NHỮNG BẤT CẬP CỦA CÔNG NGHIỆP ĐIỆN GIÓ

Vu Huy Toan, Vietnam.

Tóm tắt. *Cho dù điện gió đã có hàng trăm năm tuổi đời, nhưng công nghiệp điện gió đang phải đối mặt với những bất cập mà chưa thấy ở đâu đề cập tới, đó là: giới hạn Betz là phi lý, hiệu suất turbin gió được công bố không phù hợp với thực tế, v.v.. Bằng cách xem xét lại những giả thiết của Betz và chỉnh sửa lại một cách chính xác theo đúng tinh thần của khoa học, tác giả đã bác bỏ hoàn toàn giới hạn Betz cùng các công thức tính công suất gió và công suất tuabin gió. Điều này mở ra kỳ vọng tạo được những đột phá trong công nghệ điện gió mà bây lâu nay được cho rằng đã chạm tới ngưỡng giới hạn.*

Từ khóa: *Giới hạn Betz, công suất tuabin gió, hệ số công suất tuabin gió*

I. Đặt vấn đề

Cơ sở lý thuyết của ngành điện gió dựa vào định luật đã được Betz chứng minh từ năm 1919[1, 2] và mặc dù sau này nhiều tác giả đã tìm cách cải tiến các mô hình tính toán với hy vọng tìm ra các giới hạn gần với thực tế hơn, như trong [3-5], nhưng những điểm quan trọng nhất vẫn chưa được biết để chỉnh sửa, nên vẫn được áp dụng cho đến ngày nay[6-10]. Cụ thể, kể từ đó người ta có:

Công suất gió: $$P_{gió} = \frac{1}{2}\rho A v_1^3 \quad (1)$$

Công suất tuabin gió: $$P_{tuabin} = C_P \frac{1}{2}\rho A v_1^3 \quad (2)$$

Hệ số công suất tuabin gió C_P đạt giá trị cực đại C_{Pmax}:

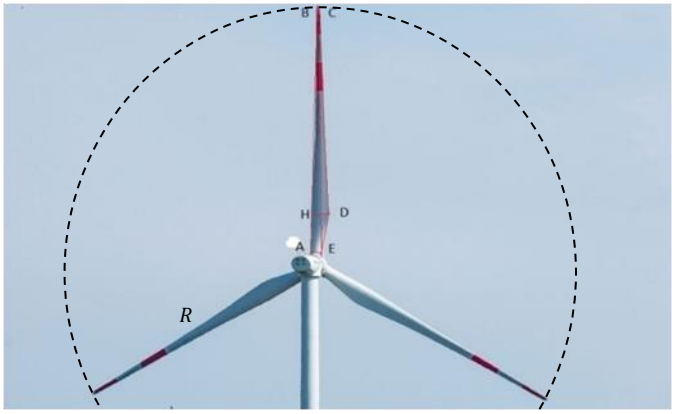
$$C_{Pmax} = \frac{16}{27} \approx 59{,}3\% \quad (3)$$

Với công nghiệp điện gió hiện nay, các nhà sản suất tuabin gió thường công bố hệ số công suất tuabin của họ nằm trong khoảng 30-45%, tức là có thể đạt tới ~80% giới hạn Betz. Hãy nhìn vào cái cánh rô-to gió điển hình 4,5 MW ở Hình 1 dưới đây mà xem. Có thể thấy diện tích của cả 3 cánh so với diện tích mặt tròn mà chúng quét qua đo được chỉ là ~3,8%, trong khi tốc độ quay chỉ vào cỡ 10 vòng/phút, tức 6 giây mới được 1 vòng.

Vậy bằng cách nào mà chúng lại có thể thu được năng lượng gió đi qua lớn đến như vậy được khi mà tốc độ gió thổi qua là 10 m/s, tức là trong khi một cánh này

quay đến trùng vào vị trí của cánh trước nó mất 6/3 = 2 giây thì gió đã kịp chạy đi qua khe giữa 2 cánh kế cận tới 20 m rồi?

Hình 1



Ai cũng biết, dẫu có dùng cả một cái khiên tròn bịt kín 100% thì cũng không thể bắt giữ được 100% gió thổi tới, mà trái lại, hầu hết gió lại lượn vòng qua khiên để chuyển động tiếp chứ đừng nói tới lại chỉ chắn bằng mấy cái "que" diện tích có ~4% như thế mà lại đòi chắn được tới 90%? vì để cánh có thể quay được thì nó còn phải nghiêng một góc nào đó so với hướng gió thổi, nên chỉ có một thành phần không quá ½ của 90% đó tạo ra được mô men quay cho cánh thôi để có được 45% hiệu suất như nhà sản xuất tuyên bố?

Vậy, tại sao lại có sự khập khiễng lớn gấp 10 lần nhau đến như vậy? Việc trả lời câu hỏi đó chính là nội dung của bài báo này.

II. Giới hạn Betz không được chứng minh

1. Các giả thiết của Betz là phi lý

Để rút ra được các kết luận (1), (2) và (3) ở trên, Betz đề xuất 4 giả thiết:

a) *Rôto không có trục quay và là loại lý tưởng, với vô số cánh rô-to không có trở lực. Bất kỳ trở lực nào sẽ chỉ làm giảm giá trị lý tưởng hóa này.*

