

אופקים חדשים לאנרגיה מתחדשת

ע"י פרופ' דן זסלבסקי

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 בבערה 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.

כמה נלעגת היתה ההחלטה של ממשלת ישראל להמיר 2% מהאנרגיה עד שנת 2007 לאנרגיה מתחדשת. עוד יותר נלעגת העובדה שכמעט דבר לא נעשה. גם היום התקבלו החלטות לכאורה נועזות יותר, אך גם הן לא נקשרות עם המציאות וספק אם תבוצענה.

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 מיס). 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.

אין אף צל של ספק שהטכנולוגיה 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.

ו. 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 - 3/4-2/3 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".

רוב המפעלים המטופשים בישראל מתקיימים כתוצאה משילוב בין שני טיפוסים או שלושה - כאלה שלא מבינים על מה הם מדברים; כאלה שלא אומרים אמת כדי לא לאבד את פרנסתם; וכאלה שנעלבים מעצם העובדה שההצעה לא באה מהם. פרויקט "תעלת הימים" הוא הדוגמא החמורה ביותר לשילוב המשולש הזה.

ז. ישנם עוד מושגים כמו "אנרגיית מימן" וכמו מקור אנרגיה מפוזר שאפשר להוכיח בכמה מילים שזו איוולת גמורה, לפחות כאשר מדובר על אספקת מסות גדולות של חשמל. אין דרך לייצר מימן או תרכובות אחרות שתשתמשנה בדלק ללא מקור אנרגיה אחר.

כמה מצער 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 משונות לאנרגיית רוח, לניצול פסולת וחימום סולרי. לצערנו גם אלה המתיימרים לנווט את החלטות הממשל עפ"ר אינם טובים יותר.

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
 - 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
 - 3.8 עוד מפירות השמש
 - 3.9 טכנולוגיות לאספקת חשמל מקרינת השמש
 - 3.10 הרעיון של שימוש במימן ותאי דלק מעולם לא הוכח ולמעשה אפשר להוכיח זאת בהגדרה כשטות
 - 3.11 כמה מקורות אנרגיה נוספים

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 היתה 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 חכמות 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 עלוב וקבלת החלטות לא חכמות. הדיון על הפחתת השימוש בדלק או הגברתו, מתקיים על ידי אנשים שמרניים ואנשי נפט מעוניינים 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 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 בשה"כ הזמן T .

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

$$Y_P + \frac{1}{2!} \left(\frac{\partial^2 Y}{\partial P^2} \right)_P \sigma_P^2$$

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 :

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

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 השונות של מחירי הנפט בחצי השני של המאה העשרים היתה 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 היתה כ - 30 סנט, הרי העלות הנוספת עקב פעולות הגנה הגיעה לעוד 70 סנט לגלון. גם בימינו אלה מוציאה ארה"ב סכומי עתק למלחמה בעירק 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 אירן, נשקלות סנקציות של מניעת השיווק של הנפט שמופק באיראן. אולם, אמברגו כזה יגרום לעלייה משמעותית של מחירי הנפט בשוק. כמוכן, 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, האבקות 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.

הערכה 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 קו"ש בשנה, פירוש הדבר נזק של סנט אחד לקו"ש.

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

כאן אמנע 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 (סנט לקו"ש)	סיבה מוצדקת לעלות חיצונית (סנט לקו"ש)
מחיר בסנט לקו"ש		
פחם	1-2	6-7
מזוט	2	6-7
גז טבעי	1	2

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

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

השקעת יתר לקילו-וואט אספקה ממוצעת		מינימום עלות חיצונית	מקור החשמל
10% ריבית	5% ריבית	(סנט לקו"ש)	
15770-18400	8078-94255	6-7	פחם
15770-18400	8078-94255	6-7	מזוט
5256	2693	2	גז טבעי

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 מני החלטות והיו מוכנות לכל מני חוזים מכבידים כדי להבטיח את אספקת הדלק במשך שנים רבות. אירופה נכנעה ממש לקפריזות של האיסלם כדי לא להיפגע. כתוצאה מתלותה באספקת דלק, היא משלמת היום ביוקר רב בגלל קליטה של אוכלוסיות מוסלמיות גדולות שהן מלאות שנאה ונושאות בחובן תרבות שאיננה מכבדת חיי אדם, שמונהגת ע"י אמונות פרימיטיביות וצידוק שטני של כל מני יצרים, המונהגים ע"י כל מני הנהגות מושחתות. לא היינו צריכים לחכות הרבה כדי לראות מה המשמעויות של תלות שלנו במצריים לאספקת גז. היה כבר גאון 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.

כדי להצדיק שימוש באנרגיה חליפית צריך שהשבר R שמבוטא לעיל במשוואה 7 יהיה לפחות גדול מיחידה, או אפילו שלילי גדול. 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 שפיזור 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 בערת 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:

שיפור היעילות בשימוש באנרגיה	<u>קבוצה מס' 1</u>
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 "ארובות שרב" המנצל אוויר חם ויבש	<u>קבוצה מס' 2</u>
ניצול קרינת השמש לשם אספקת חום	<u>קבוצה מס' 3</u>
אגירת אנרגיה כדי לספק אותה בשעות של ביקוש שיא או התאמה של עקום האספקה לעקום הביקוש	<u>קבוצה מס' 4</u>
שימוש בקרינת השמש לאספקת חשמל (כיום לא קיימת אף שיטה כזו שהיא כדאית מבחינה כלכלית)	<u>קבוצה מס' 5</u>
מקורות אחרים (כמו למשל מקורות גיאותרמיים, גאות ושפל וגרעין)	<u>קבוצה מס' 6</u>
כל מני רעיונות אחרים (כמו למשל שימוש במימן)	<u>קבוצה מס' 7</u>

ברצוננו להדגיש כמה דברים :

- א. 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 ;
- ב. הפתרונות המומלצים נמצאים כולם בארבע הקבוצות הראשונות שהוזכרו לעיל ;
- ג. לקבוצה מס' 5 יש אולי סיכוי עם כל מני פיתוחים בעתיד. אלה טרם הוכחו והם עדיין רחוקים.

