

EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF APPLYING SEWAGE SLUDGE AS A LIGHT ABSORPTION MATERIAL IN SOLAR-TO-STEAM DEVICES

Dang Thi Hai Linh¹, Nguyen Duc Binh¹, Dinh Thi Kim Phuong¹, Pham Thu Huyen¹, Nguyen Ngoc Duy¹, Nguyen Thi Hanh¹, Tran Nam Anh^{1,2}, Pham Hong Anh³, Nguyen Minh Hoang¹, Dao Van Duong^{2*}

¹VNU - University of Science, ²Phenikaa University, ³Nguyen Sieu School, Hanoi

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	22/9/2023	Solar-to-steam technology is a promising sustainable technology to mitigate the global energy crisis and clean water scarcity. Advanced materials contribute significantly to improving the evaporation efficiency of solar-to-steam generators. In this study, we evaluate the possibility of using domestic wastewater sludge as a light-absorbing membrane for solar-to-steam devices. The characteristic properties of carbon material, light absorbing membranes generated from wastewater sludge were evaluated by scanning electron microscope, Fourier-transform infrared spectroscopy, Energy-dispersive X-ray spectroscopy, The Brunauer–Emmett–Teller (BET) method. The optimal evaporation rate was 1.88 kg.m ⁻² .h ⁻¹ under 0.6 kW/m ² irradiation. The obtained results which indicate the industrial sludge can be applied as efficient solar absorbed materials in solar-driven water evaporation systems.
Revised:	03/11/2023	
Published:	03/11/2023	
KEYWORDS		
Solar-to-steam technology		
Clean water scarcity		
Industrial sludge		
Solar absorbed material		
Solar energy		

ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG Bùn THẢI LÀM Màng HẤP THỤ ÁNH SÁNG TRONG THIẾT BỊ BAY HƠI NƯỚC DÙNG NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI

Đặng Thị Hải Linh¹, Nguyễn Đức Bình¹, Đinh Thị Kim Phượng¹, Phạm Thu Huyền¹, Nguyễn Ngọc Duy¹, Nguyễn Thị Hạnh¹, Trần Nam Anh^{1,2}, Phạm Hồng Anh³, Nguyễn Minh Hoàng¹, Đào Văn Dương^{2*}

¹Trường Đại học Khoa học Tự nhiên – ĐHQG Hà Nội, ²Trường Đại học Phenikaa,

³Trường THCS-THPT Nguyễn Siêu, Hà Nội

THÔNG TIN BÀI BÁO		TÓM TẮT
Ngày nhận bài:	22/9/2023	Công nghệ tạo hơi nước sử dụng năng lượng mặt trời là một phương pháp bền vững đầy hứa hẹn nhằm giảm thiểu khủng hoảng năng lượng toàn cầu và tình trạng khan hiếm nước sạch. Các vật liệu tiên tiến góp phần không nhỏ trong việc nâng cao hiệu suất bay hơi của thiết bị tạo hơi nước dùng năng lượng mặt trời. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đánh giá khả năng sử dụng bùn thải công nghiệp trong việc ứng dụng làm màng hấp thụ ánh sáng của thiết bị tạo hơi nước dùng năng lượng mặt trời. Các đặc trưng của vật liệu cacbon, màng hấp thụ ánh sáng như hình thái, nhóm chức bề mặt, thành phần nguyên tố, diện tích bề mặt được khảo sát thông qua các phương pháp như hiển vi điện tử quét, phổ hấp thụ hồng ngoại, phổ tán sắc năng lượng, đường đẳng nhiệt hấp phụ theo lý thuyết Brunauer-Emmett-Teller. Kết quả đo tốc độ bay hơi tối ưu đạt được 1,88 kg.m ⁻² .h ⁻¹ trong điều kiện chiếu sáng 0,6 kW/m ² . Kết quả cho thấy, việc sử dụng bùn thải công nghiệp trong ứng dụng làm màng hấp thụ ánh sáng tạo hơi nước dùng năng lượng mặt trời có tính khả thi và tiềm năng lớn.
Ngày hoàn thiện:	03/11/2023	
Ngày đăng:	03/11/2023	
TỪ KHÓA		
Công nghệ tạo hơi nước		
Năng lượng mặt trời		
Nước sạch		
Bùn thải		
Vật liệu hấp thụ ánh sáng mặt trời		

