

# Flex Machina: Khai phá toàn bộ tiềm năng của tính linh hoạt trong công nghiệp

Sem Oxenaar and Tom Butler

## Tóm tắt

Điện khí hóa nhiệt là một lộ trình hiện đại hóa quan trọng cho phép ngành công nghiệp tận dụng tối đa nguồn cung cấp điện tái tạo trong nước ngày càng tăng và giảm sự phụ thuộc vào khí đốt nhập khẩu.<sup>1</sup> Tuy nhiên, giá điện cao so với nhiên liệu hóa thạch đang kìm hãm việc áp dụng rộng rãi các công nghệ nhiệt sạch như máy bơm nhiệt, nồi hơi điện và lưu trữ năng lượng nhiệt điện. Trong khi các chính phủ và cơ quan quản lý hành động để giảm giá điện về mặt cấu trúc<sup>2</sup>, ngành công nghiệp có cơ hội đổi mới với các quy trình sưởi ấm của mình, sử dụng các chiến lược hoạt động linh hoạt để cải thiện tình hình kinh doanh ngắn hạn cho điện khí hóa. Bản tóm tắt này đánh giá tiềm năng này và đưa ra các khuyến nghị về cách tốt nhất để tận dụng nó.

Bản tóm tắt này<sup>3</sup> mô tả cách các quy trình công nghiệp nhẹ phổ biến trong các lĩnh vực như thực phẩm và đồ uống, giấy và bột giấy, dệt may và hóa chất, có thể thực hiện điện khí hóa linh hoạt để thay thế quá trình sưởi ấm bằng khí đốt. Nó cho thấy rằng, đối với nhiều quốc gia châu Âu, một mô hình kinh doanh khả thi cho tính linh hoạt trong công nghiệp đòi hỏi giá trị phải được xếp chồng lên nhau, với ngành công nghiệp tận dụng các giai đoạn có giá điện thấp đồng thời cung cấp các dịch vụ hệ thống để kiếm tiền

<sup>1</sup> Rosenow, J., Oxenaar, S., & Pusceddu, E. (2024). *Some like it hot: Moving industrial electrification from potential to practice*. Regulatory Assistance Project. <https://www.raonline.org/knowledge-center/some-like-it-hot-moving-industrial-electrification-from-potential-to-practice/>

<sup>2</sup> Sunderland, L., Pató, Z., Morawiecka, M., & Claeys, B. (2025). *Making electricity cheaper: RAP's eight priority actions*. Regulatory Assistance Project. <https://www.raonline.org/wp-content/uploads/2025/09/rap-sunderland-pato-morawiecka-claeys-eight-priority-actions-september-2025.pdf>

<sup>3</sup>

Các tác giả muốn ghi nhận và bày tỏ sự đánh giá cao của họ đối với những người sau đây đã cung cấp những hiểu biết hữu ích về các thảo luận ban đầu: Marco Giuli (Agora Industry), Elian Pusceddu (Tư vấn độc lập) và Louise Sunderland, Zsuzsanna Pató, Marion Santini và Andreas Jahn từ Dự án Hỗ trợ Quy định.

doanh thu bổ sung. Nghiên cứu điển hình của chúng tôi chứng minh rằng đây là trường hợp ở Đức, nơi giá điện hiện không giảm xuống dưới giá khí đốt đủ thường xuyên để làm cho các khoản đầu tư vào thiết bị sưởi ấm điện hóa linh hoạt trở nên hấp dẫn mà không cần thu hút các dòng giá trị khác (ví dụ: từ các dịch vụ hệ thống linh hoạt). Ở một số ít các quốc gia châu Âu, giá điện đã giảm xuống dưới giá khí đốt thường xuyên đến mức họ có thể phụ thuộc ít hơn vào doanh thu từ các dòng giá trị khác. Nghiên cứu điển hình của chúng tôi cho thấy đây là trường hợp ở Tây Ban Nha, nơi công nghệ sưởi ấm linh hoạt gần như cạnh tranh về chi phí ngay cả khi không có doanh thu bổ sung từ việc cung cấp dịch vụ hệ thống.

Bản tóm tắt này cũng cung cấp các khuyến nghị cho những người ra quyết định về cách thúc đẩy tính linh hoạt trong công nghiệp:

1. Các nhà quản lý nên khuyến khích các nhà cung cấp đưa ra mức thuế chuyển qua chi phí bán buôn thấp cho người tiêu dùng.
2. Các nhà quản lý nên khuyến khích các nhà khai thác hệ thống đưa ra biểu giá mạng theo thời gian sử dụng giúp nhu cầu linh hoạt (chẳng hạn như công nghiệp) tiếp cận giá điện thấp hơn trong thời gian cơ sở hạ tầng lưới điện có nhiều công suất, thay vì phạt nó bằng phí công suất bù trừ.
3. Các nhà quản lý nên đảm bảo rằng các quy tắc tham gia vào thị trường dịch vụ hệ thống cho phép tiếp cận các tài sản công nghiệp và các công cụ tổng hợp của chúng.

Những khuyến nghị chính sách này có thể được ban hành song song với một loạt các cải cách rộng hơn nhằm làm cho điện rẻ hơn và mở khóa điện khí hóa, để củng cố an ninh năng lượng châu Âu.<sup>1</sup>

## Giới thiệu

Điện khí hóa nhiệt công nghiệp bằng năng lượng tái tạo trong nước đã nổi lên như một chiến lược hàng đầu để đảm bảo an ninh năng lượng của ngành công nghiệp châu Âu, đồng thời giải quyết lượng khí thải nhà kính đáng kể của ngành. Các công nghệ có sẵn trên thị trường ngày nay có thể điện khí hóa tới 60% nhiệt quy trình công nghiệp của châu Âu và - giả sử công nghệ phát triển như mong đợi - con số này có thể tăng lên khoảng 90% vào năm 2035.<sup>2</sup>

---

**Despite the high potential, growth in industrial electrification is slow and only 4% of Europe's industrial process heat is currently electrified.<sup>3</sup>**

---

<sup>1</sup> Xem các khuyến nghị trong Rosenow, Oxenaar và Pusceddu, 2024; Sunderland, Pató, Morawiecka và Claeys, 2025

<sup>2</sup> Rehfeldt, M., Bussmann, S., & Fleiter, T. (2024). *Điện khí hóa trực tiếp nhiệt quy trình công nghiệp: Đánh giá công nghệ, tiềm năng và triển vọng tương lai của EU*. Fraunhofer ISI. <https://www.agora-industry.org/publications/direct-electrification-of-industrial-process-heat>

<sup>3</sup> Olikathodi, A. A. (2024). *Power Barometer 2024: Zeroing in on industrial electrification, energy security and decarbonisation*. Eurelectric.

Có hai rào cản lớn đối với sự tiến bộ trong quá trình chuyển đổi từ khí đốt sang điện của ngành: tỷ lệ giá điện trên khí đốt trung bình cao phổ biến ở nhiều quốc gia châu Âu và thời gian dài cho các kết nối công nghiệp với lưới điện.

Trong khi các cải cách dài hạn trên toàn hệ thống đang được phát triển để giải quyết những rào cản này ở cấp độ cấu trúc, cũng có nhu cầu cấp bách là tạo ra các giải pháp sáng tạo để giúp giảm thiểu chúng trong thời gian tới. Tính linh hoạt trong công nghiệp mang lại cơ hội cho các cơ sở tiếp cận giá điện trung bình thấp hơn, giúp giảm thiểu tỷ lệ giá cao. Bản tóm tắt này mô tả các quy trình công nghiệp điện khí hóa có thể linh hoạt như thế nào, các dòng giá trị linh hoạt khác nhau có thể cải thiện trường hợp kinh doanh cho điện khí hóa như thế nào và những thay đổi chính sách và quy định nào là cần thiết để đảm bảo rằng điều này có thể diễn ra. Tiềm năng của điện khí hóa nhiệt linh hoạt được khám phá trong các trường hợp của Tây Ban Nha và Đức trong nghiên cứu điển hình của chúng tôi ở cuối bản tóm tắt này. Nhu cầu công nghiệp linh hoạt cũng có thể giúp giảm thiểu thời gian dài cho các kết nối lưới điện, nhưng chủ đề này không được khám phá trong bài báo này.

