדקה עקרונית. לפחות חצי מזה היה צריך להיות ממקור ציבורי. כנגד זה המו"פ בנושאי אנרגיה איננו מגיע אלא לכדי 1:30 מהדרוש. מעניין להשוות את ההוצאה הציבורית הכרוכה במו"פ בקנה מידה הנכון עם היקף הסבסוד הגלוי והסמוי במים ובחשמל. הסבסוד הציבורי לחשמל הוא מעל מיליארד דולר לשנה, ולפי המרבית אף גדול מזה, בסדר גודל יותר מאשר היקף המו"פ המוצע. הסבסוד יחד עם הנזקים במשק המים מגיעים גם הם לערך של כמיליארד דולר לשנה ומעלה (אם כוללים את הנזקים הנגרמים עקב שאיבת יתר ועל ידי השקיה בקולחים). נמצא שכל המו"פ הדרוש איננו מהווה גם שם אלא חלק זעיר מהדרוש והמחקר הדרוש איננו עולה על 1:30 של הסבסוד והבזבוז הקיימים היום (בעיקר בזבוז).

בדיקה פשוטה תראה שהיקף המו"פ בתחומים הנקראים Hi-Tech בארץ בפועל איננו קטן מהערך הזה של 3% מהמחזור, אלא יותר גדול.

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.

למוסד כמו "הטכניון" גם כן תרומה שלילית מאוד כאשר סנוביזם הקרוי "שאיפה למצוינות" איננו יותר מאשר סיסמה ריקה. הוא ממלא פחות ופחות את תפקידו הבסיסי להכשרת מהנדסים. למעשה, למהנדס רציני אין בכלל סיכוי לקידום בטכניון. למורה טוב אין מקום. וערכים, הערכים המוקנים לתלמידים הם שינון שטחי העתקה של עבודות ובחינות. כמעט ואין יצירתיות, אתיקה מקצועית ותכונות דומות.

הנדסת חשמל נעלמה ליד הצטמצמות באלקטרוניקה ותקשורת. אין עידוד להכשרת טכנאים והנדסאים, ולא נותנים להם כל סיכוי לקידום כמעט.

הצורך בפתרון בעיות והגשמת מטרות מוסכמות הוא מדד שני לצורך המחקר. אין כל ספק שאפשר היה להגדיל בהדרגה את היקף המו"פ עם הישגים יעילים. הצורך במדיניות ניהול חכמה ומאוזנת ואסטרטגיה שתביא למקסימום פוריות הוא מקביל ואיננו צריך להתנות את הצורך להרחיב באופן דרמטי את היקף המחקר.

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.

אפשר לסכם ולומר שמדינת ישראל צריכה לדאוג לתקציבי המו"פ ולכלים לעידוד וסיוע בפיתוח מתקדם בתחום התשתיתי בהיקף הדומה לכל התקציבים, באותו התחום במשרד התמ"ס שמתרכז כמעט כולו בתחומים שאינם תשתיתיים! כך היה מומלץ בימים כתיקונם ומסיבות כלכליות צרופות. אולם, התנאים המיוחדים של ישראל מבחינה פוליטית-כלכלית ומצב המשאבים היסודיים בארץ גורמים לכך שהמלצה זו תיראה צנועה מדי. אין אפשרות להגזים בדחיפותה, כמעט כמו דחיפות של כלי נשק שדרושים לקיומנו.

ככל שמספר קידוחי הנפט היבשים הולך וגדל הסיכוי למצוא נפט מסחרי הולך ונמוג. אבל כנגד המשך השקעה ספקולטיבית זו יש לחפש את מקורות האנרגיה במקום שהם נמצאים לבטח, ללא כל אי ודאות. כבר הראינו לעיל שמקורות האנרגיה בישראל הם בהיקף מספיק כדי לספק הרבה מעבר לכל צריכתה. הגשר בינינו ובין השגת אוצר זה הוא מו"פ וסיוע למפעלי הדגמה.

7.5 מדוע בכלל תמיכה ציבורית במו"פ?

בכל המדינות הדמוקרטיות בעלות מדיניות שוק פרטי וחופשי מובהקת לא מתקיים כמעט מחקר ופיתוח ללא תמיכה ציבורית. גם כאשר מדובר בחברות ענק מהסוג של Siemens או Westinghouse או General Electric, חלק ניכר של המו"פ ממומן מהקופה הציבורית. יש לכך סיבות טובות ומוצדקות. העובדה הזו לבדה, גם אם אינה מוצדקת, גורמת לכך שמדינת ישראל לא יכולה להתחמק מהסדר דומה. מבלי זאת תהיה בריחה מסיבית של ידע, ומיטב הרעיונות הטובים בעלי הערך הכלכלי ימצאו את דרכם לחו"ל. זהו אולי הנזק החמור ביותר לכלכלת ישראל, ויותר מכל סעיף אחר בכל תחום שהוא.

כמה מאנשי הרשויות הציבוריות משמיעים ש"ישראל איננה יכולה לממש לבדה את הרעיונות השונים. צריך לשתף פעולה עם מדינות אחרות". זהו ביטוי לקוצר יד וקוצר ראיה מזעזעים של המערכת. שמירה ראויה על הנכסים שלנו וטיפוח הידע אינם עומדים בהכרח בסתירה לשת"פ בינלאומי. האמת היא שההפך

הוא הנכון. מדינות אחרות תשתפנה איתנו פעולה רק אם נדע לטפח את הידע שלנו ולשמור מאוד על ייעודו ועל כושר המשיכה שלו.

אחת התרומות החיוביות העיקריות של מוסד המדען הראשי במשרד התמ"ס היתה בכך שהוא סגר, ולו באופן חלקי, את הזרם של הידע הישראלי לידיים זרות, תמורת נזיד עדשים. ככל שהמדען הישראלי מקבל יותר עזרה למו"פ וככל שמסייעים לו יותר בתחילת ההתקשרות התעשייתית כן מגדילים את חלקה של ישראל בפירות הסופיים של הפיתוח. דבר זה, אם נעשה בתבונה, איננו עומד, כאמור, בכל סתירה עם שיתוף פעולה בינלאומי או רעיון ההפרטה. אינני אופטימי בכך שנושאי הדוגמות כלכליות שלנו ומקבלי ההחלטות יבינו ויפנימו עובדה זו.

