



# חשמל מאנרגיה סולארית בישראל



סיכום והמלצות דיון פורום האנרגיה מס' 30



## אודות מוסד שמואל נאמן

מוסד שמואל נאמן שהוקם בטכניון בשנת 1978 ביוזמת מר שמואל (סם) נאמן והוא פועל להטמעת חזונו לקידומה המדעי-טכנולוגי, כלכלי וחברתי של מדינת ישראל.

מוסד שמואל נאמן הוא מכון מחקר המתמקד בהתווית מדיניות לאומית בנושאי מדע וטכנולוגיה, תעשייה, חינוך והשכלה גבוהה, תשתיות פיזיות, סביבה ואנרגיה ובנושאים נוספים בעלי חשיבות לחוסנה הלאומי של ישראל בהם המוסד תורם תרומה ייחודית. במוסד מבוצעים מחקרי מדיניות וסקירות, שמסקנותיהם והמלצותיהם משמשים את מקבלי החלטות במשק על רבדיו השונים. מחקרי המדיניות נעשים בידי צוותים נבחרים מהאקדמיה, מהטכניון ומוסדות אחרים ומהתעשייה. לצוותים נבחרים האנשים המתאימים, בעלי כישורים והישגים מוכרים במקצועם. במקרים רבים העבודה נעשית תוך שיתוף פעולה עם משרדים ממשלתיים ובמקרים אחרים היוזמה באה ממוסד שמואל נאמן וללא שיתוף ישיר של משרד ממשלתי. בנושאי התווית מדיניות לאומית שעניינה מדע, טכנולוגיה והשכלה גבוהה נחשב מוסד שמואל נאמן כמוסד למחקרי מדיניות המוביל בישראל.

עד כה ביצע מוסד שמואל נאמן מאות מחקרי מדיניות וסקירות המשמשים מקבלי החלטות ואנשי מקצוע במשק ובממשל. סקירת הפרויקטים השונים שבוצעו במוסד מוצגת באתר האינטרנט של המוסד. בנוסף מוסד שמואל נאמן מסייע בפרויקטים לאומיים דוגמת המאגדים של משרד התמי"ס - מגני"ט בתחומים: ננוטכנולוגיות, תקשורת, אופטיקה, רפואה, כימיה, אנרגיה, איכות סביבה ופרויקטים אחרים בעלי חשיבות חברתית לאומית. מוסד שמואל נאמן מארגן גם ימי עיון מקיפים בתחומי העניין אותם הוא מוביל.

יו"ר מוסד שמואל נאמן הוא פרופ' זאב תדמור וכמנכ"ל מכהן פרופ' עמרי רנד.

כתובת המוסד: מוסד שמואל נאמן, קרית הטכניון, חיפה 32000

טלפון: 04-8292329, פקס: 04-8120273

כתובת דוא"ל: [info@neaman.org.il](mailto:info@neaman.org.il)

כתובת אתר האינטרנט: [www.neaman.org.il](http://www.neaman.org.il)

# חשמל מאנרגיה סולארית בישראל

סיכום והמלצות דיון

פורום האנרגיה של מוסד שמואל נאמן

הטכניון

מיום 24.12.2013

נערך ע"י:

פרופ' גרשון גרוסמן

עידן ליבס

מרץ 2014

---

אין לשכפל כל חלק מפרסום זה ללא רשות מראש ובכתב ממוסד שמואל נאמן מלבד לצורך ציטוט של קטעים קצרים במאמרי סקירה ופרסומים דומים תוך ציון מפורש של המקור.

הדעות והמסקנות המובאות בפרסום זה הן על דעת המחברים ואינן משקפות בהכרח את דעת מוסד שמואל נאמן.



## רשימת משתתפי הפרום:

פרופ'	אילון	אופירה	מוסד שמואל נאמן
מר	אגמון	עודד	הרשות לשירותים ציבוריים - חשמל
מר	אילן	נועם	Capital Nature
מר	אפשטיין	מיכאל	מכון וייצמן
ד"ר	ארביב	אברהם	מכללת אפקה להנדסה
מר	בית-הזבדי	אדי	משרד התשתיות הלאומיות
מר	בר	נבות	שיכון ובינוי בע"מ
פרופ'	גרוסמן	גרשון	הפקולטה להנדסת מכונות, הטכניון, ומוסד שמואל נאמן
מר	גרין	מייק	M.G. Lightning Electrical Engineering
מר	וולקר	גלעד	ברנמילר אנרגיה
מר	זהר	יובל	משרד האנרגיה - מינהל החשמל
מר	ליבס	עידן	מוסד שמואל נאמן
מר	מירון	גיורא	תברת החשמל לישראל
מר	מנדלברג	אלי	HelioFocus
ד"ר	ניב	יהודה	משרד האנרגיה והמים - ראש מינהל החשמל
ד"ר	פישר	אורי	יועץ – אנרגיות מתחדשות
מר	פרנס	איתן	איגוד חברות אנרגיה ירוקה לישראל
מר	קינן	גבי	AGGER-Energetics
מר	קרויזר	ישראל	BrightSource
פרופ'	קריבוס	אברהם	אוניברסיטת תל אביב
מר	שגיא	דן	רותם תעשיות בע"מ
מר	שוגרמן	חמי	שיכון ובינוי בע"מ
מר	תמרי	אלון	סולר פאוור בע"מ

## הבעת תודה

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



## תוכן העניינים

### עמוד

1	תקציר מנהלים
3	פרק 1 : הקדמה
4	פרק 2 : רקע
5	פרק 3 : מידע בנושא : חשמל מאנרגיה סולארית בישראל
18	פרק 4 : דיון
27	פרק 5 : סיכום ומסקנות
28	פרק 6 : רשימת מקורות

### **נספחים**

נספח 1 : תכנית פורום אנרגיה : חשמל מאנרגיה סולארית בישראל, 24.12.2013





## תקציר מנהלים

בשנים האחרונות מסתמנת נטייה ברורה בעולם להגביר את ייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות ולצמצם את הייצור ממקורות קונבנציונאליים כגון דלקים מאובנים, וזאת מסיבות מובנות – הירידה בעתודות ועליית המחיר של דלקים מאובנים, והזיהום הסביבתי הנלווה לשימוש בהם. לפי תחזית ה-US-EIA (Outlook 2013) יגיע ייצור החשמל העולמי מאנרגיה מתחדשת בשנת 2040 לכ-25% מכלל ייצור החשמל בעולם; זאת בהשוואה ל-21.7% בשנת 2012. רוב הכמות הזו מקורה במתקנים הידרואלקטריים, אך ישנה עליה ברורה בנתח השוק העולמי ממקורות של אנרגיות מתחדשות שאינן הידרואלקטריות (שמש, רוח, ביומסה / ביוגז, גאותרמי ועוד) מ-5.1% בשנת 2012 לתחזית של כ-9% בשנת 2040. תחזיות הגידול עבור מדינות ה-OECD לבדן דומה לתחזית הגלובלית, עם הגדלה מסוימת של קטע האנרגיות המתחדשות למיניהן.

ישראל עושה גם היא מאמצים בכוון זה. למרות גידול בייצור החשמל מאנרגיה מתחדשת - פי 3 מאז שנת 2010, היקף ייצור החשמל ממקורות אלה הוא עדיין חלק מזערי מכלל החשמל המיוצר במשק. ב-2012 שיעור האנרגיה המתחדשת בייצור חשמל עמד על 0.7% המייצגים כ-400 מיליון קוט"ש, מתוך סה"כ כ-57 מיליארד קוט"ש צריכה כללית של המשק.

ב-2009 החליטה ממשלת ישראל על יעד 10-20%: 10% מכלל החשמל בשנת 2020 ייוצר מאנרגיות מתחדשות, וכן יעד ביניים של 5% בשנת 2014. במסגרת זו, יצא לדרך מכרז אשלים, בשיטת BOT, להקמת שתי תחנות תרמו-סולאריות בהספק של כ-120MW כל אחת, ולצדן תחנה פוטוולטאית בהספק של 30MW. מעבר לכך, מדיניות התמיכה הממשלתית בהקמת מתקנים לייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת מתבטאת בעיקר בקביעת מכסות והסמכת רשות החשמל לקבוע תעריפי הזנה, כפי שהדבר נעשה במדינות אחרות בעולם. הרצון לצמצם את העלות המשקית העודפת הנגרמת כתוצאה מעלויות החשמל המיוצר ממקורות של אנרגיות מתחדשות, הביא להקמתה של הועדה לבחינת התועלת הכלכלית של אנרגיות מתחדשות (ועדת קנדל).

עם הירידה הניכרת במחירי הפנלים הפוטוולטאיים בעולם בשנים האחרונות, קיימת נטייה לשנות את ייעודם של פרויקטים שתוכננו לקום בטכנולוגיה תרמו-סולארית לטכנולוגית PV. אחד הנושאים החשובים לדיון בהקשר זה הוא התועלות הנלוות למתקנים תרמו-סולאריים, המאפשרים שילוב פתרונות של אגירת אנרגיה והפעלה בשיטה היברידיית (אספקת חום משריפת דלק בשעות של קרינת שמש נמוכה או אפסית), מה שאינו אפשרי בטכנולוגיית ה-PV.

מבין מקורות האנרגיה המתחדשת, השמש היא בעלת הפוטנציאל הגדול ביותר בישראל. חברות ישראליות היו והינן חלוצות בפיתוח טכנולוגיות לייצור חשמל מאנרגיית השמש, עיקרו במקטע התרמו-סולארי. אחד הנושאים שחזר ועלה בדיוני הפורום הוא ההשוואה של הטכנולוגיה התרמו-סולארית לעומת הפוטוולטאית. במצב הנוכחי PV יותר זול, ואולי מחירו ירד עוד יותר, אך לתרמו-סולארי יש תועלות נלוות שאין להתעלם מהן: יכולת אגירה המשפרת dispatchability; ואפשרות הפעלה היברידיית. בנוסף – הטכנולוגיה התרמו-סולארי היא טכנולוגיה ישראלית, ויש לתת משקל לתוכן מקומי.

## המלצות:

1. מומלץ להרחיב את תחומי המו"פ הישראלי בכל תחומי הטכנולוגיה הסולארית - התרמית, הפוטו-וולטאית וטכנולוגיית אגירה של אנרגיה תרמית וחשמלית. מתקן משולב עתידי של ייצור חשמל מאנרגיה סולארית ואגירתו באופן המאפשר dispatchability, ובמחיר שהוא בר תחרות מול ייצור חשמל קונבנציונאלי, יגרום למהפכה של ממש במשקי החשמל בעולם כולו.
2. מומלץ להרחיב את תחומי המו"פ הישראלי לכלול טכנולוגיות ושיטות לקליטת אנרגיה פוטו-וולטאית מרשתות חלוקה באחוזים גדולים בלי להפריע ליציבות הרשת, בעוד מועד.
3. בהתייחס לדו"ח הוועדה לבחינת התועלת הכלכלית של אנרגיות מתחדשות (ועדת קנדל) יש להביא בחשבון עלויות מיוחדות הכרוכות בשילוב אנרגיה מתחדשת ושלא נלקחו בחשבון בתחשיבי הוועדה, וביניהן למשל עלויות גיבוי בגין הקמת מתקני אגירה שאובה, עלות בגין הולכה וחלוקה ועלות בגין שימוש מוגבר בצריכת קרקע. סיכום התועלות למשק החשמל מאנרגיה מתחדשת יעודכן בהתאם.
4. מומלץ לדרוש מיצרנים חדשים יכולת אגירה, כפי שנעשה לאחרונה בקליפורניה ובגרמניה. כך יתאפשר ניצול עודף החשמל ממקורות לא רציפים (intermittent). בהקשר זה צריך לחשוב מה יקרה אצלנו עם ריבוי יצרנים קטנים ללא בקרה.
5. מומלץ לכנס דיון מומחים לבחינת הפוטנציאל של היברידיזציה.

## 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 הדרן בנושא: חשמל מאנרגיה סולארית בישראל, התקיים ב-24 בדצמבר 2013 בטכניון. השתתפו בו מומחים בתחום מהיבטיו השונים, וכן נציגים של הממסד הממשלתי והציבורי. המשתתפים בפורום, שנבחרו בקפידה עקב מומחיותם, מהווים, ללא ספק, קבוצה ייחודית ובעלת ידע מקצועי ראשון במעלה בתחום משק האנרגיה בכלל, ובנושא חשמל מאנרגיה סולארית בפרט.

בחלקו הראשון של המפגש הציגו חלק מן המשתתפים מצגות בנושא הדיון על היבטיו השונים. מצגות המשתתפים אשר אושרו על ידם לפרסום נמצאות באתר מוסד שמואל 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 מכלול השיקולים והפעולות הנדרשות על מנת לבחון את האפשרויות השונות לגבי חשמל מאנרגיה סולארית בישראל.

