

# Ứng dụng lý thuyết phân bố cánh trên tuabin gió trục ngang để tính toán tuabin gió hai tầng cánh

Lê Đăng Huy<sup>1,2</sup>, Nguyễn Thế Bảo<sup>1,2,\*</sup>



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

## TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu ứng dụng lý thuyết động lượng phân bố cánh trên tuabin gió trục ngang để tính toán tuabin gió 2 tầng cánh đồng trục quay độc lập, một loại tuabin gió phát điện công suất nhỏ chưa từng được nghiên cứu trước đây. Bài báo cũng đã đưa tổn thất đầu mút cánh Prandtl vào lý thuyết động lượng phân bố cánh để tính toán tuabin gió giúp công suất và hiệu suất tính được sát với công suất, hiệu suất thực tế thay vì chỉ tính toán ở điều kiện lý tưởng. Các lý thuyết tính toán này tuy đã xuất hiện từ lâu, nhưng tính ứng dụng của chúng vẫn rất cao bên cạnh việc sử dụng các công cụ tính toán hiện đại như mô phỏng số cho lưu chất (computational fluid dynamic). Kết quả tính toán trong nghiên cứu đạt được nhờ ứng dụng các lý thuyết cơ bản, sau đó so sánh với kết quả mô phỏng từ phần mềm Qblade, một phần mềm đang được sử dụng phổ biến trong các nghiên cứu tính toán tuabin gió trục ngang công suất nhỏ và lớn với khả năng cho ra sai số dưới 10%. Cách làm này nhằm đảm bảo tính khách quan và xác thực được cho bài báo. Phương pháp tính toán trong nghiên cứu này có thể được sử dụng để tính toán cho nhiều loại biên dạng cánh tuabin khác nhau. Bài báo hướng đến sử dụng cặp giá trị CL/CD tương ứng với các góc tấn nhất định như một trường hợp cụ thể để tối ưu quá trình tính toán, đưa ra bài toán có thể tự động hóa.  
**Từ khóa:** Tuabin gió 2 tầng cánh, Lý thuyết động lượng phân bố cánh, Tuabin gió trục ngang công suất nhỏ, Tổn thất đầu mút cánh Prandtl

## MỞ ĐẦU

Theo đánh giá của Ngân hàng thế giới, Việt Nam là một trong những quốc gia có tiềm năng điện gió lớn nhất châu Á do có địa hình đồi núi và đường bờ biển dài 3000 km. Với hơn 39% diện tích đất liền có tốc độ gió trung bình hàng năm trên 6 m/s ở độ cao 65 m, Việt Nam có tiềm năng phát triển các dự án nhà máy điện gió công suất lớn. Cộng với chính sách ưu đãi phát triển điện gió của Chính Phủ, tính đến 31/10/2021, Việt Nam đã có 84 nhà máy điện gió với tổng công suất trên 3980 MW được công nhận vận hành thương mại<sup>1</sup>.

Tuy nhiên, những dự án điện gió công suất nói trên đều sử dụng tuabin gió công suất lớn ( $\geq 1,5$  MW/tuabin). Các tuabin gió này đều phải nhập 100% từ nước ngoài. Trong khi đó, Việt Nam còn có thể khai thác điện gió ở quy mô hộ gia đình, các trang trại và cộng đồng dân cư nhỏ. Những tuabin gió phù hợp với những ứng dụng đó có công suất dưới 10 kW được gọi chung là tuabin gió công suất nhỏ hay cực nhỏ (small and micro-scale wind turbines), và Việt Nam hoàn toàn có thể làm chủ công nghệ thiết kế và chế tạo các tuabin gió ở công suất này<sup>2,3</sup>. Nhằm nâng cao công suất và hiệu suất của tuabin gió công suất nhỏ (có thể hoàn toàn được chế tạo với vật liệu và công

nghệ của Việt Nam), tuabin gió 2 tầng cánh đồng trục quay độc lập đã được sáng chế<sup>4</sup>. Bài báo này sẽ ứng dụng lý thuyết phân bố cánh để tính toán công suất và hiệu suất loại tuabin 2 tầng cánh này.

Đã có nhiều nghiên cứu tại Việt Nam và trên thế giới về tuabin gió trục ngang công suất nhỏ<sup>3,5-8</sup>. Tuy nhiên những nghiên cứu này chỉ tập trung vào tuabin 1 tầng cánh. Hơn nữa, các nghiên cứu nói trên thường sử dụng mô phỏng số CFD hay dùng thực nghiệm để tính toán thiết kế và tối ưu hóa tuabin mà không sử dụng lý thuyết động lượng phân bố cánh (ĐLPTC). Nghiên cứu này sử dụng lý thuyết động lượng phân bố cánh ĐLPTC có xét đến tổn thất đầu mút cánh để tính toán cho tuabin 2 tầng cánh.

