



הטכניון
מכון טכנולוגי לישראל



מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית

סיכום והמלצות דיון פורום האנרגיה מס' 20
מוסד שמואל נאמן, הטכניון



20

14.2.2011

מערכות פוטו-וולטאיות מחוברות-רשת למגזר הביתי והמסחרי

**סיכום והמלצות דיון
פורום האנרגיה של מוסד שמואל נאמן
הטכניון
מיום 14.2.2011**

נערך ע"י:

פרופ' גרשון גרוסמן
טל גולדרט

אפריל 2011

רשימת משתתפי הפורום:

חברת חשמל לישראל	אוחיון משה
מוסד שמואל נאמן	ד"ר אילון אופירה
מילניום אלקטריק בע"מ	אלעזרי עמי
אוניברסיטת תל אביב	פרופ' אפלבוים יוסף
אגף מחקר ופיתוח, משרד התשתיות הלאומיות	ד"ר ארביב אברהם
מוסד שמואל נאמן	גולדרט טל
מוסד שמואל נאמן והפקולטה להנדסת מכונות, הטכניון	פרופ' גרוסמן גרשון – יו"ר
Arava Power Company	גרין מייק
משרד התשתיות הלאומיות	ד"ר ולד שלמה
מרכז מו"פ אזורי - המשולש	ד"ר יחיא איברהים
Unirom Solar	כפרי עמיצור
אינטרדן בע"מ	נזר רון
מכון בלאושטיין, אוניברסיטת בן גוריון	ד"ר סידרר יונה
מכון בלאושטיין, אוניברסיטת בן גוריון	פרופ' פיימן דוד
הטכניון, אגף בינוי ותחזוקה	רומנו איציק
PV Experts Israel	שילה דן

הבעת תודה

המחברים מודים למרצים על המידע שהציגו ולכלל משתתפי הפורום על תרומתם לדיון הפתוח.

עמוד

תוכן העניינים

5	פרק 1 : הקדמה
6	פרק 2 : רקע
7	פרק 3 : מידע בנושא מערכות פוטו-וולטאיות
19	פרק 4 : דיון
30	פרק 5 : סיכום והמלצות

נספחים

נספח 1 : תוכנית פורום אנרגיה : מערכות פוטו-וולטאיות מחוברות-רשת למגזר הביתי והמסחרי :

פרק 1: הקדמה

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

המפגש הדין בנושא מערכות פוטו-וולטאיות מחוברות רשת למגזר הביתי והמסחרי התקיים ב-14 בפברואר 2011 בטכניון, והשתתפו בו מומחים בתחום מהסקטור התעשייתי, היזמי, האקדמיה והממסד הממשלתי והציבורי. המשתתפים בפורום, שנבחרו בקפידה עקב מומחיותם, מהווים, ללא ספק, קבוצה ייחודית ובעלת סטאטוס מקצועי ראשון במעלה בתחום האנרגיה הסולארית, ומערכות PV בפרט.

בחלקו הראשון של המפגש הציגו חלק מן המשתתפים מצגות בנושא מערכות PV על היבטיו השונים. מצגות המשתתפים נמצאות באתר מוסד ש. נאמן: <http://www.neaman.org.il/> (אירועים). בחלק השני התקיים דיון פתוח על המידע שהוצג ועל המסקנות האופרטיביות שיש להפיק ממנו.

תמצית הדיונים מסוכמת בדו"ח להלן, וכמו בדיונים הקודמים, הוא יוגש למקבלי החלטות במטרה להביא אל סדר היום את החסמים והפעולות הנדרשות על מנת לקדם מערכות פוטו-וולטאיות בכלל הסקטורים במדינת ישראל.

פרק 2: רקע

מערכות פוטו-וולטאיות (PV) הן האמצעי הנפוץ ביותר כיום לייצור חשמל מאנרגיית השמש. יתרון הגדול באפשרות התקנה בתחום רחב של תפוקות, החל מקילוואט-שיא (kWp) אחד ואף פחות, שניתן להתקין על עמוד בודד או גג קטן, ועד למספר רב של מגהוואטים-שיא (MWp) המתאים לתחנת-כוח על פני שטח נרחב. האלטרנטיבה של מערכות סולאריות תרמיות זולה יותר בהשקעה לקילוואט מותקן ויעילה יותר מבחינת נצילות, ניצול שטח ואפשרויות גיבוי, אך דורשת גודל של עשרות מגהוואטים לפחות ולכן מתאימה רק לתחנות כוח.

במדינות רבות ניתנו תמריצים לעידוד התקנת מערכות PV מחוברות-רשת שאינן נשענות על מצברים, במסגרת תעריף הזנה לרשת (Feed-In Tariff = FIT). הראשוניים שהנהיגו FIT היו הגרמנים ואחריהם רוב מדינות אירופה. בישראל הונהג תעריף כזה לראשונה בשנת 2008. החוזה עם חברת החשמל, המקבע את הסכום שהמתקין (לאחר קבלת רישיון) יקבל הוא ל-20 שנה כשחברת החשמל מתחייבת לקנות ממנו את כל החשמל שהמערכת תייצר. ה-FIT הראשוני שנקבע ב-2008 ע"י הרשות לשירותים ציבוריים חשמל לבתי מגורים היה 2.01 ₪ לקו"ט"ש, (בערך פי 4 ממחיר החשמל לצרכן). עקב ירידה בעלות הראשונית של מערכות PV הופחת התעריף ועומד כיום על 1.67 ₪ לקו"ט"ש¹.

באחרונה יש נסיגה במדינות שונות בסיבסוד מערכות PV כיון שהוא מטיל עומס על תקציבי חברות החשמל. ספרד ברוכת-השמש, למשל, הייתה הראשונה שנסוגה מגישה קודמת שהונהגה בה. היום מותר שם למכור לרשת החשמל חשמל ממתקן PV רק במשך 4 שעות ביום, ואף הטילו מס על ההכנסה. הגרמנים הורידו את התעריף ומדי ששה חודשים חוזרים ובוחרים את הנושא מחדש. יוצאת מן הכלל הזו היא צרפת, בה ניתן עד היום תעריף של 60 אירוסנט לקו"ט"ש.

נושאים עיקריים הקשורים במערכות פוטו-וולטאיות מחוברות-רשת כוללים: הקצאת מכסות למערכות מותקנות הזכות לתעריף המיוחד; רגולציה, ובכללה תקנים ורישוי למתקנים ולמתקינים; עידוד תוכן מקומי במערכות הזכות לתעריף המיוחד; הקצאת קרקע למערכות המסחריות, במקום שאין מדובר בהתקנה על גגות קיימים. נושאים אלה ואחרים הובאו לדיון במסגרת הפרום.

¹ התעריף הוא גם פונקציה של גודל המתקן, ויש גם פטור מסוים ממסים על ההכנסות ממכירת החשמל. פרטים מדויקים ניתן למצוא באתר הרשות לשירותים ציבוריים – חשמל <http://www.pua.gov.il/>

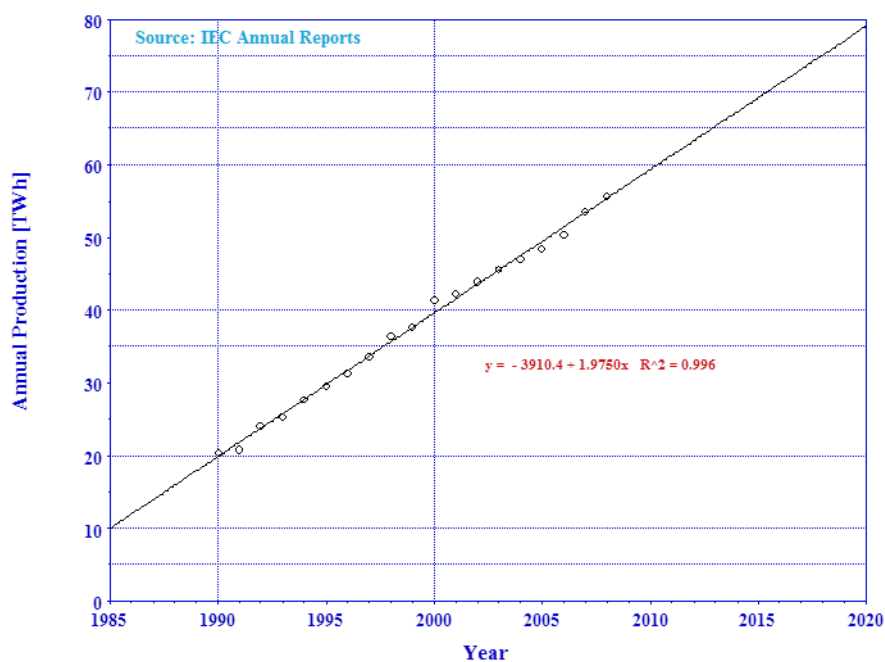
פרק 3: מידע בנושא מערכות פוטו-וולטאיות

בחלק זה של הדו"ח ניתנת תמצית המידע שהוצג ע"י חלק מן המשתתפים, כל אחד לפי בחירתו ומומחיותו. קבצי המצגות שהוכנו ע"י הדוברים מוצגים, כאמור, באתר של מוסד נאמן (<http://www.neaman.org.il/>). מטבע הדברים, קיימת חפיפה מסוימת בין הדוברים השונים, אולם עורכי הדו"ח החליטו להביאם כאן כפי שהוצגו ובאותו סדר (ראה תכנית הפורום בנספח 1). מידע זה חשוב ומהווה בחלקו בסיס לדיון הפתוח שהתקיים לאחר מכן, כפי שמובא בפרק 4.

פרופ' דוד פיימן, מכון בלאושוטיין, שדה בוקר, אוניברסיטת בן גוריון:

Distributed PV: Energy contributions, space requirements, costs and benefits

ההרצאה מתבססת על נתונים אשר נאספו ע"י עו"ד דורון יער (ונמסרו למרצה אישית) עבור 60 מערכות פוטו-וולטאיות בהספק של כ-50 קילוואט כל אחת. לצורך הניתוח, נבחרו מתוכן 40 מערכות אשר עבורן היו לפחות 10 חודשים של נתונים. עבור כל חודש חושב ממוצע התפוקה. מתוך ממוצעים אלה התקבלה תפוקה ממוצעת ארצית שנתית בסך 1759 קוואט"ש לקילוואט שיא (peak). עבור התעריף הביתי החדש המעודכן לחודש פברואר 2010, הערך הכספי של אנרגיה זו הוא 727 שקל לשנה הנובעים מחיסכון בחשמל קונבנציונאלי. ניקח בחשבון מחיר התקנה בסביבות 24000 ₪ לקילו-וואט-שיא. ניתן לחשב בקלות כי תקופת החזר ללא סובסידיות עומדת על 33 שנה. אם נסתכל על מגמת הגידול בייצור החשמל בישראל לאורך 20 שנים, נקבל גרף כמעט ליניארי עם שיפוע של כ-2 טרה-וואט שעה לשנה (איור 1).



איור 1: ייצור החשמל בישראל וקצב גידולו עם השנים (לפי נתוני חברת החשמל לישראל)

על מנת להגיע למצב שבו ייצור החשמל הסולארי רק מכסה את העלייה השנתית בצריכה, אנו צריכים להוסיף קרוב ל-1,120 מגה-וואט שיא (peak) בכל שנה. המשמעות היא כי המערכת המותקנת הראשונה של 1 גיגה-וואט שיא תחסוך רק 3% מכמות החשמל שמדינת ישראל צריכה לשנה.

לאחר שראינו נתונים אלה, נשאל:

- האם PV יכול בכלל לספק כמות חשמל משמעותית (גם ללא התחשבות במחיר)?
- האם אנו יכולים ליצור כאן תעשיית ייצוא?
- האם הטכנולוגיה הזו היא בכלל ירוקה? יש לקחת בחשבון שהפאנלים מגיעים מסין, שם הם מיוצרים בצריכת אנרגיה רבה ולא מעט מזהמת.
- מי צריך ליהנות בארץ מסובסידיות על PV?

פרופ' יוסף אפלבוים, אוניברסיטת תל אביב:
השפעת תנאי סביבה על הספק המוצא של תאי שמש

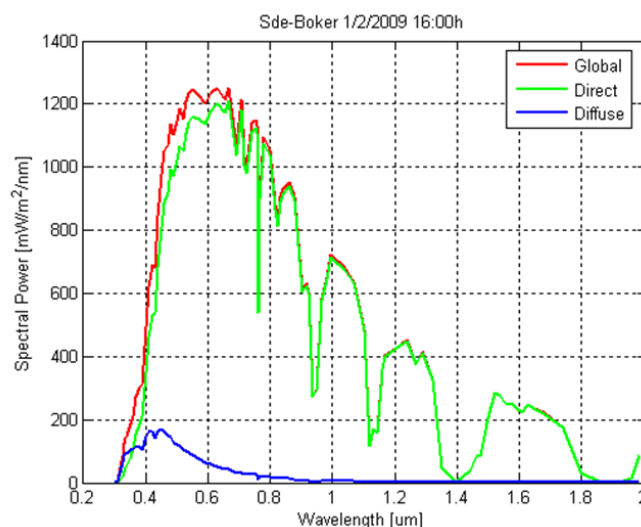
מהם הגורמים הסביבתיים המשפיעים על תפוקת תחנת כוח סולארית?

1. קרינת שמש – עצמה וספקטרום
2. טמפרטורה – של הסביבה ושל תאי השמש
3. הצללה – ע"י עצמים או בין שורות

בשוק קיימות תוכנות לתכנון, המשתמשות במגוון של מודלים. יש מודלים פשוטים ויש מסובכים יותר, ותוצאות התכנון בשימוש בתוכנות שונות עשויות להיות שונות בצורה משמעותית.

1. קרינות –

קרינת השמש מורכבת ממספר קרינות: גלובלית (כוללת), ישירה, מפוזרת (דיפוזית), כאשר גרף כדוגמת איור 2 מתאר את עצמות הקרינה כתלות בספקטרום.



