



תעלת הימים

מטרה או דעה קדומה לפתרון

פרופ' דן זסלבסקי



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 וציבור קובעי המדיניות, ויצגו לפנייהם חלופות שונות לקבלת החלטות.

2 ייעוד והיקף פעולה

הדגש העיקרי בפעילות המקצועית במוסד נאמן היא באותם תחומים שהם בפן 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 גלום ביכולתם להשפיע על המחקר המדעי והטכנולוגי ועל קביעת סדרי עדיפויות בתחומים אלה. קשרי הגומלין ההדוקים בין מדע וטכנולוגיה, כלכלה וחברה יוצרים מערכת מורכבת של היזונים 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, תשתיות 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.

פרויקט

"תעלת הימים"

מטרה או דעה קדומה לפתרון

הוכן ע"י פרופ' דן זסלבסקי

נובמבר 2007

ה צ ר ה א י ש י ת

את החוברת שלהלן כתבתי מתוך תחושה של שליחות. ההוכחה שפרויקט "תעלת הימים" איננו פרויקט ראוי ושיש אלטרנטיבות הרבה יותר טובות - איננה המטרה העיקרית, ובוודאי לא תקיפה אישית של כל מי שהיה מעורב בנושא.

היעד העיקרי שראיתי לפניי הוא להצביע על צורת התנהלות לא נכונה של הכנה וביצוע של פרויקטים. לפרויקט הנדסי טיפוסי ישנם כ - 12 שלבים, החל מהצגת מטרה, בדיקת חלופות תכנון כללי וכך הלאה. הסיפור שלהלן מדגים כמה מהשגיאות הטיפוסיות בתהליך זה. יש דעה קדומה לפתרון במקום הצעת מטרה או כמה מטרות בסיסיות. אין בדיקת חלופות ראויה, אין תהליך של בקרת תכן על ידי בעלי מקצוע מיומנים, ועוד. בקרת התכן הוא תנאי הכרחי לעשייה ראויה. בפרויקט "תעלת הימים" חסרה כל אפשרות למשוב הבוחן דברים מחדש כתוצאה מממצאים שונים. אני תקווה שמלבד מציאת פיתרון יותר ראוי לבעיית האזור ובעיות המדינה כולה, אתרום משהו גם לדרכי ההתנהלות של המדינה.

פרופ' דן זסלבסקי

נובמבר 2007

ת ק צ י ר

1. היעד המקורי של תעלת הימים היה לייצר חשמל בשעות של צריכת שיא, שבהן עלות הפקת החשמל יקרה פי חמישה מאשר בשעות רגילות. הווריאנט העדיף מכולם נמצא מהים התיכון באזור חבל קטיף.
2. וריאנט זה נבדק פעמיים באופן בלתי תלוי. בפעם הראשונה נבדק בתקופת כהונתו של שר האנרגיה, יצחק מודעי ז"ל, (במחצית 1983) ונדחה מהיעדר כדאיות. בפעם השנייה נבדק הווריאנט בתקופת כהונתו של שר האנרגיה, פרופ' יובל נאמן ז"ל, שהגיע אף הוא לאותה המסקנה ודחה את הפרויקט. חשוב לציין שכבר אז הייתה מודעות לנזק הסביבתי הקשה והבלתי אפשרי, למעשה, העלול להיגרם כתוצאה מן המפגש בין מי הים התיכון וים המלח. עם זאת הדחייה הגורפת של הפרויקט נבעה מהיעדר כל כדאיות כלכלית, ולא בשל ההשלכות הסביבתיות. מסיבה זו נזנח הטיפול בהיבט זה, שאגב, גם לא היה כל רעיון כיצד להתגבר עליו.
3. בשלב זה עלה הרעיון לנסות את פרויקט תעלת הימים בתוואי העובר מים סוף לים המלח, שאורכו יותר מכפול ומשמעותו הפסדי אנרגיה כפולים. חמור מזה: בתוואי זה ביקשו להשתמש בהפרש העומד של הימים לצורך התפלת מי ים בעזרת אוסמוזה הפוכה, בתחנה שתקום ליד ים המלח. רעיון זה גרם לחמישה-שישה שינויים כלכליים, שהפחיתו עוד יותר את כדאיות הפרויקט בהשוואה לווריאנטים מקטיף: להלן, רשימת הנזקים הכלכליים:
 - א. כמות האנרגיה המיוצרת פחתה למחצית כמעט;
 - ב. ההשקעה הוכפלה;
 - ג. ערך האנרגיה פחת ל - 1/5 לכל קילו-ואט שעה;
 - ד. יש לחזור ולשאוב את המים המותפלים כלפי מעלה, לגובה של 400 מטר - פעולה המותירה אנרגיה נטו אפסית. בעצם כדי ליהנות מתעלת הימים צריך להוסיף תחנת כוח מופעלת בדלק בהספק של כמה מאות מגה-וואט;
 - ו. ההתפלה סמוך לים המלח תגרום לבעיות סביבתיות נוספות קשות ביותר, שעד היום לא נמצא להן פיתרון;
 - ז. הזרמת מי ים דרך הערבה מסכנת באופן ממשי ביותר את מי התהום שמשמשים בסיס לכל התשתיות בערבה, הן בצד הישראלי והן בצד הירדני.
4. פעמיים נבחן הפרויקט ונדחה על ידי המומחים בישראל כבלתי ראוי. בעל הרעיון, היה היחיד שלא הסתייג באופן מפורש.
5. הפרויקט נבדק בפעם החמישית על ידי תע"ש, תחת רב אלוף במיל' דן שומרון, כיו"ר מועצת המנהלים, ונדחה בצורה החלטית. (האחראי לבדיקה היה ד"ר יונה יהלום).
6. ניסיונו של שמעון פרס "להציל את ים המלח" - בדיון שהתקיים במשרדו דיברו בודדים וכולם דחו את הרעיון. כאשר החלו להתעורר ספקות ביחס לצורך ב"הצלת ים המלח" וביכולת של תעלת הימים, הוחלט לכנות את הפרויקט "עמק השלום". זאת לצורך שיתוף פעולה תלת לאומי בין ישראל, הפלשתינים וירדן.

שיתוף פעולה זה הוא מבורך ורצוי מאוד, אבל מה בינו לבין הפרויקט הלא כדאי הנקרא "תעלת הימים"? מדוע לא להעלות פרויקטים ראויים?

7. ירידת פני המים בים המלח גרמה לכאורה לבעיית ה"בולענים". בעיית הבולענים לא תיפתר על ידי העלאת פני המים בים המלח, כשם שחביתה לא יכולה לחזור ולהפוך לאפרוח. אם הדבר יקרה, זה יהיה הודות לנס כלשהו, שיקרה אולי בעוד 20-30 שנה. יש לחפש פיתרון בלתי תלוי ולא לתר. הוא הדין בחתימה לאחור במוצאי הנחלים הנשפכים לים המלח.

8. נטען שירידת פני המים פגעה במקורות מי התהום וכן פגעה בתיירות באזור. לטענות אלה אין כל ביסוס תיאורטי, ולאחרונה פורסמו מדידות של ממש ששוללות זאת כליל.

9. מי שרוצה לבחון מה הנזק לתיירות, כל מה שהוא צריך זה להסתכל בפיתוח התיירות שנעשה בצד הירדני של ים המלח.

10. ירידת פני ים המלח מצמצמת את שטח הים, אבל מה צריך להציל שם? זה הרבה פחות חשוב.

11. בהנחה שקיים בכל זאת צורך להציל את ים המלח על ידי תוספת מים - רעיון תעלת הימים - מים סוף לים המלח ושימוש בה להתפלת מים סמוך לים המלח צריך להידחות מכמה בעיות בלתי נסבלות:

- א. זהו פיתרון יקר להחריד, שחזר ונדחה חמש פעמים בעבר;
- ב. הוא מביא איתו אסון סביבתי חמור ביותר, כגון: המלחת מי התהום בערבה; צביעת ים המלח בצבע חלב; חיסול ממשי של מפעלי ים המלח, שיגרור אחריו זיהום חמור ביותר על ידי חומרים כימיים המשמשים להפעלת הממברנות להתפלה ולהבטחת איכות המים הדרושה;
- ג. קיימות חלופות אחרות, קוסמות ביותר, בהשקעות קטנות לאין שיעור, ברווחים של מאות מיליוני דולרים בשנה ונעדרות כל בעיות סביבתיות. החלופות רק פותרות בעיות שקיימות באמת.

12. "החלופה מצפון" כוללת צמצום הדרגתי של שאיבת מי הכינרת (מאה או מאתיים מיליון קוב לכל היותר) והחלפתם במי ים מותפלים. ניתן בהמשך להוסיף עוד ועוד מים מותפלים וניתן לנסות לשלב בסופו של דבר את השקיית כל בקעת הירדן באמצעות הפרויקט. משיגים:

- הצלת הירדן (הרבה יותר חשוב ודחוף מהצלת ים המלח);
- עצירת השפילה של ים המלח (את מרבית תוספת המים הדרושה, לפחות);
- מניעת המלחה של מי תהום בכל הארץ בנפח של כ- 150,000 טון לשנה;
- החלפת מים אקראיים, הסובלים מבצורת, באספקת מים אמינה לגמרי;
- המסת כל מלח הבישול בבריכה מספר 5 במפעלי ים המלח והסרת סכנת ההצפה של המלוונות לחוף הים וחיסכון בהוצאה השנתית להרמת הסוללות.

[התוצאה הסכומית היא רווח של כמה מאות מיליוני דולרים בשנה (לא עלות אלא רווח)].

13. הרווח מ"החלופה מצפון" יגדל עוד יותר כאשר יושלם פיתוחן של שיטות התפלה זולות בהרבה מאלה של היום. (קיים סיכוי לצמצם בקרוב את העלות לכדי 20% מהעלות הנוכחית).

14. עם הגדלת כמות המים המותפלים, ניתן יהיה לספק מים להשקיית כל בקעת הירדן, בצד הישראלי והירדני כאחד.

15. "החלופה מדרום"

ניתן להשתמש בטכנולוגיה שפיתוחה הושלם בטכניון - טכנולוגיה של "מגדלי אנרגיה" או "ארובות שרב" (בנספח I). בתהליך התגלה המשאב היקר ביותר והחשוב ביותר שנתגלה אי פעם בישראל: אוויר חם ויבש.

אפשר להוכיח שהמקום המתאים ביותר לצורך כך נמצא סמוך מאוד לאילת. מארובה אחת ניתן לספק חשמל לחצי מיליון ישראלים ובעלות נמוכה יותר מכל שיטה ידועה אחרת. סך כל הפוטנציאל הוא פעמיים כל החשמל בישראל, ללא צריכת דלק.

ניתן להתפיל מי ים בפחות ממחצית העלות, כלומר, בכ - 25 סנט לקוב או פחות.

המיקום ההגייוני למטרת שימוש בטכנולוגיה זו צריך להיות בצמוד למקור המים. ניתן להוכיח זאת באופן כללי ביותר. כל מיקום אחר של מתקן ההתפלה, כגון בצמוד לים המלח, יתברר כמעשה חלמאות.

באמצעות 20% מהחשמל המופק מארובת שרב אחת ניתן להפיק כ - 200 מיליון קוב מי ים מותפלים.

ניתן לייצר באמצעות הארובה מוצרי לוואי נוספים שיפיקו רווחים נכרים הנעים בין 2 סנט ל - 14 סנט לקוט"ש.

הקמת הארובה ליד אילת תביא למהפכה עולמית בתחום האנרגיה (פוטנציאל של פי 15 ויותר מכל צריכת העולם, בתוספת 8 מוצרי לוואי מדהימים). הדבר יהיה גם ניצחון במאבק של המערב על סוחרי הנפט.

תתאפשר תוספת ליצוא הישראלי בהיקף של כ - 20 מיליארד דולר בשנה.

ניתן יהיה לספק אז כל כמות של מי שתייה לים המלח, בשבר של העלות, בהשוואה לתעלת הימים.

הקמת תעלת הימים עשויה לחסל את האפשרות לניצול המשאב האדיר ביותר ולהגשים את חלומנו של בן-גוריון.

16. ראוי לקדם שני רעיונות מחקר חשובים:

א. **התפלת מי ים בעלות של 10 סנט לקוב. שלוש סדרות ניסויים** בלתי תלויות הראו שהדבר אפשרי. עיכובים אדמיניסטרטיביים הקפואו את העבודה במשך ארבע שנים. לאחרונה עלתה טענה של ניגוד אינטרסים. הניגוד היחיד היה של חבר ועדת המחקר.

ב שיטה לייצור חומרי גלם למפעלי ים המלח ללא צורך באידוי

הצלחה של מחקר זה תצמצם את ההתאדות מים המלח בהיקף של 350 מיליון קוב. יחד עם

החלופה מצפון היא תצומצם בהיקף של כ - 750 מיליון קוב בשנה. זו הכמות הדרושה על מנת לשקם את פני ים המלח (לא להמאמינים כי נחוץ לבצע זאת). הצלחה כזו תחסל את בריכה מספר 5 על הבעייתיות שבה. הצלחה כזו תאפשר למפעלי ים המלח להרחיב את בסיס חומרי הגלם לייצור.

17. בדיון שהתקיים לאחרונה (17-9-2007) בוועדת הפנים בכנסת בניהולו של היו"ר אופיר פינס, 5-6 נציגים מהממשלה, נציגי האזור ונציגי מפעלי ים המלח - בטאו את עמדתם ופעילותיהם בנושא. לא היה כל תיאום ביניהם. אף אחד לא היה בעל מקצוע בתחום, וזה בא לידי ביטוי בדבריו, על אחת כמה וכמה בתחום התכנון של פיתוח הנגב.

תוכן עניינים

1. מושגי יסוד והיסטוריה	
1.1 לידתה של תעלת הימים - האם זאת הגדרת בעיה או דעה קדומה ביחס לפתרון ואולי תופעה פסיכולוגית-סוציולוגית אחרת	
1.2 מטרות אפשריות המוזכרות ביחס לתעלת הימים	
1.3 מהם סוגי הביקורת הרציונלית ואלו ביקורות היו	
1.4 שלילות שנעשו בעבר לתעלת הימים לאחר בדיקה טכנית-כלכלית מדויקת	
1.5 שיקולים סביבתיים	
1.6 האם יש הצדקה להמשיך את הרעיון של תעלת הימים?	

2. גישה שיטתית נכונה	
2.1 פונקציות מבוקשות ומרחב הסתכלות	
2.2 מקורות מים	
2.3 מקורות אנרגיה	
2.4 דרכים למלא את ים המלח או לעכב את ירידתו	

3. פרויקטים חלופיים	
3.1 רשימה קצרה	
3.2 פרויקט "החלופה מצפון"	
3.3 פרויקט "החלופה מדרום"	
3.4 יצירת אי תלות בבריכות התאדות לצורך אספקת חומרי גלם למפעלי ים המלח	
3.5 מקורות אנרגיה בים המלח	
3.6 התפלת מים זולה	

4. דרכים להתארגנות מדינת ישראל	
4.1 בולענים	
4.2 חתירה לאחור בנחלים	
4.3 נסיגת החופים ותיירות	
4.4 מחקר אזורי	
4.5 זמינות מי תהום	
4.6 סיכום אפשרי	

I נספח	תיאור פרויקט "ארובות שרב"
II נספח	תיאור קצר של מחקר בהתפלה
III נספח	מאמר בשם "אופקים חדשים לאנרגיה מתחדשת"

1. מושגי יסוד והיסטוריה

1.1 לידתה של תעלת הימים - האם לידתה בהגדרת בעיה, או שמא דעה קדומה ביחס לפתרון ואולי תופעה פסיכולוגית-סוציולוגית אחרת

ניצול הפרשי עומד של המים - הנתון הגיאוגרפי לפיו פני ים המלח נמוכים בכ - 400 מטר מתחת לפני האוקיינוסים עמד בבסיס הרעיון שהועלה על ידי מספר גורמים. הרעיון מופיע במספר מקורות ואין דרך להחליט מי בעליו המקורי.

הפרש העומד של המים הוא אחד משלושה מקורות אנרגיה הוותיקים, שהם: פירות השמש הנמצאים בשימוש עוד מימיו של האדם הקדמון; רוח; ביו-מסה ומים.

הפרשי עומד של מים שימשו בעבר הרחוק להנעה של טחנות קמח. לפני יותר מ - 200 שנה הם שימשו להנעה של מנסרות, ומראשית המאה שעברה החלו לשמש לייצור חשמל.

כפי שניווכח, קיימת צורה רביעית של אנרגיה המופקת מפירות השמש, הניתנת לניצול באזור הנדון של "נחל הערבה" ובקעת ים המלח וכן בגבול שבין ישראל ומצרים. צורה רביעית זו מפיקה אנרגיה כדי יותר מכפול מכל צריכת ישראל בחשמל. מדובר בטכניקה הנקראת "ארובות שרב", שפיתוחה הסתיים בטכניון - מכון טכנולוגי לישראל - והיא עומדת בפני יישום. עלות החשמל בטכניקה זו נמוכה באופן משמעותי מחשמל המיוצר בדלק או בכל טכנולוגיה ידועה אחרת כיום. (ראה נספח I).

נוסף לכך ניתן להתפיל מי ים (ים התיכון או ים סוף) במחצית העלות, ואולי אף פחות מכך (25 סנט לקוט"ש או פחות) ובהיקף של כדי תוספת שני מיליארד קוב מים ויותר לישראל.

לצורכי השוואה נעריך כאן את ממדי ניצול האנרגיה האפשריים מ"תעלת הימים"

- נניח נפילה של מטר קוב מים מגובה ל - 300 מטר (100 מטר הם הפסדי אנרגיה כתוצאה מהובלת המים, וזו הערכה נדיבה).
- נניח נצילות של 0.85 בייצור החשמל.
- התוצאה היא שמקוב מים ניתן להפיק בהפלה לים המלח כדי 0.7083 קוט"ש.
- נניח שכמות המים המועברים לים המלח היא 1 מיליארד עד 1.9 מיליארד קוב מים לשנה. סה"כ האנרגיה תהיה 708 מיליון - 1.346 מיליון קוט"ש בשנה.
- הספק תחנת כוח רגילה להפקת שוות ערך למיליון מ"ק מים - 80 מגה-ואט בממוצע.
- הספק תחנת כוח רגילה להפקת שוות ערך ל - 1.9 מיליון קוב מים - 156 מגה-ואט.

טבלה 1 - השוואות שונות

היקף המפעל ההידרואלקטרי [במיליארדי קוביים]	ייצור חשמל - מיליון קוט"ש	הספק ממוצע של תחנת כוח רגילה [MW]	הספק מותקן בתחנה של 70% עומס ממוצע [MW]	היקף השקעה בהידרואלקטרי בתחנה תרמית [במיליוני דולרים לפי \$ 1200 לקוט"ש]
1	708	80	114	137
1.9	1346	156	223	268

ההשקעה בתחנה המופעלת על ידי גז טבעי תהיה בערך מחצית, וזאת בהשוואה להשקעה בתעלה מים סוף, של כ - 5 מיליארד דולר.

השקעה בטכנולוגיה חדישה של ארובות שרב: כ - 2,300 דולר לקוט"ש ממוצע ופחות מ - 1,400 דולר לקילו-ואט מותקן. כמוכן שארובת השרב איננה צורכת דלק ואיננה מלווה בנזקים סביבתיים. היא נהנית ממוצרי לוואי בעלי ערך שעולים בהרבה על עלות ייצור החשמל.

טבלה 2 - מחיר ייצור אופייני של חשמל בסנט לקוט"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			

ההספק כולו של תעלת הימים נע בין 1.65% ל - 3.13% מצריכת החשמל בישראל, פחות מעליית הצריכה בשנה אחת.

עלות קוט"ש ניתנת להשוואה גם בטבלה מס' 2. היא לקוחה מ -

“Contribution of Renewables to Energy Security”, OECD/IEA Information Paper - April 2007 ; written by: Samantha Ölz, Ralph Sims & Nicolai Kirchner.

הטבלה המעודכנת להלן מדברת בעד עצמה.

טבלה 3 - עלויות השקעה וייצור בטכנולוגיות שונות לייצור חשמל

Technology based on	Investment costs (\$ US/kW) in 2005	Electricity generation costs (¢/kWh)
<i>Large hydro</i>	1,500-5,500	3-12
<i>Small hydro < 10 MW</i>	1,800 - 6,800	6-15
<i>Wind onshore</i>	900 - 1,100	3-8
<i>Wind offshore</i>	1,500 - 2,500	7 – 22
<i>Geothermal</i>	1,700 - 5,700	3 – 9
<i>Solar PV</i>	5,000 - 8,000	18 – 54
<i>Solar thermal</i>	2,000 - 2,300	10.5 – 23
<i>Biomass</i>	1,000 - 2,500	3 – 10
<i>Ocean (current, tidal, wave)</i>		5.5 – 16
<i>Coal</i>	1,000 - 1,200	2 – 6
<i>Coal with CCS</i>	1,850 - 2,100	4 – 6
<i>Natural gas</i>	450 - 600	4 – 6
<i>Nuclear</i>	2,000 - 2,500	2.5 - 7.5

יש לשים לב שהערכים הנמוכים של תאים פוטו-וולטאיים וגרעיניים הם לא ריאליים כלל. מימן אפילו לא מוזכר בתור מקור אנרגיה. יותר מכך, ההשקעה המוערכת היא עבור קילו-ואט מותקן. ההשקעה לקילו-ואט ממוצע היא גבוהה בהרבה.

אם נניח באופן גס שעלות התפקוד והחזר ההשקעה השנתי בתעלת הימים הם 500,000,000 דולר בשנה והמוצר העיקרי הוא חשמל, הרי העלות תהיה לא פחות מ - 37 - 70 סנט לקוט"ש.

ניתן להסיק בוודאות מוחלטת שתעלת הימים הינה מוצר שלילי ביותר מבחינה כלכלית כמקור לאנרגיה. התשובה האינטואיטיבית של כל אלה שהציעו אותה נבעה מהיעדר יכולת לערוך את החשבון האלמנטארי לעיל. השר האחראי לפיתוח הנגב והגליל הפקיד על הנושא טייס לשעבר בחיל האוויר, ללא כל הכשרה מקצועית רלוונטית. הוא משום מה לא מצא לנכון להשתתף בדיון בוועדת הפנים, לא היה ולו כל נציג אחר של המשרד לפיתוח הנגב והגליל.

תעלת הימים לא הייתה מעולם פתרון לבעיית אמת כלשהי. לימים העלה מישהו את הבעיה של מחסור במים בים המלח ואת ירידת פני המים כאילו היה זה אסון טכנולוגי ותרבותי.

אנו ניווכח :

- א. אין בכך אסון ;
- ב. שגם אם יש בזה אסון כלשהו, הרי תוספת מים לים המלח כמוה כניסיון להחזיר חביתה למצב של אפרוח ;

ג. גם אם מילוי ים המלח במים נוספים מהווה פיתרון לבעיות אמת כלשהן, הרי יש לכך פתרונות קוסמים הרבה יותר, שמביאים הכנסות ענק במקום הוצאות ענק, וכמו כן הם לא מביאים איתם אסונות סביבתיים, כמו אלה שבאים עם תעלת הימים.

1.2 מטרות אפשריות המוזכרות ביחס לתעלת הימים

בחוברות השונות העוסקות בתעלת הימים נטען שהיא באה לפתור את הבעיות הבאות:

- א. **העלאה של פני ים המלח כמטרה בפני עצמה** - מייחסים לגובה פני המים חשיבות כמעט מאגית, שלא נתמכת בשום מקום בנתונים רציונאליים של ממש.
- ב. **פיתרון בעיית הבולענים** - בורות שנפערו באזורים מסוימים בקרבת חופי ים המלח. זוהי בעיה אמיתית בגלל פגיעה בפונקציות שונות, כמו מטעי תמרים, כבישים ומרכזי אירוח. בהמשך נדון באלה ונברר מה יוצר את הבולענים; מה הדרך לטפל בהם וכיצד תשפיע העלאת פני המים.
- ג. **חתימה לאחור של נחלים הנשפכים לים המלח** - זוהי בעיה אמיתית הנובעת מהנמכת בסיס הניקוז. גם כאן יש לנסות להעריך את היקף הבעיה, משקלה והשפעת תוספת מים לים המלח, אם בכלל.
- ד. **יצירת משטחי בוץ סמוך לחופים שנחשפו עם ירידת פני ים המלח.**
- ה. **הפסד של מי תהום** - ספק רב אם קביעה זו נכונה בכלל. יש לברר מה תהיה תוצאה של הנמכת פני הים בים המלח ומה צריך לעשות כדי לא להפסיד מי תהום.
- ו. **ייצור חשמל - מובן מאליו שהרבו לכתוב על ייצור חשמל** (ראה למשל סעיף 1.1 לעיל).
- ז. **ניצול הפרש עומד המים להתפלת מי ים** - רעיון שהועלה ממחצית שנות ה-80 ואילך. רעיון נואל זה הוצע ע"י ד"ר פנחס גליקשטרן, אז מדען ראשי של משרד האנרגיה, ולפני ואחרי זה מומחה להתפלת מים בחברת "מקורות".
- ח. **סעיפים ו', ז' הם מטרות לוואי.** נוספו להם מאוחר יותר רעיונות נוספים של מתקני נוי ונופש לאורך תעלת הימים, מים סוף לים המלח.
- ט. **שמעון פרס הוסיף לזה את הרעיון של שיתוף פעולה משולש בין ישראל, ירדן ומדינה פלשתינית** לכשתקום. אלה אינן בשום אופן סיבות להקמת תעלת הימים. שיתוף פעולה כזה נוסד כבר ב-1992, מהשיחות הבי-לטרטיות והמולטי-לאטרליות על נושאי מים ואנרגיה, ונשאר בתוקף עד היום.

שיתוף פעולה כזה יכול להתקיים בכל חלופה אחרת המוזכרת במסמך זה.

1.3 מהם סוגי הביקורת הרציונאלית ואלו ביקורות היו

- א. שאלת יסוד היא: האם כדאי לייצר חשמל בעזרת תעלת הימים גם בהנחה שאין בה כל פגמים אחרים?
- הראינו בסעיף 1.1 את חוסר הכדאיות המוחלט של רעיון זה. נחזור ונדון בו בניית חלופות לאספקת חשמל בפרקים הבאים.
- ב. מרגע שהרצון לייצר חשמל הסתמן כאיוולת מוחלטת, היה מי שהעלה רעיון מוצלח אף פחות: התפלת מים ממי ים סוף, המיובאים תחילה לים המלח. אפשר להקדים ולומר שאם תעלת הימים מים סוף איננה יכולה לספק יותר מתוספת צריכת החשמל של ישראל בחצי שנה, הרי

השימוש להתפלה יחייב הקמה של תחנת כוח בת כמה מאות מגה-וואטים כדי להפעיל את תעלת הימים (לא ייאמן)!

נציג חלופות אטרקטיביות יותר לאספקת מים מותפלים.

ג. מרגע ששני הרעיונות של ייצור חשמל או מים נדחים. נשארו בכל זאת רבים נאמנים לרעיון תעלת הימים כאמצעי ל"הצלת ים המלח"!

אנו נראה שתעלת הימים לא תציל את ים המלח אלא רק תגרום לאסונות.

ד. יש מקום להעלות דיון כללי בפיתוח שקע הירדן, החל מהנחלים שבמעלה הכינרת ועד לים סוף. לגישה רחבה זו יש בהחלט מקום, ובמסגרת זאת, יש לבקש, בין השאר:

- צורך במים וחשמל;

- תחבורה;

- פיתוח חקלאות;

- פיתוח תעשייה;

- פיתוח תיירות לנוף, לתרבות ולבריאות;

- שיקולי גבולות וביטחון;

- שמירת ערכי טבע, נוף והיסטוריה.

את ניתוח הפתרונות יש לעשות לאור ראייה רחבה זו ובשום אופן לא דרך תעלת הימים כמטרה שעומדת בזכות עצמה, או דרך "הצלת ים המלח" כאידיאל הגובר על כל מטרה אחרת.

ה. לבסוף נביא שיקולים של עבודות פיתוח דרמטיות ביותר, שניתנות להתחלת יישום החל מבעוד שנתיים עד שלוש שנים מהיום. כל מפעל שאינו יכול להסתגל לפיתוחים אלה ולנצלם בצורה רציונאלית-אסורים. לתעלת הימים ישנו אופי שלילי זה המונע ניצול פיתוחים עתידיים קרובים.

1.4 שלילות שנעשו בעבר לתעלת הימים לאחר בדיקה טכנית-כלכלית מזויקת

דחייה מס' 1: נדחתה ע"י יצחק מודעי ז"ל, בסביבות מאי 1983, שכיהן כשר האנרגיה

ראוי להזכיר שיצחק מודעי היה בעל תואר בהנדסה כימית ובעל תואר בכלכלה מאחד מבתי הספר הנודעים ביותר. מודעי היה מצוי ומעורב בכל העשייה והוא היה זה שהקים את חברת "תעלת הימים" שעסקה בתכנון התעלה. בראש החברה עמד אורי וירצבורגר. במאי 1983 הוחלף המדען הראשי של משרד האנרגיה: פרופ' חיים אילתה (מאוחר יותר, נשיא אוני' בן-גוריון, שהקים את הרשות לשירותים ציבוריים-חשמל) התחלף עם פרופ' דן זסלבסקי (כותב חוברת זו, ומי שהיה אחר כך נציב המים במדינת ישראל, דיקן הפקולטה להנדסה חקלאית בטכניון ויו"ר המועצה הלאומית למחקר ופיתוח). מתוקף תפקידי כמדען הראשי, הייתי צריך להיות חבר במועצת המנהלים של החברה. סירבתי להיות חבר במועצת המנהלים של חברת "תעלת הימים". יחד עם פרופ' חיים אילתה, הצעתי לערוך בדיקה מהירה של הפרויקט, בשני שלבים, כלהלן:

שלב א' - אגירה שאובה בין ים המלח ובין המאגר בהרי יהודה.

שלב ב' - במקום שאיבת מים מים המלח למאגר, הבאת מים מהים התיכון, באזור הקטיף (בין 80 ל- 90 ק"מ).

