

**АНАЛИЗ НА ЕФЕКТА НА ЗАСЕНЧВАНЕТО НА ФОТОВОЛТАИЧНИ ПАНЕЛИ С ПОКРИТИЕ ОТ ТЪНЪК СЛОЙ КАДМИЕВ ТЕЛУРИД ВЪРХУ ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ ИМ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

**Емил Станев, Ивайло Стоянов**  
*emostanev@gmail.com, ivo100v@gmail.com*

*Катедра Електроснабдяване и Електрообзавеждане  
Технически Университет – Габрово, България*

**ANALYSIS OF THE SHADING EFFECT OF THIN LAYER CADMIUM TELLURIDE PHOTOVOLTAIC PANELS ON THEIR ELECTRICAL PERFORMANCE**

**Emil Stanev, Ivaylo Stoyanov**  
*emostanev@gmail.com, ivo100v@gmail.com*

*Department of Electric Power Distribution and Electrical Equipment  
Technical University of Gabrovo, Bulgaria*

**Abstract**

The paper presents the effects of shading on thin-film cadmium telluride (CdTe)-based frameless solar panels. The influence of different degrees of shading of CdTe PV panels on their performance is analyzed after measuring their I-V and power characteristics. The results show that even small shading significantly affects the efficiency of the panels.

**Keywords:** photovoltaic panels, shading, photovoltaic efficiency, I-V curve measurement, thin layer cadmium telluride

**ВЪВЕДЕНИЕ**

Енергийната криза и замърсяването на околната среда са проблем, който не може да бъде пренебрегван, затова се търсят начини за развитие и използване на възобновяемите източници на енергия по възможно най-ефективния начин с развитието на съвременните технологии и средства. Слънцето е най-големият източник на енергия на Земята. Използването на слънчева енергия и преобразуването ѝ в електричество с помощта на фотоволтаични панели нараства бързо през последните години и според публикувана информация и направена оценка в световен мащаб инсталираният капацитет до края на 2022 г. ще достигне 1000 GW [1, 2].

Соларните фотоволтаични системи се състоят от слънчеви панели, свързани в ма-

сиви. В зависимост от необходимата електроенергия, всеки от тези панели е съставен от много фотоволтаични клетки, които са основните единици, участващи в улавянето на енергията от слънцето и превръщането ѝ в електричество. При падане на сянка дори само на една част от слънчевия панел в масива, изходът от цялата система може да бъде потенциално компрометиран, това се нарича засенчване на фотоволтаичните панели. Когато слънчевият панел е частично засенчен, токът генериран от изцяло осветените клетки не може да протече през засечените и се разсейва в тях под формата на топлинно излъчване, причинявайки ефекта на горещата точка. Това може да доведе до тяхното прегряване и стопяване и е една от най-разпространените причини за повреда

на слънчевия панел или опасност от пожар. В резултат на това е важно да се използват байпасни диоди при конструирането на фотоволтаични системи, за да се гарантира, че токът може да протича като се шунтират неефективно работещите клетки и по този начин въздействието се намалява при различните ситуации на засенчване (Фиг. 1, Фиг. 2, Фиг. 3, Фиг. 4) [3].



**Фиг. 1.** Локално засенчване от натрупана мръсотия



**Фиг. 2.** Засенчване от дървета



**Фиг. 3.** Засенчване от прах и сажиди



**Фиг. 4.** Засенчване от сгради

В настоящия доклад се разглежда ефекта на засенчване на фотоволтаичен панел с покритие от тънък слой кадмиев телурид (CdTe) върху електрическите му характеристики. Изследвани са волт-амперните и мощностните характеристики на фотоволтаичния панел, при хоризонтално и вертикално засенчване.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

При фотоволтаично производство на електроенергия дървета, паднали листа, сгради и облаци могат да блокират и засенчат слънчевата светлина върху фотоволтаичния панел, което води до понижаване стойностите на напрежението и тока на модулите, като това оказва негативно влияние върху изходната мощност [5, 6].

