

אפריל 09

## ייצור אנרגיה חשמלית בטכנולוגיה פוטו-וולטאית

בעקבות פניות רבות שהתקבלו במשרד להגנת הסביבה באשר לשימוש בתאים פוטו-וולטאיים לייצור חשמל ביתי, להלן מסמך שבו מוצגת עמדת המשרד **להגנת הסביבה** בנושא קרינה בלתי מייננת ממתקנים פוטו-וולטאיים וכן יישומים רלבנטיים לנושא.

### עמדת המשרד להגנת הסביבה:

אין חשש מסכנת קרינה בלתי מייננת הנפלטת ממתקן פוטו-וולטאי המהווה השפעה לבריאות הציבור השוכנים בקרבתו בתנאי שמתקנים את הממיר במרחק של 4 מ' לפחות מאזור שהיית אנשים דרך קבע.

### מהי טכנולוגיה פוטו-וולטאית?

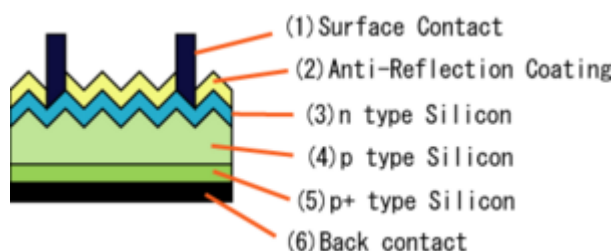
זוהי טכנולוגיה המאפשרת המרת קרינת האור לחשמל. המתקן כולל:

- א. התא הפוטו-וולטאי
- ב. המודול
- ג. הממיר

**התא הפוטו-וולטאי** מכיל לפחות שתי שכבות דקות של מוליך למחצה, לרוב סיליקון. שכבה אחת טעונה שלילית והשנייה חיובית. כאשר המוליכים למחצה מוארים, נוצר שדה חשמלי הגורם לתנועת אלקטרונים ו"חורים" בין שתי השכבות. בעקבות כך נוצר זרם חשמלי ישר. ככל שהאור חזק יותר (שטף אור גבוה) גבוה יותר הזרם שנוצר.

עקרון פעולת התא הפוטו-וולטאי מוצג באיור הבא: פוטונים משחררים אלקטרונים וחורים (בחומר בולע אור) שנפרדים בתוך החומר המוליך שבתוכו יש שדה חשמלי באזור הקשר p-n

באיור הבא ניתן לראות את ההבדל בין חלקי מבנה של תא פוטו-וולטאי טיפוסי:



המתח האלקטרומניע המקסימאלי בהדקי תא סולארי טיפוסי הינו 0.5 V.

חומרים נוספים המשמשים כמוליכים-למחצה:

- חומרים אורגאניים או פיגמנטים אורגאניים (תאי Gratzel)
- CdTe, GaAs, CuInSe

החסרונות של החומרים הנ"ל הם הכמויות המוגבלות הנמצאות בטבע והעלות הגבוהה של ייצורם. הסיליקון הוא החומר השני, מבחינת הכמות, הקיים בכדור הארץ. מבחינה מעשית, הוא מצוי בכמות בלתי מוגבלת.

**המודול** מחבר מספר תאים לתוך יחידה אחת לייצור זרם חשמלי גבוה, המספיק להפעלת מכשירים חשמליים ביתיים.  
מתקנים מספר מודולים כפונקציה של כושר הייצור של המערכת המתוכננת.

**הממיר** הופך את הזרם הישר לזרם חלופי בתדר (50 Hz) מן הסוג שרשת החשמל הארצית מספקת.

הנצילות המקסימאלית התיאורטית לייצור אנרגיה חשמלית מאור השמש היא 85%. (נצילות היא היחס בין ההספק היוצא לזה שנכנס באחוזים). נצילותה של תחנת כוח פחמית היא כ- 35% בלבד.

מערכת פוטו-וולטאית כוללת גם את הפריטים האלה:

**מצבר** – לאגירת האנרגיה המיוצרת בשעות האור;

**בקר טעינה למצבר** – להגן על המצבר בפני טעינת יתר, או חוסר טעינה. המכשיר יכול למדוד גם אם כמות החשמל יוצרה/נוצלה.

מכל החלקים הנ"ל: מצבר, בקר, ממיר, מודול והתא, רק הממיר מייצר סביבו שדה מגנטי. השדה המגנטי הוגדר על ידי ארגון הבריאות העולמי כמסרטן אפשרי (דרגת סיכון שלישית) [לשם השוואה, בדרגה זו נכללים גם קפה, פליטות ממנועי בנזין, סטירן ועוד תרכובות אורגניות] ולכן יש להגביל את החשיפה לו.  
בהתאם לעקרון הזהירות המונעת, יש למנוע שהייה ממושכת בסמוך לממיר, מכיוון שעוצמת השדה המגנטי בקרבתו גבוהה, כפי שניתן לראות בטבלה הבאה:

שטף המגנטי עבור זרם 40 A (mG)	מרחק אופקי מהממיר (מ')
76	0.1
26	0.3
16	0.5
2	4
1.6	5

המסקנה:

**יש להתקין את הממיר במרחק של לפחות 4 מ' מאזור שהיית אנשים דרך קבע.**

## מאפיינים טכניים של תאי פוטו-וולטאיים

הפרמטרים הטכניים של התאים ניתנים עבור תנאים הסטנדרטיים (STC, Standard Test Conditions):

- כמות של קרינת אור ליחידת שטח של  $1000W/m^2$  באזור הפנל
- טמפרטורת התא הסולארי  $25^{\circ}C$
- ספקטרום האור AM 1-6 global ; DIN EN 61215, IEC 1215, DIN EN 60904, IEC 904

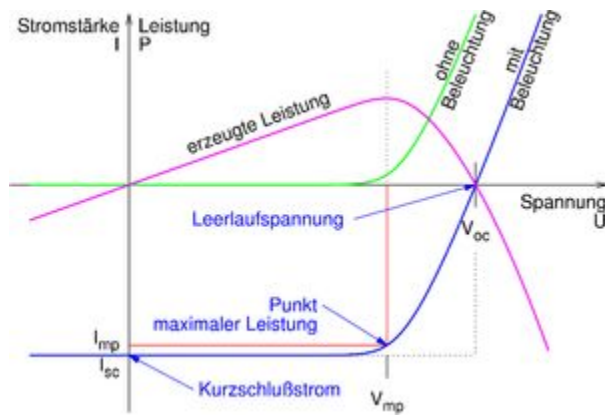
AM 1 ל-6 global נותן אינדיקציה על הפחתת אור השמש על שטח כדור הארץ כפונקציה של קו הרוחב בעקבות העברת כמות גדולה של אוויר ביחס לקו הרוחב. למשל,

AM 1.5 global מייצג תנאי קיץ מאזור צפון הים התיכון עד מרכז שוודיה. בחורף התנאים מתאימים לערכים בין AM4-AM6.

Global נותן אינדיקציה שהאור מורכב מאור מפוזר ומאור ישיר.

יש לציין שבקיץ הטמפרטורה של התאים (תלוי בעמדה, עוצמת הרוח וכו') יכולה להגיע ל  $60^{\circ}\text{C}$  או יותר, כך שיש ירידה בתפוקה. בעקבות כך יש לקחת בחשבון פרמטר נוסף -  $P_{NOCT}$  - המייצג את הכוח בטמפרטורת הפעולה הרגילה (normal operating cell temperature).

עקומת זרם-מתח של תא סולארי חשוף לקרני שמש ובמצב לא חשוף:



מקרא:

SC - קצר

open circuit - OC, מעגל פתוח

MPP - maximum power point, נקודת כוח שיא (מרבי)

PR - performance ratio quality factor, מקדם יעילות- מראה לנו את החלק מהפנל המספק זרם נומינלי

מאפייני תא מסוג זה הם:

- מתח בריקם (מתח במעגל הפתוח)  $U_{oc}$  (או  $V_{oc}$ )
- זרם הקצר  $I_{sc}$
- מתח בנקודת האופטימאלית כאשר הכוח הוא מרבי  $U_{MPP}$  (או  $V_{MPP}$ )
- זרם בנקודה אשר הכוח הוא מרבי  $I_{MPP}$
- כוח שיא (peak)  $P_{MPP}$

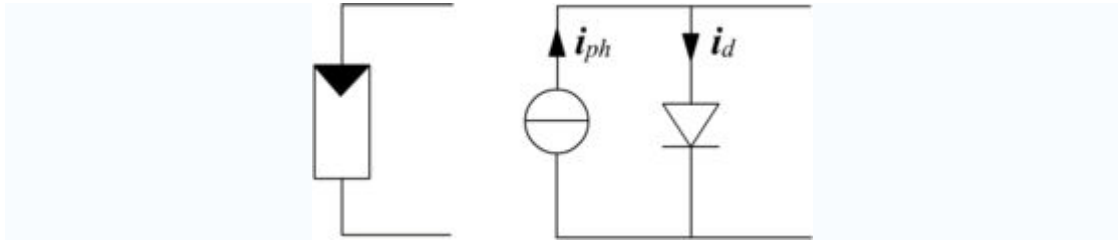
• מקדם התמלאות (מילוי)  $FF = \frac{P_{MPP}}{U_{oc} \cdot I_{sc}}$

• יעילות המרת אנרגיה (energy conversion efficiency)  $\eta = \frac{P_{MPP}}{A \cdot P_{OPT}}$

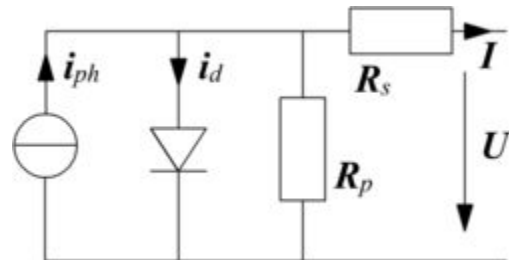
כאשר  $P_{OPT}$  היא צפיפות כוח האור (ביחידות  $\text{W/m}^2$ ) בתנאי סטנדרטי (irradiance) ו- A שטח הפנים המואר של התא

