

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO HỆ THU HỒI NƯỚC ĐA TẦNG SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG XANH PHỤC VỤ CƯ DÂN VÙNG BIỂN ĐẢO

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

1. Khủng hoảng tài nguyên nước và nhu cầu về giải pháp bền vững

Nước sạch là một trong những tài nguyên thiết yếu nhất đối với sự tồn tại và phát triển của con người. Tuy nhiên, hiện nay nhiều khu vực trên thế giới đang phải đối mặt với tình trạng thiếu hụt nghiêm trọng nguồn nước sạch, đặc biệt là các vùng ven biển và đảo xa, nơi nước ngọt tự nhiên rất khan hiếm. Theo báo cáo của Liên Hợp Quốc, vào năm 2025, khoảng 2/3 dân số thế giới đang sống trong tình trạng thiếu nước. Điều này đặt ra nhu cầu cấp bách về các giải pháp xử lý và tái tạo nguồn nước, đặc biệt là các công nghệ khử muối nước biển và xử lý nước ô nhiễm với hiệu suất cao, chi phí thấp và thân thiện với môi trường.

Trong số các giải pháp xử lý nước hiện nay, công nghệ thu hồi nước ngọt sử dụng năng lượng mặt trời (Solar Steam Generation – Tạo hơi nước bằng năng lượng mặt trời, viết tắt SSG) nổi lên như một hướng nghiên cứu tiềm năng. Công nghệ này tận dụng ánh sáng mặt trời để làm nóng và bay hơi nước, sau đó hơi nước được thu lại và ngưng tụ thành nước sạch. So với các phương pháp khử muối truyền thống như chưng cất nhiệt hoặc thẩm thấu ngược (RO), SSG có nhiều ưu điểm vượt trội như sau:

- Phương pháp này không cần sử dụng điện năng, phù hợp với các khu vực không có cơ sở hạ tầng điện lưới.
- Chi phí vận hành thấp, do chỉ dựa vào nguồn năng lượng mặt trời tự nhiên.
- Không tạo ra nước thải có nồng độ muối cao, giúp giảm tác động tiêu cực đến môi trường biển.

2. Tiềm năng khai thác năng lượng mặt trời và năng lượng gió ở khu vực biển đảo

Các khu vực ven biển và hải đảo không chỉ là những nơi có nhu cầu cấp thiết về nước sạch, mà còn là những vùng có tiềm năng năng lượng tái tạo vô cùng dồi dào, đặc biệt là năng lượng mặt trời và năng lượng gió. Theo nghiên cứu của Tổ chức Khí tượng Thế giới (WMO, 2020), các khu vực này có cường độ bức xạ

mặt trời trung bình cao, thường đạt từ 5 – 7 kWh/m²/ngày, và tốc độ gió ổn định từ 5 – 10 m/s.

Việc kết hợp cả năng lượng mặt trời và năng lượng gió vào một hệ thống SSG cải tiến không chỉ giúp tận dụng tối đa nguồn tài nguyên thiên nhiên mà còn nâng cao đáng kể hiệu suất tạo hơi nước, mang lại một giải pháp bền vững và khả thi về kinh tế. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu hiện nay chỉ tập trung vào tối ưu hóa vật liệu quang nhiệt, chưa có nhiều nghiên cứu thực nghiệm về cách kết hợp đồng thời hai nguồn năng lượng này để cải thiện cơ chế cấp nước và bay hơi.

3. Hạn chế của các hệ thống SSG hiện tại

Trong các hệ SSG hiện nay, nước chủ yếu được cung cấp đến màng quang nhiệt theo hai cách chính:

- **Cơ chế mao dẫn:** Sử dụng các vật liệu xốp như bột biển, sợi vải hoặc khung polymer để dẫn nước lên bề mặt màng quang nhiệt.
- **Cơ chế thẩm thấu trực tiếp:** Hệ thống màng quang nhiệt được đặt trực tiếp trên mặt biển để nước tự ngấm và bay hơi.

Các phương pháp này hoạt động hiệu quả đối với hệ thống có cấu trúc bề mặt phẳng hoặc diện tích mở rộng theo chiều ngang, nơi nước có thể dễ dàng lan tỏa. Tuy nhiên, khi thiết kế các hệ bay hơi đa tầng hoặc có cấu trúc thẳng đứng, một số vấn đề quan trọng bắt đầu xuất hiện:

- Khả năng cấp nước bị giới hạn, do đó nước không thể di chuyển lên các lớp quang nhiệt phía trên vì thiếu cơ chế bơm hiệu quả.
- Giảm hiệu suất hấp thụ ánh sáng, vì ánh sáng mặt trời không thể xuyên qua các lớp quang nhiệt phía trên để đến các lớp phía dưới, làm giảm tổng năng lượng hấp thụ.
- Tăng tổn thất nhiệt, do nước không được cấp đều lên các tầng, khiến một số vùng bị làm nóng quá mức trong khi các vùng khác không nhận đủ nước.

Do những hạn chế trên, các hệ SSG hiện nay chỉ có thể thiết kế theo phương ngang, trong khi các hệ thống đa tầng có khả năng hấp thụ nhiều năng lượng hơn vẫn chưa thể thực hiện được do chưa có cơ chế cấp nước phù hợp.

