



הטכניון
מכון טכנולוגי לישראל



מוסד שמואל נאמן
למחקר מתקדם במדע וטכנולוגיה

סיכום והמלצות דיון פורום האנרגיה מס' 5
מוסד שמואל נאמן, הטכניון

צרכי המחקר באנרגיה חלופית בישראל

פרופ' גרשון גרוסמן • ד"ר אופירה אילון

R&D

5

26.2.07

מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם במדע וטכנולוגיה

1 מבוא

מוסד נאמן הוקם בשנת 1978 ביוזמת מר שמואל נאמן. מטרת המוסד ודרך פעולתו פורטו במסמכי ההקמה: "מוסד נאמן מוקם לסייע בחיפוש פתרונות לבעיות הלאומיות בתחום הפיתוח הכלכלי, המדעי והחברתי במדינת ישראל"; "בחירת נושאי הפעילות תותנה על ידי השאיפה לעידוד בפתרון בעיות המדינה לטווח בינוני וארוך, תוך ניצול מאגר כוח האדם המדעי והטכנולוגי הנמצא בטכניון וגיוס צוותות המורכבים מאנשי הטכניון ומחוצה לו לתקופות מוגבלות אשר ירכזו מאמציהם בנושאים שנקבעו". להשגת יעדים אלה מקדם מוסד נאמן מחקרי מדיניות ומדיניות מו"פ מתוך כוונה לגבש על בסיסם ניירות עמדה ומסמכי מדיניות, אשר יובאו לפני הציבור המקצועי והציבור של קובעי המדיניות, ויציגו לפנייהם חלופות שונות לקבלת החלטות.

2 ייעוד והיקף פעולה

הדגש העיקרי בפעילות המקצועית במוסד נאמן היא באותם תחומים שהם כפן הביניים, שבין מדע וטכנולוגיה ובין כלכלה וחברה. הפעילות בתחומי ביניים אלה הינה חשובה כיום יותר מאשר אי פעם בעבר, וזאת משום שבתקופתנו המדע והטכנולוגיה הם הכוח המניע לקידום ושגשוג כלכלי ויש להם השפעה מהותית על איכות החיים ועל מגוון של היבטים חברתיים. זה הייחוד של מוסד נאמן כמכון למחקרי מדיניות. היבט חשוב נוסף לפעילות בתחומי ביניים אלה אמור להיות האימפקט שלהם על המחקר המדעי והטכנולוגי ועל קביעת סדרי עדיפויות בתחומים אלה. קשרי הגומלין ההדוקים בין מדע וטכנולוגיה ובין כלכלה ובין חברה יוצרים מערכת מורכבת של היוזנים הדדיים וכתוצאה מכך ההתפתחות המדעית והטכנולוגית כיום אינה מתנהלת בדרך עצמאית לחלוטין כפי שהיה בעבר הלא רחוק. היא מושפעת בצורה גוברת והולכת על ידי צרכים כלכליים וחברתיים. לפיכך, ההבנה של קשרי גומלין אלה הינה אלמנט חשוב נוסף בקביעת מדיניות מחקר ותחומי מחקר באוניברסיטאות ובמכוני מחקר.

3 מבנה ודרך פעולה

מוסד נאמן ממוקם בתוך קמפוס הטכניון ונהנה מהתשתית של מוסד זה. יחד עם זאת מוסד נאמן הינו גוף עצמאי מבחינה משפטית ומנהלית. מבנה זה מאפשר לו פעולה יעילה למילוי ייעודיו בכל הקשור לגמישות בהרכבת צוותי חוקרים ומומחים, הכוללים גם נציגים מאוניברסיטאות וגופים מחוץ לטכניון, הדרושים לפעילות הבין-תחומית.

4 פעילות מקצועית

סקירות של פרויקטים שונים, שבוצעו במוסד נאמן מוצגות בדיווחים השנתיים המופצים בציבור. חומר זה ופרסומים אחרים מוצגים באתר האינטרנט של המוסד www.neaman.org.il. תחום מחקרי מדיניות לאומית הקשורים במדע וטכנולוגיה הנו גרעין הפעולה של מוסד נאמן. הוא משתלב בפעילויות יישום ופעולות משלימות נוספות, שעיקרן הוא יצירת קשר עם השטח, בכל הקשור לנתונים הנדרשים למחקרי מדיניות, שמטרתן ליצור תודעה בציבור המקצועי ובציבור מקבלי ההחלטות כדי ליישם את מחקרי המדיניות. הפעילות במחקרי מדיניות מקיפה ארבעה תחומים עיקריים: מדע-טכנולוגיה-כלכלה; סביבה תשתית ותכנון לאומי; טכנולוגיה וחברה; חינוך אוניברסיטאי, הון אנושי והתפתחויות מדעיות. פעילויות היישום כוללות, בין השאר, ייזום וניהול של השותפים האקדמיים בקונסורציה שבמסגרת מגנט ומאגרי מידע לשימוש החוקרים והציבור הרחב.

צרכי המחקר באנרגיה חלופית בישראל

סיכום והמלצות דיון פורום האנרגיה של מוסד שמואל נאמן,

הטכניון

מיום 26 לפברואר 2007

נערך ע"י:

פרופ' גרשון גרוסמן

ד"ר אופירה אילון

יולי 2007

רשימת משתתפי הפורום:

הטכניון/ מוסד שמואל נאמן	גרשון	גרוסמן	יו"ר, פרופ'
			משתתפים:
מוסד שמואל נאמן	אופירה	אילון	ד"ר 1
מילניום אלקטריק בע"מ	עמי	אלעזרי	מר 2
מכון וייצמן למדע	מיכאל	אפשטיין	מר 3
משרד התשתיות הלאומיות	אברהם	ארביב	ד"ר 4
משרד התשתיות הלאומיות	אדי	בית-הזבדי	מר 5
הטכניון	רחל	בקר	פרופ' 6
הטכניון	רמי	גואטה	ד"ר 7
הטכניון	מרסל	גוטמן	ד"ר 8
המכון הטכנולוגי חולון	גדי	גולן	פרופ' 9
משרד התשתיות הלאומיות	זאב	גרוס	מר 10
הטכניון	זאב	גרוס	פרופ' 11
Ernst and Young	אופיר	דורון	מר 12
הטכניון	יהושע	דיין	פרופ' 13
Ernst and Young	איתי	זילטני	מר 14
הטכניון	יורם	זבירין	פרופ' 15
הטכניון/ המועצה הלאומית למו"פ	דן	זסלבסקי	פרופ' 16
הטכניון	אברהם	זיאורו	ד"ר 17
מכון וייצמן למדע	דוד	כאהן	פרופ' 18
הטכניון	ישעיהו	לוי	פרופ' 19
חושבה לתכנון	ארז	סברדלוב	ד"ר 20
אוניברסיטת בן-גוריון	יונה	סידרר	ד"ר 21
AGS Group	אמנון	סמיד	מר 22
אורמת בע"מ	אורי	פישר	ד"ר 23
אוניברסיטת תל-אביב	עמנואל	פלד	פרופ' 24
הטכניון	יועד	צור	ד"ר 25
אראל אנרגיה בע"מ	שמעון	קליר	מר 26
הטכניון	גדי	קפלוטו	ד"ר 27
אוניברסיטת בן-גוריון	אהרן	רואי	פרופ' 28
הטכניון	אביב	רוזן	פרופ' 29
הטכניון	עדנה	שביב	פרופ' 30
קמ"ג	דניאל	שגיא	ד"ר 31
מנהל פרויקט, משרד התמ"ת	איסר	דבדבני	מר 32

הבעת תודה

המחברים מודים למרצים על המידע שהציגו ולכלל משתתפי הפורום על תרומתם לדיון הפתוח. תודות לגבי יפעת ברון על רישום הפרוטוקול.

תוכן העניינים

עמוד

6	פרק 1: הקדמה
7	פרק 2: רקע
	פרק 3: מידע בתחום האנרגיה החלופית והמו"פ הנדרש
9	פרופ' דן זסלבסקי- קידום מחקר ופיתוח באנרגיה חלופית
10	פרופ' דוד כאהן- היכן מצוי המו"פ הפוטו-וולטאי כיום
11	פרופ' גרשון גרוסמן- שימוש אנרגיה סולארית להפקת חום
12	פרופ' אביב רוזן, הטכניון- אנרגית הרוח: עבר, הווה, עתיד
14	פרופ' עמנואל פלד- תאי דלק לאגירת אנרגיה
14	ד"ר ארז סברדלוב- צורכי המו"פ בתחום ייעול השימוש והחיסכון באנרגיה
16	פרק 4: דיון
25	פרק 5: סיכום והמלצות
27	פרק 6: רשימת מקורות
28	נספח 1: עיקרי החלטת הממשלה בדבר פיתוח בר קיימא
31	נספח 2: אופקים חדשים לאנרגיה מתחדשת – מאת פרופ' דן זסלבסקי
	נספח 3: תכנית פורום האנרגיה
45	בנושא "צרכי המחקר באנרגיה חלופית בישראל" 26.2.2007

1. הקדמה

מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם במדע וטכנולוגיה, במסגרת פעילותו בתחום האנרגיה, מקיים מפגשי "פורום אנרגיה" המוקדשים לדיון בנושאים בעלי חשיבות לאומית בתחום זה. בפורום האנרגיה מתקיים דיון מקצועי ממוקד בנושאים מוגדרים, בהשתתפות צוות מומחים המוזמנים לפי הנושא. המטרה היא להתרכז בשאלות רלבנטיות ומוגדרות, לתאם בין הגורמים ולהגיע להמלצות על דרכי פעולה לקידום הנושא, שניתן להציג בפני מקבלי החלטות.

מפגשים קודמים של הפורום עסקו בנושאים ממוקדים ביותר, ונערכו כל אחד בנוכחות כ-20-25 משתתפים שנבחרו בקפידה עקב מומחיותם בתחום. המשתתפים הוזמנו להציג בקצרה חומר רקע בנושא הנדון, כל משתתף לפי מומחיותו ותפיסת עולמו לגבי הנושא. לאחר מכן התקיים דיון פתוח וממוקד תוך מתן תשובות לשאלות שהוכנו מראש ע"י מארגני הפורום.

המפגש הנוכחי נערך במתכונת שונה, עקב רוחב היריעה של הנושא. השתתפו כ-40 מומחים מהאקדמיה, מהממשד ומהתעשייה על מנת לזהות את צרכי המחקר והפיתוח באנרגיה חלופית בישראל. למפגש הוזמנו גם חברי המועצה הלאומית למחקר ופיתוח שבמסגרת הדיונים שלהם נכלל הנושא של מו"פ בתחום האנרגיה, הצרכים התקציביים וצורת ההתארגנות. במקום המצגות הקצרות של כלל המשתתפים בפורומים הקודמים ניתנו כאן שש הרצאות מוזמנות, במתכונת מורחבת, במטרה לכסות באופן מלא ככל האפשר את תחום האנרגיות החלופיות. גם כאן, לאחר ההרצאות, התקיים דיון פתוח במטרה לתת תשובות לשאלות שהוכנו מראש.

אחד המניעים לקיום הפורום הנוכחי בנושא הנידון ובעת הזאת, הוא הקיצוץ המתמשך בתקציבי המחקר הממשלתיים בתחום האנרגיה החלופית. בדו"ח שהכין מרכז המידע של הכנסת עבור ועדת המדע והטכנולוגיה (ייצור אנרגיה חלופית בישראל, מיום 14 בינואר 2007) הוצגה תמונת הקיצוץ בתקציב למחקר אנרגיה של משרד התשתיות הלאומיות בכ-33%. בשנת 2002 עמד התקציב על 20.5 מיליון ₪, בשנת 2005 על 13.6 מיליון ₪ ובשנת 2006 על 980 אלף ₪ בלבד. תמונה עגומה יותר מתקבלת כשבוחנים את חלקו של התקציב שאכן נוצל למחקר - 9.1 מיליון ₪ ב-2002 ורק 3 מיליון ₪ בשנת 2005. בשעה שמדינות העולם המפותח משקיעות משאבי עתק במחקר וביישום אנרגיות נקיות - הולכת מדינת ישראל, שהייתה לדוגמה במשך שנים רבות בניצול אנרגית השמש, ומאבדת את מעמד הבכורה שלה. מדינות בצפון אירופה שכמות קרינת השמש בהן היא כשליש מאשר בישראל מפתחות טכנולוגיות סולאריות שאינן מפותחות בישראל; מדינות אלה אף השכילו לנצל את אנרגית הרוח. ניסיון העבר בארץ מוכיח כי הפירות של מו"פ אנרגיה עולים עשרות מונים על ההשקעה. בהתאם לכך, המליצה המועצה הלאומית למו"פ להקים קרן מחקר לאומית באנרגיה והומלץ כי תקציב הקרן יעמוד על 480 מיליון ₪ לשנה (פי 35 מתקציב 2005 ופי יותר מ-400 מתקציב 2006).

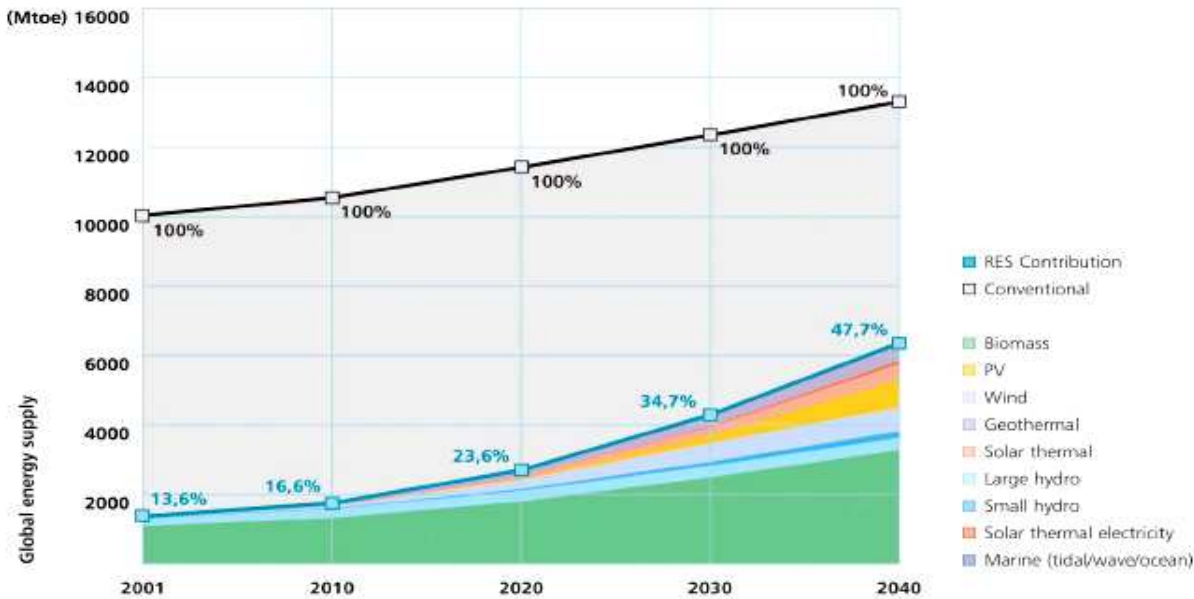
לשם דיון מקיף בסוגיה, התקיים המפגש הנוכחי של פורום האנרגיה במוסד שמואל נאמן בטכניון בנוכחות משתתפים מהסקטור התעשייתי, האקדמיה והממשד הממשלתי והציבורי. המשתתפים בפורום מהווים, ללא ספק, קבוצה ייחודית ובעלת סטאטוס מקצועי ראשון במעלה בתחום האנרגיה בכלל ובתחום המחקר והפיתוח באנרגיה חלופית בפרט. שש ההרצאות המוזמנות מוצגות באתר מוסד שמואל נאמן: <http://www.neaman.org.il> (אירועים). בחלקו השני של המפגש התקיים דיון פתוח על המידע שהוצג ועל המסקנות האופרטיביות שיש להפיק ממנו.

תמצית הדיונים מסוכמת בדו"ח להלן, תוך כוונה להגישו למקבלי ההחלטות במטרה ליצור מומנטום שיביא את מדינת ישראל להכיר בתרומת המו"פ באנרגיה חלופית למשק הישראלי. משתתפי הפורום תמימי דעים בכך שתמיכה ראויה במו"פ אנרגיה חלופית יכולה להביא תועלות רבות ומגוונות למדינה - באקדמיה, בתעשייה, בהעסקת עובדים בתחומים רבים, במיצוב שמה הטוב של ישראל בקהילת

הטכנולוגיה העולמית ובהמשך, גם לשיפור איכות הסביבה בישראל, להקטנת התלות במקורות אנרגיה פוסיליים ולהגברת הייצוא. התשואה המצופה להשקעה במו"פ היא לפי כל ההערכות קרובה ל - 1: 50.

2. רקע

התחזית העולמית של המועצה האירופית לאנרגיה מתחדשת (European Renewable Energy Council) מצביעה על כך כי בשנת 2040 תהיה תרומת האנרגיות החלופיות כמעט כמחצית מכלל מקורות האנרגיה העולמיים, כמודגם בציור מס' 1.



ציור מס' 1: תחזית מקורות אנרגיה בשנת 2040. מתוך www.erec-renewables.com

לאור תמונה זו ברור, כי נדרש מו"פ בכל התחומים של האנרגיה החלופית (Alternative Energy), זו המיועדת להחליף את הדלקים הפוסיליים (יש לציין כי אנרגיה גרעינית נכללת בהגדרה זו) ובכל תחום יש להגדיר את תחומי המחקר והפיתוח הנדרשים ועדיפותם. נעשה שימוש רחב בשתי הגדרות נוספות, אותן יש להבהיר בהקשר זה: אנרגיה מתחדשת (Renewable Energy) היא אנרגיה המופקת מהשמש ומפירותיה, הרוח, המים, גלי הים וביומסה. אנרגיה בת-קיימא (Sustainable Energy) היא אנרגיה שאינה מזהמת, תהליכי הפקתה כלכליים והיא גם הוגנת מבחינה חברתית (לדוגמא, בעת ייצור רכיבים מועסקים הפועלים בתנאים הוגנים).

באופן כללי, טכנולוגיות בוגרות ובשלות נדרשות למו"פ בעיקר בתחום של הגדלת היעילות בה מופקת האנרגיה ושל הקטנת עלויות הייצור (לדוגמא: מערכות פוטוולטאיות); טכנולוגיות הנמצאות כיום על סף יישום משקי זקוקות למו"פ על מנת להפוך את חלקן בשוק ליציב ומשמעותי (לדוגמא: רוח). קיימות כיום טכנולוגיות, אשר מיושמות כבר שנים רבות (לדוגמא: טיפול אנאירובי בבוצת שפכים ובפסולת) אך במקרה זה נדרש להפכן למשמעותיות יותר ע"י שיפור התהליכים. וכמובן, ישנן טכנולוגיות הנמצאות כעת בשלבי פיתוח ראשוניים בלבד (לדוגמא: גלי ים) ויש לבחון את צרכי המו"פ גם בהן.

