

# ẢNH HƯỞNG CỦA VẬN TỐC GIÓ ĐẾN NHIỆT ĐỘ HOẠT ĐỘNG VÀ HIỆU SUẤT CHUYỂN ĐỔI CỦA TẮM QUANG ĐIỆN

## EFFECT OF WIND SPEED ON THE OPERATING TEMPERATURE AND CONVERSION EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC PANEL

**Đặng Văn Bình<sup>1,2\*</sup>, Phạm Quang Vũ<sup>2</sup>, Phạm Mạnh Hải<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, Việt Nam

<sup>2</sup>Trường Đại học Điện lực, Việt Nam

\*Tác giả liên hệ / Corresponding author: binhdv@hau.edu.vn

(Nhận bài / Received: 19/8/2024; Sửa bài / Revised: 12/02/2025; Chấp nhận đăng / Accepted: 17/02/2025)

DOI: 10.31130/ud-jst.2025.371

**Tóm tắt** - Nhiệt độ hoạt động ảnh hưởng đến hiệu suất chuyển đổi của tấm quang điện. Điều kiện môi trường tác động đến nhiệt độ hoạt động của tấm quang điện, đặc biệt là tốc độ gió. Nghiên cứu này dùng phương pháp cân bằng năng lượng đánh giá ảnh hưởng của vận tốc gió đến nhiệt độ hoạt động và hiệu suất chuyển đổi của tấm quang điện tại trạng thái ổn định. Với dữ liệu nhiệt độ tại một số thời điểm trong ngày ở Hà Nội năm 2023, nhóm tác giả tính toán nhiệt độ hoạt động và hiệu suất chuyển đổi của tấm quang điện với vận tốc gió 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 và 7m/s. Với cường độ bức xạ là 1000W/m<sup>2</sup>, vận tốc gió là 0m/s, nhiệt độ hoạt động của tấm quang điện lớn nhất là 86°C, khi đó hiệu suất chuyển đổi là 12,91% tương đương giảm 23,15% so với hiệu suất công bố.

**Từ khóa** - Nhiệt độ hoạt động; tấm quang điện; vận tốc gió; hiệu suất chuyển đổi

### 1. Giới thiệu

Tấm quang điện (PV) tạo ra năng lượng điện từ ánh sáng mặt trời dựa trên hiệu ứng quang điện. Điều kiện môi trường và nhiệt độ hoạt động ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất chuyển đổi của tấm PV [1]. Nhiệt độ hoạt động là yếu tố ảnh hưởng lớn nhất đến hiệu suất của tấm PV [2]. Việc tính toán, xác định nhiệt độ hoạt động là một công việc khó khăn do có các yếu tố liên quan như tính chất vật lý của tấm PV và môi trường làm việc [3]. Với tấm PV, khi tính toán nhiệt độ hoạt động người ta thường xác định tại trạng thái ổn định và trạng thái động [4].

Thực nghiệm, mô phỏng hoặc tính toán trao đổi nhiệt là các phương pháp xác định nhiệt độ hoạt động của tấm PV. Khi tính toán trao đổi nhiệt ở trạng thái ổn định thường sử dụng phương pháp cân bằng năng lượng và cần xem xét đến bức xạ mặt trời, nhiệt độ môi trường, tốc độ gió và độ ẩm [5, 6].

Nhiệt độ hoạt động của tấm PV thay đổi theo các yếu tố môi trường, trong đó tốc độ gió là yếu tố ảnh hưởng nhiều nhất [5, 7, 8]. Quá trình trao đổi nhiệt của tấm PV và môi trường phụ thuộc vào tốc độ gió, đồng thời có thể thấy gió có tác dụng làm mát tấm PV [5]. Mehdi và cộng sự nhận thấy, gió được coi như một giải pháp làm mát tự nhiên, cải thiện đáng kể hiệu quả và kiểm soát nhiệt độ của tấm PV [9]. Hướng, vận tốc gió ảnh hưởng đến nhiệt độ

**Abstract** - Operating temperature affects the conversion efficiency of photovoltaic panel. Environmental conditions impact the operating temperature of photovoltaic panels, especially wind speed. This paper uses the energy balance method to research the effect of wind speed on the operating temperature and conversion efficiency of photovoltaic panels in steady-state. With temperature data at Hanoi in 2023, we calculate the operating temperature and conversion efficiency of photovoltaic panels with wind speeds of 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, and 7m/s. With the radiation intensity is 1000W/m<sup>2</sup>, the wind speed is 0m/s, the maximum operating temperature of the photovoltaic panel is 86°C, then the conversion efficiency is 12.91%, equivalent to a reduction of 23.15% compared to the manufacturer's conversion efficiency.