## פרק 2: רקע

בשנים האחרונות מסתמנת נטייה ברורה, בעולם כולו, להגביר את ייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות ולצמצם את הייצור ממקורות קונבנציונאליים כגון דלקים מאובנים, וזאת מסיבות מובנות – הירידה בעתודות ועליית המחיר של דלקים מאובנים, והזיהום הסביבתי הנלווה לשימוש בהם. לפי תחזית ה-US-EIA (Outlook 2013) יגיע ייצור החשמל העולמי מאנרגיה מתחדשת בשנת 2040 לכ-25% מכלל הייצור החשמל בעולם; זאת בהשוואה ל-21.7% בשנת 2012. רוב הכמות הזו מקורה במתקנים הידרואלקטריים, אך ישנה עליה ברורה בנתח השוק העולמי ממקורות של אנרגיות מתחדשות שאינן הידרואלקטריות (שמש, רוח, ביומסה / ביוגז, גאותרמי ועוד) מ-5.1% בשנת 2012 לתחזית של כ-9% בשנת 2040. תחזיות הגידול עבור מדינות ה-OECD לבדן דומה לתחזית הגלובלית, עם הגדלה מסוימת של קטע האנרגיות המתחדשות למיניהן.

ישראל עושה גם היא מאמצים בכוון זה ובהיותה חברה ב-OECD שואפת להישגים דומים. למרות גידול בייצור החשמל מאנרגיה מתחדשת - פי 3 מאז שנת 2010, היקף ייצור החשמל ממקורות אלה הוא עדיין חלק מזערי מכלל החשמל המיוצר במשק. ב-2012 שיעור האנרגיה המתחדשת בייצור חשמל עמד על 0.7% המייצגים כ-400 מיליון קוט"ש, מתוך סה"כ כ-57 מיליארד קוט"ש צריכה כללית של המשק.

ב-2009 החליטה ממשלת ישראל על יעד 20-10: 10% מכלל החשמל בשנת 2020 ייוצר מאנרגיות מתחדשות, וכן יעד ביניים של 5% בשנת 2014. במסגרת זו, יצא לדרך מכרז אשלים, בשיטת BOT, להקמת שתי תחנות תרמו-סולאריות בהספק של כ-120MW כל אחת, ולצדן תחנה פוטוולטאית בהספק של 30MW. מעבר לכך, מדיניות התמיכה הממשלתית בהקמת מתקנים לייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת מתבטאת בעיקר בקביעת מכסות והסמכת רשות החשמל לקבוע תעריפי הזנה, כפי שהדבר נעשה במדינות אחרות בעולם. הרצון לצמצם את העלות המשקית העודפת הנגרמת כתוצאה מעלויות החשמל המיוצר ממקורות של אנרגיות מתחדשות, הביא להקמתה של הועדה לבחינת התועלת הכלכלית של אנרגיות מתחדשות (ועדת קנדל) [1].

עם הירידה הניכרת במחירי הפנלים הפוטוולטאיים בעולם בשנים האחרונות, קיימת נטייה לשנות את ייעודם של פרויקטים שתוכננו לקום בטכנולוגיה תרמו-סולארית לטכנולוגית PV. אחד הנושאים החשובים לדיון בהקשר זה הוא התועלות הנלוות למתקנים תרמו-סולאריים, המאפשרים שילוב פתרונות של אגירת אנרגיה והפעלה בשיטה היברידי (אספקת חום משריפת דלק בשעות של קרינת שמש נמוכה או אפסית), מה שאינו אפשרי בטכנולוגיית ה-PV.

### פרק 3: מידע בנושא: חשמל מאנרגיה סולארית בישראל

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 שמואל נאמן (<http://www.neaman.org.il>). מטבע הדברים, קיימת חפיפה מסוימת בין הדוברים השונים, אולם עורכי הדו"ח החליטו להביאם כאן כפי שהוצגו ובאותו הסדר (ראה תכנית הפרוסם בנספח 1). מידע זה חשוב ומהווה בחלקו בסיס לדיון הפתוח שהתקיים לאחר מכן, כפי שמובא בפרק 4.

#### יובל זהר, מינהל החשמל, משרד התשתיות, האנרגיה והמים הסטטוס הנוכחי של שוק האנרגיות המתחדשות בישראל, בדגש על אנרגיה סולארית

היעד העיקרי בתחום זה הוא יעד שנקבע בהחלטת ממשלה ולפיו 10% מייצור החשמל בישראל ייעשה ממקורות של אנרגיות מתחדשות בשנת 2020. יעד הביניים עומד על 5% בשנת 2014. היות שהשוק אינו מתפתח בצורה לינארית על ציר הזמן, ניתן להעריך נכון לעכשיו שיעד זה יושג רק במהלך שנת 2016 או 2017, בדרך להשגת היעד העיקרי בשנת 2020. יעד חשוב נוסף הוא יעד של התייעלות אנרגטית שמשמעותו צמצום של 20% מצריכת החשמל הצפויה בשנת 2020. זהו יעד מערכתי חוצה מגזרים ומתייחס לכלל הסקטורים במשק, וקיימת תכנית לאומית להתייעלות אנרגטית שנועדה לקדם השגת יעד זה (כולל היבטים של חינוך הצרכנים, מתן תמריצים ופעילויות שונות). המדיניות המקורית של משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים להשגת היעד של 10% מתייחסת ל-2010-2020 מתייחסת ל-10% ייצור חשמל ממקורות של אנרגיות מתחדשות, הנגזרים מתחזית ביקוש לחשמל של כ-64 טרה-וואט שעה בשנת 2020, וזאת בכפוף לעמידה ביעד התייעלות האנרגטית.

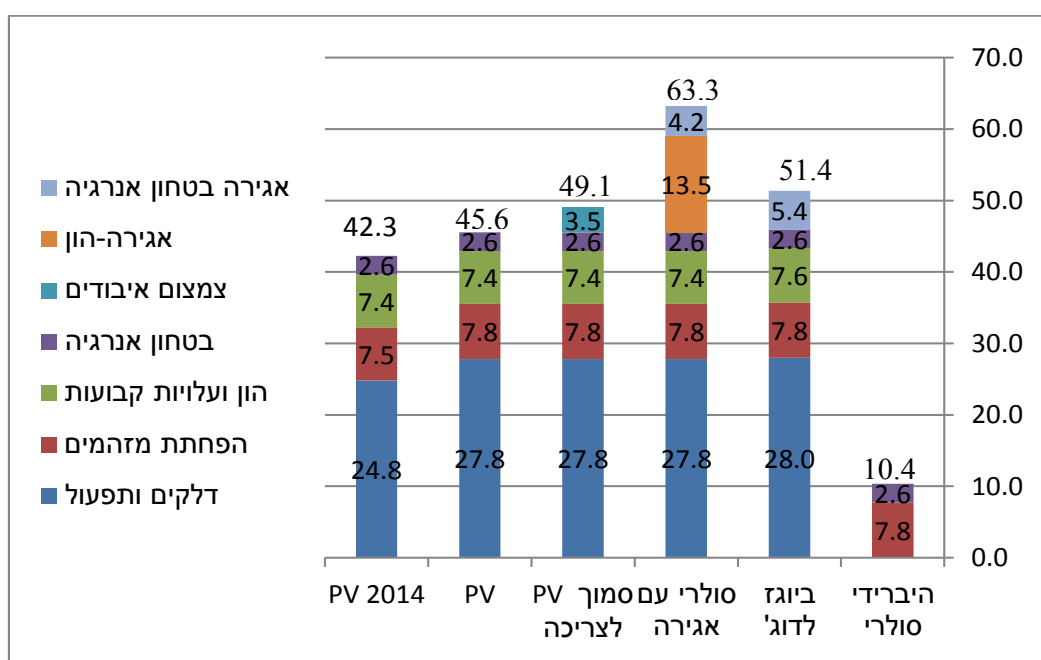
מימוש היעדים הוא דו-שלבי – שלב א' עד סוף 2014 ושלב ב' בשנים 2015 - 2020. ההערכה היא, שעד לסוף העשור יידרשו כ-2,700-3,000 MW הספק מותקן של מערכות באנרגיות מתחדשות על מנת לעמוד ביעד העיקרי.

מרכיב הסובסידיות שמקבלים היזמים משפיע על תעריף החשמל לצרכן, עקב עלויות משקיות עודפות בסדרי גודל של כמה מיליארדי שקלים (הכוונה לעלויות המתפרסות על פני 20 שנה). לכן הקימה הממשלה את הוועדה לבחינת התועלת הכלכלית של אנרגיות מתחדשות (ועדת קנדל), שהעריכה את התועלות למשק החשמל הנובעות ממתקני אנרגיות מתחדשות ב-42.3 אג' עד 63.3 אג' לקוט"ש, בהתאמה לסוגי הטכנולוגיות שבחנה הוועדה. עם זאת, לטעמנו הוועדה לא לקחה בחשבון עלויות מיוחדות נוספות הנובעות משילוב אנרגיות מתחדשות במשק החשמל- ביניהן למשל עלויות גיבוי בגין הקמת מתקני אגירה שאובה, אך לא רק.

המתקנים התרמו-סולאריים בעולם, חלקם בעלי יכולת אגירת אנרגיה, אך בינתיים טרם הוקמו בישראל מתקנים כאלו (אחד בתכנון). באשר להקמה של מתקני אגירה שאובה, מקובל בעולם להתייחס לשיעור של הקמת מתקנים כאמור בהספק מותקן השקול לכ-20% מההספק המותקן של האנרגיות המתחדשות. מטרת מתקני האגירה השאובה בהקשר זה נועדה לגיבוי של בעיות אי-רציפות (Intermittency) שמאפיינות את אספקת החשמל מאנרגיות מתחדשות סולאריות ו/או

ממתקני רוח, כלומר ההנחה היא שכל 1 קוט"ש אגירה שאובה אמור לגבות 5 קוט"ש שמיוצר ממקורות של אנרגיות מתחדשות. בישראל מתוכננים כיום שני מתקני אגירה שאובה. מבחינת רשת ההולכה, עד היום הרשת נבנתה בהתאמה להספקים הגדולים פי 2 לעומת ההספק הנצרך – בשל ביקושי השיא. עם כניסת המתקנים הסולאריים, יהיה צורך להתאים את הרשת להיקפים גדולים יותר.

איור 1: סיכום תועלות (באג') למשק החשמל לקוט"ש למתקן (לפי וועדת קנדל)



למרות הגידול בייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות - פי 3 מאז שנת 2010, היקף ייצור החשמל ממקורות אלה הוא עדין חלק מזערי מכלל צריכת החשמל במשק. ב-2012 שיעור ייצור החשמל ממקורות של אנרגיות מתחדשות עמד על 0.7% שהם 400 מיליון קוט"ש, מתוך סה"כ 57.17 טרה-וואט שעה שהיוו את הצריכה הכללית של המשק.

איור 2: היקף ייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות

שנה	ייצור החשמל באנרגיות מתחדשות (במיליוני קוט"ש)	צריכה כללית של המשק (TWH)	שיעור ייצור חשמל באנרגיות מתחדשות
2010	122	51.94	0.23%
2011	216	53.07	0.41%
2012	400	57.17	0.70%

התימרוץ והעידוד הממשלתי לשוק האנרגיות המתחדשות ניתנים במספר ערוצים ובעיקר באמצעות מכסות ומכרזים שעליהם מחליטה הממשלה, תעריפי הזנה (FIT) שאותם קובעת רשות

החשמל, התחייבות רכישה ל-20 שנה מצד חברת החשמל, וכן קיימים מסלולי עידוד מו"פ כגון הקצאת 50MW למתקני חלוץ עם התחייבות תעריפית ל-20 שנה.

### איור 3: סטטוס מכסות ומכרזים

<u>מכרזים / זיכיונות (MW)</u>	<u>מכסות (MW)*</u>	<u>טכנולוגיה</u>
	800	טורבינות רוח
	210	ביו-גז / ביו-מסה
	310	PV קטן
60	300	PV בינוני
60 + 30	200	PV גדול
240		Thermo-Solar
	50	מתקני חלוץ
<b>390</b>	<b>2,070</b>	<b>סה"כ הספק (MW)</b>

\* בנוסף, קיים הסדר "מונה-נטו" - מכסה תעריפית של 400MW לצריכה עצמית במגננון קיזוז מול חברת החשמל.

