

PIN CÁT: Bước đột phá mới trong lưu trữ năng lượng sạch và bền vững

“

Giữa lúc cả thế giới đang tìm kiếm những công nghệ lưu trữ năng lượng hiệu quả, Phần Lan bất ngờ đưa ra một hướng đi khác biệt: Pin cát. Không cần đến vật liệu quý hiếm hay quy trình phức tạp, pin cát vận hành bằng cách sử dụng điện tái tạo để làm nóng cát hoặc đá nghiền, lưu trữ nhiệt ở nhiệt độ cao trong nhiều tuần, thậm chí nhiều tháng. Từ đó, nhiệt được tái sử dụng để sưởi ấm hoặc phục vụ các quy trình công nghiệp. Với chi phí thấp, hiệu suất cao và thân thiện với môi trường, công nghệ này đang thu hút sự chú ý mạnh mẽ từ cộng đồng quốc tế. Bài viết sẽ giúp độc giả tìm hiểu chi tiết về công nghệ pin cát - từ nguyên lý hoạt động, những thử nghiệm thực tiễn tại Phần Lan, đến tiềm năng ứng dụng tại nhiều quốc gia, trong đó có cả Việt Nam.

”

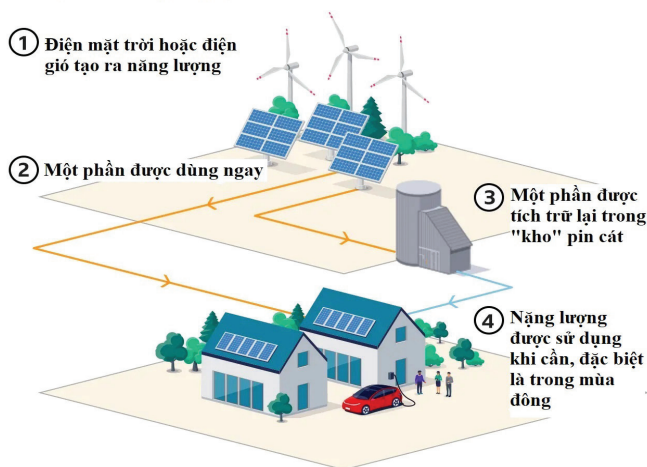
Pin cát là gì?

Trong khi thế giới đang quay cuồng với những công nghệ lưu trữ năng lượng tiên tiến như pin lithium-ion, pin dòng chảy hay hydro xanh, một giải pháp tưởng như thô sơ lại đang gây tiếng vang toàn cầu: Pin cát. Đúng như tên gọi, công nghệ này sử dụng chính cát hoặc các loại đá nghiền như đá xà phòng để lưu trữ năng lượng dưới dạng nhiệt. Không cầu kỳ về vật liệu, không phụ thuộc vào đất hiếm hay linh kiện tinh vi, pin cát nổi bật bởi sự đơn giản, hiệu quả và bền vững.

Về nguyên lý, pin cát vận hành dựa trên cơ chế làm nóng cát bằng điện trở, trong đó nguồn điện lý tưởng là từ năng lượng tái tạo như gió hoặc mặt trời. Điện năng được biến đổi thành nhiệt năng, làm nóng vật liệu lưu trữ (cát hoặc đá nghiền) trong một cấu trúc cách nhiệt (thường là các silo thép lớn). Cát có đặc tính giữ nhiệt vượt trội, có thể duy trì mức nhiệt từ 400 đến 600°C trong nhiều tuần, thậm chí vài tháng mà chỉ hao hụt khoảng 10-15% năng lượng. Khi nhu cầu năng lượng gia tăng, chẳng hạn vào mùa đông hoặc trong giờ cao điểm, hệ thống sẽ giải phóng nhiệt này thông qua luồng không khí nóng hoặc truyền qua chất lỏng dẫn nhiệt, cung cấp trực tiếp cho mạng lưới sưởi ấm khu vực hoặc quá trình sản xuất công nghiệp. Mặc dù hiệu suất chuyển đổi nhiệt trở lại thành điện vẫn còn hạn chế (chỉ đạt 50-70%), nhưng đối với các ứng dụng sưởi ấm, thường chiếm tỷ trọng lớn trong tiêu thụ năng lượng tại nhiều quốc gia, pin cát thực sự là giải pháp lý tưởng.

Pin cát liệu có thể trở thành lựa chọn mới?

Cách pin cát hoạt động



Cách pin cát hoạt động. Nguồn: BBC.

