

TỐI ƯU HIỆU SUẤT NĂNG LƯỢNG TÍCH HỢP CÁC NGUỒN NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO VÀ PIN LƯU TRỮ TRONG CÁC TÒA NHÀ

Nguyễn Thị Hà Nguyên¹

Nguyễn Thị Thu Vân¹

Hà Phúc Hòa²

Nguyễn Thị Lan Hương³

¹Trường Đại học Đồng Nai

²Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

³Trường Đại học Nguyễn Tất Thành

*Tác giả liên hệ: Nguyễn Thị Hà Nguyên - Email: nguyennhanguyen2012@gmail.com

(Ngày nhận bài: 27/02/2024, ngày nhận bài chỉnh sửa: 20/6/2024, ngày duyệt đăng: 21/6/2024)

TÓM TẮT

Các nguồn năng lượng tái tạo (RES) đã và đang sẽ trở thành hình thức năng lượng thay thế trong các mạng lưới phân phối và cung cấp điện. Theo xu hướng năng lượng bền vững, yêu cầu mỗi đơn vị sử dụng năng lượng (tòa nhà, xí nghiệp...) phải có hiệu suất sử dụng năng lượng cao, trong đó, một phần lớn năng lượng sử dụng nên được cung cấp bởi RES trong tương lai. Nghiên cứu này nhấn mạnh vào việc sử dụng tối ưu tích hợp năng lượng điện mặt trời (các tấm pin quang điện, PV) kết hợp hệ thống lưu trữ (lithium battery) được lắp ráp trên và trong một tòa nhà. Đánh giá việc tối ưu hóa hiệu suất năng lượng của hệ thống đề xuất được thực hiện bởi một quy trình tối ưu theo mô hình tuyến tính thực tiễn. Mục tiêu là đảm bảo rằng hiệu suất năng lượng được tối ưu hóa thông qua việc sử dụng lưu trữ pin trong ngày, dựa trên việc dự báo sản lượng PV sản sinh.

Từ khóa: Nguồn năng lượng tái tạo, tòa nhà gần như không dùng năng lượng hóa thạch, chính sách năng lượng, quản lý và tối ưu năng lượng tòa nhà, mô hình toán tuyến tính

1. Giới thiệu

Các nguồn năng lượng tái tạo (NLTT) là một lĩnh vực nghiên cứu mới nổi nhưng đã và đang phát triển rất mạnh mẽ. Nhu cầu cắt giảm lượng năng lượng hóa thạch là một vấn đề rất quan trọng đối với nhiều nhà nghiên cứu trên khắp thế giới trong vài năm gần đây, đặc biệt là trong lĩnh vực xây dựng. Hơn nữa, việc sử dụng năng lượng tái tạo rất ý nghĩa, không chỉ là một vấn đề khoa học môi trường mà còn là một nghĩa vụ theo quy định của tổ chức quốc tế, như Liên minh châu Âu (Union, 2009). Điển hình, Chiến lược Năng lượng Châu Âu yêu cầu đến năm

2020 mỗi quốc gia thành viên tăng cường sử dụng năng lượng tái tạo cùng với hiệu suất năng lượng tổng cộng của mình lên 20% và giảm lượng khí thải tổng cộng từ nhiên liệu hóa thạch 20%. Do đó, các nghiên cứu khoa học trong lĩnh vực này đã tăng đáng kể đối với việc cải thiện các công nghệ năng lượng tái tạo khác nhau và việc sử dụng tối ưu của chúng trong các ứng dụng như lưới thông minh (Georgiou et al, 2017; Kolokotsa et al, 2012), lưới điện phân phối, nguồn điện phân tán ở mức điện áp thấp, các tòa nhà chuẩn ZEBs.

