



BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ  
CỤC THÔNG TIN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ QUỐC GIA

TỔNG  
LUẬN

KHOA HỌC  
CÔNG NGHỆ  
KINH TẾ

ISSN 0866 - 7721

Số 3 - 2024

HỆ THỐNG NĂNG LƯỢNG THÔNG MINH - KẾT NỐI TỚI MỘT  
TƯƠNG LAI NĂNG LƯỢNG BỀN VỮNG



# CỤC THÔNG TIN VÀ KHOA HỌC CÔNG NGHỆ QUỐC GIA

Địa chỉ: 24, Lý Thường Kiệt, Hoàn Kiếm, Hà Nội

Tel: (024) 38262718, Fax: (024) 39349127

## BAN BIÊN TẬP

**TS. Trần Đắc Hiến** (Trưởng ban)

ThS. Nguyễn Lê Hằng; ThS. Phùng Anh Tiên, ThS. Nguyễn Phương Anh

---

## MỤC LỤC

Giới thiệu .....	1
Danh mục từ viết tắt .....	2
1. Tổng quát về Hệ thống năng lượng thông minh .....	3
1.1. Định nghĩa về Hệ thống năng lượng thông minh và lưới điện thông minh	3
1.2. Tiềm năng của lưới điện thông minh và công nghệ thông minh .....	4
1.3. Năng lượng trong thành phố thông minh .....	7
1.4. Một số tiến bộ ở các công nghệ quản lý năng lượng thông minh .....	10
2. Các yếu tố chính trong hệ thống năng lượng thông minh .....	16
2.1. Các nguồn tài nguyên năng lượng phân tán (DER).....	16
2.2. Ắc quy tích trữ điện.....	18
2.3. Nhà máy điện ảo (VPP).....	20
2.4. Phương tiện nối lưới điện (V2G).....	22
2.5. Giao dịch lưới điện siêu nhỏ.....	24
3. Xây dựng và vận hành hệ thống năng lượng thông minh .....	27
3.2. Nền tảng của Hệ thống Năng lượng Thông minh.....	29
3.3. Vai trò của Nhà vận hành mạng di động (MNO).....	32
3.4. Vai trò của Hệ thống năng lượng thông minh trong tiêu chuẩn 1,5 độ....	33
4. Một số kinh nghiệm về quản lý, vận hành hệ thống năng lượng thông minh của châu Âu .....	34
4.1. Chuyển sang xe điện .....	34
4.2. Chuẩn hóa phần cứng sạc điện .....	35
4.3. Người tiêu dùng được lợi từ các quyết định xanh như thế nào .....	36
4.4. Giữ biến động giá.....	37
4.5. Gỡ rào cản thị trường cho máy phát điện quy mô nhỏ .....	38
4.6. Chuẩn hóa quy định trên khắp châu Âu .....	39
Kết luận và đề xuất cho Việt Nam .....	40
Tài liệu tham khảo.....	43

## GIỚI THIỆU

Hiện tại, biến đổi khí hậu đang trở thành vấn đề mang tính thời sự nóng hổi. Để mức nóng lên toàn cầu được giữ dưới 1,5<sup>0</sup>C, thì lượng phát thải ròng toàn cầu sẽ phải giảm một nửa vào năm 2030 và về 0 trước năm 2050. Do vậy, chúng ta rất cần có các phương thức sáng tạo để hình thành nên những hệ thống năng lượng thông minh (SES) nhằm đẩy nhanh quá trình chuyển đổi từ một hệ thống năng lượng phụ thuộc 84%<sup>1</sup> vào nhiên liệu hóa thạch sang năng lượng tái tạo.

Trong một hệ thống năng lượng thông minh, việc kết nối tất cả các yếu tố rất quan trọng. Công nghệ di động sẽ giữ vai trò thiết yếu để tạo nên cơ sở hạ tầng nền tảng trong hệ thống này. Bên cạnh đó, sử dụng kết nối không dây sẽ có thể quản lý một mạng lưới rộng gồm các thiết bị đa dạng vừa sản xuất vừa tiêu thụ năng lượng. Khai thác sức mạnh của điện toán đám mây dựa trên AI, chúng ta có thể tạo ra các nền tảng kiểm soát và tối ưu hóa việc sử dụng và lưu trữ các nguồn năng lượng tái tạo và giảm sử dụng nhiên liệu hóa thạch từ hỗn hợp năng lượng hiện có.

Nhờ những tiến bộ của các công nghệ tiên tiến nêu trên, hệ thống năng lượng thông minh đang phát triển mạnh và đạt nhiều tiến bộ. Để góp phần phổ biến kiến thức về những hệ thống năng lượng tiên tiến này, Cục Thông tin khoa học và công nghệ quốc gia biên soạn Tổng luận “**Hệ thống năng lượng thông minh - Kết nối tới một tương lai năng lượng bền vững**”. Chúng tôi hy vọng Tổng luận sẽ là tài liệu hữu ích giúp bạn đọc, các chuyên gia và nhà nghiên cứu có thêm những thông tin mới và bổ ích về các hệ thống năng lượng thông minh và tầm quan trọng của chúng trong việc bảo đảm an ninh năng lượng.

Xin trân trọng giới thiệu!

**CỤC THÔNG TIN KHOA HỌC VÀ  
CÔNG NGHỆ QUỐC GIA**

---

<sup>1</sup> Theo Smart Energy system report, GSMA, 2020

## DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

SES	Hệ thống năng lượng thông minh
Net Zero	Mức phát thải ròng bằng không
CNTT	Công nghệ thông tin
EV	Xe điện
DER	Tài nguyên năng lượng phân tán
VPP	Nhà máy điện ảo
V2G	Phương tiện nối lưới điện
MNO	Nhà khai thác mạng di động
HEMS	Hệ thống quản lý năng lượng gia đình
ICE	động cơ đốt trong

## 1. Tổng quát về hệ thống năng lượng thông minh

### 1.1. Định nghĩa về hệ thống năng lượng thông minh và lưới điện thông minh

Thuật ngữ 'năng lượng thông minh' và 'lưới điện thông minh' thường được sử dụng thay thế cho nhau, đặc biệt là trong lĩnh vực điện. Dưới đây là định nghĩa về lưới điện thông minh được Cơ quan Năng lượng quốc tế (IEA) thông qua:

*“Lưới điện thông minh là mạng lưới điện sử dụng công nghệ kỹ thuật số và các công nghệ tiên tiến khác để giám sát và quản lý việc truyền tải điện từ tất cả các nguồn phát nhằm đáp ứng nhu cầu điện khác nhau của người dùng cuối. Lưới điện thông minh điều phối nhu cầu và khả năng của tất cả các nhà máy điện, nhà điều hành lưới điện, người dùng cuối và các chủ thể trên thị trường điện để vận hành tất cả các bộ phận của hệ thống một cách hiệu quả nhất, giảm chi phí và tác động môi trường đồng thời tối đa hóa độ tin cậy, khả năng thích ứng và ổn định của hệ thống”.*

Không bó hẹp phạm vi trong khuôn khổ khái niệm chỉ tập trung vào điện, “hệ thống năng lượng thông minh” (SES) áp dụng cách tiếp cận toàn diện, đa chiều, liên ngành để vượt qua hạn chế của từng nhà cung cấp năng lượng và xác định những giải pháp tổng thể. Giống như thuật ngữ 'lưới điện thông minh', thuật ngữ 'hệ thống năng lượng thông minh' hay 'mạng lưới năng lượng thông minh' vẫn đang trong giai đoạn hình thành với một số định nghĩa được đề xuất. Tuy nhiên, Tổng luận này áp dụng định nghĩa sau đây của Đại học Aalborg:

*“Hệ thống năng lượng thông minh được định nghĩa là cách tiếp cận trong đó các lưới điện, nhiệt và khí thông minh được phối kết hợp nhằm xác định sức mạnh tổng hợp giữa chúng để đạt được giải pháp tối ưu cho từng lĩnh vực riêng cũng như cho toàn bộ hệ thống năng lượng”<sup>2</sup>.*

Tóm lại, hệ thống năng lượng thông minh đưa ra phương thức quản lý mức độ phức tạp tăng dần của một hệ thống đa lưới với chi phí thấp hơn so với việc chỉ tập trung riêng vào một lĩnh vực hoặc cơ sở hạ tầng cụ thể, ví dụ bằng cách hạn chế chi phí xây dựng công suất mạng lưới bổ sung (điện, hydro hoặc nhiệt) để đáp ứng nhu cầu cao điểm. Quản lý hệ thống năng lượng một cách chủ động bằng cách sử dụng dữ liệu chi tiết sẽ mang lại những cách thức sáng tạo để quản lý tác động của quá trình điện khí hóa hệ thống sưởi và truyền tải trên lưới điện, đồng thời dự đoán những yêu cầu thay đổi đối với cơ sở hạ tầng cũ. Hệ thống năng lượng thông minh

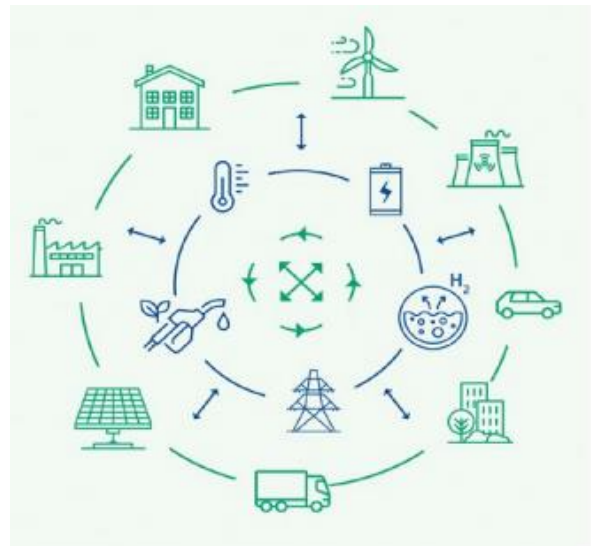
---

<sup>2</sup> [https://vbn.aau.dk/ws/files/78422810/Smart\\_Energy\\_Systems\\_Aalborg\\_University.pdf](https://vbn.aau.dk/ws/files/78422810/Smart_Energy_Systems_Aalborg_University.pdf)

có khả năng quản lý những mức phát thải carbon thấp phi tập trung. Hệ thống năng lượng thông minh cũng cần phải cân nhắc giữa chi phí và lợi ích, vốn có thể bao gồm các hình thức sản xuất và lưu trữ khác nhau. Ngoài ra, nó có thể góp phần tạo dựng lại niềm tin vào hệ thống năng lượng thông qua việc công bố và chia sẻ công khai dữ liệu mở khi khả thi. Hiểu rõ tổng thể về hệ thống năng lượng như vậy sẽ bảo đảm việc thiết kế, triển khai và vận hành toàn bộ hệ thống năng lượng phù hợp với các mục tiêu phát thải carbon của đất nước.

## 1.2. Tiềm năng của lưới điện thông minh và công nghệ thông minh

Các chuyên gia năng lượng cho rằng, các hệ thống năng lượng cần trở nên thông minh hơn để quản lý tính phức tạp ngày càng tăng trên hành trình hướng tới mức phát thải ròng bằng không (Net zero). Truy cập vào dữ liệu thích hợp sẽ cho phép người sử dụng năng lượng có nhiều lựa chọn hơn về địa điểm và thời điểm lấy nguồn năng lượng và khuyến khích sử dụng năng lượng hiệu quả hơn. Tuy nhiên, việc tạo và quản lý dữ liệu tốn chi phí do đó chỉ nên thu thập dữ liệu phù hợp, cho phép hệ thống năng lượng thông minh hoạt động với lợi ích ròng lớn hơn.



**Hình 1.** Mô tả khái niệm “hệ thống năng lượng thông minh” - Ủy ban châu Âu

Lưới điện thông minh và công nghệ thông minh cho phép tích hợp việc sản xuất điện theo quy mô lớn, nhỏ và phân tán, đồng thời sử dụng phương pháp đo lường để hiểu rõ hơn về các dòng năng lượng khắp hệ thống. Chúng cũng cung cấp dữ liệu chi tiết có thể được phân tích bằng hệ thống công nghệ thông tin (CNTT) và điện toán hiện đại để tối ưu hóa. Gần đây, điện toán đám mây, điện toán hiệu năng cao, trí tuệ nhân tạo và học máy đã thúc đẩy cuộc cách mạng trong lĩnh vực kỹ thuật số. Năng lực kết nối của điện thoại di động, ứng dụng di động và mạng di động cũng như nâng cao kết nối và băng thông thông qua 5G và 6G đã đưa trí thông minh của hệ thống năng lượng và lưới điện lên những tầm cao mới.

Các công nghệ quản lý năng lượng thông minh cho phép phát triển các hệ thống năng lượng đa dạng và nhiều lớp, linh hoạt hơn trước đây. Khả năng linh hoạt của

hệ thống năng lượng ở nhiều quốc gia thường dựa trên lợi ích của nhiên liệu hóa thạch và có thể điều động chúng khi cần thiết. Ví dụ minh họa là đặt một nhà máy điện cạnh nhà máy điện đốt than có trữ lượng than dùng trong nhiều tháng để có thể chuyển đổi thành điện khi có yêu cầu. Tuy nhiên, việc chuyển đổi sang nền kinh tế Net Zero có nghĩa là nhiên liệu hóa thạch cuối cùng sẽ bị loại bỏ khỏi hệ thống năng lượng và do đó khả năng tạo nên tính linh hoạt của một hệ thống năng lượng rộng lớn cũng sẽ mất đi. Điều này gây ra thách thức cho các hệ thống năng lượng. Đây chính là điểm mà hệ thống năng lượng thông minh phát huy tác dụng, vì dữ liệu và khả năng kiểm soát cho phép có thêm nhu cầu (cả về số lượng và loại hình) để góp phần giữ cho một hệ thống năng lượng rộng lớn được cân bằng trong các khung thời gian khác nhau. Việc này giúp giảm chi phí cho người tiêu dùng và thúc đẩy đổi mới sáng tạo ở các mô hình kinh doanh của hệ thống năng lượng khi có nhiều dữ liệu hơn.

Trọng tâm của các hệ thống năng lượng thông minh là mức sẵn có của dữ liệu có thể được phân tích để tạo ra thông tin và hiểu biết; và một hệ thống hoặc các thiết bị có khả năng tích hợp và khai thác dữ liệu đó một cách thông minh. Dữ liệu có thể được sử dụng để tối ưu hóa hệ thống năng lượng theo quy mô địa lý và khoảng thời gian khác nhau, nhằm dự đoán cung và cầu trong tương lai, góp phần khiến cho hệ thống năng lượng có khả năng thích ứng cao. Hệ thống năng lượng thông minh sẽ có lượng dữ liệu lớn từ nhiều điểm khác nhau, bao gồm cả người dùng cuối và ở các điểm khác nhau trong các mạng lưới năng lượng để cung cấp thông tin chính xác về trạng thái của chính hệ thống năng lượng. Ngoài ra là các thông tin khác như dự báo thời tiết, thông tin chất lượng không khí, hoạt động và lưu lượng giao thông, mật độ carbon, dữ liệu thị trường, xu hướng chính trị và xã hội, v.v.. Nói cách khác, Hệ thống Năng lượng Thông minh sẽ liên kết với các nguồn dữ liệu khác chứ không chỉ đơn thuần là một mình hệ thống năng lượng.

*Ngôi nhà năng lượng thông minh* đã xuất hiện và sẽ tiếp tục phát triển. Nó sẽ có các thiết bị thông minh ở mức cơ bản nhất, có khả năng hoạt động ở chế độ bật/tắt nhị phân, nhưng nó còn có thể vận hành ở mức độ phức tạp hơn. Các ngôi nhà sẽ có khả năng sản xuất và lưu trữ năng lượng lớn, ví dụ: các tấm quang điện mặt trời kết hợp với máy bơm nhiệt và ắc quy, cũng như hệ thống quản lý năng lượng bổ sung chức năng cho đồng hồ đo thông minh. Các hệ thống ngôi nhà có thể phản ứng với các tín hiệu bên ngoài như giá trên thị trường để tối ưu hóa theo các tiêu chí khác nhau như chi phí, mức tiêu thụ hoặc mật độ carbon. Những tín hiệu bên ngoài này có thể đáp ứng các điều kiện hạn chế của địa phương hoặc hỗ trợ mặc định ở cấp

quốc gia khi không mâu thuẫn với ưu tiên địa phương.

Giống như nhà thông minh, hộ kinh doanh cũng có thể sản xuất, lưu trữ và giám sát việc sử dụng năng lượng của họ. Do đó, các hệ thống năng lượng nội bộ cũng như hệ thống thương mại có thể có sự nhạy cảm nhất định với những hạn chế của lưới điện và phối hợp với các hộ gia đình và doanh nghiệp khác để quản lý nhu cầu mạng lưới địa phương. Các ngôi nhà và hộ kinh doanh có thể phối hợp hoạt động với vai trò là các trạm điện ảo để cung cấp điện lên hoặc lấy điện xuống từ lưới điện, có khả năng mang lại việc quản lý tần số cân bằng lưới điện cấp quốc gia. Số lượng xe điện ngày càng tăng sẽ mang lại khả năng lưu trữ năng lượng cấp quốc gia, nếu những chiếc xe điện này được khuyến khích quản lý nhu cầu và sản xuất ra điện trong nhiều thời điểm khác nhau một cách thích hợp.

