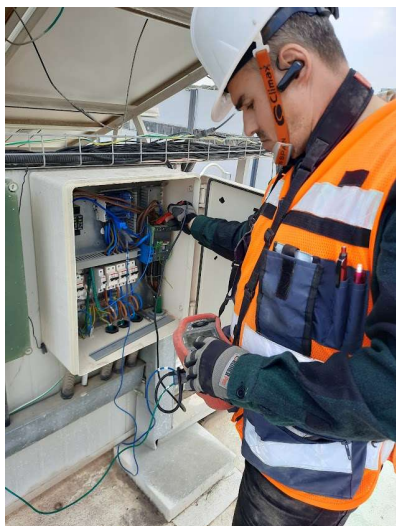


אתגרים בתפעול מערכות סולאריות

פרמטרים למדידת ביצועי מתקנים

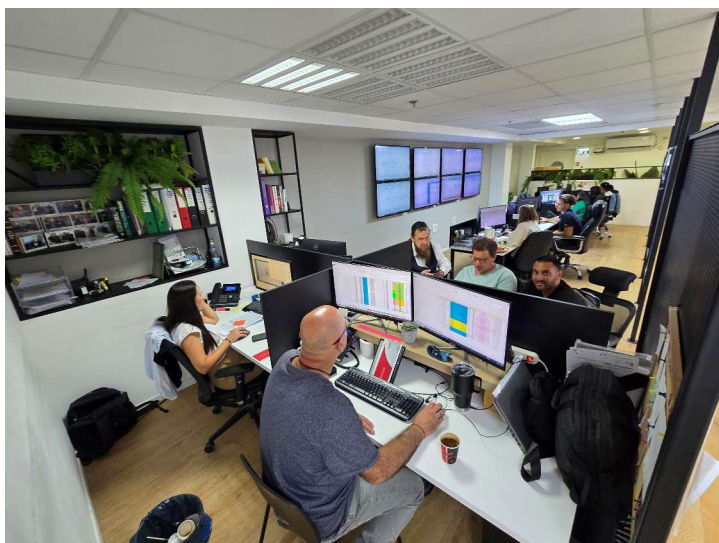
מאת: אנטון פלצקובסקי

על עצמי



- **בוגר BGU:**
 - **B.Sc חשמל ומחשבים: מערכות הספק ומיקרואלקטרוניקה**
 - **M.B.A: מימון וביטוח**
- **עם ניסיון של 10 שנים בתחום תפעול ותחזוקה של מתקנים סולאריים פוטו וולטאיים**
- **6 שנים בחברת BELECTRIC | 4 שנים בחברת גרין פאנל**
- **משמש כמהנדס ראשי בחברת גרין פאנל**
- **מהווה את הסמכות המקצועית הטכנית של החברה ושל עובדיה**
- **חשמלאי מהנדס 5 שנים**
- **גר באשדוד, נשוי+2.**

על גרין פאנל



- ביצוע כלל עבודות התחזוקה: מונעת, מתקנת, שבר למערכות אנרגיה סולארית, החל מגגות קטנים ועד מערכות מתח גבוה
- מערכת ניהול קריאות ממוחשבת ודוחות תפוקה ושירות חודשיים
- מרכז ניטור ובקרה מתקדם
- שירותי הנדסה In-house לפתרון בעיות מורכבות, תכנון מערכות וביצוע שדרוגים
- צוותי שטיפה בפריסה ארצית כולל ניטור ובקרה על איכות השטיפה והביצועים לאחריה
- ליווי על ידי ממונה בטיחות מוסמך בפעילות החברה והקפדה על עבודה בטוחה ומקצועית

על גרין פאנל

1,800 מערכות
פוטו-וולטאיות
מהגולן עד אילת

70 עובדים
בכל הארץ

200MW מעל
גגות, קרקעיות, ומאגרי מים
ממערכות חד פאזיות עד מתח עליון

שירות מבוסס ערכים:
**מקצוענות, שירותיות
ומשפחתיות**

 **enlight**

 **Solegreen**
Renewable Energy

 **solar edge**

 **SUNGROW**

 **FIMER**

 **HUAWEI**

נושאי הסדנה

1. פרמטרים של ביצועים - KPI – Key Performance Index :

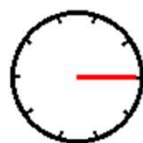
א. תפוקה מנורמלת - Yield [kWh/kWp]

א. יחס ביצועים - Performance Ratio – PR [%]

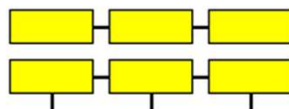
א. זמינות - Availability [%]

2. עקומת מתח זרם - IV Curve

1. תפוקה מנורמלת - Yield [kWh/kWp]



$$Yield \left[\frac{kWh}{kWp} \right] = \frac{Production[kWh]}{P_{STC} [kWp]}$$



תפוקה – [MWh] Production

תפוקה רבע שעתית [MWh]	תפוקה מצטברת [MWh]	זמן
0	41082.3	01/06/2020 6:00
0	41082.3	01/06/2020 6:15
0	41082.3	01/06/2020 6:30
0.1	41082.4	01/06/2020 6:45
0.1	41082.5	01/06/2020 7:00
0.1	41082.6	01/06/2020 7:15
0.2	41082.8	01/06/2020 7:30
0.2	41083	01/06/2020 7:45
0.2	41083.2	01/06/2020 8:00
0.4	41083.6	01/06/2020 8:15
0.4	41084	01/06/2020 8:30
0.4	41084.4	01/06/2020 8:45
0.6	41085	01/06/2020 9:00
0.5	41085.5	01/06/2020 9:15
0.6	41086.1	01/06/2020 9:30
0.7	41086.8	01/06/2020 9:45
0.7	41087.5	01/06/2020 10:00
0.7	41088.2	01/06/2020 10:15
0.8	41089	01/06/2020 10:30
0.8	41089.8	01/06/2020 10:45
0.8	41090.6	01/06/2020 11:00
0.9	41091.5	01/06/2020 11:15
0.8	41092.3	01/06/2020 11:30
0.9	41093.2	01/06/2020 11:45
0.9	41094.1	01/06/2020 12:00
0.9	41095	01/06/2020 12:15
0.9	41095.9	01/06/2020 12:30
0.9	41096.8	01/06/2020 12:45
0.9	41097.7	01/06/2020 13:00
0.9	41098.6	01/06/2020 13:15

- תפוקה – נמדדת על ידי מונה בנקודת ההזרקה לרשת החשמל
- התפוקה מצטברת – ממנה נגזרת תפוקה לפרק זמן מסוים