**Key words** - Operating temperature; photovoltaic panel; wind speed; conversion efficiency

hoạt động và hiệu quả của tấm PV đã được Hudisteanu và cộng sự xem xét [10]. Nhiệt độ và tốc độ gió tác động đến hiệu suất của năm công nghệ tấm PV ở các vùng khác nhau được Zia R. Tahir và cộng sự đánh giá [11]. W.Z. Leow và cộng sự đã tiến hành thực nghiệm xem xét ảnh hưởng của tốc độ gió ở Kangar, Perlis, Malaysia đến hiệu quả làm việc của tấm PV [12]. Carlos Bernardo và cộng sự đánh giá ảnh hưởng của gió đến hiệu suất làm việc của tấm PV thiết kế trên CAD bằng phần mềm CFD [13]. Qua các nghiên cứu trên cho thấy, khi xem xét tác động của vận tốc gió đến nhiệt độ hoạt động và hiệu suất của tấm PV chủ yếu được thực hiện bằng mô phỏng hoặc thực nghiệm. Các phương pháp này chưa làm rõ được bản chất quá trình trao đổi nhiệt giữa tấm PV và môi trường. Vấn đề này có thể được hiểu rõ hơn khi chúng ta tính toán trao đổi nhiệt bằng phương pháp cân bằng năng lượng.

Quy hoạch điện VIII khẳng định, nguồn năng lượng tái tạo sẽ được tập trung phát triển mạnh phù hợp với hệ thống lưới điện, trong đó điện mặt trời đóng góp tỷ lệ lớn. Năng lượng tái tạo chiếm khoảng 67,5 - 71,5% cơ cấu nguồn điện, đặc biệt điện mặt trời chiếm tỷ lệ 34% vào năm 2050 [14]. Chính vì vậy, hiệu quả làm việc của tấm PV phải đặc biệt được quan tâm, trong đó có các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu suất mà nhiệt độ tấm PV là một trong các yếu tố đó. Tại Việt Nam, vấn đề xác định, tính toán nhiệt độ hoạt động

<sup>1</sup> Hanoi University of Industry, Vietnam (Dang Van Binh)

<sup>2</sup> Electric Power University, Vietnam (Dang Van Binh, Pham Quang Vu, Manh-Hai Pham)

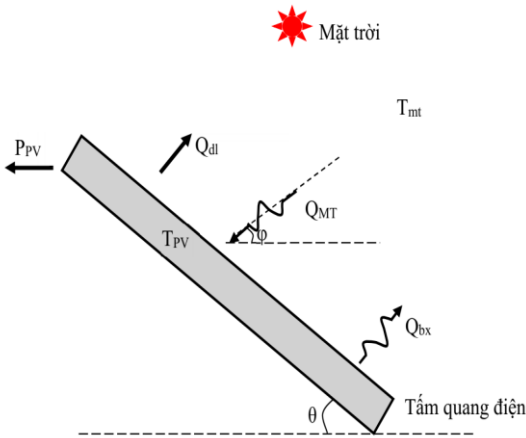
của tấm PV cũng bắt đầu được nghiên cứu, tiêu biểu như công bố [15]. Nghiên cứu [16] đã đánh giá hiệu quả phát điện của tấm PV thông qua bộ KIT 4 tấm PV 1,8W trong phòng thí nghiệm khi nhiệt độ thay đổi và có hiện tượng phủ bóng. Tuy nhiên, các nghiên cứu về vận tốc gió ảnh hưởng đến nhiệt độ và hiệu suất của tấm PV ở Việt Nam chưa được công bố.

Trong bài báo này, vận tốc gió ảnh hưởng đến nhiệt độ hoạt động và hiệu suất của tấm PV như thế nào tại trạng thái ổn định sẽ được nhóm tác giả đánh giá bằng phương pháp cân bằng năng lượng.

## 2. Phương pháp, thông số và dữ liệu

### 2.1. Phương pháp tính toán

Khi làm việc trong thực tế, tấm PV sẽ trao đổi nhiệt với môi trường như Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ trao đổi nhiệt của tấm PV

Để tính nhiệt độ của tấm PV, nhóm tác giả đưa ra các giả thiết sau:

- Bức xạ mặt trời là ổn định và giống nhau trên toàn bộ bề mặt tấm PV.
- Dòng nhiệt coi là ổn định và một chiều.
- Bề mặt tấm PV có nhiệt độ giống nhau ở các vị trí.
- Tấm PV có các thông số vật lý không thay đổi theo thời gian.
- Bộ phận phụ trợ trao đổi nhiệt với môi trường là không đáng kể.
- Tấm PV được đặt trong không gian đủ lớn và hướng gió thổi từ mặt trước về mặt sau.