## Cách công nghiệp nhẹ có thể triển khai nhiệt điện khí hóa linh hoạt

Khoảng 40% hệ thống sưởi công nghiệp của châu Âu xảy ra ở nhiệt độ dưới 200 °C và thường được cung cấp dưới dạng nước nóng, hơi nước, dầu sưởi hoặc không khí nóng.<sup>7</sup>

Máy bơm nhiệt cỡ công nghiệp có thể cung cấp nhiệt ở nhiệt độ lên đến khoảng 160 °C và hiệu suất cao của chúng khiến chúng rất hấp dẫn đối với các quy trình có yêu cầu sưởi ấm ổn định lớn. Một số loại máy bơm nhiệt có tiềm năng kỹ thuật để vận hành linh hoạt; tuy nhiên, là một công nghệ thâm dụng vốn, máy bơm nhiệt công nghiệp thường ưa chuộng các ứng dụng chạy liên tục, để phân bổ chi phí vốn trong một số giờ hoạt động lớn.

Nồi hơi điện tử và hệ thống lưu trữ năng lượng nhiệt điện (ETES) có thể tạo ra nhiệt ở nhiệt độ cao hơn so với máy bơm nhiệt và vượt trội trong hoạt động linh hoạt.<sup>8</sup> Các công nghệ này thường có chi phí trả trước thấp hơn so với máy bơm nhiệt và có thể không cần sử dụng cao để hoàn vốn đầu tư ban đầu liên quan. Điều này hấp dẫn đối với hệ thống sưởi linh hoạt, có thể liên quan đến thời gian thiết bị được vận hành với tỷ lệ sử dụng thấp.

Trong thực tế, một cơ sở có thể có một loạt các quy trình công nghiệp với các nhu cầu công nghệ khác nhau, có nghĩa là có thể cần kết hợp các công nghệ điện khí hóa - ví dụ: máy bơm nhiệt cho nhu cầu nhiệt tải cơ bản của địa điểm và nồi hơi điện tử hoặc ETES cho các quy trình có nhu cầu nhiệt linh hoạt, cao nhất. Nhiều quy trình phổ biến trong các lĩnh vực công nghiệp nhẹ như thực phẩm và đồ uống, dệt may, giấy và bột giấy, sản xuất và hóa chất có thể được điện khí hóa theo cách này.<sup>9</sup> Để triển khai nhiệt điện một cách linh hoạt, các công ty công nghiệp có thể đưa ra một hoặc nhiều chiến lược sau.

<sup>7</sup> de Boer, R. et al. (2020). *Strengthening industrial heat pump innovation: Decarbonizing industrial heat*. SINTEF Energi AS & TNO & AIT. <https://www.sintef.no/globalassets/sintef-energi/industrial-heat-pump-whitepaper/2020-07-10-whitepaper-ihp-a4.pdf>

8

[https://powerbarometer.eurelectric.org/wp-content/uploads/2024/10/Power-Barometer-2024\\_Full\\_report.pdf](https://powerbarometer.eurelectric.org/wp-content/uploads/2024/10/Power-Barometer-2024_Full_report.pdf)

Rehfeldt, M., Bussmann, S. Fleiter, T., 2024

<sup>9</sup> Madeddu et al. (2020). The CO<sub>2</sub> reduction potential for the European industry via direct electrification of heat supply (Supplementary Material). *Environmental Research Letters*, 15(12): 124004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abbd02>

## Điện khí hóa và điều chỉnh nhu cầu nhiệt

Một cơ sở công nghiệp có kế hoạch áp dụng hệ thống sưởi điện linh hoạt trước tiên nên xem xét liệu hồ sơ nhu cầu nhiệt hiện tại của nó có tiềm năng được điều chỉnh hay không. Theo truyền thống, các quy trình công nghiệp sử dụng nhiên liệu hóa thạch để sưởi ấm đã được lên lịch dựa trên các cân nhắc hoạt động như sự tiện lợi, tích hợp với các quy trình sản xuất khác, tính sẵn có và chi phí lao động. Trong các lĩnh vực công nghiệp nhẹ, nhiều cơ sở có thể đang chạy các quy trình liên tục, trong khi thực tế chúng đang chạy nhiều quy trình tương tự với thời gian bắt đầu so le.

Có hai cách tiếp cận chính để điều chỉnh hồ sơ nhu cầu nhiệt của một khu công nghiệp và chúng có thể được kết hợp. Đầu tiên, các quá trình không liên tục thường có thể được hoãn lại vào một khoảng thời gian khác trong ngày (*ca làm việc*). Thứ hai, biên độ của hồ sơ nhu cầu nhiệt và cửa sổ thời gian của các quy trình có thể được điều chỉnh (*hình dạng*).

### Thay đổi và định hình nhu cầu nhiệt công nghiệp

**Thay đổi:** Các quy trình không liên tục thường có thể bị trì hoãn - chuyển - sang một khoảng thời gian khác trong ngày mà không ảnh hưởng nhiều đến sản xuất ở cấp cơ sở. Bản chất của mỗi quy trình riêng lẻ vẫn không thay đổi. Nguyên tắc này đã được áp dụng phổ biến trong nhiều ngành công nghiệp sử dụng nhiều điện chuyển sản xuất hàng loạt sang thời kỳ điện rẻ hơn. Các quy trình công nghiệp hàng loạt mang lại cơ hội đặc biệt tốt cho tính linh hoạt trong công nghiệp, vì nhu cầu nhiệt của chúng không ổn định và có thể trì hoãn.<sup>10</sup> Ví dụ phổ biến về quy trình hàng loạt trong lĩnh vực công nghiệp nhẹ của Châu Âu bao gồm lên men và nấu ăn trong lĩnh vực thực phẩm và đồ uống, nhuộm và giặt trong lĩnh vực dệt may, tổng hợp hoạt chất trong lĩnh vực dược phẩm, hình thành hóa chất đặc biệt (nhựa và polyme), xử lý bề mặt và sơn trong lĩnh vực ô tô.

**Định hình:** Nhu cầu 'định hình' đề cập đến việc điều chỉnh biên độ của hồ sơ nhu cầu nhiệt, cũng như cửa sổ thời gian của quy trình. Điều này khác với nhu cầu 'thay đổi' đơn giản liên quan đến việc thay đổi lịch trình của một quy trình nhưng không phải trong hồ sơ sưởi ấm của nó. Nhu cầu có thể được định hình trong các khung thời gian ngắn bằng cách tạm thời tăng hoặc giảm tải nhiệt, ví dụ: để đáp ứng các tín hiệu thị trường về đáp ứng tần số hoặc công suất. Ngoài ra, cấu hình sưởi ấm có thể được điều chỉnh trên cơ sở lâu dài hơn, ví dụ: bằng cách tăng cường độ sản xuất tiêu chuẩn và rút ngắn cửa sổ thời gian của quy trình.

<sup>10</sup> Chuyển đổi cũng có thể được sử dụng để quản lý nhu cầu điện cao điểm, bằng cách so le các quy trình trùng hợp thay vì lên lịch trùng khớp. Điều này giúp quản lý thành phần phụ thuộc vào công suất của biểu giá lưới điện và cho phép các địa điểm hoạt động trong giới hạn công suất của thỏa thuận kết nối vật lý và/hoặc kết nối.

## Lắp đặt công nghệ điện để tạo thành hệ thống sưởi ấm hybrid

Hybrid đề cập đến việc giới thiệu các công nghệ sưởi ấm bằng điện song song với các hệ thống sưởi ấm bằng nhiên liệu hóa thạch đã có từ trước. Nhiệm vụ sưởi ấm của một địa điểm có thể được chia sẻ giữa điện và nhiên liệu hóa thạch tùy thuộc vào việc cung cấp nhiệt chi phí thấp nhất tại một thời điểm nhất định. Các địa điểm có hệ thống sưởi ấm bằng điện lai có mức độ linh hoạt cao do khả năng chuyển đổi giữa các nguồn nhiệt, giảm hoặc tăng mức tiêu thụ điện khi cần thiết.