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.8802>

* Corresponding author. Email: duong.daovan@phenikaa-uni.edu.vn

1. Giới thiệu

Hiện nay, nguồn cung cấp nước sạch đang giảm liên tục khiến cho việc thiếu nước sạch trở thành thách thức toàn cầu [1]. Căng thẳng về nước cũng có thể do khí hậu và thiên tai dẫn đến phá hủy hồ chứa nước, suy giảm chất lượng nước sông, ô nhiễm nước ở các sông đô thị do khả năng tự làm sạch tương đối thấp, và xả thải không kiểm soát của các thành phố và nước thải công nghiệp không được xử lý thích hợp. Thống kê cho thấy nhu cầu sử dụng nước sạch trên toàn cầu đã tăng gấp sáu lần trong 100 năm qua và đang tiếp tục tăng với tốc độ khoảng 1%/năm kể từ những năm 1980. Dự báo đến khoảng năm 2030, có khoảng 60 quốc gia lâm vào tình trạng thiếu nước trầm trọng do nhu cầu về nguồn nước của con người sẽ vượt ngưỡng cung tới 40%. Và tới năm 2050, tình trạng thiếu nước sạch được cho là sẽ đe dọa hơn một nửa dân số toàn cầu [1]. Vào năm 2021, hơn 2 tỷ người sống ở các quốc gia bị căng thẳng về nước, dự kiến tình trạng này sẽ trở nên trầm trọng hơn ở một số khu vực do biến đổi khí hậu và tăng trưởng dân số [2]. Vào năm 2022, trên toàn cầu có ít nhất 1,7 tỷ người sử dụng nguồn nước uống bị nhiễm phân. Ô nhiễm vi sinh vật trong nước uống do ô nhiễm phân có nguy cơ lớn nhất đối với an toàn nước uống. Trong khi các rủi ro hóa học quan trọng nhất trong nước uống phát sinh từ asen, florua hoặc nitrat, các chất gây ô nhiễm mới nổi như dược phẩm, thuốc trừ sâu, chất per- và polyfluoroalkyl (PFAS) và vi nhựa gây ra mối lo ngại cho công chúng [3].

Với tốc độ đô thị hóa, công nghiệp hóa, hiện đại hóa diễn ra nhanh chóng, Việt Nam là một trong các quốc gia đang phát triển phải đối mặt với tình trạng ô nhiễm nguồn nước. Nhu cầu sử dụng nước cho sinh hoạt, sản xuất công và nông nghiệp đang gia tăng mạnh mẽ cùng với sự phát triển kinh tế xã hội và bùng nổ dân số [4]. Theo nhiều tính toán, những thách thức này có thể làm tổn thất tới 6% GDP hàng năm [5].