Đối với khu vực Liên minh Châu Âu, gần 40% năng lượng tiêu thụ và

26% lượng khí CO₂ phát thải tương ứng đến từ ngành xây dựng (Kilkis, 2007). Theo đó, các quốc gia khối thành viên Liên minh Châu Âu phải thực hiện các biện pháp để giảm lượng khí CO₂ phát thải và tăng cường hiệu suất năng lượng cũng như tăng cường sự thâm nhập của NLTT; những điều này phải đạt 20% vào giai đoạn tới. Hơn nữa, theo chỉ thị 2010/31/EU (Union, 2010), được công bố vào tháng 5 năm 2010, yêu cầu các quốc gia thành viên Liên minh Châu Âu phải có tất cả các công trình xây dựng mới là nZEBs từ năm 2020 trở đi. Điều này có nghĩa mỗi công trình xây dựng trong tương lai sẽ phải đáp ứng tiêu chuẩn nZEB và nhu cầu năng lượng của nó phải tuân thủ các yêu cầu năng lượng bền vững được quy định bởi các chính sách của từng quốc gia. Nhiều nhà nghiên cứu đã công bố các nghiên cứu khác nhau liên quan đến khái niệm nZEB (Hamdy et al, 2013). Tuy nhiên, không nhiều nghiên cứu tồn tại liên quan đến tối ưu hóa năng lượng, theo thời gian thực, cho những công trình xây dựng. Nghiên cứu này được thúc đẩy bởi nhu cầu cải thiện lượng tiêu thụ năng lượng của một công trình xây dựng cũng như tối đa hóa việc sử dụng nguồn điện mặt trời, ngoài các phương pháp truyền thống như cải thiện cách nhiệt, lắp đặt cửa kính đôi.

2. Công trình xây dựng dạng gần như không tiêu thụ năng lượng ảnh hưởng nhà kính (nZEB)

nZEB là một trường hợp đặc biệt của ZEB. Mặc dù khái niệm về ZEB được giới thiệu, nhưng không có định nghĩa chính thức rõ ràng nào về nó (Kurnitski et al, 2011). Tuy nhiên, nó được chấp nhận rộng rãi là một công trình xây dựng tiết kiệm năng lượng, tiêu thụ năng lượng chính của nó được cân bằng với năng lượng tái tạo được sản xuất bởi chính công trình và sản lượng nạp vào lưới điện (Marszal et al, 2011). Trong một số trường hợp, lượng khí thải carbon cũng được xem xét, ngoài năng lượng tiêu thụ của công trình. Các nghiên cứu khác nhau đề xuất các định nghĩa khác nhau dựa trên loại công trình và ranh giới năng lượng, như Net ZEB, Net Zero Exergy Building, nearly net ZEB (Sartori et al, 2012; Torcellini et al, 2006).

Chỉ thị 2010/31/EU đã định rõ một nZEB là một công trình xây dựng có hiệu suất sử dụng năng lượng cao với một phần đáng kể của nhu cầu năng lượng được cung cấp bởi nguồn NLTT địa phương hoặc gần đó. Tuy nhiên, các yêu cầu tiết kiệm năng lượng và phương pháp tính toán đối với một nZEB nên được cung cấp. Ví dụ, bảng 1 cho thấy các yêu cầu tối thiểu cho một công trình điển hình triển khai ở cChâu Âu được phân loại là nZEB.

Bảng 1: Các yêu cầu cho công trình xây dựng theo tiêu chuẩn nZEB
(Nguồn: Hamdy et al, 2013)

Requirements	
Hiệu suất sử dụng năng lượng thể hiện trên chứng nhận năng lượng của tòa nhà	A
Mức tiêu thụ năng lượng sơ cấp tối đa cho công trình nhà ở	100 kWh/m ² /year