Các lĩnh vực công nghiệp nhẹ như thực phẩm và đồ uống, giấy và bột giấy, dệt may, hóa chất, thường cung cấp nhiệt cho các quy trình của họ dưới dạng hơi nước. Thường thì các địa điểm này sẽ có một nồi hơi tập trung được đốt bằng nhiên liệu hóa thạch tạo ra hơi nước và phân phối nó đến các quy trình khác nhau trên khắp địa điểm thông qua đường ống. Các hệ thống này thường phù hợp về mặt kỹ thuật để lai hóa và các công nghệ điện khí hóa như nồi hơi điện tử hoặc ETES có thể kết nối trực tiếp với hệ thống phân phối hơi nước và bổ sung cho việc tạo hơi nước của nồi hơi hiện tại, thường không gây ra nhiều gián đoạn.

Mặc dù điều này không thay thế hoàn toàn việc sử dụng nhiên liệu hóa thạch, nhưng quá trình lai tạo có thể cung cấp một bước đệm để điện khí hóa hoàn toàn và cho phép một số địa điểm bị hạn chế điện khí hóa một phần nhiệt của chúng trong thời gian tạm thời. Để tránh bị khóa sự phụ thuộc vào khí đốt, hệ thống sưởi ấm lai phải được tự do chuyển từ khí đốt sang điện khí hóa hoàn toàn ngay khi kinh tế hoặc hạn chế lưới điện cho phép. Trong ví dụ được mô tả ở trên, khi các công nghệ sưởi ấm bằng điện linh hoạt được tích hợp vào hệ thống phân phối hơi nước, các tài sản đốt khí đốt có sẵn ngày càng trở nên dư thừa khi điện trở nên rẻ hơn và tỷ trọng sưởi ấm điện khí hóa cạnh tranh về chi phí tăng lên.

## Lắp đặt bộ lưu trữ nhiệt năng

Sự ra đời của môi trường lưu trữ năng lượng tạo cơ hội tách nhu cầu nhiệt của quy trình khỏi giá điện lưới và do đó kéo dài phạm vi giờ khi sưởi ấm bằng điện có thể thay thế kinh tế hệ thống sưởi dựa trên nhiên liệu hóa thạch. Công nghệ lưu trữ nhiệt được ngành công nghiệp đặc biệt quan tâm, vì nhiệt thường là dạng năng lượng rẻ hơn để lưu trữ điện và nó cũng là dạng năng lượng mà các quy trình công nghiệp yêu cầu. ETES là một công nghệ sử dụng điện để tạo ra nhiệt, sau đó có thể được lưu trữ bằng cách sử dụng các vật liệu giữ nhiệt tốt.<sup>11</sup>

Trong thời kỳ giá điện thấp, hệ thống ETES có thể tạo ra nhiệt và lưu trữ nhiệt. Trong thời kỳ giá điện tăng cao hơn giá khí đốt, sưởi ấm bằng khí đốt thường sẽ rẻ hơn điện; tuy nhiên, ETES

### Suy nghĩ trước

Các địa điểm hiện đang bị hạn chế lắp đặt máy bơm nhiệt nhưng cuối cùng có ý định sử dụng chúng làm nguồn sưởi ấm chính có thể tối ưu hóa thiết kế của hệ thống sưởi ấm hỗn hợp tạm thời của họ để các công nghệ sưởi ấm linh hoạt tiếp tục mang lại giá trị trong các cấu hình trong tương lai.

Vì máy bơm nhiệt thường có kích thước để đáp ứng mức nhu cầu nhiệt không đổi (thay vì kích thước cho nhu cầu nhiệt cao nhất của địa điểm), các công nghệ điện khí hóa linh hoạt có thể cung cấp hệ thống sưởi bổ sung thường bổ sung.

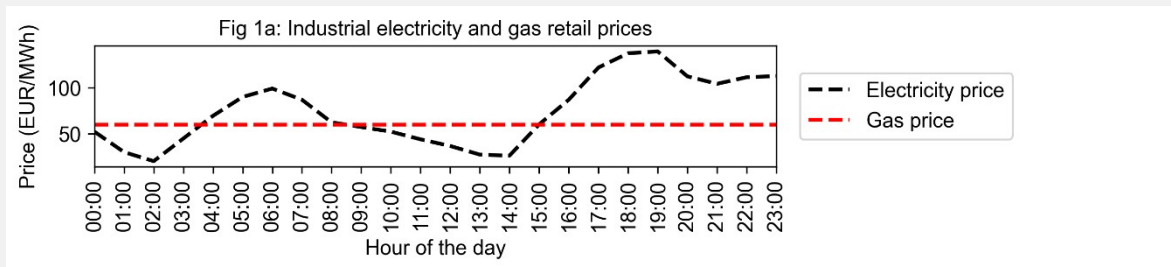
cung cấp lựa chọn thứ ba - giải phóng nhiệt dự trữ trước đây được tạo ra bằng điện giá rẻ. Do đó, ETES có thể tăng số giờ khí đốt được thay thế bằng một hình thức sưởi ấm rẻ hơn.

## Minh họa việc điều phối linh hoạt của hệ thống sưởi điện

Hình 1a, 1b, 1c và 1d minh họa cách một khu công nghiệp có lò hơi đốt khí có thể linh hoạt điều động thiết bị sưởi ấm điện khí để tận dụng điện giá rẻ.

**Hình 1a** Mô tả giá khí đốt và điện trong khoảng thời gian 24 giờ ở Tây Ban Nha. Vào sáng sớm và giữa ngày, giá điện giảm xuống dưới giá khí đốt.

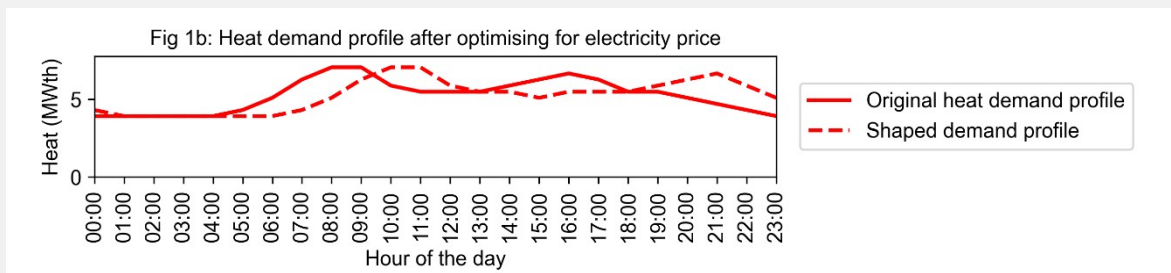
**Hình 1a. Giá bán lẻ điện và khí công nghiệp**



**Hình 1b** trình bày hồ sơ nhu cầu nhiệt minh họa của một địa điểm trong một cơ sở công nghiệp nhẹ,

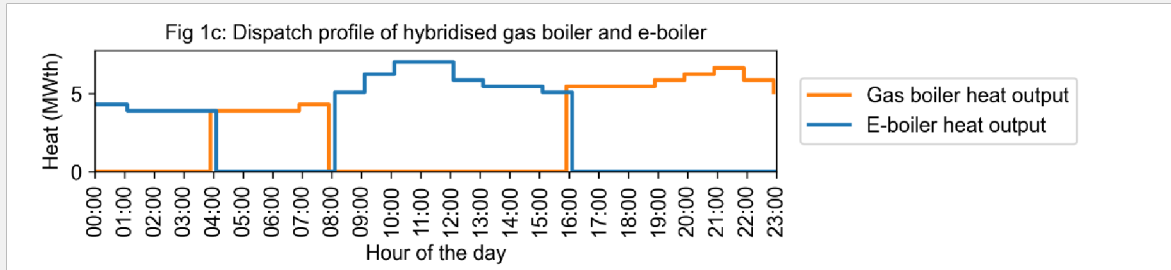
ví dụ: một nhà sản xuất thực phẩm và đồ uống. Một nồi hơi gas tập trung được giả định để tạo ra hơi nước và nước nóng để đáp ứng toàn bộ nhu cầu nhiệt của địa điểm. Hình 1b cũng cho thấy một phiên bản điều chỉnh của hồ sơ nhu cầu nhiệt có thể trông như thế nào. Trong ví dụ này, đỉnh nhu cầu buổi sáng được dịch chuyển để trùng với giai đoạn định giá âm ('shift') trong khi đỉnh nhu cầu vào đầu buổi tối được làm phẳng và chuyển sang buổi tối muộn ('hình dạng'), giảm tiếp xúc với giai đoạn giá điện cao.