Theo cơ quan bảo vệ môi trường Hoa Kỳ (US-EPA), bùn thải là sản phẩm thải cuối cùng được tạo ra từ quá trình xử lý nước thải dân dụng và nước thải công nghiệp từ nhà máy xử lý nước thải ở dạng hỗn hợp bán rắn. Việc xử lý bùn thải rất khó do lượng lớn, thành phần khác nhau, độ ẩm cao và bùn rất khó lọc. Giá thành xử lý bùn thải chiếm khoảng 25 - 50% tổng giá thành quản lý chất thải [6]. Tùy vào cách thức quản lý khác nhau mà các nước có những phương pháp xử lý bùn thải khác nhau, phổ biến nhất là ứng dụng làm phân bón, chôn lấp và đốt [7]. Một số nước trên thế giới đã tận dụng bùn thay cho than để làm nhiên liệu sản xuất điện năng. Bùn thải đô thị còn được nghiên cứu để sản xuất vật liệu xây dựng tại rất nhiều quốc gia, trong đó có Việt Nam. Một hướng nghiên cứu mới trong xử lý bùn thải đô thị đang nhận được sự quan tâm của các nhà khoa học đó là tận dụng bùn thải đô thị để chế tạo vật liệu mới ứng dụng trong xử lý môi trường. Zhang và các cộng sự đã tiến hành nghiên cứu hấp phụ Pb (II) và Cr (VI) bởi than sinh học thu được từ quá trình nhiệt phân bùn thải đô thị [8]. Lia và các cộng sự đã tiến hành nghiên cứu “Điều chế than hoạt tính từ của bùn thải và hiệu suất hấp phụ của nó đối với các hợp chất hữu cơ trong nước thải” [9]. Monsalvo và các cộng sự đã tiến hành nghiên cứu: “Cacbon hoạt tính từ bùn thải và ứng dụng để hấp phụ 4-chlorophenol trong nước” [10]. Wen và các cộng sự đã tiến hành nghiên cứu về “Than hoạt tính có nguồn gốc từ bùn thải để hấp phụ formaldehyde ở thể khí” [11].

Mặc dù trên thế giới đã có một số nghiên cứu chế tạo vật liệu cacbon từ bùn thải đô thị và ứng dụng để xử lý nước ô nhiễm, tuy nhiên chưa có nghiên cứu nào tận dụng vật liệu từ bùn thải cho mục đích tạo màng hấp thụ ánh sáng cho thiết bị tạo hơi nước dùng năng lượng mặt trời nhằm thu hồi nước sạch. Nghiên cứu này được tiến hành nhằm tận dụng nguồn bùn thải đô thị dồi dào để chế tạo màng hấp thụ ánh sáng mặt trời và tận dụng nguồn năng lượng mặt trời ứng dụng để thu hồi nước sạch có thể ứng dụng cho vùng duyên hải ven biển, vùng ngập mặn và hải đảo.

2. Thực nghiệm

2.1. Chế tạo màng hấp thụ ánh sáng từ bùn thải

Mẫu bùn sau khi được xử lý theo quy trình trên Hình 1 sẽ thu được màng vật liệu với các khối lượng vật liệu và điều kiện chế tạo sấy khô chân không ở 40 °C trong 2 giờ được ký hiệu cụ thể trong Bảng 1. Bùn sau khi nung có không khí ở 500 °C trong 2 giờ được ký hiệu là B500.



Hình 1. Quy trình chế tạo màng vật liệu

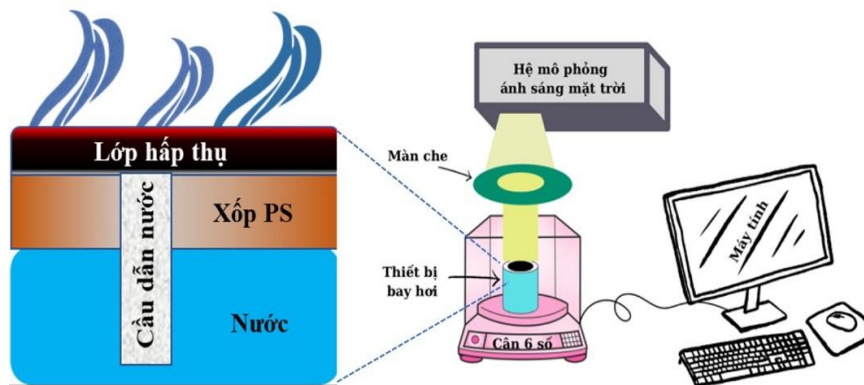
Bảng 1. Ký hiệu màng vật liệu

Khối lượng vật liệu (g)	0,00	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
Sấy khô chân không	SK_0.00	SK_0.05	SK_0.06	SK_0.07	SK_0.08	SK_0.09	SK_0.1

2.2. Khảo sát các đặc trưng của vật liệu

Vật liệu sau khi tổng hợp sẽ được khảo sát các đặc trưng như hình thái, nhóm chức bề mặt, thành phần nguyên tố, diện tích bề mặt được khảo sát thông qua các phương pháp như hiển vi điện tử quét (SEM), phổ hấp thụ hồng ngoại (FTIR), phổ tán sắc năng lượng (EDX), đường đẳng nhiệt hấp phụ theo lý thuyết Brunauer-Emmett-Teller (BET). Các phép khảo sát đều được thực hiện tại phòng thí nghiệm trọng điểm Vật liệu tiên tiến ứng dụng trong Phát triển xanh cấp Đại học Quốc gia Hà Nội (KLAMAG).