Phương trình cân bằng năng lượng của tấm PV tại trạng thái ổn định được thể hiện như công thức (1) [17]:

$$Q_{MT} - Q_{bx} - Q_{dl} - P_{PV} = 0 \quad (1)$$

Trong đó:  $Q_{MT}$  là công suất nhiệt bức xạ tấm PV nhận được, W;  $Q_{bx}$  là công suất nhiệt bức xạ trao đổi giữa tấm PV và môi trường, W;  $Q_{dl}$  là công suất nhiệt đối lưu trao đổi giữa tấm PV và môi trường, W;  $P_{PV}$  là công suất điện do tấm PV tạo ra, W.

Công suất nhiệt bức xạ tấm PV nhận được tính toán như công thức (2):

$$Q_{MT} = \alpha_{PV} A E_{MT} \sin(\varphi + \theta) \quad (2)$$

Với:  $\alpha_{PV}$  là hệ số hấp thụ của tấm PV;  $A$  là diện tích của

tấm PV,  $m^2$ ;  $E_{MT}$  là cường độ bức xạ mặt trời,  $W/m^2$ ;  $\varphi$  là góc tạo bởi tia bức xạ và phương ngang, độ;  $\theta$  là góc nghiêng của tấm quang điện, độ.

Công suất nhiệt bức xạ trao đổi giữa tấm quang điện và môi trường xác định như công thức (3):

$$Q_{bx} = 2A\sigma(\varepsilon_{PV}T_{PV}^4 - \varepsilon_{bt}T_{bt}^4) = 2A\sigma\varepsilon(T_{PV}^4 - T_{mt}^4) \quad (3)$$

Với:  $\sigma = 5,67.10^{-8} W/m^2 K^4$  (hằng số Stephan-Boltzmann);  $\varepsilon_{PV}$  và  $\varepsilon_{bt}$  là hệ số phát xạ của bề mặt tấm PV và hệ số phát xạ bầu trời, có thể coi  $\varepsilon_{PV} = \varepsilon_{bt} = \varepsilon$ .  $T_{PV}$  là nhiệt độ hoạt động của tấm PV, K;  $T_{bt}$  là nhiệt độ bầu trời và được coi bằng nhiệt độ môi trường  $T_{mt}$ , K.

Công suất nhiệt đối lưu trao đổi giữa tấm PV và môi trường xác định như công thức (4):

$$Q_{dl} = h_{PV} 2A(T_{PV} - T_{mt}) \quad (4)$$

Với  $h_{PV}$  là hệ số trao đổi nhiệt đối lưu giữa tấm PV và môi trường. Trao đổi nhiệt đối lưu của tấm PV với môi trường phụ thuộc vào tốc độ gió, hướng gió, góc nghiêng và đặc điểm bề mặt của tấm PV, ... [18].  $h_{PV}$  thường được tính toán bằng thực nghiệm.

Khi xem xét trao đổi nhiệt của tấm PV với môi trường coi tấm PV như một tấm phẳng [5]. Đối với tấm PV có diện tích  $0,5m^2$  đặt trong môi trường,  $h_{PV}$  được xác định theo W. H. McAdams [20], được phát triển bởi J. A. Duffie và W. A. Beckman [19] như công thức (5):

$$h_{PV} = 5,7 + 3,8v \text{ với } 1 < v < 5 \text{ m/s} \quad (5)$$

Trong đó,  $v$  là vận tốc gió (m/s).

Bằng thực nghiệm, Watmuff và đồng nghiệp đưa ra cách xác định  $h_{PV}$  cho bộ thu năng lượng mặt trời như công thức (6) [21]:

$$h_{PV} = 2,8 + 3,0v \text{ với } 1 < v < 7 \text{ m/s} \quad (6)$$

Nếu chỉ xét đến tốc độ gió, L. Wen đã xác định  $h_{PV}$  như công thức (7) [18]:

$$h_{PV} = 3,8v \text{ với } v \leq 5 \text{ m/s} \quad (7)$$

$$h_{PV} = 7,17v^{0,78} \text{ với } v > 5 \text{ m/s}$$

Công suất điện do tấm PV tạo ra tại nhiệt độ  $T_{PV}$  xác định như công thức (8):

$$P_{PV} = \alpha_{PV} A E_{MT} \sin(\varphi + \theta) \eta_T \quad (8)$$

$$= \alpha_{PV} A E_{MT} \sin(\varphi + \theta) \eta (1 - \beta(T_{PV} - T_{STC}))$$

Với  $\eta_T$  là hiệu suất của tấm PV tại nhiệt độ  $T_{PV}$ ;  $\eta$  là hiệu suất của tấm PV của nhà sản xuất;  $\beta$  là hệ số suy giảm công suất theo nhiệt độ của tấm PV, %/K;  $T_{STC}$  là nhiệt độ tại điều kiện tiêu chuẩn,  $T_{STC} = 298K$ .

