

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỆN MẶT TRỜI KẾT HỢP TUABIN NƯỚC CHO VÙNG CAO MIỀN NÚI

STUDY ON THE DESIGN OF A HYBRID SOLAR-HYDRO TURBINE POWER GENERATION SYSTEM FOR REMOTE MOUNTAIN REGIONS

Trần Duy Tùng¹, Trần Văn Thực², Mai Hữu Thuận^{1*}

¹Khoa Vật lý kỹ thuật, Đại học Bách khoa Hà Nội

²Khoa Kinh tế và Khoa học cơ bản, trường Đại học Hòa Bình

Đến Tòa soạn ngày 08/9/2025, chấp nhận đăng ngày 29/9/2025

Tóm tắt: Việc cung cấp điện cho khu vực miền núi, vùng sâu vùng xa vẫn là một thách thức lớn do hạn chế về hạ tầng lưới điện và chi phí đầu tư kéo điện lưới cao. Trong khi đó, tiềm năng kết hợp giữa năng lượng mặt trời và thủy điện ở Việt Nam chưa được khai thác hiệu quả. Nghiên cứu này trình bày thiết kế và đánh giá hệ thống điện lai ghép gồm 50 kWp điện mặt trời và 30 kW thủy điện nhỏ, áp dụng tại huyện Văn Chấn, tỉnh Yên Bái. Hệ thống sử dụng hai nguồn năng lượng bổ trợ (theo mùa và chu kỳ ngày/đêm), kết hợp lưu trữ kép (acqy và tích trữ thủy năng) cùng bộ điều khiển thông minh nhằm bảo đảm ổn định nguồn điện liên tục cho 46 hộ dân. Kết quả cho thấy mô hình có tính khả thi cao, chi phí đầu tư hợp lý, thời gian thu hồi vốn ngắn, đồng thời mang lại hiệu quả kinh tế - xã hội và góp phần thúc đẩy phát triển năng lượng tái tạo tại địa phương.

Từ khóa: Điện mặt trời, thủy điện nhỏ, hệ thống điện lai, vùng cao miền núi.

Abstract: Providing stable electricity to mountainous regions remains a major challenge due to limited grid infrastructure and high investment costs, meanwhile, the potential integration of solar and hydropower resources in Vietnam has not yet been fully exploited. This paper presents the design and evaluation of a hybrid power system comprising a 50 kWp photovoltaic array and a 30 kW mini-hydro turbine, applied in Van Chan district, Yên Bái province. The system leverages the complementary characteristics of the two energy sources (seasonal and diurnal balancing), combined with dual storage (battery and pumped-hydro) and a smart controller to ensure a reliable power supply for 46 households. The results indicate high technical feasibility, reasonable investment costs, and a short payback period, while also demonstrating socio-economic benefits and contributing to the promotion of renewable energy development in remote communities.

Keywords: Solar photovoltaic, mini-hydro power, hybrid power system, mountainous highlands areas.

1. GIỚI THIỆU

Việc tiếp cận điện năng ổn định tại các khu vực miền núi, vùng sâu vùng xa vẫn là một thách thức lớn, do địa hình hiểm trở và chi phí đầu tư kéo điện lưới cao. Trong khi đó, các khu vực này lại có tiềm năng lớn về năng lượng tái tạo như bức xạ mặt trời khoảng 4,0÷4,5 kWh và số giờ nắng khoảng 1.500÷1.700 giờ/năm [1], cùng với nguồn nước suối dồi dào quanh năm. Khai thác và kết hợp các

nguồn năng lượng sẵn có để phát điện tại chỗ được xem là giải pháp bền vững, vừa nâng cao chất lượng cuộc sống, vừa thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội, đồng thời góp phần hiện thực hóa mục tiêu chuyển dịch năng lượng [2]. Tuy nhiên, nguồn năng lượng mặt trời lại phụ thuộc vào điều kiện thời tiết và bị gián đoạn vào ban đêm, trong khi thủy điện nhỏ dễ suy giảm công suất vào mùa khô. Do đó, các hệ thống lai (hybrid) kết hợp nhiều nguồn

năng lượng đang được quan tâm nghiên cứu và triển khai trên thế giới, như một giải pháp tăng tính ổn định và tối ưu hiệu suất khai thác năng lượng tại chỗ [3] - [5].

