

XÂY DỰNG CÔNG CỤ MÔ PHÒNG VỊ TRÍ MẶT TRỜI VÀ CƯỜNG ĐỘ BỨC XẠ TỚI TRÁI ĐẤT THEO THỜI GIAN VÀ VỊ TRÍ ĐỊA LÝ

DEVELOPE A PROGRAM TO SIMULATE THE SUN MOTION AND RADIATION
RELATED TO DAY'S TIME AND GEOGRAPHIC LOCATION ON THE EARTH

Phạm Anh Tuấn

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 04/01/2019, Ngày chấp nhận đăng: 28/03/2019, Phản biện: TS. Phạm Mạnh Hải

Tóm tắt:

Các ứng dụng năng lượng mặt trời ngày càng chiếm một vị trí quan trọng đối với cuộc sống, vì đây là nguồn năng lượng sạch, bao phủ khắp Trái Đất và vô tận. Tính đến năm 2050 nhu cầu sử dụng năng lượng từ điện mặt trời sẽ chiếm khoảng 20 % tổng nhu cầu điện năng trên toàn thế giới [1,2]. Năng lượng mặt trời không đồng nhất trên Trái Đất; nó phụ thuộc vào tọa độ, thời gian trong ngày, ngày trong năm, dữ liệu khí tượng... Trong bài toán dự báo, bức xạ mặt trời có thể được tính trên cơ sở là các phương trình mô tả chuyển động tương đối của Trái Đất - Mặt Trời, kết hợp với các thông tin khác như vị trí địa lý, ngày trong năm, sự hấp thụ và phản xạ của các tầng mây... Trong bài báo này, chúng tôi trình bày các phương trình thiên văn học mô tả chuyển động của Trái Đất - Mặt Trời, qua đó lập trình để tính toán và mô phỏng nhằm đưa ra các đồ thị mô tả: tọa độ và góc phương vị của Mặt Trời theo thời gian, năng lượng bức xạ chiếu đến Trái Đất trên nền matlab... Kết quả tính toán và mô phỏng được ứng dụng để tính và đưa ra một số đồ thị kỹ thuật nhằm mô tả chuyển động của Mặt Trời và lượng bức xạ tại các tọa độ khác nhau tại vị trí tọa độ bất kỳ trên Trái Đất và là cơ sở cho việc chọn hướng lắp đặt dàn pin mặt trời hoặc các thiết bị thu năng lượng mặt trời và dự báo tổng năng lượng sẽ thu được.

Từ khóa:

Bức xạ mặt trời, mô phỏng năng lượng mặt trời, điện mặt trời, Matlab/GUI.

Abstract:

Solar energy applications increasingly occupy an important position for life, as this is a clean energy, renewable resource and covering all over the earth. By 2050, the demand for solar energy will account for about 20% of the total electricity demand worldwide [1,2]. Solar energy is not uniform on earth; it depends on coordinates, time of day, day of year, meteorological data, etc. For the energy prediction, solar radiation can be calculated on the basis of equations describing relative motion of the earth-sun, combined with other information such as geographic location, day of the year, absorption and reflection of cloud layers, etc. In this paper, we present astronomical equations describing the motion of the earth-sun, thereby programming to calculate and simulate to produce descriptive graphs: coordinates and angles the position of the sun over time, radiant energy to the earth under Matlab/GUI framework, etc. The simulation results are applied to calculate and give a number of technical graphs to describe the sun's movement and the amount of radiation at different coordinates at any position on earth and is the basis for choosing the direction of installing solar panels or solar collectors and forecasting the total energy to be collected.

Keywords:

Solar radiation, solar energy simulation, solar electric system, Matlab/GUI.