תפוקה יומית [MWh]	תפוקה חודשית [MWh]	תפוקה שנתית [MWh]
27.6	791.9	8047.7

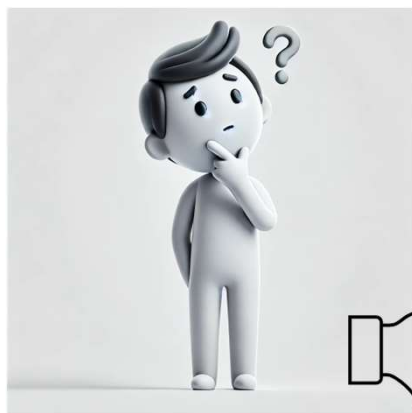
תפוקה מנורמלת - Yield [kWh/kWp]

- הנרמול – הכפלה של התפוקה ב 1000 וחלוקה בהספק המותקן של המערכת

הספק מותקן [kWp]	פרק זמן	תפוקה Production [MWh]	תפוקה מנורמלת Yield [kWh/kWp]
4495.5	יומית	27.6	6.1
	חודשית	791.9	176.2
	שנתית	8047.7	1790.2

- השוואה לסימולציה-

פרק זמן	תפוקה Production [MWh]	תפוקה מנורמלת Yield [kWh/kWp]	Simulated Yield [kWh/kWp]	Diff [%]
חודשית	791.9	176.2	181.2	-3%
שנתית	8047.7	1790.2	1839.5	-3%



תפוקה מנורמלת - Yield [kWh/kWp]



חסרונות

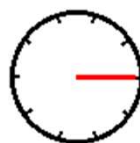
- לא מאפשר תמונת כמה המתקן יכול היה לייצר
- לא מדויק להשוות למתקנים אחרים
- לא ניתן להעריך טוב תפוקה שאבדה בהפסקת ייצור



יתרונות

- ✓ פשוט לחישוב ולמידה
- ✓ לא דורש התקנה של רכיבים מיוחדים – מספיק מונה בנקודת ההזרקה לרשת

2. יחס ביצועים – PR [%] Performance Ratio



$$PR [\%] = \frac{\text{Yield} \left[\frac{kWh}{kWp} \right]}{\text{Irradiation} \left[\frac{kWh}{m^2} \right]} \cdot G_{STC} \left[\frac{kW}{m^2} \right]$$



מדידת הקרינה

- התקנה של כמה מדי קרינה (Pyranometer) במישור הפאנל
- ממוצע משוקלל לפי גודל חלק המתקן עם מאפיין ייחודי

זמן	מדי קרינה 1 [W/m ²]	מדי קרינה 2 [W/m ²]	מדי קרינה 3 [W/m ²]	קרינה ממוקרת חיצונית [W/m ²]	תקינות ערך מדי קרינה 1	תקינות ערך מדי קרינה 2	תקינות ערך מדי קרינה 3	קרינה ממוצעת [W/m ²]	קרינה גבוהה מזהמינימום 100 [W/m ²]	אנרגיית קרינה [kWh/m ²]
01/06 05:15	0.00	0.00	0.00	0	1	1	1	0.00	0	0.00
01/06 05:30	0.00	0.00	0.00	0	1	1	1	0.00	0	0.00
01/06 05:45	0.00	0.51	1.24	7	1	1	1	0.58	0	0.00
01/06 06:00	11.39	12.29	13.21	16	1	1	1	12.29	0	0.00
01/06 06:15	28.51	29.77	31.64	30	1	1	1	29.98	0	0.00
01/06 06:30	50.29	53.01	55.51	45	1	1	1	52.94	0	0.00
01/06 06:45	78.42	79.76	85.29	71	1	1	1	81.16	0	0.00
01/06 07:00	130.10	130.92	138.80	114	1	1	1	133.28	1	0.03
01/06 07:15	178.26	184.29	190.43	160	1	1	1	184.33	1	0.05
01/06 07:30	230.01	244.71	248.02	212	1	1	1	240.92	1	0.06
01/06 07:45	277.99	304.09	304.25	265	1	1	1	295.44	1	0.07
01/06 08:00	323.29	363.12	362.93	319	1	1	1	349.78	1	0.09
01/06 08:15	372.08	421.48	419.56	375	1	1	1	404.37	1	0.10
01/06 08:30	422.51	479.20	477.05	429	1	1	1	459.59	1	0.11
01/06 08:45	522.08	535.77	531.60	486	1	1	1	529.81	1	0.13

מדידת הקרינה



$$Irr_{avg} = \frac{(Irr_W \times P_{STCW} + Irr_S \times P_{STCS} + Irr_E \times P_{STCE})}{P_{STC}}$$

מדידת הקרינה

- בדיקת תקינות הערכים
- למלא חורים בערכים ממקור חיצוני בעת איבוד נתונים
- להחריג ערכים נמוכים מסף מינימלי לתחילת ייצור
- לנקות את מדי הקרינה כל שבועיים