אבל ישנן עוד סיבות מהותיות מאוד מדוע חלק ניכר של מימון המו"פ צריך לבוא מהרשות הציבורית.

א. ביטוח הצלחה ואי הצלחה

גם בחירה טובה ושיפוט זהיר של נושאי המו"פ לא יוכלו להביא לכך שכולם יצליחו. נניח שההסתברות להצלחה של פרויקט בודד שנבחר היטב הוא $1/2$. נניח שפרויקט מצליח אחד יכול להצדיק את ההוצאה של 20 פרויקטים אחרים. מה ההסתברות שלא תהיה הצלחה של אף אחד מן הפרויקטים? חשבון פשוט מראה שהסתברות זו לכישלון גמור איננה עולה על אחת ל - 1,048,576. כלומר, כאחת למיליון. עסק טוב לכל הדעות. כך, הסיכון של המפעל הבודד בפרויקט בודד הוא 50% לכישלון. ולעומת זאת, ההסתברות של המדינה לכישלון במאמץ המחקרי הוא פחות מאחת למיליון. ההנחה היא כמובן שהבחירה של הנושאים נעשית באופן נכון דיו כדי שמחקר אחד מתוך 20 יצליח. אין צורך בגבורה גדולה לשם כך. גם אם מחקר מצליח אחד יכול להצדיק רק 10 מאמצים מחקריים עדיין ההסתברות לכישלון קטנה מ - $1/1000$.

לפיכך, יש הצדקה שהמדינה תסייע ברמות שונות למחקר בשלביו השונים כדי להקטין את הסיכון כמעט לאפס, כפי שעושה זאת כל חברת ביטוח כשהיא עושה אינטגרציה של מעוניינים רבים.

הבעיה האמיתית איננה רק הכסף המוקדש לכך, אלא העובדה שמנגנון קביעת הנושאים המועדפים ושיפוט הצעות המחקר, לא תקין כלל. למשל, אם מדען ראשי מסוים קובע מראש את כל הנושאים בתחום מסוים, ונמצא שכל הנושאים שם, ללא יוצא מן הכלל, נמצאו אנכרוניסטיים ובלתי רלוונטיים, ונמצא שלא היה כל פתח לשיקול דעת להצעה שלא חשבו עליה מראש, והיתה לכל אורך הדרך תחושה של התחרות עם הרפרנטים עצמם שניתן להם להסתתר בגלל הצורך המלאכותי בסודיות, אז מכאן, בהגדרה, כל מחקר הוא בזבוז גמור מראש.

ב. פתיחת דרך לחוקרים ללא מערכת תומכת

חלק מכריע של הרעיונות הטובים צומח אצל מדענים ומהנדסים שאינם מבוססים במערכת תומכת במו"פ, בין אם משום שהיא לא עוסקת כלל במו"פ או משום שהאמצעים העומדים לרשותם קטנים.

כדוגמה מתקופה לא רחוקה, מפעל קטן יחסית לכאורה, לא מתוחכם מדי בתחום הקירור והייבוש, מוכר היום מפעלים בכל העולם ומצליח במקום שחברה עם מחזור של מאות מיליוני דולרים ושם עולמי בתחום זה נכשלה. זאת תודות לאיש או למספר אנשים קטן שהיה להם רעיון טוב. עפ"ר לחברה קושי רב מאוד לקדם את הרעיון בגלל חוסר אמצעים, חוסר ניסיון וסיכון רב מדי.

דוגמה דומה היא של חברה שפיתחה טכנולוגיה לניצול פסולת. תקופה ארוכה מאוד איש לא תמך בהם. אולם, עקשנות ממושכת וכושר אילתור נדירים הביאו אותם למצב שפרויקט הדגמה גדול עובד, ובהצלחה.

החברה היא "חץ אקולוגיה". באותה עת עסק המשרד לאיכות הסביבה בבקבוקים והשקיע עשרות מיליוני שקלים ואולי אף הרבה יותר, בזיהום של רמת-חובב, ונושא זה לא נראה להם חשוב די הצורך. להיפך. הוא איים לחסל להם את תכנית ### אשפה. חמור מזאת, המחקר לא היה hi-tech.

המדינה או גוף מטעמה יכולים וצריכים לספק את התמיכה הדרושה כדי לאפשר לבעלי רעיונות להתחיל וכדי להגיע מאוחר יותר לשותף בעל משאבים יותר גדולים אך בתנאים הוגנים. המדינה צריכה גם להיעזר במדענים ומהנדסים שיש להם אופי מפרגן, ולא קשה לזהות אותם.

ג. אינטגרציה של ידע - תיווך - סיוע אדמיניסטרטיבי

המדינה יכולה וצריכה גם לסייע לחוקרים ומפתחים בכמה פונקציות הכרחיות:

- שיפוט אובייקטיבי חיצוני ואפילו היגוי;
- התייחסות לרמת ידע בארץ ובחו"ל;
- יצירת קשר עם גופים תעשייתיים ועסקיים מבלי להפסיד את היתרונות הכלכליים למפתחים ולישראל;
- סיוע בניסיון אדמיניסטרטיבי שיווקי. הסיוע יכול להיעשות על ידי שילוב עם גופים עסקיים המוסמכים לכך.

חלק גדול של המחקרים והפיתוחים איננו מגיע לתכלית או מגיע באיחור רב בגלל כשלים ארגוניים.

ראוי לצטט מה שאמר צוות היועצים לנשיא ארה"ב ביחס למו"פ (58) בציטוט מדויק.

"מחקר ופיתוח הינם השקעה בעתידנו. המסד של מדע וטכנולוגיה הינו ככל הנראה המשאב המתחדש החשוב ביותר שיש לנו. דרוש מאמץ איתנים להבטיח לדורות הבאים, על ידי מחקר מדעי וחדשנות טכנולוגית, שהיכולת הלאומית לעצב את העתיד תלך ותתחדש. זוהי אבן פינה של המדיניות למחקר ופיתוח אשר המחקר והפיתוח באנרגיה מהווים רכיב עיקרי בה."

אם ארה"ב כך, ישראל על אחת כמה וכמה.

