

Randamentul colectoarelor fotovoltaice

Material realizat în colaborare cu Șef. lucrări dr. ing. Lucian Fechete

Randamentul electric al colectoarelor fotovoltaice (η_{PV} [%]), reprezintă ponderea din energia conținută de radiația solară incidentă pe planul colectoarelor fotovoltaice, care este convertită în energie electrică.

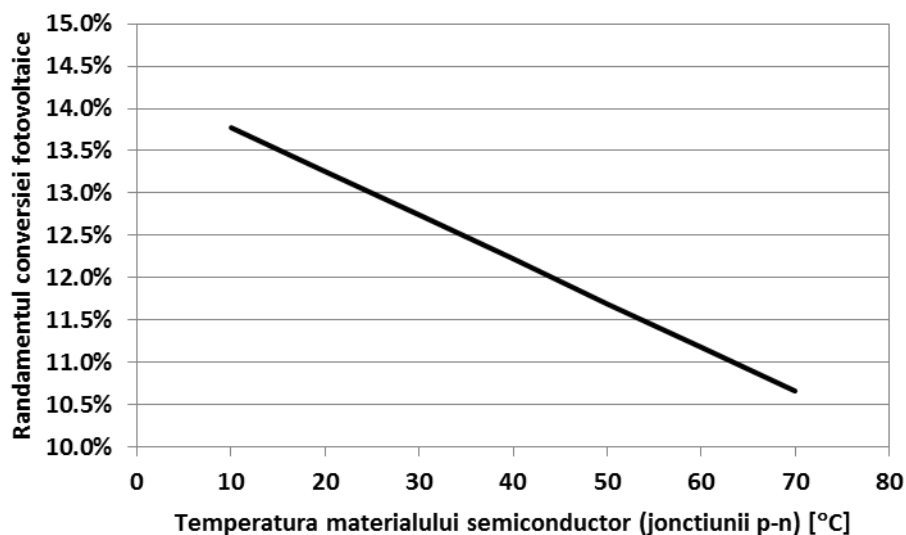
Randamentul electric al colectoarelor fotovoltaice (η_{PV} [%]) depinde de temperatura de lucru a materialului semiconductor, respectiv a jonctiunii p-n (t_c [°C]; T_c [K]), conform relației (Evans & Florschuet, 1975):

$$\eta_{PV} = \eta_{Tref}[1 - \beta_{ref}(T_c - T_{ref})]$$

unde:

- $\eta_{Tref} = (0.104 \dots 0.124)$ este randamentul nominal (de referință) al colectorului fotovoltaic (determinat în condițiile de referință, specificate în fișa tehnică) (Skoplaki & Palyvos, 2009), (OTA, 1978);
- $\beta_{ref} = 1/(T_0 - T_{ref}) = (0.032 \dots 0.0046) \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, este un coeficient care depinde de temperaturile indicate (Skoplaki & Palyvos, 2009):
 - T_0 [K] este temperatura la care randamentul electric al colectoarelor fotovoltaice (η_{PV}), devine egal cu 0. Valorile acestei temperaturi sunt foarte ridicate, astfel de exemplu, pentru celule fotovoltaice din siliciu cristalin, $t_0 = 270 \text{ } ^\circ\text{C}$; $T_0 = 543 \text{ K}$. (Skoplaki & Palyvos, 2009);
 - T_{ref} [K] este temperatura de referință a colectorului fotovoltaic, la care a fost determinat randamentul nominal a colectorului fotovoltaic (η_{Tref}) (de exemplu $t_{ref} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$; $T_{ref} = 298 \text{ K}$);

În figura alăturată este prezentată dependența randamentului electric al colectoarelor fotovoltaice de temperatura de lucru a materialului semiconductor, respectiv a jonctiunii p-n.



Variația randamentului conversiei fotovoltaice cu temperatura colectorului

Parametrii din relația de calcul a randamentului electric al colectoarelor fotovoltaice au fost considerați următorii: $\eta_{Tref} = 0.13$ (13%); $\beta_{ref} = 0.004 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $T_{ref} = 298 \text{ K}$ (25°C).