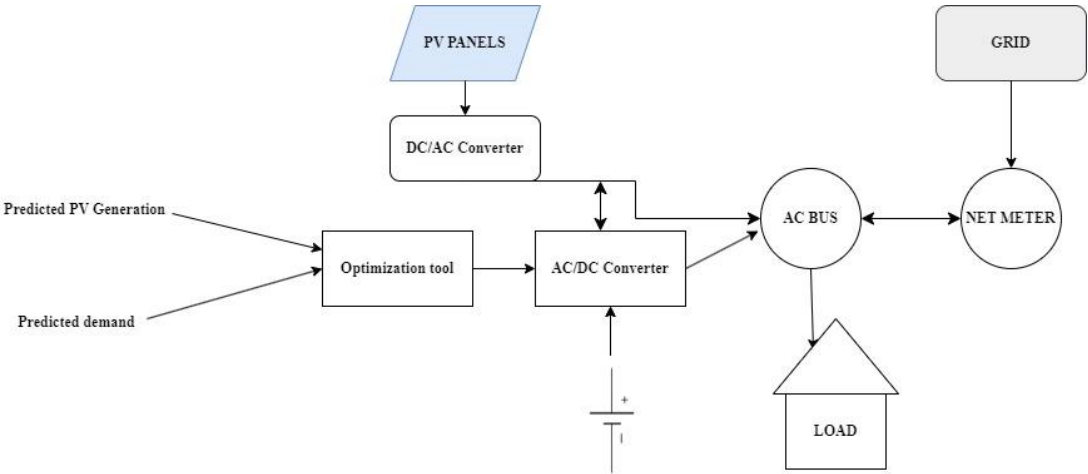
Requirements	
Tiêu thụ năng lượng nhiệt tối đa cho các tòa nhà không thuộc dạng nhà dân cư	125 kWh/m ² /year
Mức tiêu thụ năng lượng sơ cấp tối thiểu cho công trình nhà ở	15 kWh/m ² /year
Tối thiểu 25% tổng lượng tiêu thụ sơ cấp phải được cung cấp từ RES	
Giá trị U-trung bình lớn nhất của tường, cột, kèo thuộc phần vỏ công trình	0,4 W/m ² /K
Giá trị U-trung bình lớn nhất của các bộ phận kết cấu ngang (căn hộ, sàn trên mái che, mái bằng, mái) và tổng số tầng	0,4 W/m ² /K
Giá trị U-trung bình lớn nhất của khung (cửa ra vào, cửa sổ) là một phần của lớp vỏ công trình	0,4 W/m ² /K
Công suất trung bình tối đa để lắp đặt chiếu sáng trong tòa nhà văn phòng	10 W/m ²

3. Mô hình hệ thống và đặt vấn đề

3.1. Kiến trúc hệ thống

Phần này tóm tắt ngắn gọn về kiến trúc hệ thống được trình bày trong bài báo. Dữ liệu dự báo như sản lượng PV và nhu cầu tải, cho giai đoạn 24 giờ tiếp theo, được cung cấp cho thuật toán tối ưu hóa. Mô hình tối ưu hóa được thảo luận ở đây chịu trách nhiệm cho việc sạc/điều chỉnh hệ thống pin lưu trữ theo cách tối ưu, dựa trên dữ liệu dự báo, thông qua mô hình tuyến tính. Do đó, việc sử dụng PV được tối đa hóa và

năng lượng nạp/xuất từ lưới được tối ưu hóa, tùy thuộc vào hệ thống giá mua/bán sử dụng thực tế. Thuật toán chạy vào đầu ngày, bắt đầu lúc 12:00 giờ đêm, để đạt được tối ưu hóa toàn cục, sử dụng dữ liệu dự báo cho 24 giờ tiếp theo. Có thể thấy, phương pháp đề xuất có thể được tích hợp vào công nghệ “Net-Metering” hiện có, điều này sẽ được chứng minh là có lợi cho cả người dùng cuối và lưới điện như được thể hiện trong hình 1.



Hình 1: Kiến trúc hệ thống mô hình đề xuất

$$\text{Minimize } f(P_{grid}) = \sum_{k=1}^{24} \{C_{grid}(k)|P_{grid}(k)|\Delta t\} \quad (1)$$

Subject to (ràng buộc)