Mặc dù tầm nhìn này lớn nhưng có vẻ vẫn còn xa vời. Tuy nhiên, hiện đã có các nền tảng điện toán đám mây lấy dữ liệu của người tiêu dùng và khách hàng rồi tích hợp với dữ liệu thị trường điện để đưa ra tín hiệu cho phép người tiêu dùng điều chỉnh hành vi của mình. Hiện đã có hệ thống sạc thông minh dành cho xe điện và tập hợp người tiêu dùng cho các trạm điện ảo, đồng thời đã có các thiết bị thông minh và đồng hồ đo thông minh cho số lượng hộ gia đình ngày càng nhiều lên.

Thách thức với cách tiếp cận này là bảo đảm tiến trình của các bộ phận trong hệ thống, chẳng hạn như nguồn điện, thị trường, lưới điện, nền tảng và hệ thống kỹ thuật số cũng như các thiết bị và ngôi nhà có thể giao tiếp một cách phù hợp để mang lại lợi ích cho hệ thống rộng lớn hơn. Thách thức thứ hai là dữ liệu và thông tin mà hệ thống năng lượng thông minh tạo ra phải được bảo mật và không làm cho người tiêu dùng hoặc doanh nghiệp gặp rủi ro. Chúng ta cần thận trọng để hệ thống năng lượng thông minh và được số hóa không bị thao túng bởi mục đích xấu khi trở thành một phần quan trọng của cơ sở hạ tầng quốc gia.

Dù được triển khai trên từng tòa nhà, khuôn viên, các khu vực thành phố hay trên toàn quốc, hệ thống năng lượng thông minh có thể giúp người sử dụng năng lượng biến tham vọng về năng lượng của mình thành hiện thực bằng cách sử dụng các quy trình được kỹ thuật số tiên tiến hỗ trợ. Hệ thống cung cấp những lợi ích tiềm năng sau:

- Có thể cho phép chuyển đổi sang các nguồn năng lượng ít carbon (và mang tính địa phương hơn) bằng cách trao đổi dữ liệu về sản xuất và lưu trữ năng lượng cũng như sử dụng dữ liệu để giảm thiểu lượng khí thải carbon.
- Dữ liệu có thể được sử dụng để tối ưu hóa chi phí hoạt động (OPEX) liên



quan đến sản xuất, lưu trữ, sử dụng và bán năng lượng liên quan đến các tài sản khác nhau.

- Hệ thống có thể hỗ trợ sạc và điện khí hóa một cách tối ưu cho các đội xe.
- Khuyến khích các mức sử dụng năng lượng hiệu quả hơn.
- Tăng khả năng thích ứng bằng cách tích hợp nhiều nguồn sản xuất năng lượng, làm tăng tính thích ứng tổng thể của mạng lưới điện.
- Tăng tính minh bạch về tình trạng và hiệu suất của lưới điện.
- Triển khai lưới điện thông minh có thể tích hợp các công nghệ và giải pháp mới như Phương tiện nối lưới điện (Vehicle-to-Grid, V2G).
- Hình thành xã hội bền vững thông qua việc tham gia nhiều hơn vào quá trình sử dụng năng lượng.
- Cải thiện khả năng thích ứng của hệ thống trước các tác động của biến đổi khí hậu, chẳng hạn như thời tiết khắc nghiệt, có thể ảnh hưởng lớn đến hoạt động của hệ thống năng lượng hiện tại.

Ngoài ra, hệ thống năng lượng thông minh có thể tích hợp với các hệ sinh thái kỹ thuật số thông minh khác để mang lại nhiều lợi ích hơn, chẳng hạn như giám sát ô nhiễm không khí, hệ thống giao thông đáng tin cậy và tiết kiệm năng lượng hơn hoặc chuỗi cung ứng xanh hơn và hiệu quả hơn.

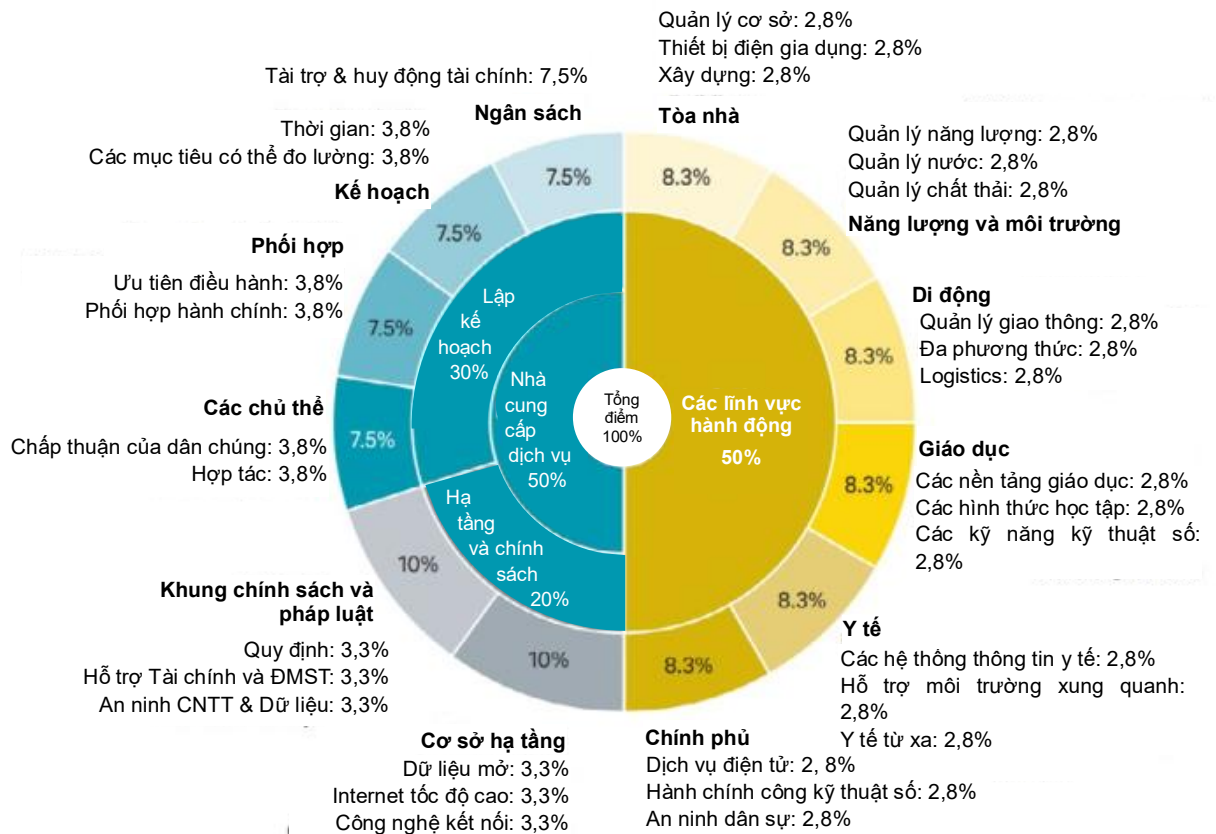
### **1.3. Năng lượng trong thành phố thông minh**

Có rất nhiều định nghĩa về Thành phố thông minh, trong đó nổi bật nhất là định nghĩa của IBM. Tập đoàn công nghệ không lồ này định nghĩa thành phố thông minh là *“một thành phố sử dụng tối ưu tất cả các thông tin được kết nối với nhau để hiểu và kiểm soát tốt hơn các hoạt động của nó cũng như tối ưu hóa việc sử dụng các tài nguyên”*.

Năm 2019, có 153 thành phố trên toàn thế giới - lớn và nhỏ - đã chính thức công bố chiến lược Thành phố thông minh, trong đó 15 thành phố có kế hoạch thể hiện cách tiếp cận chiến lược toàn diện và 8 thành phố đang ở giai đoạn triển khai nâng cao. Chỉ số Chiến lược Thành phố Thông minh (Hình 2) trực tiếp xác định 2,8% cho tiêu chí phụ “quản lý năng lượng”. Tuy nhiên, theo định nghĩa về hệ thống năng lượng thông minh, 9 trong số 12 tiêu chí được liệt kê dưới đây có liên quan trực tiếp hoặc gián tiếp đến năng lượng, tức là ngoại trừ ‘giáo dục’, ‘y tế’ và ‘chính phủ’.

Xếp hạng 'thành phố thông minh' là một nỗ lực gần đây với hai chỉ số chính là Chỉ số Thành phố Thông minh của IMD (Viện Phát triển Quản lý Quốc tế) và SUTD (Đại học Công nghệ và Thiết kế Singapore) và Báo cáo Chỉ số Thành phố

Thông minh của Đại học Yonsei và Đại học Cambridge, cả hai đều được cập nhật hai năm một lần. Các cơ chế xếp hạng khác cũng đã được Roland Berger và EasyPark thiết lập.



**Hình 2.** Khung đánh giá chỉ số chiến lược thành phố thông minh dựa trên 3 khía cạnh, 12 tiêu chí và 31 tiêu chí phụ

### *Một số ví dụ về Thành phố thông minh trên thế giới*

Sau đây là một số ví dụ tiêu biểu về những Thành phố thông minh đã được triển khai ở một số khu vực trên thế giới.

*Expo/District 2020 - Dubai, Các Tiểu vương quốc Ả Rập Thống nhất: Kế hoạch chi tiết về một thành phố thông minh, bền vững*

Expo 2020, Dubai, được xây dựng trên diện tích 4,38 km<sup>2</sup> và thu hút hơn 24 triệu lượt tham quan từ 178 quốc gia. Sau khi Hội chợ triển lãm kết thúc vào tháng 3 năm 2022, địa điểm này đã được chuyển đổi thành District 2020, hiện phục vụ 145.000 người.

Expo 2020 là triển lãm lắp đặt các công nghệ thông minh lớn nhất trên thế giới, hỗ trợ 54.000 việc làm và tăng thêm tổng giá trị là 16,9 tỷ USD. Hội chợ triển lãm tập trung vào Di động thông minh, Logistic thông minh, Công nghiệp 4.0 và Các thành phố thông minh.

*Thành phố đôi kỹ thuật số - Barcelona, Tây Ban Nha: Quy hoạch đô thị dựa trên tầm nhìn xa dữ liệu thực*

Chính quyền thành phố Barcelona đang đi tiên phong về cách tiếp cận kỹ thuật số trong quy hoạch đô thị. Mục đích là tạo ra “thành phố 15 phút”, nơi mọi người có thể tiếp cận tới nhà, nơi làm việc và tất cả các dịch vụ thiết yếu, bao gồm giáo dục, chăm sóc sức khỏe, cửa hàng, v.v., trong vòng 15 phút đi bộ hoặc đi xe đạp. Ngoài ra, để giải quyết vấn đề biến đổi khí hậu, cách tiếp cận này sẽ tính đến tác động của quá trình chỉnh trang đô thị (gentrification) và làm nổi bật các khu vực cần tái sinh.

Sử dụng siêu máy tính MareNostrum được đặt trong nhà nguyện từ thế kỷ 19, Trung tâm Siêu máy tính Barcelona đang tạo ra một bản sao kỹ thuật số của thành phố để kiểm tra và xác nhận các kịch bản quy hoạch tiềm năng trước khi ra quyết định bằng dữ liệu thực tế. Người dân cũng được khuyến khích đóng góp và xem xét kỹ lưỡng thông tin đầu vào, điều này giúp củng cố sự tham gia và tin tưởng của cộng đồng vào quy trình này.

*Aspern Seestadt - Vienna, Áo: Quận Năng lượng Thông minh với vai trò là một phòng thí nghiệm sống*

Quận 22 của Vienna, là một trong những dự án nghiên cứu năng lượng đô thị lớn nhất châu Âu. Phòng thí nghiệm rộng 240 ha dự kiến sẽ bao gồm nhà ở cho hơn 25.000 người, 20.000 nơi làm việc, một số cơ sở giáo dục cho mọi lứa tuổi, một khu công nghiệp và một trung tâm nghiên cứu vào năm 2028, tương đương với tổng vốn đầu tư 5 tỷ euro.

Để tạo ra một thành phố thịnh vượng và bền vững, Aspern đã tập trung vào các tiêu chuẩn xây dựng tiết kiệm năng lượng, cơ sở hạ tầng giao thông hiệu quả, tái chế vật liệu xây dựng tại địa phương và hệ thống quản lý nước mưa. Ngoài ra, nhóm Nghiên cứu Thành phố Thông minh Aspern còn vận hành 5 thử nghiệm phân tán và đan xen, tập trung vào Tòa nhà thông minh, Lưới điện thông minh, Người dùng thông minh, hệ thống CNTT thông minh và Sạc thông minh. Một trung tâm dữ liệu toàn thành phố tập hợp tất cả các yếu tố của các hệ thống này lại với nhau để tối ưu hóa chi phí cho việc sản xuất, lưu trữ và tiêu thụ năng lượng tại địa phương, đồng thời xác định hiệu quả của hệ thống.

#### 1.4. Một số tiên bộ ở các công nghệ quản lý năng lượng thông minh

Quản lý năng lượng thông minh là giải pháp sử dụng công nghệ để tối ưu hóa việc sản xuất, phân phối và tiêu thụ năng lượng, từ đó, nâng cao hiệu quả, tính bền vững và giúp tiết kiệm chi phí. Trong các hệ thống năng lượng thông minh nói riêng hay các thành phố thông minh nói chung, việc tích hợp công nghệ vào hệ thống quản lý năng lượng là cần thiết để bảo đảm đáp ứng bền vững nhu cầu ngày càng tăng của việc sử dụng năng lượng.

Tuy nhiên, quản lý tiêu thụ năng lượng ở các thành phố cũng đặt ra một số thách thức. Một trong những thách thức chính là sự mất cân bằng giữa cung và cầu năng lượng. Nhu cầu sử dụng năng lượng ngày một tăng trong bối cảnh các thành phố đang phát triển nhanh chóng dẫn đến khoảng cách cung-cầu năng lượng. Để giải quyết vấn đề này, cần tăng cường sản xuất năng lượng, tuy nhiên, điều này cũng dẫn đến tình trạng tăng lượng phát thải carbon và suy thoái môi trường. Ngoài ra, cơ sở hạ tầng năng lượng ở các thành phố xuống cấp và kém hiệu quả là nguyên nhân dẫn đến tổn thất năng lượng đáng kể trong quá trình truyền tải và phân phối. Tình trạng này trở nên trầm trọng hơn do thiếu hệ thống quản lý và giám sát năng lượng theo thời gian thực, từ đó, gây khó khăn cho việc xác định cũng như giải quyết tình trạng sử dụng năng lượng thiếu hiệu quả. Đặc biệt, các thành phố còn phải đối mặt với vấn đề biến động giá năng lượng và thiếu nguồn vốn thích hợp cho các dự án cơ sở hạ tầng năng lượng, điều này được xem là yếu tố cản trở việc áp dụng các công nghệ năng lượng mới.

Để vượt qua những thách thức này, áp dụng những tiên bộ công nghệ để tối ưu hóa việc sản xuất, phân phối và tiêu thụ năng lượng ở các thành phố thông minh là rất cần thiết. Những tiên bộ này bao gồm việc tích hợp các nguồn năng lượng tái tạo, phát triển lưới điện thông minh, sử dụng các tòa nhà và thiết bị tiết kiệm năng lượng cũng như triển khai hệ thống quản lý và giám sát năng lượng theo thời gian thực. Những giải pháp công nghệ mới mang đến những cơ hội đầy hứa hẹn nhằm tối ưu hóa mức tiêu thụ năng lượng, giúp tiết kiệm chi phí và nâng cao tính bền vững của môi trường. Trong những năm gần đây, việc áp dụng những tiên bộ công nghệ đã đạt được tiên bộ đáng kể trong việc giải quyết các thách thức về quản lý năng lượng thông minh ở các thành phố thông minh. Dưới đây là một số tiên bộ công nghệ chính trong lĩnh vực này:

- **Lưới điện thông minh:** lưới điện thông minh sử dụng các cảm biến tiên tiến, công nghệ thông tin và thuật toán thông minh để giám sát và quản lý việc phân phối năng lượng thông qua lưới điện. Công nghệ này cho phép giám sát cung và cầu

năng lượng theo thời gian thực, đồng thời, tối ưu hóa việc phân phối năng lượng để hạn chế tình trạng lãng phí điện và nâng cao tính hiệu quả.

- **Nguồn năng lượng tái tạo:** việc tích hợp các nguồn năng lượng tái tạo như năng lượng mặt trời, năng lượng gió và năng lượng địa nhiệt là một tiến bộ quan trọng khác trong quản lý năng lượng thông minh. Ưu điểm của những nguồn năng lượng này là bền vững, tiết kiệm chi phí và giúp giảm lượng khí thải carbon.

- **Lưu trữ năng lượng:** việc phát triển các hệ thống lưu trữ năng lượng hiệu quả, cùng giá cả phải chăng cũng rất quan trọng trong quản lý năng lượng thông minh. Lưu trữ năng lượng cho phép lưu trữ năng lượng dư thừa được tạo ra từ các nguồn năng lượng tái tạo. Năng lượng dự trữ này có thể được sử dụng khi nhu cầu năng lượng tăng lên, bảo đảm cung cấp năng lượng liên tục, ổn định và đáng tin cậy.

