

NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG MỞ RỘNG CÔNG SUẤT CÁC NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN

Hoàng Công Tuấn

Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Trong bối cảnh tỷ trọng nguồn năng lượng tái tạo tăng nhanh, hệ thống điện Việt Nam ngày càng cần các nguồn điện linh hoạt nhằm đảm bảo vận hành an toàn và ổn định. Nghiên cứu này nhằm đánh giá khả năng mở rộng công suất các nhà máy thủy điện hiện hữu, khi dự địa phát triển mới thủy điện lớn hầu như không còn. Nghiên cứu đề xuất các tiêu chí đánh giá dựa trên số giờ sử dụng công suất lắp máy và số giờ đảm bảo năng lượng phát công suất khả dụng trong mùa khô. Kết quả áp dụng cho 20 nhà máy thủy điện lớn có khả năng điều tiết dài hạn cho thấy, tiềm năng mở rộng công suất phụ thuộc đáng kể vào mức độ điều tiết của hồ chứa; để đảm bảo yêu cầu phủ đỉnh tối thiểu 5 giờ, tổng công suất có thể mở rộng thêm khoảng 6500 MW. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học cho việc lập kế hoạch phát triển các nguồn lưu trữ và nâng cao an ninh năng lượng quốc gia.

Từ khóa: Thủy điện; Mở rộng công suất; Lưu trữ năng lượng; Hệ thống điện.

Summary: In the context of the rapidly increasing share of renewable energy sources, the Vietnamese power system increasingly requires flexible generation resources to ensure safe and stable operation. This study aims to assess the capacity expansion potential of existing hydropower plants, as the remaining potential for developing new large-scale hydropower projects is nearly exhausted. The study proposes evaluation criteria based on Number of hours of installed capacity utilization and the number of hours ensuring available capacity generation during the dry season. The results, applied to 20 large hydropower plants with long-term regulation capability, indicate that the expansion potential depends significantly on the regulation degree of the reservoirs. To satisfy a minimum peak-load support requirement of 5 hours, the total additional expandable capacity is estimated at approximately 6,500 MW. The findings provide a scientific basis for planning the development of energy storage resources and enhancing national energy security.

Keywords: Hydropower; Capacity expansion; Energy storage; Power system.

1. MỞ ĐẦU

Giảm phát thải nhà kính và hiện thực hóa cam kết phát thải ròng bằng "0" (Net Zero) vào năm 2050 đang thúc đẩy quá trình chuyển dịch mạnh mẽ từ các nguồn nhiên liệu hóa thạch sang các nguồn năng lượng tái tạo như điện mặt trời và điện gió (NLTT). Theo kế hoạch phát triển nguồn điện của Việt Nam, tỷ trọng các nguồn NLTT tăng nhanh, từ khoảng 27% hiện nay lên 43,4% vào năm 2030 và đạt trên 60% vào năm 2050.

Trong bối cảnh đó, thủy điện với ưu thế vượt trội về tính linh hoạt cao trong vận hành có khả năng đóng vai trò quan trọng trong những chuyển đổi này vì nó cung cấp khả năng lưu trữ năng lượng đáng tin cậy, đồng thời giúp cân bằng với nguồn NLTT không ổn định. Tuy nhiên, dự địa để phát triển mới các dự án thủy điện vừa và lớn trên các con sông ở Việt Nam hầu như không còn. Vì vậy, mở rộng công suất các nhà máy thủy điện (NMTĐ) hiện hữu là giải pháp cần ưu tiên nhằm tăng cường khả năng phủ đỉnh, nâng cao tính linh hoạt vận hành hệ thống điện (HTĐ) và tối ưu hóa hiệu quả khai thác nguồn nước.

Trên thế giới, vấn đề mở rộng NMTĐ đã được

Ngày nhận bài: 09/02/2026

Ngày thông qua phản biện: 20/3/2026

Ngày duyệt đăng: 02/4/2026

quan tâm từ sớm [1], với nhiều cách tiếp cận khác nhau, bao gồm đánh giá tác động tổng hợp đến tài nguyên nước và các yếu tố môi trường – xã hội khi mở rộng NMTĐ nhằm điều chỉnh phương pháp luận và cải tiến thể chế trong các quy định liên quan [2], cũng như phân tích tiềm năng gia tăng công suất thông qua cải tạo hạ tầng và nâng cấp hiệu suất tại các NMTĐ hiện có [3]. Nghiên cứu này ước tính việc mở rộng có thể đóng góp đáng kể, ước tính tăng thêm khoảng 9% công suất thủy điện toàn cầu. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu mang tính sơ bộ dựa trên vị trí của các đập không phải thủy điện và giả định mô hình về các đập nhỏ.

