



Hiện trạng SẢN XUẤT VÀ TÁC ĐỘNG ĐẾN MÔI TRƯỜNG CỦA PIN NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI ĐỀ XUẤT CÁC GIẢI PHÁP QUẢN LÝ

ỨNG THỊ THÚY HÀ, CHỦ THỊ HỒNG NHUNG*, PHẠM TUẤN HÙNG

Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

CURRENT STATUS OF PRODUCTION AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF SOLAR BATTERY - PROPOSE MANAGEMENT SOLUTIONS

With the trend of gradually shifting to renewable energy sources, solar energy (Solar) is a popular energy source in Vietnam as well as in the world through the production of hot water and the use of solar batteries to produce electricity. Solar battery systems have been exploited and installed more than other renewable energy systems in recent years. As a result, the production and installation of solar batteries worldwide has increased rapidly over the past decade. However, along with the benefits of reducing greenhouse gas emissions, the production of solar batteries also poses many environmental challenges. During the production process, toxic chemicals such as HF, HCl, HNO₃ acids; NO_x, Cl₂, NH₃, VOCs, ... and toxic metal dust (Si, Cd, Ni, Sn, ...) can be released if not well controlled. Groups of solutions have been proposed for comprehensive management of solar batteries, including improving the legal system and technical standards; managing imports and production; managing the collection and treatment of solar batteries; strengthening inspection and supervision; incentive and support policies; and raising public awareness. These solutions aim to ensure the sustainable and environmentally friendly development of the solar energy industry.

Keywords: Solar batteries, environmental pollution, renewable energy, sustainable development.

Với xu thế chuyển dịch dần sang các nguồn năng lượng tái tạo, năng lượng mặt trời (NLMT) là nguồn năng lượng đang được sử dụng phổ biến hiện nay ở Việt Nam cũng như trên thế giới thông qua việc sản xuất nước nóng và sử dụng pin NLMT để sản xuất điện. Các hệ thống pin NLMT đã được khai thác và lắp đặt nhiều hơn so với các hệ thống năng lượng tái tạo khác trong những năm qua. Kết quả là sản lượng pin NLMT trên toàn thế giới được sản xuất và lắp đặt đã tăng lên nhanh chóng trong hơn một thập kỷ qua. Tuy nhiên, song hành với lợi ích giảm phát thải khí nhà kính, quá trình sản xuất pin NLMT cũng đặt ra nhiều thách thức về môi trường. Trong quá trình sản xuất, các chất hóa học độc hại như axit HF, HCl, HNO₃; khí NO_x, Cl₂, NH₃, VOCs... và bụi kim loại độc hại (Si, Cd, Ni, Sn...) có thể phát tán nếu không được kiểm soát tốt. Các nhóm giải pháp đã được đề xuất nhằm quản lý tổng thể đối với pin NLMT, bao gồm hoàn thiện hệ thống pháp luật và tiêu chuẩn kỹ thuật; quản lý nhập khẩu và sản xuất; quản lý việc thu hồi và xử lý pin NLMT; tăng cường thanh tra và giám sát; chính sách khuyến khích và hỗ trợ; cũng như nâng cao nhận thức cộng đồng. Những giải pháp này nhằm đảm bảo ngành năng lượng mặt trời phát triển bền vững, thân thiện với môi trường.

Từ khóa: Pin năng lượng mặt trời (NLMT), ô nhiễm môi trường, năng lượng tái tạo, phát triển bền vững.



Giới thiệu về pin NLMT

Pin năng lượng mặt trời (NLMT) là một thiết bị nhỏ nhưng mạnh mẽ, chuyển đổi ánh sáng trực tiếp thành điện thông qua một quá trình gọi là hiệu ứng quang điện. Khi ánh sáng mặt trời hoặc thậm chí là ánh sáng nhân tạo tới pin mặt trời, nó sẽ kích hoạt các electron trong vật liệu bán dẫn của pin để sinh ra dòng điện.

Trên thị trường hiện nay chủ yếu có 3 loại pin NLMT: Pin mặt trời silicon đơn tinh thể, pin mặt trời silicon đa tinh thể, pin mặt trời màng mỏng, được so sánh trong Bảng 1.