Thay các công thức (2) - (4) và (8) vào (1) ta được:

$$\alpha_{PV} A E_{MT} \sin(\varphi + \theta) - 2A\sigma\varepsilon(T_{PV}^4 - T_{mt}^4) - h_{PV} 2A(T_{PV} - T_{mt}) - \alpha_{PV} A E_{MT} \sin(\varphi + \theta) \eta (1 - \beta(T_{PV} - T_{STC})) = 0$$

Hay

$$-2\sigma\varepsilon T_{PV}^4 - [2h_{PV} - \alpha_{PV} E_{MT} \sin(\varphi + \theta) \eta \beta] T_{PV} + \left[ \alpha_{PV} E_{MT} \sin(\varphi + \theta) + 2\sigma\varepsilon T_{mt}^4 \right] + [2h_{PV} T_{mt} - \alpha_{PV} E_{MT} \sin(\varphi + \theta) \eta (1 + \beta T_{STC})] = 0 \quad (9)$$

Nhiệt độ hoạt động của tấm PV ( $T_{PV}$ ) là nghiệm của phương trình (9).

Hiệu suất của tấm PV phụ thuộc vào nhiệt độ hoạt động, có thể tính toán theo (10):

$$\eta_{PV} = \eta \cdot (1 - \beta(T_{PV} - T_{STC})) \quad (10)$$

**2.2. Thông số tấm PV và dữ liệu tính toán**

Thông số của tấm PV MSP 50W như Bảng 1 được sử dụng để tính toán.

**Bảng 1. Thông số tấm PV sử dụng tính toán**

STT	Thông số	Giá trị
1	Công suất, $P_{max}$	50W
2	Loại cell	Monocrystalline
3	Số lượng cell	18
4	Kích thước (D×R×C)	710×540×30mm
5	Điện áp lớn nhất tại điểm công suất lớn nhất, $V_{mp}$	17,8V
6	Dòng điện lớn nhất tại điểm công suất lớn nhất, $I_{mp}$	2,78A
7	Hiệu suất chuyển đổi, $\eta$	16,8%
8	Hệ số nhiệt độ tại $P_{max}$ , $\beta$	-0,38%/K

Bên cạnh đó, coi tấm PV không cho ánh sáng xuyên qua (hệ số xuyên qua  $D = 0$ ), khi đó ta có hệ số phát xạ  $\epsilon = 0,96$ , hệ số hấp thụ  $\alpha_{PV} = 0,96$  [22, 23].

Nhiệt độ môi trường tính toán như trong Bảng 2 được lấy từ dữ liệu tại website <https://www.accuweather.com/>. Đây là nhiệt độ tại một số thời điểm ngày 17/7/2023 tại Hà Nội (ngày có nhiệt độ trung bình cao nhất năm).

**Bảng 2. Nhiệt độ môi trường tính toán**

STT	Thời gian	Nhiệt độ (°C)
1	6h00	29
2	8h00	32
3	10h00	35
4	12h00	36
5	14h00	38
6	16h00	38
7	18h00	36

Giả sử, góc tới bức xạ vuông góc với mặt đất (phương ngang) tức là  $\varphi = 90^\circ$ . Góc nghiêng tấm PV phụ thuộc vào vĩ độ địa lý, đặc điểm khí hậu của khu vực lắp đặt, với địa điểm và thời gian lựa chọn tính toán là Hà Nội vào tháng 7 chọn góc nghiêng tấm quang điện  $\theta = 9^\circ$  [24].

**3. Kết quả và thảo luận**

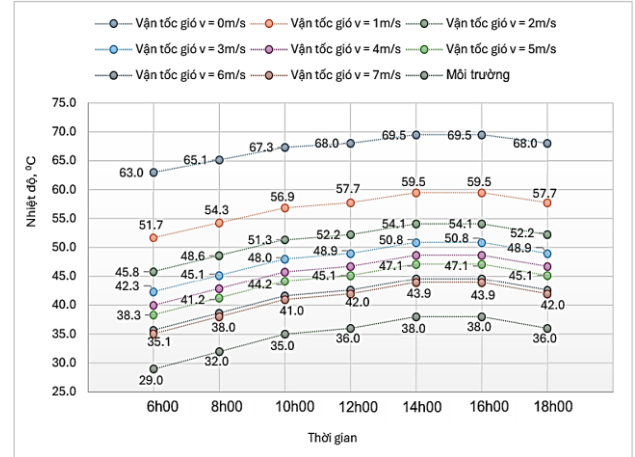
Nhóm tác giả sử dụng công thức (9), (10) và dữ liệu (mục 2.2) để xác định nhiệt độ và hiệu suất làm việc của tấm PV khi  $E_{MT} = 600; 800$  và  $1000W/m^2$ . Vận tốc gió là yếu tố thay đổi liên tục tùy thuộc vào khu vực địa lý, các mức tốc độ gió sử dụng trong tính toán là 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 và 7m/s. Với khoảng vận tốc gió như vậy, để tính toán  $h_{PV}$  được xác định như công thức (7).