Tại Việt Nam, các nghiên cứu mở rộng NMTĐ mới được triển khai trong những năm gần đây như: tập trung vào phương thức phối hợp vận hành sau khi mở rộng NMTĐ, áp dụng cho NMTĐ Hòa Bình [4]; đánh giá ảnh hưởng của các thông số mực nước chết, cột nước tính toán hay phương thức sử dụng nước đến các chỉ tiêu năng lượng của NMTĐ mở rộng [5] hay phân tích chỉ ra những lợi thế khi mở rộng NMTĐ ở Việt Nam [6]. Một nghiên cứu gần đây đã đưa ra phương pháp luận đánh giá lợi ích của NMTĐ mở rộng thông qua chi phí thay thế của nguồn đối chứng. Kết quả nghiên cứu này đã cung cấp cơ sở khoa học xây dựng cơ chế chính sách giá điện cho các NMTĐ mở rộng [7]. Thực tế, một số NMTĐ mở rộng đã được đưa vào vận hành như Thác Mơ (75MW), Đa Nhim (80MW), Ialy (360MW), Hòa Bình (480MW). Ngoài ra, nhiều NMTĐ

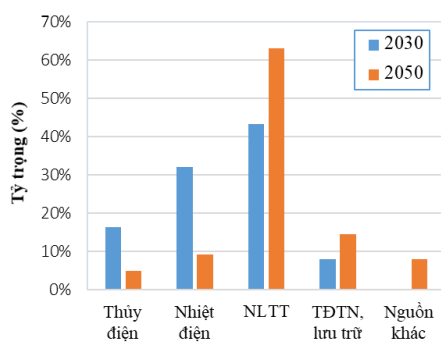
khác đang được nghiên cứu lập dự án mở rộng công suất [8].

Mặc dù vậy, đến nay vẫn chưa có công trình nghiên cứu mang tính hệ thống và toàn diện nhằm đánh giá định lượng khả năng mở rộng công suất các NMTĐ hiện hữu tại Việt Nam trên quy mô rộng. Do đó, nghiên cứu này sẽ phân tích đưa ra các tiêu chí đánh giá phù hợp với cơ cấu nguồn điện trong tương lai và tiến hành tính toán áp dụng cho 20 NMTĐ hiện hữu nhằm xác định quy mô công suất có thể mở rộng. Kết quả nghiên cứu góp phần cung cấp cơ sở khoa học lập kế hoạch phát triển các nguồn lưu trữ một cách hợp lý và nâng cao độ tin cậy vận hành của HTĐ quốc gia.

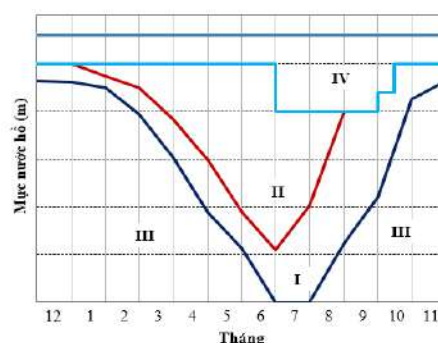
2. CƠ SỞ NGHIÊN CỨU VÀ TIÊU CHÍ ĐÁNH GIÁ

2.1. Cơ sở nghiên cứu

Tính đến tháng 01/2026, tổng công suất các nguồn điện ở Việt Nam đạt khoảng 91.206 MW, trong đó thủy điện chiếm 27,6%, nhiệt điện 42,2%, NLTT 27,3%, các nguồn khác 2,9% [9]. Theo quy hoạch phát triển điện lực quốc gia [10], đến năm 2030 tổng công suất nguồn điện sẽ đạt từ 183.291 - 236.363 MW, với tỷ trọng NLTT có thể đạt từ 39,6 - 47,1%, thủy điện còn khoảng từ 14,7 - 18,2%. Đến năm 2050 tổng công suất các nguồn dự kiến từ 774.503 - 838.681 MW, tỷ trọng NLTT tăng mạnh lên từ 60,8 - 65,3%, trong đó thủy điện giảm đáng kể chỉ còn khoảng từ 4,8 - 5,2%. Tỷ trọng trung bình các nguồn điện đến năm 2030 và 2050 được thể hiện trên Hình 1a.



(a)



(b)

Hình 1: Tỷ trọng nguồn điện đến năm 2030 và 2050 (a); minh họa các vùng của BĐDP (b)

Sự chuyển dịch cơ cấu nguồn điện theo hướng gia tăng nhanh các nguồn có tính bất định cao (như nguồn NLTT) làm gia tăng yêu cầu về các nguồn linh hoạt và có khả năng lưu trữ. Hơn nữa, nhu cầu sử dụng điện trong ngày có sự biến động lớn, có thời điểm thừa công suất vào giờ thấp điểm buổi trưa nhưng lại thiếu công suất vào giờ cao điểm buổi tối. Do đó, việc phát triển các nguồn lưu trữ có tính linh hoạt cao với khả năng điều chỉnh công suất nhanh và dải điều chỉnh rộng như thủy điện và pin lưu trữ lớn là rất cần thiết.

Pin lưu trữ hiện nay đã được sử dụng rộng rãi, tuy nhiên chi phí của công nghệ này còn khá cao với nhu cầu dự trữ lớn. Còn về thủy điện, hầu hết các NMTĐ vừa và lớn trên các dòng sông đã được khai thác vận hành, do đó nghiên cứu phát triển thủy điện tích năng (TĐTN) và mở rộng các NMTĐ hiện hữu được xem như giải pháp hiệu quả và cần được ưu tiên.

Việt Nam có tiềm năng lớn phát triển TĐTN, tuy nhiên việc triển khai các dự án TĐTN vẫn còn nhiều khó khăn, thách thức liên quan chi phí đầu tư, công nghệ và các yếu tố môi trường - xã hội [11]. Trong khi đó, mở rộng NMTĐ hiện hữu sẽ tận dụng hạ tầng có sẵn (đập, hồ chứa), do đó không làm tăng hoặc tăng không đáng kể tác động đến môi trường.