Các nghiên cứu quốc tế về hệ thống hybrid PV - thủy điện đã chứng minh hiệu quả đáng kể. Syahputra và Soesanti [4] tại Yogyakarta (Indonesia) chỉ ra khả năng cung cấp điện ổn định với chi phí hợp lý cho vùng nông thôn; dự án tại Ethiopia (2024) [6] ghi nhận hiệu quả trong cải thiện chất lượng cuộc sống và thúc đẩy phát triển kinh tế địa phương. Benxi Liu et al. (2024) [7] và Rangaraju et al. [8] cho thấy sự kết hợp hai nguồn này giúp cải thiện hiệu suất tổng thể tới 20% so với hệ thống điện mặt trời đơn lẻ. Tại Việt Nam, hướng tiếp cận hybrid mới chỉ tập trung chủ yếu vào hệ thống PV - pin lưu trữ (Nguyễn et al. [9]), chứng minh tính khả thi về kỹ thuật và kinh tế. Tuy nhiên, các nghiên cứu chuyên sâu về mô hình kết hợp PV với tuabin thủy điện nhỏ, phù hợp với điều kiện địa hình vùng cao miền núi vẫn còn hạn chế.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất một hệ thống hybrid PV - thủy điện nhỏ kết hợp lưu trữ kép (ac quy + tích trữ thủy năng) được tích hợp bộ điều khiển thông minh cho phép tự động điều chỉnh công suất, tối ưu hiệu suất khai thác nguồn năng lượng địa phương, tăng khả năng tự chủ về năng lượng cho cộng đồng vùng sâu vùng xa, đồng thời hỗ trợ thực hiện chiến lược phát triển năng lượng tái tạo quốc gia.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Giới thiệu mô hình hệ thống

Mô hình gồm 50 kWp điện mặt trời và 30 kW thủy điện phối hợp qua bộ điều khiển thông minh để cấp điện liên tục. Nguồn điện mặt trời được ưu tiên dùng trực tiếp, phần dư tích trữ vào ac quy. Khi bức xạ yếu hoặc ban đêm,

tuabin nước (có bể trữ năng) và ac quy sẽ bổ sung, bảo đảm đủ điện cho tải.

2.2. Nguyên vật liệu, thiết bị

2.2.1. Lựa chọn pin mặt trời

Tại thị trường Việt Nam, các nhà sản xuất pin phổ biến của Longi Solar, JA Solar, AE Solar..., được phân phối rộng rãi, công suất từ 450 đến 650 W. Hầu hết sản phẩm sử dụng công nghệ Mono PERC hoặc N-type, đạt hiệu suất 20,9÷22,0%, với giá trung bình 1,514÷4,050 triệu đồng/tấm [10]. Với công trình này chọn tấm pin AE Solar 550 W (Voc: 51,44 V, (Vmp): 42,57 V, (Isc): 13,67 A, (Imp): 12,92 A) [11] có công suất, hiệu suất và giá phù hợp).

2.2.2. Lựa chọn Inverter và tuabin nước

Để tối ưu hệ thống 50 kWp, có thể chọn 2 biến tần 25÷30 kW hoặc 1 biến tần 50÷60 kW. Inverter phù hợp sẽ giúp tối ưu hóa hiệu suất và đảm bảo độ tin cậy của hệ thống năng lượng mặt trời, trường hợp sau này có thể lắp đặt thêm một số tấm pin mặt trời. Tương tự như cách phân tích lựa chọn pin mặt trời ta chọn 2 inverter LS LSLV0300H100-4COFN với công suất 30 kW vì đạt các thông số yêu cầu của hệ thống (giá 22.841.000 đ) [12].

Đối với tuabin nước cho hệ thống này, ta chọn tuabin nước Mini Hydro - XJ02-W-32 công suất 30 kW, có thông số kỹ thuật (lưu lượng: 0,085 m³/s) và giá 86,4 triệu [13].

2.2.3. Lựa chọn ac quy và khung giá đỡ

Ta lựa chọn ac quy: Pylontech Force-L1-48-10K65 (~48 V ~10,65 kWh, với hiệu suất / chu kỳ xả nạp là: 95%/500 lần và có giá khoảng 30 triệu, bảo hành 10 năm) [14].

Đối với giá đỡ tấm pin năng lượng mặt trời có giá phổ biến hiện nay là 350.000đ÷520.000 đ/m². Tùy thuộc vào công trình cụ thể.