Din punct de vedere fizic, scăderea randamentului electric al colectorului cu creșterea temperaturii acestuia, se explică prin manifestarea simultană a două efecte negative:

- Intensitatea curentului electric produs, scade puternic la creșterea temperaturii joncțiunii p-n;
- Tensiunea electrică produsă scade la creșterea temperaturii joncțiunii p-n.

Temperatura colectorului fotovoltaic, respectiv temperatura de lucru a joncțiunii p-n, este pe de-o parte dificil de determinat în condițiile reale de funcționare și pe de altă parte este dependentă la rândul ei de următorii factori care o influențează într-o manieră determinantă:

- Intensitatea radiației solare incidente pe colectorul fotovoltaic (normal pe planul acestuia) (I_{gt} [W/m^2]);
- Temperatura mediului ambiant al colectorului (T_a [K]; t_a [$^{\circ}C$]).

Intensitatea radiației solare incidente pe colector influențează în mod direct variația temperaturii materialului acestuia, respectiv a joncțiunii p-n, deoarece curentul electric produs prin efectul fotovoltaic, determină încălzirea materialului, prin efect Joule.

Temperatura mediului ambiant al colectorului influențează indirect variația temperaturii materialului acestuia, respectiv a joncțiunii p-n, deoarece influențează capacitatea de răcire a materialului.

Relația de calcul a randamentului electric al colectoarelor fotovoltaice (η_{PV} [%]), prezentată anterior, poate fi înlocuită cu o relație echivalentă, în care temperatura de lucru a materialului semiconductor, respectiv a joncțiunii p-n, a fost înlocuită cu dependența acesteia de intensitatea radiației solare incidentă pe planul colectorului fotovoltaic (pe direcție normală) și de temperatura mediului ambiant, precum și de o serie de parametri nominali ai colectorului, determinați în condiții de referință (Skoplaki & Palyvos, 2009):

$$\eta_{PV} = \eta_{Tref} \left\{ 1 - \beta_{ref} \left[T_a - T_{ref} + (T_{NOCT} - T_{aNOCT}) \frac{I_{gt}}{I_{gNOCT}} \right] \right\}$$

unde:

- T_{NOCT} [K]; t_{NOCT} [$^{\circ}C$] este temperatura normală de lucru a colectorului fotovoltaic (*Normal Operating Collector Temperature*) în următoarele condiții de test: (temperatura aerului $t_{aNOCT} = 20$ $^{\circ}C$; $T_{aNOCT} = 293$ K; intensitatea globală a radiației solare $I_{gNOCT} = 800$ W/m^2 ; viteza vântului $w = 1$ m/s);
- $T_{aNOCT} = 293$ K; $t_{aNOCT} = 20$ $^{\circ}C$ este temperatura aerului în condiții de test, pentru care se determină temperatura normală de lucru a colectorului fotovoltaic (t_{NOCT} [$^{\circ}C$], T_{NOCT} [K]);
- $I_{gNOCT} = 800$ W/m^2 este valoarea intensității radiației solare globale în condiții de test, pentru care se determină temperatura normală de lucru a colectorului fotovoltaic (t_{NOCT} [$^{\circ}C$], T_{NOCT} [K]).

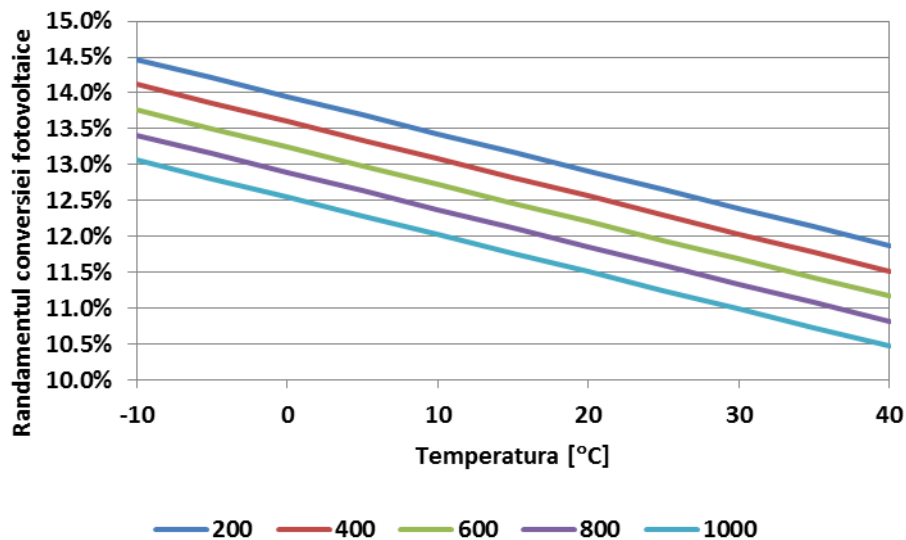
Această relație de calcul prezintă avantajul că descrie dependența randamentului electric al colectoarelor fotovoltaice de intensitatea radiației solare normale pe planul colectoarelor, de temperatura ambiantă și de o serie de parametri de performanță caracteristici ai colectoarelor, determinați în condiții de referință, care sunt indicați în fișele tehnice ale colectoarelor fotovoltaice.