Theo ước tính của các chuyên gia, chi phí đầu tư cho mỗi kWh lưu trữ nhiệt bằng pin cát hiện ở mức dưới 25 USD, thấp hơn nhiều so với các hệ thống pin lithium-ion, vốn có giá dao động từ 100 đến 400 USD/kWh tùy công nghệ và quy mô. Khoản chênh lệch này không chỉ giúp giảm gánh nặng đầu tư ban đầu mà còn rút ngắn thời gian hoàn vốn, làm cho pin cát trở thành giải pháp kinh tế phù hợp cho cả doanh nghiệp lẫn cộng đồng địa phương.

Vật liệu cấu thành pin cát vô cùng phổ biến và sẵn có. Cát, đá xà phòng hoặc các loại khoáng sản tương tự đều không hiếm, không độc hại và có thể khai thác

ngay tại địa phương. Điều này giúp giảm thiểu sự phụ thuộc vào chuỗi cung ứng toàn cầu - một điểm yếu cố hữu của các loại pin hóa học hiện nay, đặc biệt trong bối cảnh địa chính trị ngày càng phức tạp.

Tuổi thọ của pin cát cũng là một lợi thế lớn. Các hệ thống pin cát hiện tại được thiết kế với tuổi thọ lên đến hơn 30 năm mà không cần thay thế lõi lưu trữ, khác biệt hoàn toàn so với pin lithium-ion vốn thường suy giảm hiệu suất chỉ sau 8-10 năm sử dụng.

Pin cát gần như không yêu cầu bảo trì thường xuyên, tiết kiệm đáng kể chi phí vận hành lâu dài.

Không chỉ vậy, yếu tố an toàn cũng đáng được chú ý. Không giống như các hệ thống pin hóa học có nguy cơ cháy nổ hoặc rò rỉ hóa chất độc hại, pin cát hoàn toàn không chứa chất dễ cháy, không sinh khí độc và không yêu cầu hệ thống làm mát phức tạp.

Cuối cùng, tính thân thiện với môi trường là giá trị cốt lõi của công nghệ pin cát. Trong suốt quá trình vận hành, hệ thống không phát thải khí nhà kính, không tạo ra chất thải độc hại. Thậm chí, việc sử dụng đá xà phòng nghiền (một phế phẩm từ ngành công nghiệp sản xuất lò sưởi) còn góp phần thúc đẩy mô hình kinh tế tuần hoàn, tận dụng chất thải làm nguyên liệu mới.

Nhờ cấu trúc đơn giản, dễ thi công và có thể tùy biến theo quy mô, pin cát cũng dễ dàng triển khai tại các cộng đồng nhỏ hoặc vùng sâu, vùng xa - nơi điện lưới không ổn định hoặc chi phí năng lượng còn cao. Từ những ưu điểm trên, có thể thấy, pin cát không chỉ là giải pháp lưu trữ, mà là một bước tiến chiến lược trong hành trình hướng đến tương lai năng lượng xanh và bền vững.

Công nghệ pin cát ở Phần Lan

Dấu mốc đầu tiên của công nghệ pin cát được ghi nhận tại thị trấn Kankaanpää (tỉnh Satakunta, Phần Lan) vào năm 2022, khi công ty khởi nghiệp Polar Night Energy chính thức đưa vào vận hành hệ thống pin cát thương mại đầu tiên trên thế giới. Hệ thống này, kết nối trực tiếp với mạng sưởi ấm địa phương do công ty Vatajankoski quản lý, có dung lượng lưu trữ 8 MWh và công suất nhiệt 200 kW. Thay vì tích điện, hệ thống sử dụng điện tái tạo, đặc biệt là điện mặt trời và điện gió để nung nóng khối cát trong một silo cách nhiệt lên đến hàng trăm độ C. Khi có nhu cầu, nhiệt lượng này sẽ được giải phóng để phục vụ mục đích sưởi ấm. Dự án không chỉ chứng minh được tính khả thi về mặt kỹ thuật mà còn cho thấy hiệu quả kinh tế rõ rệt khi giúp ổn định chi phí vận hành, tận dụng điện dư thừa và giảm lượng nhiên liệu hóa thạch sử dụng. Thành công này đã giúp pin cát Kankaanpää được



Trạm pin cát thương mại đầu tiên trên thế giới đặt ở Phần Lan.
 Nguồn: Polar Night Energy.