2.2.4. Nhu cầu tiêu thụ điện của một hộ gia đình

Thống kê nhu cầu tiêu thụ điện phổ biến ở vùng nông thôn miền núi chủ yếu cho các thiết bị: đèn LED, quạt, TV, nồi cơm điện..., có lượng điện tiêu thụ trong 1 ngày khoảng 5,59 kW và trong 1 tháng ≈ 168 kW. Do đó nhu cầu điện năng tiêu thụ một ngày cho một bản từ 30 đến 50 hộ là: $5,59 \text{ kW} \times (30 \div 50) = 16,80 \div 27,95 \text{ kW}$. Do đó chọn công suất tuabin nước 30 kW là đảm bảo cho trường hợp tăng thêm tải tiêu thụ.

2.3. Kỹ thuật phân tích đo đạc

2.3.1. Khảo sát hướng và góc nghiêng tấm pin

Ban đầu khảo sát sơ bộ hiện trạng mặt bằng dự kiến nhằm xác định các điều kiện tự nhiên như cường độ bức xạ, bóng đổ, độ cao và kích thước của các vật thể xung quanh. Sau đó tiến hành đo I-V trên thiết bị (PROVA 1011), đồng thời đặt máy đo bức xạ mặt trời (Extech SP505) vuông góc với mặt phẳng tấm pin rồi điều chỉnh góc nghiêng và hướng của tấm pin cho đến khi thiết bị đo bức xạ ghi nhận giá trị lớn nhất, chính là góc nghiêng tối ưu.

2.3.2. Mô phỏng và tính toán hiệu suất hệ thống

Sử dụng phần mềm PVSyst mô phỏng hệ thống điện mặt trời, giúp đánh giá sản lượng điện và hiệu suất. Nhập các thông số như tọa độ điểm khảo sát khu Văn Chấn - Yên Bái: vĩ độ từ khoảng $20^{\circ}20'$ đến $21^{\circ}45'$ Bắc, $104^{\circ}02'$ đến $104^{\circ}53'$ Đông, hướng, góc nghiêng, số lượng chuỗi pin, thông số Inverter... Kết quả mô phỏng đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố như tổn thất năng lượng, Lượng khí CO₂ cắt giảm, báo cáo chi tiết về hiệu suất và sản lượng điện dự kiến theo thời gian.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả khảo sát hiện trạng

3.1.1. Kết quả đo cường độ bức xạ mặt trời

Bức xạ mặt trời trung bình tại Văn Chấn - Yên Bái khoảng $4 \text{ kWh/m}^2/\text{ngày}$ [1]. Phân bố cường độ bức xạ mặt trời theo tháng (biểu đồ Hình 1) cho thấy cường độ bức xạ mặt trời tăng dần từ tháng 1 đến tháng 7, đạt đỉnh vào tháng 6 và tháng 7, giá trị cao nhất khoảng 85 kWh/m^2 và bắt đầu giảm dần sau tháng 7, đạt mức thấp nhất vào tháng 12, tương ứng với các tháng mùa đông khi cường độ bức xạ mặt trời yếu hơn với giá trị khoảng $25 \div 30 \text{ kWh/m}^2$, điển hình vào tháng 1 và tháng 12.

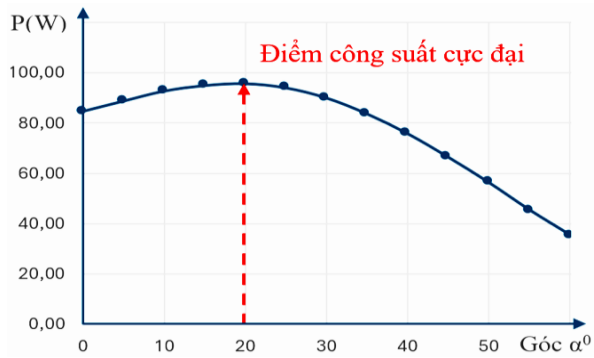


Hình 1. Biểu đồ phân bố bức xạ mặt trời theo tháng tại Văn Chấn- Yên Bái

Số giờ nắng tương ứng từ kết quả thực tế cho thấy tháng 7 có nhiều nắng nhất với 1.850 giờ, trong khi tháng 2 có thời gian nắng trung bình thấp nhất với 47 giờ. Thời gian nắng trung bình hàng năm dao động từ khoảng 1.500 đến 1.550 giờ. Đây là cơ sở để tính số lượng tấm pin mặt trời và các thiết bị liên quan để tính sản lượng điện tương ứng.