Ngoài ra, còn có một số loại pin NLMT đang được nghiên cứu phát triển như Pin mặt trời Perovskite, Pin mặt trời hữu cơ, Pin mặt trời chấm lượng tử... là công nghệ mới hứa hẹn mang lại những đột phá về chi phí sản xuất, tính linh hoạt trong thiết kế và hiệu suất làm việc.

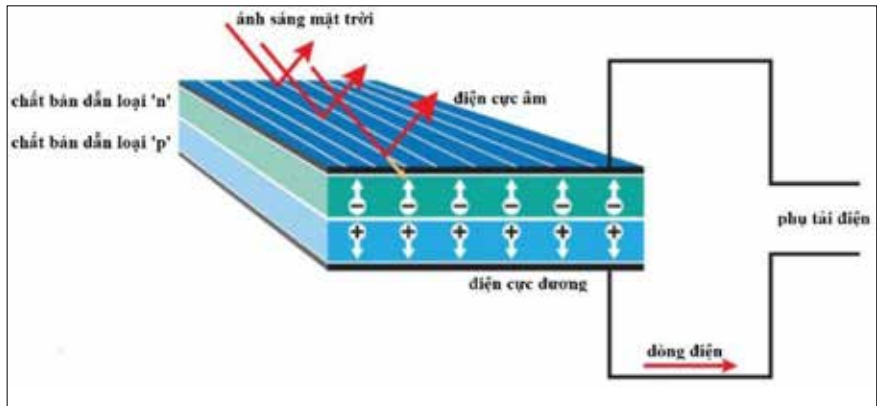
Mặc dù pin NLMT có hiệu suất còn hạn chế, phụ thuộc vào cường độ bức xạ mặt trời và gặp khó khăn trong việc lưu trữ điện năng, nhưng đây vẫn là một công nghệ năng lượng sạch có nhiều triển vọng. Pin NLMT khai thác nguồn năng lượng tái tạo dồi dào, góp phần giảm phát thải khí nhà kính, hạn chế ô nhiễm môi trường và nâng cao tính tự chủ về năng lượng. Nhờ những lợi thế này, pin NLMT được dự báo sẽ đóng vai trò quan trọng trong quá trình chuyển dịch năng lượng và phát triển bền vững trong tương lai.

Hiện trạng quá trình sản xuất, sử dụng pin NLMT

a. Thế giới

Sản lượng sản xuất pin NLMT hàng năm đã tăng nhanh trong hơn một thập kỷ qua (Hình 2). Vào năm 2023, khoảng 95% mô-đun NLMT và các thành phần của chúng đến từ Châu Á, chủ yếu từ Trung Quốc với thị phần sản xuất mô-đun khoảng 80% và kiểm soát hơn 95% thị trường đối với một số thành phần nhất định như thỏi silic và wafer.

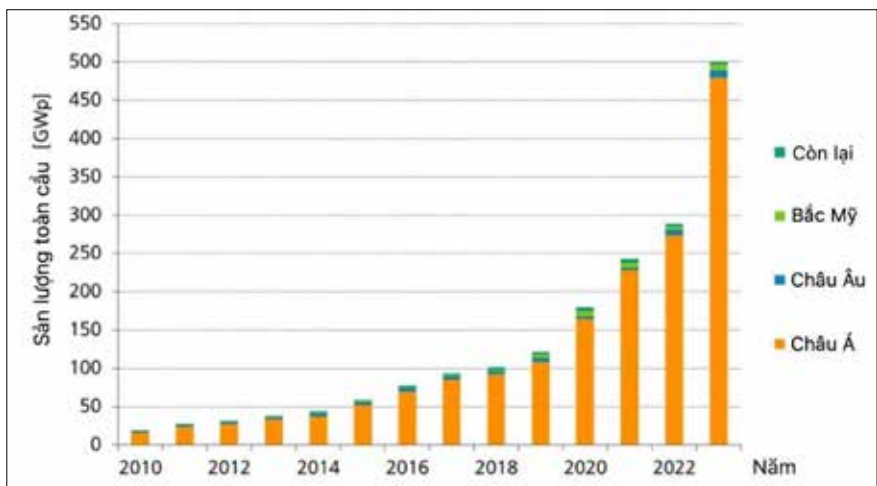
Giai đoạn 2006-2009 đánh dấu sự tăng trưởng vượt bậc của Châu Âu trong sản xuất pin NLMT nhưng do sự phát triển



