

MỤC LỤC

MỤC LỤC.	1
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ CÁI VIẾT TẮT.	3
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ.	4
MỞ ĐẦU.	6
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG PHONG ĐIỆN.	12
1.1. Lịch sử phát triển của máy phong điện.	12
1.1.1. Lời giới thiệu.	12
1.1.2. Tình trạng của năng lượng gió trong hệ thống năng lượng.	13
1.1.3. Turbine gió trục đứng VAWTs.	13
1.2. Kiểu dáng hình học cánh turbine.	15
1.2.1. Kiểu dạng chén.	15
1.2.2. Kiểu savonius.	16
1.2.3. Kiểu plates.	17
1.2.4. Kiểu Darrieus – Rotor và H – Rotor.	17
1.2.5. Một số hệ thống phong điện có các cánh turbine điều khiển được.	19
1.3. Kết luận.	19
CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN KHÍ ĐỘNG HỌC TURBINE.	20
2.1. Các định luật cơ bản và các khái niệm về khí động học cánh turbine trong máy phong điện.	20
2.1.1. Học thuyết của Betz.	
2.1.2. Cánh và kết cấu cánh: hình dáng hình học và khí động học của cánh turbine.	22
2.1.2.1. Các khái niệm cơ bản.	23
2.1.2.2. Khí động lực học tác dụng làm cánh quay trong môi trường tĩnh.	23
2.1.2.3. Sự biến thiên của hệ số nâng và hệ số cản.	26

2.1.3. Khí động học của Rotor.	31
2.1.3.1. Các khái niệm hình học.	31
2.1.3.2. Năng suất vận hành của một phần tử cánh (thuyết cơ bản).	32
2.1.3.3. Biểu thức tổng quát của áp lực, mômen và công suất.	33
2.1.4. Hiệu suất của các máy phong điện có hình dáng hình học tương tự.	34
2.2. Năng lượng của gió.	37
2.3. Lực và sự phân bố lực trên bề mặt cánh turbine.	38
2.3.1. Nguyên lý.	39
2.3.2. Nghiên cứu Rotor Darieus.	40
2.3.3. Hệ số công suất và hệ số mômen.	45
2.4. Kết luận.	46
CHƯƠNG 3. TÍNH TOÁN THIẾT KẾ MÔ HÌNH CÁNH TURBINE.	47
3.1. Đặt vấn đề.	47
3.2. Kiểu dáng hình học cánh turbine thiết kế.	48
3.3. Kích thước hình học cánh.	49
3.3.1. Bài toán khí động học cánh turbine dạng tấm phẳng.	49
3.3.2. Thử nghiệm kiểm tra hướng di chuyển của gió phía sau cánh turbine.	62
3.3.3. Xác định chiều rộng b của cánh turbine.	66
3.4. Tính toán thiết kế cánh turbine dùng cho máy phong điện công suất 10KW.	73
3.5. Vật liệu cánh turbine.	75
3.6. Kết luận.	78
3.7. Kết luận chung.	78
TÀI LIỆU THAM KHẢO.	80

DANH MỤC CÁC KÍ HIỆU VÀ CÁC CHỮ VIẾT TẮT

HAWTs	hệ turbine gió kiểu trục ngang.
VAWTs	hệ turbine gió kiểu trục đứng.
U	Vận tốc thực của gió (m).
ρ	Trọng lượng riêng của không khí $\rho = 1,25(\text{kg/m}^3)$.
b	Chiều rộng cánh turbine (m).
h	Chiều cao cánh turbine (m).
r	Bán kính Rotor (m).
P	Công suất (W).
M	Mômen (Nm).
C_ℓ	Hệ số nâng.
C_d	Hệ số cản (drag coefficient).
S	Diện tích cánh (m^2).
A	Diện tích quét của cánh turbine (m^2).
φ	Góc xoay cánh turbine (độ).
F	Áp lực (N).
i	Góc tới (độ).
θ	Góc nâng (độ).
g	Gia tốc trọng trường (9.81m/s^2).
W	Vận tốc tương đối (m).
ω	Vận tốc góc (rad/s).
C_p	Hệ số công suất.
C_m	Hệ số mômen.
n	Số vòng quay (vòng/giây)