מדינות העולם המפותח וביניהן ארה"ב, אירופה ויפן משקיעות בשנים האחרונות משאבים ומאמצים ניכרים בפיתוח אנרגיות חלופיות. ניתן ללמוד רבות לנושא דו"ח זה מן הנעשה במדינות אלה. משרד האנרגיה האמריקאי (DOE) הכריז לאחרונה על יזמה (המהווה חלק מתכנית אנרגיה רחבה יותר של הנשיא בוש) בתחום ניצול אנרגית השמש: Solar America Initiative (SAI) (ראה מקור 1). עיקרה של תכנית זו הוא הפקת חשמל מאנרגית השמש. עוד לפני כשנתיים קיים משרד האנרגיה האמריקאי סדנה בנושא צרכי המחקר באנרגית השמש בהשתתפות מומחים מארה"ב ומחוצה לה, והפיק דו"ח מקיף בנידון (ראה מקור 2). דו"ח של חברת Clean Edge Inc. (ראה מקור 3) דן בגידול המהיר של "אנרגיה נקייה" בארה"ב בחמש השנים האחרונות ובחיזוי ההתקדמות בעתיד. הדו"ח עוקב אחר השווקים בארבע טכנולוגיות עיקריות – PV, רוח, ביו-דלקים ותאי דלק – ומציין גידול של כ-39% בהכנסה השנתית מטכנולוגיות אלה תוך פחות משנתיים (מ-40 ביליון דולר ב-2004 ל-55 ביליון דולר ב-2006). התחזית לעתיד צופה נתח שוק בן 226 ביליון דולר בשנת 2016. נתון מעניין אחר מצביע על גידול מרשים בהשקעות הון סיכון (venture capital) בטכנולוגיות אנרגיה – מ-917 מיליון דולר ב-2005 ל-2.4 ביליון דולר ב-2006. הקהילייה האירופית משקיעה אף היא רבות באנרגיות חלופיות. דו"ח שנתי בנושא זה (ראה מקור 4) מצביע על גידול שנתי של עשרות אחוזים בהשקעות וביישום של מערכות אנרגיה נקייה, ולמרבה הפלא – השקעות ותמריצים כלכליים קיימים גם במדינות בהן עצמת קרינת השמש קטנה במידה ניכרת מזו שבישראל.

כבר מלכתחילה ברור היה למארגני הפרויקט כי לא ניתן לכסות את תחום האנרגיות החלופיות בסדנה בת יום אחד. בגלל קוצר הזמן ומתוך החלטה מראש, לא עסקנו בסדנה זו במו"פ הנדרש בנושאים שמעבר לאנרגיות חלופיות, כגון פיתוח פתרונות לחיסכון וייעול השימוש בחשמל, ייעול השימוש בדלק בתחבורה או בתחליפי דלק ביולוגיים, בנייה משמרת אנרגיה ועוד. מטבע הדברים, עלו נושאים אלה בדיון שנערך בהמשך המפגש. אנו רואים במפגש הנוכחי "סנונית ראשונה" בסדרה של מפגשים עתידיים שיערכו במתכונות שונות על מנת להגדיר בצורה תכליתית וממוקדת את צרכי המחקר באנרגיות חלופיות בישראל.

3. מידע בתחום האנרגיה החלופית והמו"פ הנדרש

תוכן הדברים מבוסס על ההרצאות המוזמנות ונקודות שהודגשו על ידי הדוברים במהלך.

פרופ' דן זסלבסקי, יו"ר המועצה הלאומית למחקר ופיתוח:

קידום מחקר ופיתוח באנרגיה חלופית

ההרצאה בחנה את הסיבות למעבר לאנרגיה מתחדשת וכן את הטכנולוגיות והמוצרים הקיימים בהקשר זה וכיוונים מומלצים למחקר, פיתוח ויישום. היא מהווה מעין סיכום של לפחות שתי שנות עבודה במסגרת המועצה הלאומית למחקר ופיתוח.

המעבר לאנרגיות מתחדשות כדאי משבע סיבות שונות, לפחות. ראשית, העובדה כי מאגר הדלקים הפוסילים הוא סופי מחייבת פיתוח תחליפים שונים. מסיבה זו, שוק הדלקים נתון לתנודות מחירים שונות המשפיעים על ההכנסה הלאומית. נזקים סביבתיים מקומיים וגלובאליים כוללים בין השאר את תופעת ההתחממות הגלובאלית, פגיעות בחי ובצומח, ומחלות ותמותת בני אדם. ניתן לייחס לכך בהקטנת השימוש בדלק פוסילי סיבות נוספות כמו צמצום התלות של ישראל במדינות אחרות בנושא אנרגיה, הימנעות מקנסות הקשורים באי מילוי פרוטוקול קיוטו, ושיפור במאזן התשלומים ובהוצאות הגנה כבדות משקל.

ישנן מספר קבוצות של טכנולוגיות העומדות לשימוש כיום ושניתן להמשיך לפתח אולם יש לבחון את כדאיות ההשקעה בהן. הקריטריון הפשוט ביותר לבחינת טכנולוגיה צריך להיעשות עפ"י המשוואה הבאה:

$$R = \frac{P(D)}{(1-P)E} > 1$$

במשוואה זו:

P - הסתברויות לקיום נזק מוגדר;

D - גודל הנזק לפי הערכה;

E - עלות יתר של הטכנולוגיה החלופית.

ניתן לקיים התמרת הדלק בהיקף שקרוב ל - 60% מכל צריכת האנרגיה וליישום לאלתר, בטכנולוגיות בהן E קרוב לאפס או קטן מאפס. כלומר, טכנולוגיות שלגביהן כבר הוכח ש $R > 1$ הן אלה שאותן יש להמשיך ולפתח.

בין התחומים בהם ניתן לקיים המרה זו כמעט לאלתר:

- **ייעול השימוש:** מעבר למערכות אקלום יעילות יותר (ניתן להגיע באמצעות ייעול מערכות מזוג אוויר ובניה משמרת אנרגיה לחסכון של כ 20% מצריכת החשמל לאקלום. מעבר לחסכון הישיר והתועלת הסביבתית בהשקעות שהחזרתן תוך פחות מ - 5 שנים, מדובר גם בדחיית הצורך בהקמת תחנות כוח פחמיות, אגירה שאובה (בדרך כלל על ידי שאיבת מים ממאגר נמוך למאגר גבוה בשעות בהן תעריף החשמל זול יותר); בעת שנדרש השימוש באנרגיה זו, מופלים המים השאובים והאנרגיה הפוטנציאלית הופכת לאנרגיה קינטית) ודוגמאות נוספות. בבדיקות שנעשו בכמה אתרים, נמצא שעל כל דולר מושקע מרוויחים בערך נוכחי נקי בסביבות עוד דולר.

- **פירות השמש המסורתיים (שהם מקדמת דנא):** ניצול אנרגית השמש להפקת חום או חשמל, אנרגיית רוח, ניצול ביומסה לייצור אנרגיה (כדוגמת הפיתוח של חברת חץ אקולוגיה) ועוד. ניצול נכון בתחומים אלה ימנע היווצרות של גזי חממה, זיהום מי תהום ומפגעים סביבתיים נוספים.

- **ארוכות שרב:** באזורים בהם קיים אקלים חם ויבש. זהו סוג נוסף של ניצול פירות השמש.

צינון האוויר ע"י התזת מים גורם לזרימה אנכית של האוויר בתוך ארובה שנועדה לכך, ואוויר זה מניע טורבינות לייצור חשמל. זוהי בעצם מכונה המייצרת רוח 24 שעות ביממה. לכך הוכחו מוצרי לוואי שונים בעלי ערך גבוה ביותר, וביניהם: אפשרות של שילוב אגירה שאובה ומתקנים נוספים להתאמת עקום האספקה לעקום הצריכה, שילוב מתקני התפלה בחצי המחיר ועוד יכולת של אספקת מים בהיקפים גדולים ובמחיר נמוך שמאפשרת השקיית האזור המדברי שהיום לא מנוצל. בעזרת הגידולים במדבר ניתן להמיר את צריכת הדלק - הן הבנזין והן הדיזל. נמצא שבידינו טכנולוגיה שמספקת לא רק את החשמל אלא גם את כל צרכי הדלק לתחבורה. השטח הדרוש לייצור מיליון קוואט"ש בשנה איננו עולה על 4000 מטרים רבועים, רק אחד ל - 15-16 מהשטח הנדרש לייצור מיליון קוואט"ש מאנרגיה סולרית. כמו כן, השטח הדרוש ל"ארובות השרב" איננו על חוף הים אלא בלב המדבר.

השקעה במשק בכיוון של מו"פ בתחומי אנרגיה חלופית צפוי לתת תשואה של \$50 לכל דולר מושקע. מסיבה זו יש צורך להקים קרן מחקר יציבה לתחומי האנרגיה. היקף התקציב הנדרש הוא לפחות 4% מהיקף הפעילות הכלכלית בתחום האנרגיה, כלומר 450-600 מיליון ₪ לשנה. תקציב ההשקעות צריך להתחלק בין מחקר בסיסי בגופים אקדמאיים ובמכוונים ממשלתיים, בין מחקר בגופים אלה בתחומים שמסתמנים כשימיים ובין מחקר לקידום תעשייתי, פיתוח דגמים מעשיים והפעלתם (אתרי ביטא) וכו'. בפועל, התקציב ב-2005 היה כ-3% מהתקציב הנדרש ובפועל נוצל פחות מ-1%. בנוסף, יש צורך להתקין תקנות ותמריצים שונים כדוגמת פחת מואץ, הכרה בהשקעות אלה כהוצאות מוכרות במס ועוד.

יש לדאוג לגופים לבחינת המו"פ הקיים, תוצאותיו וכיוונים חדשים למחקר. עד כה לא הצלחנו לטפח שיטה מבוססת להעדפה של נושאים על בסיס כלכלי ארוך טווח. הדבר יותר קל כאשר מדובר בהכללה על תחום האנרגיה החלופית. עם זאת, אין להיגרר אחרי אופנות שהולכות ופושטות בעולם תוך נטיות הגובלות כמעט באמונות תפלות. דוגמא אחת היא המושג של "מקור אנרגיה רציף", כאשר הכוונה לתאים פוטו-וולטאיים המספקים חשמל ליחידות מגורים קטנות ומצטרפים יחד לרשת ענק רצופה. ניתוח רציני יראה את הטעות שבקונספציה זו, אבל המערכות נכנסות למעין אינרציה שלא יודעים לצאת ממנה. כנגד זה, ניתן להביא דוגמאות לרוב של מחקרים שלא הצליחו לכאורה באשר ליעד המרכזי שלהם, אבל הביאו בעקיפין לתוצאות מדהימות. לפיכך יש להמשיך ולתמוך בטכנולוגיות ופיתוחים לפחות לרמה בסיסית ורמת הביניים של המחקרים. (תאור נרחב יותר של הרצאה זו ניתן בנספח מס' 2 לדו"ח זה. ראה גם פרק מס' 4 בדו"ח המלא של המועצה הלאומית למחקר ופיתוח).

פרופ' דוד כאהן, מכון ויצמן למדע:

Where are we today in Research in PV? היכן מצוי המו"פ הפוטו-וולטאי כיום

קיים מגוון סוגי תאים פוטו-וולטאיים המבוססים על שימוש בחומרים שונים. הנקודות ההשוואתיות החשובות הן יעילות ייצור החשמל, יציבות התאים ועלותם.

מעל 90% מהתאים משתמשים בסיליקון גבישי נקי ולעובדה זו השלכות קשות - הביקוש עולה ואיתו גם המחיר של מערכות אלה. 52% ממאגרי הסיליקון בעולם כיום משמשים את תעשיית התאים הפוטו-וולטאיים. בנוסף, מערכות אלה, המבוססות על סיליקון מוגבלות מאוד מבחינת היעילות האנרגטית (17% במרבית הטכנולוגיות המסחריות וכ-24% לכל היותר) ולכן מבחינת פיתוח אנו מוגבלים. לעומת זאת, ניתן לנסות לפתח תאים פוטו-וולטאיים מחומרים אחרים. למשל, תאים מרובי צמתים (multi junction cells מאפשרים להגיע לנצילות של כמעט 41%. במעבדה ניתן להגיע עם 3 צמתים וריכוז

לנצולת תיאורטית מקסימאלית של 49%. הבעיה היא שהטכנולוגיות היעילות יותר עדיין יקרות מאד וככל שיש יותר צמתים גם העלות עולה.

כאשר ניתן לרכז את קרני השמש (Concentrated PV), אפשר להגדיל את היעילות, אך בכך המערכות נעשות מסובכות יותר וגם יקרות יותר במרבית המקומות. הסיבה העיקרית לכך היא שחלק משמעותי של קרינת השמש לעיתים אינה ישירה (אפילו בגוש דן מדובר על קרוב ל 40%) ואז אי-אפשר לרכז את הרוב הגדול של החלק הזה.. המשמעות היא שזה לא פתרון אפקטיבי ברוב העולם. במדבר או במקומות גבוהים המצב שונה אך לשם שימוש מסיבי במערכות אלה יש לפתח פתרונות של מערכות שעוקבות אחר השמש(במערכת המרכזת) ולשמירה מפני הצטברות אבק.

פתרונות ופיתוחים נוספים משתמשים בשכבות דקות (Thin Film) של סיליקון או של תרכובות בינאריות יותר מורכבות, המאפשרות במעבדה נצילות עד כדי 16.5-19.5. תאים המבוססים על סיליקון אמורפי (אשר אי יציבותו מהווה בעיה) מצאו שימוש למרות ה ניצולת הנמוכה יחסית לתאים אחרים. כיום מנסים לפתח תאים בעלי יעילות של 50% על ידי שילוב מערכות אופטיות ותאים המבוססים על תרכובות III-V. חשוב לציין כי פיתוח מערכות אלה ממומן כיום ע"י משרד ההגנה האמריקאי מתוך הצורך באספקת אנרגיה עצמית ובהקטנת התלות במקורות זרים. אחד הנושאים החשובים בפתוח התאים הפוטו-וולטאיים הוא נושא החזר השקעת האנרגיה הנדרשת לייצור הפנלים.

מערכות מולטי-קריסטליניות מחזירות כיום את ההשקעה האנרגטית בהן כעבור 3.5 שנים ועם פיתוחן, הן צפויות להחזיר את ההשקעה תוך שנה וחצי עד שנתיים. מערכות המבוססות על שכבות דקות מחזירות כיום את האנרגיה בתוך 3 שנים וצפויות להחזיר את ההשקעה בתוך כשנה בעתיד. כמובן, שהחזר האנרגיה תלוי במיקום המערכות (באזורים שטופי שמש תוחזר האנרגיה מהר יותר).

(יש לציין בהקשר להרצאה זו כי פורום האנרגיה הראשון שקיים מוסד שמואל נאמן עסק בנושא יצור החשמל במערכות פוטו-וולטאיות <http://www.neaman.org.il/publications>).

פרופ' גרשון גרוסמן, ראש המרכז להנדסת אנרגיה-הטכניון, וראש פורום האנרגיה-מוסד נאמן:

שימוש אנרגיה סולארית להפקת חום Solar Energy for Generation of Process Heat

אנרגית השמש ניתנת לשימוש ישיר להפקת אנרגיה בשלוש צורות עיקריות: מערכות לייצור חשמל (להשתמש בפוטונים של הקרינה ולהפיק חשמל פוטו-וולטאי); מערכות סולאריות-תרמיות לטמפרטורות גבוהות (למשל - חימום נוזל שממנו ניתן להפיק קיטור ולהניע טורבינות, לדוגמא הטכנולוגיה של "סולל"); ומערכות סולאריות-תרמיות לטמפרטורות נמוכות ובינוניות - להשתמש בקרינת השמש לחימום מים או לייצור קיטור בטמפרטורות נמוכות יחסית (דוד שמש לצריכה ביתית או מערכות תעשייתיות דומות).

השימוש במערכות סולאריות להפקת חום בתעשייה מתאים הרבה יותר מאשר שימוש ביתי מכמה סיבות: התעשייה עובדת בעיקר ביום - מה שמקטין את הצורך באגירה; יתרון הגודל - מערכת תעשייתית שוות ערך למספר רב של מערכות ביתיות, על המשתמע מכך לגבי התקנה ועלויות; במתקנים תעשייתיים קיים לרוב שטח גג גדול הניתן לניצול; אפשרות לבצע עבודות תחזוקה שהצרכן הביתי אינו ערוך לבצע - על המשתמע מכך לגבי עלויות. למרות זאת, ישראל מחזיקה בשיא עולמי בשימוש באנרגיה סולארית במגזר הפרטי בארץ ואילו במגזר התעשייתי והמסחרי כמעט ואין שימוש במערכות

סולאריות לייצור אנרגיית חום. זאת למרות שכשליש מן האנרגיה לשימוש סופי (end use) בישראל משמשת לייצור חום לתהליכים. הסיבה לכך נעוצה בין השאר בשיקולי מס ובמדיניות ממשלתית. אם בוחנים תעשיות שונות בהן נעשה שימוש בחום תהליכי, ניתן לראות שבמקרים רבים, טווח הטמפרטורות הנדרשות לחום מתאים לטווח הטמפרטורות שניתן להגיע אליהן באמצעות מערכות סולאריות ובעלות משתלמת.

לפני כחודש קיים מוסד שמואל נאמן מפגש פורום אנרגיה בנושא ניצול אנרגיה סולארית להפקת חום (מצגות ודו"ח מסכם ניתנים להורדה באתר המוסד <http://www.neaman.org.il/publications>). מומלץ לבצע בארץ סקר לבדיקה אילו תעשיות מתאימות לשימוש במערכות סולאריות להפקת חום ובאיזה טווח טמפרטורות. אפשר בקלות לספק את תחום הטמפרטורות הנמוך ובכך להגיע לחסכון משמעותי במישור הלאומי.

מחקר נוסף בתחום זה דרוש במגוון כיוונים:

- דרוש פיתוח בנושא מערכות לייצור אנרגיית חום בתחום הטמפרטורות הבינוניות (200-100 מעלות).
- רצוי לבדוק קולטים מסוגים שונים: קולטים ללא ריכוז קרניים, קולטים עם ריכוז קרניים ומערכות עקיבה המתאימים לארץ, ועוד.
- יש צורך בפיתוח מערכות לאגירת חום ע"י שימוש במים, בחומר משנה פאזה כדוגמת פרפין, בריאקציה תרמו-כימית (חומרים היגרוסקופיים אשר סופחים מים ופולטים את חום הספיחה) וכדומה.
- כדאי גם לבחון שילוב של ייצור אנרגיית חום וייצור אנרגיה חשמלית באותה מערכת.

פרופ' אביב רוזן, הטכניון:

אנרגיית הרוח – עבר, הווה, עתיד

הרוח היא תוצר של אנרגיית השמש. 1-3% מאנרגיית השמש הנקלטת בכדור הארץ הופכת לרוח. מרבית אנרגיית הרוח נמצאת בגבהים גדולים שם מהירויות הרוח מגיעות עד ל-160 קמ"ש (44.4 מטר לשניה), אך בגבהים אלה יש בעיה לנצל את הרוח. מחקר מפורט (Archer, C.L and Jacobson, M.Z.) "Evaluation of global wind power", J. of Geophysical Research- Atmospheres, Vol. 110, 30 June 2005, בדק את יכולת ניצול אנרגיית השמש במקומות בהם הרוח השנתית הממוצעת בגובה 80 מטר גבוהה מ-6.9 מטר לשניה (מחיר הפקה של 3-4 סנט לקו"ט"ש) נמצא כי הפוטנציאל הוא פי 5 מצריכת האנרגיה העולמית ופי 40 מצריכת החשמל. כלומר, הרוח היא מקור אנרגיה משמעותי. אחת הנקודות החשובות בניתוח טכנולוגיות להפקת אנרגיה היא היחס בין האנרגיה שמפיק המתקן במהלך כל פעולתו, לבין האנרגיה המושקעת ביצורו והפעלתו השוטפת – EROI (Energy Return On Investment). בטורבינות רוח טווח הערכים נע בין 35-5, והממוצע הינו 18.

בתחנות פחמיות - 10-5, תחנות גרעיניות - 5 ותחנות הידרואלקטריות למעלה מ-10.

שנת 2006 הייתה שנת שיא בהקמת מתקנים להפקת אנרגיית רוח בעולם. הותקנו 15,197 מגה ואט חדשים, אשר הביאו את העולם לכושר הפקת כולל של 74,223 מגה ואט בסוף 2006. השוק השנתי של טורבינות רוח המשיך לעלות בקצב מסחרר שעמד ב 2006 על 32% (קצב הגידול ב - 2005 היה 41%).

