

OPTIMIZING THE INTEGRATED ENERGY SYSTEM BASED ON ENERGY HUB MODEL

Pham Thi Hong Anh¹, Ha Thanh Tung^{2*}, Pham Thi Ngoc Dung²

¹TNU - University of Information and Communication Technology

²TNU - University of Technology

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	05/01/2021	Energy hubs play an important role in implementing the integrated energy system as an interconnection point between various energy components and networks. Multiple EHs can couple and form an interconnecting EHs system. This paper suggests an integrated view of multiple energy systems with renewable in energy internet. Multi-period optimal energy flow in electrical, nature gas and district heating system is studied with the comprehensive consideration of energy consumption, green gas emissions and renewable energy output based on the well-accepted energy hub model. Renewable energy is effectively promoted in the coordinated operated system. Compared to the traditional system operation method, wind power accommodation is realized by supporting part of the heat loads in energy internet. A better comprehensive benefit can be achieved.
Revised:	16/7/2021	
Published:	21/7/2021	
KEYWORDS		
Natural gas		
Electricity		
Energy network		
Optimal operation		
Energy Internet		

TỐI ƯU HÓA HỆ THỐNG NĂNG LƯỢNG TÍCH HỢP TRÊN CƠ SỞ MÔ HÌNH TRUNG TÂM NĂNG LƯỢNG

Phạm Thị Hồng Anh¹, Hà Thanh Tùng^{2*}, Phạm Thị Ngọc Dung²

¹Trường Đại học Công nghệ thông tin và Truyền thông – ĐH Thái Nguyên

²Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO		TÓM TẮT
Ngày nhận bài:	05/01/2021	Các trung tâm năng lượng (Energy hub – EH) đóng vai trò quan trọng trong việc thực hiện kết nối các hệ thống năng lượng. Nhiều EH có thể ghép nối tạo thành một hệ thống liên kết với nhau. Bài báo này đề xuất mô hình tích hợp của nhiều dạng năng lượng khác nhau bao gồm điện năng, khí tự nhiên, nhiệt sưởi với năng lượng tái tạo trên cơ sở mô hình trung tâm năng lượng. Phân bổ năng lượng tối ưu trong hệ thống điện, khí tự nhiên và hệ thống sưởi được tính toán bởi hàm mục tiêu mức tiêu hao năng lượng, chi phí phát thải ra môi trường và chi phí cắt giảm năng lượng gió. Kết quả tính toán tối ưu cho thấy sự tham gia của năng lượng tái tạo đã phát huy hiệu quả tối đa so với phương pháp vận hành truyền thống.
Ngày hoàn thiện:	16/7/2021	
Ngày đăng:	21/7/2021	
TỪ KHÓA		
Khí tự nhiên		
Năng lượng điện		
Mạng năng lượng		
Vận hành tối ưu		
Energy Internet		

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.3880>

* Corresponding author. Email: tunganh@tnut.edu.vn

1. Giới thiệu

Cạn kiệt tài nguyên năng lượng và áp lực ô nhiễm môi trường đang là hai vấn đề lớn đối với các nhà khoa học. Ngày nay, thay vì sử dụng các hệ thống năng lượng đơn lẻ [1], các hệ thống năng lượng được sử dụng kết hợp đồng thời bắt đầu nhận được sự quan tâm sâu sắc [2], [3]. Khái niệm về mạng lưới năng lượng Energy Network (EN) ra đời [4]-[6] được coi là một bước đột phá mới nâng cao độ tin cậy, làm giảm ô nhiễm môi trường, thúc đẩy sự phát triển của các hệ thống sử dụng năng lượng tối ưu, nâng cao tính ổn định, đạt được mục tiêu sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả.

Trong những năm gần đây, nhiều học giả đã tiến hành các nghiên cứu toàn diện về hệ thống tích hợp nhiều dạng năng lượng: nghiên cứu dòng công suất tối ưu của hệ thống tích hợp; [8] đề xuất mô hình đồng phát nhằm điều phối hiệu quả mạng lưới điện, nước và khí đốt tự nhiên trên phạm vi của một thành phố [7]; đề xuất các giải pháp kết hợp giữa sản xuất và tiêu thụ năng lượng điện - nhiệt [9]; đề xuất thuật toán giải quyết vấn đề tối ưu hiệu suất biến đổi của thiết bị trong mạng lưới điện - khí đốt và nhiệt kết hợp [10].

