

ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА КЛИМАТИЧНИТЕ ФАКТОРИ ВЪРХУ КОЕФИЦИЕНТА НА ИЗПОЛЗВАНЕ НА ФОТОВОЛТАИЧНА СИСТЕМА СЪС CIGS МОДУЛИ

Ивайло Лазаров

Технически университет - Габрово, ул. „Хаджи Димитър“ №4, България

**кореспондиращ автор: iv_lazarov@tugab.bg*

STUDYING THE INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS ON THE CAPACITY UTILIZATION FACTOR OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM WITH CIGS MODULES

Ivaylo Lazarov

Technical University of Gabrovo, 4 Hadzhi Dimitar str., Gabrovo, Bulgaria

**Corresponding author: iv_lazarov@tugab.bg*

Abstract

The paper presents the influence of air temperature, wind speed and solar irradiation on the plane of an array of photovoltaic modules on the capacity utilization factor (CUF) of photovoltaic system with CIGS photovoltaic modules. The photovoltaic system is part of the photovoltaic power plant at Gabrovo Tech Park. The AC energy output PV system, ambient temperature wind speed and solar irradiation data from system monitoring were obtained. The monthly values for a photovoltaic system's capacity utilization factor (CUF) are calculated. The correlation coefficients between capacity utilization factor, ambient temperature, wind speed and solar irradiation on the plane of the array of PV modules were obtained. Solar irradiation on the plane of the array of PV modules has the strongest influence on the capacity utilization factor of the photovoltaic system.

Keywords: capacity utilization factor; CIGS modules; coefficient of correlation.

ВЪВЕДЕНИЕ

За оценка на производителността на фотоволтаичните система се дават някои параметри, като ефективност на фотоволтаичната система (η_{sys}) и специфично електропроизводство на фотоволтаичната система (final yield Y_f). Ефективността на фотоволтаичната система се дава като отношение на електрическата енергия, отдадена от фотоволтаичната система в електрическата мрежа към входящата нетна слънчева енергия към фотоволтаичните модули [1]. Специфичното електропроизводство на фотоволтаичната система се дава като отношение на отдадената от фотоволтаичната система електрическа енергия в електрическата мрежа към нейната номинална мощност [2]. Друг параметър, който се въвежда за оценка на производителността на една

фотоволтаична система е коефициентът използване на фотоволтаичната система (capacity utilization factor CUF). Той се дава като отношение на отдадената електрическа енергия от фотоволтаичната система в електрическата мрежа за даден времеви период (един ден, един месец или една година) към потенциалното максимално електропроизводство за същия времеви период. Коефициентът на използване на фотоволтаичната система зависи наличните слънчеви дни и местоположението на фотоволтаичната система [3].

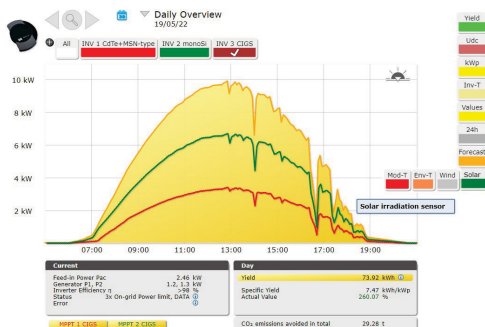
Върху стойностите на коефициента на използване на фотоволтаичната система влияние оказват различни климатични фактори, като слънчева радиация, температура на околната среда, влажност и скорост на вятъра [4]. В [5] е изследван

CUF фотоволтаична електроцентрала при сух климат. Изследването обхваща месеци от есента и зимата като получената най – висока стойност месечна стойност за CUF е 13,5%, а получената най – ниска месечна стойност е 8,1%. За фотоволтаична електроцентрала със модули от поликристален силиций са получени стойности за коефициента на използване между 11,98% и 18,34%, а изчислената средна годишна стойност на коефициента на използване на фотоволтаичната електроцентрала е 14,72% [6].

