



אופטימיזצית מיקום פנלים סולאריים

אוגוסט 2015



מאת:

איליה קריבורוק

רומן ברליאנט





תוכן עניינים

4.....	הגדרת הבעיה
4.....	הנחות לפתרון הבעיה
5.....	הגדרה מתמטית של בעיית האופטימיזציה
5.....	כיצד מחשבים את $Pi\theta$?
6.....	רקע תיאורטי
6.....	אופן פעולת פנלים סולאריים
6.....	כדור הארץ במסלולו
8.....	מיקום השמש בשמיים
11.....	שיטת פתרון בעיית האופטימיזציה
13.....	אופן מימוש האלגוריתם
14.....	הדגמת ריצת אלגוריתם האופטימיזציה ודין בתוצאות
17.....	נספח א' – קוד VBA
23.....	נספח ב' – נתוני פנל סולארי מייצג



הגדרת הבעיה

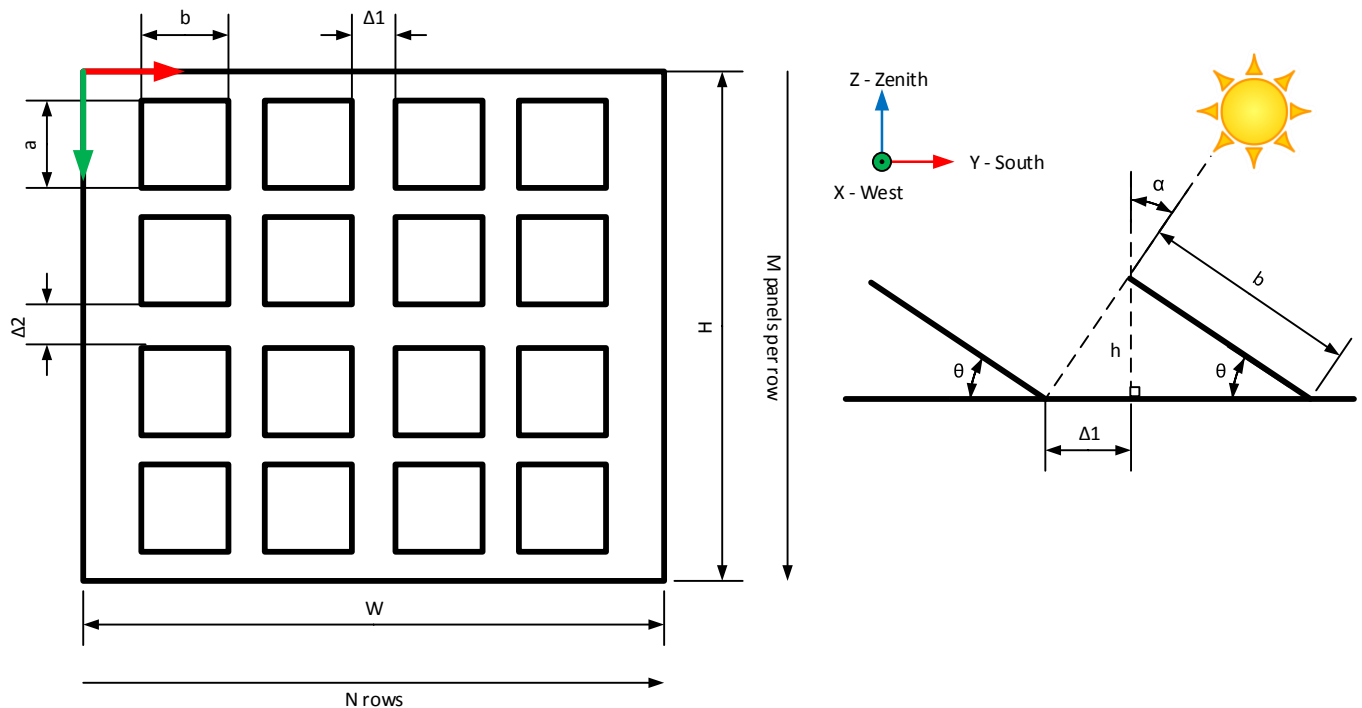
הנחות לפתרון הבעיה

בעבודה זו נראה כיצד ניתן למצוא פתרון אופטימלי לבעיית הצבת פנלים סולאריים על גג הבניין. ראשית, נגדיר את הבעיה:

נתון גג או שטח מישורי כלשהו שעליו יש להציב פנלים סולאריים. כמו כן, נתון פנל סולרי. יש לסדר את הפנלים על הגג כך שהספק שנתי ממוצע של הפנלים יהיה מירבי תוך ניצול מינימום פנלים.

נפרט את ההנחות שהנחנו לצורך פתרון הבעיה (ראה תרשים 1 בהמשך):

1. הגג הינו מלבן, בעל אורכי צלעות H ו- W
2. המלבן הינו מישור המקביל לפני הים
3. פאות המלבן מתלכדות עם כיווני צפון, דרום, מזרח, מערב
4. החישוב מתאים לישראל בלבד: $31^\circ N$ $35^\circ E$
5. אין התחשבות בתנאי מזג האוויר, גובה מעל פני הים וטמפרטורת הסביבה
6. הפנל הינו מלבן בעל אורכי צלעות a ו-b, והספק P
7. הפנלים מסודרים בשורות ישרות ומקבילות: n שורות שבכל שורה יש m פנלים
8. לכל הפנלים זווית הטעיה אחת ויחידה ביחס לרצפת הגג θ
9. המרחק בין שורות הפנלים הוא Δ_1 ומרחק בין פנלים בשורה הוא Δ_2
10. Δ_1 צריך לאפשר מעבר נוח בין שורות הפנלים לצורך התקנה ותחזוקה
11. גובה השמש בשמיים נמדד מציר האנכי לפני השטח (זניט)
12. זווית α קובעת את מיקום השמש לצורך חישוב ההצללה של הפנלים (הסבר בהמשך). נבחר את שעות השמש וזווית α כך ששורות פנלים לא יסתירו האחת את השנייה



תרשים 1: הגדרת בעיית האופטימיזציה



הגדרה מתמטית של בעיית האופטימיזציה

$$\begin{aligned} &\min. mn \\ &\max. \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k mn \cdot P_i(\theta) \end{aligned}$$

כמות הפנלים

הספק שנתי ממוצע

s.t.:

$$\begin{aligned} ma &\leq H \\ nb \cdot \cos(\theta) + (n-1)\Delta_1 &\leq W \\ \Delta_1 &= b \cdot \sin\theta \cdot \tan\alpha \\ \Delta_1 &\geq 0.3 \\ m, n, \alpha, \theta, \Delta_1, \Delta_2 &\geq 0 \\ \alpha, \theta &\leq 90^\circ \end{aligned}$$

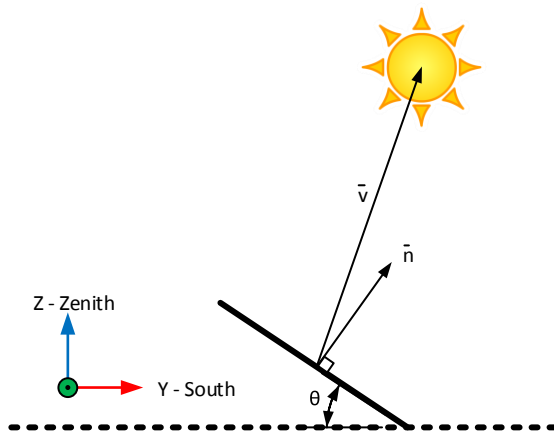
$P_i(\theta)$ - הספק של פנל כפונקציה של זווית ההטעיה θ
לפי $i=1..k$ נקודות על גרף שמתואר בתרשים 4 בהמשך

כיצד מחשבים את $P_i(\theta)$?