$$PV(k) - P_{bat}(k) + P_{grid}(k) = LOAD(k) \quad (2)$$

$$SOC(k) - P_{bat}(k)\Delta k + SOC(k-1); \Delta k = 1, SOC(0) = c \quad (3)$$

$$P_{grid}(k) \leq LOAD(k) \quad (4)$$

$$-P_{bat}(k) \leq LOAD(k) \quad (5)$$

$$-P_{bat}^{max} \leq P_{bat} \leq P_{bat}^{max} \quad (6)$$

$$-PV^{max} \leq P_{grid}(k) \leq LOAD^{max} \quad (7)$$

$$SOC^{min} \leq SOC(k) \leq SOC^{max} \quad (8)$$

3.2. Mô hình vấn đề tối ưu

Các phương trình (1) - (8) đại diện cho vấn đề tối ưu hóa sơ cấp ban đầu (dạng phi tuyến). Ở đây, P_{grid} là lưới điện biểu thị sự khác biệt giữa công suất nhập/xuất trên lưới [kW] (giá trị âm cho công suất xuất và dương cho công suất nhập), k là giờ trong ngày, C_{grid} là chi phí mua điện [€/kWh], Δt là bước thời gian [h], (bằng 1 tức là theo giờ), PV là công suất PV tạo ra [kW], P_{bat} là tốc độ sạc / xả pin [kW] (âm cho xả và dương cho sạc), $LOAD$ là nhu cầu tải tức thời [kW], SOC là mức lưu trữ của pin [kWh], P_{bat}^{max} là tốc độ xả/sạc tối đa của pin [kW], PV^{max} là công suất định mức của PVs [kW], $LOAD^{max}$ là nhu cầu tải tối đa cho phép [kW], SOC^{min} và SOC^{max} là dung lượng tối thiểu và tối đa của pin, tương ứng [kWh]. Phương trình (1) là hàm mục tiêu cần tối thiểu hóa và (2) - (8) đại diện cho các ràng buộc vật lý và ranh giới của vấn đề. Sự giảm phức tạp của vấn đề có thể xảy ra bằng cách loại bỏ (4) và (5), những ràng buộc này chịu trách nhiệm tránh việc sạc pin từ lưới hoặc xuất điện trực tiếp từ pin vào lưới. Tuy nhiên, việc loại bỏ các ràng buộc như vậy có thể gây ra sự

mất cân bằng về điện áp và tần số cho lưới, hoặc thậm chí là các vấn đề liên quan đến pin do hoạt động của pin không dự đoán được và tăng lên trong suốt ngày.

Trong trường hợp của một ngôi nhà không sử dụng năng lượng mang khí thải (nZEB), năng lượng điện lưới nạp vào nên gần như bằng 0, do đó thuật ngữ tuyệt đối trong (1) nhằm tối thiểu hóa lưới điện net. Khi loại bỏ thuật ngữ tuyệt đối, tối ưu hóa (trong trường hợp lý tưởng) được đạt khi f tiến dần đến $-\infty$ (vấn đề không bị ràng buộc cận dưới). Do đó, toàn bộ năng lượng PV/pin sẽ được xuất vào lưới, là điều mà có thể không mong muốn trong trường hợp của các tòa nhà tiết kiệm năng lượng - đặc biệt là đối với nZEBs. Tuy nhiên, kịch bản như vậy có thể được sử dụng cho các nZEB tích cực. Lý tưởng nhất, giải pháp tối ưu của vấn đề trên là khi $P_{grid}(k) = 0$ với mọi k ; tuy nhiên, trong thực tế, tùy thuộc vào sản lượng NLTT tạo ra, nhu cầu sử dụng và mức lưu trữ ban đầu, năng lượng lưới net có thể không bằng 0, mà thay vào đó được tối ưu hóa một cách lý tưởng.

Một cách biểu diễn của vấn đề tuyến tính đề cập được biểu diễn bằng các phương trình (9) - (10). Hình ảnh cho thấy cách mà các công suất khác

nhau có thể chảy và nút nào tương ứng với hàm chi phí f . Biểu đồ biểu thị trường hợp mà pin không được phép lấy hoặc phát công suất từ/đến lưới.

$$\text{Minimize } f(C_{grid}^{export}, C_{grid}^{import}, P_{grid}^{export}, P_{grid}^{import})$$

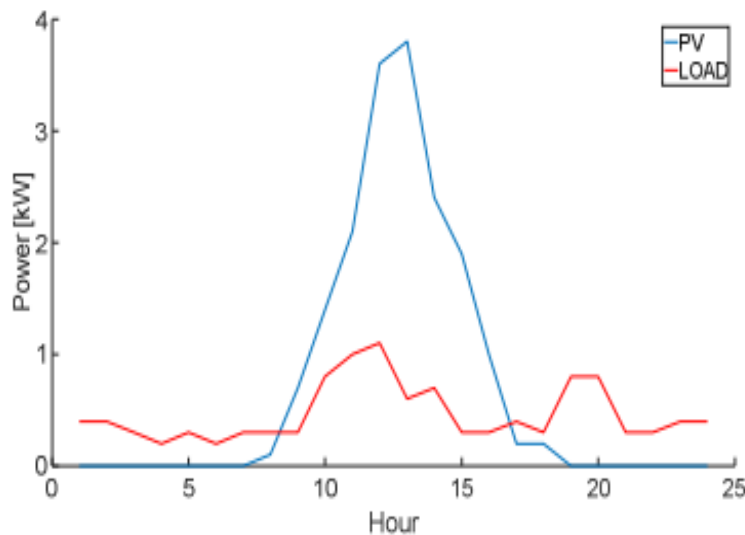
$$= \sum_{k=1}^{24} \{C_{grid}^{export}(k)P_{grid}^{export}(k)\Delta t + C_{grid}^{import}(k)P_{grid}^{import}(k)\Delta t\} \quad (9)$$