## TUABIN GIÓ 2 TẦNG CẢNH ĐỒNG TRỤC QUAY ĐỘC LẬP

Hình 1 là hình cắt ngang thể hiện toàn bộ các bộ phận và cấu tạo của tuabin gió 2 tầng cánh đồng trục quay độc lập theo sáng chế của PGS.Tiến sĩ Nguyễn Thế Bảo<sup>4</sup>, hình ảnh cung cấp cho chúng ta cái nhìn tổng thể về tuabin gió 2 tầng cánh.

## PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Phương pháp nghiên cứu áp dụng trong bài báo này là: phân tích – tổng hợp lý thuyết và mô hình hóa.

<sup>1</sup>Trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh

<sup>2</sup>Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh

### Liên hệ

**Nguyễn Thế Bảo**, Trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh

Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh

Email: thebao@hcmut.edu.vn

### Lịch sử

- Ngày nhận: 13-5-2022
- Ngày chấp nhận: 29-9-2022
- Ngày đăng: 30-11-2022

DOI : 10.32508/stdjet.v5i3.1004



### Bản quyền

© ĐHQG TP.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



**Trích dẫn bài báo này:** Huy L D, Bảo N T. Ứng dụng lý thuyết phân bố cánh trên tuabin gió trục ngang để tính toán tuabin gió hai tầng cánh. *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.*, 5(3):1605-1613.

**Bảng 1: Tổng hợp kí hiệu được dùng trong bài báo**

Kí hiệu	Giải thích	Đơn vị	Kí hiệu	Giải thích	Đơn vị
$V_{sr}$	Vận tốc gió vào tầng cánh trước	m/s	$\varphi$	Góc tới	o
$V_s$	Vận tốc gió vào tầng cánh sau	m/s	$C_L$	Hệ số lực nâng	Không thứ nguyên
$V_o$	Vận tốc dòng gió tự do đến tuabin	m/s	$C_D$	Hệ số lực cản	Không thứ nguyên
$V_{rel}$	Vận tốc gió tương đối đến tuabin	m/s	$C_p$	Hệ số công suất	Không thứ nguyên
T	Lực đẩy ngược gió của tuabin	N	$C_T$	Hệ số lực đẩy	Không thứ nguyên
u	Vận tốc gió tại mặt phẳng rotor	m/s	$\eta$	Hiệu suất gió tuabin	%
$u_1$	Vận tốc gió tại vết	m/s	A	Diện tích quét	$m^2$
$\dot{m}$	Lưu lượng khối lượng của dòng gió	kg/s	P	Công suất đầu ra tuabin	W
$\rho$	Khối lượng riêng không khí	$kg/m^3$	$P_x$	Công suất gió lý tưởng	W
a	Hệ số thu hẹp dòng dọc trục	Không thứ nguyên	B	Số cánh trên 1 tầng cánh	Cánh
a'	Hệ số thu hẹp dòng tiếp tuyến	Không thứ nguyên	D	Đường kính 1 tầng cánh	m
l	Lực nâng tại phân tố	N	N	Tốc độ quay của tuabin	Rpm
d	Lực cản tại phân tố	N	r	Vị trí phân tố (bán kính)	m
$\omega$	Tốc độ góc của tuabin	rad/s	c	Độ dài dây cung	m
$\alpha$	Góc tấn	o	$\epsilon$	Sai số giữa 2 lần tính lặp	Không thứ nguyên
$\theta$	Góc đặt cánh	o	$\sigma$	Hệ số điện đẩy cánh	Không thứ nguyên
$w_i$	Vận tốc gió tương đối đến phần tử i	m/s	$T_s$	Tổng momen xoắn cho một nhóm phân tố	N.m
$R_e$	Số Reynolds	Không thứ nguyên	$F_s$	Tổng lực tiếp tuyến cho một nhóm phân tố	N
i	Thứ tự phần tử	Không thứ nguyên			

Được thể hiện cụ thể trong mục Lý thuyết tính toán.

## LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN

### Thuyết động lượng 1 chiều

Thuyết động lượng được dùng để xét rotor tuabin gió dưới điều kiện tải phân bố đều trên mặt phẳng rotor, vận tốc gió giảm dần đều khi qua rotor.

Định luật bảo toàn năng lượng theo thuyết động lượng 1 chiều cho biết công suất khai thác được từ

dòng gió qua đĩa tuabin có diện tích quét  $A^1$ :