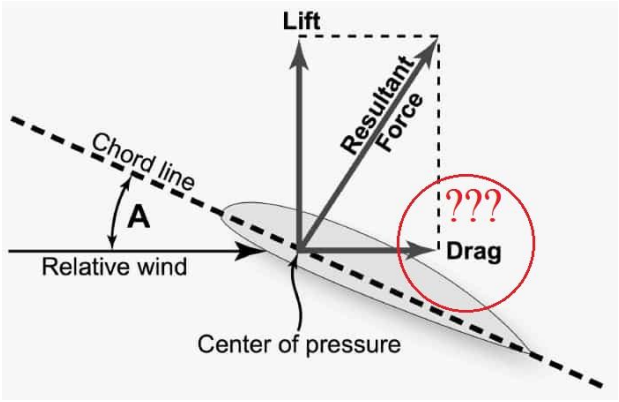
b) *Dòng chảy vào và ra khỏi rôto là dọc theo trục. Đây là việc phân tích một thể tích bị khống chế, và để xây dựng một giải pháp, thể tích bị khống chế phải chứa tất cả các dòng chảy đến và đi, bỏ qua các dòng chảy này sẽ vi phạm các phương trình bảo toàn.*

c) *Dòng chảy không thể nén được. Khối lượng riêng không đổi, không có sự truyền nhiệt.*

d) *Lực đồng đều áp tác động lên đĩa hoặc rôto.*

Vẫn biết, trong lý thuyết khoa học, để giải quyết một bài toán thực tế vốn dĩ luôn rất phức tạp mà, về nguyên tắc, không thể tính hết được các yếu tố ảnh hưởng. Vì vậy, để giải được, cần phải đơn giản hóa những khía cạnh không mang tính quyết định, trong đó có việc lý tưởng hóa những sự vật thực tế. Sự lý tưởng hóa này chỉ được chấp nhận khi không dẫn đến những mâu thuẫn nội tại với các giả thiết khác trong lý thuyết đó cũng như các lý thuyết khác mà việc tính toán phải dựa vào.

Thế nhưng, điều này không được tuân thủ đối với lý thuyết của Betz. Cụ thể là, theo giả thiết a), nếu cánh rô-to đã "*không có trở lực*" (have no drag) thì đương nhiên cũng sẽ chẳng có lực nào của gió tác động lên nó cả vì nếu không, sẽ vi phạm định luật III Newton (xem Hình 2)? Và như thế thì giả thiết d) cũng chẳng còn ý nghĩa gì nữa? Mà một khi gió chuyển động không gặp phải chướng ngại vật-lực cản thì nó thay đổi tốc độ bằng cách nào? Và bằng cách nào để xuất hiện lực theo định luật II Newton? Tức là bỏ qua cả định luật II Newton nữa, nhưng trong tính toán lại vẫn cứ sử dụng nó? Như thế có khác gì khi khảo sát trên Trái đất có một vật rơi tự do, nhưng lại cho rằng vật rơi phải tuyệt đối không chịu tác dụng của một lực nào? Khi đó, vật sẽ "rơi" vì lý do nào bây giờ?



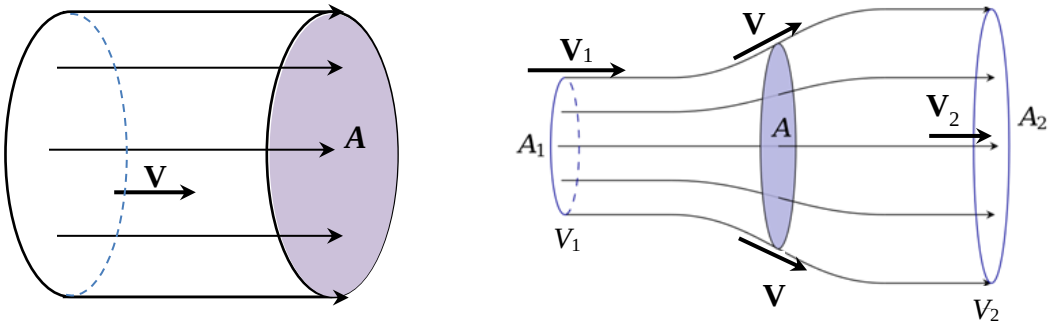
Hình 2

Với sự "lý tưởng hóa" này thì tốt hơn hết là không nên làm gì cả vì như thế thì có khác gì "nói đến cánh quạt nhưng phải được hiểu là không có cánh quạt"!? Toàn bộ 3 điểm sau đó và các tính toán liên quan đều không còn ý nghĩa gì nữa?

Theo giả thiết b): "Luồng khí vào và ra khỏi rôto là dọc theo trục (axial)" thì mô hình luồng khí phải là hình trụ như ở Hình 3a) mới đúng chứ, tại sao Betz lại sử dụng mô hình "thắt cổ chai" như trong Hình 3b) trong đó các vectơ vận tốc **V** không hướng dọc theo trục?

Tuy nhiên, nếu áp dụng mô hình dạng hình trụ để đảm bảo được giả thiết b) thì lại không thể áp dụng được định luật bảo toàn khối lượng cho dòng khí tại ba tiết diện A_1, A và A_2 khi mà còn cần chấp nhận giả thiết c) "Khối lượng riêng không đổi":

$$\dot{m} = \rho A_1 V_1 = \rho A V = \rho A_2 V_2, \quad (4)$$



a) b)

Hình 3. Các mô hình dòng chảy

Từ tất cả những phân tích trên có thể thấy rõ ràng các giả thiết của Betz không chỉ mâu thuẫn với các định luật Newton mà còn mâu thuẫn với nhau nữa!

Mặt khác, như đã thấy, từ tất cả 4 giả thiết của Betz không hề đề cập tới góc nghiêng α của cánh rô-to so với mặt phẳng đón gió của cánh đó. Và phải chăng một khi đã giả thiết "cánh quạt không có trở lực" thì nghiêng, hay không nghiêng cũng như nhau cả thôi? Và thế là Betz đã né được góc α đó? Điều đó cũng có nghĩa là ông chẳng thu được gì từ gió, khiến các thế hệ sản xuất tua-bin gió sau này tuyên bố đã lấy được hàng trăm, hàng nghìn MW từ không có gì?