2.3. Đo tốc độ bay hơi



Hình 2. Cấu tạo thiết bị bay hơi và thí nghiệm tiến hành

Thiết bị bay hơi được thiết kế như Hình 2. Màng hấp thụ ánh sáng được đặt trên 1 tấm xốp và được cấp nước từ bên dưới thông qua cầu nước xenlulo. Màng vật liệu hấp thụ năng lượng từ ánh sáng mặt trời và chuyển hóa thành nhiệt năng, cung cấp cho quá trình tạo hơi nước. Điều kiện khảo sát: Nhiệt độ phòng 25 °C, độ ẩm 65%, công suất chiếu sáng đèn mô phỏng ánh sáng mặt trời 0,6 kW/m². Thời gian khảo sát là 10 phút trong điều kiện tối và 30 phút trong điều kiện chiếu sáng (bật đèn). Sự thay đổi về khối lượng nước bay hơi được ghi lại bằng cân phân tích 6 số có kết nối với máy tính.

Tốc độ bay hơi được tính theo công thức (1) như sau:

$$v = \frac{W_{loss}}{A.t} \quad (1)$$

Trong đó:

v là tốc độ bay hơi nước (kg.m⁻².h⁻¹).

W_{loss} là lượng nước mất đi trong quá trình tạo hơi (kg).

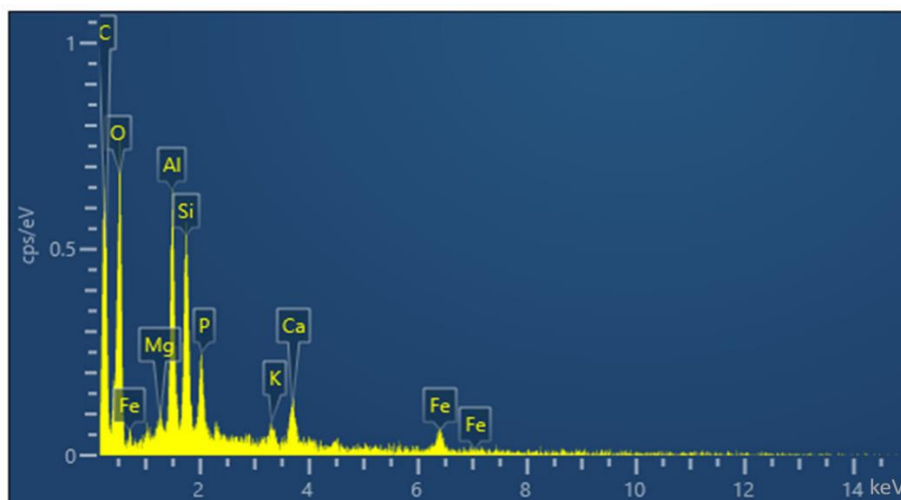
A là diện tích của phần được chiếu sáng (m²).

t là thời gian bay hơi (h).

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đặc trưng tính chất của vật liệu cacbon