- **Tòa nhà thông minh:** tỷ lệ tiêu thụ năng lượng trong các tòa nhà ở các thành phố rất cao, vì vậy, xu hướng phát triển các tòa nhà tiết kiệm năng lượng là thiết yếu trong quản lý năng lượng thông minh. Các tòa nhà thông minh thường sử dụng hệ thống quản lý năng lượng tiên tiến, chẳng hạn như hệ thống chiếu sáng thông minh và hệ thống điều hoà không khí HVAC nhằm tối ưu hóa mức tiêu thụ năng lượng và giúp giảm thiểu lượng khí thải.

- **Xe điện:** xe điện (EV) là giải pháp nhằm giảm thiểu lượng khí thải carbon cũng như cải thiện chất lượng không khí ở các thành phố. Việc phát triển cơ sở hạ tầng sạc xe điện và tích hợp các nguồn năng lượng tái tạo để cung cấp năng lượng cho các phương tiện này là điều cần thiết để quản lý năng lượng thông minh.

- **Nhà thông minh:** nhà thông minh là ngôi nhà được trang bị các thiết bị kết nối Internet để có thể điều khiển, tự động hóa và tối ưu hóa các chức năng như nhiệt độ, ánh sáng, an ninh, giải trí. Giải pháp này mang đến sự tiện lợi, giúp tiết kiệm năng lượng và cải thiện chất lượng cuộc sống cho người dân.

- **Phân tích dữ liệu:** việc sử dụng nền tảng phân tích dữ liệu là một bước tiến đáng kể trong quản lý năng lượng thông minh, cho phép thu thập, phân tích và xử lý dữ liệu tiêu thụ năng lượng, từ đó tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng hiệu quả và giúp giảm chi phí.

**Hộp 1.** Bản sao kỹ thuật số sử dụng dữ liệu lớn để mô phỏng các kịch bản năng lượng mới

Một trong những đặc điểm chính của SES, thường bị bỏ qua, là sử dụng sự phong phú của việc xử lý dữ liệu vào các kịch bản ảo hóa giả định để thử nghiệm các cách phân phối năng lượng đã khử carbon khác nhau, với chi phí thấp trên khắp mạng có quy mô khác nhau.

Do một mô hình có thể được xây dựng với ngày càng nhiều phần tử, nên hệ thống

có thể được mô hình hóa chính xác hơn và có thể đưa ra các quyết định nhằm tối đa hóa hiệu quả của phân phối năng lượng. Đối với cả hệ thống ảo và thực, vô số cảm biến được kết nối cho phép thu thập được nhiều dữ liệu hơn và dự báo trở nên chính xác hơn, phù hợp với đặc điểm cung và cầu ở một vùng nhất định.

Kết nối không dây là yếu tố cần thiết cho việc thu thập dữ liệu này. Ví dụ điển hình là đồng hồ đo thông minh. Hiện tại, chúng chủ yếu hoạt động như thiết bị giám sát mức tiêu thụ. Tuy nhiên, quá trình hoạt động của chúng có thể cho phép thu được những dữ liệu được cá thể hóa về thói quen tiêu dùng của một cá nhân, thay vì nhóm chúng lại với dữ liệu cấp độ lưới. Nhưng đồng hồ đo thông minh không phải là cảm biến duy nhất được sử dụng để theo dõi thói quen của người tiêu dùng trong thời gian thực. Sử dụng máy theo dõi thời tiết để dự đoán sản lượng năng lượng tái tạo, mức độ gần nhà của người tiêu dùng, cũng như dữ liệu giao thông là những nguồn có thể được thu thập để giảm thiểu lãng phí trong tiêu thụ năng lượng và tối ưu hóa điều kiện lưới điện để phù hợp với nhu cầu theo thời gian thực và trong tương lai.

Thông qua việc tổng hợp tất cả dữ liệu như vậy ở các trung tâm dịch vụ lớn, thông tin theo thời gian thực có thể được chuyển hóa để tạo ra 'Bản sao kỹ thuật số' của một khu vực, nơi hệ thống có thể được phân tích theo cách tiếp cận chi tiết. Các mô hình ba chiều trực tiếp hiện đang được phát triển để khắc họa các thành phần như xe điện, ắc quy gia dụng, máy phát điện và tua-bin.

Với yêu cầu về độ trễ thấp và số lượng lớn dữ liệu để kết nối ổn định những thiết bị thường không cố định, các nhà phát triển những hệ thống này hiện đang thử nghiệm mạng di động 5G để kết nối các thiết bị. Do đó, bảng điều khiển ảo có thể hiển thị các tính năng chính của mạng năng lượng và vẽ mô hình kết nối dữ liệu 5G trực tiếp với các tài sản quan trọng.

Với hệ thống mô phỏng "Bản sao kỹ thuật số" này, các thử nghiệm ảo có thể được chạy với độ chính xác cao hơn, cho phép các nhà phát triển dự án nghiên cứu thông qua mô phỏng và nhờ thế xây dựng các trường hợp kinh doanh hiệu quả hơn cho các nhà đầu tư. Về mặt cơ sở hạ tầng, do các dự án năng lượng tái tạo tương đối thâm dụng vốn nên chứng minh rằng đầu ra sản lượng đều có thể được tiêu thụ hết ngay tại địa phương có nghĩa là sẽ có ít rủi ro về dư thừa cơ sở hạ tầng hoặc lãng phí tài chính.

Nhìn chung, những tiến bộ công nghệ trên mang lại nhiều lợi ích, bao gồm nâng cao hiệu quả, tính bền vững và giúp tiết kiệm chi phí. Phương pháp tích hợp các công nghệ này vào hệ thống quản lý năng lượng tại các thành phố thông minh góp phần tối ưu hóa việc sản xuất, phân phối và tiêu thụ năng lượng để tạo ra môi trường đô thị thân thiện, bền vững và hiệu quả hơn.

***Định hướng tương lai cho quản lý năng lượng thông minh tại thành phố thông minh***

Trong bối cảnh các công nghệ đang được ứng dụng và ngày càng phát triển mạnh mẽ, xu hướng thành phố thông minh trở nên phổ biến hơn, từ đó, mở ra tương lai đầy hứa hẹn cho quản lý năng lượng thông minh. Dưới đây là một số định hướng trong tương lai nhằm quản lý năng lượng thông minh ở các thành phố thông minh:

- **Tích hợp các nguồn năng lượng tái tạo:** một trong những hướng đi quan trọng trong tương lai để quản lý năng lượng thông minh ở các thành phố thông minh là tích hợp các nguồn năng lượng tái tạo như năng lượng mặt trời và năng lượng gió. Khi nguồn năng lượng tái tạo trở nên hợp lý và dễ tiếp cận hơn, các thành phố có thể sử dụng nó để cung cấp năng lượng cho lưới điện thông minh và giảm sự phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch.

- **Phát triển các giải pháp lưu trữ năng lượng:** khi các thành phố hướng tới sự phụ thuộc nhiều hơn vào các nguồn năng lượng tái tạo, việc phát triển các giải pháp tích trữ năng lượng sẽ ngày càng trở nên quan trọng. Một số công nghệ lưu trữ năng lượng đang được sử dụng chẳng hạn như pin và hệ thống thủy điện tích năng cho phép lưu trữ năng lượng dư thừa từ các nguồn năng lượng tái tạo và giải phóng năng lượng này khi cần thiết, góp phần cung cấp nguồn năng lượng ổn định và đáng tin cậy.

- **Áp dụng phương tiện chạy bằng điện:** việc áp dụng phương tiện xe chạy bằng điện (EV) là một giải pháp hiệu quả trong tương lai để quản lý năng lượng thông minh ở các thành phố thông minh. Việc khuyến khích sử dụng xe điện, đồng thời, đầu tư xây dựng cơ sở hạ tầng trạm sạc, góp phần giảm thiểu đáng kể lượng phát thải cũng như cải thiện chất lượng không khí.

- **Triển khai lưới điện siêu nhỏ:** lưới điện siêu nhỏ là hệ thống năng lượng cục bộ có thể hoạt động độc lập với lưới điện chính. Việc triển khai lắp đặt lưới điện siêu nhỏ có thể cải thiện khả năng phục hồi của lưới điện và giảm nguy cơ mất điện tại các thành phố thông minh.

- **Đo lường thông minh và định giá theo thời gian sử dụng:** đo lường thông minh cho phép theo dõi việc tiêu thụ năng lượng theo thời gian thực cũng như định giá theo thời gian sử dụng, tính phí cho người tiêu dùng dựa trên thời gian họ sử dụng năng lượng trong ngày. Giải pháp đo lường thông minh và định giá theo thời gian sử dụng giúp khuyến khích người tiêu dùng điều chỉnh việc tiêu thụ năng lượng sang khung giờ thấp điểm, giảm căng thẳng cho lưới điện trong thời gian cao điểm.

- **Hiệu quả năng lượng trong các tòa nhà:** tỷ lệ tiêu thụ năng lượng trong các tòa nhà chiếm một phần đáng kể tại các thành phố. Vì thế, việc cải thiện hiệu quả sử dụng năng lượng được coi là hướng đi quan trọng trong tương lai để quản lý năng

lượng thông minh. Các công nghệ như bộ điều nhiệt thông minh, hệ thống chiếu sáng tự động và vật liệu xây dựng tiết kiệm năng lượng là những giải pháp giúp giảm thiểu mức tiêu thụ năng lượng trong các tòa nhà.

- **Thực hiện các chương trình đáp ứng nhu cầu:** chương trình đáp ứng nhu cầu cho phép các công ty điện lực khuyến khích người tiêu dùng giảm thiểu mức sử dụng năng lượng trong thời gian cao điểm. Điều này giúp giảm áp lực căng thẳng, quá tải cho hệ thống lưới điện trong giờ cao điểm, hạn chế tình trạng mất điện. Việc triển khai các chương trình đáp ứng nhu cầu là xu hướng thiết yếu cho việc quản lý năng lượng thông minh tại các thành phố thông minh.

- **Sử dụng trí tuệ nhân tạo và học máy:** một trong những định hướng quan trọng trong tương lai cho quản lý năng lượng thông minh là sử dụng trí tuệ nhân tạo (AI) và học máy (ML) để tối ưu hóa việc tiêu thụ năng lượng. Những công nghệ này có thể phân tích lượng dữ liệu khổng lồ, đồng thời, cung cấp dữ liệu chuyên sâu về mô hình tiêu thụ năng lượng, cho phép các thành phố đưa ra quyết định dựa trên dữ liệu và cải thiện hiệu quả sử dụng năng lượng.

- **Chương trình năng lượng cộng đồng:** các chương trình năng lượng cộng đồng thu hút sự tham gia của cộng đồng địa phương vào việc lập kế hoạch và thực hiện các sáng kiến quản lý năng lượng. Bằng cách thu hút người dân và khuyến khích sự tham gia của cộng đồng, các thành phố có thể cải thiện hiệu quả sử dụng năng lượng và nâng cao ý thức chia sẻ trách nhiệm về sự bền vững.

- **Quan hệ đối tác công-tư:** quan hệ đối tác công-tư là yếu tố định hướng quan trọng, không thể thiếu trong tương lai để quản lý năng lượng thông minh ở các thành phố thông minh. Các thành phố có thể tiếp cận chuyên môn và nguồn tài trợ cần thiết thông qua hợp tác với các công ty tư nhân, từ đó, triển khai áp dụng các công nghệ quản lý năng lượng đổi mới sáng tạo, đồng thời, tận dụng thế mạnh của khu vực công để thúc đẩy tính bền vững và công bằng xã hội.

Nhìn chung, có thể thấy rằng, các giải pháp nhằm giảm thiểu mức tiêu thụ năng lượng, tiết kiệm chi phí và cải thiện tính bền vững mang lại tương lai đầy hứa hẹn cho quản lý năng lượng thông minh ở các thành phố thông minh. Thông qua triển khai những định hướng tương lai này và tiếp tục đổi mới sáng tạo, các thành phố có thể tạo ra môi trường đô thị đáng sống, hiệu quả và bền vững hơn.

### ***Các lĩnh vực nghiên cứu tiềm năng và công nghệ mới nổi trong lĩnh vực này***

Sau đây là ví dụ về một số lĩnh vực nghiên cứu tiềm năng và công nghệ mới nổi, trong bối cảnh quản lý năng lượng thông minh ở thành phố thông minh ngày càng phát triển:



- **Chuỗi khối cho các giao dịch năng lượng:** Công nghệ chuỗi khối có tiềm năng cách mạng hóa cách thức thực hiện các giao dịch năng lượng ở thành phố thông minh. Bằng cách cung cấp một nền tảng an toàn, minh bạch và phi tập trung cho các giao dịch năng lượng, công nghệ chuỗi khối cho phép thực hiện giao dịch năng lượng ngang hàng, giảm chi phí và tăng hiệu quả sử dụng năng lượng.

- **Điện toán biên cho lưới điện thông minh:** điện toán biên liên quan đến việc xử lý dữ liệu ở rìa mạng, thay vì ở trung tâm dữ liệu tập trung. Giải pháp này giúp cải thiện tốc độ và hiệu quả xử lý dữ liệu cho lưới điện thông minh, cho phép giám sát và kiểm soát mức tiêu thụ năng lượng theo thời gian thực.

- **Internet Vạn vật (IoT) để quản lý năng lượng:** IoT là giải pháp cho phép thu thập và trao đổi dữ liệu, kết nối các thiết bị vật lý với Internet. IoT được sử dụng để giám sát và kiểm soát việc sử dụng năng lượng theo thời gian thực trong quản lý năng lượng thông minh, nhằm tối ưu hóa và giảm thiểu lãng phí mức tiêu thụ năng lượng.

- **Phân tích dữ liệu lớn để tiết kiệm năng lượng:** giải pháp phân tích dữ liệu lớn được sử dụng để phân tích lượng dữ liệu khổng lồ và xác định các mô hình cũng như xu hướng tiêu thụ năng lượng. Điều này cho phép các thành phố đưa ra quyết định dựa trên dữ liệu về quản lý năng lượng, tiết kiệm chi phí và nâng cao hiệu quả.

- **Công nghệ thu hoạch năng lượng:** công nghệ thu hoạch năng lượng là phương pháp thu giữ và lưu trữ năng lượng từ các nguồn năng lượng tự nhiên, chẳng hạn như năng lượng mặt trời, năng lượng gió hay năng lượng nhiệt. Những công nghệ này cung cấp nguồn năng lượng ổn định, bền vững và đáng tin cậy cho các thành phố thông minh, hạn chế sự phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch và thúc đẩy tính bền vững.

- **Học máy để dự báo năng lượng:** các thuật toán học máy được sử dụng để dự báo mô hình tiêu thụ năng lượng, cho phép các thành phố quản lý hiệu quả hơn các nguồn năng lượng và lập kế hoạch nhu cầu năng lượng trong tương lai.

- **Tài nguyên năng lượng phân tán (DER):** DER có thể là các nguồn hay các thiết bị sản xuất năng lượng tái tạo quy mô nhỏ, chẳng hạn như tấm pin mặt trời hoặc tua-bin gió, cho phép kết nối với lưới điện và được sử dụng để bổ sung hoặc thay thế các nguồn năng lượng truyền thống. Bằng cách tích hợp DER vào lưới điện thông minh, các thành phố có thể cải thiện độ tin cậy, ổn định và khả năng phục hồi của lưới điện.

Có nhiều lĩnh vực nghiên cứu thú vị và công nghệ mới nổi trong lĩnh vực quản lý năng lượng thông minh ở thành phố thông minh. Thông qua việc khám phá những công nghệ này, các nhà nghiên cứu có thể đóng góp vào sự phát triển không

ngừng của các thành phố thông minh, đồng thời, giúp tạo ra môi trường đô thị bền vững, hiệu quả và đáng sống hơn.

## **2. CÁC YẾU TỐ CHÍNH TRONG HỆ THỐNG NĂNG LƯỢNG THÔNG MINH**

Áp dụng hệ thống năng lượng thông minh sẽ đem lại những lợi ích to lớn cho môi trường và xã hội. Mặc dù quá trình triển khai chúng có thể rất phức tạp, nhưng vẫn có những cơ hội kinh doanh rất tiềm năng. Điều này cũng có nghĩa là sẽ có các cơ hội đầu tư tuyệt vời trong việc kích hoạt và vận hành các SES mới này. Những lợi ích của SES sẽ không thể đạt được nếu chỉ thông qua một ứng dụng duy nhất của các công nghệ không dây trong lĩnh vực năng lượng mà phải cần thông qua làn sóng hiện đại hóa và số hóa.