**Hình 1b. Nhu cầu nhiệt sau khi tối ưu giá điện**



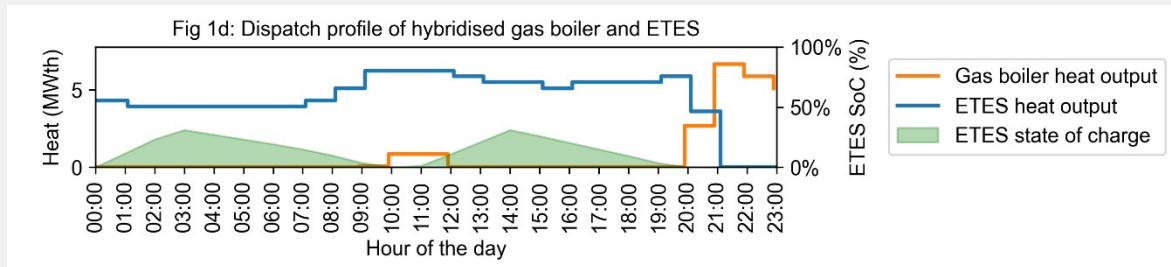
**Hình 1c** cho thấy điều gì có thể xảy ra nếu một nồi hơi điện tử được đưa vào địa điểm như một phần của hệ thống sưởi ấm hỗn hợp. Trong thời gian giá điện rẻ hơn khí đốt, nồi hơi điện tử được điều động để đáp ứng nhu cầu nhiệt của địa điểm và nồi hơi gas có thể hoạt động không tải.

**Hình 1c. Điều phối của nồi hơi khí lai và nồi hơi điện tử**



**Hình 1d** minh họa cách ETES có thể được vận hành tại địa điểm như một phần của hệ thống sưởi ấm lai. Mô hình của chúng tôi được thiết kế để chỉ điều động ETES theo cách giảm thiểu chi phí vận hành. Trong thời gian điện rẻ hơn khí đốt, ETES tạo ra nước nóng / hơi nước trực tiếp từ điện đồng thời sạc đầy kho lưu trữ nhiệt của nó. Trong những giờ điện đắt hơn khí đốt, ETES bắt đầu xả kho lưu trữ nhiệt của nó. Trong khoảng thời gian 24 giờ này, ETES gần như thay thế hoàn toàn nồi hơi gas của địa điểm.

**Hình 1d. Điều phối của nồi hơi khí lai và ETES**



## Tạo ra giá trị thông qua tính linh hoạt

Để ngành công nghiệp đầu tư vào các công nghệ điện cung cấp nhiệt linh hoạt, trước tiên phải có một trường hợp kinh doanh khả thi để làm như vậy. Gửi hệ thống sưởi điện trong thời kỳ rẻ hơn so với nhiên liệu hóa thạch là một ví dụ về dòng giá trị linh hoạt. Sự thay đổi về giá điện được thúc đẩy bởi sự biến động của chi phí bán buôn điện và biểu giá mạng, trong khi chi phí tổng thể cũng bị ảnh hưởng bởi thỏa thuận kết nối của khu công nghiệp.

Các nhà khai thác hệ thống cũng có thể trực tiếp mua được sự linh hoạt thông qua thị trường dịch vụ hệ thống.

## Tiếp cận các giai đoạn giá bán buôn điện thấp

Nhiều quốc gia châu Âu đang trải qua sự gia tăng giá bán buôn thấp, và thậm chí âm, trên thị trường giao ngay của họ.<sup>12</sup> Hệ thống sưởi điện linh hoạt cho phép người tiêu dùng tận dụng

những giai đoạn chi phí thấp này, chuyển sang sử dụng nhiệt điện bất cứ khi nào giá điện đủ thấp so với khí đốt.

Ngành công nghiệp không phải đối mặt với các giai đoạn giá điện thấp theo mặc định và thường sử dụng các hợp đồng giá cố định hoặc hợp đồng mua sắm có cấu trúc mua khối lượng điện theo từng khối, cung cấp giá trung bình ổn định thay vì phản ánh giá giao ngay tại một thời điểm nhất định. Điều này có nghĩa là nhà cung cấp điện thay mặt ngành quản lý rủi ro mua sắm và giá, điều này có lợi ích - nhưng nó cũng làm giảm giá trị của nhu cầu linh hoạt. Để nắm bắt các giai đoạn giá thấp hoặc âm, ngành công nghiệp cần tiếp cận các hợp đồng với giá gắn với thị trường giao ngay. Điều này có thể được sắp xếp dưới dạng hợp đồng kết hợp trong đó một lượng điện được mua theo một thỏa thuận giá cố định để đáp ứng nhu cầu phụ tải cơ bản của một địa điểm, trong khi nhu cầu linh hoạt còn lại sử dụng hợp đồng với giá liên kết với thị trường giao ngay.

### Khuyến nghị

- Các cơ quan quản lý chưa chuyển đổi đầy đủ Điều 11 của Chỉ thị Thị trường Điện và đưa ra các khuôn khổ để cho phép các nhà cung cấp cung cấp biểu giá bán buôn động, nên ưu tiên hàng đầu.<sup>13</sup> Các nhà cung cấp có thể được khuyến khích thiết kế biểu giá theo cách chuyển giá bán buôn thấp cho người tiêu dùng thay vì nội bộ hóa chúng bằng giá sàn (giới hạn thấp hơn về giá điện). Hiện tại có một số tiền lệ hạn chế để làm điều này; tuy nhiên, một số nhà cung cấp Bắc Âu đã trải qua mức giá âm.

## Biểu giá mạng chênh lệch theo thời gian

Biểu giá mạng được phân biệt dựa trên mức điện áp (tức là kết nối trên mạng phân phối hay mạng truyền tải) và thường chứa hai thành phần. Thành phần thể tích phản ánh lượng điện được lấy từ lưới điện (kWh) trong khi thành phần dựa trên công suất phản ánh nhu cầu điện tối đa (kW) của người tiêu dùng trong một khung thời gian nhất định. Thành phần thể tích khuyến khích giảm nhu cầu chung và thành phần dựa trên công suất khuyến khích người dùng cuối giảm nhu cầu cao điểm của họ mọi lúc.

<sup>12</sup>

ACER. (2025). *Key developments in European electricity and gas markets (2025 Monitoring Report)*. ACER. [https://www.acer.europa.eu/monitoring/MMR/electricity\\_gas\\_key\\_developments\\_2025](https://www.acer.europa.eu/monitoring/MMR/electricity_gas_key_developments_2025)

<sup>13</sup>

Sina, S., Dengler, F., Faber, R., Kocher, D., Pumberger, M., de la Vega, R. & Niewitala-Rej, M. (2024). *Analysis of the implementation of EU provisions for the clean energy transition in selected Member States*. Ecologic Institute. <https://www.ecologic.eu/sites/default/files/publication/2024/50153-Implementation-EUProvisions-for-the-Clean-Energy-Transition-Final-Report.pdf>

Mặc dù thành phần dựa trên công suất rất hữu ích để quản lý tải trong giờ cao điểm, nhưng nó phạt các phụ tải linh hoạt lớn muốn lấy điện trong thời gian lưới điện không được sử dụng hết. Các phụ tải thúc đẩy nhu cầu cao điểm đòi hỏi phải phát triển nhiều cơ sở hạ tầng hơn, điều này làm tăng chi phí, trong khi các phụ tải linh hoạt có thể tránh giờ cao điểm của lưới điện có thể hoạt động trong giới hạn của lưới điện và không yêu cầu công suất bổ sung. Thiết kế chính của biểu giá mạng không phân biệt giữa hai kịch bản này - tải thấp điểm có thể phải đối mặt với các khoản phí dựa trên thể tích và công suất giống như tải tiêu thụ cùng một công suất trong giờ cao điểm của lưới điện.