ИЗЛОЖЕНИЕ

Изследваната фотоволтаична система е с модули от медно-индиево галиев селенид (CIGS) и се намира на покрива на Габрово Тех Парк като част от фотоволтаичната електроцентрала на технологичния парк на Технически университет – Габрово. Модулите са разположени върху метална рамка с наклон от 33° спрямо хоризонта и са ориентирани на 18,4° на изток спрямо чистия юг. Системата се състои от 90 модула, всеки с единична мощност 110Wp, а общата максимална мощност на фотоволтаичната система е 9,9 kWp.

Фотоволтаичната електроцентрала е оборудвана със система за мониторинг, чрез която може да се получават данни и да се следи за изменението на произведената мощност от фотоволтаичните модули, отдадената електрическа енергия от фотоволтаичната електроцентрала, слънчевата радиация в равнината на фотоволтаичните модули, температура на околната среда, скорост на вятъра (фиг. 1).

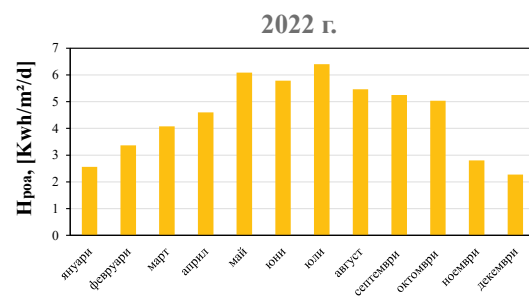


Фиг. 1. Софтуер на система за мониторинг Solar – log 300 на фотоволтаичната електроцентрала на Габрово Тех Парк.

От получените данни от системата за мониторинг могат да се изчислят ефективността на фотоволтаичните модули, ефективност на фотоволтаичната система, специфично електропроизводство на системата и модулите, коефициент на използване на фотоволтаичната система (CUF) и др.

Периодът в който е извършено изследването на фотоволтаичната система обхваща месеците от 2022 г.

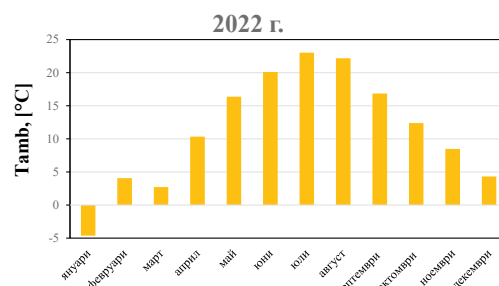
За оценка на производителността на всяка фотоволтаична система е важно да се разполага с информация изменението на климатичните фактори. На фиг. 2. е показано изменението средните месечни стойности на енергията на слънчевата радиация в равнината на фотоволтаичните модули за 2022 г.



Фиг. 2. Изменение на средните месечни стойности на енергията на слънчевата радиация в равнината на фотоволтаичните модули за 2022 г.

Най – високи стойности за енергията на слънчевата радиация са получени за месеците май и юли – 6,09 и 6,40 kWh/m²/d, а най – ниски стойности са получени за типично зимните месеци декември и януари – 2,27 и 2,56 kWh/m²/d.

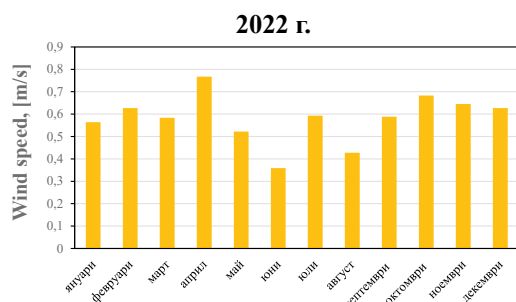
На фиг. 3. е показано изменението на средните месечни стойности на околната температура за 2022 г.



Фиг. 3. Изменение на средните месечни стойности на околната температура за 2022 г.

За януари е получена отрицателна стойност за денонощната средна месечна околна температура $T_{amb} = -4,60^{\circ}\text{C}$. Най – високи стойности за средната месечна околна температура са получени за типичните летни месеци Юли и Август – 23°C и $22,17^{\circ}\text{C}$.