בתוך שבועיים-שלושה התקבלה התוצאה: לשלב א' - על כל השקעה של דולר, היה רווח של עוד דולר, בערך נוכחי נקי; לשלב ב' - נמצא שהוא יקר פי 9 עד 10 פעמים יותר מהגבול הכלכלי. חשוב להדגיש:

- בחברת החשמל התקבלו תוצאות זהות כמעט לאגירה שאובה. חברת החשמל לא ביצעה אגירה שאובה בגלל הרצון לכבוש שליטה בייצור החשמל.
- מחיר החשמל בשעות ביקוש שיא הוא פי 5 ממחיר חשמל ממוצע.
- מפעל תעלת הימים תוכנן מראש מאזור קטיף בגלל אורך המוביל, שהוא קצר יותר, ומשום שמראש נועד לאספקת חשמל רק בשעות של שיא הביקוש.

למרות ההחלטה לסגור את חברת תעלת הימים, הוחלט להעדיף הקמת גוף שיקדם נושאים אלטרנטיביים כדי לא לאכזב יהודים טובים שקנו מניות (כל מניה - 100 אלף דולר - כתמיכה בפרויקט). ואז התחלפה הממשלה. משה שחל מונה לשר האנרגיה.

יום אחד, בשעות אחרי הצהרים, ביקש השר שחל לנסוע ולראות את הבריכות הסולריות בבית הערבה. אני גרמתי לצמצום ההשקעה בבניית בריכות אלה לכדי שליש מעלותן המקורית. בדרך חזרה שאל השר הטרי על תעלת הימים. חזרנו למשרד ברח' יפו 254 כבר אחרי שקיעת החמה. ללא כל דיחוי פנה השר לעיתונאים והודיע ש"ממשלת ישראל החליטה לסגור את חברת תעלת הימים".

דחייה מס' 2: נדחה ע"י פרופ' יובל נאמן

פרופ' יובל נאמן ז"ל ראה במפעל תעלת הימים ערך תשתיתי-פוליטי ולא רק מפעל כלכלי. הוא לא יכול היה להשלים עם דחייתו. בהיותו שר האנרגיה הוא מימן בחינה חוזרת של כל הפרויקט (שנעשתה בחלקה הגדול ע"י תה"ל). הסיכום היה זהה לזה של יצחק מודעי ז"ל.

בדיון הסיכום שהתקיים באחד האולמות של מכון הנפט השתתף גם פרופ' Edward Teller, הידוע כאבי פצצת המימן. באותה תקופה התעניין בנושא של אנרגיה מתחדשת ואף כתב ספר בנושא. כותב שורות היה נוכח אף הוא בדיון הסיכום (שהיה מעין יום עיון). בסיכום, פרופ' יובל נאמן הוא דחה את הפרויקט בדיוק מאותם הטעמים שדחה אותו יצחק מודעי ז"ל, ואמר: "אין כל היגיון בפרויקט תעלת הימים ואין כל הצדקה לעסוק בו. אולי מישהו יראה בו טעם כלשהו בעוד 20 שנה, ואז נחזור לבחון אותו".

חלופות שונות של תכנון תעלת הימים שנדחו

בנוסף לתעלת הימים מים סוף או מים התיכון באזור קטיף, היה מספר רב של חלופות, בהן: שאיבה ממי הים התיכון, ממפרץ חיפה או באזור חדרה. המים היו אמורים להיות מובלים תחילה מזרחה ואחר כך לאורך הירדן. בכל הבדיקות, החלופה מהים התיכון באזור קטיף הייתה עדיפה באופן בולט ביותר על כל חלופה אחרת.

דחייה מס' 3: מסקנות העבודה של חברת Harza

חברת Harza בדקה את הפרויקט לאחר שני שינויים מהותיים:

1. התעלה תוכננה מים סוף לים המלח במקום מהים התיכון;
2. הוצע שהשימוש בהפרש העומד לא ייעשה לטובת ייצור חשמל, אלא להתפלת מים בשיטה של אוסמוזה הפוכה, כאשר מפעל ההתפלה יוקם בצמוד לים המלח.

כאמור לעיל, הרעיון ליעד את התעלה להתפלת מים היה, לפי מיטב ידיעתי, של ד"ר פנחס גליקשטרן. בדיקת הנושא ותכנון כללי נעשה ע"י חברת Harza, שמרכזה ב - Chicago, בארה"ב.

הפרויקט נחשב כבר אז כפרויקט ירדני, לא ישראלי. עם זאת, הייתה מעורבות אינטנסיבית מאוד של מומחים ישראלים שבחנו את הפרויקט. לא נמצא מליץ יושר אחד לפרויקט. בדיון המכריע, ד"ר גליקשטרן נהג כאילו הוא נמנע.

חשוב לתאר מראש את החסרונות הבולטים והחמורים של הרעיון שלו. ד"ר גליקשטרן התבטא לרעה בדברים הבאים, בהשוואה לווריאנט לאזור קטיף ולשימוש לייצור חשמל בשעות שיא הביקוש.

א. תוואי המוביל הוכפל ואף יותר - במקום 80 עד 90 ק"מ, יותר מ- 180 ק"מ. דבר זה גרם לשתי תוצאות: הכפלת ההשקעה והגדלת הפסדי האנרגיה בזרימה. בתהליך תכנון מבקשים בדרך כלל אופטימיזציה בין גודל ההוצאה על הקמת המוביל לבין מידת ההפסדים על אנרגיה. אולם, בהכללה פשטנית, הפסדי האנרגיה יוכפלו בתעלת הימים מים סוף לים המלח בהשוואה להפסדים מים התיכון לים המלח. גודל ההפסדים הצפוי הוא לא פחות מ- 150 מטר מים סוף, לעומת לא יותר מ- 75 מטר מים תיכון. מכאן, האנרגיה נטו שנותרת במוביל מים סוף איננה עולה על 250 מטר לעומת 325 מטר מהים התיכון.

ב. ייצור חשמל בשעות ביקוש שיא איפשר הכנסה, הגבוהה פי 5 בערך מעלות החשמל במוצע. השימוש להתפלה מחייב הפעלה של המתקן 24 שעות ביממה, ומכאן תועלת של האנרגיה בערך חמישית מהתועלת במפעל מקטיף. אפשר לפסוק שאין כל סיכוי, ולו הקל ביותר, שהמפעל יעמוד בבחינה של כלכליות.

ג. המים המותפלים, בהיקף של כ- 820 מיליון קוב לשנה (לפי התכנון של חברת Harza), יהיו מיוצרים בגובה פני ים המלח או סמוך מאוד להם. אין כל צרכנים למים מותפלים בהיקף זה ליד ים המלח. יהיה צורך לשאוב את המים בחזרה לגובה פני האוקיינוס - דבר שיגרע אנרגיה שוות ערך - 820 מיליון קוב ועומד של 400 מטר בנצילות שהיא בערך 0.85.

ניתן לערוך עד כאן מאזן אנרגיה והכנסות כלהלן.

טבלה 4 - הכנסות מחשמל

מפעל מים סוף לים המלח	מפעל קטיף	
עם התפלה	לייצור חשמל בשעות שיא	
	1643 מיליון קוט"ש בשנה	אנרגיה שנתית לפי 1820 מיליון קוב ולפי עומד נטו של 325 מ'י
1263 מיליון קוט"ש בשנה		אנרגיה שנתית לפי 1820 מיליון קוב ולפי עומד נטו של 250 מ'י
1071 מיליון קוט"ש בשנה	0	אנרגיית שאיבה של מים מותפלים בחזרה לגובה פני הים ונצילות של 0.85
191 מיליון קוט"ש בשנה	1643 מיליון קוט"ש בשנה	אנרגיה נטו
	410 מיליון דולר לשנה	הכנסה לפי 25 סנט לקוט"ש
9.5 מיליון דולר לשנה		הכנסה לפי 5 סנט לקוט"ש

ד. צריכת אנרגיה להתפלת המים

ועדין התפלת מים פשוטה באוסמוזה הפוכה דורשת כ - 4 קוט"ש לקוב מי ים מותפלים. נראה שלא נרוויח אנרגיה רבה לפי כוונתו של ד"ר גליקשטרן (ממפעל הימים למטרה זו). ובכל זאת, נניח נצליח להתפיל את המים תוך צריכה של 3 קוט"ש בלבד לקוב. נמצא שדרושים לנו עוד כ - 2,460 מיליון קוט"ש לשנה, וזאת כאשר המפעל עצמו מספק לנו לא יותר מ - 191 מיליון קוט"ש נטו זמינים למטרה זו. פירוש הדבר שכדי לנצל את מפעל תעלת הימים יהיה צורך להקים תחנת כוח כאילו לא נהנינו מכל אנרגיה. לתחנת כוח נוספת צריך להיות הספק של כ - 2200 מיליון קוט"ש בשנה. לכך דרושה תחנת כוח של לא פחות מ - 300 מגה-וואט בהשקעה קרובה ל - 400 מיליון דולר.

ה. **איש לא זקוק היום לכמות כה גדולה של מי ים מותפלים בסביבות ים המלח** - יחלפו עוד 20-30 שנה לפחות עד שבאזור תיווצר דרישה בסדר גודל כזה למים. נמצא אפוא שהתחלת החזר ההשקעה תתאחר בעשרות שנים).

ו. **להתפלה על שפת ים המלח מתלווים נזקים סביבתיים חמורים ביותר לים המלח.** נדון בהם בפרק אחר.

המסקנות של Harza

Harza פרסמה את עבודתה בשלושה כרכים ערוכים היטב. נעשתה בהם עבודה יסודית ושיטתית (אם כי רחוקה מלהיות מקפת; למשל, לא נלקח בחשבון הצורך לשאוב את המים המותפלים חזרה לגובה פני הים ולא נלקחה בחשבון ההשהיה הארוכה של הכנסת המים לשימוש). לא נבחנו חלופות הנדסיות אחרות להשגת אותן המטרות וכן לא נדונו הבעיות הסביבתיות. אולם, התוצאות היו צפויות מראש. מכל החישובים של "הרזה" התברר שמדובר במפעל בלתי כדאי בצורה קיצונית, שיש לקוות שמישהו יתרום להקמתו מבלי לבקש כל החזר, כתרומה בלבד. בעבודה של "הרזה" חסר בצורה בולטת ביותר פרק אחד חשוב: מה המסקנות? בשיחה שקיימתי עם מרכז הפרויקט מחברת הרזה, שישב ב - Amman, בירת ירדן, התפעלתי מאוד מיושרו. הוא התבטא בפתחות בלתי רגילה: "... אם היינו כותבים את מסקנות העבודה, היא הייתה נפסקת בשלב מוקדם". כאמור, בצוות הישראלי לא נמצא איש שיאמר מילה אחת טובה על פרויקט תעלת הימים בחלופה זו.

דחייה מס' 4

דחייה זו התרחשה כאשר הטילו על חברת Bechtel לבחון מחדש את דוח "הרזה". בראש הצוות עמד מר Awerbuch שריכז אז את עבודת "בכטל" במצרים. עיקרי האמירה של בכטל היו שעבודות הכרייה והבנייה של מוביל המים יהיו יקרים יותר באופן משמעותי בהשוואה לחברת הרזה.

דחייה מס' 5

הייתה פנייה של יזם מגרמניה, בעזרת מומחה ישראלי, לחברת תע"ש. ביסוד ההצעה היה רעיון שתע"ש תקדם את הפרויקט ותהנה בהזדמנות זו מבניית הציוד לשאיבה להפקת חשמל ולהתפלה. רא"ל במיל' דן שומרון, שהיה אז יו"ר מועצת מנהלים של תע"ש, הטיל את הבדיקה על ד"ר יונה יהלום. ד"ר יהלום ניצל את העבודות שכבר נעשו בעבר והגיע מהר מאוד למסקנות שליליות ביותר. תע"ש דחתה את ההצעה.

בירורים מאוחרים על תעלת הימים

כותב שורות אלה פנה באופן אישי לשמעון פרס, בהיותו השר לשת"פ אזורי. בשיחה קצרה בעל פה נטען שפרויקט זה של תעלת הימים איננו ראוי. הוצע לכנס מספר מומחים להצגת הנושא בפני השר ולקיים דיון. שמעון פרס הסכים והטיל את הטיפול בנושא על מר רפי בנבנישתי, שהיה עובד משרד החוץ לשעבר. לאחר כמה חודשים התכנס בירור במשרדו של שמעון פרס בבית אמות משפט בת"א, והוזמנו מספר עשרות אנשים. דברי הפתיחה של הדיון נאמרו ע"י ד"ר דני המברג מחברת תה"ל. (זאת הייתה אולי הפעם השלישית שתה"ל הציגה את אותו נושא).

הנושא הוצג ברוח של בירור מוקדם המחייב לימודים נוספים, כאילו עדיין יש ספק ביחס לטיבו של הפרויקט. לאחר המצגת של חברת תה"ל, אפשרו לכל משתתף להתבטא במשך 2-3 דקות. לא היה איש שאמר מילה טובה.

מר פרס קם ועזב את האולם לאחר שאמר מילים אלה בערך: "אתם זוכרים את פרויקט הכור בדימונה שאני הקמתי? ובכן היו אז הרבה מתנגדים ובסוף מי צדק? תראו שכאן יקרה אותו דבר!" ומר פרס קם והלך.

על אמרתו של מר פרס הכרחי לומר:

- א. יש ספק ביחס לקביעתו ההיסטורית שהוא הגה את רעיון הכור והקים אותו;
- ב. ללא ספק לא היו כל דיונים פומביים או ויכוחים נרחבים אם כדאי או לא כדאי;
- ג. נניח שהוא אכן בעל הזכויות. "מה עניין שמיטה להר סיני?" מה היה לו להגיד עניינית ביחס לתעלת הימים? שום דבר.

לא היה זה המקרה היחיד שפרס התעלם מקביעותיהם המקצועיות של מומחים בתחומם, דבר שהביא לנזקים קשים ביותר.

1.5 שיקולים סביבתיים

א. תרחיף בצבע חלב

כבר בתחילת שנות ה-80 נערך ניסוי שבו הכניסו מי ים תיכון למי ים המלח. התוצאה היתה שיקוע ספונטני של גבישי גבס דקים, שצבעו את המים בצבע חלב. תרחיף גבישי הגבס לא שקע במשך חודשים. פירוש הדבר הוא שהבאת מי ים תיכון או מי ים סוף לים המלח תצבע את כל הים בצבע חלב. פעולה זו תחזיר את קרינת השמש ותמנע את תהליך ההתאדות, שהוא תנאי להפקת חומר הגלם למפעלי ים המלח הישראליים והירדנים.

עד היום יש כאלה הטוענים: שאולי זה לא נורא; שצריך לבדוק; אולי יש דרך למניעה; אולי הדבר לא יזיק כי מי האוקיינוס יצופו בחלק הגבוה של המים בים המלח ומפעלי ים המלח שואבים כיום מים לבריכות מעומק ים המלח. מדברים של "אוליי" מקווים למימון נוסף של מחקר, אבל לא יעלה על הדעת לקבל החלטות מרחיקות לכת, הגוררות השקעה של מיליארדי דולרים מבלי לקבל תשובה עניינית ומוחלטת ובכך גם למנוע בנייה של חלופות שאינן סובלות בכלל ממפגעים אלה, ומחירן נמוך יותר לאין שיעור.

ב. דליפת מי ים למי התהום בערבה

ההסתברות לדליפת מים לאורך כ-180 ק"מ בערבה היא גבוהה ביותר. דליפה של קוב אחד של מי ים עלולה לזהם יותר מ-130 קוב מי תהום לאורך הערבה. המוביל של מי הים לאורך הערבה אמור להעביר קרוב ל-1.9 מיליארד קוב לשנה. נפח חד פעמי של המוביל הוא בסדר גודל של 1.8 מיליון קוב. פירוש הדבר שאם נגרם נזק לאורך המוביל, ואפילו אם נפסיק מיד את

המשך שאיבת מי הים למוביל, הרי די בדליפה חד-פעמית אחת כזו כדי להרוס 230 מיליון קוב מים ראויים להשקיה ולשתייה, ושערכם נע בין 60 ל - 120 מיליון דולר. קיומו של מערך אבטחה למניעת נזק זה כרוך במחיר גבוה מאוד. הוא מחייב הכלה של כל המתקנים במערכות קליטה, את איסוף המים והחזרתם לים בדרך כלשהי. מעניין שדבר זה איננו מרתיע את החולמים על "עמק השלום" לבנות מאגרים של מי ים לקישוט.

ג. כימיקלים הכרחיים בהתפלה

כבר הראינו (סעיף 1.4 לעיל) שהרעיון של ד"ר גליקשטרן, להשתמש בתעלת הימים כמקור אנרגיה להתפלה, אינו כדאי. כמות האנרגיה נטו שנזכה בה היא מגוכחת ממש, וערכה הוא לא אפסי אלא שלילי (ראה טבלה 4), או בדרך ביטוי אחרת: מחיר מים מותפלים יעמוד על יותר מדולר אחד. זאת, בשעה שהעלות כיום עומדת על כ - 56 סנט בשיטות הקיימות וישנו סיכוי שבשיטה אחרת מוכנה ליישום, העלות תהיה 25 סנט לקוב, ושבשיטה שנמצאת עדיין בפיתוח - העלות תרד ל - 10 סנט לקוב. כדי לקיים התפלה באוסמוזה הפוכה יש להשתמש בחומרים כימיים, המונעים סתימה של הממברנות החדירות למחצה, על ידי שיקוע המלחים ועל ידי גידול של מיקרו-אורגניזמים. כימיקלים אלה יזהמו בוודאות את מי ים המלח ויפגעו פגיעה סביבתית קשה ביותר. הפגיעה תבוא לידי ביטוי גם במיקרו-אורגניזמים שבמים, בצבע של המים ובניקיון החומרים המיוצרים היום על ידי ים המלח.

1.6 האם יש הצדקה להמשיך את הרעיון של תעלת הימים?

- אין אף צל של ספק שגם בחלופה הזולה ביותר שנבחנה, מקטיף, אין לתעלת הימים אף זנב הצדקה. ההצדקה היחידה שהייתה אפשרית היא למפעל אגירה שאובה שלא קשור כלל סביב מים מים התיכון ולא סביב מים מים סוף.
- עם העברת המפעל מקטיף לים סוף יש סיבות בעלות משקל כבד יותר לדחיית הפרויקט על הסף.
- אם ההצעה להשתמש בתעלת הימים לצורך אנרגיה להתפלה - היא נופלת מנימוקים חמורים שלא מותרים ולו זנב של הצדקה, וביניהם חיסול המשאב החשוב ביותר שהתגלה עד כה במדינת ישראל.

עדיין נשאלות כמה שאלות חשובות, שלא בהכרח תלויות בתעלת הימים:

- א. האם יש הצדקה לחזור ולספק מים למילוי ים המלח?
- ב. האם יש צורך במקור מים מותפלים להשקיית עמק הערבה ובקעת הירדן?
- ג. האם יש צורך לחפש מקורות לאנרגיה חלופית?

ד. כיצד אפשר לפתור את הבעיות שהוזכרו לעיל, של חתירה לאחור, של בולענים, של נסיגת החופים ומשטחי בוץ ואולי הבאת מים חסרים מתוך מי תהום טובים או מי התפלה?

ה. האם ישנם צרכים אחרים חשובים, המשתלבים בנושאי ים המלח, למשל:
- הצלת הירדן, שיש בו כיום מים מעטים, מלוחים ומזוהמים,
- מקורות מים לפיתוח חקלאות בכל בקעת הירדן ולאורך כל הערבה, משני צידה,
- הבטחה של אספקת מים אמינה ואי תלות בבצורות,
- מניעת המלחה של מי תהום על ידי שימוש במים עשירים במומסים (כמו מי הכינרת המספקים 150 אלף טון מלח למי התהום בארץ).

ובכן, יש ויש על מה לעבוד, אולם חייבים להשתחרר אחת ולתמיד מהקונספט של תעלת הימים ומההסתכלות צרת האופקים שאפיינה את אלה שטיפלו בנושא (למשל אנשים ממכון ירושלים, מהמשרד לשיתוף פעולה אזורי, ממשרד הבריאות, מהמשרד לאיכות הסביבה ואחרים).

2. גישה שיטתית נכונה

2.1 מקורות מים

א. החזרת מים לים המלח - כדי להשיג זאת:

- צריך לוותר על ניצול המים המגיעים ממקורות הירדן העליון, הירמוך ונחלים בירדן הדרומי, והמשמשים כיום להשקיה, ולשלח אותם לים המלח;
- צריך להיות ברור לגמרי שאסור באיסור חמור להביא מי אוקיינוס לים המלח.

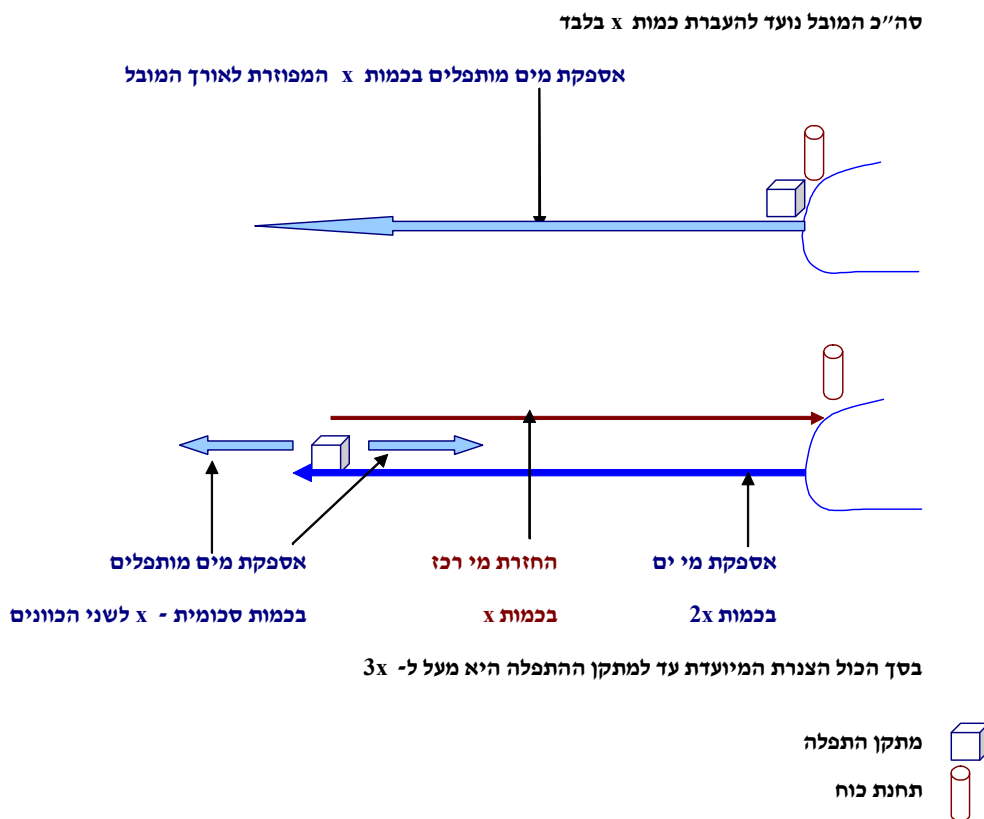
ב. מנין אפשר לקחת מים טובים?

כיום נראה שיש שני מקורות אפשריים:

- התפלת מים;
- הפסקת אידוי של כ - 350 מיליון קוב מים לשנה בבריכה מס' 5 במפעלי ים המלח.

ג. היכן יש להקים מתקני התפלה?

קל מאוד להוכיח שהמקום האידיאלי הוא על יד מקור מי הים.



אם לאורך L מובילים את מי הים עד לתחנת ההתפלה, הרי באורך הזה יש להקים צינור הן לכמות המים המותפלים והן לתרכיז שנותר. מלבד זאת, יש להחזיר את התרכיזים לים ואת המים המותפלים למשתמשים.

לצורך התיאור העקרוני הגס, נניח שנפח המים המותפלים הוא x , שמהווה בערך כמחצית מנפח מי היס. והרי החלופה שבה התחנה רחוקה מרחק L ממקור המים, צריכה לשרת יותר מ- $3x$. אם מתקינים את מתקן ההתפלה סמוך למקור המים, במקרה שלנו - קרוב ככל האפשר למפרץ אילת, ההובלה היא רק לכמות x . מכאן אסור בשום אופן להקים תחנת התפלה סמוך לים המלח. ניתן להקים מתקני התפלה על חוף ים התיכון, למשל סמוך למפרץ זבולון, ולהוביל את המים המותפלים לאזור הכינרת או לאזור בית-שאן כדי להחליף את מי הכינרת, או להוסיף למי הירדן.

ג. מקורות מים זולים בערבה ולאורך גבול מצרים

האקלים בערבה ולאורך גבול מצרים מאפשר יישום של טכנולוגיית "ארובות שרב", שפותחה בטכניון ומוכנה ליישום (ראה נספח 1). היא מנצלת את בעיית המדבר - אוויר חם ויבש - והופכת אותו לאוצר ענק. המוצר העיקרי של ארובות שרב הוא ייצור חשמל בהיקפי ענק ובעלויות שנעות בערך בין 2.5 ל- 4 סנט לקוט"ש (פרק 1.1).

הוכח שליד ארובות שרב ניתן להקים מתקן התפלה באוסמוזה הפוכה, כאשר עלות המים לא גבוהה מ- 25 סנט לקוב. הוכח גם שניצול של 20% מהחשמל בארובה המתוכננת בתכנון סטנדרטי תאפשר להפיק כ- 200 מיליון קוב מי ים מותפלים, בעלות הנמוכה שהוזכרה. מחיר נמוך זה שובר את כל המחסומים לשימוש במים מותפלים לכל המטרות (המחיר כיום הוא בין 53 ל- 57 סנט לקוב). מתברר שהתפלת מי ים סמוך לאילת והסעתם לצורך מילוי של ים המלח עולים באופן משמעותי פחות מהתפלת מי ים המוסעים עד לים המלח ולא כל שכן עולים על מים המותפלים בסמוך אליו.

ד. שיטה מהפכנית להתפלה

שיטה חדשה להתפלה ניסתה עיקרון פיזיקלי אחר מזה שהיה נהוג עד כה. ניתוח מערכות וניסויים נערכו בטכניון. התוצאות בשלוש המערכות היו זהות ושלושתן איששו את ההשערה התיאורטית שעלות המתקנים להתפלת כמות מים מוגדרת I_0 ועלות האנרגיה לביצוע ההתפלה לכמות מסוימת E_0 , שתיהן מחולקות במקדם α המקטין את ההוצאה. המקדם α בריכוז של מי ים נמצא כ- 3000. ככל שהריכוז של המלחים פחת והלך, ירד גם ערכו של α והחיסכון נעשה קטן יותר ויותר לשלבי ההתפלה המתקדמים. באינטגרציה של כל התהליך נראה שניתן להגיע לעלות שלא תעלה על 20% מהעלות של אוסמוזה הפוכה כיום, או כ- 10 סנט לקוב.

בהנחה שעלות הובלת המים עומדת על כ- 0.1 סנט לקוב לק"מ, הרי שעלות התפלת מים סמוך לאילת והובלתם לים המלח, תעמוד על לא יותר מ- 30 סנט לקוב. זאת בשעה שהעלות לכיסוי פרויקט תעלת הימים תעמוד על כ- 500 מיליון דולר בשנה. עלות התרכיז הנוותר אחרי ההתפלה, סמוך לים המלח, תתקרב ל- 50 סנט, ואילו עלות המים המותפלים בנקודת השימוש שלהם - קרוב לדולר שלם! אם תושלם עבודת הפיתוח לשיטת ההתפלה החדשה, אפשר יהיה לספק לירדן, לפלשתינים ולמצרים כל כמות מים מבוקשת. אפשר יהיה להתפיל מים במפרץ חיפה כדי לספק מים לאזור הכינרת ודרומה ולירדן, בכל כמות דרושה. (לתיאור קצר של שיטת ההתפלה - ראה נספח 2). העלות הגבוהה ביותר למרחק הובלה של 200 ק"מ עשויה לרדת ל- 30 סנט בלבד.

ה. מקור מים מיוחד לים המלח

חוקרים מהטכניון הגישו למפעלי ים המלח הצעה להפריד את המינרלים הדרושים ללא צורך בבדיקות התאדות. נראה שהעיקרון מוכח. כל שצריך לעשות הוא לבחון טכנולוגיה כלכלית, ונראה שיש לכך סיכוי גבוה מאוד.

אגב, אם הדבר יצלח, ייתרמו לים המלח כ - 350 מיליון קוב מים בשנה, שהיום נשאבים לבריכה מס' 5 לצורך הפקת חומרי גלם ולשיקוע של כ - 20 מיליון טון מלח בישול כל שנה. נוכח הצורך לספק מים לים המלח, כדי למנוע את המשך ירידת פני המים, ונוכח העובדה שלתוספת המים יש עלות לא מבוטלת, הרי שליישום בשיטה החדשה תהיה הצדקה כלכלית נוחה. אם נצליח להפיק את המינרלים ללא תהליך אידוי, נוכל להרחיב את בסיס הייצור. במצב הקיים היום אין שטח להקמת בריכות אידוי נוספות. אם הפרויקט יצלח, הדבר ישמש לחידוש עולמי בתחום ההנדסה הכימית. כמו כן, תיפתר גם הבעיה של בריכה מס' 5, הצוברת והולכת מלח בישול מהים בכ - 20 ס"מ בשנה, ומסכנת יותר ויותר את המלונות לחוף ים המלח ממערב. ההקצבה שניתנה למשרד התיירות, בהיקף של כ - 100 מיליון ₪, לפתרון הבעיה של בריכה מס' 5, צריכה לשמש בראש ובראשונה למחקר המוצע. במקום לבזבז 15 מיליון דולר על לימוד תעלת הימים בבנק העולמי, עדיף היה להשלים את השיטות שלעיל.

2.2 מקורות אנרגיה

א. ארובות שרב

"ארובות שרב" הוא שם של חברה שנוסדה בטכניון-מכון טכנולוגי לישראל ועסקה בפיתוח טכנולוגיה של "מגדלי אנרגיה" (Energy Towers).