Hiện nay, Việt Nam có 42 NMTĐ lớn (≥ 100 MW) và 72 NMTĐ vừa (30 - 100 MW) với tổng công suất 18.366 MW, chiếm 73% tổng công suất thủy điện (25.140 MW). Trong đó, đa số các NMTĐ lớn có khả năng điều tiết dài hạn. Các nhà máy này đều có tiềm năng mở rộng thêm công suất. Do đó, việc nghiên cứu, tính toán nhằm đánh giá mức độ hay khả năng mở rộng công suất của các NMTĐ hiện hữu là hoàn toàn có cơ sở.

2.2. Tiêu chí đánh giá khả năng mở rộng công suất

Trước đây, việc lựa chọn N_{lm} cho các NMTĐ trong giai đoạn thiết kế thường thông qua phân tích kinh tế năng lượng, với số giờ sử dụng N_{lm} (h_{Nlm}) khoảng 4000 giờ [12] (thực tế dao động từ 3.900 - 4500 giờ) nên N_{lm} thường khá

thấp. Khi tỷ trọng thủy điện trong HTĐ còn lớn, các NMTĐ có vai trò đảm nhận phụ tải đáy, thân và phủ đỉnh một phần, do đó chỉ tiêu này là phù hợp.

Tuy nhiên, trong bối cảnh tỷ trọng nguồn NLTT tăng nhanh, vai trò của thủy điện cần phải chuyển dịch theo hướng đảm nhận phủ đỉnh biểu đồ phụ tải và cung cấp công suất linh hoạt. Theo kinh nghiệm quốc tế cho thấy, h_{Nlm} của thủy điện tại các nước phát triển dao động trong khoảng từ 2500 - 3000 giờ [6], trung bình ở các nước như Mỹ, Nhật và các nước Châu Âu h_{Nlm} vào khoảng 2600 giờ [8], có xu hướng giảm xuống khoảng 2000 giờ trong tương lai.

Bên cạnh đó, số giờ phụ tải đỉnh của HTĐ Việt Nam hiện dao động khoảng 1800 - 2500 giờ/năm, tương ứng khoảng 5 - 7 giờ mỗi ngày [13]. Vì vậy, nghiên cứu này đề xuất tiêu chí đánh giá khả năng mở rộng công suất dựa trên: (i) giảm h_{Nlm} xuống các ngưỡng phù hợp với vai trò phủ đỉnh; (ii) số giờ đảm bảo năng lượng phát N_{kd} mùa khô (h_{Nkd-mk}) đạt tối thiểu 5 giờ nhằm đáp ứng yêu cầu vận hành HTĐ trong các thời điểm căng thẳng công suất. Các tiêu chí này là cơ sở để đánh giá định lượng tiềm năng mở rộng công suất của các NMTĐ hiện hữu trong điều kiện HTĐ Việt Nam chuyển dịch mạnh mẽ sang các nguồn NLTT. Tuy nhiên, đây mới chỉ xét đến các chỉ tiêu về năng lượng mà chưa đề cập đến các yếu tố khác.

3. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN

Việc vận hành các NMTĐ có hồ điều tiết dài hạn đòi hỏi phải có lợi cho cả chu kỳ điều tiết. Về nguyên tắc, bài toán vận hành tối ưu có thể giải quyết nếu biết trước phân bố dòng chảy trong toàn bộ chu kỳ hoặc dự báo thủy văn dài hạn đảm bảo độ chính xác. Tuy nhiên, tại Việt Nam cũng như nhiều quốc gia khác, dự báo dài hạn chưa đảm bảo độ tin cậy [14, 15], trong khi chế độ dòng chảy trên các lưu vực có sự biến động khá lớn theo không gian và thời gian [16]. Do đó, đối với các NMTĐ có hồ chứa điều tiết dài hạn, phương pháp mô phỏng vận hành dựa trên biểu đồ điều phối (BĐDP) được xem là phù hợp và được sử dụng rộng rãi [17, 18].

BĐDP hồ chứa thường bao gồm các vùng đặc

trung (Hình 1b): Vùng cung cấp công suất bảo đảm (N_{bd}) hay vùng đảm bảo an toàn cung cấp điện (I); Vùng tăng công suất lớn hơn N_{bd} hay vùng tăng công suất (II); Vùng giảm công suất nhỏ hơn N_{bd} hay vùng giảm công suất (III) và Vùng xả nước thừa hay vùng phát công suất tối đa (IV).

Tại đầu mỗi thời đoạn tính toán, người vận hành chỉ cần căn cứ vào mực nước hồ thực tế so với mực nước cùng thời điểm trên BĐĐP để quyết định duy trì, tăng hoặc giảm công suất phát cho thời đoạn đó tương ứng với từng vùng vận hành.

- Nếu mực nước hồ thực tế thuộc vùng I, sẽ duy trì phát công suất bằng N_{bd} .

- Nếu mực nước hồ thực tế thuộc vùng IV, phát công suất lớn nhất có thể nhằm hạn chế xả thừa và đưa mực nước hồ về giới hạn dưới của vùng này.

- Nếu mực nước hồ thực tế thuộc vùng II, tức hồ có lượng nước dư (ΔV_d), NMTĐ được sử dụng ΔV_d để tăng công suất lớn hơn N_{bd} . Các phương thức sử dụng ΔV_d thường là sử dụng toàn bộ ΔV_d ngay cho thời đoạn sau hay sử dụng dần dần ΔV_d trong các thời đoạn còn lại từ khi hình thành đến cuối mùa.