Thế mà, theo những gì Betz làm thì dường như ông ta đang muốn tìm KHẢ NĂNG THU ĐƯỢC NĂNG LƯỢNG GIÓ NHIỀU NHẤT? Chẳng lẽ ông ấy không biết rằng về mặt THỰC TIỄN, mọi trạng thái bị nghiêng so với mặt phẳng quay của cánh chỉ dẫn tới sự giảm khả năng cản gió. Chỉ khi mặt phẳng cánh rô-to gió là vuông góc với hướng gió và tất nhiên cũng phải có trở lực thì khả năng đó mới có thể đạt được! Nhưng khi đó, làm gì có thành phần lực nào làm quay cánh turbin gió đâu? Toàn bộ công suất mà cánh rô-to thu được chỉ để bẻ cong cánh rô-to theo hướng gió thổi thôi chứ tuabin đã quay được đâu? Cũng tức là đã có tý công suất điện P_{tuabin} nào đâu mà đã vội gán cho (3) cái tên HỆ SỐ CÔNG SUẤT của tuabin ($C_{Pturbin}$) vậy?

Hệ số công suất của tuabin gió theo định luật Betz thực tế bằng 0. $C_{Pturbine} = 0$! Vậy, hãy trả lời đi: Cần lấy điện năng hay cần bẻ cong cánh rô-to đây?

2. Những sai sót trong tính toán và lập luận của BETZ

Đã vậy, trong tính toán của Betz lại vấp phải hàng loạt các lỗi hết sức sơ đẳng cả về bản chất vật lý lẫn toán học, chẳng hạn như:

a) Tùy tiện thay vi phân "*d*" bằng số gia "Δ" trong các tính toán được cho là "gần ĐÚNG", nhưng thực ra là "quá SAI" vì kích thước của Δ đạt tới 50% giá trị trước khi biến đổi thì sao còn gọi là "số gia" được nữa?

Vẫn biết để giải được bài toán hai ẩn số là công suất gió P và hệ số công suất của tuabin C_P thì cần phải lập được hai phương trình độc lập nhau, nhưng hai phương trình của Betz lấy được:

- theo đạo hàm: $$P = \frac{dE}{dt} \quad (5)$$
- theo số gia: $$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad (6)$$

trong đó, sử dụng cùng một ký hiệu "P" để rồi đồng nhất với nhau là SAI!!! Đừng quên rằng:

$$\frac{dE}{dt} = lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad (7)$$

Tức là biểu thức (6) về thực chất chỉ là gần đúng của (5) khi vi phân "*d*" được thay bằng số gia "Δ", thế thì chỉ có thể viết (5) ở dạng:

$$P' = \frac{\Delta E}{\Delta t} \approx P \quad (8)$$

Giữa P' và P không được phép đặt dấu bằng, mà phải là dấu "≈"!!! Chính sự ngộ nhận (5) = (6) mới giúp Betz tìm ra $v_2 = v_1/3$ ứng với công suất gió được cho là "cực đại" $P_{wind.max}$.

b) Áp dụng định luật II Newton cho chất lưu ở dạng có khối lượng m không đổi:

$$m = \rho A_1 v_1 T_0 = \rho A_1 v_1 \quad (9)$$

$$F = ma = m\frac{dv}{dt} = \frac{m}{\Delta t}\Delta v = \dot{m}\Delta v, \quad (10)$$

với $$\dot{m} = \frac{m}{\Delta t}, \quad (11)$$

T_0 = 1s – là đơn vị thời gian trong hệ SI, thay vì lẽ ra phải ở dạng đạo hàm của động lượng:

$$F = \frac{dp_t}{dt} = \frac{d(m_t v_t)}{dt} = \frac{dm_t}{dt} v_t + \frac{dv_t}{dt} m_t \qquad (12)$$

với khối lượng m_t thay đổi[10] mới đúng chứ? Vì (9) chỉ là biểu thức xác định khối lượng của khối không khí có thể tích ban đầu V_0, trước khi đi vào vùng ảnh hưởng của cánh rô-to:

$$V_0 = Al_0 = Av_0T_0, \qquad (13)$$

còn trong khoảng thời gian Δt tương tác với cánh rô-to, thì tốc độ v_t của khối không khí này giảm dần và khối lượng của nó cũng giảm dần cho tới 0. Việc khối không khí kế tiếp theo sau khối không khí này lại là khối không khí khác với tốc độ khác.

c) Bản thân m_t và $\dot{m}$ là hai khái niệm khác nhau, không thay thế được cho nhau, đặc biệt là lại sử dụng cho định luật II Newton ở dạng (10). Vấn đề là ở chỗ lực F là đại lượng không tích lũy theo thời gian mà chỉ có thể cộng với nhau tại từng thời điểm t trong khi $\dot{m}$ lại chỉ có nghĩa trong một khoảng thời gian Δt, ở đây là $\Delta t = T_0$ = 1s mà thôi! Việc thay thế này được "núp" dưới sự "đánh tráo" khối lượng m_t (kg) bằng "mật độ khối lượng" $m/\Delta t$ (kg/s) trong khi lại đồng nhất nó với $\dot{m} = \rho A v$ = const là khối lượng không khí đi qua một tiết diện A trong một đơn vị thời gian T_0 (1s) trong phương trình bảo toàn (4) để né tránh, thì lại càng không phản ánh đúng bản chất của quá trình vật lý đang xảy ra với chất khí như đã nói ở trên.

d) Sử dụng công thức tính động năng:

$$E = \frac{1}{2} m V^2 \qquad (14)$$

là công thức cho vật rắn có khối lượng m không đổi thay vì dùng khối lượng m_t để tính lại động năng của chất lỏng như đã nói ở trên và khi đó, sẽ có một công thức khác. Giờ đây, với m_t = *var*, lực tác động F được xác định theo (12) rồi thì động năng không còn có dạng như ở (14) nữa là điều thứ nhất. Thứ hai, khối lượng m_t bây giờ được xác định theo (13) chứ không phải theo (9); nó lớn hơn gấp T lần so với khi xác định theo (9).