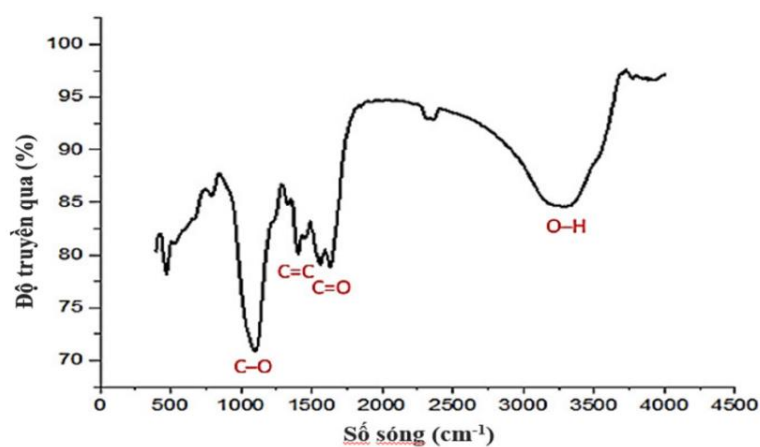
3.1.1. Các thành phần nguyên tố trong vật liệu cacbon



Hình 3. Phổ EDX của mẫu vật liệu B500

Kết quả phân tích phổ EDX của mẫu bùn đã xử lý (Hình 3) cho thấy thành phần chủ yếu của mẫu là C (50,66%), O (38,40%), ngoài ra trong mẫu còn có chứa một số thành phần khác như Al (2,04%), Si (1,94%), P (1,7%), S (1,14%), K (0,36%), Ca (2,29%), Fe (0,99%), Mg (0,34%), Ti (0,15%). Trong vật liệu không chứa các thành phần kim loại nặng độc hại. Phần trăm nguyên tử C cao cho thấy bùn thải nhà máy xử lý nước thải sinh hoạt Kim Liên là nguồn nguyên liệu giàu cacbon, có thể chế tạo màng vật liệu cacbon ứng dụng trong các lĩnh vực môi trường. Ngoài nguyên tố C, trong mẫu còn xuất hiện các kim loại như: Mg, Al, Fe. Sự hiện diện của các kim loại này giúp vật liệu có khả năng hấp thụ ánh sáng tốt, từ đó thúc đẩy tốc độ bay hơi nước của màng vật liệu nhanh hơn.

3.1.2. Đặc trưng nhóm chức bề mặt của vật liệu cacbon

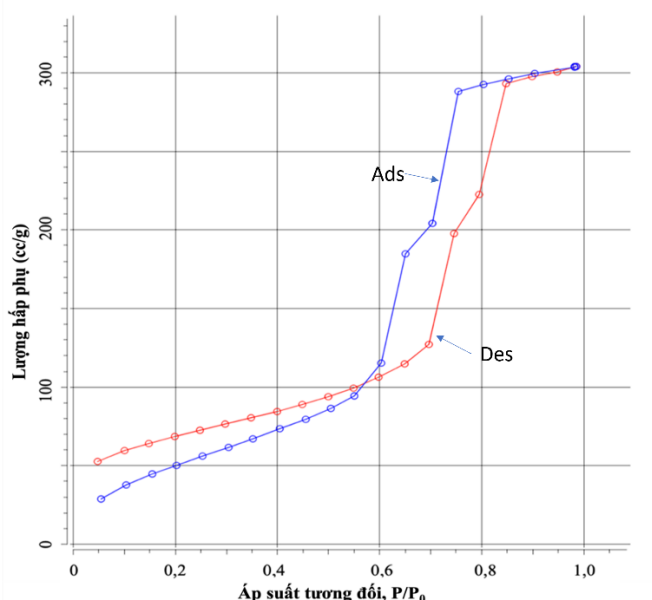


Hình 4. Phổ FTIR của mẫu vật liệu B500

Hình 4 mô tả kết quả đo FTIR của mẫu bùn qua xử lý nhiệt tại 500 °C. Kết quả cho thấy, mẫu bùn đã xử lý cho thấy rung động kéo dài -OH ở 3390 cm^{-1} , $\text{C}=\text{O}$ ở 1619 cm^{-1} , và nhóm thiom $\text{C}=\text{C}$ ở 1431 cm^{-1} , hiện diện trên bề mặt vật liệu. Đỉnh hấp thụ ở 1082 cm^{-1} xuất hiện nhóm C-O có thể được gán cho các liên kết kim loại để tăng khả năng hấp thụ ánh sáng. Có thể thấy trên bề mặt vật liệu mẫu bùn đã xử lý xuất hiện các nhóm chức như: “ O-H , C-C , $\text{C}=\text{C}$, C-O ” chứng tỏ bề mặt màng ưa nước, tương đồng với các vật liệu đã ứng dụng thành công trong thu hồi nước. Đặc biệt theo nghiên cứu Weishan Wang và các cộng sự, nhóm chức $\text{C}=\text{C}$ có khả năng thúc đẩy quá trình bay hơi cao [12].