Năm yếu tố chính minh họa rõ nhất cho các hệ thống này như sau:

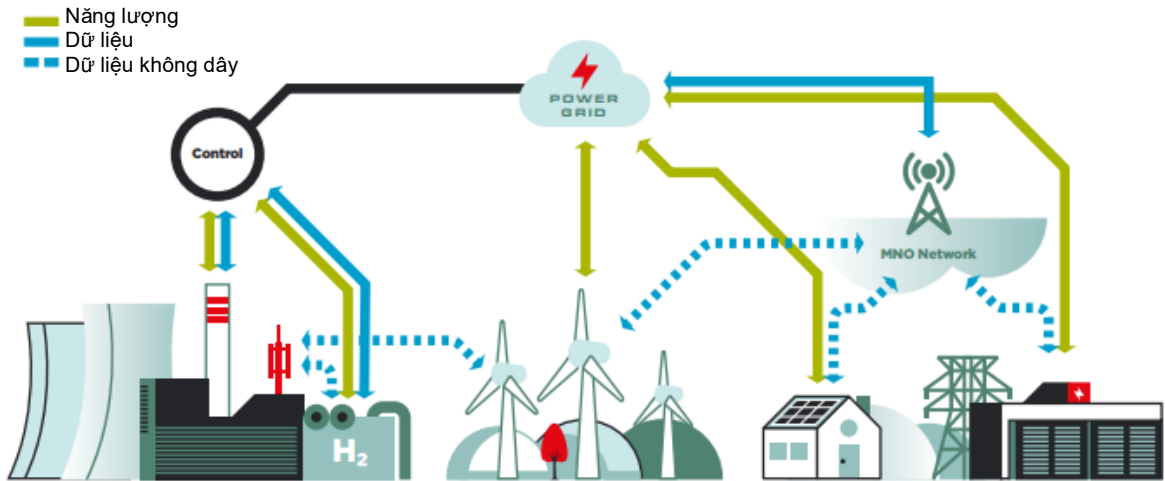
- Các nguồn năng lượng phân tán (DER)
- Ắc quy tích trữ
- Giao dịch lưới điện siêu nhỏ
- Nhà máy điện ảo (VPP)
- Phương tiện nối lưới điện (V2G)

### **2.1. Các nguồn tài nguyên năng lượng phân tán (DER)**

Yếu tố đầu tiên trong năm yếu tố nói trên được gọi là các nguồn tài nguyên năng lượng phân tán (DER), là các hệ thống sản xuất năng lượng được triển khai theo kiểu phi tập trung.

Trong lịch sử, các nhà máy điện được xây dựng ở nơi thuận tiện nhất và mạng lưới phân phối vận chuyển lượng điện này từ nguồn phát điện đến khách hàng cuối là một chiều - chảy từ trung tâm ra ngoài hướng tới người dùng cuối. Đây là quá trình sản xuất và phân phối rất tập trung, liên quan đến các nhà máy điện quy mô gigawatt (chủ yếu là than, khí đốt và hạt nhân). Mô hình này đạt hiệu quả nhất khi tải điện trên đường dây cao thế ở điện áp điện xoay chiều (AC) công suất rất cao, phù hợp với những máy phát điện khổng lồ vì chúng tạo ra đủ điện năng để bảo đảm đầu tư vào các dự án truyền tải điện lớn. Sau đó, lưới điện được sử dụng để truyền tải nguồn điện này trên một khoảng cách dài trước khi giảm điện áp xuống mức đủ an toàn khi tới gần người tiêu dùng và phân phối nó dưới dạng dòng điện một chiều (DC). Quá trình tăng và giảm điện áp cũng như quá trình chuyển tải gây ra một số lãng phí, và thường được thống nhất ở mức từ 5-10%.

Các DER rất khác biệt. Đúng như tên gọi, chúng được triển khai theo kiểu phân tán, nghĩa là chúng có thể được đặt gần người dùng cuối hơn. Ngoài ra, chúng có công suất phát điện nhỏ hơn nhiều và thường được đo bằng kilowatt hoặc megawatt. Do quy mô nhỏ hơn, nên chúng thường không tương tác với lưới tải điện áp cao thế và trong nhiều trường hợp DER chỉ được sử dụng để cung cấp điện cho tòa nhà hoặc khuôn viên nơi chúng được triển khai.



**Hình 3.** Cách tạo một hệ thống năng lượng thông minh bằng cách sử dụng DER

Tuy nhiên, khi các DER này được tổng hợp thành SES, thì chúng sẽ có tác động trên quy mô rộng hơn nhiều. Việc này sẽ mang lại cơ hội để phân phối thông minh tất cả các dạng năng lượng bao gồm nhiệt và khí đốt - phần lớn ở dạng hydro xanh.

Khi nói đến DER, nhiều người thường đề cập đến các nguồn năng lượng tái tạo; ví dụ quen thuộc nhất là các tấm năng lượng mặt trời trên mái nhà và trang trại gió. Năng lượng mặt trời có thể được lắp đặt trong các tấm quy mô nhỏ trên mái nhà, hoặc ở quy mô lớn hơn trong các trang trại năng lượng mặt trời. Tua-bin gió có thể khác nhau về kích thước, nhưng chúng ta sẽ không thể tìm thấy một tua-bin gió trong môi trường đô thị. Tuy nhiên, quản lý thông minh đang ngày càng hiệu quả với các ứng dụng điện gió ngoài khơi, cung cấp thông tin liên lạc cho các tàu phải dành nhiều thời gian gần bờ và cho phép kiểm tra từ xa và bảo trì theo dự đoán. Các dự án đã triển khai mạng 4G riêng cho đến nay bao gồm Norther và Mermaid ở Bỉ, do nCentric và Nokia triển khai.

Tất nhiên, nhiều nguồn năng lượng không tái tạo cũng có thể triển khai áp dụng DER, bao gồm cả nhà máy điện khí chạy giờ cao điểm (gas peaker plant), các nhà máy điện diesel dự phòng và thậm chí cả các lò phản ứng hạt nhân mô-đun nhỏ (SMR). Trong khi điện hạt nhân hiện vẫn đang trong quá trình phát triển, các nhà

máy điện chạy giờ cao điểm và nhà máy điện diesel đã được sử dụng trong trường hợp khẩn cấp. Chúng được vận hành khi nguồn cung cấp điện chính bị mất điện, hoặc khi có sự mất cân bằng trên lưới điện chính và cần phải được sửa chữa. Tuy nhiên, được kết hợp với khả năng tích trữ điện trong một hệ thống SES, năng lượng tái tạo chứng tỏ là những phương án thay thế rất tiềm năng cho các phương pháp dựa trên nhiên liệu hóa thạch và có thể kịp thời thay thế những phương pháp này.

Vì chuyển đổi hệ thống năng lượng kết hợp với DER, nên các phương án thay đổi sẽ cần phải được thực hiện thông qua xây dựng và vận hành và sẽ cần nhiều dữ liệu để giám sát một số lượng lớn nguồn sản xuất và truyền tải điện.

## **2.2. Ắc quy tích trữ điện**

Yếu tố chính thứ hai là ắc quy tích trữ. Khi vai trò của năng lượng tái tạo trong hỗn hợp năng lượng tăng lên, tính chất không liên tục của ánh nắng mặt trời hoặc gió bắt buộc năng lượng phải được lưu trữ và sau đó giải phóng khi sản lượng phát điện thấp để bảo đảm cung cấp điện tái tạo ổn định cho người tiêu dùng.

Hầu hết các ví dụ về ắc quy tích trữ là ắc quy lithium-ion lớn, có thể tích trữ năng lượng dư thừa từ năng lượng tái tạo khi cung lớn hơn cầu và sau đó xả ắc quy khi cầu vượt quá cung.

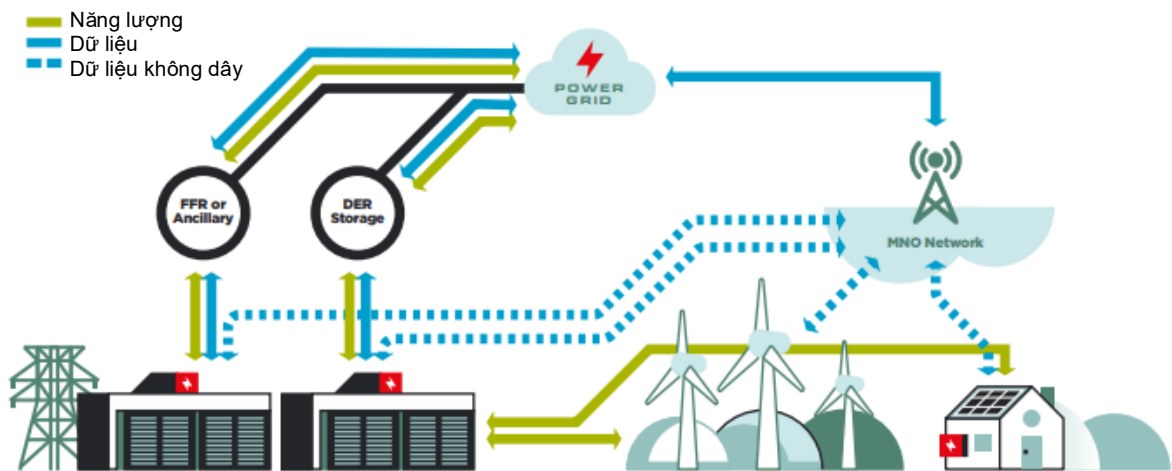
Ắc quy tích trữ giúp cho các DER quy mô lưới điện có thể được triển khai dễ dàng hơn do chúng trung hòa sự biến động ở sản lượng phát điện thường thấy ở các trang trại gió và mặt trời. Ngoài ra còn có các ắc quy tích trữ điện tập trung nhiều hơn vào dịch vụ phụ trợ, được sử dụng để điều chỉnh sự mất cân bằng trong lưới điện.

Ví dụ: Phản hồi tần số nhanh (FFR) là một ứng dụng cho phép ắc quy hoạt động như một tài sản khẩn cấp, sẵn sàng đáp ứng thay đổi tần số lưới với tốc độ cực nhanh. Nếu không ngăn chặn sự mất cân bằng tần số đó, sẽ có nguy cơ mất điện. Trong các ứng dụng FFR, các ắc quy sẵn sàng phản ứng với sự thay đổi tần số truyền và chủ sở hữu hoặc nhà điều hành ắc quy được trả tiền cho dịch vụ này.

Tuy nhiên, có nhiều ví dụ về bộ ắc quy lưu trữ có thể được lắp đặt trong nhà để phục vụ cho cùng mục đích mà các bộ lưu trữ quy mô lưới lớn hơn thực hiện trên lưới điện chính. Trong trường hợp này, chúng lưu trữ năng lượng trong thời gian chờ và có thể giải phóng năng lượng theo cách tối ưu hóa cho lưới điện hoặc cho chủ sở hữu ắc quy. Đối với các tiện ích, những loại ắc quy này cho phép tận dụng tốt nhất năng lượng tái tạo, bao gồm các tấm năng lượng mặt trời trên mái được lắp đặt tại hộ gia đình và các nguồn quy mô lưới lớn hơn.

Ví dụ, trong khi hộ gia đình ngủ, thì ắc quy có thể được sạc bằng điện gió có sẵn. Vào giờ cao điểm buổi sáng, khi những người trong gia đình sẵn sàng cho ngày mới, họ có thể được cấp điện hoàn toàn bằng năng lượng trong ắc quy. Khi những người này rời đi, thì ắc quy này có thể được bổ sung điện bằng cách sử dụng năng lượng mặt trời và gió để phục vụ nhu cầu buổi tối khi những người cư ngụ trở về nhà.

Điều này đòi hỏi sự phối hợp chặt chẽ giữa các thiết bị phát điện chính, ắc quy trong những ngôi nhà này và các thiết bị như bộ điều nhiệt thông minh và hệ thống sưởi ấm, thông gió và điều hòa không khí (HVAC) trong gia đình. Khi kết nối trên quy mô lớn, hàng nghìn ngôi nhà có thể được kiểm soát bởi một hệ thống tiện ích để bảo đảm rằng nó có thể sử dụng lượng điện tái tạo chi phí thấp cao hơn trong hỗn hợp năng lượng, điều này sẽ mang lại lợi ích to lớn cho môi trường.



**Hình 4.** Cách ắc quy tích trữ kích hoạt DER và các dịch vụ lưới khác

Trong khi phần lớn tích trữ năng lượng sẽ tiếp tục ở dạng nhà máy quy mô tiện ích “phía trước đồng hồ đo”<sup>3</sup> (front of the meter), nhưng các dịch vụ tích trữ dân dụng như Tesla Powerwall cũng đã được tạo ra để phù hợp với mức tăng trưởng ứng dụng 500% từ năm 2018 đến năm 2024, với 6,6GWh điện được phân phối khắp châu Âu. Việc này một phần được thúc đẩy bởi mức giảm chi phí trong sản xuất ắc quy lithium-ion, nhưng mức tiêu thụ trong quá trình lắp đặt sẽ phụ thuộc vào tỷ lệ hoàn vốn dành cho khách hàng khi cung cấp điện trở lại lưới điện. Điều này phụ thuộc vào ba điểm:

- Giá mua: thời điểm và giá mua điện vào để sạc.

<sup>3</sup> Phía trước đồng hồ đo bao gồm việc sản xuất năng lượng quy mô lớn và các tiện ích tích trữ như nhà máy điện, trang trại gió, các công viên năng lượng mặt trời, và các hệ thống tích trữ năng lượng quy mô lớn.

- Lượng điện nạp vào: lượng điện được bán trở lại lưới điện trong một thời gian nhất định.
- Biểu phí hoàn vốn: giá mà các nhà khai thác lưới điện phải trả cho ắc quy để hấp thụ hoặc giải phóng năng lượng.

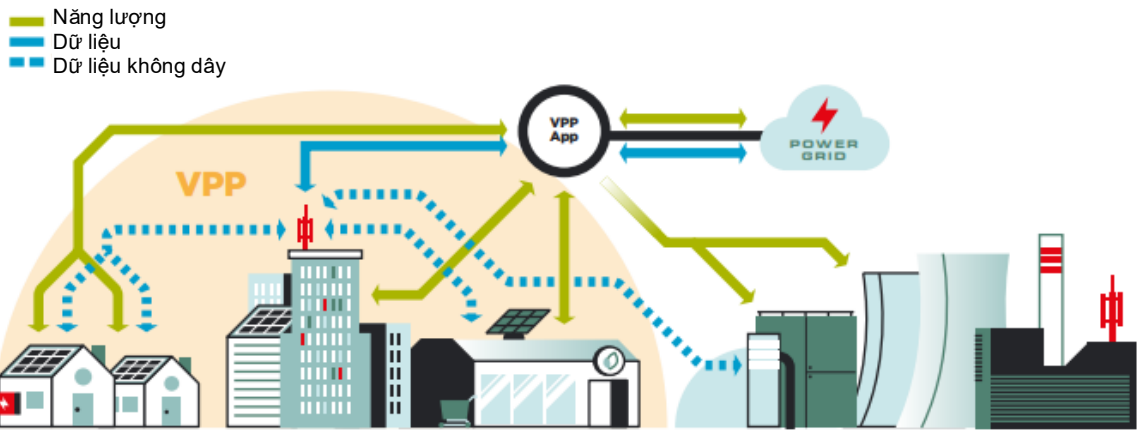
### 2.3. Nhà máy điện ảo (VPP)

Nhà máy điện ảo (VPP) là bước phát triển tiếp theo từ mô hình nhà máy điện tập trung truyền thống. Sử dụng các công nghệ điều phối dựa trên điện toán đám mây được kết nối qua mạng di động và Internet, một số DER khác nhau có thể được tập hợp thành một VPP duy nhất và được xử lý như thể đó là một đơn vị 'ảo' duy nhất, có khả năng cạnh tranh với những nhà máy sản xuất điện bằng nhiên liệu hóa thạch lớn.

Tập hợp các nguồn lực thành một hệ thống cung cấp duy nhất cũng mang lại khả năng tiếp cận tới nhiều nguồn lực đa dạng hơn. Khi nhiều người tiêu thụ (consumer) năng lượng chuyển sang thành 'nhà tiêu dùng chuyên nghiệp' (prosumer), những người tạo ra hoặc tích trữ năng lượng của riêng họ thông qua các tấm pin mặt trời dân dụng, ắc quy hoặc thậm chí cả xe điện, thì số lượng 'nút' (node - thiết bị phân phối, giao tiếp thông tin trong mạng lưới của hệ thống) khả dụng cho các VPP đó sẽ tăng lên.

Bất kỳ bộ DER nào cũng có thể được tập hợp theo cách này, nhưng hầu hết các ví dụ hiện tại đều tập trung vào việc sử dụng các công nghệ Đáp ứng nhu cầu (DR) làm cơ sở. Nói một cách đơn giản, DR yêu cầu giao tiếp hai chiều giữa nhà cung cấp năng lượng và người tiêu thụ.

Thách thức lớn nhất ở đây là trong việc truyền dữ liệu và điện năng. Ở các phiên bản VPP ban đầu, nhiều nỗ lực nghiên cứu tập trung vào AI, với Mạng nơ-ron giải quyết các vấn đề một cách tối ưu hóa để tính toán cách đáp ứng 100% nhu cầu điện rẻ nhất trong khi sử dụng càng nhiều nguồn lực sẵn có càng tốt - cho dù đó là một vài tấm panel mặt trời trên mái nhà hay toàn bộ trang trại năng lượng mặt trời.



**Hình 5.** Nhà máy điện ảo

Trong trường hợp này, nhà cung cấp điện cũng sẽ sử dụng nhiều công cụ dựa trên điện toán đám mây để dự báo nhu cầu trong tương lai và nguy cơ có thể phải đối mặt với tình trạng thiếu năng lượng - chẳng hạn như do thời tiết nhiều mây ảnh hưởng đến việc sản xuất năng lượng mặt trời – nó có thể khuyến khích khách hàng thay đổi nhu cầu của họ. Điều này có nghĩa là nhà cung cấp không phải sử dụng công suất khẩn cấp dựa trên nhiên liệu hóa thạch, đắt tiền - như các nhà máy khai thác khí đốt.