$P_i(\theta)$ הינו, למעשה, מכפלה סקלרית של וקטור נורמל לפני הפנל בווקטור מיקום השמש והספק הפנל P :

$$P_i(\theta) = P \cdot \overline{n(\theta)} \cdot \bar{v}_i$$

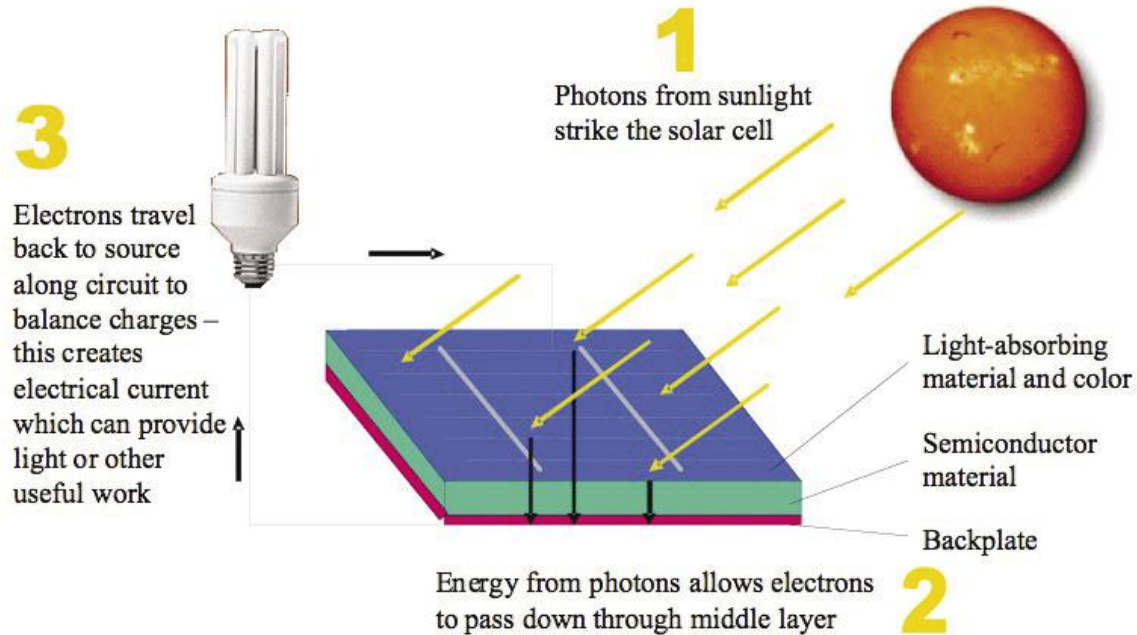
כאשר $\overline{n(\theta)}$ הוא וקטור נורמל לפנל התלוי בזווית ההטעיה שלו ביחס לאופק ו- \bar{v}_i הוא וקטור מיקום השמש בשמיים בזמן i . \bar{v}_i מחושב מתוך נתונים אמפיריים הקיימים ולקוחים במסמך זה מתוך צמתים המודגשים באדום בתרשים 4 בפרק "רקע תיאורטי".



רקע תיאורטי

אופן פעולת פנלים סולאריים

הפנלים הסולאריים (Photovoltaic cells) קולטים את קרינת השמש והופכים את האנרגיה של הקרינה לאנרגיה חשמלית.

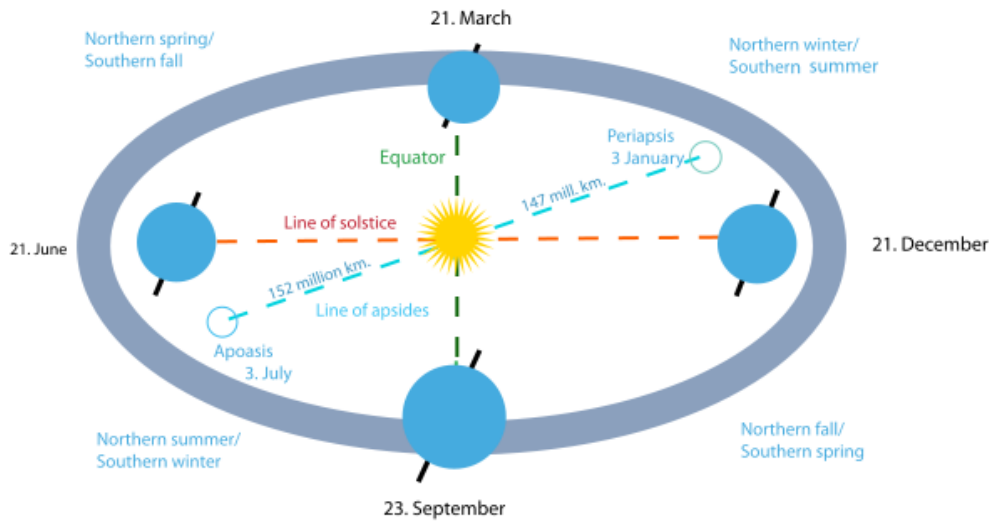


חשוב לציין, שהצללת חלק מהפנל או כולו מורידה משמעותית את ההספק המופק מהפנל, ולעיתים, כתלות בצורת חיבור הפנלים, הצללה של פנל אחת מורידה הספק בשורה שלמה של הפנלים. מסיבה זו, בעבודה זו הנחנו שלא תהיה הצללה בין הפנלים (הנחה 12).

כדור הארץ במסלולו

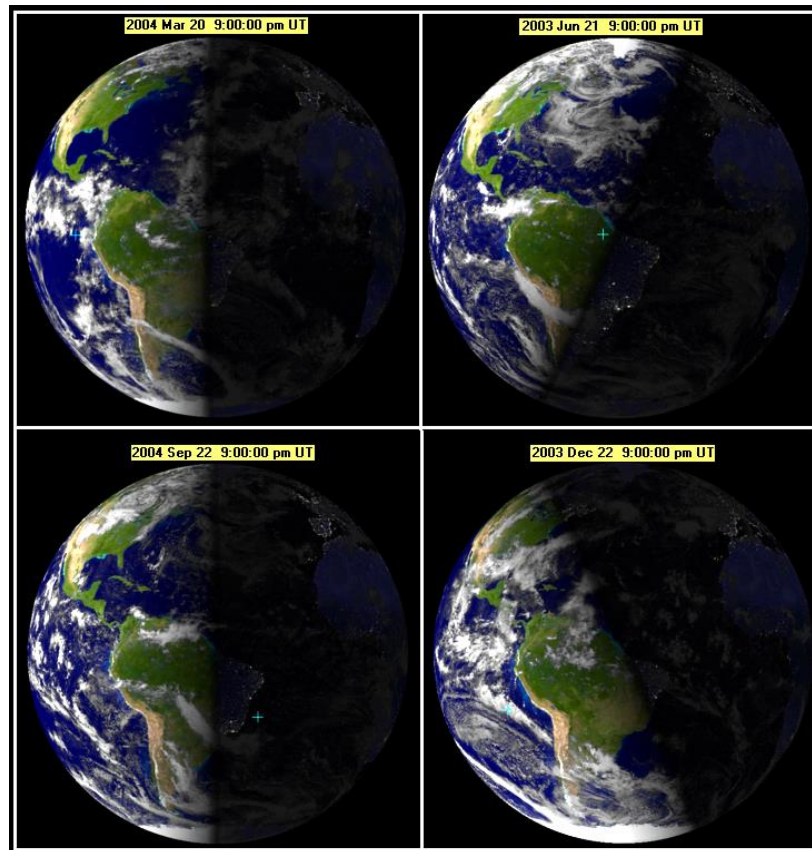
כדי לחשב את ההספק החשמלי המופק על ידי הפנל יש צורך לדעת את מיקום השמש בשמיים בכל זמן נתון. כידוע, כדה"א מסתובב סביב השמש, לכן כדי להבין את תנועת השמש כפי שהיא נראית לצופה על הארץ יש להבין תחילה את אופן תנועת כדה"א במסלולו.