אנרגית הרוח היא מקור האנרגיה העולמי הגדל בקצב הגבוה ביותר (23% גידול שנתי ממוצע ב- 15 השנים האחרונות).

אירופה מובילה את העולם עם 48,545 מגה ואט מותקנים (65% מהכמות המותקנת בעולם), 50% מההתקנות החדשות ב- 2006 היו בגרמניה וספרד. גרמניה הגיעה בשנת 2006 לכושר יצור של 20,621 מגה ואט (6% מצריכת החשמל) ושואפת להפיק עד שנת 2010 כ-12.5% מצריכת החשמל שלה באמצעות רוח. כושר הייצור הכולל בספרד הוא 11,621 מגה ואט. אנרגית הרוח מספקת כיום כ- 9% מצריכת החשמל של ספרד.

דנמרק נחשבת מהמובילות בתחום עם אספקה של 25% מצריכת החשמל באמצעות אנרגית רוח. כמו כן, במדינות נוספות באירופה כמו צרפת, אנגליה ואירלנד היו התקנות משמעותיות בשנים האחרונות. **ארה"ב** היא המובילה בעולם בכושר הפקה מותקן חדש בשנת 2006 (כמו גם ב- 2005). בשנה זו הותקנו 2454 מגה ואט, גידול של 27% בכושר הייצור הכולל. הקלות ניתנות בארה"ב על ייצור אנרגית רוח באמצעות הטבת מס של \$0.019 לקוט"ש מופק, למשך עשר שנים, מרגע שהפרויקט מתחיל להפיק אנרגיה. המדינות המובילות בתחום בארה"ב: טקסס - 774 מגה ואט, וושינגטון - 428 מגה ואט, קליפורניה - 212 מגה ואט, ניו-יורק - 185 מגה ואט ומינסוטה - 150 מגה ואט.

גם **באסיה** היו בשנים האחרונות התקנות משמעותיות בתחום אנרגית הרוח כאשר שם מובילות הודו וסין.

היבטים כלכליים: בקביעת הכלכליות של טורבינות רוח ישנן שתי נקודות חשובות: סובסידיות (הטבות מס ואחרות); והתייחסות להשפעות חיצוניות (externalities – זיהום ומפגעים שונים, נזקי בריאות, בטחון לאומי וכו').

לטורבינות רוח ישנן הוצאות קטנות הנוגעות להפעלה ותחזוקה ולכן העלות העיקרית היא עלות ההתקנה. קביעת מיקום הטורבינות יכול להיות מאוד משמעותי לכלכליות שלהן. לעיתים הזות טורבינות ב-30 מ' יכולה להכפיל את תפוקת האנרגיה שלה (micro-siting). לכן, יש חשיבות רבה לכלי חישוב החוזים את כמות האנרגיה שתופק באתר מסוים והמוצאים את פיזור הטורבינות האופטימאלי באתר. היחס בין האנרגיה שמפיקה טורבינה בפועל במהלך שנה לבין כמות האנרגיה הנומינלית שיכולה טורבינה להפיק לאורך השנה, קרוי "Capacity Factor" – בתכנון נכון (בחירת סוג טורבינה מתאים והצבתה בנקודה מתאימה) יחס זה יכול להגיע ל 35%. בשל שינויים אפשריים בנפח האספקה של הרשת כדאי לתכנן קשר בין רשתות הספקת חשמל נרחבות המאפשרות "מכירה ורכישה" של אנרגיה חשמלית, זאת במיוחד על רקע העדר מערכות כלכליות לאגירה.

היבטים סביבתיים: לאחר ההתקנה, 99% מהשטח עדיין ניתן לניצול לחקלאות ושימושים אחרים ובכך מאפשרות טורבינות לשמר את הסביבה הכפרית. המערכות העדכניות אינן מייצרות רעש כבעבר ואינן דורשות העמדה צפופה של טורבינות רבות. כמו כן מספר הציפורים הנפגעות על ידי טורבינות זניח יחסית למספר הציפורים הנפגעות על ידי פעילויות אחרות כמו: כלי תחבורה, קווי מתח, ציד, בניינים וכו'.

אחת המטרות כיום הינה לפתח טורבינות רוח שתוכלנה להיות כלכליות (ללא סבסוד) באזורים שבהם המהירות הממוצעת נמוכה- המו"פ כולל פיתוח מערכות עם רוטור גדול וגבוה יותר, רוטורים מחומרים קלים יותר, פיתוח מערכות שקטות וזולות יותר, הפחתת עלויות אחזקה ע"י ניטור מתמיד והתראות במקרה של תקלות.

בניגוד לנעשה בעולם, **בישראל** מותקנים בסך הכל 6.2 מגהוואט בגולן. אין התפתחות בנושא למרות איתור הפוטנציאל בעבר. אחת הבעיות העיקריות היא בעיות רישוי והתנגדות מצד שוחרי הסביבה (פגיעה נופית ופגיעה אפשרית בציפורים) בהם נתקלים יזמים.

פרופ' עמנואל פלד, אוניברסיטת תל אביב:

תאי דלק לאגירת אנרגיה (אנרגית רוח, אנרגית שמש, אנרגיה עוזפת של תחנות כוח, וייסות תחנות כוח)

קבוצתו של פרופ' פלד מנסה לפתח היום יחידת אגירת חשמל של כמה מאות ואטים, ובעתיד של כמה מאות מגה- ואטים, באמצעות תאי דלק הניתנים לחידוש (רגנרטיביים). ההבדל בין תא דלק למצבר הוא שתאי דלק מוזנים ברציפות בדלק ובמחמצן (מימן, חמצן). התא מפיק חשמל, חום ומים.

עד היום אין מערכת אלקטרו-כימית זולה מספיק לאפשר אגירת חשמל בהיקפים גדולים. הבעיה במצברים היא שהם מוגבלים בביצועים שלהם ואינם מסוגלים לבצע אלפי מחזורים של טעינה ופריקה בגלל התהוות שינויים מכאניים וכימיים באלקטרודות.

תא דלק אינו מוגבל באופן זה. בנוסף, הכימיקלים המשמשים במצברים, גם במצבר הכי קטן, יקרים מידי ליישום בהיקפים גדולים.

המערכת שמפתחים היום היא כנראה היחידה שתוכל לעמוד בדרישות אגירת חשמל בהיקפים גדולים. המטרה היא להגיע לעלות של \$500 לקילוואט מותקן ול-\$80 לקוויט"ש במהלך אורך חיי המתקן. מספר חברות פיתחו ומוכרות בהיקפים קטנים יחידות אגירת חשמל (ונדיום או אבץ ברומיד-

(VRB = vanadium redox battery; ZBB = zinc bromine battery)

אך הן יקרות מאד: כ- 3,000 – 4,000 דולר לקילוואט.

הקבוצה מפתחת היום תא דלק רגנרטיבי על בסיס מימן ותמיסה של טרי-ברומיד (HTB). בהשוואה ל-VRB יש ל-HTB למספר יתרונות. ראשית, צפיפות ההספק של יחידת ההספק גבוהה פי שלושה וזולה פי שלושה, צפיפות האגירה גבוהה יותר, ולכן התאים קטנים יותר יחסית לנפח. מחיר חומרי האגירה נמוך פי ארבעה ובנוסף, המערכת יותר יציבה.

ד"ר ארז סברדלוב, חושבה לתכנון בע"מ:

צורכי המו"פ בתחום ייעול השימוש והחיסכון באנרגיה

ד"ר סברדלוב, כאחד השותפים שהכינו את תוכנית האב למשק האנרגיה בישראל, מדגיש כי יעדי המו"פ בתחום האנרגיה חייבים להיגזר באופן ישיר ועקבי מיעדי המדיניות ארוכת הטווח של משק האנרגיה. המו"פ הישראלי נדרש לזהות, ליצור ולקדם הזדמנויות טכנולוגיות למימוש יעדים בתחום האנרגיה. יש לבחון הזדמנויות אלה על פי הסיכוי להבשלת המחקר ויישום בהיקף מסחרי משמעותי על רקע ההשקעה של כספי מו"פ.

בתחום האנרגיה, המשק צריך להבנות בארץ סביב ארבע קטגוריות באופן מאוזן ותוך דגש על גישת פיתוח בר-קיימא של המשק:

הוצאה מוניטרית – ההוצאה הלאומית על משק האנרגיה צריכה להיות נמוכה ככל האפשר.

נזק סביבתי חברתי – צמצום זיהום אוויר ונזקין, צמצום פליטת גזי חממה, צמצום נזקים לבריאות וכו'.

צריכת קרקע – צריכת הקרקע של מתקנים רלוונטית בארץ במיוחד (דגש על חוף הים).

חוסן אסטרטגי בטחוני – סיכוני מלחמה, פגיעות אסטרטגיות, תלות ביבוא דלקים, היווצרות בעיות אספקה וכו'.

בשני תחומי האנרגיה העיקריים - צריכת חשמל לנפש והתפתחות הנסועה השנתית של כלי הרכב, ניתן לראות כי המשק, פחות או יותר, הוכפל משנות ה-80 ועד היום וכי הוא צפוי להמשיך ולגדול משמעותית.

ראיה לאומית רחבה תאפשר להגשים את צורכי המשק תוך איזון בין מרכיבי העלות השונים. מכך יתאפשרו מגוון תועלות כלכליות למשק, בעיקר בתחום הסולארי, כמו הכנסות מייצוא, פיתוח מקומות עבודה ואפשרויות לפיתוח הפריפריה.

יש לבחון מדיניות משולבת של חקיקה, תמרוץ וחינוך בכדי לעודד צמצום צריכת האנרגיה על ידי תכנון פיסי נכון של המשק ותוך שימוש בטכנולוגיות המצמצמות את הצריכה בשילוב עם שינוי דפוסי התנהגות. מדיניות נכונה תאפשר להשפיע על המשק במגוון מישורים: צריכה, ייצור והולכה, צריכה פרטית מול קיבוצית, צריכת אנרגיה לתחבורה, במבנים וכו'.

פוטנציאל החיסכון באנרגיה בישראל, על פי הערכות, הוא 20% ואף יותר מכך מכלל הביקוש לאנרגיה. מגוון האפשרויות האופרטיביות והצעדים התיאורטיים שניתן להפעיל על מנת לשמר אנרגיה הוא עצום. רק הפעלה של מספר רב של אמצעים תאפשר השגת היעד הרצוי. למטרה זו יש להקים רשות ייעודית לשימור אנרגיה הכפופה למשרד התשתיות. מוצע שלרשות זו תועברנה, בין השאר, כלל סמכויות האכיפה של צעדי שימור אנרגיה המצויים במשרדי ממשלה אחרים. בנוסף, כפי שמקובל במדינות רבות בעולם, כדאי להקים קרן למימון פעילויות בתחום שימור האנרגיה. תקציבי הקרן יגיעו מהפרשת חלק מהמחיר המשולם ע"י צרכנים עבור צריכת אנרגיה. הקרן תקדם פעילויות הממוקדות בצמצום צריכת האנרגיה ותחומי פיתוח ומעבר לאנרגיות מתחדשות.

מומלץ למקד את פעילות המו"פ בשנים הקרובות בנושאים הבאים:

- אנרגיה סולארית - טכנולוגיות מרוכזות (שת"פ אזורי) וטכנולוגיות מבוזרות (שילוב תאים פוטו-וולטאיים במבנים). יש צורך במאמץ מו"פ כבד ומכוון בתחום טכנולוגיות אגירת אנרגיה סולארית.
- טכנולוגיות להשלת עומסים וולונטרית.
- תאורה מתקדמת עתידית (LED).
- טכנולוגיות מימן בתחבורה – ביצוע מעקב.
- רוח, גלים, ביומאסה – חסרי פוטנציאל אסטרטגי רחב, אם כי אין להתנגד ליוזמות נקודתיות שונות.
- גרעין – נכון לזנח לפי שעה!

4. דיון

על מנת למקד את הדיון לנושא פורום זה הוצגו למשתתפים מראש מספר שאלות מנחות המובאות להלן:

- מהם נושאי המחקר באנרגיה החלופית בהם ראוי להתמקד בארץ?
 - מהי התרומה הצפויה למשק הלאומי?
 - כיצד להשיג הקטנה משמעותית בצריכת האנרגיה הלאומית?
 - כיצד להשיג הקטנה משמעותית בתלות ביבוא דלקים?
 - באילו נושאים באנרגיה החלופית יש לישראל יתרון יחסי?
 - באילו נושאים ניתן ליצור שיתופי פעולה בונים עם מדינות אחרות?
 - כיצד ניתן לממן בהיקף ראוי את המחקר באנרגיה חלופית בישראל?
 - כיצד לשפר את מעורבות התעשייה בישראל ותרומתה למחקר?
 - כיצד לשפר את נצילות ייצור והולכת החשמל?
- בנוסף, התייחסו הדוברים לתכנים שהועלו בהרצאות השונות.

אמנון סמיד, קב' AGS

כדי לספק את דרישות האנרגיה ודרישות איכות הסביבה של הצרכנים הביתיים והתעשייתיים, תוך שמירת בטחון מקורות האנרגיה, חייבת המדינה לקדם אסטרטגיה אגרסיבית למו"פ אנרגיה. יש להקים מרכזי מצוינות שיתמקדו ויתמקצעו כל אחד בתחום אחר של חדשנות בתחום האנרגיה – לייצור, לאגירה, לתחבורה ולבנייה חוסכת אנרגיה. במרכזים אלה יש לפתח טכנולוגיות חיוניות ובנות קיימא הן לטווח הקצר והן לטווח הארוך (ללא מקורות מחצביים). יש לעודד ולחייב שת"פ של מרכזי המצוינות עם גורמים תעשייתיים.

לצד, המדינה (ואף לא מדינה אחרת) טרם קיבלה החלטה אסטרטגית חד משמעית לפיתוח טכנולוגיה אחת (או מספר טכנולוגיות), שיאפשרו ייצור חשמל ואמצעי הנעה לתחבורה, בלא לזהם כלל את הסביבה ובלי להתבסס על מקורות מחצביים. הטכנולוגיות המוצעות כיום נותנות מענה חלקי בלבד (אף אם נסיר את החסמים הכלכליים).

נושא האנרגיה חצה זה מכבר את גבולות איכות הסביבה (אפקט החממה וזהום אוויר מקומי). גם הנשיא בוש וגם מנהיגים נוספים מציגים את הנושא כיעד של הביטחון הלאומי. בישראל, לנושא זה חשיבות אסטרטגית מיוחדת, עקב הצורך הקיומי לצמצם התלות של העולם בספקי מקורות אנרגיה מחצביים עוינים, כדוגמת איראן. לישראל יש היכולת המדעית-טכנולוגית להגיע להישגים ולהובלה בחלק מהתחומים הרלבנטיים, ובאלה יש להתרכז. אין כל סיבה מדוע ישראל לא תהיה מובילה בפיתוח חומרים וטכנולוגיות או יישומים אנרגטיים, וכן ליעול הייצור, החלוקה והשימוש.

יש להקים צוות אינטר-דיסציפלינרי מצומצם של מומחים, שיגבש תרחישים שונים לאסטרטגיה משולבת, שתציב את ישראל כמובילה בפיתוח טכנולוגיות אנרגיה עתידיות (בעיקר בתחום הסולארי וניצול ביומאסה). על הצוות יהיה להעריך, לפי מיטב הידע הקיים, מהם הדרכים האפשריות להשגת המטרה, מה המכשולים להשגתה, ולהעריך אילו משאבים יידרשו כדי להתגבר על כל מכשול. מדובר במהלך שעלינו להתחיל בו גם אם אין אפשרות להבטיח את הצלחתו. זו החלטה אסטרטגית קיומית.

חכמת ההמון: הודגם בעולם במקרים רבים, כי אינטגרציה "חכמה" של מקורות ידע רבים ככל האפשר

נותנת תוצאה ראויה יותר מתוצאת חשיבה של צוות מצומצם של מומחים. זה נכון כמעט בכל נושא שכרוכה בו אי וודאות רבה. אשר על כן, לאחר שהצוות האינטר-דיציפלינרי המצומצם יגבש תרחיש שונים, מן הראוי יהיה להרחיב את היריעה ולבחון בפורום רחב ככל האפשר כל תרחיש מוצע – האם יש סיכוי רב יותר שיתגשם מאשר שלא יתגשם (בעלות ולוח זמנים המוגדרים כחלק מהתרחיש). כמובן, שהנושא הקריטי לתקפות התוצאה הוא ביצוע אינטגרציה "חכמה" ואובייקטיבית ככל הניתן של הנתונים שיתקבלו מקהל המשיבים הרחב. ויש לכך פתרונות שלא זה המקום לפרטם.

אחת התוצאות האפשריות של אינטגרציה כזו תהיה הנחייה לגורמים המממנים (ממשלה, מוסדיים, פרטיים) היכן להשקיע את מירב המשאבים, וכך תוכל אף הממשלה ליזום קולות קוראים בנושאים ממוקדים (top-down בנוסף ל - bottom-up, כפי שהדבר מתבצע כיום).

שלושה אתגרים טכנולוגיים עומדים בפנינו:

1. פיתוח טכנולוגיות חלופיות לייצור חשמל והנעת כלי רכב, בלא תלות במקור דלק מחצבי.
 2. אינטגרציה של הטכנולוגיות הנקיות הקיימות (גם אנרגיה חלופית ומתחדשת וגם גז טבעי ופחם נקי וביומסה), באופן שיאפשר הפקת אנרגיה (חשמל, חום וקוגנרציה) בצורה כלכלית בנתונים הקיימים.
 3. פיתוח טכנולוגיות משלימות (כמו אגירת אנרגיה), שיאפשרו מימוש הטכנולוגיות הקיימות של אנרגיה מתחדשת בצורה כלכלית ועצמאית (Stand alone).
- אל לנו לוותר מראש על האתגר ולטעון כי הוא דורש תקציבים רבים מדי, שכן עד שלא תתבצע הערכת המאמץ המו"פי הנדרש, לא ניתן יהיה להעריך כמה משאבים יידרשו לכך. היתרון היחסי של ישראל הוא ההון האנושי- היצירתי, היזמי, המקורי. אם נגיע יחדיו לתובנות באשר לצרכי הפתוח- נוכל להשיג תמיכה, הן מהאמריקאים והן ממדינות נוספות, אשר יש להן אינטרס דומה.

עמי אלעזרי, מילניום אלקטריק

העולם נמצא כיום במהפכה ממשית – מהפכה שנייה מאז מהפכת המיחשוב של שנות ה-80. זוהי מהפכת התעשייה הפוטו-וולטאית שהתאפיינה בצמיחה שנתית של 15-20% בעשר השנים האחרונות. לאחרונה צמיחה זו עלתה לסדר גודל שנתי של 60%. היום מייצרים בעולם פי שניים סיליקון עבור התעשייה הפוטו-וולטאית מאשר עבור תעשיית האלקטרוניקה. בשנת 2005 היה מחסור בסיליקון בעולם עקב הדרישה המוגברת מצד התעשייה הפוטו-וולטאית. מאז מרץ 2004, חמש עשרה מדינות הכריזו על תוכניות Feed-in (הזנת חשמל לרשת ע"י יצרנים פרטים) בעיקר ע"י מערכות פוטו-וולטאיות עם תמריצים ניכרים: בגרמניה מקבל יצרן כזה עד 57 אירוסנט לקווי"ש וביוון - עד 55 אירוסנט לקווי"ש.

חברת מילניום אלקטריק בע"מ עומדת להקים תחנה של 2.5 מגהוואט בנגב עם קולטים המשלבים ייצור חשמל וחום – (PVT). מדובר בתחנה שמייצרת חשמל פוטו-וולטאי ואנרגיית חום המאפשרת הפקה של עוד כמות חשמל דומה ע"י המרה תרמית. ביוון בנו מתקן כזה בשילוב עם מערכת להתפלה סולרית. המים שיוצאים בטמפרטורה של 30 מעלות צלזיוס מועברים לסדרת קולטים בטור עד להגעתם ל-150-170 מעלות צלזיוס; משם הם מועברים לטורבינת קיטור בלחץ נמוך המפיקה חשמל. התוצאה היא 12-18 סנט לקווי"ש בתחנה גדולה, ללא סבסוד.