e) Lấy năng lượng của khối không khí trao đổi với cánh quạt để tính công suất chỉ trong một đơn vị thời gian T_0 (1s) thay vì phải lấy trong khoảng thời

gian bằng một chu kỳ quay T của cánh quạt, trong ví dụ trên là 6s, tức là nhỏ hơn tới 6 lần so với khi lẽ ra phải có, tức là năng lượng gió đầu vào bị tính giảm đi 6 lần thì hiệu suất tự động tăng lên 6 lần chứ đâu phải hiệu suất cao như thế đâu? Việc sử dụng công thức tính công suất:

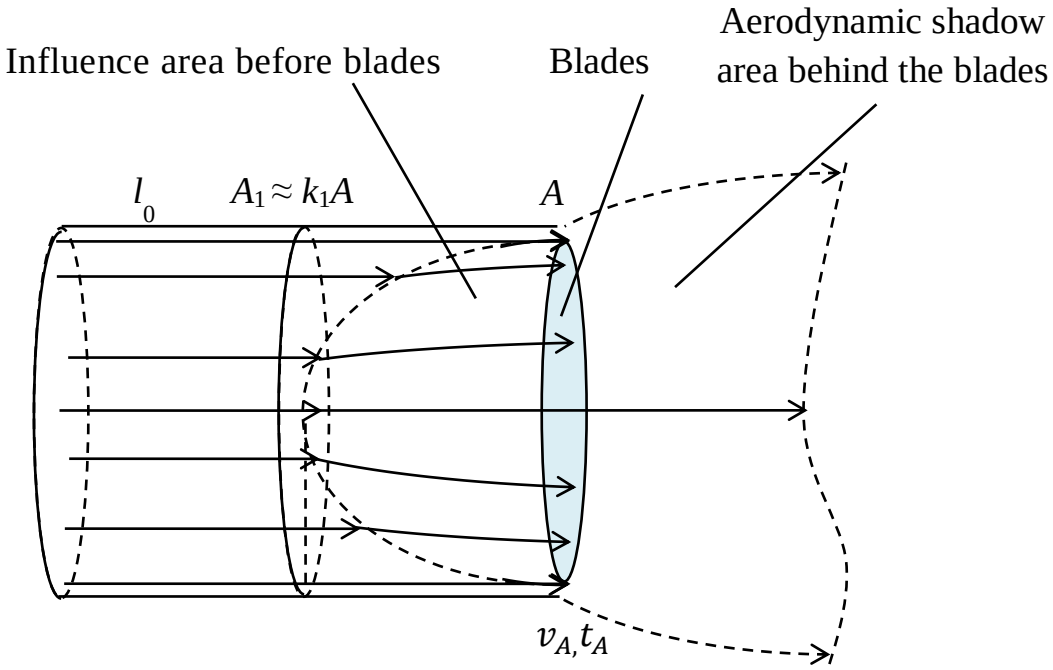
$$P = \frac{A}{t}$$

chỉ khi A phụ thuộc tuyến tính vào t[10], trong khi ở đây A lại là động năng xác định theo (14) vốn phụ thuộc vào bình phương của t thì phải áp dụng công thức công suất tức thời $P(t)$ theo (5), rồi sau đó mới lấy giá trị trung bình được:

$$P_{tb} = \frac{1}{T}\int_0^T P(t)dt. \qquad (15)$$

với T – là chu kỳ quay của cánh rô-to.

f) Để tính đến giả thiết II.1.b) của Betz, cần phải thay mô hình dòng chảy là một hình trụ như trong Hình 4 thay vì mô hình cổ chai của Betz trong Hình 2a).



Hình 4

Khi đó, khối lượng không khí tham gia vào tương tác với cánh rô-to lúc này bằng:

$$m_t = k_1 \rho A(l_0 - l_t) = var \qquad (16)$$

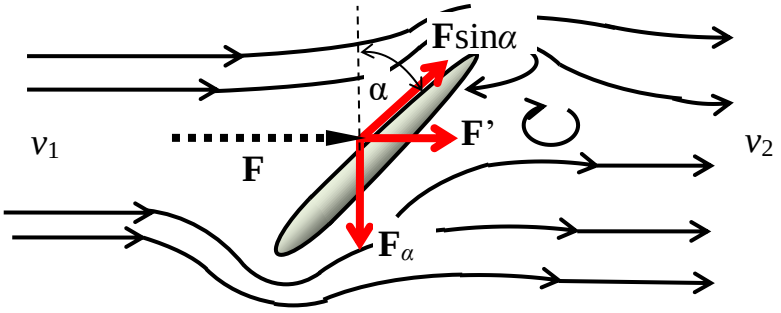
với $l_t = vt$ – là quãng đường dịch chuyển của phần mặt trước của khối không khí sau khi va chạm vào cánh rô-to ở tốc độ v và sau đó chuyển động ra phía sau cánh; $k_1 > 1$ – là hệ số tính đến sự tham gia của dòng khí lân cận không đi qua diện tích quét của cánh rô-to A; v_t – là tốc độ gió khi đi vào vùng ảnh hưởng của tuabin, nó sẽ giảm dần theo vì đây là chuyển động có gia tốc; T – là chu kỳ quay của cánh rô-to và không có chuyện áp dụng cái gọi là bảo toàn khối lượng ở dạng (4) như Betz và cả ngành động lực học chất lưu vẫn áp dụng.