איור 2: עצמת הקרינה הגלובלית, הישירה והמפוזרת כתלות באורכי הגל

כאשר רוצים להסתמך על חישוב מדויק יותר, יש להביא בחשבון את הקרינה על המישור המוטה של תאי ה-PV וכן לכלול את רכיבי הקרינה הישירה והמפוזרת. יש לבצע את החישוב בצורה יומית ולסכום את הערכים לאורך כל היום, במשך כל השנה. כאשר אנו מתארים את הספקטרום אנו לרוב מתבססים על מסת אוויר של 1.5, כאשר ברור שאלו נתונים ממוצעים שעלולים להיות לא מדויקים מספיק. כאשר יש נתונים שעתיים, ניתן לבצע עליהם חישוב מדויק יותר. ההיענות הספקטרלית של תא שמש היא פונקציה של אורך הגל, ועל מנת לאפשר השוואה בין תאים שונים וחישוב במדויק, יש צורך להשתמש במודלים מדויקים ככל שניתן.

2. טמפרטורות –

הרבה משתמשים במשוואה המתארת קשר פשוט בין טמפרטורת התא והסביבה:

$$T_c = T_a + (NOCT - 20) \cdot \frac{P_{rad}}{800}$$

כאשר:

$NOCT$ = Normal Operating Cell Temperature [$^{\circ}C$] – נתון ע"י היצרן

P_{rad} [Watt] = הספק הקרינה הנופל על הפאנל

T_c [$^{\circ}C$] = טמפרטורת התאים

T_a [$^{\circ}C$] = טמפרטורת הסביבה

קיימת גם משוואה מדויקת יותר, המביאה בחשבון גם נצילות, מקדם טמפרטורה ומשתנים נוספים. באמצעות משוואה זו ניתן לחשב הטמפרטורה של הפאנל בצורה מדויקת יותר:

$$T_c = \frac{U_{PV} T_a + P_{rad} (\tau\alpha - \eta_r - \eta_r \beta_c T_r)}{U_{PV} - \eta_r \beta_c P_{rad}}$$

כאשר:

T_c [$^{\circ}C$] = טמפרטורת התאים

T_a [$^{\circ}C$] = טמפרטורת הסביבה

$\eta_r = 25^{\circ}C$ נצילות הפאנל על פי היצרן בתנאי STC, כלומר ב-

T_r [$^{\circ}C$] = $25^{\circ}C$ טמפרטורת הייחוס,

β_c [$^{\circ}C$] $^{-1}$ = מקדם הטמפרטורה של טכנולוגית תא השמש

$U_{PV} = 2 \times (5.67 + 3.86v)$

v [m/sec] = מהירות הרוח

α = מקדם הבליעה

τ = מקדם המעבר

3. הצללה –

לרוב מדובר על הצללה של עצמים הממוקמים בסמוך לתאי השמש או הצללה עצמית של שורות הקולטים על השורות הסמוכות בזווית שמש מסוימות. כאשר מבצעים חישוב – ברור כי יש להביא בחשבון גם תופעות אלו שלהן השפעה משמעותית על תפוקת האנרגיה.

מייק גרין, Arava Power Company:

קביעת היעילות של מערכת PV

ניתן להבחין בין שני ייעודים עיקריים למערכות ייצור חשמל מ-PV במשק האנרגיה בישראל: תחנות כוח גדולות – לצורך עמידה בשיאי ביקוש, וגם ייצור מבזר שמטרתו אספקת אנרגיה באופן מקומי – בעיקר על בתי פרטיים.

יש חשיבות רבה בשמירה על כספו של האדם הפרטי לא פחות מהשקעה גדולה של יזם גדול, בעיקר בשל החשיבות לשמר את התדמית החיובית של המערכות.

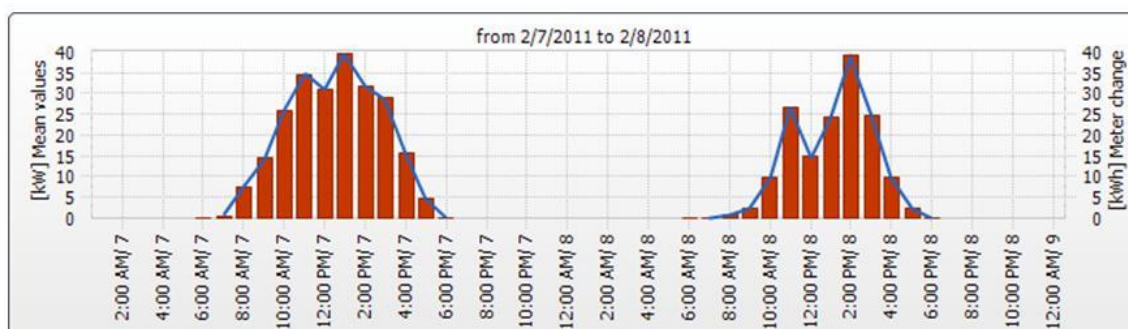
מטרת התמריצים מוגדרת ככלי להנעת שוק ותחרות. מחד, המחירים ירדו בכ- 50% במהלך השנתיים האחרונות בגלל תחרות, ומאידך, הקבלנים בונים כמה שיותר בזול. מצב הרגולציה מביא לכך שהיזמים פועלים ללא רווח, ולכן אין כספים המתועלים למו"פ, חיצוני או פנימי.

תחנות כוח המונעות בטכנולוגיה קונבנציונלית נמדדות על פי יעילותן. המשוואה הברורה היא כי יעילות

= רווחיות, ויעילות או נצילות הינו תפוקה אנרגיה המתקבלת מחולקת באנרגיה הנכנסת (P2/P1).

בתחנות כאלה קיימים מדדים והתראות לכל משך התהליך כולל כמות הדלק הנכנסת, המאפשרים ליזם להבטיח את הכנסותיו מתחנת הכוח על ידי איתור ירידה בנצילות התחנה. לכאורה אותו הדבר אמור להתקיים עבור תחנות כוח סולריות. התחנה חייבת לתפקד לפי תכנית כלכלית. בפועל, חסר לנו מידע לגבי הכמות והאיכות של הדלק הראשוני – במקרה זה השמש – כאשר למרבית המערכות בארץ אין רגש קרינה, ולכן אין אפשרות לדעת מה ההספק הנכנס, ובהתאמה אין אפשרות לחשב יעילות. התוצאה היא מצב מגוחך שבו עקב חוסר הבנה טכנולוגי וקבלנים ללא רווחי עודף, והמציאות שהקבלנים גם מתכננים את המערכת שהם בונים, נוצר מצב שבו ההשקעה היא הימור, שכן אין מערכות אבטחת איכות בסיסיות. הנורמה בניטור היא הסתמכות על מעקב תפוקה דרך פורטלים שיווקיים של יצרני ממירים, ללא מדידה אלמנטארית של הקרינה ונתונים בסיסיים של המערכת עצמה.

מה שיש בידי מנהל המערכת הוא הגרף המוצג באיור 3, אשר כפי שניתן לראות - עוקב אחר תפוקה בלבד.



איור 3: תפוקה אופיינית של מערכת PV בשעות היממה השונות

נתונים אלו אינם מאפשרים השוואה בין התפוקה הפוטנציאלית שניתן לקבל מהמערכת, ולא ניתן אם כך לדעת האם המערכת עובדת בצורה יעילה או לא.

אנו נתקלים בשטח במצב שבו שתי מערכות זהות בכל התנאים הסביבתיים מפיקות אנרגיה בהבדל משמעותי בתפוקה. במקרה שבו יש רק מערכת אחת מותקנת באזור, לא היינו יודעים כלל שיש בעיה כלשהי במערכת ושהיא מסוגלת להפיק יותר.

הפתרון המתבקש הוא התקנה של מד קרינה, ומד טמפרטורה על אחד הפנלים, אשר יאפשרו לקבל מידע על התפקוד של המערכת. מדידים כאלה עשויים לעלות אלפי שקלים בודדים בלבד, ולהיות משמעותיים מאוד בנייתוח ביצועי המערכת ושיפורה.

השלב הראשון להגיע למעקב יעילות של מערכת הוא ניתוח תיאורטי של המערכת באמצעות תוכנות הדמיה, כפי שנהוג לעשות בשלב תכנון המערכת. תוצאת ההדמיה נותנת לנו את האנרגיה הפוטנציאלית הצפויה כאשר נלקחים בחשבון התנאים המטאורולוגיים של המקום ומחסירים את כל ההפסדים אשר במערכת. את זה עלינו להשוות לתפוקת המערכת בפועל.

מתוך החישוב הנ"ל, מחשבים את היחס בין האנרגיה היוצאת לאנרגיית השמש הנכנסת למערכת. התוצר הזה הינו היעילות היחסית, הידוע כ- Performance Ratio או PR.

לאחר החישוב התיאורטי, יש לבצע גם בדיקת קבלה למערכת בשטח, על ידי שימוש בנתונים מהממיר עצמו וברגש קרינה הנמצא ליד הפנלים ובאותו כיוון וזווית. (אומנם עדיף מונה אנרגיה בעל דיוק עסקי ורגש מכויל). כך נוכל לראות אם מה שחישבנו בתיאוריה אכן מתקיים בשטח. בשלב השלישי בוחרים קבוע זמן אשר בו דוגמים שוב את נתוני המערכת, ומבצעים שוב את החישובים וההשוואות, על מנת להישאר במעקב; קבועי זמן אלה יכולים להיות אפילו פעם ביום ויותר.

מהי היעילות היחסית בפועל? באמצעות הטמפרטורה של הפאנל, קרינת השמש הנמדדת על ידי הרגש, וקריאת האנרגיה היוצאת מהממיר, נוכל לנרמל את נתונים אלה ולקבל נתון בקוויט"ש למ"ר, ואם נחסר את השפעת הטמפרטורה נוכל לחשב את היעילות בזמן אמת. את הערך הזה, יש להשוות לערך ה-PR שקיבלנו בבדיקת הקבלה.

לסיכום: על מנת להבטיח את ההכנסה המתוכננת ממערכת כלשהי, קטנה או גדולה, יש לתכנן בכלי סימולציה, להתקין רגשי קרינה וטמפרטורה, לבצע בדיקת קבלה, ולהשתמש במערכת הניטור למעקב יומי.

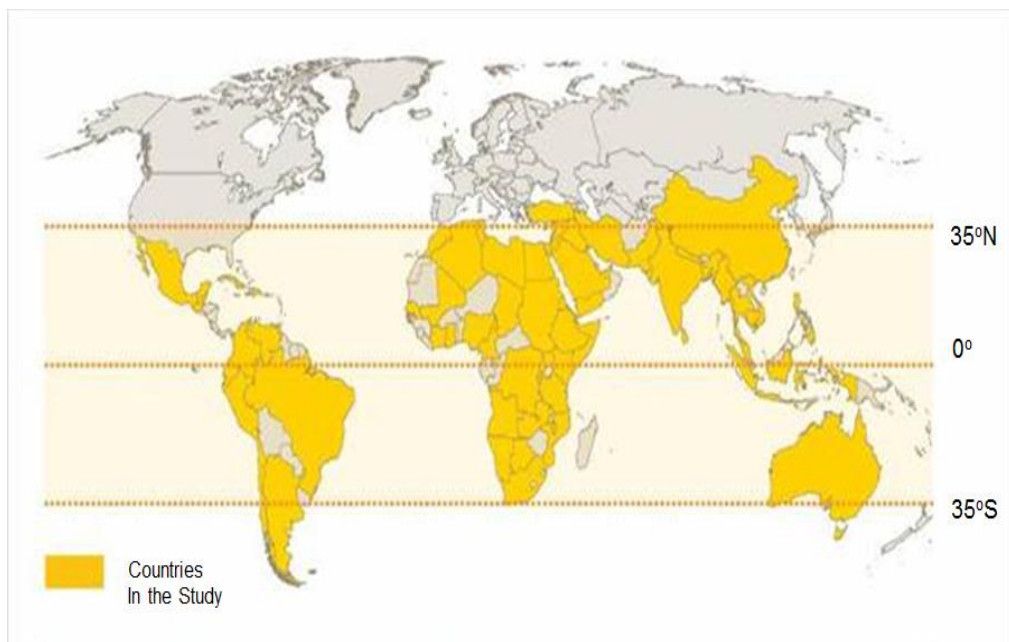
ד"ר מרים לב-און וד"ר פרי לב-און (בהעדרם - הוצג ע"י טל גולדרט):

תרחישים לפיתוח אנרגיית PV במדינות רצועת השמש

ההרצאה סוקרת דו"ח של ²European PV Association (October 2010). הדו"ח דן במכשולים ליישום מערכות גדולות לייצור חשמל בטכנולוגיית PV בארצות "רצועת השמש" אשר התברכו בשפע אנרגיית שמש. מסתבר, כי עיקר הגידול בהתקנות מערכות PV בשנים האחרונות חל דווקא במדינות שהן פחות עשירות בשמש. בדו"ח נסקרו 66 מדינות, המהוות 95% מהמדינות הנמצאות גיאוגרפית ברצועת השמש, ומתגוררים בהן כ-5 מיליארד תושבים, שהם כ-75% מאוכלוסיית העולם. צריכת החשמל השנתית של מדינות אלה היא 6,800 TWh אשר מהווה 38% מהצריכה העולמית (העומדת בשנת 2007 על 17,900 TWh).