### איור 4: סטטוס המתקנים המחוברים לרשת החשמל (נכון לדצמבר 2013)

<u>מתקנים מחוברים*</u> <u>לרשת החשמל (MW)</u>	<u>סגירה פיננסית</u> <u>(MW)</u>	<u>מכסות + מכרזים</u> <u>(MW)</u>	<u>טכנולוגיה</u>
7	-	-	הידרו-אלקטרי
6	-	800	טורבינות רוח
11	-	210	ביו-גז / ביו-מסה
243	NA	310	PV קטן (עד 50KW)
88	253 + 16	360	PV בינוני (50KW-10MW)
-	182 + 30	290	PV גדול
-	-	440	Thermo-Solar
-	-	50	מתקני חלוץ
<b>355</b>	<b>465</b>	<b>2,460</b>	<b>סה"כ הספק (MW)</b>

\* כ- 24MW מתקני רוח, הידרו וביו-גז, מחוברים לרשת החשמל עוד לפני ההחלטות על הסדרת השוק במיכסות ותעריפי הזנה

מתוך מכסה של 310MW ל-PV (Photovoltaic) "קטן" מחוברים כיום לרשת החשמל 243MW. בשבוע שעבר אושרה סגירה פיננסית של מתקן ה-PV בפרויקט אשלים (30MW).

האתגרים העיקריים בשוק האנרגיות המתחדשות: עדכון המדיניות בתחום זה לשם עמידה ביעדים שהוגדרו, התאמת רשת החשמל לקליטת החשמל ממקורות של האנרגיות המתחדשות והתמודדות עם העלות המשקית העודפת. כמו כן, מעקב אחר ההתפתחויות בעולם ולימוד משווקי אנרגיות במדינות אחרות. במישור הטכנולוגי יש לקדם פתרונות של אגירת אנרגיה שיסייעו לפתור את בעיית חוסר היציבות ממקורות סולאריים ורוח.

טעימה מתחזיות בינלאומיות: תחזיות ה-US- EIA (Outlook 2013) צופות נתח שוק עולמי בייצור חשמל של 25% מאנרגיות מתחדשות ב-2040 כולל ממקורות הידרו-אלקטריים. בנטרול מתקני ההידרו, נתח השוק החזוי של כל שאר האנרגיות המתחדשות עומד על כ-9%. במדינות ה-OECD צפוי נתח השוק של האנרגיות המתחדשות להגיע לכ-13% (ללא מתקני הידרו) בשנת 2040. ברזולוציה של מתקנים סולאריים בלבד, התחזית לגבי מדינות ה-OECD מדברת על כ-3.7% הספק מותקן ממתקנים סולאריים בשנת 2020, ו-4.85% ב-2040 (הספק מותקן, להבדיל משיעור ייצור החשמל ממתקנים סולאריים במדינות ה-OECD שהוא כמובן נמוך יותר).

**פרופ' אופירה אילון, מוסד שמואל נאמן (מצגת שהוכנה בשיתוף עם ד"ר מרים וד"ר פרי לב-און, קבוצת לב-און, קליפורניה)**

### **Current Developments in Solar Energy Production in California**

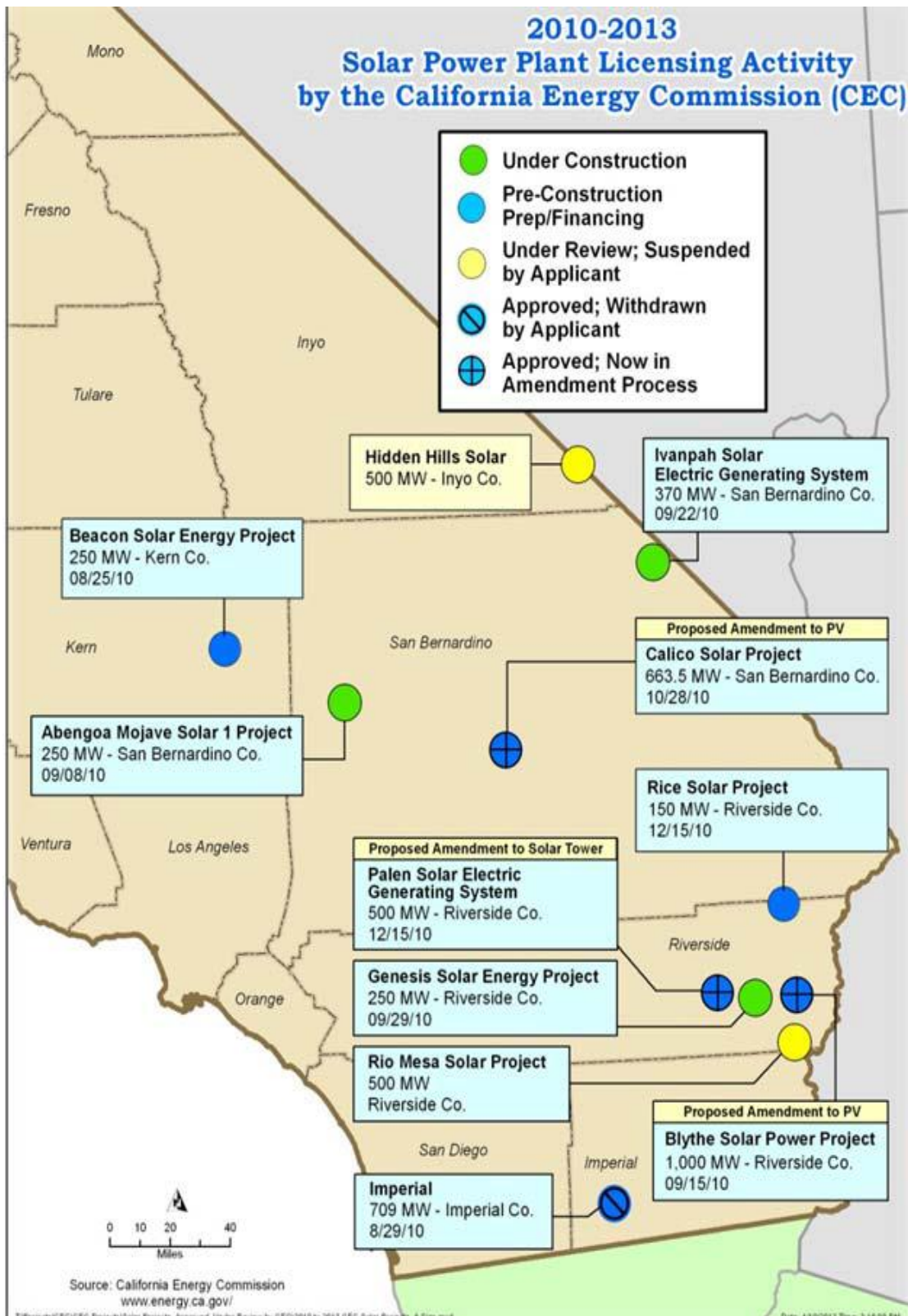
המושג החדש של קליפורניה נכנס לתפקידו עם הדרישה שכל ספק חשמל (utility) יספק 33% מהחשמל הנמכר על-ידו ממקורות מתחדשים עד 2020. לא מוכתב מהו המקור המתחדש ואין העדפה ל-PV או תרמו-סולארי, ובלבד שיעמדו בדרישה הנ"ל. עם זאת, חשוב להדגיש שיש גם יעד של 12,000MW של מתקנים מבוזרים.

שיא הביקוש לחשמל בקליפורניה עומד על 65,000 מגה-וואט. בבחינה של הצריכה בעונות שונות של השנה רואים שיש פחות צריכת אנרגיה סולארית בחודשי החורף. אחת הסיבות לכך היא שהחימום נעשה לרוב ע"י גז.

איור 5 מתאר פרויקטים סולאריים בשלבי רישוי והקמה שונים. הפרויקטים המסומנים ב-(+) הם פרויקטים שתוכננו לקום בטכנולוגיה תרמו-סולארית, אך לאור ירידת המחירים שינו את ייעודם ל-PV:

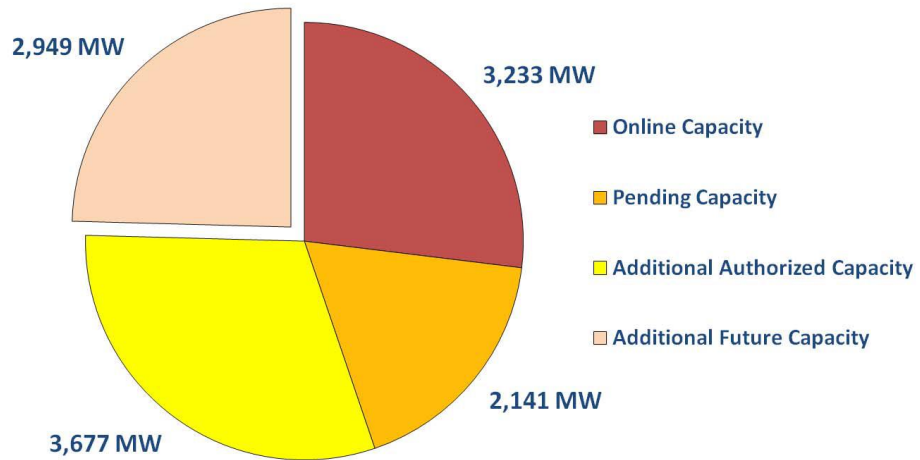


איור 5: פרויקטים סולאריים בקליפורניה



ההתקדמות לקראת עמידה ביעדי המערכות המבוזרות מוצגת באיור 6 :

איור 6: פילוג מערכות חשמל מבוזרות בקליפורניה



מקור: California Energy Commission, May 2013

על מנת לעמוד ביעדים, מקודם נושא הביזור והתקנת מערכות PV על גגות מבני ציבור. היעד עומד על 2,500MW (מתוך היעד הכללי של 12,000MW) עד שנת 2020. פרויקטים בהיקף של כ-70MW כבר נמצאים בהקמה.

העלות של קוט"ש בקליפורניה היא 21 סנט לקוט"ש, כאשר מי שהצריכה שלו נמוכה יותר יכול לקבל הנחה ומי שצורך יותר- משלם יותר. איור 7 מציג את תעריפי ייצור החשמל הסולארי. התעריפים הם בערכים נומינליים, ולכן קיימת עלייה בתעריף עם השנים. אין הבדל בתעריפים בין לתרמו-סולארי, ואין הבדלים גם בתהליכי הסטטוטוריים – ההבדלים המשמעותיים באישורים נובעים באם החיבור הוא במתח גבוה או לא. ישנו גם מתווה של מסלול מהיר לרישוי של מתקנים קטנים, אשר כרגע מורחב עד ל-20MW. המטרה בקליפורניה היא להפסיק לייבא חשמל ממדינות סמוכות שמייצרות חשמל מדלקים פוסיליים.

**איור 7: תעריפי החשמל מייצור סולארי בקליפורניה**

Adopted 2011 Market Price Referents (Nominal - dollars/kWh)				
Contract Start Date	10-Year	15-Year	20-Year	25-Year
2012	0.07688	0.08353	0.08956	0.09274
2013	0.08103	0.08775	0.09375	0.09695
2014	0.08454	0.09151	0.09756	0.10081
2015	0.08804	0.09520	0.10132	0.10464
2016	0.09156	0.09883	0.10509	0.10848
2017	0.09488	0.10223	0.10859	0.11206
2018	0.09831	0.10570	0.11218	0.11572
2019	0.10186	0.10928	0.11587	0.11946
2020	0.10550	0.11296	0.11965	0.12326

לגבי חוכמת הרשת, קיימת מינהלת California ISO האחראית על ניהול החשמל ברמה הסיטונאית וניתובו לצרכנים. בשטח רואים ירידה של מחירי ה-PV, ירידה שגררה מעבר מחשמל תרמו-סולארי ל-PV.

**אלון תמרי, מנכ"ל משותף, סולארפאוור**

**PV בישראל - דיווחים מהשטח**

לפי הנעשה בשוק המקומי, הפעילות בתחום התקנת מערכות PV מתאפיינת בחוסר יציבות והמשכיות. המשמעות לכך היא שהעוסקים בתחום סובלים מחוסר יכולת להבין האם ניתן לבצע פרויקטים. חברות רבות בתחום התמוטטו – השוק במצב די קטסטרופלי.

במערכות (בינוניות) שקבלו אישור והותקנו היום, התחילו לתכנן את הפרויקט ב-2008-2009 – לפני כארבע שנים. ישנן מכסות, אך לא מממשים אותן.