Hình 1: Nguyên lý của tế bào quang điện bán dẫn_[3]

Bảng 1: So sánh ba loại pin NLMT phổ biến hiện nay_[1]

So sánh	Pin Si - đơn tinh thể	Pin Si - đa tinh thể	Pin màng mỏng
Hình ảnh			
Vật liệu	Silicon đơn tinh thể	Silicon đa tinh thể	Cadmium telluride (CdTe), đồng indium gallium selenide (CIGS) và silicon vô định hình (a-Si)
Hiệu suất	24,4%	19,9%	18,9%
Đặc tính	Cứng, giòn, không uốn được, nặng, dày, chi phí hợp mặt phẳng		Mỏng nhẹ, linh hoạt nên phù hợp bề mặt cong
Chi phí	Trung bình	Thấp nhất	Cao nhất
Tuổi thọ	Dài nhất	Trung bình	Ngắn nhất
Thị phần	95 - 98%		2 - 5%
Dấu chân carbon trong sản xuất	38.1 g CO ₂ -eq/kWh	27.2 g CO ₂ -eq/kWh	Từ 21.4 g CO ₂ -eq/kWh, tùy loại



Hình 2: Sản lượng sản xuất module pin NLMT theo khu vực_[4]

mạnh mẽ của Trung Quốc trong lĩnh vực này, cùng với chi phí sản xuất ở Châu Âu và Bắc Mỹ cao, nên chuỗi cung ứng pin NLMT dịch chuyển dần sang Châu Á, đặc biệt là Trung Quốc. Hình 3 dưới đây thể hiện tỷ lệ (%) tổng công suất sản xuất (MWp) theo khu vực giai đoạn 1990-2023.

Công suất lắp đặt lũy kế hệ thống quang điện là một chỉ số trong ngành NLMT, dùng để đo tổng công suất các hệ thống điện mặt trời đã được lắp đặt và kết nối trên thế giới, được thể hiện trong Hình 4.

Liên quan đến các loại công nghệ pin NLMT, pin màng mỏng có công suất sản xuất lớn nhất vào năm 1988, rồi giảm dần cho đến ngày nay bởi công nghệ pin Silic đơn tinh thể đang vượt trội về hiệu suất, chi phí cũng như tuổi thọ. Tỷ lệ công suất sản xuất theo công nghệ pin NLMT giai đoạn 1980-2023 được thể hiện trong Hình 5.

b. Việt Nam

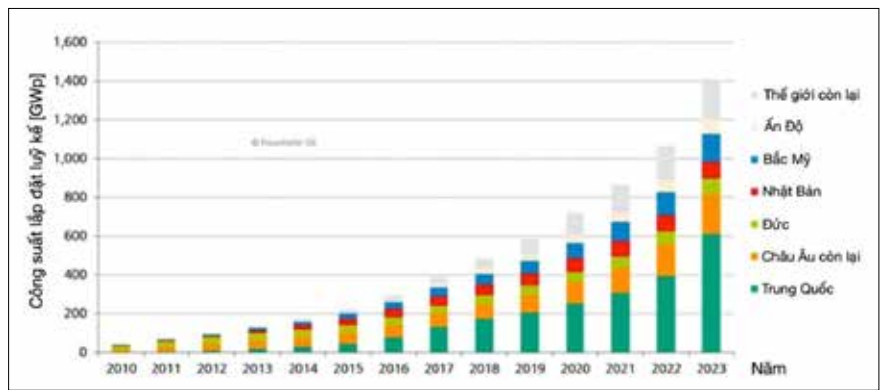
Theo Quy hoạch Điện VIII^[6], năng lượng tái tạo sẽ có bước phát triển mạnh mẽ. Cụ thể, đến năm 2050 nguồn điện từ gió, mặt trời sẽ chiếm từ 59,5 đến 63,8% tổng cơ cấu nguồn điện toàn hệ thống. Việt Nam đặt mục tiêu đạt khoảng 12.836 MW điện mặt trời vào năm 2030. Điều này cho thấy Việt Nam đang tích cực phát triển NLMT, góp phần chuyển đổi sang nguồn năng lượng sạch và bền vững.