3.1.2. Khảo sát góc nghiêng tối ưu

Tấm pin được mặt trời khảo sát là AE Solar 100Wp (do tấm pin nhỏ gọn thao tác đo dễ dàng, hơn nữa việc xác định góc nghiêng thực tế không phụ thuộc vào loại pin), bằng cách đo các kết quả vào các khoảng thời gian trong ngày khác nhau. Kết quả được đo tại khu vực Văn Chấn - Yên Bái (Hình 2).



Hình 2. Biểu đồ hiệu suất của công suất của tấm pin theo góc nghiêng

Từ Hình 2 cho thấy khi tấm pin nghiêng về hướng Nam và điều chỉnh theo các góc nghiêng khác nhau, công suất biến thiên đáng kể. Góc nghiêng từ 10 đến 30° thì công suất đạt giá trị cao nhất, dao động từ 92,52 đến 95,54 W. Tại góc 20°, công suất đạt cực đại, đồng thời đảm bảo không xảy ra hiện tượng đọng nước mưa trên bề mặt tấm pin. Như vậy vị trí khảo sát (tọa độ: 21.6310°N vĩ độ Bắc, 104.5975°E kinh độ Đông) góc nghiêng tối ưu là 20°.

3.1.3. Khảo sát vị trí lắp đặt tuabin nước

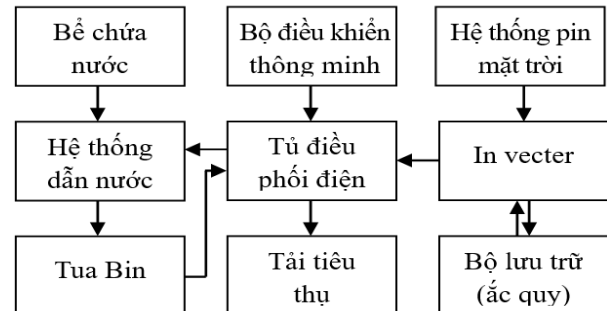
Bản Vàng Ngàn nằm trong xã Suối Quyền - một vùng núi cao, nằm sâu trong dãy Hoàng Liên Sơn. Khu vực này có nhiều suối, khe, do đặc thù vùng cao nên các khe suối ở đây có dòng chảy mùa [16]. Tại vị trí khảo sát có khe suối chảy gần như quanh năm, Nước ở được tích ở bể chứa, rồi mới chảy xuống tuabin theo đường ống dẫn. Ở đầu đường ống dẫn nước sẽ có một tấm màng lọc rác để tránh rác gây vướng vào cánh quạt hay bánh xe trong tuabin. Ở đầu vào của máy phát điện ta có một van để điều chỉnh lượng nước vào trong tuabin.

3.2. Kết quả thiết kế hệ thống pin mặt trời kết hợp tuabin nước

3.2.1. Mô hình hệ thống pin mặt trời kết hợp tuabin nước

Sơ đồ hệ thống (Hình 3) bao gồm:

Khe suối lưu vực chứa nước: Các khe suối khu vực lưu vực có diện tích khoảng hơn 80 ha được nội suy từ bản đồ vệ tinh, quan sát thực địa và các nguồn tin địa phương [15, 16].



Hình 3. Sơ đồ hệ thống lai kết hợp

2. Bể chứa và hệ thống dẫn nước: được thiết kế bằng tường cao 1,4 m, rộng 35 m chắn ngang khe suối nhỏ như một đập tràn, thu gom nước mưa/suối, tạo bể nước cho tuabin, dung tích khi đạt mức nước 1,4 m ước tính khoảng hơn 5000 m³, đảm bảo cung cấp nước liên tục trong 16 - 24 giờ. Đầu ra của bể chứa có 2 đường ống (ống dẫn cao su áp lực cao) song song có điểm nối hợp nhau ở điểm đầu vào tuabin (mục đích tăng tốc dòng chảy), có van điều khiển lưu lượng (van điện điều khiển, do bộ điều khiển thông minh kiểm soát) và hệ thống thoát nước sau tuabin.

3. Tuabin nước: Hệ thống sử dụng tuabin nước Mini Hydro 30 kW - model XJ02-W-32.

4. Bộ điều khiển thông minh, được lập trình để điều khiển đóng/mở van nước, quản lý điều tiết nguồn điện ưu tiên mặt trời - thủy điện - ắc quy và bảo vệ hệ thống và cảnh báo sự cố.

5. Dàn pin mặt trời 50 kWp: Các tấm pin mặt trời (tấm pin AE Solar 550Wp), hệ thống khung giá đỡ, dây dẫn DC, chống sét).