4. Mục tiêu và hướng đi của nghiên cứu

Nhằm khắc phục các nhược điểm trên, nghiên cứu này đề xuất một cơ chế cấp nước cải tiến, kết hợp đồng thời năng lượng mặt trời và năng lượng gió từ biển để bơm và phân phối nước lên các tầng màng quang nhiệt ở độ cao khác nhau, cho phép mở rộng quy mô hệ thống theo cả chiều ngang và chiều cao.

Nghiên cứu lấy cảm hứng từ các cối xay gió Hà Lan truyền thống và những hệ thống bơm nước sử dụng năng lượng gió phổ biến, từ đó đề xuất một hệ thống mới với các đặc điểm nổi bật sau đây:

- Thu và chuyển hóa năng lượng gió từ biển thành cơ năng nhằm bơm nước hiệu quả từ các bể chứa lên những tầng cao hơn của hệ thống.
- Phân phối nước một cách đồng đều đến tất cả các tầng màng quang nhiệt, đảm bảo mọi tầng luôn nhận đủ lượng nước cần thiết để tiến hành quá trình bay hơi hiệu quả.
- Tối ưu hóa cấu trúc sắp xếp các lớp màng quang nhiệt, đảm bảo ánh sáng mặt trời có thể xuyên qua nhiều lớp màng mà không bị cản trở quá nhiều, giúp tận dụng tối đa năng lượng mặt trời.
- Tích hợp các vật liệu quang nhiệt có hiệu suất chuyển đổi tốt, giúp tăng cường khả năng hấp thụ và chuyển hóa năng lượng mặt trời thành nhiệt, từ đó cải thiện đáng kể hiệu suất bay hơi nước.

Cụ thể, nghiên cứu đặt ra các mục tiêu sau:

Mục tiêu 1: Xây dựng hệ thống cấp nước sử dụng năng lượng gió và tích hợp hoàn chỉnh vào hệ thống thu hồi nước ngọt sử dụng năng lượng mặt trời (SSG). Hệ thống hoạt động ổn định, hiệu quả trong điều kiện gió biển với vận tốc 5-6 m/s.

Mục tiêu 2: Thiết kế và chế tạo hệ thống SSG đa tầng, đảm bảo khả năng hoạt động hiệu quả ở các góc chiếu ánh sáng khác nhau và phù hợp với điều kiện thực tế tại các khu vực ven biển và hải đảo.

5. Ý nghĩa của nghiên cứu

Với bộ phận cấp nước bằng năng lượng gió và bay hơi bằng năng lượng mặt trời, nghiên cứu có ý nghĩa to lớn trong:

- Mở rộng phạm vi ứng dụng của SSG, đặc biệt tại các khu vực ven biển và đảo xa, nơi có nguồn năng lượng gió và mặt trời dồi dào.
- Nâng cao hiệu suất bay hơi, giúp hệ thống hoạt động ổn định ngay cả trong điều kiện môi trường khắc nghiệt.
- Tạo ra một giải pháp tiết kiệm năng lượng và thân thiện với môi trường, giúp giảm chi phí vận hành và tận dụng tối đa nguồn năng lượng tự nhiên.
- Phát triển một mô hình SSG đa tầng có thể ứng dụng ở quy mô công nghiệp, đáp ứng nhu cầu xử lý nước sạch trên diện rộng.

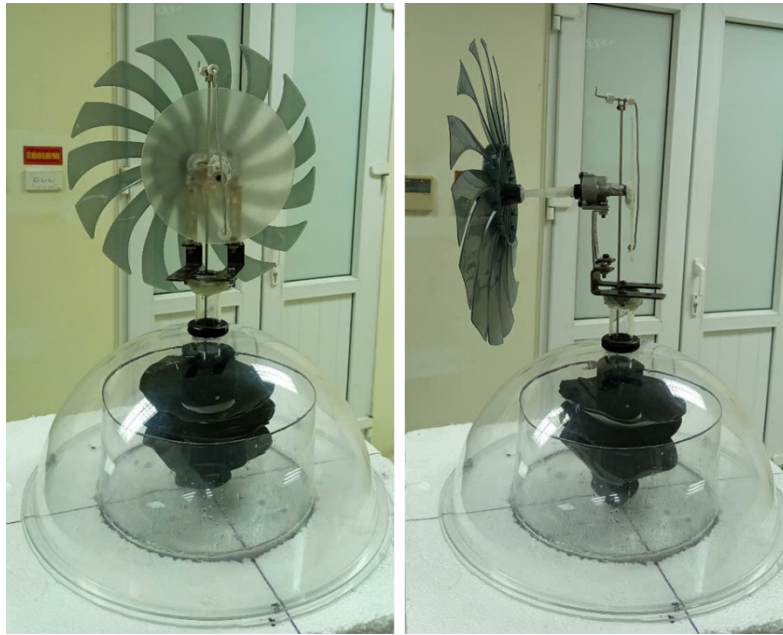
Nghiên cứu này không chỉ tập trung vào tối ưu hóa cấu trúc hệ thống, mà còn mở ra hướng đi mới trong việc kết hợp năng lượng mặt trời và năng lượng gió, tạo ra một hệ thống SSG hiệu quả hơn, bền vững hơn và có khả năng ứng dụng rộng rãi hơn trong thực tế. Nghiên cứu kỳ vọng sẽ góp phần quan trọng vào chiến lược phát triển năng lượng tái tạo và bảo vệ môi trường, đồng thời mang lại giải pháp đột phá trong công nghệ xử lý nước sạch cho các khu vực ven biển và hải đảo.

II. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

1. Chế tạo hệ thu hồi nước

Hệ thu hồi nước ngọt (Hình 1) gồm 3 bộ phận chính:

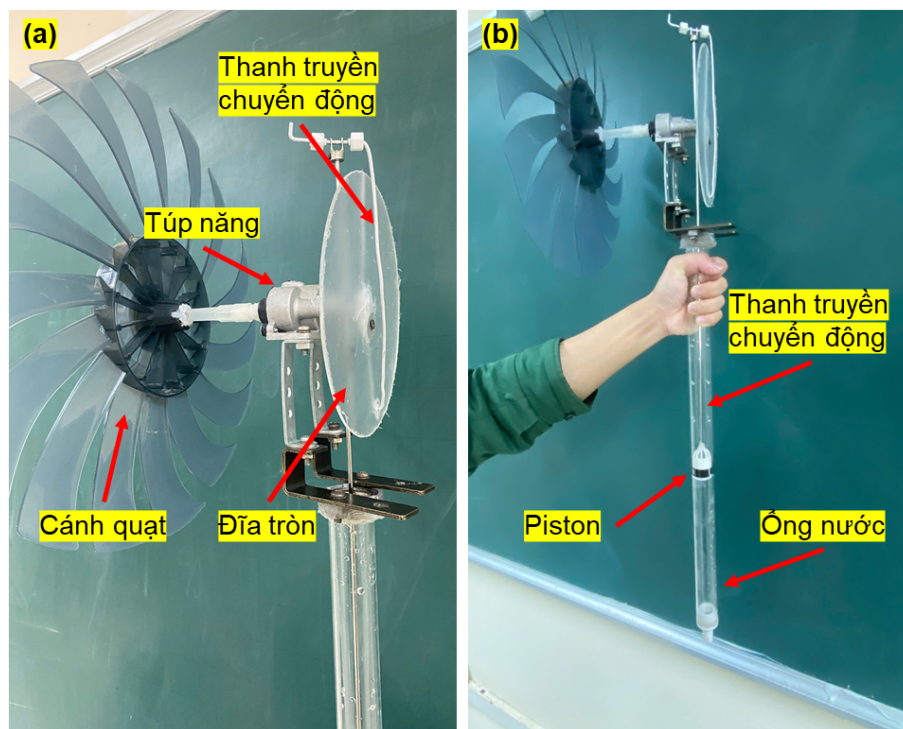
- Bộ phận bơm nước sử dụng năng lượng gió.
- Màng chuyển đổi quang nhiệt đa tầng.
- Bộ phận thu hồi nước.



Hình 1. Ảnh chụp hệ thu hồi nước đa tầng

1.1. Bộ phận bơm nước sử dụng năng lượng gió

Bộ phận bơm nước gồm: 1 cánh quạt, 1 tuabin, 1 đĩa tròn, 2 thanh truyền, 1 piston và 1 ống nước (Hình 2).



Hình 2. Các chi tiết của hệ thống bơm nước

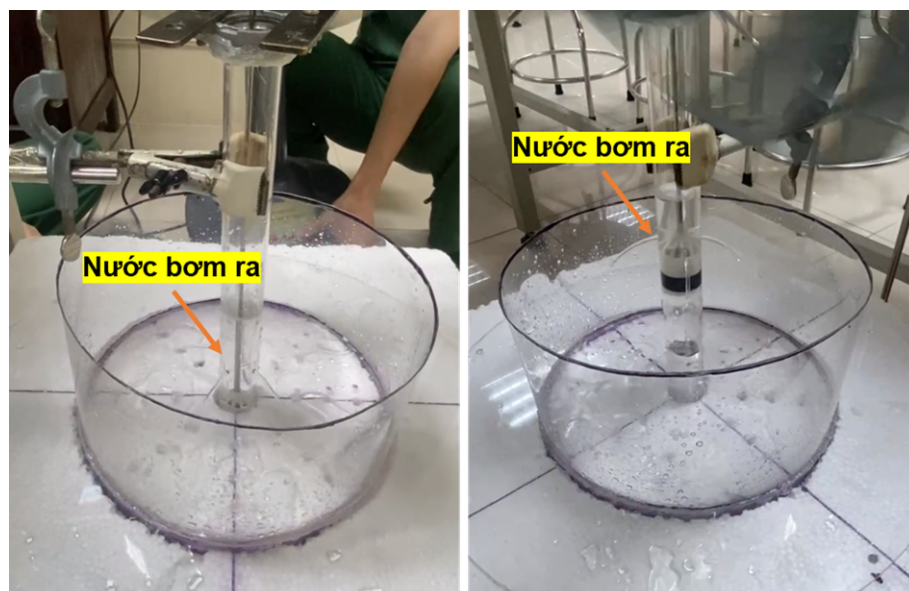
Chi tiết thông số các bộ phận

- **Cánh quạt gió:** Đường kính 40 cm, gồm 15 cánh.