$$P_{grid}^{export}(k) \geq 0, P_{grid}^{import}(k) \geq 0 \quad (10)$$

4. Kết quả

Một loại pin lưu trữ kiểu model 6 kW và dung lượng lưu trữ 12 kWh được sử dụng cùng với hệ thống PV có quy mô 5 kW. Lưu ý hiệu suất của cả hệ thống PV và pin không cần phải được thêm vào vấn đề, vì tối ưu hóa luôn đưa ra tỷ lệ sạc/xả của pin tối ưu – thể hiện ở biểu thức (2). Chi phí mua điện được giả định là cố định ở giá trị 0,19 €/kWh, cho tất cả các khối. Dữ liệu thực tế cho việc tạo ra năng lượng từ PV và nhu cầu tải trong một ngày được áp dụng. Vì

cần phải quan sát và xác minh hiệu suất của mô hình, các kịch bản xấu nhất của dữ liệu cũng được xem xét. Dữ liệu tải đại diện cho hồ sơ nhu cầu của một tòa nhà tiêu thụ năng lượng thấp với hai cư dân sinh sống. Trong khi đó, dữ liệu PV đại diện cho một hệ thống PV 5kWp, là hệ thống tối đa có thể được sử dụng trong các tòa nhà dân cư. Dữ liệu được hiển thị trong hình 2, có thể thấy, sử dụng tải thấp hơn đáng kể năng lượng PV từ 09:00 đến 16:00. Trong trường hợp này, phần lớn năng lượng PV dư thừa được nạp lên lưới điện.

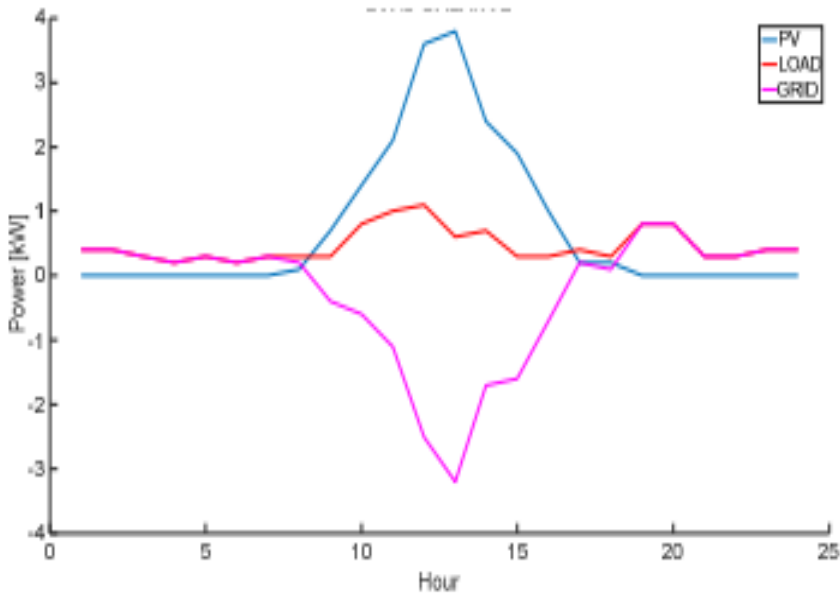


Hình 2: Năng lượng sản sinh từ hệ thống PV và hồ sơ nhu cầu sử dụng điện của một ngôi nhà

4.1. Tối ưu hóa không sử dụng hệ thống pin lưu trữ

Một kịch bản gồm chỉ một hệ thống PV/Solar hiện có mà không sử dụng pin lưu trữ được trình bày. Trong trường hợp này, năng lượng PV được xuất vào

lưới và người dùng phải trả tiền cho năng lượng net (điện lưới) tiêu thụ. Thuật ngữ $C_{grid}^{import}(k)$ được gán giá trị giá định là 0,19 €/kWh cho tất cả các khối.