6. Inverter (Biến tần): Sử dụng 2 inverter LS LSLV0300H100-4COFN công suất 30 kW đầu song song, có khả năng sạc/xả ắc quy (có hỗ trợ tự động cung cấp điện cho tải).

7. Bộ lưu trữ (Ắc quy): Sử dụng 2 ắc quy

Pylontech Force-L1-48-10K65 (48 V-10.65 kWh) được đấu nối tương ứng với 2 inverter tương ứng.

8. Tủ điều phối điện: (hệ thống role, aptomat, bộ giám sát thông minh,...) các thiết bị được điều khiển bởi bộ điều khiển thông minh để phân phối điện hợp lý đến tải tiêu thụ.

9. Tải tiêu thụ: là 46 hộ dân tộc Dao và một số hộ dân tộc khác.

3.2.2. Kết quả tính toán thông số của hệ

a) Tính toán các thông số của dàn pin

- Số lượng tấm pin để có công suất 50 kWp là: $50 \times 10^3 / 550 = 90,91$ tấm, để thuận tiện cho việc chia chuỗi khi lắp đặt ta chọn 90 tấm.

- 2 inverter LS LSLV0300H100-4COFN công suất 30 kW có thông số cơ bản: (dải điện áp MPPT: $200 \div 1000$ VDC; Điện áp khởi động: ~ 250 V; Số MPPT: 3; Định mức dòng: 61A; Hiệu suất: $H = 98,8\%$ [12]. Căn cứ các thông số trên ta tính số tấm pin và số chuỗi phù hợp.

+ Căn cứ vào giới hạn điện áp MPPT, $N_{\max} = 1000/50 = 20$ tấm và $N_{\min} = 400/45 \approx 9$ tấm, phương án chia 90 tấm pin thành 6 chuỗi, mỗi chuỗi 15 tấm nối tiếp là phù hợp nhất.

+ Khi đó (V_{mp}): $15 \times 42,57V = 638,6$ V; (V_{oc}): $15 \times 51,44 V = 771,6$ V; V_{mp} và V_{oc} đều thỏa mãn (< 1000 V) điện áp MPPT trên inverter.

+ Dòng điện hoạt động cực đại của tấm pin là 12,92 A, và inverter có thể chịu được dòng điện đầu vào là $12,92 \times 3 = 38,76 < 61$ A nên có thể kết nối 3 chuỗi song song.

+ Công suất mỗi chuỗi là $15 \times 550 W = 8250$ Wp.

+ Công suất đầu vào mỗi inverter là $3 \times 8250 = 24750$ Wp $< 30/1,2 = 25$ kWp (1,2 là hệ số

an toàn, thông thường công suất inverter cao hơn 1,2 lần công suất đầu vào để tránh quá tải và là điểm hoạt động cho hiệu suất cao nhất).

+ Khoảng cách giữa các chuỗi là 1,5 m để đảm bảo các tấm pin không che bóng lẫn nhau, đặc biệt vào ngày đông chí $\{d \geq 1.133 / (\tan 45^\circ)\}$.

+ Diện tích lắp đặt (m^2): là diện tích các tấm pin cộng diện tích khoảng cách giữa các chuỗi. Với 90 tấm pin thì diện tích cần là: $90 \times 2,278 \times 1,133 + (6-1) \times 15 \times 1,133 \times 1,5 \approx 360m^2$.

b) Tính toán, lựa chọn acquy lưu trữ

Do chỉ cần tích trữ điện dư từ pin mặt trời và tuabin nước và do hệ số xả sâu DOD: 90–95% [14] của acquy Pylontech Force-L1-48-10K65 (48 V - 10,65 kWh) nên năng lượng sử dụng thực tế ($2 \times 10,65 \times 0,9 \approx 19,2$ kWh), tức là 2 bộ acquy loại trên thì đạt yêu cầu điện lượng đảm bảo cho hệ thống hoạt động ổn định.

c) Tính toán lượng nước cho tuabin nước

Từ các thông số của tuabin (mục 2.2b) [13]. lượng nước cần cho tuabin hoạt động trong 1 năm là: $V_{ly} = Q.t = [P / (\rho \times g \times H \times \eta)] \times t = 30.10^3 / (1000 \times 9,81 \times 45 \times 0,85) \times 3600 \times 12 \times 365 = 1.260.320 \approx 1,26 \times 10^6 m^3 / \text{năm}$.