נושאי מחקר עתידיים שכדאי לפתח:

שמש – המשאב הכי גדול בארץ. זה תחום שבו התרומה הצפויה למשק מפיתוחו היא \$50 על כל דולר שיושקע בפיתוח. זה תחום שיכול לסייע בהפחתת הצריכה הלאומית של משאבים פוסיליים. לישראל יתרון יחסי באנרגית השמש וניתן ליצור שיתופי פעולה עם מדינות אירופה.

אלקטרוליזה סולארית לייצור מימן והתפלה סולארית – מדובר בנושאים שטרם נוצלו המשאבים בארץ לפיתוחם.

הפקת חשמל ב- reverse photosynthesis – שימוש בהנדסה ביומטרית והנדסה גנטית לייצור אנרגיה בצמחים וניצולה ליצירת חשמל.

יש להקדיש תשומת לב למימון מחקר בארץ: תוכניות מימון לקידום ההשקעה הראשונית, מתן תמריצים שונים לקידום יישום וכו'. ניתן ללמוד מן הדוגמה של דנמרק.

ד"ר אברהם ארביב, משרד התשתיות הלאומיות

מבקש להזכיר את מטרת הדיון – קביעת עדיפויות בתחום מחקר האנרגיה החלופית. יש מקורות שונים בארץ למימון מחקר האנרגיה: תקציב המו"פ של משרד התשתיות ב-2007 עולה על 7 מיליון ₪, ובנוסף יש תקציבים של משרדי המדע, התמ"ת, קרנות דו-לאומיות ומקורות פרטיים. השאלה היא איפה רצוי למקד את ההשקעה? איזה הגיון צריך להנחות מדינה קטנה, ברוכת מדענים אך ענייה במשאבים ורחוקה ממרכז העשייה? התעשייה בארץ בתחומים אלה מצומצמת ובאופן מסורתי נוטה להיות תלויה מאוד בממשלה. מדיניות משרד התשתיות היום מונחית ע"י העקרונות הבאים:

- השקעה רק במשאבים בעלי פוטנציאל לניצול בארץ (למשל לא גלי-ים, גיאותרמיות ושפלה וכו')
- ניסיון לתת לכל משאב סדר עדיפות מתאים, לפי הפוטנציאל שלו: יותר השקעות באנרגיית השמש מאשר באנרגיית רוח וכדומה. בגלל המחסור במים ובקרקע יש לתת עדיפות נמוכה למחקר בתחום הביו-דלקים, פרט לטיפוח זנים חדשים בעלי גבוהה יותר.
- ניסיון לעשות דברים ייחודיים: יש תחומים נחקרים מאוד בעולם, כגון PV - כל ידע שישראל תוסיף הוא זניח יחסית לנעשה בעולם. בתחומים אלה צריך לטפח ולשמור על יכולת מינימאלית כדי שיהיה אפשר לנצל את הטכנולוגיה בבוא העת (תאי דלק, מערכות פוטוולטאיות ועוד). צריך למטרה זו לטפח מרכזי מצוינות, בהשקעה קטנה, בתחומים שלהם חשיבות עתידית.
- שיטת ה-Bottom-up – יש בעיה להרים בארץ פרויקטים גדולים, לכן יש לתת מימון לרעיונות מבריקים בשלביהם ראשוניים, כאשר ההשקעה מצומצמת יחסית (חוקר, מעבדה). ברגע שמגיעים לפיילוטים גדולים והדגמות, זה נעשה יקר ומסובך.
- טיפוח שיתוף פעולה בינלאומי מתוך ידיעה שבישראל קיימת מגבלה של משאבים וריחוק ממרכזי העשייה בעולם ומהשווקים. יש לתת עדיפות לפרויקטים עם שת"פ בינלאומי על מנת למנף את המאמצים של ישראל – במצב כזה מתאפשר להצטרף לפרויקטים גדולים שעלותם רבה.
- עידוד שת"פ בין האקדמיה לתעשייה ובין הממשלה למגזר הפרטי (Public-Private Partnership). משרד התשתיות הלאומיות ישיק בקרוב יוזמה חדשה למימון פרויקטים חלוציים בשיעור של 50%.

זאב גרוס, משרד התשתיות הלאומיות

צריך להפריד בין שני חתכים בעולם האנרגיה: בחינת ישראל כצרכנית אנרגיה ובחינת ישראל כמדינה הרוצה להשתלב בתעשייה העולמית. לשני חתכים אלה יש מטרות שונות והם דורשים מימון שונה. כששואלים במה כדאי להשקיע - צריך לשים לב לאיזה חתך מתכוונים. צריך להתייחס להיבט נוסף בהתייחסות לאנרגיות אלטרנטיביות – אנרגיה המיועדת לתחבורה לעומת אנרגיה לצריכה כחשמל וחום. הגורם החשוב כיום בתחום האנרגיה לצריכה, שאינה תחבורה, אינו קשור לזיהום אוויר. מה שחשוב

בתחום זה הוא קיום רזרבת חשמל בזמני שיא על מנת לספק ביקושים – רזרבה מותקנת של 5%. בהקשר זה, אחד הנושאים שצריך לקדם בהקדם הוא חינוך להתנהגות חסכנית בחשמל – אפשר לחסוך כך בין 8-10%. בנושא של אנרגיה לתחבורה, שאלת המפתח היא הנושא הסביבתי.

מדינת ישראל החליטה שצריך לקדם את ישראל כמרכז לפיתוח תעשיות אנרגיה חליפית, כיום ההשקעה מצומצמת, התקווה היא כי השקעה זו תגדל תוך שיתוף גופים פרטיים, מוסדות בינלאומיים וכו'.

ישראל כמפתחת טכנולוגיות, ולא כצרכנית, נדרשת להתייחס לתחומים בהם יש לנו יתרון יחסי:

- ביומסה (יכולת מחקר חקלאי גבוהה, מחקר ויישם מפותח בביוטכנולוגיה),

- התחום הסולארי, כמובן.

- תחום אנרגית הרוח (יתרון באלקטרוניקה ומיחשוב, בתכנון מערכות בקרה, תכנון ותפעול מערכות).

בהקשר של תרומה גם למשק הישראלי, כלומר לצמצום הצריכה של משאבים פוסיליים, כדאי לפתח זני צמחים למטרת ביו-דלק למרות שבשל מגבלות קרקע ומים, לא בטוח שתהיה אפשרות לנצל פיתוחים כאלה בארץ.

צריך לפתח את ישראל כמרכז מצוינות כדי שתשמש לפיתוח טכנולוגיות תחת מרכזי מחקר קבליים –

Contract Research Centers

יש לבחון כיצד להגדיל את השימוש באנרגיה חליפית ע"י פרישת טכנולוגיות מתאימות תוך כדי תמרוץ.

צריך לבחון דרכים למימון מחקר. בגלל העובדה שמדובר במדינה קטנה עם משאבים כלכליים מצומצמים, ברור שאי-אפשר לקבל הכל מהמדינה. צריך לזהות את הגורמים העוסקים בתחום בעולם ולנסות להשתלב על ידי פיתוח שת"פ עם התעשייה ועם אוניברסיטאות אחרות בחו"ל. נדרשת יצירתיות בנושא זה ויכולת לשווק את המחקר ואת החוקרים.

שילוב התעשייה במחקר – צורך בדיאלוג בין עולם התעשייה ועולם המחקר. מה שלא ידוע – איך לשכנע את התעשייה שמבחינה עסקית כדאי לחסוך באנרגיה. לא ברור מה מונע מסקטור זה להיכנס לנושא האנרגיה.

מיכאל אפשטיין, מכון ויצמן למדע

אין היום אסטרטגיה ראויה במו"פ אנרגיה בישראל. אולי יש תכניות, אך אין השקעה של כסף. לעומת זאת יש הרבה כסף לננוטכנולוגיה וביוטכנולוגיה. ישראל אינה צריכה להתמקד רק בטכנולוגיות ליישום מקומי. יש מגוון רחב של דוגמאות שהמחקר בארץ מוביל אך היישום נעשה במקומות אחרים: פרמצבטיקה, ננו-טכנולוגיה, אנרגיה גיאותרמית (אורמת).

יש בעיה שאין לובי בארץ לקידום נושאי אנרגיה בגלל התחרותיות בין חוקרים. זה נובע בין השאר מהתחרות על תקציבים. פתרון אפשרי לכך הוא להקים צוות מומחים בינלאומי כדי שימליץ איזה תחומים כדאי לקדם וסדר עדיפות.

דגש מחקרי מיוחד צריך להינתן **לדלקים אלטרנטיביים ולסקטור התחבורה בכלל** – הסקטור התחבורתי הוא הסקטור הצרכני הגדול ביותר, עם 2.5 מיליון רכבים. סקטור זה צורך כ-6,500 מגהוואט – מעט פחות ממה שחברת החשמל מייצרת. זהו סקטור שהוזנח וצריך לחשוב איך חוזרים אליו באופן מסודר ומה דורש מחקר ופיתוח:

- רכב חשמלי – בעיית הסוללה – יכולת הטענה ופריקה, וכושר צבירה מוגבל: רכב חשמלי יכול היום לנסוע כ-80 ק"מ בין טעינות (ללא מיזוג אוויר).
- רכב היברידי – גם שם יש בעיות ואין לישראל יתרון יחסי במתן פתרונות לבעיות אלה.
- שימוש בדלקים אלטרנטיביים ברכבים קיימים – אלכוהול, ביו-דיזל, ביו-דלק – מגידולים מיוחדים. אפשר להשתמש בפירוליזה של אשפה, כולל באמצעות אנרגית שמש. אין בתחומים אלה השקעה

משמעותית במו"פ, למרות שיש סיכוי טוב להצלחה.

- שימוש במימן ממקורות מתחדשים לתאי דלק ורכבי מימן.
- לסיכום: אין כיום שום אסטרטגיה והכוונה למחקר בנושאים אלה.

פרופ' רחל בקר, הטכניון

כיצד להשיג הקטנה משמעותית בצריכת האנרגיה בארץ? **במגזר הבנייה** ניתן להשיג צמצום משמעותי. בניינים צורכים מעל 70% מהחשמל בארץ. יש גם אחוז מסוים של דלק לחימום (נפט או סולר) אשר לא נכנס לחישוב זה. רוב האנרגיה הולכת לאקלום ותאורת מבנים (17% לבתים פרטיים, 30% למבני ציבור, 10% לתעשייה). בהנחה שמרנית, אפשר לחסוך 20% מאנרגיה זו על ידי בניה נכונה. עיקר הגידול בצריכת אנרגיה בעתיד תבוא מכיוון של מבנים חדשים שיבנו, בעיקר למשרדים ומגורים. צריך לדאוג שמרבית הבנייה החדשה תהיה יעילה יותר אנרגטית מכיוון ששינוי הרגלי התנהגות של הציבור הוא תהליך איטי וכמעט בלתי אפשרי. יותר חשוב להשקיע בנושא זה מאשר בחינוך להתנהגות נכונה. הכוונה היא לתת לציבור אמצעים יעילים לשימוש ולדאוג שגם המערכת הממסדית תיישם ידע זה. היום הידע מפוזר מאד מכמה סיבות: סימפטום האקדמיה, המוסד שמזמין את המו"פ לא דואג לריכוז הידע ולקידום פרויקט לאומי.

באירופה קיים נושא של מבנים הצורכים אפס אנרגיה (zero energy buildings). זה כמעט בלתי אפשרי בארץ בשל האקלים החם, אך אפשר להתקרב לצריכת אנרגיה אפסית של מבנים. צריך לעודד שילוב נכון של תאורה טבעית ותאורה מלאכותית. אפשר להסתדר עם פחות תאורה ממה שאנו רגילים. מחקר על בתי ספר הראה שאפשר לחסוך עד 90% מהאנרגיה לתאורה בתכנון נכון. היישום מחייב איסוף נתונים ומעקב מסודרים ושילוב עם תצורות האנרגיה לחימום וקירור. כל עוד המחקר יישאר מבוזר, לא יהיה מעבר ידע לאומי לגבי יישום בשטחי הבנייה שעומדים להבנות. צריך לקדם נושא זה בהקדם. מוצע לייחד מפגש פרום האנרגיה של מוסד שמואל נאמן לנושא חיסכון באנרגיה בבניינים.

פרופ' אהרון רואי, אוניברסיטת בן גוריון

צריך לזכור שהרבה פעמים המחקר מוביל לחדשנות שמובילה להוזלת מחירים, לכן צריך להכיר בהזדמנויות לכך. ברוב המקרים זהו דבר ראשון בחשיבותו. נושא המו"פ – השאלה החשובה ביותר היא איך משקיעים ולא רק באיזה תחום. יש חשיבות רבה לשקיפות בכול הקשור להשקעה ומעקב אחרי מה שהושג במחקרים, ובכך לבחון כיוונים שונים. תיקון לגבי חשמל המופק בתחנות כוח סולריות-תרמיות בהן מוסיפים כמויות גז לשם הגברת התפוקה. המחיר הנכון לחשמל הסולארי, ללא תרומת הגז, הוא לפחות 20-25 סנט לקוואט"ש ובוודאי לא 10-11 סנט כפי שמציינים מפעילי תחנות אלה.

פרופ' יהושע דיין, הטכניון

תחום **הביומסה** הוא נושא שבדרך כלל פוסלים אותו כמקור אנרגיה משמעותי, אך מדובר בנקודת התחלה לטיפול בפסולת, בעיקר לפסולת אורגנית. אלה הם שני נושאים הקשורים זה לזה, מכיוון שאם יודעים לטפל בביומסה אזי יודעים לטפל גם בפסולת אורגנית עירונית, פסולת חקלאית וכו'. יש אפשרות לפתח נושאים אלה בארץ ואח"כ למכור את הידע בעולם. צריך לבחון פתרונות אנאירוביים ודרכים תרמיות (פירוליזה, גזיפיקציה). יש התחלה של מחקר בארץ אבל בגלל העדר תמיכה, יוזמות יוצאות להמשך פיתוח בחו"ל. הנושא של פסולת גם משתלב היטב עם מאמציהם של גופים ירוקים, חינוך להפרדה ומיחזור,

נושאים שהם חשובים גם לישראל. אי-אפשר לחכות שהכל יפותח בחו"ל, בעיקר כשהידע קיים בארץ וניתן לקדם כאן את הנושא.

פרופ' עדנה שביב, הטכניון

נושאי מחקר בתחום הבנייה: צריך לנסות לפתח אלמנטים חכמים לשימוש בתעשיית הבנייה החסכנית בצריכה אנרגטית. מדובר בתעשייה אדירה בארץ ובעולם. כמו כן, מכיוון שעיקר האנרגיה משמשת לאקלום ולתאורה, מדובר בנתח שוק יחסית גדול מאד. הגיע הזמן להעביר את תעשיית הבנייה מ-Low Tech לכיוון ה-Hi-Tech. אין בעיה לשלב חימום פסיבי ותאורה באלמנטים חכמים. מיזוג אוויר הוא יותר בעייתי, בעיקר בגלל נושא סילוק הלחות. אין קושי להמציא מתקנים המתאימים לאקלים יבש אך השילוב של אקלים חם ולח הוא בעייתי יותר בפיתוח אלמנטים חכמים. בעבר היתה לנו בטכניון הצעת מחקר של חוקרים מהפקולטות מכונות, אזרחית וארכיטקטורה לפיתוח אלמנטים חכמים המתאימים גם לייבוש אוויר באקלים חם ולח. לא קבלנו תקציב מחקר ולא המשכנו בזאת. רצוי לנסות להזיז את נושא האלמנטים החכמים כולל נושא זה של מיזוג אוויר וייבוש.

שמעון קליר, אראל אנרגיה

טכנולוגיות של בידוד שקוף מספקות תאורה, חימום מים ובידוד בפני חום. מדובר בטכנולוגיות המיועדות בעיקר לארצות קרות. מסתבר שהחזר ההשקעה לאלמנטים כאלה הוא בסדר גודל של 4-5 שנים, ללא כל מענק ממשלתי. בשנים האחרונות ברור שיש צורך לפתח אלמנטים שיודעים לתת בידוד שקוף, חימום מבנה וקירור. הצורך הוא בפיתוח טכנולוגיה וצריך להבין שלא מדובר במוצר ליצוא בלבד אלא גם לשימוש בארץ. אלמנטים מסוג זה יוכלו לשמש גם כתוספות במבנים קיימים. נושא נוסף שיש לפתח הוא נושא קירור בספיגה.

פרופ' עדנה שביב, הטכניון

יתרון נוסף של אלמנטים של בידוד שקוף הוא החיסכון במיזוג אוויר, הנובע מצמצום בצורך להשתמש בתאורה מלאכותית הגורמת גם היא לחימום המבנה.

ד"ר דני שגיא, קמ"ג

ישנה קבוצת נושאים שכדאי לפתח: מיזוג אוויר סולארי והתייחסות לכל הנושא של מיזוג אוויר בגלל הצורך במדינות חמות. התפלה סולארית, אגירה תרמית – יש לישראל היכולת לפתח מערכות אלה בארץ ואח"כ לייצא. יש מספר חברות שיכולות לספק חשמל ממקורות סולאריים ב-16 סנט לקו"ט"ש אך ישנן בעיות סטטוטוריות (מיקום ועוד).

פרופ' גרשון גרוסמן, הטכניון

משרד התמ"ת, שלרשותו תקציבי מו"פ נכבדים, רואה את נושא האנרגיה לא אחרת מאשר כל נושא טכנולוגי אחר. המדען הראשי של משרד התמ"ת תומך במחקרים שונים והקריטריון הוא חדשנות ופוטנציאל ייצוא. נשאלת השאלה, האם יש אפשרות למכור מוצר מבלי שנוסה קודם לכן בשוק המקומי? היפנים הצליחו במכירת מכונות בארה"ב אך ורק מכיוון שהיה להם ניסיון קודם רב ביפן עצמה, וכך יכלו לחדור לשוק האמריקאי ברגע הנכון. בישראל קיים שוק לטכנולוגיות הקשורות באנרגיה השמש וצריך לפתח אותן. כך ישראל תשמש כ- beta site וניתן יהיה לייצא ביתר קלות ובאמינות.

ד"ר יועד צור, הטכניון

ברור ששיתוף הפעולה עם התעשייה חשוב, אך כשמשקיעים במחקר ופיתוח צריך גם ללכת בכיוונים של סיכון גבוה ולתת לחוקרים ל'התפרע'. הפורום צריך לצאת בקריאה להגדיל משמעותית את ההשקעה במו"פ אנרגיה.

- אילו היו לי מיליון דולר להשקיע הייתי מעביר הכל למחקר נטו בסיכון גבוה. חצי היה מועבר כל שנה להקמת מעבדה חדשה בתחומי מחקר האנרגיה החלופית, ועל האוניברסיטאות היה להתחרות על סכום זה כשהניהול, למשל, בידי הקרן הלאומית למדע. כך היו נוצרים מרכזי מצוינות כמו המרכז של פרופ' עמנואל פלד (תאי דלק). על מנת שלתעשייה יהיה לאן לפנות כשהם מחפשים פתרון ספציפי, צריך להיות בסיס של מרכזי מחקר בנושאים שונים בתחום האנרגיה. המרכזים לא צריכים להיות מכוונים מלכתחילה למטרה מסוימת אלא למחקר נטו.
- שאר הסכום היה מחולק בין חוקרים. 50 אלף דולר למסטרנט זה תקציב יפה. החוקרים לא ייצרו מוצר אלא מסטרנטים ודוקטורנטים.