На фиг. 4. е показано изменението на средните месечни стойности на скоростта на вятъра за 2022 г.



Фиг. 4. Изменение на средните месечни стойности на скоростта на вятъра за 2022 г.

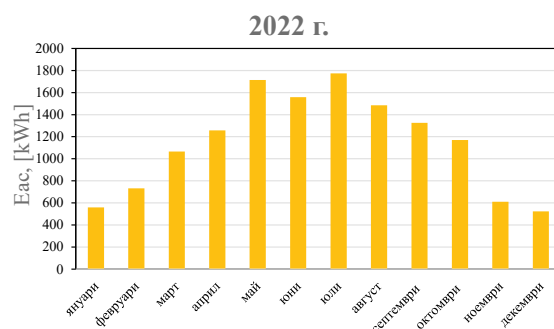
Най – високи денонощни средни месечни стойности за скоростта на вятъра са получени за април и октомври – $0,77\text{ m/s}$ и $0,68\text{ m/s}$, а най – ниски за юни и август - $0,36\text{ m/s}$ и $0,43\text{ m/s}$.

В табл. 1. са показани получените средни месечни стойности за енергията на слънчевата радиация, околната температура и скоростта на вятъра за 2022 г.

Таблица 1. Средни месечни стойности за енергията на слънчевата радиация в равнината на фотоволтаичните модули, околната температура и скоростта на вятъра за 2022 г.

Месец от 2022 г.	H_{proa} , [kWh/m ² /d]	T_{amb} , [°C]	v , [m/s]
януари	2,56	-4,60	0,56
февруари	3,37	4,07	0,63
март	4,07	2,73	0,58
април	4,60	10,32	0,77
май	6,10	16,38	0,52
юни	5,79	20,10	0,36
юли	6,41	23,00	0,59
август	5,47	22,17	0,43
септември	5,25	16,84	0,59
октомври	5,03	12,37	0,68
ноември	2,80	8,47	0,65
декември	2,27	4,31	0,63

Сумарното месечно изменение на отдадената електрическа енергия от фотоволтаичната система към електрическата мрежа за 2022 г. е показано на фиг.5.



Фиг. 5. Изменение на сумарните месечни стойности на електрическата енергия отдадената в електрическата система от фотоволтаичната система за 2022 г.

През май и юли са получени най – високи стойности за отдадената електрическа енергия от фотоволтаичната система в електрическата мрежа. За месец май тази стойност е $1714,10\text{ kWh}$, а за месец юли е $1773,70\text{ kWh}$. За същите месеци са получени и най – високите средни месечни стойности за енергията на слънчевата радиация.

Стойностите за получените месечни стойности за коефициента на използване на фотоволтаичната система се получават от следния израз [7]:

$$CUF = \frac{E_{ac,monthly}}{24 \times p_{pv\text{rated}} \times N}, [\%] \quad (1)$$

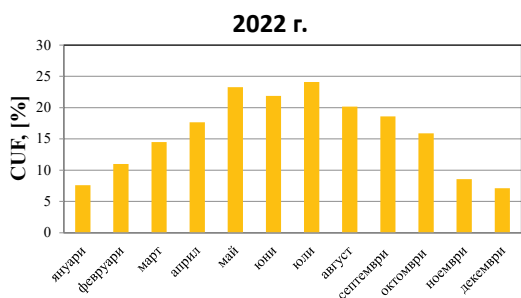
където $E_{ac,monthly}$ е сумарната месечна стойност на отдадената електрическа енергия от фотоволтаичната система в електрическата мрежа за съответния времеви период, [kWh];

$p_{pv\text{rated}}$ – инсталираната мощност на фотоволтаичните модули, [kWp];

24 – продължителността на едно денонощие, [h];

N – брой на дните за съответния месец.

На фиг. 6. е показано изменение на получените месечни стойности за коефициента на използване на фотоволтаичната система.



Фиг. 6. Изменение на получените месечни стойности за коефициента на използване (CUF) на фотоволтаичната система за 2022 г.