**3.1. Nhiệt độ hoạt động của tấm PV**

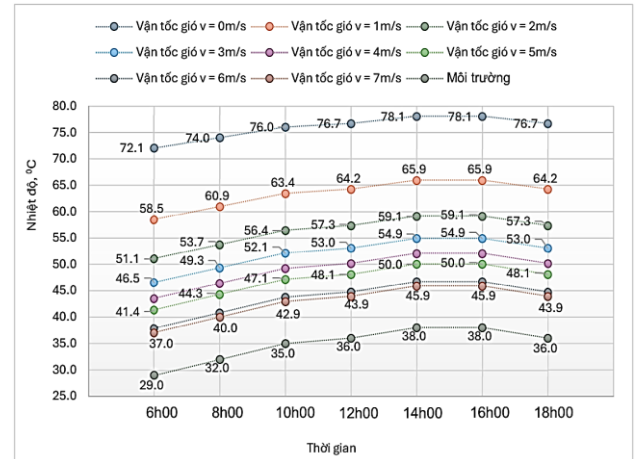
Hình 2, 3 và 4 thể hiện kết quả tính toán  $T_{PV}$  tại 600, 800,  $1000W/m^2$  ở vận tốc gió khác nhau. Ta thấy:

- Tại thời điểm xác định, vận tốc gió tăng thì  $T_{PV}$  giảm ở tất cả các mức cường độ bức xạ. Vận tốc gió tăng làm

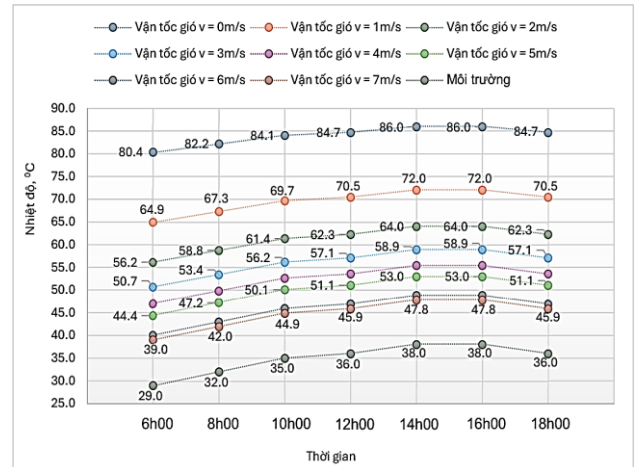
$h_{PV}$  tăng, qua đó làm tăng hiệu quả trao đổi nhiệt của tấm PV và môi trường.



**Hình 2. Nhiệt độ tại 600W/m² ở vận tốc gió khác nhau**



**Hình 3. Nhiệt độ tại 800W/m² ở vận tốc gió khác nhau**



**Hình 4. Nhiệt độ tại 1000W/m² ở vận tốc gió khác nhau**

- Tại thời điểm xác định,  $T_{PV}$  đều lớn hơn nhiệt độ môi trường do tấm PV hấp thụ một phần bức xạ và chuyển thành nhiệt.

- Tại  $E_{MT} = 600W/m^2$ , với nhiệt độ môi trường  $38^\circ C$ , không có gió (vận tốc gió 0m/s) thì nhiệt độ của tấm PV là  $69,5^\circ C$ . Tại  $E_{MT} = 800W/m^2$ , nhiệt độ môi trường  $38^\circ C$ , nhiệt độ của tấm PV là  $78,1^\circ C$  khi không có gió (vận tốc gió 0m/s). Với điều kiện khắc nghiệt nhất trong tính toán

(nhiệt độ môi trường 38°C,  $E_{MT} = 1000W/m^2$ , vận tốc gió 0m/s), nhiệt độ của tấm PV là 86,0°C, tức là tăng 48,0°C so với nhiệt độ môi trường. Với vận tốc gió 7m/s, nhiệt độ môi trường 38°C, nhiệt độ của tấm PV là 43,9°C; 45,9°C và 47,8°C tương ứng với  $E_{MT}$  là 600W/m<sup>2</sup>; 600W/m<sup>2</sup> và 1000W/m<sup>2</sup>.