- **Cơ cấu truyền động:** Trục quay của cánh quạt được thiết kế kết nối với một đĩa tròn có đường kính 20 cm. Mép đĩa tròn được gắn một thanh truyền dài 20 cm.
- **Piston và ống nước:** Thanh truyền trên đĩa tròn được gắn với một thanh đẩy thẳng dài 50 cm, phía dưới gắn một piston. Piston được đặt trong ống dẫn nước có đường kính 26 mm và dài 50 cm.

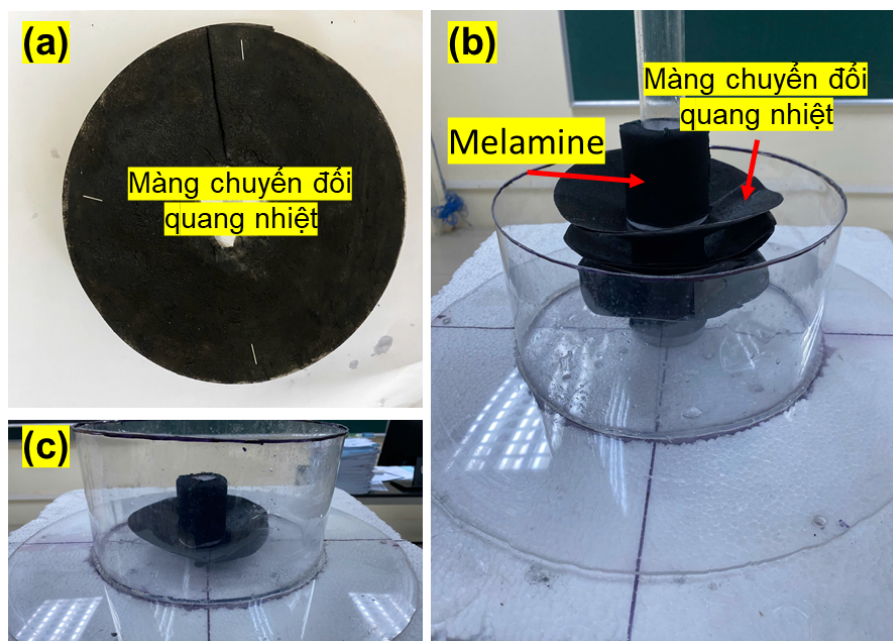
Nguyên lý bơm nước

Khi gió thổi, cánh quạt tạo ra chuyển động quay. Thông qua tuabin, chuyển động quay được truyền cho đĩa tròn ở phía sau. Trên mép đĩa tròn, một thanh truyền gắn vào piston giúp chuyển đổi chuyển động quay của đĩa tròn thành chuyển động tịnh tiến lên xuống của piston. Chuyển động lên xuống của piston tạo lực hút nước từ bên dưới lên, giúp nước di chuyển trong đường ống. Trên ống có các lỗ nhỏ tại những vị trí được thiết kế để phân phối nước lên các màng quang nhiệt (Hình 3). Quá trình bơm nước được ghi lại trong video (link: https://drive.google.com/file/d/11bx_h_n_gHyWhLphRyWxXOEC3oSfUFbj/view?usp=sharing)



Hình 3. Ảnh nước được bơm ra khi cánh quạt quay

1.2. Màng chuyển đổi quang nhiệt

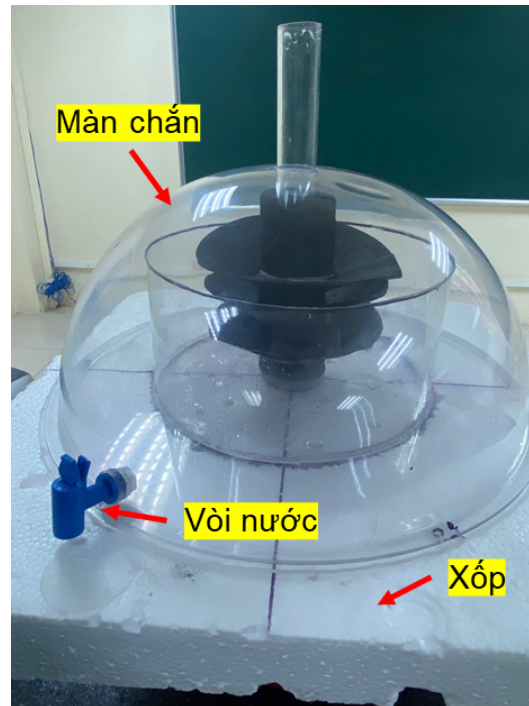


Hình 4. Ảnh chụp màng chuyển đổi quang nhiệt đa tầng

Màng chuyển đổi quang nhiệt được chế tạo từ vật liệu hạt cầu carbon, với kích thước trung bình của hạt là $6,64 \mu\text{m}$. Các hạt cầu carbon sau đó được trộn đều trong dung dịch Polyvinyl alcohol 10%. Hỗn hợp thu được được trải đều trên bề mặt của một tấm giấy cellulose có đường kính 20 cm. Tấm giấy sau đó được sấy khô ở nhiệt độ 50°C .