Tính đến cuối năm 2023, tổng công suất lắp đặt điện mặt trời tại Việt Nam đạt khoảng 16.600 MW, trong đó hơn 9.000 MW là từ điện mặt trời mái nhà, chiếm khoảng 20,5% tổng công suất điện quốc gia^[8]. Trong năm 2024, Việt Nam tiếp tục phát triển năng lượng mặt trời. Theo báo cáo của Tập đoàn Điện lực Việt Nam (EVN), trong 10 tháng đầu năm 2024, sản lượng điện mặt trời đạt 22,44 tỷ kWh, chiếm 12,7% tổng sản lượng điện từ năng lượng tái tạo^[2].

Hiện tại, hơn 95% nhà máy điện mặt trời ở nước ta sử dụng tấm quang điện silicon tinh thể (trong đó 70% là loại đơn tinh thể, khoảng 25% là loại đa tinh thể), gần 5% sử dụng tấm quang điện loại màng mỏng^[7].



Hình 3: Tỷ lệ công suất sản xuất theo khu vực^[4]



Hình 4: Công suất lắp đặt lũy kế hệ thống quang điện^[4]



Hình 5: Tỷ lệ công suất sản xuất theo công nghệ pin NLMT^[4]

Bảng 2: Các nhà máy điện mặt trời quy mô lớn ở Việt Nam^[5]

TT	Nhà máy điện mặt trời	Địa điểm	Công suất
1	Nhà máy Trung Nam Thuận Bắc	Ninh Thuận	450 MW
2	Cụm nhà máy Dầu Tiếng 1, 2	Tây Ninh	420 MW
3	Cụm nhà máy Xuân Thiện - Ea Súp	Đắk Lắk	600 MW
4	Nhà máy Xuân Thiện Thuận Bắc	Ninh Thuận	256 MW
5	Cụm nhà máy Lộc Ninh 1,2,3	Bình Phước	550 MW
6	Nhà máy Phù Mỹ	Bình Định	330 MW
7	Cụm 3 nhà máy BIM	Ninh Thuận	330 MW
8	Nhà máy Hòa Hội	Phú Yên	257 MW
9	Nhà máy CMX Renewable Energy Việt Nam	Ninh Thuận	168 MW
10	Nhà máy Trung Nam Trà Vinh	Trà Vinh	165 MW

Tác động môi trường từ quá trình sản xuất pin NLMT

a. Quá trình sản xuất pin NLMT

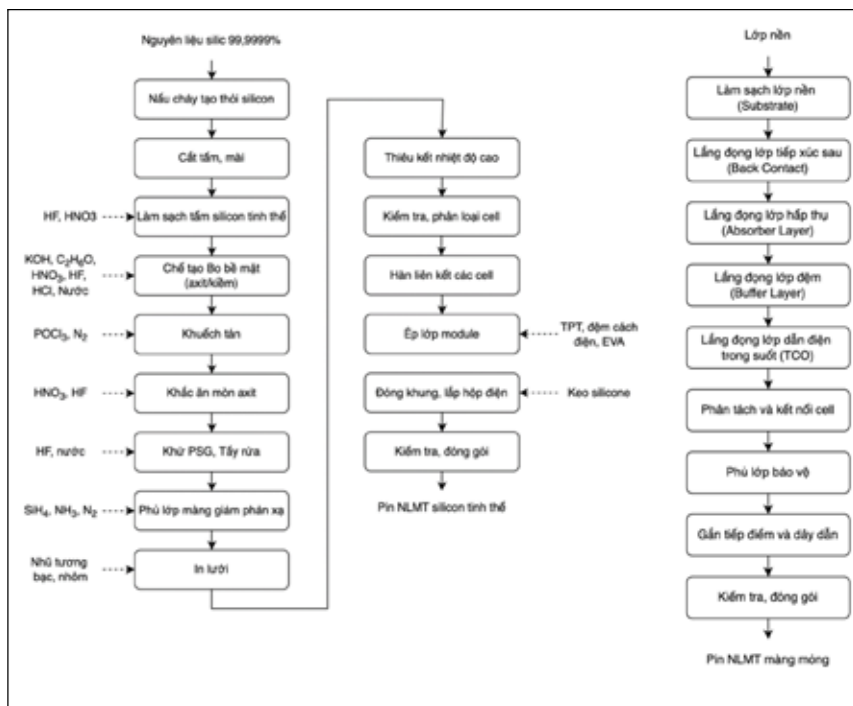
Mỗi loại pin NLMT có quy trình sản xuất riêng biệt, sử dụng các nguyên liệu và hoá chất đặc trưng. Sự khác biệt này còn thể hiện rõ trong các công đoạn chế tạo, từ xử lý vật liệu bán dẫn đến lắp ráp mô-đun. Quy trình tổng thể của từng loại pin NLMT được minh hoạ chi tiết trong Hình 6.