Nghiên cứu [10] đã tiến hành mô phỏng với tấm PV Monocrystalline với bức xạ 1000W/m<sup>2</sup>, nhiệt độ môi trường 35°C, vận tốc gió 1, 2, 3, 4 và 5m/s, kết quả nhiệt độ của tấm PV lần lượt là 70,7°C; 60,2°C; 54,9°C; 51,3°C và 48,6°C. Có thể thấy, kết quả của nghiên cứu này và kết quả trong [10] có sự tương đồng.

Như vậy, với những khu vực có tốc độ gió thấp, cần sử dụng cách làm mát bổ sung để giảm nhiệt độ hoạt động của tấm PV khi lắp đặt do nhiệt độ tấm PV cao. Còn những khu vực có tốc độ gió cao, thì giải pháp làm mát bổ sung cho tấm PV có thể ít mang hiệu quả.

**3.2. Hiệu suất của tấm PV**

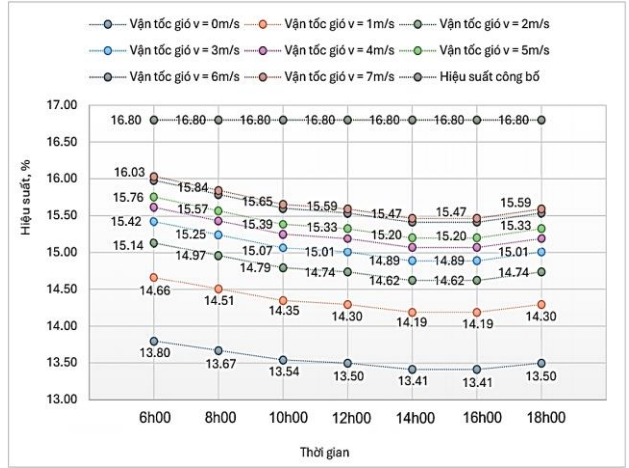
Hình 5, 6 và 7 thể hiện kết quả tính toán hiệu suất của tấm PV tại 600, 800, 1000 W/m<sup>2</sup> ở các vận tốc gió khác nhau. Ta thấy:

- Tại thời điểm xác định, ở tất cả các điều kiện xem xét, hiệu suất của tấm PV đều thấp hơn hiệu suất công bố.

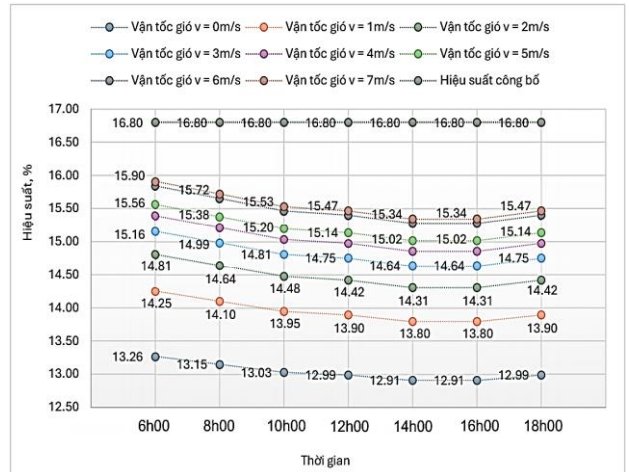
- Tại thời điểm xác định, với cùng nhiệt độ môi trường, hiệu suất của tấm PV tỷ lệ thuận với tốc độ gió ở các bức xạ có cường độ khác nhau.

- Tại  $E_{MT} = 600W/m^2$ , nhiệt độ môi trường 38°C, không có gió (vận tốc gió 0m/s) thì hiệu suất của tấm PV là 13,96%. Tại  $E_{MT} = 800W/m^2$ , nhiệt độ môi trường 38°C, hiệu suất của tấm PV là 13,41% khi không có gió (vận tốc gió 0m/s). Với điều kiện khác nghiệt nhất trong tính toán (nhiệt độ môi trường 38°C,  $E_{MT} = 1000W/m^2$ , vận tốc gió 0m/s), hiệu suất của tấm PV là 12,91%, tức là giảm 23,15% so với hiệu suất công bố. Hiệu suất của tấm PV giảm do nhiệt độ của tấm PV tăng.

Như vậy, khi tấm PV bắt đầu làm việc thì hiệu suất lớn nhất vì khi này nhiệt độ của tấm PV là thấp nhất. Hiệu suất tấm PV giảm khi nhiệt độ của nó tăng. Trong một số trường hợp, khi nhiệt độ của tấm PV cao, cần làm mát để giảm nhiệt độ qua đó giúp quá trình vận hành an toàn và đảm bảo hiệu suất của tấm PV.