אם נבחן את הסטטיסטיקה לכישלון טוטלי ברמה לאומית, נמצא, כפי שהראנו, שההסתברות קטנה מאוד. אבל, אם איזה חכם בעיני עצמו יחליט בכל עניין ועניין, ויעשה טעות כוללת ועקרונית, ההסתברות לכישלון תגדל בצורה מפחידה. לצערי, יש לכך דוגמאות הולכות ומתרבות. בין השאר נתקלים בקביעת סכומי מחקר נמוכים ואחידים כדי שרבים יקבלו; למעשה, ויתור על שיקול דעת והחלטה. ישנן דוגמאות רבות מאוד של מחקרים שלא # בזמן. מוקדם מדי או מאוחר מדי. יש מחקרים רבים שנתנו ב"חלוקה" כמעט מתוך הרגל. יש הרבה מחקרים שאיש לא טרח ללמד את תוצאותיהם.

ד. המעורבות של המדינה בסיוע למו"פ משיגה עוד שני יעדים חשובים ביותר. האחד הוא הכוונה לנושאים הדרושים מאוד מבחינה לאומית והשני הבטחה שההתקדמות בתחום מסוים תהפוך מתהליך אקראי ארוך ויקר יחסית למאמץ רצוף יותר ויותר שיטתי עם הבטחת הישגים. יש לסייע לחוקרים גם לבחור את הנושאים בעדיפות ולקיים דיונים קבוצתיים שיאפשרו גם שת"פ לחוקרים.

7.6 כיצד לממן מו"פ

כאמור, חשוב לזכור שהציביליזציה התפתחה תחילה דווקא במקום שהאדם היה צריך להשקיע חוכמה ולהתארגן כדי לשרוד ולא דווקא במקום שניתן היה להתקיים מקטיפת פירות ולקט.

כדי שניהנה יותר מהמשאבים, הידע, הכושר היצירתי והחשיבה הבלתי שגרתית, צריך להבטיח כמה דברים וקודם כל הגדלה ניכרת של תקציב המו"פ. זאת בשש רמות שונות.

רמה א' - מתן תקציבים קטנים במספר רב מאוד בפרוצדורה קצרה מאוד לצורך מיון ראשוני (בין 10,000 ל - \$ 20,000 ואולי עד \$ 50,000). בעצם צריך להגדיר את התקציב הראשוני באופן פונקציונאלי ולא דווקא במספר.

בתחום האנרגיה צריך מעל 100 כאלה בשנה. העלות כולה תהיה כ- 4-5 מיליון דולר. היא תהיה מעין מערכת סינון ראשונה ומערכת הצלה לרעיונות שיש למנוע את בריחתם המיידית לחו"ל. לדוגמא, ב"מכון למחקר במים" בטכניון רשומים כ- 50 חוקרים מכל הארץ. פירוש הדבר שכמעט כל אחד מהם יכול היה לבחון משהו חדש כמעט כל שנה. תפקיד המערכת הוא לדאוג לסדנאות ולעבודות רקע שיקנו לכל העוסקים בתחום תמונה שלמה ויביאו לידי גירוי כושר היצירה בתחומים רלבנטיים. פירוש הדבר גם שיהיה פתרון ל- 50 סטודנטים מתלמידים שיוכלו לעסוק בתחום המים. אם יהיה רעיון טוב אחד שנציל בשנה מבריחה או דעיכה, תרומתו תהיה עשרות מונים יותר מההשקעה.

כיום החוקרים מתדפקים על הפתחים בגין סכומים כאלה עם סיכויי הצלחה בהשגת התקציב של בערך 10:1. חוות הדעת על הצעות המחקר הן בחלק מכריע של המקרים בלתי אינטליגנטיות ואולי לא הוגנות. הפרוצדורה נמשכת קרוב לשנה ואין לחוקר כל סיכוי לשמור על רצף עבודה או לתכנן את מעשיו. הרפרנטים לעולם אינם עומדים בפני ביקורת, ואין כל דיון ממשי כדי לברר שמא נפלה טעות, או שמא הרפרנט לא עשה עבודה הגונה.

יש ליצור מנגנון תיווך ושיווק של נושאי מו"פ בשלביהם המוקדמים, עם תעשייה ישראלית, עם שותפים במוסדות מחקר אחרים ולפעמים גם עם גוף מחוץ לישראל, בתנאי שיעמדו על המשמר של הזכויות הכלכליות של החוקר ושל ישראל. אפשר להתנות תמיכה בחוקר בכל רמה שהיא במחויבות עסקית ישראלית.

רמה ב' - טיפול במספר קטן יותר של נושאים שהצליחו בשלב הקודם וקידום שלהם לרמת מימון גדולה יותר, עדיין במימון ציבורי מלא. זה עשוי להיות מספר עשרות מחקרים בהיקף של עד 250,000 דולר בשנה. המימון עשוי להגיע עד 10-15 מיליון דולר בשנה. מחקר עשוי להימשך עד 5 שנים בקירוב, מותנה, כמובן, בהצלחה.

רמה ג' - מספר של לא פחות מ- 10-20 מחקרים ראוי שימומנו בסכומים של עד 500,000 \$ לשנה בהיקף כולל שאיננו נופל מ- 10 מיליון דולר לשנה.

להלן תכנית אפשרית מינימאלית בתחום האנרגיה רק כדי להדגים סדרי גודל:

רמה	דרג	מימון לפרויקט ב- \$	סה"כ מימון ב- 10 ⁶
א'	רמת מימון ראשוני והצלה עד	20,000 (אולי עד 50,000)	10
ב'	רמת מו"פ עיקרית	250,000	15
ג'	רמת פרויקטים מובילים	500,000	>10
ד'	פרויקטים ברמת יישום או מפעל חלוץ	5,000,000	25
ה'	פעולות הצלה של פרויקטים	-	-
ו'	איסוף נתונים סקרים וניתוחים		>10
סה"כ			>70

רצוי שמוקדם ככל האפשר כבר ברמה ב' יהיה חיפוש לשותפים מהתעשייה. להוציא מקרים יוצאים מן הכלל, יש צורך במימון על ידי התעשייה בין 20% ל- 50% ברמה ג'. גם אם אין חברה המוכנה להשקיע בפרויקט בשלב המוקדם שלו, רצוי ליצור מעמד של תעשייה מאמצת שתסייע לרשות הציבורית ולחוקר כאחד בהיגוי של הפרויקט ובסיוע באספקטים העסקיים. דבר זה יכול, למשל, להיעשות בתמורה לעדיפות ראשונה בשותפות עסקית בעתיד (first refusal).