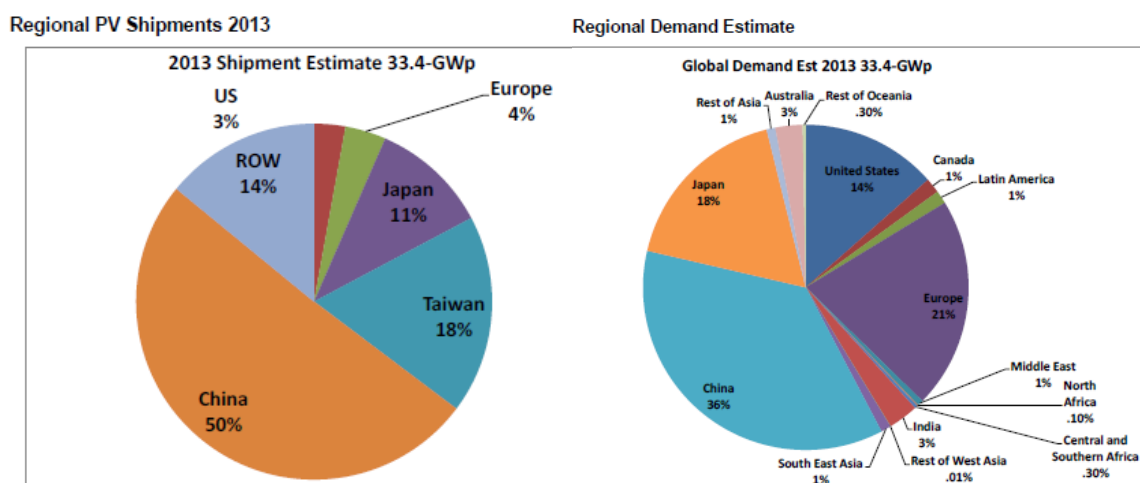
אין היום כלכליות להקים מערכות ביתיות, לכן אין פעילות בתחום המסחרי והביתי והשוק הזה למעשה נעלם. ההסדרה המסחרית התמוססה לפני כשנה. נוצרו ברשות החשמל מנגנונים למכרזים, שבזבוזו לשוק כשנה וחצי. כל המערכות שאינן בהיקף של מאות קילוואט ומעלה נעלמו. הסדרת מונה נטו – במכסה של 400MW – נותנת מוטיבציה נהדרת, אך גם כאן היו עיכובים ורק כעת יוצאים לדרך עם פרויקטים. מתוך 200 החיבורים שהוקצו ל-2013, רק בודדים בוצעו.

בהסדרת מונה נטו – עוברת חצי שנה מאז ההחלטה ועד הביצוע של מערכת בפועל. מה שקורה הוא שההסדרה מסתיימת לפני שאפשר לסיים פרויקט בפועל. תהליך האישורים מול חח"י מסורבל, וישנן גם בעיות מימון עקב כך שהסדרה זו לא מאפשרת שיעבוד בנקאי ע"י הגורם המממן. בחודשיים האחרונים השוק התחיל לעבוד, מתחילים למצוא מנגנוני מימון. כרגע יש מספר קטן מאוד של מערכות מחוברות, וכמה עשרות פרויקטים בתהליכי התקנה. הספקי המערכות הוא מספר מאות קילוואטים, כלומר צרכנים מסוג מסוים – בעלי שטח ניכר, עם צריכה מהותית ממנה ניתן לקזז את הייצור. הצרכנים הם בעיקר קיבוצים ומפעלים (מדובר על גגות בלבד).

להערכתי, בשנה הבאה בהסדרה זו יוקמו 60-80 MW. מספר זה יכול להיות מוכפל אם יפתרו סוגיות המימון והאישורים המתאימים.

איור 8 מראה איפה מייצרים ואיפה צורכים טכנולוגיה סולארית (PV):

### איור 8: התקנות לעומת ביקוש למערכות פוטוולטאיות

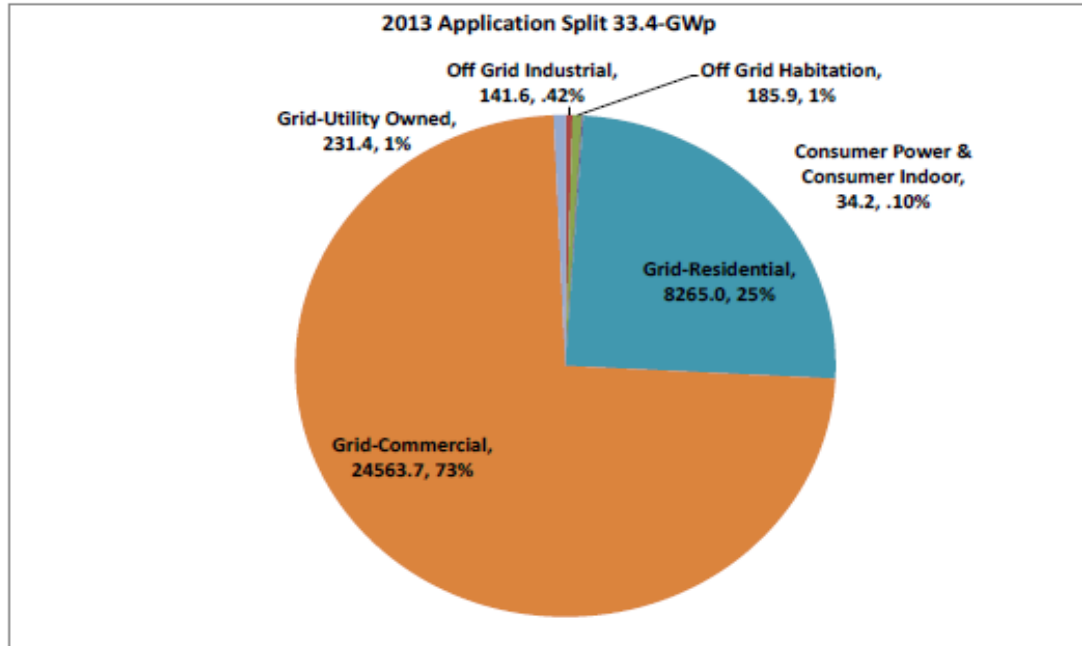


סיין מחזיקה נתח של 50% מהייצור, יפן וטאיוואן אחראיות יחד לכ-30% (לפני חמש שנים הייתה שם גרמניה עם 30%-40%). מבחינת הצריכה, אירופה ירדה באחוז היחסי שלה בצריכה העולמית, ולעומתה עלתה סיין.

איור 9 מציג חלוקה על-פי שימושים – מסחרי, פרטי :

איור 9: פילוג לפי השימושים של מערכות פוטוולטאיות

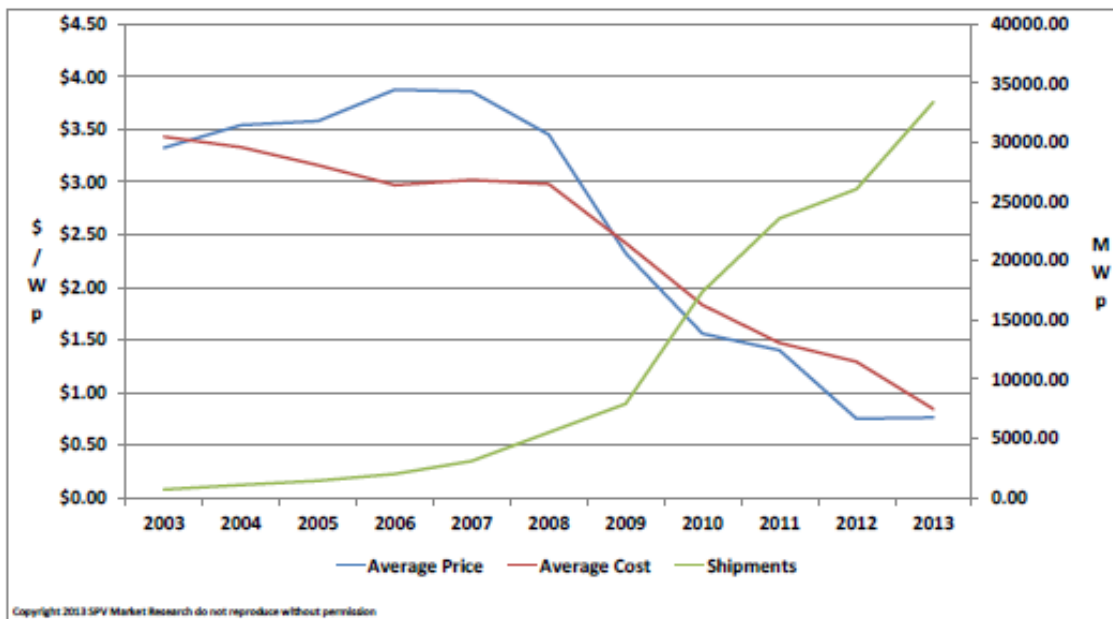
Figure 8: 2013 Global Application Split



מגמות מחירים – השוק חווה צמיחה מחודשת בשנתיים האחרונות, במקביל לירידת מחירים. כרגע כל היצרנים מפסידים על הפאנלים שהם מוכרים.

איור 10: מגמות במחירי מערכות פוטוולטאיות

Figure 10: PV Cost, Price and Shipments, 2003-2013



המלצות לפיתוח המשק הסולארי - שוק ה-PV מתאים מאוד לגנות, ושם היתרון שלו. בישראל צריך להיות מונה נטו על מתח נמוך (עד 630 קילוואט).

**אלי מנדלברג, הליופוקוס**  
**חסמים במימוש תרמו-סולארי בישראל**

הנושא הכואב ביותר הוא הקצאת קרקע. לקחו לחברת הליופוקוס 3.5 שנים עד לקבלת רישיון בניה למתקן הדגמה של 20 דונם בלבד. העלויות הן אדירות – מעבר לעלות של תפעול חברת סטרטאפ. תהליך דומה שביצענו בסין לקח 9 חודשים בלבד מתחילת התהליך ועד גמר הבניה. אם נושא הקרקע לא ייפתר, לא יתקדם יישום של מערכות תרמו סולאריות בישראל.

בזמנו הייתה וועדה לאיתור קרקעות למתקנים סולאריים. פסלו את כל הקרקעות, ולבסוף נותרו עם אתר אחד בלבד. בארץ יש בעיה של קרקעות; יחד עם זה יש מקום לאתר באופן אמיתי קרקעות מתאימות. כמו כן, התהליך צריך להיות "One stop shop" – צריך לקבוע גוף אחד שירכז את כל התהליך ולא יתחלק בין גורמים שונים רבים, כולל שינוי יעד ורישיון בניה, עם תכנון מראש של קווי הולכה מתאימים לפי אזורים. בנוסף, נדרשת מדיניות של ניצול קרקעות "ביטחוניות" המשמשות כחיץ (שאינן שטחי אש) והפנייתן ליישום סולרי.

באשר למדיניות התעריפים:

- שחרור מגבלות היברידיזציה - יש פרמטרים שלא כומתו מספיק בוועדת קנדל. למה להגביל יצרן סולארי ביכולתו לספק חשמל היברידי, אם ביכולתו לספק במחירי הרשת? יש לאפשר ליוזם למכור חשמל לא סולארי ברשת כיצרן פרטי רגיל.
- יש להחיל תעריף תעו"ז.
- יש לכמת בתעריף את תכונת ה-Dispatchability הסולארי, המשתנה בהתאם לטכנולוגיה. הכימות שנעשה בדו"ח קנדל לא מספיק.
- יש לכמת בתעריף את ערך יציבות האספקה – נושא חשוב ביותר בהקשר של חשמל סולארי.
- יש לאמץ את מסקנות דו"ח קנדל, לכל הפחות, כהחלטת ממשלה וליישמן באופן מידי.
- יש לתת ערך מוסף לטכנולוגיה ישראלית – ע"י ערבויות, תמיכה מימונית – במיוחד בשלב של מעבר משלב ה-R&D לשלב המסחרי.

צריך להבין שאנו מדברים על הכנסת מערכות חדשות לשוק ענק. הרגולטור צריך להסתכל מה יהיו התעריפים בעוד 5 ו-10 שנים, אך גם להבין שבעתיד תעריפים אלו לא יהיו אידיאליים מבחינת השוק כפי שיהיה אז. יהיו שינויים לא רק בצריכה אלא גם בטכנולוגיה. המידע הקיים לא זמין לכולם, ולכן צריכים להיות מוכנים לביצוע שינויים תוך כדי תהליך.

יש להגדיר את המטרות של הרגולציה באופן ברור. בארה"ב בזמנו הרגולטור הבהיר את המדיניות באופן ברור, התעריפים היו פשוטים ומכווני תעו"ז. בארץ, הרגולטורים הם דווקא מאוד קשובים.

ישנם שלושה פרמטרים רגולטוריים:

1. **המחיר הבסיסי** - התעו"ז הוא מאוד חשוב; הסיבה שאנו מקימים את הפרויקט באשלים ללא אגירה היא כי אין הכוונה לכך מבחינת התעריפים.
2. **הפן הסביבתי** - לגיטימי לרצות להקים מתקנים על בסיס שאינו כלכלי.
3. **להגדיר את השירותים הנלווים** - ה-PV עשה מהפכה אדירה; ההגדרה של השירותים הנלווים צריכה לאותת לספקים – כמו התעו"ז – מהו שווי השירותים הנלווים.

הרגולטור צריך לקבוע מה הוא רוצה ולא לשים עצמו בנעלי היזם.

התהליך של אשלים היה מצוין – התהליך המכרזי הוא נכון ולא ניתן לנקוט בדרך אחרת. היה ברור שתהליך זה (שלקח 5 שנים) ייקח זמן – היה צורך ללמוד יחד את הנושא צעד אחרי צעד.