כדור הארץ נע סביב השמש במסלול אליפטי, כאשר ציר הסיבוב שלו מוטעה ביחס למישור סיבובו, הנקרא מישור המלקה (Ecliptic plane) בזווית של כ-23.45 מעלות. עובדה זו מסבירה את תופעת עונות השנה, שכן בגלל נטיעת ציר הסיבוב אזורים שונים וכדה"א מקבלים עוצמות קרינה שונות, וכתוצאה מכך טמפרטורות באזורים אלו משתנות. לכן, בכל רגע נתון בחורף או בקיץ, חלק מסוים של כדור הארץ חשוף יותר לקרני השמש (ראו תרשים 2). עוצמת החשיפה באזורים השונים על פני כדור הארץ משתנה עם תנועת כדור הארץ במסלולו סביב השמש, וחוזרת למצבה ההתחלתי בעת השלמת הקפה אחת, שנמשכת שנה. בכל רגע נתון, ללא תלות בעונה, בחצי הכדור הדרומי והצפוני עונות שנה הפוכות.



תרשים 2: כדור הארץ במסלולו במשך שנה

עונות השנה אינן מושפעות מן המרחק של כדור הארץ מהשמש, שהרי העונות הפוכות בשני חצאי הכדור. מלבד זה, לכדור הארץ מסלול כמעט מעגלי (האקסצנטריות שלו 0.017 בלבד), ולכן כמות הקרינה הכוללת שכדור-הארץ סופג מן השמש משתנה אך מעט מאוד לאורך השנה



תרשים 3: הארת כדור הארץ במהלך עונות שונות

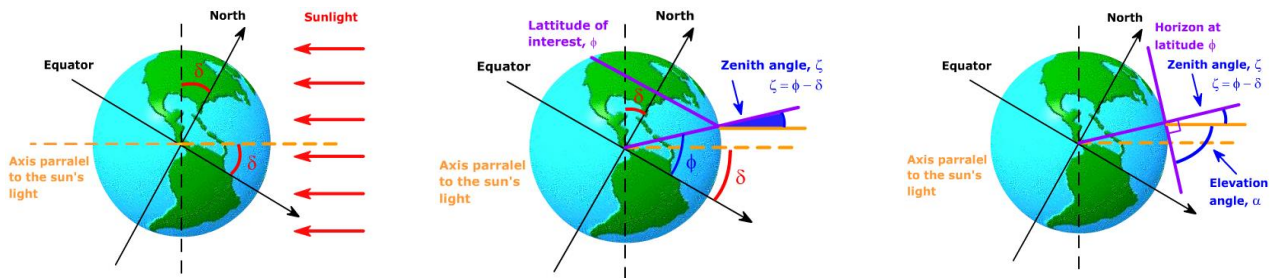


מיקום השמש בשמיים

את מיקום השמש בשמיים ניתן לתאר בקואורדינטות פולאריות ע"י שתי זוויות: זווית האזימות וזווית ההגבהה. כדה"א מסתובב סביב צירו ממערב למזרח, לכן תנועת השמש הנראית היא ממזרח (בוקר) למערב (ערב). הצופה בחצי הצפוני של כדה"א יראה את השמש בדרום, ואילו הצופה שנמצא בחצי הדרומי יראה את השמש בצפון.

	<p>זווית האזימות היא זווית בין היטל וקטור מיקום השמש לבין ציר צפון-דרום.</p>
	<p>זווית ההגבהה היא זווית בין וקטור מיקום השמש למישור עליו עומד הצופה.</p>

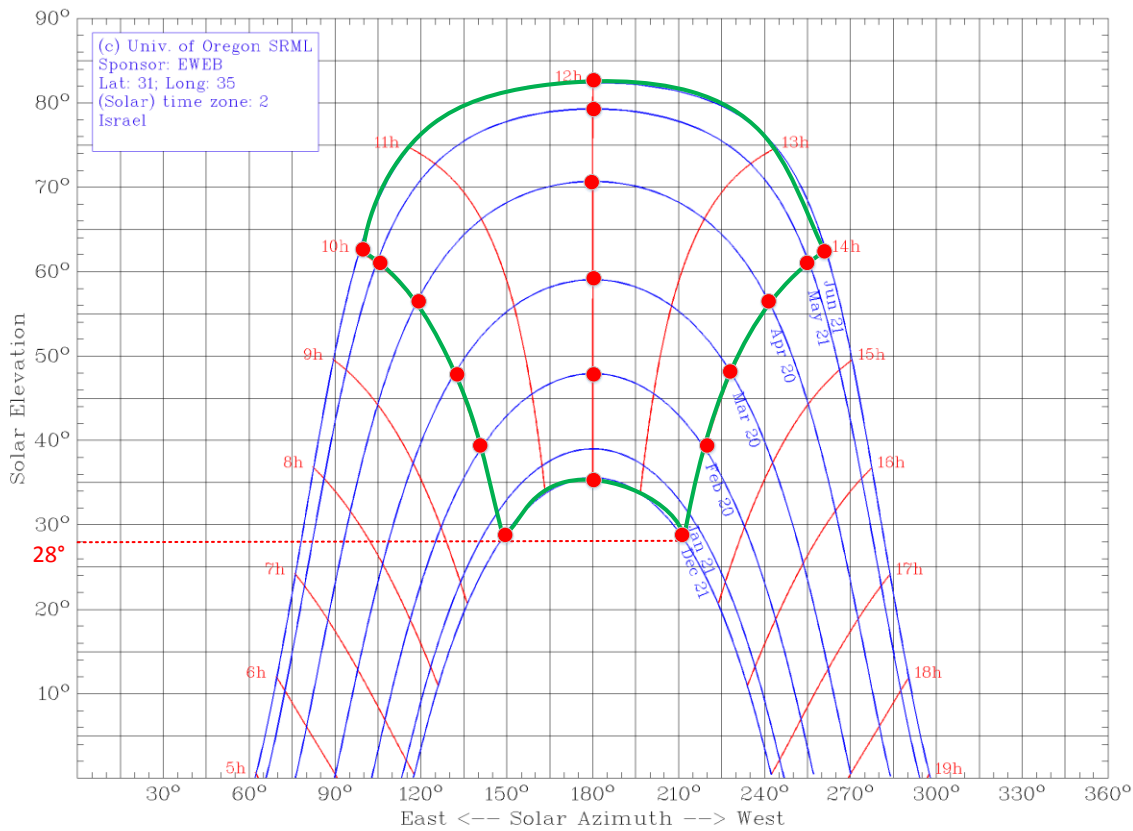
כדי לתאר את מיקום השמש בעזרת שתי זוויות אלו יש צורך להגדיר זווית נוספת, זווית המתארת את הטיית ציר כדה"א ביחס למישור המלקה, δ :



כאשר ϕ היא זווית קו הרוחב בו נמצא הצופה ו- ζ היא זווית הזנית – זווית בין וקטור כיוון השמש לבין אנך לרצפת הצופה.



בפתרון הבעיה שלנו, נקרא לזווית ζ מקסימלית הרלוונטית לבעיה שלנו בשם α (ראה הנחה 11). במילים אחרות, כל עוד $\alpha > \zeta$ שורה אחת של פנלים לא תטיל צל על שורה שמאחוריה (צפונית לה).



תרשים 4: גרף המתאר את מיקום הזוויתי של השמש במהלך שנה. הגזרה לצורך חישוב מודגשת בקווים ירוקים. העיגולים האדומים מציינים צמתים המשמשים לחישוב הספק שנתי ממוצע של הפנלים.
University of Oregon Solar Radiation Monitoring Laboratory

כדי להבטיח אי הצללה של הפנלים ולפשט את החישובים (ראה הנחה 12) החלטנו לחשב הספק שנתי ממוצע בין השעות 10:00 בבוקר ל-14:00 אחר הצהריים בצמתים המודגשים בעיגולים אדומים בלבד בכל ימות השנה ולקבוע את זווית α על 28° (ראה תרשים 4).