- Nếu mực nước hồ thực tế thuộc vùng III, tức hồ bị thiếu lượng nước (ΔV_t), NMTĐ phải hạn chế công suất, phát công suất nhỏ hơn N_{bd} . Các phương thức giảm công suất thường là giảm ngay công suất ở thời đoạn tiếp theo khi xuất hiện ΔV_t hay giảm dần công suất từ khi xuất hiện ΔV_t đến cuối mùa.

Tùy vào đặc điểm của mỗi NMTĐ để lựa chọn phương thức sử dụng ΔV_d (hoặc ΔV_t) cho phù hợp nhằm nâng cao hiệu quả phát điện. Từ phương thức sử dụng sẽ xác định được công suất (N) cho thời đoạn theo công thức (1), các thời đoạn tiếp theo được lặp lại tương tự.

$$N = \rho \cdot g \cdot \eta \cdot Q \cdot H \quad (1)$$

$$H = Z_t - Z_h - h_w \quad (2)$$

$$Q = Q_d \pm Q_h - Q_w - Q_k \quad (3)$$

$$Q_h = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (4)$$

Trong đó:

- N (KW), H (m), Q (m^3/s): công suất, cột nước, lưu lượng phát điện trung bình thời đoạn.

- ρ (kg/m^3), g (m/s^2), η (%): khối lượng riêng của nước, gia tốc trọng trường, hiệu suất của tổ máy phụ thuộc vào đặc tính của thiết bị, $\eta = f(Q, H)$;

- Z_t (m), Z_h (m), h_w (m): mực nước thượng lưu, mực nước hạ lưu, tổn thất cột nước;

- Q_d (m^3/s), Q_h (m^3/s), Q_w (m^3/s), Q_k (m^3/s): lần lượt là lưu lượng đến hồ, lưu lượng cấp/trữ theo các phương thức, lưu lượng tổn thất, lưu lượng (khác phát điện) của các ngành lợi dụng tổng hợp. Đối với các NMTĐ trên bậc thang, khi tính toán Q_d phải xét đến liên hệ thủy văn của dòng chảy;

- ΔV (m^3): lượng nước dư (ΔV_d) hoặc lượng nước thiếu (ΔV_t) ở đầu thời đoạn;

- Δt (giây): số giây trong thời đoạn hoặc tổng các thời đoạn còn lại tùy theo các phương thức sử dụng.

Trong quá trình tính toán, các điều kiện ràng buộc kỹ thuật tổ máy và các quy định trong quy trình vận hành đơn hồ và liên hồ chứa được đảm bảo tuân thủ đầy đủ.

Để đánh giá khả năng mở rộng công suất, đối với mỗi NMTĐ nghiên cứu sẽ định ra các phương án công suất lắp máy (N_{lm}). Với mỗi phương án, mô phỏng vận hành được thực hiện cho toàn bộ chuỗi dòng chảy nhiều năm nhằm xác định các chỉ tiêu năng lượng đặc trưng gồm: công suất khả dụng (N_{kd}), điện lượng (E), số giờ phát N_{kd} cho từng thời đoạn; điện lượng năm bình quân (E_o), số giờ lợi dụng N_{lm} (h_{Nlm}), số giờ phát N_{kd} mùa khô (h_{Nkd}). Trên cơ sở các kết quả thu được và các tiêu chí đề xuất, khả năng mở rộng công suất của các NMTĐ hiện hữu được sẽ phân tích và đánh giá định lượng.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Mục tiêu chính của việc mở rộng công suất các

NMTĐ là tăng khả năng phủ đỉnh phụ tải của HTĐ (tăng công suất phát vào giờ cao điểm), nâng cao chất lượng vận hành thông qua cung cấp công suất dự phòng linh hoạt (giúp ổn định tần số và điện áp), đồng thời cải thiện hiệu quả sử dụng nguồn nước (giảm số giờ phát, phát công suất lớn vào khung giờ có giá trị kinh tế cao hoặc khi hệ thống cần). Để đạt được các mục tiêu này, các NMTĐ có hồ chứa điều tiết dài hạn được xem là đối tượng phù hợp nhất.

Trong nghiên cứu này, phạm vi đánh giá được áp dụng là 20 NMTĐ lớn có khả năng điều tiết dài hạn. Các số liệu đầu vào được thu thập từ

hồ sơ thiết kế kỹ thuật và cập nhật trong quá trình vận hành, bao gồm các thông số chính, các tài liệu về công trình, thiết bị. Các điều kiện ràng buộc theo quy định trong quy trình vận hành đơn hồ và liên hồ chứa. Chuỗi số liệu thủy văn sử dụng trong mô phỏng là chuỗi dòng chảy tháng dài 50 năm (1973-2022), đảm bảo tính đại diện cho điều kiện thủy văn dài hạn. Tổng N_{lm} của 20 NMTĐ là 10.003 MW, chiếm khoảng 70% tổng công suất NMTĐ lớn và 40% tổng công suất thủy điện toàn quốc, các thông số chính trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1: Thông số chính của 20 NMTĐ