vinh danh là một trong những sáng kiến xanh tiêu biểu của Phần Lan trong năm 2023. Đến năm 2025, Polar Night Energy tiếp tục triển khai dự án lớn hơn tại thị trấn Pornainen (ngoại ô thủ đô Helsinki). Đây hiện là hệ thống pin cát có quy mô lớn nhất thế giới, với silo cao gần 13 m, đường kính 14 m và chứa tới 4,4 triệu pound đá xà phòng nghiền (tương đương hơn 2.000 tấn vật liệu). Công trình này có dung lượng lưu trữ lên tới 100 MWh, công suất nhiệt đạt 1 MW, đủ sức cung cấp năng lượng cho toàn bộ hệ thống sưởi ấm trong khu vực trong suốt mùa đông Bắc Âu. Theo đánh giá, hệ thống đã giúp giảm tới 70% lượng khí thải carbon tại địa phương, đồng thời cắt giảm mạnh lượng dầu và dăm gỗ (hai nguồn nhiên liệu phổ biến trong các hệ thống sưởi truyền thống).

Một yếu tố làm nên thành công vượt trội của các dự án tại Phần Lan chính là lựa chọn vật liệu lưu trữ phù hợp. Thay vì chỉ dùng cát thông thường, các kỹ sư đã chuyển sang sử dụng đá xà phòng nghiền - một phế phẩm từ ngành công nghiệp sản xuất lò sưởi, có khả năng giữ nhiệt tốt hơn và độ bền cao hơn. Đá xà phòng giúp tối ưu hiệu suất truyền - giữ nhiệt, đồng thời phù hợp với triết lý kinh tế tuần hoàn khi biến chất thải thành tài nguyên. Theo Polar Night Energy, hệ thống sử dụng loại vật liệu này có thể giữ lại tới 99% năng lượng nhiệt, với tổn hao chỉ dao động từ 10 đến 15% trong toàn bộ chu trình nạp - xả. Đáng chú ý, vật liệu sử dụng trong mỗi dự án có thể được lựa chọn linh hoạt theo điều kiện địa phương và yêu cầu kỹ thuật của đối tác. Tính linh hoạt này mở ra khả năng nhân rộng mô hình pin cát không chỉ trong khu vực Bắc Âu mà cả ở những nơi có nhu cầu lưu trữ nhiệt cao như Trung Đông, châu Á hay thậm chí là các vùng công nghiệp ở Việt Nam. Từ Kankaanpää đến Pornainen, Phần Lan đã chứng minh rằng, công nghệ không cần

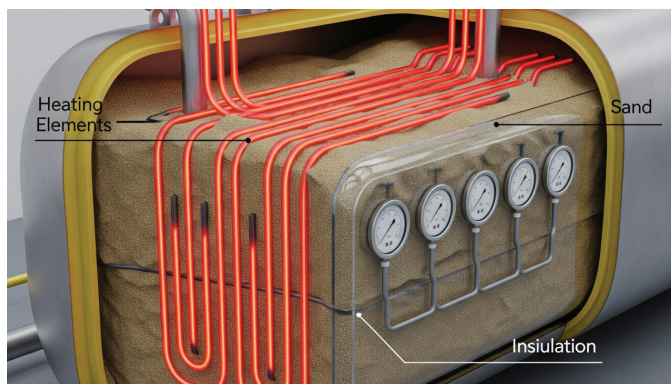
quá phức tạp hay đắt đỏ để tạo ra tác động lớn. Với tầm nhìn chiến lược và cách tiếp cận sáng tạo, quốc gia này đang góp phần định hình lại cách thế giới suy nghĩ về lưu trữ năng lượng - một yếu tố cốt lõi cho thành công của quá trình chuyển dịch xanh toàn cầu.

Tầm nhìn và tiềm năng ứng dụng toàn cầu

Trong bối cảnh toàn cầu đang nỗ lực chuyển dịch sang các nguồn năng lượng tái tạo và phi phát thải, công nghệ pin cát nổi lên như một giải pháp đầy hứa hẹn, thu hút sự quan tâm mạnh mẽ từ các quốc gia phát triển. Từ một sáng kiến khởi nguồn tại Phần Lan, pin cát đang nhanh chóng bước ra khỏi biên giới châu Âu để trở thành đối tượng đầu tư nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi trên quy mô toàn cầu.