3.1.3. Diện tích bề mặt riêng của vật liệu cacbon

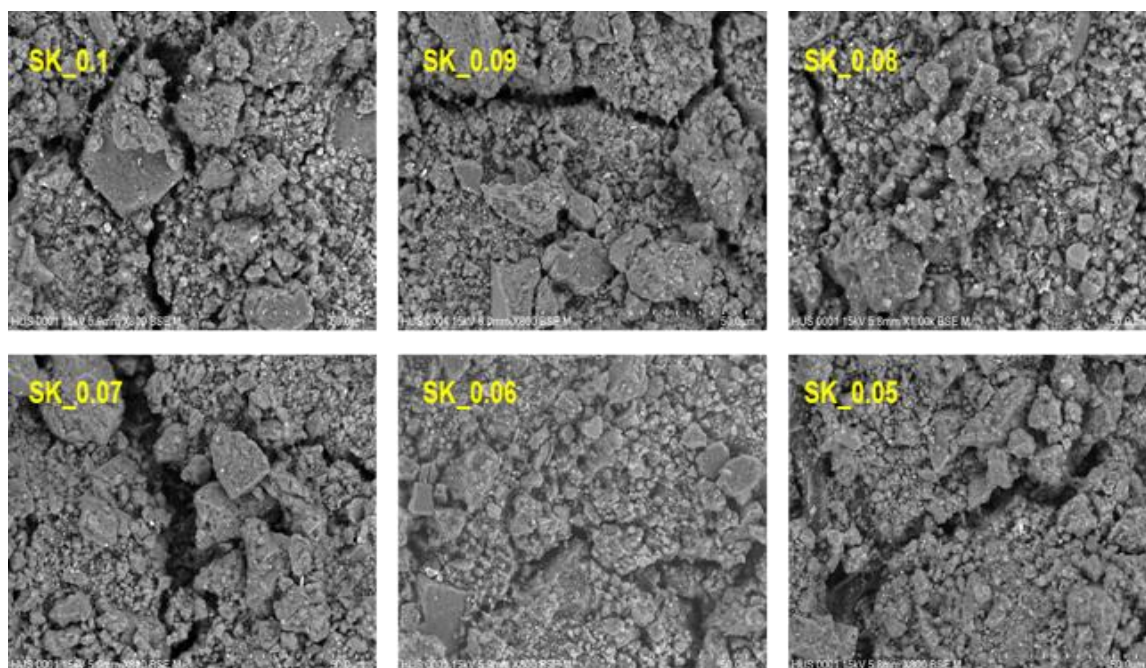
Diện tích bề mặt riêng của mẫu bùn đã xử lý là tương đối lớn khoảng $63,74\text{ m}^2/\text{g}$ (Hình 5), tương đương với vật liệu cacbon được chế tạo từ vỏ trấu ($64,56\text{ m}^2/\text{g}$) [13] và lớn hơn vật liệu cacbon được chế tạo từ bùn thải đô thị được lấy từ Tổng công ty thoát nước Baoding của Trung Quốc ($31,35\text{ m}^2/\text{g}$) [14]. Diện tích bề mặt riêng lớn thuận lợi cho việc truyền nước lên bề mặt màng vật liệu từ đó cung cấp đủ nước cho quá trình bay hơi liên tục và hiệu quả dưới tác động của ánh sáng mặt trời. Ngoài ra diện tích bề mặt lớn còn góp phần nâng cao khả năng hấp phụ các chất ô nhiễm có mặt trong nước. Như vậy vật liệu chế tạo được có thể ứng dụng đồng thời trong thu hồi nước sạch và xử lý nước ô nhiễm.