נספח מס' 1 מביא תיאור קצר של הטכנולוגיה הזו, מתוך מבחר של כל הטכנולוגיות החוסכות את הצורך בשימוש בדלק. לצורך הדיון כאן, חשוב להדגיש מה האפשרויות לייצור חשמל בזיל הזול, ללא שימוש בדלק, בכמות כפולה מכלל הצריכה של ישראל ותוך שיתוף פעולה עם ירדן ומצרים. הוכח שלטכנולוגיה של "ארובות שרב" יש שמונה מוצרי לוואי. נמנה כאן רק שלושה מהם:

1. **אנרגיה שאובה מובנית, המאפשרת לספק חשמל בשעות של ביקוש שיא**, בעלות נמוכה הרבה יותר מאשר ב"אגירה שאובה" רגילה. האחרונה כרוכה בהפסדים של כ - 30% והשקעה כבדה. התוספת הזמנית להספק לצורך אספקת חשמל בזמן ביקוש שיא מגיעה לכ - 70%. הרווח המוערך בתנאי הארץ הוא קרוב ל - 2 סנט לכל קו"ש חשמל;
2. **התפלה בעזרת אוסמוזה הפוכה בשילוב עם הארובה**. זאת, ע"י רכיבי השקעה משותפים וע"י חיסכון באנרגיה. בתועלת הזו דנו בפרק הקודם על דרכים לאספקת מים. מוצר לוואי זה גם הוא רווח בצדו הקרוב לחצי סנט לקו"ש;
3. **אספקת מים זולים בכמויות גדולות מאפשרת גידול של צמחי שמן וצמחים להפקת כוהל אתילי וגז מיתן**, כאשר אלה יכולים לספק את כל צורכי הדלק לתחבורה. (לתיאור מפורט ראה נספח I).

ב. הפקת אנרגיה מהפרשי ריכוזים במים

אין ספק שלים המלח מגיעים היום מים באיכות קרובה למי שתייה. לפי שתיים מהתוכניות שיתוארו בהמשך, כמויות מים אלה יגדלו. אם נבטא את הערך של עומד כתוצאה מהפרשי ריכוזים בין מי הירדן ומי ים המלח, נגיע להרבה יותר מ - 1000 מטר. צריך לחפש שיטה לניצול הפרשי עומד אלה.

אם נניח שכמות המים היא רק 400 מיליון קוב בשנה, ואם הפרש העומד האפקטיבי הניתן לניצול יהיה 1000 מטר, הרי פוטנציאל האנרגיה שניתן לניצול הוא הרבה מעל 1100 מיליון קוט"ש לשנה, כמו האנרגיה של נפילת מיליארד קוב לשנה מגובה של 400 מטר ללא ההפסדים.

ישנן לפחות שלוש שיטות אפשריות להפקת האנרגיה מתוך הפרשי הריכוזים במים.

ראוי לשים לב שבכל תחנת התפלה ניתן לחזור ולהפיק כמות אנרגיה לא מבוטלת בדרך זו: יש לתמוך במחקר לחיפוש הדרך הנכונה ביותר לעשות זאת. בים המלח זה יהיה מקור אנרגיה נקי לגמרי, ללא פגיעה סביבתית בים, בהשקעה הרבה יותר קטנה ובהיקף גדול יותר בהרבה מאשר באמצעות תעלת הימים.

3. פרויקטים חלופיים

3.1 רשימה קצרה

להלן מניין של פרויקטים אפשריים.

- א. "החלופה מצפון", שמקורה בשחרור מי הכינרת לירדן והתפלה סמוך למפרץ חיפה;
- ב. "החלופה מדרום", של הקמת ארובת שרב סמוך לאילת והתפלת מים מים סוף ואספקת חשמל לכל המדינה;
- ג. הפקת חומרי גלם למפעלי ים המלח ללא בריכות אידוי;
- ד. הוזלת תהליך ההתפלה;

פרויקטים אלה ואולי אחרים ניתנים לביצוע לאור ניתוחים שהבאנו לעיל. חשוב להדגיש תכונה אחת משותפת לכולם, והיא האפשרות לשלב פיתוחים עתידיים, כגון שיטות חדשות להפקת אנרגיה, שיטות חדשות להתפלה, הפקת חומרי גלם למפעלי ים המלח ללא צורך בהתאדות וכיו. פרויקט תעלת הימים איננו יכול להסתגל לחידושים עתידיים אלה. בנייתו תתרום הוצאת ענק שהיא בלתי כדאית לפי כל אמת מידה, אבל, חמור מזאת, היא שתישאר עד מהרה כאיבר מדולדל וחסר תועלת.

3.2 פרויקט "החלופה מצפון"

חלופה זו מורכבת מהרכיבים הבאים:

א. הפסקת השאיבה של מים מהכינרת והחלפה במים מותפלים

הנתונים במספרים עגולים:

- כמות: עד 400 מיליון קוב לשנה;

- עלות התפלה - 0.5 דולר לקוב.

הערה חשובה: הפחתת השאיבה יכולה להיעשות בהדרגה תוך הכנסה של שיטת התפלה חדישה בעלות של

0.15 דולר לקוב או פחות.

- ב. המים מוחזרים לנהר הירדן כדי להציל אותו מבחינה סביבתית
- ג. המים משמשים להמסת מלח הבישול בבריכה מס' 5, שמשמשת לייצור חומרי גלם למפעלי ים המלח
- ד. במקביל לחלופה מצפון, יש לעשות מאמץ לפתח שיטה להפקת חומרי גלם ללא צורך בבריכות התאדות. שיטה זו תתרום כ - 350 מיליון קוב מים נוספים לשנה לים המלח ותאפשר את הרחבת בסיס הייצור במפעל.
- ה. בהדרגה, ניתן יהיה להתפיל מים נוספים בחופי ים התיכון, לאספקת מי השקיה לכל בקעת הירדן וכתוספת מים לים המלח במידת הצורך.

הערכה כלכלית של "החלופה מצפון"

הוצאות	הכנסות, חסכונות ורווחים	סה"כ [במיליוני דולרים]
התפלת מים להחלפת מי הכינרת, לפי: 400 מיליון קוב X \$ 0.5		200
	מניעת תוספת של 150,000 טון מלחים בשנה למי התהום עם אספקת המים מהכינרת. עלות הוצאה של ק"ג מלח היא בערך 1 דולר	150 מיליון דולר
	המרה של מים אקראיים עם בצורות, שמתרחשות מפעם לפעם במים, באמינות מלאה של האספקה - לפי הערכה הנוק הנמנע הוא כחצי דולר לקוב. נפח המים הוא שילוב של כמות ההתפלה השנתית וכן כמה מאות מיליוני קוב הניתנים להמרה מהכינרת אחת לכמה שנים	גדולה מ - 200
	הצלת הירדן	סכום לא ידוע
	עצירת השפילה של ים המלח	סכום לא ידוע
	- עצירת המילוי של בריכה מס' 5 במלח בישול ואפילו הנמכה של הקרקעית - 450 מיליון קוב מים שפירים יכולים להמיס לפחות 20% מלח או כ - 80 מיליון טון לשנה. כל השיקוע בבריכה מס' 5 הוא 20 מיליון טון בשנה	לפחות 50

בסיכום - החלופה מצפון עם הוזלה של מחיר ההתפלה:

290 מיליון דולר	לצורך הצלת ים המלח ותוספת הצלת הירדן, בסה"כ
500 מיליון דולר בשנה	ערך נטו כללי
790 מיליון דולר בשנה	

חלק מסוים של הצלת ים המלח והצלת הירדן אפשר יהיה אולי לגייס ממדינות תורמות.

3.3 פרויקט "החלופה מזרע" שמתחיל לנצל את המשאב הענק שהתגלה בישראל

א. הקמת "ארובת שרב" ראשונה, כאשר:

- קרובה ככל האפשר לאילת;
- השקעה של 850 מיליון דולר;
- 4 שנות בנייה;
- הספק חשמל שנתי - 3.2 מיליארד קוט"ש;

- שווה ערך של הספק מותקן ממוצע של 365 מגה-וואט ;
- עלות חשמל לפי ריבית של 10% - 3.88 סנט לקוט"ש ;
- כולל הפעלה ותחזוקה - 0.55 סנט לקוט"ש ;
- אורך חיים - 30 שנה.

ב. הקמת אגירה שאובה בצד הישראלי או בצד הירדני

- הכנסה צפויה נטו - 2 סנט לקוט"ש לסה"כ ההספק.

ג. מתקן התפלה באוסמוזה הפוכה בהיקף של כ - 20% מההספק החשמלי

- תפוקה 200 מיליון מ"ק בשנה ;
- עלות לקוב מותפל - 25 סנט או פחות ;
- תוספת רווח - 5 סנט לקוב ;
- רווח לקוט"ש - 0.31 סנט לקוט"ש.

ד. הקפת הארובה בבריכות דגי ים

- היקף הגידול - 160,000 טון דגים ;
- מס תמורת השימוש במים - 0.1 דולר לק"ג דגים. תוספת רווח של 0.5 סנט לקוט"ש.

בסה"כ יופחת מעלות החשמל לפחות 2.8 סנט לקוט"ש. התמורה ממכירת החשמל עשויה להגיע ל - 10 סנט לקוט"ש.

ה. ניסיון פיתוח של מערך להנצלת אנרגיה

"החלופה מדרום" תשמש תחילה להשקיית כל הנגב ולאספקת כל החשמל בישראל. תוך שיתוף פעולה עם מצרים וירדן. הקמת הארובה הראשונה תפתח פתח לתעשיית יצוא בצפי של 20 מיליארד דולר לפחות בשנה.

ו. תעשיית יצוא

3.4 שחרור מהצורך בבריכות ההתאדות לאספקת חומרי גלם למפעלי ים המלח

נושא זה נדון בקצרה בסעיף [2.1 - ה'] לעיל. התרומה תהיה של עוד 350 מיליון קוב מים למים המלח.

3.5 ים המלח כמקור אנרגיה

סעיף זה נדון בקיצור בסעיף [2.2 - ב'] לעיל.

3.6 התפלת מים זולה

הצלחה בתחום של התפלת המים תזייל את כל הפרויקטים המוצעים לעיל. אין קושי להסתגלות לטכניקה חדשה של התפלת מים זולה. לתעלת הימים אין יכולת כזו להסתגל כאמור בסעיפים 3.4 - 3.5.

4. נושאים שונים

4.1 בולענים

המכון הגיאולוגי חקר את נושא הבולענים באופן מעמיק. הוא ייחס אותו לתהליך אחד ויחיד של זרימת מי תהום הממיסה שכבת מלח בתת הקרקע. תופעה זו גוררת התמוטטות של השכבה עליונה. המכון ערך מיפוי של השטחים המאיימים. ביחס לבולענים יש להעיר את הדברים הבאים:

- ישנם שני תהליכים נוספים האחראים להיווצרות התופעה, ואלה היו נפוצים מאז ומעולם באזור ים המלח. תהליך אחד הוא סחיפה של חומר קרקע דרך שכבה של חלוקי נחל. התופעה נקראת "מחתור" והיא נפוצה.
- תהליך שני הגורם להיווצרות בורות הוא התמוטטות של שכבות קרקע, בעלות צפיפות תחילית נמוכה. בעבודתי באזור מדדתי צפיפות של דגימת קרקע, שהייתה נמוכה מ - 1 ק"ג לליטר. עם הצפה של שכבה כזו וזעזוע מתרחשת ההתמוטטות.
- מילוי חוזר של מים ביים המלח לא יגרום לסתימת הבולענים שכבר נוצרו. הדיון בנושא מזכיר לי את המשל של מי שנוטל חביתה ומנסה להפוך אותה לאפרוח.
- חמור מזאת, אפשר להבטיח בוודאות מוחלטת שכל שינוי של משטר זרימת המים יגרום לפעירת בורות חדשים במקומות חדשים.

הטיפול בבעיית הבולענים ייעשה באחת משתי הדרכים, ואין אחרות:

- א. סתימת הבורות או גישור על פניהם;
- ב. התרחקות מהשטחים הפגועים. יש די מקום לכל פעולת הפיתוח.

לצורך הדיון בתעלת הימים יש צורך לחזור ולקבוע: **תעלת הימים לא תפתור את בעיית הבולענים.**

4.2 חתירה לאחור בנחלים

זוהי תופעה ידועה וצפויה כתוצאה מהנמכת בסיס הניקוז. במקומות שבהם חתירה זו פוגעת בכבישים או במתקנים חיוניים אחרים, אין דרך אלא לבצע את התיקונים הדרושים כדי לאפשר את המשך התפקוד.

- א. תהליך מילוי חוזר של ים המלח הוא איטי בכל מקרה וידרוש עשרות שנים.
- ב. עליית המים לא תתקן את הפגיעות הטכניות שנוצרו על ידי החתירה לאחור באפיקי הנחלים.

ובכן, גם בנושא זה **תוספת המים לא תציל שום דבר ביים המלח. את הפגיעות צריך לתקן ללא כל קשר.**

4.3 נסיגת החופים ותיירות

סמנכ"ל משרד התיירות השתתף בכנס שהתקיים בעין גדי. בהרצאתו אמר בצורה קטגורית שאם הייתה פגיעה בתיירות - היא התרחשה בגלל חוסר תכנון, חוסר תיאום והזנחה.

משתתפים בכנס הציגו את היישוב בעין גדי כדוגמה וציינו כי אין מניעה שיישובים או אף תחנות דרך ייבנו על גבעה קרובה לחוף, וכי בינם לבין חוף היים יהיו מדרכה או מסלול גישה נוח, שאורכם ישתנה בהתאם למיקום החוף.

תזוזת החוף לא פגעה באף נכס היסטורי, ארכיאולוגי או נופים של ים המלח. בדיונים שונים עלו הצעות מעניינות ביותר, כמו למשל, ההצעה להקים מלונות צפים - רעיון מעניין ביותר ואולי גם מושך ביותר לתיירים. הצעה אחרת דיברה על הקמת מרכז למחקר סמוך למצדה, על הקמת מוזיאון במצדה ומוזיאון באזור שבו נמצאו המגילות הגנוזות. המוזיאון יאפשר רכישה של ספרות ארכיאולוגית וגם ספרות דתית והיסטורית.

4.4 מחקר אזורי

אין כל ספק שלאזור ים המלח תופעות ייחודיות בתחומים שונים. בהן:

- רפואה בתחומים שונים;
- קוסמטיקה;
- מיקרו-ביולוגיה בים המלח;
- גידולים לאקלים של ים המלח;
- צמחייה מיוחדת ובעלי חיים הניתנים לניצול;
- מחקרים ארכיאולוגיים.

יש צורך דחוף בחיזוק תקציבי של מרכז אזורי למחקר. אלה יתרמו לכלכלת האזור וכן לעניין התיירותי שבו.

אין כל חשש ששמעון פרס או מי מעוזריו יקדמו תחום זה. תוספת תעלת הימים בוודאי לא תתרום דבר. לכל היותר, היא תביא להרס של מפעלי ים המלח.

4.5 זמינות מי תהום

כמות מי התהום המגיעים לחופי ים המלח היא בעיקר תוצאה של זרימת הגשמים שבמעלה הרי יהודה. מזרימה זו מופחתות כמויות המנוצלות בדרכים שונות. כמויות אלה לא משתנות כלל בגלל שינויים בגובה פני ים המלח. ייתכן שאת שאיבת המים המגיעים לים המלח יהיה קל יותר או קשה יותר לנצל, אבל כמותם לא משתנה באף טיפה כתוצאה מניודי גובה של פני מי ים המלח. שינוי גובה המים בים המלח משפיע על זרימת מי תהום פריאטית לטווח קצר ביותר, בדומה לניסיון לדחוף חבל דק. לאחרונה פירסם השירות ההידרולוגי חוברת העוסקת במדידת זרימה ממעינות לאורך חוף ים המלח המערבי. אפשר להיווכח שלא היתה פחיתה בזרימה.

4.6 סיכום אפשרי

א. נראה שאם יש מה להציל בים המלח אין לכך ולא דבר עם תעלת הימים. יש לבצע תיקונים במצבם של אלמנטים שונים, ללא כל קשר עם ביצועו או אי ביצועו של פרויקט תעלת הימים.

ב. יש הרבה מאוד מה לעשות, בתחומים רבים ומגוונים, בכל האזור שבין הכנרת ועד ים סוף. לגובה מי ים המלח יש קשר רופף מאוד עם כל אלה.

ג. אין צורך להתנגד להעלאת פני ים המלח באופן שיחזור לגובהם בשנות השבעים. ניתן לעשות זאת ללא הוצאת ענק אסטרונומית וללא סיכונים סביבתיים בלתי נסבלים, בפעולות רווחיות מאוד.

ד. חשוב להדגיש שהעלאת פני ים המלח תגרום שינויים שונים ויהיה צורך לטפל בהם.

ה. להבא יש להפקיד את נושא שקע הירדן והערבה בידי בעלי מקצוע מתאימים, שעיקרם מהנדסים. הפקדה של הנושא בידי אנשים ממכון ירושלים היא נושא לבדיקתו של מבקר המדינה, כיוון שהם לא היו מוכנים בשום אופן שמהנדסים ישתתפו במחקר הנושא. מוסד שמואל נאמן בטכניון היה מוכן להתמסר לנושא גם ללא תשלום. הוכן דוח ע"י מכון ירושלים, אבל הוא לא הועבר אפילו להערות לפני פרסומו. בשלב מסוים, כאשר מכון ירושלים הסכים שתיעשה עבודה במקביל, היה זה בתנאי שדבר לא יפורסם ללא אישורם.

המשרד לפיתוח הנגב הפקיד את הנושא בידי אדם חסר כל השכלה.

כל ההתנהלות בנושא תעלת הימים תואמת לגמרי את המודל שלפרויקט דרושים אנשים משלושה סוגים:

- סוג ראשון: כזה שלא מבין דבר בנושא שהוא מדבר עליו;
- סוג שני: שלא אומר אמת, כי ברגע שיגיד אמת יאבד את פרנסתו;
- סוג שלישי: הוא שנפגע עד עומק נשמתו אם מישהו מעלה רעיון שהוא לא חשב עליו תחילה.
- תעלת הימים, בבואה לטפל בנושאים שונים של ים המלח, מקפידה באופן נדיר להיצמד למודל זה.

פרויקט "תעלת הימים"

מטרה או דעה קדומה לפתרון

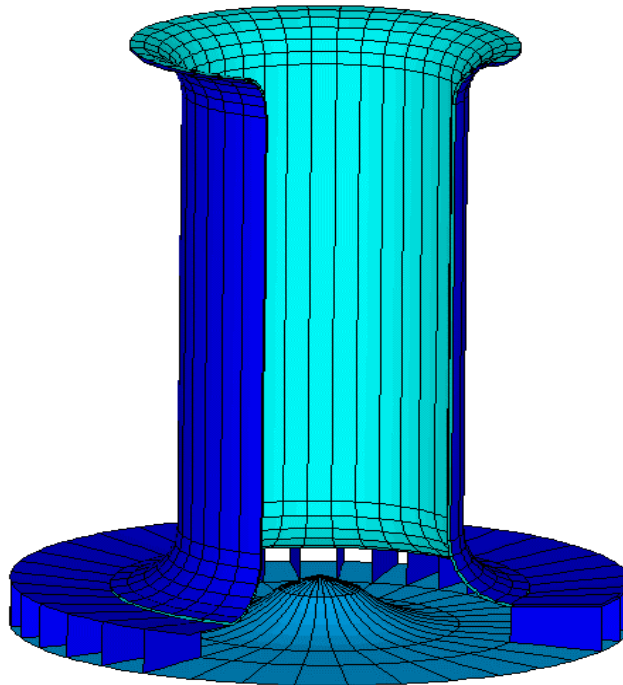
נספח I - תאור פרויקט "ארובות שרב"

"א רובות ש ר ב"

מכונה לייצור רוח 24 שעות ביממה, לייצור חשמל ולהתפלת מי ים במחיר זול

מאוד ממקורות אנרגיה מתחדשים

הטכנולוגיה הראשונה שתוכל להחליף שריפת דלק בקנה מידה גדול מאוד, ללא וויתורים כלכליים, טכנולוגיה שתספק מים בעלות שתשבור את מחסום המחיר לשימוש בלתי מוגבל בכל ענפי החקלאות



תכנית מימוש של המשאב הגדול ביותר שהתגלה בישראל

כולל חשמל, מים ותחליפי דלק לתחבורה

חוברת זו הוכנה על ידי צוות הפיתוח של "א רובות ש ר ב" לצורך פרסום כללי וכבסיס לדיונים, והיא על אחריות צוות הפיתוח בלבד.

ת ק צ י ר

השם - "ארובות שרב" הוא שם של טכנולוגיה שפותחה בטכניון ובחברת "ארובות שרב" ובתמיכה ממשית וממושכת של המשרד לתשתיות לאומיות וחברת החשמל לישראל. הטכנולוגיה פותחה במקורה לייצור חשמל באזורים יבשים וחמים. זוהי בעצם מכונה לייצור רוח 24 שעות ביממה. כיום טכנולוגיה זו מובילה מבחינה כלכלית צפויה ביחס לכל הטכנולוגיות המפותחות היום בארץ ובעולם לייצור חשמל ממקורות מתחדשים ונקיים, להוציא אולי מפעלים הידרו-אלקטריים גדולים שהם מוגבלים מאוד בזמינותם.

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

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

- א. חוסכים את המחיר הגבוה של הקולט, והתפוקה איננה מוגבלת על ידי ממדיו;
- ב. התחנה המסחרית תעבוד 24 שעות ביממה ולא 6-8 שעות כמו מרבית השיטות הסולריות;
- ג. אין צורך בגיבוי על ידי דלק או בשיטת אגירה המוסיפה עלות ומורידה יעילות;
- ד. שטח הבנוי של התחנה הוא בסה"כ פחות משטח תחנת כוח רגילה ליחידת ייצור. יחד עם שטח איסוף הרסס, השטח הכולל לא יעלה על 400 מ"ר ליחידת ייצור של מיליון קילו-וואט שעה בשנה. זאת, לעומת שטח קרקע גדול לפחות פי 15 הדרוש לתחנה לאנרגיה סולרית המנצלת ישירות את קרינת השמש. יותר מכך, שטח נוסף בהיקף הארובות, אם יהיה דרוש לאיסוף הרסס, ניתן לנצל לבריכות דגים, למתקני התפלה ומאגרים אופרטיביים, ללא תשלום נוסף.

כלכלה - מחיר ייצור חשמל צפוי להיות בתחום שבין 6.5-1.7 סנט לקו"ש, תלוי בתנאי ריבית שבין 5% ל - 10% ל - 30 שנה, ועבור תנאים אקלימיים וטופוגרפיים שונים בעולם. מידת אי הוודאית בעלות החשמל תלויה ברכיבי עלות שונים ובהספק. אולם, עלויות ייצור החשמל תתחרנה כנראה ברוב מקורות החשמל: בפחם, בגז טבעי ובתחנות כוח גרעיניות. אין אף טכנולוגיה של ייצור חשמל ממקורות מתחדשים, להוציא מפעלים הידרו-אלקטריים גדולים, שמתחרה בארובות במחיר. עלויות הייצור הצפויות בארובה בממדים סטנדרטיים בדרום הערבה, בישראל, הן 2.5 סנט לקו"ש, או 3.9 סנט לקו"ש, בריבית של 5% ו - 10%, בהתאמה, במרחק הובלה של מי ים כדי 40 ק"מ וגובה 80 מ' מעל פני הים. משך החזר - 30 שנה, והפעלה ותחזוקה 0.556 סנט לקו"ש. נתונים עדכניים מצביעים מחד גיסא על אפשרות שעלות הבנייה תגדל ותייקר את ההשקעה בין 10% ל - 20%, בגין עלויות מחירי הפלדה. כנגד זה, אופטימיזציה ושכלולים אחדים עשויים לשפר את הכלכלה בעשרות אחוזים.

בתנאי שיווק הצפויים לחשמל מתוצרת האירופית, התשואה הפנימית הנקייה מגיעה ל - 25% ובתנאים קיצוניים היא תרד ל - 20%. תקופת החזר תהיה קטנה מ - 4 שנים ובתנאים קיצוניים לא תעלה על 5 שנים.

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

בעולם יש כארבעים מדינות בהן תנאי האקלים והתנאים הטופוגרפיים מאפשרים לייצר חשמל בתנאים נוחים. אולם, על ידי קווי הולכה חדישים ניתן לספק חשמל לכמעט 2/3 מהאנושות, אם לא יותר. הפוטנציאל התיאורטי הוא פי 20-15 מכל צריכת החשמל בעולם כיום (כדי 13000 מיליארד קו"ש לשנה, לעומת 230000 מיליארד).

תועלות כלכליות נוספות

בשילוב עם הארובה המייצרת חשמל, אפשר לנצל כמה מוצרים נוספים נלווים, וכן עוד תועלות מקרו-כלכליות ומדיניות חשובות מאוד. התשואה הנקייה ממוצרי לוואי עשויה לנוע בין קרוב ל - 3 סנט לקו"ש ואף קרוב ל - 10 סנט לקו"ש.

אגירה שאובה מובנית

חלק מהמים הנשאבים לראש הארובה מאוחסנים במאגר שייבנה באתר גבוה. בשעות ביקוש שיא לחשמל, ניתן להפסיק לפחות חלק מהשאיבה או את כולה, ולהשתמש בכמות ברוטו של חשמל מיוצר ולא להסתפק באספקה נטו שמתקבלת לאחר גריעת האנרגיה לשאיבה. הגידול הזמני באספקה יכול להגיע ל - 80% מהאספקה הבסיסית.

בניצול מלא כרוכה תוספת ההכנסה שהיא בסביבות 2 סנט לכל קו"ש. ישנן עוד כמה דרכים להתאים את עקום האספקה לעקום הביקוש בעלויות יותר נמוכות מאשר בתחנות כוח קונבנציונאליות.

התפלה

הוכח שניתן במשולב לארובות להתפיל מי ים בחצי ההשקעה ובערך ב- 2/3 האנרגיה. בהשוואה לאוסמוזה הפוכה. החיסכון עשוי להגיע ל - 45% במחיר, או עלות של כ - 30 סנט לקוב ואולי פחות. הארובות שוברות למעשה את מחסום המחיר לשימוש בכל ענפי החקלאות. העלות אינה עולה על מחיר מים "מקורות" כיום. יותר מכך, השימוש בחשמל שאינו נזקק לדלק ומחירו נמוך, מבטיח נגד התייקרות קשה מאוד אפשרית כאשר מחירי החשמל יאמירו. הקדשה של 20% בלבד מאספקת החשמל תאפשר בתכנון סטנדרטי בערבה להפיק מארובה אחת כ - 200 מיליון קוב מים, כך שמלבד אספקת חשמל לחצי מיליון נפשות ברמת צריכה מערב אירופאית אפשר יהיה להוסיף עוד 400 קוב מים לנפש.

ייצור תחליפים לדלק דיזל ולבנזין

אספקת מים כה גדולה וזולה בשטח מדבר מאפשרת להרחיב שטחי השקיה לכל הגידולים. אך בין הגידולים אפשר לכלול גידולים לייצור אתנול שכבר כיום מחליפים בברזיל בנזין למכוניות. נוסף לכך אפשר לגדל גידולי שמן כתחליף לדלק דיזל. וכך ארובות השרב עשויות לא רק לייצר חשמל אלא גם להביא תחליף לדלקים המשמשים בתחבורה.

גידול דגי ים

היום גידול דגי ים בערבה מוגבל בשל סכנת זיהום חמורה, היעדר קרקעות לבריכות סמוך לים ומחיר גבוה מאוד לשאיבת מי ים למקום מרוחק יותר וגבוה יותר מאשר שפת הים. שילוב עם הארובות פותר בעיות אלה באופן מושלם ומאפשר פוטנציאל גידול דגי ים בהיקף של 150 אלף טון לכל ארובה, או היקף ייצור המגיע גם עד לשלושה מיליארד טון לשנה, ליד ארובה אחת ולשישים מיליארד טון לכל הארץ, לעומת ייצור היום של כ - 2300 טון בלבד בסה"כ במפרץ אילת בהיקף כלכלי של כ - 50 מיליון טון. מבחינה עולמית,

הפוטנציאל הוא של 130 מיליון טון דגים. יותר מכל, הדייג בים בתוספת הגידול בבריכות. הערך הכלכלי עשוי להגיע ל - 700 מיליארד דולר בשנה.

קירור תחנות כוח תרמיות

מי הים החוזרים מהארובה יכולים להתאים להספק דומה לזה של הארובות. הוא יכול לשמש לתחנות כוח תרמיות גם אם סולריות. מקורות המים לקירור תחת כוח סולרית במדבר מהווים בעיה לא קלה.

שימוש באוויר קר לטורבינות גז

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

מניעת המלחה במפעלי השקיה גדולים

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

חוסר רגישות לניודי מחירים של דלק

ניודי מחירים של דלק גורמים להפסדים בתשואה הלאומית הגולמית כדי מספר אחוזים.

עמידה בהגבלות של שריפת דלק

מכל אוסף 6-7 הסיבות מעבר לנושא המדובר ביותר אך שנוי במחלוקת על התחממות העולם, אין ספק בכך שיש להפסיק את התלות בדלק ואין ספק שהשימוש בארובות שרב זול מכל טכנולוגיה יודעה לנו לייצור מקורות אנרגיה.

הצעה שנערכה על ידי "הרשות לשירותים ציבוריים-חשמל" הכינה מסגרת לבונוס במחיר שיתקבל על ידי חשמל המופק בעזרת ארובות שרב. התוספת המחושבת היא בקרוב 3.5 סנט לקו"ש נטו. החלטת ממשלה על רמת השיפור של חשמל ממקורות נקיים ומתחדשים היא היום בקרוב 2 סנט לקו"ש. במקרה של ארובות שרב, ניצול החשמל לשאיבה שמשמשת גם כאגירה שאובה וגידול דגים יביאו בונוס יותר גדול.

הסעיף על אגירה שאובה מביא תועלת נוספת של 1.5-2 סנט לקו"ש. תשלום על מוצרי הלוואי כולם יכולים להגדיל עוד את ההכנסה לקו"ש.

מעניין לציין שלארובות השפעה סביבתית של קירור העולם ומשוב חיובי שמשמעו שכלל שהעולם מתחמם תפוקתן עולה.