טבלה 1 מפרטת את הוקטורים של מיקום השמש ב-18 הנקודות שבחרנו להתמקד.

בפתרון שלנו, קבענו את הכיוון דרום כזווית אזימוט "0". כיוון מערב (west) הוא כיוון חיובי של זוויות האזימוט. בגלל סימטריות הבעיה (מיקום השמש אחרי 12:00 הינו תמונת ראי של מיקומה לפני השעה 12:00), הוקטורים 1-6 שמראים את מיקום השמש בשעה 10:00 בכל השנה יהיו זהים (עד כדי מינוס ברכיב X) לוקטורים של השעה 14:00. כמו כן, תרשים 4 מציג נתונים של חצי שנה בלבד. בפתרון שלנו, הנחנו שהנתונים של חצי שנה השנייה זהים בדיוק לנתונים הקיימים, ולכן אינם משפיעים על הממוצע של הספק שנתי.



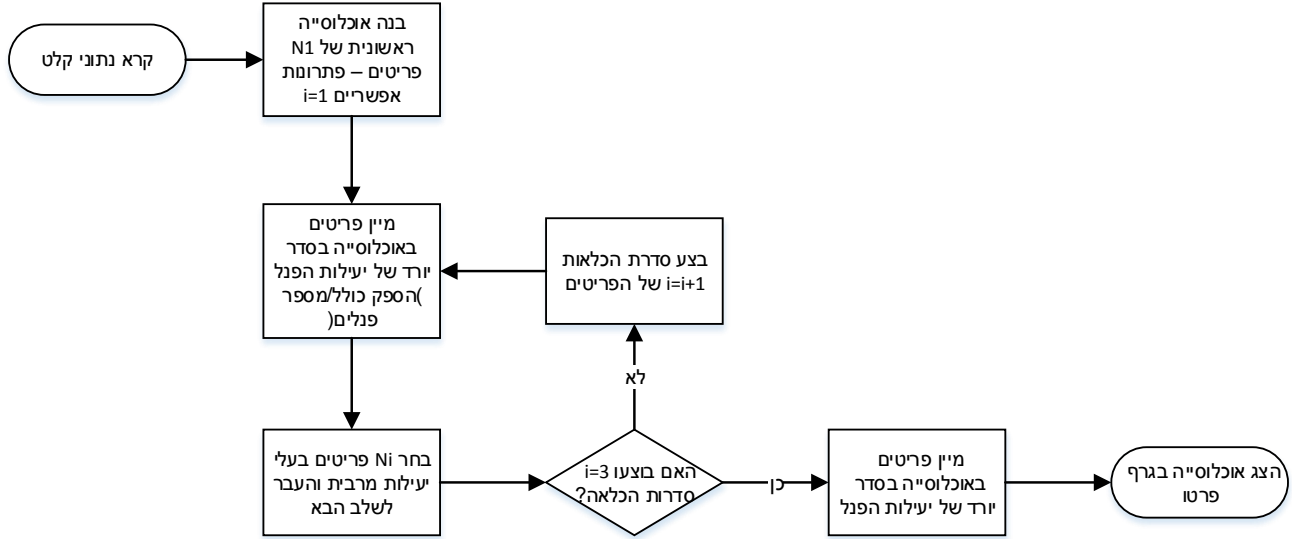
Hour	#	Month	Azimuth	Zenith ang.	Elevation	x (west)	y (south)	z (zenith)
10h	1	Dec	-30	62	28	-0.441	0.765	0.469
	2	Feb	-40	51	39	-0.500	0.595	0.629
	3	Mar	-50	42	48	-0.513	0.430	0.743
	4	Apr	-60	34	56	-0.484	0.280	0.829
	5	May	-75	29	61	-0.468	0.125	0.875
	6	Jun	-85	28	62	-0.468	0.041	0.883
12h	7	Dec	0	55	35	0.000	0.819	0.574
	8	Feb	0	42	48	0.000	0.669	0.743
	9	Mar	0	31	59	0.000	0.515	0.857
	10	Apr	0	19	71	0.000	0.326	0.946
	11	May	0	11	79	0.000	0.191	0.982
	12	Jun	0	8	82	0.000	0.139	0.990
14h	13	Dec	30	62	28	0.441	0.765	0.469
	14	Feb	40	51	39	0.500	0.595	0.629
	15	Mar	50	42	48	0.513	0.430	0.743
	16	Apr	60	34	56	0.484	0.280	0.829
	17	May	75	29	61	0.468	0.125	0.875
	18	Jun	85	28	62	0.468	0.041	0.883

טבלה 1: וקטורי מיקום השמש במהלך השנה בקואורדינטות פולאריות וקרטיזיות



שיטת פתרון בעיית האופטימיזציה

את פתרון בעיית האופטימיזציה של מיקום הפנלים הסולאריים על הגג החלטנו לממש באמצעות אלגוריתם גנטי. עיקרון פעולת האלגוריתם מוצג בתרשים 5.



תרשים 5: עיקרי האלגוריתם הגנטי לפתרון בעיית האופטימיזציה

בהתחלה, האלגוריתם יוצר אוכלוסייה ראשונית של N_1 פרטים. כל פריט הוא פתרון אפשרי וחוקי של הבעיה. לאחר מכן, יוצר האלגוריתם שני דורות של צאצאים של N_2 ו- N_3 פרטים בהתאמה מתוך האוכלוסייה המקורית. ההכלאות מתבצעות לפי חוקיות שתוסבר בהמשך. בעת היווצרות הצאצאים, יתכנו מוטציות בחלק מהפרמטרים של הצאצאים, בהסתברויות שונות, הסבר בהמשך.



תרשים 6: מבנה כל פריט באוכלוסייה או בהכלאה

תרשים 6 מציג את התכולה של כל פריט באוכלוסייה המקורית או באוכלוסיית הצאצאים:

- פרמטרים $M, N, P, \theta, \Delta_1$ הוסברו בפרק הגדרת הבעיה
- $Q = M * N$ – פרמטר שמגדיר את כמות הפנלים:
- האם הפנל חוקי – פרמטר בוליאני ששומר את תוצאות בדיקת העמידה באילוצי הבעיה (s.t.)
- כשירות הפריט – פרמטר שעוזר לבחון את כשירות הפריט להשתתף בהכלאות. נסביר את אופן ביצוע ההכלאות בהמשך, כאן רק נסביר בקצרה את משמעות הפרמטר: לבעיית האופטימיזציה שהוגדרה יש שתי פונקציות מטרה – מקסימום הספק ומינימום כמות פנלים. כשירות מוגדרת כ- $\frac{\text{הספק שנתי ממוצע}}{Q}$.



אופן מימוש האלגוריתם

האלגוריתם מומש בתוכנת MS Excel עם שימוש רחב ב-Macros בשפת VBA. טבלאות אקסל שימשו לצורך הזנת קלט וגם לצורך הצגת הפלט של האלגוריתם. תרשים 8 מציג את אזור הזנת הקלט ותרשים 9 מציג את הפלט.