זמן	מד קרינה 1 [W/m ²]	מד קרינה 2 [W/m ²]	מד קרינה 3 [W/m ²]	קרינה ממקור חיצוני [W/m ²]	תקינות ערך מד קרינה 1	תקינות ערך מד קרינה 2	תקינות ערך מד קרינה 3	קרינה ממוצעת [W/m ²]	קרינה גבוהה והמינימום 100 [W/m ²]	אנרגית קרינה [kWh/m ²]
01/06 05:15	0.00	0.00	0.00	0	1	1	1	0.00	0	0.00
01/06 05:30	0.00	0.00	0.00	0	1	1	1	0.00	0	0.00
01/06 05:45	0.00	0.51	0.00	7	1	1	1	0.58	0	0.00
01/06 06:00	11.39	12.29	13.21	16	1	1	1	12.29	0	0.00
01/06 06:15	28.51	29.77	31.64	30	1	1	1	29.98	0	0.00
01/06 06:30	50.29	53.01	55.51	45	1	1	1	52.94	0	0.00
01/06 06:45	78.42	79.76	85.29	71	1	1	1	81.16	0	0.00
01/06 07:00	130.10	130.92	138.80	114	1	1	1	133.28	1	0.03
01/06 07:15	178.26	184.29	190.43	160	1	1	1	184.33	1	0.05
01/06 07:30	230.01	244.71	248.02	212	1	1	1	240.92	1	0.06
01/06 07:45	277.99	304.09	304.25	265	1	1	1	295.44	1	0.07
01/06 08:00	323.29	363.12	362.93	319	1	1	1	349.78	1	0.09
01/06 08:15	372.08	421.48	419.56	375	1	1	1	404.37	1	0.10
01/06 08:30	422.51	479.20	477.05	429	1	1	1	459.59	1	0.11
01/06 08:45	522.08	535.77	531.60	486	1	1	1	529.81	1	0.13
01/06 09:00	597.25	592.17	588.21	545	1	1	1	592.54	1	0.15
01/06 09:15	652.04	644.91	640.98	599	1	1	1	645.98	1	0.16
01/06 09:30	702.80	694.20	689.35	648	1	1	1	695.45	1	0.17
01/06 09:45	749.57	741.12	734.70	700	1	1	1	741.80	1	0.19
01/06 10:00	796.38	787.80	778.91	745	1	1	1	787.70	1	0.20
01/06 10:15	839.57	829.41	819.01	781	1	1	1	829.88	1	0.21
01/06 10:30	876.38	864.99	--	828	1	1	1	870.69	0	0.22
01/06 10:45	914.12	897.73	894.44	860	1	1	1	900.00	1	0.23
01/06 11:00	937.86	924.20	914.74	903	1	1	1	925.60	1	0.23
01/06 11:15	965.67	948.20	936.00	936	1	1	1	949.95	1	0.24
01/06 11:30	990.94	971.84	962.04	956	1	1	1	974.94	1	0.24
01/06 11:45	1009.34	985.51	976.84	979	1	1	1	990.58	1	0.25
01/06 12:00	1027.70	1005.64	--	991	1	1	1	1016.67	0	0.17
01/06 12:15	1036.26	1014.01	1000.00	1000	1	1	1	1016.67	1	0.25

מדידת הקרינה

- התקנה של כמה מדי קרינה (Pyranometer) במישור הפאנל
- ממוצע משוקלל לפי גודל חלק המתקן עם מאפיין ייחודי
- להחריג ערכים נמוכים מסף מינימלי לתחילת ייצור
- למלא חורים בערכים ממקור חיצוני בעת איבוד נתונים
- לנקות את מדי הקרינה כל שבועיים

זמן	מד קרינה 1 [W/m ²]	מד קרינה 2 [W/m ²]	מד קרינה 3 [W/m ²]	קרינה ממקור חיצוני [W/m ²]	תקינות ערך מד קרינה 1	תקינות ערך מד קרינה 2	תקינות ערך מד קרינה 3	קרינה ממוצעת [W/m ²]	קרינה גבוהה ומינימום 100 [W/m ²]	אנרגית קרינה [kWh/m ²]
01/06 05:15	0.00	0.00	0.00	0	1	1	1	0.00	0	0.00
01/06 05:30	0.00	0.00	0.00	0	1	1	1	0.00	0	0.00
01/06 05:45	0.00	0.51	1.24	7	1	1	1	0.58	0	0.00
01/06 06:00	11.39	12.29	13.21	16	1	1	1	12.29	0	0.00
01/06 06:15	28.51	29.77	31.64	30	1	1	1	29.98	0	0.00
01/06 06:30	50.29	53.01	55.51	45	1	1	1	52.94	0	0.00
01/06 06:45	78.42	79.76	85.29	71	1	1	1	81.16	0	0.00
01/06 07:00	130.10	130.92	138.80	114	1	1	1	133.28	1	0.03
01/06 07:15	178.26	184.29	190.43	160	1	1	1	184.33	1	0.05
01/06 07:30	230.01	244.71	248.02	212	1	1	1	240.92	1	0.06
01/06 07:45	277.99	304.09	304.25	265	1	1	1	295.44	1	0.07
01/06 08:00	323.29	363.12	362.93	319	1	1	1	349.78	1	0.09
01/06 08:15	372.08	421.48	419.56	375	1	1	1	404.37	1	0.10
01/06 08:30	422.51	479.20	477.05	429	1	1	1	459.59	1	0.11
01/06 08:45	522.08	535.77	531.60	486	1	1	1	529.81	1	0.13
01/06 09:00	597.25	592.17	588.21	545	1	1	1	592.54	1	0.15
01/06 09:15	652.04	644.91	640.98	599	1	1	1	645.98	1	0.16
01/06 09:30	702.80	694.20	689.35	648	1	1	1	695.45	1	0.17
01/06 09:45	749.57	741.12	734.70	700	1	1	1	741.80	1	0.19
01/06 10:00	796.38	787.80	778.91	745	1	1	1	787.70	1	0.20
01/06 10:15	839.57	829.41	819.01	787	1	1	1	829.88	1	0.21
01/06 10:30	876.38	864.99	849.01	828	1	1	1	870.69	1	0.22
01/06 10:45	914.12	897.73	884.44	860	1	1	1	900.00	1	0.23
01/06 11:00	937.86	924.20	914.74	903	1	1	1	925.60	1	0.23
01/06 11:15	965.67	948.20	936.00	936	1	1	1	949.95	1	0.24
01/06 11:30	990.94	971.84	962.04	956	1	1	1	974.94	1	0.24
01/06 11:45	1009.34	985.51	976.84	979	1	1	1	990.58	1	0.25
01/06 12:00	1027.70	1005.64	990.00	991	1	1	1	1016.67	1	0.17
01/06 12:15	1036.26	1014.01	1000.00	1000	1	1	1	1016.67	1	0.25

יחס ביצועים – PR [%] – Performance Ratio

פרק זמן	תפוקה Production [MWh]	תפוקה מנורמלת Yield [kWh/kWp]	Simulated Yield [kWh/kWp]	Diff [%]
חודשית	791.9	176.2	181.2	-3%
שנתית	8047.7	1790.2	1839.5	-3%

פרק זמן	תפוקה מנורמלת Yield [kWh/kWp]	קרינה [kWh/m2]	PR [%]
חודשית	176	225	78%
שנתית	1790	2243	80%

- ה PR לכשעצמו נראה הגיוני
- תפוקה נמוכה ב 3% ביחס לסימולציה – לא בהכרח הפסדי ייצור
- הביצועים בסדר...

נכון?