חסכון ביבוא דלק

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

ייצוא

יישום חכם יכול להבטיח ייצור וייצוא מישראל כדי לפחות 20% מההשקעה בארובות בעולם. הצפי הוא שתוקמנה מאות ארובות כבר בעשור או שניים הקרובים (מתוך צפי קרוב ל - 1550 ארובות), עם ערך נוכחי אפשרי של ייצוא כדי למעלה מ - 100 מיליארד דולר. זאת בהערכה שמרנית מאוד של השוק. התועלת הכלכלית של שני הסעיפים האחרים לבדם עולה על כל הרווחים ממה שקרוי Hi-Tech.

השפעות פוליטיות ואסטרטגיות בעלות משמעות מכרעת בארץ ובעולם

זאת עקב הקטנת התלות ביבוא דלק, ותרומות משנה רבות. למשל, מים זולים ללא הגבלה יאפשרו הרחבת החקלאות, ולזו משמעויות ביטחוניות שונות ומגוונות. יש גם מקום לשת"פ באספקת המים, החשמל וכן ביצירת במקומות עבודה, עם ירדן - בערבה, ועם הפלשתינאים - ברצועת עזה. כל אלה והסרת העוקץ של המלחמה על המים, יהוו תרומה חשובה. בעיית אספקת הדלק מהווה כיום בעיה ביטחונית מס' 1 בעולם. הוצאות הביטחון מכפילות פי כמה את עלות האמת של הבניין. ההכנסות ממכירת נפט מהוות גם דלק למלחמת תרבות כנגד טרור אסלמי קיצוני.

שילוב הארובות במדינת ישראל

אילו היתה המלאכה נעשית בידי אנשים אחראים ויודעי דבר, ארובות השרב היו צריכות להיות המשימה מס' 1 לפיתוח הנגב ולפתרון בעיות אסטרטגיות עולמיות של המערב.

אין עוד פרויקט דומה שיביא לישראל את הדברים הבאים:

- חסכון ברכישת דלק כדי לא פחות מ - 5 מיליארד דולר בשנה;
- אספקת חשמל יותר זול מאשר היום גם בכמות כפולה מאשר היום;
- אספקת מים מהתפלת מי ים בחצי המחיר מאשר כיום, ובכמות שתכפיל את כמות המים שעומדת לרשות ישראל;
- מקור לגידולים שיספקו תחליף לדיזל ולבנזין לתחבורה;
- בסיס לתעשייה וייצוא שעשוי להגיע ל - 20 מיליארד דולר בשנה;
- בסיס לשת"פ עם השכנים של מדינת ישראל באספקת מים, חשמל ועבודה;
- גידול דגי ים בהיקפים אדירים, מאה פעמים ויותר מאשר היום, ללא בעיות זיהום ובעלויות נמוכות יותר;
- וחשוב ביותר, תרומה של מדינת ישראל לפריצת הדרך החשובה ביותר במלחמת התרבות עם האיסלם הקנאי.

מ3 הפרויקט

הגיע הזמן להקים יחידת הספק גדולה. ההעדפה היא של תחנת כוח בהספק מלא של כ - 370 מגה-וואט ממוצע בערבה, התפלה של לפחות 200 מיליון מ"ק לשנה וגידול דגים בהיקף שיוכל להגיע ל - 160,000 טון לשנה.

בדיקת הפרויקט על ידי רבים בארץ ובעולם מראה ללא צל צילו של ספק שהטכנולוגיה אפשרית ושהכלכלה חיונית מאוד עם רזרבה רחבה מאוד כנגד טעות. יותר מזאת, אין אף טכנולוגיה אחרת לאנרגיה ממקורות מתחדשים שיכולה לספק כמויות כאלה של חשמל ותחליפי דלק בעלות דומה.

המחירים הנמוכים ביותר של טכנולוגיה חלופית סולרית הם בין פי 4 לפי 5 יותר גבוהים מאלה של "ארובות שרב" ושטח הקרקע הדרוש להן גדול פי 15 מהשטח הדרוש ל"ארובות שרב".

❖ עלויות

- נניח ריבית של 10%.
- העלות מחושבת של חשמל בערבה היא 3.88 סנט לקו"ש. נעגל ל - 4 סנט.
- נניח טעות אפשרית של 40% (למעשה ישנן יותר סיבות להניח שהעלות תרד), אז העלות תהיה 5.6 סנט לקו"ש, וההסתברות לטעות גדולה יותר קרובה ל - 10,000:1.
- נניח תמלוגים של סנט שלם לקו"ש, 6.6 קו"ש בסה"כ.
- העלות של חשמל בתחנה סולרית לפי בדיקות אחרונות נמצאה כ - 15.5 סנט לקו"ש.

❖ הכנסות נוספות

- אגירה שאובה מובנית - בערך 2 סנט לקו"ש.
- בונוס לפי החלטת ממשלה, לא פחות מ - 2 סנט לקו"ש.
- תמורה למים המסופקים לבריכות הדגים - חצי סנט לקו"ש.
- תמורה למים מותפלים בחצי מחיר - 0.2 סנט לקו"ש (ויותר).
- בסה"כ הכנסות מעבר לתשלום תמורת החשמל - 4.7 סנט לקו"ש לפחות.

אם נניח שההכנסה בסה"כ לקו"ש תהיה רק 10 סנט, נמצא ששיעור התשואה הפנימית IRR היא כמעט 25% ותקופת ההחזר היא פחות מאשר 4 שנים. גם אם יהיה צורך לשלם 20% מההכנסות הגולמיות בתמלוגים, תקופת ההחזר תהיה בקרוב 4 שנים ושיעור התשואה הפנימית לא פחות מ - 20%.

תוכנית העבודה

שלב א' - בחינה טכנו-כלכלית טרום בנייה של התחנה הראשונה

הבחינה תכלול פעולות שתאפשרנה חישוב הרבה יותר מדויק של העלויות, ואישוש שלו על ידי חברות הנדסה מוכרות. המטרה היא לעשות את הפרויקט בר מימון על ידי הבנקים.

- מדידת נתונים מטאורולוגיים באתר ספציפי
- הזמנת תכנון ראשוני של תחנה
- קבלת הצעות מחיר לתחנה
- תהליך של אבטחת איכות ואמינות
- בדיקת חלופות
- אופטימיזציה לאתר ספציפי
- תהליך סטטוטורי לאישורי בנייה וחווה למכירת החשמל
- בחינה מוקדמת של מוצרי לוואי
- עלות שלב א' כ - 5-7 מיליון דולר
- משך הזמן הוא 1.5-2 שנים

אם התוצאה תהיה חיובית בשלב א', אפשר יהיה לגשת לשלב ב'.

שלב ב' - תכנון מפורט של תחנה גדולה והכנות לבנייה

- עלות שלב ב' לא תעלה על 30 מיליון דולר.
- משך השלב עד להתחלת פעולת בנייה - כשנה.

שלב ג' - בניית התחנה בקנה מידה מלא

- משך הבנייה של תחנה כ - 3 שנים
- עלות הבנייה עד מיליארד דולר

בעקבותיהם תבוא הקמה של תחנת כוח עם קבלת אחריות מלאה על תפקודה.

ראוי לציין ש - Alstom, חברה עולמית מובילה, החלה לשתף פעולה בתכנון, תוך כוונה לספק את הציוד המכני הדרוש לבנייה, והיא נוטה להעדיף תחנת כוח בקנה מידה מלא הן משום הכדאיות הרבה יותר והן מתוך הרגשת בטחון באפשרות הבנייה, תוך ניצול טכנולוגיות קיימות ומנסות. העבודה עם אלסטום פסקה עקב בעיות קשות שהתעוררו בחברה. אולם, עד מועד הפסקת העבודה, אלסטום קבעה שהציוד המכני - טורבינות, משאבות, גנרטורים המהווים כ - 60% של ההשקעה - אפשר יהיה לספק ב - 30% פחות בהשוואה לחישובים בחברת "ארובות שרב".

קביעה דומה קבלנו מניתוח של מומחה עולמי לקונסטרוקציות. גם הוא העריך שניתן להוזיל ב - 30%. בגלל ממדי ההשקעה ומשך הזמן הארוך, עד להנאה מהצלחה מסחרית, היה קושי מובנה לגייס אמצעים מקרנות ומשקיעים שהתרגלו להשקעות במה שנקרא hi-tech. ומכאן, חשיבות יתר של עזרת המדינה.

בשלבם אלה, הדבר יכול להתבטא בהקצאת קרקעות, בהשתתפות בהשקעה או בהבטחת מחיר נאות לחשמל, לפחות בשלב של הקמת התחנה הראשונה.

נוסף לכך, יש להגן על המשאב הגדול הזה שהתגלה - אוויר חם ויבש, וזאת על ידי התחשבות בתכניות שונות, מניעת פגיעה במשאב הזה ומתן קדימות למה שינצל בצורה חכמה ממשאב זה ובהקדם. יש להרחיק בקפדנות כל רעיון שעשוי לפגוע במשאב זה או האפשרות להגיע אליו ולנצלו. בין המפגעים האפשריים אפשר למצוא תכנון שדות תעופה, גם כאלה שהתכנון שלהם אושר ולעולם לא ייבנו, או סגירת אפשרויות להבאת מים מהים דרך ציר "פילדלפי". וחמור מכל, תכנית פיתוח לנגב מבלי אפילו להזכיר את קיום הפרויקט, וזאת למרות הסתייגות של יועצים הן ממשרד ראש הממשלה, ממשרד התשתיות והן מהמשרד לפיתוח הנגב והצעה מסכמת לקידום.

ה'צרכות

עבודת הפיתוח של הפרויקט נעשתה לפי סטנדרטים קשיחים מאוד של הבטחת איכות. דברים נבדקו בשיטות חישוב שונות הן בחישוב תיאורטי והן בניסויים במודלים בקנה מידה. בחינה של הנושאים השונים נעשתה כמעט ברציפות על ידי בעלי מקצוע ידועים בארץ ובחו"ל. כמה וועדות מומחים ניסו ללמוד את הפרויקט בשלמותו ועל כל פרטיו. גם יצרנים, תעשיינים וקבלנים עשו הערכות משלהם על יכולת הביצוע הסטנדרטי של הטכנולוגיות והאמינות באספקתם ותפקודם.

עדיין ישנו קושי לא מבוטל להתארגן להקמה של תחנת הכוח הראשונה שעלותה עשויה להגיע למיליארד דולר, וההספק הממוצע לשיגור כ - 370 מגה-וואט (כ - 7% מאספקת החשמל בישראל או אף למעלה ממנו). המחסומים הם בעלי אופי אנושי קפריזי ומכשלות בירוקרטיות למיניהן. כל מבחן אחר כבר נעשה והטכנולוגיה עברה בציונים גבוהים ביותר.

מסיכום עד כה

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

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

ראש הממשלה, שר האוצר, שר החוץ, שר הביטחון, שר התמ"ת, שר החקלאות, השרה לאיכות הסביבה, לא פחות מאשר שר התשתיות, היו צריכים לראות בנושא זה יעד ממדרגה ראשונה. מצער להיווכח שחלקם כלל לא מתעניין וחלק מזלזלים בפרויקט מסיבות בלתי מובנות ובלתי נסלחות.

"וירא מלאך ה' אליו בלבת אש מתוך הסנה, וירא והנה הסנה בוער באש והסנה איננו אכל"

[שמות ג, ב']

פסוק זה הוא הביטוי המובהק ביותר לשימור אנרגיה, אפילו יותר מאשר נס חנוכה.

**בממשלת ישראל קוראים את הפסוק עם הטעמה אחרת:
" ... וירא והנה הסנה בוער באש, והסנה איננו, אוכל".**

(1) הטכנולוגיה של "ארובות שרב" ותולדות פיתוחה

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

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

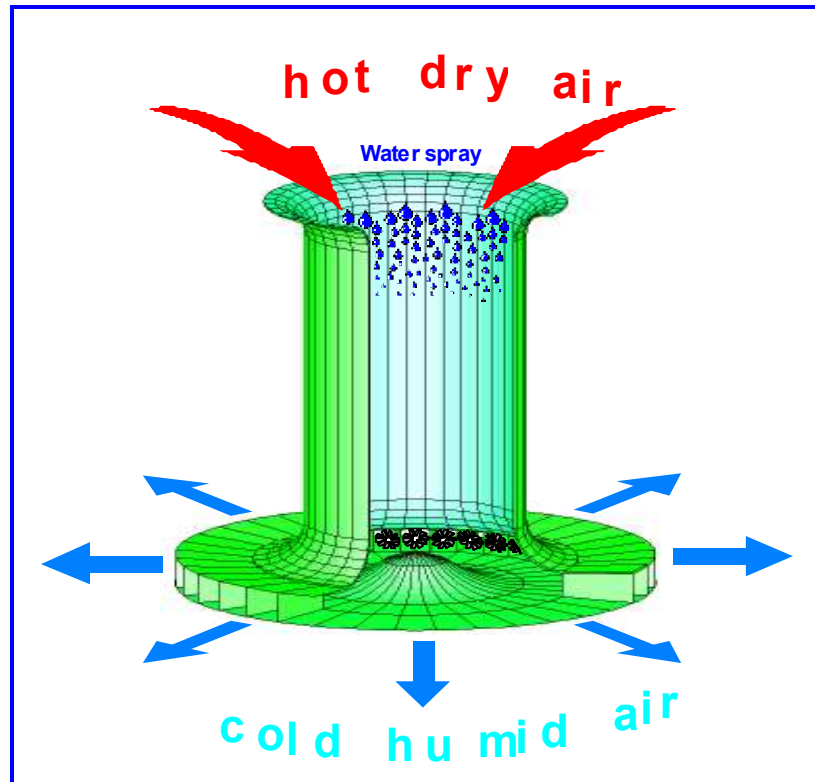
הפיתוח נעשה בטכניון ע"י צוות פיתוח שבראשו עמד מלכתחילה פרופ' דן זסלבסקי, מי שהיה בעבר המדען הראשי של משרד האנרגיה וכן נציב המים. פרופ' דן זסלבסקי התקרב לנושא האנרגיה בעבודתו כיועץ ל"סולמת" בה סייע להקטין את ההשקעה בבריכות הסולריות בערך לשליש. ובכל זאת הגיע למסקנה שאין סיכוי שייצור חשמל ממקור זה יהיה כלכלי.

עד כה הושקעו בארובות למעלה מ - 150 שנות אדם, ממיטב בעלי המקצוע, בהוצאה שמתקרבת ל - 10 מיליון דולר. על כל דולר שהושקע על ידי המדען הראשי של משרד התשתיות הלאומיות (עד כה כ - 2 מיליון דולר) אפשר היה לגייס כמה דולרים בתרומות אחרות.

הרעיון הבסיסי של פרופ' דן זסלבסקי לקראת סוף 1982, היה לנצל את פירות השמש ולא את קרינתה. הניצול של ארובות שרב היא עוד דרך לעשות זאת, נוסף לרוח, למים ולביו-מסה. לא ניתן להוכיח בשום אופן שאין סיכוי לניצול קרינת השמש לייצור חשמל במסות גדולות בצורה תחרותית, לפי הכלכלה המקובלת ללא אידאולוגיה וללא סבסוד ממשלתי כבד ביותר. עד לרגע זה אין אף יוצא מן הכלל.

(2) עקרון הפעולה

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



ציור 1 - תאור סכמטי של עקרון פעולת "ארובת שרב"

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

העובדה שהרוח מכונסת בתוך שרוול סגור מאפשרת ניצול גבוה מאוד של אנרגיית הרוח. בטורבינות העומדות בחוץ באופן חופשי הנצילות המקסימלית באופן תיאורטי היא 59%. בארובה, הנצילות המכנית קרובה ל- 100%. במחקר מפורט התברר שניצול החום הכמוס של התאדות לאספקת חשמל לצרכנים עולה על 1%.

בשלב מוקדם למדי התברר שנעשתה עבודה על אותו עיקרון על ידי פיליפ קרלסון (Philip Carlson). פטנט על שמו נרשם בשנת 1975. במהלך העבודה שנעשתה בחברת "ארובות שרב" נעשו שיפורים משמעותיים בטכנולוגיה כדי שיפור ביחס עלות תועלת בפקטור 1: 7.

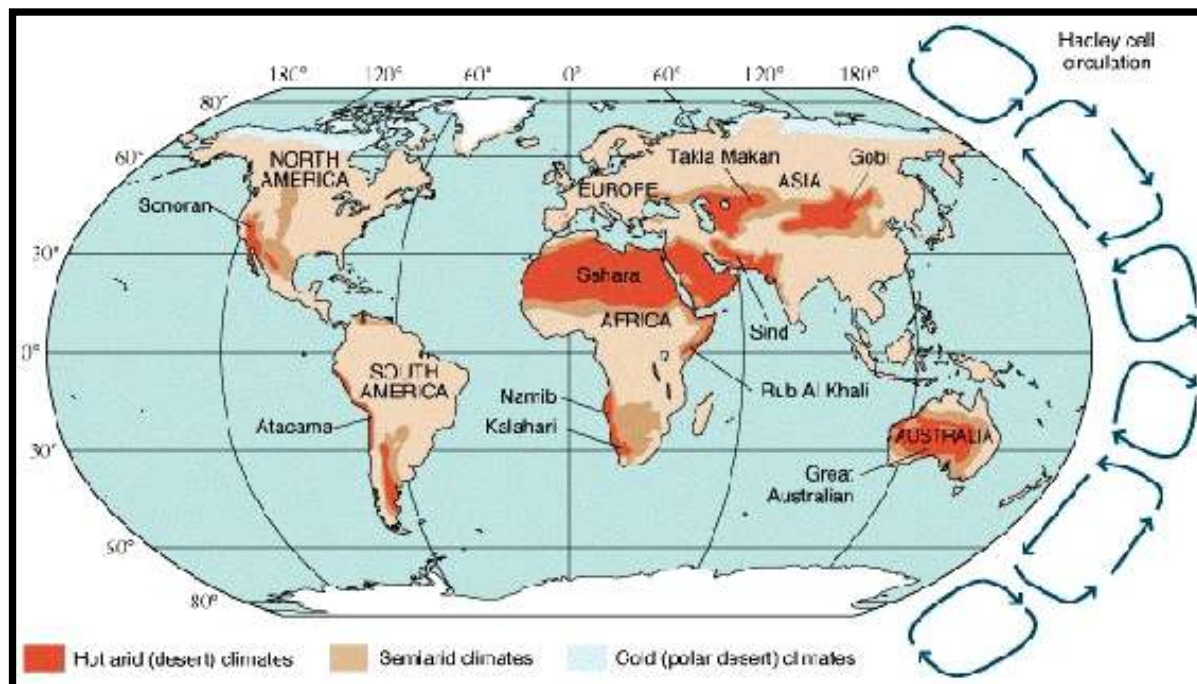
ערכן של הארובות שרב בולט באופן מיוחד באזורים שבהם יש באופן יחסי ממילא מעט רוחות המתאימות לניצול, והם עניים במקורות מים שיכולים לשמש למפעלים הידרו-אלקטריים או לצריכת האדם. כמו כן, הם עניים בביו-מסה.

ישנה טכנולוגיה דומה לכאורה, הקרויה "ארובת שמש" (Solar Chimney) שפותחה על ידי פרופ' שלייד (Schlaich) משטוטגרט (Stuttgart), גרמניה. זוהי ארובה עם אוויר עולה הזקוקה למקור חום. זה מושג על ידי קולט שמש. למרות הדמיון בין הארובות, מחיר ייצור החשמל שנוצר ב"ארובות השמש" של פרופ' שלייד יהיה יקר פי 10 ממחיר החשמל ב"ארובות השרב", זאת בעיקר בגלל הצורך בקולט שמש לחימום האוויר. נוסף לכך, ארובת השמש של פרופ' שלייד פועלת רק כ- 8 שעות ביממה והיא נעדרת 7-8 מוצרי הלוואי המועילים מאוד שמאפשרות "ארובות השרב". שטח הקרקע הנדרש על ידי ארובות שרב דומה לשטחה של תחנת כוח פחמית רגילה (לאותו היקף ייצור), זאת כולל שטח איסוף הרסס שניתן לניצול נוסף. לעומת זאת, "ארובת השמש" של שלייד דורשת שטח גדול פי 200-120 (!)

בטכנולוגיה הסולרית הטובה ביותר כמו במגדל השמש של מכון וויצמן או במראות הפרבוליות של חברת "סולל", עלות ייצור של החשמל, ללא שילוב דלק, הוא פי 3-5 יותר מאשר עלות הייצור בעזרת דלק. (הרכיב הסולרי לא נופל מ- 15.5 סנט לקו"ש). השטח הדרוש ליחידת ייצור הוא פי 15 יותר מאשר השטח הדרוש לארובות שרב. הטכנולוגיות הסולריות נעדרות כל מוצרי הלוואי המובנים כמו: אגירה שאובה, ייצור מים זולים, גידולים לאספקת תחליפי דלק לתחבורה, קירור תחנות תרמיות וגידול דגי ים. חמור מאלה, הבטחת אספקת רצופה של חשמל מחייבת שימוש בכמויות לא מבוטלות של דלק.

(3) מקור האנרגיה

מקור האנרגיה בארובות שרב הוא האוויר החם והיבש שמיובא מאזור קו המשווה לשתי רצועות מדבר שעל פני כדור הארץ. האחת מדרום לקו המשווה והשנייה מצפון לקו המשווה (ראה ציורים 2, 3 ו- 4). השמש יוצרת אוויר חם ולח באזור קו המשווה. האוויר עולה לגובה של עד 10 ק"מ, מצטנן ומוריד גשם. האוויר מדולדל הלחות זורם בחלקו צפונה ובחלקו דרומה. ברדתו חזרה לפני כדור הארץ, הוא נדחס ומתחמם, וכך גורם לאזורי לחץ גבוה וכן ליצירת ארצות חמות ויבשות. לבסוף, האוויר חוזר וזורם לכיוון קו המשווה. הוא סופג רטיבות ומתחמם וחוזר חלילה. מחזור זרימה זה נקרא על שם George Hadley שפרסם אודותיו לראשונה בשנת 1735 (ציור 2).

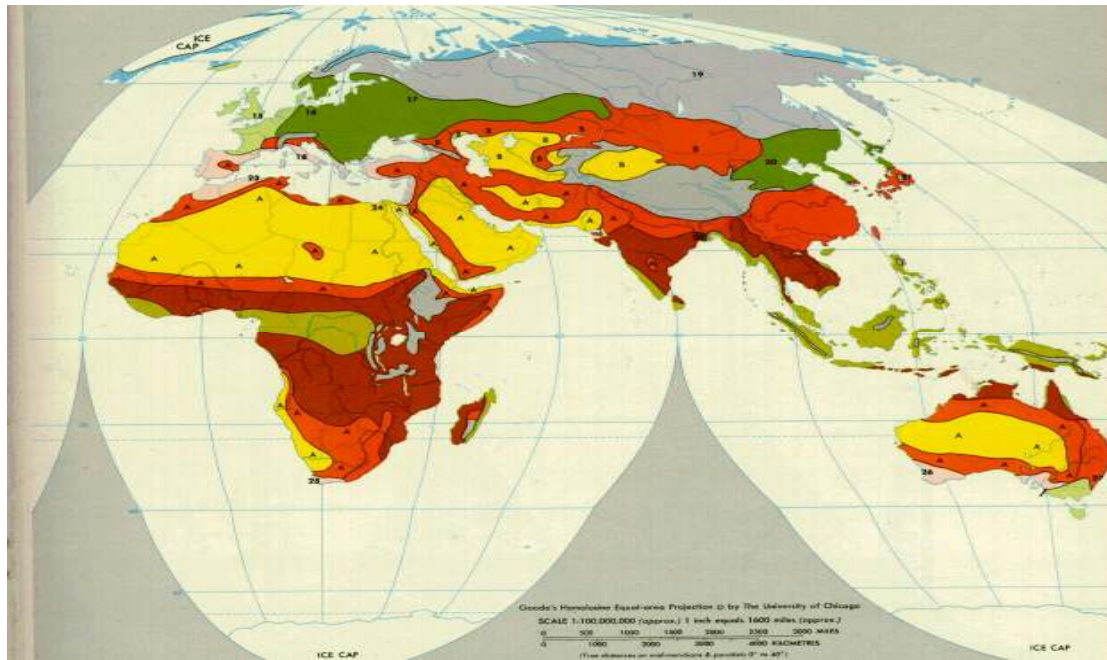


ציור 2 - מעגל הזרימה לפי Haldey שיוצר שתי רצועות מדבריות

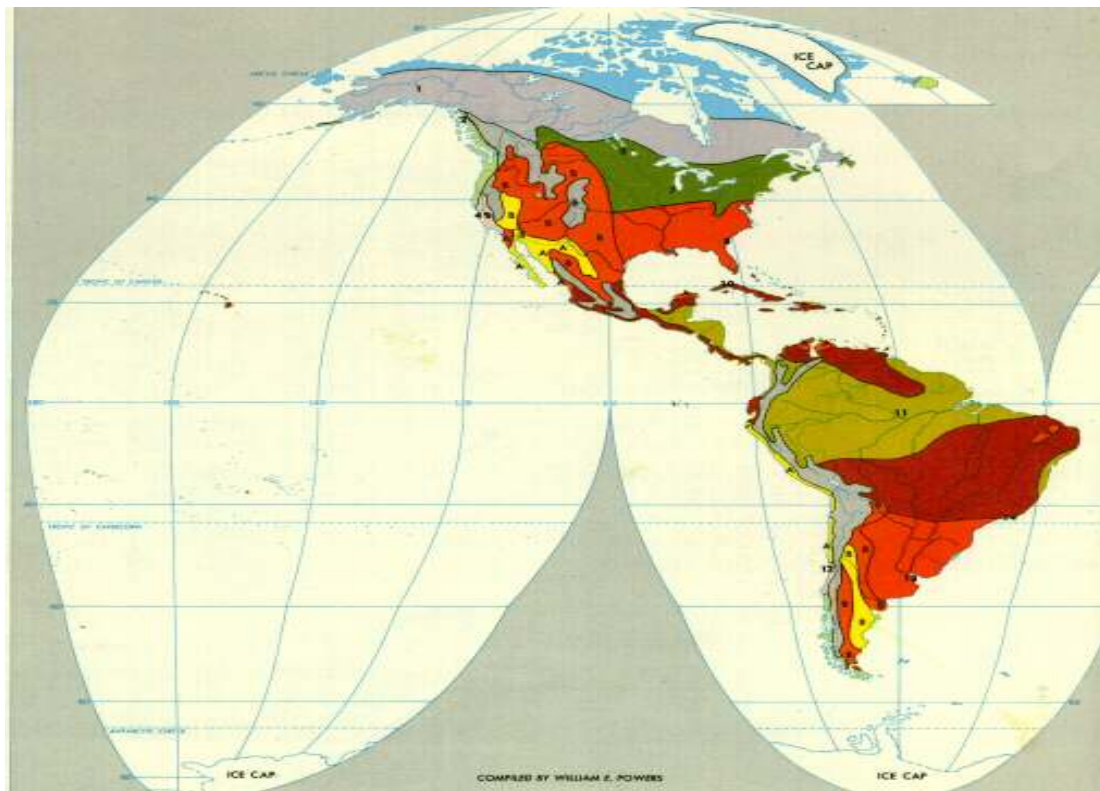
כמות החום המוסעת במעגל Hadley אל אזורי המדבר הוערכה בסדרי גודל אדירים של $2-4 \times 10^{16}$ קילוואט שעה לשנה. בעצם זהו מקור אנרגיה היוצר גשם ורוח. אנחנו איננו יוצרים את מקור האנרגיה ואף איננו מעכבים אותו, אלא מאיצים את התהליך של ירידת האוויר חזרה אל פני כדור הארץ במקום הרצוי והנוח לנו.

בארובות שרב אנו מנצלים מעט למעלה מ- 1% של החום הכמוס המיובא בעזרת מעגל Hadley כדי לייצר אנרגיה מכנית וחשמלית. זוהי נצילות נמוכה מאוד, אבל שפע האוויר הזורם שהוא מקור האנרגיה, הוא זול מאוד.

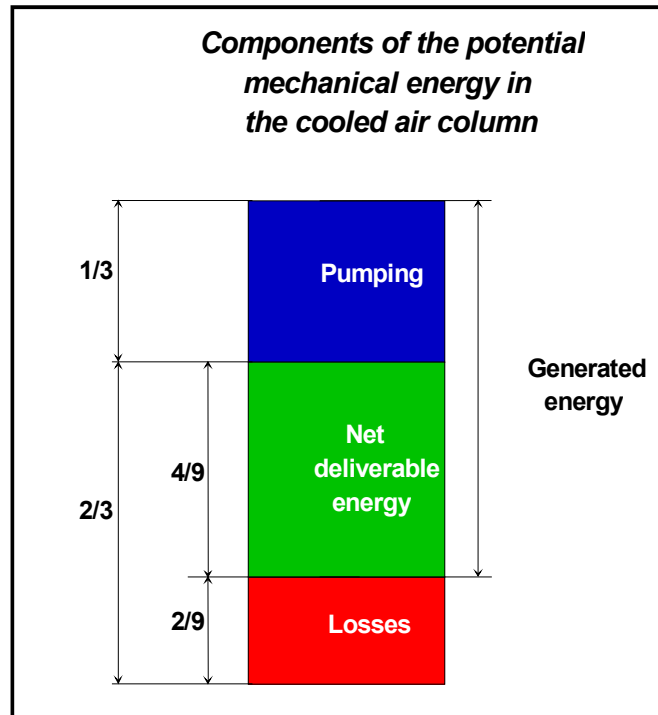
בציורים 3 ו- 4 מובאות מפות של האקלים על פני כדור הארץ וניתן לראות בהם בצבע צהוב ואדום בהיר את הרצועות החמות והיבשות כתוצאה של מעגל Hadley. ישנן כ- 40 מדינות שבהן אפשר להתקין את הארובות, תוך יעילות גבוהה יחסית.