Parameter	Value	Units
a	1	m
b	2	m
H	10	m
W	20	m
Shadowing angle α	62	$^\circ$
P nom.	400	w
min. $\Delta 1$	0.3	m
θ min.	0	$^\circ$
θ max.	90	$^\circ$
Pop. count:	1000	
1st gen. count:	350	
2nd gen. count:	100	

הזנת קלט עבור הפרמטרים (points to parameter list)
כפתור הפעלת האלגוריתם (points to 'Go !' button)
טווח מותר לחישוב θ (points to θ min/max)
גודל אוכלוסייה מקורית (points to Pop. count)
גודל מארץ צאצאים ראשון (points to 1st gen. count)
גודל מארץ צאצאים שני (points to 2nd gen. count)

תרשים 8: אזור הזנת קלט

Original population							1st generation							2st generation						
m	n	θ	valid?	quantity	power [kw]	Fit	m	n	θ	valid?	quantity	power [kw]	Fit	m	n	θ	valid?	quantity	power [kw]	Fit
3	4	27.0	TRUE	12	4.18	0.348	8	2	27.0	TRUE	16	5.57	0.348	9	6	27.0	TRUE	54	18.80	0.348
4	6	27.0	TRUE	24	8.35	0.348	9	6	27.0	TRUE	54	18.80	0.348	9	3	27.0	TRUE	27	9.40	0.348
3	4	27.0	TRUE	12	4.18	0.348	3	6	27.0	TRUE	18	6.27	0.348	6	1	27.6	TRUE	6	2.09	0.348
4	6	27.0	TRUE	24	8.35	0.348	3	3	27.0	TRUE	9	3.13	0.348	4	5	27.6	TRUE	20	6.96	0.348
6	1	27.0	TRUE	6	2.09	0.348	9	1	27.0	TRUE	9	3.13	0.348	4	2	26.5	TRUE	8	2.78	0.348
6	1	27.0	TRUE	6	2.09	0.348	6	2	27.6	TRUE	12	4.18	0.348	5	2	26.5	TRUE	10	3.48	0.348
8	1	27.0	TRUE	8	2.78	0.348	1	2	27.6	TRUE	2	0.70	0.348	5	2	26.5	TRUE	10	3.48	0.348
8	1	27.0	TRUE	8	2.78	0.348	4	2	27.6	TRUE	8	2.78	0.348	6	2	26.5	TRUE	12	4.18	0.348
3	6	27.0	TRUE	18	6.27	0.348	8	3	26.4	TRUE	24	8.35	0.348	8	1	27.8	TRUE	8	2.78	0.348
9	4	27.0	TRUE	36	12.53	0.348	3	6	28.0	TRUE	18	6.27	0.348	2	1	27.8	TRUE	2	0.70	0.348
3	6	27.0	TRUE	18	6.27	0.348	5	5	28.0	TRUE	25	8.70	0.348	9	1	27.8	TRUE	9	3.13	0.348
9	4	27.0	TRUE	36	12.53	0.348	5	3	28.0	TRUE	15	5.22	0.348	3	1	28.0	TRUE	3	1.04	0.348
6	5	28.0	TRUE	30	10.44	0.348	5	3	28.0	TRUE	15	5.22	0.348	5	2	28.0	TRUE	10	3.48	0.348
6	5	28.0	TRUE	30	10.44	0.348	2	2	28.0	TRUE	4	1.39	0.348	5	4	28.0	TRUE	20	6.96	0.348
2	6	28.0	TRUE	12	4.18	0.348	1	4	26.0	TRUE	4	1.39	0.348	2	4	28.0	TRUE	8	2.78	0.348
2	6	28.0	TRUE	12	4.18	0.348	9	4	26.0	TRUE	36	12.53	0.348	1	3	26.0	TRUE	3	1.04	0.348
2	4	28.0	TRUE	8	2.78	0.348	5	5	25.6	TRUE	25	8.70	0.348	9	1	26.0	TRUE	9	3.13	0.348
8	4	28.0	TRUE	32	11.14	0.348	6	2	28.8	TRUE	12	4.18	0.348	5	2	26.0	TRUE	10	3.48	0.348
5	1	28.0	TRUE	5	1.74	0.348	9	5	25.2	TRUE	45	15.66	0.348	10	2	26.0	TRUE	20	6.96	0.348
8	4	28.0	TRUE	32	11.14	0.348	7	3	29.0	TRUE	21	7.31	0.348	6	2	25.9	TRUE	12	4.18	0.348
5	1	28.0	TRUE	5	1.74	0.348	7	3	29.0	TRUE	21	7.31	0.348	7	2	25.9	TRUE	14	4.87	0.348

תרשים 9: פלט האלגוריתם – אוכלוסייה מקורית ושני דורות של צאצאים

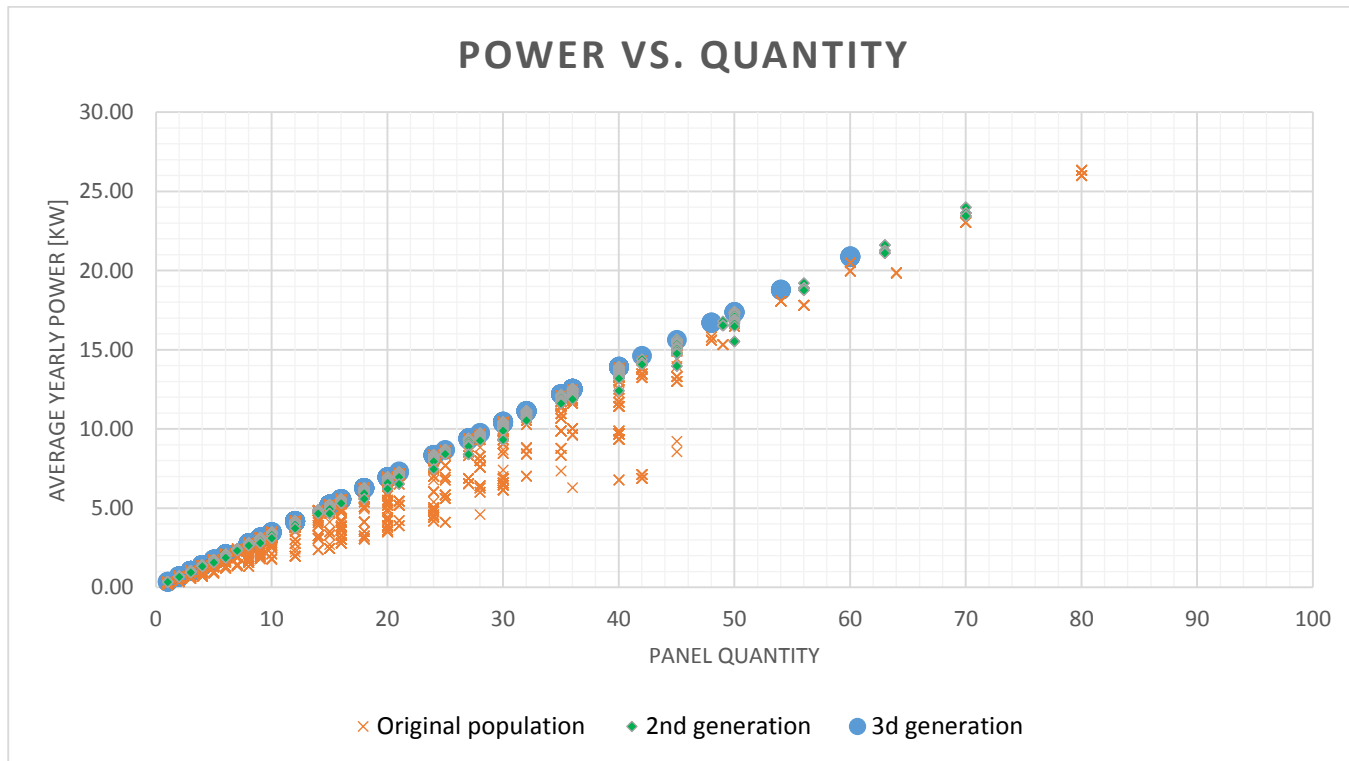


הדגמת ריצת אלגוריתם האופטימיזציה ודיון בתוצאות

הרצנו את האלגוריתם על סט הנתונים הבא:

Parameter	Value	Units
a	1	m
b	2	m
H	10	m
W	20	m
Shadowing angle α	62	°
P nom.	400	w
min. $\Delta 1$	0.3	m
θ min.	0	°
θ max.	90	°
Pop. count:	3000	
1st gen. count:	1000	
2nd gen. count:	300	

את הפלט לא נציג במסמך זה בגלל אורכו, נסתפק רק בגרף פרטו שמציג את ערכי פונקציות המטרה:



תרשים 10: גרף פרטו שמציג את ההספק השנתי הממוצע מול כמות הפנלים הסולאריים



בתרשים 10 ניתן לראות שלוש סדרות של נקודות: הסדרה הכתומה מראה את ביצועי האוכלוסייה המקורית מול שתי פונקציות המטרה – ציר X מציין את כמות הפנלים וציר Y את ההספק השנתי הממוצע. סדרה ירוקה מראה את ביצועי הצאצאים מדור ראשון וסדרה כחולה מציגה את ביצועי הדור השני והאחרון.