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ

Hình 1.1	Các kiểu VAWTs.
Hình 1.2	Rotor dạng chén.
Hình 1.3	Turbine kiểu savonius.
Hình 1.4	Turbine kiểu plates.
Hình 1.5	Turbine kiểu Darrieus và H – rotor.
Hình 2.1	Khí động học cánh.
Hình 2.2	Hình dáng hình học cánh turbine.
Hình 2.3	Áp lực ở mặt trên và mặt dưới của cánh.
Hình 2.4	Thành phần lực tác dụng lên cánh turbine.
Hình 2.5	Biểu đồ biến thiên của hệ số nâng và hệ số cản.
Hình 2.6	Biểu diễn quan hệ giữa C_d và C_l .
Hình 2.7	Sự chuyển động của các dòng khí quanh cánh.
Hình 2.8	Xoáy hình móng ngựa.
Hình 2.9	Biểu diễn hệ số khí động học trên dây cung và tiếp tuyến với dây cung.
Hình 2.10	Thông số hình học cánh.
Hình 2.11	Biểu diễn các thành phần vận tốc tác dụng trên mặt cắt ngang cánh.
Hình 2.12	Thành phần lực và vận tốc trên cánh turbine.
Hình 2.13	Thành phần vận tốc trên Rotor Darrieus.
Hình 2.14	Thành phần vận tốc trên H-rotor
Hình 3.1	Mô hình hệ thống cánh turbine nghiên cứu
Hình 3.2	Biểu diễn các véc tơ vận tốc tác dụng lên các cánh turbine.
Hình 3.3	Biểu diễn véc tơ vận tốc trên cánh số 1.
Hình 3.4	Biểu diễn véc tơ vận tốc trên cánh số 2.
Hình 3.5	Biểu diễn véc tơ vận tốc trên cánh số 3.
Hình 3.6	Biểu diễn véc tơ vận tốc trên cánh số 4.

Hình 3.7	Biểu diễn véc tơ vận tốc trên cánh số 5.
Hình 3.8	Đồ thị biến thiên của θ và φ .
Hình 3.9	Phương của véc tơ vận tốc \vec{W} .
Hình 3.10	Phương của véc tơ vận tốc \vec{W} trên hành trình sinh công và vị trí cánh Turbine hợp lý.
Hình 3.11	Phương của véc tơ vận tốc \vec{W} trên hành cản.
Hình 3.12	Vị trí cánh cản gió nhỏ nhất.
Hình 3.13	Mô hình thí nghiệm đo xác định hướng gió.
Hình 3.14	Hình ảnh biểu diễn kết quả đo hướng đi của gió.
Hình 3.15	Vùng gió phía sau cánh turbine.
Hình 3.16	Biểu diễn hướng di chuyển của gió có $V = 7\text{m/s}$, sau khi qua cánh turbine.
Hình 3.17	Vùng làm việc hiệu quả cao của cánh turbine.
Hình 3.18	Vị trí tính toán tối ưu kích thước cánh.
Hình 3.19	Vị trí đặc biệt 1.
Hình 3.20	Vị trí đặc biệt 2.
Hình 3.21	Kích thước hệ thống cánh.
Hình 3.22	Sợi thủy tinh.

MỞ ĐẦU

TỔNG QUAN VỀ ỨNG DỤNG VÀ NGHIÊN CỨU TRONG VÀ NGOÀI NƯỚC LIÊN QUAN.

Nguồn điện năng là năng lượng có vai trò hết sức quan trọng trong nền công nghiệp cũng như trong cuộc sống sinh hoạt. Ở nước ta việc tạo ra nguồn điện năng phần lớn là thủy điện và nhiệt điện, việc sử dụng năng lượng gió để tạo ra điện năng vẫn còn là các dự án hết sức mới mẻ. Trên thế giới đã có nhiều quốc gia áp dụng cho hiệu quả rất cao.

Trên thế giới:

*** Xu thế và các thành tựu phát triển phong điện.**

- Hiện nay, trong số các nguồn năng lượng mới, năng lượng bằng sức gió phát triển nhanh nhất trên thế giới vì nguyên liệu dồi dào, rẻ tiền, dễ áp dụng, sạch và không làm hại môi trường.

- Các máy phát điện lợi dụng sức gió (*trạm phong điện*) đã được sử dụng nhiều ở các nước châu Âu, Mỹ và các nước công nghiệp phát triển khác. Đức đang dẫn đầu thế giới về công nghệ phong điện.

- Hiện tại, các *trạm phong điện trục ngang* (gồm một máy phát điện có trục quay nằm ngang với tua bin 3 cánh đón gió) đang được sản xuất và sử dụng phổ biến hơn nhiều so với các *trạm phong điện trục đứng* (gồm một máy phát điện có trục quay thẳng đứng với các cánh đón gió đặt thẳng đứng). Hiện có các loại máy phát phong điện với công suất rất khác nhau, từ 1 kW tới hàng MW. Các trạm phong điện có thể hoạt động độc lập hoặc cũng có thể nối với mạng điện quốc gia. Các trạm phong điện có thể phát điện khi tốc độ gió từ 3 m/s (11 km/h), và tự ngừng phát điện khi tốc độ gió vượt quá 25 m/s (90 km/h). Tốc độ gió hiệu quả từ 10 m/s tới 17 m/s, tùy theo từng thiết bị phong điện.