ציור 3 - איזורים אקלימיים באירופה, אסיה, אפריקה ואוסטרליה. האיזורים המסומנים בצהוב והאיזורים באדום בהיר המסומנים באות "A" מציינים מדבריות או איזורים צחיחים



ציור 4 - איזורים אקלימיים באמריקה. האיזורים המסומנים בצהוב והאיזורים באדום בהיר המסומנים באות "A" מציינים מדבריות או איזורים צחיחים



ציור 5 - חלוקת האנרגיה הפוטנציאלית

מעניין לראות בציור 5 כיצד מתחלקת האנרגיה המכנית שנוצרת בארובה כתוצאה מניצול החום בדרום הערבה: כ - $4/9$ מסה"כ האנרגיה המכנית משמש לשיגור חשמל לצרכנים, $1/3$ משמש לשאיבת המים ו - $2/9$ הם הפסדים. זאת עבור ארובה במרחק 40 ק"מ מהים וגובה 80 מ' מעל פני הים, ליד יוטבתה. השטחים המתאימים להתקנת ארובות שרב הם אלה שבהם מייצרים אנרגיה מכנית יותר מאשר זו הדרושה לשאיבת מים ובמידה גדולה די הצורך כדי שהפרויקט יהיה כדאי.

את היחס בין האנרגיה המיועדת לשיגור לצרכנים ובין זו המהווה הפסדים, ניתן להוכיח באופן תיאורטי כללי לגמרי בשני שליש ושליש. חלקה של אנרגיית השאיבה תלויה בתנאים האקלימיים והטופוגרפיים.

מעניין כאמור לציין שזרימת האוויר בתא Hadley היא מנגנון קירור יעיל של כדור הארץ כאשר האוויר העולה מעל קו המשווה מתקרר רק כדי חצי מעלה עשרונית למאה מטרים, וזאת בגלל התעבות של טיפות מים וגבישי קרח. האוויר היבש והחם שעולה מעל רצועת קו המשווה מהווה גורם יעיל בקירור כדור הארץ. כמות החום המוסעת על ידי מעגל Hadley מהווה אולי חלק אחד לעשרים של קרינת השמש על רצועת אזור קו המשווה ושתי רצועות המדבר. הפעלת הארובות מביאה לייעול מה בהרטבת האוויר החם והיבש ולכן משפיעות על צינון של כדור הארץ. גם להשקיית שטחי מדבר וגידולים ישנה השפעה חיובית מבחינת מניעה של התחממות כדור הארץ. נוסף לכך, ישנו משוב חיובי לארובות בכך שעם ההתחממות, הספק הייצור של החשמל עולה.

(4) הפוטנציאל העולמי של ניצול ארובות שרב

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

ראוי לציין להשוואה שכל צריכת החשמל הגלובלית היום אינה עולה על 14,000 ביליון קו"ש לשנה. פרוש הדבר, שהיקף הייצור התיאורטי, האפשרי מבחינה כלכלית, של חשמל על ידי ארובות שרב הוא יותר מאשר פי 17 מכל צריכת העולם כיום. גידול הביקוש העולמי לשנה הוא כ - 2.5%, והצורך לחדש תחנות כוח שהתיישנו עשוי להגיע ל - 2%, ובסה"כ 4.5% לשנה, או כ - 585 ביליון קו"ש חדשים לשנה, לפי הספק עולמי של 13,000 ביליון קו"ש בשנה ו ל - 630 ביליון קו"ש לשנה לפי 14,000 ביליון קו"ש בשנה, כל שנה. כמוהו כ - 150-250 ארובות חדשות כל שנה, תלוי באזור. אם כל החשמל יסופק על ידי ארובות שרב בהספק טיפוסי של דרום הערבה, זה שווה ערך להשקעה בסדר גודל של 190 מיליארד דולר בשנה, ללא מוצרי הלוואי. גם אם רק חלק קטן מזה יהיה היקף הבנייה הממשית, זהו שוק אדיר ממדים, אם נדע לפתחו ולנצלו. רק החיסכון בדלק מיובא לתעשיות הייצוא הקשורים בארובות עשוי להגיע לערך של רבע עד שלישי מכל התוצר הנקי של ישראל.

כאמור לעיל, ישנן כ - 40 מדינות בהן כדאי מאוד לייצר חשמל בעזרת הארובות. קווי הולכה חדישים במתח גבוה של מיליון וולט, ואף בזרם ישר, יכולים להסיע את החשמל גם למרחקים של 3000 ק"מ ויותר. כך ניתן יהיה לספק את מרבית צריכת החשמל ממקור הארובות לקרוב ל - 2/3 של אוכלוסיית העולם. המגבלה היא בעיקר טווחי ההובלה של החשמל, ואלה כנראה לא יעלו על סנט אחד נוסף לקו"ש. בטבלה 1 להלן אנו מביאים הערכה שמרנית מאוד של היקף ייצור החשמל האפשרי בעולם ברמות שונות של נתוני אקלים וגיאוגרפיה, כאשר הגבלנו את הספק הייצור נטו ללא פחות מאשר 200 מגה-וואט במוצע שנתי. המקסימום שמצאנו הוא 550-600 מגה-וואט במוצע שנתי, ובסה"כ לא יותר מ - 173 ארובות כאלה בעולם. בארובה מסחרית בתכנון סטנדרטי שגובהה 1200 מ' וקוטר 400 מ'. העלויות לקלוואט שעה מצוינות לפי ריבית של 5% ושל 10% וכן הכמות הכללית של האנרגיה המיוצרת (טבלה 1).

בטבלה 2 להלן הערכנו את מספר האנשים שאפשר לשרת בעזרת בניית ארובות שרב בכמה אזורים, וזאת הפעם רק בכאלה שההספק הממוצע עולה על 300 מגה-וואט, כלומר שבהם עלות החשמל נמוכה למדי (ראו טבלה 1). ומכאן עלויות ייצור החשמל נמוכות מ - 2.8 סנט לפי 5% ריבית ונמוכות מ - 4.07 סנט לפי ריבית של 10%. מובן מאלינו שבידינו לבחור לשיווק תחילה אתרים בהם עלות ייצור החשמל נמוכה ובהם יש ערך גבוה לתועלות הנוספות שנמנה אותן בהמשך ומשקלן הכולל לא פחות מייצור החשמל.

טבלה 1 - הפירוט העולמי של הספק ארובה באזורי 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 ³	מגה-וואט
2.51-2.69	1.68-1.78	839	173	69	550-600
2.69-2.90	1.78-1.90	2,679	583	233	500-550
2.90- 3.16	1.90-2.05	10,579	2,542	1,017	450-500
3.16 - 3.49	2.05-2.24	20,923	5,620	2,248	400-450
3.49-3.91	2.24-2.48	34,221	10,418	4,167	350-400
3.91- 4.47	2.48-2.80	42,627	14,973	5,989	300-350
4.47- 5.25	2.80-3.25	51,775	21,492	8,597	250-300
5.25 - 6.42	3.25-3.93	64,733	32,843	13,137	200-250
		228,376	88,644	35,457	סה"כ

החישוב בטבלה נעשה לפי ריבית בזמן ההקמה, במשך 4 שנים, ולפי אורך חיי התחנה - 30 שנה והפעלה ותחזוקה - 0.556 סנט לקו"ש. בחישוב לוקחים בחשבון לא רק את נתוני האקלים, פרופיל טמפרטורה ולחות, אלא גם את המרחק מהים וגובה מעל פני המים. הערכה שמרנית היא שארובה בממדים סטנדרטיים תצריך שטח שמיים של לא פחות מאשר 400 קמ"ר.

בטבלה 2 מובאת, כאמור, הערכות של כמות בני אדם שאפשר לשרת ברמת שימוש אופיינית למערב אירופה (כ - 6000 קו"ש לנפש לשנה) או ברמה אמריקאית ממוצעת (10000 קו"ש לנפש לשנה, אם כי בפועל, בארה"ב היא מגיעה ל - 14000 בקרוב).

כדאי למשל לשים לב שמצפון אפריקה אפשר יהיה לספק חשמל ל - 3.5 מיליארד בני אדם, הרבה יותר מצריכת צפון אפריקה ואירופה יחדיו. חשבון פשוט מצביע גם על כך שאפשר יהיה לייצר מי ים מותפלים זולים, בנפחים של עשרות פעמים הנילוס. הקדשה של 20% בלבד של האנרגיה המיוצרת תאפשר לספק כ - 1400 מיליארדי קוביים לשנה. עם השלמת פיתוח של שיטת התפלה חדשה, אפשר יהיה להגדיל כמות זו פי 5. צפון אפריקה תהפוך לאסם המזון של אירופה ומקור לרוב או כל החשמל ממקורות מתחדשים, ובעלות יותר נמוכה מהיום.

טבלה 2 - פוטנציאל אספקת החשמל באזורים שונים בעולם

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

לדוגמא, בדרום הערבה תפוקה של ארובה סטנדרטית תהיה כ - 370 קילו-וואט ממוצע או כ - 3.25 מיליארד קו"ש לשנה. ברמת שימוש מערב אירופאית כמות חשמל זו טובה ל - 540 אלף נפש. אם נקדיש רק 20% מהחשמל להתפלה ונניח שנשתמש רק ב - 3 קו"ש לקוב מי ים מותפלים, נוכל להפיק 650000 קוב מים. נמצא שאפשר לייצר מים לאוכלוסיה בהיקף של כ - 400 מ"ק לנפש לשנה. זאת כאשר כיום כל כמות המים הזמינה בישראל היא פחות מ - 300 מ"ק לנפש לשנה. למשל, באוסטרליה ראוי להשתמש בחלק הרבה יותר ניכר של האנרגיה המיוצרת להתפלה ולהוסיף אלפי קוביים של מים לנפש לשנה. ב - Texas, סמוך למפרץ מקסיקו, ישנם שטחים גדולים ביותר בתפוקות שבין 150 מגה-וואט ממוצע לארובה ו - 250 מגה-וואט לארובה. הערך של מקור זה לאספקת אנרגיה ובעיקר לאספקת מים הוא גדול ביותר. ישנם כמה רעיונות על דרכים להוזלת הייצור בשטחים אלה. המשמעות היא מרחיקת לכת.

(5) הפוטנציאל של ניצול ארובות שרב בישראל וסביבתה

האזור האקלימי המתאים ביותר בישראל לניצול של ארובות השרב הוא בערבה, מאילת צפונה בואך ים המלח. איזור שני לניצול הארובות הוא בפתחת רפיח בואך ניצנה. ניתוח נתוני הלוויין האקלימי והחישוב הפשטני יחסית אינם מאפשרים דיוק מרבי של ההספקים. אולם, אפשר לראות שאיזור הערבה וכן איזור פיתחת רפיח וקציעות, ההספק יהיה גבוה (ראה ציור 6). יש לצפות שבאזור פתחת רפיח הוא יהיה נמוך יותר, בעיקר בגלל טמפרטורה נמוכה יותר ולחות גבוהה יותר בגבהים נמוכים. האקלים והטופוגרפיה פחות טובים ברמת הנגב מאשר בערבה, אבל טווח ההובלה של החשמל, ועוד יותר טווח ההובלה של מים

מותפלים קצרים יותר, ומשום כך אולי הם בעלי יתרון. כמות החשמל שניתן לייצר עשויה להגיע, ללא כל קושי, ל - 100 מיליארד קו"ש. זאת כאשר צריכת ישראל היום איננה עולה על 40 מיליארד קו"ש בשנה. חשוב ביותר להדגיש שבן-גוריון ראה את השימוש בנגב כמקור העושר להפקת חשמל והתפלת מים. אנשי הסביבה עדיין מתייחסים לאנרגיה סולרית, כפי שהתייחס בן-גוריון. אנו נראה שהאוצר האמיתי הוא האוויר החם והיבש. הוא ניתן לניצול לא רק לייצור חשמל זול מאוד וברמות ענקיות אלא יש לו גם מוצרי לוואי שערכם גדול לא פחות מייצור חשמל ומהתפלת המים, הרבה מעבר לחזון של בן-גוריון. הפטפט המצוי של רוב המנהיגים שלנו הוא ש: "ישראל ענייה במשאבים אבל מתגאה בכוח התבונה". ישראל לא ענייה כלל במשאבים אלא סובלת מכך שהמנהיגים בתקופה הזאת נעדרי תבונה ואינם מקשיבים לאלה שמבינים יותר. אין זה מקרה שהועדף פרויקט "תעלת הימים" אשר יספק הרבה פחות מחצי גידול הצריכה של ישראל באנרגיה בשנה אחת, אבל יביא איתו אסון סביבתי לא קטן. עבור פרויקט זה מוכנים להקריב כ - 100 מיליארד קו"ש לשנה בעלות יותר נמוכה מאשר היום, ועוד יתרונות ענק במיליארדי קו"ש או אף פחות בעלות גדולה בערך פי 20 ובליוי בעיות סביבתיות הרסניות.

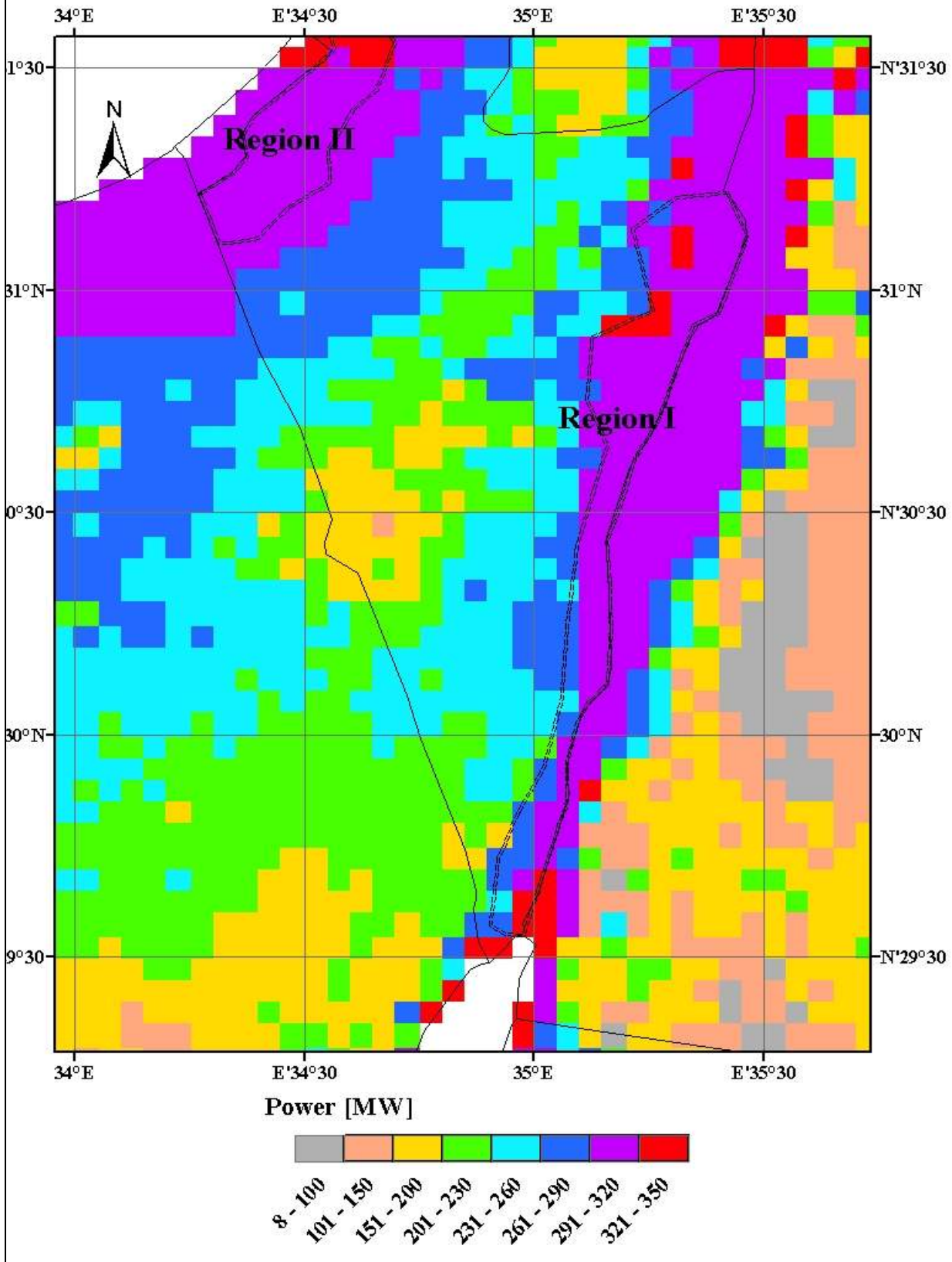
ייצור חשמל בארובות גורם לזרימת אוויר לח וקריר (עד שני מיליון קוב לשנייה לארובה המספקת 370 מגה-וואט בממוצע), אספקת כל צריכת החשמל של ישראל היום תייצר אוויר לח שיוכל, ללא כל קושי, להיות מפונה דרך בקעת הערבה דרומה, וכן בזרימה יומית לים התיכון. ראה להלן מפה של הנגב בואך אילת (ציור 6), וכן מפה הכוללת את חופי הים האדום ומפרץ סואץ (ציור 7). מעניין לציין גם שבממוצע, אפשר להתקין למעלה מ - 2 ארובות לרוחב קילומטר, ממזרח למערב, לאורך היקף כדור הארץ לאורך קו המשווה. התקנת 100 ארובות תנצלנה אוויר יבש ותפלוטנה אוויר לח וקר שינחת על קרקע המדבר, ויזרום דרומה ברוחב של פחות מ - 40 ק"מ. לכן, הערכת הפוטנציאל בישראל ל - 40-25 ארובות, כלל אינו מוגזם! השימוש בארובות בישראל עשוי לגרוע מעט מאוד מהיקף הפוטנציאל בערב הסעודית מצד אחד ומצריים, מצד שני. באותה מידה יש לצפות למיתון מסוים של תנאי המדבר במורד הארובות הפולטת אוויר קר ולח. מעניין לציין שהערכה גסה זו של 2 ארובות לקילומטר מאפשרת באופן תיאורטי בכל היקף כדור הארץ כ - 80000 ארובות כאלה מצפון וכ - 80000 ארובות מדרום. מובן מאליו שלא ניתן לנצל את מלא היקף כדור הארץ הכולל גם הרבה ים, אולם, אפשר לראות שהמספר של 80000 ארובות בטבלה מס' 1 לעיל איננו חריג בהשוואה לסה"כ של 160000 ארובות שאפשריות מבחינה אקלימית.

פיליפ קרלסון שהגה לראשונה את העיקרון של ארובות שרב, השקיע הרבה שנות עבודה על המאמץ לנצל את האוויר הקר והלח הנפלט כמקור להפרכת המדבר.

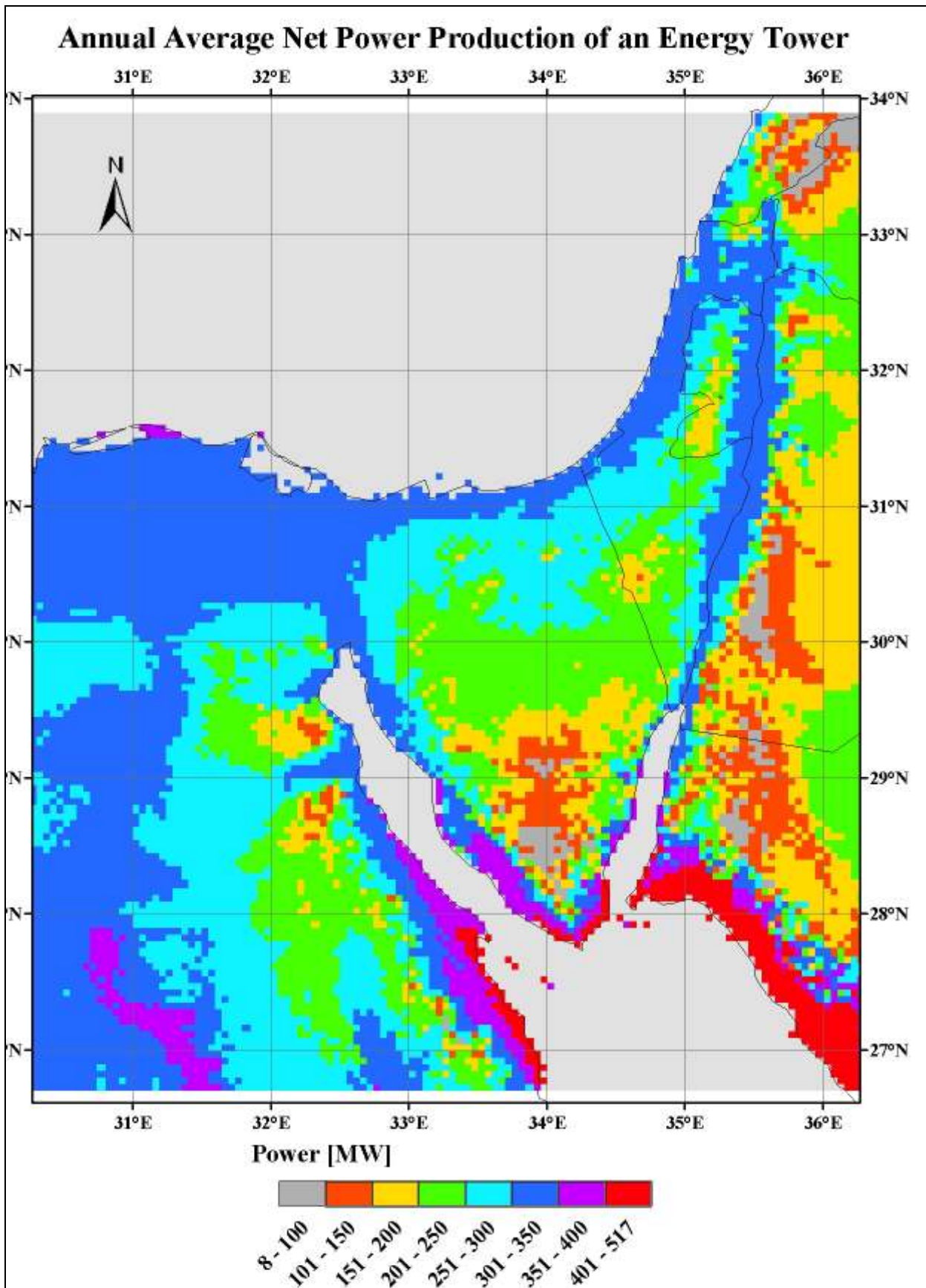
מידת הרזולוציה של המפות מוגבלת מאוד בגלל שורה של פרמטרים חישוביים. לא ניכנס כאן לפירוט האפשרי. המיפוי דיו כדי להצביע על סדרי גודל ומגמות בהעדפת אתרים. בכל מקרה, בחירה דייקנית של האתרים תלויה בסופו של דבר בלימוד מפורט ועד כדי מדידה יומיומית של פרופיל הטמפרטורה על פני כל השנה באתר נתון.

ריבועי השטח אליהם התייחסנו במיפוי של העולם הם בקרוב 5X5 ק"מ, אבל אפשר לראות במפה אזורי חישוב אקלימי שנמדדים בחצי מעלה עד מעלה. לפיכך הדיוק מוגבל ולו בלבד משום שמקבלים ערכים ממוצעים לשטח שהוא רחוק מאוד מאחידות, אם בטופוגרפיה ואם באקלים.

Annual Average Net Power Production of an Energy Tower



ציוור 6 - מיפוי החספק נטו הממוצע של ארובת השרב בדרום הארץ ברבועים של 5X5 ק"מ



ציר 7 - מיפוי ההספק נטו הממוצע של ארובת השרב באזור המזרח התיכון ברבועים של 5X5 ק"מ

(6) עלות הייצור של החשמל

להלן טבלת השקעות טיפוסית המוערכת בארובה בממדים סטנדרטיים בערבה וחישוב העלות (טבלה 3).
הממדים הסטנדרטיים של הארובה היו של גובה קירור של 1200 מ' וקוטר 400 מ' באזור דרום הערבה.

טבלה 3 - השקעות בארובה בערבה, לפי תכנון סטנדרטי בגובה 80 מ' מעל פני הים ומרחק 40 ק"מ מהים

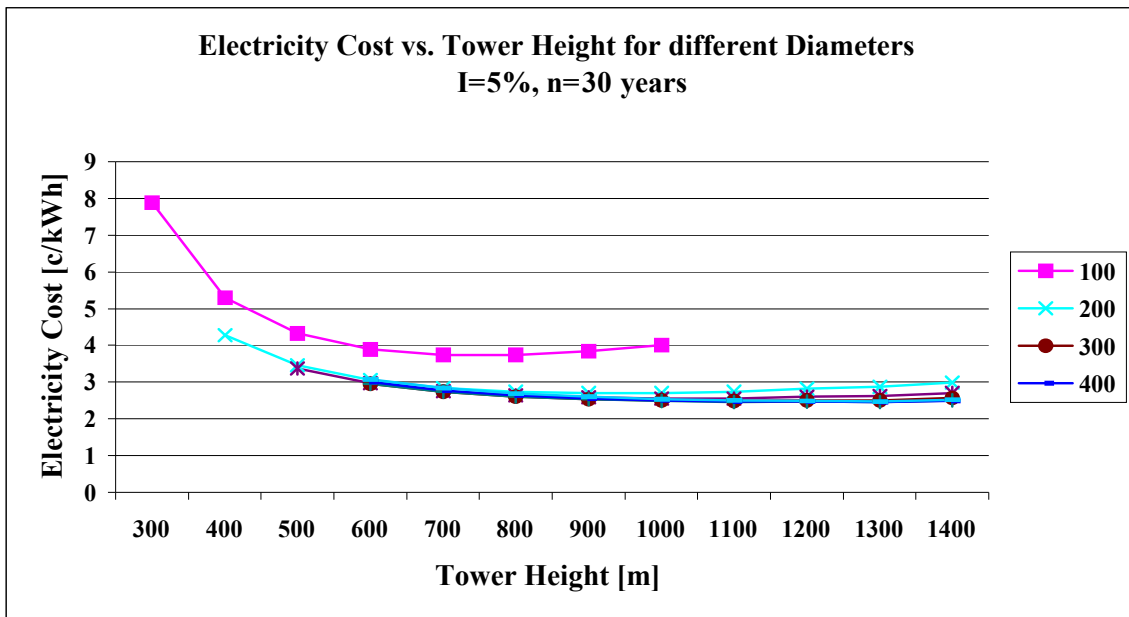
השקעה נומינלית עם ריבית בזמן הקמה 10^6 \$	השקעה נומינלית 10^6 \$	מערכת
159.8	146.3	1. מערכת אספקת מים
292.3	267.5	2. מבנה
398.1	364.5	3. מערכת טורבינות וגנרטורים
47.5	43.5	4. תשתית
31.9	29.2	5. שונות
929.6	851	ס"ה

ההספק נטו הוערך ב - 388 מגה-וואט (ממוצע) (למעלה מהמספר 370 שציטטנו לעיל) וההשקעה הנומינלית היתה כ - 2200 דולר לקילוואט נטו ממוצע. להשוואה, גודל השקעה זה יהיה כ - 1800 דולר לתחנה פחמית מצויה. היא מגיעה לכ - 3000 דולר לקילוואט ממוצע בטורבינות רוח, והרבה יותר באנרגיות סולריות שונות. ההספק המותקן גדול יותר מ-620 מגה-וואט, כך שהשקעה לקילו-וואט מותקן איננה עולה על כ - 1300 דולר.

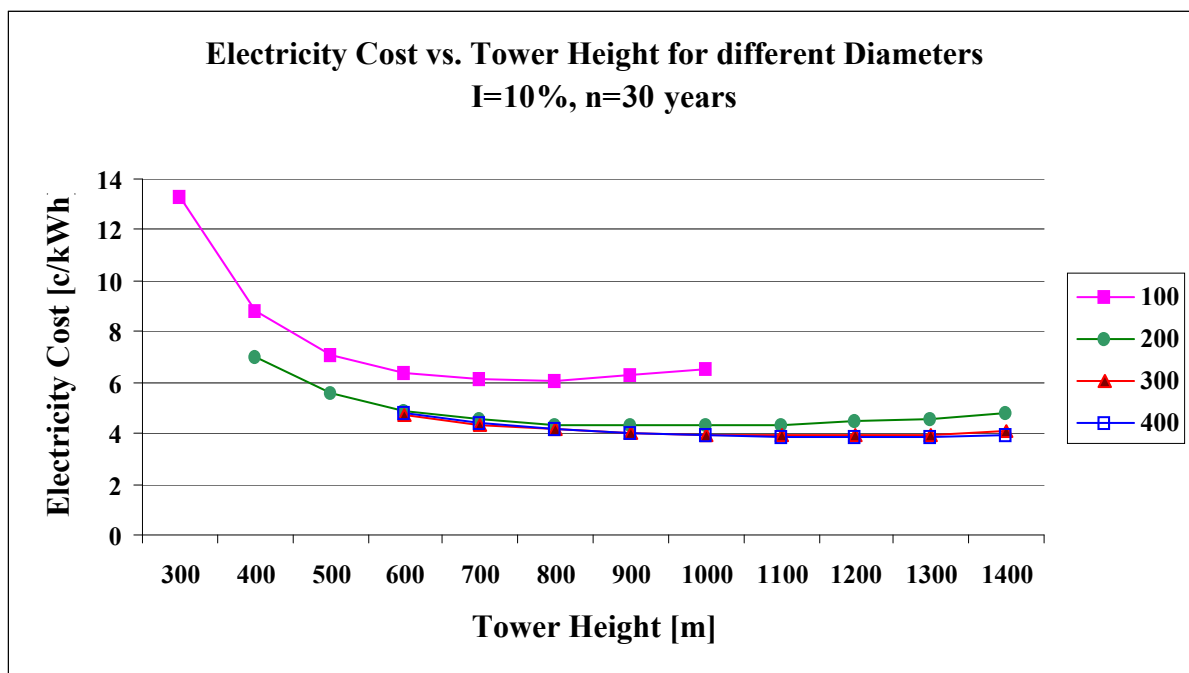
האנרגיה נטו למכירה היא 3.4×10^9 קו"ש לשנה. בעבודות שנעשו בתקופה האחרונה, התברר שניתן כנראה עוד לשפר את הביצועים וכן להקטין את עלות הייצור על ידי אופטימיזציה של ההספק המותקן. השיפורים עשויים לעלות בהרבה על 10-15%. שיפורים אלה לא כלולים בכל החישובים המובאים כאן.