במחקר נבדקו התרחישים הבאים:

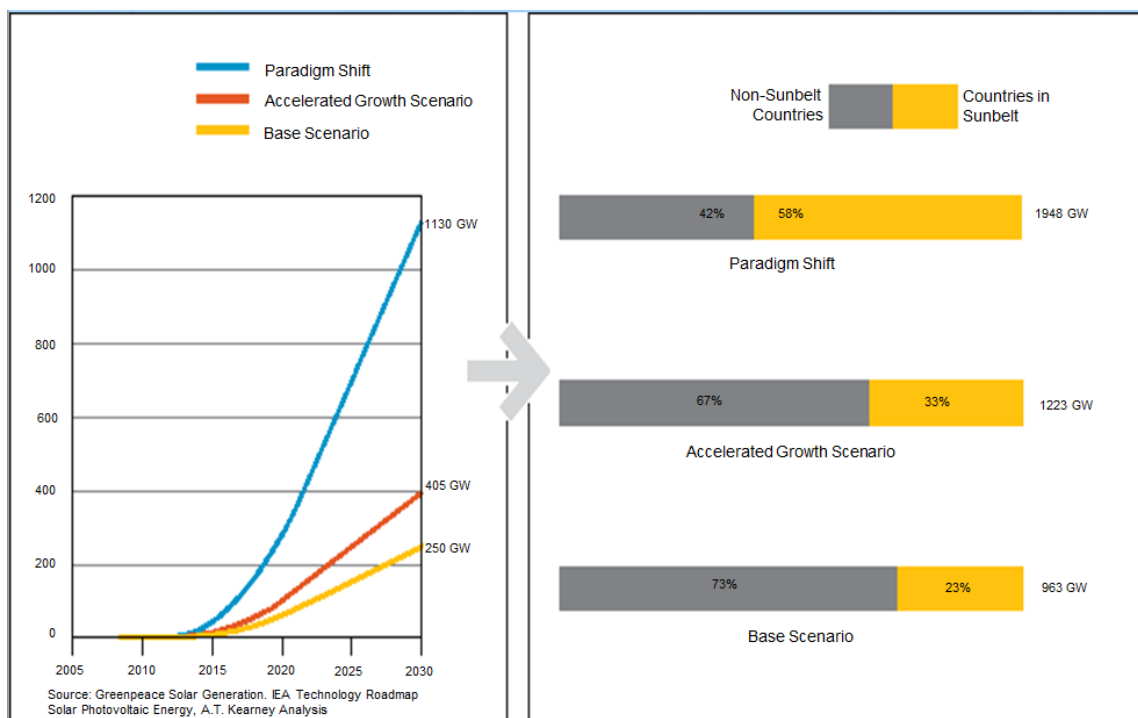
- עסקים כרגיל - המשך פיתוח ללא התערבות או תמיכה
- גידול מואץ - תמיכה ועליה בייצור החשמל ממקור PV
- שינוי חשיבה - מהפך חשיבתי אשר יביא לצריכה מואצת אף יותר



איור 4: מדינות "רצועת השמש" לגביהן נערך המחקר

²http://www.epia.org/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/EPIA_docs/publications/epia/EPIA_Unlocking_the_Sunbelt_Potential_of_Photovoltaics_v2.pdf&t=1298376925&hash=74c5541282f41cc8b0b021a413b55562

היקף התקנות למערכות PV אשר אליו ניתן להגיע בתרחישים השונים מוצג באיור 5 :



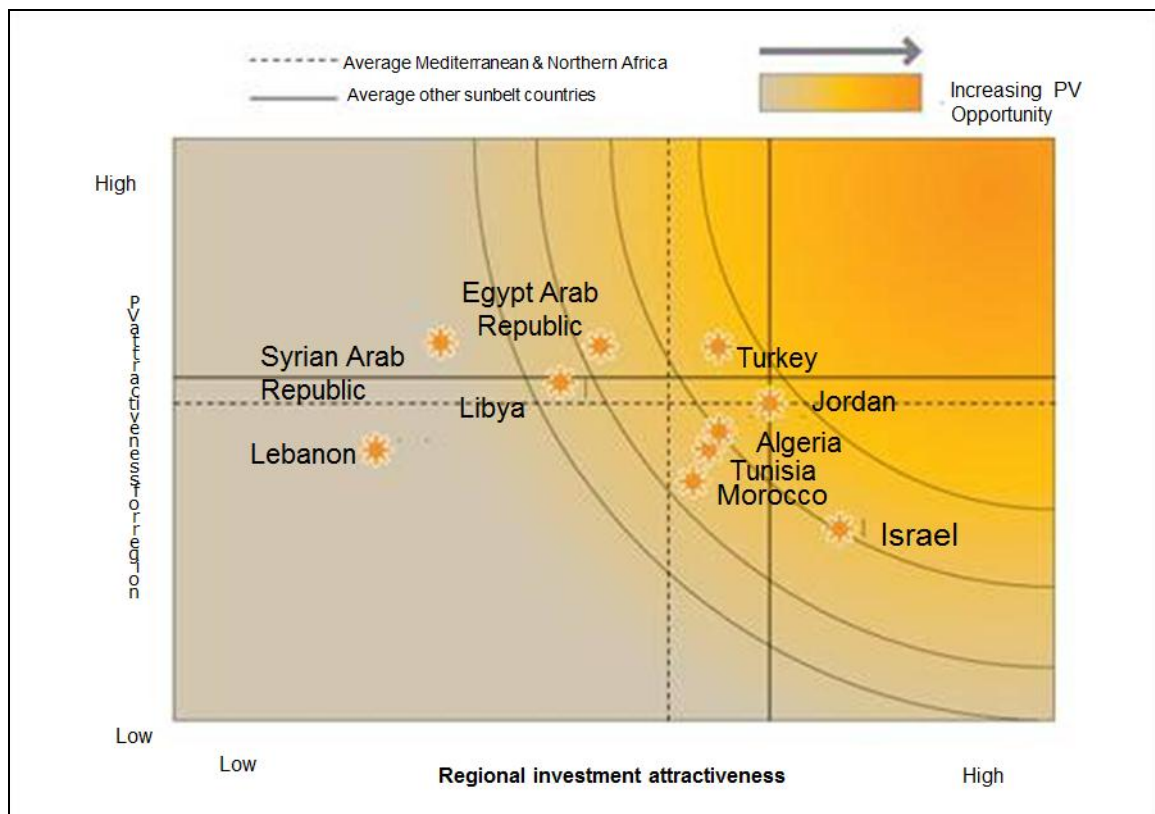
איור 5 : היקף התקנות למערכות PV בתרחישים השונים

על מנת להעריך את מדד היעילות הכלכלית של תחנת כוח מסוג כלשהו ולאפשר השוואה ביניהן, הוגדר מחיר משוקלל לייצור של 1 kWh לכל אורך חיי תחנת הכוח – LCOE (Levelized Cost of Energy). כיום המחיר המשוקלל לייצור קוֹוֹטִיִּש בתחנת כוח PV עומד על 12-20 יורוסנט, והוא מתחרה במחיר ייצור חשמל בדיזל-גנרטור. ההערכה היא כי שיפורים טכנולוגיים יביאו להפחתת מחירים, אך סביר להניח כי המחיר לא ירד מתחת לייצור מחיר חשמל קונבנציונאלי. תמיכה ממשלתית היא קריטית וחיונית להמשך הפיתוח עד למצב שבו בשנת 2030 תוכלנה מערכות ה-PV לספק את כל צריכת השיא של החשמל במחיר תחרותי לטכנולוגיות אחרות. חסמים מרכזיים ביישום הטכנולוגיה (טכנולוגיים וטכניים בלבד) :

1. ידע ומודעות ותפיסת השוק את הטכנולוגיה,
2. תמיכת מדיניות ומתן הזדמנות שווה לכל השחקנים
3. אפשרויות מימון וקבלת תמיכות, על ידי חברות, בנקים וקרנות מימון
4. תשתית רשת ומערכות הולכה אשר יאפשרו התחברות לרשת החשמל גם במתח גבוה
5. התקנה ושירות- כ"א מיומן לתפעול המערכות, לתחזוקה שוטפת כך שהמערכות יעבדו באופן אוֹפְטִימָלִי

אזור המזרח התיכון וצפון אפריקה רק עתה מתחיל לממש את הפוטנציאל הגדול הטמון בו. הטכנולוגיה אינה ממוצבת מספיק ע"י קובעי המדיניות ואינה מוכרת על ידי גופי מימון וקרנות.

בתרחיש המואץ, נוכל לצפות לפוטנציאל של 7 GW בשנת 2020, ו- 27 GW עד שנת 2030. יש כבר פרויקטים מוכרזים באזור, וניתן לזהות כבר ניצנים של פתיחות והבנה. ברור כי הצמיחה הכלכלית של האזור תלויה בפיתוח אנרגטי. הרעיון של מערכת רשת חשמל משותפת לצפון אפריקה ואירופה מקודם כבר כעת באיחוד האירופי, ומכיל מרכיבי PV משמעותיים. איור 6 מתאר בציר האופקי את המדד התשתיתי של המדינה לאור החסמים שנסקרו לעיל, ולאור יציבותה הפוליטית והכלכלית. הציר האנכי מתאר את פוטנציאל משאב ה-PV במדינה הספציפית, בהתייחס לאטרקטיביות יישום טכנולוגיות ה-PV עבור המדינה עצמה, ולא עבור יזם חיצוני. ככל שהמדינה נמצאת באזור הימני עליון (רקע כתום יותר) כך עולה האטרקטיביות שלה ליישום טכנולוגיות PV, מכל הבחינות – טכנולוגית, כלכלית ומדינית.



איור 6 : אטרקטיביות השקעות ב-PV על פי מדינות במזרח התיכון

ישראל נמצאת באזור בו היכולת לגייס מימון גבוהה אך מבחינת אטרקטיביות המשאב למדינה, מיקומה נמוך יחסית לשכנות באזור.

בארצות הברית, הושקעו בעשור האחרון מעל מיליארד דולר בפיתוח סולארי בכלל, וטכנולוגיות PV בפרט. המחיר ירד בלמעלה מ-60% מאז 1995 – הוכחה לחדשנות הטכנולוגית בשנים אלו. קיימים שיתופי פעולה משמעותיים מאוד עם אוניברסיטאות ומעבדות מחקר, על מנת לקדם את הקפיצה הטכנולוגית הבאה. יוזמת SunShot – בתאריך 4.2.2011 הודיע שר האנרגיה בארה"ב על המשך התמיכה בתכנית, מתוך כוונה להגיע להפחתת מחיר של 75%, עד כדי 1\$ לואט, שהם כ-6 סנט לקו"ש עד שנת 2020, כך שיוכלו להתחרות בכל טכנולוגיה אחרת.

לסיכום, על מנת להביא לשינוי תפיסתי נדרשים בעלי העניין לפעולות הבאות:

1. ממשלות וקובעי מדיניות – פיתוח תשתיות, רשת חכמה ומדידות מתאימות
2. חברות חשמל – מושפעות משמעותית מאסטרטגיות ותפיסה לאומית, ותלויות בהחלטות הממשלה, אך חייבות להכניס מערכות כאלו לסל האנרגיה, ולתכנן לעתיד בהתאם
3. תעשיית ה-PV - צריכה לקבל תמיכה לעידוד הפיתוח, יצירת מקומות עבודה ותעשייה חדשה. כמובן שרצוי לעודד ככל שניתן שוק מקומי – כחול לבן.

שינוי תפיסתי נוסף עשוי להיות החדרה של חשמל שמקורו ב-PV לרשת בעדיפות ראשונה, לפני עומס בסיס החשמל. אם יתווסף החשמל הסולארי לעומס הבסיס הקיים, נוכל אולי להגיע למצב שבו נוכל לוותר על התחנות המסורתיות המשמשות כיום כתחנות לשיא עומס. זה עשוי להיות פתרון לבעיית האחסון של חשמל הקיימת כיום, ולא מאפשרת להשתמש במלוא פוטנציאל ה-PV.

רון נזר, אינטרדן בע"מ:

חסמים ליישום רחב היקף של מערכות PV על בתים פרטיים

גגות מבני מגורים הם בחינם וניתן להפכם לנכס מניב ומיצר חשמל. למרות זאת, במדינת ישראל כיום, מותקנות מערכות PV פרטיות בשיעור נמוך משמעותית ממערכות בקנה מידה מסחרי. עד היום הותקנו כ- 8 מגה- וואט בסקטור הביתי, לעומת 110 מגה-וואט בסקטור העסקי. הטבלה הבאה מתארת את מצב המכסות להתקנת PV נכון לפברואר 2011 - כמה הותקן, וכמה עוד נותר להתקנה.

טבלה 1: מצב המכסות להתקנת PV נכון לפברואר 2011 (נתוני חח"י)

תיאור המכסה	כמות המכסה המאושרת (קו"ט)*	מכסה פנויה שנותרה (קו"ט)**
פוטו-וולטאי ביתי (עד 15 קו"ט)	8,708.11	7,167.54
פוטו-וולטאי עסקי (עד 50 קו"ט)	120,000.00	61,981.38
טורבינת רוח (עד 15 קו"ט)	14,991.50	14,991.50
טורבינת רוח (מעל 15 קו"ט ועד 50 קו"ט)	15,000.00	15,000.00
סולארי בינוני (מעל 51 קו"ט)	50,000.00	50,000.00

המכסות מוגדרות על פי התעריפים, כאשר בתעריף הגבוה – 1.93 ₪ לקווט"ש, נותרו עוד כ- 7 מגה-וואט, ובתעריף 1.67 ₪ לקווט"ש נותרו מכסות ללא הגבלה עד סוף 2011. למרות החזר ההשקעה הסביר – 6-8 שנים, קצב ההתקנות הוא קטן, ולמרות המצב האטרקטיבי השוק הוא איטי. לקוח ביתי אינו מבצע החלטה כלכלית גרידא, אלא הוא מונע ממניעים נוספים, ולרוב יממן את ההתקנה מהון עצמי ולא יתחשב בהחזר ההשקעה מהמערכת עצמה. הלקוח הפרטי אינו מורגל בהשקעות לטווח ארוך, אינו מכיר את הנושא, וסביר שלא ייקח הלוואה לצורך התקנת מערכת כזו. קיימת שונות עצומה בין הבתים, הגגות לא תוכננו מראש עבור מערכות סולריות וכל פרויקט הוא סיפור חדש. יש גם שונות גדולה בין טיפוסי הלקוחות השונים והציפיות שלהם, וכמובן הקושי הברור בעבודה בתוך בית הלקוח.