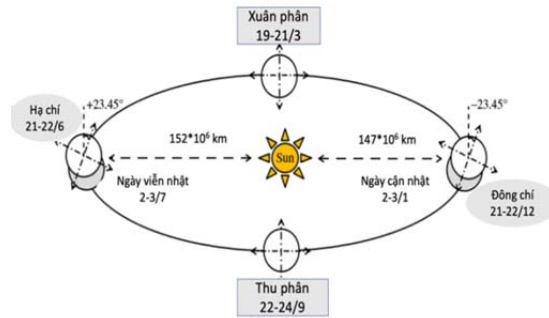
1. GIỚI THIỆU CHUNG

Năng lượng mặt trời có thể chia thành 2 dạng gồm năng lượng bức xạ nhiệt và năng lượng ánh sáng. Các ứng dụng của năng lượng mặt trời bao gồm cả nhiệt năng và điện năng ngày càng trở nên quan trọng với cuộc sống. Điểm mạnh năng lượng mặt trời so với nguồn năng lượng khác là miễn phí, sạch và phong phú. Hơn nữa, năng lượng mặt trời có thể khai thác ở hầu hết các nơi điểm trên bề mặt trái đất. Nó càng quan trọng hơn khi chi phí nhiên liệu hóa thạch cao và những tác động làm ô nhiễm môi trường từ việc đốt chúng. Năng lượng mặt trời được truyền đến trái đất thông qua bức xạ, bao gồm hai phần: phần bức xạ nằm trên bầu khí quyển và phần bức xạ dưới bầu khí quyển có thể được đo bằng các thiết bị đo năng lượng mặt trời như: nhật xạ kế (pyranometer, solarimeter), trực xạ kế (pyrheliometer), nhật xạ ký (actinography) [3]. Ngoài ra, nó cũng có thể được tính toán dựa trên các nguyên lý thiên văn học và hình học, thông qua đó sẽ mô hình hóa nguồn mặt trời chiếu tới trái đất. Trong nghiên cứu này chúng tôi sẽ xây dựng công cụ để tính toán mô phỏng vị trí và cường độ bức xạ năng lượng mặt trời theo thời gian và vị trí địa lý trên nền Matlab/GUI.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ MÔ HÌNH TOÁN HỌC

Trái Đất xoay quanh Mặt Trời trong một quỹ đạo hình elip, thời gian của mỗi vòng Trái Đất quay quanh Mặt Trời là khoảng

8766 giờ. Quỹ đạo của Trái Đất quanh Mặt Trời tại các thời điểm trong năm được mô tả như hình 1 [4-6].



Hình 1. Vị trí tương đối của Trái Đất và Mặt Trời

Đối với một điểm quan sát cụ thể trên Trái Đất, vị trí mặt trời có thể được xác định bởi hai góc, bao gồm: góc cao độ (α) và góc phương vị (θ_s); các góc này được mô tả như trong hình 2, trong đó:

Góc cao độ α (hay còn gọi là góc nhập xạ - Altitude) là góc tạo bởi chùm tia sáng mặt trời so với mặt phẳng xích đạo có thể được xác định bởi phương trình 1:

$$\sin \alpha = \sin L \cdot \sin \delta + \cos L \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega \tag{1}$$

Với: L là vĩ độ tại vị trí quan sát, δ là góc nghiêng tại vị trí quan sát (được tính theo phương trình 2), và ω là góc giờ tại vị trí quan sát (được tính theo phương trình 8).

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin \left[\frac{2\pi(N-81)}{365} \right] \tag{2}$$

ở đây N là ngày qui đổi trong năm, N được tính qui ước từ ngày 1 tháng 1 ($N=1$); các ngày tiếp theo sẽ được tính tròn theo ngày, ví dụ ngày 2 tháng 1 thì $N=2$, ngày 3 tháng 1 thì $N=3$...

Trái Đất nghiêng so với mặt phẳng quỹ đạo của nó quanh Mặt Trời; phương trình thực nghiệm để điều chỉnh độ lệch tâm (EoT) do độ nghiêng trục này được tính như sau (theo đơn vị phút):