Quy trình sản xuất pin NLMT silicon tinh thể bắt đầu từ nguyên liệu silicon tinh khiết (99,9999%), được nấu chảy để tạo thỏi, sau đó cắt mỏng và mài thành các tấm wafer và được làm sạch bằng dung dịch HF, HNO₃, rồi xử lý bề mặt bằng axit hoặc kiềm để tạo cấu trúc hấp thụ ánh sáng. Tiếp theo, tạp chất được khuếch tán (thường là phospho từ POCl₂) để hình thành tiếp giáp p-n. Các bước tiếp theo gồm: Khắc axit, tẩy lớp phosphosilicate glass (PSG), phủ lớp màng chống phản xạ (SiN_x) và in lưới điện cực bằng nhũ tương bạc, nhôm. Sau khi nung kết điện cực ở nhiệt độ cao, các cell được kiểm tra, phân loại và hàn liên kết thành chuỗi. Các chuỗi cell được ép với lớp EVA, tấm nền TPT và kính để tạo thành module. Cuối cùng, sản phẩm được đóng khung, lắp hộp điện, kiểm tra lần cuối và đóng gói.

Quy trình sản xuất pin NLMT màng mỏng bắt đầu từ lớp nền (thường là thủy tinh hoặc kim loại), được làm sạch kỹ để đảm bảo chất lượng lớp phủ tiếp theo. Sau đó, các lớp chức năng được lắng đọng lần lượt: lớp tiếp xúc sau (back contact), lớp hấp thụ (absorber layer)-nơi diễn ra quá trình tạo điện, lớp đệm (buffer layer) và lớp dẫn điện trong suốt (TCO). Tiếp theo, các cell được phân tách và kết nối, phủ lớp bảo vệ bên ngoài. Cuối cùng, sản phẩm được gắn tiếp điểm, dây dẫn, kiểm tra chất lượng và đóng gói, trở thành sản phẩm pin NLMT màng mỏng.

b. Tác động môi trường từ quá trình sản xuất pin NLMT

Quá trình sản xuất pin NLMT silicon tinh thể và màng mỏng đều gây ô nhiễm môi trường. Các nguồn thải này nếu không được kiểm soát theo quy định thì sẽ gây ô nhiễm môi trường và sức khoẻ người lao động. Các chất gây ô nhiễm chính, nguồn phát sinh và tác động của chúng được trình bày trong Bảng 3.