g) Nếu vẫn giả thiết ρ = const, thì khối lượng không khí theo (16) sẽ giảm dần không chỉ do v_t giảm, mà còn do lượng không khí trong thể tích khối không khí ban đầu có khối lượng m_t đã thoát ra phía đằng sau cánh turbin rồi. Khối lượng không khí chuyển động này sẽ tạo ra chênh lệch áp suất không khí giữa phía trước và phía sau cánh rô-to, trước khi nó có thể di chuyển tiếp về phía trước. Áp suất này độc lập với lực tác động của khối không khí đó theo định luật thứ hai của Newton đã được tính theo (10), hoặc (12), nhưng phụ thuộc vào hình dạng vật cản, ở đây là cánh rô-to, như đã biết với tên gọi "hệ số khí động" c_D (Aerodynamic Drag coefficients) và gây nên một lực tác động phụ lên cánh rô-to. Do đó, cần phải tính đến lực tác động này bằng một hệ số $c_D > 1$ để nhân vào với lực tính theo (10), hoặc (12). Điều này cũng đã được tính đến trong động lực học chất lưu, nhưng tại sao Betz lại dễ dàng bỏ qua một hiệu ứng như vậy, mà chỉ tính tới lực theo (10)? Điều này dẫn đến một thực tế là công suất gió của Betz tính theo (1) sẽ nhỏ hơn $k_1 c_D$ lần công suất thực của gió!?

III. Hệ số công suất tuabin gió C_P được các nhà sản xuất công bố lớn hơn mười lần so với thực tế

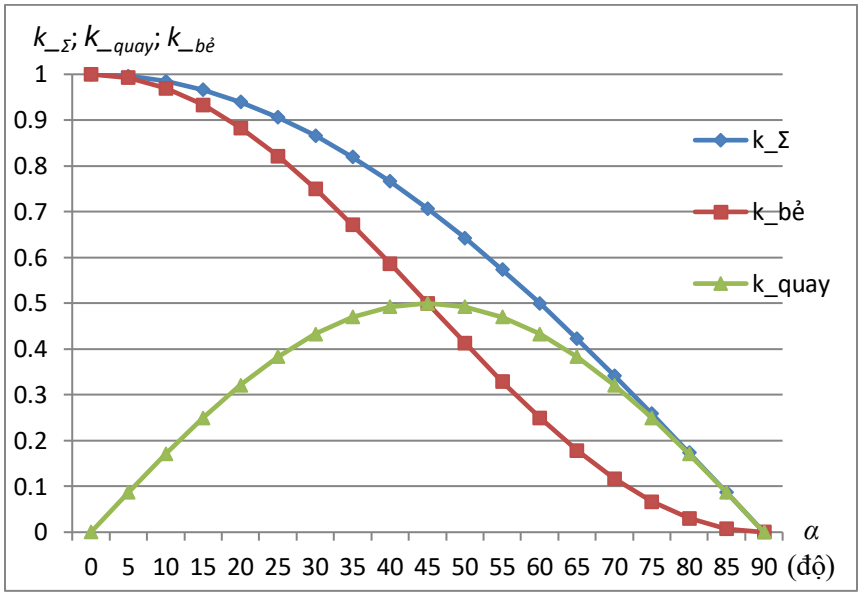
1. Khi cánh rô-to đứng yên

Trước tiên, chúng ta loại bỏ giả thiết đầu tiên phi lý cho rằng cánh rô-to không có trở lực của của Betz và xem xét các giả thiết còn lại ở trên thì năng lượng thu được chỉ mới được chuyển thành áp lực làm biến dạng các cánh rô-to chứ đã làm sao có thể chuyển đổi thành công cơ học để làm cho cánh rô-to quay khi mà không có bất cứ độ nghiêng cánh rô-to nào trong các giả thiết đó? Giả sử rằng hệ số công suất $C_{P.Betz} = 59{,}3\%$ là đúng thì để cánh rô-to có thể quay được, nó cần phải được làm nghiêng một góc α so với mặt phẳng quay A của cánh sao cho áp lực F mà gió tác dụng lên các cánh làm xuất hiện một thành phần vuông góc với hướng gió F_α như đã được chỉ ra trên Hình 5.



Hình 5

Sự phụ thuộc của thành phần áp lực gió tác dụng lên cánh rô-to vào góc nghiêng α được đặc trưng bởi hệ số uốn cánh $k_{bẻ}$, hệ số quay của cánh k_{quay} và hệ số áp lực tổng hợp trên cánh rô-to k_{Σ} – tất cả được thể hiện trên Hình 6.



Hình 6.

Những hệ số này tuân theo các công thức dưới đây [13]:

$$F_{bẻ} = F_g\cos^2(\alpha); \quad (17a)$$

$$F_{\Sigma} = F_g\cos(\alpha); \quad (17b)$$

$$F_{\alpha} = F_{quay} = F_g\cos(\alpha)\sin(\alpha) \quad (17c)$$

ở đây ký hiệu:

$$k_{bẻ} = \cos^2(\alpha); \quad (18a)$$

$$k_{rot} = \cos(\alpha)\sin(\alpha); \quad (18b)$$

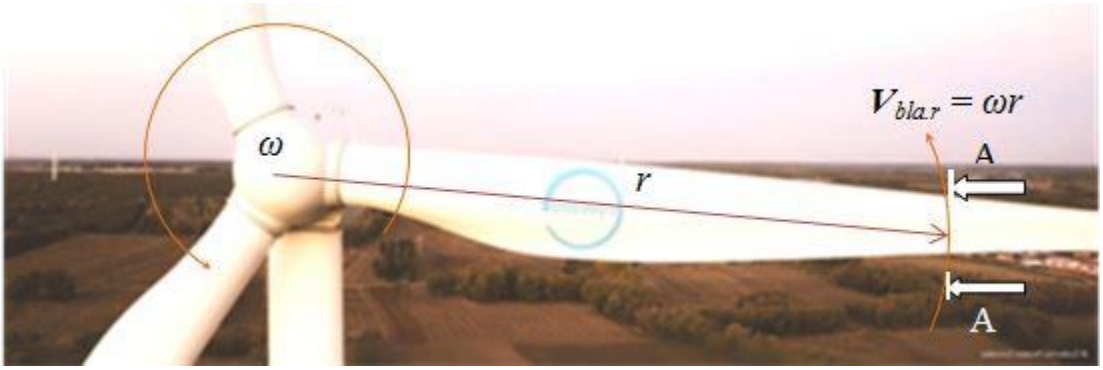
$$k_{\Sigma} = \cos(\alpha). \qquad (18c)$$

mà có thể dễ dàng chứng minh được chứng minh bằng lý thuyết và thực nghiệm.