כמו כן, ניתן לראות **בתרשים 10** שדורות חדשים מכילים פתרונות, או פריטים, שלא היו בדורות הקודמים. תופעה זו מדגימה את ביצוע ההכלאות לצורך קבלת פתרונות חדשים ואף טובים יותר.

בהינתן הקלט שמוצג מעלה, ניתן לראות **בתרשים 10** שכל דור מתקדם, המכיל בערך את אותו מספר הפריטים כמו בדור הקודם לו, מצמצם את פיזור התוצאות לאזור מסוים. הצמצום הזה, בעצם, מנפה חלק מהפריטים הנשלטים (בעלי כושר נמוך) וכך בדור האחרון (סימון כחול) נשארים עם רצועה דקה של פתרונות חוקיים ואופטימליים לבעיה הנתונה.

מי שמעוניין לדעת את אופן סידור הפנלים האופטימלי לצרכיו יכול לקבל את המידע הנחוץ מתוך התבוננות בפתרונות של הדור האחרון ולבחור את הפתרון המתאים ביותר עבורו. כך, אם ידוע מהו ההספק השנתי הממוצע הדרוש (ציר Y) יש לבוחרים את מספר הפנלים הדרוש לשם כך מתוך ציר X על ידי בחירת פתרון הקרוב ביותר לדרישה.

דוגמה:

אם ברצוני לקבל בין 16 ל-17 kW חשמל במוצע בשנה בישראל על גג של 10x20 מטר **אז** יש להציב 48 פנלים סולאריים בעלי ממדים של 1x2 מטר בזווית θ של 26 מעלות בעלי הספק P של 400 ווט אשר יפיקו ביחד 16.71 קילו-ווט במוצע. יש להתקין את הפנלים בשש שורות בעלות שמונה פנלים בשורה. מרחק בין השורות Δ_1 יהיה 1.65 מטרים. מרחק בין הפנלים בשורה לא מחושב על ידי האלגוריתם אך יכול לנוע בין 0 ל-28 ס"מ, תלוי ברצון המתקין, כל עוד העמודה לא חורגת מרוחב הגג (10 מטר בדוגמה זו בהתאם לנתוני הקלט).

שורת פלט מתאימה:

m	n	θ	valid?	quantity	power [kw]	Fit
8	6	26.0	TRUE	48	16.71	0.348

בדיקת האילוצים:

$ma \leq H$	תקין - $8 * 1 = 8 \leq 10$
$nb \cdot \cos(\theta) + (n-1)\Delta_1 \leq W$	תקין - $6 * 2 \cos(26) + (6-1) * 1.65 = 19.04 \leq 20$
$\Delta_1 = b \cdot \sin\theta \cdot \tan\alpha$ $\Delta_1 \geq 0.3$	תקין - $2 * \sin(26) \tan(62) = 1.65 \geq 0.3$
$m, n, \alpha, \theta, \Delta_1, \Delta_2 \geq 0$ $\alpha, \theta \leq 90^\circ$	תקין



אם נשווה את תוצאות הריצה הנ"ל למה שמקובל בעולם, נקבל שזווית ההטעה $\theta=26^\circ$ שקיבלנו קרובה מאוד לזווית המומלצת להתקנת הפנלים בישראל. לפי מקורות שונים, הזווית המיטבית בישראל נעה בין 25 ל-30 מעלות:

• <http://www.igreeni.com/#!questions-answers-solar/cje>

מערכת סולארית ביתית – דרישות הגג:

לרוב המערכת מוצבת על גבי מתקן המרים את הפנלים בזווית האופטימאלית לכיוון השמש (בארץ הזווית המומלצת היא 28 מעלות). מערכת סולארית על גג רעפים – ניתן להתקין מערכת סולארית על רעפים הפונים לכיוון דרום בלבד. כיוון ההטייה אינו חייב להיות לעבר הדרום המוחלט, כלומר באזימוט של 180 מעלות, ניתן להתקין את המערכת בזווית הנעה בין 145 ל-215 מעלות (כלומר כ-35 מעלות לכל כיוון מהדרום). הטייה זו יוצרת הפסדי נצילות של פחות מ-1% ולכן אין השפעה משמעותית על ההספק המופק מהמערכת. ישנם מחברים מיוחדים שבעזרתם ניתן לנצל גם גגות בהטייה גדולה יותר.

• [/http://commax-energy.com/home/information-center/modules-installation](http://commax-energy.com/home/information-center/modules-installation)

זווית הטייה

בישראל רוב ההתקנות נעשות בזווית של 25-30 מעלות, לתפוקה מושלמת. אומנם זווית ההטייה עשויה להשתנות בין עונות השנה, אך מכיוון שמערכת בעלת זווית משתנה יקרה הרבה יותר, לכן בדרך כלל, קובעים את זווית ההטייה המיטבית באופן חד פעמי כך שתתאים באופן אופטימאלי, עד כמה שניתן, לכל עונות השנה. בנוסף לזווית ההטייה של הפאנלים, יש לקחת בחשבון גם את צידוד הפאנל לכיוון השמש. בארץ בדרך כלל נשתדל לצדד לכיוון דרום.

• <http://www.ecoop.org.il/%D7%9E%D7%A2%D7%A8%D7%9B%D7%AA-%D7%A1%D7%95%D7%9C%D7%90%D7%A8%D7%99%D7%AA-%D7%91%D7%99%D7%AA>

התקנת מערכות סולאריות ביתיות

לפני התקנת המערכת, נדרשים מספר שלבים מקדימים. תחילה יש לוודא האם המתקן הסולארי הביתי מתאים. לכן, יש לבדוק תחילה האם השטח רשום כחוק והאם קיים היתר לתוספת בניה.

לאחר מכן, יש לבדוק את גודל גג המבנה או הקרקע, שצריך להיות גדול מספיק להתקנת המערכת. אם קיים גג רעפים, יש לבדוק את מידת שיפוע הגג והכיוון אליו הוא פונה. הכיוון המומלץ ביותר הוא כיוון דרום, המאפשר חשיפת שמש לטווח הארוך ביותר.

שיפוע הגג צריך להיות בזווית של 26 מעלות. אחוזי ניצול המערכת הסולארית הביתית משתנים בהתאם לכיוון הגג. כיוון דרום מאפשר ניצול של מאת האחוזים, ואילו כיווני מזרח ומערב מאפשרים 85-95% ניצול, במידה ולא קיימים אובייקטים החוסמים את קרני השמש. הצללה במערכות סולאריות פוגמת באופן משמעותי בתפוקה, הרבה מעבר לחלק היחסי המנוצל בפועל.