הבעיה היום היא שאין תקציבי מחקר. המחקר לא יכול להיות ממוקד רק בכיוונים שהתעשייה מתעניינת בהם, אלא הוא צריך לעסוק בעיקר בתחום המדעי.

זאב גרוס, משרד התשתיות הלאומיות

בהתייחס לדברי פרופ' גרוסמן: קשה להשוות מבחינת ניצול השוק המקומי כ-beta site בין ישראל לבין מה שאפשר לעשות במדינות כמו גרמניה ויפן, מכיוון שהשוק בארץ כל כך קטן. שלא כמו בעולם האלקטרוניקה והמיחשוב, שם השינויים מהירים מאד ולהשקעות קטנות יש החזר גדול, בתחום האנרגיה ההשקעות הראשוניות גדולות, זמן המחקר ארוך והשינויים איטיים יותר. אם בוחנים מה קרנות הון סיכון מוכנות להשקיע באנרגיות מתחדשות - היום הם רוצים לראות עסק עובד עם הכנסות מפרויקט. מדובר על פרק זמן שונה לגמרי. זה לא ריאלי בארץ.

ד"ר אופירה אילון, מוסד שמואל נאמן

חשוב להזכיר בהקשר זה כי אורמת פיתחה טכנולוגיות על חשבון המדינה; חץ אקולוגיה לא הייתה מוכרת מתקנים באוסטרליה בלי beta site בחירה. יש עוד דוגמאות. בתוכנית אגמים 10, העוסקת בהצגת נושא המים ופתוח טכנולוגיות לטיפול במים ושפכים כיעד לאומי אסטרטגי, יש חלוקה ברורה של המימון שיועבר למו"פ, ליישום ולהקמת beta sites וכו'. חברת מקורות קידמה תוכנית כזו בנושא המים. צריך לקדם משהו דומה בנושא אנרגיה חלופית. ברור שחברת החשמל לא תעשה את מה שמקורות עשו למשק המים אך ה-beta site הכרחי.

פרופ' יורם זבירין, הטכניון

חינוך טכנולוגי בבתי ספר ובאוניברסיטאות - צריך לתת דחיפה לפרויקטים של תלמידים וסטודנטים העוסקים בפיתוח פתרונות בתחום האנרגיה. המטרה אינה רק לקבל פריצות דרך כי אם בעיקר לשלב את הדור הצעיר בתחום.

ד"ר יונה סידרר, אוניברסיטת בן גוריון

שיפור מעורבות התעשייה במו"פ - יש מאגרי ידע גדולים בתעשייה, שאין ניצול מספיק של הפוטנציאל

שלהם לפיתוחים נוספים. בנוסף לכך, יש אנשים באקדמיה שיכולים לסייע במקומות שדרוש ידע נוסף בתעשייה. יש חשיבות, לדעתי, לעשות מיפוי של תחומי ומאגרי הידע השונים בתעשייה, לצרף אותם לבעלי הידע האקדמי וליצור בעזרתם תעשייה מתקדמת וכלכלית יותר. למשל, פיתוח וייצור רכיבים לתעשיית האלקטרוניקה ומערכות סולאריות נייחות ומוטסות, או שימוש בידע שהצטבר לניצול סיבים אופטיים ועוד.

ד"ר מרסל גוטמן, הטכניון

מתייחס לנושא הקטנת התלות בדלקים מיובאים: בכבישי ישראל נעים למעלה משני מיליון כלי רכב. יש בזבוז רב של דלק וגם הנזק הסביבתי גדול. במוסכים בארץ יש מחסור גדול באנשי מקצוע – עובדים כ- 40,000 איש ומתוכם פחות מחצי בעלי הסמכה. חשוב להכשיר בעלי מקצוע ולשפר את תחזוקת הרכב בארץ.

אמנון סמיד, קב' AGS

ברצוני לחזק את הצורך ב- beta sites בארץ להוכחת ייתכנות והדגמת טכנולוגיות שיפותחו כאן: קשה מאד לגייס השקעות ואחר כך לשווק טכנולוגיות ומוצרים בחו"ל מבלי להראות אותם בפעולה. אם לא נתעשת ונקדם תכניות רב שנתיות ונטפח מרכזי מצוינות במספר תחומים קריטיים כבר מהיום, לא יהיה לנו מה להציע בתחום האנרגיה הנקייה בעוד 10-20 שנה.

פרופ' זאב גרוס, הטכניון

ברור שההשקעה ביכולות מדעיות חשובה אך לא מדובר כאן על סיכון גבוה. השקעה בחינוך המדעי אקדמי היא השקעה קלאסית של ממשלה.

אמנון סמיד, קב' AGS

ברור שצריך לעודד שימור וחיסכון. אך הבעיה העיקרית הינה הצורך לבנות מן היסוד תשובה לאתגר של פיתוח אלטרנטיבה לנפט. כמו שהתעשייה הביטחונית התפתחה בגלל צורך ומצוקה, והתעשייה האווירית התפתחה הודות לאמברגו הצרפתי, כך אנו חייבים להכיר ולהפנים כיום שקיומנו תלוי, בין השאר, בניטרול היתרונות הגיאוגרפיים של אויבינו, שמחזיקים עתודות גדולות של נפט. כשם שהחזון האמריקאי הוביל לפיתוח פצצת האטום והביא לסיום מלחמת העולם השנייה, כך עלינו לנצל את החזון, היצירתיות והשאפתנות הטכנולוגית ולנטרל את אויבינו- בלי שפיכות דמים ועם תועלת ממשית לפיתוח בר קיימא בעולם.

זאב גרוס, משרד התשתיות הלאומיות

ההבדל בינינו לאירופה הוא הדחיפה קדימה שלנו – חייבים למצוא פתרון מהר כי אין בישראל תחליף מקומי שיכול לשמש מקור אנרגיה. באירופה יש תחליפים ולכן שם הדחף מבוסס על המניע הסביבתי.

אמנון סמיד, קב' AGS

המו"פ – מלבד ובמקביל לנושא המרכזי ו"הכבד" של פיתוח חלופה אולטימטיבית לנפט, צריך להתמקד בשני כיוונים עיקריים:

א. שידרוג הטכנולוגיות החלופיות הקיימות, כדי לשפר בצורה משמעותית נצילות וביצועים ולהפחית

עלויות ייצור.

ב. שידרוג הטכנולוגיות הקונבנציונאליות, כדי להגיע למצב של ייצור חשמל ממקורות מחצביים בתהליכים נקיים ככל האפשר, תוך שאיפה להתקרב ל"אפס פליטות" Near zero emissions.

וספציפית, נושאים לדוגמה :

1. פיתוח חומרים ותהליכי ייצור זולים עבור תאים פוטו-וולטאיים.
2. ניצול נקי של פחם וביומסה
3. פיתוח דלקים ביולוגיים בעיקר מזבל ופסולת.
4. פיתוח "ממקדים" משופרים ומדוייקים יותר של קרינת השמש בתהליכי ייצור זולים ושיפור מערכות העקיבה.
4. פתרון כלכלי לאגירת אנרגיה סולארית.
5. Zero Energy Buildings

פרופ' עדנה שביב, הטכניון

ישראל כ- beta site בהקשר של אלמנטים חכמים בתעשיית הבנייה : יש בארץ לא מעט תעשיות שיכולות לשמש כ- beta site לפני ייצוא.

ד"ר מרסל גוטמן, הטכניון

צריך לקדם את השוק של אגירת חום. מפעל שמייצר עודף אנרגיית חום יכול להעביר אותה למפעל אחר שזקוק לה בתהליכי ייצור. לשם כך צריך לקדם מאגרי מידע מתאימים. משרד התעשייה והמסחר צריך לטפל במאגרי מידע מסוג זה וליצור מצב של שוק לנושאים אלה..

5. סיכום ומסקנות

מחקר ופיתוח בתחום האנרגיה החלופית יתקדם בישראל אם, ורק אם, תכיר המדינה בתחום זה כתחום בעל חשיבות אסטרטגית.

נדרשים מימוש החלטת הממשלה בדבר פיתוח בר קיימא (ראה נספח 1), והצבת יעדים לאומיים שאפתניים לנושא החיסכון באנרגיה ולשימוש במקורות אנרגיה מתחדשים (ולא אחוז שולי של 2% שמדינת ישראל אפילו בו לא מצליחה לעמוד), כמקובל בארצות מפותחות בעולם (25% בארה"ב עד שנת 2025, 78.1% באוסטריה, 20.1% ביוון, 13.2% באירלנד עד שנת 2010 ועוד). קיים מגוון נושאים בתחום האנרגיה החלופית אשר ניתן וראוי לקדם בהם מחקר בישראל. מערכת השיקולים לקביעת סדר העדיפויות במתן תמריצים והשקעה במחקר צריכה להבחן לאור מספר עקרונות:

ראשית, האם מדובר בטכנולוגיות המתאימות ליישום ושימוש במשק המקומי או שמחקר בנושא מסוים מיועד בעיקר לשווקים חיצוניים? האם פיתוח טכנולוגיות בתחום הנבדק יתרום גם לשינוי המגמות בצריכת אנרגיה במשק הישראלי? אין בכך סיבה לפסול קידום מחקר בנושא כזה או אחר, אך יתכן שסימון שוק המטרה העתידי יכול לפתוח אפיקים מימוניים נוספים הן באמצעות פניה למכרזים בינלאומיים, קיום שת"פ עם גופי מחקר חיצוניים ופנייה לתעשייה מקומית ובינלאומית בכדי ליצור שיתופי פעולה שונים. קידום נושא זה משמעותי במיוחד בארץ כאשר נמצאים בשלבים מתקדמים יותר, בהם מגבלות המשאבים המקומיים יכולות לעיתים להיות מחסום להמשך פיתוח.

שנית, יש להבדיל בין פיתוח טכנולוגיות ומוצרים הקשורים בצריכת אנרגיה בסקטור התחבורה לבין צריכת אנרגיה חשמלית ואנרגית חום בשאר הסקטורים. לכל אחד מתחומים אלה יש נקודת מוצא שונה המחייבת התייחסות כאשר נעשה ניסיון להשוות בין תחומי מחקר שונים ולבנות סדר עדיפות להשקעות.

בתחום התחבורתי, נקודת המוצא היא הניסיון לצמצם השפעות סביבתיות במקביל להעלאת יעילות השימוש בדלקים שונים.

צריכת אנרגיה כחשמל או חום באה לתת אלטרנטיבה לשימוש במגוון משאבים פוסיליים, שברור כי מאגריהם מוגבלים. ההשוואה מבוססת בעיקרה על העלות לייצור קוטי"ש, אלמנטים של צריכת שטח וצריכת משאבים אחרים, אשר אינם זמינים במידה שווה בכל מקום (רוח, שמש וכו') וכן יעילות הניצול של משאב זה או אחר.

נקודה נוספת היא ההתייחסות לתחומים אשר בהם יש לישראל יתרון כזה או אחר במחקר על פני ארצות אחרות. בתחומים רבים כבר נעשה בעולם מחקר רב, אך דווקא בשלבי התכנון והיישום יכולים להיות לישראל יתרונות בתחום הפיתוח של מערכות אלקטרוניות, מערכות מחשוב ומערכות נוספות הנדרשות בשלבי תכנון ויישום טכנולוגיות, בעיקר כאשר מדובר על מערכות בקני"מ גדול.

על רקע זה יש לבחון תחומי מחקר, שהועלו על ידי מומחים שונים בפורום זה, בבחינת הכיוונים שכדאי לישראל להשקיע בפיתוחם:

שמש: בהקשר זה יש להפריד בין שימוש במערכות סולאריות-תרמיות ומערכות פוטו-וולטאיות לייצור אנרגית חשמל, אנרגיית חום וכן לייצור משולב (קוגנרציה).

נושאים חשובים בתחום זה: תאים סולאריים זולים, מערכות אגירה הן לחום והן לאנרגיית חשמל. **רוח:** תחום זה מפותח למדי בעולם, בעיקר בארצות בצפון אירופה כמו דנמרק וגרמניה. התרומה של ישראל בהקשר למחקר ולפיתוח בתחום זה יכולה להתבסס על פיתוח מערכות בקרה ותפעול בהן ניתן להיעזר ביתרונות המחקר המקומי בתחומי מחשבים, אלקטרוניקה וכו'. כמו כן, יש לשקול קידום

מערכות יעילות לאזורים בהם מהירות הרוח השנתית הממוצעת היא נמוכה מהמקובל במערכות היום. מערכות כאלה יגדילו משמעותית את תחום האזורים המתאימים להתקנה ואף יאפשרו להתקין מערכות בקרבה גדולה יותר למרכזי צריכה. נושא חשוב בתחום זה הוא פיתוח מערכות אגירת חשמל זולות ויעילות ע"מ למצע את ההספק המופק מהרוח ולשפר את איכותו.

ביו-דלקים: היתרון המשמעותי של ישראל בתחום זה הוא המחקר החקלאי והביולוגי המפותח הקיים בה. כדאי בהקשר זה לבחון פיתוח זנים שונים של צמחים מתוך הבנה כי הצלחת הישגים בתחום זה, תבחן ככל הנראה בשוק הבינלאומי ולא בשוק המקומי הסובל ממחסור במשאבי קרקע ומים. בנוסף, כדאי לקדם פיתוח טכנולוגיות לניצול ביו-דלק מכיוון שהטכנולוגיות דומות מאד בין תחום זה ותחום ניצול הפסולת האורגנית והחקלאית לייצור אנרגיה.

אגירת אנרגיה: השימוש במערכות הפקת אנרגיה ממקורות מגוונים. יש עדיין מקום רב לפתח אמצעים יעילים יותר לאגירת אנרגיה.

בנייה משמרת אנרגיה: כדאי לקדם בארץ פיתוח אלמנטים חכמים המשלבים חימום, בידוד, תאורה ולאור האקלים הישראלי החם והלח גם את נושא הקירור. ישראל יכולה להוות beta site בתחום זה ונפח השוק בארץ ובחו"ל הוא אדיר בהתחשב בצריכת האנרגיה המיוחסת במבנים לאקלום ותאורה.

המלצות

פורום האנרגיה שהתכנס במוסד שמואל נאמן לדון בצרכי המחקר בתחום האנרגיה בישראל לא התיימר לקבוע, בשלב זה של הדיונים, סדרי עדיפויות לתחומי המחקר באנרגיה חלופית. הפורום עסק בעיקר בבעיות התקצוב של המחקר העוסק באנרגיה סולארית, אך מתוך הדיון עלו גם נושאים ומסקנות לגבי תחומים אחרים.

1. ממשלת ישראל מחויבת להקצות משאבים משמעותיים למימון מחקר ופיתוח בתחום האנרגיה.
2. המימון חייב להינתן גם לשלבי הגישוש (מימון נמוך יחסית בתנאי סיכון גבוהים) וגם לשלבי היישום (מימון נכבד יותר עם פוטנציאל יישום גבוה).
3. מדיניות ההשקעות במו"פ חייבת להיות ברורה ושקופה, עם מעקב אחר ההישגים והפקת לקחים מתמדת.
4. מימון המחקרים חייב להיות ארוך טווח כך שקבוצה הבוחנת טכנולוגיה מסוימת תהיה בטוחה שתקציב המחקר לא יסתיים לאחר שנה אחת.
5. מוצע להקים צוות בשיתוף משרדי הממשלה הרלוונטים לקידום נושא האנרגיה ולהכין תוכנית אסטרטגית ייעודית לתחום, בדומה לתוכנית אגמים 10 העוסקת במשק המים.

6. רשימה חלקית של מקורות

1. Solar America Initiative (SAI):
http://www1.eere.energy.gov/solar/solar_america/
2. U.S. Department of Energy: Basic Research Needs for Solar Energy Utilization – Report on the Basic Energy Sciences Workshop on Solar Energy Utilization, April 18-21, 2005
(http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/SEU_rpt.pdf)
3. Clean-Energy Trends 2007: Report by Clean Edge, Inc, USA
(<http://www.cleandedge.com/reports-trends2007.php>)
4. Renewables Global Status Report 2006. REN 21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century
(<http://www.ren21.net/globalstatusreport>)

נספח 1:

עיקרי החלטת הממשלה בדבר תכנית אסטרטגית לפיתוח בר קיימא בישראל הדנים בנושא האנרגיה והאנרגיה המתחדשת בכלל, ומו"פ בתחום בפרט.

החלטה מס. 246 של הממשלה מיום 14.05.2003.

מחליטים (פה אחד):

1. מדיניות ממשלת ישראל תתבסס על עקרונות של התנהלות פיתוח בר-קיימא המשלבים: כלכלה דינמית, שימוש מושכל במשאבי טבע, הגנה על מערכות אקולוגיות ומתן שוויון הזדמנויות לכל. זאת - על מנת לענות על הצרכים של הדור הנוכחי וצורכי הדורות הבאים, ובהמשך להחלטת הממשלה מס' 2426 מיום 4 באוגוסט 2002, וברוח החלטות הפסגה העולמית לפיתוח בר קיימא שהתקיימה ביוהנסבורג, דרום אפריקה (אוגוסט-ספטמבר 2002).

2. הממשלה רושמת לפניה את "תוכנית היישום" שהתקבלה בהסכמה כללית בפסגה העולמית ביוהנסבורג 2002, המתבססת על תוכנית הפעולה משנת 1992 (פסגת כדור הארץ בריו דה-ז'נרו, ברזיל – AGENDA 21) ותפעל לביצוע מרכיביה השונים בישראל, ככל שהם תואמים את תנאי הארץ והיכולת הכלכלית למימון הפעולות הנובעות מהתוכנית.

3. ברוח "תוכנית היישום" יכין כל משרד ממשלתי תוכנית אסטרטגית לפיתוח בר-קיימא שתכלול, בין היתר, תוכנית פעולה משרדית, דרכי יישום, מקורות מימון מתקציב המשרד, יעדים בני מדידה ותאריכי יעד להשגתם. התוכנית תקבע כלים לאיתור פעילויות שאינן עומדות בקנה אחד עם עקרונות פיתוח בר-קיימא.

4. התוכנית האסטרטגית לפיתוח בר-קיימא תתייחס לתקופה של עד שנת 2020, תוגש לאישור הממשלה עד סוף שנת 2003 ותעודכן אחת ל-3 שנים. התוכנית תוצג בפני הציבור במהלך הכנתה. עם סיום הכנתה תוגש התוכנית לממשלה על ידי השרים ותובא לידיעת הציבור.

5. התוכנית האסטרטגית לפיתוח בר-קיימא תתייחס למטרות של שרי הממשלה המפורטים להלן ובהתייחס למקורות התקציביים העומדים לרשות המשרד בתקציב המדינה, הכל תוך בחינה כלכלית של התועלת הנובעת מהתוכנית למשק המדינה:

שר התשתיות הלאומיות

בנושא אנרגיה

-נקיטת צעדים לשיפור היעילות והנצילות של מקורות האנרגיה השונים להפחתת אובדני אנרגיה ולקידום החיסכון באנרגיה במגזר הציבורי ובמגזר הפרטי.
-כפי שנקבע בהחלטת הממשלה מס' 2664, החל משנת 2007 יופק חשמל בכמות של לפחות 2% מכמות החשמל המסופק לצרכנים על ידי מתקני אנרגיות מתחדשות. המשרד יפעל לעידוד השימוש בטכנולוגיות ואמצעי שימור אנרגיה.
-הסדרת קבלת חשמל לרשת ההולכה ממקורות אנרגיה מתחדשים בתנאים שיעודדו ביזור ייצור חשמל ויקטינו מרחקי הולכה.
-עידוד מחקר ופיתוח בנושא אנרגיה מתחדשת על מנת להגיע ליעדים שקבעה הממשלה.
-הטמעת עלויות חיצוניות, סביבתיות וחברתיות בבחינת פרויקטים של תשתיות.