נדרשת כאן פעילות הסברתית משמעותית - למרות שלכאורה הנושא נראה לאנשי המקצוע מוכר. מרבית הלקוחות הפרטיים אינם מודעים, לא יודעים להבדיל בין פאנלים שונים, צורות התקנה, וכמובן אינם יכולים לאפיין את הסיכונים.

אדריכלים אינם מתכננים גגות כך שיתאימו להתקנה ישירה של PV, וחבל. אילו היה סטנדרט, היינו מצליחים עם הזמן להגיע למצב של בתים אידיאליים. בנושא זה אנו נתקלים בבעייתיות ממשית, מכיוון שאין שום אופק רגולטורי לטווח ארוך, ואנו יודעים היום כיצד יראה השוק עד סוף 2011, אבל לא ברור מה מחכה בעתיד. מה יהיו המחירים? בתים אשר מתוכננים היום אינם יכולים להתחשב בשוק שאינו מוגדר לפחות עד למועד סיום הבניה. בפועל, חברת החשמל משנה את דרישות ההתקנה מדי כמה חודשים, והתוצאה היא שהתקנות שכבר תוכננו או אפילו בוצעו, אינן עומדות בדרישות וכתוצאה מכך מתייקר הפרויקט גם לקבלן וגם לבעל הבית.

פעולות מומלצות להסרת החסמים:

- הסברה ציבורית
- פישוט וקיצור תהליך קבלת ההיתרים
- הקצאת מכסה ארוכת טווח לפרויקטים חדשים
- תעריף גבוה לטווח קצר
- מחויבות לדרישות תכנון

עמי אלעזרי, מילניום אלקטריק בע"מ:

ייצור והתקנת מערכות PV תרמיות מסחריות מחוברות-רשת בישראל, וניסוי קו-גנרציה

ברצוני להציג מספר פרויקטים גדולים בישראל, אשר הותקנו על ידי חברת מילניום אלקטריק: גג המתפרה במעגן מיכאל - מערכת הכוללת קוגנרציה ועובדת בנצילות של 19%, ובנוסף לחשמל מאפשרת ניצול של אנרגיה תרמית הנוצרת מקירור התאים הפוטוולטאים לשימוש הקיבוץ. המערכת של 30 קילוואט שיא מספקת 13 קוב של מים חמים ליום למכבסה המקומית ומוכרת חשמל לרשת ב-100 אלף ש"ח בשנה. החזר ההשקעה הצפוי הוא של 4-5 שנים בלבד.

גג חדר האוכל ביקום - המערכת של 50 קילוואט מוכרת חשמל לרשת בשווי של 150,000 ₪ לשנה! ובנוסף חוסכת עוד 100,000 ₪ על ידי ניצול המים החמים במדיחי הכלים של חדר האוכל. החזר ההשקעה הצפוי הוא של 4-5 שנים בלבד.

מערכת המותקנת על גבי חממה סולארית - בישראל אסורה ההתקנה על חממות וחבל - מומלץ על שינוי החוק בנושא, אולם באיטליה התקנה כזו דווקא זוכה לעידוד ממשלתי מוגבר ב-15 אחוז, ובמקרים רבים החקלאי מרוויח פעמיים, גם מגידולים וגם מהשמש; מרוויח יותר ממכירת החשמל מאשר מגידול של עגבניות לייבוש. מילניום התקינה 12 מגה ואט כאלו באיטליה בחצי שנה האחרונה. התאים הפוטו וולטאיים בהם אנו משתמשים אמנם מיוצרים בסין, אך ההרכבה וההתקנה נעשית בישראל. נכון לעכשיו, יכולת ההתקנה של המפעל עומדת על 300 קולטים ביום בהספק של 230 ואט כל אחד. חשוב לציין כי כאשר משתמשים גם במים החמים שהם חלק בלתי נפרד מתהליך הקירור של

הקולטים, ניתן לקצר את החזר ההשקעה ל- 4 שנים. בגרמניה השימוש הדואלי נפוץ מאוד, בעיקר לחימום רצפתי.

קוגנרציה מעגל משולב

ניתן גם לייצר חשמל נוסף בקו-גנרציה באמצעות המים החמים שמשמשים אלמנט קירור על הקולטים, אנו רואים שיפור גם בביצועי הקולט עצמו. בתהליך הקירור נוצרים מים חמים, וניתן לחמם אותם חימום נוסף באמצעות שלוש שורות של קולטים תרמיים רגילים המחוברים בטור; טמפרטורת המים בשורה האחרונה בטור מגיעה ל-140 מעלות שזה למעשה קיטור. הקיטור שנוצר מן המים החמים מפעיל טורבינת קיטור בלחץ נמוך, טמפרטורה נמוכה ובצורה כזו ניתן מחמישה מגה-וואט של מים חמים ב-140 מעלות הנוצרים מכל מגה וואט של קולטים משולבים לייצר 1 מגה-וואט של חשמל נוסף. עלות התקנת אלמנט קו-גנרציה כזה היא כ- 10% מעלות הפרויקט כולו, ומקבלים הכפלה של יכולת ייצור החשמל.

ראה סרטון הדגמה

<http://www.youtube.com/watch?v=2QfYW8Xg9Fs>

<http://www.youtube.com/watch?v=LJcS71apv28&feature=youtu.be>

דן שילה, PV Experts Israel:

ניסיונה של חברת ייעוץ בתחום מערכות פוטו וולטאיות מחוברות-רשת

אנו קבוצה של אנשים בעלי ידע וניסיון עולמי בתחום, הפועלים על פלטפורמה משותפת לאיסוף מידע וייעוץ. אתר האינטרנט: www.pvexperts.co.il

משקיעים ישראלים רבים, שהם למעשה משקיעים פיננסיים, נכנסים היום לתחום תחנות הכוח הסולאריות. מעסיקים קבלן איטלקי, אשר מבטיח תשואה של 15-16% בפרויקט, ומחתימים אותו על חוזה הקובע שאם לא יעמוד בתשואה כזו, ישלם להם קנס. המשקיעים, שאינם אנשי מקצוע בתחום, עוקבים אחר ההכנסות מהפרויקט מהמחשב שבמשרד, וכמו שאמר לפני מר מייק גרין – הם אינם יודעים אפילו שיכלו לקבל מהפרויקט תשואה גבוהה הרבה יותר. לדוגמא, אנו עושים עבודה במסגרת תחנת כוח של 8 מגה-וואט בתאילנד, שם התמריץ יותר נמוך מאשר בארץ – 33 סנט לקוואט"ש למשך 10 שנים. הפרויקט מבוצע בתשואה נמוכה יותר מאשר בארץ. הוכנה תכנית עסקית, וחברת מימון מקומית ארגנה את הכול, כולל מימון וטיפול ברישיונות. כרגע נראה שבמרוץ או אפריל תוכל התחנה לצאת לדרך. אנו נהיה יועצים לפרויקט זה, המעורבים בבחירת הציוד והתכנון. כאשר משקיע ישראלי בוחר בהשקעה באיטליה, אין לו או למומחה מטעמו שום מעורבות.

אפשר להעלות את השאלה - האם בכלל צריך או כדאי להתקין מערכות PV בארץ, אבל כל מי שמצוי בתחום יודע שברגע שהמדינה, מסיבות פוליטיות או אחרות, החליטה לקדם את נושא האנרגיות המתחדשות, בארץ האנרגיה היחידה שרלוונטית וישימה היא רק בטכנולוגית PV.

אנו מבצעים בימים אלו עבודה עבור מנהל מקרקעי ישראל אשר בסופה יצא מכרז באזורי תעשייה בדרום הארץ ל-50 מגה-וואט נוספים מעבר למכסות הקיימות, ובנוסף קידום פרויקט גדול באזור קציעות/ניצנה. שם מדובר על שטח מישורי לחלוטין של כ- 9000 דונם, שהיה בעבר מרכז תחמושת של

צה"ל, ופונה כבר בשנת 1986. חלק גדול מאוד מהשטח ניתן לנצל בקלות, בשל היותו שטוח לחלוטין וכולל כבר כבישים פנימיים. נדרשת רק החלטה. המועצה האזורית רמת נגב הרימה את הכפפה, וכנראה שבקרוב נבצע את עבודת התכנון.

בתפיסתי אני רוחש כבוד רב לפעילי השטח, ואנו, כחברת ייעוץ, מנסים לייצר עבורם יותר עבודה, על ידי כך שיקודמו פרויקטים נוספים, רבים ככל האפשר. כל זמן שהמדיניות של ישראל היא להגיע ל 10% אנרגיות מתחדשות בשנת 2020, אנו חייבים לנצל כל שטח זמין ובכלל זה את קציעות על מנת להגיע ליעד..

אנו עובדים גם ביוון ומדינות אחרות, וגם בארץ מול מגוון של חברות. העסקה של חברת ייעוץ מתמחה בפרויקט מסוג זה יכולה להוות שינוי משמעותי מאוד.

פרק 4: דיון

בחלק השני של הפרק התקיים דיון פתוח על המידע שהוצג ועל המסקנות האופרטיביות שיש להפיק ממנו. על מנת למקד את הדיון, הוצגו מראש מספר שאלות כדלקמן:

- מהי עלות ריאלית של מערכות PV בארץ ומהו הצפי לעתיד?
- האם התמריצים מטעם המדינה הניתנים היום למערכות PV מוצדקים? אילו תמריצים (אולי אחרים) דרושים?
- מהי הכלכליות של מערכות PV (גם במסגרת התמריצים) מנקודת מבטו של היזם?
- איזו רגולציה מטעם המדינה דרושה למערכות PV?
- איזו מדיניות ראוי לאמץ מבחינת הקצאת קרקע, בעיקר חקלאית?
- מה יש לעשות בתחום התקינה של מערכות PV?
- מה ידוע על תכניות לעידוד PV בעולם ומה ניתן ללמוד מהן לגבי ישראל?
- לאור המשאבים הרבים המושקעים במו"פ PV במדינות מסוימות בעולם, האם יש לעודד מו"פ PV בישראל? האם יש לישראל יתרון יחסי המצדיק זאת?
- האם יש סיכוי לייצור מערכות PV בישראל?

דברי המשתתפים מובאים כאן בסדר בו נשמעו וללא עריכה. בפרק הבא ניתן סיכום ומוצגות מסקנות מדברים אלה.

פרופ' יוסף אפלבוים: ברצוני להתייחס לנושא הכדאיות. מי שמפחד מחוסר כדאיות כלכלית בעתיד ויבחר היום שלא להתקין מערכת – ברור שבעתיד לא תהיה לו. מי שאינו חושש ויתקין, ייתכן שירוויח. יש האומרים שבעתיד לכל וואט-שעה שתייצר יהיה קונה, והחשמל יהיה מוצר בחסר; יהיה מחסור באנרגיה כך שתמיד יהיה שוק. מדינת ישראל נכנסה לנושא מאוחר מדי וסביר שאם אנשים בעולם חשבו קדימה 10 או 20 שנה לפנינו, והגיעו למסקנה שיש עתיד בפרויקטים כאלו, אנו כנראה לא החכמים מכולם, אלא אולי טיפשים שלא נכנסנו מוקדם יותר לתחום הזה.

מייק גרין: מבקש להתייחס לדברי פרופ' פיימן: לגבי הכדאיות – חייבים להסתכל על השוק בצורה הוליסטית. אני שומע הרבה תגובות רגשיות, מהבטן, אך חשוב שנסתכל בצורה מדעית על השוק כפי שהוא, ובפרט על PV כחלק ממשק חשמל עתידי. המחיר היום גבוה אמנם, אך משמעותית זול משהיה לפני שנתיים או שלוש. חשוב לזכור שלא רק המחיר הנוכחי קובע, משום שאנו מתקרבים למצב של מחסור באנרגיה. הדלקים המאובנים (פוסיליים) הולכים ופוחתים, ונכון שכל הזמן מחשבים מחדש את הקץ אבל ברור שמתו שהוא האנרגיה בכל זאת תיגמר. אנו צריכים להשקיל להסתכל על השוק העתידי ועל מקומנו בו. אין לנו ברירה אלא להיכנס לתחום האנרגיות המתחדשות – PV, סולארי תרמי, רוח ועוד. אין צורך להשלוח את עצמנו ולחשוב ש-PV עשוי לשמש לאספקת עומס בסיס (base load). לי ברור שזה לעולם לא יקרה אבל זו אנרגיה שזמינה בעיקר כשצריכים אותה, וניתן לנצל אותה במיוחד כפתרון לשיאי ביקוש. לגבי התקנות על גגות של בתי מגורים – חשוב לזכור שבכל בית יש מקרר ומכשירים אחרים שממשיכים לעבוד גם כאשר אין אף אחד בבית, ואת האמפרים הבודדים הללו אנו מובילים היום מתחנת הכוח אל הבית. כבר בשלב הזה יש יותר הפסדים בקו מאשר צריכה אמיתית, כי יש הפסדים על קו ההולכה שהם יחסיים למרחק. ייצור החשמל בצורה מקומית חוסך הובלה וחוסך ייצור של חשמל מבזבז, כלומר יש לו מקום בשוק העתידי כחלק מסל מגוון של אנרגיות מתחדשות.

בנוסף - לא ניתן להמעיט בחשיבותה של ההתייעלות האנרגטית. אני מאמין שניתן להפחית עד כדי 30% מהצריכה, בעולם מושלם כמובן. בעולם האמיתי אולי נקבל ערכים פחות גבוהים, אבל יש מה לעשות בנושא זה וזה חשוב. אנו חייבים להבין איפה נהיה מבחינת הצריכה הצפויה בעוד 10 או 20 שנה ולחתור לשם.