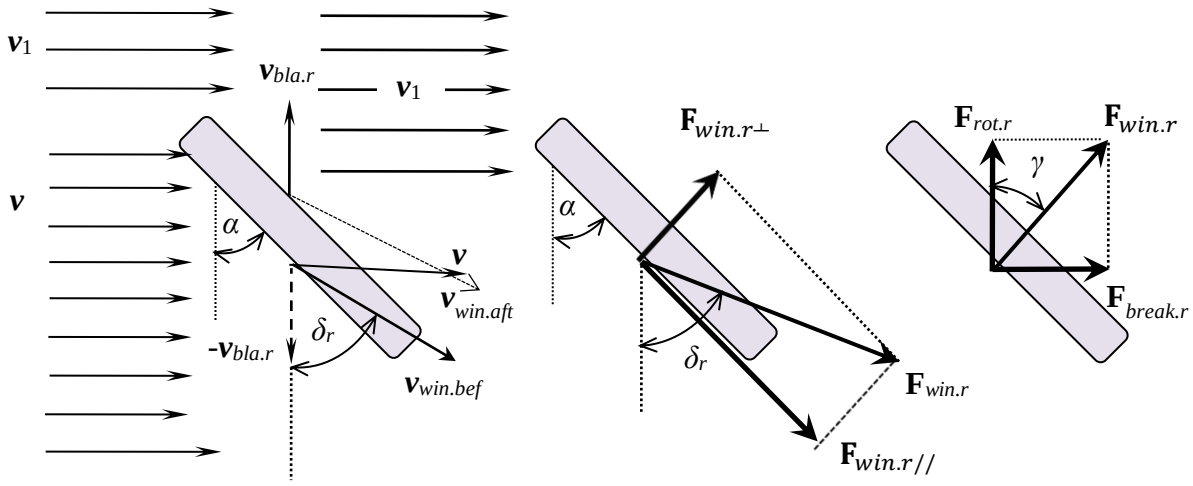
2. Khi cánh rô-to quay

Khi cánh rô-to quay, các thành phần lực của gió tác động lên cánh sẽ thay đổi so với khi nó đứng yên, đặc biệt là với các cánh rô-to có chiều dài lớn khiến tốc độ thẳng của đầu cánh v_{tip} lớn hơn nhiều so với tốc độ gió v_1.

Trên Hình 7, mô tả cánh rô-to của các tuabin gió đang vận hành trên thực tế và trên Hình 8 là kết quả phân tích áp lực gió lên cánh tại mặt cắt A-A ở bán kính r của cánh đó.



Hình 7



Hình 8. Xét tương tác cánh quạt phẳng đang quay tại tiết diện s_r với gió trong HQC Trái Đất khi $\delta_r \geq \alpha$ và $z_v = \frac{v_R}{v} < 1$

Trên cơ sở phân tích lực tác động của gió lên cánh rô-to đang quay với tốc độ góc $\omega = v_{tip}R$ tại mặt cắt A-A ở Hình 7 trong đó, v_{tip} là tốc độ thẳng của đầu cánh và R là bán kính cánh, ta có vận tốc gió hướng tới mặt trước của cánh $v_{win.bef}$ với góc δ_r như trên Hình 8a. Khi đó, ta có:

$$\delta_r = artan(\frac{v}{v_{bla.r}}) \tag{19}$$

và gọi là "góc hứng gió"; nó đồng biến với sự gia tăng tốc độ gió v so với tốc độ quay của cánh rô-to $v_{bla.r}$ và đạt giá trị lớn nhất bằng 90^o tương ứng với khi cánh rô-to không quay, hay quay rất chậm so với tốc độ gió v. Như vậy, có thể thấy với cùng một tốc độ gió, δ_r sẽ thay đổi phụ thuộc vào khoảng cách từ vị trí trên cánh rô-to đến gốc cánh tại đầu hub, điều mà sẽ quyết định tốc độ quay thẳng $v_{bla.r}$ của cánh rô-to. Từ nay về sau, ở chỉ số dưới của các đại lượng vật lý được sử dụng ở đây sẽ thêm chữ "r" để chỉ ra rằng đại lượng đó sẽ chỉ tương ứng tại bán kính r trong phạm vi từ bán kính hub R_{hub} tới bán kính cánh rô-to R.

Nếu $\delta_r > \alpha$, sẽ xuất hiện lực $F_{win.r}$ thực sự tác động lên mặt trước của cánh rô-to tuân theo định luật II Newton và lực này được phân thành hai lực thành phần là $F_{win.r\rightarrow}$ khiến gió trượt dọc theo bề mặt cánh và thành phần $F_{win.r\perp}$ vuông góc với bề mặt cánh đó như được thể hiện trên Hình 8c theo đó, có thể viết:

$$F_{win.r\rightarrow} = F_{win.r}\cos(\delta_r - \alpha) \tag{20}$$

và

$$F_{win.r\perp} = F_{win.r}\sin(\delta_r - \alpha). \tag{21}$$

Khi đó, thành phần vuông góc với bề mặt cánh $F_{win.r\perp}$ sẽ phân tích tiếp thành hai thành phần $F_{rot.r}$ – là lực tác động lên cánh rô-to gây ra mô men quay cho nó để sinh ra công suất của tuabin $P_{turbine}$ và $F_{break.r}$ – là lực chỉ có xu hướng bẻ cong cánh rô-to theo hướng gió, mà không sinh ra công hữu ích nào như được thể hiện trên Hình 8c và có thể viết:

$$F_{rot.r} = F_{win.r\perp}\cos(\gamma) = F_{win.r}\sin(\delta_r - \alpha)\sin\alpha \tag{22}$$

$$F_{break.r} = F_{win.r\perp}\sin(\gamma) = F_{win.r}\sin(\delta_r - \alpha)\cos\alpha \tag{23}$$

ở đây, $\gamma = \frac{\pi}{2} - \alpha$.