Несъответствието на напрежението, тока и намаляването на мощността зависи от различни фактори, например материалът на фотоволтаичната клетка, структурата и вътрешните свойства на материала, климатичните и метеорологични условия, както и местоположение на мястото за монтаж.

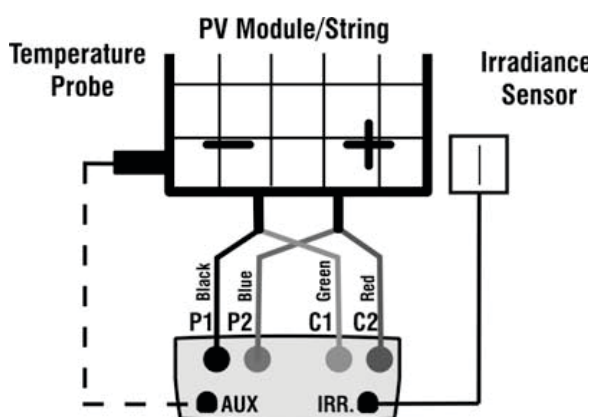
За изследване ефекта от засенчването, върху електрическите характеристики на фотоволтаични панели на базата на тънък слой CdTe е използван уреда I-V500W. С него може да се снее волт-амперната крива и мощностната характеристика, както на един модул, така и на няколко модула свързани помежду си в PV инсталация до максимум 1500V и 10A или 1000V и 15A. За измерване на I-V кривата уреда I-V500W управлява вътрешна база данни на фотоволтаични модули, която може да бъде актуализирана по всяко време от потребителя.



**Фиг. 5.** Измервателен уред I-V500W

Сравнението на измерените данни с номиналните стойности позволява незабавна оценка дали групата от модули или единичния модул, които се тестват, отговарят на заявените параметри на ефективност от производителя.

Уредът извършва измерване на I-V кривата на свързания към него фотоволтаичен модул, след което измерва в реално време слънчевата радиация и температурата на модула – Фиг. 6.



Фиг. 6. Свързване на фотоволтаичен модул с уреда I-V500W

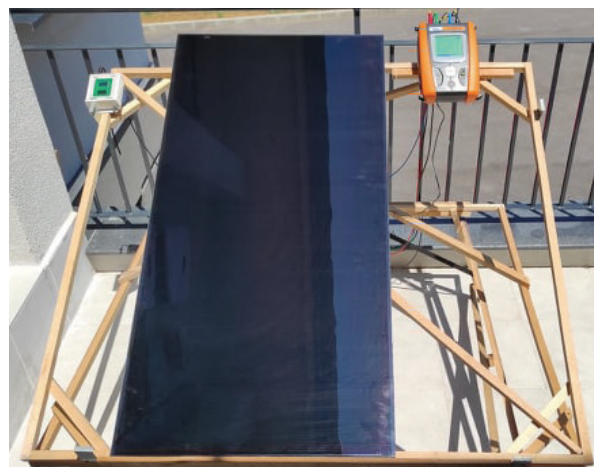
Резултатите от измерванията автоматично се привеждат към стандартните условия (STC) на излъчване при  $1000 \text{ W/m}^2$  и температура  $25^\circ\text{C}$ . Таблица 1 представя техническа информация за обхватите и точността на измерванията, направени с помощта на инструмента за измерване на волт-амперни характеристики I-V500W [4].

Таблица 1. Технически характеристики на уреда I-V500W

Измерван параметър	Обхват	Точност	Толеранс
DC Напрежение	15.0 ÷ 99.9 V	0.1 V	$\pm(0.5\%rdg + 2dgt)$
DC Ток	0.10 ÷ 15.00 A	0.01 A	$\pm(1.0\%rdg + 2dgt)$
DC Мощност	50 ÷ 99999 W	1 W	$\pm(1.0\%rdg + 6dgt)$
Радиация (с референтна клетка)	1.0 ÷ 100.0 mV	0.1 mV	$\pm(1.0\%rdg + 5dgt)$
Температура (с допълнителна сонда)	-20.0 ÷ 100.0 °C	0.1 °C	$\pm(1.0\%rdg + 1^\circ\text{C})$