ניתן לבקש, למשל, אימוץ של פרויקט על ידי חברת החשמל, על ידי בנק, על ידי מקורות או חברה כמו מפעלי ים המלח. אלה יכולים לתת פרסטיז'ה גדולה לנושא ותימוכין שהם הכרחיים בכל משא ומתן עסקי רציני. יש להעדיף מחקרים בין-תחומיים בשלב זה ושילוב בין מדענים ומהנדסים.

רמה ד' - השלב האחרון יהיה של הפיתוח לקראת הקמה מסחרית (בטבלה שלעיל רמה ד')

כאן אין לקבוע כללים קשיחים מדי. ייתכנו בעת ובעונה אחת 5-10 פרויקטים מתחום האנרגיה שמחייבים תמיכה ציבורית של 5 מיליון דולר לשנה בכל אחד מהם ובסך הכל 25-20 מיליון דולר לשנה. פרויקטים אלו יהיו רק כאלה שנבחנו על ידי גופים תעשייתיים רציניים שהיו מוכנים להשקיע לפחות סכום שווה מצדם. התמיכה הממשלתית תהיה סיוע ללא תחליף לגיוס אמצעים בקנה מידה גדול מאוד.

רמה ה' - קרן הצלה

קרן מיוחדת ראוי להקים להצלה של פרויקטים שעמדו בכל מבחן אפשרי ומאיימים להיכשל מסיבות חברתיות ומסיבות של טעות בהערכה תקציבית או במשך זמן הפיתוח. אפשר לקיים מוסד כזה גם דרך מתן ערבות להלוואות או בשיטות אחרות. זאת מבלי לפגוע יותר מדי בשיקולים עסקיים צרופים ובסה"כ להקטין את ההוצאה ע"י המדינה.

רמה ו' - איסוף נתונים סקרים וניתוחים

יש לזכור שישנו צורך בפעילות רבה של עבודות בשדה גבולי. הוא מצריך כוח אדם טכני ומדעי. הוא מחייב שימוש בכלים מדעיים שונים אבל לא מתייחס לפרויקט פיתוח ספציפי. ישנה ירידה עקבית ביכולת של הכלים הציבוריים לא רק לייצר נתונים, לעבדם ולפרסמם אלא אפילו בדוקומנטציה מצויה של עבודות מחקרים ותכניות. יש צורך בפיתוח כלי עבודה כמו מודלים לסימולציה, שיטות מעבדה ושיטות חישוב. ישנו עניין בפיתוח חמרים מיוחדים, שיטות ציפוי, שיטות ריסוס ועוד. כל אלה לא תמיד מובילים למוצר טכנולוגי ספציפי אבל מהווים רקע הכרחי לפיתוח טכנולוגי מתקדם.

השלבים השונים מסוכמים בטבלה שלעיל ומסתכמים בתקציב שנתי של 60-70 מליון דולר בשנה ומעלה. קשה לחשוב על השקעה יותר כדאית. אין להסס להגדיל את התקציב גם ל - 100 מליון דולר ומעלה. התנאי הוא, כמובן, שיוקם ארגון יעיל ורענן לבחור את הנושאים, לשפוט אותם ואח"כ לדאוג שהחומר יופץ באופן נכון וינוצל.

המנגנון שלעיל מבטיח במידה רבה את הדברים הבאים :

- לחוקר והמפתח הישראלי לא יהיה כדאי לברוח לחו"ל עם הרעיונות שלו תמורת פרוטות ;
- תהיה הבטחה סבירה של רציפות בעבודה ואפשרות לחלום ולהגשים את החלום. תהיה התחייבות תקציבית למספר שנים עם ביקורת תקופתית, אפילו יותר תדירה מאשר אחת לשנה ;
- תהיה מערכת הולכת וגדלה של התעשייה ;
- תוך פרק זמן של 5-10 שנים עשויים להיווצר רווחים אדירים בתחום התשתית ובייצור תעשייתי עם הכנסות צפויות מייצוא בהיקפים ביחס של למעלה מ - 1:100 ביחס למו"פ.
- תהיה צבירת ידע הולכת וגוברת שתאפשר התנהגות נבונה וצוות בעלי מקצוע שיוכל לבצע את השליחויות של מדינת ישראל בתחום חיוני זה.

יש לשקול הקצאת משאבים מיוחדים במשרד המדע וקרנות למיניהן למחקרים ברמות א' ו - ב' במקביל לרשות האנרגיה.

תנאי הכרחי לכל הנ"ל הוא בכמה :

- א. התקציבים לא יהיו נושא להחלטות כלשהן של האוצר ;
- ב. שגופי המחקר יהיו זכאים לצבור להם רזרבה תקציבית לפעולות לא צפויות ;
- ג. שמרבית מענקי המחקר יינתנו כהלוואה שתוחזר לקרן או למדינה בתנאים נוחים מותנים בהכנסות מהפיתוח. אבל ללא כל מיני התחכמויות של יועצים משפטיים החושבים שיטיבו עם המדינה על ידי כך שידרשו בעלות מלאה על הנושא ;

7.7 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.

7.8 מערך תכנון, מחקר, פיתוח ופיקוח

במדינת ישראל אין כל תכנון רציני כולל לאנרגיה או למים. אין אפילו תוכניות איזורים. טווח החשיבה קצר ביותר. מקבלי החלטות חסרים ידע מקצועי. גם גופים שפעלו בעבר בתפקידי ייעוץ, תמיכה של עבודת מטה מקצועית או ועדת שיפוט מקצועית בטלו מן העולם או שהם לא אפקטיביים.

על זאת יש להוסיף את הגישה הפשטנית - פרימיטיבית של הפרטה וכוחות שוק בכל מחיר שמופעלים כטענה ריקה בכל מקום שזה נוח. אנו מקבלים מערכת שאיננה חושבת מעבר לקצה האף.