În tabelul alăturat sunt prezentate câteva modele de colectori fotovoltaici cu parametrii utilizați în relațiile de calcul a randamentului electric prezentate.

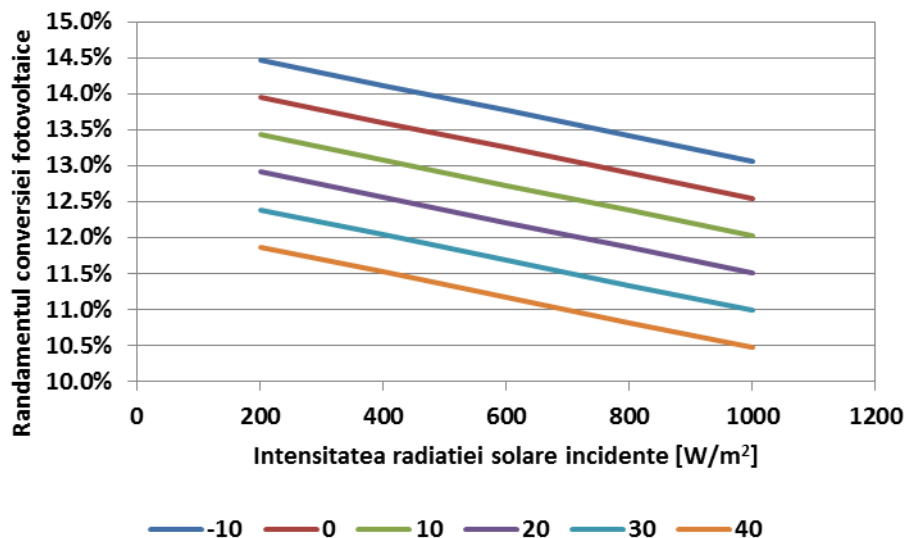
Caracteristici tehnice ale unor modele de colectoare fotovoltaice

Model colector pV	Tip	η_{Tref} [%]	T_{NOCT} [°C]	T_{ref} [°C]	T_{aNOCT} [°C]	I_{gref} [W/m ²]	I_{gNOCT} [W/m ²]
Bauer BS-185-5M2	Monocristalin	14.4	48	25	20	1000	800
Bauer BS-190-5M2	Monocristalin	14.8	48				
Bauer BS-195-5M2	Monocristalin	15.2	48				
Suntech STP230-20/Wd	Policristalin	13.9	45±2				
Suntech STP225-20/Wd	Policristalin	13.6	45±2				
LG 230 PIC	Policristalin	14.3	45±2				
LG 225 PIC	Policristalin	14.0	45±2				
LG 220 PIC	Policristalin	13.7	45±2				
Schott Perform Poly 225	Policristalin	13.4	47.2				
Schott Perform Poly 235	Policristalin	14.0	47.2				

În figurile alăturate este reprezentată variația randamentului unui colector fotovoltaic, în funcție de temperatură și de intensitatea radiației solare globale în planul colectorului.



Variația randamentului unui colector fotovoltaic, cu temperatura pentru diferite valori ale intensității radiației solare (200...1000) W/m²



Variația randamentului unui colector fotovoltaic, cu intensitatea radiației solare pentru diferite valori ale intensității temperaturii ambiante (-10...40) °C

Au fost considerate următoarele valori ale parametrilor din relația de calcul considerată:

- $\eta_{Tref} = 0.13$ (13%);
- $\beta_{ref} = 0.004$ °C⁻¹;
- $T_{ref} = 298$ K (25°C);
- $T_{NOCT} = 320$ K (47°C);
- $T_{aNOCT} = 293$ K (20°C);
- $I_{gNOCT} = 800$ W/m².