## סכמות חיבורי התאים

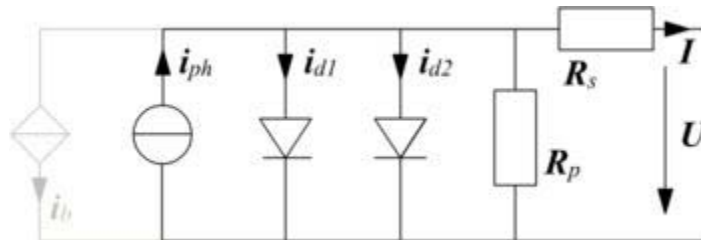
להלן סכימת חיבור התא ומעגל התמורה של התא:



הסימן הקונבנציונאלי עבור תא סולארי מראה באמצעות החץ את כיוון זרימת הזרם, כמו בסימן הדיודה או פוטודיודה. מעגלי תמורה שונים המבדילים בין צורות שונות של בניית המערכת:



מעגל תמורה של תא סולארי עם דיודה אחת



מעגל תמורה של תא סולארי עם שתי דיודות ומקור המגביל את המתח שיופיע אפקט מפולת במתח הפוך

באיורים:  $i_{ph}$  - זרם המקור (פוטוזרם)

$i_d$  - זרם העובר בדיודה

$R_p$  - התנגדות במקביל הלוקחת בחשבון הפרעות בקריסטלים או בחומר שבו

זורמים זרמי איבוד העוברים את החיבור ח-ק. היא צריכה להיות גבוהה.

$R_s$  - התנגדות בטור הלוקחת בחשבון את האפקטים הגורמים לעליית התנגדות

הרכיבים (מוליך למחצה, מגעים, חיבורים). היא צריכה להיות נמוכה.

מידע נוסף:

- זמן החזר ההשקעה הוא כ-6 שנים לכל היותר
- מערכים פוטו-וולטאיים משתמשים לייצור חשמל ללוויינים ולתחנות חלל
- משתמשים במערכות אלו גם למבנים בודדים או מקבץ בניינים (כמו למשל בכלא הפרטי בבאר שבע)

- בייצור התאים משתמשים חלקית גם בחומרים מסוכנים לבריאות ולסביבה, כגון תאים עם שכבה דקה של CdTe או תאים המפורסמים CIS ו- CISG. יש לשקול טוב שימושם בשטחים גדולים. ניתן לומר שאפשר לסייע בטכנולוגיות ירוקות שלא מסוכנות לסביבה ומבטיחות יתרונות תחרותיות.
- יש לתכנן ולבצע את מערכת החשמל הפנימית בהתאם לתקנות חוק החשמל והוראות הבטיחות הנהוגות בישראל העומדות בסטנדרטים המקובלים בתחום הזה.

הרשות לשירותים ציבוריים- חשמל פרסמה בתאריך 02/06/2008 את המסמך: **ההסדר לייצור חשמל מבוזר לצריכה עצמית והעברת עודפים לרשת באמצעות מתקנים קטנים בטכנולוגיה פוטו וולטאית.**

מכיוון שהמתקנים לייצור חשמל בטכנולוגית PV, עפ"י ההסדרה, מיועדים להיות מותקנים גם על גגות מבני מגורים או ציבוריים וסככות חקלאיות, אנו מוצאים לנכון ליידע את הציבור:

**אין חשש מסכנת קרינה בלתי מייננת הנפלטת ממתקן פוטו-וולטאי המהווה השפעה לבריאות הציבור השוכנים בקרבתו בתנאי שמתקנים את הממיר במרחק של 4 מ' לפחות מאזור שהיית אנשים דרך קבע.**

המתקן מייצר חשמל בזרם ישר באמצעות קולטי אור (מודולים) שאינם פולטים קרינה כלל. הממירים, המהפכים את הזרם הישר לזרם חילופין, פולטים קרינה ברמה נמוכה (בדומה למערכת החשמל המזינה את הבית) ואינם גורמים נזק בריאותי.

ברחבי העולם טכנולוגית ה-PV נפוצה ומקבלת עידוד ממשלתי על מנת להפחית את הזיהום הסביבתי הנוצר מטכנולוגית ייצור החשמל המוזנת מדלקים פוסיליים.

ממשלת ישראל מעודדת ומסבסדת ייצור חשמל בטכנולוגית PV כחלק מהמאמץ העולמי להגנת הסביבה.

**המשרד להגנת הסביבה רואה בעין יפה את הצבת המתקנים לייצור חשמל בטכנולוגיה פוטו-וולטאית על גגות מבנים קיימים או עתידיים כחלק ממדיניות זו.**

אלברטו ברנשטיין  
ממונה קרינה בלתי מייננת ממתקני חשמל  
אפריל 2009