כל סיכוי כלכלי להשפיע על החלטות המשתמשים מתוך גישה לאומית רציונאלית נעלם דווקא בגלל התפקוד האינטגרטיבי של הגופים הציבוריים. אם העירייה גובה את מחירי המים והביוב ומשתמשים בהם לכל מטרה שהיא ואם האוצר יגבה בעתיד היטל הפקה למים, או מחיר של העלויות החברתיות החיצוניות או אם יבטל סבסוד הוא לא יישם זאת לפיתוח בתחום אותו נושא אלא יכניס את הכסף לקופה הכללית. **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.**

רשויות אלה אסור שתהיינה תלויות במשרד התשתיות או באוצר.

כל אחד מהנושאים הנידונים מפוצל היום בין 6-7 משרדי ממשלה או יותר, כשלכל אחד מהם ישנו שבר של סמכות והוא נעדר כל אחריות. יש הכרח לשנות מצב זה.

7.9 פירוט של כמה מהנושאים למו"פ

ישנה סכנה גדולה במניין הנושאים הצפויים מאחר שאין כל ציווי לעסוק בכל הנושאים המוזכרים. רק אם נוצר מפגש מוצלח בין נושא, בין חוקר או מפתח ובין גוף תעשייתי מתאים ישנה הצדקה לתמוך בו. **אם אין נושאים טובים אין לחלק אמצעים.** אחת מהשגיאות הנפוצות ביותר בין המקורות לתקציבי מו"פ הוא ראיית הישג בחלוקת כל הכסף ונטייה לחלק מנות קטנות ושוות לכולם. שגיאה לא פחות חמורה היא קביעה קשיחה מאוד של תחומים מועדפים וחוסר רגישות לכיוונים החורגים ולו במשהו מהתחומים הקבועים. הצורך למיין כאן הרבה נושאים ודלות הכלים לשיפוט ממשי מביא לידי מיון כמעט אדמיניסטרטיבי במקרה הטוב ומעורבות אינטרסנטית במקרים פחות טובים.

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 לו 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.

1. **אנרגיות רוח**
- 1.1 * השלמת מיפוי רוח בישראל ובדיקת הפוטנציאל לפי רמות השקעה שונות:
- 1.2 * הכנת תכנית חיבורים לרשת מאיזורי רוח ראשיים;
- 1.3 סימולציה של רוח על נופים שונים למיקום אופטימאלי של טורבינה;
- 1.4 שימוש ב - CFD תלת ממדי ובמנהרת רוח;

- 1.5 בקרה אינדיבידואלית ללהבים או מהירות משתנה, ולעומת זאת בקרה של שדה טורבינות שלם;
- 1.6 * ייצור מקומי של טורבינות רוח;
- 1.7 הקטנת רעש קולי ואלקטרוני.

מרכזי שמש פרבוליים .2

- 2.1 * השלמה ושכלול הטכנולוגיות, כגון גודל היחידות, אגירת חום, שמירת ניקיון הקולטים;
- 2.2 * שימוש אפשרי לייצור קיטור וצרכי חום אחרים;
- 2.3 שיווק יחידות למקומות נידחים;
- 2.4 ניצול משולב של חום ותאים פוטו-וולטאיים.

מגדל שמש .3

- 3.1 תכנון המגדל;
- 3.2 תכנון המראות;
- 3.3 הגדלת מקדם הריכוז;
- 3.4 קולט להספקים גדולים יותר;
- 3.5 שילוב עם תאים פוטו-וולטאיים;
- 3.6 פיתוח אמצעי אגירה והגדלת שעות העבודה;
- 3.7 שילוב של מגדל שמש בארובות שרב;
- 3.8 * טכניקה למניעת הצטברות אבק על המראות;
- 3.9 * הגדלת ההספק של מגדל בודד;
- 3.10 * שיטות אגירת אנרגיה;
- 3.11 רפורמינג של דלקים בעזרת אנרגיה סולרית.

מקורות חום וקור .4

- 4.1 * שיפור קולטי שמש ביתיים, כולל מניעה של הצטברות אבנית;
- 4.2 * קולטי שמש לדירות דרומיות ומערביות בבתי קומות;
- 4.3 * שילוב של קולטי שמש עם פילם נוזל ובריכות סולריות;
- 4.4 * תיעוש של בריכות סולריות עם מבודד שקוף;
- 4.5 * בריכות שמש תעשייתיות לאספקת מים חמים וקיטור;
- 4.6 * שילוב של משאבות חום עם בריכות סולריות או קולטי שמש;
- 4.7 אופטימיזציה של בידוד שקוף ודיאודות תרמיות אחרות;
- 4.8 שילוב של קולטי שמש לחום ומרכזי קרינה;
- 4.9 * מתקני ייבוש, קירור וחימום בעזרת משאבות חום;
- 4.10 מתקני ייבוש, קירור וחימום בעזרת תמיסות היגרוסקופיות;
- 4.11 * אחסון חום וקור במבנים ובמערכות תעשייתיות;
- 4.12 אחסון חום בקרקע;
- 4.13 חומרים משני פזה ואחסון חום;
- 4.14 מקורות גאו-תרמיים;
- 4.15 ניצול ממקורות חום אבוד בתחנות כוח ובתעשייה;

- 4.16 תוספת חום לאוויר בתחנות כוח מונעות בדלק ;
- 4.17 שילוב תהליכים תרמוכימיים סולריים ושימוש בפחממנים.

5. תאים פוטו-וולטאיים

לכל הפרק על תאים פוטוולטאיים ישנו ספק לכדאיות להשקיע במו"פ ;

5.1 * המשך פיתוח תאים קריסטלינים ופוליקריסטלינים ;

5.2 * שילוב של תאים פוטו-וולטאיים ומרכזי קרינה ופילטרים ;

5.3 שילוב של קולטי שמש ותאים פוטו-וולטאיים ;

5.4 תאים פוטו-וולטאיים אמורפיים ;

5.5 תאים פוטו-וולטאיים בשכבות דקות ;

5.6 חומרים פלסטיים מוליכים לתאים פוטו-וולטאיים ;

5.7 שילוב בין תאים פוטו-וולטאיים ומתקנים אחרים ;

5.8 תהליכים פוטו-כימיים ;

5.9 חיפוש תחליפים לגבישי צורן ;

5.10 שילוב של מתקנים לריכוז קרינה ותאים בשטח קטן.