Hình 6: Quy trình sản xuất pin NLMT loại silicon tinh thể và màng mỏng

Bảng 3: Tác động môi trường từ quá trình sản xuất pin NLMT

Chất gây ô nhiễm	Nguồn phát sinh	Tác động môi trường
Bụi Silic, bụi kim loại Cd, Ni, Sn ...	Công đoạn cắt/mài tấm silic, hàn, lắng đọng các lớp vật liệu (pin màng mỏng)	Gây ô nhiễm bụi mịn chứa Silic, Cd, Ni, làm giảm tầm nhìn, giảm khả năng quang hợp của cây, làm chai cứng đất, nếu trôi theo nước mưa gây ô nhiễm nguồn nước.
Khí NOx và hơi HNO ₃	Công đoạn làm sạch tấm silic, khắc ăn mòn axit, chế tạo bo bề mặt	Gây hiện tượng mưa axit, làm axit hóa đất, ô nhiễm nước mặt, nước ngầm, các hệ sinh thái... NOx phản ứng quang hoá với VOCs tạo ra O ₃ , thành phần chính của khói mù quang hóa.
Hơi HF, HCl, Cl ₂	Công đoạn chế tạo bo bề mặt, khuếch tán, khử PSG	Làm giảm pH đất, nước, ảnh hưởng hệ sinh thái, kích ứng mắt, tổn thương mô mềm, gây ăn mòn vật liệu xây dựng.
Khí NH ₃	Công đoạn phủ lớp màng giảm phản xạ	Tăng hàm lượng nitơ trong nước gây hiện tượng phú dưỡng, oxy hoá thành NO ₃ và giải phóng ion H ⁺ làm giảm pH đất...
Khí SiH ₄	Công đoạn phủ lớp màng giảm phản xạ	SiH ₄ tự bốc cháy trong không khí ở nồng độ thấp tạo ra bụi SiO ₂ - là bụi PM2.5 tồn tại lâu trong không khí.
VOCs	Công đoạn in lưới, thiêu kết nhiệt độ cao, hàn	VOCs bay hơi vào khí quyển tham gia các phản ứng quang hoá, tạo ra O ₃ tầng đối lưu, gây ô nhiễm môi trường không khí.
Khí CO	Công đoạn thiêu kết nhiệt độ cao, hàn	CO trong tầng đối lưu sẽ gián tiếp làm tăng tuổi thọ của khí nhà kính CH ₄ , thúc đẩy quá trình hình thành O ₃ ở tầng đối lưu bởi phản ứng quang hoá với NOx dưới ánh sáng mặt trời.
Nước thải axit chứa HF, HCl	Công đoạn làm sạch tấm silic, chế tạo bo bề mặt, khắc ăn mòn axit, khử PSG	Làm giảm pH trong đất, nước mặt, nước ngầm, gây ô nhiễm lâu dài và khó xử lý, ảnh hưởng đến các hệ sinh thái.
Nước thải kiềm chứa KOH	Công đoạn chế tạo bo bề mặt	Gây hiện tượng kiềm hóa nguồn nước, đất gây ảnh hưởng đến các loại thủy sinh và làm mất khả năng hấp thụ dinh dưỡng, giảm các loài vi sinh vật có lợi cho cây.

Đề xuất các giải pháp quản lý pin NLMT

a. Xây dựng và hoàn thiện khung pháp lý

■ Xây dựng Luật Năng lượng tái tạo để đưa pin NLMT vào khuôn khổ pháp lý. Quy định rõ các tiêu chuẩn kỹ thuật, quyền và nghĩa vụ của các chủ thể tham gia đầu tư, vận hành, bảo trì và xử lý chất thải pin.

■ Rà soát và sửa đổi Luật Điện lực 2024, Luật Bảo vệ môi trường 2020, Luật Đầu tư 2020 để đồng bộ với phát triển NLMT, đảm bảo việc kết nối lưới điện và xử lý môi trường (đặc biệt là xử lý pin NLMT thải).

■ Ban hành các nghị định, thông tư hướng dẫn cụ thể nhằm hướng dẫn triển khai dự án, cấp phép, đấu nối điện, ưu đãi thuế, giá mua điện.

■ Xây dựng tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật: Đưa ra các tiêu chuẩn về chất lượng, an toàn và hiệu suất của pin NLMT. Hạn chế sử dụng vật liệu độc hại.

b. Quản lý nhập khẩu và sản xuất

■ Kiểm soát chất lượng: Yêu cầu các sản phẩm pin NLMT nhập khẩu hoặc sản xuất trong nước phải đáp ứng tiêu chuẩn kỹ thuật, có chứng nhận hợp quy về nguồn gốc xuất xứ, chất lượng, an toàn như CO, CQ, RoHS, CE... Với pin đã qua sử dụng hoặc tân trang, nên cấm nhập khẩu hoặc phải yêu cầu giấy phép đặc biệt với loại này.

■ Tăng cường hoạt động kiểm tra, đánh giá chất lượng trước khi thông quan. Kiểm tra, xử phạt các sản phẩm kém chất lượng, hàng giả, hàng nhái. Các sản phẩm nhập khẩu cần có mã QR để truy xuất nguồn gốc.