Hình 4. (a) Tuabin nước 30 kW
(b) Nguồn nước khu vực Văn Chấn -Yên Bái

Lượng mưa trung bình hàng năm tại Yên Bái đạt từ 1650-1849 mm [16] nên diện tích được tính theo công thức: $A = V_y / (P_{tb} \times C)$ (C là hệ số

trôi chảy, đối với khu vực đồi núi Yên Bái thì C nằm trong khoảng 0,8 đến 0,9). Do đó: $[(1650+1849)/2]/(1,26 \times 10^6 \times 0,9) \approx 75,7$ ha. Điều kiện thực tế cho thấy các sườn đồi tích nước ước lượng trên 80ha luôn thỏa mãn (Hình 4b).

d) Tính sản lượng điện của toàn hệ thống

▪ Sản lượng điện pin mặt trời (trên PVSYS) trong một năm là 58897 kWh/năm và hiệu suất hệ thống đạt được lên đến 81,77% (Hình 5).



Hình 5. Sản lượng điện và hiệu suất của hệ thống điện mặt trời

Tính theo công thức lý thuyết: $P \times t_{\text{giờ nắng}} \times \eta = 49,5 \times 1550 \times 0,8 \approx 59400$ kWh/năm. So sánh với kết quả trên PVsyst lệch $59400/58897 \times 100\% \approx 1\%$. Hiệu suất đạt được khá cao cho thấy việc lựa chọn các thiết bị là phù hợp cho hệ thống.

▪ Sản lượng điện từ tuabin nước: Với kích bản đầu trong ngày, tuabin nước hoạt động từ 5h00 đến 10h với công suất từ 60% (không đạt 100% công suất là do độ cao $h = 45$ m giữa bể trên với tuabin và nguồn nước cần tích trữ dự phòng ở bể và việc tiêu thụ điện về đêm ít hơn ban ngày nên công suất trung bình trong nửa ngày về đêm khoảng 60%) giảm dần đến 20% và từ 14h đến 21h00 công suất tăng từ 20% đến 60%, từ 21h00 đến 23h00 thì giảm xuống còn 40% duy trì đến 3h00 ngày hôm sau và tăng dần đến 60% vào thời điểm 5h00, (kịch bản này được lập trình

“nhúng” trên bộ điều khiển thông minh, có thể tùy chỉnh qua mã nguồn mở để phù hợp thực tế). Quy đổi theo công suất toàn phần trên phần mềm, tuabin hoạt động tương đương 4,7 giờ/ngày, giúp tiết kiệm điện và nước, đồng thời giảm nguy cơ quá tải.

Tổng sản lượng điện một ngày của hệ thống đạt khoảng 280 kWh, gồm 160 kWh từ điện mặt trời và 120 kWh từ thủy điện ($30 \text{ kW} \times 4,7 \text{ giờ} \times \text{hiệu suất } 0,85$). Nguồn điện này đủ cấp cho khoảng 50 hộ gia đình ($280/5,59 \text{ kWh/hộ}$). Lượng điện dư thừa ước tính 22,4 kWh/ngày, do tổn hao trong quá trình lưu trữ 5-7% và căn cứ trên dung lượng và giá các loại acquy trên thị trường hiện có nên nhóm nghiên cứu đề xuất 2 acquy trên (dung lượng 19,2 kWh) để tích trữ năng lượng dư thừa.

Năng lượng tích trữ thủy năng chính là bể chứa nước có dung lượng khoảng hơn 5000m³ có tiềm năng điện cho tuabin là:

$$E = \rho \times g \times H \times V \times \eta = 1000 \times 9,81 \times 45 \times 5000 \times 0,85 \approx 1,877 \times 10^9 \text{ J}$$

Đổi sang kWh ($1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$):

$$\text{thì } E = 1,877 \times 10^9 \text{ J} / 3,6 \times 10^6 \text{ J} \approx 521,4 \text{ kWh}$$

Giả thiết trong nhiều ngày không có nắng thì hệ thống điện tuabin nước hoạt động với công suất 60-70 % trong 24 giờ, tổng công suất tiêu thụ trên tải là $5.59 \times 46 = 257 \text{ kWh/ngày}$, tức là không sử dụng điện acquy và điện mặt trời với bể tích trữ nước, nên luôn đủ cung cấp cho tải hoạt động khoảng hơn 2 ngày ($521,4/257 \approx 2,03$ ngày). Nhưng thực tế tại dự án đã thực hiện cho thấy trong những ngày trời mưa, âm u hệ thống mặt điện mặt trời vẫn hoạt động ở mức 12-15%, hơn nữa còn có một phần điện từ acquy và luôn có lượng nước từ lưu vực đổ về bể chứa nên hệ thống đảm bảo ổn định lượng điện cho tải hoạt động.