היום בארץ, המדינה צריכה להסתכל אל השנים 2020, 2025, ולהחליט מה התמהיל הרצוי בין PV לתרמו-סולארי. נושא ההיברידיות שהוזכר הוא חשוב מאוד, כפי שנוכחנו לראות בפרויקט שלנו בקליפורניה. כמו כן חשובה היציבות.

אני מאוד מאמין שאפשר יהיה לפתח שוק זה בישראל, בתהליכים הנכונים.

## מייק גרין, M.G. Lightning Electrical Engineering

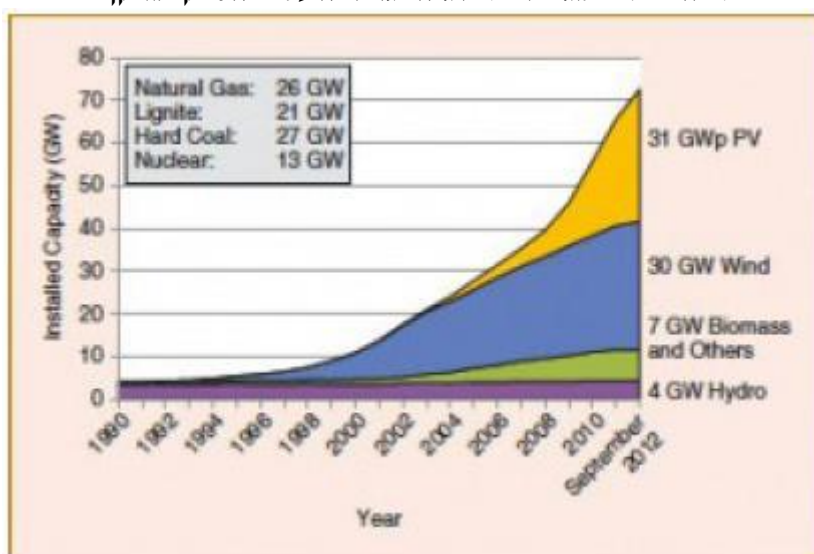
### אתגרים למנהל הרשת בקליטת PV

בתחילת ההסדרה הראשונה של שדות הסולאריות הבינוניות והגדולות, כאשר היה עניין בהקמה של תרמו-סולארי בערבה, חקרנו את העניין, והבנו שעם תרמו-סולארי חייבים לעבוד עם משטחים גדולים, סדר גודל של "שדות גדולים" ולא בינוניים. התוצאות נראות היום, המכסה לגדולים אפשרה מספר מועט של תחנות כוח, ואין תרמו-סולארי נכון להיום. השוק בישראל לצערי לא כ"כ קיים – זהו שוק של שורדים. אנחנו ב-0.6% אנרגיות מתחדשות לעומת היעד של 5% ב-2014.

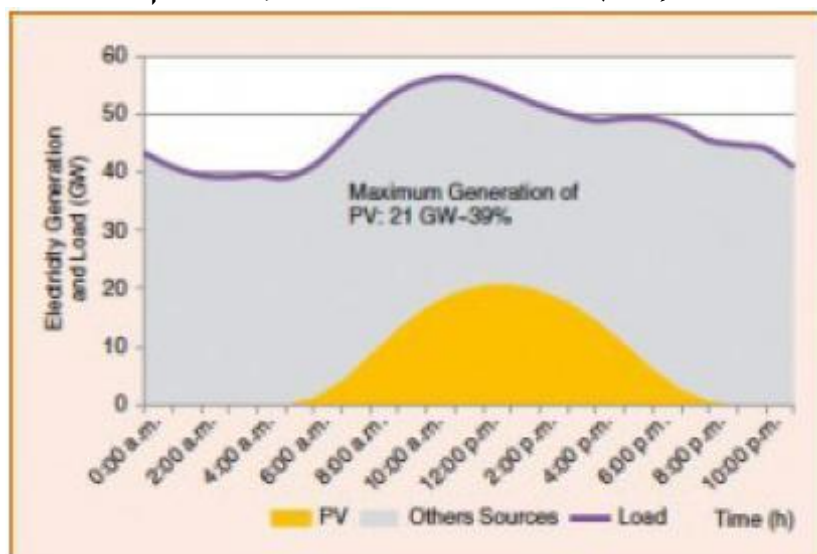
הדרך לממש את היעדים שהוגדרו על ידי הממשלה מתוך שוק סולארי מדוכא ונטול מקצועיות עקב פשיטות רגל וסגירת דלתות של החברות הטובות, הוא דרך PV על גגות. מערכות אלה נקראות "קטנות", אך אלו מתקני ייצור לכל דבר. שכונה עם מתקני PV על הגגות היא כמו מתקן ייצור, אך בעלת מאפיינים ייחודיים.

מה שקורה בגרמניה מעניין מאוד וניתן ללמוד מהאתגרים שלהם על ידי השלכתם על השוק שלנו. בעולם, מ-2011 עד 2016 מספר המערכות הביתיות יעלה מ-5.5 מיליון ל-12 מיליון. בגרמניה ישנן היום 1.2 מיליון מערכות בהספק כולל של  $31 \text{GW}_p$  – 90% מתוכן מערכות "קטנות". זהו מקור האנרגיה הגדול ביותר במדינה זו, אפילו יותר מרוח. בתנאים מסוימים מקור זה יכול לספק עד 40% משיא הביקוש, כתלות בעונה.

**איור 11: פילוג יצרני אנרגיה בגרמניה על פי הספק מותקן**



**איור 12: בגרמניה (דרום): הייצור הפוטו-וולטאי תורם עד 40% לסך האנרגיה הנצרכת**





חדירה של כמות כל כך גדולה של אנרגיה ממקור לא יציב מאתגר את מנהל הרשת. מהניסיון של מנהלי הרשת הגרמנים כדאי ללמוד וליישם מסקנות בהתאם. להלן ניתוח של הרשת שלנו, מתוך השיעורים שניתן ללמוד מהרשת הגרמנית.

האתגרים למנהל הרשת שלנו במדינה – הנחות יסוד :

1. משק החשמל מתפתח בהדרגתיות.
2. ייצור מבוזר הולך וגדל על גגות קטנים – בעיקר במגזר המסחרי, פחות במגזר הביתי (residential). אנו נראה ייצור מבוזר מתרחב – בלי זה לא נראה גידול.
3. התרומה של אנרגית הרוח היא נמוכה.
4. ייצור העומס הבסיסי (base load) הוא ע"י מקורות בעלי אינרציה ( יכול להיות גם תרמו-סולארי)
5. קיומן של תת-רשתות (micro-grids).

למנהל הרשת אחריות רבה :

1. **תיאום בין היצרנים השונים** - מחייב חיזוי של הייצור ע"י כל יחידה מייצרת.
2. **רמת מתח עבודה תקינה** - מטלה מורכבת בשל העלאת מתחים ע"י מערכות ה-PV
3. **יציבות הרשת** – כאשר ממירים מתנהגים בצורה דומה, יש לכך השפעה על התדר
4. **שימור איכות החשמל**
5. **מאזן אנרגיה ראקטיבית**

המלצות מוצעות בקשר לייצור מבוזר :

1. להכין את יכולת הרשת החכמה לתסריטים העתידיים, גם ברמת היצרן הקטן ביותר.
2. לנטר ולשלוט על ייצור אנרגיה ראקטיבית – לשנות את הממיר מ"עוקב רשת" ל"תומך רשת". מפעל צורך אנרגיה ראקטיבית בנוסף לאנרגיה האקטיבית, בעיקר על ידי מנועים. הממירים מסוגלים לייצר אנרגיה ראקטיבית על ידי שינוי מקדם ההספק של הייצור; אך התועלת הכלכלית היא רק על ידי ייצור אקטיבית, תעריף חשמל מול קווי"ש. כאשר קיים ייצור של אנרגיה אקטיבית טהורה בתוך המפעל, האיזון הקיים היום בין הרשת ובין המפעל בנוגע לצריכת אנרגיה ראקטיבית מופר. זאת במיוחד מפני שאופי הממירים כיצרן בלתי ליניארי, המייצר אנרגיה הכוללת הרמוניות, משתלב עם אופי הציוד הקיים במפעל בעל התכונה לדכא את המנגנון שמשפר מקדם הספק בכניסה למפעל.
3. יש להתייחס למכירה של אנרגיה ראקטיבית כאקטיבית
4. לכוון תעריפי החשמל של הצרכן הביתי הקטן לעידוד ייצור עצמי
5. ללמוד לנהל ייצור פרטני של הצרכנים הביתיים כגוף יצרני אחיד על פי אזורים בעלי חיזוי שעתי ובעלי שליטה פרטנית, כמו כל תחנת כוח קונבנציונאלית
6. להעדיף תרמו סולרי על PV לשדות גדולים תומכי רשת, תוך כדי עידוד הייצור העצמי המבוזר

## פרק 4: דיון

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

- מהו התמהיל הרצוי של חשמל סולארי תרמי/פוטוולטאי ?
- מהם היתרונות והחסרונות של כל אחת משתי השיטות הנ"ל למשק החשמל ?
- מהי מידת השילוב הרצויה והאפשרית של ייצור חשמל סולארי במשק החשמל (כלכלית וטכנית), ומה צופן לנו העתיד בעניין זה?

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

**ד"ר אורי פישר:** בהתייחס למצגת שהציגה אופירה אילון: לאחרונה התפרסמו נתונים עדכניים לגבי חשמל מאנרגיות מתחדשות בקליפורניה. אחד הכללים הוא שיצרן חדש חייב להיות בעל יכולות אגירה. בשנים 2020 - 2040 צפוי עודף ייצור חשמל ממקורות לא רציפים (intermittent) במשך 4-5 שעות ביום – שצריך למצוא מה לעשות אתו. הרגולציה רוצה שהיצרן יתנתק מן הרשת ויאגור. בהקשר זה צריך לחשוב מה יקרה אצלנו עם ריבוי יצרנים קטנים ללא בקרה.

**מייק גרין:** זה אחד הלקחים מגרמניה. ההמלצה היא שכבר היום תותקן מערכת ניטור, שתאפשר ניתוק במקרה של ייצור עודף. העלות היא זניחה.

**ד"ר אורי פישר:** אך אם מנתקים, יש בזבוז. עדיף ליישם אגירה.

**אדי בית-הזבדי:** לשם כך יש לפתח את הרשת החכמה. בגרמניה, עבור חשמל בעלות 2.2 מיליארד יורו, הגרמנים משלמים 20 מיליארד יורו. הגרמנים שולחים עודפי חשמל לאוסטריה, שמשתמשת בו לאגירה שאובה ומוכרת אותו חזרה לגרמניה כ-"חשמל ירוק". צריך להיות שקולים במירוץ קדימה עם האנרגיות המתחדשות.

**ד"ר יהודה ניב:** עלות הקמת מערכת אגירה שאובה היא כ- 1.5 \$ עד 1.9 \$ לואט מותקן כך שהיא לא באה בחינם.

**אדי בית-הזבדי:** זה קורה בעקבות הפוליטיקה בגרמניה, בהנהגת מפלגת הירוקים.

**נועם אילן:** השאלה איזה תועלות נוספות יש להם מכך. גרמניה החליטה לדוגמא לבטל את השימוש באנרגיה גרעינית בשל תועלות אחרות.

**ישראל קרויזר:** הגרמנים פרצו את השוק לחשמל סולארי, וזה עלה להם לא מעט כסף. לולא זה לא הייתה חדירה כה עמוקה של חשמל סולארי לשוק. הגרמנים היו חלוצים. זאת לא חוכמה לבחון היום את המצב, כאשר בזמנו התנאים היו שונים. החוכמה היא לשבת על הכתפיים שלהם כפורצי השוק וללמוד מהם. השאלות היום הם לגיטימיות בשל הידע והניסיון שנרכש. גם בעתיד המסקנות של היום יבחנו מחדש. שוק הגז הטבעי הוא בן 30 שנה, ואפילו כאן השינויים רבים – דוגמא לכך היא טכנולוגיית ה-fracking החודרת היום בקנה מידה גדול לשוק זה.

**אדי בית-הזבדי:** בגרמניה צמצמו את התמריצים לעומת מה שהיה בעבר, אבל עדיין דוחפים לקראת Grid parity בתעריפים. אני בקשר עם גרמניה בהקשר של הכשרת אנשי מקצוע, וגם שם שואלים את עצמם את אותן שאלות.

**פרופ' אבי קריבוס:** אנו דנים על התמהיל הרצוי – רצוי למי? לחברת החשמל? לתעשייה? השאלה היא מה הקריטריון, מהו העיקרון הבסיסי שלפיו צריך לקבל החלטות – דברים אלו הם עדיין באוויר. נושא חוסר היציבות שדובר עליו – זוהי אחת התולדות של חוסר בעקרונות מבוססים כאלו. באירופה אפשר לראות שסה"כ יש יציבות כזאת. צריך לבסס עקרונות אלו: האם על בסיס כלכלי? האם להתייחס לעלויות חיצוניות של שריפת דלקים? צריך להתחיל בתהליך כזה שיביא להסכמה רחבה.