השוואה ליחס ביצועים PR מובטח



Month	Irradiation POA simulated [kWh/m ²]	Yield Simulated [kWh/kWp]	PR Simulated [%]
January	127	109	86%
February	158	135	85%
March	188	158	85%
April	215	178	83%
May	230	191	83%
June	224	181	81%
July	236	197	83%
August	225	186	82%
September	180	143	79%
October	164	132	81%
November	135	115	85%
December	137	116	84%
Year	2,214	1,840	83%

78%

80%

- תוצאות סימולציה לפרויקט לפני הקמתו- משקפות הבטחה לשנה הראשונה
- אכן הפרש של 3% בין המובטח בסימולציה ל PR בפועל
- הפרש זהה להפרש בתפוקה
- אז אולי לא צריך בכלל PR? בשביל מה מדדנו קרינה?

שקלול דגרדציה בתפוקה המובטחת

Month	Irradiation POA simulated [kWh/m ²]	Yield Simulated Year 5 [kWh/kWp]	PR Simulated Year 5 [%]
January	127	106	83%
February	158	131	83%
March	188	154	82%
April	215	173	80%
May	230	185	80%
June	224	176	78%
July	236	191	81%
August	225	180	80%
September	180	138	77%
October	164	128	78%
November	135	111	82%
December	137	112	82%
Year	2,214	1,784	81%

• שקלול הדגרדציה של הפאנלים – 0.6% בשנה על ידי:

$$\text{Yield 5} = \text{Yield simulated} \times (1 - 0.6\% \times 5)$$

• מתקבלת תוצאה זהה עבור חודש יוני

• אך חסר 1% בתוצאה השנתית

• אך אחוז בודד זה כלול באי ודאות שבסימולציות מהסוג הזה.

נהוג להניח 2%.

כך שה PR המובטח המינימלי הוא 79%

78%

80%

שקלול דגרדציה בתפוקה המובטחת

$$PR_{actual} \geq PR_{guaranteed}$$

$$\frac{Yield \left[\frac{kWh}{kWp} \right]}{Irradiation \left[\frac{kWh}{m^2} \right]} \geq \sigma \cdot PR_{simulated} \cdot (1 - deg \cdot n)$$

n = מספר השנה התפעולית | deg = דגרדציה של הפאנלים | σ = פרמטר אי ודאות



שקלול דגרדציה בתפוקה המובטחת

• איך היו ביצועי המתקן?

פרק זמן	PR_simulated	Year	degradation	σ (אי ודאות)	PR_Guaranteed	PR_actual	Δ
חודשית	81%	5	0.6%	2%	77%	78%	1%
שנתית	83%	5	0.6%	2%	79%	80%	1%



• ביצועי המתקן היו 1% מעל ההתחייבות

החרגת אירועים

$$\frac{Yield \left[\frac{kWh}{kWp} \right]}{Irradiation \left[\frac{kWh}{m^2} \right] - Irr_{ext.event}}$$

$$\frac{Yield \left[\frac{kWh}{kWp} \right] + Yield_{lost}}{Irradiation \left[\frac{kWh}{m^2} \right]}$$

$$Production[kWh]$$

$$P_{STC} [kWp] \cdot Availability[\%] \cdot Irradiation \left[\frac{kWh}{m^2} \right]$$

• להגדיר אירוע חיצוני

• לנסח מנגנון להחרגת אירועים

○ הורדת דגימות קרינה שנמדדו במשך אירוע חיצוני

○ חישוב הפסדי תפוקה והוספתן לתפוקה שנמדדה

○ הכפלת ההספק המותקן בזמינות

יחס ביצועים – PR [%] – Performance Ratio



חסרונות

- מצריך התקנת רכיבים נוספים (מד קרינה)
- מצריך חישובים למדידות
- מצריך עבודת סינון והשלמת נתונים



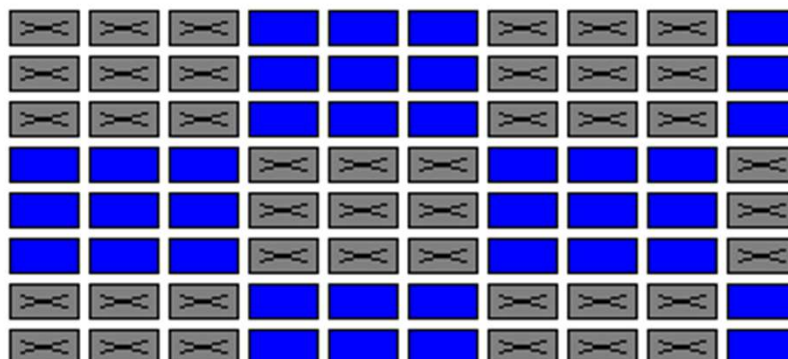
יתרונות

- ✓ מדויק יותר
- ✓ ניתן להשוות למתקנים אחרים
- ✓ ניתן להעריך תפוקה שאבדה בהפסקת ייצור

$$Production[kWh] = PR[\%] \cdot P_{STC} [kWp] \cdot Irradiation \left[\frac{kWh}{m^2} \right]$$

זמינות - Availability [%]

- זמינות – כמה מהספק המותקן זמין לייצר לעומת סך כל ההספק המותקן



זמינות מבוססת זמן

זמינות ממיר:

• דרך 1 - ישירה:

$$Inv_i.Ava. = \frac{T_{Prod} + T_{ext}}{T_{irr>x}}$$

• דרך 2- על דרך השלילה:

$$Inv_i.Ava. = \left(1 - \frac{T_{internal}}{T_{irr>x}} \right)$$

Inverter	1
Nominal power [kWp]	874
T_Prod [min]	20,640
T_internal [min]	180
T_ext [min]	315
T_irr>100 [min]	21,135
Inverter availability	99.15%

$$T_{irr>x} = T_{Prod} + T_{ext} + T_{internal}$$

זמינות מבוססת זמן

זמינות של כל המתקן:

$$Inv.Avg.Ava = \frac{\sum P_{STC} \cdot Inv_i.Ava.}{\sum P_{STC_n}} \cdot$$

Inverter	1	2	3	4	5	Total
Nominal power [kWp]	874	902	916	916	888	4,496
T_Prod [min]	20,640	19,763	20,228	20,640	20,640	20,380
T_internal [min]	180	1,057	592	180	180	440
T_ext [min]	315	315	315	315	315	315
T_irr>100 [min]	21,135	21,135	21,135	21,135	21,135	21,135
Inverter availability	99.15%	95.00%	97.20%	99.15%	99.15%	97.92%