Най – високи стойности за коефициента на използване са получени за май и юли – 23,27% и 24,08%. За същите месеци са отчетени и най -високите сумарни месечни стойности за отдадената електрическа енергия от фотоволтаичната система към електрическата мрежа. През януари и декември са получени най-ниските месечни стойности за коефициента на използване на фотоволтаичната система – 7,60% и 7,10%. За същите месеци са получени най – ниските сумарни месечни стойности за отдадената електрическа енергия от фотоволтаичната система към електрическата мрежа.

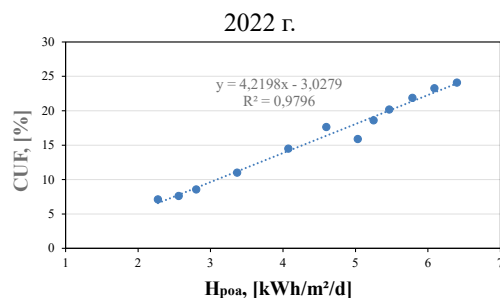
Таблица 2. Сумарни месечни стойности за отдадената електрическа енергия от фотоволтаичната система към електрическата мрежа и изчислени месечни стойности за CUF за 2022 г.

Месец от 2022 г.	Е _{ас} , [kWh]	CUF, [%]
януари	559,91	7,60
февруари	731,76	11,00
март	1066,35	14,48
април	1257,32	17,64
май	1714,09	23,27
юни	1558,80	21,87
юли	1773,70	24,08
август	1485,49	20,17
септември	1325,19	18,59
октомври	1169,77	15,88
ноември	610,00	8,58
декември	522,75	7,10

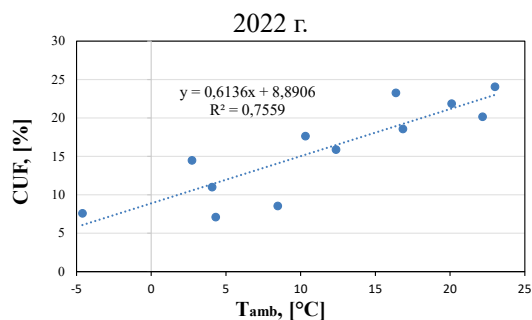
В табл. 2. са дадени месечни стойности за отдадената електрическа енергия от фотоволтаичната система към електрическа-

та мрежа и получените месечни стойности за коефициента на използване на фотоволтаичната система (CUF) за 2022 г.

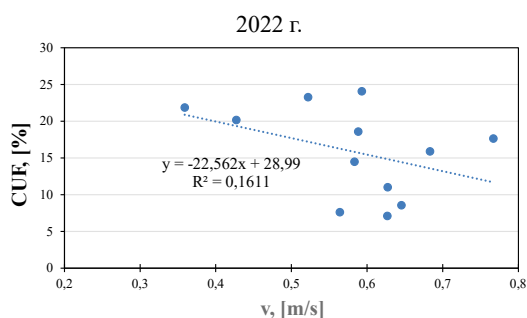
На фиг. 7, 8 и 9 са показани зависимостите на получените месечни стойности за коефициента на използване на фотоволтаичната система от средните месечни стойности на енергията на слънчевата радиация, околната температура и скоростта на вятъра.



Фиг. 7. Зависимост между месечните стойности на коефициента на използване (CUF) на фотоволтаичната система и средните месечни стойности на енергията на слънчевата радиация в равнината на фотоволтаичните модули за 2022 г.



Фиг. 8. Зависимост между месечните стойности на коефициента на използване (CUF) на фотоволтаичната система и средните месечни стойности на околната температура за 2022 г.



Фиг. 9. Зависимост между месечните стойности на коефициента на използване (CUF) на фотоволтаичната система и средните месечни стойности на скоростта на вятъра за 2022 г.

В MS Excel е извършен регресионен анализ между коефициента на използване на фотоволтаичната система от енергията на слънчевата радиация, околната температура и скоростта на вятъра и са получени коефициентите на корелация.

