

## הערכת הפוטנציאל לייצור חשמל פוטו-וולטאי מבוזר על גגות בתים בישראל

הוכן עבור מכון דש"א  
ע"י רן ורדימון  
המחלקה לחומרים ופני שטח, מכון ויצמן למדע.

19/01/2010

### רקע

ייצור נתח חשמל משמעותי מסך החשמל המיוצר במדינת ישראל על ידי חשמל פוטו-וולטאי, ידרוש הקצאת שטחים נרחבים. לדוגמא, כדי לייצר 10% מצריכת החשמל הפרטית של מדינת ישראל נדרש שטח עצום של כ-25 קמ"ר. מטרת המחקר היא לבדוק את הפוטנציאל של שימוש בשטח גגות במטרה למנוע פגיעה בשטחים פתוחים. שימוש בשטח גג לייצור חשמל פוטו-וולטאי ימנע פגיעה סביבתית, יקטין אובדני יעילות הנגרמים מהסעת החשמל. מטרת המחקר היא לברר מהי כמות החשמל הפוטו-וולטאי שניתן לייצר על שטחי גגות בארץ.

### חישוב שטח הגג הכולל

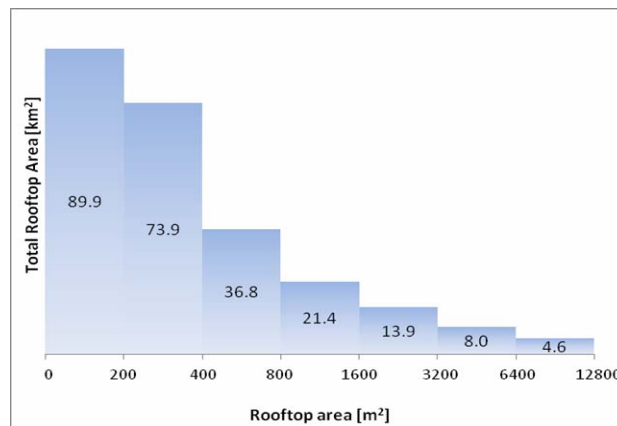
במחקר, נעשה שימוש במערכת מידע גיאוגרפית (GIS), להערכת שטח הגגות הפנוי בארץ. לצורך כך, בוצעו חישובים על שכבת המבנים של המרכז למיפוי ישראל, הכוללת תחילה מדויקת של כל המבנים בארץ וסיווגם לפי ייעוד ושטח. להלן תמונות של שכונה ברמת גן ממערכת ה-GIS. התמונה הימנית כוללת את שכבת המבנים של המרכז למיפוי ישראל.



הטבלה הבאה מכילה סיכום של שטחי המבנים לפי ייעוד המבנה. זהו סיכום של חלק מהמבנים בלבד, כאשר מבנים מייעודים אשר לא נמצאו מתאימים להתקנת מערכות פוטו-וולטאיות (למשל: "חממה") לא נלקחו בחשבון. שטח הגגות הכולל הינו 251 קמ"ר.

שטח מבנה ממוצע [m <sup>2</sup> ]	שטח כולל [km <sup>2</sup> ]	ייעוד המבנה
195	188.7	כללי
954	24.0	תעשייה
393	23.8	חקלאות
35	6.5	מחסן
870	4.1	ציבורי
495	2.6	חינוך
1064	1.7	קניון
<b>201</b>	<b>251</b>	<b>סה"כ</b>

הגרף הבא מכיל היסטוגרמה של השטח הכולל, לפי שטח מבנה. ניתן לראות למשל, כי כ-20% מהמבנים (ובסה"כ 50 קמ"ר) הם בעלי שטח גג גדול מ-800 מ"ר. ככל ששטח הגג גדול יותר, כך משתלם יותר להקים ולתחזק בו מערכת פוטו-וולטאית.



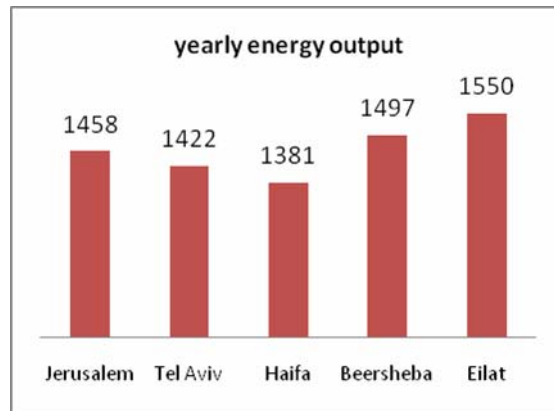
### שטח הגג הפנוי

באופן כללי, לא ניתן לנצל את כל שטח הגג להקמת מתקנים סולאריים בשל מכשולים שונים ומבנים המוצבים בו. מחקרים בעולם ונתוני אצבע בתעשייה מספקים הערכות שונות לאחוז שטח הגג הפנוי. בבניינים בעלי גג משופע שטח הגג הפנוי מוערך בכ-20% ובגגות שטוחים בכ-50-70%, ואחוז זה יגדל ככל ששטח הגג גדל. לצורך הערכת הפוטנציאל בארץ, נעשה שימוש בממוצע זהיר של 30% שטח גג פנוי.