TT	NMTĐ	MNDBT (m)	MNC (m)	N_{lm} (MW)	TT	NMTĐ	MNDBT (m)	MNC (m)	N_{lm} (MW)
1	Thác Bà	58	46	120	11	Sông Tranh 2	175	140	190
2	Tuyên Quang	120	90	342	12	T. Kon Tum	1160	1138	220
3	Bản Chát	475	431	220	13	Pleikrong	570	537	100
4	Lai Châu	295	265	1200	14	Ialy	515	490	720
5	Sơn La	215	175	2400	15	Sê San 4	215	210	360
6	Hòa Bình	117	80	1920	16	Đa Nhim	1.042	1.018	240
7	Hòa Na	240	215	180	17	Đồng Nai 3	590	570	180
8	Bản Vẽ	200	155	320	18	Hàm Thuận	605	575	300
9	A Vương	380	340	210	19	Trị An	62	50	400
10	Sông Bung 4	222,5	205	156	20	Thác Mơ	218	198	225

Để đảm bảo tính khả thi về mặt kỹ thuật mà không làm mất ý nghĩa của bài toán, các phương án mở rộng N_{lm} được xây dựng dựa trên quy mô tổ máy hiện hữu tại từng NMTĐ nghiên cứu. Phương án nhỏ nhất tương ứng với N_{lm} hiện tại, trong khi phương án N_{lm} lớn nhất được giới hạn theo hai điều kiện: (i) h_{Nlm} giảm xuống dưới 2000 giờ; (ii) số giờ đảm bảo điện lượng phát N_{kd} mùa khô ứng với tần suất 90% (h_{Nkd-mk}) đạt tối thiểu là 5 giờ (để đáp ứng yêu cầu phủ đỉnh phụ tải).

Kết quả tính toán các chỉ tiêu năng lượng chính của các phương án mở rộng được tổng hợp trong Bảng 2. Nhìn chung, khi N_{lm} tăng thì h_{Nlm} và h_{Nkd-mk} đều giảm giảm, tuy nhiên mức độ giảm khác nhau giữa các nhà máy, phụ thuộc đáng kể vào khả năng điều tiết của hồ chứa, được đặc trưng bởi hệ số điều tiết β (tỷ

số giữa dung tích hữu ích và lượng nước năm bình quân).

Các NMTĐ có khả năng điều tiết lớn (β lớn) cho phép mở rộng công suất đáng kể trong khi vẫn đảm bảo duy trì được số giờ phủ đỉnh mùa khô. Ví dụ, NMTĐ Thác Bà với β lớn ($\beta=0,36$), có thể tăng N_{lm} lên đến 240 MW, khi đó h_{Nlm-mk} giảm xuống dưới 2000 giờ (còn 1934 giờ) nhưng h_{Nkd-mk} vẫn đạt 5,0 giờ. Tương tự như NMTĐ Bản Chát với $\beta=0,46$ khi N_{lm} tăng đến 440 MW, mặc dù h_{Nlm} giảm còn 1885 giờ nhưng h_{Nkd-mk} vẫn đạt trên 5,0 giờ (5,4 giờ). Ngược lại, các NMTĐ có khả năng điều tiết kém như Lai Châu ($\beta=0,03$), khi N_{lm} tăng đến 2800 MW, khi đó h_{Nlm} vẫn trên 2000 giờ (2019 giờ) nhưng h_{Nkd-mk} đã bị giảm nhanh, chỉ còn 1,9 giờ; tương tự các NMTĐ khác như Sê San 4 ($\beta=0,03$) hoặc

Sông Bung 4 ($\beta = 0,12$) cũng cho thấy chỉ hạn chế tiềm năng mở rộng công suất phụ vụ tiêu h_{Nkd-mk} suy giảm nhanh khi tăng N_{lm} , làm phủ đỉnh.