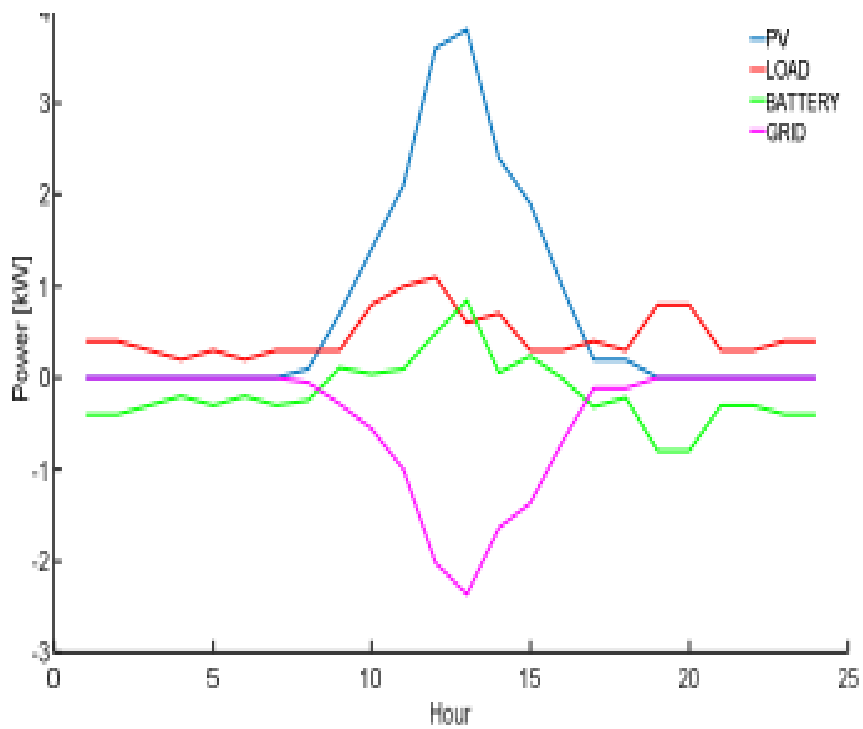
Hình 3: Cân bằng tải không có hệ thống pin lưu trữ

Hình 3 cho thấy giải pháp tối ưu hóa cân bằng năng lượng cho một tòa nhà tiết kiệm năng lượng với hệ thống PV - không có pin - dưới một chương trình không có giá bán thương mại (FIT, feed in tariff). Như có thể thấy, một phần lớn năng lượng PV được xuất khẩu ra lưới điện, do tải giảm. Chi phí điện hàng ngày trong trường hợp này là chỉ tốn €1.07/day, đó là kết quả của hàm mục tiêu được hiển thị trong (9).