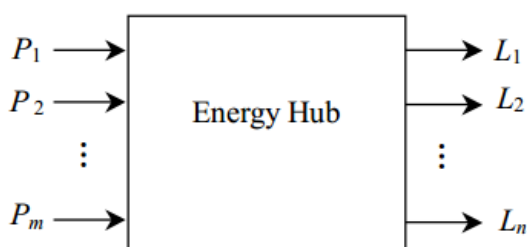
Trung tâm năng lượng (Energy EH -EH) [1] là một mô hình đã thu hút sự quan tâm của các nhà nghiên cứu. EH được coi là một hệ thống đa năng kết hợp công suất và tải thông qua hệ thống biến đổi [11], [12]. Các nghiên cứu [13]-[15] giải quyết các vấn đề kết hợp giữa các dạng năng lượng khác nhau thông qua mô hình này. Nhìn chung, EH cho phép kết nối tối ưu giữa các loại hình năng lượng, có xét đến thiết bị lưu trữ, nguồn phân tán, xe điện,...

Ở những khu vực rộng lớn, EN phải cung cấp cho rất nhiều phụ tải. Do đó, nhiều EH được kết nối quy mô lớn bằng mạng lưới phân phối để cung cấp năng lượng cho khách hàng. Nội dung bài báo này giải quyết ba vấn đề chính sau đây: (1) Phân tích đồng thời các vấn đề về tối ưu hóa chi phí vận hành trong các mạng sử dụng EH và sử dụng các nguồn tái tạo trong mạng lưu trữ và phân phối năng lượng; (2) Đảm bảo hoạt động tối ưu cho các mạng trong mọi tình huống bằng cách xem xét các thông số vận hành và tổn thất năng lượng của cả mạng phân phối điện và khí tự nhiên; (3) Đánh giá tác động của các nguồn năng lượng, thiết bị lưu trữ đối với hiệu suất của EN bằng cách so sánh hai kịch bản tính toán mức tiêu thụ năng lượng của hệ thống và chi phí phát thải so với hình thức chỉ sử dụng năng lượng truyền thống.

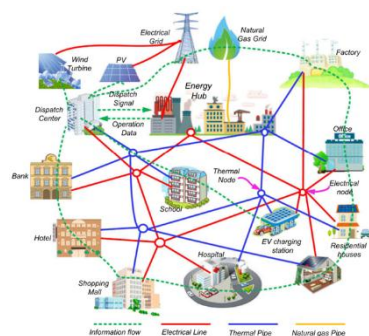
Dựa trên mô hình trung tâm năng lượng, bài báo này tiến hành nghiên cứu bài toán vận hành tối ưu hệ thống năng lượng tích hợp điện năng, khí đốt tự nhiên và hệ thống sưởi trung tâm nhằm nâng cao hiệu suất sử dụng năng lượng và giảm lượng khí thải cũng như chi phí cắt giảm điện gió. Bài báo gồm 5 phần: Phần 1 giới thiệu về mô hình trung tâm năng lượng; Phần 2 xây dựng mô hình mạng lưới năng lượng; phương trình cân bằng năng lượng và cấu trúc hệ thống và thiết lập bài toán tối ưu được giới thiệu ở phần 3; phần 4 đưa ra ví dụ tính toán; Cuối cùng, kết luận và hướng nghiên cứu tiếp theo được trình bày trong phần 5.

2. Energy EH và Energy Network

2.1. Mô hình EH



Hình 1. Cấu trúc Energy EH



Hình 2. Cấu trúc Energy network [8]

Khái niệm và cấu trúc của EH đã được giới thiệu ở nghiên cứu [16]; một cách tổng quát, EH được xem như một nút trong mạng lưới năng lượng với nhiều đầu vào và đầu ra. Các trung tâm năng lượng được mô tả như Hình 1. Trong đó: P , L ký hiệu năng lượng đầu vào, ra của các dạng năng lượng tương ứng.

2.2. Mô hình EN

EN là một khái niệm mở rộng của mạng lưới điện kết hợp khí tự nhiên và các dạng năng lượng khác (Hình 2). Ưu điểm: (1) Thúc đẩy các ứng dụng năng lượng mới và tái tạo; (2) Làm giảm chi phí sử dụng năng lượng, giảm khí thải và cắt giảm đỉnh phụ tải, đồng thời đáp ứng một cách linh hoạt tính đa dạng của phụ tải; (3) Thúc đẩy sự phát triển đa dạng và bền vững của công nghệ năng lượng.

Với những ưu điểm nổi bật nói trên, bài báo tiến hành phân tích và đề xuất mô hình gồm nhiều EH nhằm liên kết mạng lưới điện, khí tự nhiên và nhiệt sưởi với cấu trúc như Hình 2.