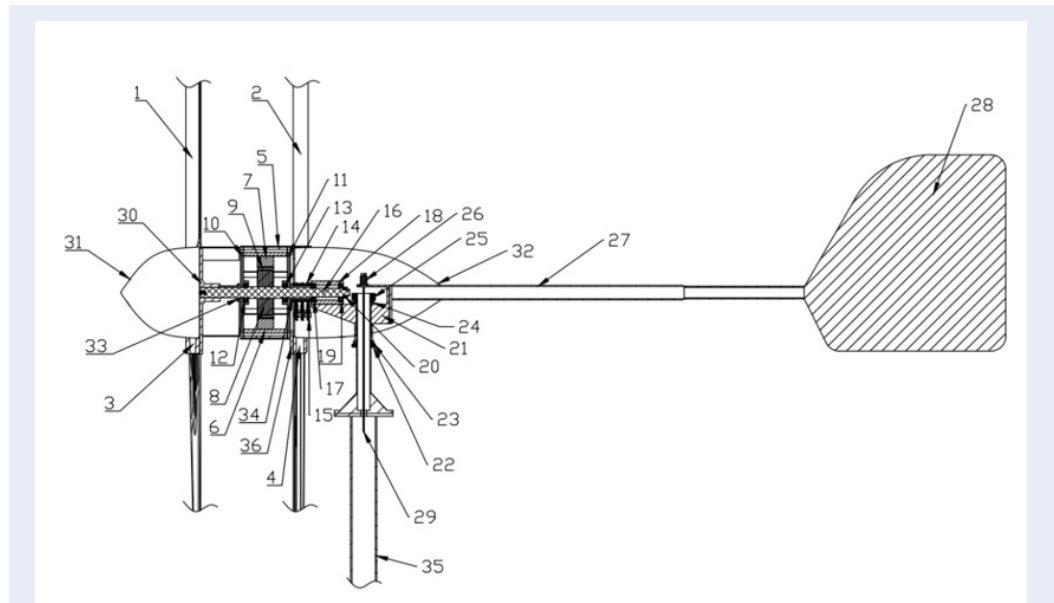
$$P = \frac{1}{2} \dot{m} (V_0^2 - u_1^2) = \frac{1}{2} \rho u A (V_0^2 - u_1^2) \quad (1)$$

Trong đó các vận tốc u và  $u_1$  lần lượt được tính theo các công thức:

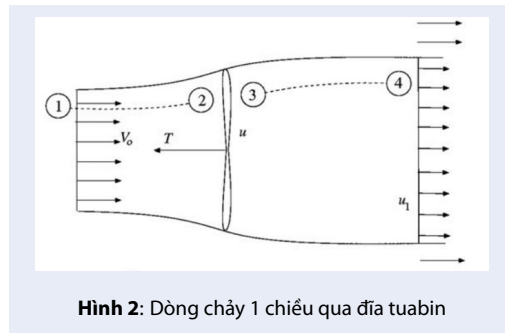
$$u = V_0 (1 - a) \quad (2)$$

$$u_1 = V_0 (1 - 2a) \quad (3)$$

Với  $V_0$  là vận tốc gió đi vào tuabin gió, như biểu diễn trên Hình 2, và a là hệ số thu hẹp dòng.

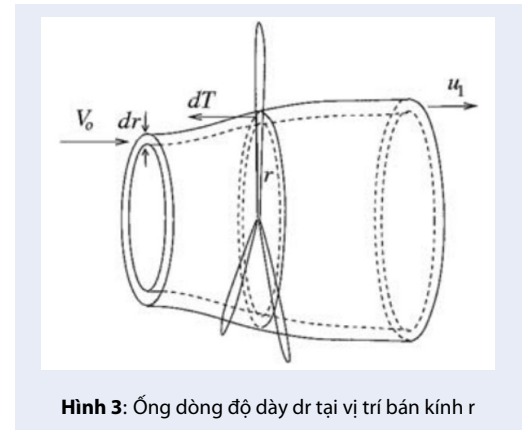


Hình 1: Cấu hình cơ bản của tuabin 2 tầng cánh đồng trục quay độc lập.



Hình 2: Dòng chảy 1 chiều qua đĩa tuabin

**Phương pháp động lượng phân tố cánh**



Hình 3: Ống dòng độ dày dr tại vị trí bán kính r

Công suất phát sinh của luồng gió qua tuabin sau khi biến đổi:

$$P = 2\rho a(1-a)^2 V_0^3 A \quad (4)$$

Hệ số công suất và hệ số lực đẩy được tính theo công thức:

$$C_p = 4a(1-a)^2 \quad (5)$$

$$C_T = 4a(1-a) \quad (6)$$

Từ công thức (5) và (6), hệ số lực đẩy đạt giá trị cực trị khi  $a=1/3$ , và hệ số công suất đạt giá trị cực đại, gọi là hệ số công suất Betz. Trong thực tế đối với những giá trị  $a > 1/3$ , công thức hiệu chỉnh Glauert được sử dụng để tính hệ số lực đẩy phụ thuộc vào hệ số hẹp dòng  $a'$ , và vẽ tổng quan ta có:

$$C_T(a) = \begin{cases} 4a(1-a), & a < \frac{1}{3} \\ 4a\left(1 - \frac{1}{3}(5-3a)a\right), & a \geq \frac{1}{3} \end{cases} \quad (7)$$