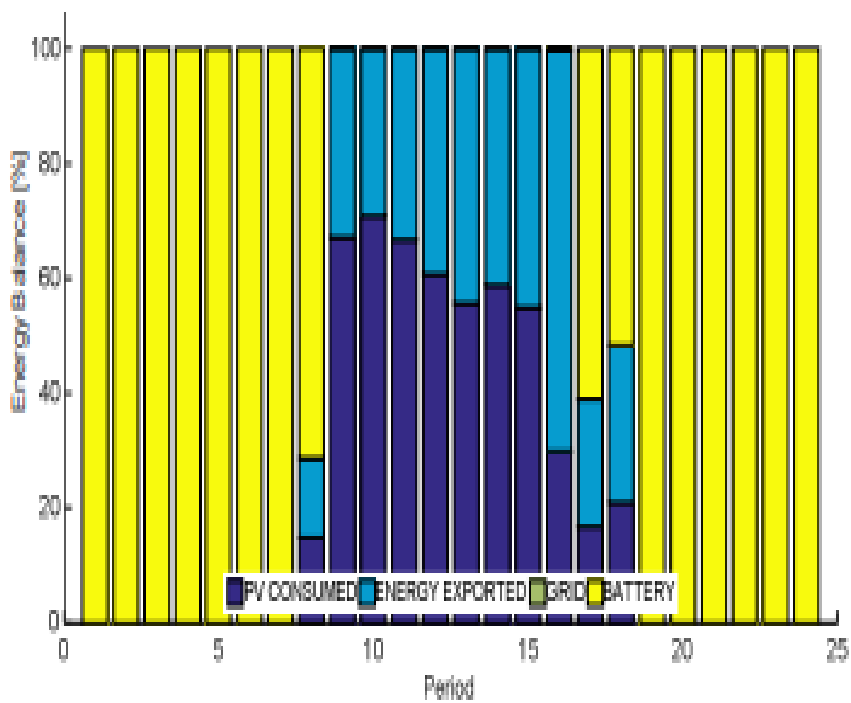
4.2. Tối ưu hóa với lưu trữ kèm giá FIT

Kịch bản được xem xét là khi người dùng cuối được thanh toán cho lượng

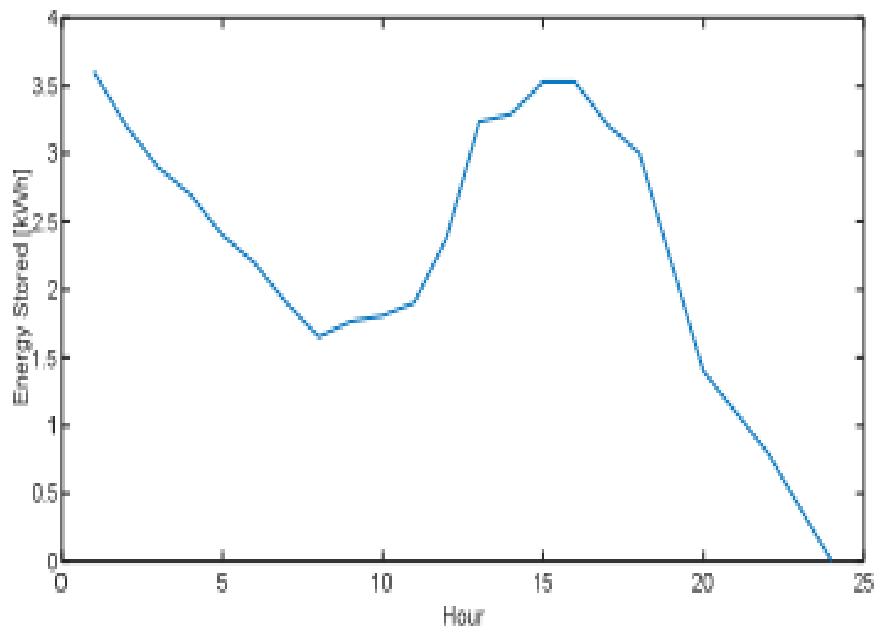
năng lượng PV dư thừa. Như đã giải thích, đối với một chương trình giá mua điện lưới, $C_{grid}^{export}(k) < 0$ cho tất cả các khối. Kết quả được hiển thị trong hình 4-6 và bảng 2. Như đã quan sát trong kịch bản này, thuật toán hoạt động khác nhau, ngay cả khi chi phí điện vẫn gần như không thay đổi. Khác với kịch bản đầu, một tòa nhà như vậy có thể được coi là một Positive nZEB, vì thuật toán quản lý xuất càng nhiều năng lượng PV ra lưới mạng càng tốt, đồng thời giữ cho lượng năng lượng mua tối thiểu và từ đó có thể tối đa hóa lợi ích.



Hình 4: Cân bằng Tài ($SOC(0) = 4\text{ kWh}$, theo giá FIT)



Hình 5: Phân phối tối ưu ($SOC(0) = 4\text{ kWh}$, theo giá FIT)



Hình 6: Mức lưu trữ pin (SOC = 4 kWh, theo giá FIT)

Bảng 2: Giá trị hàm mục tiêu (tối thiểu năng lượng) với giá trị lưu trữ ban đầu

Initial Storage	P _{grid} [Kw]	Objective function f [€]
0	-6,2	0,4366
1	-7,2	0,2466
2	-8,2	0,056
2,5	-8,7	-4,45×10 ⁻⁴
3	-9,2	-4,6×10 ⁻⁴
4	-10,2	-5,1×10 ⁻⁴

5. Kết luận

Nghiên cứu này đã trình bày một phương pháp thiết kế mô hình toán tuyến tính đối với việc phân phối tối ưu của hệ thống lưu trữ (pin) được lắp đặt trong một tòa nhà có tích hợp nguồn NLTT (hệ thống điện mặt trời). Một tóm tắt về các kết quả đặc trưng được rút ra bởi nghiên cứu này, đã chỉ ra rằng mô hình đề xuất có thể được sử dụng như một hệ thống có hoặc không có chương trình giá mua điện lưới (FIT).