2.2.1. Mạng lưới điện

Phân bố công suất của mạng lưới điện có thể thông qua phương trình cân bằng công suất nút cơ bản:

$$\begin{cases} Q_{E,i}^G = Q_{E,i}^D + V_i \sum_{j=1}^{n_E} V_j (G_{E,ij} \cos \theta_{ij} + B_{E,ij} \sin \theta_{ij}) \\ P_{E,i}^G = P_{E,i}^D + V_i \sum_{j=1}^{n_E} V_j (G_{E,ij} \cos \theta_{ij} + B_{E,ij} \sin \theta_{ij}) \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó, $P_{E,i}^G(t)$, $Q_{E,i}^G$ công suất tác dụng và phản kháng của máy phát điện chảy vào nút thứ i ; $P_{E,i}^D(t)$, $Q_{E,i}^D$ là công suất tác dụng và phản kháng của phụ tải điện tại node thứ i . V_i, V_j là giá trị điện áp tại node thứ i và node thứ j . $G_{E,ij}$, $B_{E,ij}$ và θ_{ij} lần lượt là điện dẫn, điện dẫn trung tính của dây dẫn và góc lệch pha từ node thứ i đến j . n_E là số lượng điểm nút của mạng lưới điện.

2.2.2. Mạng khí tự nhiên

Mạng lưới khí tự nhiên được cung cấp từ các nhà máy khí đốt hoặc các công ty cung cấp khí tự nhiên thông qua hệ thống ống dẫn, máy nén khí và hệ thống van. Dòng khí trong đường truyền khí có thể được tính theo tài liệu [17], [18] :

$$f_{ij}^L = k_{ij}^L \text{sign}(p_i, p_j) \sqrt{\text{sign}(p_i, p_j) (p_i^2 - p_j^2)} \quad (2)$$

Trong đó: f_{ij}^L , k_{ij}^L lần lượt là lưu lượng khí tự nhiên và hệ số các ống dẫn khí từ điểm i đến j . p_i , p_j lần lượt là áp lực khí tại điểm i và j .

Trong biểu thức toán học (2) nói trên thì $\text{sign}(p_i, p_j)$ biểu thị hướng dòng chảy trong đường ống dẫn khí, giá trị cụ thể được xác định theo công thức (3) như sau:

$$\text{sign}(p_i, p_j) = \begin{cases} +1, & \text{if } p_i > p_j \\ -1, & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

Lưu lượng khí tự nhiên có thể được tính toán dựa trên lưu lượng khí trong đường ống dẫn và tổng giá trị nhiệt (GHV) của khí theo biểu thức:

$$\begin{cases} P_{G,ij}^L = GHV \times f_{ij}^L \\ P_{G,ij}^C = GHV \times f_{ij}^C \end{cases} \quad (4)$$

Trong đó, $P_{G,ij}^L, P_{G,ij}^C$ lần lượt là công suất khí tự nhiên và bơm áp lực từ điểm i đến điểm j ; k_{ij}^C là hằng số máy nén khí; f_{ij}^L là lưu lượng khí tự nhiên từ điểm i đến điểm j ; f_{ij}^C là tổn thất qua bơm áp lực từ điểm i đến điểm j . Khi đó phương trình cân bằng khí được viết như công thức toán học (5) như sau:

$$P_{G,i}^S = P_{G,i}^D + \sum_{j=1}^{n_g} P_{G,ij}^C + \sum_{j=1}^{n_g} P_{G,ij}^L \quad (5)$$

Trong đó, $P_{G,i}^S$ là công suất khí tự nhiên chảy vào điểm i . $P_{G,i}^D$ là công suất khí tự nhiên tiêu hao tại điểm i . n_g là số lượng điểm nút của mạng lưới khí tự nhiên.

2.2.3. Mạng lưới nhiệt

Hệ thống sưởi trung tâm bao gồm một bộ sản xuất nhiệt cung cấp nhiệt năng và các đường ống truyền nhiệt đến hộ tiêu thụ. Trong đó, đường ống truyền tải được chia thành đường ống cấp nước và đường ống dẫn nước hồi lưu [19].

Tổng nhiệt do trung tâm nhiệt tạo ra dựa trên chênh lệch nhiệt độ giữa đường ống cấp nước được kết nối và đường ống hồi lưu theo công thức sau:

$$P_H^S = c \dot{m} (T_{in} - T_{re}) \quad (6)$$

Trong đó, P_H^S là tổng công suất do nhà máy nhiệt tạo ra, c là nhiệt dung riêng của nước; $\dot{m}$ là lưu lượng nước chảy qua nút thứ i ; T_{in} và T_{re} lần lượt là nhiệt độ của đường ống nước và đường ống hồi lưu nối với nhà máy nhiệt điện.