Ta có nhận xét là đi kèm với các thành phần lực theo các biểu thức (21), (22) và (23) thực sự tác động lên cánh rô-to chứa các hàm lượng giác mà ta sẽ gọi là các "hệ số biến đổi" tương ứng:

$$k_{win.r} = \sin(\delta_r - \alpha), \quad (24a)$$

$$k_{rot.r} = \sin(\delta_r - \alpha)\sin\alpha, \quad (24b)$$

$$k_{break.r} = \sin(\delta_r - \alpha)\cos\alpha. \quad (24c)$$

Rõ ràng là nếu $v_{bla.r} = 0$, tương ứng với roto không quay, theo (22), $\delta_r = 90$ độ, do đó các phương trình (20) – (23) trở về dạng (14).

Khi đó, các thành phần lực tương ứng sẽ được viết ngắn gọn:

$$F_{win.r}\perp = k_{win.r}F_{win.r}, \quad (25a)$$

$$F_{rot.r} = k_{rot.r}F_{win.r}, \quad (25b)$$

$$F_{break.r} = k_{break.r}F_{win.r}. \quad (25c)$$

Từ (24a) cho thấy, với $k_{win.r}$ không có bất cứ một cực đại nào được sinh ra với mọi biến thiên của δ_r, hay α từ 0 đến 90^o như tiên đoán của Betz cả. Các kết quả tính toán được đưa vào Bảng 1 dưới đây.

Bảng 1. Sự phụ thuộc hệ số chuyển đổi lực gió vào chiều dài cánh roto.

Cánh turbin công suất 4,5 MW										
Các thông số	**ĐV**	**Giá trị**								**Trung bình**
Chiều dài cánh *R*	m	5	15	25	35	45	55	65	75	
Góc nghiêng theo gió δr	rad	0,75	0,30	0,18	0,13	0,10	0,08	0,07	0,06	
Góc nghiêng cánh α	độ	30,4	8,6	5,1	3,7	2,9	2,4	2,0	1,7	
	rad	0,53	0,15	0,089	0,065	0,051	0,041	0,035	0,030	
Hệ số bẻ cánh		0,19	0,15	0,094	0,067	0,052	0,043	0,036	0,031	8,2%
Hệ số quay cánh k_{quay}		0,11	0,02	0,008	0,004	0,003	0,002	0,001	0,001	**1,9%**
Hệ số tổng k_Σ		0,22	0,15	0,095	0,067	0,052	0,043	0,036	0,031	8,6%

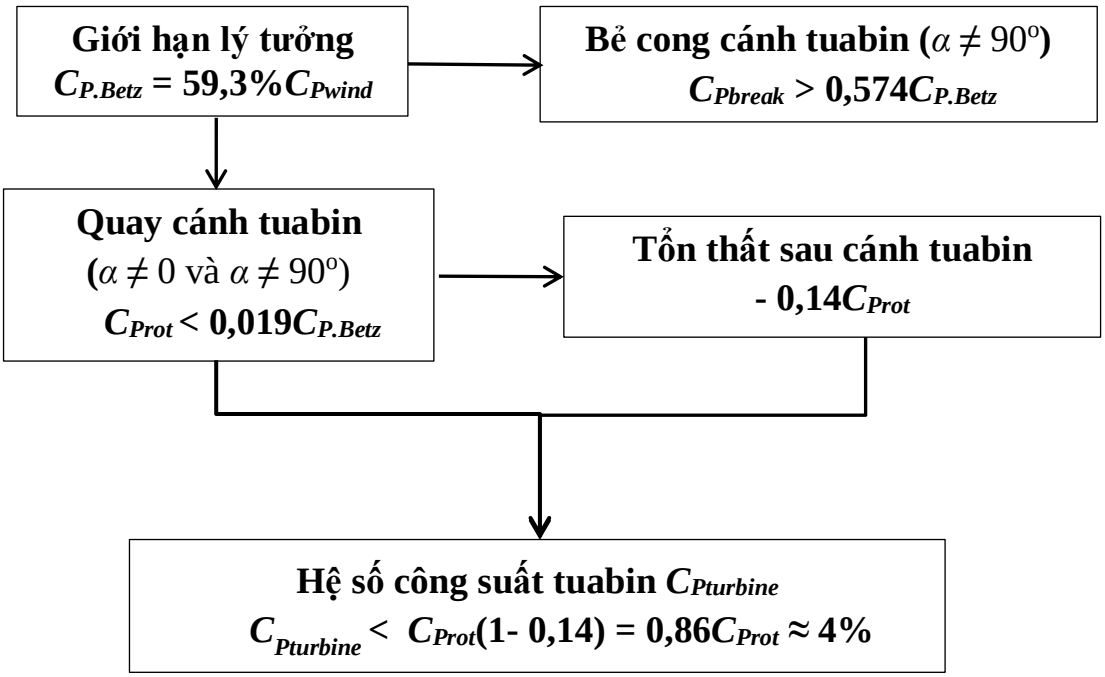
Từ các số liệu tính được trên Bảng 1 có thể thấy hệ số áp lực quay cánh rô-to $k_{rot.r}$ giảm dần từ 0,11 ở cách tâm hub 5m đến 0,001 ở đầu cánh, cách tâm hub 75m. Tức là giá trị trung bình của $k_{rot.r}$ chỉ là ~1,9% – đây mới là hệ số chuyển đổi thật

sự từ công suất gió P_{win} sang công suất tuabin gió $P_{turbine}$ do nghiêng cánh một góc $\alpha \approx 30^o$ ở cách tâm hub 5m đến $\alpha \approx 1,7^o$ ở đầu cánh cách tâm hub 75m đối với các tuabin gió công suất lớn đang vận hành trên thực tế.