**ד"ר יהודה ניב:** אני חושב שככלל היה תהליך ראוי. מדינת ישראל החליטה להיות מדינה ירוקה וב-2010 התקבלו החלטות ממשלה בנושא, ותכניות עבודה למימושן. נבנה שם תמהיל של טכנולוגיות, היקפים וכמויות (המכונות מכסות). בנוגע לשאלת הקצב – הדרישה להגעה למחצית הכמות בפחות מחצי הזמן, זו ככל הנראה הייתה טעות, ואכן איננו יכולים לעמוד ביעד זה. בנוסף, ככל הנראה לא נבדקה שאלת העלויות לעומק טרם קבלת ההחלטה. לעניין התעריפים, קביעתם הראשונית הייתה מוגזמת, והיא הטילה עלויות כבדות על צרכן החשמל. למזלנו, התרסקו מחירי המתקנים הפוטו-וולטאים, וגם קובעי התעריפים מצאו את הדרך לקביעת תעריפים שהיא יותר הוגנת וראויה, לפחות לעניין המתקנים הפוטו-וולטאים.

**פרופ' אבי קריבוס:** ברור. אבל למה דווקא 10%?

**ד"ר אברהם ארביב:** כי זה מספר עגול.

**פרופ' אבי קריבוס:** למה קליפורניה קבעה דווקא 30%?

**ד"ר יהודה ניב:** אין מנגנון לקבוע מהו היעד הנכון, כיוון שאין משתנה או משתנים שאפשר לעשות אופטימיזציה לפיהם.

**ד"ר אברהם ארביב:** לקראת הדיון היום עמדה לעינינו התמונה של פרויקטים בארה"ב ובספרד של מתקנים תרמו-סולארי שנסגרים, והשאלה האם יש להם סיכוי מול ה-PV. דו"ח שהגיש כבר לפני כעשור פרופ' אהרן רואי למשרד התשתיות הלאומיות חזה שבסביבות 2011 יחצו עלויות PV את אלה של התרמו-סולארי. מאידך, מחקר מקיף שנעשה בשדה בוקר בהנחייתו של פרופ' דוד פיימן ובשיתוף עם חברת החשמל מצא שחדירת חשמל מאנרגיה מתחדשת בשיעור של 17% ומעלה, ללא אגירה, למעשה יבוצב ברשת.

**עודד אגמון:** זה קרוב ל-1800 MW בנתונים של היום.

**ד"ר אברהם ארביב:** המוטיבציה לא ירדה. יש לנו בעיה סביבתית עצומה מניצול דלקים טבעיים; יש טעות אופטית של שיפור (בעקבות המעבר לגז). האנרגיה הפוסילית עולה הרבה יותר מאשר בעבר, במונחים של אנרגיה (EROEI). אם לפני כ-80 שנה, היה צורך להשקיע חבית נפט אחת כדי להוציא 100 חביות נפט מהאדמה, היום היחס הוא כ-1 ל-15, ובקרוב עלולים להגיע ליחס של 1 ל-

5. מבחינה אנרגטית, המשמעות היא שלא יהיה ניתן להמשיך את רמת החיים הנוכחית. הציבור לא מודע ולא חשוף לכך. אני מסכים שחסכון אנרגטי צריך להיות הראשון בחשיבות, גם ייצור מביומסה (לא ייעודית). הייתי רוצה לשמוע את אנשי תעשיית אנרגיית השמש – בעיקר תרמו-סולארית – איזו פרספקטיבה אתם רואים לכך, בייחוד בארץ, מבחינת מחירים. המחירים של החשמל הפוטוולטאי נמוכים היום יחסית, אך יש חשש שהפנלים נמכרים כיום מתחת לעלותם, במיוחד על-ידי סין, ולכן ייתכן שמחירים אינו בר-קיימא.

**מיכאל אפשטיין:** אני רוצה להמשיך את מה שאברהם ארביב התחיל, בהקשר הטכנולוגי. הטכנולוגיות התרמיות של השוקת ומגדל השמש הן בשלות. אלו טכנולוגיות LOW-TECH, ואין בהן סיכוי להורדת מחירים משמעותית ולהיות תחרותיים בהשוואה למחירי הרשת. לכן תמיד יצטרכו תמיכה של המדינה. ע"מ להוריד באופן משמעותי את המחירים צריך מחקר שיביא לפריצת דרך. ב-PV היה מאמץ מחקרי אדיר שעדיין נמשך, לכן ירד מחירים כפי שירד. היתרון החשוב של הטכנולוגיות התרמיות הוא האגירה שאותה לא יכולה לספק עדיין טכנולוגית ה-PV או הרוח, אולם מי שרואה כמה השקעות יש במחקר, למשל בתחום הסוללות, לא יהיה מופתע כשיראה את התוצאות שלו בעתיד. הצלחה תוכל לשמש לאגירה של חשמל סולארי. הנתונים שראינו קודם לגבי חלקן של מדינות בייצור סולארי אינם מקריים – הם תוצאה של השקעות אדירות במחקר. אפליקציה נוספת היא ייצור דלקים, ולהבדיל מחשמל זאת ניתן לבצע רק בטכנולוגיה התרמית.

**גבי קינן:** בנושא התמהיל שבין סולארי-תרמי ל-PV: הסתכלות במושגים כלכליים על התרומות תגלה חמש סגולות שמקרבות את הטכנולוגיה התרמו-סולארית ל Grid Parity (1) - ההתאמה הגבוהה לתעו"ז בתור בסיס, הן בשל ההתאמה לזמני הקרינה השמשית והן בעזרת אגירה התרמית. (2) התרומה השנייה הייחודית לאנרגיה תרמו-סולארית עם אגירה היא הזדקקותה לחלק מהשירותים הנלווים הכלולים בתעריף החשמל. בישראל יש היום עבודה שמראה תמחור של השירותים הנלווים בייצור מגז ב-6 אג'.

**ד"ר יהודה ניב:** בעיקרון, שירותים נלווים וגיבוי כלולים היום בתעריף החשמל.

**גבי קינן:** נכון, כוונתי היא שנושא זה לא מקבל התייחסות בהקשר הסולארי- רבים מהשירותים, למשל חלק מהגיבוי, הטיפול באי יציבות המקורות (PV ורוח), יכולת אספקת הספק ריאקטיבי, התנעה מהדממה (Black Start), ועוד, אינן נחוצות או נענות ע"י טכנולוגיה זו, לעומת PV. לא ייתכן שלא מתייחסים לתכונות המבחינות של תרמו-סולארי. מתכנן המערכת צריך לדרוש אותן ובמקרה של התרמו-סולארי – יקבל..

**פרופ' גרשון גרוסמן:** מה הכוונה בשירותים נלווים?

**גבי קינן:** זמינות יום ולילה באיכויות מסוימות. זמינות זו כיום לא נדרשת למרות שהיא קיימת בטכנולוגיה תרמו-סולארית.

**ד"ר יהודה ניב:** יש יתרונות למערכת קיטורית תרמו-סולארית מול מערכת PV, עקב האינרציה התרמית שלה. ייצור החשמל על ידה יציב יותר מייצור ע"י מערכת PV.

**גבי קינן:** ניתן לתמחר יתרונות אלו, ויתרונות אלו זמינים בטכנולוגיה הקיימת. אם מוסיפים לכך את (3) יכולת ההיברידיזציה - זו שכבה נוספת. כאשר מוקם מחז"מ באזור עתיר קרינה, היה רצוי להשלים אותו במתקן תרמו-סולארי שיתגבר אותו.

**ד"ר יהודה ניב:** במונחים של מדינה, מדובר על תרומות קטנות ולא מעניינות.

**גבי קינן:** אנו עוסקים היום ב-10%, צריך לרדת בסקאלה.

**ד"ר יהודה ניב:** כדי לייצר 10% מהחשמל הנצרך בשנת 2020 נצטרך כ-2,700 מגוואט הספק מותקן של יחידות ייצור באנרגיה מתחדשת.

**גבי קינן:** בעיקר התכוונתי לתכונות אינהרנטיות בתרמו-סולארי, שצריך להכיר בהן, לתמחר אותן ולהשתמש בהן. נושא הקרקעות הוא מחסום מאוד סובייקטיבי; בעיית הבדואים היא טעונה לאומית, אך אני מאמין שבעיות אלו תיפתרנה. (4) הנושא של ערך מוסף של מחקר ומוצר ישראלי מקומי לא בא לידי ביטוי.

**ד"ר יהודה ניב:** בחוק חובת המכרזים יש אפשרות להעדפת תוצרת ישראלית כאשר המחיר המוצע לייצור מקומי גבוה עד 15% מהמחיר המוצע מיבוא.

**גבי קינן:** לא ראיתי ביטוי לכך במכרזים הסולאריים ולא ברישיונות. הבהרה – חוק המכרזים חל על ערך מוסף ישראלי שמקורו בחברה ישראלית (ולא טכנולוגיה). העדפה של מוצר וטכנולוגיה ישראליים שאינן בבעלות ריאלית (לזו בעבר, BrightSource כיום) לא כלולה. את ההעדפה יש לבטא בתעריפים.

**עודד אגמון:** אין בפועל העדפה של ישראל; 15% זה זניח.

**נועם אילן:** היות ו-PV אינו טכנולוגיה ישראלית, יש להעדיף מערכות תרמו-סולאריות, להן יש גם יתרון באפשרות אגירה.

באזור אילת-אילות תוך שנתיים אנחנו עומדים לחבר 160 MW, כאשר כל הצריכה האזורית היא 130 MW. כלומר, אנו עומדים בפני מצב שצריך לשנע את החשמל צפונה. יש לזכור ששיא הביקוש באזור זה הוא בשעות הערב – 19:00 – 22:00, בניגוד לשאר אזורי הארץ; אנשים חוזרים לחדרי המלון בשעות הערב. עקב כך יש פה סיטואציה מעניינת של יתרונות של תרמו על PV בשל האגירה.

בפרויקט תמנע יש לנו מגבלה של ייצור עד 60 MW. חברת החשמל לא מאפשרת להוציא מעבר לכמות זו, עקב מגבלת הרשת מבחינת יכולת ההולכה צפונה. יש לנו חטיבת קרקע של 1000 דונם שאנו הולכים בה למכרז ללא העדפה לטכנולוגיה. יש לנו 1000 דונם נוספים שאנו מתכננים למכרז למי שיציע אגירה – מה שיאפשר יתרון לתרמו. זה מקרה מבחן ברמה הישראלית ואולי גם העולמית שעשוי לתמרץ טכנולוגיות ישראליות. מי שיענה לאתגר יקבל בונוס של שטח נוסף לצורך

אגירה. זה לא מתאים, דרך אגב, למגדל שמש, בשל סמיכות לשדה תעופה. לדעתי בסוף תהיה תחרות על מחיר הקרקע וה-PV ינצח. השאלה היא האם בסופו של דבר מחירי התרמו-סולארי יכולים להתחרות ב-PV – אני לא בטוח שזה אפשרי, אך מקווה שכן.

**עודד אגמון:** בתור גורם ממשלתי אני מברך על מפגשים מעין זה של פורום האנרגיה הנוכחי. יש היום אתגר אמיתי לממשלה למצוא את התמהיל הראוי, על מנת שנוכל לעמוד ביעד, שהוא מאוד משמעותי, במיוחד אם לא נעמוד ביעד ההתייעלות האנרגטית. אנו ברשות מנסים לאזן בין האינטרסים השונים. האינטרס הציבורי הוא מחיר חשמל נמוך ככל האפשר. מצד שני אנו כמדינה צריכים לתמוך בפיתוח היזמות. תהליכי המכרז מאוד מורכבים וכרוכים בהפעלת צוות רחב על פני פרקי זמן ארוכים.

נכון לעכשיו התרמו-סולארי לא יכול להתחרות ב-PV. בנוסף גם הבימוסה נבחנת באופן מחודש ובשיתוף חברת החשמל ומשרד האנרגיה – נכון לקדם חלק מתמהיל האנרגיות המתחדשות גם בהיבט הזה. הייתה ירידה דרמטית במחירי ה-PV, והרשות הגיבה בהתאם והורידה תעריפים. בתרמו-סולארי אנחנו לא רואים את זה. לא לחינם גם אפשרנו את הסדרת מתקני החלוץ. השוק צריך להיות תחרותי.