Các quốc gia ngày càng cập nhật cấu trúc của các thành phần biểu giá mạng dựa trên thể tích và/hoặc dung lượng của họ để phản ánh thời gian sử dụng. Biểu giá theo thời gian sử dụng phản ứng với mức công suất sẵn có trên lưới điện, tăng trong thời gian cao điểm và giảm khi có nhiều công suất hơn.<sup>14</sup> Giá cả có thể là tĩnh; có thể thay đổi tùy theo các khối thời gian được thiết lập trước (mùa, ngày, giờ); hoặc có thể được đặt động hơn gần với thời gian thực, để phản ánh tốt hơn các điều kiện hệ thống. Hình 2 minh họa cách một phụ tải linh hoạt có thể chuyển một phần nhu cầu của nó sang một giai đoạn có giá thấp trong khi sử dụng biểu giá theo thời gian sử dụng.

## Biểu giá mạng chênh lệch theo thời gian ở Tây Ban Nha và Đức

Tây Ban Nha có các thành phần thời gian sử dụng trong cả thành phần thể tích và công suất của biểu giá mạng ở cả cấp độ truyền tải và phân phối, phân biệt giữa giờ cao điểm/thấp điểm hàng ngày, tuần/cuối tuần và thời gian sử dụng theo mùa.<sup>14</sup>

Biểu giá lưới điện hiện tại của Đức không khuyến khích mạnh mẽ các hoạt động linh hoạt bằng cách giảm giá ưu đãi 90% cho những người dùng duy trì cùng công suất tải trong hơn 7.000 giờ mỗi năm. Các cuộc thảo luận đang được tiến hành để thực hiện định giá theo thời gian sử dụng ở Đức.<sup>15</sup> Việc triển khai dự kiến sẽ không được thực hiện trước năm 2029 và sẽ chỉ áp dụng cho người tiêu dùng được kết nối với hệ thống truyền tải điện cao áp.

<sup>14</sup>

ACER. (2025). *Getting the signals right: electricity tariff methodologies in Europe*. [www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Publications/2025-ACER-Electricity-Network-Tariff-Practices.pdf](http://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Publications/2025-ACER-Electricity-Network-Tariff-Practices.pdf)

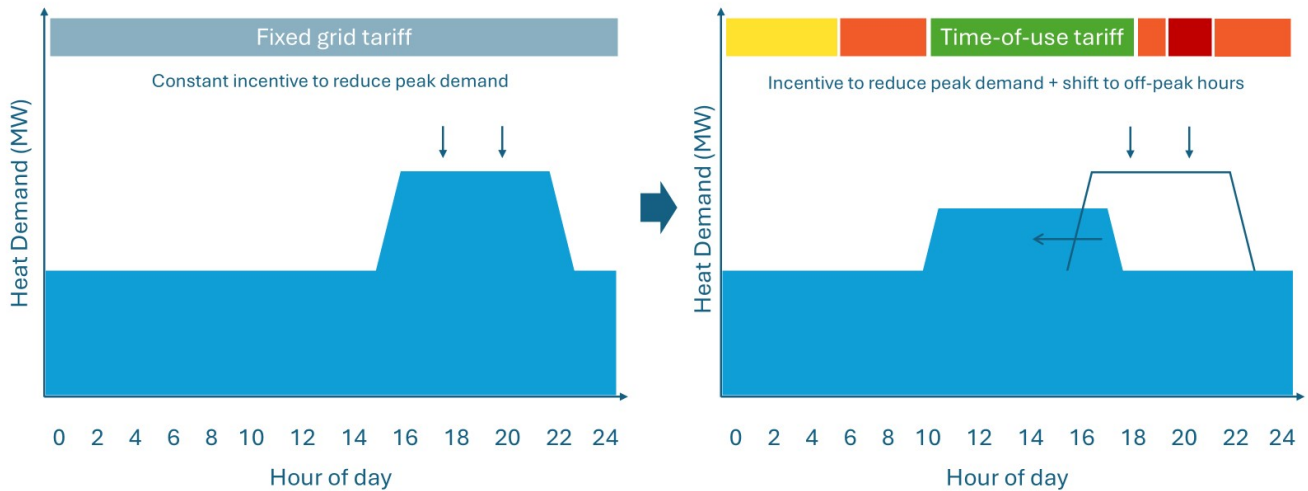
<sup>15</sup>

BundesNetzagentur. (2025). *Dynamische Netzentgeltkomponente: Orientierungspunkte der BNetzA*. [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Beschlusskammern/GBK/GBK\\_Termine/Downloads/2026/01\\_2026/14.01./AqNes\\_Orientierungspunkte\\_Dynamisierung.pdf?blob=publicationFile&v=2](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Beschlusskammern/GBK/GBK_Termine/Downloads/2026/01_2026/14.01./AqNes_Orientierungspunkte_Dynamisierung.pdf?blob=publicationFile&v=2)

<sup>16</sup>

Các giai đoạn lưới điện thấp điểm thường có thể trùng lặp với giá bán buôn thấp, dẫn đến các giai đoạn có giá bán lẻ điện rất thấp cho người tiêu dùng.

**Hình 2: Hình minh họa chuyển tải sang giữa trưa để đáp ứng với khoảng thời gian chi phí thấp đối với biểu giá theo thời gian sử dụng**



### Khuyến nghị

1. Các nhà khai thác hệ thống có thể thiết kế biểu giá mạng của họ để phản ánh linh hoạt các ràng buộc và tránh phạt các tải tận dụng công suất lưới điện có sẵn trong thời gian lưới điện thấp điểm. Các thành phần biểu giá mạng khác biệt theo thời gian có thể được xem xét vì chúng giúp chuyển tải ra khỏi các giai đoạn tắc nghẽn mà không chặn tải linh hoạt trong thời gian nhu cầu thấp.
2. Các cơ quan quản lý có thể xem xét cung cấp cho các nhà khai thác hệ thống khả năng cung cấp phí mạng thuận lợi (ví dụ: giảm giá trong thời gian thấp điểm) cho các tải linh hoạt được chứng nhận hoạt động trong các ràng buộc đã thỏa thuận. Họ nên phát triển một phương pháp để chứng nhận tính linh hoạt, có khả năng dựa trên khả năng kiểm soát tải, duy trì đủ tính khả dụng và cung cấp phản hồi kịp thời - điều này sẽ tương tự như cách mà máy phát điện được chứng nhận. ACER và Ủy ban Châu Âu có thể phát triển hướng dẫn cấp EU về chủ đề này.

## Tiếp cận các thỏa thuận kết nối linh hoạt

Quy định của EU yêu cầu các cơ quan quốc gia thiết lập các khuôn khổ cho phép các nhà khai thác hệ thống đưa ra các thỏa thuận kết nối linh hoạt.<sup>19</sup> Thỏa thuận kết nối linh hoạt cho phép một người sử dụng điện lớn kết nối với lưới điện với điều kiện một phần công suất của họ là không chắc chắn, có nghĩa là một phần công suất kết nối có thể bị cắt giảm trong các điều kiện xác định trước. Trên thực tế, điều này có nghĩa là địa điểm đồng ý giảm hoặc hạn chế nhu cầu điện trong thời gian lưới điện bị tắc nghẽn. Cơ sở có thể đồng ý một hình thức bồi thường để đổi lấy ràng buộc này, chẳng hạn như giảm phí mạng. Các thỏa thuận kết nối linh hoạt có thể được xếp lớp trên một kết nối công ty hiện có, đảm bảo rằng các hoạt động quan trọng hoặc không linh hoạt vẫn được bảo vệ.