Thực tế cho thấy còn 14% năng lượng thu được từ gió ở sau cánh rô-to bị thất thoát đi cho hộp số, máy phát điện, máy biến áp…, vì vậy, ta có :

$$C_{pturbine.max} = 4,4\%(1 - 0,14) \approx 4\%$$

Có nghĩa là chỉ có thể phát điện lên lưới được không quá 4% công suất C_{Pwind} của gió thôi, không phải là 45% đâu! Tóm lại, ta có Sơ đồ phân bổ hệ số công suất gió C_{Pwind} như trên Hình 9.



Hình 9.

IV. Kết luận

1- Giả thiết 1 của Betz không những mâu thuẫn với cả 3 định luật Newton mà còn với chính cả các giả thiết khác của mình.

2- Trong quá trình chứng minh, Betz đã mắc phải hàng loạt các lỗi hết sức sơ đẳng cả về vật lý lẫn toán học.

3- Các kết quả tính toán của Betz về công suất gió $P_{gió}$, công suất tuabin gió P_{tuabin} và đặc biệt là hệ số công suất tuabin gió $C_{Ptuabin}$ cần phải được loại bỏ, không được phép sử dụng trong công nghiệp điện gió.

4- Áp lực tổng hợp lên cánh rô-to khi bị giữ không quay chỉ biến thiên theo chiều giảm dần từ cực đại (k_Σ = 1) tới 0 (k_Σ = 0) khi góc nghiêng cánh α tăng dần từ 0 tới 90^o; quy luật giảm ấy cũng xảy ra với cả khi cánh rô-to có chiều dài R rất lớn khi đang quay, mà không có điểm cực trị nào như kết luận của Betz cả.

5- Thành phần áp lực làm quay cánh rô-to thực tế có chiều dài lớn khi đang quay không thể vượt quá 4% áp lực tổng hợp, tức là nhỏ hơn 10 lần so với tuyên bố của các nhà sản xuất điện gió.

6- Nên nhớ, ta mới chỉ tạm coi giới hạn Betz C_{pBetz} = 59,3% là đúng thôi đấy!!!

Thế nếu nó không đúng thì sao??? Lấy đâu ra hệ số công suất tới 30÷45%, kể cả nếu giới hạn đó có đạt tới 100%?

Tài liệu tham khảo

[1]. Betz, A. The Maximum of the theoretically possible exploitation of wind by means of a wind motor, *Wind Engineering*, 37, 4, 441–446, 2013, Translation of: Das Maximum der theoretisch möglichen Ausnützung des Windes durch Windmotoren, Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen, Heft 26, 1920.T. Kato, K. Yamanouchi, J. *Chem. Phys*. vol. **131**, 2009, pp.164118(1-14).

[2] Wikipedia. *Betz's law.*

https://en.wikipedia.org/wiki/Betz%27s_law.

[4] Alexande N. Gorban, Alexander M. Gorlov P.E, Valentin M. Silantyev. Limits of the Turrbin Efficiency For Free Fluid Flow, Krasnoyarsk, Russia. *Journal of Energy Resources Technology*, Dec. 2001, vol. 123/317.

[5] David Hartwanger and Dr Andrej Horvat. 3D MODELLING OF A WIND TURBINE USING CFD. NAFEMS Conference. 2008. United Kingdom.

[3] M. H. Ranjbar, S. A. Nasrazadani, H. Z. Kia (Iran), K. Gharali (Canada), Reaching the Betz limit experimentally and Numerically. *Energy Equip. Sys.*/vol.7/No. 3/Sep.2019/271-278.

[6] Mahmoud Huleihil and Gedalya Mazor. Wind Turbine Power: The Betz's Limit and Beyond. *Beit Berl College, Kfar Sava*, Israel. Issuing Organization. (year, month day). *Title*. [Type of medium]. Available: site/path/file

https://pdfs.semanticscholar.org/92a2/b744664d312f1e73d0307d2399ad720e5d91.pdf

[7] J. G. Slootweg, W.H. de Haan, H. Polinder, W. L. Kling. *General Model for Representing Variable-Speed Wind Turbines in Power System Dynamics Simulations*. IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 18, NO. 1, FEBRUARY 2003.

[8] International standard IEC 61400-12-1-12-2005. Wind turbines – Part 12-1. Power performance measurements of electricity producing wind turbines,.

[9] International standard IEC 61400-12-2-2013. Wind turbines - Part 12-2: power performan of electricity-producing wind turbines based on nacelle anemometry.

[10] Sanjiba Kumar Bisoyi1, R.K.Jarial, R.A.Gupta. Modeling and control of variable speed wind turbine equipped with PMSG. *International Journal of Emerging Technologies in Computational and Applied Sciences* (IJETCAS). 2013.

[11]Walter Benenson. John W. Harris, Horst Stocker., Holger Lutz. *Handbook of physics*. Translated from German Tashenbuch der Physik edited by Horst Stocker, published by Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main, Germany, Fourth Edition © 2000.

[12]Tony Burton *et al*., (ed), *Wind Energy Handbook*, John Wiley and Sons 2001 ISBN 0471489972, page 65. *Name of Manual/Handbook, x* ed., Abbrev. Name of Co., City of Co., Abbrev. State, Country, year, pp. xxx-xxx.

[13] Vu Huy Toan. The New Way for Physics. Natural Science and Technology Publishing House, Hanoi, Vietnam. 2007.

[14] H. Golstein, C. Poole, J. Safco. Classical Mechanics. New York.