זמינות



חסרונות

- אין התייחסות לתפוקה
- יכול להיות לא הוגן - משקל זהה לארועים בתנאי קרינה שונים



יתרונות

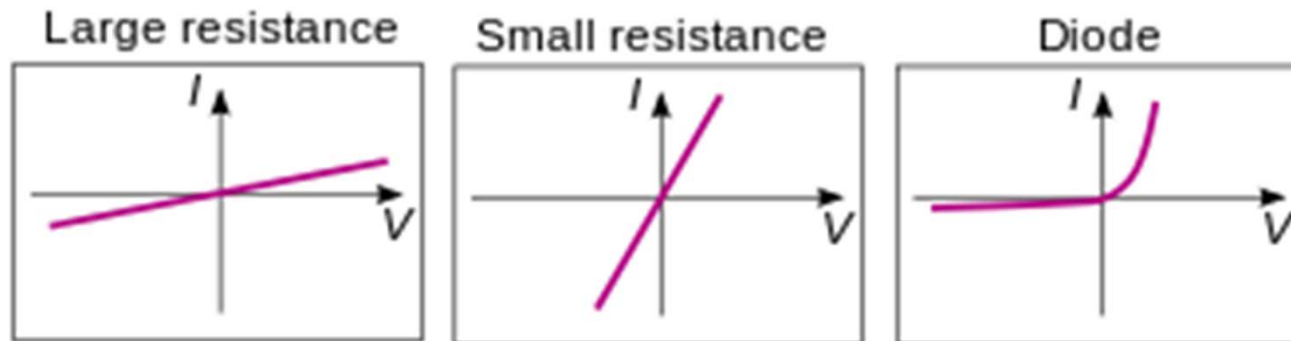
- לא תלוי במזג האוויר
- ניתן להשוות למתקנים אחרים
- קביל מול חח"י
- אין תלות בסימולציה
- פחות מסוכן להתחייבות
- גורם לטיפול מהיר בתקלות ייצור

סיכום KPI's

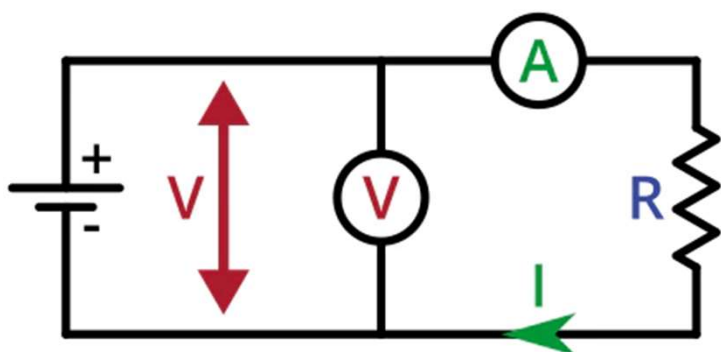
- I. תפוקה מנורמלת - Yield [kWh/kWp]
- II. יחס ביצועים – Performance Ratio – PR [%]
- III. זמינות - Availability [%]

I-V Curve : אופייין מתח זרם

- לכל רכיב חשמלי יש עקומת מתח-זרם
- העקומה עוזרת בתכנון מעגלים אלקטרוניים וחשמליים
- העקומה עוזרת לזהות בעיות כמו קצר, התדרדרות במוליכות ועוד



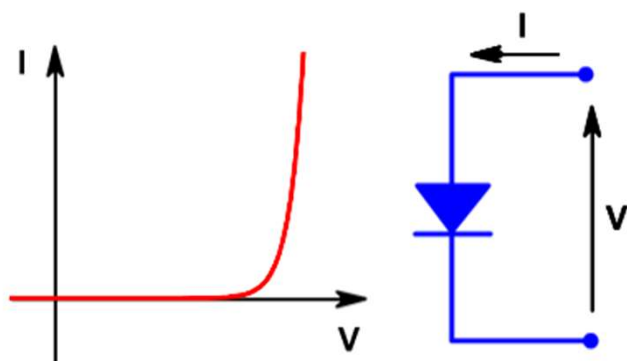
בדיקת אופייין מתח זרם (I-V Curve) לרכיב פסיבי



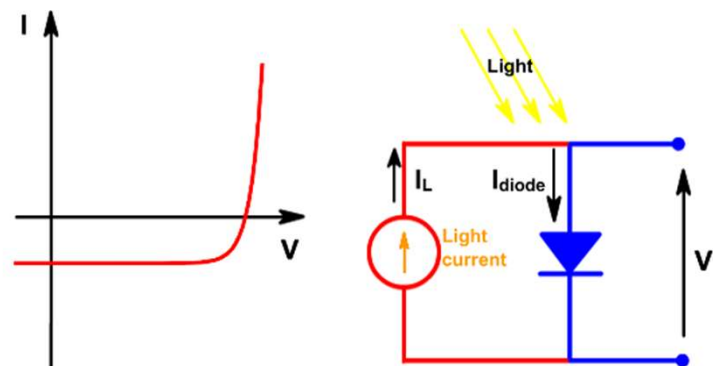
- מכשיר מדידה - I-V Tracer משנה את המתח בין הקטבים ומודד את הזרם המתקבל
- מאוסף הנקודות נוצר גרף דו מימדי

אופייין מתח זרם (I-V Curve) של תא PV

• ללא קרינה – אופייין של דיודה



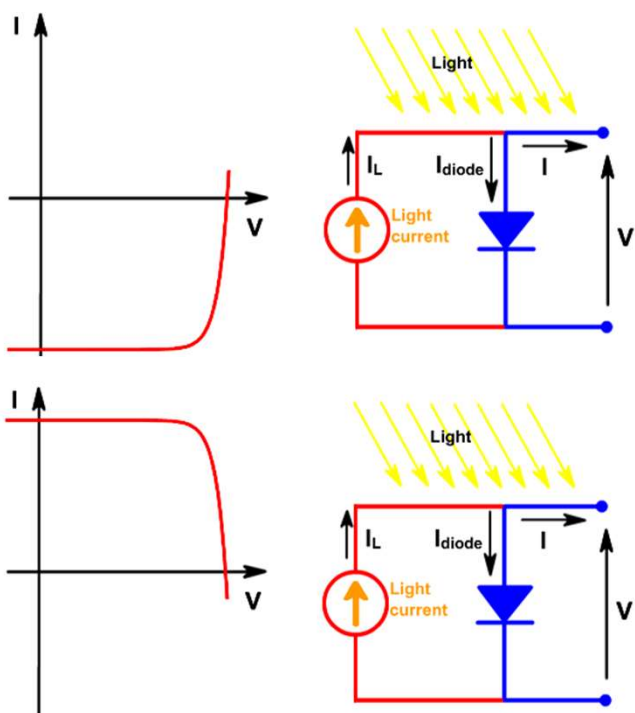
• כשפוגעת קרינה, האופייין זז למטה כשתא מתחיל לייצר הספק