בחישוב של עלויות ייצור החשמל המובאת בצירים 5 ו - 6 להלן, נלקחו בחשבון, כאמור, הפעלה ותחזוקה 0.556 סנט לקו"ש ו - 30 שנות שירות של תחנת הכוח, וכן ריבית בזמן ההקמה על פני 4 שנים. מחיר פלדה בקונסטרוקציה הגמורה נחשבה כ - 1400 דולר לטון, וכן היתה הנחה שחלק של הטורבינות (כ - 2/3) תהיינה מחוברות ישירות למשאבות ללא צורך בהשקעות במנועים ובגנרטורים, וללא הפסד אנרגיה כפול. ההערכה היא שסטיית התקן האפשרית בהערכת העלויות אינה עולה על 20%. בשנים האחרונות היתה עלייה משמעותית מאוד של מחירי הפלדה מכ - 1400 דולר ל - 2000 דולר לטון ויותר. לעומת זאת, הערכה של חברות כמו אלסטום ושל מתכנני המבנה היתה שאפשר לבצע את בניית הארובה וחלקיה בחסכוניות קרובים ל - 30% לעומת החישובים שנעשו על ידינו.

חשוב עוד להעיר שסעיפי התשתיות והשקעות שונות (סעיפים 4 ו - 5 בטבלה 3 לעיל) עשויים להיות הרבה יותר גדולים באופן אבסולוטי והם לא פוחתים באופן פרופורציונאלי כמו מירב ההשקעות האחרות. לפיכך העלות המינימאלית בצירים 8 ו - 9 תופיע בצורה יותר בולטת ובגבהים יותר גדולים.



ציור 8 - עלות ייצור החשמל מארובת שרב באזור אילת כפונקציה של גובה הארובה וקוטרה עבור שיעור ריבית של 5% לשנה



ציור 9 - עלות ייצור החשמל מארובת שרב באזור אילת כפונקציה של גובה הארובה וקוטרה עבור שיעור ריבית של 10% לשנה

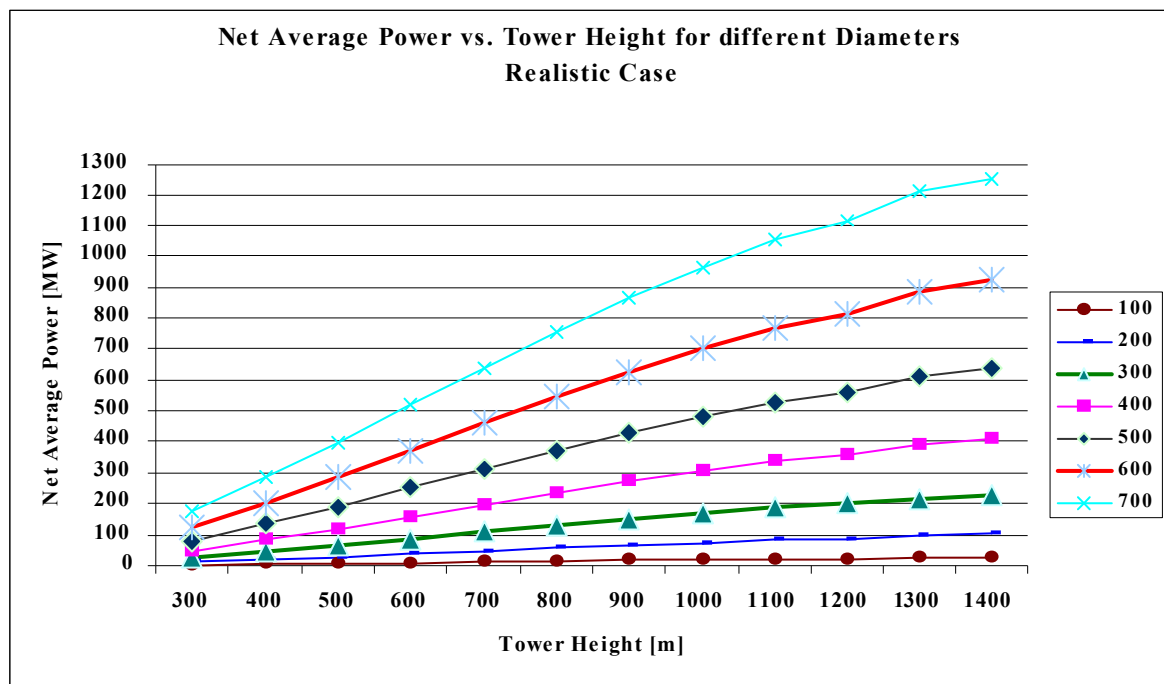
בציור 10 מובא ההספק כפונקציה של גובה הארובה וקוטרה. בארובה בעלת פרופורציות קבועות. ההספק גדל בקרוב טוב מאוד בחזקה שלישית של ממד אורך אופייני (מעט יותר גבוה מחזקה השלישית). די ברור מדוע אנו מעדיפים ארובות בממדים גדולים, אבל ראוי לציין גם שלתחנות אפילו בהספק של 10 מגה-וואט בממוצע אין מתחרים עדיין בטכנולוגיות אחרות של אנרגיות חליפיות, להוציא אולי טורבינות

רוח. בוודאי ובוודאי שאין מתחרים לתחנה מוקטנת בהספק של 50 מגה-וואט. זאת גם אחרי שנוספו לה הוצאות יתרות בגלל ראשונותה.

לרבים מהמתעניינים ישנה נטייה להציע להתחיל בארובה קטנה. חשוב להדגיש כמה נקודות חשובות. **(א)** לא לקחנו בחשבון את מלוא השינויים בהשקעה עם גידול הממדים היינו רואים שיפור יחסי בעלות החשמל גם מעבר לגובה של 600-700 מ'. בין עלויות אלה צריך לקחת בחשבון דרכי גישה, עלות קרקע, קווי כוח, תחנת שירות להתחלת ההפעלה של הארובה, ואפילו עלות יחסית של הטורבינות וכן של שרות ותחזוקה. אלה אינם גדלים באותה פרופורציה עם גידול הממדים.

(ב) כל הקשיים והמגבלות של התחנה קיימים באופן שונה לארובה קטנה ולארובה גדולה. הדרישה החשובה ביותר היא אבטחת איכות ואמינות בקפדנות יתרה, וזו זהה גם לארובה גדולה וגם לארובה קטנה.

(ג) ארובה קטנה איננה מהווה ייצוג טוב להתנהגות של ארובה גדולה בגלל התנהגות אקלימית שאינה אחידה עם הגובה.



ציור 10 - הספק ממוצע של הארובה באזור דרום הארובה עבור גבהים וקטרים שונים

(7) השוואה של הארובות עם מקורות חשמל קונבנציונליים המופעלים בדלק

טבלה 4 להלן מתארת השוואות של עלויות ייצור לקילוואט שעה על ידי תחנות גרעיניות, תחנות מופעלות בפחם ותחנות מופעלות על ידי טורבינות גז טבעי. הטבלה לקוחה מסקר ממשי של 22 תחנות כוח במדינות שונות:

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

ההערכות נעשו כמה שנים לפני עליית מחירי הדלקים הקיצונית בהווה. כיום היתרון של ארובות שרב יהיה הרבה יותר בולט.

טבלה 4 - מחיר ייצור אופייני של חשמל בסנט לקו"ש לשנים 2005-2010 (load factor 75%, 30 years)

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

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

טבלה 5 - הערכות מעודכנות של עלויות שונות של ייצור חשמל, לפי OECD, אפריל 2007

מחיר ייצור חשמל בסנטים לקו"ש	השקעה בדולרים לקו"ש בשנת 2005	טכנולוגיה מבוססת על
3-12	1500-5500	מפעלי חשמל הידור-אלקטריים גדולים
6-15	1800-6800	מפעלים הידרו-אלקטריים קטנים (קטנים מ - 10 מגה-וואט)
3-8	900-1100	תחנות רוח ביבשה
7-22	1500-2500	תחנות רוח בים
3-9	1700-5700	תחנות גיאותרמיות
18-54	5000-8000	תאים פוטו-וולטאיים
10.5-23	2000-2300	סולרי תרמי
3-10	1000-2500	ביו-מסה
5.5-16	-	מי אוקיינוסים
2-6	1000-1200	פחם
4-6	1850-2100	פחם עם CCS
4-6	450-600	גז טבעי
2.5-7.5	2000-2500	גרעין

בטבלה 5 לעיל מובאות הערכות מעודכנות יותר של עלויות שונות של ייצור חשמל. צר לומר שכמה הערכות של עלויות המצויות בטבלה לעיל הן מה שנקרא חלום באספמיא או wishful thinking ביחס לטכנולוגיות שהחוקרים מבקשים להן תמיכה וסבסוד כמעט בכל מחיר. בבדיקות שנעשו לאחרונה בישראל, עלות ייצור החשמל בתחנות עם מראות פראבוליות של חברת "סולל" היתה 15.5 סנט לקו"ש. עלות חשמל מתאים פוטו-וולטאיים בייצור מתקדם נעה בין 30 ל - 40 סנט לקו"ש. עלות חשמל מיוצר ע"י גז טבעי עלתה במידה ניכרת בהשוואה לכתוב בטבלה. בפרסום מיולי 2007 ע"י Financial Times, עלות חשמל מתחנה גרעינית בארה"ב מגיעה ל - 6.7 סנט לקו"ש. לארובות שרב, כאמור, עוד כתריסר וחצי יתרונות כלכליים רבי משמעות שנפרט אותם בהמשך (כמחציתם עם תכונות גשמיות ומחציתם עם יתרונות כלכליים, סביבתיים ומדיניים), כך שלא די בהצבעה על יתרון בעלות ייצור החשמל. יש לארובות עוד הרבה להציע.

חשוב להביא את ההערות הבאות:

(1) כבר היום ניתן לקבל בונים עקב ייצור חשמל נקי. עבודה שנעשתה בארה"ב הראתה שהצורך לעמוד בדרישה של "פרוטוקול קיוטו" (Kyoto Protocol) להקטין את פליטת גזי החממה תגרום בארה"ב לעליית מחירי החשמל מ - 6 סנט בממוצע בערך, ל - 11 סנט. מצבה של ישראל לא יהיה יותר טוב אלא חמור יותר. ארה"ב יכולה אולי להרשות לעצמה לבעוט בפרוטוקול קיוטו,

ואף זה בספק. ישראל בשום אופן לא תתחמק מעמידה בדרישות אלה והן עשויות להיות קיומיות מבחינה כלכלית. לפיכך ישנה הצדקה לסיוע לארובות לפחות בשלב של הקמה של התחנה הראשונה שתהיה, כך אנו מקווים, בהספק מלא שבין 350 ל - 380 מגה-וואט ממוצע, או כ - 7.5% מהחשמל בישראל. אולם, לפי החלטת ממשלת ישראל, הסיוע שהוכרז עליו הוא 2 סנט לקו"ש בלבד ומרבית ההחלטות נשענו על ידע ארכאי.

(2) כאשר העלות של מקור חשמל חלופי יקרה מאוד, והחשש הוא שהחשמל יתייקר בממוצע כדי 5 סנט לקו"ש על פני ארצות הברית, אפשר להבין את הוויכוח על מידת ההצדקה של פרוטוקול קיוטו.

- השאלה היא קודם כל אם הסיבה להתחממות כדור הארץ היא גזי חממה משריפת דלק. מהי ההסתברות P שכך הדבר?

- השאלה השנייה היא מה תהיה באמת מידת הנזק של התחממות כדור הארץ (D).
- השאלה השלישית היא באם שינוי מקור האנרגיה ישפר את המצב כדי הצדקה של ההוצאה היתרה E.

(3) חשוב לאמור בצורה חד-משמעית ששינוי האקלים מעורר שתי הערות: הנושא שנדחף בסערה כה גדולה, הוא רק גורם אחד מתוך 8 להמיר את השימוש בדלק פוסילי באנרגיה מתחדשת. הוויכוח אם התחממות כדור הארץ מאיימת, כמפורסם ע"י ה"א"ם והאם היא באמת מעשה ידי אדם? (ראה נספח III).

(4) לפיכך הצענו קריטריון הרבה יותר פשוט להחלטה אם לעזוב את עידן הדלק ולהיכנס לעידן חדש ללא שימוש בדלק פוסילי ואם לאו. הקריטריון הראוי להחלטה אם להציע תחליף לדלק הוא כלכלי בלבד, והוא אם השבר R המוגדר להלן יהיה גדול מיחידה או שלילי.

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

כאשר E ו - D שניהם ביחידות של הוצאה יחסית ליחידת אנרגיה מדלק או אנרגיה חלופית. E עשוי להיות שלילי כאשר עלות אנרגיה מתחדשת קטנה מעלות אנרגיה מופקת בעזרת דלק פוסילי (ראה למשל פרק 9).

אולם, אם השימוש בחשמל מהארובות יותר זול מהחשמל המשמש אותנו היום, השאלות מיותרות ולתשובות אין חשיבות, וזאת נוסף על התועלות היתרות המוזכרות. ואמנם הראנו שמחר בבוקר ניתן להמיר בין 50% ל - 60% של השימוש בדלק בטכנולוגיות קיימות כדאיות מאוד גם ללא ניצול של "ארובות השרב". (ראה נספח III).

(5) כפי שנמנה בהמשך, לארובות עוד 8 מוצרי לוואי גשמיים ועוד במספר זהה של תועלות מקרו-כלכליות שונות שעשויות להכפיל את ההכנסה לקו"ש. בכל הדין שמנינו, התייחסנו לייצור החשמל כעומד בפני עצמו. אבל לאף שיטה ידועה אין מספר כזה של תועלות שרווחן בצידי.

(8) השוואה עם מקורות מתחדשים אחרים לייצור חשמל

את מקורות האנרגיה המתחדשת אפשר לחלק לכמה קבוצות.

א) קבוצה 1 היא חיסכון באנרגיה

כבר הצבענו על דוגמא לחיסכון בחשמל בארה"ב כדי כמחצית מכל הצריכה. בישראל נעשה מחקר לפיו ניתן להקטין בכ - 20% את צריכת האנרגיה בכל התחומים, וזאת בהשקעות שתכוסינה תוך 5 שנים או פחות. ללא שינוי ערכים בממשלה וללא התארגנות הציבור, אין סיכוי לחסכון זה שהוכח מעבר לכל ספק וניתן להיות מיושם לאלתר.

ב) קבוצה 2 שייכת לתוצרים של אנרגיית השמש והיא זו ששמשה את האדם עוד בתקופות פרה-

היסטוריות: רוח, מים וביו-מסה, ועתה נוספה הטכנולוגיה של "ארובות שרב" המתוארת במסמך זה. רוב הטכנולוגיות לניצול פירות השמש זמינות באופן מיידי וצריכות להקדים כל אנרגיה סולרית המשתמשת באופן ישיר בקרינת השמש.

רוח - פוטנציאל טורבינות רוח בישראל הוערך ב - 600 מגה-וואט, לא יותר מ - 5% של החשמל בישראל. זאת כאשר הגבול הוא לאזורים שמהירות הרוח הממוצעת שם היא מעל 6.5-7 מטרים לשנייה. אולם, אם מוכנים לשלם תמורת אנרגיית רוח קרוב למה שמוכנים לשלם תמורת אנרגיה סולרית עם קולטי שמש, הפוטנציאל של חוות רוח גדל באופן דרמטי. בעולם מדובר על אפשרות שאנרגיית הרוח תוכל להחליף כ- 10% מהחשמל. אבל, אם מישהו מוכן לשלם מחיר יותר גבוה, למשל 15.5 סנט לקו"ש ומעלה, תמורת אנרגיה סולרית, למשל לפי הטכנולוגיה של חברת "סולל" או במגדל השמש של מכון וויצמן (והכוונה היא כמובן אך ורק לרכיב הסולרי ולא לתמיכה של גז טבעי ב - 2/3 של היממה). חשבון פשוט מראה אז שאפשר להסתפק במהירות רוח ממוצעת קרובה יותר ל - 5 מטרים לשנייה. אז ייתכן לספק על ידי אנרגיות רוח עשרות אחוזים של החשמל בישראל. יש לקרוא את תשומת לבם של משרד התשתיות והמשרד לאיכות הסביבה לעובדה הפשוטה זו. בתוספת של אגירה שאובה יכול להפוך משב הרוח למשאב טבעי חשוב ביותר והרבה יותר נוח וזול מאנרגיה סולרית מקרינה ישירה. בחודש אוגוסט 2003 אושרו לבנייה מספר טורבינות רוח בצפון הארץ. זה קרה סוף סוף אחרי עשרות שנים שהמשרד לאיכות הסביבה וחיל האוויר התנגדו להתקנת טורבינות רוח, וזאת בטענות שווא.

אנרגיית רוח יכולה להספיק ברוב המדינות לאספקת 10-20 אחוזים של החשמל. תוספת של בונוס לא גדול יצדיק כאמור שימוש בקנה מידה יותר גדול. תהיה זו הנחה לא מוגזמת שאפשר להגיע בישראל קרוב ל - 10% מאספקת החשמל.

מקורות הידרו-אלקטריים, להוציא ניצול מפל מים אחד או שניים בהספק זניח של 2-3 מגה-וואט, אין בישראל כל מקור הידרו-אלקטרי ראוי לשימוש.

חשיבות רבה ביותר יש בשימוש באגירת מים להשלמה של מקורות מתחדשים לא רצופים או דרישות חשמל קיצוניות. צורת סיפוק ביקוש זה קרויה "אגירה שאובה". זו יכולה להיות מסופקת ע"י "ארובות שרב".

לאחרונה פיתח פרופ' עמנואל פלד מאוני' ת"א מעין מצבר אגירה הניזון מגז שמשנה את ערכיותו משני הצדדים של תאי דלק. בניסויים מוקדמים נראה שההוצאה נמוכה באופן משמעי ממצברי עופרת. נפח האגירה יכול להיות גדול מאוד. מהירות התגובה גדולה מאוד ומספר המחזוריים האפשרי כמעט אינסופי.

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

א. כל ההספק איננו עולה על מחצית מגידול צריכת ישראל בשנה אחת לחשמל. ספק אם מותר לשנות סדרי בראשית למטרה כה שולית בעלות של כ- 5 מיליארד דולר, כאשר היא יכולה להיפתר בהשקעה של 120 מיליון דולר בקרוב. חמור הרבה יותר, כדי להתפיל מים בקצה של תעלת ים סוף-ים המלח ולספק אותם לנצרכים, צריך הלקים תחנת כוח מופעלת בדלק פוסילי בהספק של כמה מאות מגה-וואט;

ב. ההשקעה אדירה ועלות החשמל גבוהה ביותר ללא כל הצדקה אפילו לשימוש בשעות ביקוש שיא;

ג. הובלת מי ים לים המלח גוררת אחריה בעיות סביבתיות קשות ועשויה לחסל למעשה את מפעלי ים המלח בישראל ובירדן. הבעיה הסביבתית מחמירה עוד יותר כאשר נוספים חומרים כימיים הכרוכים בהתפלה ליד חופי ים המלח (לפי הצעה שהיא איזולת מוחלטת לבנות תעלה מים סוף במקום מהים התיכון). בעיה סביבתית שלישית היא סיכון ממשי מאוד של כל מקורות המים בערבה;

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

ה. לכל המטרות הלגיטימיות שתעלת הימים באה לכאורה, למלא, יש חלופות טובות וזולות יותר לאין שיעור, כולל תועלות סביבתיות וכלכליות מרשימות ביותר, כמו הצלת הירדן; עצירת השפילה של פני ים המלח; הגדלת היקף הייצור של חומרי גלם במפעלי ים המלח; דרך למנוע את ההגבהה הנמשכת של הסוללות סביב בריכה מס' 5 ליד המלונות בים המלח, ועוד;

ו. אין כל ספק שירידת פני ים המלח יוצרת כמה בעיות. אולם, כנגד זה ישנן כמה טענות. ראשית, אין אלו הבעיות החשובות ביותר. גם אם כן, הרמה של המים בים המלח לא פותרת אף אחת מהבעיות, וגם אם כן, רק בעוד 30-40 שנה. זאת כאשר ישנן חלופות נוחות, זולות ופשוטות לפתרון מיידי ויש גם צורך בפתרון מיידי. **הרעיון שהעלאת פני המים בים המלח תחסלנה את הבולענים שנפערו וחתירה לאחור בנחלים, כמוה כהכרזה שאפשר ליטול חביתה ולחזור ולעשות ממנה אפרוח.**

ביו-מסה

הביו-מסה היא גם כן מפירות השמש. עד גילוי הנפט והפחם, החומרים הצמחיים שמשו להבערת אש ולתאורה, לכל צרכי האדם בבית ובתעשייה.

בישראל למעלה מ- 5 מיליון טון ביו-מסה שניתנת לאיסוף בשדות, ביערות ובמידה מכרעת בפסולת העירונית. כמות זו גדלה בכמה אחוזים מדי שנה.

חברת "חץ אקולוגיה" פיתחה טכניקה להפרדת הפסולת העיקרית לרכיביה: זכוכית, פלסטיק, מתכות ברזליות ומתכות אל-ברזליות. החומר האורגני מפורק מכנית וא"כ מטופל בתסיסה אנארובית בשני שלבים. המוצר הוא ביו-גז המכיל כ- 70% מתן ו- 30% דו-תחמוצת הפחמן.

כמות האנרגיה המופקת מהפסולת עשויה להגיע ל- 10% מצריכת החשמל.

טכנולוגיה זו עולה על טכניקות שריפה קיימות בגלל תפוקה יותר גדולה של אנרגיה, מניעת ייצור של גזים מסרטנים ומחיר יותר נמוך.

ניצול הפסולת חוסך בערך רבע עד שליש מכל גזי החממה הנפלטים היום בישראל. הוא גם חוסך זיהום של מי התהום ובעיות סביבתיות נוספות.

הצורה השנייה של ניצול ביו-מסה נגזרת מארובות השרב. ייצור של מי השקיה זולים ובכמות גדולה מאוד ובמחיר זול מאפשר גידול צמחים לייצור תחליפים לדלק, לדיזל ולבנזין. מטבלאות 1 ו- 2 אפשר להתרשם איזה תוספת דרמטית תהיה לשימוש ב"ארובות שרב". שימוש זה בקנה מידה גדול יכול להתחיל תוך כ- 3-4 שנים. בהמשך אפשר יהיה לספק שמן כתחליפי דלק דיזל בהיקפים גדולים ביותר וכן כוהל אתילי בתחליף לבנזין.

סיכום לקבוצות א' ו- ב'

אפשר להראות שהקטנת התלות בדלק יכולה להתרחש לאלתר לא על ידי השקעות גדולות אלא תוך כדי שינויים לא גדולים בתקנות במיסוי, בדרכי תכנון, בביקורת ובהסברה, וכמה וכמה מוצרי לוואי חשובים. ההיקף בישראל יכול להגיע ל- 20% מהצריכה של החשמל ויותר, שהם כ- 7% מהדלק. נוסף לכך, ניתן לחסוך כ- 20% מהשימוש בדלק ע"י שימוש יעיל ובסה"כ המרה של לא פחות מ- 27% של הדלק הפוסילי. ההחלטה של ממשלת ישראל על 2% מהאנרגיה ממקורות מתחדשים היא החלטה עלובה הנובעת מחוסר ידע וחוסר חכמה. אלה שהכינו תכנית פיתוח לאנרגיה לא השכילו להבין עניין זה. אבל אפילו 2% אלה לא הוחל במימושם.

מי שמתכנן להשקיע היום בתחנות כוח חדשות ואפילו תחנות כוח מאנרגיה סולרית מבזבז בצורה חסרת אחריות את משאבי הציבור. בוודאי כך הדבר אם לוקחים בחשבון פרספקטיבה של 4-5 שנים. את עיקרי מאמצי המו"פ יש להשקיע כדי לממש את הטכנולוגיה של ארובות שרב. ישנם הרבה שיפורים נוספים שיכולים להביא, ולא נפרטם כאן.

ג) קבוצה 3 - קרינת שמש לניצול חום

בניגוד לקרינת שמש לייצור חשמל, הנצילות בקבוצה זו גבוהה וכבר הגיע ליותר מ- 50% וההשקעות קטנות יותר ליחידת אנרגיה. למשל, בבריכות הסולריות שפותחו ע"י "סולמות", הנצילות לייצור החשמל היתה פחות מ- 1% ל- 100, והנצילות לחום היתה 16%. חברת "אראל אנרגיה" פיתחה דיודות תרמיות שהוזילו את קליטת האנרגיה והגיעו לנצילות גדולה מ- 50%. טכנולוגיה דומה ניתן לנצל לתעשייה ולבית. גם טכנולוגיות שפותחו על ידי "לוז" וא"כ "סולל" יכולה לספק חום בטמפרטורות יותר גבוהות לשימושים שונים כולל רבים מהם בתעשייה, הרבה יותר כדאי ודחוף מייצור חשמל מקרינה סולרית.

ד) קבוצה 4 - טכנולוגיות לייצור חשמל מקרינת השמש

טכנולוגיות סולריות תרמיות הצטיינו מאוד בישראל. זאת בעיקר בטכנולוגיה שפותחה ב- Luz (היום חברת Solel) והותקנה לניסיון בקנה מידה גדול בקליפורניה וכיום מותקנת בספרד ובקליפורניה וכן בפיתוח המגדל הסולרי במכון ויצמן. אבל חישוב ריאלי של עלות הרכיב הסולרי של האנרגיה מראה שהוא איננו נופל מ- 15.5 סנט לקו"ש.

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

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

א. כדי לנצל את האנרגיה 24 שעות ביממה יש צורך בגיבוי. דרושה אגירה שמגדילה מאוד את ההשקעה, מחד גיסא, וגורמת לעוד טרנספורמציות של אנרגיה ההופכות את התהליך לפחות יעיל,

- מאידך גיסא. האלטרנטיבה ששימשה עד היום היתה שימוש בדלק כדי 2/3 הזמן. כדי להראות טוב מחשבים ומציגים את העלות הממוצעת של כ - 1/3 אנרגיית שמש של - 2/3 אנרגיה מדלק ;
- ב. קרינת השמש היא אקסטנסיבית וההשקעה בחומר גדולה מאוד, בהשוואה לרמות האנרגיה, עד כדי כך שיש הקובעים שחלק גדול מדי של האנרגיה יידרש כדי לבנות את המתקן ואין דרך להתגבר על כך.
- ג. השטח הנדרש להפקת מיליון קו"ש בשנה בטכנולוגיה של חברת "סולל" או במגדל השמש הוא לא פחות מ - 6000-7000 מ"ר. השטח הנדרש בארובות שרב הוא כ - 350 מ"ר לייצור מיליון קו"ש בשנה (כך דרוש בערבה). חישוב שמרני ביותר מצביע על שטח דרוש של 400 מ"ר למיליון קו"ש בשנה. פירוש הדבר שהארובות צורכות לכל היותר 1/15 של השטח הדרוש על ידי טכניקות לקליטה קרינת השמש. בשנתיים שלוש האחרונות שתי מגבלות העיקריות לניצול אנרגיית השמש לחשמל היו מציאת שטח פנוי גדול ומישורי מספיק ועלות שכל סבסוד שהמדינה החליטה עליו לא יכול היה להצדיק את מימושו.

אין לזלזל בסיכוי שאולי קיים, להקטין את העלויות בעזרת מו"פ ואחר כך בקידום תעשיית. יש גם הנחה שככל שהמחיר לתאים פוטו-וולטאיים יפחת, יגדל מספר השימושים המתחדשים שהם יכולים לשרת, כמו אספקת חשמל לאיזורים נדחים, למתקנים ניידים וכדומה. אבל אין שום סיכוי לשנות את חוקי התרמודינאמיקה המצביעים על נצילות נמוכה מאוד של הפיכה לאנרגיה מכנית או חשמלית ואין דרך להקטין באופן משמעי מאוד את השטח הנדרש.

ה) קבוצה 5 - "כלכלת מימן", תאי דלק ורעיונות דומים

ראשית, אלה אינם מקורות אנרגיה אלא חלק מתהליכי הטרנספורמציה ויצירת אגירה. נראה כיום, כמעט בהגדרה, שאין לשימוש במימן כל סיכוי להמרה של מקור האנרגיה בעולם בקנה מידה גדול. לכל היותר, יכולות להתפתח נישות מעניינות לשימושים מיוחדים, כמו לציוד נייד או פיתוח של מצבר חשמלי. אין לזלזל בהן מבחינה כלכלית, אך אין הן פותרות את הבעיה האנרגטית הבסיסית של העולם בקנה מידה גדול. גם להחלפה של הדלק ברכב, ספק רב אם יש היגיון כלשהו ברעיון הזה. באותו דלק שמשמש לייצור מימן או מיתן שיעבוד בתאי דלק, אפשר להניע את המכוונות ברמת שימוש בדלק לא יותר גדולה. יותר מזאת, יש כיום רעיונות שהולכים ומתממשים לשפר מאוד את הנצילות של שימוש בדלק במנועים לרכב. דרך אחת היא כמו במכוניות היברידיות המשלבות מנוע מופעל בדלק ומנוע חשמלי שהנצילות גדולה פי 2. ד"ר גד אסף רשם רעיונות והדגים שיפור הנצילות מ - 10% ל - 50% לפי הצהרתו על תוצאות ניסויים. אנו חוזרים ומתבקשים להתחבר לאינטרסים כלכליים כבדי משקל ולאופנות כמעט אלימות של כמה קבוצות מחקר בארה"ב ובאירופה ואדמיניסטרציות המזינות אותן. עלינו לשקול את הדברים מנקודת ראות של ישראל ולהיזהר מאוד מאופנות חולפות שקל לראות שהן כמעט חסרות סיכוי. אחד מהמושגים האוויליים הללו הוא "יצירת רצף של מקורות אנרגיה". רשת חשמל מצויה היא בעלת כושר ייצור שהוא בערך כפול מהשימוש הממוצע. אבל מקור מיוחד לצרכן קטן עשוי להיות מוגדל פי 5 או פי 10 כדי לספק שיאי צריכה נקודתיים. אם כבר מחברים את הספקים הבודדים לרשת החשמל אולי לא דרוש כלל להתקין את מקור האנרגיה הבודד.