Най – висока стойност за коефициента на корелация е получен за зависимостта на коефициента на използване от енергията на слънчевата радиация - $R^2 = 0,9796$. Това показва, че между тези две величини има силна зависимост. За зависимостта на коефициента на използване от околната температура е получена стойност за коефициента на корелация $R^2 = 0,7559$. Това показва, че влиянието на околната температура върху коефициента на използване на фотоволтаичната система е по – слабо спрямо слънчевата радиация. Получените две регресии са положителни. Ниска стойност за коефициента на корелация е получена за зависимостта между коефициента на използване и скоростта вятъра $R^2 = 0,1611$. Тази стойност показва, че влиянието на скоростта на вятъра върху коефициента на използване на фотоволтаичната система е много слабо.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доклада са получени месечните стойности за коефициента на използване (CUF) на фотоволтаична система с модули от медно – индиев галиев селенид (CIGS) с обща инсталирана мощност 9,9 kWp за 2022 г. Най-високи стойности за коефициента на използване са получени за май и юли. За същите месеци са отчетени и най – високите стойности за енергията на слънчевата радиация. От направения регресионен анализ в MS Excel са получени коефициентите на корелация между коефициента на използване и енергията на слънчевата радиация в равнината на фотоволтаичните модули, околната температура и скоростта на вятъра. От получените коефициенти на корелация се установява, че най-голямо влияние върху коефициента на използване на фотоволтаичната система оказ-

ва енергията на слънчевата радиация в равнината на фотоволтаичните модули.

Благодарности: Това изследване е финансирано от Европейския фонд за регионално развитие в рамките на ОП „Научни изследвания, иновации и дигитализация за интелигентна трансформация“ 2021-2027 г., Проект BG16RFPR002-1.014-0005 Център за компетентност „Интелигентни мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Haffaf A., F. Lakdja, D.O.Abdeslam, R.Meziane, Monitoring, measured and simulated performance analysis of a 2,4 kWp grid-connected PV system installed on the Mulhouse campus, France. Energy for Sustainable Development 62, 2021, pp.44–55.
- [2] Baghdadi I., A.E.Yaakoubi, K.Attari, Z. Leemrani, A.Asselman. Performance investigation of a PV system connected to the grid. 11th International Conference Interdisciplinarity Engineering, INTER – ENG 2017, 5-6 October 2017, Tirgu-Mures, Romania, Procedia Manufacturing 22, 2018, pp. 667-684.
- [3] Aslam A., N.Ahmed, S.A.Qureshi, M.Assadi, N.Ahmed. Advances in solar PV systems; A comprehensive review of PV performance, influencing factors and mitigation techniques. Energies 2022, 15, 7595. <https://doi.org/10.3390/en15207595>.
- [4] Chaudrahari R.H., B.Chaudhari, P.D.Chavda, V.L.Aal. To study the temporal variation of capacity utilization factor of (CUF) of PV based solar power plant with respect to climate condition. Current World Environment, Vol. 11(2), 2016, pp.654-661
- [5] Nallapaneni M.K., S.K.Yadav, S.S.Chopra, U.Bajpai, R.P.Cupta, S.Padmanabah, F.Blabjeerg. Operational performance of on-grid solar photovoltaic system integrated into pre-fabricated portable cabin buildings in warm and temperate climates. Energy for Sustainable Development 57, 2020, pp. 109–118.
- [6] Premananda P., N.H.Umar, P.Cupta, B.Bora. Performance evolution of 100 kWp roof-top grid-connected PV system installed in Northern India. International Journal of

Recent Technology and Engineering
(IJRTE), Vol. 8(3), September 2019, ISSN:
2277-3878.
[7] Agraval M., K.V.S. Rao. Harnessing Solar
Energy From Wind Farm: Case Study of

Four Wind Farm. Advances in Renewable
Energy and Electric Vehicles, Lecture Notes
in Electrical Engineering 767, 2022, pp.
209-222, [https://doi.org/10.1007/978-981-
16-1642-6_17](https://doi.org/10.1007/978-981-16-1642-6_17)