בהקשר של תעו"ז: המעבר לשימוש בגז הוא דרמטי. עד לשנת 2020 75% מייצור החשמל יהיה מגז טבעי וזה ישנה את התעו"ז באופן משמעותי; התעו"ז יהפוך להיות שטוח. נראה הרבה פחות שעות בעלויות שוליות גבוהות. על מנת להביא את המשקיעים לתחום הזה, אי אפשר להסתמך רק על התעו"ז, שיוצר אי-ודאות אצל המממנים; לכן יצרנו מחיר רצפה במקרה של מונה נטו, שמייצר וודאות נוספת באשר ליכולת למכור עודפי חשמל. זוהי ההסתכלות הרחבה מהכיוון שלנו לגבי השילוב של אנרגיות מתחדשות. בהקשר של מה שקורה באילת, השילוב של טכנולוגיה ומקום הוא נכון בעינינו.

**פרופ' גרשון גרוסמן:** גם מאפייני הצריכה משתנים.

**עודד אגמון:** ה-PV גורם גם לשינוי בצריכה. בנוסף, העלויות השוליות הופכות לקבועות יותר.

**ד"ר יהודה ניב:** הפרש הביקוש בין השיא הקיצי בשעה 14:45 לשעות הערב המוקדמות, למשל 18:00, קטן מ-600 מגוואט. לפיכך ייצור חשמל ממקורות סולאריים בהספק העולה על 600 מגוואט מסיט את שיא הביקוש לשעה בה תרומת השמש זניחה עד אפסית, ואינה תלויה כלל ביתרת ההספק מעל 600 מגוואט. לפיכך תרומת המקורות הסולאריים בשיא הביקוש מוגבלת ביותר, וכל הגדלה של השימוש במקורות אלה מקטינה את צריכת האנרגיה אך אינה נוגעת ממש לצריכת ההספק, ואינה מפחיתה את הצורך בתחנות כוח קונבנציונאליות.

**עודד אגמון:** זה נכון שהשיא זז, אבל שיא החורף נמוך בהרבה מזה של הקיץ.

**דן שגיא:** רציתי להדגיש את נושא המו"פ, שלא הוזכר כמעט. צריך לראות מה הממשלה עושה ומה היא יכולה לעשות יותר בנושא המו"פ. מאוד חשוב לטפח זאת, כאשר נושא זה קשור בעיקר לתרמו-סולארי ופחות ל-PV. אם נקים מתקנים בארץ, זה יתרום לתעשייה המבוססת על מחקר.

לא הגענו לדון בנושא המכסות. חשוב לשמוע כאן את החלוקה של המכסות בין הטכנולוגיות השונות. נקודה נוספת היא נושא הפערים – מחקרים בארה"ב מראים שכדאי למדינה לשלם בערך 4 סנט לקוויט"ש יותר על תרמו לעומת PV – בגלל יתרונות האגירה ויתרונות נוספים שטכנולוגיה זו מביאה. מאמינים שתוך מספר שנים יגיעו לעלות לצרכן (LCOE) של 10 סנט לקוויט"ש לתרמו עם אגירה, כך שטכנולוגיה זו תהיה תחרותית מול PV בתחנות גדולות. רציני גם לגעת בנושא ההיברידיזציה – המספרים הם אחרים לגמרי מאשר שמענו כאן. אפשר להגיע ל-grid parity עם 30-40% אנרגיה סולארית, ללא סובסידיות כלשהן; לדעתי זה המסלול הנכון ביותר. צריך לדבר על כך יותר לעומק בפורום מתאים.

**ישראל קרויזר:** הייתי רוצה לתת קצת רקע. אחד הדברים החשובים הוא להבין את הכלכליות. אני בניתי עד כה 800 MW של מתקנים תרמו-סולאריים, בערך כולל של כ-4 מיליארד דולר. בתחילת שנות ה-80 כשבנינו את מתקני השוקת, הורדנו מחירים תוך כדי עקומת למידה בסדר גודל של 40-50%. אבל מחירי הדלקים ירדו כל כך שאי אפשר היה לעמוד בתחרות. באירופה הירוק הוא כעין דת. בשנות ה-90 החליטו לדחוף באופן משמעותי ובהשקעה מסיבית את האנרגיות הירוקות. היו מוכנים לשלם הרבה גם בשביל תרמו-סולארי, גם ל-PV וגם לרוח. המסקנה שלנו בשנות ה-2000 הייתה שטכנולוגית מגדל השמש מתחילה במקום שנגמרת טכנולוגית השוקת, ויכולה להוריד את העלויות ב-50% נוספים. מה שנדרש זה תיעוש, מחיר כסף נמוך יותר (כמו ב-PV, הזוכה לאימון רב יותר מאשר התרמו-סולארי), והכנסה של ראש של אלקטרוניקה כמו שהתרחש בתעשיות Hi-Tech. תרמו-סולארי לא יכול היום להתחרות ב-PV, אבל אף אחד לא יכול לדעת מה הכיוון בעתיד. בפרויקט Ivanpah (400 MW) שחברתנו מבצעת היום בקליפורניה עלות מגדל השמש נמוכה בכ-10% מזו של השוקת. אני מאמין שיש כאן פוטנציאל של הורדה נוספת של כמה עשרות אחוזים. כמו כן קיימים היתרונות הנוספים של תרמו-סולטרי שהוזכרו, כגון אפשרות אגירה והפעלה היברידיית. תפקידי כיום הוא להבין מה המדינה רוצה ולפעול בהתאם, אם ניתן. יש עלויות גבוהות למו"פ; אנחנו מעדיפים לעבוד בישראל, כי כאן קל לנו יותר לקיים דיאלוג עם המדינה מאשר בארה"ב. יתכן שמה שמתאים לישראל לא מתאים למקום אחר. צריך לאפשר צניעות מסוימת ביחס לאי-ודאות. ברישיון קשה להקים פרויקט – עדיף בהרבה מכרז. קשה גם להשיג מומחים, המספר הוא קטן.

אם שואלים אותי – התרומה הגדולה של ה-PV הוא שהוא הפך את התעשייה הסולארית מקוריוז לתעשייה לגיטימית. כדי לבחון את ערכה של התעשייה הסולארית דרוש דיאלוג אמיתי ועמוק. המספרים שלנו פתוחים. אם המדינה לא רוצה לשלם על סביבה ירוקה – זה לגיטימי לגמרי. מה שאנחנו רואים זה שישראל נמצאת 10-15 שנה אחרי ארה"ב מבחינת הסביבה, וארה"ב נמצאת 10-15 שנה אחרי אירופה.

חובתה של המדינה הוא להסתכל באופן מערכתי. לא מספיק לתת חשמל במחיר הזול ביותר. אף אחד בישראל לא שואל בכלל כמה תוכן מקומי (local content) קיים במערכות ייצור החשמל; במדינות אחרות זה פרמטר חשוב. אני מאמין שיש פוטנציאל דווקא בגלל ה-PV. אנחנו צריכים

להתחרות תחרות קשה עם PV; אנחנו מתחרים ב-4 מדינות – התחרות הקשה ביותר היא בארה"ב, שם אין אבחנה בין טכנולוגיות. בדרא"פ רוצים כושר אגירה. בסין רוצים להכניס תרמו-סולארי בשביל לעשות בחינה "קטנה" של הפוטנציאל – 2000 MW.

ביחס לשוק האנרגיה התרמו-סולארי הוא תעשייה מתחילה; ה-PV הוא לא תעשייה מתחילה. בטכנולוגיית מגדל השמש יש כמות ראשונית קטנה. צריך לתת הזדמנות לטכנולוגיה הזאת. בעיית הקרקע היא לא ברישוי של הקרקעות, היא בבעלות על הקרקעות. הקרקע היא בבעלות המנהל; השאלה היא איך מבחינה חוקית המנהל יכול להקצות לך קרקע.

**אלי מנדלברג:** רוב הזמן שנדרש ממני היא בשינוי יעוד ובעלות.

**מיכאל אפשטיין:** שאלה למר קרויזר: איך ניתן להוריד את המחיר ב-50% בתרמו-סולארי, אם החלק של יחידת הכוח בעלות המתקן הסולרי הוא כה משמעותי? אתה לא מפתח את ה-Power block?

**ישראל קרויזר:** אפשר, לדוגמה, לעבוד על אגירה. כאשר ה-Capacity עולה, העלות של ה-Power block יורדת. יש 3 גורמים המשתתפים במשחק: עלות הציוד, היעילות האנרגטית וה-Capacity factor. השימוש בגז מאפשר לי להגיע ל-60% Capacity. במסגרת המכרז, הסכמתי מיד לבנות תחנה ב-78.9 אג' לקווי"ש. פרויקט אשלים הוא פרויקט ראשון, הוא לא האופטימלי שניתן להגיע אליו. מניסיוני אני אוכל להתחרות ב-PV – אני רק צריך שיתנו לי את ההזדמנות.

**עודד אגמון:** אנחנו צופים שנבצע מכרז ליזמים; מי שיוכל לתת מחיר זול יותר יבחר.

**ישראל קרויזר:** אני מעוניין, כמו שאלי מנדלברג ציין, שייתנו לי למכור למי שאני רוצה. כיום לא מאפשרים לי למכור את החשמל מגיבוי הגז, מפני שהוא מעבר להיקף המכסה הסולארית של המתקן.

אני גם גאה שהמפעל שלי הוא בירושלים. זו לא בושה להגיד את זה.

**פרופ' גרשון גרוסמן:** מי מפריע לכם לקיים דיאלוג עם רשות החשמל?

**ישראל קרויזר:** לא עשיתי זאת עד היום, כי רציתי להביא קבלות. מה שאני שומע כאן לגבי מותו של התרמו-סולארי מטריד אותי.

**ד"ר יהודה ניב:** בנושא המו"פ, צריך להסתכל לא על מתקני ה-PV של היום אלא על מתקני ה-PV של מחר. למיטב ידיעתי נעשה בארץ מחקר על התקנים מתקדמים יותר, אשר יוכלו ליצור מהפיכה נוספת מבחינת נצילות, וככל הנראה מחקר דומה נעשה ברחבי העולם. יש לקחת זאת בחשבון כאשר חושבים על קידום המו"פ היישומי של מתקנים תרמו-סולאריים.

**ישראל קרויזר:** מי כמוני יודע שהעולם הזה אכזר. ב-1973 היה משבר האנרגיה, וארה"ב בסוף העשור נכנסה לנושא של החשמל הסולארי. בשנות ה-80 נכנסו שלושה גורמים נגדו – ירידה של



מחירי הדלק, מחז"מ בגז טבעי, והשינוי הרגולטורי בעקבות הממשל הרפובליקני. אני מודע לסיכונים. אני מנצל את העובדה שאני יותר זריז ויותר גמיש.

**איתן פרנס:** מה שאדי בית-הזבדי אמר מתחבר למה שאני רוצה להגיד. השיח בישראל בנוגע לאנרגיות מתחדשות הפך לסוג של יהירות. יהירות זו מאפשרת לנו למתוח ביקורת על תחום שאנחנו לא באמת יודעים מה לעשות לגביו, שצומח בעולם המפותח. אנחנו בישראל על סף קריסת מערכות ברשת החשמל. בסופה האחרונה, עם כל הרזרבה שהייתה עדיין היה מחסור בחשמל. במדינת ישראל אין תכנון לטווח ארוך במשק האנרגיה. יותר מזה – אין תכנון כלל. אני אנסה להציג פרספקטיבה שונה. האנרגיה המתחדשת היא דבר חיובי וצריך לתכנן אליה. לפי הגישה שלי אנרגיות מתחדשות היא תופעה סוציולוגית. האנושות רוצה לשנות את כללי המשחק, ועכשיו הגיעה תורה של האנרגיה. באירופה החליטו ללכת בגישה של להציב חזון ולגזור משמעויות כיצד להגיע אליו. יש בתחום הזה כלכלנים ומהנדסים שלא מדברים באותה שפה. אי אפשר לכמת את השווי של ההתנתקות מהתלות בדלקים. אנו לא יודעים בישראל לתמחר פליטות – אנו המדינה היחידה בעולם שהחליטה להקפיא את התוכנית להפחתת פליטות. לאחר חילופי הממשלה והצגת תקציב 2013 במסגרת התקציב הוקפאה התכנית הלאומית להפחתת פליטות גזי חממה ל-3 שנים, ביזמת משרד האוצר. ראה מכתבו של השר להגנת הסביבה בקישור הבא:

<http://www.sviva.gov.il/InfoServices/NewsAndEvents/MessageDoverAndNews/Pages/2013/may2013/GasEmissionCancellation.aspx>

**ד"ר יהודה ניב:** זה לא נכון. אנחנו כבר היום נמוכים בפליטות מממוצע ה-OECD. רמת השימוש שלנו באנרגיה מגעת כדי 80% ופחות מזו של ממוצע מדינות ה-OECD.

**איתן פרנס:** אני מציע לראות את זה מנקודת מבט סוציולוגית. עצם האמירה שאנחנו לא צריכים תכנית להפחתת פליטות למשך שלוש שנים היא יומרנית – אנחנו במזרח התיכון ומנותקים מהעולם המפותח, ובגלל זה אנו מרשים לעצמנו להגיד שאנחנו לא חלק מן המאמץ הגלובלי - יש לנו בעיות אחרות.