$$EoT = 9,87. \sin(2B) - 7,53. \cos B - 1,5. \sin B \quad (3)$$

$$v\text{ới } B = \frac{2\pi}{365}(N - 81) \quad (4)$$

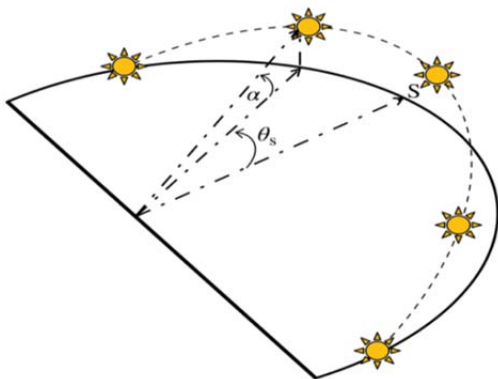
Một số nhận xét: vào ngày 21/3 hoặc 23/9, Mặt Trời sẽ lên thiên đỉnh tại xích đạo và vào ngày 22/6 hoặc ngày 22/12, Mặt Trời lên thiên đỉnh tại chí tuyến Bắc và chí tuyến Nam.

Góc phương vị (Azimuth) là góc giữa vector bắc và mặt phẳng chiếu vuông góc của Mặt Trời xuống mặt phẳng xích đạo; góc phương vị có thể được tính theo công thức:

$$\sin \theta_s = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha} \quad (5)$$

Hệ số hiệu chỉnh thời gian (tính bằng phút) tại vị trí khảo sát trong múi giờ (giờ GMT) của vị trí đó khi xét đến ảnh hưởng của độ lệch tâm EoT được tính theo phương trình 6 (với LOD là kinh độ của vị trí khảo sát):

$$LMT = 4.(LOD - LSMT) + EoT \quad (6)$$



Hình 2. Mô tả góc cao độ và góc phương vị của Mặt Trời

$$LMST = 15^\circ. T_{GMT} \quad (7)$$

Trong phương trình 7, hệ số 15° chính là góc quay được của Trái Đất mỗi giờ (một ngày Trái Đất quay được 360° trong vòng 24 giờ); LMST được hiểu là thời gian qui đổi theo phút của múi giờ (giờ GMT).

Trên cơ sở đó có thể tính được góc giờ tại vị trí quan sát:

$$\omega = 15^\circ. (AST - 12) \quad (8)$$

$$AST = LMT + EoT \pm 4^\circ. (LMST - LOD) \quad (9)$$

Theo qui ước này, vào buổi sáng góc giờ sẽ mang giá trị qui ước là âm và vào buổi chiều góc giờ sẽ mang giá trị qui ước là dương.

Năng lượng ánh sáng và cường độ bức xạ phát ra từ Mặt Trời sẽ tỉ lệ với bình phương khoảng cách tới điểm nhận bức xạ. Cường độ bức xạ chiếu tới Trái Đất sẽ tỉ lệ với bình phương khoảng cách thực giữa Trái Đất và Mặt Trời (G_{ex}) được tính bởi phương trình sau [5]:

$$G_{ex} = G_0. \left(\frac{R_{av}}{R}\right)^2 \quad (10)$$

trong đó R_{av} là khoảng cách trung bình giữa Mặt Trời và Trái Đất và R là khoảng cách thực giữa Mặt Trời và Trái Đất ứng với thời điểm cần khảo sát. Theo các số liệu tính toán thống kê thì tỉ lệ khoảng cách thực so với khoảng cách trung bình sẽ phụ thuộc vào ngày qui đổi trong năm và có giá trị khoảng:

$$\left(\frac{R_{av}}{R}\right)^2 = 1 + 0,0333. \cos\left(\frac{2\pi N}{365}\right) \quad (11)$$

Thay thế phương trình 11 vào phương trình 10 ta có:

$$G_{ex} = G_0. \left(1 + 0,0333. \cos\left(\frac{2\pi N}{365}\right)\right) \quad (12)$$

G_{ex} chính là cường độ bức xạ năng lượng mặt trời chiếu xuống Trái Đất.