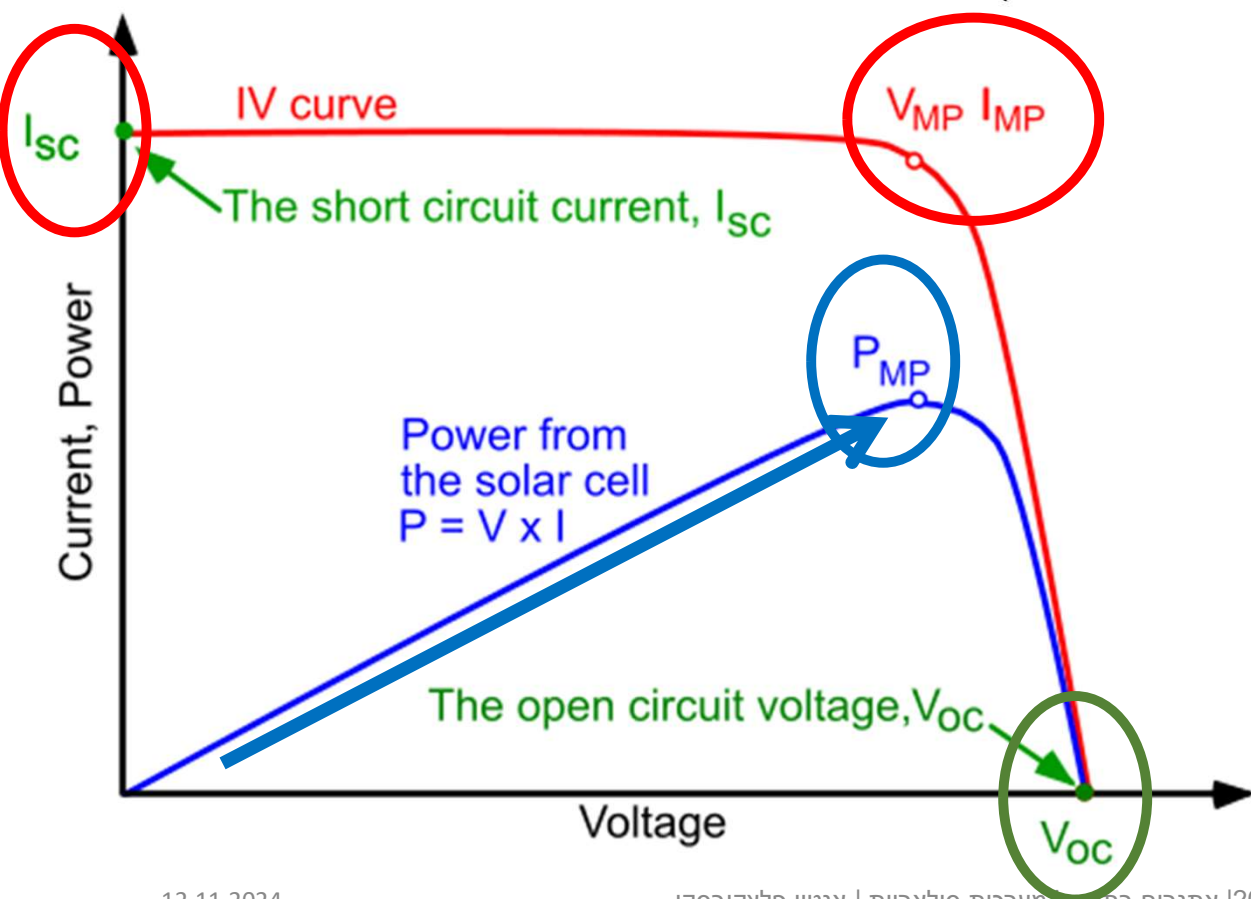
אופייין מתח זרם (I-V Curve) של תא PV

• ככל שפוגעת יותר קרינה, האופייין יורד יותר נמוך

• לשם הנוחות, מציגים את האופייין במהופך

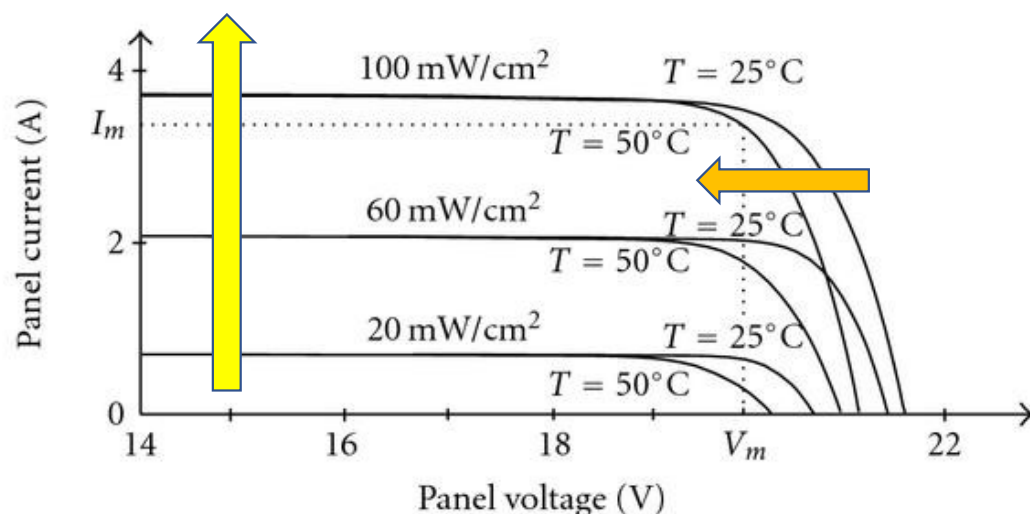


אופיין מתח זרם (I-V Curve) של תא PV



- מכשיר מדידה - I-V Tracer משנה את המתח בין הקטבים על ידי שינוי העומס הפנימי במכשיר ומודד את הזרם המתקבל
- אופיין מלא של תא פוטו וולטאי:

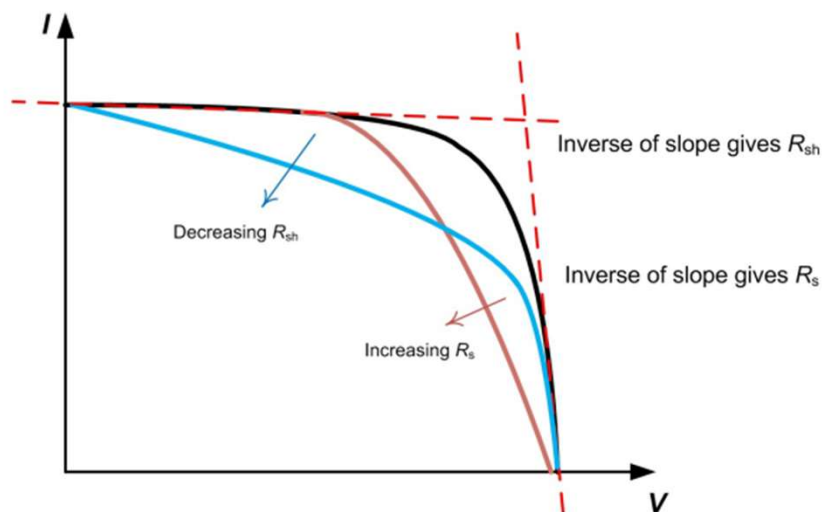
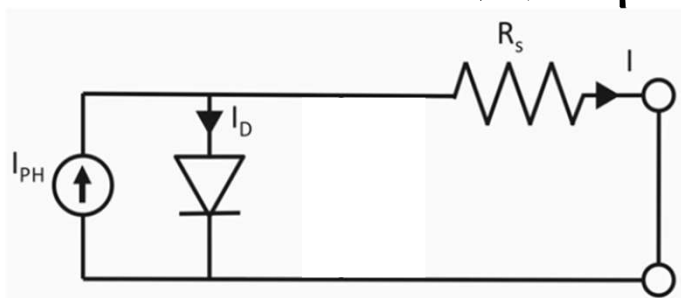
גורמים חיצוניים המשפיעים על האופיין בתא PV



STC –standard Test Conditions
טמפרטורת גב פאנל - 25°C
קרינה - 1000 ואט/מ"ר
ספקטרום של מסת אוויר - AM 1.5

- "גובה" האופיין גדל עם הקרינה
- "רוחב" האופיין קטן עם עליה בטמפרטורה
- המכשיר מודד (עם תוספים) גם את הקרינה ואת טמפרטורת גב פאנל על מנת להשוות לתנאי מעבדה (STC)

גורמים פנימיים המשפיעים על האופייין בתא PV



- סכימת תמורה של פאנל – מקור זרם (האור) דיודה (המל"מ), והתנגדות טורית (מוליכים וכל מה שמפריע במעבר הזרם)
- התנגדות מקבילית – פרזיטית – דפקטים מיקרוסקופיים ביצור, סדקים, זרם שזורם בשולי התא

פלט IV Curve לדוגמא

Instrument data:			
Model: PV Analyser MI 3115	Serial Number: 23452766	Calibration date: 19/02/2024	
User:			
Model: PV Remote WL A 1785	Serial Number: 23451727	Calibration date: 19/02/2024	
User:			
Node/אור: 15-07-A			Fail
Results			
Uoc_m	1070 V		
Isc_m	13.65 A		
Umpp_m	857 V		
Impp_m	12.45 A		
Pmpp_m	10.67 kW		
Uoc	1245 V		
Isc	13.37 A		
Umpp	1038 V		
Impp	12.19 A		
Pmpp	12.66 kW		
Uoc_n	1386 V		
Isc_n	13.85 A		
Pmpp_n	15.13 kW		
Impp_n	12.97 A		
Umpp_n	1166 V		
Irr	912 W/m2		
Tcell	53.6 °C		
SubResults			
Tcell (5 min)	54.1 °C		
Tcell (10 min)	53.6 °C		
Tcell (15 min)	54.7 °C		
Tamb			
ΔPmpp	-16.31 %		Fail
ΔUmpp	-10.97 %		
ΔImpp	-5.99 %		
ΔUoc	-10.14 %		
ΔIsc	-3.48 %		

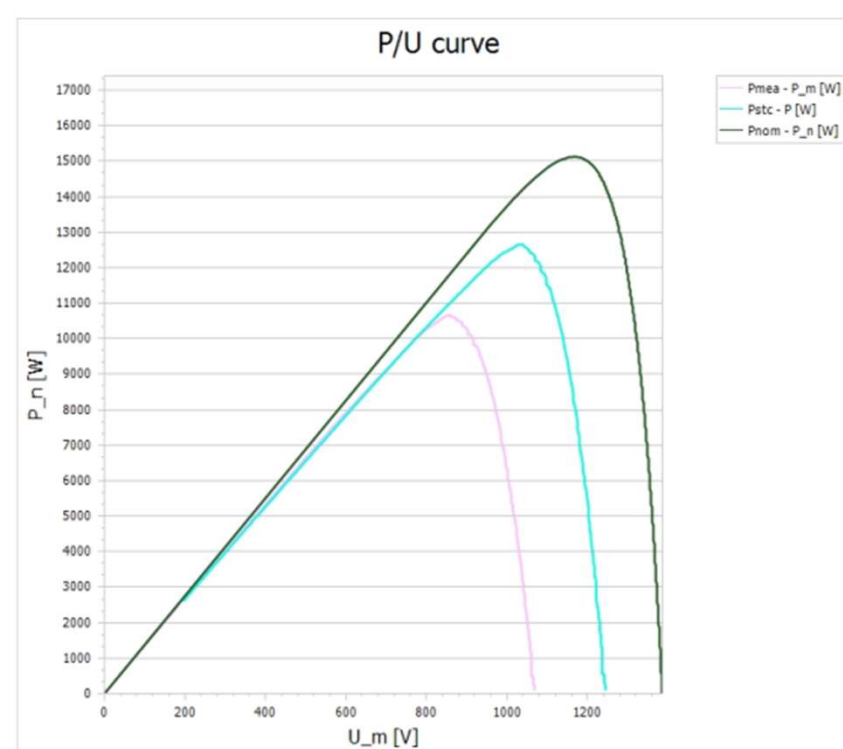
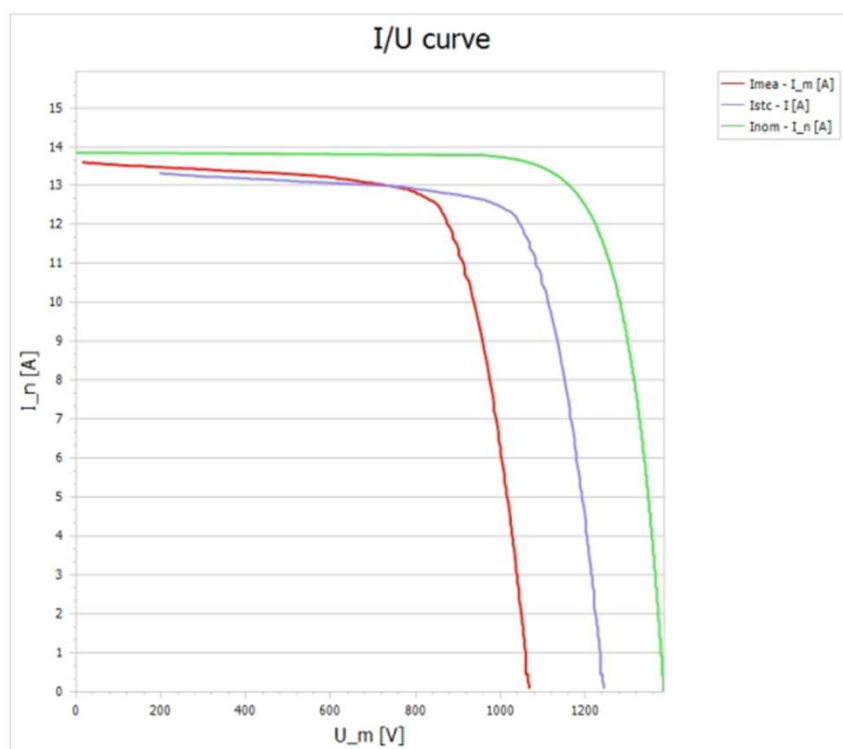
Signature:

Created date: 04/09/2024

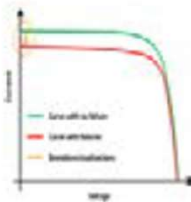
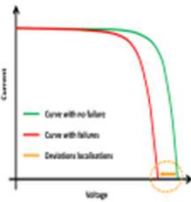
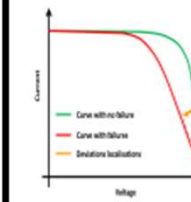
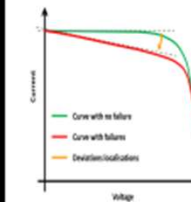
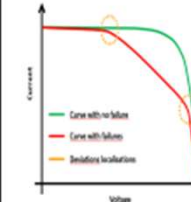
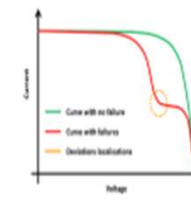
1/4

FF_n	78.80 %	
FF_m	73.05 %	
Limits		
ΔPmpp limit (ΔPmpp)	12 %	
Parameters		
Module		
Name	LONGI 540	
Manufacturer	LONGI	
Long name	LR5-72HPH	
Pmax	540 W	
Umpp	41.65 V	
Impp	12.97 A	
Uoc	49.5 V	
Isc	13.85 A	
NOCT	45 °C	
alpha	0.050 A/°C	
beta	-0.265 V/°C	
gamma	-0.340 %/°C	
Rs	0.8 Ω	
DateTime	11/08/2024 14:10:27	
Number of modules in PV string	28	
Number of PV strings	1	
Irr min	500 W/m2	
Environmental data	Remote	
Tcell correction	1 °C	
ΔUoc warning	10 %	
Graphs		
I/U curve		
P/U curve		

פלט IV Curve לדוגמא



ביטוי תקלות פאנלים ב I-V Curve

S1: I_{sc}	S2: V_{oc}	S3: $R_{oc} = R_s$	S4: $R_{sc} = R_{sh}$	S5: change in slope*	S6: inflex points*
					

* Only possible with several strings of cells protected by working bypass diodes

			P_{max}	S1: I_{sc}	S2: V_{oc}	S3: R_{oc}	S4: R_{sc}	S5: change in slope*	S6: inflex points*
Failure	Safety	Power							
Disconnected bypass diode	B	A							
Short-circuit bypass diode	B	E	X		X				
Inverted bypass diode	B	E	X		X				
Homogeneous loss of transparency	A	C	X	X					
Heterogeneous loss of transparency	A	E	X	X			X		X
Homogeneous glass corrosion	A	D	X	X					
Heterogeneous glass corrosion	A	D	X	X			X		X
Homogeneous delamination	B	D	X	X					
Heterogeneous delamination	B	D	X	X			X		X

Safety category	Description
A	Failure has no effect on safety.
B(f,e,m)	Failure may cause fire (f), failure may cause electrical shock (e), failure may cause physical danger (m), if a follow-up failure and/or a second failure occurs.
C(f,e,m)	Failure causes direct safety problem (definition of f,e,m see B).

Power loss category	Description
A	Power loss below detection limit <3%
B	Exponential-shaped power loss degradation over time
C	Linear-shaped power loss degradation over time
D	Power loss degradation saturates over time
E	Degradation in steps over time
F	Miscellaneous degradation types over time



			P_{max}	S1: I_{sc}	S2: V_{oc}	S3: R_{oc}	S4: R_{sc}	S5: change in slope*	S6: inflex points*
Failure	Safety	Power							
Homogeneous corrosion AR coating of the cells	B	<u>C</u>	X	X					
Heterogeneous corrosion AR coating of the cells	B	<u>C</u>	X	X				X	
Passivation degradation	A	<u>D</u>	X		X				
PID polarization induced degradation	A	<u>C</u>	X		X			X	
LID light-induced degradation for crystalline solar cells	A	<u>D</u>	X	(X)	X				
Short-circuited cells, e.g. by cell interconnection ribbon	A	<u>E</u>	X		X				
Solder corrosion	A	<u>C</u>	X			X			
Homogeneous soldering disconnections	B	<u>E</u>	X			X			
Broken cell interconnect ribbons	B	<u>E</u>	X			X			X
Cracked cells	A	<u>E</u>	X	X					X

Dark Discoloration on String Interconnect

Gridline

Cell Interconnect Ribbon



מתי מבצעים בדיקת IV Curve ?

- בבדיקות Off Grid של המתקן, בקטגוריה 2 לפי תקן IEC 64426-1
- בביקורת תקופתית – על כמה מחרוזות פאנלים מייצגות
- אם יש ירידה בביצועים ולא ניתן להצביע על בעיה אחרת



Anton Platskovsky | Chief Electrical Engineer

Green Panel Solar Energy Systems Ltd.

E: anton@greenpanel.co.il | W: <https://greenpanel.co.il>

M: +972 547472595 | W: +972 86924485

תודה רבה על ההקשבה