נספח א' – קוד VBA

```
Const Pi = 3.14159
Const maxArr = 10000 'maximal length of generation array
Const matesPerPerson = 3 'number of mates parent

Global a As Double
Global b As Double
Global H As Double
Global W As Double
Global tMax As Double
Global tMin As Double
Global dMin As Double
Global shadowAngle As Double 'angle for shadowing calculations
Global cellPower As Double
Global initPop As Integer
Global gen1pop As Integer
Global gen2pop As Integer

Type Person
    m As Integer
    n As Integer
    t As Double 'panel angle as measured from the floor
    totalPower As Double
    q As Integer 'total number of panels
    valid As Boolean
    rowDist As Double
    fit As Double 'fit=totalPower/totalArea
End Type

Type Vector
    x As Single
    y As Single
    z As Single
End Type

Global sunVec(18) As Vector
Global pop(maxArr) As Person 'array of a first generation - the initial
population
Global gen(maxArr) As Person 'array of a 1st generation baset on
initial population
Global gen2(maxArr) As Person 'array of a 2st generation baset on 1st
generation

Sub generations()
    Dim mMax As Integer
    Dim nMax As Integer
    Dim valid As Boolean
    Dim d As Double

    'read problem parameters
    a = Cells(2, 2)
    b = Cells(3, 2)
    H = Cells(4, 2)
    W = Cells(5, 2)
```



```

shadowAngle = Cells(6, 2)
cellPower = Cells(7, 2)
tMax = Cells(11, 2)
tMin = Cells(10, 2)
dMin = Cells(9, 2)
initPop = Cells(13, 2)
gen1pop = Cells(14, 2)
gen2pop = Cells(15, 2)

'read sun position vectors
readSun

'clear arrays
clearArr pop()
clearArr gen()
clearArr gen2()
clearOutput

'calculate some parameters boundaries
mMax = Round(H / a) 'max. number of cells in a column
nMax = 0 'max. number of cells in a row

'build first generation
For i = 1 To initPop
    'Int((upperbound - lowerbound + 1) * Rnd + lowerbound)
    Randomize
    pop(i).m = Int((mMax - 1 + 1) * Rnd + 1) 'set random m count
within boundaries
    Randomize
    pop(i).t = Int((tMax - tMin) * Rnd + tMin) 'set random t count
within boundaries
    pop(i).rowDist = max(b * Sin(toRad(pop(i).t)) *
Tan(toRad(shadowAngle)), dMin) 'distance between rows 'max(b *
Sin(toRad(pop(i).t)) * Tan(toRad(pop(i).t)), dMin)'

    nMax = Int((W + pop(i).rowDist) / (b * Cos(toRad(pop(i).t)) +
pop(i).rowDist) + 1)
    Randomize
    pop(i).n = Int((nMax - 1 + 1) * Rnd + 1) 'set random n count
within boundaries

    'calculate area, power and fitness
    pop(i).valid = checkValidity(pop(i))
    pop(i).q = pop(i).m * pop(i).n
    If pop(i).valid Then
        pop(i).totalPower = calcPower(pop(i).t, pop(i).m, pop(i).n)
/ 1000 'in kW
        pop(i).fit = pop(i).totalPower / pop(i).q
    Else
        pop(i).totalPower = -1
        pop(i).fit = -1
    End If
Next

'print population
sortPop pop(), initPop, 2

```



```

printPopulation 5, initPop, pop()

'create 1st generation offsprings
crateNewGeneration pop(), gen(), gen1pop
sortPop gen(), gen1pop * matesPerPerson, 2
printPopulation 13, gen1pop * matesPerPerson, gen()

'create 2st generation offsprings
crateNewGeneration gen(), gen2(), gen2pop
sortPop gen2(), gen2pop * matesPerPerson, 2
printPopulation 21, gen2pop * matesPerPerson, gen2()
End Sub

Function crateNewGeneration(parArr() As Person, offspringArr() As
Person, genLen As Integer)
'creates an offspring array from a parents array
Dim id As Integer
Dim e As Integer
Dim valid As Boolean

'mate parents and create offsprings
For j = 0 To matesPerPerson - 1
    For i = 1 To genLen 'make genLen mates

        id = Int((genLen - 1) * Rnd + 1)
        Do While id = i
            id = Int(genLen * Rnd + 1)
        Loop

        If (parArr(id).valid And parArr(i).valid) Then 'mate only
valid offsprings
            e = j * genLen + i
            offspringArr(e) = parArr(i)
            offspringArr(e).n = parArr(id).n 'mate offspring(i)
with a random offspring

            Randomize
            x = Rnd
            If x > 0.5 Then
                offspringArr(e).t = parArr(id).t 'set random t
count within boundaries
            End If

            'create mutation in t with X chance, or leave t as is
Randomize
            x = Rnd
            If x > 0.6 Then 'X=40% in this case
                Randomize
                If Rnd > 0.5 Then
                    offspringArr(e).t = parArr(id).t * 1.2
                Else
                    offspringArr(e).t = parArr(id).t * 0.8
                End If
            End If

            'create mutation in n with X chance, or leave t as is

```



```

Randomize
x = Rnd
If x > 0.6 Then 'X=40% in this case
    Randomize
    If Rnd > 0.5 Then
        offspringArr(e).n = Int(parArr(id).n * 1.1)
    ElseIf parArr(id).n > 1 Then
        offspringArr(e).n = Int(parArr(id).n * 0.9)
    End If
End If

'create mutation in m with X chance, or leave t as is
Randomize
x = Rnd
If x > 0.6 Then 'X=40% in this case
    Randomize
    If Rnd > 0.5 Then
        offspringArr(e).m = Int(parArr(id).m * 1.1)
    ElseIf parArr(id).m > 1 Then
        offspringArr(e).m = Int(parArr(id).m * 0.9)
    End If
End If

'calculate area, power and validity
offspringArr(e).rowDist = max(b *
Sin(toRad(offspringArr(e).t)) * Tan(toRad(shadowAngle)), dMin)
'distance between rows
offspringArr(e).q = offspringArr(e).m *
offspringArr(e).n
offspringArr(e).valid = checkValidity(offspringArr(e))
If offspringArr(e).valid Then
    offspringArr(e).totalPower =
calcPower(offspringArr(e).t, offspringArr(e).m, offspringArr(e).n) /
1000 'in kW
    offspringArr(e).fit = offspringArr(e).totalPower /
offspringArr(e).q 'offspringArr(i).totalPower / (offspringArr(i).m *
offspringArr(i).n)
Else
    offspringArr(e).totalPower = -1
    offspringArr(e).fit = -1
End If
End If
Next
Next
End Function

Function calcPower(t As Double, m As Integer, n As Integer) As Double
    Dim power As Double
    Dim panelVec As Vector

    power = 0
    panelVec.x = 0
    panelVec.y = Sin(toRad(t))
    panelVec.z = Cos(toRad(t))
    For i = 1 To 18

```



```

        power = power + m * n * cellPower * (panelVec.x * sunVec(i).x +
panelVec.y * sunVec(i).y + panelVec.z * sunVec(i).z)
    Next

    calcPower = power / 18
End Function

Sub clearArr(p() As Person)
    For i = 1 To maxArr
        p(i).m = 0
        p(i).n = 0
        p(i).t = 0
        p(i).rowDist = 0
        p(i).q = 0
        p(i).totalPower = 0
        p(i).valid = False
        p(i).fit = 0
    Next
End Sub

Sub clearOutput()
    Range("E3:AA10100").Select
    Selection.ClearContents
    Range("AA3").Select
End Sub

Sub sortPop(p() As Person, l As Integer, param As Integer)
' sort population array using bubble sort method
    Dim temp As Person
    Dim p1 As Double
    Dim p2 As Double

    For j = 1 To l - 1
        For i = 1 To l - j
            If param = 1 Then
                p1 = p(i).totalPower
                p2 = p(i + 1).totalPower
            ElseIf param = 2 Then
                p1 = p(i).fit
                p2 = p(i + 1).fit
            Else
                p1 = p(i).q
                p2 = p(i + 1).q
            End If

            If p1 < p2 Then
                temp = p(i)
                p(i) = p(i + 1)
                p(i + 1) = temp
            End If
        Next
    Next
End Sub

Function max(a As Double, b As Double) As Double
    If a > b Then