Hình 6. Hiệu suất của tấm PV tại 800W/m<sup>2</sup> ở vận tốc gió khác nhau



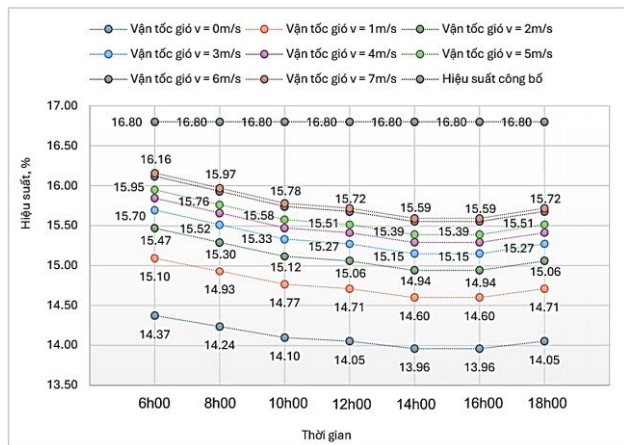
Hình 7. Hiệu suất của tấm PV tại 1000W/m<sup>2</sup> ở vận tốc gió khác nhau

**4. Kết luận**

Nhóm tác giả đã xây dựng phương trình xác định nhiệt độ hoạt động của tấm PV ở trạng thái ổn định bằng phương pháp cân bằng năng lượng. Dựa trên nhiệt độ tại Hà Nội ngày 17/7/2023, nhóm tác giả đã tính toán, phân tích ảnh hưởng của vận tốc gió ở các mức 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 và 7m/s đến nhiệt độ và hiệu suất của tấm PV. Kết quả cho thấy, nhiệt độ của tấm PV đạt cao nhất là 86°C khi cường độ bức xạ là 1000W/m<sup>2</sup> và vận tốc gió 0m/s, khi đó hiệu suất chuyển đổi là 12,91% tương đương giảm 23,15% so với hiệu suất công bố.

Trên cơ sở đó, nhóm tác giả kiến nghị với những vùng tốc độ gió thấp, cần sử dụng các giải pháp làm mát để giảm nhiệt độ hoạt động qua đó duy trì và đảm bảo hiệu suất của tấm PV sát với hiệu suất công bố. Còn với những vùng tốc độ gió cao, khi lắp đặt tấm PV thì giải pháp làm mát có thể ít mang lại hiệu quả và cần được xem xét cụ thể.

Có hai giải pháp kỹ thuật làm mát chính cho tấm PV là chủ động và bị động. Khi áp dụng giải pháp làm mát vào thực tế, bên cạnh vấn đề kỹ thuật cần xem xét đến các chi phí như đầu tư, bảo trì, vận hành. Đặc biệt, chi phí năng lượng khi sử dụng giải pháp làm mát chủ động cần xem xét và tính vào chi phí.