3.2.3. Dự trù kinh phí và lợi ích công trình

Bảng 1. Bảng dự chi các hạng mục thiết bị chính cho hệ thống

Loại thiết bị	Số lượng	Đơn giá (VNĐ)	Thành tiền (VNĐ)
Tấm pin mặt trời AE Solar 550 Wp	90	2.200.000	198.000.000
Biến tần LS LSLV0300H100-4COFN 30 kW	2	22.841.000	45.682.000
Acquy Pylontech Force-L1-48-10K65	2	30.000.000	60.000.000
Bộ điều khiển thông minh ZALAA	1	2.450.000	2.450.000
Tuabin nước 30 kW Mini Hydro - XJ02-W-32	1	86.400.000	86.400.000
Hệ thống khung đỡ	1	21.600.000	21.600.000
Vật tư phụ (thiết bị đóng ngắt, tủ điện, dây...)	1	30.000.000	30.000.000
Chi phí một phần nhân công		20.000.000	20.000.000
Tổng chi phí			463.532.000

Chi phí là 463.532.000 VNĐ, giúp nhóm dự án ước tính tổng mức đầu tư cần thiết cho hệ thống, đảm bảo phân bổ nguồn vốn hợp lý và phân bổ chi phí giữa các thành phần khác nhau để thực hiện công trình này. Với giá điện tiêu dùng hiện nay 2167 đ/1kW, thì hóa đơn tiền điện 46 hộ trong 1 năm:

$$168 \times 12 \times 46 \times 2.167 = 200.958,912 \text{ VNĐ}$$

Số tiền tiết kiệm được khi sử dụng hệ thống điện mặt trời trong 1 năm $\approx$ 200 triệu đồng, trị giá theo thời gian sử dụng tính theo giá điện với chi phí nguyên vật liệu chính là:

$$T = 463,532 \text{ triệu} / (200 \text{ triệu}) \approx 2,3 \text{ năm}$$

Ưu điểm của hệ thống là mùa khô thì nắng nhiều nguồn điện sử dụng chủ yếu năng lượng mặt trời, còn mùa mưa ít nắng thì hệ thống điện nước lại tận dụng được tối đa và duy trì cho hệ thống vào buổi tối), giảm được chi phí kéo dây so với điện lưới. Sau 2,3 năm trở đi giá trị mang lại gần 200 triệu/1năm, mặc dù chưa trừ chi phí khác như bảo hành, bảo dưỡng nhưng cũng thấy giá trị lợi ích về kinh tế so với các mô hình tương đương [17, 18, 19]. Hệ thống kết hợp hai nguồn năng lượng từ pin mặt trời và tuabin nước cùng kết hợp lưu trữ kép

(acquy và tích trữ thủy năng) cho phép bổ sung điện năng thiếu hụt và duy trì nguồn cung ổn định. Vào mùa mưa ít nắng, nguồn thủy điện đóng vai trò chủ đạo; ngược lại, vào mùa khô ít nước, năng lượng mặt trời lại chiếm ưu thế. Trong những ngày đặc biệt khan hiếm cả nắng và nước, hệ thống acquy và bể chứa nước dự trữ đảm nhận vai trò bổ sung. Cấu hình này đảm bảo tính liên tục trong cung cấp điện, đáp ứng nhu cầu sinh hoạt hàng ngày tại địa phương. Đây chính là ưu thế của nghiên cứu này so với nhiều công trình [3, 4, 6, 7, 19, 20] thiên về mô hình hóa và tối ưu thuật toán.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã thiết kế và đánh giá hệ thống điện lai ghép giữa pin mặt trời 50 kWp và thủy điện 30 kW cho khu vực miền núi Văn Chấn - Yên Bái. Kết quả cho thấy hệ thống không chỉ đáp ứng nhu cầu điện sinh hoạt cho 46 hộ dân với sản lượng ổn định, mà còn khai thác hiệu quả lợi thế bổ sung lẫn nhau giữa hai nguồn năng lượng tái tạo theo mùa và theo chu kỳ ngày/đêm. Việc tích hợp lưu trữ kép (acquy và tích trữ thủy năng) cùng bộ điều khiển thông minh giúp hệ thống vận hành ổn định, giảm thiểu rủi ro gián đoạn điện năng.