```



```

        max = a
    Else
        max = b
    End If
End Function

Sub printPopulation(startColumn As Integer, popLength As Integer, p()
As Person)
    For i = 1 To popLength
        Cells(2 + i, startColumn) = p(i).m
        Cells(2 + i, startColumn + 1) = p(i).n
        Cells(2 + i, startColumn + 2) = p(i).t
        Cells(2 + i, startColumn + 3) = p(i).valid
        Cells(2 + i, startColumn + 4) = p(i).q
        Cells(2 + i, startColumn + 5) = p(i).totalPower
        Cells(2 + i, startColumn + 6) = p(i).fit
    Next
End Sub

Function checkValidity(p As Person) As Boolean
    Dim valid As Boolean

    valid = True
    teta = toRad(p.t) ' to radians

    If p.m * a > H Then
        valid = False
    End If

    If p.t >= 90 Then
        valid = False
    End If

    If p.rowDist < 0.3 Then
        valid = False
    End If

    If (p.n * b * Cos(teta) + (p.n - 1) * p.rowDist) > W Then
        valid = False
    End If

    checkValidity = valid
End Function

Function toRad(d As Double) As Double
    toRad = d / 180 * Pi
End Function

Sub readSun()
    For i = 1 To 18
        sunVec(i).x = Cells(18 + i, 1)
        sunVec(i).y = Cells(18 + i, 2)
        sunVec(i).z = Cells(18 + i, 3)
    Next
End Sub

```



נספח ב' – נתוני פנל סולארי מייצג

SUNPOWER E20/435 SOLAR PANEL

20% EFFICIENCY

SunPower E20 panels are the highest efficiency panels on the market today, providing more power in the same amount of space

MAXIMUM SYSTEM OUTPUT

Comprehensive inverter compatibility ensures that customers can pair the highest efficiency panels with the highest efficiency inverters, maximizing system output

REDUCED INSTALLATION COST

More power per panel means fewer panels per install. This saves both time and money.

RELIABLE AND ROBUST DESIGN

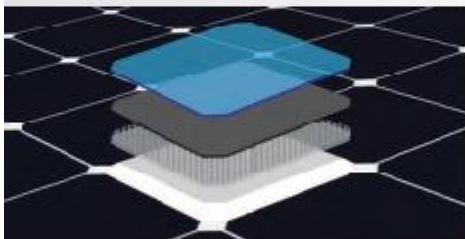
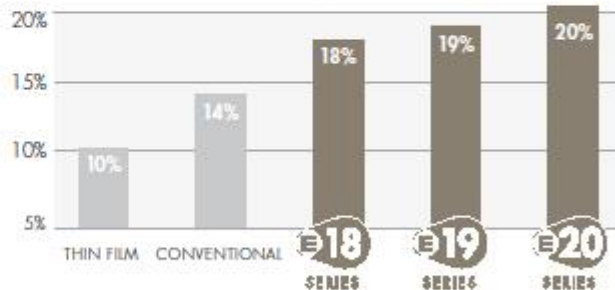
SunPower's unique Maxeon™ cell technology and advanced module design ensure industry-leading reliability



THE WORLD'S STANDARD FOR SOLAR™

SunPower™ E20 Solar Panels provide today's highest efficiency and performance. Powered by SunPower Maxeon™ cell technology, the E20 series provides panel conversion efficiencies of up to 20.1%. The E20's low voltage temperature coefficient, anti-reflective glass and exceptional low-light performance attributes provide outstanding energy delivery per peak power watt.

SUNPOWER'S HIGH EFFICIENCY ADVANTAGE



MAXEON™ CELL TECHNOLOGY

Patented all-back-contact solar cell, providing the industry's highest efficiency and reliability

sunpowercorp.com





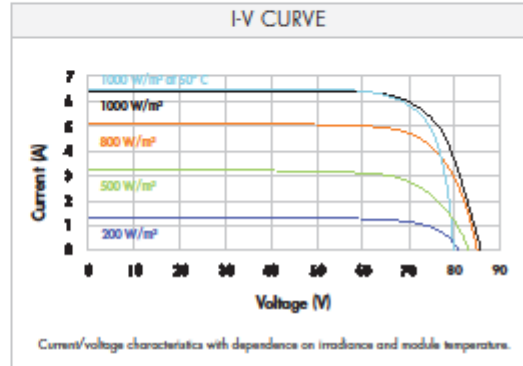
SUNPOWER

E20/435 SOLAR PANEL

MODEL: SPR-435NE-WHT-D

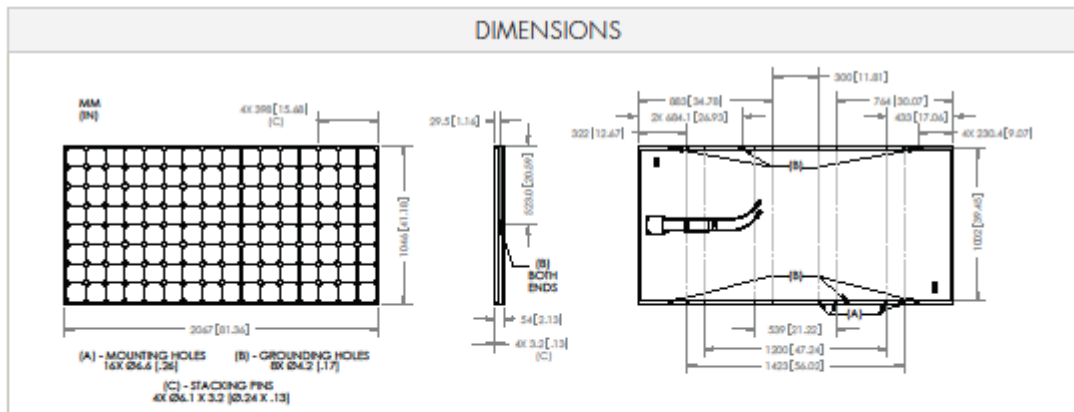
ELECTRICAL DATA		
Measured at Standard Test Conditions (STC): Irradiance of 1000 W/m ² , AM 1.5, and cell temperature 25° C		
Peak Power (+/- 5%)	P _{max}	435 W
Cell Efficiency	η	22.5 %
Panel Efficiency	η	20.1 %
Rated Voltage	V _{mpp}	72.9 V
Rated Current	I _{mpp}	5.97 A
Open-Circuit Voltage	V _{oc}	85.6 V
Short-Circuit Current	I _{sc}	6.43 A
Maximum System Voltage	UL	600 V
Temperature Coefficients	Power (P)	- 0.38%/K
	Voltage (V _{oc})	- 235.5 mV/K
	Current (I _{sc})	3.5 mA/K
NOCT		45° C +/- 2° C
Series Fuse Rating		20 A
Grounding		Positive grounding not required

MECHANICAL DATA	
Solar Cells	128 SunPower Maxeon™ cells
Front Glass	High-transmission tempered glass with anti-reflective (AR) coating
Junction Box	IP-65 rated with 3 bypass diodes Dimensions: 32 x 155 x 128 mm
Output Cables	700 mm cables / Multi-Contact (MC4) connectors
Frame	Anodized aluminum alloy type 6063 (silver); stacking pins
Weight	56.0 lbs. (25.4 kg)



TESTED OPERATING CONDITIONS	
Temperature	- 40° F to +185° F [- 40° C to + 85° C]
Max load	113 psf 550 kg/m ² (5400 Pa), front (e.g. snow) w/ specified mounting configurations 50 psf 245 kg/m ² (2400 Pa) front and back (e.g. wind)
Impact Resistance	Hail: (25 mm) at 51 mph (23 m/s)

WARRANTIES AND CERTIFICATIONS	
Warranties	25-year limited power warranty 10-year limited product warranty
Certifications	Tested to UL 1703, Class C Fire Rating



Please read safety and installation instructions before using this product, visit sunpowercorp.com for more details.

© 2011 SunPower Corporation. SUNPOWER, the SunPower logo, and THE WORLD'S STANDARD FOR SOLAR, and MAXEON are trademarks or registered trademarks of SunPower Corporation in the US and other countries as well. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.