- Năm 2005, công suất phong điện toàn cầu tăng 24% (đạt 59.100 MW), nghĩa là tăng gấp 12 lần so với thập kỷ trước, khi đó công suất phong điện chỉ ở mức

5.000 MW. Gió là nguồn năng lượng phát triển nhanh nhất trên thế giới, với tốc độ tăng trưởng trung bình hàng năm 29% trong thập kỷ qua. Cũng trong thời gian này, than tăng 2,5%/năm, năng lượng hạt nhân tăng 1,8%/năm, khí tự nhiên tăng 2,5%/năm và dầu tăng 1,7%/năm.

- Riêng trong năm 2006, các nhà máy điện bằng sức gió trên thế giới đã sản xuất được 74 GW, tăng 25% so với năm trước. Châu Âu vẫn đứng đầu thế giới về sản lượng điện bằng sức gió với công suất lắp đặt là 40.500 MW, chiếm tới 2/3 sản lượng điện gió toàn thế giới. Lượng điện tạo ra bằng sức gió đủ để đáp ứng nhu cầu của 40 triệu người dân.

- Đức là nước sản xuất hơn một phần ba năng lượng gió trên toàn thế giới, tiếp theo là Mỹ và Tây Ban Nha. Cuộc cách mạng năng lượng gió ở Đức bắt đầu năm 1991. Chương trình phát triển nguồn năng lượng tái tạo được Chính phủ Đức thông qua và chính thức có hiệu lực từ tháng 4-2000. Hiện nay, ở Đức có hàng chục công ty khai thác năng lượng từ sức gió, đứng đầu là Công ty Enercon. Hiệp hội Năng lượng gió của Đức cho biết, tới năm 2010, năng lượng gió sẽ bảo đảm cung cấp khoảng 10% nhu cầu điện của nước này. Cơ quan Năng lượng Đức đề ra mục tiêu đến năm 2015 sản lượng điện từ các nguồn năng lượng tái tạo chiếm 20% tổng sản lượng điện quốc gia, trong đó 35 nghìn MW điện được sản xuất từ sức gió; Đan Mạch hiện có công suất điện chạy bằng sức gió chiếm 20% tổng sản lượng điện trong nước. Đan Mạch cũng là nước đi đầu về lắp đặt các nhà máy phát điện gió ở ngoài khơi và Tây Ban Nha chiếm tới 8% sản lượng điện của các nước này.

- Theo Hội đồng năng lượng bằng sức gió thế giới, đến năm 2010, sản lượng điện bằng sức gió toàn thế giới dự kiến sẽ đạt 149,5 gigawatts (GW), tăng gấp đôi so với sản lượng hiện nay; Hiệp hội năng lượng sức gió châu Âu (EWEA) đặt ra mục tiêu, vào khoảng năm 2020, 195 triệu người, tức một nửa số dân lục địa này có thể sử dụng điện bằng sức gió. Và điện gió sẽ thỏa mãn tới 23% nhu cầu điện của châu Âu vào năm 2030. Bắc Mỹ là khu vực đứng thứ hai sau châu Âu về sản lượng điện bằng sức gió. Tuy nhiên, trong giai đoạn 2006-2010, năng lượng bằng sức gió sẽ phát triển mạnh ở châu Á, đặc biệt là ở các nước Trung Quốc và Ấn Độ.

- Theo Hiệp hội Năng lượng gió Trung Quốc, đến nay nước này đã xây dựng 44 nhà máy phát điện chạy bằng sức gió, xếp thứ 10 thế giới và thứ 3 châu Á. Tuy nhiên, con số này chỉ chiếm 0,2% tổng công suất điện trong nước. Trung Quốc đang đặt mục tiêu tăng tổng công suất lắp đặt điện chạy bằng sức gió lên 5 triệu KW vào cuối năm 2010. Sức hấp dẫn của thị trường lớn về năng lượng tái sinh với chi phí sản xuất thấp ở Trung Quốc tạo môi trường thu hút các công ty trong nước và quốc tế "đổ xô" vào đầu tư xây dựng các khu vực khai thác sức gió hoặc các nhà máy sản xuất thiết bị điện gió trên khắp đất nước này. Ngày 18/8/2007, Công ty Công nghệ Điện sức gió Minh Dương Quảng Đông (Guangdong Mingyang Wind Power Technology Co., Ltd.) đã xuất xưởng chiếc máy phát điện bằng sức gió công suất 1,5 MW. Đây là lần đầu tiên Trung Quốc tự chế tạo được máy phát điện bằng sức gió công suất lớn như vậy và có quyền sở hữu trí tuệ hoàn toàn của Trung Quốc. Sản phẩm máy phát điện chạy bằng sức gió của công ty được thiết kế phù hợp với điều kiện khí hậu Trung Quốc, có khả năng chống được bão, bão cát và giá lạnh, giá thấp hơn ít nhất 20% so với giá sản phẩm cùng loại nhập khẩu hoặc sản xuất ở các xí nghiệp có vốn nước ngoài.