לגבי המעבר לגז טבעי, אנחנו בישראל ממציאים את "המחלה הישראלית" בעקבות מציאת מקורות הגז וההולנדים יכולים להיות רגועים. יש האומרים כי עכשיו, כשמצאנו גז, למה צריך אנרגיה סולארית? למה צריך התייעלות? יש לי בעיה עם אלה האומרים שאנרגיה מגז היא הנקייה ביותר.

**פרופ' אופירה אילון:** מה שנאמר הוא שאנרגיה מגז היא נקייה יותר מאנרגיה המבוססת על דלקים פוסיליים כגון פחם, סולר או מזוט.

**עודד אגמון:** המחז"מ הוא התייעלות האנרגטית הראשונה במעלה.

**ד"ר יהודה ניב:** סבסוד התייעלות אנרגטית הוא מתנה מהמדינה.

**איתן פרנס:** חוסר היכולת לדעת מה יהיה מחיר החשמל בעתיד הורג את תכניות התייעלות שכן פרויקטי התייעלות מבוססים על חסכון שנגזר מתעריפי החשמל. המדינה צריכה לקחת עליה את

הסיכון הזה עליה שכן היא יוצרת אותו בחוסר יכולתה לקבע את מחירי החשמל. בארגון שלנו למעלה מ-30 חברות עוסקות בהתייעלות אנרגטית. קרוב ל-15 חברות עוסקות בחשמל מפסולת. חברות אלה לא יכולות לתפקד בסביבת חוסר הוודאות הזו.

בנוסף, בישראל הירוק הוא לא מטבע ואין יסודות לכלכלה ירוקה. אנרגיה מתחדשת הוא צורך אסטרטגי של המדינה. מי שהולך לייצור חשמל ב-75% מגז טבעי, צריך בד-בד לאפשר חלופות, לגוון מקורות ולבזר את אתרי הייצור. יש בגז סיכונים ביטחוניים משמעותיים – יש להגדיר מחדש את הסיכונים, ולאור זאת יש לבחון את האנרגיות המתחדשות. בישראל היקף ההסדרות הקיימות הוא קרוב ל-2600 MW, וצריך לדעת לנהל את זה באופן מיטבי, כולל אגירה. מכאן צריך להיגזר תכנון מתאים. בישראל הדרייבר הירוק לא קיים; הצורך הוא בטחוני. בגרמניה התלות באנרגיה חיצונית כואבת להם, בעיקר התלות בגז הרוסי, ולא רק הגנת הסביבה ומשבר האקלים, וזהו תמריץ שנוסף לסביבתיות. צריך להפסיק את היהירות שלנו בישראל ולראות לאן הולך העולם.

**ד"ר יהודה ניב:** אתה מדבר ביהירות, אתה כנראה לא יודע מה קורה בתחום התכנון.

**איתן פרנס:** צריך להוריד את הראש. מי שמתכנן את משק האנרגיה לעתיד, מתכנן אנרגיות מתחדשות – צריך לראות מה קורה בעולם. צריך לראות מה קורה ביישוב מבטחים – מה הייתה שרשרת הערך; הישוב מקבל הכנסות, המועצה מקבלת הכנסות, הקרנות מקבלות מכך הכנסות. שרשרת הערך שונה לגמרי מן הפרויקטים המסורתיים של האנרגיה; זה שיתוף הציבור בתפקיד ייצור החשמל, זו מהפכת האנרגיה המתחדשת בהתגלמותה.

## פרק 5: סיכום ומסקנות

מבין מקורות האנרגיה המתחדשת, השמש היא בעלת הפוטנציאל הגדול ביותר בישראל. חברות ישראליות היו והינן חלוצות בפיתוח טכנולוגיות לייצור חשמל מאנרגית השמש, עיקרו במקטע התרמו-סולארי.

אחד הנושאים שחזר ועלה בדיוני הפורום הוא ההשוואה של הטכנולוגיה התרמו-סולארית לעומת הפוטוולטאית. במצב הנוכחי PV יותר זול, ואולי מחירו ירד עוד יותר, אך לתרמו-סולארי יש תועלות נלוות שאין להתעלם מהן: יכולת אגירה המשפרת dispatchability; ואפשרות הפעלה היברידית. בנוסף – הטכנולוגיה התרמו-סולארי היא טכנולוגיה ישראלית, ויש לתת משקל לתוכן מקומי.

### המלצות:

1. מומלץ להרחיב את תחומי המו"פ הישראלי בכל תחומי הטכנולוגיה הסולארית - התרמית, הפוטו-וולטאית וטכנולוגיית אגירה של אנרגיה תרמית וחשמלית. מתקן משולב עתידי של ייצור חשמל מאנרגיה סולארית ואגירתו באופן המאפשר dispatchability, ובמחיר שהוא בר תחרות מול ייצור חשמל קונבנציונאלי, יגרום למהפכה של ממש במשקי החשמל בעולם כולו.
2. מומלץ להרחיב את תחומי המו"פ הישראלי לכלול טכנולוגיות ושיטות לקליטת אנרגיה פוטו-וולטאית מרשתות חלוקה באחוזים גדולים בלי להפריע ליציבות הרשת, בעוד מועד.
3. בהתייחס לדו"ח הוועדה לבחינת התועלת הכלכלית של אנרגיות מתחדשות (ועדת קנדל) יש להביא בחשבון עלויות מיוחדות הכרוכות בשילוב אנרגיה מתחדשת ושלא נלקחו בחשבון בתחשיבי הוועדה, וביניהן למשל עלויות גיבוי בגין הקמת מתקני אגירה שאובה, עלות בגין הולכה וחלוקה ועלות בגין שימוש מוגבר בצריכת קרקע. סיכום התועלות למשק החשמל מאנרגיה מתחדשת יעודכן בהתאם.
4. מומלץ לדרוש מיצרנים חדשים יכולת אגירה, כפי שנעשה לאחרונה בקליפורניה ובגרמניה. כך יתאפשר ניצול עודף החשמל ממקורות לא רציפים (intermittent). בהקשר זה צריך לחשוב מה יקרה אצלנו עם ריבוי יצרנים קטנים ללא בקרה.
5. מומלץ לכנס דיון מומחים לבחינת הפוטנציאל של היברידיתזציה.

## פרק 6: רשימת מקורות

1. דו"ח הוועדה לבחינת התועלת הכלכלית של אנרגיות מתחדשות. המלצות הצוות הבין-משרדי בראשות י. קנדל, המועצה הלאומית לכלכלה, משרד ראש הממשלה (2013)
2. SEIA, Major Solar Projects in the United States: Operating, Under Construction, or Under Development, February 2014;  
<http://www.seia.org/sites/default/files/resources/SEIA%20Major%20Solar%20Projects%20List%202.3.14.pdf>
3. ירום אריאב ומאיר עמיר : תועלות כלכליות בשילוב אנרגיות מתחדשות במשק החשמל - דו"ח כלכלי לענף הפוטו-וולטאי. עמדת איגוד חברות אנרגיה מתחדשת בישראל, אפריל 2012.
4. ירון זליכה : המחיר המשקי האופטימאלי למערכת פוטוולטאית המותקנת על גגות – ניתוח כדאיות כלכלית משקית על בסיס Grid Parity, מרץ 2012.  
<http://www.slideshare.net/tashtiot/ss-11960567>
5. Mike Green, IEEE Power & Energy Volume 11, no. 2 March/April 2013

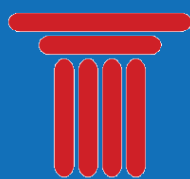
## נספח 1 – תכנית פורום אנרגיה: חשמל מאנרגיה סולארית בישראל

<b>פתיחה</b>	<b>:13:10-13:00</b>
יובל זהר – משרד האנרגיה, מינהל החשמל	<b>:13:20-13:10</b>
הסטטוס הנוכחי של שוק האנרגיות המתחדשות בישראל בדגש על אנרגיה סולארית	
מרים ופרי לבאון, קבוצת לבאון (יוצג ע"י פרופ' אופירה אילון)	<b>:13:30-13:20</b>
Current Developments in Solar Energy Production in California	
אלון תמרי, סולאר פאוור בע"מ	<b>:13:40-13:30</b>
נושא ה-PV בישראל – מה באמת קרה, מה עומד לקרות בארץ ובעולם	
אלי מנדלברג, הליופוקוס	<b>:13:50-13:40</b>
למה ומה צריכה המדינה לעשות כדי שהטכנולוגיה הסולרית תרמית תגיע בהקדם ל- GRID PARITY.	
ישראל קרויזר, BrightSource	<b>:14:00-13:50</b>
תעריפים לחשמל מאנרגיה סולארית	
פרופ' דוד פיימן, אוניברסיטת בן גוריון, שדה בוקר	<b>:14:10-14:00</b>
תשובות לשאלות בנושא הפורום	
מייק גרין, M.G. Lightning	<b>:14:20-14:10</b>
אתגרים למנהל הרשת בקליטת PV	
הפסקה	<b>:14:45-14:20</b>
דיון פתוח, תוך התמקדות בשאלות הבאות:	<b>:17:00-14:45</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• מהו התמהיל הרצוי של חשמל סולארי תרמי/פוטוולטאי ?</li> <li>• מהם היתרונות והחסרונות של כל אחת משתי השיטות הנ"ל למשק החשמל ?</li> <li>• מהי מידת השילוב הרצויה והאפשרית של ייצור חשמל סולארי במשק החשמל (כלכלית וטכנית), ומה צופן לנו העתיד בעניין זה?</li> </ul>	
<b>סיום</b>	<b>:17:00</b>

מפגשי פורום האנרגיה של מוסד נאמן (www.neaman.org.il)

**שנה פרויקט**

2013	פורום האנרגיה ה- 29 : עיר חכמה
2013	פורום האנרגיה ה- 28 : תחבורה יבשתית בת קיימא : היבטי אנרגיה וסביבה
2013	פורום האנרגיה ה- 27 : רשת חשמל חכמה כמנוע צמיחה לתעשייה בישראל
2012	פורום האנרגיה ה- 26 : ניצול פצלי שמן בישראל
2012	פורום האנרגיה ה- 25 : משק האנרגיה בישראל - חזון 2028
2012	פורום האנרגיה ה- 24 : אנרגית שמש לבנייני מגורים בישראל
2011	פורום האנרגיה ה- 23 : ניצול אנרגית הרוח בישראל
2011	פורום האנרגיה ה- 22 : תחנת כוח גרעינית בישראל
2011	פורום האנרגיה ה- 21 : שיפוץ אנרגטי של בניינים
2011	פורום האנרגיה ה- 20 : מערכות פוטו וולטאיות מחוברות -רשת למגזר הביתי והמסחרי
2010	פורום האנרגיה ה- 19 : חיסכון באנרגיה במערכות תאורה
2010	פורום האנרגיה ה- 18 : מיזוג אוויר סולארי בישראל
2010	פורום האנרגיה ה- 17 : השלכות חדירת גז טבעי למשק האנרגיה של ישראל
2010	פורום האנרגיה ה- 16 : רשת חשמל חכמה
2009	פורום האנרגיה ה- 15 : התייעלות אנרגטית ברשויות המקומיות בישראל
2009	פורום האנרגיה ה- 14 : רכב חשמלי והיברידי
2009	פורום האנרגיה ה- 13 : תחנות כוח סולאריות בישראל
2008	פורום האנרגיה ה- 12 : אנרגיה במשק המים
2008	פורום האנרגיה ה- 11 : בניה חסכונית באנרגיה
2008	פורום האנרגיה ה- 10 : השפעות בריאותיות וסביבתיות של השימוש בגז טבעי בישראל
2008	פורום האנרגיה ה- 9 : מקומה של ישראל בשוק הביואתנול העולמי
2007	פורום האנרגיה ה- 8 : ניהול ביקושים ואספקה
2007	פורום האנרגיה ה- 7 : בידולקים להפקת אנרגיה
2007	פורום האנרגיה ה- 6 : חיסכון במערכות מיזוג אוויר
2007	פורום האנרגיה ה- 5 : צרכי המחקר באנרגיה חלופית בישראל
2007	פורום האנרגיה ה- 4 : אנרגיית השמש להפקת חום
2006	פורום האנרגיה ה- 3 : הפקת אנרגיה מפסולת
2006	פורום האנרגיה ה- 2 : מערכות משולבות ליצירת חום וחשמל (קוגנרציה)
2006	פורום האנרגיה ה- 1 : חשמל ממערכות פוטו-וולטאיות



## **מוסד שמואל נאמן**

למחקר מתקדם במדע וטכנולוגיה

**הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל**

טל. 04-8292329, פקס. 04-8231889

קרית הטכניון, חיפה 32000

[www.neaman.org.il](http://www.neaman.org.il)