În urma analizei figurii prezentate, se pot extrage următoarele concluzii:

- Randamentul colectorului fotovoltaic scade liniar cu creșterea temperaturii ambiante;
- Randamentul colectorului fotovoltaic scade liniar cu creșterea intensității radiației solare.

Scăderea randamentului colectorului fotovoltaic cu creșterea temperaturii ambiante, la aceleași valori ale intensității radiației solare, poate fi explicată prin faptul că la temperaturi ambiante ridicate, răcirea colectorului fotovoltaic este mai puțin eficientă.

Scăderea randamentului colectorului fotovoltaic cu creșterea intensității radiației solare, la aceleași temperaturi ambiante, poate fi explicată prin faptul că la intensități ridicate ale radiației solare, crește temperatura de lucru a joncțiunilor p-n, cu efectele negative asociate.

Randamentul conversiei din curent continuu (produs de colectori fotovoltaici), în curent alternativ (η_c [%]), poate fi considerat după cum urmează:

- $\eta_c = 86\%$ (Ferreira & Kim, 2014);
- $\eta_c = (80...95)\%$ în funcție de intensitatea radiației solare în plan orizontal (I_g [W/m²]), după cum urmează (Mulcue-Nieto & Mora-Lopez, 2014):
 - $I_g < 300$ W/m² $\Rightarrow \eta_c = 80\%$;
 - $I_g = (300...500)$ W/m² $\Rightarrow \eta_c = 85\%$;
 - $I_g = (500...800)$ W/m² $\Rightarrow \eta_c = 90\%$;
 - $I_g > 800$ W/m² $\Rightarrow \eta_c = 95\%$

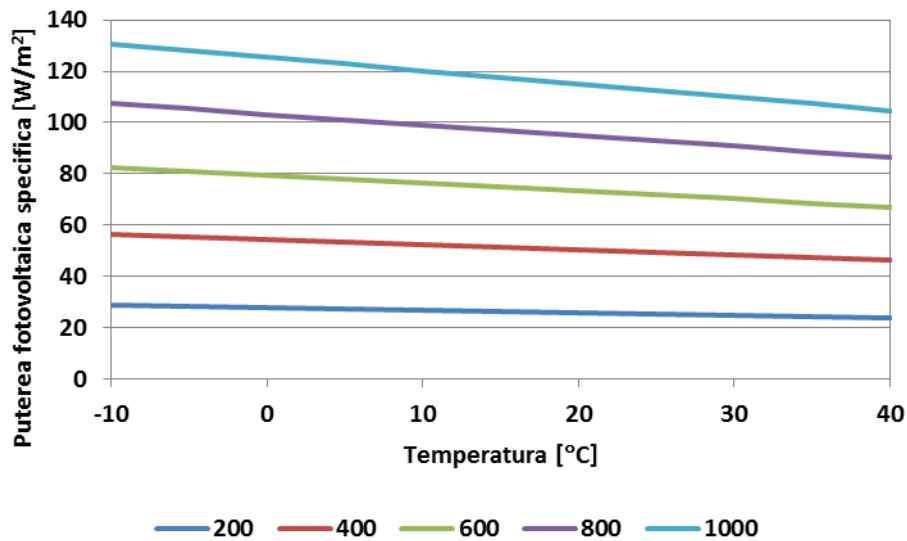
Randamentul global al colectoarelor fotovoltaice (η_{gPV} [%]), se determină cu relația:

$$\eta_{gPV} = \eta_{PV} \cdot \eta_c$$

Puterea electrică specifică (P_e [W/m²]) produsă de unitatea de suprafață (1m²) a colectoarelor fotovoltaice se poate determina cu relația:

$$P_e = \frac{I_{gt} \cdot \eta_{gPV}}{100}$$

În figura alăturată sunt prezentate curbele de variație a puterii electrice specifice produse de același colector considerat la determinarea randamentului conversiei fotovoltaice. S-a considerat energia electrică produsă sub formă de curent continuu ($\eta_c = 1$; $\eta_c = 100\%$).