Kết quả cho thấy, khi không có chương trình giá mua điện lưới, có thể giảm chi phí điện hàng ngày đáng kể, nhờ tối ưu hóa tốc độ sạc/xả pin. Ngược lại, đối với kịch bản giá mua điện lưới, hệ thống có thể tối đa hóa lợi ích bằng cách tối đa hóa xuất khẩu năng lượng từ hệ thống điện mặt trời và đồng thời sử dụng toàn bộ năng lượng được lưu trữ trong pin để cung cấp năng lượng cho đơn vị.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Georgiou, G. S., Christodoulides, P., Georgiou, A., & Kalogirou, S. A. (2017, August). A linear programming approach to the optimal utilization of renewable energy sources in buildings. *In the IEEE 2017 52nd International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, 1-6.
- Hamdy, M., Hasan, A., & Siren, K. (2013). A multi-stage optimization method for cost-optimal and nearly-zero-energy building solutions in line with the EPBD-recast 2010. *Energy Build.*, Vol. 56, 189–203.
- Kilkis, S. (2007, January). A new metric for net-zero carbon buildings. *In Energy Sustainability*, Vol. 47977, 219-224.
- Kolokotsa, D. E. K. D., Rovas, D., Kosmatopoulos, E. A., & Kalaitzakis, K. (2011). A roadmap towards intelligent net zero-and positive-energy buildings. *Solar energy*, 85(12), 3067-3084.
- Kurnitski, J., Allard, F., Braham, D., Goeders, G., Heiselberg, P., Jagemar, L., ... & Virta, M. (2011). How to define nearly net zero energy buildings nZEB. *REHVA J*, 48(3), 6-12.
- Marszal, A. J., Heiselberg, P., Bourrelle, J. S., Musall, E., Voss, K., Sartori, I., & Napolitano, A. (2011). Zero Energy Building—A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and buildings*, 43(4), 971-979.
- Sartori, I., Napolitano, A., & Voss, K. (2012). Net zero energy buildings: A consistent definition framework. *Energy and buildings*, 48, 220-232.
- Torcellini, P., Pless, S., Deru, M., & Crawley, D. (2006). Zero energy buildings: a critical look at the definition (No. NREL/CP-550-39833). *National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States)*.
- Union, E. (2009). Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. *Official Journal of the European Union*, 5.
- Union, E. (2010). Directive 2010/21/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). *Official Journal of the European Union*, 13-35.

**OPTIMIZATION OF ENERGY EFFICIENCY BY
INTEGRATING RENEWABLE ENERGY SOURCES
AND BATTERY STORAGE IN BUILDINGS**

Nguyen Thi Ha Nguyen¹

Nguyen Thi Thu Van¹

Ha Phuc Hao²

Nguyen Thi Lan Huong³

¹Dong Nai University

²Ho Chi Minh City University of Technology - VNUHCM

³Nguyen Tat Thanh University

*Corresponding Author: Nguyen Thi Ha Nguyen - Email: nguyenthahanguyen2012@gmail.com

(Received: 27/2/2024, Revised: 20/6/2024, Accepted for publication: 21/6/2024)

ABSTRACT

Renewable energy sources (RES) are now and will continue to serve as an alternative energy option for power supply and distribution networks. As per the sustainable energy trend, any energy-consuming entity (such as buildings, factories, etc.) must possess a high level of energy efficiency, with a significant portion of the energy being sourced from renewable energy sources (RES) in the future. This study emphasizes the optimal use of integrated solar power (photovoltaic panels, PV) combined with storage systems (lithium batteries) assembled on and within a building. Evaluation of the energy efficiency optimization of the proposed system is carried out by an optimization process according to a practical linear model. Evaluation of the energy efficiency optimization of the proposed system is carried out by an optimization process according to a practical linear model. The objective is to ensure energy efficiency by using battery storage during the day, taking into account projected photovoltaic production.

Keywords: *Renewable energy source, Nearly Zero Energy Buildings (nZEB), energy policy, building energy management and optimization, linear programming*