- Châu Phi là châu lục phát triển chậm nhất về sản xuất năng lượng bằng sức gió. Hiện nay, việc sản xuất điện bằng sức gió chủ yếu mới được tiến hành ở Ai Cập và Ma-rốc. Dự kiến đến 2010, sản lượng điện bằng sức gió ở châu lục này sẽ đạt 900 MW/năm.

*** Một số nghiên cứu gần đây.**

- Đối với hệ turbine gió kiểu trục ngang (HAWTs):

Mặc dù đã có những thành công vượt bậc về công nghệ, thể hiện qua sản phẩm mang tính thương mại hóa của một số hãng chế tạo nổi tiếng thế giới như Vestas (Denmark) với các sản phẩm V52-850 kW, V80-1.8 MW, V80-2.0 MW, V82-1.65 MW, V90-1.8&2.0 MW, V90-3.0 MW; Suzlon (India) với các turbine 950 kW to 2 MW; công ty GE Energy (USA) có các sản phẩm 1.500 - 3.600 kW; Siemens(Germany) đưa ra thị trường các turbine lớn 1.3 MW, 2.3 MW và 3.6 MW; công ty Nordex (Germany) có các hệ thống 1500 kW, 2500 kW và Enercon nổi tiếng

với sản phẩm E-126 lập kỷ lục thế giới về công suất 7MW;..v..v, thì các nghiên cứu về lĩnh vực turbine gió vẫn được nhiều nhà khoa học trên thế giới đặc biệt quan tâm trong những năm gần đây: Nghiên cứu động lực học cánh turbine nhằm nâng cao hiệu quả và độ an toàn của hệ thống cánh turbine gió; nghiên cứu mô hình động lực học của tháp phong điện nhằm tối ưu hóa kết cấu, tăng cường khả năng chịu bão; nghiên cứu về mô hình điều khiển cánh turbine nhằm mở rộng khoảng làm việc ổn định của turbine trong điều kiện tốc độ gió thay đổi; và nhiều những nghiên cứu khác về máy phát điện, bộ nghịch lưu, phương thức hòa lưới ..v..v.

- *Đối với hệ turbine gió kiểu trục đứng (VAWTs):*

Có thể thấy rằng, phạm vi cũng như quy mô sử dụng các trạm phong điện trục đứng còn rất khiêm tốn so với các hệ thống HAWTs, chủ yếu các hệ thống VAWTs được sản xuất và đưa ra thị trường hiện nay là loại cánh turbine cố định, có thể hoạt động bình đẳng với mọi hướng gió nên có cấu tạo đơn giản, các bộ phận đều có kích thước không quá lớn nên vận chuyển và lắp ráp dễ dàng, độ bền cao, duy tu bảo dưỡng đơn giản. Với đặc điểm như vậy, nên thị trường mà các công ty R&D (nghiên cứu chế tạo và thương mại hóa) hệ thống này (chủ yếu của Trung Quốc) hiện đang hướng tới là các trạm phát điện độc lập, công suất vừa và nhỏ, phù hợp với các trang trại, hộ gia đình hay những nơi độc lập xa trung tâm. Các nghiên cứu về hệ thống này cũng còn tương đối hạn chế, chủ yếu tập trung theo hướng nghiên cứu động lực học cánh turbine nhằm nâng cao hiệu quả mặt hứng gió và giảm thiểu ảnh hưởng của mặt cản gió cho cánh turbine. Chưa thấy những công bố mới theo hướng nghiên cứu cánh turbine được điều khiển chủ động nhằm đạt hiệu quả tối đa ở hành trình hứng gió và cản tối thiểu ở hành trình cản gió. Các công bố này chủ yếu mới dừng ở sáng tạo về mặt nguyên lý và đã đăng ký bản quyền sáng chế.

Ở Việt Nam:

**** Xu thế và tiềm năng phát triển phong điện (TC Điện lực số 9/2007).***

- Nhà máy phát điện sức gió đầu tiên ở VN phải kể đến là nhà máy đặt tại huyện đảo Bạch Long Vỹ, TP Hải Phòng. Công suất 800KW với vốn đầu tư 0.87

triệu USD (14 tỉ đồng). Như thế, với giá bán điện 0,05USD/KWh (750VNĐ/KWh) thì thời gian hoàn vốn là 7-8 năm.