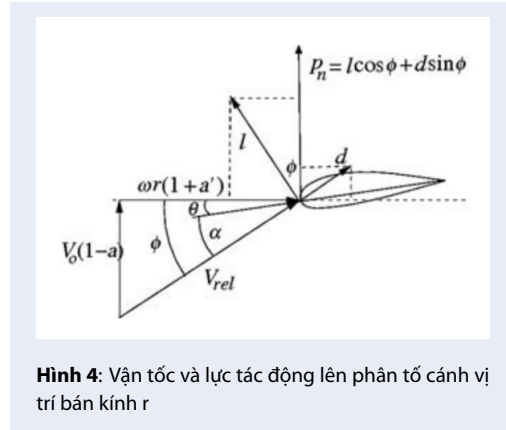
Hình 3 thể hiện nguyên lý của phương pháp động lượng phân tố cánh: chia đĩa tuabin thành vô số hình vành khăn độ dày  $dr$  tại bán kính  $r$  và thực hiện phân tích. Phương pháp động lượng phân tố cánh chỉ ra rằng có thể vẽ một tam giác vận tốc để phân tích xu hướng chuyển động của gió qua cánh quạt khi xét đến thêm 2 yếu tố là hệ số thu hẹp dòng hướng trục  $aV_0$  và hệ số thu hẹp dòng tiếp tuyến  $a'\omega r$ .

Phương pháp này có ý nghĩa như sau, nếu giả sử rằng:  
+ Không có tương tác dọc trục của các dòng 2 chiều qua từng phân tố cánh.

+ Biết hệ số lực nâng và lực cản như là một hàm của góc tấn và hệ số Re.

+ Công thức thực nghiệm 7 là đúng trong ống dòng ở Hình 3.

+ Không có biến thiên phương vị tại vận tốc đầu ra  $u_1$ . Ta có thể tính toán được lực nâng  $l$  và lực cản  $d$  trên từng phần tố cánh như phân tích ở Hình 4.



Hình 4: Vận tốc và lực tác động lên phần tố cánh vị trí bán kính r

Để đảm bảo giả thiết số 4 ở trên, có thể sử dụng hệ số hiệu chỉnh đầu mút Prandtl để mô phỏng tuabin với số lượng cánh hữu hạn nhưng cho kết quả tính toán gần giống với mô hình dòng chảy thật qua cánh (mô hình xoáy)<sup>9</sup>:

$$F = \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left( e^{-\frac{B * (R - r)}{2r \sin \phi}} \right) \quad (8)$$

Khi đó phương trình (7) trở thành:

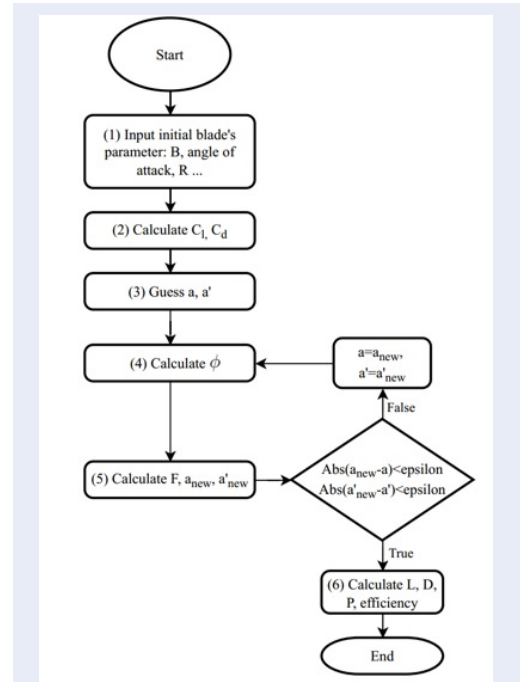
$$C_T(a) = \begin{cases} 4aF(1-a), & a < \frac{1}{3} \\ 4aF \left( 1 - \frac{1}{3}(5-3a)a \right), & a \geq \frac{1}{3} \end{cases} \quad (9)$$

**Dữ kiện đầu vào để tính toán**

Để giải bài toán tuabin gió 2 tầng cánh cho ra kết quả tính toán đúng và hạn chế sự phức tạp khi phân tích vecto gió đến tầng cánh thứ 2, Ercan Erturk et al.<sup>10</sup> đã đề xuất giả định  $V_{sr} = (0,5 - 0,7) V_s$  trong đó  $V_{sr}$  là vận tốc gió đến tầng cánh sau và  $V_s$  là vận tốc gió đến tầng cánh trước. Nghiên cứu này cũng áp dụng dãy tốc độ  $V_{sr}$  do Ercan Erturk đề xuất để tính toán công suất và hiệu suất cánh tầng sau. Cụ thể trong bài báo này chúng ta sử dụng  $V_{sr} = 0,6 V_s$  cho mục đích tính toán tầng cánh sau. Đồng thời, trong bài báo sẽ sử dụng phần mềm Qblade để tính toán so sánh và đánh giá tính đúng đắn của phương pháp tính toán đã nêu. Toàn bộ dữ kiện đầu vào cần được sử dụng trong bài báo này được thể hiện trong Bảng 2.