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 קו"ש לנפש לשנה. בארה"ב הצריכה לנפש לשנה היא כ - 14000 קו"ש. רמת החיים בארה"ב איננה כ"כ גבוהה מאשר במערב אירופה. ארצות הברית יכולה היתה ללא ספק לחסוך כמחצית צריכת החשמל!

סכומים דומים אפשר לחסוך בתחבורה.

ישנה עוד שורה ארוכה של שיטות להשיג את המטרה. ביניהן: נורות יעילות; מכוניות יותר צרות ויותר נמוכות; מכוניות היברידיות; 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 מני אמונות תפלות שכשלו כמעט בכל מקום בו הם ניסו.

האוצר מתעקש להפריט את הח"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 מבצע ברמה גבוהה איננו פתרון לשום דבר. מכירה של חח"י והפרטה כיום פירושו הפסד למדינת ישראל של 45 מיליארד שקל ועליית מחירים מיידית.

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 הידראולי;

- שריפה של ביו-מסה.

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

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"ר 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 מעשה איוולת נדיר בטמטומו. הוא נדחה 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, ניצול של ביו-מסה כולל פסולת עירונית ויכול לספק כ- 10% מהחשמל (5 מיליון טון פסולת בשנה וגידול של כ- 4% כל שנה). אולם, לניצול זה עוד 3 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.

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 קונבקציה. 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 אותן בכל מני 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 על בזבז אנרגיה 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 הדלק. פירוש הדבר חיסכון של קרוב ל - 7% מהדלק.

* 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.

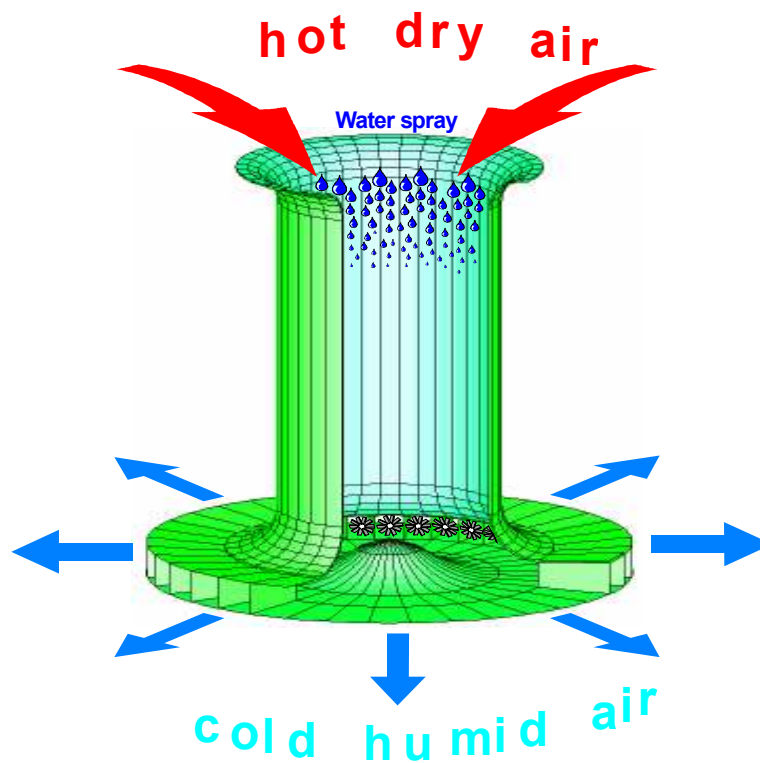
3.6 "ארובות שרב" - צורה מהפכנית חדשה לנצל את פירות השמש

"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 ערכי ענק.

לפי אנליזה שנעשתה על 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 פעמים 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. בארובה עם אוויר עולה הוא כ - 150 פעם יותר מהשטח הדרוש לארובה השרב.



ציור 1 - העיקרון של "ארובות שרב"

עיקרון הפעולה של ארובת השרב (ציור 1)

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; ראה ציורים 2, 3). 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.

הוכחת העקרונות הפיזיקאליים והטכנולוגיות הדרושות

העיקרון נבחן פעמים אחדות על ידי יועצים שונים, ותוך שימוש בשיטות חישוב שונות. נעשו ניסויים בזרימה ממש במודל בקנה מידה 1:50 בארובה בגובה של 21 מ' וכן במנהרת רוח בקנה מידה 1:2000. ניסויים בטיפות מעוף, התאדות, התנגשות והתחסלות נעשו בקנה מידה 1:1. גם את ארובת השרב ניתן לבנות בטכנולוגיות שכולן זמינות ולא חורגות מרשימות בספרי הלימוד. גם במקרה זה נעזרנו במומחים מעשיים מחברות שונות שאישרו את הגישות שלנו ובמקרים לא מעטים טענו שאפשר לטרוח ולהקטין את העלויות כדי 30% מההערכות שלנו.