Bảng 2: Tổng hợp các chỉ tiêu năng lượng chính ứng với các phương án N_{lm}

NMTĐ	Thác Bà				Tuyên Quang							
N _{lm} (MW)	120	160	200	240	342	456	570		684		798	
ΔN _{lm} (MW)	0	40	80	120	0	114	228		342		456	
E _o (tr.kWh)	457	463	464	464	1434	1492	1513		1519		1519	
h _{Nlm} (giờ)	3810	2892	2321	1934	4193	3273	2654		2220		1904	
h _{Nkd-mk} (giờ)	10,1	7,5	6,0	5,0	7,1	5,3	4,3		3,5		3,0	
NMTĐ	Bản Chát				Lai Châu							
N _{lm} (MW)	220	330	440	550	1200	1600	2000	2400	2800		3200	
ΔN _{lm} (MW)	0	110	220	330	0	400	800	1200	1600		2000	
E _o (tr.kWh)	816	828	829	829	4894	5351	5574	5641	5654		5655	
h _{Nlm} (giờ)	3708	2510	1885	1508	4079	3344	2787	2351	2019		1767	
h _{Nkd-mk} (giờ)	10,8	7,2	5,4	4,8	4,5	3,4	2,7	2,2	1,9		1,7	
NMTĐ	Sơn La								Thác Mơ			
N _{lm} (MW)	2400	2800	3200	3600	4000	4400	4800	5200	225	300	375	450
ΔN _{lm} (MW)	0	400	800	1200	1600	2000	2400	2800	0	75	150	225
E _o (tr.kWh)	9456	9610	9693	9728	9751	9757	9757	9757	773	790	794	794
h _{Nlm} (giờ)	3940	3432	3029	2702	2438	2218	2033	1876	3433	2633	2116	1765
h _{Nkd-mk} (giờ)	6,8	5,9	5,1	4,6	4,1	3,7	3,4	3,2	7,4	5,5	4,4	3,7
NMTĐ	Hòa Bình											
N _{lm} (MW)	1920	2400	2880	3360	3840	4320	4800		5280		5760	
ΔN _{lm} (MW)	0	480	960	1440	1920	2400	2880		3360		3840	
E _o (tr.kWh)	10132	10727	11031	11202	11310	11381	11407		11424		11436	
h _{Nlm} (giờ)	5277	4470	3830	3334	2945	2634	2377		2164		1986	
h _{Nkd-mk} (giờ)	12,0	9,7	8,1	7,0	6,1	5,4	4,9		4,4		4,1	
NMTĐ	Hủa Na				Bản Vẽ			A Vương				
N _{lm} (MW)	180	270	360	450	320	480	640	210	315	420	525	
ΔN _{lm} (MW)	0	90	180	270	0	160	320	0	105	210	315	
E _o (tr.kWh)	729	782	803	810	1031	1069	1081	774	828	855	871	
h _{Nlm} (giờ)	4048	2898	2231	1800	3223	2228	1690	3684	2630	2037	1658	
h _{Nkd-mk} (giờ)	6,6	4,4	3,3	2,6	7,8	5,2	3,9	6,9	4,6	3,4	2,8	
NMTĐ	Sông Bung 4			Sông Tranh 2				Thượng Kon Tum				
N _{lm} (MW)	156	234	312	190	285	380	475	220	330	440	550	660
ΔN _{lm} (MW)	0	78	156	0	95	190	285	0	110	220	330	440
E _o (tr.kWh)	477	511	521	688	766	803	823	1104	1159	1185	1199	1205
h _{Nlm} (giờ)	3061	2184	1671	3620	2687	2114	1733	5019	3513	2693	2179	1825
h _{Nkd-mk} (giờ)	4,0	2,7	2,0	5,3	3,5	2,6	2,1	10,0	6,6	5,0	4,0	3,3
NMTĐ	Pleikrong				Ialy							
N _{lm} (MW)	100	150	200	250	720	1080	1440		1800		2160	
ΔN _{lm} (MW)	0	50	100	150	0	360	720		1080		1440	
E _o (tr.kWh)	460	487	496	498	3780	4002	4076		4093		4093	

h _{Nlm} (giờ)	4602	3247	2480	1991	5250	3705	2831	2274	1895			
h _{Nkđ-mk} (giờ)	8,8	5,9	4,4	3,5	10,7	7,2	5,4	4,3	3,6			
NMTĐ	Sê San 4					Đa Nhim						
N _{lm} (MW)	360	480	600	720	840	240	320	400	480	560	640	720
ΔN _{lm} (MW)	0	120	240	360	480	0	80	160	240	320	400	480
E _o (tr.kWh)	1560	1604	1623	1626	1626	1174	1232	1267	1291	1304	1311	1315
h _{Nlm} (giờ)	4332	3341	2704	2259	1936	4893	3850	3169	2689	2329	2048	1826
h _{Nkđ-mk} (giờ)	7,9	5,9	4,7	3,9	3,4	10,1	7,6	6,1	5,1	4,3	3,8	3,4
NMTĐ	Đồng Nai 3			Hàm Thuận			Trị An					
N _{lm} (MW)	180	270	360	300	450	600	400	600	800	900	1000	1100
ΔN _{lm} (MW)	0	90	180	0	150	300	0	200	400	500	600	700
E _o (tr.kWh)	577	579	579	1013	1022	1022	1944	2089	2124	2125	2125	2125
h _{Nlm} (giờ)	3204	2144	1608	3375	2271	1703	4859	3482	2655	2361	2125	1932
h _{Nkđ-mk} (giờ)	8,9	5,9	4,5	7,1	4,7	3,6	9,3	6,2	4,6	4,1	3,7	3,4

Khả năng mở rộng N_{lm} sẽ được đánh giá thông qua hai tiêu chí. Tiêu chí thứ nhất (TC1) xét riêng ngưỡng giảm của h_{Nlm} theo các mức 4000, 3500, 3000, 2500 và 2000 giờ. Kết quả được trình bày từ cột 3 đến cột 7 ở Bảng 2 và trên Hình 2. Theo đó, nhiều NMTĐ với N_{lm} hiện hữu thì h_{Nlm} đã nhỏ hơn 4000 giờ (thể hiện dấu "-" ở cột 3), một số NMTĐ có h_{Nlm} nhỏ hơn 3500 giờ (dấu "-" ở cột 4); tính từ mức 3000 giờ trở xuống thì hầu hết các

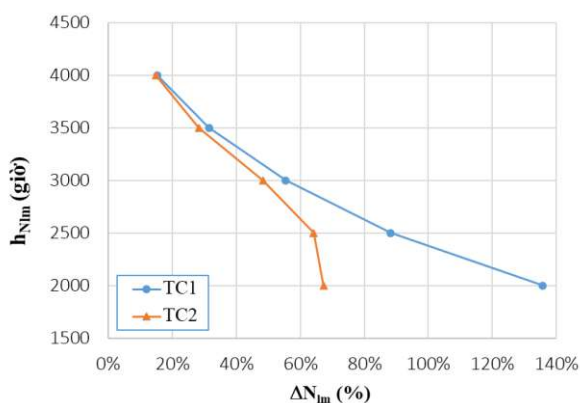
NMTĐ có thể tăng thêm N_{lm} , nhưng mức độ tăng tùy thuộc từng NMTĐ (xem từ cột 5 đến 7). Như vậy theo TC1 này, tổng N_{lm} có khả năng tăng thêm N_{lm} của 20 NMTĐ lần lượt là 1530 MW (15,3%), 3145 MW (31%), 5540 MW (55%), 8830 MW (88%) và 13575 MW (136%) tương ứng với các ngưỡng trên. Điều này phản ánh rằng, nếu giảm chỉ tiêu h_{Nlm} theo xu hướng quốc tế, tiềm năng mở rộng công suất là rất đáng kể.