Tương tự, $P_{H,i}^D$ là mức tiêu thụ nhiệt của nút thứ i có thể được tính theo chênh lệch nhiệt độ giữa đường ống cấp nước và đường ống hồi lưu kết nối với nó, cụ thể:

$$P_{H,i}^D = c \dot{m}_i (T_{in,i} - T_{re,i}) \quad (7)$$

Nhiệt độ nước trong đường ống hồi lưu thấp hơn nhiệt độ trong đường ống cấp nước và tổn thất nhiệt cũng ít hơn. Nghiên cứu này giả thiết qua tổn thất nhiệt trong đường ống hồi lưu. Khi đó, phương trình cân bằng công suất của mạng nhiệt xét với số node tải n_h có thể được biểu diễn trong công thức (8):

$$P_H^S = \sum_{i=1}^{n_h} P_{H,i}^D + \sum_{i,j=1}^{n_h} P_{H,ij}^L \quad (8)$$

3. Tối ưu hóa hệ thống năng lượng

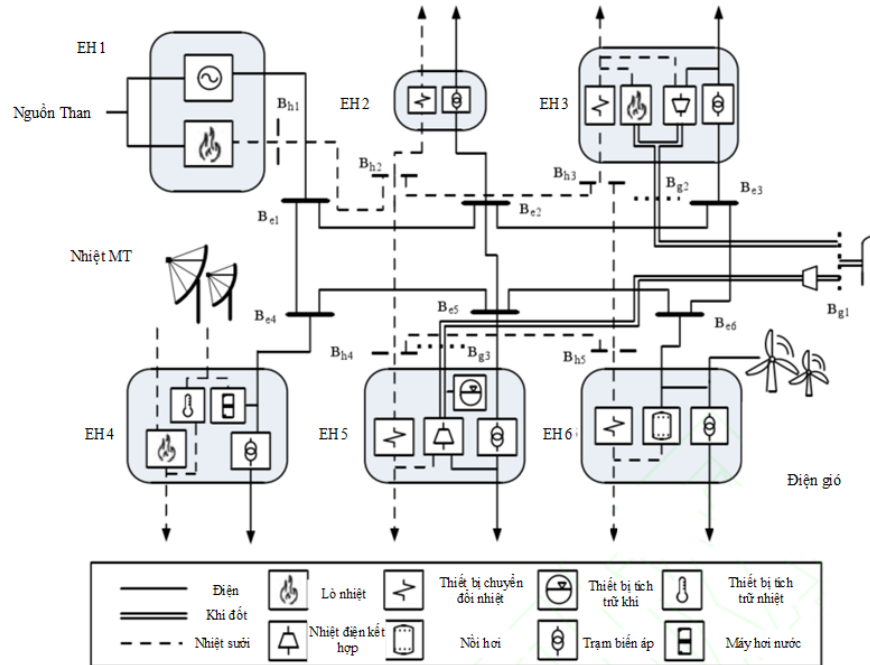
3.1. Cấu trúc mô hình EN đề xuất

Nghiên cứu này đề xuất một mô hình EN như hình 3. EN được hình thành trên cơ sở 6 trung tâm năng lượng (EH) kết nối với nhau thông qua mạng lưới điện, khí tự nhiên và hệ thống sưởi trung tâm.

Trong Hình 3, EH1 gần nguồn than, nó có các máy phát điện chạy bằng than và lò hơi đốt than gắn liền với vai trò là nhà máy điện tổng và nguồn nhiệt tổng, được gọi là trung tâm cung cấp năng lượng. Ngoài ra, còn có một nhà máy điện gió ở EH6, được bổ sung thêm thiết bị lò hơi điện để cung cấp bổ sung nhiệt từ phong điện. Tại EH4, một trạm nhiệt mặt trời được sử dụng để cung cấp một phần tải nhiệt. Mô hình này sử dụng các thiết bị lưu trữ nhiệt để năng lượng vẫn có thể sử dụng trong một khoảng thời gian sau khi mặt trời lặn.

Hệ thống điện phân phối gồm 6 node tải và 7 xuất tuyến; hệ thống sưởi nhiệt trung tâm có 5 node tải. Nguồn cấp nhiệt tại vị trí h1B. Mô hình này có 9 đường ống dẫn nước vào, 4 trong số đó

dẫn nhiệt trực tiếp đến tải. Các đường ống hồi lưu được kết nối với EH1 tại đầu ra của nó. Mạng khí tự nhiên bao gồm trạm nguồn khí tự nhiên (EH5) và có 3 node, trong đó giữa node 1 và 3 sử dụng máy nén khí tăng áp và 2 hệ thống ống dẫn trực tiếp cho tải.