Trong lắp đặt thương mại, việc này có thể có nghĩa là cài đặt đồng hồ đo và bộ điều khiển trên các thiết bị công nghiệp lớn, để hoạt động của chúng có thể được đồng bộ hóa từ xa giúp phù hợp với chương trình khuyến khích mà công ty cung cấp điện đưa ra. Đối với tiêu thụ gia đình, việc này có thể là một bộ điều nhiệt thông minh được kích hoạt để sưởi ấm hoặc làm mát ngôi nhà với thời gian hiệu quả nhất về chi phí hoặc thân thiện với môi trường - tất cả đều không gây bất tiện cho người dùng cuối.

Một mặt giải pháp này là tối đa hóa khả năng cung cấp năng lượng tái tạo, mặt khác làm dịch chuyển các nhu cầu cao điểm để giảm thiểu các trường hợp nhu cầu về năng lượng tái tạo vượt quá nguồn cung. Ví dụ: tại các trung tâm thương mại như bến cảng, nơi nhiều doanh nghiệp có thể tăng nhu cầu tại một thời điểm nhất định, dịch chuyển một chút nhu cầu cao điểm trong toàn bộ hệ sinh thái của khu vực sẽ khiến toàn bộ khu vực được cung cấp năng lượng sạch trong phần lớn thời gian hơn.

Trong một VPP, có thể xác định rủi ro thông qua khả năng duy trì nguồn cung năng lượng liên tục cho khách hàng của hệ thống. Dữ liệu phải được truyền để đánh giá các đặc điểm vận hành của hệ thống và để tối đa hóa lợi nhuận từ bất kỳ công suất khả dụng nào trên mạng tài nguyên của VPP.

Những ví dụ về rủi ro này, xảy ra ở California (Mỹ) và Trung Quốc, tập trung vào việc sử dụng liên lạc cố định. Tuy nhiên, do các công ty cung cấp tìm cách cải thiện năng lực các VPP của họ, nên việc sử dụng liên lạc di động và không dây sẽ cho phép tiếp cận nhiều loại tài sản có khả năng sản xuất điện hơn ở những nơi không thể lắp đặt đường dây cố định. Giao tiếp giữa máy với máy có thể cho phép truy cập rộng rãi hơn tới các VPP này bằng cách đưa ra tính năng thu thập tự động dữ liệu phát điện, thông tin về công suất và giá cả cũng như cho phép thanh toán.

Việc này có hai lợi ích chính. Thứ nhất, nó có nghĩa là tiếp cận nhiều loại thị trường năng lượng hơn. Nhiều tài sản có khả năng phát điện hơn có nghĩa là nhiều điện năng hơn và có thể khai thác lượng công suất lớn hơn tại bất kỳ thời điểm nào - nghĩa là có thể tiếp cận các thị trường phản ứng nhanh, vì các VPP vượt qua các rào cản về yêu cầu công suất tối thiểu.

Thứ hai, nó có thể mang lại khả năng tiếp cận các địa điểm mà hệ thống liên lạc cố định hoạt động kém, mở rộng phân bố địa lý của hệ thống năng lượng. Đổi lại, điều này có nghĩa là hệ thống trở nên linh hoạt hơn với các kiểu thời tiết địa phương, với danh mục tài sản phát điện đa dạng, đồng thời cũng hạn chế khả năng tiếp xúc với các sự kiện khí hậu gây tổn hại cho từng tài sản. Về khả năng tiếp cận thị trường, việc này có thể cho phép các nhà khai thác VPP cung cấp công suất điện với tỷ lệ khả dụng cao hơn, mặc dù hệ thống truyền tải cần được quản lý cẩn thận.

#### **2.4. Phương tiện nối lưới điện (V2G)**

Hiện tại, hầu hết nhiều người cho rằng nhà máy điện ảo VPP bao gồm nhiều DER thương mại hơn DER tiêu dùng, nhưng điều này đang thay đổi. Sự chuyển đổi của người tiêu thụ sang 'người tiêu dùng chuyên nghiệp', vừa sản xuất vừa tiêu thụ năng lượng đang cho thấy nhiều ngôi nhà được trang bị DER hơn như năng lượng mặt trời trên mái nhà, bộ ắc quy lưu trữ và các thiết bị có khả năng DR. Với tốc độ sử dụng xe điện tăng chóng mặt, việc sử dụng các loại ắc quy di động này mang đến cơ hội cho Sạc thông minh (thuộc cả DER và DR) cũng như lĩnh vực chính thứ tư - Phương tiện nối lưới điện (V2G).

Chuyển hướng sang xe điện là một trong những mục tiêu khử carbon khả thi nhất. Số lượng xe điện chạy trên đường được dự báo sẽ tăng gấp 14 lần chỉ sau 10 năm, với 116 triệu chiếc dự kiến sẽ hoạt động trên toàn cầu vào năm 2030, mang lại dung lượng pin kết hợp trên 7TWh<sup>4</sup>. Khi được cắm điện và sạc đầy, những xe điện

---

<sup>4</sup> BloombergNEF, Electric Vehicle Outlook, 2019 - <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>



này có thể được tập hợp với vai trò là một phần của VPP động để đóng vai trò là ác quy cân bằng lưới điện.

Một số chuyên gia<sup>5</sup> dự đoán lượng điện hàng năm để sạc cho xe điện có thể vượt quá 1.100TWh vào năm 2030 - gần tương đương với toàn bộ ngành công nghiệp của châu Âu. Để bảo đảm lượng lớn người tiêu dùng về đến nhà và sạc điện vào ô tô của họ mà không gây ra sự cố mất điện liên tục, cơ sở hạ tầng sạc cần phải được triển khai để kiểm soát và tối ưu hóa thời gian sạc EV dựa trên các điều kiện lưới điện tại địa phương. Mất điện hoặc điện hạn chế sẽ cực kỳ bất lợi cho việc áp dụng xe điện, vì vậy, điều quan trọng là phải bảo đảm những phương tiện này có thể được sạc theo cách tối ưu. Mạng di động sẽ rất quan trọng để kết nối an toàn, một yếu tố cần thiết để V2G được áp dụng trên quy mô lớn.



**Hình 6.** Vai trò của xe điện trong một hệ thống năng lượng thông minh

Giai đoạn xe điện mới được tung ra thị trường thường đi kèm với cơ sở hạ tầng 'sạc chậm', trong đó một chiếc ô tô về cơ bản được sạc theo cách tương tự như một điện thoại di động. Nhưng cả chi phí sở hữu lẫn nhu cầu điện trên toàn lưới sẽ giảm đáng kể nhờ sự xuất hiện của công nghệ sạc thông minh, trong đó quá trình sạc được quản lý dựa trên dữ liệu lưới điện trực tiếp. Cách duy nhất thực hiện việc quản lý này là thông qua một mức độ kết nối an toàn và gia tăng.

Để tăng mức độ sử dụng xe điện thông minh, cơ sở hạ tầng sạc này cũng phải được phát triển để có thể sạc tại nhà. Mạng Supercharger của Tesla là ví dụ nổi bật trong phân khúc này nhưng vẫn chỉ dành riêng cho chủ sở hữu Tesla do yêu cầu ứng dụng điện thoại thông minh, cũng như độc quyền phích cắm kết nối xe với bộ sạc.

<sup>5</sup> IEA, Global EV Outlook, 2019

Sạc thông minh nhằm mục đích theo dõi thói quen sử dụng năng lượng của người tiêu dùng, và sau đó quản lý việc sạc xe của họ để tối ưu hóa mức tiêu thụ năng lượng so với nguồn cung năng lượng tái tạo. Ví dụ, thay vì sạc xe lúc 8 giờ tối khi mức sử dụng điện thường cao, thì hệ thống có thể tận dụng những giờ vào sáng sớm khi điện tái tạo có thể chiếm tỷ trọng lớn hơn trong cơ cấu năng lượng. Từ quan điểm của người tiêu dùng, việc này cũng có lợi ích về mặt chi phí. Giá điện, như với bất kỳ hàng hóa nào khác, theo động lực cung và cầu và bằng cách nắm được mức giá thấp hơn, người dùng có thể tiết kiệm tới €80 chi phí sạc mỗi năm. Với việc lắp đặt bộ sạc thông minh tốn khoảng €550, thời gian hoàn vốn khoảng 8 năm được coi là có thể chấp nhận được trong thị trường năng lượng mặt trời dân dụng.

Nghiên cứu cũng cho thấy dòng điện tăng vào và ra khỏi ắc quy ô tô có thể ít gây hại hơn là giữ cho bình ắc quy đó tích trữ hết công suất trong thời gian dài, suy ra sạc thông minh sẽ làm giảm chi phí bảo trì trong giai đoạn sở hữu EV.

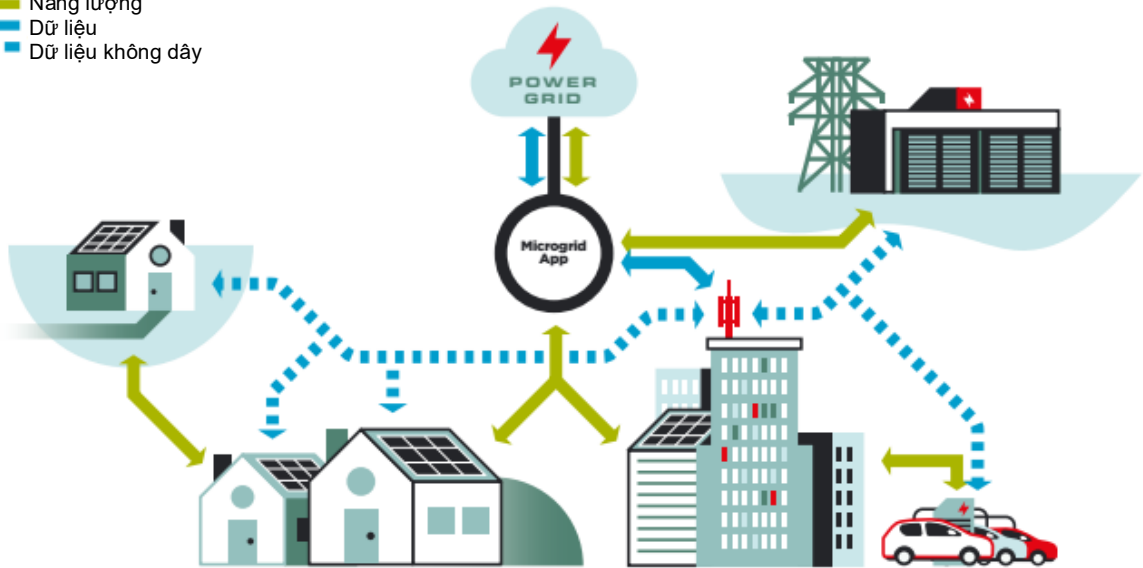
Ngoài sạc thông minh, sạc V2G cũng bắt đầu trở nên ngày càng hấp dẫn đối với người tiêu dùng, với tiềm năng bán được điện tích trữ trong ắc quy ô tô ngược trở lại lưới điện ở những thời điểm có nhu cầu cao. Do sự phức tạp của thiết bị tăng lên, nên chi phí lắp đặt V2G hiện tại gần 6.000 €, nhưng chúng đang giảm dần. Với mức thanh toán trung bình cho người tiêu dùng thường vượt quá €400 mỗi năm, người tiêu dùng có thể thu được lợi nhuận hấp dẫn vào năm 2023 phát triển cơ sở hạ tầng sớm được hỗ trợ.

Thị trường non trẻ rất tiềm năng đang hình thành quanh việc ứng dụng cơ sở hạ tầng sạc V2G, đặc biệt trong nhà, cũng như các mạng công cộng tại nơi làm việc hoặc khu phức hợp bãi đậu xe. Khi những VPP mạnh hơn nhờ V2G xuất hiện, chúng đòi hỏi cần có các ứng dụng kinh doanh và các hệ thống thanh toán để tạo thuận lợi cho việc sử dụng chúng, điện thoại thông minh và mạng hỗ trợ chúng cũng giữ vai trò trọng yếu. Những mạng di động này giữ nhiệm vụ vô cùng quan trọng.

## **2.5. Giao dịch lưới điện siêu nhỏ**

Giao dịch lưới điện siêu nhỏ liên quan đến mua bán năng lượng giữa các thành viên của một lưới điện siêu nhỏ, vốn thường là một mạng lưới năng lượng nhỏ và độc lập, tập trung vào khả năng thích ứng và khả năng tự cung tự cấp.

- Năng lượng
- Dữ liệu
- Dữ liệu không dây



**Hình 7.** Năng lượng được trao đổi như thế nào giữa những chủ thể tham gia lưới điện siêu nhỏ và lưới điện trung tâm

Hiện tại, các hệ thống truyền tải không xác định được vị trí thực tế của nhà sản xuất hoặc người tiêu dùng. Tất cả điện năng đưa vào lưới điện được gộp vào một hệ thống tập trung và sau đó được phân phối lại, nghĩa là các nhà sản xuất năng lượng mặt trời ở miền nam đất nước có thể cung cấp điện cho một nhà máy ở miền bắc.

Có thể triển khai các lưới vi mô phi tập trung bằng cách sử dụng DER để giảm thiểu khoảng cách giữa sản xuất và tiêu thụ điện, giảm cả chi phí lẫn tổn thất liên quan đến truyền tải. Thông qua một hệ thống năng lượng thông minh, nơi đầu ra của các nguồn năng lượng phân tán có thể được theo dõi cùng lúc với nhu cầu trực tiếp của người tiêu dùng trong miền của lưới điện siêu nhỏ, năng lượng tái tạo có nguồn gốc địa phương có thể được bảo đảm.

Lưới điện siêu nhỏ thường phổ biến trong môi trường thương mại, nơi một khách hàng duy nhất yêu cầu khả năng dự phòng khẩn cấp cho các ứng dụng kinh doanh quan trọng. Các dây chuyền sản xuất và trung tâm dữ liệu là những ví dụ điển hình về lưới điện siêu nhỏ, nhưng các công viên và bệnh viện doanh nghiệp lớn, nơi có nhiều bất động sản có thể cung cấp nhiều công suất năng lượng mặt trời trên mái nhà, cũng là những lựa chọn lý tưởng.

Các khu phố cũng là những ứng cử viên tuyệt vời cho việc áp dụng lưới điện siêu nhỏ, nhưng chúng sẽ khác với lưới điện siêu nhỏ ngày nay bởi có nhiều khách hàng hoặc người dùng hơn. Tập hợp lại, những ngôi nhà trên một con phố hoặc những ngôi nhà trong một ngôi làng có thể được gộp lại với nhau bằng cách sử

dụng các tấm pin mặt trời trên mái nhà để tạo ra điện, các bộ ắc quy trong nhà để lưu trữ điện và các sáng kiến khử cacbon khác như máy bơm địa nhiệt và vật liệu cách nhiệt.

Lưới điện siêu nhỏ này sẽ có kết nối với lưới điện chính để nhập và xuất năng lượng, chẳng hạn như nếu ắc quy trong nhà đã đầy và mặt trời vẫn chiếu sáng. Kết nối bên ngoài tới lưới điện siêu nhỏ 'ốc đảo' này sẽ luôn hữu ích trong các trường hợp khẩn cấp hoặc thời tiết bất thường, nhưng mục tiêu là cố gắng tạo ra một khu phố có lưới điện siêu nhỏ tự túc nhất có thể. Nhưng do cách sử dụng của mỗi hộ gia đình khác nhau nên cần phải có cách chia sẻ điện năng giữa các hộ. Đây là nơi các công nghệ giao dịch phát huy hiệu lực. Một hộ có thể 'bán' sản lượng năng lượng mặt trời dư thừa cho một hộ khác có nhu cầu sử dụng điện hiện tại hoặc nạp ắc quy hoặc EV đã cạn kiệt.

Danh sách các giao dịch này cần phải được lưu giữ để mỗi hộ có thể được thanh toán cho năng lượng mà nó sản xuất ra và trả tiền cho năng lượng mà nó lấy từ hàng xóm hoặc từ lưới điện quốc gia. Tương tự như vậy, mỗi hộ cần có khả năng thông báo cho những người hàng xóm về công suất khả dụng và nhu cầu dự kiến của mình, do một mạng lưới siêu nhỏ như thế chỉ có thể hoạt động nếu tất cả những người tham gia cùng hoạt động một cách hòa hợp.

Việc này đòi hỏi phải có đồng hồ thông minh trong mỗi ngôi nhà, cũng như Hệ thống quản lý năng lượng gia đình (HEMS) có thể điều phối pin và tấm pin mặt trời, đồng thời có khả năng kiểm soát hệ thống HVAC và sạc EV. Những thiết bị này sẽ cần có kết nối không dây mạnh, liên kết chúng với hệ thống điều phối được lưu trữ trên nền tảng đám mây, có thể kết nối các hệ thống kinh doanh năng lượng với các nhà cung cấp công nghệ cung cấp thiết bị đang hoạt động. Những lưới điện siêu nhỏ này có thể là những hệ thống vô cùng phức tạp, nhưng ngày nay đã có công nghệ điện toán để vận hành chúng. Các công ty cung cấp điện có thể bắt đầu coi khách hàng của họ là tài sản - rõ ràng là một số lưới điện siêu nhỏ nhất định có thể được cấu hình thành VPP. Sau đó, những tài sản này cũng có thể hỗ trợ các lưới điện siêu nhỏ khác gần đó.