Màng chuyển đổi quang nhiệt được gấp thành hình chóp với đường kính đáy 15 cm và chiều cao 5 cm (Hình 4a). Trong hệ thu hồi nước đa tầng của chúng tôi, 3 tầng màng được thiết kế đặt cách nhau 5 cm như trên Hình 4b. Giữa các tầng, một miếng melamine (vật liệu xốp) có tác dụng cố định các tầng và giữ nước, đảm bảo quá trình cung cấp nước cho màng diễn ra liên tục trong điều kiện gió yếu hoặc không có gió trong thời gian ngắn. Hệ thu hồi nước đơn tầng gồm 1 miếng melamine và 1 màng chuyển đổi quang nhiệt cũng được thiết kế để so sánh hiệu suất thu hồi nước với hệ thu hồi nước đa tầng (Hình 4c).

1.3. Bộ phận thu hồi nước ngọt



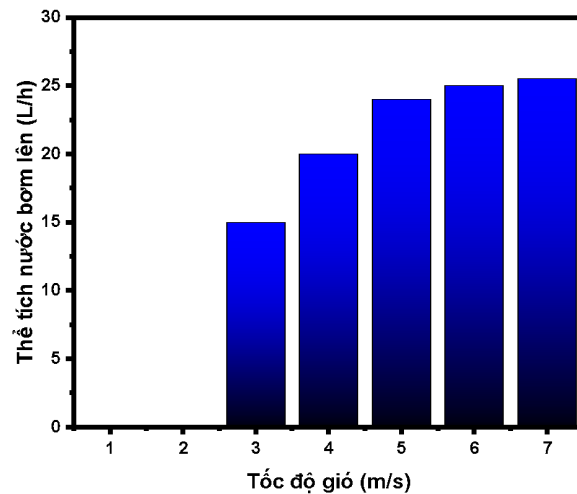
Hình 4. Ảnh chụp bộ phận thu hồi nước

Bộ phận thu hồi nước ngọt gồm một mái vòm nhựa trong suốt, đường kính 40 cm, được đặt trên một miếng xốp kích thước $5 \times 50 \times 50$ cm. Ở dưới mái vòm nhựa được gắn một vòi nước để lấy nước ngọt sau khi thu hồi (Hình 5). Nước biển sau khi nhận nhiệt lượng từ màng chuyển đổi quang nhiệt sẽ chuyển thành hơi. Hơi nước sau đó ngưng tụ trên phần tấm chắn và theo tác dụng của trọng lực sẽ chảy xuống dưới. Sau đó, nước ngưng tụ được lấy ra qua một vòi nước.

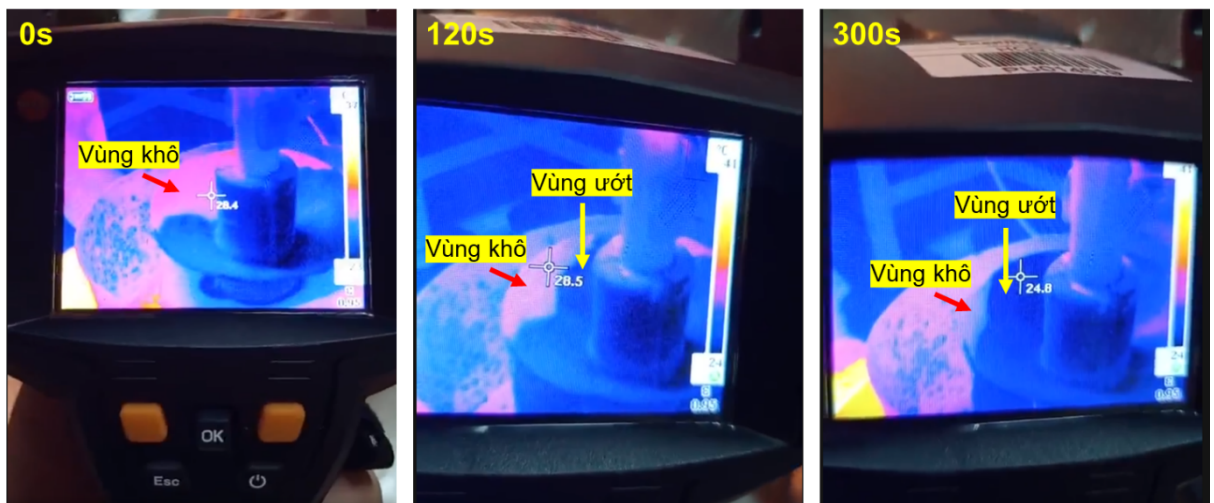
2. Kết quả thực nghiệm

Hình 6 biểu diễn lượng nước được bơm lên theo các tốc độ gió trong khoảng từ 1 – 7 m/s. Kết quả cho thấy ở tốc độ 1 – 2 m/s, bơm không hoạt động được vì kích thước ống quá lớn, lực kéo sinh ra không đủ để hút nước lên. Tuy nhiên, khi tốc độ gió đạt 3 m/s, bơm hoạt động tốt với lượng nước bơm lên đạt 15 L/h. Khi tốc độ gió tăng, lượng nước bơm lên tăng dần và đạt khoảng 25 L/h ở tốc độ gió 7 m/s. Đáng chú ý, tốc độ gió từ 5 – 6 m/s là tốc độ gió trung bình ở các vùng biển đảo nước ta. Như vậy, hệ thu hồi nước đa tầng có thể hoạt động rất hiệu quả ở các vùng biển đảo.