**Giải thuật tính toán công suất tuabin theo phương pháp ĐLPTC**

Giải thuật dưới đây ở Hình 5 trình bày cách ứng dụng phương pháp ĐLPTC để giải bài toán tính toán tuabin gió với các dữ kiện cho trước. Giải thuật này được dùng làm cơ sở tính toán, đưa vào MATLAB để tự động hóa.



Hình 5: Giải thuật ứng dụng phương pháp ĐLPTC trong tính toán tuabin 2 tầng cánh

Trong giải thuật này:

- Bước 2, dữ liệu  $C_L, C_D$  từ phần mềm Qblade<sup>11</sup>.
- Bước 4, góc đặt cánh  $\phi$  được tính theo công thức<sup>1</sup>:

$$\tan \phi = \frac{(1-a)V_0}{(1+a')\omega r} \quad (10)$$

- Các công thức được sử dụng trong Bước 5 bao gồm công thức 8, 9 và các công thức sau<sup>12</sup>:

$$C_T = \frac{dT}{0,5\rho V_0^2 2\pi r dr} = \frac{\sigma(1-a)^2(C_L \cos \phi + C_D \sin \phi)}{\sin^2 \phi} \quad (11)$$

$$a' = \frac{1}{\frac{4F \sin \phi \cos \phi}{\sigma C_t} - 1} \quad (12)$$

- Các công thức được dùng trong Bước 6 bao gồm<sup>1</sup>:

$$dL_i = 0,5\rho dAw_i^2 C_L \quad (13)$$

$$dD_i = 0,5\rho dAw_i^2 C_D \quad (14)$$

**Bảng 2: Tổng hợp dữ kiện đầu vào để tính toán**

TT	Thông số	Rotor 1		Rotor 2			
		Thân cánh	Đỉnh cánh	Thân cánh	Thân cánh	Đỉnh cánh	Đỉnh cánh
1	Biên dạng	NACA 4412	NACA 4412	NACA 4412	NACA 4412	NACA 4412	NACA 4412
2	B	3	3	3	3	3	3
3	$V_0$ (m/s)	6,3	6,3	3,78	3,78	3,78	3,78
4	D (m)	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
5	N (rpm)	120	120	120	120	120	120
6	r (m)	0,2 -> 1,6	1,6 -> 1,7	0,2 -> 1,2	1,2 -> 1,6	1,6 -> 1,65	1,65 -> 1,70
7	c (m)	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
8	$\alpha$ (o)	9	0	10	4	2,5	-0,5
9	dr (m)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
10	$\epsilon$	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
11	a guess	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
12	a' guess	0,1	0,1	0,1	0,1	0,01	0,01

$$dF_i = dL_i \sin \phi - dD_i \cos \phi \quad (15)$$

$$F = \sum_1^n B dF_i (r_i + 0,5 dr) \quad (16)$$

$$P = \omega F \quad (17)$$

$$P_x = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V_0^3 \quad (18)$$

$$\eta = \frac{P}{P_x} 100 \quad (19)$$

Theo giải thuật trên cần lưu ý rằng, với c giữ nguyên theo mọi phân tố cánh, bài toán có thể vô nghiệm nếu ta chỉ dùng 1 cặp số  $C_L, C_D$  cố định để tính toán cho mọi phân tố. Do đó, để tránh hiện tượng này, cần thay đổi cặp giá trị  $C_L, C_D$  bằng cách chọn giá trị góc  $\alpha$  nhỏ dần đến khi đến gần đỉnh cánh. Ví dụ như đối với rotor 2, giá trị  $C_L, C_D$  tại  $\alpha = 10^\circ$  sẽ dẫn đến bài toán vô nghiệm tại phần từ i với  $r_i=1,2$  (m). Từ nhận xét đó cần tiến hành giảm góc tấn  $\alpha$ .

### Mô phỏng kết quả tính toán trên phần mềm Qblade

Phần mềm Qblade<sup>11</sup> được dùng để so sánh và đánh giá độ chính xác kết quả tính toán của phương pháp tính ĐLPTC sử dụng trong nghiên cứu này. Phần mềm Qblade được sử dụng rộng rãi cho hầu hết các nghiên cứu hiện nay.

Dưới đây mô tả các bước nhập thông số và xây dựng mô hình cơ bản trong Qblade với các dữ kiện của bài báo này:

- Lựa chọn biên dạng cánh NACA 4412.
- Tính toán các thông số cực (giá trị  $C_L, C_D$  theo góc tấn  $\alpha$ ) của cánh NACA 4412 với giá trị Reynold được sử dụng.
- Ngoại suy thông số  $C_L, C_D$  với các giá trị góc tấn nằm ngoài miền khảo sát trong khoảng từ  $-180^\circ$  đến  $180^\circ$  để phần mềm có thể mô phỏng toàn miền chảy qua cánh.
- Nhập thông số cho phân tố cánh và xây dựng biên dạng cánh (Hình 6 và 7).
- Tính toán mô phỏng công suất đầu ra tuabin theo lý thuyết ĐLPTC ứng dụng các mô hình tổn thất mới.