Bảng 3: Kết quả mức tăng ΔN_{lm} (MW) theo các tiêu chí

TT	NMTĐ	Mức tăng ΔN_{lm} theo TC1 (MW)					Mức tăng ΔN_{lm} theo TC2 (MW)				
		4000	3500	3000	2500	2000	4000	3500	3000	2500	2000
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	Thác Bà	-	15	35	65	115	-	15	35	65	115
2	Tuyên Quang	25	85	165	270	420	25	85	165	165	165
3	Bản Chát	-	20	65	110	200	-	20	65	110	200
4	Lai Châu	45	315	645	1065	1630	-	-	-	-	-
5	Sơn La	-	345	835	1505	2485	-	345	835	835	835
6	Hòa Bình	835	1280	1850	2650	3800	835	1280	1850	2650	2650
7	Hua Na	5	45	80	145	230	5	45	80	80	80
8	Bản Vẽ	-	-	35	115	230	-	-	35	115	230
9	A Vương	-	20	70	130	220	-	20	70	70	70
10	Sông Bung 4	-	-	5	50	105	-	-	-	-	-
11	Sông Tranh 2	-	10	65	125	220	-	10	10	10	10
12	T. Kon Tum	75	110	180	260	385	75	110	180	260	260
13	Pleikrong	20	40	65	100	150	20	40	65	65	65
14	Ialy	290	445	650	935	1340	290	445	650	935	935
15	Sê San 4	40	100	185	295	455	40	100	185	185	185
16	Đa Nhim	70	120	190	280	415	70	120	190	280	280
17	Đồng Nai 3	-	-	15	60	115	-	-	15	60	115
18	Hàm Thuận	-	-	50	120	220	-	-	50	120	120
19	Trị An	125	195	315	455	665	125	195	315	315	315

TT	NMTĐ	Mức tăng ΔN_{lm} theo TC1 (MW)					Mức tăng ΔN_{lm} theo TC2 (MW)				
		4000	3500	3000	2500	2000	4000	3500	3000	2500	2000
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
20	Thác Mơ	-	-	40	95	175	-	-	40	95	95
Tổng (MW)		1530	3145	5540	8830	13575	1485	2830	4835	6415	6725
Tỷ lệ tăng		15,3%	31%	55%	88%	136%	14,8%	28%	48%	64%	67%

Tiêu chí thứ 2 (TC2) xét kết hợp ngưỡng giảm của h_{Nlm} theo các mức như TC1 và đồng thời đảm bảo h_{Nkd-mk} đạt 5 giờ, kết quả được trình bày từ cột 8 đến cột 12 ở Bảng 2 và trên Hình 2. Kết quả cho thấy, khả năng mở rộng N_{lm} giảm rõ rệt, đặc biệt khi h_{Nlm} giảm dưới 2500 giờ. Theo TC2, tổng công suất có thể mở rộng thêm của 20 NMTĐ ứng với các ngưỡng h_{Nlm} 4000, 3500, 3000, 2500 và 2000 giờ lần lượt là 1485 MW (14,8%), 2830 MW (28%), 4835 MW (48%), 6415 MW (64%) và 6725 MW (67%). Khi h_{Nlm} giảm từ 2500 giờ xuống 2000 giờ mức tăng thêm chỉ còn khoảng 310 MW.



Hình 2: Tỷ lệ khả năng tăng N_{lm} theo các tiêu chí

Từ kết quả tính toán cho 20 NMTĐ lớn có thể nhận định rằng, để đảm bảo yêu cầu phủ đỉnh tối thiểu 5 giờ trong mùa khô, tổng công suất có thể mở rộng thêm khoảng 6500 MW (thêm 65%) là phù hợp. Đây là nguồn công suất linh hoạt quan trọng, góp phần hỗ trợ tích hợp NLTT và nâng cao độ ổn định, an toàn cho vận hành HTĐ quốc gia.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] JICA, *The Study of Hydropower Optimization in Sri Lanka*. 2004: Japan international cooperation agency, Tokyo, Japan. p. 107.

Nghiên cứu đã đánh giá định lượng khả năng mở rộng công suất các NMTĐ hiện hữu trong bối cảnh cơ cấu nguồn điện chuyển dịch mạnh sang các nguồn NLTT có tính bất định cao. Khi tiềm năng phát triển mới các dự án thủy điện lớn ngày càng hạn chế, mở rộng công suất các NMTĐ hiện hữu là giải pháp khả thi nhằm tăng cường nguồn công suất linh hoạt và khả năng phủ đỉnh cho HTĐ.