Hơn nữa, như miêu tả ở Hình 3, lượng nước bơm lên có thể đạt chiều cao tới 30 cm, đủ để cung cấp cho nhiều tầng chuyển đổi quang nhiệt cùng lúc, giúp tăng đáng kể diện tích bề mặt bay hơi mà không cần tăng kích thước của hệ.

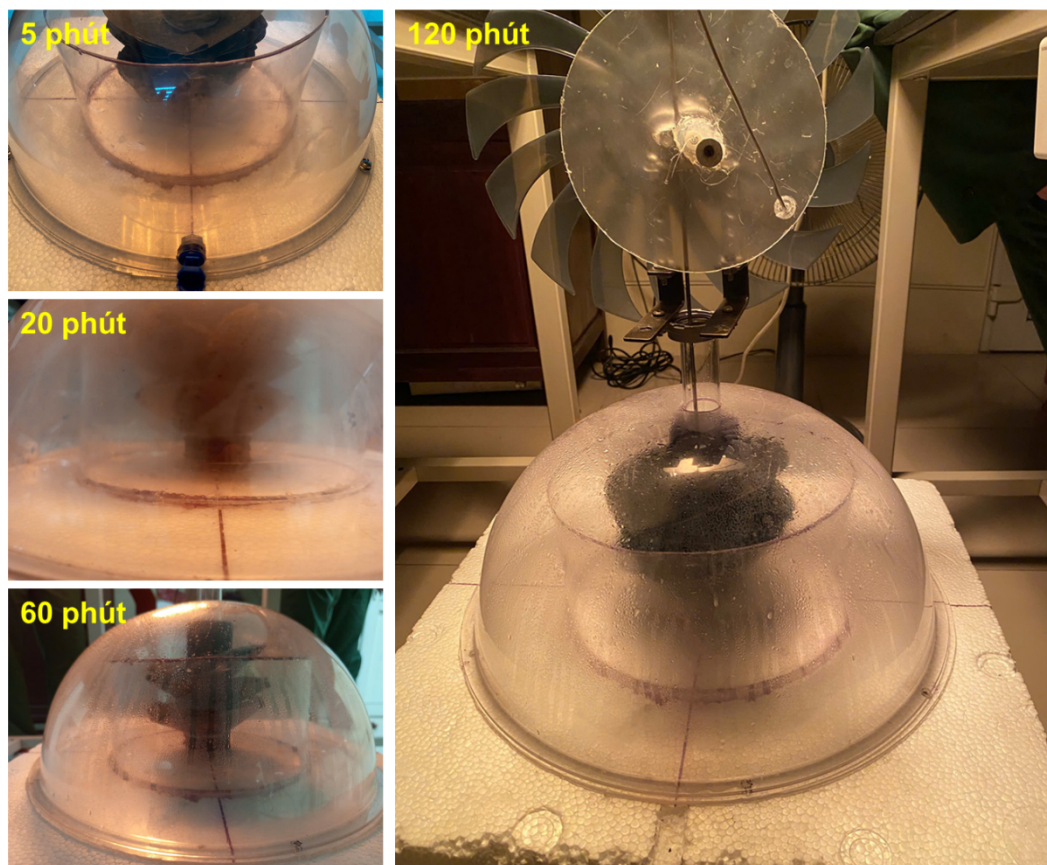


Hình 6. Thể tích nước được bơm lên thay đổi theo tốc độ gió



Hình 7. Hình ảnh nước thấm dần lên màng bay hơi theo thời gian

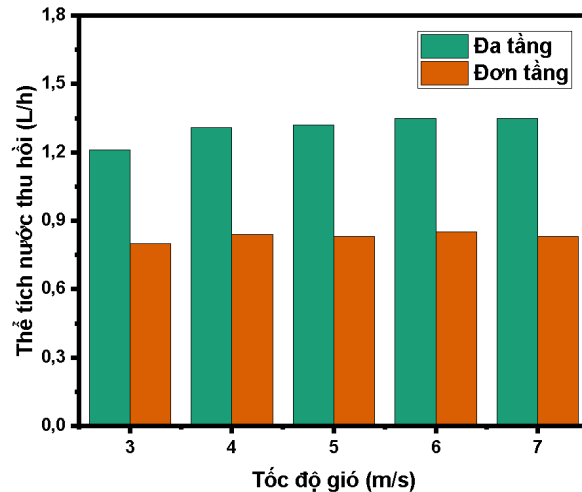
Hình 7 cho thấy tầng ở trên cùng (cách mặt nước 20 cm) cũng được cung cấp đủ nước cho quá trình bay hơi sau khoảng 300s. Như vậy, việc kết hợp bơm nước sử dụng năng lượng gió đảm bảo nước ở tất cả các tầng được bơm lên dù ở cách xa mặt nước. Quá trình thấm nước lên màng được ghi lại trong video (link: https://drive.google.com/file/d/17_sxWkmBnFz2iJBREFs6sMFPrViUbv3n/view?usp=sharing)