Cường độ bức xạ của Mặt Trời trên mặt đất (G_T) được hiểu là bức xạ của Mặt Trời xuyên qua bầu khí quyển xuống tới độ cao mực nước biển. Bức xạ mặt trời trên mặt đất bao gồm hai thành phần: phần chiếu xuống trực tiếp (G_B) và phần tán xạ bởi các đám mây và tầng khí quyển (G_D).

$$(G_D).G_T = G_B + G_D \quad (13)$$

Khi chùm bức xạ mặt trời ngoài Trái Đất đi qua bầu khí quyển, một phần của chùm tia này bị hấp thụ bởi bầu khí quyển. Thông thường đối với một ngày trời quang, 70% bức xạ mặt trời xuống Trái Đất là bức xạ mặt trời trực tiếp. Theo mô hình ASHRAE, bức xạ mặt trời trực tiếp tới bề mặt trái đất ($G_{B, nom}$) có thể được tính như sau:

$$G_{B, nom} = A e^{\frac{-K}{\sin \alpha}} \quad (14)$$

Trong đó A là một thông lượng biểu kiến chiếu tới bề mặt trái đất và K là độ sâu quang học (đại lượng này không thứ nguyên). A và K phụ thuộc vào ngày qui đổi trong năm và có thể được tính theo công thức thực nghiệm như sau:

$$A = 1160 + 75 \sin \left[\frac{360}{365} (N - 275) \right] \quad (15)$$

$$K = 0,174 + 0,035 \sin \left[\frac{360}{365} (N - 100) \right] \quad (16)$$

Theo đó, cường độ bức xạ mặt trời trực tiếp trên độ cao mực nước biển G_B có thể được tính theo công thức 17.

$$G_B = G_{B, nom} \sin \alpha \quad (17)$$

Việc tính toán phần năng lượng tán xạ thực tế rất khó so với tính toán bức xạ mặt trời trực tiếp. Phần tán xạ phụ thuộc vào lớp khí quyển và tầng mây. Một phần năng lượng chiếu xuống Trái Đất sẽ bị phản xạ từ bề mặt trở lại bầu trời và một phần tán xạ xuống mặt đất. Theo mô hình đẳng hướng (coi lượng tán xạ đến một địa điểm có cường độ bằng nhau từ mọi hướng), năng lượng tán xạ có thể xấp xỉ bằng:

$$G_D = 0,095 + 0,04 \sin \left[\frac{360}{365} (N - 100) \right] G_B \quad (18)$$

3. XÂY DỰNG CÔNG CỤ MÔ PHÒNG VỊ TRÍ MẶT TRỜI VÀ CƯỜNG ĐỘ SÁNG TỚI TRÁI ĐẤT THEO THỜI GIAN VÀ VỊ TRÍ ĐỊA LÝ

Trên cơ sở lý thuyết đã trình bày ở trên, chúng tôi xây dựng thuật toán và lập trình xây dựng công cụ mô phỏng cường độ bức xạ năng lượng mặt trời theo thời gian và vị trí địa lý trên Matlab/GUI. Công cụ này cho phép tính toán và mô phỏng vị trí tương đối của Trái Đất và Mặt Trời, cường độ bức xạ của mặt trời trên bề mặt trái đất... Sơ đồ khối của thuật toán này được mô tả trong hình 3.

Hình 4 là giao diện chính của công cụ mô phỏng vị trí và cường độ bức xạ của Mặt Trời tới Trái Đất.