שר התעשייה, המסחר והתעסוקה

-קידום יעילות השימוש בחומרי גלם, במים, באנרגיה ובקרקע במגזר העסקי.
-קידום עמידת תהליכי ייצור ומוצרים ישראלים בתנאים ובתקנים הסביבתיים הנדרשים בשווקים הבינלאומיים.
-קידום וסיוע לטכנולוגיה ישראלית המיישמת פיתוח בר-קיימא ומתאימה ליישום בישראל ובמדינות אחרות.
-שילוב שיקולים סביבתיים וחברתיים בגיבוש הסכמי סחר וביישומם.
-קידום מו"פ של טכנולוגיות ישראליות לפיתוח בר-קיימא באמצעות החוק לעידוד מחקר ופיתוח בתעשייה.
-קידום תהליכי ייצור נקי ותמיכה במרכז לייצור נקי.
-קידום מחקר ופיתוח לטכנולוגיות המתאימות ליישום פיתוח בר-קיימא בישראל ולשיווק במדינות אחרות.

שר החקלאות ופיתוח הכפר

-נקיטת צעדים להפחתת השימוש ושימוש מושכל ומפוקח בכימיקלים לדישון ולהדברה, תוך ציון מדדים ויעדים לביצוע הפחתה.
-נקיטת צעדים לזירוז מעבר להשקיה בקולחין ובאיכויות שלא תפגענה בסביבה.
-נקיטה באמצעים לעידוד חקלאות חסכונית במשאבים.

-עידוד חקלאות אורגנית.
-מתן תמריצים לעידוד התחזוקה של שטח פתוח ראוי לעיבוד בכדי לשמר את הנוף החקלאי, במסגרת רפורמה במשק המים.
-נקיטת אמצעים לחיסכון במים ופיתוח חקלאות מותאמת למשאבים הקיימים.

שר הפנים

-פרסום הנחיות לאיסור ומניעת אישורי תוספת יחידות דיור ובנייה במקומות שאין בהם מערכת לאיסוף שפכים וטיפול בהם, למעט בתנאים חריגים ביותר באישור שר הפנים, בהתייעצות עם השר לאיכות הסביבה.
-בחינת אפשרות לשילוב עקרונות "בנייה ירוקה" במסגרת חוק התכנון והבנייה.
-מתן תמריצים להטמעת עקרונות פיתוח בר-קיימא בפעילויות הרשויות המקומיות, תוך קביעת מדדים ליישום.
-הבטחת קיומם של הליכי תכנון לרבות שיתוף הציבור בתכנון על פי כל דין.

שר החוץ

-סיוע בקידום אשרור אמנות בין לאומיות בנושאי סביבה ופיתוח בר-קיימא.
-בדיקת אפשרות הכללת נושאי פיתוח בר-קיימא בסיוע החוץ של ישראל.
-קידום שיווק טכנולוגיה ישראלית בתחומי איכות הסביבה ופיתוח בר-קיימא, בין היתר, חיסכון במים, הפחתת שימוש בכימיקלים, אנרגיה מתחדשת והפחתת הפגיעה בשכבת האוזון.
-קידום ויצירת שותפויות בינלאומיות לחילופי ידע ואמצעים בנושאי פיתוח בר-קיימא וגיוס מימון באמצעות שותפויות בינלאומיות אלה.
-קידום שיתוף פעולה עם ארגוני האו"ם השונים לשם השגת מימון לפרוייקטים שונים, שמטרתם יישום עקרונות של פיתוח בר-קיימא.
-הטמעת עקרונות של פיתוח בר-קיימא בתוכניות פיתוח אזוריות, ביחסים עם מדינות ערב ובפרוייקטים משותפים עם הרשות הפלסטינית.
-שילוב עקרונות של פיתוח בר-קיימא באמנות בינלאומיות דו-צדדיות.

שר המשפטים

-סיוע בקידום חקיקה סביבתית, וכל חקיקה אחרת המיועדת לקדם פיתוח בר-קיימא, כולל בדיקת השפעות על איכות הסביבה, ומשמעויות לגבי פיתוח בר-קיימא, בחוקים הנוגעים בדבר.
-הטמעת שיקולים של הגנה על הסביבה וקידום פיתוח בר-קיימא, בחקיקה בתחומים ספציפיים.

שר האוצר

-בדיקת אפשרות ביטול סובסידיות ותמריצים שאינם תואמים עקרונות פיתוח בר-קיימא, לרבות תמריצים לשימוש יתר במים, אנרגיה, קרקע וחומרי גלם ושימוש ברכב פרטי.
-בחינת שיטות לקביעת דמי שימוש במשאבי טבע שאין להם מחיר שוק, חישוב עלויות נזקים ופיתוח המנגנונים לגבייתם.
-בחינת מתן עדיפות ל"רכישה ירוקה" באמצעות דרישות סביבתיות שיוטמעו במכרזי החשב הכללי.
-בחינת הטלת חובת דיווח שנתי בהיבטים כלכליים-סביבתיים-חברתיים, על חברות ציבוריות, לרבות הצגת הדו"ח לידיעת הציבור - להעביר למשרד האוצר, באחריות הרשות לניירות ערך.

שר הבינוי והשיכון

-קידום ויישום עקרונות של בנייה ירוקה בבנייה ציבורית.
-ייזום, תכנון והקמת פרויקטים בהתבסס על שיקולי פיתוח בר-קיימא.
-הטמעת אמצעים לחיסכון באנרגיה ובמים בתוכניות ובמכרזי הבנייה לסוגיהם.

שר התחבורה

-האצה ויעול הליכי פיתוח רכבת ישראל בתשתיות לתחבורה ציבורית, תוך שמירה על עקרונות פיתוח בר-קיימא.
-קידום שימוש בדלקים נקיים, לרבות גפ"ם וגז טבעי בתחבורה לסוגיה.
-קידום נגישות תחבורתית המאפשרת שוויון לכלל האוכלוסיה.
-עידוד מערכות תחבורה לא ממונעות.

שר המדע והטכנולוגיה

-ייזום והקמת מרכזי ידע תשתיתיים בתחומים הקשורים בפיתוח בר-קיימא.
-ייזום ומימון מחקרים בעלי פוטנציאל ליישום פיתוח בר-קיימא.
-בחינת דרכים לשילוב פעילות מחקר ישראלית בנושא פיתוח בר-קיימא ו"תוכנית היישום" במסגרת התוכנית השישית של המו"פ האירופי.

השרה לאיכות הסביבה

- נ-נקיטת צעדים לעצירת הדרדרות המגוון הביולוגי, שיקום מערכות אקולוגיות שנפגעו על ידי פעילות אדם. פ-פיתות וקביעת שיטות להטמעת עלויות חיצוניות סביבתיות בהערכת פרויקטים לאומיים, בשיתוף עם משרד האוצר.
- פעילות לקיומם של תנאים סביבתיים נאותים (בנושאי איכות אוויר, איכות מים, רעש, קרינה, חומרים מסוכנים וכיוצא בזה) לכלל התושבים, ולהתפתחות של בעלי חיים וצומח.
6. המנהל הכללי של כל משרד יהיה אחראי לביצוע החלטה זו במשרדו וימנה בעל תפקיד בכיר שיפעל להכנת תוכנית אסטרטגית לפיתוח בר-קיימא של המשרד וליישומה.
7. כל שר שבתחום אחריותו רשות סטטוטורית או חברה ממשלתית, יפעל לקידום הכנת תוכנית אסטרטגית בגוף הנוגע בדבר, בין כנגזרת מהתוכנית המשרדית ובין באופן עצמאי.
8. המנהלת הכללית של המשרד לאיכות הסביבה תקים צוות מנכ"לים, בהשתתפות המנהלים הכלליים של כל משרדי הממשלה, נציגי המגזר העסקי, ארגונים סביבתיים וחברתיים לא ממשלתיים, השלטון המקומי והאקדמיה, על פי קביעת השרה לאיכות הסביבה.
- תפקידי צוות המנכ"לים יהיו, בין היתר, ללוות את הכנת התוכנית האסטרטגית ולהציע עקרונות ודרכים לגיבוש אסטרטגיה משותפת בנושאים הנוגעים ליותר ממשרד או סקטור אחד.
9. המנהלת הכללית של המשרד לאיכות הסביבה תקים מוקד מקצועי שיייע לגורמים השונים בהכנת התוכנית האסטרטגית, בהכשרה ובאיסוף חומר מקצועי רלבנטי, בזהוי נושאים משותפים או בעייתיים בין משרדים או מגזרים שונים ובהצעת דרכים לטיפול בהם.
10. השרה לאיכות הסביבה תגיש לממשלה דו"ח חצי שנתי על ההתקדמות ביישום ההחלטה.

נספח 2: אופקים חדשים לאנרגיה מתחדשת

ע"י פרופ' דן זסלבסקי

יו"ר המועצה הלאומית למחקר ולפיתוח

יוני 2007

רקע

עבודה זו נכתבה לשם הצגה ב- 26.2.2007 במסגרת סדנא שקיים מוסד נאמן בטכניון, סדנא חמישית בסדרת מפגשי "פורום אנרגיה" המוקדשים לדיון בנושאים בעלי חשיבות לאומית בתחום זה. הסדנא לעיל נערכה בשיתוף פעולה עם משרד התשתיות הלאומיות והמועצה הלאומית למחקר ולפיתוח והוקדשה לנושא צרכי המחקר באנרגיה חלופית בישראל. עבודה זו הוגשה כהרצאת הפתיחה לסדנא והתקבלה באהדה רבה על ידי מרבית המשתתפים.

תקציר

א. ניתן לעשות ולהשיג הרבה מאוד בהקטנת השימוש בבעירה של דלק. ניתן להשיג זאת קודם כל על ידי ייעול השימוש באנרגיה. ההישג האפשרי הוא אפילו בחסכון של 20% מכל צריכת הדלק. זו צריכה להיות המטרה המיידית של החברה האנושית וכל מאמץ יש להשקיע בהשגתה, השקעה שיכולה להיות מוחזרת תוך 5 שנים.

ב. ניתן להפיק בארץ ע"י פירות השמש הקלאסיים - רוח וביו-מסה, כדי 20% מהחשמל, שהם לא פחות מ- 6% של סה"כ האנרגיה בישראל.

ג. אספקת האנרגיה הסולרית הרבה ביותר יכולה להיות בעתיד הקרוב באספקת חום מקרינת השמש וזאת לשימושים ביתיים ותעשייתיים. עם כמה שיפורים טכנולוגיים ועם תקנות מתאימות, דבר זה יכול להיות כמעט מידי ועד כדי עשרות אחוזים מצריכת האנרגיה. הערכה שנעשתה בישראל ובגרמניה מצביעה על השגה אפשרית של 30% מהשימוש בדלק.

עד כאן האפשרויות מסתכמות בחיסכון קרוב ל- 60% בשימוש בדלק, וזאת בעלויות שמתחרות במחירי האנרגיה הקונבנציונאלית.

מצערת העובדה כי החלטת ממשלת ישראל להמיר 2% מהאנרגיה עד שנת 2007 לאנרגיה מתחדשת לא בוצעה, וכי כמעט דבר לא נעשה בתחום זה. גם היום התקבלו החלטות לכאורה נועזות יותר, אך בינתיים אין אפשרות להצביע על תוצאות.

ד. טכניקה מהפכנית חדשה שפותחה ונקראת "ארובות שרב" משתמשת בפירות השמש שלא נוצלו עד היום. בטכנולוגיה זו ניתן לייצר את החשמל הזול ביותר. הפוטנציאל הוא כדי כפליים מצריכת מדינת ישראל בחשמל וכ- 15 פעמים כל צריכת העולם כיום בחשמל.

ל"ארובות שרב" 8 מוצרי לוואי מוחשיים נוסף על ייצור חשמל זול ביותר. בעזרת הטכנולוגיה ניתן גם לספק כמויות ענק של מי ים מותפלים בחצי העלות בהשוואה לאוסמוזה הפוכה כיום (כלומר, בעלות חשמל בישראל של כ- 4-2.5 סנט לקו"ש ועלות המים כ- 25 סנט לקוב מיים). מכאן ניתן להשקות את מדבריות העולם ובהם לגדל לא רק מוצרי צריכה חקלאיים מסורתיים אלא תחליפים לדלקים לצורך

תחבורה. נמצא שהטכנולוגיה של "ארובות שרב" מקרבת אותנו לתחלופה מלאה של כל צריכת האנרגיה ללא הזדקקות כלל לדלק פוסילי.

הטכנולוגיה החדשה של "ארובות שרב" היא ההתפתחות החשובה ביותר שנראית היום לשימוש כמעט לאלתר, ואין כרגע חלופה טובה יותר בעתיד הנראה לעין בעשורים הקרובים.

ה. חלק מכריע של מאמצי המחקר כיום והוצאות של מיליארדי דולרים משמשים כיום לנושאים שעל פניהם נראים כחסרי תועלת בעיקרון, אם זה למטרה הראשית שלנו להחלפת מסות גדולות של דלק במקורות אנרגיה אחרים. אין כל ספק שמחקר בתחומים השונים ישא פירות שונים, אך כיום אין זה נראה שהם יספקו מסות גדולות של תחליפי דלק בעתיד הקרוב.

בין כל הטכנולוגיות המשתמשות בקרינת השמש לייצור חשמל אין אף אחת שעומדת היום במבחן הכדאיות הכלכלית הפשוטה. אף אחת מהן לא מספקת חשמל ליותר מ - 8-6 שעות ביממה ללא תוספת דלק ל - 2/3-3/4 הנותר של היממה ו/או מנגנון אגירה יקר ובזבזני. שטח הקרקע הדרוש הוא כ - 6000 מ"ר לייצור מיליון קו"ש בשנה, פי 16 יותר מאשר ב"ארובות שרב".

ו. **רוב המפעלים הכושלים בישראל מתקיימים כתוצאה משילוב בין חוסר הבנת הנושא והתעלמות מהאמת מצד בעלי עניין.** פרויקט "תעלת הימים" הוא הדוגמא החמורה ביותר לשילוב הזה.

ז. ישנם עוד מושגים שעל פניהם ניתן לדחות אותם. אחד מהם הוא "אנרגיית מימן". מימן איננו מקור אנרגיה. דרושה אנרגיה כדי לייצר אותו וייצור זה עולה בכסף ובאנרגיה. האחסון של המימן גם הוא לא זול. מושג אחר נפוץ הוא של "מקור אנרגיה מפוזר". הוא אמור להיות עשוי על ידי תאים פוטו-וולטאיים מפוזרים על גבי גגות של מבנים ומחוברים לרשת כללית. אפשר להוכיח שאלה אינם מעשיים, לפחות כאשר מדובר על אספקת מסות גדולות של חשמל בהשוואה לשיטות קיימות.

מצערת העובדה שכמעט כל אנשי הסביבה נושאים את דגל האנרגיה הסולרית ולא מבינים היטב מה מסתתר מאחורי מושג זה. הם לא מודעים כלל לחלופות הזולות והנוחות האחרות הקיימות. חמור מזאת, הם מעלים כל מיני התנגדויות לאנרגיית רוח, לניצול פסולת וחימום סולרי.

תוכן עניינים

1. מהי הסיבה שהאדם עזב את עידן האבן?
2. מהן הסיבות שעלינו לבחון מעבר למקורות אנרגיה מתחדשים?
 - 2.1 מאגר סופי של דלקים פוסיליים
 - 2.2 עלויות גבוהות של הדלקים
 - 2.3 הנזק שבניודי מחירים של הדלק
 - 2.4 הוצאות הגנה
 - 2.5 נזקים סביבתיים עקב שריפת דלקים
 - 2.6 השפעות סביבתיות ופרוטוקול קיוטו
 - 2.7 אובדן חופש התמרון במאבק בין התרבויות
 - 2.8 קריטריון אחר להחלטה בדבר טכנולוגיה חדשה למקור אנרגיה מתחדשת עם הצדקה כלכלית קלה להוכחה ומחוץ לוויכוח
 - 2.9 כמה אנרגיה חליפית מתחדשת זמינה ומה עלותה?
3. דרכים שונות להקטין את תלותנו באספקת דלק פוסילי ובשריפתו
 - 3.1 קבוצות של מקורות
 - 3.2 שימוש יעיל באנרגיה
 - 3.3 ניצול פירות השמש
 - 3.4 קרינת השמש לאספקת חום
 - 3.5 סיכום עד כאן / ללא שימוש בטכנולוגיה של "ארובות שרב"
 - 3.6 "ארובות שרב" - צורה מהפכנית חדשה לנצל את פירות השמש
 - 3.7 תועלות נוספות ומוצרי לוואי של הארובות
4. המלצות

1. מהי הסיבה שהאדם עזב את עידן האבן?

אחת השאלות המעניינות ביותר היא: מדוע עזב האדם את עידן האבן? האם זאת באמת מפני שנגמרו לו האבנים? או האם זה מפני שהאבנים עלו ביוקר? או האם השימוש באבנים פגע בסביבה? הצורך הדחוף למצוא תחליף לדלקים פוסיליים או אפילו להפחית את השימוש בהם איננו דווקא משום שהדלקים הם בכמות סופית ואנו עשויים לכלות אותם. זה גם לאו דווקא משום ההתחממות של העולם.

למשל, לאחרונה החל וויכוח חדש - מה יותר חשוב: לשלם כדי להחליף דלק פוסילי ולהפחית את השימוש בו או להשקיע מאמץ בעזרה לעניים. וויכוח זה מניח מראש שהתחליף לדלק פוסילי בהדרגה, הוא יקר יותר מאשר שימוש בשיטות חלופיות ובתמיכה בעניים.

העזיבה של עידן האבן הייתה יקרה מאוד. חישובו מה דרוש היה כדי לגלות את השימוש בקרמיקה או במתכות, ללמוד את הדרך להשתמש בהן ולהתחיל את התעשייה. ישנה רשימה ארוכה של בעיות הכרוכות בשימוש בדלק ובהמרתו בתנאי העולם כיום. אבל אפשר להיווכח שהמעבר לאנרגיות מתחדשות ללא שימוש בדלק איננו בהכרח יקר יותר. כמובן, אם בוחנים הצעות לא נבונות - התוצאות אינן מושכות.

במרבית המקרים, כאשר ישנו קונפליקט בין כללים כלכליים מקובלים ובין העדפות סביבתיות, אין זה משום שעלינו לשלם מחיר יקר לטובת האידיאולוגיה הסביבתית שלנו; עפ"ר זאת משום תכנון לקוי וקבלת החלטות לא נבונות. הדיון על הפחתת השימוש בדלק או הגברתו, מתקיים על ידי אנשים שמרניים ואנשי נפט בעלי עניין מול נושאי דגל נלהבים ללא תקנה.

2. מהן הסיבות שעלינו לבחון מעבר למקורות אנרגיה מתחדשים?

ישנן לפחות שבע סיבות שונות לצאת מעידן הדלק.

2.1 מאגר סופי של דלקים פוסיליים

אין כל ספק שכמות הדלקים היא מוגבלת וסופית. יש הרבה וויכוחים לכמה זמן הדלקים יספיקו. לא ברור מה יהיה האפקט של "הרגע האחרון" כאשר יתברר שלא ניתן עוד למצוא דלקים מעבר לכמות מוגדרת.

גם האופטימיסטים שבין המתווכחים מודים שהרבה לפני שייגמרו לנו הדלקים, הכמויות שעדיין תוותרנה תהפוכנה להיות יותר ויותר יקרות. זאת מפני שהדלקים הזולים יותר יתכלו קודם לכן ובעלי שאריות הדלק ינצלו אותן לסחיטה חסרת רחמים מהמשתמשים.

2.2 עלויות גבוהות של הדלקים

לפני כמה וכמה שנים, כאשר מחיר חבית של נפט היה עדיין פחות מ- 10 דולר, הייתי בין אלה שחזו שהמחיר יעלה ל- 30-40 דולר לחבית. לא העזתי להציע שהעלות תהיה מעל 60 דולר לחבית (61 דולר נכון ל- 26.2.2007).