הערכה של עלות ריאלית למערכות בארץ: מחיר השוק היום לתחנה בינונית ללא השנאה עומד על 12,500-13,500 ₪ לקו"ט מותקן. זה המחיר בשוק עבור תחנות כוח בסדרי גודל של 500 קו"ט ועד 5 מגה-וואט. נגיע ל- grid parity כאשר המחיר ירד ל- 9,000 שקל לקו"ט מותקן הכולל השנאה למתח עליון. המחירים למערכות קטנות יותר, של כ-50 קו"ט דומים למחירי מערכות בינוניות. את המושג של grid parity יש צורך לשפץ. לחשוב שהערך הכספי של קו"ט"ש מ-PV מסתיים בעלות הייצור זו טעות גסה. כפי שהזכרתי, לייצור מקומי יש ערך נוסף של חוסר ההפסדים על קווי התמסורת, יש ערך נוסף של אי ייצור CO₂, יש ערך של מניעת זיהום אוויר ומשמעותו על הבריאות, יש ערך של ייצור מקומי, ועוד ועוד. אני מאמין שאם נחשב את ערך הקו"ט"ש של ייצור ב-PV על כל מרכיביו, נגיע ל grid parity מהר מאוד, אם עדיין לא הגענו.

מבחינת רגולציה ותקנים – אני חבר בוועדה לניסוח התקן הישראלי להתקנות של PV, והייתי רוצה לראות הסתכלות קצת יותר לעומק על נושא הביצועים. עדיין חסרה דרישה להתקנה של רגשי קרינה, אין התייחסות ליעילות המערכת, ונושאים אלה חסרים בתקינה וברגולציה נכון להיום.

ד"ר איברהים יחיא: מקדם הביצוע של המערכת אינו קשור רק לקרינת השמש אלא תלוי באופן משמעותי בתכנון המערכת. אין ספק שיש השפעה משמעותית מאוד ללחות ולטמפרטורה על תפוקת הפנלים, אבל התכנון הוא המרכיב העיקרי. אני עוקב אחרי כ-40 מערכות בכל רחבי הארץ, המבוססות על ייחוס בתפוקה. אני מבצע באופן שוטף חישובי ממוצע על התפוקה וניתן לראות שיש ירידה בתפוקה של כ- 15-20% בין מתקנים סולריים שונים ברחבי הארץ. מרבית המתקנים אשר נבדקו מכילים כמעט אותו ציוד (בעיקר פאנלים וממירים). התוצאה היא שבעל הנכס מפסיד כל שנה 15% בממוצע מ- 1,750 קו"ט"ש לקילוואט-שיא מותקן שאמור היה לקבל למרות שאין שוני בציוד בין המערכות אשר נבדקו. זה אומר שהבעיה הינה בעיקר בפיקוח על תהליך התכנון וההקמה של מתקנים לא מורשים שאין להם הידע והניסיון הדרוש לזה. אני עוקב פיזית אחר מערכות ורואה חברות – כאשר יזם עם כסף מחפש איפה להשקיע, אבל אינו מבין את הטכנולוגיה בה הוא משקיע, הוא לוקח לו יועץ, לא תמיד המקצועי ביותר בתחום, ולפעמים ניתן לראות מצבים שבהם מעתיקים תכניות חשמל מחברות אחרות, ומיישמים אותן, גם אם אין התאמה לדרישות ותנאי השטח. חברת חשמל בודקת למעשה את מה שיוצא מהממיר, אבל מה שקורה בפועל למערכת לא מעניין אף אחד. המידע מוסתר על ידי החברות, אין נתוני ממיר, נתוני זרימה, מידע אודות מספר הפאנלים, וכל זה כדי להסתיר מידע לגבי התפוקה. בנוסף, ספק הממירים בארץ אינו מפרסם את המידע, משום שהפניה אליו אינה מגיעה מגוף רשמי. אני רואה בשטח העתקות שאינן מגובות בשום ידע מקצועי, המשקיע וודאי לא מבין, ובסופו של דבר אנו מוצאים בשטח שגיאות תכנוניות לא מקצועיות לחלוטין. יש לי הצעה, שאולי כדאי היה שתבוא מגוף אקדמי: שיוקם שרת מרכזי, כאשר כל חברה מתקינה תחוייב לשלוח את נתונה לשרת. מידע כזה יועיל מאוד למחקר האקדמי, ויאפשר גם מיון ודירוג של חברות – מי יותר טוב ומי פחות טוב. ניתן להתנות את קבלת הרישיון בהעברת נתונים אלו. אנשים רבים מודדים רק את תפוקת המערכת בפועל, או את הרווח הכלכלי, ולא יודעים לכמה זמן תפוקה זו אמורה להמשך בגלל תקלות עתידיות עקב תכנון לקוי. היום

בפועל כל חברה משדרת ממילא את הנתונים לספק לפי רצונה – ובצורה זאת הוא יכול להחליט מה יעלה לאתר ומה לא.

פרופ' דוד פיימן: אולי צריך לדרוש מחברת החשמל לפרסם את הנתונים האלה? בידיהם כל הנתונים.

עמיצור כפרי : כבר היום אנו אוספים מידע לצורך מחקר – מתחברים למערכות ומשדרים את כל הנתונים. אנו מציעים לחברות להזין את המידע אלינו והוא משמש אותנו למחקר.

עמי אלעזרי: ברצוני להוסיף את נושא ההכשרה המקצועית למתקינים – זה נושא פתוח, נכון להיום. בעבר נערך פרויקט משותף עם משרד התמ"ת הגרמני, במסגרתו הוגדר סילבוס, ונכתבה תכנית הכשרה למתקינים. ישראל הביאה עימה ידע רב שנים וניסיון ממערכות מים חמים, הגרמנים הביאו ניסיון התקנות למערכות PV, ובנינו קורס המקנה בסיומו תעודת הסמכה. למרבה הצער, הפרויקט לא הגיע לכדי מימוש, ואיני יודע לומר מדוע. בגרמניה זה דווקא תפס, והם מכשירים היום מתקינים על פי לפי הקורס הזה, וב ישראל משרד התמ"ת-האגף להכשרה מקצועית לא קידם את זה לכדי יישום.

דן שילה: בנושא זה הייתה ישיבה לפני סוכות (ספטמבר 2010) בניסיון לקדם את הנושא, והוחלט שכן, אבל לא התקדם כלום מאז.

פרופ' יוסי אפלבוים: במקרה שבו המימון ניתן מבנק – הבנק ידרוש חתימה של חשמלאי מוסמך על הצעת העבודה על מנת לתת מימון. עדיין, ההתקנה בפועל תתבצע על ידי אנשים שאין להם הכשרה פורמאלית. זה כבר לא מבוקר על ידי שום גורם מוסמך.

מייק גרין: במערכת PV יש מרכיבים מגוונים - קונסטרוקציה, חשמל, ועוד. היתר הבניה הניתן לקונסטרוקציה חתום על ידי מהנדס. התכנית החשמלית של הפרויקט – תאושר על ידי חשמלאי, אבל הביצוע של המערכת עצמה, בשטח, לא מפוקח על ידי אף אחד.

ד"ר איברהים יחיא: נושא נוסף שיש לתת עליו את הדעת הוא מחזור החיים השלם של הפאנלים הסולאריים ובעיקר אלה המבוססים על השכבות הדקות. מה עושים עם עשרות אלפי פנלים שמגיעים לארץ לאחר השימוש בהם? האם דואגים למחזר אותם בתום חייהם? אנחנו לא חושבים על זה היום, אבל בפאנלים הללו יש מרכיבי קדמיום וחומרים מזיקים נוספים, שאנו חייבים למצוא להם פתרון, למחזר אותם לפי התקן האירופאי או תקן אחר, בסוף חייהם.

בנוסף, אשמח להתייחס לעניין השימוש בחממות פלסטיק – זו טכנולוגיה סביבתית לחלוטין וניתן לממש אותה מבחינה טכנולוגית. היום קיימות בשוק טכנולוגיות של פאנלים סולריים אשר מאפשרות בליעה חלקית של קרני השמש, דבר שיאפשר ניצול כפול לשטח, ייצור חשמל וייצור מזון. אנו במרכז מו"פ המשולש עובדים היום על פיתוח פאנלים המיוצרים מפולימרים על בסיס פלסטיק עם חברת Kunarka (ארה"ב). פאנלים מסוג זה מאפשרים החדרת האור הכחול והירוק לצמיחה דרך הפאנלים בכדי ליצור מזון, ושאר הספקטרום נבלע על ידי הפאנל לייצור חשמל. למרות שתהליך המרת האור בפאנלים הללו אינו יעיל במיוחד ומגיע רק ל- 5% אבל הייצור שלו הוא זול מאוד, דבר שמביא תועלת

לחקלאי בצורה משמעותית. בצורה כזו ניתן יהיה לנצל שטחים ענקיים של חממות בארץ ובעולם כולו לייצור מזון ואנרגיה באותו זמן.

ד"ר יונה סידור : מכהנת כנציגת ישראל ב-IEA במסגרת TASK1 שתפקידו הפצת נתונים מהתקנות PV. אני יכולה להעיד שנכון להיום, אין לנו מושג איזה חלק מהנתונים הקיימים בשטח באמת מגיע אלינו, ועד כמה נתונים אלה אמינים. קשה לקבל נתונים גם מן החברות המתקינות. בשנה שעברה קבלנו נתונים מחברת החשמל. בנוסף, לגבי השאלות לדיון – אני חושבת שנדרש גיוון של מקורות אנרגיה בארץ וחייבים להקים כאן תשתית שיודעת לטפל ולהכניס לרשת החשמל גם אנרגיה שמקורה ב-PV. לנושא הכלכליות של המערכת, אני יכולה לתרום מניסיוני כיזמית פרטית. לאחרונה קיבלתי הצעת מחיר להתקנה של מערכת של 4 קו"ט על גג ביתי. אחדות מהחברות בשוק אינן מעוניינות כלל להגיע לבתים פרטיים. בהמשך להצעות המחיר שקיבלתי ערכתי חישובים, והגעתי למסקנה כי ההשקעה תוחזר תוך 10 שנים, כאשר לצורך חישובי השתמשתי בריבית פריים $(3.5\% + 1.0\%)$. אחד המודלים המקובלים בעולם לעידוד התקנות הוא רכישה של חשמל ירוק. זה מודל הבא לאפשר למי שאין לו גג, ובכל זאת מעוניין לקנות חשמל ירוק דווקא בשל מודעות סביבתית גבוהה, להצטרף להקמה קבוצתית של חווה סולארית. אדם יכול לשלם ולקבל אליו חשמל ירוק, בלי להתקין "ברזלים" על הגג. אנשים שהם "ירוקים תודעתית" יכולים להתעניין בזה, ובצורה כזו מעודדים הקמה של חוות בינוניות באזורי מרכזי האוכלוסייה.

קידום מו"פ בתחום ה-PV בארץ – בוודאי. אם בתחום ההתקנות אנו לא רצים קדימה, כדאי שלפחות נרוץ במו"פ. מכון התקנים צריך להרגיש ולהכיר היטב את השוק, מי מתקין, מי מאשר. אני למשל אינני יודעת אם החברה שקיבלה את פרויקט ההתקנה על גג ביתי יודעת מה היא עושה וגם אין לי שום דרך לבדוק את זה מראש.

עמי אלעזרי : אענה בקצרה על כל אחת מהשאלות שהוכנו מראש למיקוד הדיון :

עלות ריאלית של מערכות PV בישראל כיום היא 13,000-15,000 ₪ לקילו וואט-שיא במערכות של עד 50 קילוואט. המחירים ירדו משמעותית בשנתיים האחרונות. יש היום בשוק כ-150 חברות המתקינות PV, ממש טירוף מערכות.

תמריצים – מוצדקים לדעתי, ואני ממליץ על סל של תמריצים, המבוסס על מה שנהוג בעולם – FIT (Feed-In Tariff) – זהו תמריץ מקובל מאוד כיום בכל רחבי העולם. בארה"ב יש תימרוץ שמגיע עד 65% באמצעות פטור ממס על ההתקנה, כולל אי גבית מס על מכירה של חשמל. בנוסף – rebate – הלקוח מקבל החזר של 50% על עלות ההתקנה אם את עבודת ההתקנה ביצע מתקין מורשה. יש בעולם מגוון רחב של תמריצים ירוקים, ולדעתי כדאי לאמץ את כל סל התמריצים – זה אפשרי וכדאי. הכלכליות של מערכות – החזר השקעה ממוצע הוא של 8 שנים בערך – זה מביא הרבה יזמים להשקעה, כי במצב הכלכלי של היום זה רווחי ובטוח יותר מנדל"ן. המשקיעים אינם מתעניינים בתוכן, אלא רק ברווח הצפוי.

רגולציה – הרגולציה בארץ קשה ולנו, כחברה הפועלת בשטח, קל יותר במקומות אחרים. למרות זאת אני מאמין שהדברים יסתדרו ונגיע למצב טוב יותר. היות ורוב הקרקע במדינת ישראל היא חקלאית

ואישור של הקמת מערכות גדולות על קרקע כזו הוא בעייתי, המערכות שאושרו עד היום קיבלו רישיון מותנה ל- 3 שנים שבסופן הם חייבים לעשות הסבה לשימוש המוגדר של קרקע. בנושא הזה חייבים ליישר קו מול מנהל התכנון הכפרי, וחייבים לעשות בנושא זה סדר. כמו כן אני חושב שכדאי להמליץ להתיר מערכות סולריות על חממות בישראל. כאשר אתה מתקין קטע מכוסה ליד קטע חשוף – זה מאפשר עדיין שימוש חקלאי לחממה, ומעבר לכך יש הרבה חממות שאינן בשימוש עקב המשבר בחקלאות ויכולות לשאת את הפנלים, ולהביא רווח משמעותי לבעליהן.

בנושא התקן אני ממליץ לא להמציא את הגלגל מחדש – יש תקינות בעולם לכל התחומים האלו. הדבר המהיר ביותר הוא לאמץ משהו שקיים ועובד טוב בעולם, ולרוץ קדימה על מנת להדביק פערים שכבר פתחנו.