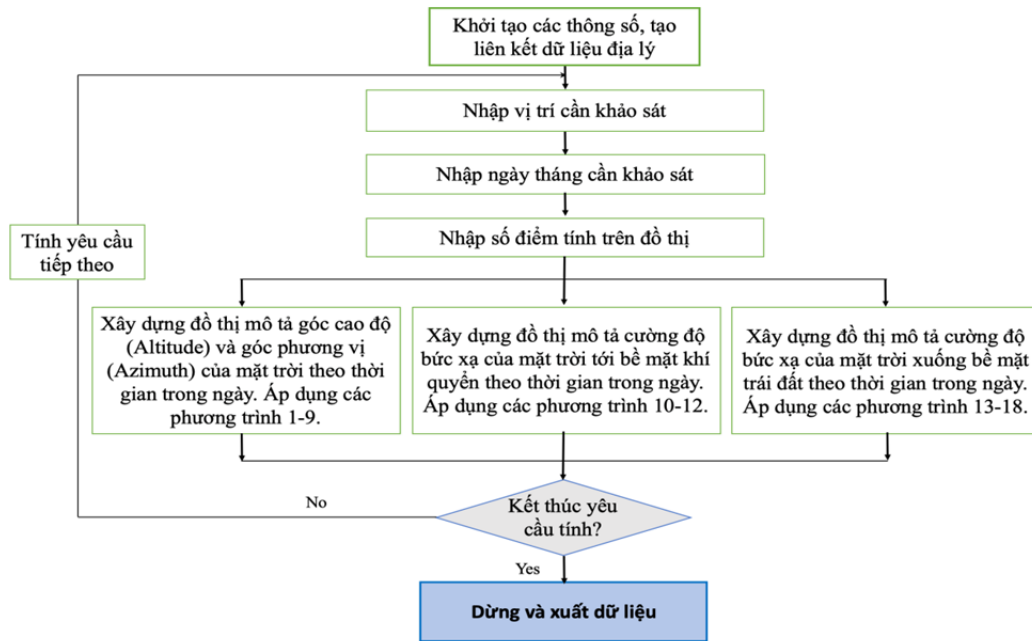
Dữ liệu đầu vào gồm: tọa độ địa lý, ngày tháng, múi giờ, số điểm tính trên đồ thị... Ngoài ra để thuận tiện trong sử dụng, công cụ này cho phép người dùng chọn nhập vị trí cần khảo sát theo một số địa danh được tạo sẵn trên nền file excel, tiếp đó dữ liệu sẽ tự động cập nhập các thông

tin về kinh độ và vĩ độ, múi giờ của điểm cần khảo sát.

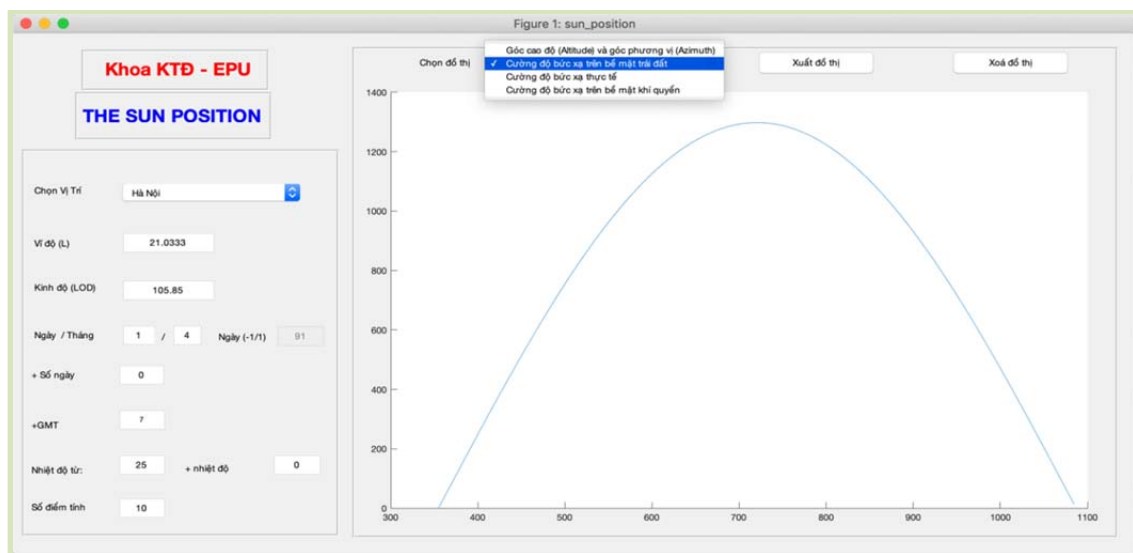
Dữ liệu đầu ra gồm: góc cao độ, góc phương vị, cường độ bức xạ mặt trời tại các điểm trên bề mặt khí quyển, tại các điểm đo trên Trái Đất. Dữ liệu này được tính theo từng ngày với khoảng thời gian

tính được cài đặt, sau đó khi tính toán công cụ cho phép xuất đồ thị mô phỏng (cửa sổ bên trái giao diện chính) hoặc xuất dữ liệu dưới dạng số.