היום ברור לגמרי שאין זו אלא שאלה של זמן עד שהדלק הזול יתכלה. הרבה תחנות כוח הנבנות כיום ותעשיות רכב ימצאו את עצמן בהשקעות שווא נושאות הפסדים קשים.

2.3 הנזק שבניודי מחירים של הדלק

ניתן להראות שניודי המחירים של הדלק גורמים לנזקים כלכליים ניכרים מאוד ומפתיעים בהיקפם, אף מעבר לנזק שבעלייה עקבית של המחירים. להלן הסבר לתופעה.

נניח פונקציה כלכלית Y (למשל התוצר הגולמי הנקי (N.D.P.) Y היא פונקציה של מחיר הדלק P באופן כלשהו. אפשר לבטא את Y על ידי משוואה כלהלן:

$$Y = Y_{\bar{P}} + \left(\frac{\partial Y}{\partial P} \right)_{\bar{P}} \Delta P + \frac{1}{2!} \left(\frac{\partial^2 Y}{\partial P^2} \right)_{\bar{P}} (\Delta P)^2 + \dots \quad (1)$$

זהו טור טיילור המבטא את השינוי ב- Y כתוצאה משינוי קטן במחיר הדלק P . תת הסימן \bar{P} מבטא "סביב ערך ממוצע של המחיר P ". אפשר לחשב את הערך הממוצע של הפונקציה Y על ידי אינטגרציה של משוואה (1) על פני הזמן t וחלוקה בסה"כ הזמן T :

$$\bar{Y} = Y_{\bar{P}} + \left(\frac{\partial Y}{\partial P} \right)_{\bar{P}} \frac{1}{T} \int \Delta P dt + \frac{1}{2!} \left(\frac{\partial^2 Y}{\partial P^2} \right)_{\bar{P}} \frac{1}{T} \int (\Delta P)^2 dt + \dots = Y_{\bar{P}} + \frac{1}{2!} \left(\frac{\partial^2 Y}{\partial P^2} \right)_{\bar{P}} \sigma_P^2 \quad (2)$$

כאשר:

* \bar{P} ערך ממוצע של מחיר הדלק שסביבו נעשה החשבון;

* האבר הראשון $Y_{\bar{P}}$ הוא גודל קבוע;

* האבר השני מתאפס כאשר סכום השינויים במחיר ΔP סביב המחיר הממוצע P מסתכם לאפס.

האבר השלישי הוא:

$$\frac{1}{2!} \left(\frac{\partial^2 Y}{\partial P^2} \right)_{\bar{P}} \sigma_P^2 \quad (3)$$

כאשר:

* σ_P^2 הוא הווריאנס של P סביב הממוצע \bar{P} .

האבר הרביעי יהיה:

$$\frac{1}{3!} \left(\frac{\partial^3 Y}{\partial P^3} \right)_{\bar{P}} \mu_P^3 \quad (4)$$

הביטוי μ^3 נוטה להתאפס מפני שהסטיות בחזקה שלישית הן בעלות ערך נמוך ומשום שהערכים של μ^3 מתחלקים בין מספרים שליליים וחיוביים המבטלים זה את זה. אנו יכולים אם כן לבטא ע"י ביטוי מקורב את הסיכום של טור טיילור:

$$Y = Y_{\bar{P}} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 Y}{\partial P^2} \right)_{\bar{P}} \sigma_P^2 \quad (5)$$

אם נבטא את Y ואת P בערכים יחסיים לערכים הממוצעים, נקבל:

$$Y = 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 Y}{\partial Pr^2} \right) \sigma_{Pr}^2 \quad (6)$$

קל להראות שהערך של הנגזרת השנייה סמוך לערך אופטימאלי של השימוש הוא בהגדרה ערך שלילי. נוסף לכך, קל להראות שהערך של הנגזרת בערכים יחסיים אלה הוא סביב יחידה או אף למעלה מיחידה.

חישוב של השוונות של מחירי הנפט בחצי השני של המאה העשרים הייתה סביב 10%. פירוש הדבר שניודי המחיר של הדלקים השפיעו על התוצר הלאומי הגולמי בכמה אחוזים בשנה. נזק של אחוז אחד מהתשואה הגולמית שקול כנגד 5.5 מיליארד ₪. לכן אין כלל לזלזל בנזק לתוצר הגולמי כתוצאה מניודי המחירים בדלק. זהו סכום בסדר גודל של 500 ₪ לטון נפט או קרוב ל - 8 דולר לחבית.

2.4 הוצאות הגנה

בהכנות לוועידה המפורסמת בריו (1982) נעשתה עבודת סקירה וניתוח יסודיים מאוד בענייני אנרגיה ע"י צוות שעבד באוניברסיטת פרינסטון. הוא העריך באותה תקופה שכאשר עלות גלון בנזין הייתה כ - 30 סנט, הרי העלות הנוספת עקב פעולות הגנה הגיעה לעוד 70 סנט לגלון.

גם בימינו אלה מוציאה ארה"ב סכומי עתק למלחמה בעיראק וכן לחילות מצב בשורה של מדינות במזרח התיכון, כאשר ההגנה על אינטרסים של דלק תופסת חלק מכריע בשיקולים. באפריל 2006 העריך הקונגרס האמריקאי שהוצאות המלחמה בעיראק הגיעו ל - 280 מיליארד דולר. (פירוש הדבר הוצאה של כ - 1000 דולר לנפש של אזרחי ארה"ב כתוצאה שמקורה הגנה על אינטרסים של דלק).

במאבק של ארה"ב נגד מדיניות הגרעין של איראן, נשקלות סנקציות של מניעת השיווק של הנפט שמופק באיראן. אולם, אמברגו כזה יגרום לעלייה משמעותית של מחירי הנפט בשוק. כמו כן, נמצא שארה"ב תחזור ותפגע מעליית מחיר הדלק.

2.5 נזקים סביבתיים עקב שריפת דלקים

אין כל ספק, ולו הקל ביותר, ביחס לעובדה ששריפת דלק בתחנות כוח ובתחבורה מזהמות את האוויר. מספר האנשים הנפטרים כתוצאה מזיהום זה בשטחים עירוניים גבוה בסדר גודל מנפגעים בתאונות דרכים.

הערכה שנעשתה לפני מספר שנים באיזור תל-אביב הראתה 1100 נפטרים בשנה כתוצאה מזיהום אוויר. אחוז גבוה והולך של אנשים (ובעיקר ילדים) נפגע במחלות כתוצאה של זיהום בדרכי הנשימה.

מדידות של קרינת השמש שנעשו בישראל בתחנה המטאורולוגית המרכזית שבבית דגן מראות ירידה הולכת וגוברת של עצמת הקרינה עד כדי 20% כבר לפני מספר שנים. אולם, יום אחד בשנה, ביום כיפור, כאשר תנועת הרכב יורדת עד קרוב לאפס, קרינת השמש חוזרת ועולה. החריג הבולט היה ב - 1973 ערב מלחמת יום כיפור כאשר גברה תנועת המתגייסים בשבת של יום כיפור.

ניתן להעריך את הפגיעה הבריאותית מבחינה כלכלית. הנזק המתקבל הוא בסדר גודל של 10 מיליארד ₪ בשנה, כמוהו כ - 500 ₪ לטון שווה ערך נפט או למעלה מ - 7 דולר לשווה ערך של חבית נפט.

2.6 השפעות סביבתיות ופרוטוקול קיוטו

ייתכן שהאספקטים הסביבתיים לא עשויים להיות כה חמורים כפי שמשמע מפרוטוקול קיוטו, החוזה מצבים קטסטרופאליים. אולם, אין כל ספק שקיימות השפעות שליליות כתוצאה משריפת דלק. נעשו כמה מחקרים חשובים שבאו להעריך את הנזקים לסביבה. ראה למשל:

"The value of worlds eco-system services and natural capital", Robert Constanza et. al, May 1997, Nature, Vo. 387, May 15, 1997, pp 253-260.

עבודה שנעשתה ע"י 13 מדענים מנסה להעריך 17 פונקציות גלובליות המשמשות לחידוש וקיום של חיים על פני כדור הארץ, ביניהן: בקרת גזים, בקרת אקלים, בקרה של הפרעות גדולות של מערכות גלובליות, בקרת מצב המים, אספקת מים, ארוזיה ממשקעים, ומשקעים, ייצוב קרקע, מעגלי הזנה, טיפול בפסולת, האבקת פרחים, בקרה של מערכות אוכלוסייה ביולוגית, מקומות מגורים וקיום, ייצור מזון, מנוחה ושעשועים, תרבות וכו'.

הוכח מעבר לכל ספק שלשריפת הדלק השפעה, ולו קטנה, על כל הפונקציות שהוזכרו לעיל. הערכה שמרנית של ערך התפקוד של הפונקציה (ב - 16 יחידות נוף גלובליות) היא 33×10^{12} דולר לשנה בממוצע, עם גבול עליון של כ - 55×10^{12} וגבול תחתון של 16×10^{12} דולר לשנה.

ההערכה נעשתה שהמערכת מגיבה בצורה ליניארית. אולם, ככל שערכי ההפרעה קיצוניים יותר, התגובות הולכות וגדולות בפרופורציה לאותן הפרעות.

כדוגמא, נניח שההשפעה על המערכת היא לא יותר מ - 1%. פירוש הדבר שינוי שערכו כ - 0.33×10^{12} דולר לשנה. אם שינוי זה מתרחש על ידי ייצור של 30 טריליון קווי"ש בשנה, פירוש הדבר נזק של סנט אחד לקווי"ש.

כמה הערכות מצביעות על שינויים בערך של 2% ואולי אף יותר. פירוש הדבר נזקים בהיקף של 2 סנט לקווי"ש ויותר.

כאן אמנם מפירוש של כל הטענות בעד ונגד.

אני מקבל מדי שבוע פרסום שבז לכל האספקטים הסביבתיים. אין כל ספק שיש מי שמשקיעים בפרסומים אלה סכומים ניכרים כתוצאה מאינטרסים כלכליים ללא כל מעצורים. כנגד זה, אחד הביטויים הציוריים ביותר לממד ההשפעות השליליות הוא: **"בני אדם עברו זה מזמן את הסף לשימוש בריבית של מערכות הגלובליות" (אולי עדיף להשתמש בביטוי של "הכנסה שנתית מתחדשת"), והחלו בכרסום של ההון היסודי (או אפשר לאמור "בקרן"). יש צורך במנהיגות חדשה כדי להתמודד באיומים שניתן לחזות אותם".**

סריקה של הרבה עבודות על "עלויות חיצוניות" כתוצאה מנזקים סביבתיים הביאה אותי לטבלה המסכמת הבאה.

טבלה 2 - הוצאות סביבתיות כתוצאה מייצור חשמל

סוג הדלק מינימום עלות חיצונית סיבה מוצדקת לעלות חיצונית
(סנט לקו"ש) (סנט לקו"ש)

מחיר בסנט לקו"ש

6-7	1-2	פחם
6-7	2	מזוט
2	1	גז טבעי

ישנן הערכות הרבה יותר גדולות ביחס להשפעות של גז טבעי. ערכים אלה, אם מתקבלים, ניתנים לשימוש לשם הערכה מהי ההשקעה המוצדקת כדי להימנע מהנזקים הכלכליים.

במחקר שנעשה בפורטוגל נמצאו ערכים הרבה יותר גבוהים ובעיקר לשימוש בגז. ערכים אלה, אם הם מתקבלים, ניתנים לשימוש לשם הערכה מהי ההשקעה המוצדקת כדי להימנע מהנזקים הללו.

טבלה 3 - השקעות יתרות מותרות כדי להצדיק מניעה של העלויות החיצוניות

מקור החשמל	(סנט לקווט"ש)	5% ריבית	10% ריבית
פחם	6-7	8078-94255	15770-18400
מזוט	6-7	8078-94255	15770-18400
גז טבעי	2	2693	5256

אם מצדיקים טבלה זו של השקעות יתר, הרי הן מצביעות על היקף ההשקעה היתרה הגבולית שמותר להקדיש להתקנת מקורות אנרגיה מתחדשים ללא הנזקים הסביבתיים שמנינו. אולם, השקעה זו באה בחשבון רק אם אין טכנולוגיות זולות יותר ורק אם ישנה הבטחה של רצף אספקת אנרגיה ללא צורך להיעזר בדלק (לעתים 2/3 מהיממה), וללא צורך במערכת אגירה יקרה ובזבזנית מאוד מבחינה אנרגטית.

כדי להימנע מכל וויכוח על הצדקת טכנולוגיה לאנרגיה מתחדשת, ראוי היה שנמצא טכנולוגיה כזו שההשקעה בה קטנה אפילו מההשקעה בשימוש בדלק. (ראה בהמשך משוואה 7). אנו אמנם נצביע בהמשך על גישה אפשרית כזו.

2.7 אובדן חופש התמרון במאבק בין התרבויות

מדינות עשו כל מיני החלטות והיו מוכנות לכל מיני חוזים מכבידים כדי להבטיח את אספקת הדלק במשך שנים רבות. אירופה נכנעה ממש לקפריזות של האיסלם כדי לא להיפגע. כתוצאה מתלות באספקת דלק, היא משלמת היום ביוקר רב בגלל קליטה של אוכלוסיות מוסלמיות גדולות שהן מלאות שנהא ונושאות בחובן תרבות שאיננה מכבדת חיי אדם, שמונהגת ע"י אמונות פרימיטיביות וצידוק שטני של כל מיני יצרים, המונהגים ע"י כל מיני הנהגות מושחתות.

לא היינו צריכים לחכות הרבה כדי לראות מה המשמעויות של תלות שלנו במצריים לאספקת גז. היה כבר פוליטיקאי אחד שחתם חוזה על ייבוא מים מתורכיה. לא צריך היה לחכות זמן רב שיהיה ניסיון לסחיטה פוליטית בענייני סחר בין ישראל ותורכיה. די גם לראות מהי השפעת היחסים בין רוסיה והמדינות השונות, ממערב לה, כמו: אוקראינה, גרמניה והולנד באספקת הגז.

2.8 קריטריון אחר להחלטה בדבר טכנולוגיה חדשה למקור אנרגיה מתחדשת עם הצדקה

כלכלית קלה להוכחה ומחוץ לוויכוח

קשה להכריע את הוויכוח על מידת הנזקים לסביבה וההסתברות שזהו מעשה ידי אדם ולא תופעות מחזוריות בטבע. קשה עוד יותר לכלול בחשבון את ההוצאות החיצוניות, תשלומים להגנה ושאיפה ליציבות כלכלית חברתית. הקשה ביותר הוא להסכים על ההסתברות לנזק או הסתברות שלא יהיה נזק.

לצורך העניין אני מציע את הקריטריון הבא:

$$R = \frac{P(D)}{(1 - P)E} > 1 \quad (7)$$

כאשר:

P - הסתברות שיהיה נזק לסביבה בשינוי אקלים ובפגיעה בכמה מערכות חיוניות;

D - גודל הנזק שנצטרך להתמודד איתו;

E - השקעת יתר דרושה במערכת אלטרנטיבית להפקת אנרגיה שתהיה נקייה, מתחדשת ומונעת נזקים. E מבוטא באותן יחידות יחסיות כמו הנזק D, למשל השקעה ליחידת הספק או הוצאה לכמות אנרגיה מסוימת וכו'.

כדי להצדיק שימוש באנרגיה חליפית צריך שהשבר R שמבוטא לעיל במשוואה 7 יהיה לפחות גדול מיחידה, או שלילי גדול כאשר ההוצאה על אנרגיה חלופית קטנה מההוצאה על אנרגיה מוזנת בדלק. במילים אחרות, השקעת היתר E בטכנולוגיה חליפית מוכפלת בהסתברות (1-P) שלא יהיה כלל נזק, צריכה להיות קטנה מהנזק שאנו מבקשים למנוע P(D).

בעצם, אנו חותרים למקור אנרגיה עם ערך קטן ככל האפשר של עלויות יתר E, ואולי אף שלילי. קשה לי להאמין שהוויכוח על הערכים של P ושל D יבואו לכלל הסכמה בעתיד הנראה לעין, או שהם יניעו את כל המשק העסקי לעשות השקעות מטעמים אידיאולוגיים בלבד. אבל, אם מקור האנרגיה החדש זול משימוש בדלק, הרי יהיה חבל על הוויכוח.

עלינו לעזוב את עידן האבן לאו דווקא משום שנגמרו האבנים ולא דווקא משום שהאבנים יקרות. אנו מבקשים טכנולוגיה חדשה שקל ליישם אותה, שהיא זולה יותר ובעלת יכולות שרות טובות יותר. נתאר טכנולוגיה כזו בהמשך.

2.9 כמה אנרגיה חליפית מתחדשת זמינה ומה עלותה?

אנו מחפשים מקורות אנרגיה מתחדשת שפיזורה על פני אומות העולם אחידה יותר ושהיא עשויה לספק מסות גדולות של אנרגיה במחיר נמוך יותר מאשר כיום.

מקורות אנרגיה כאלה הם שיביאו אותנו לעידן החדש - נצא מעידן הדלק כפי שיצאנו מעידן האבן. ישנן הרבה סיבות לעשות זאת גם אם לא השתכנענו בשינויים קיצוניים של האקלים או משום שחששנו שמקורות הדלק יגמרו בקרוב.

המהפכה התעשייתית גם היא העבירה אותנו לעידן חדש. למדנו להשתמש בריכוזי אנרגיה שאינם נסמכים על שרירי אדם או בהמה. עתה הזמן לצאת מעידן הדלק הפוסילי ולעבור עוד פעם לעידן חדש. כמה שאלות שצריכות להישאל הן:

1. מה המקורות שעומדים לרשותנו?
2. כמה אנרגיה חלופית זמינה ומה עלותה?
3. באיזה כיוון עלינו לפתח מקורות חדשים?
4. האם מותר לנו לדחות את היישום של שימוש באנרגיה מתחדשת עד שיהיו לנו לפתרונות יותר טובים, או שניתן להתחיל מחר בבוקר?

נראה שאנו יכולים לנסח קריטריונים מעשיים כבר היום ואין אנו צריכים לחכות עד שכל אחד ישתכנע בהנמקות הסביבתיות לבדן. אם יש לנו מקור יותר זול מאשר השיטות הקיימות, מדוע לא להתחיל מיד? ואם יש לנו שיטות שעלותן דומה מאוד לשיטות הקיימות, גם אז ראוי לגשת מיד לשינוי בגלל כל הסיבות האחרות. אין מקום אז לוויכוח קטנוני על כמה אחוזים למאה, לכאן או לכאן.

3. דרכים שונות להקטין את תלותנו באספקת דלק פוסילי ובשריפתו

3.1 קבוצות של מקורות

מנינו 7 קבוצות של דרכים להפחית את בעירת הדלק הפוסילי וכן לשפר את המצב לא רק כדי להפחית את הכמות של "גזי חממה" אלא למילוי כל שאר המטרות שהן ממשיות מאוד, כאן ועכשיו. לבטח אין אנו רוצים בשום אופן לחכות ולראות מי צדק בוויכוח על הזיהום ועל חימום האקלים ותוצאותיהם.