Проучени са необходимите каталожни данни на фотоволтаичните модули CdTe

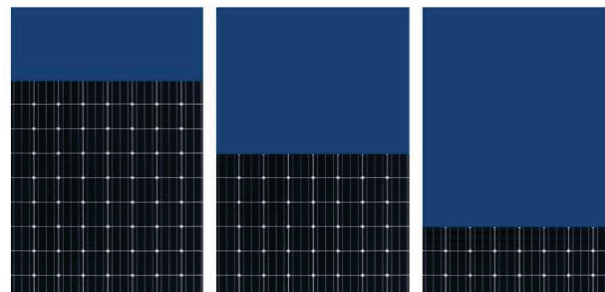
модел CdTe: CX4 10/3 100Wp на производителя Calyxo, Германия. Температурните коефициенти при STC са Alpha ( $I_{sc}$ ) =  $0.03\%/^\circ\text{C}$  и Beta ( $V_{oc}$ ) =  $-0.21\%/^\circ\text{C}$ . Тези каталожни данни се задават в инструмента за измерване I-V500W преди започване на измерванията.



Фиг. 7. Опитна установка с фотоволтаичен панел с покритие от тънък слой кадмиев телурид

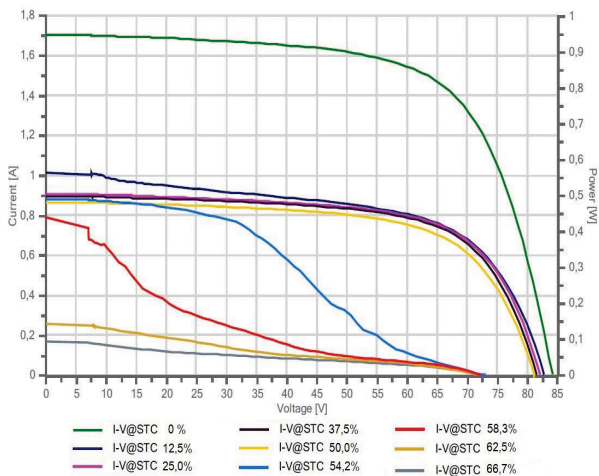
Извършени са измервания при различно хоризонтално и вертикално засенчване на фотоволтаичен панел, който е с размери  $120 \times 60 \text{ cm}$ . Измерванията са извършени съответно при следните стойности на засенчване от панела:

Хоризонтално засенчване (Фиг.8): 15cm (12,5%), 30 cm (25%), 45 cm (37,5%), 60 cm (50%), 65 cm (54,2%), 70 cm (58,3%), 75 cm (62,5%), 80 cm (66,7%). 105 cm - След тази стойност се достига токовата граница на възможност за отчитане – current Lim.

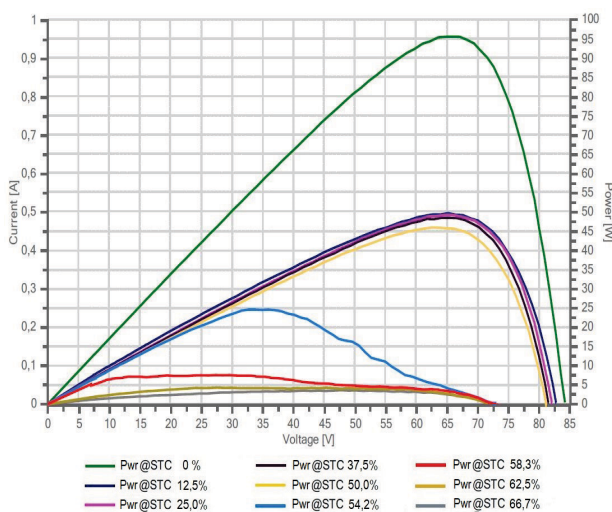


Фиг. 8. Хоризонтално засенчване

Получените I-V и мощностни характеристики на хоризонтално засенчения панел от тънък слой CdTe са показани съответно на Фиг. 10 и Фиг. 11.