Trên cơ sở các tiêu chí đánh giá dựa trên h_{Nlm} và h_{Nkd-mk} , nghiên cứu cho thấy tiềm năng mở rộng công suất phụ thuộc rõ vào khả năng điều tiết của hồ chứa. Các NMTĐ có dung tích điều tiết lớn cho phép tăng đáng kể N_{lm} trong khi vẫn duy trì yêu cầu phủ đỉnh, trong khi các NMTĐ có khả năng điều tiết hạn chế bị giới hạn rõ rệt về khả năng mở rộng phục vụ mục tiêu này. Kết quả tổng hợp từ 20 NMTĐ lớn cho thấy, để đảm bảo yêu cầu phủ đỉnh tối thiểu 5 giờ trong mùa khô, tổng công suất có thể mở rộng thêm khoảng 6500 MW. Nguồn công suất này có ý nghĩa quan trọng trong việc nâng cao khả năng tích hợp NLTT và đảm bảo vận hành an toàn, ổn định HTĐ quốc gia.

Trong kế hoạch phát triển nguồn điện, cần ưu tiên mở rộng công suất đối với các NMTĐ có hồ chứa điều tiết dài hạn. Vai trò của thủy điện mở rộng cần được xem xét như một thành phần quan trọng của hệ thống lưu trữ năng lượng (cùng với thủy điện tích năng và pin lưu trữ), đồng thời nghiên cứu bổ sung chi phí tích hợp (phát điện dự phòng/ lưu trữ, các dịch vụ phụ trợ) nhằm xây dựng chính sách khuyến khích phù hợp cho các nguồn lưu trữ linh hoạt trong bối cảnh tỷ trọng NLTT ngày càng gia tăng.

- [2] Fernanda Fortes Westin, Marco Aurélio dosSantos, và IsabelleDuran Martins, *Hydropower expansion and analysis of the use of strategic and integrated environmental assessment tools in Brazil*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014. 37.
- [3] Kayla Garrett, Ryan A McManamay, và Jida Wang, *Global hydropower expansion without building new dams*. Environmental Research Letters, 2021. 16(11): p. 1-15.
- [4] Phan Trần Hồng Long, *Nghiên cứu các phương thức phối hợp vận hành phát điện sau khi mở rộng thủy điện Hòa Bình*. Tạp chí khí tượng thủy văn, 2020. 712: p. 42-48.
- [5] Hoàng Công Tuấn, *Đánh giá lợi ích năng lượng khi mở rộng nhà máy thủy điện, áp dụng cho nhà máy thủy điện A Vương*. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, 2021. Số đặc biệt: p. 28-35.
- [6] Nguyễn Huy Hoạch, *Lợi thế của Việt Nam khi mở rộng nhà máy thủy điện và phát triển thủy điện tích năng*. Tạp chí Năng lượng Việt Nam, 2023.
- [7] Hoàng Công Tuấn, *Đánh giá hiệu quả thay thế của nhà máy thủy điện mở rộng*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, 2022. 72: p. 105-112.
- [8] EVN-PECC1, *Báo cáo nghiên cứu bổ sung các dự án thủy điện mở rộng vào Quy hoạch điện VIII*. 2021, Công ty cổ phần tư vấn điện 1 (PECC1).
- [9] Website-NSMO. *National Power System and Market Operator Company*, <https://www.nsmo.vn/>.
- [10] Chính phủ, *Quyết định số 768/QĐ-TTg ngày 15/4/2025 của Chính phủ về việc Phê duyệt Điều chỉnh Quy hoạch phát triển điện lực quốc gia thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050*. 2025.
- [11] Nguyễn Huy Hoạch, *Phát triển thủy điện tích năng ở Việt Nam - Các thách thức và giải pháp chính sách*. Tạp chí Năng lượng Việt Nam, 2025.
- [12] Bộ Công thương, *Thông tư số 41/2010/TT-BCT: Quy định phương pháp xác định giá phát điện; trình tự, thủ tục xây dựng, ban hành khung giá phát điện và phê duyệt hợp đồng mua bán điện*. 2010. p. 81.
- [13] Nguyễn Huy Hoạch, *Cơ cấu nào cho nguồn điện gió, mặt trời trong Quy hoạch điện VIII?* Tạp chí Năng lượng Việt Nam, 2021.
- [14] Trần Hồng Thái, Phùng Tiến Dũng, Đoàn Văn Hải, Đoàn Quang Trí, và Dương Quốc Hùng, *Ứng dụng mô hình thống kê dự báo dòng chảy tháng phục vụ quy trình vận hành liên hồ chứa sông Sê San trong mùa cạn*. Tạp chí khí tượng thủy văn, 2017. 05/2017: p. 1-13.
- [15] J. Liu, X. Yuan, J. Zeng, Y. Jiao, Y. Li, L. Zhong, và L. Yao, *Ensemble streamflow forecasting over a cascade reservoir catchment with integrated hydrometeorological modeling and machine learning*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 2022. 26(2): p. 265-278.
- [16] Hoàng Công Tuấn, Phan Trần Hồng Long, Lê Thị Minh Giang, và Nguyễn Thị Nhó, *Nghiên cứu, đánh giá tương quan chế độ dòng chảy đến hồ chứa các nhà máy thủy điện lớn ở Việt Nam*. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, 2024. 89: p. 102-109.
- [17] Wenhua Wan, Jianshi Zhao, và Jiabiao Wang, *Revisiting Water Supply Rule Curves with Hedging Theory for Climate Change Adaptation*. Sustainability, 2019. 11(7): p. 1827.
- [18] Bộ môn Thủy Điện và Năng lượng tái tạo, *Giáo trình Thủy Năng*. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội., Trường Đại học Thủy lợi, 2024, 352.