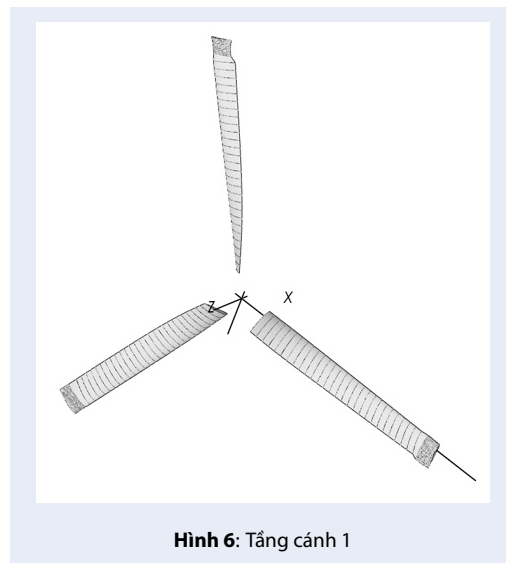
### KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Bảng dưới đây trình bày kết quả tính toán dựa trên phương pháp ĐLPTC được tính toán bằng MATLAB. Sau khi thực hiện các bước tại mục Mô phỏng kết quả tính toán trên phần mềm Qblade ta thu được các biểu đồ cực (giá trị  $C_L / C_D$  theo góc tấn  $\alpha$ ) và biểu đồ công suất tuabin theo vận tốc gió.

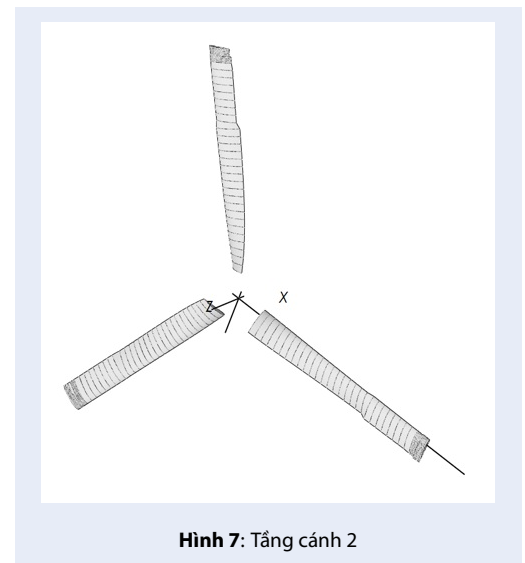
Biểu đồ cực là cơ sở để chọn giá trị  $\alpha$  cho tỉ số  $C_L / C_D$  lớn nhất (đỉnh cực trị của đồ thị), tại đó thu được công suất gió đầu ra tối ưu. Bài báo cũng sử dụng phương pháp này để chọn giá trị  $\alpha$  tối ưu, áp dụng cho phần thân cánh nhằm sinh công suất gió lớn nhất và vẫn đảm bảo giải thuật tính toán của thuyết ĐLPTC cho ra nghiệm đúng.

**Bảng 3: Tổng kết giá trị tính toán theo thuyết ĐLPFC trên Matlab.**

TT	Thông số	Rotor 1		Rotor 2			
		Thân cánh	Đỉnh cánh	Thân cánh	Đỉnh cánh	Thân cánh	Đỉnh cánh
1	Re	96230	96230	57700	57700	57700	57700
2	i	140	10	100	40	5	5
3	$C_L$	1,348	0,439	1,358	0,721	0,569	0,180
5	$C_D$	0,025	0,018	0,037	0,041	0,036	0,030
6	$F_s$	37,334	1,972	4,283	24,916	0,110	-0,085
7	$T_s$	109,776	6,593	43,956	30,277	3,950	1,344
8	P	469,158	24,846	53,819	31,310	1,378	-1,061
9	$P_x$	1,082,580	1,082,580	233,837	233,837	233,837	233,837
10	$\eta$ (%)	43,337	2,295	23,016	13,390	0,589	-0,454



**Hình 6:** Tầng cánh 1



**Hình 7:** Tầng cánh 2

Qblade cho phép xuất ra biểu đồ công suất tuabin theo vận tốc gió thể hiện sự biến thiên của công suất gió đầu ra tuabin dựa theo giá trị của  $V_0$ . Dựa vào biểu đồ này ta có thể chọn giá trị  $V_0$  tương ứng với bài toán đã nêu trong Matlab (ví dụ  $V_0=6,3$  m/s với tầng cánh 1), sau đó kẻ đường ngang cắt với trục tung để có giá trị công suất gió đầu ra tương ứng.

Các biểu đồ dưới đây trình bày kết quả tính toán và mô phỏng dựa trên phương pháp ĐLPFC và các mô hình tổn thất mới được tính toán bằng Qblade.

Dựa vào Qblade ta sẽ tiến hành so sánh công suất đầu ra tính toán được từ phần mềm so với kết quả tính toán bằng phương pháp lập theo thuyết ĐLPFC trên Matlab và đưa ra nhận xét.