Nếu đạt đến điểm lắp đặt đủ lưới điện siêu nhỏ tự cung tự cấp, thì quá trình khử carbon có thể chuyển trọng tâm sang giải quyết nhu cầu công suất cao của ngành công nghiệp, nơi các ngành như sản xuất thép và hàng không là những thách thức lớn nhất. Có những thử nghiệm rất hứa hẹn, sử dụng các công nghệ dựa trên chuỗi khối để theo dõi giao dịch giữa các thành viên trong các lưới điện siêu nhỏ này và giữa các lưới điện siêu nhỏ với lưới điện quốc gia.

Hiện tại, lưới điện siêu nhỏ đã được lắp đặt trong môi trường công nghiệp, quân sự và thương mại, nhưng việc triển khai tại các khu dân cư hiện đang trong giai đoạn khám phá. Một số lưới điện siêu nhỏ trong giai đoạn nghiên cứu và phát triển (R&D) đang hoạt động, với Khu dân cư thông minh gồm 62 ngôi nhà của Alabama Power là một trong những ví dụ điển hình nhất. Các đối tác gồm Bộ Năng lượng Hoa Kỳ và Viện Nghiên cứu Điện lực (EPRI). Ở châu Âu, lưới điện siêu nhỏ dân dụng tập trung vào ứng dụng kinh doanh năng lượng, trong khi ở Mỹ, bản chất của nhiều cộng đồng nông thôn ưu tiên cho dự phòng và cấp điện cho phân tách rời trong lưới (energy islanding).

### **3. XÂY DỰNG VÀ VẬN HÀNH HỆ THỐNG NĂNG LƯỢNG THÔNG MINH**

Giải quyết cuộc khủng hoảng khí hậu đòi hỏi chúng ta phải chuyển đổi nhanh chóng khỏi việc sản xuất năng lượng từ nhiên liệu hóa thạch và hướng tới các giải pháp thay thế bền vững và khử carbon. Các công nghệ thì đã sẵn sàng, việc cần bây giờ là một chiến lược phối hợp tập thể để triển khai chúng ở quy mô cần thiết mà ít làm gián đoạn kinh tế nhất. Kết nối không dây là một thành phần quan trọng trong quá trình chuyển đổi trung hòa carbon thông qua việc kích hoạt các SES mới.

SES là một giải pháp mới, kết hợp các công nghệ tích trữ và tạo năng lượng với các ứng dụng 'thông minh', kiểm soát và tối ưu hóa việc sử dụng chúng. Những hệ thống này sẽ là chìa khóa để đáp ứng các mục tiêu hướng tới “phát thải ròng về không” vào năm 2050 hoặc sớm hơn của các công ty và chính phủ. Trong bối cảnh năng lượng hiện tại, năng lượng tái tạo (bao gồm nhiên liệu sinh học và thủy điện) hiện chỉ chiếm 11% lượng tiêu thụ toàn cầu, với thêm 5% đến từ năng lượng hạt nhân, còn lại là 84% nhiên liệu hóa thạch cần được chuyển đổi bởi công nghệ tái tạo.

Quy mô và tốc độ là một trong những yêu cầu cấp bách nhất vì các công nghệ mới được đưa vào sử dụng trong lĩnh vực năng lượng cần phải trở thành trụ cột tạo ra phần lớn công suất điện. Rất may, các mạng di động và thể hệ điện toán đám mây dựa trên AI mới đã sẵn sàng để hỗ trợ quá trình chuyển đổi nhanh chóng này. Sự kết hợp giữa mạng di động và môi trường điện toán đám mây mạnh là rất quan trọng nhờ khả năng tập hợp các hệ thống năng lượng tái tạo mới nổi thành một tài sản để cạnh tranh với nhà máy điện hạt nhân quy mô gigawatt. Bằng cách sử dụng kết nối không dây để kết hợp một số trang trại năng lượng mặt trời hoặc hàng nghìn ngôi nhà với hệ thống tích trữ hoặc năng lượng tái tạo quy mô nhỏ, sử dụng điện toán đám mây để quản lý chúng, các SES mới có thể giữ vai trò hoạt động hiệu quả trong

nỗ lực khử carbon.

Việc này sẽ đạt được thông qua ba bước chính:

- Thứ nhất, có thể tối đa hóa sản lượng đầu ra trong vòng đời của tài sản năng lượng tái tạo thông qua việc đưa ra các quyết định theo thời gian thực để tối ưu hóa hiệu suất dựa trên các đặc tính kỹ thuật và dữ liệu khí tượng.

- Thứ hai, việc tiêu thụ của các thiết bị đầu cuối có thể được giảm thiểu và chuyển sang các giai đoạn khi có nguồn cấp điện tái tạo dư thừa.

- Cuối cùng, tất cả các thành phần có thể được tập hợp lại với nhau, cùng với các công nghệ lưu trữ năng lượng, để tạo ra các hệ thống năng lượng phi tập trung có hiệu suất tối đa và chi phí tối thiểu.

### **3.1. Cách xây dựng Hệ thống năng lượng thông minh**

Quá trình kết hợp nhiều thành phần nhỏ thành một SES tổng hợp không phải là một công việc dễ dàng. Cần kết nối nhiều bộ phận chuyên động, cũng như cấu hình lại các ứng dụng chính phủ và doanh nghiệp trung ương. Các mạng di động là một thành phần quan trọng, cho phép những tài sản này kết nối, với môi trường điện toán dựa trên đám mây hoạt động với vai trò điều phối.

Ví dụ về các hệ thống SES này có thể là hệ thống lưu trữ ắc quy lithium-ion được thiết kế để tích trữ năng lượng từ một trang trại năng lượng mặt trời gần đó; một nhóm ngôi nhà đã lắp đặt các tấm pin mặt trời trên mái của họ; hoặc một đội xe điện sẽ sạc theo kiểu phối hợp khi sản lượng điện tái tạo đang ở mức cao.

Các thành phần tham gia vào SES cần nắm bắt được trách nhiệm của họ và mỗi chủ thể tham gia cần biết đối tác nào để trả tiền hoặc khách hàng nào để đòi tiền. Sau cùng, nếu SES thành công về mặt thương mại, thì tất cả các đối tác cần nắm được vai trò và nghĩa vụ của mình trong việc tạo ra môi trường tối ưu cho hoạt động của chính mình.

Tất cả các thành phần khác nhau cần được kết nối và sau đó được phối hợp hài hòa, bằng cách sử dụng kết nối không dây để liên kết chúng với internet, nơi mà sau đó chúng có thể được cấu hình bên trong một ứng dụng chạy trong môi trường điện toán đám mây. Các công nghệ dựa trên AI mới đặc biệt hữu ích trong các ứng dụng đám mây, sẽ được đưa vào hoạt động để tối ưu hóa việc sử dụng và tạo doanh thu cho các hoạt động triển khai SES

### 3.2. Nền tảng của hệ thống năng lượng thông minh

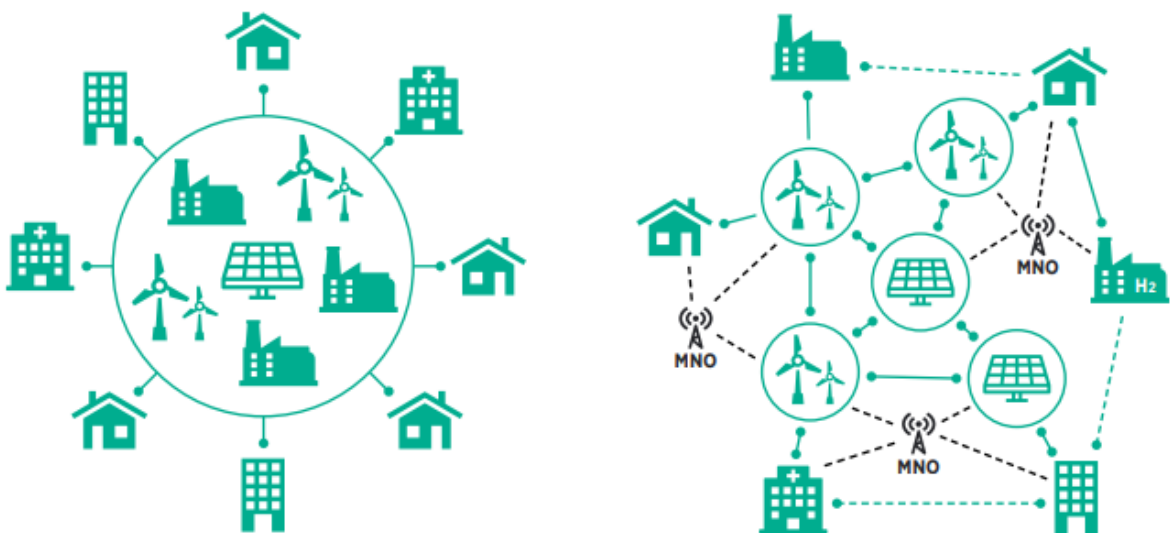
Sẽ không có hai hệ thống năng lượng thông minh nào giống hệt nhau, tuy nhiên hầu như tất cả chúng thường bao gồm ba thành phần cơ bản, đó là Kết nối không dây, Điện toán đám mây và Nền tảng.

#### *Kết nối không dây*

Kết nối không dây luôn là một công nghệ hỗ trợ; nó giúp tạo ra một nền tảng xây dựng nên các hoạt động kinh doanh mới. Đôi khi, hỗ trợ có nghĩa là tạo ra một ứng dụng hoàn toàn mới, chẳng hạn như ngành công nghiệp ứng dụng đã lớn mạnh quanh điện thoại thông minh. Trong trường hợp khác, việc này có nghĩa là cải thiện các ứng dụng hiện có - mang lại hiệu quả hoặc dòng doanh thu mới.

Lĩnh vực năng lượng là một ví dụ điển hình nhất cho trường hợp thứ hai. Nhìn chung, kết nối không dây đã tạo điều kiện thuận lợi để triển khai các hệ thống sản xuất năng lượng tái tạo mới. Nó đã đặt nền móng cho một thế hệ xe điện mới và thị trường thanh toán cần thiết xung quanh chúng, đồng thời trong tương lai sẽ kết nối tất cả các kiểu tòa nhà với lưới năng lượng động.

Dữ liệu được tạo bởi điện thoại thông minh, thiết bị gia dụng, thiết bị kinh doanh, phương tiện giao thông, máy ảnh và máy bay không người lái sẽ tạo nên nguồn năng lượng cho cuộc cách mạng công nghiệp tiếp theo - hay trong trường hợp này là một cuộc cách mạng môi trường. Quản lý hàng chục hoặc hàng trăm nghìn thiết bị sẽ vô cùng phức tạp nếu chúng được kết nối thông qua hàng chục đến hàng trăm mạng vật lý khác nhau mang khối lượng dữ liệu khổng lồ.



**Hình 8.** Sản xuất năng lượng tập trung và Sản xuất năng lượng phân tán

Nếu một công ty cấp điện hoặc công ty quản lý năng lượng cần sử dụng đồng hồ đo để giám sát việc sử dụng trực tiếp hoặc muốn có thể kiểm soát các thiết bị tại nơi ở của khách hàng, thì việc dựa vào tất cả các mạng khác nhau này sẽ là một rủi ro vận hành rất lớn. Sử dụng mạng di động có thể giải quyết vấn đề này, kết nối trực tiếp các thiết bị này với Nhà khai thác mạng di động (MNO) mà không cần phụ thuộc vào khách hàng, chủ sở hữu tòa nhà hoặc chính phủ.

### **Hộp 2.** Ưu điểm của “không dây” so với “có dây”

Trong nhiều trường hợp có thể thay thế kết nối không dây bằng kết nối có dây (có định). Tuy nhiên, ở hầu hết các trường hợp này, chi phí lắp đặt dây cáp sẽ khiến cho tiềm năng kinh doanh trở nên giảm sút đi rõ rệt.

Ngoài ra, sử dụng công nghệ không dây hầu như luôn có nghĩa là việc lắp đặt sẽ đơn giản hơn, chẳng hạn một kỹ thuật viên có thể dễ dàng lắp một chiếc đồng hồ đo thông minh mới. Sau đó, hoạt động này sẽ dựa vào kết nối không dây diện rộng, chứ không phải cố dựa vào kết nối WiFi tại nhà khách hàng hoặc hy vọng khách hàng sẽ không vô tình rút phích cắm của thiết bị.

Đối với tài sản di động, kết nối cố định không phải là một phương án khả thi. Xe điện (EV) cũng có thể là tài sản lớn cho lưới điện, cũng như các sáng kiến khử carbon, nhưng chúng cũng cần được quản lý ở quy mô lớn. Thông qua xu hướng có thể hướng xe điện tới trạm sạc tốt nhất dựa trên dữ liệu di chuyển và các mô hình sử dụng, những chiếc xe điện này có thể trở thành các bình ắc quy di động để lưu trữ năng lượng tái tạo dư thừa.

Vì hầu hết các chiếc xe ô tô đều trong trạng thái đỗ chiếm tới 95% vòng đời của chúng nên chúng có thể được coi là trạm điện siêu nhỏ, cấp điện vào lưới điện cục bộ khi cần thiết. Những ứng dụng này cần kết nối có thể di chuyển cùng với tài sản, có thể đủ chắc chắn và kéo dài tuổi thọ của tài sản.

### ***Điện toán đám mây***

Điện toán đám mây trở thành công nghệ mới thân quen đối với các doanh nghiệp nhờ tính linh hoạt trong các kế hoạch định giá của nó. Nó cho phép khách hàng chỉ phải trả tiền cho chính xác lượng công suất tính toán và phần mềm hỗ trợ mà không gặp rủi ro khi đầu tư lãng phí. Thay vì phải mua, cài đặt và hỗ trợ tính năng tính toán này, giờ đây người dùng cuối có thể trả tiền cho nó dưới dạng dịch vụ. Nhờ tính linh hoạt này, điện toán đám mây cho phép khách hàng sử dụng các công nghệ điện toán mới, đặc biệt là xử lý dữ liệu dựa trên AI, thuê nó trên cơ sở rất ngắn hạn.



Đây là một động lực tương tự để giảm tải 'chi phí' vận hành mạng không dây riêng cho MNO và giúp quá trình vận hành dễ dàng hơn, góp phần đưa ra các quyết định nhanh và hiệu quả hơn. Hiện tại, các MNO đã trở thành nhà cung cấp Điện toán đám mây và đang tìm kiếm các dịch vụ mới để bổ sung vào các dịch vụ của họ, tận dụng các cơ sở mạng phân tán hình thành nên mạng truyền thông của họ.

Lợi ích chính của cách tiếp cận dựa trên dịch vụ này là không cần nhiều vốn. Như có thể thấy qua ví dụ về những công ty như Tesla trong thị trường ô tô, những công ty mới gia nhập lại có thể là một trong những người sáng tạo nhất và có ảnh hưởng nhất trong việc chống lại biến đổi khí hậu. Tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển nhanh chóng của những công ty có khả năng thay đổi cuộc chơi này với khả năng tiếp cận tới điện toán công suất cao, chi phí thấp là một trong những vai trò chính của các MNO thông qua quá trình chuyển đổi năng lượng.

### ***Nền tảng***

Nền tảng là thuật ngữ được sử dụng để mô tả sự kết hợp của các công nghệ, thường là từ nhiều nhà cung cấp, hoạt động như một nền móng mà trên đó người dùng có thể xây nên các ứng dụng kinh doanh mới. Không có gì đáng ngạc nhiên khi điện toán đám mây là một phần quan trọng và hoạt động như một trung tâm thu thập dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau.

Các Nền tảng này có thể hợp nhất dữ liệu từ nhiều đối tác hoặc các chủ thể khác nhau, xử lý dữ liệu và sau đó chạy kết quả thông qua các ứng dụng và phần mềm kinh doanh phức hợp theo kiểu cộng tác. Quy trình này cho phép vận hành các ứng dụng kinh doanh mới, vốn không thể thực hiện được trước khi có điện toán đám mây. Cùng với sự xuất hiện của Nền tảng, các MNO đã bắt đầu kết nối nhiều loại thiết bị Internet Vạn vật (IoT), trong đó nhiều loại giữ vai trò quan trọng trong lĩnh vực năng lượng.

Ví dụ điển hình là một nền tảng thu thập dữ liệu từ đồng hồ đo thông minh, trạm quan trắc thời tiết và các nguồn tài nguyên sản xuất năng lượng, sau đó so sánh những ý định của hệ thống với hành vi của người tiêu dùng trước đây. Sử dụng hệ thống này, ngành năng lượng có thể xác định nhu cầu của khách hàng sẽ thay đổi như thế nào trong suốt một ngày, dựa trên các mẫu hiện tại và trước đó, cũng như ảnh hưởng của thời tiết vào ngày cụ thể đó. Điều này cho phép tối ưu cơ cấu năng lượng trong thời gian gần như thực.