Hình 5. Hiệu suất của tấm PV tại 600W/m<sup>2</sup> ở vận tốc gió khác nhau

Trong thời gian tới, nhóm tác giả sẽ nghiên cứu xác định, đánh giá nhiệt độ hoạt động và hiệu suất của tấm PV trong điều kiện thực tế xét đến ảnh hưởng của cường độ bức xạ, nhiệt độ môi trường, vận tốc gió, hướng gió, độ ẩm, bụi bẩn,... Bên cạnh đó, nghiên cứu các giải pháp làm mát tấm PV để quản lý nhiệt độ làm việc qua đó nâng cao hiệu quả làm việc cũng là vấn đề cần được đánh giá và triển khai trong thực tế.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] P. Trinuruk, C. Sorapipatana, and D. Chenvidhya, "Estimating operating cell temperature of BIPV modules in Thailand", *Renew Energy*, vol. 34, no. 11, pp. 2515–2523, Nov. 2009, doi: 10.1016/j.renene.2009.02.027.
- [2] A. Q. Jakhriani, A. R. Jatoi, and S. H. Jakhriani, "Analysis and fabrication of an active cooling system for reducing photovoltaic module temperature", *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 7, no. 5, pp. 1980–1986, Oct. 2017, doi: 10.48084/etasr.1185.
- [3] P. Mora Segado, J. Carretero, and M. Sidrach-de-Cardona, "Models to predict the operating temperature of different photovoltaic modules in outdoor conditions", *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 23, no. 10, pp. 1267–1282, Oct. 2015, doi: 10.1002/pip.2549.
- [4] A. Q. Jakhriani, A.-K. Othman, A. R. H. Rigit, and S. R. Samo, "Determination and comparison of different photovoltaic module temperature models for Kuching, Sarawak", in *2011 IEEE Conference on Clean Energy and Technology (CET)*, IEEE, Jun. 2011, pp. 231–236. doi: 10.1109/CET.2011.6041469.
- [5] R. Hassanian, M. Riedel, A. Helgadottir, N. Yeganeh, and R. Unnthorsson, "Implicit equation for photovoltaic module temperature and efficiency via heat transfer computational model", *Thermo*, vol. 2, no. 1, pp. 39–55, Feb. 2022, doi: 10.3390/thermo2010004.
- [6] R. Hassanian, M. Riedel, N. Yeganeh, and R. Unnthorsson, "A practical approach for estimating the optimum tilt angle of a photovoltaic panel for a long period - experimental recorded data", *Solar*, vol. 1, no. 1, pp. 41–51, Nov. 2021, doi:10.3390/solar1010005.
- [7] J. A. Duffie, W. A. Beckman, and N. Blair, *Solar engineering of thermal processes*, 4th ed. NY, USA: Wiley: New York, 2020.
- [8] J. A. Palyvos, "A survey of wind convection coefficient correlations for building envelope energy systems' modeling", *Appl Therm Eng*, vol. 28, no. 8–9, pp. 801–808, Jun. 2008, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2007.12.005.
- [9] M. Mehdi, N. Ammari, A. Alami Merrouni, A. Benazzouz, and M. Dahmani, "Experimental investigation on the effect of wind as a natural cooling agent for photovoltaic power plants in desert locations", *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 47, p. 103038, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.csite.2023.103038.
- [10] S. V. Hudișteanu *et al.*, "Effect of wind direction and velocity on PV panels cooling with perforated heat sinks", *Applied Sciences*, vol. 12, no. 19, p. 9665, Sep. 2022, doi: 10.3390/app12199665.
- [11] Z. R. Tahir *et al.*, "Effect of temperature and wind speed on efficiency of five photovoltaic module technologies for different climatic zones", *Sustainability*, vol. 14, no. 23, p. 15810, Nov. 2022, doi: 10.3390/su142315810.
- [12] L. W. Zhe, Y. M. Irwan, M. Irwanto, A. R. Amelia, and I. Safwati, "Influence of wind speed on the performance of photovoltaic panel", *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 15, no. 1, p. 62, Jul. 2019, doi: 10.11591/ijeecs.v15.i1.pp62-70.
- [13] C. Bernardo, R. A. M. Lameirinhas, C. P. C. V. Bernardo, and J. P. N. Torres, "Wind influence on the electrical energy production of solar plants", *Clean Energy and Sustainability*, vol. 2, no. 1, pp. 10004–10004, 2024, doi: 10.35534/ces.2024.10004.
- [14] The Government of the Socialist Republic of Viet Nam, *Decision No. 500/QĐ-TTg dated May 15, 2023 approving on the National Electricity Development Planning of 2021 - 2030 and vision for 2050.* (in Vietnamese)
- [15] D. V. Binh and T. X. Hoang, "Calculating the operating temperature of solar panel by heat transfer method", *EPU Journal of Science and Technology for Energy*, vol. 32, pp. 73-80, 2023. (in Vietnamese)
- [16] B. T. Quy, "Analyzing and evaluating the affective of temperature and shading to the efficiency of a solar power generation", *Journal of Science and Technology - IUH*, vol. 38, no. 02, Nov. 2020, doi: 10.46242/jst-iuh.v38i02.283. (in Vietnamese)
- [17] M. Bardhi, G. Grandi, and M. Premuda, "Steady state global power balance for ground-mounted photovoltaic modules", *The Third International Renewable Energy Congress 2011*, 2011, pp. 359–365.
- [18] L. Wen, "An investigation of the effect of wind cooling on photovoltaic arrays", Pasadena, CA, USA, 1982.
- [19] J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar engineering of thermal processes*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2013.
- [20] W. H. McAdams, *Heat transmission, third ed.* New York, USA: McGraw-Hill, 1954.
- [21] J. Watmuff, W. Charters, and D. Proctor, "Solar and wind induced external coefficients-solar collectors", Marseille, France, 1977.
- [22] M. Hammami, S. Torretti, F. Grimaccia, and G. Grandi, "Thermal and performance analysis of a photovoltaic module with an integrated energy storage system", *Applied Sciences*, vol. 7, no. 11, p. 1107, Oct. 2017, doi: 10.3390/app7111107.
- [23] J. Dumoulin, E. Drouard, and M. Amara, "Radiative sky cooling of silicon solar modules: Evaluating the broadband effectiveness of photonic structures", *Appl Phys Lett*, vol. 121, no. 23, Dec. 2022, doi: 10.1063/5.0116629.
- [24] N. Q. Uy, "Tilt angle of flat plate solar collectors", *Journal of Science and Technology, Hanoi University of Industry*, vol. 58, no. 3, pp. 91-97, Jun. 2022. (in Vietnamese)