עידוד השקעות ישראליות ברחבי העולם – חשוב להבין שבעולם מתחילה נסיגה בתחום החשמל הירוק. בספרד למשל קרו שני דברים – צומצמו שעות ההפעלה המותרות לכדי 4 שעות בלבד, ובנוסף הטילו מס על ההכנסות ממכירת חשמל לרשת. צ'כיה עשתה את אותו הדבר ומשקיעי ענק הפסידו את כספם. מבחינת התנאים למשקיעים, חזרו בעצם למצב שהיה ב-2004, וזה גורם לצמצום משמעותי מאוד בהשקעות. ישראל נחשבת אמנם כאור לגויים, אבל אנו ממש לא במקום הזה; אנו מפגרים בנושא PV. למרות זאת, התפיסה והשם של ישראל כמעצמת אנרגית שמש מקובעת כמעט בכל מקום; זה פועל לטובתנו וכדאי לנו מאוד למנף את זה.

ייצור מערכות בישראל – אני חושב שמבחינה עסקית דווקא יש סיכוי, אך אנו חייבים להתרחק מהמערכות המקובלות, ולהתמחות דווקא בדברים המיוחדים. המצב היום היא שההשקעה הנוחה היא במה שקיים ולא טורחים לקדם טכנולוגיות או חברות ישראליות בפיתוח.

לגבי התפיסה שלפיה מערכת ביתית שאני קונה היום היא סינית ועל זה ממשלת ישראל נותנת תמריצים – זה נכון לכל דבר כמעט בשוק הצרכני. 90% מן הפנלים בעולם מיוצרים היום בסין. גם היפנים וגם הגרמנים מייצרים בסין ומשנים את התווית. חייבים לזכור כי הערך המוסף של הפנלים מתוך כלל המערכת הוא היום 40-45% מהעלות בלבד. כל השאר זה הבניה וההנדסה, וכמובן ההתקנה. כל אלו מבוצעים בידיים מקומיות.

ד"ר איברהים יחיא: מדינת ישראל היא הלקוח השלישי בגודלו בעולם בצריכת Si-wafers לתעשיית המוליכים-למחצה. יש הרבה חברות Fabless (ללא ייצור עצמי של שבבים) אשר צורכות את המוצר המוגמר. כאן יש ערך מוסף לנושא הסולארי. אין בעיה טכנולוגית לייצר בישראל את הפאנלים הסולריים ולמכור לשוק המקומי, אבל ברור שכמו בתחומים רבים אחרים, זה לא יעבור את המבחן הכלכלי מול היצרן הסיני.

פרופ' גרשון גרוסמן: מבחינה היסטורית, הראשונים שהנהיגו feed-in tariff היו הגרמנים, והסיבה האמיתית הייתה לקדם את חברת סימנס – שהייתה בזמנו יצרן גרמני משמעותי, שללא הסיוע הזה לא יכול היה כלל להתחרות בסינים. אם יהיה בישראל תמריץ, האם אתם מעריכים שהוא יקדם יצרן ישראלי לעומת זה?

ד"ר שלמה ולד: תמריץ מבדל כזה אינו אפשרי בישראל בגלל הסכמי סחר בינלאומיים. אנו לא יכולים להגביל יבוא. לעידוד כזה היה תקדים בעבר, כאשר הגרמנים עודדו את עסקי השעשועים, על ידי שילוב

של שינוי דעת קהל ושכנוע של הציבור בכך שללכת לאופרה זה חובה. מהצד השני, הכרטיסים לאופרה סובסדו כך שהאזרחים יכלו להרשות זאת לעצמם, במחירים שברור שאינם מעידים על העלות האמיתית של ההפקה.

ד"ר אברהם ארביב: מנצל ההזדמנות להתייעצות בתחום הרגולציה. התחום כולו נמצא כיום בנקודת מפנה, וזה ברור מהעיתונים. אפילו היום (14.2.2011) אנו קוראים בעיתון כי הוקפאו המכסות לחשמל סולארי על ידי משרד האוצר. יש היום מכסה של 200 מגה-ואט במערכות מתחת ל-50 קו"ט, עוד 360 מגה-ואט למערכות מעל 50 מגה-ואט ועד המקסימום שניתן להכניס לרשת החלוקה. בנוסף, עד אתמול הייתה מכסה של 500 מגה-ואט למערכות גדולות (המחוברות לרשת ההולכה) בתעריף שנקבע רק לפני שלושה שבועות. אני הייתי מעורב בהכנסת המכסה הראשונה, כאשר אז דובר על מכסה של 50 מגה-ואט בתעריף שהיה סביב 2 ₪ לקוט"ש (כך שהחזר ההשקעה הצפוי היה בין 8 ל-10 שנים). הכוונה הייתה הבעת אמון בטכנולוגיה, שהאמנו שתוך עשר שנים תוזיל עלויות ותוכל להוות גורם משמעותי במשק החשמל בארץ. זה היה הגיוני בזמנו, אבל אף אחד לא צפה את המשבר כלכלי ואת השפל, שהביא לכך שמחיר המערכות ירד ב-30%. זה הפך את כל הפרויקטים לכלכליים הרבה יותר, ולראיה בשנת 2008 היו שבע חברות בתחום והיום יש יותר מ-60 (שלצערי עלי להודות שרובן אינן מקצועיות). המכסות הוגדלו עוד ועוד, וגם היום יש לחץ להגדלתן. לפי מה שידוע לי כיום, לא יותר מ-50 מגה-ואט הותקנו (מתוך כ-110 מגה-ואט רישיונות שניתנו), כי הבריורקטיה עשתה את שלה והיוותה גורם חוסם. ניתן להכניס מערכות אנרגיה מתחדשת כדאיות יותר, כגון ביומסה ורוח, אבל אין ספק שאנו מתמודדים ביתר קלות עם מערכות PV, מאשר עם תפירה סבוכה של טכנולוגית הפקת אנרגיה מביומסה, שהיא שונה ומיוחדת לכל חומר גלם. אפילו מול התקנה של מערכות רוח בשמורות טבע יש יתרון ל-PV. הממשלה נבהלה (כמו למשל בספרד) מעלויות הצפויות למשק, וזה מה שאנו רואים בהקפאת המכסות על ידי האוצר. לרגולציה בתחום הסולארי יש לא מעט אויבים במספר משרדי ממשלה, והם מנסים למצוא דרך לעצור את המכסות ואפילו לסגת ולצמצם. אני מבקש מכל מי שהנושא יקר לו שימתן את התבטאויותיו כי אנו מנסים לשכנע את הדרג המחליט, ולא ניתן לעשות עכשיו שינוי אסטרטגי. נכון שצריך לתקן ואין ספק שיהיה תיקון, ברגע ש המכסות הנוכחיות ימומשו(עד 2014 ואולי עוד קודם). איני יודע באיזה צורה יבוא התיקון. אנו צריכים ללמוד מהניסיון בחו"ל; למשל בגרמניה יש מכסה "נושמת", אשר נבחנת מחדש כל ששה חודשים והמדינה מחליטה באיזה שיעור להקטין את הסובסידיה בהתאם. אני המלצתי לחייב תוכן מקומי של לפחות 50%, כאשר להערכתי הוא עומד כיום על 15% עד 20%. לשם השוואה - קנדה מחייבת 60%. בנוסף, אם יהיו מכסות נוספות (פרט לתחנות הכוח המתוכננות באמצעות מכרזים), חייבים לזכור כי כאשר יש מחסור בקרקע - המרת קרקע חקלאית יוצרת לחץ בעייתי. יש עוד הרבה גגות שצריך לנצל לפני-כן.

אני צופה שלאחר מילוי המכסות לקראת 2014 ירד התעריף המובטח במהירות לתעריף שישקף לא את העלות של החשמל הפוטוולטאי אלא את השווי שלו למשק. כמה חשמל PV שווה למשק? לדעתי הוא שווה תעו"ז ייצור (ואפשר לקבוע תעריף תלוי עומס וזמן) + פרמיה בגין תועלות חיצוניות + שווי החיסכון ברשת החלוקה (שכיום קשה לאמוד, אבל ערך סביר יהיה כנראה בסביבות 5%, בגלל חיסכון באיבודי הולכה). זה יהיה התעריף. אנו צריכים להתכנס למחיר זה בתום ארבע שנים מסיום המכסות הנוכחיות. נכון שחשמל PV עולה יותר היום, אבל הרעיון של שינוי מתוכנן לתעריף - שיהיה משמעותית גבוה בהתחלה וירד אחר כך, יעודד אנשים להשקיע ויפחית את הסיכון. אם נלך לכיוונים הרצויים הללו

נפחית את הלחץ על הקרקע ונבטיח תשומה מקומית. ברור שסל מקורות האנרגיה חייב להיות מגוון וחייבים לכלול בו אפשרויות טובות יותר מאשר שריפה של דלקים. בכל מקרה, אני חושב שיש להגיע למצב של מחיר חשמל שישקף את שווי ולא את עלותו.

דן שילה: למרות קולות של התלבטות ברחבי העולם – כל זמן שהעמדה הרשמית היא שצריך אנרגיות מתחדשות ואף הוגדר שיעור של 10% עד 2020 במסגרת החלטות ממשלה, חייבים להכיר בעובדה שאנרגית רוח לא תיושם בארץ בהיקף משמעותי, ביומסה גם היא טכנולוגיה בעייתית, ולכן, נותר לנו רק PV. חייבים לזכור את יתרונותיו – הבנקים מכירים את הטכנולוגיה וזה נחשב כבר מוצר סטנדרטי, הרווח מתחלק על פני הרבה יזמים, המערכות הללו מותקנות בכל העולם בצורה גורפת והן כמעט בלעדיות. נכון שיש תמיד סימני שאלה - אולי הוצאנו יותר מדי, ואנו רואים ירידה בהתקנות ואז שוב עליה. זה קורה בכל העולם. המערכת צריכה לגרום לכך שתהיה תעשייה של יזמים שתוכל להביא לכדי מימוש את 10% הנ"ל, כולל את הקצאת הקרקעות.

עלות ריאלית של מערכות PV היא כיום 3.5-4 דולר לואט, כולל כל העלות, ואנו מקווים שבעתיד הקרוב יצליחו לרדת למחיר נמוך זה. הצפי לעתיד הוא שתהיה עוד ירידה מתחת ל 3 דולר לואט. צריך למצוא את התעריף המתאים, ולייצב את המערכת, להימנע מזעזועים כל הזמן, משום שזהו הגורם לבעיות בהמשכיות עבודת היזמים. הרגולציה בארץ היא מהחמורות שיש בעולם, וכך היה מאז ומעולם. בתאילנד יש רשות מרכזית אחת, איתה מסכמים את כל הפרטים ויוצאים לדרך. בישראל אתה מקבל רישיון מותנה, אינך יכול להיות בטוח שתצליח להגיע לכדי מימוש, והתוצאה היא שמגישים פי שלוש הצעות מהמכסה הקיימת לתחנות כוח בינוניות, כאשר לא ברור כמה מתוך זה באמת יצא לפועל - אולי מחצית מהמכסה.

מינהל מקרקעי ישראל רואה את התחנות הללו כיעד לאומי, ובהתאם ערכו סקר על קרקעות פנויות בנגב ועובדים יום ולילה על מנת להוציא מכרז ולשווק אותן. המינהל מראש מגביל קרקע חקלאית באזור המרכז – ואינו מאשר אותה לשימוש. יחד עם זאת, יש בנגב קיבוצים המחזיקים קרקע שנקראת קרקע חקלאית אבל למעשה זהו מדבר שלא גדל עליו כלום. במקרים כאלו כדאי אולי לחשוב על הסבה. דוגמא נוספת היא קציעות שהוזכר קודם - הצבא עוד לא החזיר פורמאלית את הקרקע, והמינהל כבר אישר שאין בעיה להעבירה לשימוש תחנות כוח. יש שטחים שניתן לאשר מיידית לשימוש, כגון מאגרי מים או מכרות (קרקעות שכבר הופרעו ולא יגרם להן נזק נוסף).

אנו חייבים לנצל את הכוחות המדעיים שקיימים בארץ - ולמנף אותם לעבודות ייעוץ בחו"ל. יש המון עבודה בחו"ל. אני מאמין שזה הפוטנציאל הבינלאומי. בנוסף, יש חשיבות רבה להמשכיות ומדיניות הזיג-זג הלא עקבית הורסת את הענף. חברות רציניות מחזיקות כוח אדם על בסיס קבוע, וקשה לשמור על קביעות ומקצועיות כאשר כל יומיים יש הודעות סותרות ואי וודאות. חייבת להיות מדיניות עקבית.

פרופ' גרשון גרוסמן: כל מה שבנוי על תמריצים ולא על שוק חופשי - זה גורלו .

עמיצור כפרי: אני מגיע מתחום החקלאות, ועוסק באנרגיה בשנתיים האחרונות, הן כספק והן כלקוח. המצב היום הוא כזה שאנו רואים בשוק התקנות לא מקצועיות, החישובים לגבי התועלות אינם מדויקים ומבוססים וכמובן אינם מתממשים, ומעבר לכך, כיום בעמק יזרעאל כבר גובים ארנונה

ממערכות כאלה, ועל אדמות חקלאיות בצפון אסור להתקין מערכות- משום שזה יעלה המון כסף גם למתקין, גם לחח"י.

נושא נוסף שהייתי רוצה להעלות הוא הנושא הימי. השקענו שנה וחצי בתכנון של פרויקט ימי, וכעת נראה שאולי לא תהיה מכסה. במערכת ימית העלות של הפנלים זניחה – כל שאר מרכיבי המערכת - מצופים וכוי הם מתוצרת כחול לבן, ודווקא עכשיו נראה שביטלו את המכסות וכל העבודה לריק. עוד נושא שחייבים לתת עליו דגש הוא האיכות. אם איכות המערכות ירודה – לא נצליח לעולם להגיע ליעילות הנדרשת. בנוסף – ניקיון: אנו עורכים בימים אלו ניסוי משולב של ניקוי פנלים בפריסה ארצית מרמת הגולן ועד הדרום. אנו רואים ירידה של 6-10% ביעילות המערכות תוך שלושה שבועות בלבד בגלל אבק. נכון להיום לא קיימת טכנולוגיה של ניקוי. באירופה הנושא הזה אינו מטופל משום שיש ימים רבים של גשם והמערכות נשטפות מאליהן. לנו אין גשם, וחייבים לחשוב על זה ולקדם פתרונות לנושא הזה.