6. ניצול ביו-מסה

6.1 * שיטות טיפול הסעה ואחסון פסולת חקלאית וגזם ;

6.2 הפקת כוהל מפסולת חקלאית וגזם ;

6.3 * גזיפיקציה של פסולת חקלאית וגזם ;

6.4 ייבוש מוקדם באוויר יבש לשיפור הערך הקלורי בשריפה של פסולת חקלאית ;

6.5 * ייצור ביו-גז.

7. אשפה וזבל

7.1 * הפקת גז בתהליכי עיכול אן-אירובי ;

7.2 ייבוש מוקדם באוויר יבש לשיפור הערך הקלורי לפני שריפה (אם שריפה היא בכלל אופציה אפשרית) ;

7.3 שריפת אשפה ;

7.4 הפקת גז בחום ;

7.5 * מיחזור חומרים.

8. ארובות שרב

8.1 * המשך המו"פ לשיפור הנצילות והורדת העלויות (לפי הערכה יש פוטנציאל משמעי לשיפור) ;

8.2 * הכנת מודלים אקלימיים ומדידות אקלימיות באתרים בישראל ;

8.3 * הכנת מפות אקלים עולמיות ;

8.4 * הקמת מפעל חלוץ בערך בשביעות ההספק, ואולי דווקא בקנה מידה מלא ;

8.5 * גמר תכנון כל המערכות וקבלת הצעות ספקים ;

8.6 * תכנון מתקן התפלה משולב ;

8.7 * הקמה משולבת של בריכות דגים וטיפול גידול דגים נוספים, כמו טונה ;

- 8.8 * גמר פיתוח מתזים ויישומם לתעשיות אחרות;
- 8.9 * פיתוח נוסף של שיטות למניעת פיזור רסס להגברת התפוקה בבריכות אידוי;
- 8.10 מניעת פיזור רסס והקטנת זיהום על ידי מגדלי קירור, ריסוס חקלאי;
- 8.11 יישום מסחרי של שיטות לחישוב קונסטרוקציות גדולות;
- 8.12 * חקירה ושכלול של אגירה שאובה משולבת עם ארובות שרב, כולל בחינה של מימוש האגירה על המבנה עצמו;
- 8.13 סקר בעיות סביבתיות מלא (כ- 10 נושאים) ופתרונות אופטימליים;
- 8.14 הגדלת נפח ייצור של מלח ביסול;
- 8.15 * הפקת מינרלים חשובים מהים;
- 8.16 * שילוב ארובות שרב עם אמצעים שונים לאגירת אנרגיה ברמה העונתית;
- 8.17 * ניתוח צורות שונות של שילוב של הארובות ברשת;
- 8.18 * הכנת תכנית פריסה אפשרית של הארובות בארץ;
- 8.19 * תכניות פריסה אפשריות של התפלה;
- 8.20 * שילובים אפשריים של "אגירה שאובה" יומית ועונתית.
- 9. * אגירת אנרגיה**
- 9.1 * פיתוח מצברים עם תדלוק על ידי מתכות;
- 9.2 שיפור שיטות לייצור ואגירת מימן;
- 9.3 תאי דלק;
- 9.4 * אגירת אנרגיה בתמלחות;
- 9.5 ניצול נוסף של אנרגיה בתמלחות סופיות במפעל ים המלח ובמפעלים אחרים;
- 9.6 אגירת אנרגיה על ידי מימן ותאי דלק (עדיפות נמוכה ביותר);
- 9.7 * התאמת ההיצע והביקוש בזמן על ידי שיטות שונות כמו הסעה לטווח רחוק, שימוש למוצרים מיוחדים ובחירה אופטימלית של ההספק המותקן;
- 9.8 ייצור דלקים סינטטיים.
- 10. חסכון באנרגיה ברכב ושימוש בחשמל**
- 10.1 * פיתוח רכב חשמלי עם תדלוק על ידי מתכת;
- 10.2 שילוב של מנוע שריפה פנימי וייעול "גלגל תנופה" מכני או חשמלי - רכב היברידי;
- 10.3 מעטפת רכב בעלת התנגדות נמוכה לאוויר;
- 10.4 צמיגים בעלי הפסד אנרגיה נמוך;
- 10.5 * פתרון בעיית התעבורה להקטנת פקקי תנועה ומשך השהייה של הרכב בדרכים;
- 10.6 * רכבים קטנים בעיר ומונעים בחשמל;
- 10.7 * מצברים בריכוזי אנרגיה גבוהים במיוחד ומחיר נמוך.

11. חסכון אנרגיה במבנים

- 11.1 פיתוח חומרי בנייה ושיטות בנייה;
- 11.2 פיתוח חלונות תרמיים;
- 11.3 פיתוח שיטות עיצוב סביבתי נכון;
- 11.4 * מרכזי אנרגיה לדירות המשלבים קירור, מיזוג אוויר וחימום;
- 11.5 תאורה טבעית;
- 11.6 נורות יעילות;
- 11.7 * אמצעי בקרה לכיבוי אורות ומכשירים זוללי חשמל;
- 11.8 כלי בישול יעילים מבחינה אנרגטית;
- 11.9 * כיבוי אוטומטי של מכשירים שאין בהם צורך.

12. חסכון באנרגיה למים

- 12.1 שיפור מקדמי חיכוך;
- 12.2 בקרת סיבובים במשאבות;
- 12.3 * שיטות השקיה המצריכות עומד מים נמוך יותר;
- 12.4 * שיטות התפלה חסכוניות באנרגיה (וכאלה המשתמשות באנרגיה מתחדשת);
- 12.5 * הקטנת מטעני מלחים הנכנסים למקורות המים;
- 12.6 * הנצלה של אנרגיה ממערכות הובלת המים;
- 12.7 * הקטנת כמות האנרגיה במיחזור המים.

13. אנרגיה בתעשייה

- 13.1 * קוגנרציה;
- 13.2 * ניצול חום-אבוד;
- 13.3 * מתקני בקרה;
- 13.4 אמצעי בידוד.

14. ייעול שריפת דלק

15. תאי דלק

יש השקעה גדולה בשנים האחרונות בתאי דלק למרות היותם איתנו מעל 100 שנה. הם מיועדים לשלוש מטרות עיקריות: הנעת רכב, תחנות כוח קטנות מפורזות ותחליף למצברים. כל המחקרים עד כה לא מוכיחים את עצמם כתחליף מעשי בקנה מידה גדול לאספקת אנרגיה. סיכוי טוב להצלחה נראה כרגע רק כתחליף למצברים קטנים.