- Nhà máy điện gió thứ 2 của cả nước đặt ở huyện đảo Lý Sơn vận hành bằng sức gió, có kết hợp máy phát điện diesel với tổng công suất 7MW, tổng vốn đầu tư gần 200 tỷ đồng. Dự án được chia làm 3 giai đoạn: giai đoạn 1 được thực hiện trong hai năm 2007, 2008 có công suất 2,5 MW, vốn đầu tư 80 tỷ đồng cung cấp cho 4.000 hộ dân với gần 20.000 nhân khẩu. Giai đoạn 2 nâng công suất lên 5MW thực hiện trong các năm 2008-2009 và giai đoạn 3 được thực hiện trong các năm 2009-2012 sẽ công suất lên trên 10MW.

- Ngày 12/9/2007, Nhà máy Phong điện Phương Mai 3 được khởi công xây dựng trong Khu kinh tế Nhơn Hội, thuộc địa bàn 2 xã Cát Chánh và Cát Tiến nằm trên địa bàn bán đảo Phương Mai, huyện Phù Cát, tỉnh Bình Định. Đây là nhà máy phong điện đầu tiên tại Bình Định do Công ty cổ phần Phong điện Miền Trung - CENWINDCO làm chủ đầu tư, theo quyết định phê duyệt qui hoạch của Chính phủ với tổng diện tích mặt bằng 140 ha và tổng vốn đầu tư 35,7 triệu USD. Đây cũng là dự án sản xuất điện sạch từ năng lượng gió có công suất lớn (21 MW) đầu tiên ở Việt Nam gồm: 14 tua- bin FL-MD77/1500 kW, 14 máy biến áp: 0,69/22 kV của các công ty thiết bị kỹ thuật hiện đại hàng đầu thế giới về năng lượng gió như Đức, Đan Mạch cung cấp. Với công suất này, Nhà máy Phong điện Phương Mai 3 sẽ cung cấp cho lưới điện quốc gia trên địa bàn Bình Định sản lượng điện 55 triệu kWh/năm.

*** Một số nghiên cứu trong nước.**

Các nghiên cứu trong nước về hệ thống turbine gió nói riêng và phong điện nói chung còn đặc biệt ít. Một nghiên cứu có quy mô và gần đây nhất có thể kể đến là kết quả của nhóm nghiên cứu do PGS-TSKH Nguyễn Phùng Quang - Trường Đại học Bách khoa Hà Nội chủ trì là nghiên cứu, thiết kế và chế tạo thành công hệ thống phát điện chạy bằng sức gió công suất 20 kW (sản phẩm là kết quả nghiên cứu của đề tài cấp nhà nước KC.06.20.CN với kinh phí khoảng 1,8 tỷ đồng, do Phòng Thí nghiệm trọng điểm Tự động hoá thuộc Trung tâm Nghiên cứu Triển khai Công nghệ

cao, Trường Đại học Bách khoa thực hiện). Nhóm nghiên cứu tập trung chủ yếu vào việc xây dựng các bộ điều khiển: bộ điều khiển nạp bank accu, bộ điều khiển công suất phát, bộ nghịch lưu và tích hợp với hệ thống turbine gió và máy phát nhập ngoại. Đây là hệ thống turbine kiểu trục ngang, có các thông số kỹ thuật như sau: Dải tốc độ gió hoạt động: 3-14 m/s; tốc độ gió giới hạn: 16 m/s; tốc độ tối đa của cánh tua bin: 160 vòng/phút; đường kính mặt quét cánh tua bin: 10,4 m; công suất phát điện định mức: 20 kW; điện áp điều chế: 380 VAC/220 VAC, tần số 50 Hz; điện áp một chiều trung gian: 120-240 VDC; sử dụng loại tua bin 3 cánh; khối lượng trạm phát điện sức gió: 750 kg; khối lượng hệ thống cột đỡ: 3.500 kg; chiều cao cột đỡ: 30 m; điều khiển hiện trường: DSP loại TMS320F2812 của TI và điều khiển hệ thống: PLC S7-200 của Siemens.

Mục tiêu và nhiệm vụ của luận văn

- *Tên đề tài: “ Tính toán thiết kế hệ thống cánh turbine gió kiểu trục đứng trong máy phong điện công suất 10KW ”*

- *Mục tiêu:* Tính toán thiết kế hệ thống cánh turbine gió kiểu trục đứng trong máy phong điện.