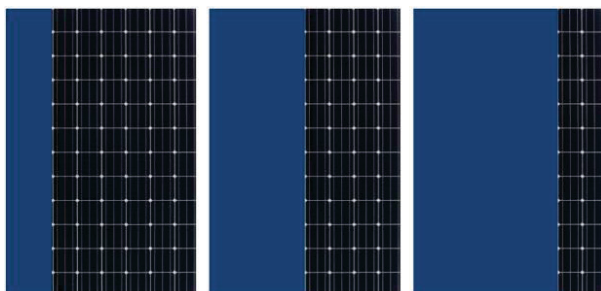


Фиг. 10. I-V характеристика на хоризонтално засенчен панел от тънък слой CdTe



Фиг. 11. Мощностна характеристика на хоризонтално засенчен панел от тънък слой CdTe

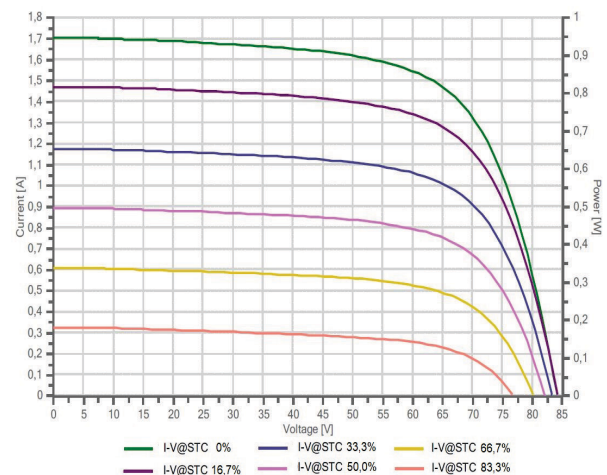
Вертикално засенчване (Фиг. 9): 10 см (16,7%), 20 см (33,3%), 30 см (50%), 40 см (66,7%), 50 см (83,3%), 60 см – пълно засенчване.



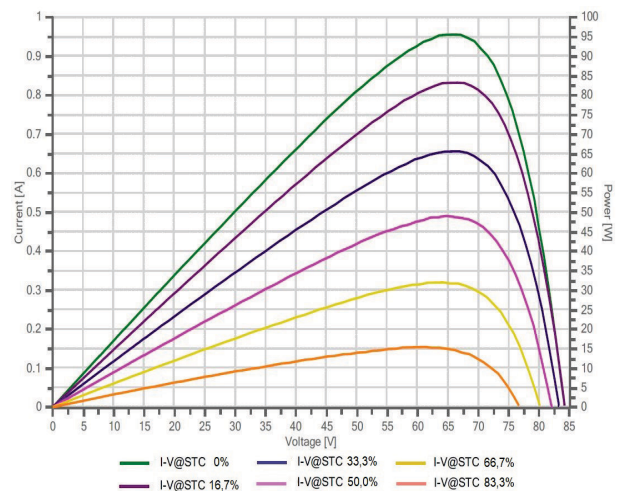
Фиг. 9. Вертикално засенчване

Получените I-V и мощностни характеристики на вертикално засенчения панел от

тънък слой CdTe са показани съответно на Фиг. 12 и Фиг. 13.



Фиг. 12. I-V характеристика на вертикално засенчен панел от тънък слой CdTe



Фиг. 13. Мощностна характеристика на вертикално засенчен панел от тънък слой CdTe

Резултатите от измерванията за тествания панел с тънък слой CdTe са показани в Таблица 2 и Таблица 3, където:

- Толеранс - толеранса на  $P_{max}$  спрямо предоставения от производителя на модула;
- $P_{max}$  - максимална номинална мощност на модула;
- $V_{oc}$  - напрежение на отворена верига;
- $V_{mp}$  - напрежение на точката на максимална мощност;
- $I_{mp}$  - ток на точката на максимална мощност;
- $I_{sc}$  - ток на късо съединение;
- FF - коефициент на запълване.