### Thỏa thuận kết nối linh hoạt tại Hà Lan

Hà Lan đã sớm áp dụng các thỏa thuận kết nối linh hoạt, thử nghiệm chúng trong nỗ lực quản lý tắc nghẽn lưới điện nghiêm trọng trong thời gian tới. Cơ quan quản lý Hà Lan đã phê duyệt ba loại thỏa thuận kết nối linh hoạt: <sup>17</sup> i) thỏa thuận hoàn toàn linh hoạt ở cấp độ truyền tải và phân phối; ii) thỏa thuận linh hoạt một phần về lưới điện truyền tải (>110 kV); <sup>18</sup> và iii) thỏa thuận linh hoạt một phần, dựa trên khung thời gian trên lưới điện phân phối (<110 kV).

### Khuyến nghị

- Các chính phủ và cơ quan quản lý quốc gia nên cho phép các nhà khai thác hệ thống cung cấp các mô hình kết nối linh hoạt cho các dự án có thể giảm thiểu tắc nghẽn một cách rõ ràng. Điều này sẽ cho phép một số dự án linh hoạt nhất định nhận được kết nối lưới điện tăng tốc và / hoặc giảm hoặc hoãn phí kết nối để đổi lấy các cam kết giảm tải trong thời gian tắc nghẽn và tham gia vào các chương trình linh hoạt tại địa phương. Những lợi ích này có thể dựa trên hiệu suất, với các hình phạt nếu các nghĩa vụ không được đáp ứng. Các cơ quan quản lý sẽ chịu trách nhiệm phê duyệt phương pháp luận xung quanh việc giảm phí dựa trên hiệu suất, trong khi các nhà vận hành hệ thống sẽ được yêu cầu thực hiện quy trình kết nối tăng tốc và giám sát việc tuân thủ.

## Tham gia vào các dịch vụ hệ thống

Hệ thống sưởi điện linh hoạt có thể tạo ra giá trị bổ sung thông qua việc cung cấp các dịch vụ hệ thống như cân bằng và quản lý tắc nghẽn. Tải sưởi điện lớn rất phù hợp cho các dịch vụ lưới điện vì chúng thường có thể phản ứng nhanh hơn máy phát nhiệt. Một nghiên cứu gần đây xem xét các ứng dụng công nghiệp sử dụng nhiều năng lượng cho thấy một số lĩnh vực có thể kiếm được

<sup>17</sup> Overheid.nl. (2025). *Mã điện lưới*. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0037940/2025-12-01>

<sup>18</sup> Đối với các thỏa thuận linh hoạt một phần về lưới điện truyền tải, thành phần phí công suất của biểu giá được miễn với điều kiện công suất kết nối của trang web có thể bị hạn chế trong một số giờ đã thỏa thuận (tối đa 15% số giờ trong một năm). Giá trị của chiết khấu có thể giảm tới 65% tổng chi phí mạng. Các trang web được thông báo rằng dung lượng kết nối của họ sẽ bị hạn chế trước 24 giờ. TenneT. (2025). *Thỏa thuận vận chuyển có thời hạn*. <https://www.tennet.eu/nl-en/node/3850>

<sup>19</sup> European Parliament & Council of the European Union. (2024). *Directive (EU) 2024/1711 of 13 June 2024 amending Directives (EU) 2018/2001 and (EU) 2019/944 as regards improving the Union's electricity market design*. Official Journal of the European Union, L 2024/1711. <https://eurlex.europa.eu/eli/dir/2024/1711/oj/eng>

Nguồn thu nhập bổ sung đáng kể bằng cách cung cấp việc sử dụng điện linh hoạt cho lưới điện.

<sup>20</sup> Các lĩnh vực được xác định là có tiềm năng linh hoạt mạnh mẽ, chẳng hạn như xi măng và giấy, có tiềm năng kiếm tiền ước tính khoảng 300.000 euro mỗi năm cho mỗi MW điện linh hoạt mà họ có thể cung cấp. Các địa điểm linh hoạt nhất là những địa điểm có thể điều chỉnh điện năng của họ một cách nhanh chóng và đáng tin cậy để đáp ứng nhu cầu của lưới điện. Giá trị chính xác của các dịch vụ hệ thống đối với một địa điểm phụ thuộc nhiều vào vị trí và lĩnh vực công nghiệp.

Đáp ứng nhu cầu công nghiệp được công nhận hợp pháp theo luật của EU; tuy nhiên, khả năng tiếp cận không đồng đều giữa các quốc gia thành viên. Pháp và Bắc Âu có cách tiếp cận tương đối tiên tiến để đáp ứng nhu cầu công nghiệp, trong khi các quốc gia thành viên ở Nam và Đông Âu thường có sự tham gia công nghiệp tối thiểu. <sup>21</sup>

## Khuyến nghị

1. Các quy tắc tham gia vào thị trường dịch vụ hệ thống không nên loại trừ các nguồn lực linh hoạt từ phía cầu như hệ thống sưởi điện công nghiệp, đặc biệt là đối với việc xử lý giá thầu và ngưỡng không đối xứng về quy mô giá thầu (xem hộp bên dưới). <sup>22</sup>
2. Ủy ban châu Âu có thể xem xét bắt buộc phát triển các tiêu chuẩn dữ liệu để đo lường phụ sản xuất nhiệt và tiêu thụ điện trên các tài sản phía cầu như sưởi ấm công nghiệp. <sup>23</sup> Các địa điểm có đo lường phụ sẽ có thể chia sẻ dữ liệu với các nhà tổng hợp và vận hành hệ thống được cấp phép (TSO/DSO) để đổi lấy quyền truy cập vào thị trường linh hoạt (với các biện pháp bảo vệ dữ liệu tại chỗ). Đo lường phụ có thể được đưa vào như một điều kiện để nhận tài trợ theo các chương trình hỗ trợ quốc gia, vì khả năng hiển thị tốt hơn về việc sử dụng điện có thể khuyến khích người tiêu dùng vận hành tài sản một cách linh hoạt, thân thiện với hệ thống.

<sup>20</sup> smartEn & Compass Lexecon. (2025). *The business case for flexibility provision in energy-intensive industries: Technical and economic assessment for the EU in 2030*. <https://smarten.eu/reports/the-business-case-for-flexibility-provision-in-energy-intensive-industries/>

<sup>21</sup> smartEn. (2026). Europe's demand-side flexibility reality check: The 2025 Market Monitor and 2025 smartEn Map. <https://smarten.eu/news/europes-demand-side-flexibility-reality-check-the-2025-market-monitor-and-2025-smarten-map/>

<sup>22</sup> NRA sẽ được yêu cầu phê duyệt các thông số kỹ thuật của sản phẩm đã sửa đổi và đảm bảo không phân biệt đối xử giữa thể hệ và nhu cầu. Các TSO và DSO có thể được khuyến khích xuất bản các hướng dẫn rõ ràng về đáp ứng nhu cầu để tham gia vào các quy trình sơ tuyển trung lập với công nghệ được tiêu

chuẩn hóa (các quy trình hiện tại được thiết kế cho máy phát điện - không phải tải). Các yếu tố của các phương pháp cơ sở hiện có cho các đường cơ sở đáp ứng nhu cầu (ví dụ: hệ thống NEBEF của Pháp và trong PJM) có thể được sử dụng để hướng dẫn một quy trình hài hòa. Vấn đề này có thể sẽ được giải quyết một phần trong Bộ luật Mạng lưới Đáp ứng Nhu cầu sắp tới.

23

Các khung dữ liệu tương tự đã tồn tại cho đo lường thông minh, EV và trao đổi dữ liệu máy phát điện; nhiệt công nghiệp là một trong số ít các thiết bị đầu cuối điện lớn, linh hoạt mà không có khung dữ liệu cấp EU được tiêu chuẩn hóa.