פרופ' גרשון גרוסמן: לנושא האיכות – אני חושב שזהו מצב טבעי כאשר יש בשוק מוצרים מכל הסוגים והצרכן צריך להפעיל שיקול דעת, ולבחור מה לקנות. במה זה שונה במערכות PV?

עמי אלעזרי: במקרה של מערכות PV חשוב יותר לבחור את הקבלן הנכון – ההתקנה צריכה להיות נכונה ומקצועית.

מייק גרין: אני לא מסכים. אם אני מכניס חשמל לרשת חשמל לאומית, הוא חייב להיות בעל איכות מסוימת, ומותאם לרשת הכללית, לכן אין להסכים למערכות באיכות ירודה. המערכות חייבות להיות מסונכרנות נכון לתוך רשת החשמל בלי לגרום לתופעות של הפרעה.

רון נזר: במערכת הביתית, אני דווקא חושב שזה צריך להיות פתוח לחלוטין לבחירת הלקוח. יש שבועות לקנות יקר ויש שבועות לקנות זול. בנקודת החלטה של היזם – האם הוא מאמין באמינות המערכת לאורך זמן או לא? אני חושב שדווקא יש מקום לשונות בשוק. היזם קיבל זכאות להזרים לרשת – במידה ויקים מערכת שלא תעמוד בדרישות הסף - הבעיה היא שלו. ברור שהוא חייב להיות איכותי, אבל כל עוד הוא מייצר חשמל, הוא יקבל תמורה. אני למשל ממליץ לא לנקות את הפנלים; אני חושב שזה לא משמעותי.

ד"ר שלמה ולד: כסף ציבורי אכן דורש הקפדה אבל כסף פרטי – זו החלטה אישית.

פרופ' דוד פיימן: יצרנים של מערכות PV ושל חלקים שלהן וקבלנים רשאים להתפרנס, והדרך היחידה שזה יקרה בטכנולוגיה הנוכחית היא במסגרת תמריצים. על הממשלות להחליט האם זה ראוי או לא בתחום של PV. הלקוח והמשקיע צריך לקחת בחשבון שאולי ממשלה עתידית תבטל את התמריץ או אולי המערכת לא תמשיך לעבוד לאורך כל התקופה, והרבה קבלנים יותר צעירים בשוק אולי לא חשבו על זה.

אם לא נשקיע הון תועפות ונקצה שטחים אדירים, כמות החשמל שנצליח לייצר ממערכות PV תהיה זניחה לגמרי. אני מזכיר שאנו צריכים תוספת של 1000MW כל שנה רק כדי לכסות את הגידול בדרישה

לייצור החשמל. התמריצים חייבים להיות מוקצים לא על פי מה שעושים בעולם או מה כדאי במדינות אחרות – אלא למה זה טוב ולמי זה טוב בארץ.

בהתייחס לדברי פרופ' אפלבויס, שהדגים מרכיבי סימולציות שונים אבל השתמש בטרמינולוגיה "מדויק יותר או פחות", חשוב לי לציין שיש הרבה סימולציות, ואפילו טובות וכולן נותנות תשובות שונות כי הרבה מרכיבים בסימולציות הם מאוד פתוחים ואין תשובה ברורה, למשל על התלות של ביצועי המערכת בספקטרום הקרינה. בקווי הרוחב של הארץ ראינו שזה לא משמעותי. בקנדה וכו' זה משמעותי מאוד. התלות בהערכה נותנת קירוב של המודל הדיפוזיבי והמורכב. זה נותן הערכה טובה בנגב ופחות באזור חיפה. אי ודאויות אלו גורמות למצב שבו שלוש סימולציות שונות נותנות תוצאות שונות. אני מציע את המילה "יותר מורכבות" במקום "יותר מדויקות".

בהתייחס לדברי מייק גרין, התייחסתי להפסדים כתוצאה מאי התאמה (miss match), כאשר יש פנל אחד בתוך הסוללה שהוא בעל ביצועים פחות טובים המיקום שלו משמעותי.

במצגת של ארצות רצועת השמש הוזכר פוטנציאל ה-PV במדינות השונות בגיגה-וואטים. הגרפים אינם מראים את הכמות ביחס לביקוש הכולל. זה יכול להביא למצב שבו למרות שזה נראה הרבה – זה טוב אולי לתעשיית ה-PV, אבל לא ברור שזה טוב לפלנטה. ההשוואה במחירים לטורבינות גז – חשוב לזכור שטורבינות כאלו הן יקרות משמעותית בהפעלה משום שהן ניתנות להדלקה ולכבוי כל הזמן ויש להן בלאי גדול, ולאו דווקא בגלל הדלק. ה-PV צריך להחליף את עומס הבסיס, וזה אפשרי, הראינו את זה במחקר. ניתן לספק 90% של החשמל העתידי של המדינה, עם אחסון מתאים (לא דיברנו על מחיר), והשאר בטורבינות גז.

בהתייחס לדברי רון נזר, בקשר לארכיטקטים ולתכנון מוקדם: חשוב לציין גם שבארץ לא ניתן להשתמש בחזית הבניין למערכות PV עקב זווית השמש; בצפון אירופה כן. אני באופן אישי תכננתי בביתי גג כך שיום אחד אוכל לשים עליו מערכת פוטו-וולטאית והבית יהיה כולו סולרי. אני בטוח שהייתי עושה זאת גם ללא תמריצים אילו זה היה נותן לי עצמאות מחברת החשמל אבל לפי התקן לממירים היום, אני לא יכול להשתמש במערכת PV כשיש הפסקת חשמל.

נחזור עוד רגע למספרים וננסה להבין את המשמעות - עד שנת 2020 תגיע צריכת החשמל בישראל לכדי 80 TWh לשנה. שר התשתיות התחייב ל-10% אנרגיות מתחדשות עד שנת 2020. אם קו גידול הביקוש הזה יישאר בעינו, והוא כזה כבר 20 שנה, זה ידרוש התקנה של 2 TWh לשנה. הדרך היחידה להגיע אל היעד היא שינוי הקו באופן דרסטי.

בנוגע לייצור wafers – אם התעשייה לא מצאה עד היום שזה כלכלי – לא נראה לי שהכמות המעטה הנדרשת היא מה שיהפוך את הכף. מתוך wafer של 10X10 ס"מ אפשר לייצר כ-1 וואט; ולעומת זאת ניתן לייצר 1 Terabyte של זיכרון. ברור מה יותר כדאי.

קורסים למתקנינים הם קריטיים לדעתי. בנושא חשמל ובטיחות חייבים תו תקן. לא ניתן להשאיר הדברים בידי החובבנים.

ד"ר שלמה ולד: ישראל צריכה להקפיד על ביטחון אנרגטי ולגוון את תמהיל הדלקים. מקורות מתחדשים יש לנו בפוטנציאל סופי ומוגבל – המירב שנוכל להפיק מוערך ב-75 TWh לשנה. פוטנציאל הרוח מוגבל מאוד - 2-4 גיגה-וואט, ובמצב הזה חייבים למצות את הפוטנציאל. אם לא נקפיד לפתח בצורה משמעותית את המקורות הללו עד שנת 2050 הם לא ישחקו תפקיד במשק החשמל. לכן חייבים

למצות את הפוטנציאל ולאפשר לאנרגיה המתחדשת לתפוס מקום משמעותי. חייבים להכניס אותה בשנים הקרובות וכמה שיותר מהר. נוכל להתחיל מביומסה ורוח, ואילו ב-PV יש לנו בעיה.

אני נגד תמריצים ותעריף מועדף, וגם נגד מכסות PV על בתים פרטיים. זה אינו בר-קיימא. זה מייצר חברות שמעסיקות אנשים וכשהמכסה תיגמר אנו נישאר עם אבטלה ומירמור. צריך לאמוד את הערך האמיתי, אשר בתוכו משוקללת התועלת למשק – כמה שווה למשק לקיים את השוק הזה. לתעריף מסוג זה יש יציבות והוא צריך להתעדכן כל הזמן, ואז לא יהיה צורך במכסות. יש כאן עיוות נוסף בגלל הסתכלות של משרד האוצר על פרויקטים מהסוג הזה כהשקעה הונית עם פחת של 5 שנים. ראיה כזו פוגעת בפרויקטים ומביאה עמה הוצאות מימון בלתי נתפסות. הוצאה הונית או מתמשכת היא תפיסה מיושנת. אילו היה פחת מואץ והיית מקבל מיד את החזר ההון זה היה משפר את העסק מיד. האנרגיה הסולרית נחשבת סיכון, אינני מבין למה. אם גם המימון הנותר היה באחוזים סבירים, וידוע שתמיד יצטרכו את החשמל – בשוק שבו אחוזי הריבית יהיו נמוכים וסבירים, נוכל לבטל את שיטת המכסות ולתת תעריפים נכונים. זה היה מאפשר שוק נכון וחופשי ללא הרס המשק.

מיקום PV – על הגגות הפרטיים יש פחות מ-10 מ"ר לאדם. זה שטח שאינו מספק ונזכור שאנו רוצים גם מים חמים ואנטנות. ברור שזה מעט מאד; מקסימום נרוויח שנתיים של גידול בצריכה של היום. גגות אחרים – חייבים לנצל. שימוש בשטחים מופרים גם הוא חייב להיות. חניונים, רפתות ועוד – חייבים לעשות בהם שימוש מייד, ללא הגבלת מכסות. הייתי רוצה להגיע למצב שבו עד שנת 2040 ימוצה הפוטנציאל הקיים, כלומר, 75 TWh. זה מותנה כמובן ביכולת אגירה. אם לא נשקיע בזה, הפוטנציאל לא יתממש. גם שינוי סדר העמסה מותנה באגירה, וחייבים לפתח את זה. מכאן אני מסיק כי יש להשקיע מו"פ באגירה. ייצור מערכות זהו שוק, שמי שמתאים לשוק ישגשג, ואם תהיה הצדקה כלכלית למיחזור או ייצור wafers בארץ – אדרבא.

המחיר האמיתי של PV – אם ניתן את מחירו האמיתי אולי לא יהיו כלל מערכות מותקנות בארץ. אם המדינה רוצה להיות שחקן בשוק הזה ולהכין את המשק לשילוב ברמה גבוהה, עלינו לסבסד את המכסה עד הסוף, ולהשקיע את כל הכסף במקום בתמריצים, אותם ניתן רק בכמות מוגבלת, במו"פ על מנת להיות שחקן משמעותי בשוק העולמי, ולא להגיע למצב שבו יתקינו פאנל סיני בכל בית. אין שום סיבה שדווקא PV יהיה עכשיו והיום בכמות כה גדולה.

רון נזר: עוד במאה ה-18 אמר הפילוסוף והכלכלן אדם סמית (ציטוט חפשי): צריך לקנות כל דבר במקום בו מחירו הכי זול, ולמכור את מה שאנו עושים הכי טוב. אינני חושב שהשיקול של איפה מיוצר הפאנל הוא משמעותי. מכסה הוא דבר רע, כי יוצרת בהלה לזהב. לעומת זאת קביעת תעריף ארוך טווח מושך את היזמים לשוק וזה מביא אחריו את המו"פ והייצור. זהו שילוב יעדים – ביטחון אנרגטי, איכות סביבה, יצירת שוק מקומי ועידוד יזם מקומי, שאולי ישקיע במו"פ או יעבוד גם בחו"ל. התעשייה גדלה וזה מה שאנו רואים לנגד עינינו כיום. אם התעריף יהיה נמוך יותר וארוך טווח זה יאפשר תעשייה בת קיימא.

אני נגד רגולציה ותקנים. השוק הוא חופשי ונוצרת מיומנות ונוצרים בעלי מקצוע, הלקוחות אינם טיפשים ובעיני דווקא יש הרבה מקום לזממות ופתרונות חדשים וייחודיים. על איכות החשמל אסור להתפשר, אבל איך מיצרים את החשמל הזה – אל לרגולטור להתערב. כשיש קיבוע של רגולציה זה יוצר נזקים, ורק מפריע להתפתחות הטבעית של השוק, וראינו את זה כשהכניסו את התקן האוסטרלי

לממירים, שאילץ את כולם להחליף מערכות וכו'. עכשיו אנו ניצבים שוב בפני הפרעה חיצונית, כאשר חברת החשמל רוצה רשימת פאנלים מאושרים. זה לא מאפשר ליזם וללקוח הסופי לבחור משהו אחר, שהוא אולי מכיר או קיבל עליו המלצות ומגביל את השוק. במצב הזה חברה שיש לה פטנט חדש לא תוכל לחדור ולהצטרף לשוק. היצרנים הכי חדשניים אינם מעוניינים להעביר מידע לחברת חשמל כדי שלא ידליפו למתחרים. יש ביקורת על הפרויקט וזה בסדר, אבל לקבע תקן מסוים, שהניסיון מראה שהוא אחר כך נשאר איתנו למשך שנים עד שהופך מיושן ולא רלוונטי זה לא נכון, בפרט בתחום כזה, שמשתנה כל הזמן. דוגמא לכך היא שוק דודי השמש, שבארץ מיוצרים בטכנולוגיה מיושנת על פי תקן שנקבע מזמן, ובשאר העולם יש שיטות הרבה יותר מתקדמות.

Eicke Weber מן המכון הגרמני Fraunhofer Institute for Solar Energy Research אמר בהרצאה שנשא לפני כשבוע: כל הכפלה של מספר מערכות PV המותקנות יוצרת ירידת מחירן ב-22%. אין להמעט בחשיבות יצירת השוק, אבל השקעה ישירות במו"פ או השקעה בטכנולוגיה מסוימת תוך לקיחת הימור לגבי עתידה – זה הימור בכספי ציבור, כאשר מהמרים על טכנולוגיה במקום ליצור את השוק ולתת לשוק לעשות העבודה באופן טבעי.