### תפוקה שנתית של מערכת בגודל 1kW<sub>p</sub>

מסימולציות וממדידות קרינה שבוצעו, ניתן להסיק שהתפוקה השנתית של מערכת פוטו-וולטאית (DC), היא אחידה יחסית בכל חלקי הארץ, ותשתנה בלא יותר מ-8% (לכל כיוון) מהממוצע העומד על 1460 kWh לשנה לקילווט-פיק מותקן. לכן לצורך החישובים, השימוש בממוצע, לא יגרור טעות משמעותית בחישוב הפוטנציאל הכולל. הטבלה הבאה מראה את התפוקה השנתית ב-DC לקילווט-פיק בערים שונות בארץ.

בנוסף החישוב לוקח בחשבון אובדן של 10% בשל חיווט והמרה לזרם חילופין (AC).



### חישוב הפוטנציאל הכולל בארץ

בחישוב הפוטנציאל הכולל, נעשתה הנחה כי יעילות פאנלים היא 16% (יעילות של פאנל סיליקון מסחרי, לעומת פאנל thin-film בעל יעילות של כ-7-8%). כמו כן, נעשתה ההנחה שכל הגגות זמינים להתקנת מערכות, כאשר השטח הפנוי הממוצע לגג הוא 30%. בנוסף, נעשה חישוב הרבה יותר זהיר, המניח שההתקנות יבוצעו רק על גגות גדולים מאוד (מעל 800 מ"ר), אך בעלי תפוסה יותר גבוהה (50% מהשטח זמין להתקנות). כמו כן, נבחרה יעילות פאנלים נמוכה יחסית של 10%. הטבלאות הבאות

מסכמות את החישובים עבור שתי סוגי המערכות.

חישוב זהיר	
יעילות פאנלים	10%
התקנות על	גגות גדולים מ 800m <sup>2</sup>
אחוז שטח גג פנוי	50%
שטח גג	50 km <sup>2</sup>
שטח גג פנוי	25 km <sup>2</sup>
סה"כ מערכות מותקנות	2500 MW <sub>p</sub>
ייצור שנתי	3.3 TWh
אחוז מייצור החשמל כיום	7%

פוטנציאל כולל	
יעילות פאנלים	16%
התקנות על	כל הגגות
אחוז שטח גג פנוי	30%
שטח גג	252 km <sup>2</sup>
שטח גג פנוי	76 km <sup>2</sup>
סה"כ מערכות מותקנות	12000 MW <sub>p</sub>
ייצור שנתי	16 TWh
אחוז מייצור החשמל כיום	32%



מהנתונים ניתן לראות שבחישוב הפונטציאל הכולל, ניתן להתקין מערכות בגודל כולל של  $12000 \text{ MW}_p$ , כמות הגדולה מסך ההתקנות שבוצעו עד כה בעולם. ייצור החשמל השנתי בתסריט זה הוא שקול ערך ל 32% מסך ייצור החשמל לשנת 2008, העומד על  $50 \text{ TWh}$ . זוהי כמות מאוד משמעותית. למעשה, ללא אמצעי אגירה, ישנו חסם המאפשר ייצור של עד 10-15% מהחשמל בעזרת אנרגיה סולארית.

בתסריט הזהיר, הלוקח בחשבון גגות גדולים בלבד (שהם יותר אטרקטיביים להקמת מערכות סולאריות) ניתן לראות שעדיין אפשר להגיע לאחוז משמעותי מייצור החשמל השנתי (7%), וסה"כ התקנות של  $2500 \text{ MW}_p$ .

### מסקנות

המסקנה הברורה היא שקיים שטח גג מספק בהחלט עבור התקנת כמות משמעותית של חשמל פוטו-וולטאי ביחס לסך הייצור במשק החשמל. מערכת ה GIS, מאפשרת לאתר בקלות מבנים ואזורים פוטנציאליים להתקנות, ויכולה לשמש ככלי רב ערך עבור מקבלי ההחלטות ועבור מתקיני מערכות סולאריות בפרט.

#### **קישורים למסמכים ומצגת נוספים של מכון דש"א בנושא אנרגיה מתחדשת ושטחים פתוחים:**

- [אנרגיה מתחדשת והשמירה על השטחים הפתוחים - מסמך עקרונות ראשוני](#)
- [אנרגיות מתחדשות ושמירה על שטחים פתוחים-מצגת](#)
- [אנרגיה חלופית ושטחים פתוחים](#)
- [Potential for Distributed Photovoltaic Electricity Production in Israel](#)