Hình 3. Cấu trúc hệ thống năng lượng

Từ EH2 đến EH6 là các trung tâm tiêu thụ năng lượng (trực tiếp bởi hệ thống truyền dẫn tương ứng hoặc thông qua các thiết bị chuyển đổi). EH2 không có thiết bị chuyển đổi mà sử dụng năng lượng trực tiếp; EH3 sử dụng turbin khí và nồi hơi kết hợp khí tự nhiên lấy từ node 2; EH4 khai thác thông qua các trạm CPS; các turbin khí và thiết bị lưu trữ khí được trang bị tại EH5.

Cấu trúc và nguyên lý hoạt động của các EH là tương tự nhau, trong giới hạn trình bày của bài báo, EH 5 được mô tả toán học thông qua hiệu suất của các thiết bị chuyển đổi khí - điện, khí thành nhiệt, máy biến áp, thiết bị đồng phát và bộ trao đổi nhiệt lần lượt là: $\eta_{ee}, \eta_{ge}, \eta_{gh}, \eta_{hh}$, như sau:

$$\begin{bmatrix} L_e \\ L_h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \eta_{ee} & \eta_{ge} & 0 & \frac{-\eta_{ge}}{\eta_g} \\ 0 & \eta_{gh} & \eta_{hh} & \frac{-\eta_{ge}}{\eta_g} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_e \\ P_g \\ P_h \\ \dot{E}_g \end{bmatrix} \quad (9)$$

3.2. Hàm mục tiêu

Bài toán vận hành tối ưu EN với hàm mục tiêu được đề xuất là tổng chi phí năng lượng (chi phí mua điện và khí tự nhiên từ hệ thống và tổng chi phí phát thải trong thời gian 1 ngày (24 giờ) là nhỏ nhất:

$$\text{Min EPC} = \sum_{t=1}^N \sum_{\alpha=c,g,b} (a_{\alpha} P_{\alpha}(t) + b_{\alpha} P_{\alpha}^2(t)) + C_{ge} + C_w \quad (10)$$

Trong đó: C_{ge} , C_w lần lượt là chi phí phát thải và chi phí cắt giảm năng lượng gió (tức là phần năng lượng gió mà trang trại gió có khả năng tạo ra nhưng phải bị loại bỏ do hạn chế kỹ thuật, ràng buộc về lưới điện và các lý do khác), chúng được xác định qua các biểu thức sau đây:

$$C_{ge} = \varphi_1 \sum_{t=1}^N \sum_{\alpha=c,g,b} c_{\alpha} P_{\alpha}(t) \quad (11)$$

$$C_w = \varphi_2 \sum_{t=t_1}^{t_2} \left(\overline{P_w}(t) - P_w(t) \right) \quad (12)$$

a_{α} , b_{α} , c_{α} là các hệ số; φ_1 , φ_2 là các hệ số phạt gây ô nhiễm.

3.3. Các ràng buộc

3.3.1. Giới hạn công suất truyền dẫn

Các hạn chế của hệ thống bao gồm các giới hạn về công suất tác dụng, công suất phản kháng và điện áp nút trong lưới điện; áp suất và tỷ số nén trong mạng khí tự nhiên, nhiệt độ giới hạn của mạng lưới nhiệt như sau:

$$\begin{cases} P_{ck}^{\min} \leq P_{ck} \leq P_{ck}^{\max} \\ P, V_i^{\min} \leq P, V_i \leq P, V_i^{\max} \\ P, Q_{E,i}^{G,\min} \leq P, Q_{E,i}^G \leq P, Q_{E,i}^{G,\max} \\ T_{in,i}^{\min} \leq T_{in,i} \leq T_{in,i}^{\max} \end{cases} \quad (13)$$