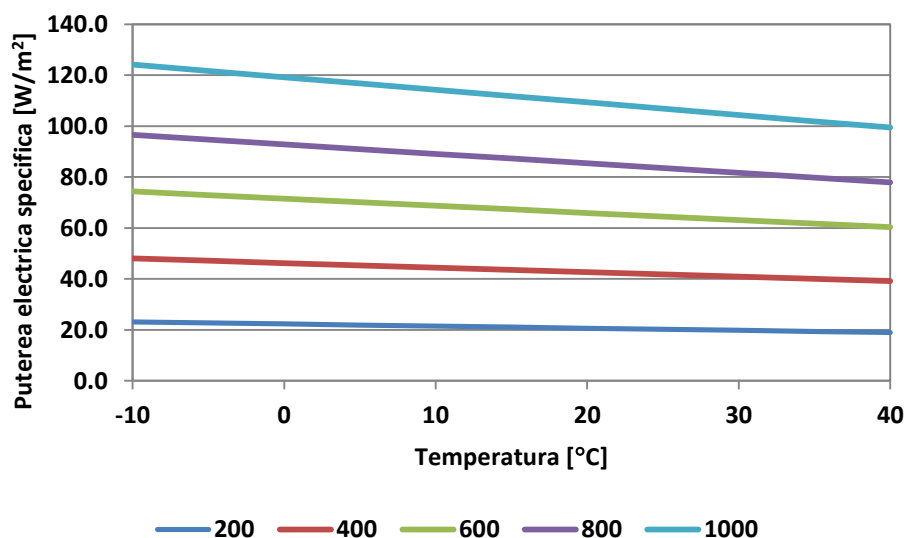


Curbele de variație a puterii electrice specifice, produse (curent continuu), cu temperatura, pentru diferite valori ale intensității radiației solare (200...1000) W/m²

Analizând curbele de variație a a puterii electrice specifice produse de colectoarele fotovoltaice, se constată următoarele:

- Puterea electrică specifică produsă de colectoarele fotovoltaice, continuă să scadă liniar cu creșterea temperaturii;
- Puterea electrică specifică produsă de colectoarele fotovoltaice, crește cu creșterea intensității radiației solare.

În figura alăturată sunt prezentate curbele de variație a puterii electrice specifice produse de același colector considerat la determinarea randamentului conversiei fotovoltaice. S-a considerat energia electrică produsă sub formă de curent alternativ, ținând seama și de randamentul conversiei din curent continuu în curent alternativ.



Curbele de variație a puterii electrice specifice, produse (curent alternativ), cu temperatura pentru diferite valori ale intensității radiației solare (200...1000) W/m²

Puterea electrică furnizată sub formă de curent alternativ, prezintă același tip de variație cu temperatura și cu intensitatea radiației solare ca și puterea electrică furnizată sub formă de curent continuu, dar valorile efective sunt mai reduse datorită existenței randamentului de conversie din curent alternativ în curent continuu.

Puterea electrică produsă de un colector fotovoltaic (sau de un sistem fotovoltaic) (P_e [W]) se poate determina cu relația:

$$P_e = \frac{I_{gt} \cdot \eta_{gPV} \cdot S}{100}$$

Unde S [m^2] este suprafața colectorului sau sistemului fotovoltaic.

Referințe bibliografice

Evans D.L., Florschuet L/W/., *Cost studies on terrestrial photovoltaic power systems with sunlight concentration*, Solar Energy, 19, (1975) 255-262.

Ferreira C.I., Kim D.S., *Techno-economic review of solar cooling technologies based on location-specific data*, International Journal of Refrigeration, (2014) 23-37.

Mulcue-Nieto L.F., Mora-Lopez L., *A new model to predict the energy generated by a photovoltaic system connected to the grid in low latitude countries*, Solar Energy, (2014) 423–442.

OTA, *Application of Solar Technology to Today's Energy Needs, Energy Conversion with Photovoltaics*, OTA – Office of Technology Assessment, Princeton, 1978.

Skoplaki E., Palyvos J.A., *On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations*, Solar Energy, (2009) 614–624.