להלן הקבוצות של השיטות שבאות בחשבון:

קבוצה מס' 1	שיפור היעילות בשימוש באנרגיה
קבוצה מס' 2	שימוש בפירות השמש לייצור חשמל וחום בעלות נמוכה ביותר וכמה מוצרי לוואי חשובים ביותר - הכוונה לרוח, מים וביו-מסה
	במסגרת של קבוצה זו יש להוסיף כיום סעיף חדשני מיוחד של "ארוכות שרב" המנצל אוויר חם ויבש
קבוצה מס' 3	ניצול קרינת השמש לשם אספקת חום
קבוצה מס' 4	אגירת אנרגיה כדי לספק אותה בשעות של ביקוש שיא או התאמה של עקום האספקה לעקום הביקוש
קבוצה מס' 5	שימוש בקרינת השמש לאספקת חשמל
	כיום לא קיימת אף שיטה כזו שהיא כדאית מבחינה כלכלית או תחרותית בתנאי כלכלה רגילים
קבוצה מס' 6	מקורות אחרים (כמו למשל מקורות גיאותרמיים, גאות ושפל וגרעין)
קבוצה מס' 7	כל מיני רעיונות אחרים (כמו למשל שימוש במימן)

ברצוננו להדגיש כמה דברים:

- אנו מגבילים את הדיון כאן רק למקורות אנרגיה מסיביים, לתחליף של אספקות אנרגיה גדולות, כמו מערך החשמל, אספקת חום ומערך הדלקים לתחבורה. אלה מתחלקים באופן גס לשלושה שלישים, פחות או יותר שווים בערכם;
- הפתרונות המומלצים נמצאים כולם בארבע הקבוצות הראשונות שהוזכרו לעיל;
- לקבוצה מס' 5 יש אולי סיכוי עם כל מיני פיתוחים בעתיד. אלה טרם הוכחו והם עדיין רחוקים מיישום מעשי.

3.2 שימוש יעיל באנרגיה

בדיקות שנעשו בישראל לפני מספר שנים הראו שניתן לחסוך 20% מהשימוש בדלק בכל חמשת התחומים (ייצור ושימוש בחשמל, מים, חקלאות, תחבורה, תעשייה), וזאת בהשקעות שתוחזרנה תוך 5 שנים או פחות.

במערב אירופה, למשל, צריכת החשמל היא בערך 6000 קוואט"ש לנפש לשנה. בארה"ב הצריכה לנפש לשנה היא כ- 14000 קוואט"ש. רמת החיים בארה"ב איננה כ"כ גבוהה מאשר במערב אירופה. ארצות הברית יכולה הייתה ללא ספק לחסוך כמחצית צריכת החשמל! סכומים דומים אפשר לחסוך בתחבורה.

ישנה עוד שורה ארוכה של שיטות להשיג את המטרה. ביניהן: נורות יעילות; מכונות יותר צרות ויותר נמוכות; מכונות היבדרידיות; מערכות תחבורה מוניציפאליות, ביניהן כאלה המונעות ע"י חשמל; בידוד של מבנים ועוד.

בהודו למשל החיסכון יכול לבוא ממניעת גניבה של חשמל, קווי הולכה יותר יעילים ועוד. בישראל מחירי החשמל היו צריכים להיות בערך ב - 50% יותר גבוהים. ההערכה היא שהעלאת המחיר תוריד את היקף השימוש בכ - 25%. מחירי חשמל לא ריאליים גרמו לכך שהחוב של חברת החשמל מגיע ל - 45 מיליארד שקל. במקום לייעל את התפקוד של חברת החשמל, המערכת הציבורית עסקה במאבק ארוך עם וועד העובדים של חברת החשמל ובכל מיני נושאים שכשלו. האוצר מתעקש להפריט את חח"י, וזאת כאשר ברוב מדינות העולם הפרטה כזו גרמה לייקור החשמל ולמפגעים קשים באספקה. האוצר ורשות החברות גם חסמו כל אפשרות של חח"י לחשוב ברמה ארצית, לתכנן ולבנות. אי אפשר להסביר את החוב ע"י משכורת גבוהה של העובדים שמהווה רק אחוזים בודדים בעלות החשמל כיום. בוודאי ששיתוק של חברת החשמל כגוף מתכנן ומבצע ברמה גבוהה איננו פתרון לשום דבר. מכירה של חח"י והפרטה כיום פירושו הפסד למדינת ישראל של 45 מיליארד שקל ועליית מחירים מיידיים.

3.3 ניצול פירות השמש

במשך ההיסטוריה, ניצל האדם את פירות השמש ולא את קרינתה הישירה. הניצול היה בעיקר דרך שלושה מקורות:

- אנרגיות רוח;
- כוח הידראוולי;
- שריפה של ביו-מסה.

שלושת מקורות אלה ורק אלה משמשים כיום כמקורות אנרגיה שמתחרים מבחינה כלכלית בשימוש בדלק (אולי להוציא תחנות גיאותרמיות).

אנרגיית רוח עשויה לספק כ - 20% מכל צריכת החשמל בהרבה מדינות. ניתן להרחיב את האספקה על ידי סבסוד קל. הפוטנציאל של רוח בעולם הוא גדול ביותר, אולם רק בחלק מחירו נמוך די הצורך, וחלק זה איננו גדול ובמקרים רבים, ללא הצדקה אמיתית. בישראל העריכו שניתן להפיק כ - 6% מהחשמל מאנרגיית רוח. בסבסוד הקל ביותר ניתן בקלות לעלות על 10%.

הבעיות של ניצול אנרגיות הרוח הן: קווי הולכה יקרים באופן יחסי; חוסר רציפות של האספקה והצורך באמצעי אגירה; התנגדות שעדיין לא הוסרה של אנשי הסביבה, של אנשי תקשורת, ופה ושם אנשי צבא.

ניצול אנרגיה הידרו-אלקטרית לא תמיד זמינה. בסה"כ בעולם כולו היא עשויה לספק פחות מ - 10% מצריכת החשמל, ולא יותר. יש למקור אנרגיה הידרו-אלקטרית מוצר לוואי אחד חשוב ביותר והוא אספקת חשמל בזמנים של ביקוש שיא, או מה שקרוי "אגירה שאובה". בשעות אלה השווי של החשמל הוא עפ"י פי 5 יותר מאשר בממוצע. זאת משום שהחלופה היא השקעה בתחנת כוח יקרה שתופעל רק מספר קטן של שעות בשנה. בארץ אין כל מקורות הידרו-אלקטריים רציניים.

פרויקט "תעלת הימים" או בשמו החדש "עמק השלום" הוא פרויקט שלמעשה נדחה כבר חמש פעמים בגלל סיבות טובות ביותר. יותר מכך, ישנן חלופות לאין שיעור יותר זולות ועם פחות סיכונים סביבתיים שהם קשים ביותר בתעלת הימים.

ניצול ביו-מסה הוא מקור בעל חשיבות רבה ביותר. בתנאי ישראל; הוא כולל ניצול של פסולת עירונית ויכול לספק כ - 10% מהחשמל (5 מיליון טון פסולת בשנה וגידול של כ - 4% כל שנה). אולם, לניצול זה עוד שלוש תועלות נוספות חשובות ביותר:

- א. מניעת זיהום של מי תהום;

ב. מניעה של גזי חממה בהיקף של כרבע מכל גזי החממה שעלינו לחסל, ונשלם קנס כבד אם לא נעשה זאת;

ג. חסכון בקרקע, באמצעי תחבורה ופיתוח אוכלוסיות ציפורים הפוגעות בתעופה. השימוש בביו-מסה ניתן להרחבה על ידי גידול של צמחים להפקת כוהל ושמן להחלפת דלקים לתחבורה. אולם, המגבלה היא בכמויות מים החסרות להשקיה. בהמשך נציג פיתרון מהפכני שהוא מהווה פריצת דרך עם מוצרי לוואי שכוללים, בין השאר, אספקת מים מותפלים במחירים נמוכים ובכמויות גדולות ביותר, די כדי להשקות את כל המדבריות.

3.4 קרינת השמש לאספקת חום

הערכות שנעשו בארץ וכן הערכות שנעשו בגרמניה ע"י חברת "אראל אנרגיה" הראו היקף שימוש בדלק למטרה זו כ - 30% מסה"כ הדלק המיובא לישראל.

הטכניקות לקליטת חום מקרינת השמש השתכללו, בין השאר ע"י פיתוח "דיודות" תרמיות המאפשרות לקרינת השמש לחדור דרך לוח שקוף בחלקו ומניעה של קרינת חום להיפלט בחזרה כלפי חוץ או גם העברת חום ע"י הסעה. ניתן לייצר פנלים שונים המאפשרים גם תאורה טבעית וקליטת החום ע"י אוויר או מים וקליטת חום בגוף האוגר אותו.

אפשר לקבל את חום השמש בטמפרטורות שונות, גם גבוהות יחסית. ניתן לשלב אותו בכל מיני שיטות "ספיגה" ואגירת חום ושימוש יעיל באנרגיה.

הטכניקות ניתנות ליישום גם למגורים ולמלונות, למשרדים ולתעשייה. העלויות נמוכות וכדאיות היום. כדי לממש את היישום צריך לגייס מאמץ משולב של תכנון דגמים לתחומי יישום שונים וצריך לשנות את תקנות המס באופן שימשוך את לבם של תעשיינים ושל בתי עסק לנצל אנרגיה סולרית עם קצב מהיר של פחת מוכר. זאת, במקום הכרה על ידי שלטונות המס בהוצאות בזבזניות על אנרגיה, המלווה לרוב בזיהום, כפי שקיים כיום.

3.5 סיכום עד כאן - ללא שימוש בטכנולוגיה של "ארובות שרב"

* נניח שניתן לחסוך רק 20% מכל האנרגיה ע"י שימוש יעיל.

* נניח שניתן לחסוך 20% מהחשמל ע"י ניצול אנרגיית רוח וניצול פסולת ונניח שהחשמל מהווה שליש מסה"כ האנרגיה הראשונית של ישראל. פירוש הדבר חיסכון של קרוב ל - 7% מהדלק המיובא.

* נניח שניתן להמיר 30% מהדלק המשמש כיום לצרכי חימום על ידי ניצול קרינת השמש לחום.

בסה"כ עד כאן ניתן לחסוך כ - 57% מהדלק בטכנולוגיות קיימות ובמחירי תחרות ללא צורך באידיאולוגיה סביבתית.

3.6 "ארובות שרב" - צורה מהפכנית חדשה לנצל את פירות השמש

"ארובות שרב" הוא שם של טכנולוגיה שפותחה בחיפה בטכניון-המכון הטכנולוגי לישראל. הרעיון עלה בסוף 1982 כתוצאה מאכזבה מבריכות השמש. טכנולוגיה זו מאפשרת ניצול אוויר חם ויבש לייצור חשמל זול באזורים ארידיים, וכן לשמונה מוצרי לוואי בעלי ערך רב.

לפי אנליזה שנעשתה לגבי הטכנולוגיה החדשה - היא עשויה להיות הזולה ביותר, ויותר זולה מחשמל מיוצר מדלק פוסילי. היא נראית כיום עדיפה על כל טכנולוגיה אחרת בפיתוח. ביצוע של "ארובות שרב" באתר מתאים תעלה על הביצועים של מקורות הידרו-אלקטריים, ניצול סולרי כלשהו, ניצול גלי ים, טורבינות רוח. האספקה הצפויה היא רציפה יומם ולילה, והפוטנציאל מגיע ל - 15 פעמים כל צריכת החשמל בעולם, ובישראל הפוטנציאל הוא פעמיים כל צריכת החשמל של ישראל כיום.

נוסף לכל אלה - ל"ארובות שרב" יש מספר ניכר של מוצרי לוואי עם תועלות ענק כשלעצמן.

ישנה טכנולוגיה שנראית לכאורה דומה והיא של ארובות שמש שבהן האוויר מתחמם וככזה זורם בארובה כלפי מעלה. בארובות השרב, האוויר מקורר על ידי אידוי מים ואז זורם כלפי מטה. ההבדל בין השניים הוא כמו בין יום ולילה לטובת "ארובות שרב". עלות ייצור החשמל בארובות שרב הוא שבר קטן של העלות בארובה עם אוויר עולה. השטח בארובה עם אוויר עולה הוא כ- 150 פעם יותר מהשטח הדרוש לארובת השרב.

עיקרון הפעולה של ארובת השרב

כדי שהמתקן הקרוי "ארובת שרב" יהיה אפקטיבי, יש לבנות ארובה אנכית בגובה ניכר וקוטר ניכר (למשל 1000-1200 מ' גובה ו- 400-500 מ' קוטר). שואבים מים כלפי מעלה ומרססים אותם מתוך הפתח העליון של הארובה. חלק של המים מתאדה ומקרר את האוויר. האוויר הקר זורם כלפי מטה ויוצא מפתחים שבבסיס הארובה. בפתחים מתקינים טורבינות שמונעות ע"י האוויר ויוצרות חשמל.

ארובות השרב הן בעצם מכונות שמייצרות רוח לפי דרישה, 24 שעות ביממה, ומנצלות את הרוח קודם כל לייצור חשמל. הפיתוח שנעשה בטכניון הושלם.

הפוטנציאל של "ארובות שרב"

נעשה סקר של ארובות על כל הגלובוס תוך שימוש בנתונים אקלימיים שנמדדו מלוויינים ותוך שימוש בנתונים טופוגרפיים.

הארובות המצוינות ביותר בממדים הסטנדרטיים ייצרו כ- 600 מגה-וואט בממוצע. הגבול התחתון שהצבנו לארובות מבחינה כלכלית היה של 200 מגה-וואט ממוצע. ארובות פחותות מזה לא נלקחו בחשבון. לבסוף, ההנחה הייתה ששטח השמיים המוקדש לארובה בודדת יהיה 400 ק"מ רבועים. זאת כדי שדי אוויר חם יוכל להיות מסופק מהמעגל המטאורולוגי של תא האדלי (Hadley Cell Circulation). תא האדלי מספק אוויר חם ויבש מאזור המשווה לשתי רצועות מדבר סביב כדור הארץ, אחת בצפון והאחרת בדרום.

סה"כ ההספק הסכומי היה כ- 230,000 ביליון קו"ש בשנה. נתונים מוערכים של מעגל האדלי הביאו הערכה בגבולות של $2-4 \times 10^{16}$ קו"ש חום לשנה. אם נניח נצילות של 1% לניצול החום בארובה נקבל 200,000-400,000 ביליון קו"ש חשמל. פירוש הדבר פי 17 מכל צריכת החשמל בעולם, כאשר עלות החשמל הגבוהה ביותר נעה כאמור בין 3.93 סנט לקו"ש ל- 6.42 סנט לקו"ש ב- 5% ריבית וב- 10%, ריבית בהתאמה.

3.7 תועלות נוספות ומוצרי לוואי של הארובות

אפשר למנות מוצרי לוואי גשמיים וכן מוצרי לוואי בעלי אופי כלכלי-חברתי והגנתי-פוליטי:

התאמת האספקה לדרישה על ידי אגירה שאובה מובנית ללא הפסדי אנרגיה ובעלות מינימלית

התפלת מי ים

גידול דגים במי ים

במי הים המותפלים אפשר לגדל באזורי המדבר גידולים להפקת אתנול וביזל

בין מוצרי הלוואי הפחות גשמיים אבל מוחשיים ביותר:

חשמל ללא זיהום

שחרור מתלות בדלק

חסינות בפני עליית מחירים

חסינות בפני ניוודי מחירים

הימנעות מהצורך לאגירת דלק אסטרטגית

שיפור של מאזן התשלומים

הימנעות מקנסות בגלל פליטה של גזי חממה ואולי רווח הודות להמעטת גזי חממה

חסכונות ענק בהוצאות הגנה. גם בתנאי ישראל הדבר יכול לסייע לשת"פ עם השכנים והימנעות ממלחמה על מקורות המים
פיתוח אפשרי של שת"פ עם השכנים

• (חומר מפורט יותר על ארובות השרב אפשר לקבל בפנייה ישירה לפרופ' דן זסלבסקי בטכניון).

4. ה מ ל צ ו ת

א. צריך להבטיח תקציב למו"פ ולהדגמות בתחום האנרגיה. התקציב צריך להיות יציב ולכן יש להוציא אותו מידי אגף התקציבים ומנכ"לי משרדים שעד היום מעלו ממש בתפקידם וגרמו נזקים במיליארדי שקלים לשנה למדינת ישראל.

ב. יש להשקיע במקורות אנרגיה חליפיים וכן השקעות בשימוש יעיל.

ג. יש לאפשר אמורטיזציה מהירה מוכרת ע"י שלטונות המס כדי שיהיה כדאי להשקיע בפעולות חיסכון ושיטות ניצול אנרגיה חליפית בהשוואה להוצאת אנרגיה ודלק לצרכי מס.

ד. יש לצייד את מקבלי החלטות בצוותי ייעוץ ברמה גבוהה. יש להיזהר מאוד במתן הכנת תכניות בידי כאלה שבמרכז היו זולים מאחרים בכמה אחוזים, אבל הביאו להחלטות גרועות ביותר. נוסף לכך, לא די בכלכלנים ומנתחי מערכות בהכנת תכניות לאנרגיה. יש צורך במומחים בתחום.

ה. משרד התשתיות איננו ערוך היום לפעולת מחקר ופיתוח וקבלת החלטות ברמה מקצועית ראויה.

ו. הפוטנציאל המיידית להמרה של שימוש בדלק קרוב מאד ל - 60% של כל השימוש בו.

ז. הטכנולוגיה של "ארובות שרב" מבטיחה לא רק 100% של ייצור חשמל ללא צורך בדלק, אלא גם תחליפים לדלק לתחבורה. יש לגשת לביצוע מיידית של אלה בעדיפות ראשונה במעלה ובמשקל שאיננו פחות חשוב מביטחון, מאספקת מים ומשניהם יחד. ההחלטה הנכונה של ממשלת ישראל להגדיל את היקף התפלת מי ים וכן החלטות דחופות תחייבנה באופן דחוף תוספת כוח לייצור חשמל. יש למנוע בצורה החלטית כל תוספת שימוש בדלק למטרה זו ובוודאי לא הקמת תחנת כוח על חוף הים.

ח. בהבטחת התקציבים אסור בשום אופן לפגוע בהשקעות במחקר בסיסי ובמחקר ופיתוח של רעיונות בשלבים מוקדמים. מרעיונות רבים שלא הצליחו צמחו בעקיפין המצאות גדולות ביותר.

נספח 3:

**תכנית פורום האנרגיה - צרכי המחקר באנרגיה חלופית בישראל
אודיטוריום בטלר, מוסד נאמן, הטכניון, חיפה
יום ב' 26 בפברואר 2007**

08: 30-09: 00 : התכנסות והרשמה

09: 00-09: 15 : פתיחה : ברכות

הסבר על פורום האנרגיה בכלל ועל מטרת הפורום הנוכחי בפרט

מושב 1 : יו"ר : ד"ר אברהם ארביב, אגף מחקר ופיתוח, משרד התשתיות הלאומיות

09: 15-09: 45 : פרופ' דן זסלבסקי, יו"ר המועצה הלאומית למחקר ולפיתוח:
עקרונות למימון מחקר ופיתוח בתחום האנרגיה

09: 45-10: 15 : פרופ' דוד כאהן, מכון וייצמן למדע:

Where are we today in Photovoltaic Solar Cell Research?

10: 15-10: 45 : פרופ' גרשון גרוסמן, מוסד נאמן, הטכניון:
שימוש אנרגיה סולארית להפקת חום

11: 00- 10: 45 : הפסקת קפה

11: 00-11: 30 : פרופ' אביב רוזן, הטכניון:

אנרגית רוח – עבר, הווה ועתיד

11: 30-13: 00 : דיון פתוח

13: 00-14: 00 : הפסקת צהריים

מושב 2 : יו"ר : פרופ' גרשון גרוסמן, ראש פורום אנרגיה, מוסד נאמן, הטכניון

14: 30-15: 00 : פרופ' עמנואל פלד, אוניברסיטת ת"א :

Fuel cells applications including solar and wind electric energy storage and load leveling

15: 00-15: 30 : ד"ר ארז סברדלוב, חושבה לתכנון :

צרכי המו"פ בתחום ייעול השימוש והחיסכון באנרגיה

15: 30-17: 00 : דיון פתוח

17: 00 : סיום



מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם במדע וטכנולוגיה

הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל

טל. 04-8292329, פקס. 04-8231889

קרית הטכניון, חיפה 32000

www.neaman.org.il