נספח 1: 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

נזקים סביבתיים עקב שריפת דלק

- צריכה הולכת וגוברת של דלק בעולם גורמת לפגעים סביבתיים קשים ביותר ולנזקים 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.

- 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 היצוא 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 קוניקטורליים. 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 ברכה 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 שישיפיעו 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 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 הקונקרטית 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 יותר גדול. אין זה מונע את התנאי שיצטרכו לעמוד בתחרות בינן 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 מאליו 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 חימוניות. **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 "ארובות 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 ישראלי 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** 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 לקילוואט 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 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 CO₂.

הפעולה היחידה שתתרון במידה מספקת את עליית מחירי הדלק היא מציאה של מקורות אנרגיה 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- CO₂ שתיפלט לאטמוספירה ממקור זה תקטן לכל היותר למחצית. מאחר שהאנרגיה הראשונית לחשמל מהווה רק כמחצית ס"ה האנרגיה הראשונית הרי שההפחתה של פליטת CO₂ 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, ייבאו 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 CO₂ 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 וייצוא 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 חיצוניות 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. והיהרהר 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 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 ההפרטה 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.

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

נספח 2: דו"ח האנרגיות החליפיות

25.8.1999

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 מייד 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.

ביבליוגרפיה

1. (ספר האגדה, עמ' קנ"ו-קנ"ז, מבחר האגדות שבתלמוד ובמדרשים סדורות לפי העניינים ומפורשות ע"י ח"ינ ביאליק וי"ח רבניצקי, הוצאת דביר 1960).
2. מופיע בספר: "חזון ודרך", כרך ה', תל-אביב, הוצאת עיינות, 1957, עמ' 297-309. הביא לבית הדפוס יהודה ארז.
3. "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.
4. "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)
5. European Commission - "European Energy to 2020 A Scenario Approach", Spring 1996, pp.209.
6. 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.
7. "National Energy Strategy Report, The United States Dept. of Energy", 1991
8. U.S. Dept. of Energy 1992 - "Integrated Analysis Supporting the National Energy Strategy: Methodology, Assumptions and Results DOE/S-0086P".
9. "Renewable Energy - Sources for Fuel and Electricity", Edited by Thomas B. Johansson, Henry Kelly, Amulya K.N. Reddy, Robert H. Williams and Executive Editor Lanvie Burnahan, 1993 Island Press.
10. Zaslavsky D. and R. Mokady (1967), Non Uniform Distribution of Phosphorous Fertilizers, Soil Science, 104, pp. 1-6.
11. Zaslavsky D. and N. Buras (1967), Crop Yield Response to Non Uniform Application of Irrigation Water. Trans. Amer. Soc. Agr. Eng. pp. 96-200.
12. 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.
13. Robert Constanza et al. The Value of World's Ecosystem Services and Natural Capital. Nature. Vol. 387, 15 May 1997, pp.253-260.
14. Janet N. Abramovitz - Valuing Nature's Services, In "The state of the World, 1997" By Lester R Brown, Christopher Flavin and Hillary French Ed. W.W.Norton & Company, New York, London. "State of the World 1996 - A Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society", 1996

- 14a. Lester R. Brown - Project Director, Christopher Flavin - Associate Project Director, Linda Starke - Editor, W.W. Norton and Co., New-York London
- 14b. "State of the world 1997- A Worldwatch Institute Report on Progress Towards A sustainable Society", 1997 Ibid
- 14c. Nature's Services - Societal Dependence on Natural Ecosystems, Gretchen C. Daily Ed., 1997, Island Press, Washington D.C. & Covelo Cal.
15. "OECD Environmental Data Compendium 1995" (OECD - Organization for Economic Co-Operation and Development; 2, rue Andre-Pascal, 75775 Paris Cedex 16, France .
- .16 השנתון הסטטיסטי 1997.
17. "Comparing Energy Technologies", 1996 - International ENERGY AGENCY - "Overview by George Marsh of Energy Technology Support Unit (ETSU), United Kingdom
18. Jane Holtz Kay (1997), Asphalt Nation (Crown Publishers).
19. Andreas Schafer and David Victor, "The Past and Future Global Mobility", Scientific American, October 1997, p. 37.
20. David Thompson (1995), "The Seasons, Global Temperature, and Precession", Science, April 1995.
21. "The Heat is On", by Ross Gelbsman Addison, Wesley Publishing Co. 1997
22. William de la Mare, Australian Antarctic Division of the Dept. of Environment, Spot and Territories, Scientific American, November 1997, p.20.
23. Richard Lottinger, David R. Wooley, Nicholas A. Robinson, David R. Hadas, Susan E. Babb, "Environmental Costs of Electricity Publication Inc., New York 1991.
24. Olav Hohmeyer, "Social Costs of Energy Consumption", 1988, Springer Verlag Berlin
25. "Studies Externe: Externalities of Energy" Compiled by ETSU, UK, EUR 16520 EN, 1995.
26. Tal (1994), Frankhouse (1994), Cline (1992), Hohmeyer and Gartner (1992).
27. F. Ghassemi, A.J. Jakeman and H.A. Nix, "Salinization of Land and Water Resources - Human causes, extent, management and cas studies, Centre of Resource and Environmental Studies, The Australian Mational University, Canberra ACT 0200, Australia.
28. "The True State of the Planet", Ronald Baily, Ed. The Free Press, New York, 1995
Robert C. Balling Jr., "Global Warming Messy Models, Decent Data and Pointless Policy", Chapter 3.
Stephen Moore - "The Coming Age of A bundance", Chapter 4.