Hình 5. Đường đẳng nhiệt hấp phụ - giải hấp N_2 ở 77K của vật liệu B500

3.2. Hình thái bề mặt màng hấp thụ ánh sáng

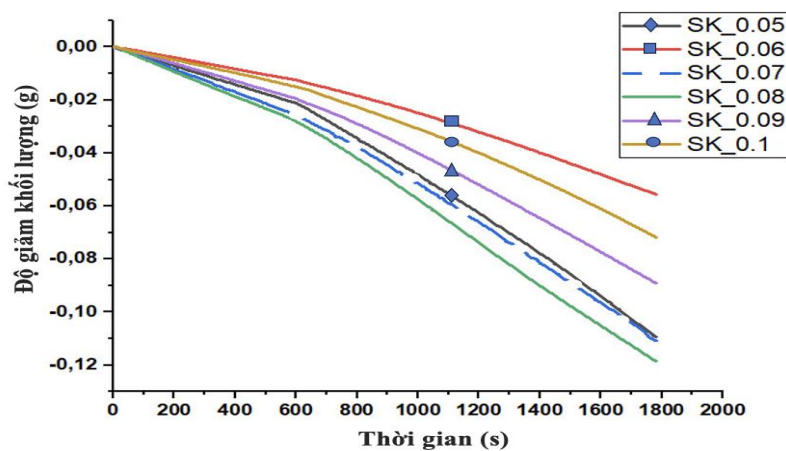
Kết quả SEM của các màng vật liệu khác nhau trong điều kiện sấy khô chân không được thể hiện trong Hình 6. Kết quả cho thấy vật liệu được phân bố tương đối đồng đều trên màng xenlulo, tuy nhiên có hiện tượng tụ vật liệu cũng như xuất hiện các vết nứt. Hiện tượng trên có thể do tốc độ làm khô nhanh, vật liệu giãn nở không đồng đều trên màng.



Hình 6. Hình ảnh SEM của màng vật liệu

3.3. Khả năng thu hồi nước của màng vật liệu

Tốc độ bay hơi của các màng hấp thụ ánh sáng được chế tạo với khối lượng vật liệu khác nhau được đánh giá thông qua phép đo khối lượng nước trong cốc giảm theo thời gian dưới tác dụng của môi trường được chiếu sáng và không được chiếu sáng (trong bóng tối). Kết quả tốc độ giảm khối lượng nước theo thời gian được mô tả trên Hình 7 và tốc độ bay hơi nước được tính toán và thể hiện tại Bảng 2. Có thể thấy rằng, tốc độ giảm khối lượng nước trong cốc ban đầu với điều kiện không chiếu sáng thấp hơn nhiều trong điều kiện được chiếu sáng. Điều đó chứng tỏ vai trò của ánh sáng mặt trời trong việc chuyển hóa năng lượng mặt trời thành nhiệt năng cung cấp cho quá trình bay hơi nước. Cụ thể, tốc độ bay hơi cao nhất được ghi nhận ở mẫu SK_0.09 là $1,88 \text{ kg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ và thấp nhất ở mẫu SK_0.07 là $0,94 \text{ kg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$. Tốc độ bay hơi của các mẫu màng vật liệu sấy khô chân không đều cao hơn so với mẫu không chứa vật liệu hấp thụ ánh sáng. Kết quả thực nghiệm cho thấy rằng màng vật liệu chế tạo từ bùn thải công nghiệp có tiềm năng lớn ứng dụng trong thiết bị tạo hơi nước sử dụng năng lượng mặt trời.