- *Đối tượng nghiên cứu:* Hệ thống cánh Turbine gió kiểu trục đứng trong máy phong điện.

- *Nhiệm vụ của luận văn:*

Nghiên cứu tổng quan về các công trình đã được thực hiện trong và ngoài nước đối với tính toán thiết kế cánh turbine gió (nghiên cứu sâu về cánh turbine gió kiểu trục đứng).

Nghiên cứu và phát triển hệ thống cánh turbine gió trục đứng.

Nghiên cứu xây dựng công thức tính toán kích thước, vị trí góc xoay cánh turbine gió dạng tấm và thực nghiệm để khảo sát xác định hướng di chuyển của gió sau khi qua cánh turbine.

Đánh giá khả năng và phạm vi ứng dụng của mô hình tính toán thiết kế cánh turbine được xây dựng.

CHƯƠNG 1.

TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG PHONG ĐIỆN.

Loài người đã biết sử dụng năng lượng gió từ rất lâu, nhưng ở mức độ hạn chế. Ngày nay các nước trên thế giới đã quan tâm và đã có những thành quả tốt, đặc biệt trong việc sản xuất ra các máy phát điện bằng sức gió công suất lớn, để hòa vào hệ thống điện quốc gia.

1.1. LỊCH SỬ PHÁT TRIỂN CỦA MÁY PHONG ĐIỆN.

1.1.1. Lời giới thiệu.

Công cuộc chinh phục năng lượng gió không phải mới bắt đầu những năm gần đây. Lịch sử về máy phong điện có từ rất sớm từ thời thượng cổ ở Ba tư, Iraq, Hy Lạp và Trung Quốc. Thế kỷ 17 trước công nguyên có thể nói rằng Hammurabi, vua của Babylonia đã phát minh ra hệ thống tưới nước sử dụng sức gió.

Sức mạnh của gió đã được dùng cách đây 3000 năm, Trước thế kỷ 20 năng lượng gió đã được sử dụng để chạy máy móc như bơm nước hay nghiền đá. Khi nền công nghiệp hóa hiện đại hóa, năng lượng gió được thay bởi các nguồn năng lượng khác như dầu mỏ.

Vào đầu những năm 1970, cú sốc về giá dầu đầu tiên khiến con người lại quan tâm đến nguồn năng lượng gió. Thời gian này phần lớn tập chung vào các cơn gió mạnh dùng để cung cấp điện năng.

Các công nghệ về năng lượng gió cũng đạt được những bước tiến rất nhanh chóng, vào cuối năm 1989 một turbine gió có công suất 300KW thì đường kính của Roto là 30m, chỉ 10 năm sau một turbine gió có công suất là 2000KW thì đường kính Roto chỉ vào khoảng 80m. Những dự án đầu tiên đang được sử dụng có công suất 3MW đường kính Roto vào khoảng 90m. Ngày nay các turbine gió có công suất từ 3 đến 3.6 MW mới có giá trị sử dụng. Năm 2004 công suất đạt 4 – 5MW dưới mức nhu cầu phát triển, mục tiêu trong thời gian tới có thể xây dựng các hệ thống turbine gió có công suất 6 – 7 MW.

Ngày nay máy phong điện trục ngang cũng như trục đứng được sử dụng tương đối hiệu quả ở nhiều nước trên thế giới, các nước như Hà Lan, Pháp, Tây Ban Nha, Bồ Đào Nha, Trung Quốc, Đức... là những nước có lịch sử phát triển hệ thống máy phong điện từ lâu đời và vẫn phát triển rất mạnh mẽ cho đến ngày nay.

1.1.2. Tình trạng của năng lượng gió trong hệ thống năng lượng.

Trong đa số năng lượng được sử dụng toàn cầu, năng lượng gió chỉ cung cấp phần nhỏ vào hệ thống năng lượng chung. Ở một số nơi khác, như phía bắc nước Đức, Đan mạch hay Thụy Điển năng lượng gió cung cấp phần lớn vào hệ thống năng lượng tổng. Vào năm 2003, trong tỉnh Schleswig–Holstein của nước Đức năng lượng gió cung cấp khoảng 4200GWh trong tổng hệ thống năng lượng là 13353 GWh (chiếm khoảng 31.45%). Trong hệ thống điện của Đan Mạch (Jutland và Funen) năng lượng gió cung cấp 3800GWh trong tổng năng lượng là 20800GWh (chiếm khoảng 18%), còn ở Gotland của Thụy Điển năng lượng gió cung cấp là 200GWh trong tổng số là 900GWh (chiếm khoảng 22%).