Таблица 2. Хоризонтално засенчване

Засенчване %	Толеранс [%]	Pmax [W]	Voc [V]	Vmpp [V]	Impp [A]	Isc [A]	FF [%]
CdTe - 0 %	- 4.65%	95.35	84.23	64.77	1.47	1.70	67.00
CdTe - 12.5	-50.66%	49.34	82.81	65.18	0.76	1.01	59.00
CdTe - 25.0	-51.04%	48.96	82.15	64.67	0.76	0.90	66.00
CdTe - 37.5	-51.04%	48.31	81.59	64.16	0.75	0.89	66.00
CdTe - 50.0	-54.11%	45.89	81.18	62.52	0.73	0.86	66.00
CdTe - 54.2	-75.49%	24.51	72.97	33.76	0.73	0.88	38.00
CdTe - 58.3	-92.50%	7.50	72.20	29.63	0.25	0.74	31.00
CdTe - 62.5	-95.75%	4.25	71.63	27.60	0.15	0.25	24.00
CdTe - 66.7	-96.42%	3.58	72.20	47.75	0.08	0.16	14.00
Номинални стойности	±10%	100.00	92.10	72.60	1.38	1.53	71.00

Таблица 3. Вертикално засенчване

Засенчване %	Толеранс [%]	Pmax [W]	Voc [V]	Vmpp [V]	Impp [A]	Isc [A]	FF [%]
CdTe - 0 %	- 4.65%	95.35	84.23	64.77	1.47	1.70	67.00
CdTe -16.7%	-16.94%	83.06	84.22	67.74	1.23	1.46	67.00
CdTe -33.3%	-34.57%	65.43	83.33	65.76	1.00	1.17	67.00
CdTe -50.0%	-51.27%	48.73	82.05	64.71	0.75	0.89	67.00
CdTe -66.7%	-68.15%	31.85	80.17	64.21	0.50	0.60	66.00
CdTe -83.3%	-84.73%	15.27	76.72	61.33	0.25	0.32	62.00
Номинални стойности	±10%	100.00	92.10	72.60	1.38	1.53	71.00

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фиг. 10 показва, че дори при минимално хоризонтално засенчване в диапазона от 12,5% - 50%, I-V характеристиката се изменя значително и максималната мощност - Pmax спада наполовина. При по-нататъшно увеличаване на засенчването над 50%, се наблюдава рязко нарушаване на формата на графиката и възможността за производство на електрическа енергия от фотоволтаичния панел. В мощностните характеристики

на Фиг. 11 се вижда изменението в положението на точката на максимална мощност при увеличаване на хоризонталното засенчване над 50%. Ефектът при вертикално засенчване на фотоволтаичен модул с тънък слой CdTe може да се види на Фиг. 12, Фиг. 13 и Таблица 3. Анализът показва, че вертикалното засенчване оказва по-малко негативно влияние върху ефективността на фотоволтаичния панел спрямо хоризонталното. При вертикалното засенчване се наблюдава равномерно изменение в I-V и P-V характеристиките. Разликата в получените резултати при хоризонтално и вертикално засенчване се дължи на структурата при свързване на отделните фотоволтаични клетки в изследвания панел с тънък слой от кадмиев телурид.

## REFERENCE

- [1] <https://www.infolink-group.com/en/solar/analysis-trends/Global-PV-demand-set-to-hit-143-7-G>
- [2] <https://greentech.bg/archives/80783>
- [3] <https://bg.dsisolar.com/info/shading-effect-on-output-of-solar-pv-system-50730909.html>
- [4] <https://www.ht-instruments.com/en/products/photovoltaic-testers/i-v-curve-tracers/i-v500w>
- [5] Aramesh, M.; Kasaeian, A.; Pourfayaz, F. A detailed investigation of the walls shading effect on the performance of solar ponds. Environ. Prog. Sustain. Energy 2018, 38, e13014. [CrossRef]
- [6] Teo, J.; Tan, R.; Mok, V.; Ramachandaramurthy, V.K.; Tan, C. Impact of partial shading on the PV characteristics and the maximum power of a photovoltaic string. Energies 2018, 11, 1860. [CrossRef]