Tại Hoa Kỳ, Bộ Năng lượng đã cấp 4 triệu USD cho Dự án thí điểm SandBatteries, được triển khai bởi Phòng thí nghiệm năng lượng tái tạo quốc gia (NREL) tại bang Colorado. Đây là một trong những bước đi cụ thể nhằm đánh giá khả năng ứng dụng pin cát trong hệ thống lưu trữ nhiệt mùa đông cho các vùng có khí hậu lạnh tại Bắc Mỹ. Dự án không chỉ tập trung vào hiệu suất kỹ thuật mà còn thử nghiệm khả năng tích hợp với mạng điện thông minh và các nguồn năng lượng tái tạo như điện gió và điện mặt trời. Châu Âu cũng coi pin cát là một giải pháp chiến lược trong quá trình xây dựng hệ thống năng lượng tái tạo bền vững. Việc bổ sung các mô-đun lưu trữ nhiệt có chi phí thấp, tuổi thọ dài như pin cát vào hệ thống điện giúp khắc phục bài toán mất cân bằng cung - cầu, đặc biệt vào thời điểm điện mặt trời hoặc điện gió dư thừa. Nhờ đó, khả năng tự chủ năng lượng và ổn định lưới điện tại châu Âu được kỳ vọng sẽ nâng cao đáng kể. Với đặc điểm phù hợp tại các quốc gia có mùa đông kéo dài và nhu cầu sưởi ấm lớn, pin cát được dự đoán sẽ sớm có mặt tại những thị trường tiềm năng như Canada, Nhật Bản, Hàn Quốc và các quốc gia Bắc Âu khác.

Trong tương lai, sự kết hợp giữa pin cát với công nghệ trí tuệ nhân tạo (AI) và Internet vạn vật (IoT) sẽ mở ra cơ hội tối ưu hóa chu trình sạc - xả nhiệt, đồng thời linh hoạt phản ứng theo tín hiệu từ thị trường điện và điều kiện thời tiết. Việc tự động hóa quy trình lưu trữ và phân phối năng lượng nhiệt giúp giải phóng phần lớn công suất năng lượng tái tạo đang bị lãng phí, từng bước hướng tới mục tiêu giảm phát thải toàn cầu và phát triển năng lượng sạch một cách toàn diện.



Công nghệ pin cát hiện nay đang được nhiều nước trên thế giới triển khai.

Gợi mở cho Việt Nam và các quốc gia đang phát triển

Mặc dù không có mùa đông kéo dài như các quốc gia ôn đới, Việt Nam và nhiều nước đang phát triển vẫn có thể khai thác tiềm năng của công nghệ pin cát một cách linh hoạt và sáng tạo, phù hợp với điều kiện khí hậu và nhu cầu sử dụng năng lượng đặc thù. Thay vì sử dụng cho mục đích sưởi ấm dân dụng như tại Phần Lan, Việt Nam có thể ứng dụng pin cát vào các ngành công nghiệp cần nhiệt ổn định như chế biến nông sản, sấy gỗ, sản xuất gốm sứ, thực phẩm hoặc sấy khô nông sản sau thu hoạch. Các hệ thống pin cát quy mô vừa và nhỏ có thể được tích hợp vào dây chuyền sản xuất tại các khu công nghiệp hoặc cụm công nghiệp nông thôn, nhằm cung cấp nguồn nhiệt liên tục và ổn định, giảm phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch như than đá, dầu diesel hay gas.

Ngoài ra, tại các vùng núi cao, vùng sâu, vùng xa - nơi lưới điện quốc gia chưa phủ khắp hoặc thiếu ổn định, công nghệ pin cát có thể đóng vai trò như một hình thức "lưu trữ năng lượng mặt trời". Ban ngày, hệ thống hấp thu điện năng từ các tấm pin mặt trời để nung nóng cát; ban đêm, phần nhiệt tích trữ này sẽ được sử dụng để cung cấp nhiệt phục vụ sinh hoạt hoặc sản xuất. Mô hình này đặc biệt phù hợp với các chương trình phát triển nông thôn bền vững, giúp nâng cao mức sống người dân mà không gây áp lực lên lưới điện quốc gia.

Về mặt kinh tế, Việt Nam có lợi thế về nguồn nguyên liệu sẵn có như cát silic, đá xà phòng và các vật liệu chịu nhiệt khác. Đây là yếu tố thuận lợi để từng bước nghiên cứu nội địa hóa công nghệ pin cát, từ đó giảm chi phí đầu tư ban đầu và tạo đà cho phát triển công nghiệp hỗ trợ trong nước. Đồng thời, việc tích hợp công nghệ này vào chiến lược năng lượng tái tạo quốc gia sẽ giúp Việt Nam tiến gần hơn đến mục tiêu trung hòa carbon vào năm 2050.

Hồng Châu - Chiêu Dương