29. Herman E. Daly and John B. Cobb, Jr. "For the Common Good" (Boston: Beacon Press 1989); Clifford Cobb, Ted Halstead, and Jonathan Rowe. "Redefining Progress: The Genuine Progress Indicator, Summary of Data and Methodology" Redefining Progress, San Francisco, Calif. 1995.
30. "Air Pollution and Green Accounts", Kirk Hamilton and Giles Atkinson; Energy Policy, Vol. 24, pp. 675-684, 1996.
31. יואב כסלו ויבגניה וקסין: משק המים - סקירה מאויירת, מאמר מחקר מס' 9705, המרכז למחקר בכלכלה חקלאית, רחובות, אוגוסט 1997.
32. "תחזית הייצור החקלאי לשנים 1995-2020, עמנואל דליהו ואפרת הדס, הרשות לתכנון ופיתוח החקלאות, ההתיישבות והכפר, האגף לתכנון כולל - משרד החקלאות ופיתוח הכפר והסוכנות היהודית לא"י, תל אביב, מאי 1996.
33. "ניצול ומצב מקורות מי התהום בישראל עד סתיו 1995", בהוצאת השירות ההידרולוגי, קודם משרד החקלאות ופיתוח הכפר 1996 ואח"כ משרד התשתיות 1997.
- 33a. "ניצול ומצב מקורות מי התהום בישראל עד סתיו 1996", בהוצאת השירות ההידרולוגי, קודם משרד החקלאות ופיתוח הכפר 1996 ואח"כ משרד התשתיות 1997.
34. יואב כסלו, "היטל הפקת מים", מים - הנדסת מים, העיתון המקצועי של אגודת מהנדסי המים בישראל, גליון מס' 31, אוגוסט 1997.
35. רן מוסנזון, "תקציב משק המים, מבט כולל ורב שנתי", אגף התקציבים, משרד האוצר, 1986.
36. "The World Directory of Renewable Energy Suppliers and Sources: James X James, 1996"
37. Feasibility of a Solar-Driven Combined Cycle, by A. Kriben, A. Segal, R. Zaibel, D. Carey and S. Kusak, Presented at ECE/WEC/UNESCO/MOST Workshop on the Use of Solar Energy, Bet Berl, Israel, August 1995
38. ייצור חשמל בישראל, סקירת מצב, פרק לשילוב בדו"ח צוות אנרגיה בנושא פיתוח בר קיימא, ערוך ע"י גבי א. רוטלוי, גבי ש. משה, מר א. שחר.
39. F.E. Trainer (1995), Can Renewable Energy Sources Sustain Affluent Society? Energy Policy, Vol. 23, pp. 1009-1026.
40. M. Segal, P. Alpert, U. Stein, M. Mandel, M.J. Mitchel, "Some Assessments of the Potential 2xCO₂ Climatic Effects on Water Balance Components in the Eastern Mediterranean, Climatic Change 27: pp. 351-371, 1994.
41. S. Gabai, "Environment in Israel (1994)", Ministry of Infrastructure
42. 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.

43. חברה לפיתוח תעשיות I.D.C. "מפעל לשריפת אשפה והפקת אנרגיה, הערכה הנדסית וכלכלית", יולי 1983, הוכן לפי הזמנת משרד האנרגיה.
44. בייטמן הנדסה בע"מ, "שריפת פסולת עירונית והפקת אנרגיה", דו"ח טכני כלכלי לפי הזמנת איגוד ערים דרום יהודה, דצמבר 1995.
45. Marie Lynn Miranda and Brack Hale, "Waste not, Want Not: The Private and Social Costs of Waste to Energy Production", *Energy Policy* Vol. 25, 587-600, 1997.
46. Lars Astrand, "A Comment on the Paper by Marie Lynn Miranda and Brack Hale", *Energy Policy*, Vol. 25, pp. 601-603, 1997.
47. חברת בייטמן הנדסה, "בחינת התפלת מי ים וייצור חשמל בשילוב עם שריפת אשפה וביצה", הוזמן על ידי נציבות המים, יולי 1997.
48. הלוי צוויק ושות' וא.ש.ל. איכות סביבה ואקוסטיקה בע"מ, "השפעות חיצוניות לשיטות טיפול בפסולת", אוקטובר 1997.
49. דן זסלבסקי, פיתוח בר קיימא של משק המים והחקלאות. בדפוס. (1998)
50. Gregory J. Kolb, "Economic Evaluation of Solar-Only Hybrid Power Towers Using Malten-Salt Technology", *Solar Energy*, Vol. 62, pp. 51-61, 1997.
51. Kathleen L. Abdalla, "Energy Policies for Sustainable Development in Developing Countries", *Energy Policy*, 1994, pp. 29-36.
52. Kirk Hamilton and Giles Atkinson, "Air Pollution and Green Accounts", *Energy Policy*, 1996, pp. 675-683.
53. Abba P. Lerner, *The Economics of Control*, New York: Augustus M. Kelley, 1970.
54. IPCC - International Panel on Climate Change, "Technologies, Policies and Measures for Mitigating Climate Change", IPCC Technical Report, 1996.
55. Eric Russel, *Economics of Coal*, International Power Generation, March 1998, pp. 51-52.
56. 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 .
57. Collin J. Campbell and Jean A. Lakerrere, "The End of Cheap Oil", *Scientific American Special Report*, March 1998, pp. 60-65.
58. President Committee of Advisors on Science and Technology, Panel on Energy Research and Development: "Report to the Ppresident on Federal Energy Research and Development for the Challenges of the Twenty First Century, November 1997.
59. Intergovernmental Panel on Climate Change - "Climate Change: The IPCC Scientific Assessment", London, Cambridge Press (1990).

60. Richard B. Alley and Michael L. Bender, "Greenland Ice Core Frozen in Time", *Scientific American*, February 1998, pp. 66-67.
61. Turner, R. Kerry, Ed. (1993), "Sustainable Environmental Economics and Management – Principles and Practice", John Wiley and Sons.
62. Willem J.H. Van Groenendaal, 1998, "The Economic Appraisal of Natural Gas"
63. G. Stanhill and S. Moreshet (1992), "Global Radiation Climate Changes in Israel", *Climate Change* 22:121-138.
64. Gary Ginsburg, Aharon Serri, Elaine Fletcher, Joshua Shemer, Dani Kontik, Eric Karsenti (1988), *World Transport Policy and Practice* 4/2, 27-31.
65. A. Martins, M. Fernandes, V. Rodrigues & T. Ramos (1999), "Implementation in Portugal of the "ExternE" accounting framework"
66. Gilbert W.B., and R.J. Hacker, eds., "Photovoltaic Demonstrations Project", Commission of the European Communities (1991).
67. Gerald Jonas (1998), "Fusion and the Z-Pinch", *Scientific American*, August 1998, pp. 22-27.