3.3.2. Giới hạn kỹ thuật của các EH

Ràng buộc của cân bằng năng lượng đối với EH được giới thiệu trong phần 2 bởi công thức toán học (9). Các ràng buộc khác bao gồm:

$$L_{E,i}(t) = P_{E,i}(t) + \sum P_{E,i}^{con}(t) \quad (14)$$

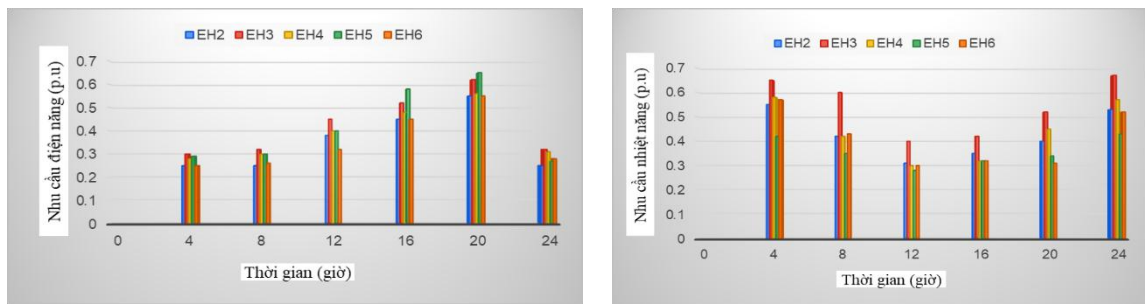
$$L_{H,i}(t) = P_{H,i}(t - t_r) + \sum P_{H,i}^{con}(t) \quad (15)$$

$$P_{con,n}^{\min} \leq P_{con,n} \leq P_{con,n}^{\max} \quad (16)$$

Trong đó, $L_{E,i}(t)$ và $L_{H,i}(t)$ là nhu cầu điện và nhu cầu nhiệt của trung tâm năng lượng thứ i tại thời điểm t . Ký hiệu **con** là năng lượng được tạo ra bởi thiết bị chuyển đổi tương ứng trong trung tâm năng lượng; **net** là ký hiệu năng lượng đầu vào của mạng lưới tương ứng. Ngoài ra, biểu thức toán (16) đề cập đến thời gian trên của quá trình truyền nhiệt t_r ; nghĩa là nhiệt năng đưa vào trung tâm năng lượng của mạng nhiệt tại thời điểm $(t - t_r)$.

4. Kết quả tính toán

4.1. Dữ liệu tính



Hình 4. Nhu cầu tiêu thụ năng lượng một ngày điển hình

Các thông số cho EN theo cấu trúc của Hình 3 được biểu thị dưới dạng đơn vị tương đối (giá trị đơn vị tiêu chuẩn (per unit - pu) như sau: Công suất biểu kiến trên mỗi đơn vị tiêu chuẩn của hệ thống điện phân phối là 100 MVA; Điện áp cho phép là [0,9-1,1]; Hệ thống khí đốt tự nhiên có giá trị cơ bản trên mỗi đơn vị là 100 MW, áp suất mỗi node nằm trong giới hạn [0,9-1,1]. Giá

trị cơ bản của công suất nhiệt là 100MW, nhiệt độ cơ bản là 100°C và độ trễ của hệ thống đường ống sưởi ấm được thiết lập là 1 giờ. Thời gian nghiên cứu của hệ thống là 24 giờ, do hạn chế về không gian trình bày nên các biểu đồ phụ tải được biểu thị ở các mốc 4 giờ/ngày.

Hiệu suất chuyển đổi của các thiết bị trong hệ thống được trình bày trong Bảng 1, các thông số của mạng lưới điện, khí tự nhiên và nhiệt được giới thiệu trong Bảng 2 [24].

Bảng 1. Thông số của EH

$\eta_{ge}(EH1)$	$\eta_{gh}(EH1)$	$\eta_{gh}(EH3)$	$\eta_{ge}(EH3,5)$	$\eta_{gh}(EH3,5)$	$\eta_{gh}(EH4)$
0,3	0,7	0,85	0,35	0,02	0,8
$\eta_h^{ch}(EH4)$	$\eta_h^{dis}(EH4)$	$\eta_{gh}(EH4)$	$\eta_g^{ch}(EH4)$	$\eta_g^{dis}(EH4)$	η_{ee}
0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1

Bảng 2. Thông số của hệ thống điện, gas và nhiệt

Mạng lưới điện				Mạng khí tự nhiên		Mạng lưới nhiệt	
Line	Re	Xe	Be	Line	KGVH	Line	$\dot{c}m$
1-2	0,01	0,03	0,03	1-2	7	1-2	50
1-4	0,03	0,06	0,03	1-3	9	2-3	16
2-3	0,03	0,04	0,06			2-5	19
2-5	0,02	0,05	0,07			3-6	4
3-6	0,05	0,04	0,04			5-6	
4-5	0,04	0,06	0,05				
5-6	0,01	0,02	0,01				

Hình 5 cho thấy công suất dự đoán của nhà máy điện gió ở EH6. Thông qua việc chuyển đổi sang điện năng và nhiệt năng, năng lượng gió cất được sử dụng để tạo ra nhiệt để hỗ trợ tải nhiệt nhằm sử dụng hiệu quả năng lượng trong nhà máy điện gió. Hệ số $\varphi_1 = 0,2$, $\varphi_2 = 0,3$.