היו כמה שילובים של טכנולוגיות שנמצאות קרוב לגבול הניצול שלהן בפרקטיקה היום יומית. אף אחת מהן לא הועלתה ע"י המומחים בעיני עצמם. הגישה לשיפוט היא עפ"י אינטואיטיבית ושטחית. בגישה אינטואיטיבית זו, הבעיה שחוזרת ומועלה היא גובה הארובה ("כי עוד לא בנו מבנים כאלה"; אמירה

מופלגת של איש שאחראי לתמיכה בדברים שטרם נעשו קודם. אמירה אחרת של איש בכיר באגף התקציבים היתה: "אילו זה היה טוב, מישהו כבר היה עושה את זה". כנגד אלה, ראוי לאמור שבעבודת הפיתוח שהושלמה הושקעו למעלה מ- 150 שנות אדם מהמומחים המובילים בישראל, ורפרנטורות מקצועיות הוכנו לעשרות בארץ ובחו"ל. אלה שפלטו את האמירות הנ"ל אינם ראויים לשמש בתפקידם.

כלכלה

משרד התשתיות הישראלי מינה וועדת מומחים לחקור את הפרויקט ויישומו בישראל. בין חברי הוועדה היו צוותים מחברת החשמל שבדקו ומצאו שכלכלת "הארובות" היתה עדיפה באופן משמעי על תחנות כוח פחמיות ותחנות כוח עם טורבינות גז. היתרונות היו גם ללא אף אחד ממוצרי הלוואי. איתם היתרון של ארובות השרב עולה פי כמה על כל תחנות הכוח המסורתיות (ראה בהמשך).

טבלה 4 - מחיר ייצור אופייני של חשמל בסנט לקו"ש לשנים 2005-2010, הרבה לפני עליית מחירי הדלק

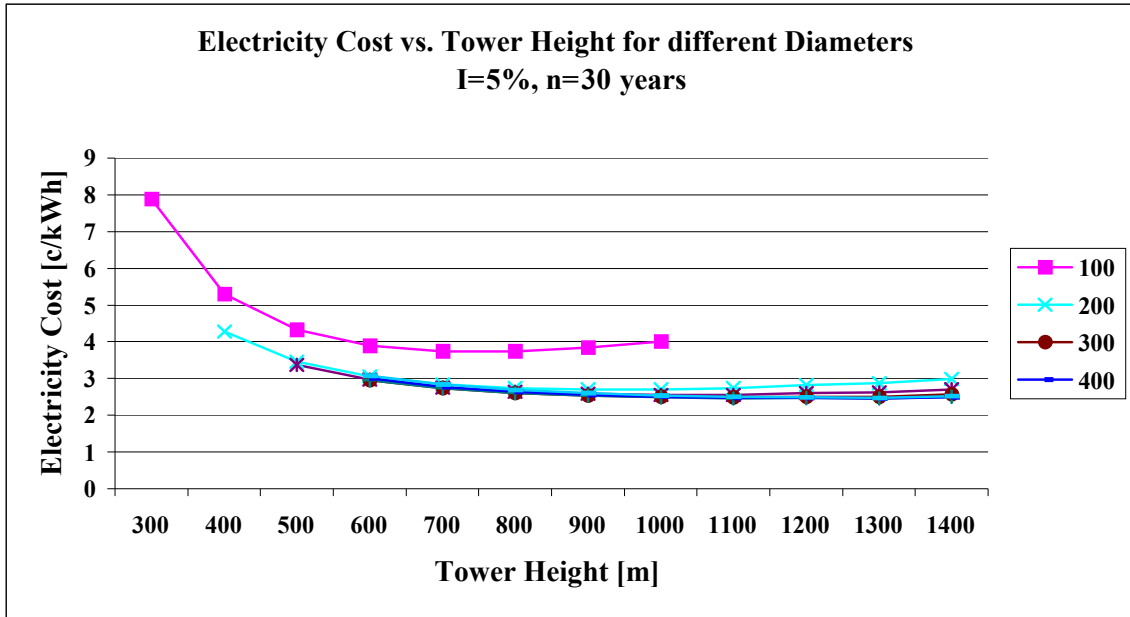
(load factor 75% , 30 years)

מחירים ממוצעים מייצגים		טווח מחירים קיצוני		טכנולוגיה חלופית
10% ריבית	5% ריבית	10% ריבית	5% ריבית	
5.05	3.31	3.90-7.96	2.47-5.75	גרעין
4.99	4.07	3.74-7.61	2.48-5.64	פחם
4.47	3.98	2.36-8.44	2.33-7.91	גז
3.88	2.47	2.51-6.42	1.68-3.93	ארובות שרב 200-600 מגה-וואט
בדרום הערבה	בדרום הערבה			