## Tiêu chí sơ tuyển cung cấp dịch vụ hệ thống

Trên thực tế, các tài sản công nghiệp thường bị chặn tham gia vào thị trường dịch vụ hệ thống do những hạn chế của các quy tắc được thiết kế với máy phát nhiệt:

1. Quy mô đấu thầu tối thiểu cho một khu công nghiệp riêng lẻ cố gắng tham gia vào thị trường cân bằng thường quá lớn (nhiều MW).
2. Một số sản phẩm dịch vụ phụ trợ yêu cầu đấu thầu đối xứng, tức là khả năng tài sản tăng và giảm tải với cùng một lượng nếu được yêu cầu. Đạt được sự đối xứng này có thể là một thách thức đối với hệ thống sưởi công nghiệp, nơi giảm tải thường được ưu tiên.
3. Các quy trình sơ tuyển trước đây đã được thiết kế cho máy phát điện và tải công nghiệp có thể cần được xác nhận theo cách khác, có khả năng liên quan đến các quy trình phê duyệt phức tạp và kéo dài.
4. Để đo lường đáp ứng nhu cầu đối với một số dịch vụ hệ thống nhất định, một cơ sở phải thiết lập một đường cơ sở về nhu cầu. Các phương pháp cơ sở rõ ràng rất quan trọng đối với những người tham gia công nghiệp để hiểu mức doanh thu có thể xảy ra và giúp giải quyết bất kỳ tranh chấp nào. Rất ít quốc gia thành viên đã thiết lập các quy tắc cơ bản rõ ràng có thể dễ dàng thực hiện bởi ngành công nghiệp.

Điều quan trọng là những rào cản này phải được vượt qua thông qua cải cách quy định để mở khóa toàn bộ giá trị linh hoạt của ngành. Các công cụ tổng hợp bên thứ ba có thể giúp ngành điều hướng sự phức tạp của việc tham gia vào thị trường linh hoạt bằng cách quản lý một phần tài sản của ngành.

## Nghiên cứu điển hình: Khám phá giá trị của nhiệt điện khí hóa linh hoạt ở Tây Ban Nha và Đức

Để khám phá trường hợp kinh doanh hiện tại cho điện khí hóa nhiệt linh hoạt, chúng tôi ước tính thời gian hoàn vốn đầu tư cho hệ thống sưởi ấm điện-khí hybrid ở Tây Ban Nha và Đức. Cả hai quốc gia này đều có chênh lệch giá điện bán buôn ngày càng tăng và nhu cầu dịch vụ hệ thống ngày càng tăng, điều này làm cho tính linh hoạt trong công nghiệp trở thành một cơ hội thú vị để khám phá.

Chúng tôi đã đưa ra các giả định sau trong mô hình của mình:

1. Phân tích của chúng tôi đã mô hình hóa một khu công nghiệp cỡ trung điển hình với nồi hơi đốt khí tập trung và hệ thống phân phối hơi nước, phản ánh rộng rãi hệ thống sưởi ấm sơ cấp có mặt tại nhiều cơ sở sản xuất nhẹ của Châu Âu.

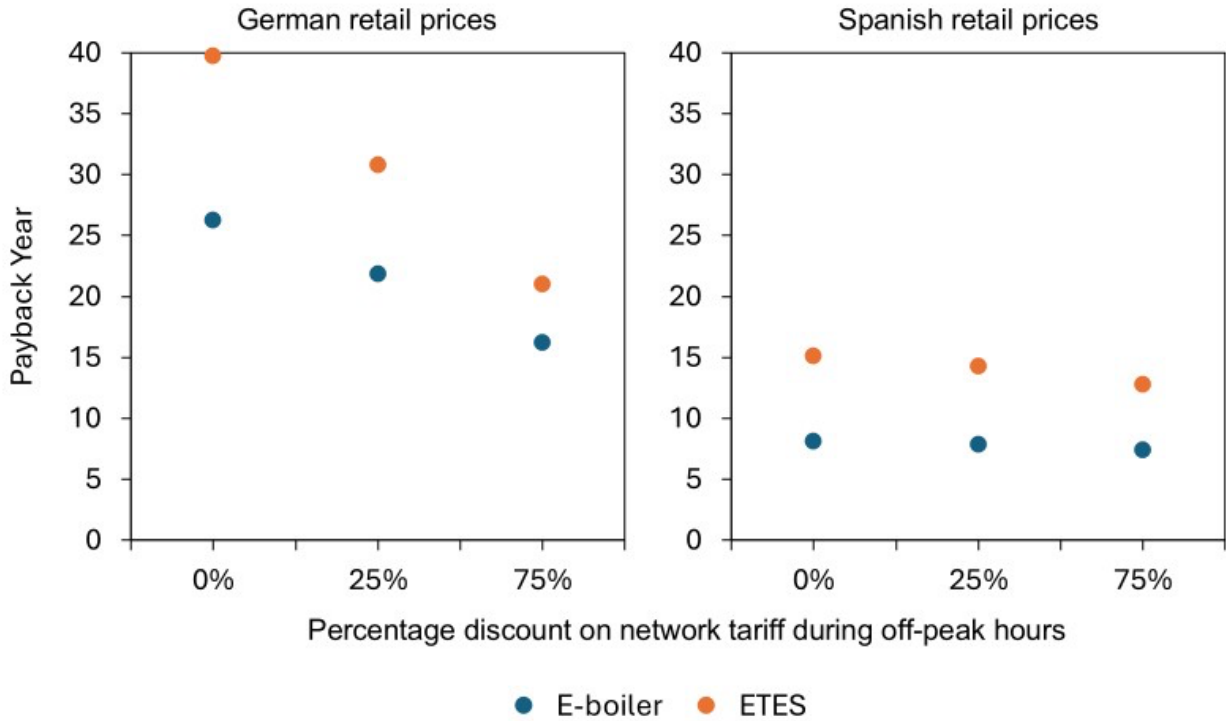
2. Hai hệ thống sưởi ấm điện-khí lai linh hoạt đã được mô hình hóa: một nồi hơi điện tử và một hệ thống ETES. Chúng tôi đã chọn mô hình hóa một hệ thống hybrid giả định rằng địa điểm được mô hình hóa hiện đang bị hạn chế trong việc điện khí hóa hoàn toàn (do các hạn chế về kinh tế và / hoặc lưới điện) nhưng muốn đạt được tiến bộ trong việc điện khí hóa một phần hệ thống sưởi của nó.<sup>24</sup>
3. Chúng tôi đã mô hình hóa việc điều động một nồi hơi điện tử và ETES tương ứng với giá điện trong ngày, với nhiệm vụ sưởi ấm của địa điểm chuyển đổi giữa khí đốt và điện tùy thuộc vào việc loại nào cung cấp nhiệt chi phí thấp nhất tại một thời điểm nhất định.<sup>25</sup>
4. Là một proxy cơ bản cho biểu giá mạng theo thời gian sử dụng, chúng tôi đã áp dụng chiết khấu % cho biểu giá mạng cố định trong giờ lưới điện thấp điểm.
5. Một trình tối ưu hóa đã được sử dụng để tìm dung lượng lưu trữ ETES mang lại lợi tức đầu tư tốt nhất cho kịch bản được mô hình hóa cụ thể này.
6. Phân tích không ước tính doanh thu bổ sung có thể kiếm được thông qua việc cung cấp các dịch vụ hệ thống.

Hình 3 cho thấy năm hoàn vốn ước tính của một khoản đầu tư vào nồi hơi điện tử và hệ thống ETES được mô hình hóa. Đối với Đức, mô hình của chúng tôi cho thấy rằng lợi nhuận dự kiến là quá cao đối với cả hai công nghệ. Việc thực hiện biểu giá mạng theo thời gian sử dụng giúp cải thiện trường hợp kinh doanh; tuy nhiên, ngay cả với các biện pháp này, lợi tức đầu tư vẫn thấp. Trong dữ liệu giá được sử dụng cho mô hình này, điện rẻ hơn khí đốt ở Tây Ban Nha gần gấp đôi so với ở Đức, dẫn đến các khoản đầu tư có thời gian hoàn vốn nhanh hơn, đặc biệt là đối với hệ thống có nồi hơi điện tử.