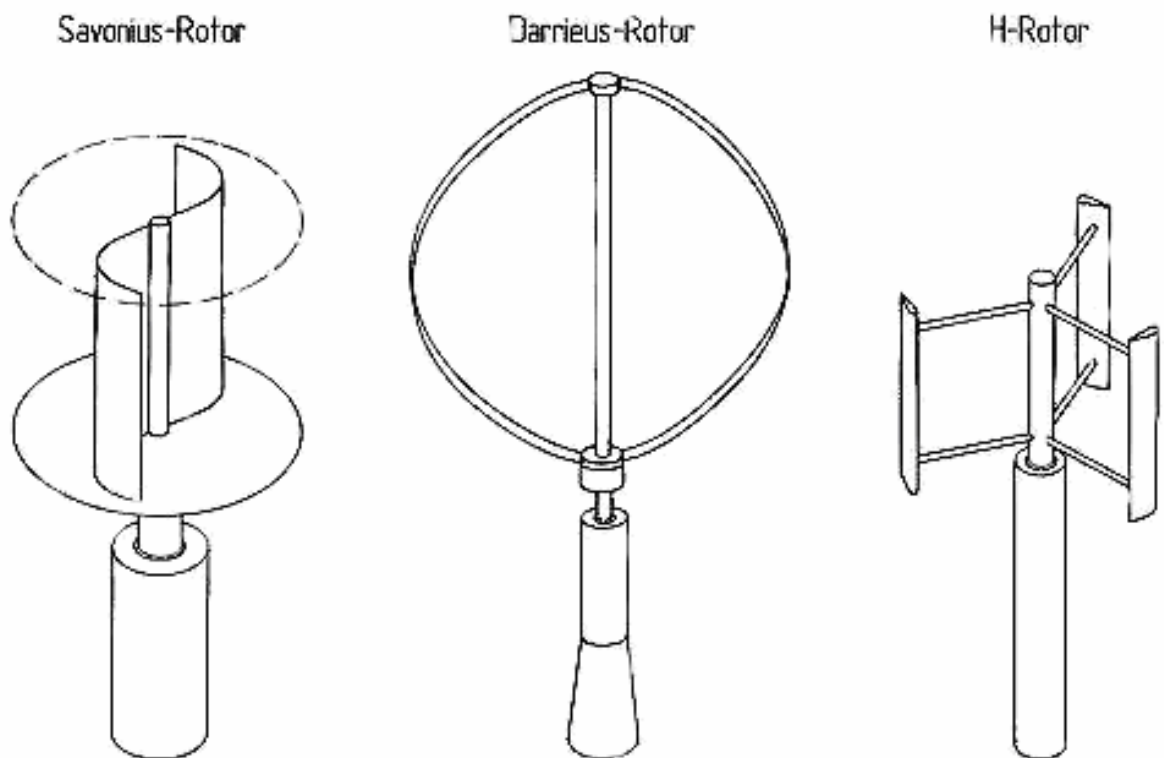
Trong tương lai, nhiều quốc gia trên thế giới ngày càng quan tâm xem xét đến năng lượng gió không chỉ bởi nó là nguồn năng lượng xanh, giảm lượng khí thải CO₂ mà còn là giải pháp kinh tế cho nhiều vùng có tốc độ gió thích hợp, các vùng thưa dân cư, vùng sâu vùng xa mà lưới điện Quốc gia còn gặp nhiều khó khăn để cung cấp tới các vùng này.

1.1.3. Turbine gió trục đứng VAWTs (Vertical axis wind turbines).

Những turbine gió trục thẳng đứng đã được phát triển song song với sự phát triển của Turbine gió trục nằm ngang HAWTs (Horizontal axis wind turbines), nhưng ít được hỗ trợ và quan tâm. Kỹ sư người Phần Lan S.J. Savonius đã phát minh ra turbine Savonius vào năm 1922. Vào năm 1931 Georges Darrieus được cấp bằng sáng chế về ý tưởng một turbine gió trục đứng với các cánh thẳng hoặc cong.

Vào những năm 1970 và 1980 máy phong điện trục đứng đã trở lại và trở thành tiêu điểm khi mà cả Canada và Mỹ đã xây dựng một vài nguyên mẫu của

turbine Darrieus, nó đã tỏ ra khá hiệu quả và tin cậy. Tuy nhiên theo báo cáo từ các phòng thí nghiệm của Mỹ thì hệ thống VAWTs không thể cung cấp năng lượng cho các hộ nghèo, cuối cùng VAWTs được tháo dỡ vào 1997. Vào năm 1980 công ty FloWind của Mỹ đã được thương mại hóa turbine Darrieus và xây dựng một số nông trại sử dụng gió (wind farms). Các máy đó làm việc có hiệu quả nhưng nó có vấn đề về độ bền mỏi của cánh. Hơn 500 VAWTs vận hành ở California trong những năm 1980. Eole đã xây dựng turbine Darrieus cao 96m vào năm 1986 là hệ thống VAWT lớn nhất từng được xây dựng có công suất 3.8 MW. Những turbine Darrieus được Bắc Mỹ dùng vào năm 1980 phần lớn có những máy phát cảm ứng với những hộp số. Tuy nhiên Eole điều khiển trực tiếp các máy với đường kính 12m. Nó sản xuất ra 12 GWh điện năng trong 5 năm và đạt đến mức năng lượng tới 2.7 MW.