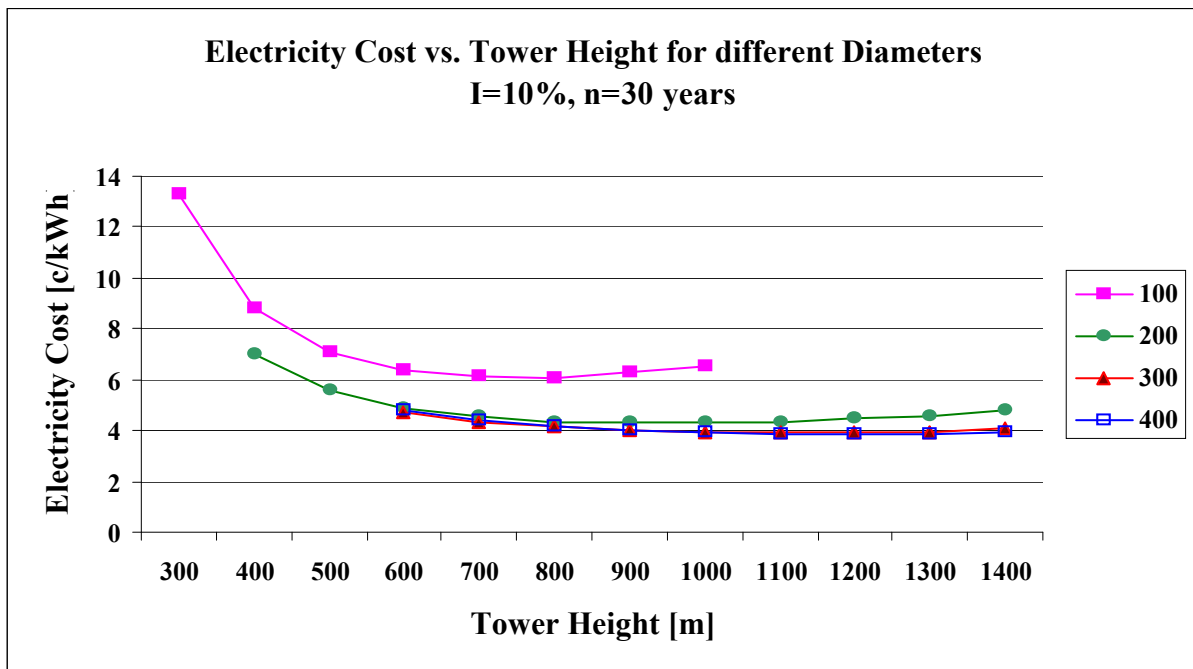
בחינה פרטנית נעשתה לארובות שיותקנו בערבה, בגבול שבין ירדן וישראל, מאילת צפונה. העלות המחושבת נמצאה כ- 2.47 סנט לקו"ש בריבית של 5% ו- 3.88 סנט בריבית של 10% (אורך חיים של 30 שנה ומשך בנייה 4 שנים). מחיר זה כולל עלות הפעלה ותחזוקה (כחצי סנט לקו"ש).

בעולם, אזור הערבה איננו האזור הטוב ביותר לבנייה. ישנם אזורים עם אנרגיה זולה בהרבה, טווח העלויות והשוואה עם שיטות ייצור חשמל בעזרת דלק מובא בטבלה 4 לעיל. וזאת לפי עלויות שהיו לפני עליית מחירי הדלק וללא העלויות החברתיות החיצוניות.

חשוב להדגיש כבר כאן שמוצרי הלוואי עשויים להוסיף רווח לחשמל המיוצר בין 4 ל- 14 סנט לקו"ש.



ציור 2 - עלות ייצור החשמל מארובת שרב באזור אילת כפונקציה של גובה הארובה וקוטרה עבור שיעור ריבית של 5% לשנה



ציור 3 - עלות ייצור החשמל מארובת שרב באזור אילת כפונקציה של גובה הארובה וקוטרה עבור שיעור ריבית של 10% לשנה

בציורים 1 ו- 2 מובאות עלויות הייצור של חשמל לארובות בממדים שונים באזור דרום הערבה בישראל.

טבלה 5 - מיפוי עולמי של הספק ארובה באיזורי אקלים שונים והערכת עלות ייצור החשמל

עלות ייצור חשמל		אנרגיה שנתית בניצול מלא	מספר ארובות דרושות לניצול מלא	שטח זמין בעולם	תפוקה נטו ממוצעת
לפי 10% ריבית	לפי 5% ריבית				
סנטיים/קו"ש	סנטיים/קו"ש	10 ⁶ קו"ש לשנה	[-]	ק"מ ² 10 ⁶	מגה-וואט
2.51-2.69	1.68-1.78	839	173	69	550-600
2.69-2.90	1.78-1.90	2,679	583	233	500-550
2.90- 3.16	1.90-2.05	10,579	2,542	1,017	450-500
3.16 - 3.49	2.05-2.24	20,923	5,620	2,248	400-450
3.49-3.91	2.24-2.48	34,221	10,418	4,167	350-400
3.91- 4.47	2.48-2.80	42,627	14,973	5,989	300-350
4.47- 5.25	2.80-3.25	51,775	21,492	8,597	250-300
5.25 - 6.42	3.25-3.93	64,733	32,843	13,137	200-250
		228,376	88,644	35,457	סה"כ

אזור הערבה מיוצג ע"י תחום התפוקה נטו הממוצעת (עמודה ימנית) של 350-400 מגה-וואט וקרוב יותר ל - 350.

טבלה 6 - כושר אספקת החשמל באיזורים נבחרים

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

בטבלה 6 חישובנו הספק כולל של חשמל באזורים שונים וכמה בני אדם ניתן לשרת לצריכת החשמל.

במיפוי העולמי מצאנו הספקים שונים לארובות שונות בתנאי אקלים שונים ובתנאים טופוגרפיים שונים. מעניין מאוד שה"כ ההספק שניתן להפיק. זאת נעשה בהנחה ששטח השמיים הפתוח לארובה הוא 400 ק"מ רבועים כדי שכמות מספקת של אוויר חם תוכל לרדת באזור הארובה. זוהי דרישה שמרנית מאוד. החישוב של טבלה 6 נעשה בתנאים יותר שמרניים מאשר בטבלה 5 לעיל !!! תנאי הדורש הספק איננו קטן מ - 300 מגה-וואט ממוצע.