Hình 7. Tốc độ giảm khối lượng nước theo thời gian

Bảng 2. Số liệu tốc độ bay hơi nước

Mẫu sấy khô chân không		SK_0.0	SK_0.05	SK_0.06	SK_0.07	SK_0.08	SK_0.09	SK_0.1
Tốc độ bay hơi (kg.m ⁻² .h ⁻¹)	Bóng tối	0,78	0,65	0,61	0,53	0,66	1,14	0,63
	Chiếu sáng	0,92	1,01	1,16	0,94	0,96	1,88	1,07

4. Kết luận

Nghiên cứu đã chế tạo thành công màng hấp thụ ánh sáng từ bùn thải của nhà máy xử lý nước thải Kim Liên. Kết quả cho thấy, mẫu bùn thải qua quá trình xử lý nhiệt được phân bố tương đối đồng đều trên màng xenlulo ở các điều kiện khảo sát khác nhau. Mẫu bùn qua xử lý chứa hàm lượng C cao. Ngoài ra còn nhiều thành phần khác như Mg, Al, Fe,... Diện tích bề mặt đạt 63,74 m²/g và chứa nhiều nhóm chức ưa nước trên bề mặt. Màng hấp thụ ánh sáng cho tốc độ bay hơi nước cao nhất với tốc độ 1,88 kg.m⁻².h⁻¹ của màng SK_0.09. Kết quả cho thấy ứng dụng tiềm năng của bùn thải công nghiệp.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - Đại học Quốc gia Hà Nội trong đề tài mã số TN.22.16.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] United Nations, "World Water Development Report," 2019.
- [2] United Nations, "Summary Progress Update 2021 – SDG 6 – water and sanitation for all," 2021
- [3] United Nations, "Water, sanitation, hygiene, waste and electricity services in health care facilities: progress on the fundamentals," *Global report*, 2023.
- [4] Vietnam Ministry of Natural Resources and Environment, "Report on environmental status," 2020.
- [5] World Bank Group, "Towards a Safe, Clean and Resilient Water System in Vietnam," 2019.
- [6] V. M. Monsalvo, A. F. Mohedano, and J. J. Rodriguez, "Activated carbons from sewage sludge Application to aqueous-phase adsorption of 4-chlorophenol," *Desalination*, vol. 277, no.1–3, pp. 377–382, 2011.
- [7] J.Zhang and Q. Wang, "Sustainable mechanisms of biochar derived from brewers' spent grain and sewage sludge for ammonia–nitrogen capture," *Journal of Cleaner Production*, vol. 112, pp. 3927–3934, 2016.
- [8] W. Zhang, S. Mao, H. Chen, L. Huang, and R. Qiu, "Pb(II) and Cr(VI) sorption by biochars pyrolyzed from the municipal wastewater sludge under different heating conditions," *Bioresource technology*, vol. 147, pp. 545–552, 2013.
- [9] Y.-H. Lia, F.-M. Chang, B. Huang, Y.-P. Song, H.-Y. Zhao, and K.-J. Wang, "Activated carbon preparation from pyrolysis char of sewage sludge and its adsorption performance for organic compounds in sewage," *Fuel*, vol. 266, 2020, Art. no. 117053.
- [10] V. M. Monsalvo, A. F. Mohedano, and J. J. Rodriguez, "Activated carbons from sewage sludge: application to aqueous-phase adsorption of 4-chlorophenol," *Desalination*, vol. 277, pp. 377–382, 2011.
- [11] Q. Wen, C. Li, Z. Cai, W. Zhang, H. Gao, L. Chen, G. Zeng, X. Shu, and Y. Zhao, "Study on activated carbon derived from sewage sludge for adsorption of gaseous formaldehyde," *Bioresource*, vol. 102, no. 2, pp. 942–947, 2011.
- [12] W. Wang, D. Li, S. Zuo, Z. Guan, H. Xu, S. Ding, and D. Xia, "Discarded-leaves derived biochar for highly efficient solar water evaporation and clean water production: The crucial roles of graphitized carbon," *Colloids Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects*, vol. 639, 2022, Art. no. 128337.
- [13] Y. Xia and N. J. Halas, "Shape-controlled synthesis and surface plasmonic properties of metallic nanostructures," *MRS bulletin*, vol. 30, no. 5, pp. 338–348, 2005.
- [14] J. Zhang and Q. Wang, "Sustainable mechanisms of biochar derived from brewers' spent grain and sewage sludge for ammonia–nitrogen capture," *Journal of Cleaner Production*, vol. 112, pp. 3927–3934, 2016.