Người dùng có thể khảo sát các dữ liệu đầu ra hoặc dựng đồ thị trên cùng một trục trong nhiều ngày.

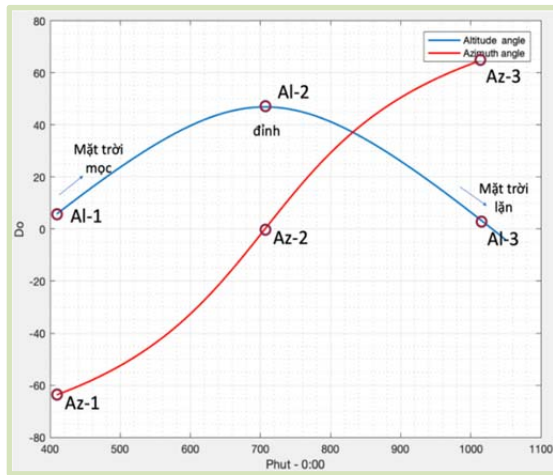


Hình 3. Sơ đồ khối thuật toán mô phỏng vị trí của Mặt Trời và bức xạ tới Trái Đất theo thời gian



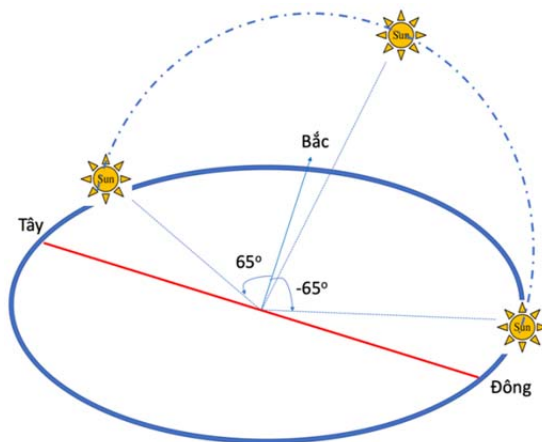
Hình 4. Giao diện của phần mềm mô phỏng vị trí của Mặt Trời và bức xạ tới Trái Đất theo thời gian

4. KẾT QUẢ



Hình 5A. mô phỏng góc cao độ (Alitude angle) và góc phương vị (Azimuth angle) tại thành phố Hà Nội ngày 1 tháng 2

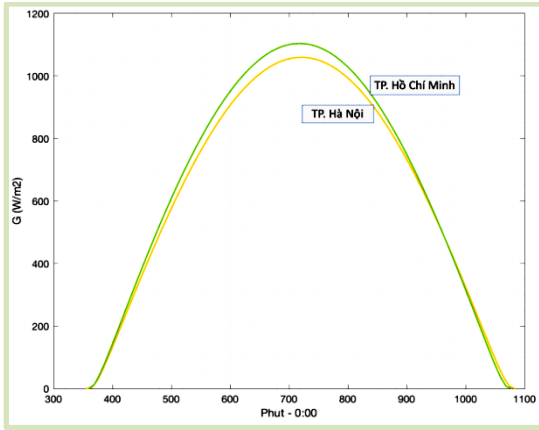
Một kết quả mô phỏng góc cao độ và góc phương vị của thành phố Hà Nội (vĩ độ $21^{\circ} 02' 00''$ bắc, kinh độ $105^{\circ} 51' 00''$ đông) ngày 1 tháng 12 như trong hình 5A; trong đó trục hoành là trục thời gian trong ngày qui đổi theo phút (0 giờ 00 phút sẽ tương ứng với giá trị phút 0), trục tung là giá trị góc, tính theo độ (tính chung cho cả góc cao độ và góc phương vị).