השוואה של ארובות שרב עם טכנולוגיות סולריות אחרות

- מחירי החשמל מארובות שרב הם הנמוכים ביותר בהשוואה לכל הטכנולוגיות האחרות עם אנרגיה מתחדשת, להוציא אולי כמה מפעלים הידרו-אלקטריים גדולים במיוחד.
- עלות החשמל מתאים פוטו-וולטאיים הוא כיום 30-40 סנט לקו"ש. ההשקעה לקילוואט ממוצע היא בסדר גודל של 50,000 דולר. השקעה אופיינית בארובות שרב בערבה היא 2300 דולר לקילו-וואט ממוצע וקרוב למחצית לקילו-וואט מותקן. ההפרש הוא בסדר גודל ויותר.
- עלות של חשמל ממקור סולרי תרמי המשתמשים במראות פרבוליות נבחנה בישראל ונמצאה במחיר של 15.5 סנט לקו"ש, וזאת רק ל - 8 שעות ביממה ואולי פחות.
- ההשקעה באנרגיית רוח היא כ - 3000 דולר לקילו-וואט ממוצע. אי הרציפות באספקת החשמל מרוח מייקרת עוד יותר את אספקת האנרגיה.
- שטח הקרקע הדרוש להקמת ארובות שרב באילת מפחות מ - 400 מטר רבועים. לייצור של מיליון קו"ש בשנה, השטח הדרוש למראות פראבוליות הוא קרוב ל - 6000 מטרים רבועים.

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 היתה 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 הביא 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.

עלות החשמל בממוצע נע 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 (8-9) וכן מוצרי לוואי בעלי אופי כלכלי-חברתי והגנתי-פוליטי.

3.7.1 התאמת האספקה לדרישה

ניתן לאגור מים בגובה בשעות שאין צריכת חשמל רבה ולא מרססים את כל המים אל תוך פתח הארובה העליון. כאשר יש דרישת שיא לחשמל אפשר לרסס את המים שבמאגר העליון ולהימנע משאיבת מים מתחתית הארובה. בארובת השרב הספציפית שתוכננה בדרום הערבה, נוכחנו שאפשר להוסיף בשעות האלה כ - 70% לכושר אספקת החשמל נטו לצרכנים. בערבה ישנם הרים בגובה של כ - 800 מ' במערב ו - 1500 מ' במזרח.

ישנה שורה מעניינת של אפשרויות לאנרגיה באגירה שאובה גם כאשר אין הרים שכנים. זהו נושא חשוב להשלמת הפיתוח. ראוי לציין שחברת החשמל יכולה לספק את שיאי הצריכה על ידי אגירה שאובה במחיר לאין שיעור נמוך יותר מאשר על ידי בניית עוד תחנות כוח, וזה נכון אפילו ביחס לטורבינות גז. כיום בתנאים המוכתבים על ידי רשות החברות, חח"י כמעט איננה מסוגלת לזום.

3.7.2 התפלת מים

הראנו שאפשר לצרף לתכנון הארובה מתקן התפלה בשיטת אוסמוזה הפוכה. הראנו שניתן על ידי שילוב זה לחסוך כמה וכמה השקעות בחלקי מתקן, ובסה"כ מעל 50%. אפשר לחסוך גם כשליש של כמות האנרגיה.

בסה"כ בדקנו למשל אפשרויות לנצל 20% מהאנרגיה של הארובה לצורך התפלה. בתנאים אלה עלות ההתפלה יורדת ב - 45%. העלות בפועל עשויה להיות 30 סנט לקוב מי ים מותפלים, ואף לרדת ל - 25 סנט.

בבדיקה מפורטת נוכחנו לדעת שאפשר לעשות אופטימיזציה של התכנון ולחסוך יותר.

כמות המים המותפלים בניצול של 20% (ללא אופטימיזציה) היתה 200 מיליון קוב בשנה. אספקת החשמל בדרום הערבה לארובה בתכנון סטנדרטי הוא מעט מעל 3 מיליארד קו"ש לשנה, כלומר, אספקת חשמל לכחצי מיליון בני אדם עם תוספת מים של כ - 400 מ"ק מים לנפש לשנה. זה אומר יותר מהכפלת כמות המים לנפש בישראל!

זה מאפשר להסיק עוד מסקנות תכנוניות מרחיקות לכת. למשל:

- הקמת תחנת כוח לפי טכנולוגיה של "ארובות שרב" וסמוך לה תחנת התפלה מצפון לאילת לייצר כמויות מים אדירות להשקיית כל המדבר בעלות של 25 סנט או פחות לקוב מים;
- **מחיר זה הוא בערך שישית של עלות המים, לפי פרויקט של תעלת הימים ששמעון פרס דוחף כבר מתקופת "תיאודור הרצל";**
- **אסור באיסור חמור להרים מפעלים עם השקעות ארוכות טווח מבלי יכולת להסתגל לשינויים וחידושים בתחומים ההדדיים. גם כאן יש לאסור השקעות ענק שלא תאפשרנה כל הסתגלות לחידושים בעתיד;**
- ישנו קשר אמיץ מאוד בין אספקת אנרגיה ומים. הדבר המדהים הוא שפרויקט "תעלת הימים" המקודם ע"י מר שמעון פרס כמעט ואין כל אספקת אנרגיה מועילה.