■ Các cơ sở sản xuất có trách nhiệm áp dụng công nghệ sản xuất sạch hơn, tiết kiệm năng lượng, tái chế và xử lý chất thải, bảo đảm hạn chế tối đa tác động tiêu cực đến môi trường và cộng đồng dân cư xung quanh.

c. Quản lý việc thu hồi và xử lý pin NLMT

■ Bắt buộc các nhà sản xuất, nhập khẩu có trách nhiệm thu hồi và xử lý pin lỗi, pin thải (Trách nhiệm mở rộng của nhà sản xuất - (EPR) - Extended Producer Responsibility).

■ Quản lý chặt chẽ về việc tái chế và xử lý pin thải loại nhằm bảo vệ môi trường, tận dụng tài nguyên tái chế và giảm thiểu rủi ro sức khỏe cộng đồng do các chất độc hại trong quá trình tái chế, xử lý gây ra.

■ Xây dựng cơ sở dữ liệu quốc gia về pin NLMT để theo dõi: Số lượng pin đang lưu hành; chủng loại, công suất, vị trí lắp đặt; trạng thái vận hành và xử lý cuối vòng đời.

d. Chính sách khuyến khích và hỗ trợ

Xây dựng, triển khai các chính sách khuyến khích và hỗ trợ các dự án sử dụng pin NLMT cũng như thu gom, tái chế, xử lý pin NLMT thải, bao gồm:

■ Ưu đãi thuế: Giảm thuế nhập khẩu, thuế giá trị gia tăng, ưu đãi thuế đất cho các dự án sử dụng pin NLMT và dự án thu gom, tái chế và xử lý pin NLMT thải. Miễn giảm thuế với hoạt động tái chế pin thải theo công nghệ thân thiện.

■ Hỗ trợ tài chính: Cung cấp vốn vay ưu đãi, trợ giá cho các dự án năng lượng tái tạo sử dụng pin NLMT và dự án thu gom, tái chế và xử lý pin NLMT thải. Khuyến khích thành lập tổ chức trung gian thực hiện EPR cho nhiều doanh nghiệp nhỏ.

■ Xây dựng cơ chế mua bán điện mặt trời hợp lý nhằm khuyến khích các nhà đầu tư. Áp dụng giá mua điện ổn định, dài hạn cho điện dư phát lên lưới. Đơn giản hóa thủ tục đấu nối cho điện mặt trời mái nhà.

■ Hỗ trợ nghiên cứu - chuyển giao công nghệ: Đầu tư vào công nghệ pin thân thiện môi trường như ưu tiên vật liệu ít độc hại như pin perovskite (hiệu suất cao, ít nguyên tố đất hiếm) hoặc pin hữu cơ (organic solar cells), nâng cao tuổi thọ của pin, thiết kế module pin dễ tháo rời để dễ tái chế. Đẩy mạnh hợp tác quốc tế, chuyển giao công nghệ sản xuất và tái chế tiên tiến.

e. Tăng cường thanh tra và giám sát

■ Thanh tra, giám sát: Đảm bảo các cơ sở sản xuất, lưu trữ, thu gom, vận chuyển, tái chế pin NLMT hoạt động đúng quy định pháp luật. Tăng cường kiểm tra đột xuất thay vì chỉ thanh tra định kỳ.

■ Xử phạt vi phạm: Áp dụng chế tài mạnh với các hành vi vi phạm như xả thải bừa bãi; chôn lấp không kiểm soát, kinh doanh pin không đạt chuẩn; không thực hiện trách nhiệm thu hồi và xử lý pin thải. Công khai danh sách các doanh nghiệp vi phạm.

g. Nâng cao nhận thức cộng đồng

■ Đẩy mạnh nâng cao nhận thức cộng đồng về bảo vệ môi trường, hiệu ứng nhà kính và biến đổi khí hậu, lợi ích của năng lượng tái tạo và NLMT, ứng dụng thực tế của pin NLMT, hoạt động thu hồi và xử lý pin NLMT...

■ Tuyên truyền, giáo dục thông qua các kênh: giáo dục trong trường học, chuyên đề, truyền thông đại chúng qua báo, đài, mạng xã hội, tổ chức các sự kiện cộng đồng. Phát hành sách mỏng, tờ rơi, pano áp phích tại các điểm công cộng, trường học, trụ sở hành chính...