Hình 8. Hình ảnh thực tế hơi nước ngưng tụ ở các thời gian khác nhau

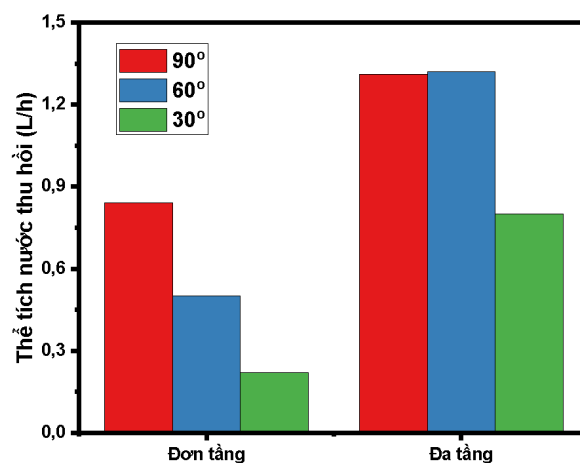
Sự ngưng tụ của hơi nước theo thời gian được thể hiện trên Hình 8. Có thể thấy rằng trong 5 phút đầu, màn chắn bên ngoài vẫn trong suốt do chưa có hơi nước tích tụ. Tuy nhiên, sau 20 phút chiếu sáng, màn chắn đã mờ đi và không thể nhìn rõ bên trong. Khi nước ngưng tụ nhiều, các giọt nước bắt đầu hình thành các giọt lớn hơn ở 60 phút. Dưới tác dụng của trọng lực, các giọt nước này rơi xuống tạo thành các đường nước như ở 60 phút và 120 phút.

Lượng nước thu hồi được khi sử dụng hệ đa tầng và hệ đơn tầng ở các tốc độ gió khác nhau được biểu diễn trên Hình 9. Có thể thấy rõ ràng rằng lượng nước thu hồi của hệ đa tầng lớn hơn rất nhiều so với hệ đơn tầng truyền thống. Cụ thể, trong 1 giờ ở tốc độ gió 3 m/s, hệ đa tầng thu được khoảng 1,2 L so với chỉ hơn 0,8 L ở hệ đơn tầng. Đối với hệ đa tầng, tốc độ gió tăng từ 3 – 7 m/s chỉ làm tăng nhẹ thể tích nước thu hồi được. Nguyên nhân là ở tốc độ gió cao, thời gian kéo nước lên trong các chu kỳ đầu nhanh hơn, các màng đa tầng được làm ướt nhanh hơn so với ở tốc độ gió thấp, dẫn đến sự chênh lệch nhỏ khi tốc độ gió tăng lên.



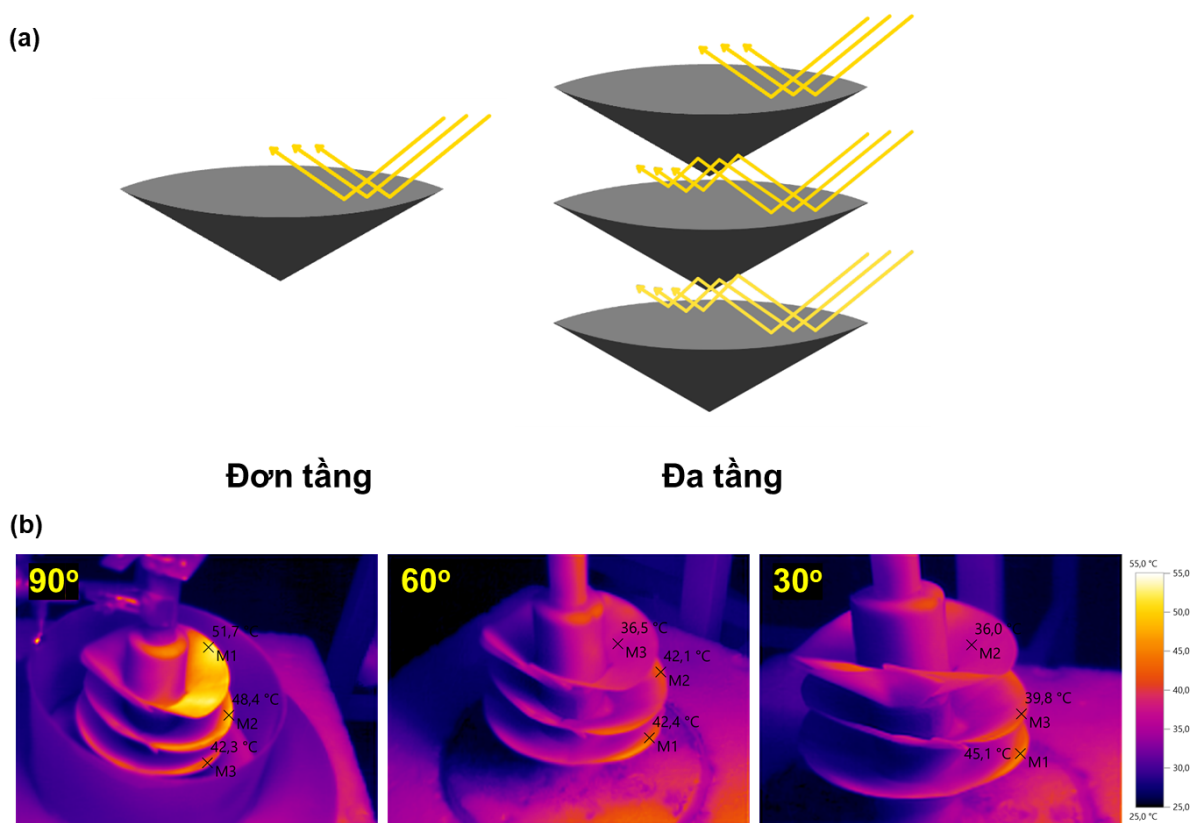
Hình 9. So sánh thể tích nước thu được của hệ đa tầng và đơn tầng ở các tốc độ gió khác nhau