3.7.3 השקיית המדבריות וייצור תחליפים לדלק לתחבורה

בתנאי מדינת ישראל ניתן להגדיל כאמור את כמות המים להשקיה ביותר מהכפלה, לא פחות מ - 400 קוב לנפש לשנה, כאשר כיום הכמות היא פחות מ - 350 קוב לנפש לשנה. כמות זו עשויה להספיק להשקיית שלושת אלפים קילומטרים רבועים של מדבר. יותר, אם נרצה, נוכל לייצר הרבה יותר מים. ניתן יהיה להשקות את מרבית שטח הנגב הניתן לעיבוד כאשר עלות המים לא מהווה מחסום כמו מחיר המים המותפלים כיום (באשקלון) של 53 סנט לקוב מי ים מותפלים.

אחד היעדים יכול להיות גידול צמחים להפקת כוהל שיחליף בנזין למכוניות. באופן דומה ניתן לגדל צמחי שמן שמהם ניתן להפיק תחליף לדלק דיזל. בעולם נעשים ניסויים לכך בקנה מידה גדול, אולם, המחסום הוא בכך ששטחי העיבוד וכמויות המים הדרושות באים על חשבון גידולים חקלאיים חיוניים. הדבר גורם כבר היום לעלית מחירים בלתי מוסברת במוצרים אלה.

זוהי הפתעה מדהימה. הארובות פותרות לא רק את בעיות אספקת החשמל אלא גם אספקת דלק חליפי לתחבורה, ומכאן התקדמות ל - 100% תחלופה לדלק פוסילי מיובא. בצפון אפריקה ניתן יהיה להפיק את כל החשמל לאירופה, אבל גם לייצר מקורות מים להשקיית המדבר בהיקפים של 20 פעמים הנילוס ומקור ענק לדלק מתחדש לתחבורה. ללא פיתרון כמו זה של "ארובות שרב", שימוש עולמי בגידולים חקלאיים, ייצור דלק מתחדש, איננו אלא אשליה כי הוא יבוא על חשבון מזון לבני אדם.

3.7.4 Aquaculture במי ים

אפשר להשתמש במי הים המוסעים אל הארובות ולהשהות אותם במשך יממה אחת בבריכות רדודות המקיפות את בסיס הארובה. בבריכות אלה ניתן לגדל דגי ים וגידולי ים אחרים. הפוטנציאל לגידול דגי ים סביב ארובה אחת בדרום הערבה הוא של 160,000 טון בשנה. זאת לעומת פחות מ - 3000 טון גידול דגי ים ביום בסמוך לאילת. הפוטנציאל הכלל ארצי הוא של 3 מיליון טון בשנה.

מעניין לציין שלגידול ק"ג דגים דרוש בערך ק"ג מזון יבש. לעומת זאת דרושים כ - 2 ק"ג מזון יבש לק"ג בשר עוף - דרושים שלושה ק"ג לגידול ק"ג בשר חזיר. לגידול ק"ג בשר בקר דרושים כ - 5 ק"ג מזון יבש. המשמעות של מעבר לגידול דגים היא מרחיקת לכת בחסכון בקרקע ובמים, ומכאן אספקת מזון לאדם!

הפוטנציאל העולמי הוערך על ידנו יחד עם מומחי הדיג באילת. הוא מגיע ל - 130 מיליון טון דגים לשנה, יותר מכל הדגה השנתית היום. כמובן שפעולה זו תשחרר את האנושות מדייג יתר המאיים כיום על אוכלוסיות הדגה באוקיינוסים.

3.7.5 המלחה במפעלי השקיה גדולים

המלחה הינה תהליך הרסני למפעלי השקיה רבים. הדוגמא העקרונית היא השקיה במי הנהר. חלק של המים מתאדה וחלק חוזר אל הנהר. המליחות בנהר הולכת ומתגברת עם התקדמות לשפך הנהר. ישנם מנגנונים נוספים בהם מי המלח מצטברים במי תהום או אף מתרכזים בפני השטח. איסוף מי המלח בניקוז היא אפשרית. אולם, בהרבה מקרים, נפחי המים המלוחים ומרחקי ההובלה יקרים ביותר. (ראו למשל:

The Colorado River, נהר ה - Murray Darling River שבאוסטרליה או תעלת Indira Gandhi בצפון הודו). מאחר שנהרות אלה חוצים מדבריות, ניתן לאסוף את מי הניקוז ולהתיז אותם לתוך

ארובות שרב. כמות המים להסעה לים לאורך של מאות קילומטרים תפחת לכמות שהיא משהו כמו 5%, וזאת בגלל התאדות בארובות. רווח נוסף אפשר לקבל על ידי ייצור של כ - 10 קו"ש לכל קוב מים שהתאדה בארובה. כדוגמא אפשר להביא את "תעלת אינדירה גנדי" המזינה את המדבריות בצפון הודו בכ - 10 מיליארד קוב מים לשנה. מהם נותרים כ - 3 מיליארד מים מליחים שמזינים את כל הסביבה. לאט לאט מי התהום מומלחים, חלק גדול של מי התעלה לקראת סופה נעשים בלתי שמישים וסערות רוח נושאות איתן אבק מליחים.

3.7.6 קירור תחנות כוח תרמיות

דבר זה יהיה דרוש גם לתחנות כוח סולריות תרמיות. המים הנאספים בתחתית הארובה יכולים לשמש לקירור התחנות.