Các biểu đồ kết quả của Rotor 1 được biểu diễn như Hình 8 và Hình 9.

Từ đồ thị ta thấy công suất tuabin tại  $V_0 = 6,3$  m/s là 496,6 W. Sai số so với tính toán lí thuyết trên Matlab được thể hiện trong Bảng 3 ở trên là 0,52 %.

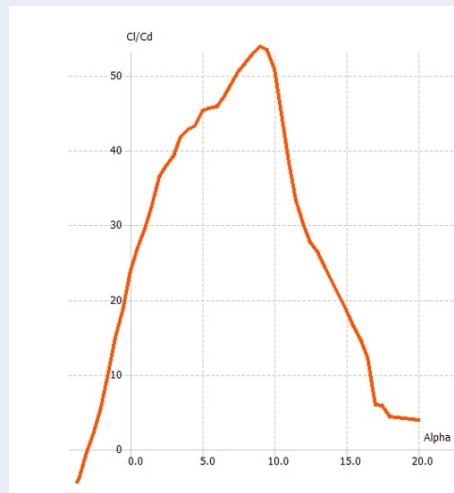
Các biểu đồ kết quả của Rotor 2 được biểu diễn như Hình 10 và Hình 11.

Từ đồ thị ta thấy công suất tuabin tại  $V_0 = 3,78$  m/s là 78,6 W. Sai số so với tính toán lí thuyết trên Matlab được thể hiện trong Bảng 3 ở trên là 8,71 %.

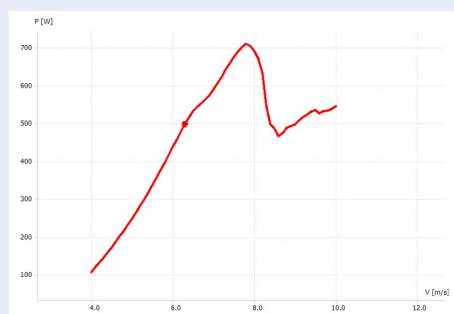
### KẾT LUẬN

Từ kết quả tính toán lí thuyết trên Matlab với chỉ một dạng sai số được tính đến là tổn thất đầu mút cánh Prandtl và kết quả tính toán mô phỏng trên phần mềm Qblade, có thể nhận xét rằng:

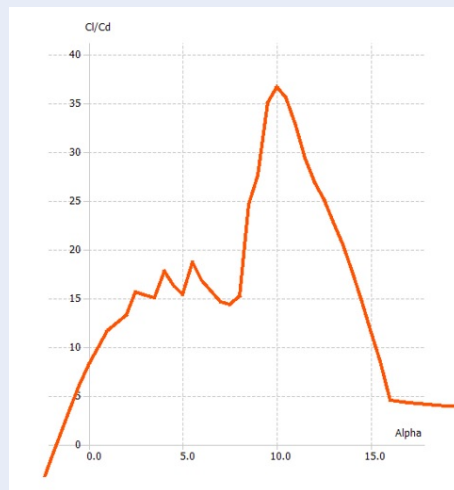
+ Sai số công suất đầu ra giữa 2 dạng bài tính toán đối với tuabin 2 tầng cánh là <10%, kết quả này là có thể



Hình 8: Tỷ số  $C_L/C_D$  theo  $\alpha$  rotor 1



Hình 9: Công suất tuabin theo vận tốc gió (W) rotor 1



Hình 10: Tỷ số  $C_L/C_D$  theo  $\alpha$  rotor 2

chấp nhận được.

+ Công suất của tầng cánh thứ 2 (ở dải tốc độ gió vào thấp) là nhỏ so với tầng cánh 1, trong khi vận tốc là 60% thì công suất chỉ bằng 16% công suất của tầng cánh 1.

+ Có thể áp dụng phương pháp tính toán này với nhiều loại biên dạng cánh khác nhau

+ Phương pháp này có thể áp dụng để tính toán tuabin gió 2 tầng cánh quay độc lập với giá trị sai số tương đối thấp.

Để phát triển thêm vấn đề, có thể tiến hành mô phỏng tuabin gió 2 tầng cánh quay độc lập bằng phương pháp CFD và tiến hành thực nghiệm để có cái nhìn tổng quan nhất, đánh giá chính xác tính ứng dụng của phương pháp đã nêu trong bài báo này.

## LỜI CẢM ƠN

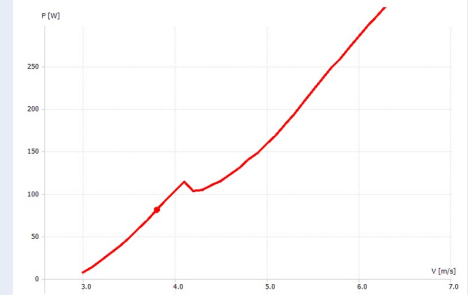
Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia TP.HCM trong khuôn khổ đề tài mã số C2022-20-01. Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian và phương tiện vật chất cho nghiên cứu này.

## XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Các tác giả bài báo cam kết không có bất kỳ xung đột lợi ích nào về toàn bộ nội dung của bài báo.

## ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Tác giả Lê Đăng Huy thực hiện các nội dung chính của bài báo, Tác giả Nguyễn Thế Bảo thực hiện ý tưởng, thiết kế, chế tạo và thử nghiệm tuabin 2 tầng cánh (Mục 2) và giám sát, chỉnh sửa, hiệu đính bài báo.



Hình 11: Công suất tuabin theo vận tốc gió (W) rotor 2



## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bảo NT. Giáo trình Năng lượng tái tạo và sự phát triển bền vững - NXB. Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh. 2021;
2. Bao, Van Minh N, Huy NG. Nguyen the. Method to Improve Power Coefficient of Vertical Axis Wind Turbines, Reg Conference in Transportation, Energy and Mechanical Manufacturing Engineering - RCTEMME; 2021, Hà Nội, tháng 12/2021;
3. Bảo NT, Minh NV, Huy NG. 'Nghiên cứu và chế tạo cánh GOE 222 dùng cho tuabin gió trục ngang công suất nhỏ', Hội nghị Khoa học & Công nghệ Toàn quốc về Cơ khí lần thứ VI - NSCME2021, TP. Hồ Chí Minh Tháng. 2021;11/2021;
4. Bảo NT. 'Đăng ký Bằng sáng chế tuabin gió hai tầng cánh đồng trục quay độc lập' - theo Quyết định số 16690W/QĐ-SHTT của Cục Sở Hữu Trí Tuệ v/v Chấp nhận đơn hợp lệ; 2021;
5. Schubel PJ, Crossley RJ. Wind turbine blade design. Energies. 2012;5(9):3425-49;Available from: <https://doi.org/10.3390/en5093425>.
6. Tenghiri L, Khalil Y, Abdi F, Bentamy A. Optimum design of a small wind turbine blade for maximum power production. IOP Conf S Earth Environ Sci. 2018;161:012008;Available from: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/161/1/012008>.
7. Muhsen H, Al-Kouz W, Khan W. Small wind turbine blade design and optimization. Symmetry. 2019;12(1):1-14;Available from: <https://doi.org/10.3390/sym12010018>.
8. Abdelaty ME, Osman AM, Abdellatif OE. Numerical investigation of the performance of twisted and untwisted blades for small horizontal axis wind turbines. Eur Res J. 2015;1(25, July);
9. Glauert H. Airplane propellers. In: Aerodynamic theory. Berlin, Heidelberg: Springer;Available from: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-91487-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-91487-4_3).
10. Erturk E et al. Analysis model of a small scale counter-rotating dual rotor wind turbine with double rotational generator armature. Int J Renew Energy Res. 2018;
11. Marten D, Wendler J. QBlade guidelines v0.6; 2013;
12. Letcher TM. Wind Energy engineering A Handbook for Onshore and Offshore Wind Turbines. Elsevier - ISBN: 978-0-12-809451-8;



# Application of blade element theory on horizontal axis wind turbines to research a novel dual rotor wind turbine

Le Dang Huy<sup>1,2</sup>, Nguyen The Bao<sup>1,2,\*</sup>



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

## ABSTRACT

This research paper applies the blade element momentum theory on a horizontal axis wind turbine to study a 2-stage wind turbine with an independent rotating shaft, a type of small-scale wind turbine that has never been studied. The article also includes the Prandtl loss in the theory of the blade element momentum method to calculate the wind turbine so that the calculated power and efficiency are close to the actual efficiency instead of the consideration of ideal conditions. These theories have been around for a long time, but their applicability is still very high besides the use of modern computational tools such as computational fluid dynamics. Calculation results in the study are achieved by applying basic theories, then comparing with simulation results from Qblade software, a software that is commonly used in studies to calculate small and large-scale horizontal axis wind turbines and gives an error of less than 10%. This method is to ensure the objectivity and authenticity of the article. The proposed method in this study can be used to calculate various blade profiles of wind turbines. The paper aims to use the  $C_L/C_D$  ratio corresponding to a certain angle of attack as a specific case to optimize the calculation process, giving the problem can be automated.

**Key words:** Two-stage wind turbine, Blade element momentum theory, Small-scale horizontal wind turbine, Prandtl tip loss

<sup>1</sup>Ho Chi Minh City University of Technology

<sup>2</sup>Vietnam National University Ho Chi Minh City

## Correspondence

**Nguyen The Bao**, Ho Chi Minh City University of Technology

Vietnam National University Ho Chi Minh City

Email: thebao@hcmut.edu.vn

## History

- Received: 13-5-2022
- Accepted: 29-9-2022
- Published: 30-11-2022

DOI : 10.32508/stdjet.v5i3.1004



## Copyright

© VNUHCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



**Cite this article :** Huy L D, Bao N T. Application of blade element theory on horizontal axis wind turbines to research a novel dual rotor wind turbine. *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology*; ():1-1.