Hình 5. Công suất nhà máy điện gió

Bảng 3. Các tham số của hàm mục tiêu

Loại hình năng lượng	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
Than	25	0,25	4
Khí tự nhiên	20	0,2	2,3
Năng lượng sinh khối	12	0,15	1,8

4.2. Kết quả tính toán

Ngôn ngữ lập trình GAMS (MINOS) [19] được sử dụng để tính toán tối ưu hóa EN với hàm mục tiêu kinh tế (3) và các ràng buộc về mặt kỹ thuật từ (1) đến (16). Kết quả tính toán vận hành tối ưu với 02 kịch bản khác nhau cụ thể như sau:

A. Kịch bản vận hành 1 (Case 1): Chế độ vận hành truyền thống sử dụng hệ thống nhiệt và năng lượng điện. Kết quả tính toán tổng năng lượng tiêu thụ của than, khí tự nhiên và năng lượng

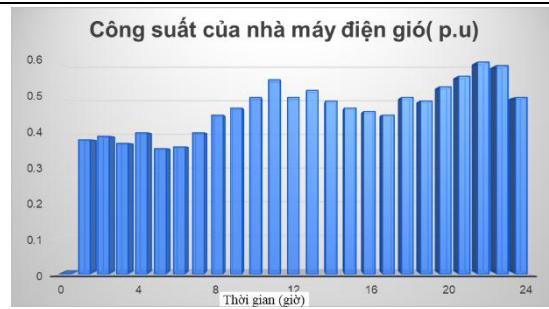
sinh khối thể hiện ở Bảng 4. Kết quả sử dụng công suất từ nhà máy điện gió thể hiện ở Hình 6a có thể thấy rằng, điện gió chủ yếu được cắt giảm ở khoảng thời gian giờ thứ 1-4 và 20-24, khi mà sản lượng điện gió lớn và nhu cầu tải điện thấp.

Bảng 4. Kết quả năng lượng tiêu thụ của các kịch bản vận hành 1,2

Loại hình năng lượng		1-4	5-8	9-12	13-16	17-20	21-24
Than	Case 1	6.230	5.453	6.883	6.705	8.119	7.245
	Case 2	5.752	5.136	5.652	6.897	7.758	5.864
Khí tự nhiên	Case 1	2.776	1.694	1.365	2.640	3.230	1.860
	Case 2	2.990	1.428	1.312	1.853	1.917	1.782
Năng lượng sinh khối	Case 1	0.744	0.360	0.253	0.219	0.353	0.435
	Case 2	0.270	0.285	0.196	0.235	0.347	0.440



a. Case 1



b. Case 2

Hình 6. Công suất nhà máy điện gió của hai kịch bản vận hành

B. Kịch bản vận hành 2 (case 2): Vận hành hệ thống năng lượng kết hợp. Kết quả tính toán cho thấy, khi hệ thống EN được vận hành với thông số tối ưu hơn, công suất của nhà máy điện gió được sử dụng hiệu quả hơn (Hình 6b); nó cho thấy việc vận hành hệ thống EN với sự kết hợp của các dạng năng lượng khác nhau đạt được hiệu quả tối ưu về tiêu thụ năng lượng, giảm phát thải nhà kính và nâng cao hiệu suất khai thác năng lượng tái tạo.

5. Kết luận

(1) Trên cơ sở mô hình trung tâm năng lượng, bài báo này đã đề xuất tích hợp các hệ thống năng lượng khác nhau (hệ thống điện và mạng khí tự nhiên với việc tích hợp năng lượng gió và hệ thống lưu trữ năng lượng) và tiến hành vận hành tối ưu mô hình đề xuất với hàm mục tiêu cực tiểu chi phí sử dụng năng lượng có xét đến yếu tố phát thải và chi phí cắt giảm năng lượng gió.

(2) Bài báo đã phân tích mức tiêu thụ năng lượng của toàn hệ thống và lượng phát thải thông qua 02 kịch bản vận hành để đánh giá tác động của các nguồn năng lượng phân tán, thiết bị năng lượng lưu trữ đến hiệu suất của EN. So với vận hành mô hình năng lượng truyền thống, mô hình đề xuất có lợi ích tổng thể cao hơn và cung cấp cơ sở lý thuyết để tối ưu hóa hoạt động của hệ thống tích hợp nhiều dạng năng lượng khác nhau.