Tình trạng này khá phổ biến trên khắp các khu công nghiệp nhẹ của Châu Âu và nhiều dự án điện khí hóa công nghiệp ban đầu đã chọn duy trì một số hệ thống sưởi đốt hóa thạch hiện có của họ trong thời gian tới để linh hoạt trong hoạt động, tối ưu hóa chi phí vận hành và giảm thiểu bất kỳ mối lo ngại nào về độ tin cậy của các nhà quản lý không quen thuộc với công nghệ điện khí hóa. Một số địa điểm có thể có kế hoạch sử dụng máy bơm nhiệt trong tương lai để đáp ứng nhu cầu nhiệt tải cơ bản không đổi trong khi sử dụng công nghệ điện khí hóa linh hoạt để đạt đỉnh.

Để mô phỏng các biến động hàng giờ trong giá bán buôn điện, dữ liệu giá lịch sử của Đức và Tây Ban Nha từ tháng 10 năm 2024 đến tháng 9 năm 2025 đã được sử dụng. (EnergyPrice\_12.1.D\_r3) được truy cập từ <https://transparency.entsoe.eu/>

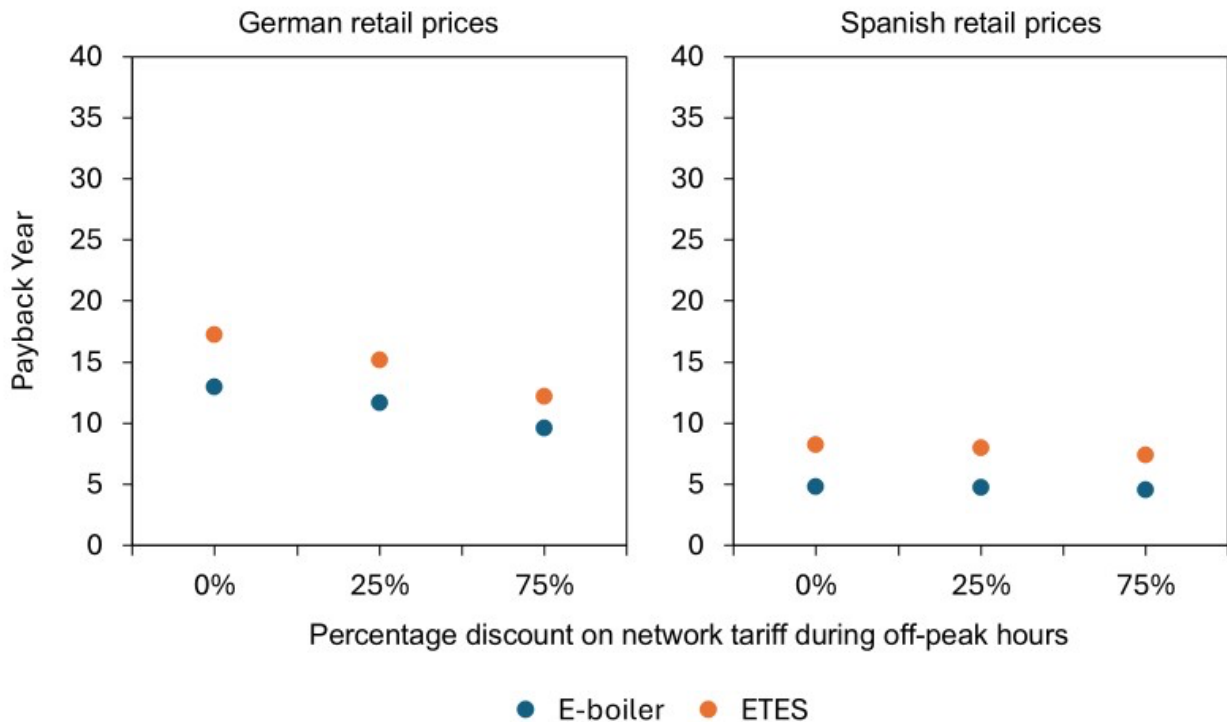
**Hình 3: Tác động của chiết khấu thuế quan mạng có mục tiêu đối với năm hoàn vốn của các khoản đầu tư vào công nghệ sưởi ấm linh hoạt ở Đức và Tây Ban Nha**



Nhiều quốc gia đang xem xét khả năng miễn thuế và thuế đối với các phụ tải mới được điện khí hóa. Do đó, một kịch bản bổ sung đã được tạo ra, trong đó thuế (tiêu thụ đặc biệt, VAT và bất kỳ loại thuế phát điện nào) và thuế chính sách (chương trình hỗ trợ CHP, thuế sử dụng lưới điện) đối với giá điện đã được giảm xuống giá trị tối thiểu của EU.

Hình 4 cho thấy việc áp dụng miễn thuế và lệ phí có lợi đáng kể cho trường hợp kinh doanh. Tuy nhiên, ngay cả trong những điều kiện này, thời gian hoàn vốn cho các khoản đầu tư vào Đức vẫn rất dài. Đối với một quốc gia như Đức, nơi giá điện bán buôn trung bình cao, giá điện hiếm khi thấp hơn khí đốt ngay cả khi giảm giá mạng và miễn thuế và lệ phí. Điều này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc mở cửa tiếp cận thị trường dịch vụ hệ thống cho các tài sản công nghiệp, vì các khoản đầu tư vào tính linh hoạt trong công nghiệp cần phải có giá trị từ cả giá năng lượng và dịch vụ hệ thống để trở nên cạnh tranh.

**Hình 4: Tác động của một loạt các chiết khấu biểu giá mạng lưới có mục tiêu đối với năm hoàn vốn của các khoản đầu tư vào công nghệ sưởi ấm linh hoạt (không có doanh thu từ dịch vụ hệ thống) ở Đức và Tây Ban Nha với thuế và thuế đối với điện được giảm xuống mức tối thiểu của EU**



### Nồi hơi điện tử hay lưu trữ năng lượng nhiệt điện?

Hệ thống ETES có chi phí trả trước cao hơn nồi hơi điện tử do cần các thành phần bổ sung (phương tiện lưu trữ năng lượng) và kết nối lưới điện công suất cao hơn. Để đạt được thời gian hoàn vốn tương tự như nồi hơi điện tử, hệ thống ETES sẽ cần tiết kiệm chi phí năng lượng nhiều hơn - và những điều này phụ thuộc vào hồ sơ nhu cầu nhiệt cụ thể của địa điểm và giá năng lượng của nó. Kết quả mô hình của chúng tôi (Hình 3 và 4) cho thấy nồi hơi điện tử thường có thời gian hoàn vốn ngắn hơn hệ thống ETES, nhưng điều ngược lại cũng có thể đúng đối với các địa điểm có điều kiện khác nhau. Ví dụ: nếu một phần đáng kể nhu cầu nhiệt của một địa điểm thường xuyên rơi vào khoảng thời gian có giá điện cao, nồi hơi điện tử - hoạt động như một phụ tải thời gian thực - có thể hiếm khi được gửi đi và có thể gặp khó khăn trong việc tiết kiệm chi phí. Một hệ thống ETES tại cùng một địa điểm có thể sạc trong khoảng thời gian giá thấp hơn và tản nhiệt khi giá điện cao, giúp tiết kiệm chi phí. Việc lựa chọn công nghệ cạnh tranh nhất về chi phí phụ thuộc vào nhiều yếu tố cụ thể của địa điểm (bao gồm doanh thu tiềm năng từ các dịch vụ hệ thống) và nên được đánh giá trên cơ sở từng trường hợp.



---

**Regulatory Assistance Project (RAP)<sup>®</sup>**  
Belgium · China · Germany · India · United States

---

Rue de la Science 23  
B – 1040 Brussels  
Belgium

---

+32 2 789 3012  
info@raponline.org  
**raponline.org**