3.7.7 קירור של האוויר לפני דחיסה לטורבינות גז

קירור אופייני של האוויר יכול להיות 10-15 מעלות צלזיוס. קירור של מעלה אחת מעלה את יעילות הטורבינה באחוז אחד למאה.

3.7.8 שיקום של חלק מהאנרגיה ששימשה להתפלה

זאת משום שריכוז המלחים בתמלחת הנותרת בתהליך ההתפלה כפול מריכוז התמיסה במי הים המקוריים. נושא אחרון זה מעלה כמה רעיונות הראויים לפיתוח, והם ישמשו בהרבה נסיבות אחרות שלא קשורות דווקא ב"ארובות שרב".

בין מוצרי הלוואי הפחות גשמיים אבל מוחשיים ביותר :

3.7.9 חשמל ללא זיהום

3.7.10 שחרור מתלות בדלק

3.7.11 חסינות בפני עליית מחירים

3.7.12 חסינות בפני ניוודי מחירים

3.7.13 הימנעות מהצורך לאגירת דלק אסטרטגית

3.7.14 שיפור של מאזן התשלומים

3.7.15 הימנעות מקנסות בגלל פליטה של גזי חממה ואולי רווח אודות להמעטת גזי חממה

3.7.16 חסכוניות ענק בהוצאות הגנה. גם בתנאי ישראל הדבר יכול לסייע לשת"פ עם

השכנים והימנעות ממלחמה על מקורות המים

3.7.17 פיתוח אפשרי של שת"פ עם השכנים

ובסה"כ 8 מוצרי לוואי גשמיים ו - 8 מוצרי לוואי כלכליים ומדיניים.

הפוטנציאל העולמי

ישנן כ - 40 מדינות בהן האקלים מתאים לייצור חשמל בארובות שרב. בניית ארובות היא פשוטה באופן יחסי בניגוד לרושם שמקבלים כמה שאינם בעלי מקצוע בתחום הקונסטרוקציות. במשך 25 שנה ניתן יהיה להמיר את ייצור החשמל במדינות הנ"ל ולספק גם לשכנותיהן. לפי הערכה זהירה ניתן לספק חשמל מתחדש ל - 2/3 של האוכלוסייה בעולם, וזאת בהערכה ממעיטה. הגורם

המגביל חדל להיות מקור האנרגיה. המגבלה היחידה היא במרחקי ההובלה של חשמל בקווי הולכה. באופן מעשי ניתן לעשות זאת כיום למרחקים של 3000 ק"מ ויותר, וזאת בעלות לא חמורה. ישראל תוכל לפתח תעשייה וייצוא בהיקף שלא פחות מ- 20 מיליארד דולר בשנה. זאת אם המדינה תתעשת, תתרחק מחזונות שווא של תחנות כוח המופעלות בדלק, תתרחק מרודפי בצע ותסייע לפיתוח שנעשה כדי לנצל את המשאבים הטבעיים של ישראל. חשוב מכל - ניתן לפתור כמה מבעיות הסביבה של העולם:

1. **עיקרי פעולת הזיהום;**
2. **אגירה של מים טובים להימנעות משאיבת יתר והמלחה;**
3. **שימור של מערכות גידול דגים בימים;**
4. **הימנעות ממלחמות והוצאות ביטחון;**
5. **שינוי פוליטי מעמיק וחיזוק התרבות המערבית.**

3.8 עוד מפירות השמש

ישנם עוד מפירות השמש כמו הפרשי טמפרטורות בים, גלי ים וזרמי ים שניתנים באופן עקרוני להיות מנוצלים על ידי טורבינות, בדומה לטורבינות רוח. **עד לרגע זה אף אחת מהטכנולוגיות הללו לא מתקרבת אפילו להישגים של הטכנולוגיה של "ארוכות שרב".**

3.9 טכנולוגיות לאספקת חשמל מקרינת השמש

שתי הטכנולוגיות המתקדמות ביותר בתחום זה הן:

- א) **מראות פראבוליות** שפותחו ע"י חברת LUZ כיום חברת "סולל". חישוב שנעשה לאחרונה הראה שהעלות היא 15.5 סנט לקו"ש חשמל. וזאת בשטח של כ- 6000 מ"ר. לייצור מיליון קו"ש לשנה ואספקה ללא תוספת דלק במשך 8 שעות ביממה בלבד.
- ב) **מגדל השמש של מכון וויצמן** חוזה מחירים דומים לאלה של התחנה של LUZ וסובל ממגבלות דומות.
- ג) **טכנולוגיה שלישית היא של תאים פוטו-וולטאיים** - לקראת סוף שנת 2005 העלות היתה בהשקעה של לפחות 3 דולר ל- Watt שיא, ויש הטוענים שהיא לא ירדה מ- 6 דולר לוואט שיא. העלות הממוצעת של החשמל איננה נופלת מ- 30-40 סנט לקו"ש, וזאת עובדה מוצהרת ע"י אחד היצרנים החשובים.

כדי להקטין את העלויות הועלו בעיקר שלושה רעיונות:

1. ריכוז הקרינה לתא פוטו-וולטאי קטן בשטח מצומצם;
2. ניצול החום של קבלת השמש יחד עם ייצור החשמל;
3. לייצר תא פוטו-וולטאי זול יותר ובניצילות גבוהה.

בינתיים אלה לא חרגו מכלל הרעיונות הלא ממומשים ומחירים רחוק מלהיות תחרותי לאספקת החשמל בכמויות גדולות.