(3) Kết quả tính toán cho thấy, cấu trúc EH trong mạng lưới năng lượng có ảnh hưởng đáng kể đến hiệu quả vận hành. Do đó, cần tiếp tục nghiên cứu sâu hơn về chiến lược vận hành tối ưu cho từng EH và tối ưu hóa cấu trúc EH trong toàn bộ mạng lưới năng lượng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] M. Geidl, G. Koeppl, and P. Favre-Perrod, "Energy EHs for the future. Power Energy Magaz," *IEEE*, vol. 5, no. 1, pp. 24-30, 2007.
- [2] T. Krause, G. Andersson, and K. Fro Hlich, "Multiple- Energy Carriers: Modeling of Production, Delivery, and Consumption," *Proc IEEE*, vol. 99, no. 1, pp. 15-27, 2011.
- [3] X. Xu, H. Jia, and D. Wang, "Hierarchical energy management system for multi-source multi-product microgrids," *Renew Energy*, vol. 78, pp. 621-630, 2015.

-
- [4] Y. B. Zha, T. Zhang, and Z. Huang, "Analysis of energy internet key technologies," *Sci. China*, vol. 44, no. 6, pp. 702, 2014.
- [5] A. Ehsan, Q. Yang, "Robust distribution system planning considering the uncertainties of renewable distributed generation and electricity demand", in 2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2), 26-28 Nov. 2017, China, pp. 1-6. doi: 10.1109/EI2.2017.8245622.
- [6] Y. Ma, X. Wang, and X. Zhou, "An overview of energy internet," *Proceeding of IEEE 2016 Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, Yinchuan, China, 28-30 May 2016, pp. 6212-6215.
- [7] T. Ha, Y. Zhang, and V. V. Thang, "Energy EH modeling to minimize residential energy costs considering solar energy and BESS," *J. Mod Power Syst Clean Energy*, vol. 5, no. 3, pp. 389-399, 2017.
- [8] T. T. Ha, Y. J. Zhang, and J. B. Hao, "Optimal Operation of Energy EH with Different Structures for Minimal Energy Usage Cost," *Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Power and Renewable Energy*, Chengdu, China, 2017, pp. 31-36.
- [9] M. Geidl and G. Andersson, "A modeling and optimization approach for multiple energy carrier power flow," *Power Tech IEEE*, St. Petersburg, Russia, 27-30 June 2005, pp. 1-7.
- [10] M. Geidl, *Integrated Modeling and Optimization of Multi-Carrier Energy Systems*, Zurich, Switzerland, 2007.
- [11] M. Arnold, R. Negenborn, and G. Andersson, "Distributed Predictive Control for Energy EH Coordination in Coupled Electricity and Gas Networks," *Int Syst Cont Auto Sci Engin*, vol. 42, pp. 235-273, 2010.
- [12] B. Lu and M. Shahidehpour, "Short-term Scheduling of battery in a grid-connected PV/Battery system," *IEEE Trans Power Syst.*, vol. 20, no. 2, pp. 1053-1061, 2005.
- [13] M. Rastegar, M. Fotuhi-Firuzabad, and M. Lehtonen, "Home load management in a residential energy EH," *Elect Power syst res*, vol. 119, pp. 322-328, 2015.
- [14] X. W. Shen, Y. D. Han, and S. Z. Zhu, "Comprehensive power-supply planning for active distribution system considering cooling, heating and power load balance," *J. Mod Power Syst Clean Energy*, vol. 3, no. 4, pp. 485-493, 2015.
- [15] M. X. Liu, Y. G. Shi, and F. Fang, "Combined cooling, heating and power systems," *Renew and Sustain Energy Rev.*, vol. 35, pp. 1-22, 2014.
- [16] M. Mohammadi, Y. Noorollahi, B. Mohammadiivatloo, "Energy EH: From a model to a concept – A review," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 80, pp. 1512-1527, 2017.
- [17] S. Pazouki, M. R. Haghifam, and A. Moser, "Uncertainty modeling in optimal operation of energy EH in presence of wind, storage and demand response," *Int J Electr Power Energy Syst.*, vol. 61, pp. 335-345, 2014.
- [18] C.R. Martinez-Mares, Fuerte-Esquivel, "A unified gas and power flow analysis in natural gas and electricity coupled networks", *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 27(4), pp. 2156–2166, 2012.
- [19] L. Saarinen, "Modelling and control of a district heating system," M.Sc. thesis, Department of Information Technology, Uppsala University, Mar. 2008.
- [20] A. Brooke, D. Kendrick, and A. Meeraus, *GAMS. A User's Guide*. AMS Development Corp: Washington, US, 2003.