Kết luận

Việc phát triển và sử dụng pin NLMT đã và đang góp phần quan trọng trong quá trình chuyển dịch sang nguồn năng lượng tái tạo, giảm phát thải khí nhà kính. Tuy nhiên, bên cạnh những lợi ích, quá trình sản xuất pin NLMT cũng tiềm ẩn nhiều rủi ro môi trường. Hệ thống quản lý vòng đời pin NLMT ở nhiều quốc gia còn nhiều bất cập. Sự thiếu đồng bộ trong chính sách, cơ sở hạ tầng xử lý còn hạn chế, nhận thức

cộng đồng chưa đầy đủ, là những nguyên nhân khiến vấn đề môi trường do pin NLMT sẽ ngày càng nghiêm trọng hơn. Các giải pháp quản lý đối với pin NLMT đã được đưa ra như xây dựng và hoàn thiện khung pháp lý, quản lý nhập khẩu và sản xuất, quản lý việc thu hồi và xử lý pin NLMT, chính sách khuyến khích và hỗ trợ, tăng cường thanh tra và giám sát, nâng cao nhận thức cộng đồng. Trong bối cảnh Việt Nam đẩy mạnh phát triển năng lượng tái tạo, việc kiểm soát ô nhiễm từ thiết bị NLMT cần được xem là một phần không thể thiếu của chiến lược phát triển bền vững ngành năng lượng. Hành động sớm và đồng bộ sẽ giúp giảm thiểu rủi ro môi trường, đồng thời tận dụng được giá trị vật liệu từ pin đã qua sử dụng.

LỜI CẢM ƠN: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường ĐHXDHN (HUCE) trong đề tài mã số 10-2025/KHXD.

Địa chỉ liên hệ: Chử Thị Hồng Nhung, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội.
Email: nhungcth@huce.edu.vn; ĐT: 0987.900.830

Ngày nhận bài: 05/8/2025

Ngày gửi phản biện: 06/08/2025

Ngày duyệt đăng: 25/9/2025

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- [1]. Emily Rhode (2021), *Types of Solar Panels: Pros and Cons*. Treehugger. www.treehugger.com/types-of-solar-panels-pros-and-cons-5181546. Truy cập tháng 7/2025
- [2]. EVN (2024), *Tình hình hoạt động tháng 10 năm 2024; mục tiêu, nhiệm vụ công tác tháng 11 năm 2024*. <https://www.evn.com.vn/d6/news/Tinh-hinh-hoat-dong-thang-10-nam-2024-muc-tieu-nhiem-vu-cong-tac-thang-11-nam-2024-66-142-126723.aspx>. Truy cập tháng 7/2025
- [3]. EVNPECC1 (2019), *Công nghệ và kỹ thuật của quang điện*. <https://www.pecc1.com.vn/d4/news/Cong-ngh-e-va-ky-thuat-cua-quang-dien-8-1351.aspx>. Truy cập tháng 8/2025
- [4]. Fraunhofer ISE (2024), *Photovoltaics Report, Freiburg*. <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html>
- [5]. Freesolar (2025), *Danh sách 20 nhà máy năng lượng mặt trời lớn tại Việt Nam*. <https://freesolar.vn/tu-van/nha-may-nang-luong-mat-troi.html>. Truy cập tháng 7/2025
- [6]. Quyết định 500/QĐ-TTg ngày 15/5/2023 của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt Quy hoạch phát triển điện lực quốc gia thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050
- [7]. Tạp chí Năng lượng Việt Nam (2023), *Vấn đề xử lý chất thải khi tấm quang năng mặt trời hết hạn sử dụng ở Việt Nam*. <https://nangluongvietnam.vn/van-de-xu-ly-chat-thai-khi-tam-quang-nang-mat-troi-het-han-su-dung-o-viet-nam-31056.html>. Truy cập tháng 7/2025
- [8]. Tạp chí điện tử Thông tin và Truyền thông (2024), *Phát triển điện mặt trời tại Việt Nam*. <https://ictvietnam.vn/phat-trien-dien-mat-troi-tai-viet-nam-68296.html>. Truy cập tháng 7/2025