Đó là sức mạnh của một nền tảng như vậy - một nền tảng có thể được điều hành bởi một doanh nghiệp duy nhất và chứa đầy các đối tác và khách hàng, chẳng hạn

như MNO, nhà cung cấp điện toán đám mây hoặc một tổ chức chính phủ. Nền tảng là chất keo kết nối tất cả các bộ phận cấu thành lại với nhau, tạo ra một SES hoạt động như một thể thống nhất và hỗ trợ các nỗ lực loại bỏ carbon.

Các mạng không dây kết hợp và nền tảng điện toán đám mây cung cấp nền móng giúp chuyển đổi các hệ thống năng lượng thông thường thành SES. Rất nhiều công ty khởi nghiệp mới đang đưa những hệ thống này lên tuyến đầu, nhưng để trở thành một làn sóng chuyển đổi, thì những công ty khởi nghiệp này cần có năng lực tích hợp chúng vào thế giới phần mềm kinh doanh. Đó chính là nơi các Nền tảng phát huy tác dụng, với khả năng kết nối không dây có thể kết nối tất cả các loại ứng dụng mới với hệ sinh thái toàn cầu này.

### **3.3. Vai trò của Nhà vận hành mạng di động (MNO)**

Nói một cách đơn giản, SES yêu cầu có kết nối không dây để mở rộng quy mô nhằm kết nối các tài sản được triển khai trong ngành với các ứng dụng điều phối tập trung. MNO đang trở thành nhà cung cấp dịch vụ quan trọng khi những mạng của họ kết nối việc triển khai SES với lưới năng lượng quốc gia.

Ngoài ra, các MNO đã mở rộng mô hình kinh doanh của họ, tìm cách chuyển đổi từ việc chỉ là nhà cung cấp kết nối thành công ty cung cấp dịch vụ giá trị gia tăng. Quá trình mở rộng này đang được tiến hành tốt, với IoT là xu hướng xuyên suốt vì mọi thiết bị và kết nối mới đều đem lại cơ hội tạo ra doanh thu cho các MNO.

Sự chuyển đổi năng lượng dự kiến sẽ diễn ra đến năm 2050 chỉ có thể thực hiện được nếu các mạng không dây được sử dụng phổ biến. MNO là thành phần không thể thiếu để kích hoạt các kết nối mới này, hoạt động với vai trò là kết nối giữa các thiết bị trong ngành với các ứng dụng kinh doanh sẽ sử dụng các tùy chọn kết nối mới này.

Mạng MNO sẽ vận chuyển dữ liệu từ biên mạng tới hệ sinh thái Điện toán đám mây. Nhiều MNO đã tạo ra các phòng ban về Điện toán đám mây và trong suốt giai đoạn này, gần như tất cả các MNO sẽ chuyển sang lĩnh vực kinh doanh này. Họ sẽ tìm cách cung cấp cả kết nối không dây và phần mềm kinh doanh hỗ trợ.

Đối với ngành năng lượng, MNO có thể cung cấp kiến thức chuyên môn về tích hợp hệ thống để kết nối vô số yếu tố và dịch vụ kỹ thuật số trong lưới năng lượng. Họ sẽ đóng vai trò là đường dẫn giữa các ứng dụng dựa trên đám mây khác, cho phép lưới năng lượng tương tác với các hệ thống kinh doanh, chính phủ và người tiêu dùng khác, đồng thời hoạt động để thu hẹp khoảng cách kiến thức trong lĩnh

vực năng lượng liên quan đến kết nối không dây ở quy mô lớn.

### **3.4. Vai trò của các Hệ thống năng lượng thông minh trong tiêu chuẩn 1,5 độ**

Để ngăn chặn biến đổi khí hậu gây ra những tổn thất không thể phục hồi được cho hành tinh, Hội đồng liên chính phủ về biến đổi khí hậu đã tuyên bố thế giới cần đạt mức phát thải carbon ròng bằng 0 vào năm 2050. Việc này đòi hỏi sự hợp tác toàn cầu chặt chẽ và quyết tâm giữa ngành công nghiệp và các nhà hoạch định chính sách. Để đạt được mục tiêu này, nhu cầu năng lượng toàn cầu cần giảm với tốc độ ít nhất 0,19% mỗi năm so với mức hiện tại, trong khi tỷ lệ thâm nhập của năng lượng tái tạo cần được đẩy lên trên 85% sản lượng vào năm 2050.

Đối với nhiều ngành công nghiệp, bao gồm vận tải và sưởi ấm, cách tốt nhất để thực hiện việc này là thông qua điện khí hóa, với điện năng cần chiếm ít nhất 49% nhu cầu năng lượng toàn cầu vào năm 2050 - đạt được các mục tiêu tạm thời là 29% và 38% lần lượt vào năm 2030 và 2040. Mức gia tăng nhu cầu điện này phải được thỏa mãn thông qua các công nghệ tái tạo, với năng lượng gió và mặt trời hiện đang mang lại chi phí khử carbon thấp nhất và góp phần cắt giảm sản xuất nhiên liệu hóa thạch ở hầu hết nhiều nơi trên thế giới. Nhưng những công nghệ này phụ thuộc vào các mô hình thời tiết và một khi tỷ lệ thâm nhập của năng lượng tái tạo vượt quá 30% trong cơ cấu điện của nhiều khu vực, khởi đầu từ châu Âu, thì cần phải triển khai các SES để tạo điều kiện thuận lợi cho chúng. Sự phát triển này sẽ phục vụ mục đích tiếp tục giảm cường độ năng lượng trong ngành điện, hiện ở mức trung bình 475 tấn/TWh nhưng vẫn ở các mức rất cao như Ấn Độ (700 tấn/TWh).

Để tối đa hóa lợi ích từ SES, chúng phải được triển khai song song với các dự án năng lượng tái tạo thông qua quy trình điện khí hóa quốc tế. Theo kịch bản tối ưu, tất cả các dự án năng lượng tái tạo mới sẽ được trang bị cơ sở hạ tầng cho phép chúng tham gia vào hệ thống lưới điện thông minh toàn cầu hóa.

Thay vì tỷ lệ thâm nhập 67% vào năm 2050 dự kiến chỉ thông qua thị trường, sự hỗ trợ từ các nhà hoạch định chính sách cho SES và cơ sở hạ tầng truyền thông không dây cần để tạo điều kiện thuận lợi cho SES sẽ cần đẩy tỷ lệ thâm nhập của SES lên 13% vào năm 2030, 52% vào năm 2040 và sau đó là 86% vào năm 2050 khi hệ thống bắt đầu trưởng thành.

Như vậy, SES sẽ ngăn chặn được tình trạng thừa công suất trị giá 16.000TWh sản lượng hàng năm vốn dựa trên giá điện hiện nay, sẽ giúp tiết kiệm được khoảng 1,9 nghìn tỷ USD mỗi năm. Quan trọng hơn, so với cơ cấu năng lượng ngày nay,

SES sẽ tiết kiệm được 7,7 tỷ tấn khí thải CO<sub>2</sub>, giữ vai trò chính trong việc tạo nên mức 23% khử cacbon toàn cầu.

Việc này cũng sẽ thúc đẩy sự chuyển đổi nhanh chóng từ các công ty cung cấp tiện ích (điện, nước) sang thời đại kỹ thuật số khi mà các công ty tiện ích này mở rộng hoạt động của mình từ năng lượng sang cả giao thông được điện khí hóa, sản xuất và phân phối hydro xanh. Việc này sẽ rất quan trọng trong quá trình khử carbon những phân nhu cầu năng lượng sơ cấp chưa được điện khí hóa.

#### **4. MỘT SỐ KINH NGHIỆM VỀ QUẢN LÝ, VẬN HÀNH HỆ THỐNG NĂNG LƯỢNG THÔNG MINH CỦA CHÂU ÂU**

Lần đầu tiên trong lịch sử, các nước thành viên EU đều có chung quan điểm về luật năng lượng tái tạo. Tháng 11 năm 2019, Chỉ thị Gói Năng lượng sạch (CEP) đã được hoàn thiện, cung cấp một bộ hướng dẫn theo hướng từ trên xuống, cho phép sự chuyển đổi sang các lưới năng lượng khử cacbon cho khu vực. Có thể nói, quá trình hình thành quy định về hệ thống năng lượng thông minh của châu Âu là một ví dụ tham khảo rất hữu ích để các khu vực khác học tập.

SES có hai lĩnh vực chính cần giải quyết về khía cạnh thiết lập nên các quy định. Đầu tiên là những vấn đề liên quan đến công nghệ kết nối không dây, kết nối các hệ thống này với internet và các ứng dụng hỗ trợ của chúng. Thứ hai là các quy định về mạng lưới năng lượng cụ thể chi phối cách chúng có thể được kết nối với lưới năng lượng.

Về phía MNO, lộ trình cho quy định trong tương lai rất rõ ràng và nhiều MNO đã triển khai mạng 5G để thử nghiệm và đánh giá. Một số MNO cũng đã ra mắt mạng 5G thương mại và ngành công nghiệp này tự tin là nắm bắt đầy đủ môi trường pháp lý. Đối với những người đang phát triển công nghệ SES, lộ trình quy định phức tạp hơn nhiều và sự thiếu minh bạch là một rào cản lớn đối với việc áp dụng triển khai SES. Chỉ thị CEP sẽ làm thay đổi đáng kể tình trạng này theo chiều hướng tốt hơn.

##### **4.1. Chuyển sang xe điện**

12 quốc gia của EU đều đưa ra ưu đãi mua xe điện, thường dưới hình thức tín dụng thuế hoặc tiền thưởng. Ở Anh, mức chiết khấu lên đến £3.500, mức ưu đãi này có thể tăng lên £6.000 trong tương lai. Ở Đức, 4.000 € tiền thưởng cho xe chạy bằng ắc quy và pin nhiên liệu. Một số nước và các thành phố lớn cũng bắt đầu đề ra là các lệnh cấm nội bộ đối với động cơ đốt trong (ICE). Na Uy đưa ra kế hoạch cấm bán phương tiện ICE mới tới năm 2025, Thụy Điển tới năm 2030, Vương quốc Anh

được kỳ vọng sẽ đưa ra lệnh cấm tương tự tới năm 2035, còn Pháp có kế hoạch tới năm 2040. Hà Lan đang đề xuất một lệnh cấm ICE tới năm 2030, trong khi Athens, Madrid và Paris đều có kế hoạch cấm xe chạy bằng động cơ diesel tới năm 2025.

Một số chương trình nhằm hạn chế lưu thông phương tiện ICE ở các khu vực của thành phố trong một số khung giờ nhất định trong ngày để làm giảm ô nhiễm không khí. Xe điện không bị cấm ở những 'khu vực không khí sạch', nhằm thúc đẩy người tiêu dùng mua xe điện. Những khu vực này khá phổ biến ở các thành phố ở châu Âu nhưng có thể chậm được triển khai ở các đô thị khác.

#### **4.2. Chuẩn hóa phân cứng sạc điện**

Nhiều quy định hạn chế bán hàng được đề xuất vẫn chưa có hiệu lực về mặt luật pháp, nghĩa là vẫn sẽ có khả năng nhỏ là chúng không được thông qua. Chính thức đưa những đề xuất này thành luật sẽ là bước tiến đầu tiên đáng hoan nghênh, để sau đó chúng có thể được triển khai rộng. Các hệ thống SES như V2G sẽ được hưởng lợi rất lớn từ việc tăng cường sử dụng xe điện. Một ví dụ là các bộ sạc dành cho xe điện. Ở châu Âu, có hai loại chính là CHAdeMO - thường được các nhà sản xuất ô tô Nhật Bản ưa chuộng; và CCS - được hầu hết các nhà sản xuất châu Âu và Mỹ sử dụng. Tesla cũng có thiết kế bộ sạc riêng của mình và đang cạnh tranh với cả CHAdeMO lẫn CCS. Hiện tại, giao thức CHAdeMO phù hợp cho việc sạc V2G hơn, và với các quy định hướng các công ty như Nissan tới sử dụng CCS cho mẫu xe điện Ariya của họ, thì đà tăng trưởng của các xe thích ứng với V2G trong vài năm tới có thể bị chậm lại.

Như vậy, một bộ phận rất thông thường như loại bộ sạc cũng có thể có tác động dây chuyền lớn trong nhiều năm tới. Bất kỳ sự nhầm lẫn nào của người tiêu dùng ở đây đều gây bất lợi cho quyết định mua hàng của họ khi chuyển từ xe ICE sang EV. Với tuổi thọ dài của xe, tác động của sự nhầm lẫn này sẽ tăng lên theo thời gian.

Do vậy, việc tiêu chuẩn hóa ở cấp khu vực có thể cho phép áp dụng các trạm sạc xe điện và V2G nhanh hơn và mượt mà hơn, cũng như loại bỏ một trong những rào cản ám ảnh việc mua hàng, đó là mối lo về việc người tiêu dùng sẽ có thể sạc xe điện ở đâu. Kèm theo bộ cấp chuyển đổi là một giải pháp ngắn hạn, nhưng các nhà sản xuất ô tô có thể buộc phải tiêu chuẩn hóa và nhất trí với một thiết kế chung.

Giống như trước đây giải quyết lãng phí do các cách sạc điện thoại di động khác nhau gây ra, EU cũng có thể giải quyết vấn đề về các loại bộ sạc EV và các công nghệ sạc khác nhau. Đồng bộ hóa sẽ cải thiện trải nghiệm của người tiêu dùng và làm giảm chất thải, nhưng quan trọng nhất là nó sẽ đẩy nhanh việc sử dụng xe điện

và đẩy nhanh quá trình khử carbon, cũng như giảm ô nhiễm không khí đô thị. Loại bỏ từng rào cản tiềm tàng đối với việc chấp nhận của người tiêu dùng thông qua quy định theo hướng từ trên xuống hoặc cách tiếp cận dựa trên khuyến khích chắc chắn sẽ đem lại chiến thắng cho biến đổi khí hậu và giảm phát thải carbon.

### **Hộp 3. Tạo điều kiện giảm nhanh chi phí để sản xuất hydro xanh**

Bất chấp nhiều năm khởi đầu sai lầm, thị trường năng lượng hydro toàn cầu cuối cùng cũng bắt đầu có sức hút, với châu Âu đang ra sức nỗ lực để trở thành nhà lãnh đạo toàn cầu. Liên minh châu Âu (EU) chắc hẳn sẽ muốn tránh tình trạng 'bùng nổ và xì hơi' đầy kịch tính từng diễn ra khi khu vực này thua Trung Quốc trong thời kỳ đầu phát triển chuỗi cung ứng năng lượng mặt trời của mình. Cắt giảm chi phí công nghệ hydro sẽ xoay quanh cách tiếp cận phân tán, trong đó chi phí đơn vị được cắt giảm thông qua tính kinh tế theo quy mô.

Hydro xanh, được sản xuất thông qua quá trình điện phân nước bằng cách sử dụng điện tái tạo, đang được kỳ vọng là một trong những hướng quan trọng tới khử carbon các ngành công nghiệp vốn không thể thay thế đơn giản nhiên liệu hóa thạch bằng điện tái tạo. Sử dụng hydro trong các lĩnh vực bao gồm vận tải hạng nặng, sản xuất thép và xi măng có thể giúp giảm tới 34% mức giảm phát thải dự kiến toàn cầu. Để sử dụng làm nhiên liệu thương mại, hydro xanh từ năng lượng tái tạo sẽ phải đạt mức chi phí ngang bằng với hydro xám từ quá trình cải tiến metan bằng hơi nước (sử dụng khí tự nhiên). Chi phí sẽ cần giảm từ khoảng 6€ xuống 1,50€/kg, và thị trường đạt được mức giảm này đầu tiên sẽ có thể chiếm lĩnh chuỗi cung ứng toàn cầu. Lợi nhuận sẽ đạt được thông qua chi phí điện tái tạo, chu kỳ và hiệu quả sản phẩm, nhưng phần lớn mức giảm giá này sẽ đạt được thông qua quy mô kinh tế. Các chuyên gia ước tính mỗi khi số lượng đơn vị hoạt động tăng gấp đôi, thì chi phí có thể giảm ít nhất 12%.

Nguồn tham khảo: Reuters, German solar firms go from boom to bust, 2011

EU Horizon 2020, Report on experience curves and economies of scale D7.5

### **4.3. Người tiêu dùng được lợi từ các quyết định xanh như thế nào**

Các biểu giá mua điện khác nhau và các cơ chế bù trừ điện năng là những ví dụ điển hình về các phương pháp thành công trong hiện tại. Nhưng, những phương pháp này còn có thể được phát triển hơn nữa. Những phương pháp này theo dõi lượng điện được các tấm panel mặt trời trên mái nhà của một ngôi nhà tạo ra và sau đó được đưa trở lại lưới điện chính. Phương pháp này cần phải có đồng hồ thông minh để theo dõi lượng điện nhập vào và xuất ra của gia đình, nhưng các tiện ích và nhà phân phối điện cũng cần được nâng cấp để đáp ứng lưu lượng hai chiều này.

Các chương trình sử dụng hiệu quả đã được chứng minh là phổ biến, theo đó nhà nước hoặc chính quyền địa phương sẽ đưa ra các ưu đãi về thuế hoặc các

chương trình tài chính được thiết kế để cải thiện hiệu quả năng lượng của các hộ tiêu dùng. Thêm lớp cách nhiệt mới, lắp đặt các tấm panel mặt trời và nâng cấp lên các thiết bị gia dụng hiệu quả hơn là những ví dụ phổ biến nhất. Giờ đây, bộ sạc EV và các chương trình thuế quan liên quan cũng bắt đầu nổi lên là các chương trình hiệu quả.