ד"ר שלמה ולד: לדעתי אתה טועה כי ישראל היא שוק קטן וגם הגדלה שלו פי 2 או 3 לא תהיה משמעותית ולא תראה השפעה על המחירים. השקעה בחברה כזו או אחרת יכולה כן לעשות שינוי משמעותי, כי אם החברה תצליח להביא לפריצת דרך זו יכולה להוות נקודת מפנה. בכל מקרה האנרגיה המתחדשת לא תמחק לחלוטין את האנרגיה הפוסילית. צריך להשקיע דווקא בהתייעלות אנרגטית ולא להשקיע בכל פנל על גג. אני חושב שתקן הוא חובה – מכשירים מסוג זה לא יכולים להיות מותקנים ללא תקינה מתאימה ואכיפה של התקן.

משה אוהיון: אני רוצה רק לחדד את הבעיה המרכזית כפי שאני רואה אותה – והיא חוסר בשטחים. זאת בהשוואה לגרמניה שם יש 10 גיגה-וואט מותקנים, מתוכם 80% במתח נמוך – על גבי חניות, בתים וכו'.

ד"ר אופירה אילון: אני חושבת כי המפתח נעוץ בקידום שימושים דואליים לקרקעות – קירווי או כיסוי של מאגרי מים וקולחים למשל, זהו סוג של פרויקטים בעלי תועלת כפולה – הן בהיבטים של התאמה (Adaptation) לשינויי אקלים (מניעת התאיידות), והן בניצול השטח להפקת אנרגיה נקייה והפחתת פליטות (Mitigation). אנו חייבים ללמוד למדוד את התועלת הצומחת משני הגורמים הללו יחד, ולתמחר את הפרויקטים ואת התועלת למשק בהתאם.

פרק 5: סיכום והמלצות

מספר המערכות הפוטוולטאיות מחוברות-רשת שהותקנו בישראל במגזר הביתי והמסחרי הולך וגדל בהתמדה, מאז הונהג לראשונה תעריף ההזנה ב-2008. סך ההתקנות עומד היום על כ-50 מגה-ואט-שיא, מתוך כ-110 מגה-ואט-שיא להם הוענקו רישיונות. כ-60 חברות פועלות בארץ בתחום זה; למרבה הצער לא כולן מקצועיות. התחום חדש בארץ, אין תקינה מחייבת, וקיים מחסור ברגולציה ובהכשרת כוח אדם מיומן.

עלות המערכות הפוטוולטאיות ירדה במידה ניכרת בשנתיים האחרונות (יש אומרים – עקב המשבר הכלכלי בעולם) ועומדת היום בישראל על 13,000 – 15,000 ₪ לקילוואט-שיא מותקן (למערכות של 50 קילוואט). במקביל ירד גם התעריף שעמד מלכתחילה על 2.01 ₪ לקוט"ש וערכו כיום 1.67 ₪ לקוט"ש. מערכת PV מייצרת בממוצע ארצי כ-1760 קוט"ש לשנה לקילוואט-שיא. בהתאם לכך, עומד זמן החזר ההשקעה על כ-8 שנים, ונחשב לאטרקטיבי בהשוואה להשקעות בעלות רמת סיכון דומה, כגון נדל"ן. רישיון התקנה נושא עימו התחייבות לרכישת החשמל המיוצר למשך 20 שנה. בעתיד, חשמל ובעיקר חשמל ירוק יהיה מוצר בחסר וסביר להניח כי לכל ואט-שעה שיוצר יהיה קונה. מי שלא יתקין היום לא יהיה לו מחר.

יש צורך להסתכל על שוק האנרגיה המתחדשת, ובפרט על PV, כחלק ממשק חשמל עתידי. לא רק המחיר הנוכחי הגבוה קובע, כי אנו מתקרבים למצב של מחסור באנרגיה. יחד עם זאת, העלות לקוט"ש מ-PV היום אינו לוקח בחשבון את כל רכיבי התועלת שלו: CO₂, זיהום אוויר, עלות הבריאות ועוד, וכאשר מוסיפים גורמים אלה, ה"מחיר" יורד. אנרגית PV זמינה בעיקר כשצריכים אותה, וניתן לנצל אותה במיוחד כפתרון לשיאי ביקוש. לגבי התקנות על גגות של בתי מגורים – בכל בית יש מקרר ומכשירים אחרים שממשיכים לעבוד גם כאשר אין איש בבית, ואת האמפרים הבודדים הללו מובילים היום מתחנת הכוח אל הבית, תוך כדי יותר בזבוז מאשר צריכה אמיתית, עקב הפסדי ההולכה. ייצור החשמל בצורה מקומית חוסך הובלה וחוסך ייצור של חשמל מבזבז - יש לו מקום בשוק העתידי כחלק מסל מגוון של אנרגיות מתחדשות.

שאלה מעניינת שעלתה במהלך הדיונים היא: האם טכנולוגית PV היא בכלל ירוקה, במובן הגלובאלי? יש לקחת בחשבון שהפאנלים מגיעים מסין, שם הם מיוצרים בצריכת אנרגיה רבה ולא מעט מזהמת.

המלצות:

תקינה ורגולציה: נכון להיום אין בישראל תקינה מחייבת בנושא PV. מכון התקנים פועל לתיקון המצב, תוך אימוץ של תקנים זרים במקום שניתן, כדי לזרז את התהליך. יש הטוענים כי מערכת PV המכניסה חשמל לרשת הלאומית חייבת להיות איכותית ומותאמת לרשת הכללית, ומכאן ההצדקה לדרוש ואף לכפות עמידה בתקן. לעומתם יש אומרים כי אין להתפשר על איכות החשמל המיוצר, אך מאידך אין לכפות עמידה בתקנים על מערכות PV עצמן. כמו בתחומים אחרים - אין ספק שתקינה היא הכרחית, על מנת לבדל מערכות איכותיות שתקבלנה תו תקן ממערכות נחותות ללא תו תקן, כדי שהלקוח ידע מה הוא קונה.

דרישה לתוכן ותשומות מקומיות: מערכות PV מחוברות-רשת זוכות לסבסוד משמעותי מכספי משלם המסים. במדינה כמו ישראל, בה אין תעשיית PV מקומית, הסבסוד מגיע לידי היבואנים ודרכם ליצרני המערכות, בעיקר בסין. מומלץ לדרוש ואף לחייב תוכן ותשומות מקומיות בכל התקנה. דעות משתתפי הפורום חלוקות באשר לאחוז מעלות המערכות שיש לקבוע. לשם השוואה - קנדה מחייבת 60% תוכן מקומי.

תכנון: על מנת להבטיח את ההכנסה המתוכננת ממערכת כלשהי, קטנה או גדולה, יש לתכנן בכלי סימולציה, לבצע בדיקת קבלה, להתקין מדי קרינה וטמפרטורה, ולהשתמש במערכת הניטור למעקב יומי, שבועי או אחר.

הכשרת מתקינים: אין היום בישראל דרישה להכשרת מתקינים. במערכת PV יש מרכיבים מגוונים - קונסטרוקציה, חשמל, ועוד. היתר הבניה הניתן לקונסטרוקציה חתום על ידי מהנדס, התכנית החשמלית של הפרויקט – תאושר על ידי חשמלאי, אבל הביצוע של המערכת עצמה, בשטח, לא מפקח על ידי אף אחד. מומלץ לחייב הכשרת מתקינים ומתכננים ולפתוח קורסים.

בנק או מוסד פיננסי אחר המממן התקנת מערכת PV ינהג בתבונה אם ידרוש שהמערכת תותקן ע"י מתקין מוסמך.

מידע טכני: חלק גדול מן החברות המתקינות נמנעות במכוון מגילוי פרטי ההתקנה: אין נתוני ממיר, נתוני זרימה, מידע אודות מספר הפאנלים, וכל זאת כדי להסתיר מידע לגבי התפוקה. חברת החשמל בודקת את החשמל שיוצא מהממיר, אבל מה שקורה בפועל במערכת אינו ידוע. ספק הממירים בארץ אינו מפרסם את המידע, משום שהפניה אליו אינה מגיעה מגוף רשמי. התוצאה היא התקנות לא מקצועיות לחלוטין.

מומלץ להקים שרת מרכזי, שכל חברה מתקינה תחוייב לשלוח את נתוניו אליו. מידע כזה יועיל מאוד למחקר האקדמי, ויאפשר גם מיון ודירוג של חברות – מי יותר ומי פחות טוב. ניתן להתנות את קבלת הרישיון בהעברת נתונים אלו.

מיחזור: יש לתת את הדעת על מחזור החיים השלם של הפאנלים. מה עושים עם עשרות אלפי פאנלים לאחר השימוש? בפאנלים הללו יש מרכיבי קדמיום וחומרים מזיקים נוספים, שחייבים למצוא להם פתרון, מיחזור או אחר, בתום חייהם.

הקצאת קרקע: על הגגות הפרטיים יש פחות מ-10 מ"ר לאדם - זה שטח שאינו מספק. חייבים לנצל גגות אחרים – חניונים, רפתות ועוד - ללא הגבלת מכסות. יש להתיר גם שימוש בשטחים מופרים, ובשטחי מדבר הנחשבים לקרקע חקלאית אך אין סיכוי שישמשו לחקלאות עקב המחסור במים. כמו כן מומלץ להתיר מערכות סולריות על חממות בישראל. כאשר מתקינים קטע מכוסה ליד קטע חשוף – זה מאפשר עדיין שימוש חקלאי לחממה.

מכסות למערכות הזוכות לתעריף המיוחד

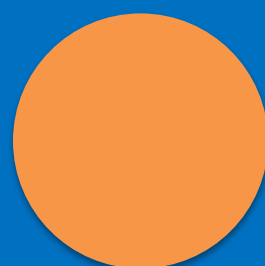
חלק ממשנתפי הפורום הביעו דעה נגד מכסות ל- PV בתעריף מועדף על בתים פרטיים. זה מייצר חברות שמעסיקות אנשים וכשהמכסה תיגמר נישאר עם אבטלה ומירמור. צריך לאמוד את הערך האמיתי, אשר בתוכו משוקללת התועלת למשק. לתעריף מסוג זה יש יציבות והוא צריך להתעדכן כל הזמן, ואז לא יהיה צורך במכסות.

מדיניות עקבית: ה"זיגזגים" הורגים את הענף. צריך למצוא את התעריף המתאים, ולייצב את המערכת, להימנע מזעזועים כל הזמן, משום שזהו הגורם לבעיות בהמשכיות עבודת היזמים. הרגולציה בארץ היא מהחמורות שיש בעולם. בתאילנד, למשל, יש רשות מרכזית אחת, איתה מסכמים את כל הפרטים ויוצאים לדרך. בישראל אתה מקבל רישיון מותנה, אינך יכול להיות בטוח שתצליח להגיע לכדי מימושו, והתוצאה היא שמגישים פי שלושה הצעות מהמכסה הקיימת, כאשר לא ברור כמה מתוך זה באמת יצא לפועל - אולי מחצית מהמכסה.

פעולות מומלצות להסרת החסמים כוללות: הסברה ציבורית, פישוט וקיצור תהליך קבלת ההיתרים, הקצאת מכסה ארוכת טווח לפרויקטים חדשים, תעריף גבוה לטווח קצר ומחויבות לדרישות תכנון.

נספח 1 – תכנית פורום אנרגיה : מערכות פוטו וולטאיות מחוברות-רשת למגזר הביתי והמסחרי

	פתיחה	:13:10-13:00
	פרופ' דוד פיימן, מכון בלאושטיין, שדה בוקר :	:13:20-13:10
Distributed PV: Energy contributions, space requirements, costs and benefits		
	פרופ' יוסף אפלבוים, אוניברסיטת ת"א:	:13:30-13:20
השפעת תנאי הסביבה על הספק המוצא של תאי שמש		
	מר מייק גרין, Arava Power Company:	:13:40-13:30
קביעת היעילות של מערכת PV בזמן אמת		
Drs. Miriam and Perry Levon, the Levon Group LLC:		:13:50-13:40
Scenarios for Solar PV Development in Sun-Rich Countries		
	מר רון נזר, אינטרדן בע"מ:	:14:00-13:50
חסמים ליישום רחב היקף של מערכות PV על בתים פרטיים		
	מר עמי אלעזרי, מילניום אלקטריק בע"מ:	:14:10-14:00
יצור והתקנת מערכות PV תרמיות מסחריות מחוברות-רשת בישראל וניסוי קוגנרציה		
	מר דן שילה, PV Experts:	:14:20-14:10
ניסיונה של חברת ייעוץ בתחום מערכות פוטו-וולטאיות מחוברות-רשת		
	הפסקה	:15:00-14:20
		:17:00-15:00
דיון פתוח, תוך התמקדות בשאלות הבאות :		
<ul style="list-style-type: none"> • מהי עלות ריאלית של מערכות PV בארץ ומהו הצפי לעתיד? • האם התמריצים מטעם המדינה הניתנים היום למערכות PV מוצדקים? אילו תמריצים (אולי אחרים) דרושים? • מהי הכלכליות של מערכות PV (גם במסגרת התמריצים) מנקודת מבטו של היזם? • איזו רגולציה מטעם המדינה דרושה למערכות PV? • איזו מדיניות ראוי לאמץ מבחינת הקצאת קרקע, בעיקר חקלאית? • מה יש לעשות בתחום התקינה של מערכות PV? • מה ידוע על תכניות לעידוד PV בעולם ומה ניתן ללמוד מהן לגבי ישראל? • לאור המשאבים הרבים המושקעים במו"פ PV במדינות מסוימות בעולם, האם יש לעודד מו"פ PV בישראל? האם יש לישראל יתרון יחסי המצדיק זאת? • האם יש סיכוי לייצור מערכות PV בישראל? 		
	סיום	:17:00



מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל
טל. 04-8292329, פקס 04-8231889
קרית הטכניון, חיפה 32000
www.neaman.org.il