בסיכום,

מההשוואה ברור ש"ארובות השרב" הן מקור האנרגיה המתחדשת האטרקטיבי ביותר שפותח בשלושת העשורים האחרונים, להוציא מפעלים הידרו גדולים שהם נדירים מאוד, ולהוציא אנרגיית רוח באזורים מוצלחים באופן מיוחד ובהיקף מוגבל שלא עלה בדרך כלל על כ - 10% מצריכת החשמל. לאנרגיית הרוח יש לצרף ניצול של פסולת לאנרגיה וכן הפסקת סבסוד החשמל ועידוד לחיסכון. לאחרון אין כל תחליף. ראוי להזכיר שעדיין ישנו סבסוד של החשמל בישראל בהיקף העולה על מיליארד דולר בשנה. הערכה בעבר של הרשות לשירותים ציבוריים-חשמל, היתה שהיה צורך להגדיל את מחיר החשמל ב - 50%. הטלת מחיר חשמל אמיתי היתה גוררת לכמה תוצאות מדהימות! (חלק מזה אולי כבר מתחיל להתבצע).

1. מקטינה את צריכת החשמל בערך ב - 20%.
2. עושה את תחרות של אנרגיות חליפיות יותר קלה.
3. אילו הכסף המבוזבז היה מושקע באנרגיות חליפיות, הרי ניתן היה להתקין בחינם כל שנה כ - 500 מגה-וואט הספק ממוצע באנרגיות רוח, או שלוש ארובות שרב כל שנתיים, קרי 22.5% מצריכת החשמל כל שנתיים.
4. היה סיכוי להפריט את חברת החשמל עם רווח ראוי. כיום החוב של חברת החשמל הוא בלתי נמנע הוא כ - 45 מיליארד ₪ או מעל עשרה מיליארד דולר. הפרטה, שהיא חסרת כל היגיון, ממילא היא בלתי אפשרית במצב זה.

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

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

אפשר לקבוע באופן חיובי שכל הניסיונות עד כה להחליף שריפת דלק לייצור חשמל במקורות אנרגיה נקיים ומתחדשים, בקנה מידה גדול, למעשה, נכשלו. הסיבות העיקריות הן מחיר לא רציונלי לחשמל בהתנהגות אווילית של המדינה.

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

ראוי היה, לאור זה, שמדינת ישראל תשקיע בהקדם כדי להפיק מקסימום תועלת ממשאב אדיר זה. וכמו כן, ראוי היה לגלות יוזמה לנצל את העובדה שיהיה לנו חשמל זול מאוד ובשפע כדי להחליף שימושים שונים בדלק. יותר מזאת, גידולים לשמן ולייצור כוהל במדבר המהווה היום כ - 60% משטח המדינה, יאפשרו גם לייצר תחליפים לדלק דיזל ובנוסף לתחבורה.

(9) מוצרי לוואי

לארובות השרב, כאמור, שורה ארוכה של מוצרי לוואי גשמיים ושורה של מוצרי לוואי ערכיים.

9.1 מוצרי לוואי גשמיים

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

אופטימיזציה של התפלת מי ים, ייצור חשמל ואגירה שאובה הראתה שאפשר לחסוך יותר מ - 50% של עלות ההתפלה ולהקטין את העלות אל מתחת ל - 25 סנט.

כפי שכבר הראינו לעיל, שימוש של כ - 20% של החשמל המיוצר בממדים התקניים של 400X1200 מ', יוכל לספק עוד 400 מ"ק מים באיכות מי שתייה לנפש.

המיקום הנכון לתחנת התפלה חייב להיות סמוך ביותר למקור המים המליחים. התקנת מערכי התפלה סמוכים לים המלח הם טמטום. זה פשוט מגדיל יותר מאשר פי שלושה את מחירי הובלת המים, ולאורך גדול כמו המרחק בין תחום ההתפלה ומקור המים הגיע לכ - 200 ק"מ. עלות ההובלה של קוב מים מותפלים עולה פחות מ - 20 סנט (ובממוצע בוודאי קרוב ל - 10 סנט) לסדר גדול של 60 סנט (!) קשה לרדת לדעתם של מציעי תעלת הימים עם תחנת התפלה לחוף ים המלח.

הטכנולוגיה של "ארובות שרב" מונעת עלייה אפשרית בעתיד של מחירי החשמל. העלייה הניכרת נחזתה, אבל עשויה עוד לגדול אם רק מפסיקים לסבסד את החשמל. המשמעות היא ייקור שעשוי להגיע לכ - 3.5-4 סנט לקו"ש, גם ללא ייקור של הדלק. התפלה של קוב אחד של מי ים מחייבת היום לא פחות מ - 4 קו"ש, או תוספת עלות וודאית של 14-16 סנט לקו"ש מי ים מותפלים. עליית מחירי הדלק שהיא כמעט וודאית, תייקר אם כך עוד יותר את מחיר המים. התפלה בשילוב עם הארובות תפחית את העלות מיד למחצית ותמנע ייקור מים בעתיד.

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

2) אספקת דלק חלופי לתחבורה - מים זולים במדבר יכולים לשמש גם לגידולים שמהם אפשר להפיק תחליף לדלק דיזל וגידולים להתססה וייצור אתנול שיחליף בנזין. והרי ארובות השרב פותרות לא רק את בעיות אספקת החשמל אלא גם את אספקת הדלק לפחות לצרכי תחבורה.

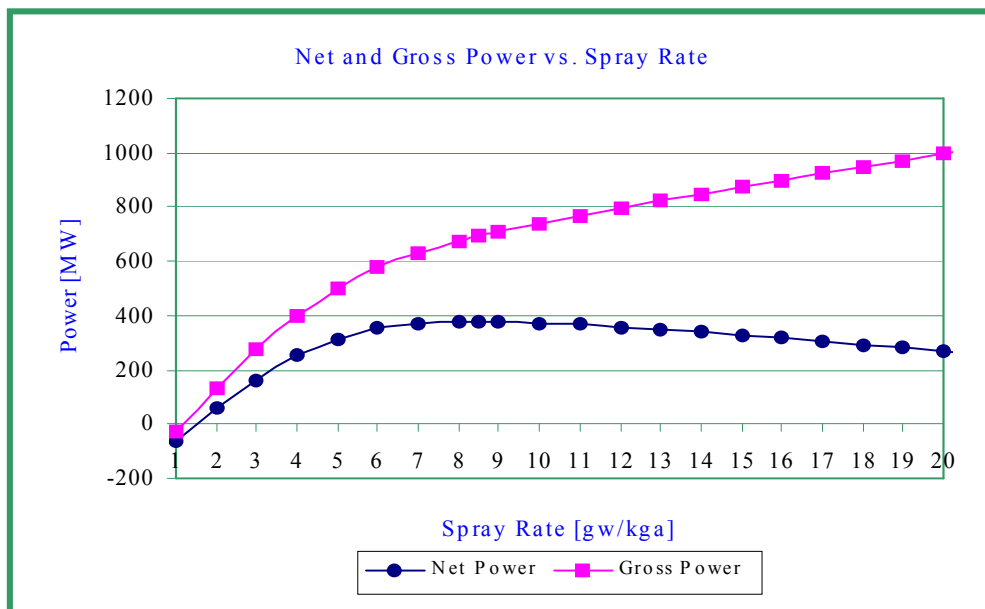
3) לערכי נוף - הפקת מים מזוקקים בכמות גדולה מאפשרת יצירת רכיבי נוף. זאת בניגוד לאיגום של מי המסכנים את קיום מי התהום הטובים לשימוש במים ליצירת אתרי נופש ונוי איננו יקר ואיננו מסוכן. ערכו הכלכלי יכול להיות גדול מאוד.

4) אגירה שאובה - באזורים רבים כאשר בטווח קרוב לארובה, ישנו רכס גבעות או הרים, ניתן להשתמש ביכולת המובנית לאגירה שאובה. אנו שואבים ממילא מים לגובה 1200 מ'. הבאתם חזרה למטה כדי לנצל

את האנרגיה בשעות ביקוש שיא נעשית גם היא ממילא, ומכאן הימנעות מכל בזבוז של אנרגיה בתהליך האנרגיה השאובה שהוא בדרך כלל קרוב ל - 30% מהאנרגיה.

בציור 11 רואים עקום ההספק ברוטו האפשרי עם הגדלת נפח מי הריסוס (בגרם מים לק"ג אוויר) ואת עקום האספקה נטו. **הפסקת השאיבה בכל רגע ומעבר לשימוש במים שנאגרו בגובה, מאפשר הגדלה זמנית של ההספק נטו לצרכנים, כמעט ב - 80%.**

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



ציור 11 - עוצמת הרסס

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

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

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

ישנה שורה של רעיונות כיצד לבצע את האגירה השאובה כאשר אין הרים בקרבה מיידית לארובה. אחת הדרכים היא להתקין את המאגר של המים העליים בראש ארובה בנויה בטון מזוין. המבנה יקר יותר מאשר מבנה מסגרות פלדה. אך הסה"כ עשוי להיות כדאי ביותר. רעיון אחר הוא לאגור יותר מים בגובה יותר נמוך, וישנם רעיונות נוספים.

5) גידול דגי ים בבריכות - אספקת המים לארובות מאפשרת פיתוח בריכות לגידול דגי ים בהיקף ענק המגיע לקרוב ל- 150 אלף טון דגים לכל ארובה בחילוף יומי של המים. ספק אם נוכל לפתח שוק עולמי בהיקף כה גדול, בזמן קצר, לכל הארובות. הפיתוח יצטרך להיות בהדרגה. בוודאי שאין עוד כל הצדקה להמשיך ולקיים את כלובי הדגים באילת והבריכות הקרובות לחוף, שמפיקות היום בסה"כ 2300 טון דגים לשנה. התועלת עשויה להגיע ליותר מסנט לקו"ש מעבר למחיר החשמל. אבל מוטב להסתכל בממדי התועלת של בריכות הדגים כשלעצמן.

כדי לקבל אמת מידה, חברת "ערדג" המגדלת לא יותר מ- 2300 טון דגי ים, מחזור עסקיה הוא 50 מיליון שקל, או נניח, 12 מיליון דולר. מכאן, מובן שארובה אחת פותחת אפשרות עסקית בתחום הדגים של מעל 800 מיליון דולר לשנה. הערכה אחת היא שההכנסה הממוצעת היא 25-27 ש"ק לק"ג דג. ביחס לדגים, ניתן להזכיר שישנם:

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

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

והרי עובדה מאלפת ביחס לגידול דגים.

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

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

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

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

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

9) פיתרון בעיות התחבורה

אם אפשר יהיה לייצר את כל החשמל הדרוש על ידי ארובות שרב, אפשר יהיה להימנע משימוש בגז טבעי לייצור חשמל. יש לכך סיבה טובה מאוד משום שניתן להשתמש בגז טבעי להנעת כל התחבורה, אותו חלק ממנה שלא ניתן להניע באופן ישיר על ידי חשמל. אין כל ספק שראוי מאוד להניע את הרכבות בעזרת חשמל וכן כל רכבי חלוקת תוצרת בערים, איסוף דואר ושירותים דומים. ישנן עוד אפשרויות מלהיבות שלא נפרט כאן. אבל, ניתן גם להניע מכונות עם מנועי שריפה פנימית על ידי גז. הטכנולוגיה קיימת והמעבר אליה קל מאוד הן במכונות והן בתחנות הדלק. בעתיד אין גם מניעה לנצל את הגז הטבעי או חלק ממנו בתאי דלק. זאת במקום התהליך השגוי לייצר תחילה מימן שמבזבז הרבה מאוד אנרגיה והרבה מאוד כסף לייצור המימן, אחסון שלו והסעה שלו. זמינות הגז לא תהיה ליותר ממספר עשורים. יהיה צורך לנצל זמן זה כדי למצוא דרכים חלופיות לקיום התחבורה ממקורות של אנרגיה חליפית (לא דרך מימן). נראה שאחת הדרכים היא פיתוח מצברים יעילים מאוד עם ריכוז אנרגיה קרוב לדלק כימי. כבר הזכרנו בסעיף 2 לעיל שניתן לספק תחליפים לדלק דיזל ולבנזין מגידולים חקלאיים שיהיו אפשריים אודות למים במדבר. **בסיכום, ניתן להגיע במוצרים הנוספים הנ"ל עד הכפלה של התועלת מעבר למכירת החשמל, ואף למעלה מכך. בערבה ישנה תועלת אפשרית מיידידת של חמישה או שישה משמונת המוצרים.**

9.2 תועלות מקרו-כלכליות ומדיניות

10) התועלת הנובעת מהקטנת הפליטה של גזי חממה ונזקים סביבתיים אחרים, עשויה להגיע לכמה סנטים לכל קו"ש. ההכרה בכך הולכת וגוברת בעולם ללא תלות בעמדתנו ביחס להכרה וביחס לחלקה היחסי של ישראל. הערך שבו אפשר יהיה לזכות כבר בימים אלה עשוי לעלות על 2 סנטים לקו"ש. ישראל, במכירת זכויות זיהום, יכולה להוסיף עוד כ - 2 סנט לקו"ש.

11) הקטנת התלות בניודי מחירים של דלק עשויה לתרום תרומה כלכלית משמעותית מאוד למשק. הווריאנס של מחירי הדלק מגיע ליותר מעשירית והנזקים הכלכליים עשויים להגיע לאחוזים אחדים מהתוצר המקומי הגולמי. נזקים אלה ימנעו.

12) ישראל תוכל להקטין מאוד את ההוצאה על יבוא דלק - חסכון דלק על ידי ארובה סטנדרטית אחת בערבה מגיע ל - 2.5 סנט לקו"ש חשמל בקרוב (לפני עליית המחירים), ובסה"כ למעלה מ - 80 מיליון דולר לארובה לשנה. החיסכון ביבוא דלק יגדל לכמה מיליארדי דולרים בשנה.

13) לביטחון באספקת דלק ישנה משמעות מרחיקת לכת. יישום של ארובות השרב יוכל בהדרגה להחליף כ - 2/3 מצריכת הדלק לחשמל בלמעלה ממחצית אוכלוסיית העולם. פיתוח עתידי של רכב מונע חשמלית יקטין עוד יותר את התלות באספקת דלק פוסילי וכן הפקת דלקים נזליים מגידולים חקלאיים.

14) ארובות השרב ברמה העולמית יוכלו להקטין באופן דרמטי את התלות בדלק ממדינות מוסלמיות. הוצאות ההגנה של מדינות המערב וכן מגבלות מדיניות הנגרמות על ידי תלות במדינות ערב מגיעים למאות מיליארדי דולרים בשנה. זה מגיע להגדלת מחיר בנזין פי שלושה ויותר בהשוואה לעלות הנומינלית.

15) הארובות יסייעו למנוע מלחמה על מים ועל דלק.

16) בארובות ימנעו את הצורך לאגור רזרבות דלק.

17) הן תאפשרנה פיתוח מקומות עבודה, ייצור וייצוא במדינות שונות, אבל קודם כל בישראל.

18) בסה"כ יהיה בכך ניצחון במלחמת התרבויות המתנהלת היום בעולם.

19) תרומה, גם אם קטנה, לקירור הגלובוס.

סיכום התמונה הכלכלית תודות למוצרי לוואי

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

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

כל סנט לקו"ש מהווה תמורה של 87.60 דולר לקילוואט ממוצע לשנה, והערך הנוכחי ל - 30 שנה לפי 5% ריבית מגיע ל - 1314 דולר. נקל להבין את משמעות הדבר כאשר הכנסה נוספת של סנט אחד בלבד מעבר לעלות, סנט אחד מתוך 4-14.5 מביאה לערך נוכחי נקי ששווה בערך למחצית ההשקעה - כ - 2700 דולר לקילוואט ממוצע. בארובות נקל להבין מדוע אין היום אף טכנולוגיה לאנרגיה חליפית שאפילו מתקרבת לאטרקטיביות של ארובות שרב מכל שלושת הבחינות: כלכלית, סביבתית ומדינית. (הערכות כלכליות מופיעות בהמשך בפרק 11).

ראוי להדגיש שההכנסות ממוצרי הלוואי הופכות למעשה את עלות הייצור של החשמל נטו לשלילית, כך שהגודל E בפרק 7 לעיל, נשאר שלילי.

(10) בעיות סביבתיות

בהקמה של ארובות שרב זהינו בערך תריסר בעיות סביבתיות (המספר המדויק תלוי בצורת הסיווג).

בעיות המלחה

1. דליפה ממערך תעלות בריכות ואזורי איסוף רסס.
2. המלטות של רסס תרכיזי מי ים לסביבה.
3. החזרת תרכיזי מי ים לים.

בעיות הנובעות מקיום המבנה

4. הטלת צל.
5. הפרעה חזותית.
6. חסימת תנועה של בעלי חיים ארציים.
7. פגיעה במעוף הציפורים.
8. הפרעה לטיסות.
9. תפיסת שטח.

הפרעה תפקודית

10. רעש אקוסטי.
11. רעש אלקטרוני.
12. פליטת אוויר קר לסביבה.

על הנ"ל ניתן לאמור שני דברים כבדי משקל:

- סעיף 1** למרות הרשימה הארוכה של הבעיות הסביבתיות, הקמת הארובות תמעיט באופן דרמטי את הבעיות הסביבתיות החמורות ביותר שהעולם יידע בשימוש באנרגיה. יותר מכך, מסתמנת האפשרות שלארובות השפעה בכיוון של צינון הגלובוס; הגברת התפישה של CO₂ ע"י הרחבה משמעות של שטחי הגידולים והקטנת השטח הדרוש לגידולים להזנת בעלי חיים ולאספקת תבלינים לאוכלוסייה.
- סעיף 2** על אף האמור בסעיף 1, לא היינו פטורים בשום אופן מטיפול בכל שאר ההפרעות והבאתן עד למינימום האפשרי. ראוי לומר שהצלחנו ברובן, אם כי לא בכלן.

להלן הערות קצרות לכל אחד מ - 12 הסעיפים לעיל.

1. הפתרון ניתן בעזרת טכנולוגיות ידועות ברמת אמינות גבהה ביותר. זוהי עוד סיבה להעמיד את הארובה והן מתקני התפלה קרוב ככל האפשר למקור מי ים ולהוביל לטווחים ארוכים רק מים מותפלים.
2. מהווה את הבעיה העיקרית שחייבה מחקר חדש. ניסויים שנמשכו למעלה מ - 5 שנים בקנה 1: 1 והן סימולציות חישוביות הראו פיתרון אמין בהחלט.
3. העיקרון ידוע ופשוט למדי. נלמדו כיוונים רבים מאוד שנעשו בהקשר לפיתוח הבריכות הסולריות. הרעיון הוא של פליטת התמלחת בזרימה שקטה על קרקעית הים במקום שהיא יכולה להעמיק ולהתרחק תוך מיהול איטי ביותר.

4. אין מה לעשות כנגד זה מלבד האפשרות התיאורטית להקיף את המגדל במראות שיעבירו את קרינת השמש אל מאחורי הארובה.
5. זאת טענה סובייקטיבית שיש החולקים עליה ורואים בה ברכה. ישנן גם הצעות מעניינות ביותר לניצול מבנה הארובה לשימושי מגורים ושימושים אחרים.
6. אפשר לעשות מעט מאוד מלבד השארה של פתחים ומעברים והימנעות מגדר אטומה.
7. בייעוץ של מומחי ציפורים בארץ ובארה"ב נקבע:
- א. תאורה של הארובה תמנע התנגשות;
- ב. יש מעט מאוד ציפורים שטסות בגובה כזה ושהזרימה לארובה תינק אותן פנימה. בסביבת הארובה ישנה זרימת אוויר חם כלפי הקרקע. ציפורים מגביהות עוף משתמשות בזרמים עולים. אלה לא יתקיימו בסביבת הארובות;
- ג. הרחבת הכניסה לארובה והקטנת מהירות הזרימה לחצי מקטינה לרבע את כוח היניקה של ציפורים. קונסטרוקציה די צפופה ורשת שנושאת את מערכת ההתזה יכולים לשמש מעמד לציפורים.
8. הארובה תהיה כמו עוד הר שיסומן במפה, ושיצויד בתאורה ותקשורת שיזהרו טייסים.
9. מידת השטח היא פי כמה קטנה יותר מכל שיטה אחרת. (בערך 1:15 בהשוואה לטכניקות סולריות המנצלות באופן ישיר את קרינת השמש).
10. א. מומחי אקוסטיקה העידו שהרעש יהיה זניח;
- ב. אפשר יהיה להתקין בשופרות היציאה של האוויר מיקרופונים שיפעילו רעש נגדי (שינוי פאזה ב - 180 מעלות) ולמעשה ישתיקו כל רעש.
11. לא קיים, בעיקר כאשר מבנה הארובה הוא בעצם רשת מתכתית המהווה חסימה עם הארקה של "כלוב פרדיי".
12. זאת בעיית אמת שיש לה שלושה אספקטים:
- א. היא משפרת את האקלים לבני אדם ולגידולים שונים;
- ב. היא עשויה לשאת בתוכה זיהום אוויר ולפיכך יהיה צורך למנוע בכל צורה פליטות מזהמים לאוויר במורד הזרם של האוויר הקר;
- ג. כמות האוויר החם המנוצל, מסופק לאורך קו המשווה. תפישה בקו רוחב רחוק יותר, צפוני או דרומי, תגביל במידת מה את האפשרות לנצל עוד אוויר חם קרוב יותר לקו המשווה. מכך אין כל מנוס. (ראה לעיל הערכה למספר הארובות האפשרי);
- ד. הערכה היא שהפעלת הארובות תייעל את קירור כדור הארץ ותתרום להיפוך תהליך ההתחממות.

(11) מצב פרויקט "ארובות שרב" ותכניות להמשך

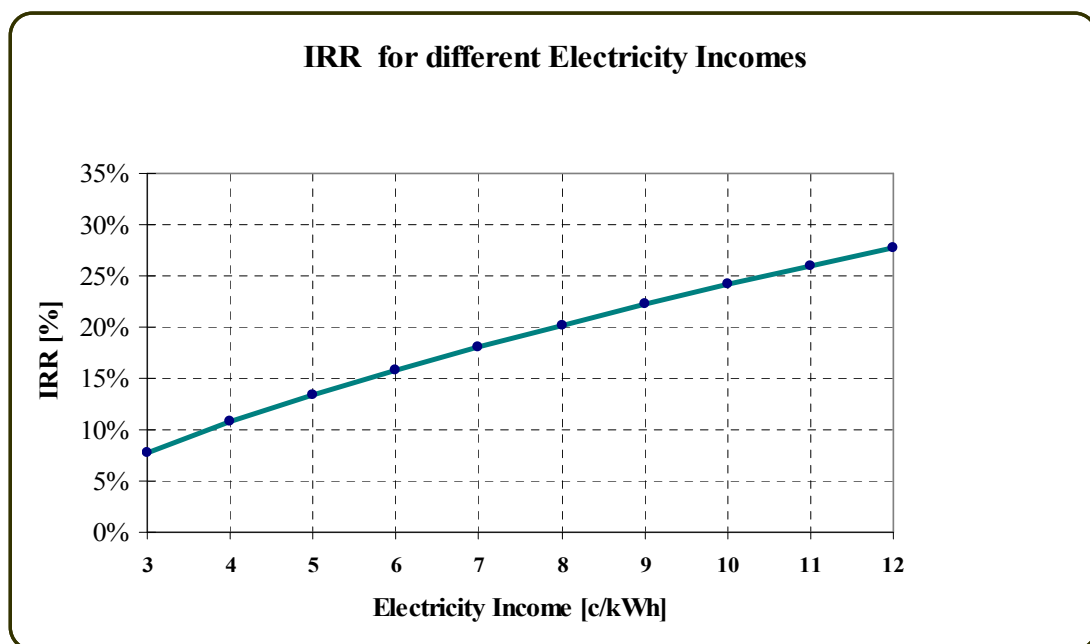
11.1 רמת הפיתוח

הפיתוח של הטכנולוגיה של "ארובות שרב" למעשה הושלם. העבודה בעיקרה מסוכמת בכ - 40 כרכים של דינים וחשבונות, כולם בעברית. יש אמנם שורה של רעיונות שהולכים ונבדקים כדי להשיג שניים :

- א. להקטין עוד את העלויות ולשפר את הביצועים על ידי הרעיונות השונים. אולם, אלה אינם מהווים תנאי ליישום הטכנולוגיה כבר היום ;
- ב. בדיקות חוזרות ונשנות להגדרת האמינות של התוצאות והבאה למצב שהפרויקט יהיה בר-מימון על ידי מקורות בנקאיים.

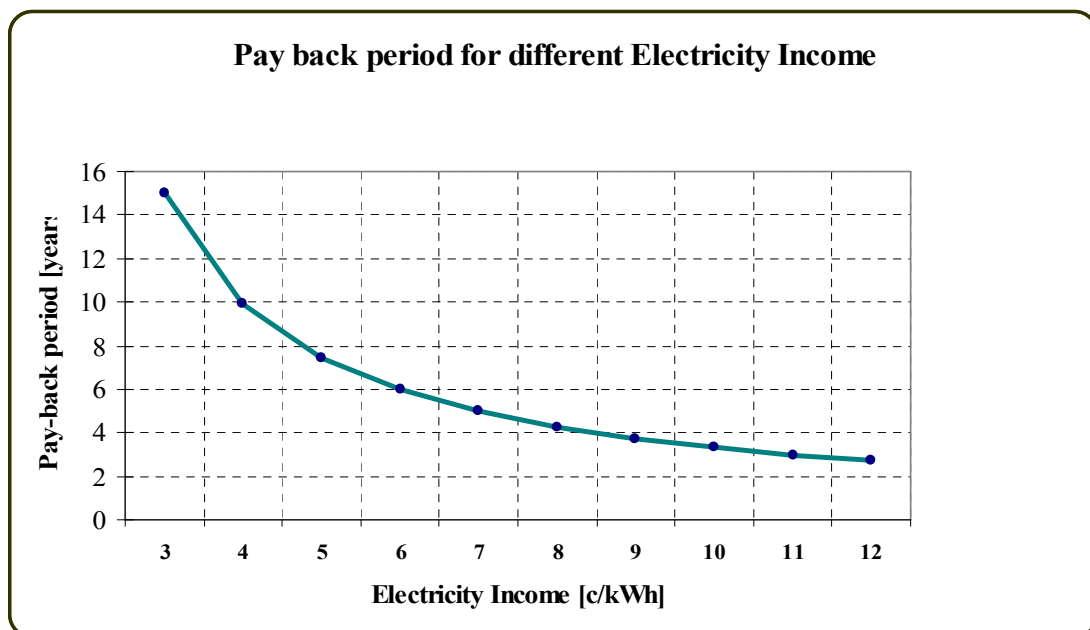
תהליך הפיתוח היה קפדני מאוד. כל נושא נבדק בכמה דרכים חישוביות ועפ"ר גם נמדד על מודל בקנה מידה, הן במנהרת רוח בקנה מידה של 1:2000 והן בארובה אנכית בגובה של למעלה מ - 20 מ' וקנה מידה 1:60. ניסויים רבים מאוד בטיפות רסס נעשו בקנה מידה 1:1. נחקרו אוכלוסיית הטיפות, היווצרותן איסופן של גבי קירות הארובה ועל להבי הטורבינות, התנגשות של טיפות ושינויים באוכלוסייה. רפרנטורות נעשו על ידי גופים שונים במדינות שונות (למשל, בישראל, באוסטרליה, בהודו, בצרפת ועוד). להוציא שניים שלושה מקרים, הרי הפיתוח זכה לתשבחות נלהבות. (לפי בקשה, ניתן לקבל העתקים של חוות הדעת).

חישובים כלכליים גם הם חזרו ונבדקו. בציור 12 להלן מובאות למשל דרגות התשואה הפנימית (IRR - Internal Rate of Return) כפונקציה של ההכנסה לקו"ש. זאת בארובה בתכנון סטנדרטי מצפון לאילת.



ציור 12 - שיעור התשואה הפנימי (IRR) כפונקציה של הכנסה לקו"ש

בציור 13 מובאים ערכי תקופת החזר לפונקציה של ההכנסה לקו"ש. גם זו בארובה בתכנון סטנדרטי מצפון לאילת.



ציור 13 - תקופת החזר (Pay back period) כפונקציה של הכנסה לקו"ש

ראוי להזכיר שההכנסה לקו"ש תהיה לא פחות מאשר העלות הקיימת היום לחשמל, בתוספת הבונוס שהחליטה עליו מדינת ישראל (או בונוס אחר במדינה אחרת), בתוספת מוצרי הלוואי שנמנו לעיל וכן האפשרות למכור זכויות זיהום לפי החוקים הבינלאומיים הקיימים היום. בהערכות ראשונות שנמסרו לנו ע"י "הרשות לשירותים ציבוריים-חשמל" היתה אפשרות לקבל 10 סנט לקו"ש. גם אם נמעט ונעריך שההכנסה הישירה מייצור חשמל תעלה על 8-9 סנט, והחשבון נראה חיובי ביותר. אם נוסיף על כך רק 1.5 סנט לאגירה שאובה, 0.5 סנט תמורה להתפלה ועוד סנט אחד לגידול דגים, נקבל תוספת הכנסה של 3 סנט. אפשר להניח שההכנסה הכוללת תעלה בוודאי על 11 סנט לקו"ש, אבל התוספת עשויה גם להגיע ל- 4 סנט. ה-IRR יעבור את ה- 25% ותקופת החזר תרד עד קרוב ל- 3 שנים.

גם אם 20% מההכנסה ברוטו תוקדש לתמלוגים או הוצאה אחרת, התשואה הפנימית לא תרד מתחת ל- 20% (כדי להגיע לכך צריך שההכנסה הריאלית תרד מתחת ל- 7.7 סנט לקו"ש). וזאת כאשר במרבית מפעלי האנרגיה התשואה איננה עולה על 12% עם הכנסה ריאלית של לא יותר מ- 4.5 סנט לקו"ש ותקופת החזר לא תעלה על 5 שנים.

מידת המהימנות של הערכה כלכלית חושבה ע"י הערכה של סטיית התקן החזויה לכל אחד ממרכיבי החשבון ומתן משקל לכל אחד מהרכיבים האלה. היתה הגזמה ניכרת בהערכה של סטיית התקן, בעיקר ביחס לתנאים האקלימיים לאתר ספציפי, וכן למחירים צפויים. התוצאה היתה שסטיית התקן של הערכת העלות היא כ- 20% מהעלות החזויה.