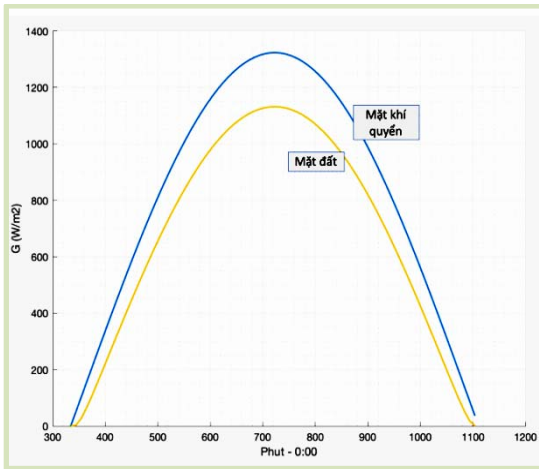
Hình 5B. Minh họa vị trí của Mặt Trời tại thành phố Hà Nội ngày 1 tháng 12

Quan sát trên đồ thị thấy góc cao độ lớn nhất (điểm AI-2) gần trùng với góc phương vị bằng 0 (điểm Az-2, Mặt Trời trùng với phương nhìn hướng về phía bắc) vào thời điểm khoảng 11 giờ 45 phút trong ngày (tức là vào khoảng giá trị 705 phút qui đổi ứng với trục tung của đồ thị). Ngoài ra đường phương vị cũng cho thấy thời điểm rạng sáng (điểm AI-, khoảng thời gian 380 phút quy đổi - góc cao độ vượt qua 0) cũng là thời điểm góc phương vị ứng với giá trị trên trục tung vào khoảng -65° (điểm Az-1); điều này cho biết Mặt Trời không ở hướng chính đông mà ở góc khoảng 65° đông nam. Góc cao độ cũng cho thấy Mặt Trời lặn (điểm AI-3, góc cao độ tiến tới 0) vào khoảng 1035 thời điểm phút quy đổi, tức khoảng 17 giờ 15 phút. Hình 5B minh họa vị trí của Mặt Trời nhìn từ điểm khảo sát.

Một kết quả mô phỏng để so sánh về cường độ bức xạ của Mặt Trời tại mặt đất cho khu vực thành phố Hà Nội và khu vực thành phố Hồ Chí Minh (vĩ độ $10^{\circ} 50' 00''$ bắc, kinh độ $106^{\circ} 37' 58''$ đông) vào ngày 1 tháng 5 như hình 6. Kết quả này được thực hiện mô phỏng trong điều kiện bỏ qua sự suy giảm bức xạ do hấp thụ và phản xạ của mây. Các kết quả trên hình thể hiện mặt trời xuất hiện vào khoảng 6 giờ sáng (ứng với điểm qui đổi khoảng 360 phút), và lặn vào khoảng 18 giờ (ứng với điểm qui đổi khoảng 1080 phút) và cường độ bức xạ lớn nhất tại thời điểm khoảng 12 h, trưa khi đó cường độ bức xạ vào khoảng 1050 W/m^2 đối với Hà Nội và 1100 W/m^2 đối với thành phố Hồ Chí Minh).



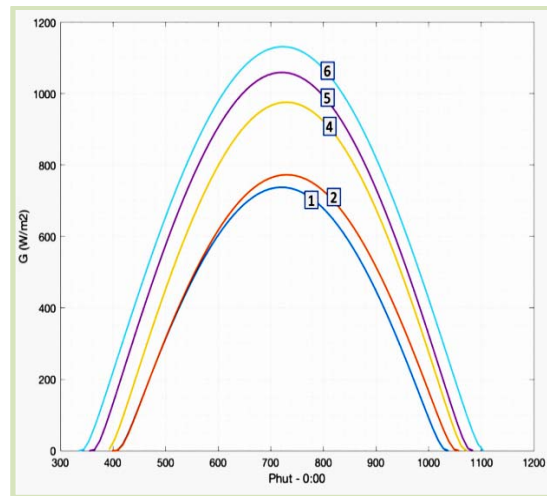
Hình 6. Mô phỏng so sánh cường độ sáng tại Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh



Hình 7. Mô phỏng bức xạ mặt trời ngày 18 trên tại bề mặt khí quyển và Trái Đất tại Hà Nội

Kết quả tính toán mô phỏng kết quả so sánh cường độ bức xạ tại bề mặt khí quyển và bề mặt trái đất tại Hà Nội ngày 1 tháng 8 như trong hình 7. Mô phỏng này cho thấy tại thời điểm cường độ bức xạ lớn nhất vào khoảng 12 giờ. Đường phía trên (đường xanh) là cường độ bức xạ tại bề mặt khí quyển; giá trị lớn nhất vào khoảng 1330 W/m². Đường phía dưới (đường màu vàng) là cường độ bức xạ ở bề mặt trái đất, giá trị lớn nhất chỉ còn khoảng 1030 W/m² (do bị suy giảm bởi khí quyển).