Một ưu điểm vượt trội của hệ đa tầng so với hệ đơn tầng là khả năng thu hồi nước cực tốt khi ánh sáng mặt trời ở các vị trí khác nhau. Có thể quan sát trên Hình 10, lượng nước thu được đối với hệ đơn tầng giảm mạnh khi góc chiếu sáng giảm xuống 60° và 30° do diện tích nhận ánh sáng của một tầng giảm mạnh. Trong khi đó, lượng nước thu hồi của hệ đa tầng có xu hướng tăng khi góc chiếu giảm từ 90° xuống 60° , sau đó mới giảm khi góc chiếu xuống 30° .



Hình 10. Thể tích nước thu được ở các góc chiếu ánh sáng khác nhau

Nguyên nhân của sự tăng hiệu suất thu hồi là do cấu trúc đa tầng đảm bảo ánh sáng được phản xạ giữa các tầng khi góc chiếu thay đổi, cho phép lượng ánh sáng thu được tăng lên so với góc chiếu 90° (Hình 11a).



Hình 11. (a) Mô tả ánh sáng phản xạ trên hệ đơn tầng và đa tầng ở góc chiếu 60° .

(b) Phân bố nhiệt độ của màng thay đổi theo góc chiếu sáng

Hình 11b cho thấy, đối với góc chiếu 90° , lượng ánh sáng chủ yếu nhận được ở tầng thứ nhất và phần rìa ở các tầng dưới, với nhiệt độ tầng trên cùng lên tới $51,7^\circ\text{C}$. Đáng chú ý, khi mặt trời ở vị trí 60° và 30° , cấu trúc đa tầng đảm bảo lượng ánh sáng nhận được rất tốt. Nhiệt độ trên bề mặt ở hai tầng dưới phân bố đều trên toàn bề mặt và dao động ở mức $39^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C}$, chứng tỏ rằng ở các góc chiếu thấp, hiệu suất cao hơn so với chỉ 36°C ở tầng cao nhất. Điều này khẳng định các hệ đa tầng cho phép hấp thụ tối đa ánh sáng khi góc chiếu thay đổi.

III. Kết luận và kiến nghị

Trong nghiên cứu của chúng tôi, bộ phận bơm nước sử dụng năng lượng gió đã được tích hợp thành công trong hệ thu hồi nước ngọt. Bộ phận bơm nước hoạt động tốt trong điều kiện gió thổi với vận tốc $3 - 7\text{ m/s}$, với lượng nước bơm lên đạt 25 L/h . Việc kết hợp bơm nước sử dụng năng lượng gió cho phép hệ thu hồi nước ngọt sử dụng 3 tầng màng chuyển đổi quang nhiệt cùng lúc, giúp tăng mạnh hiệu suất thu hồi nước ngọt. Hệ thu hồi đa tầng đạt hiệu suất thu hồi trên $1,2\text{ L/m}^2/\text{h}$, cao gấp 1,33 lần so với hệ thu hồi nước đơn tầng.

Theo kiến thức và tìm hiểu của nhóm chúng tôi, đây là thiết bị thu hồi nước sử dụng năng lượng Mặt trời đầu tiên tích hợp sử dụng năng lượng gió để bơm nước lên màng. Mặc dù đã đạt được những kết quả ban đầu, với tiềm năng to lớn của hệ thu hồi nước đa tầng, chúng tôi mong muốn thiết kế các hệ thu hồi nước với số lượng tầng nhiều hơn để cung cấp đủ lượng nước cho người dân ngoài biển đảo Việt Nam. Ngoài ra, năng lượng gió còn có thể được chuyển đổi thành năng lượng điện và nhiệt để làm nóng màng chuyển đổi quang nhiệt vào ban đêm, giúp quá trình bay hơi diễn ra mạnh mẽ ngay cả trong điều kiện thiếu ánh sáng. Nghiên cứu này đã chứng minh tính khả thi của hệ SSG đa tầng trong điều kiện thực tế. Nhóm nghiên cứu hy vọng công trình sẽ nhận được sự ủng hộ và đóng góp ý kiến từ các nhà khoa học trong nước để hoàn thiện và mở rộng ứng dụng.