די קל להעריך מה תהיה ההכנסה לקילו-וואט שעה בארובה ולהשוות לעלות הצפויה. נמצא מרווח ביטחון כלכלי גדול מאוד גם כשכללנו הוצאה בלתי צפויה מראש כדי 40% מהעלות המוערכת. ההסתברות לטעות גדולה יותר איננה עולה על 1:10000.

11.2 השלב הבא להפוך את הטכנולוגיה לברת יישום

חשיבה אינטואיטיבית שטחית גורמת לרבים להעריך שצריך להתחיל בבניית דגם מוקטן של הארובה. קל להוכיח שגישה זו לא תביא אותנו להצלחה וכן שספק רב אם היא עונה על שאלות אמת ושניתן לסמוך עליה.

א. דגם בגובה של 100 מ' ויותר שיפיק כ - 10 מגה-וואט חשמל יחייב הוצאה של קרוב ל - 100 מיליון דולר. תכנון בנייה וניסויים יצרכו 4-5 שנות עבודה עבור תועלת זניחה. היא זניחה הן בתפוקת החשמל והן מבחינת מידת הלימוד שאפשר להפיק מדגם כזה.

אין שום סיכוי למצוא מישהו שיממן ניסוי כזה, מאחר שהנושא איננו צבאי. הוא לא מושך את הדמיון של משקיעים כמו הרעיונות של תקשורת. הרעיון שלנו יקר מאוד!

ב. ההתנהגות האקלימית עד גובה של 300 מ' שונה באופן עקרוני מההתנהגות הממוצעת על פני ארובה בגובה 1200 מ'. לפיכך, ספק רב אם דגם מוקטן יוכל לשמש באמת הדגמה פשוטה וישירה למי שאיננו סומך על כלים טכניים מדעיים מקובלים כמו מודלים הידרו-דינאמיים, דימויים נומריים וכללי דמיות מקובלים ביותר גם בתעופה.

ג. התנאי להצלחה הוא משטר קפדני מאוד של "הבטחת איכות ואמינות". גם לאחר בניית דגמים קטנים ואחרי בנייה של 100 ארובות בקנה מידה מלא, התנאי להצלחה יישאר "הבטחת איכות ואמינות" ברמות התכנון והביצוע.

ישנן טכנולוגיות שנוסו כבר מיליוני פעמים וניתן להגיע לכישלון מוחלט ללא הבקרה. כנגד זה, כל בניין רב קומות ומסובך מהווה דגם ייחודי שאין כל קושי לתכנן אותו ולהקים אותו למרות זאת שמעולם לא נבנה כמוהו קודם לכן.

לפיכך, **הטכנולוגיה שפותחה עבור הטכנולוגיה של "ארובות שרב" תהיה ברת אמן אם ננקוט את הפעולות הבאות במסגרת בחינה טכנו-כלכלית של כדאיות הבנייה באתר ספציפי:**

- א. הכנת תכנית קונקרטית לארובה בקנה מידה מלא על ידי מתכננים נבחרים בשוק;
- ב. נבקש מחירים מחייבים של גורמי ביצוע וכן אבטחת אחריות;
- ג. נעשה מדידות אקלימיות ונחקר תנאים נוספים ספציפיים לאתר מסוים, כאשר נמדוד רוח, רעידות אדמה, תכונת הקרקע, וכו';
- ד. נתחיל בתהליך הסטטוטורי לקבלת רישיון בנייה ונמצה אותו;
- ה. נבדוק מי הצרכנים שייהנו מפירות הפרויקט;
- ו. נברר מה המחירים שנקבל תמורת המוצרים ונבקש הסכמים מחייבים;
- ז. כל הנ"ל ייעשה תוך בדיקות חלופות ותחת בקרה קפדנית ביותר להבטחת איכות ואמינות.

הערכה נעשתה ששלב תכנוני מכין זה יארך עד שנתיים, ועלותו לאתר ספציפי אחד תהיה כ - 3.5 מיליון דולר. כל בדיקה של אתר נוסף תחייב כ - 750,000 דולר נוספים. נצטרך כנראה להוסיף עוד שני אתרים. בין השאר, ההערכה היא שטיית התקן בהערכת העלות תפחת ל - 10% במקום 20%. ההסתברות לשגיאה של 40% בהערכת העלות יורדת לפחות מאשר לחלק אחד לעשרת אלפים.

11.3 השלבים הבאים

אם מסקנות הבחינה של תכנון מוקדם תהיינה חיוביות די הצורך כדי לגייס סיוע בנקאי, אפשר יהיה עד מהרה לגשת לתכנון מפורט של תחנה בקנה מידה מלא. הערכה גסה מצביעה על עלות התכנון של כ - 30 מיליון דולר. עלות הבנייה של ארובה אחת תהיה קרובה למיליארד דולר. יש להניח שזה יכלול גם הקמת אגירה שאובה ואולי תחנת התפלת מי ים.

11.4 סיוע המדינה

א לפני כל פעולה אחרת צריך שוועדת שרים תקבל החלטה לתת לפרויקט מעמד של פרויקט תשתית לאומית.

מבלי פעולה זו יהיה קשה מאוד לקדם את תהליך התכנון והפעולות הסטטוטוריות.

ב. יש לכלול את הפרויקט בתכנית הפיתוח של הנגב - זה עמד לקרות לאחר סיכום בין היועצים של משרד ראש הממשלה, המשרד לפיתוח הנגב וכן משרד התשתיות. משום מה הנושא נגזז על ידי השר לפיתוח הנגב והגליל, שהיה כולו נתון בפרויקט תעלת הימים. על אף העובדה שפרויקט תעלת הימים חזר ונבדק כבר לפחות 5 פעמים ונמצא לא רק כפרויקט לא כדאי אלא ממש אסון אפשרי מבחינה סביבתית וכלכלית עד כדי הרס של מפעלי ים המלח. למרות כל אלה, השר לא היה מוכן להקשיב למומחים שלאף אחד לא היתה מילה טובה אחת העל הפרויקט. עובדה זו איננה מונעת לא מעטים מלהתמסר לתעסוקה בקידום פרויקט זה של תעלת הימים.

ג. ישנה חשיבות שממשלת ישראל ברמה הגבוהה ביותר תבוא בדברים עם ארה"ב על שיתוף פעולה בפיתוח הפרויקט והקמת הארובה הראשונה. זה יהיה אלמנט חשוב ביותר במאבק של תרבות המערב נגד סוחרי הנפט.

ד. יש מקום לדיון עם ירדן ומצריים על שת"פ.

ה. צריך להיות מאמץ כדי שהארובה הראשונה תובנה בישראל וחלקים משמעיים של הטכנולוגיה ייוצרו בישראל. לפי החוזה עם המדינה יש צורך לקבל אישור פורמלי לכל הסכם עם גוף שלישי. זה למעלה משנה שאנו מנסים לקבל אישור כזה והבירוקרטיה הממשלתית משותקת.

ו. ישנה חשיבות רבה להמשיך ולתמוך בחברת "ארובות שרב" למטרות הבאות:

- סיוע בתכנון ובהקמה;

- צבירת ניסיון ושכלול של הפרויקט;

- המשך המו"פ, רישום פטנטים חדשים ותחזוקה של הישנים.

אפרטיט נא אפנות ישירות אא

פרופ' דן אסאמסקי

הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית, המסלול להנדסה חקלאית, הטכניון

קריית הטכניון

חיפה 32000

טלפונים: 04-8292746 ; 04-8232319

פקס: 04-8293337

דואל: agdanz@tx.technion.ac.il

פרויקט "תעלת הימים"

מטרה או דעה קדומה לפתרון

נספח II - תיאור של מחקר בהתפלה

A new desalinization method

(1) Background and framework

1.1 Old history

Prof. Dan Zaslavsky and Prof. Dov Ingman jointly developed a new idea for desalinization. This work has been going on for several years (since 1994). Lack of means forced us into a far too slow a pace. The little budget was provided by research grants by the Israeli Water Commission and by our own means. Our self means spent until now are estimated to be around 2,360,000 NIS, and 888,900 NIS by the Water Commission.

On the face of it, while observing the procedure very superficially the procedure tried by us would remind a similar activity followed by other leading investigators which have been leading to almost a trivial result. It can be described as follows.

Two graphite electrodes are dipped in water. DC electricity source loads the two electrodes. Each electrode acts as one side of two capacitors in series. Anions migrate to the anode and cations migrate to the cathode. The ions are taken out of the water between the two electrodes. This is then the essence of the desalinization.

The electrodes are produced to have the highest possible specific surface area and take the form of some kind of a porous material. It is a very interesting and cheap replacement, in some cases, for an ion exchanger. The water without the ions is drained, being the product. Dirty water replaces it and the electrodes are short circuited. The ions absorbed on the inner side of the electrodes are then released to the dirty water which is disposed off. This is a complete cycle of desalinization. While descriptively, this process reminds ours, our physics is totally a different process. I use the above only to produce a descriptive tool and a comparative measure of our achievement.

Most of the research and development done so far by others, concentrated on the following:

Production of electrode materials of high surface area (actually porous materials) in a cheaper way and getting a faster and larger exchange of the solutes between this porous material and the

water bulk in order to shorten the cycle time of the process or the rate of the desalinization, and thus, the cost per unit weight of solutes.

The overall result proved economically very disappointing. Possibly one of the only interesting uses is to replace ion exchangers and reduce the concentration of sodium and boron as a finalizing process, following Reverse Osmosis. Reverse Osmosis membranes are not selective enough to these two cations. This process doesn't replace the use of activated charcoal filter which is a must in order to clean out various organic pollutants before the membranes and following them. The service life of activated charcoal is limited and its use adds significantly to the cost of the complete water treatment.

1.2 Our new discoveries

On our work, so far, we did the following:

- a. Demonstrated ways by theory and by tests to reduce the energy involved to nearly one quarter of what has been done so far and possibly even less;**
- b. We have proven that the attempt to obtain a very large surface area of the electrode is absolutely counter productive. In fact, futile. This conclusion leads to a series of possible techniques for very cheap electrodes. As an illustration, using the old physics, the amount of ions taken out of the water in one cycle grows with the surface area. However, the time for one cycle is exactly proportional to the capacity of the electrode, and possibly higher. Thus, the two economically contradicting effects cancel each other;**
- c. Using a totally different physical principle allows us to reduce dramatically the cost of the hardware and the cost of the energy per unit weight of solutes. Furthermore, the desalinization will not be limited to ionic solutes. It would be effective also on organic solutes.**

To better illustrate the meaning, we quote here two computed formulas, without entering into details.

$$(1) \quad C_h = \frac{f \cdot A}{\alpha}$$

$$(2) \quad C_e = \frac{B}{\alpha}$$

where:

C_h is the cost of the hardware per unit weight of solutes which is taken out of the water; C_e is the cost of energy per unit weight of solutes taken out of the water; f is the cost of hardware per unit time; A & B are two combinations of design parameters. Finally, the main point is the parameter α which is an expression of the physical process effect which was added by us.

We are very optimistic about having a satisfactory value of f . For past computations we have assumed a life expectancy of the electrodes to be a whole year. Then we got an estimate cost of the desalination of the present day best technologies of 1/10. Moreover, it is anticipated that the life expectancy of the electrodes could be extended almost to infinity.

The physics of our new process leads to the feeling that the usual process of poisoning the electrodes of filters will not at all happen here. And thus, we anticipate long service life.

Next, we have several ideas of how to revive the electrodes periodically if they deteriorate with time after all.

1.3 Efforts to measure α and to increase its value in order to further reduce the costs

We have proven by two independent analytic ways and three series of laboratory tests that:

- a. α equals one without our new process;
- b. At sea water solute concentration about (35 grams/liter) α reached even 3000 !!! (yes, three thousands), meaning that the cost per gram extracted from the solution is unbelievably low. The value of α gradually reduces as the solute concentration reduces. At drinking water quality $\alpha \rightarrow 1$. The lowest value we have measures was closer to 100. One of the physical consequences we have discovered led us to believe that we may still increase α at lower concentration.

Integrating the cost over the whole range from sea water quality to drinking water, still leads to a very low cost, possibly near to one tenth of the lowest cost technology today.

At worst, the new process can be used in series with Reverse Osmosis to perform the final step of desalination or the first step.

1.4 Byproducts

An important note must be added concerning future applications. Some very interesting processes were discovered. Some of them kindle the imagination with respect to other possible applications in energy storages, industrial chemistry and other fields.

(2) Future work

Following is a brief summary of our future work - the target being to commercialize the new method that may reduce the cost of desalination to less than 10 ¢/m³.

The work plan

Phase Zero - Patent Search

File a provisional patent registration and run a thorough patent search.

Phase A - Detailed study of the method parameters

- Establish a dedicated lab with sufficient capabilities.
- Create lab prototypes of several electrodes and conduits configurations.
- Develop and compare performance of continuous operation techniques vs. batch operation.
- Develop configurations that would lower the hardware cost and extend its life expectancy.
- Develop configurations that would increase the system reliability and decrease maintenance cost.
- This phase is expected to last 12-18 months (a possible maximum of 2 years). The required budget is estimated at \$2M.
- We suggest securing \$1M to start immediately the work, and, in parallel file the patent. If the thorough survey comes out right and possibly some patents accepted, we can try to make a judgment and decide about the continuation to the next financing stage.

Phase B - Prototyping

- Erect at least two or three small-scale modular lab units, to prove scalability and commercial feasibility.

- Research prototype's performance, reliability, maintenance, and all cost parameters.
- Enter strategic agreements with top-tier desalination contractors.
- Phase B is expected to last 12 to 18 months, and require \$2.5M to \$3M. It may start concurrently at mid-term of phase A.

Phase C - Operational models

- With guidance from strategic partner, construct operational module (about 5 units).
- Test operational module's performance.
- Design subsystems required for integration of desalination modules in a commercial plant.
- Prepare for external mass production of desalination modules, keeping at least one critical technology aspect (hardware or software) confidential to remain under our control.
- Supervise mass production, test and debug the system and the production process.
- This phase is expected to last up to 24 months, requiring a budget up to \$10M. The figures are rather uncertain at this early stage.
- Like phase B, phase C can be advanced to overlap stage B if the company and Mabua find it recommendable.

אפרטיט נא אפנות ישירות אא

פרופ' דן זסאזסקי

הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית, המסלול להנדסה חקלאית, הטכניון

קריית הטכניון

חיפה 32000

טלפונים: 04-8292746 ; 04-8232319

פקס: 04-8293337

דואל: agdanz@tx.technion.ac.il

פרויקט "תעלת הימים"

מטרה או דעה קדומה לפתרון

**נספח III - מאמר בשם "אופקים חדשים
לאנרגיה מתחדשת"**

אופקים חדשים לאנרגיה מתחדשת

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. לפי בקשת מרכז הסדנא, פרופ' גרשון גרוסמן, הפרקים 3.6 ו - 3.7 על "ארובות שרב" קוצצו עם כוונה להקדיש להם סדנא מיוחדת. צורה מקוצרת זו מתאימה כדי לשמש נספח בעבודה הנוכחית לאור העובדה שנספח I בן 44 עמודים מוקדש כולו לארובות. אולם, חשוב מאוד לאלה העוסקים במדיניות האנרגיה ולפונקציות תכנון אחרות בישראל ללמוד היטב את שאר המסמך בנספח זה.

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 או פחות.

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 - 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".

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, וזאת ללא כל הצדקה.

תוכן עניינים

1. מהי הסיבה שהאדם עזב את עידן האבן?
 - 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?
2. מהן הסיבות שעלינו לבחון מעבר למקורות אנרגיה מתחדשים?
 - 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. דרכים שונות להקטין את תלותנו באספקת דלק פוסילי ובשריפתו
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 האידאולוגיה 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 שחסרים ידע.

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 וביוני 2007 כבר סביב 70 דולר).

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. אבל, לא פחות חמור, ישנן תחזיות גם לעליית המחיר ל- 100 דולר לחבית. הון בהיקף שמתקרב לעשרת אלפים מיליארדים של דולרים הצטבר בידיהם של מנהיגי מדינות טוטאליטריות ובעיקר בידי המשווקות דלק. הם החלו ברכישת חברות מערביות אפילו במחירים מופקעים. זאת כחלק מהשתלטות מפחידה.

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 .

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

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:

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

כאשר:

* $\sigma_{\bar{P}}^2$ 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 היחסיות 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 השונות 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 שמתמע 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.

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 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 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

השקעת יתר לקילו-וואט אספקה ממוצעת		מינימום עלות חיצונית (סנט לקווי"ש)	מקור החשמל
10% ריבית	5% ריבית		
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 (לעיתים 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 מתלותה 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.

בעלות של מדינות סוחרות נפט על חברות מערביות עזרה למתן את משבר הנפט בתחילת שנות ה-70 וזאת בגלל אינטרסים שלהם במערב. אולם, עודפי התשלומים הענקיים שמצטברים בידי מדינות דיקטטוריות בכלל וסוחרות בדלק בפרט, הביאו למצב של השתלטות על חברות מערביות שתנוצלנה לרעה. זהו נושא שיש להקדיש לו הרבה מחשבות ומאמצי מניעה.

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, אם כך, 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 לזיכוח 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. בעצם איננו יכולים להרשות לעצמנו לחכות.

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 "ארוכות 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 או תחרותית בתנאי כלכלה רגילים	<u>קבוצה מס' 5</u>
מקורות אחרים (כמו למשל מקורות גיאותרמיים, גאות ושפל וגרעין)	<u>קבוצה מס' 6</u>
כל מיני רעיונות אחרים (כמו למשל שימוש במימן או מקור סולרי רציף - שניהם רעיונות עוועים)	<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, פחות או יותר שווים בערכם ;
 - ב. הפתרונות המומלצים נמצאים כולם בארבע הקבוצות הראשונות שהוזכרו לעיל ;
 - ג. לקבוצה מס' 5 יש אולי סיכוי עם כל מיני פיתוחים בעתיד. אלה טרם הוכחו והם עדיין רחוקים מיישום מעשי.
 - ד. קבוצה מס' 6 היא קבוצה מיוחדת ואולי פה ושם ראוי ליישום.
- ראוי להזכיר שעבודה רבה מאוד הוקדשה לאפשרות של בניית תחנות כוח מבוססות על כורים אטומיים. המסקנות היו תמיד שליליות ביותר.
- האנרגיה הגרעינית איננה זולה כלל.
 - ישנה בעיה חמורה שטרם נפתרה בצורה מספקת לטיפול בפסולת הגרעינית.
 - הכנת מוטות הדלק צריכה להסתמך על ייצור מחוץ למדינת ישראל והיא יוצרת תלות מוחלטת בספק אחד, דבר שספק אם ישראל יכולה להרשות לעצמה.
 - מדינת ישראל מאוימת בטילים שונים. דבר זה מחייב מיגון שנמצא יקר ביותר (השתתפו בתכנון מומחים ישראלים ואמריקאים). להבדיל מתחנת כוח קונבנציונאליות או כאלה המשתמשות במקורות מתחדשים, פגיעה בתחנות כוח גרעיניות איננה פגיעה רק באספקת החשמל, אלא מסכנת את קיומנו במדינת ישראל.
 - כדי להקטין את הסיכון לפגיעה בכור שיגרום לנוק נרחב מאוד, יש צורך "לכבות" את הכור בכל מקרה של מצב כוננות. דבר זה הופך את אספקת החשמל בתנאי מדינת ישראל כבלתי אמינה.
 - יהיה קושי רב למצוא חלקת אדמה שהיא יציבה ובטוחה די הצורך להקמת הכור.
 - הקמת כור גרעיני תסבך את מדינת ישראל בכל נושא הפיקוח בצורה שספק אם אפשר יהיה לצאת מזה בשלום.
- די קל לכל מיני "מומחים" בעיני עצמם לפטפט בעניין זה מבלי לדעת או להתייחס לני"ל.
- ה. קבוצה מס' 7 - מותר להשקיע במחקר לכל מיני מטרות. קבוצה זו בשום אופן לא מתאימה למטרותנו כיום או בעתיד הנראה לעין.

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 קווט"ש לנפש לשנה. בארה"ב הצריכה לנפש לשנה היא כ - 14000 קווט"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 היברידיות; מערכות תחבורה מוניציפאליות, ביניהן כאלה המונעות ע"י חשמל; בידוד של מבנים ועוד.

ישנם כל מיני רעיונות חדשניים במחקר ופיתוח. ביניהם למשל מנועים מופעלים ע"י דלק עם נצילות מוצהרת של כ- 50% במקום 10%, וכן מכונות ספיגה עם מקדם יעילות של 5-8 במקום 3-4 כיום. פרויקטים אלה ודומים להם היו צריכים להיות נתמכים ע"י המדען הראשי של משרד התמ"ת, וזה מספר שנים שהתקציב שלו הוא פחות מעשירית מהדרוש ולמעלה מ- 80% שלו מוקדש לנושא אחד ויחידי - תקשוב. כצפוי, נושא הדגל של התקשוב כינו אותו בשם הנפוח Hi-Tech. כאילו נושאים אחרים הם לא כל כך מתוחכמים! מצב זה מצער מאוד מפני שהתשואה בעבר למימון פרויקטים כאלה היתה בסדר גודל של פי 50, כלומר 50 דולר לכל דולר מושקע.

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 שהעלות המחיר תוריד את היקף השימוש בכ- 25%. מחירי חשמל לא ריאליים גרמו לכך שהחוב של חברת החשמל מגיע ל- 45 מיליארד שקל. במקום ליעל 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. זאת במקום להכיר בפת מהיר על השקעות לחסכון. במצב הקיים, התעשיינים מעדיפים לבזבז דלק וחשמל כהוצאה מוכרת.

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. חשוב לחזור ולהדגיש שמחירי החשמל לא גבוהים ביחס למחירי חשמל במדינות תעשייתיות אחרות. הם היו צריכים להיות גבוהים יותר בעשרות אחוזים.

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 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 רק כ- 6% מצריכת החשמל. 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 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. כל תרומת אנרגיה של תעלת הימים אינה עולה על חצי מגידול הצריכה של ישראל בשנה אחת. בחלופה של תעלה מים סוף והתפלת מים סמוך לים המלח דרושה תחנת כוח לכמה מאות מגה-וואט מופעלת בדלק.

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 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. חברת "חץ אקולוגיה" הישראלית פיתחה טכנולוגיה הממיינת את כל האשפה לסוגי החומרי שמשמשים למחזור. מהחומר האנרגטי היא מפיקה בתסיסה אנארובית ביו-גז עם 70% מיתן. "חץ אקולוגיה" חתמה על חוזה גדול ליישום הטכנולוגיה. אבל, התנאים בארץ, עד היום, לא אפשרו זאת.

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 האוורג אותו. בין השיטות גם הטכנולוגיה של חברת "לוז" שירשה אותה חברת "סולל".

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.**

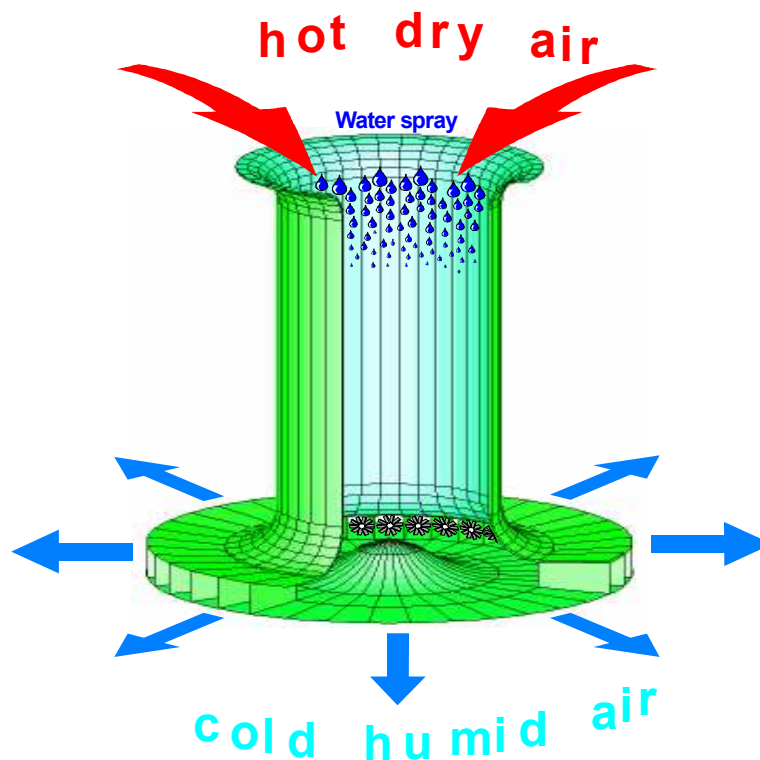
3.6 "ארובות שרב" - צורה מהפכנית חדשה לנצל את פירות השמש (ראה נספח I לעיל)

"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 לפחות פעמים כל צריכת החשמל של ישראל כיום.

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

ישנה טכנולוגיה שנראית לכאורה דומה והיא של ארובות שמש שבהן האוויר מתחמם וככה 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 בין 120 ל - 200 פעם יותר מהשטח הדרוש לארובת השרב ועלות החשמל לפחות פי 10.



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). 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 מתקנים 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 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. 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 כמה מהתועלות הנוספות ומוצרי הלוואי של הארובות

אפשר למנות מוצרי לוואי גשמיים (8-9) וכן מוצרי לוואי בעלי אופי כלכלי-חברתי והגנתי-פוליטי.

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

אפשר להוסיף בשעות הניצול כ - 70%-80% לכושר אספקת החשמל נטו לצרכנים. זאת בהשקעה מינימלית וללא הפסדי אנרגיה.

3.7.2 התפלת מי ים

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. ניצול זה מוסיף עוד כ - 400 מ"ק לנפש לשנה ברמת צריכת החשמל של מערב אירופה.

3.7.3 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 היום בסמוך לאילת. הפוטנציאל הכלל ארצי הוא של 3 מיליון טון בשנה. 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.

3.7.4 במי הים המותפלים אפשר לגדל באזורי המדבר גידולים להפקת בנזין ודלק דיזל.

זאת מבלי לפגוע בחקלאות המסורתית ומבלי צורך לברא שטחי יער.

בין מוצרי הלוואי הפחות גשמיים אבל מוחשיים ביותר :

3.7.5 חשמל ללא זיהום

3.7.6 שחרור מתלות בדלק

3.7.7 חסינות בפני עליית מחירים

3.7.8 חסינות בפני ניוודי מחירים

3.7.9 הימנעות מהצורך לאגירת דלק אסטרטגית

3.7.10 שיפור של מאזן התשלומים

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

3.7.12 חסכוניות ענק בהוצאות הגנה. גם בתנאי ישראל הדבר יכול לסייע לשת"פ עם השכנים והימנעות ממלחמה על מקורות המים

3.7.13 פיתוח אפשרי של שת"פ עם השכנים

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. סדר הגודל של קרן המחקר צריך להיות לא פחות מ - 4% של היקף הפעילות הכלכלית, שהוא במקרה הנדון כ - 16 מיליארד ₪ לשנה. נמצא שיש להגדיל בהדרגה את קרן המחקר לרפואה לסדר גודל של 640 מיליון ₪ לשנה. (אסור שזה יהיה בעיקר תודות לשכר העבודה של מרצים באוניברסיטאות ולהנהלת חשבונות של חברות פרטיות). צפוי שאין זה אלא שאלה של זמן שהרווח לישראל יעלה על 60 מיליארד ₪ בשנה. החיסכון בדלק עשוי להגיע ל - 2 מיליארד דולר בשנה והיקף הייצוא אף 20 מיליארד דולר בשנה.

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 ההחלטות בצוותי ייעוץ ברמה גבוהה. יש להיזהר מאוד במתן הכנת תכניות בידי כאלה שבמרכזו 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 המידי להמרה של שימוש בדלק קרוב מאוד ל - 60% של כל השימוש בו. הטכנולוגיה של "ארוכות 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. 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 להקמת תחנת כוח על חוף הים.

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

אפרטיס נא אפנות ישירות אא

פרופ' דן אסאנסקי

הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית, המסלול להנדסה חקלאית, הטכניון

קריית הטכניון

חיפה 32000

טלפונים: 04-8292746 ; 04-8232319

פקס: 04-8293337

דואל: agdanz@tx.technion.ac.il

פרופ' אמריטוס דן זסלבסקי, מומחה בתחום הנדסת קרקע ומים הינו יליד קיבוץ גבעת ברנר (1931). גדל והתחנך ברחובות. הוא בעל תואר ראשון ושני מהפקולטה להנדסה אזרחית בטכניון ובעל תואר ד"ר מטעם Iowa State University בתחום "פיסיקה של הקרקע". פרופ' זסלבסקי, המשמש בשלוש השנים האחרונות כיו"ר המועצה הלאומית למחקר ופיתוח (מולמו"פ), מזוהה לאורך כל שנות פעילותו האקדמית והמעשית עם תחום הקרקע והמים והקשר שביניהם. במישור האקדמי, הוא מכהן כפרופסור מן המניין בטכניון מגיל 39, ושימש שם בין השאר כדיקן הפקולטה להנדסה חקלאית. פירסם למעלה ממאה מאמרים מדעיים העוסקים בעיקר בזרימת מים בקרקע, וכן מאות דינים וחשבונות על פרויקטים הנדסיים מיוחדים. במישור הציבורי שימש פרופ' זסלבסקי בין השאר כנציב המים של ישראל וכמדען הראשי וכממלא מקום של מנכ"ל משרד האנרגיה. בין שאר פעילויותיו בחו"ל היה יועץ בכיר ל-A.R.S. - משרד החקלאות האמריקאי, ושימש פרופסור אורח באוניברסיטה החקלאית ב-Wagenngen, הולנד.

בשנים האחרונות עבר פרופ' זסלבסקי לעסוק בתחום האנרגיה המתחדשת. הוא הגה טכנולוגיה מהפכנית שפיתחה הושלם, לייצור חשמל ממקורות מתחדשים ושיטה מהפכנית להתפלת מים שנמצאת בתהליך פיתוח.