Các kết quả cũng cho thấy tính khả thi của công trình không chỉ ở hiệu quả kinh tế mà còn ở khả năng nâng cao chất lượng đời sống, tạo động lực phát triển kinh tế - xã hội cho vùng cao, đồng thời đóng góp vào mục tiêu quốc gia về chuyển dịch năng lượng và giảm phát thải khí nhà kính. Đây là cơ sở quan trọng để triển khai, nhân rộng các mô hình

điện lai ghép tại những khu vực miền núi, vùng sâu miền núi.

Lời cảm ơn: Công trình này được thực hiện trong khuôn khổ đề tài Cấp Đại học, mã số: T2023-PC-090. Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ kinh phí của Đại học Bách khoa Hà Nội.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] P.T. Thanh Nga, et al., "Satellite-Based Regionalization of Solar Irradiation in Vietnam," *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 60, no. 3, (2021).
- [2] Ministry of Industry and Trade, Vietnam National Power Development Plan VIII (PDP8), (2023).
- [3] X. Zhang, G. Ma, W. Huang, S. Chen, and S. Zhang, "Short-term optimal operation of a wind-PV-hydro complementary installation: Yalong River, Sichuan Province, China," *Energies*, vol. 11, no. 4, p. 868, (2018).
- [4] R. Syahputra and I. Soesanti, "Renewable energy systems based on micro-hydro and solar photovoltaic for rural areas: A case study in Yogyakarta, Indonesia," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 472–490, (2021).
- [5] A. Beluco, F. A. During Filho, L. M. R. Silva, and A. Ben, "Dataset after seven years simulating hybrid energy systems with HOMER Legacy," *Mendeley Data*, v2, (2020).
- [6] Gizaw, M., & Bekele, G. Hybrid renewable energy systems for rural electrification in Ethiopia: A case study. *Energy Reports*, 10(1), 112–123. (2024).
- [7] Liu, Y., Zhang, H., & Wang, S. Multi-objective optimization of hybrid solar-hydro systems for rural energy supply. *Renewable Energy*, 205, 45–58. (2023).
- [8] S. Rangaraju, P. Le Vo, B. Nguyen, and K. V. Nguyen, "Harvest the Sun on Water: A review on floating photovoltaic solution for Vietnam," *Int. J. Res. Publicat. Rev.*, vol. 2, no. 3, pp. 169–173, (2021).
- [9] L.D. Nguyen, L.T. Phan, M.T. Tran, and K.H. Nguyen, "A hybrid approach to on-grid and off-grid solar energy with optimum investment: A case study in Vietnam," *EAI Endorsed Transactions on Tourism, Technology and Intelligence*, (2021).
- [10] TC Energy. *Solar panels - Latest price list*. (2024, July). Retrieved from <https://tcenergy.vn>
- [11] Công ty TNHH XD, TM & DV DHC SOLAR. *Tấm pin AE Solar 550 Wp*. Trang web DHC Solar.
- [12] LS Electric, "H100 + Fan & Pump Drive - Product Data Sheet (INV, LSLV0300H100-4COFN(PLUS_NEW))," Product code 67370011PL, IP20/UL Type 1, 380–480 VAC, HD 46.7 A / ND 69.1 A, 50–60 Hz, (2025).
- [13] Alibaba. *Alibaba.com*. (2025). Retrieved from <https://www.alibaba.com>
- [14] Acquy Ben Bỉ. *Battery/accumulator price list*, (2025).
- [15] Ủy ban nhân dân huyện Văn Chấn. *Cổng thông tin điện tử huyện Văn Chấn*, (2025).

- [16] Weather & Climate. Average monthly precipitation in Yen Bai, Vietnam. Weather & Climate. Retrieved August 25, (2025).
- [17] Al-Najjar, H., et al. "Techno-Economic Analysis of a Hybrid Renewable Energy System for an Industrial Plant Using Different Battery Technologies." *Scientific Reports*, 14(1). (2024).
- [18] Quang Anh CGTE. *Solar Power Installation Costs: What You Need to Know in 2025*.
- [19] Thomas, T, & Mishra, M.K."Control System." *IEEE 1st Int. Conf. on Energy, Sys. and Info. Proc*, (2019).
- [20] Bou-Rabee, M., et al. "A Comprehensive Review of Hybrid Renewable Energy Systems: Optimal Design, Control Strategies, and Future Research Directions." *Energies*, 18(10), (2024).

Thông tin liên hệ: **Mai Hữu Thuận**

Điện thoại: 0965.463.226 - Email: thuan.maihuu@hust.edu.vn

Khoa Vật lý kỹ thuật, Đại học Bách khoa Hà Nội.