יחד עם הטיפול בתאים פוטו-וולטאיים צמח גם המושג של "מקורות אנרגיה מפוזרים", ולכאורה זה צריך להיות תחליף לתחנות כוח גדולות ואספקה רחבה מקווי רשת. אלה שמפספטים ביחס ל"מקורות מפוזרים" צריכים לזכור לפחות שתי קביעות חשובות:

1) האספקה הנקודתית מחייבת שיאי אספקה קיצוניים שמחייבים זרמי חשמל פעמים רבות, לפחות פי 5 מהאספקה הממוצעת. אם האספקה היא מגוונת לתחנת כוח למגוון צרכים, שיא האספקה צריך להיות בערך פי שתיים מהאספקה הממוצעת, ומכאן ההשקעה גבוהה בהרבה מהספקולציה החזויה.

2) את התאים הפרטיים הנקודתיים עדיין הכרחי לקשור לתחנת כוח שמרכזת את כל המקורות. פירוש הדבר שלא נחסוך מאומה! להפך! נשקיע פי כמה בביטחון באספקה של המערכת.

3.10 הרעיון של שימוש במימן ותאי דלק מעולם לא הוכח ולמעשה אפשר להוכיח זאת בהגדרה כשטות גמורה

א) אין מימן בטבע כמקור אנרגיה. כדי לקבל מימן או גז דליק אחר צריך מקור אנרגיה שנשתמש בו לפירוק מים או לקשירה של פחמן דו-חמצני עם מים וכו'. הטרינספורמציה של האנרגיה ממים למימן וממימן חזרה למים גורמת להפסדים לא מבטלים שספק אם תצדיק את עצמה להוציא כמה שימושים מיוחדים מאוד.

ב) אחסון של מימן הינו יקר מאוד ומסוכן.

ג) תאי דלק עדיין בפיתוח והם יקרים באופן יחסי, ובכן ייתכן שלתאי דלק יש שימוש בכמה נושאים מיוחדים. זה בשום אופן לא נראה כיום כפיתרון מסיבי לתחלופה של דלק.

לאחרונה הציג פרופ' עמנואל פלד מאוניברסיטת תל-אביב שימוש מעניין ביותר בתאי דלק. הוא בנה מערכת סגורה המשמשת מעין מצבר שאפשר להטעין אותו ולפרק אותו בעזרת חמצון וחיזור של תרכובות גז עם וונדיום. זאת נראית כפריצת דרך אמיתית לעוד צורה של מצבר הרבה יותר יעיל מהקיים היום.

זאת עוד הוכחה מני רבות שיש ויש לתמוך במחקר ופיתוח גם בנושאים שכיום עדיין לא נראים שמישיים כתוצאה מעבודה ממושכת של פרופסור פלד בנושאים של תאי דלק הוא עלה על רעיון יפה זה.

3.11 כמה מקורות אנרגיה נוספים

אחד המקורות המוצלחים הוא אנרגיה גיאותרמית. אנרגיה זו זמינה בהיקפים לא גדולים ובמעט מאוד מדינות. חברת "אורמת" פיתחה טכנולוגיה לניצול מקורות גיאותרמיים, וזאת במסגרת המחקר לניצול חום מבריכות סולרית. עד כה הם התקינו בעולם כ - 1000 מגה-וואט ממקורות גיאותרמיים. השימוש באנרגיה גיאותרמית גם הוא צמח ממחקר אחר של בריכות שמש שאכזב. המכונות שפותחו שם לניצול חום נמוך לייצור חשמל הביאו לאפשרות להקים את התחנות הגיאותרמיות.

יש אנרגיה של גאות ושפל, ופה ושם ניתן לנצל אותה לאספקת חשמל. לבסוף, יש מקום לדון באנרגיה גרעינית. עדיין לא ברורים גדלי המקורות וישנן בעיות בטיפול בפסולת גרעינית. יש רגישויות רבות מבחינה סביבתית פוליטית וביטחונית. יעניין את הקורא לדעת שישום ארובות שרב באירן יוכל לשמש לאספקת חשמל ליותר מ - 400 מיליון תושבים ברמות צריכה אירופאיות. נוסף לכך, אפשר יהיה להפיק מים מותפלים זולים מאוד להשקיית המדבריות באירן בכמות שקולה לפעמיים הנילוס.

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"ל 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 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 שבמכרז היו זולים מאחרים בכמה אחוזים, אבל הביאו להחלטות גרועות ביותר.

ה. בניסיון ליישם פיתוחים שנעשו בארץ, התקבלו תשובות מהסוג הזה :

- "אילו זה היה טוב, מישהו כבר היה עושה את זה".

- "אני עדיין מהסס. איש עוד לא בנה דבר כזה".

אנשים עם תשובות כאלה ודומיהן יש להרחיק משרות המדינה ועוד יותר ממילוי תפקידי ניהול בהשפעה על תקציבים ועל תכניות עבודה במו"פ.

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

ז. הפוטנציאל המידי להמרה של שימוש בדלק קרוב מאוד ל - 60% של כל השימוש בו. הטכנולוגיה של "ארובות שרב" מבטיחה לא רק 100% של ייצור חשמל ללא צורך בדלק, אלא גם תחליפים לדלק לתחבורה. יש לגשת לביצוע מידי של אלה בעדיפות ראשונה במעלה ובמשקל שאיננו פחות חשוב מביטחון, מאספקת מים ומשניהם יחד.

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.