Các chiến dịch nâng cao nhận thức của người tiêu dùng cũng đã đạt được một số thành tựu nhất định và đồng hồ đo thông minh đóng một vai trò quan trọng ở đây. Màn hình trong nhà hiển thị lịch sử và quá trình sử dụng trực tiếp, làm ảnh hưởng đến người tiêu dùng, khiến họ giảm mức tiêu thụ, tắt đèn và các thiết bị gia dụng, đồng thời tìm hiểu về khái niệm 'tải điện ma cà rồng'<sup>6</sup> trong việc sử dụng năng lượng của họ. Theo đó, những màn hình này sẽ phát triển, với sự trợ giúp của các ứng dụng điện thoại thông minh, để kích hoạt các ứng dụng DR, có thể được sử dụng để cân bằng lưới điện theo công suất sản xuất năng lượng tái tạo hiện có.

#### **4.4. Giữ biến động giá**

Chi phí của các công nghệ mới vẫn còn quá cao và đặt ra một rào cản lớn đối với việc thâm nhập thị trường. Tối đa hóa mức ứng dụng các hệ thống quy mô nhỏ như năng lượng mặt trời dân dụng hoặc bộ lưu trữ pin gia dụng sẽ phụ thuộc vào số lượng người tiêu dùng sẵn sàng chấp nhận chi phí vốn ban đầu. Có thể tăng mức ứng dụng này bằng cách trợ cấp chi phí mua hàng cho người mua hoặc bằng cách giảm thời gian hoàn vốn thông qua tăng doanh thu do hệ thống tạo ra.

Việc này đặc biệt phổ biến đối với các hệ thống có thể vừa mua và bán điện từ lưới điện, bao gồm các bộ sạc V2G và bộ lưu trữ điện gia dụng. Lợi nhuận có được phụ thuộc vào biến động của giá điện. Ví dụ, nếu một hệ thống có thể mua điện với giá 20 € mỗi MWh trên thị trường trong ngày của Đức vào lúc 5:45 sáng khi nguồn cung điện cao và cầu thấp, sau đó có thể bán nó vào lúc 8:30 sáng khi nhu cầu tăng lên, thì hệ thống đó có thể bán với giá hơn 60 € mỗi MWh, tạo ra lợi nhuận gộp 200%.

Khi năng lượng tái tạo được sử dụng rộng rãi hơn, mức độ biến động giá này, kéo theo lĩnh vực kinh doanh các hệ thống lưu trữ thông minh, cũng tăng theo. Với năng lượng gió cung cấp điện dư thừa qua đêm, giá điện âm ngày càng trở nên phổ biến ở châu Âu. Vì nhu cầu sụt giảm do đại dịch Covid-19, nên trung bình ở các

---

<sup>6</sup> Tải ma cà rồng, hay tải ảo là khái niệm chỉ việc tiêu thụ điện của các thiết bị sử dụng điện ngay cả khi chúng dường như đã tắt.

quốc gia châu Âu, giá điện ngày tới (day-ahead) âm khoảng 0,8% trong 9 tháng đầu năm 2020, một tỷ lệ cao hơn gần 4 lần so với giai đoạn 2015-2018. Mặc dù cần quản lý cẩn trọng các mức giá tiêu âm này và không sử dụng chúng để phạt các nhà phát triển hệ thống năng lượng tái tạo, nhưng biến động về giá điện rất cần thiết đối với các hệ thống năng lượng thông minh.

#### **4.5. Gỡ rào cản thị trường cho máy phát điện quy mô nhỏ**

Một trong những tiềm năng lớn mà các công nghệ di động mới mang lại là khả năng tập hợp các hệ thống lưu trữ năng lượng để cung cấp các dịch vụ phụ trợ cho lưới điện. Các dịch vụ này giúp cân bằng bất kỳ sự biến động nào ở điện được tạo ra từ các nguồn năng lượng tái tạo như năng lượng mặt trời và gió. Vì các biến động này không thể dự đoán được hoàn toàn và có thể xảy ra đột ngột, nên quy định có thể ưu tiên cho đáp ứng nhanh trong các hệ thống này. Ví dụ, tại thị trường năng lượng DS3 của Ireland, doanh thu từ điện cung cấp được nhân với 3 nếu hệ thống có thể đáp ứng trong vòng 0,15 giây.

Lợi ích của các hệ thống được kết nối ở những thị trường này còn được kết hợp bởi các yêu cầu về tính khả dụng cao. Chẳng hạn, DS3 yêu cầu một hệ thống sẵn sàng đáp ứng với tần số đầu tiên cho lưới điện trong ít nhất 97% thời gian, nếu không thì tỷ lệ doanh thu sẽ bị giảm.

Các trung tâm dữ liệu đã được minh chứng là những bước tiên quan trọng đầu tiên hướng tới việc làm chủ các hệ thống SES. Ở Estonia, Elering đã ra mắt nền tảng Estfeed hoạt động như một trung tâm, đối chiếu dữ liệu từ đồng hồ thông minh, giá thị trường năng lượng, dữ liệu từ trạm thời tiết và lưới điện, rồi sau trao đổi với các ứng dụng của bên thứ ba. Dữ liệu này sau đó có thể được các công ty và tổ chức truy cập, ví dụ điển hình nhất là việc WePower sử dụng nền tảng dữ liệu để lập mô hình thị trường năng lượng của Estonia và chứng minh cách các giao dịch có thể được thực hiện bằng cách sử dụng chuỗi khối Ethereum để ghi lại ai đã sản xuất năng lượng nào rồi sau đó ai đã mua nó và cuối cùng giải quyết các khoản thanh toán tương ứng.

Energinet của Đan Mạch đã ra mắt một nền tảng có tên DataHub vào năm 2013, với mục tiêu tương tự, trong khi MNO KPN của Hà Lan hiện đang thiết lập Trung tâm dịch vụ dữ liệu của riêng mình. Do công nghệ chuỗi khối chưa hoàn thiện nên yếu tố đó không có trong hoạt động của Energinet, nhưng hệ thống vẫn đối chiếu dữ liệu lưới với đồng hồ thông minh để người tiêu dùng có thể bán năng lượng do các



tấm panel mặt trời sản xuất ngược trở lại lưới điện của Đan Mạch.

#### **4.6. Chuẩn hóa quy định trên khắp châu Âu**

Các thị trường dịch vụ lưới điện, đặc biệt là Đáp ứng Tần số nhanh (FFR) và Trong ngày, sẽ được hưởng lợi từ tính rõ ràng của quy định. Hiện nay, các quy tắc và tỷ lệ khác nhau rất lớn giữa các quốc gia thành viên EU, có nghĩa là các nhà cung cấp năng lượng tái tạo và lưu trữ cạnh tranh ở quy mô châu Âu sẽ phải đối mặt với môi trường quy định quá Chuẩn hóa quy định trên khắp châu Âu sẽ đơn giản hóa mọi cách tiếp cận tổng hợp đối với khử cacbon và sử dụng các nguồn tài nguyên tái tạo của châu Âu. Với lộ trình tiếp cận thị trường cố định và rõ ràng, một nền tảng sẽ được hình thành để các nhà cung cấp công nghệ sạch của châu Âu có thể phát triển theo quy mô kinh tế nhanh hơn và có thể có ưu thế cạnh tranh hơn ở các thị trường toàn cầu khác. Như có thể thấy từ sự ‘bùng nổ và đổ vỡ’ đầy kịch tính của ngành năng lượng mặt trời, hướng dẫn pháp lý bị đứt đoạn trong môi trường hiện hành ngày càng gây khó khăn cho các công ty lớn của châu Âu nổi lên trong lĩnh vực này, nhường sân cho các nhà cung cấp Trung Quốc và Mỹ.

Đề ra các quy định cho phép năng lượng mặt trời, gió và lưu trữ cạnh tranh trong các thị trường có cùng công suất và đấu giá năng lượng sẽ mở ra cơ hội để khử cacbon nhanh hơn. Tương tự, đặt nền tảng pháp lý để cho phép VPP cạnh tranh trong cùng một thị trường như các nhà máy điện chạy bằng nhiên liệu hóa thạch sẽ góp phần gây áp lực lên các nguồn tài nguyên carbon cao này, dẫn đến việc chấm dứt sử dụng những nguồn nguyên liệu này sớm hơn.

Các cải cách thị trường định giá carbon của châu Âu, Hệ thống giao dịch phát thải của EU (ETS) sẽ gây thêm sức ép hơn nữa lên việc sản xuất điện bằng nhiên liệu hóa thạch thông qua tăng giá và đẩy nhanh việc sử dụng các công nghệ sạch và SES. Điều chỉnh các thị trường công suất năng lượng cho phép năng lượng tái tạo và SES cạnh tranh với phương pháp tiếp cận thâm dụng carbon cũng là những hướng cần thiết.

#### *Quy tắc tham gia lưới điện trên toàn lục địa*

Các quy tắc tham gia lưới điện hài hòa sẽ thúc đẩy tốc độ áp dụng SES mới, cũng như các công nghệ ứng dụng cụ thể như lưu trữ pin FFR. Nếu có thể thống nhất về một bộ tiêu chuẩn ngành thì nó sẽ giúp các doanh nghiệp nhỏ hơn cạnh tranh ở nhiều thị trường quốc gia trong châu Âu, cũng như cho phép các nhà cung cấp lớn nhất hướng tới mục tiêu triển khai trên toàn châu Âu.

### *Trợ cấp nhất quán cho người mua*

Mặc dù rất cần trợ cấp từ phía người mua để làm tăng sự chấp nhận hệ thống năng lượng thông minh của người tiêu dùng, nhưng cũng cần bảo vệ doanh thu sẵn có từ các hệ thống này. Việc này cần phải diễn ra mà không phạt doanh thu sẵn có cho các nhà sản xuất điện, và đấu giá Hợp đồng chênh lệch (CfD) có thể cho phép chủ dự án nhận được doanh thu ổn định, trong khi các biến động giá điện trong ngày không giảm. Nếu các chính phủ kiên quyết bảo vệ người tiêu dùng khỏi những biến động này, thì doanh thu cho hệ thống lưu trữ năng lượng phản ứng nhanh phải được tăng cường thông qua giá ưu đãi đầu vào và đền bù cho mức độ sẵn có cao của lưới.

### *Truy cập vào dữ liệu nguồn mở*

Một số vấn đề cụ thể có thể được giải quyết bằng quy định “mềm” và sự đồng thuận của ngành công nghiệp. Ví dụ rõ nhất là nhu cầu cần các nền tảng dữ liệu nguồn mở, giúp thúc đẩy hợp tác giữa doanh nghiệp và chính phủ, cũng như cho phép người dân tương tác với dữ liệu được tạo ra bởi các SES.

Xu hướng ‘Dữ liệu mở’ cho phép truy cập miễn phí vào dữ liệu công cộng có thể có được. Trong bối cảnh các mạng năng lượng quan trọng quy mô quốc gia, có thể dự đoán được sự chòng chéo giữa thúc đẩy Dữ liệu Mở với áp dụng các nền tảng dữ liệu điện toán đám mây, là những thành phần sẽ kích hoạt SES.

Cuối cùng, các nền tảng dữ liệu nguồn mở, ví dụ như Powertac, có thể là một phần cơ bản của quá trình chuyển đổi sang một hỗn hợp năng lượng đã khử cacbon, do được kích hoạt bởi sức mạnh tập thể của các nền tảng dữ liệu này và nguồn lực mà chúng kiểm soát. Mỗi tài sản năng lượng được triển khai cần được kết nối với các nền tảng như vậy, và kết nối không dây và di động là chìa khóa cho quá trình chuyển đổi này.

## **KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT CHO VIỆT NAM**

Các công nghệ cần để phát triển các hệ thống năng lượng thông minh đã xuất hiện và đang được triển khai hiệu quả ở các lưới điện trên toàn thế giới. Từ đó, một thế hệ nhà máy điện kiểu mới sẽ được tạo ra bằng cách khai thác các nguồn tài nguyên tái tạo dồi dào thông qua sản xuất năng lượng phi tập trung, cùng với các mạng di động phạm vi rộng tốc độ nhanh, đi đôi với điện toán đám mây mạnh và ắc quy lưu trữ chi phí thấp.

Hiện nay, nhiều nước trên thế giới đã đưa ra những quy định có lợi cho việc áp dụng SES. Theo xu thế này, Việt Nam cũng đã đặc biệt quan tâm tới việc phát triển các hệ thống năng lượng thông minh, bắt đầu từ triển khai lưới điện thông minh. Trong 10 năm triển khai Quyết định số 1670-TTg của Thủ tướng Chính phủ về phát triển lưới điện thông minh, các đơn vị của ngành điện đã đạt một số thành tích trong công tác triển khai hệ thống lưới điện này. Chương trình đã nâng cấp hệ thống SCADA/EMS/DMS, kết nối tín hiệu SCADA của các nhà máy điện, trạm biến áp. 100% các tổng công ty điện lực, công ty điện lực tỉnh đều đã trang bị hệ thống SCADA/DMS, Mini SCADA để giám sát và điều khiển lưới điện. 100% các trạm biến áp 110 kV và 79% trạm biến áp 220 kV đã vận hành không cần người trực. Trong khi tỷ lệ tổn thất điện năng của Việt Nam liên tục giảm từ mức 8,85% năm 2012 xuống còn 6,24% năm 2022.

Để phát triển cơ sở hạ tầng lưới điện hiện đại, đồng bộ và đáp ứng yêu cầu phát triển nền kinh tế số, Bộ Công Thương cũng đã và đang trình Đề án phát triển lưới điện thông minh tại Việt Nam giai đoạn 2023 - 2030, tầm nhìn đến năm 2045. Đặc biệt Đề án cũng đưa ra mục tiêu đến năm 2030 giảm tổn thất điện năng xuống dưới 6%. Điều khiển từ xa, không người trực vận hành đối với 100% các trạm biến áp 220 kV. Xây dựng hoàn thiện hệ thống SCADA/EMS (giai đoạn 4) của A0, đáp ứng việc điều độ, vận hành hệ thống điện và thị trường điện, có khả năng tích hợp lượng lớn nguồn năng lượng tái tạo. Hoàn thiện các hệ thống trung tâm điều khiển, trung tâm vận hành, giám sát lưới điện truyền tải và phân phối. Ngoài ra, Việt Nam còn hướng tới nghiên cứu, triển khai các hệ thống lưới điện siêu nhỏ (Microgrid) có tích hợp hệ thống pin lưu trữ, trụ sạc xe điện tại các vị trí phụ tải quan trọng, các hệ thống điều khiển và giám sát trạm sạc xe điện thông minh, cũng như triển khai đánh giá bộ chỉ số lưới điện thông minh theo chuẩn quốc tế.

Việt Nam đã ký Công ước khung của Liên hợp quốc về biến đổi khí hậu (COP26) với cam kết đưa phát thải ròng bằng “0” vào năm 2050. Ngay sau COP26, chúng ta đã khẩn trương bắt tay vào thực hiện những cam kết của mình trước cộng đồng quốc tế. Việc triển khai các hệ thống năng lượng thông minh, hướng tới quy hoạch thành phố thông minh với những hệ thống năng lượng thông minh, hiệu quả sẽ là mục tiêu trong tương lai của chúng ta. Nếu việc tiếp thu công nghệ, thành lập các chương trình xúc tiến và hình thành khung pháp lý hoàn chỉnh được triển khai nhanh chóng trong những năm tới, thì các SES sẽ là nhân tố đóng góp chính cho nỗ lực khử carbon trong không chỉ hệ thống điện của nước ta và các nước trên thế giới

mà còn cả nền kinh tế toàn cầu khi chúng ta thoát khỏi sự phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch.

**Biên soạn: Trung tâm Thông tin và Thông kê KH&CN**

## Tài liệu tham khảo

1. Adamas Intelligence (2020), Rare earth magnet market outlook to 2030.
2. Benchmark Mineral Intelligence (2022), Battery Gigafactories database.
3. BNEF (BloombergNEF) (2022), 1H 2022 Battery Metals Outlook: Supply Turbulence Ahead. E4tech (2022), Database, <https://www.e4tech.com/>
4. EV Volumes (2022), The electric vehicle world sales database, <https://www.ev-volumes.com/>
5. Fraser, J., Anderson, J., Lazuen, J., Lu, Y., Heathman, O., Brewster, N., Bedder, J. and Masson, O. (2021), Study on future demand and supply security of nickel for electric vehicle batteries, Roskill, <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC123439>
6. IEA (International Energy Agency) (2022a), World Energy Outlook 2022
7. Smart energy systems: connectivity for a zero-emissions future. GSMA
8. Smart energy - An energy system for the 21<sup>s</sup> century, Midlands engine
9. <https://www.erav.vn/tin-tuc/t110/-infographic-luoi-dien-thong-minh-o-viet-nam-soi-chieu-tu-8-tieu-chi.html>
10. <https://congnghepcongnghecao.com.vn/tin-tuc/t23364/he-thong-nang-luong-thong-minh-phuc-vu-phat-trien-do-thi-thong-minh-va-ben-vung.html>