Một kết quả khác tính toán mô phỏng bức xạ mặt trời trong ngày mùng 1 tại các tháng khác nhau từ tháng 1 đến tháng 6 tại thành phố Hà Nội như hình 8 (các đường được đánh số từ 1 đến 6 ứng với các tháng). Kết quả cho thấy cường độ bức xạ thay đổi rõ rệt từ mức cường độ bức xạ khoảng 740 W/m² trong tháng 1 đã tăng lên đến khoảng 1130 W/m² trong tháng 6. Ngoài ra thông qua các đường bức xạ này ta cũng có thể dễ dàng quan sát thấy thời gian xuất hiện cường độ bức xạ (ban ngày) của các tháng mùa hè tăng lên nhiều so với các tháng mùa đông.



Hình 8. Mô phỏng bức xạ mặt trời trong các ngày mùng 1 của các tháng 1 đến tháng 6 tại Hà Nội

5. KẾT LUẬN

Các thiết bị đo bức xạ mặt trời như nhật xạ kế (pyranometer, solarimeter), trực xạ kế (pyrheliometer), nhật xạ ký (actinography) thường được lắp đặt tại các địa điểm được lựa chọn ở các vùng cụ thể. Trên thực tế, để thực hiện đo và tổng hợp dữ liệu đo này có chi phí khá lớn nên không thể đặt chúng tại mọi điểm trên Trái Đất. Các tính toán này cũng được

dùng để dự báo năng lượng mặt trời bức xạ ở mọi địa điểm trên Trái Đất. Nó có ý nghĩa đặc biệt trong việc xác định dữ liệu tại những vị trí không có hoặc chưa thể lắp đặt được thiết bị đo năng lượng mặt trời.

Các giá trị mà công cụ mô phỏng này tính được mặc dù không mới, tuy nhiên kết quả mô phỏng giúp người dùng nhanh chóng có được đồ thị mô phỏng trong

nhiều ngày; mô phỏng này giúp người dùng dễ dàng so sánh, phân tích các kết quả. Kết quả này là cơ sở cho việc tính chọn hướng lắp đặt các thiết bị khai thác năng lượng mặt trời (dàn pin mặt trời, thiết bị thu nhiệt...) ở một vị trí bất kỳ để đảm bảo năng lượng bức xạ chiếu tới nó là lớn nhất. Ngoài ra, các kết quả mô phỏng cũng là cơ sở cho việc tích phân để dự báo tổng năng lượng chiếu đến một điểm bất kỳ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] <https://www.equinor.com/en/how-and-why/sustainability/energy-perspectives.html>, 2018.
- [2] IRENA, *Global Energy transformation: A roadmap to 2050 (2019 edition)*. International Renewable Energy Agency, 2019.
- [3] S. Radiation and D. Models, *Solar Radiation and Daylight Models*. Elsevier, 2004.
- [4] V. Badescu, *Modeling Solar Radiation at the Earth's Surface*. Springer, 2008.
- [5] T. Khatib, *Modeling of photovoltaic systems using MATLAB*. Wiley, 2016.
- [6] "<https://www.pveducation.org/pvcdrom/terrestrial-solar-radiation>," 2018.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Phạm Anh Tuấn nhận bằng Thạc sĩ ngành kỹ thuật điện năm 2006, nhận bằng Tiến sĩ ngành khoa học vật liệu năm 2017 tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Tác giả hiện là giảng viên Khoa Kỹ thuật điện, Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: vật liệu pin mặt trời và mô phỏng hệ thống điện mặt trời.