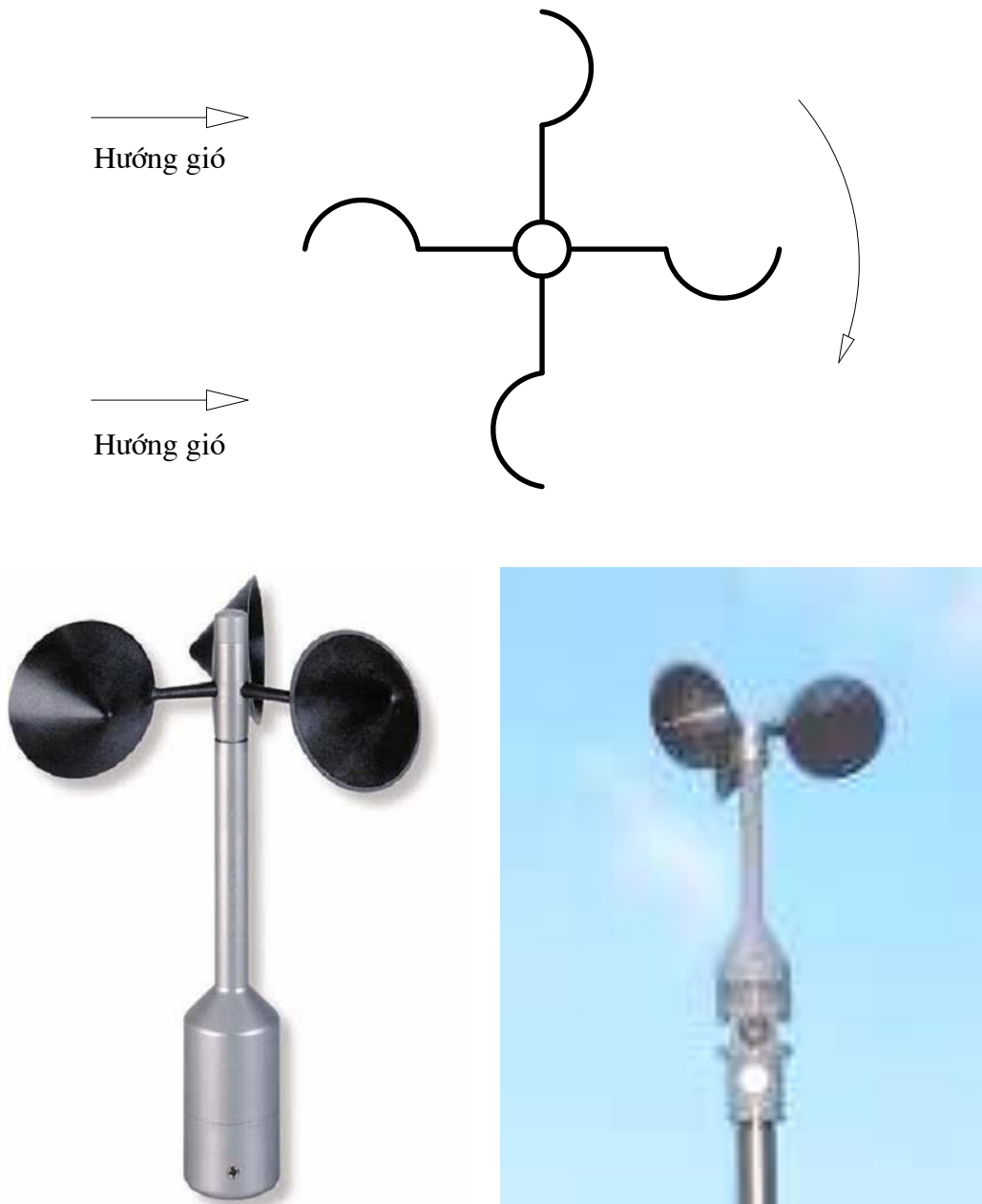


Hình 1.1. Một số kiểu VAWTs.

1.2. KIỂU DÁNG HÌNH HỌC CÁNH TURBINE.

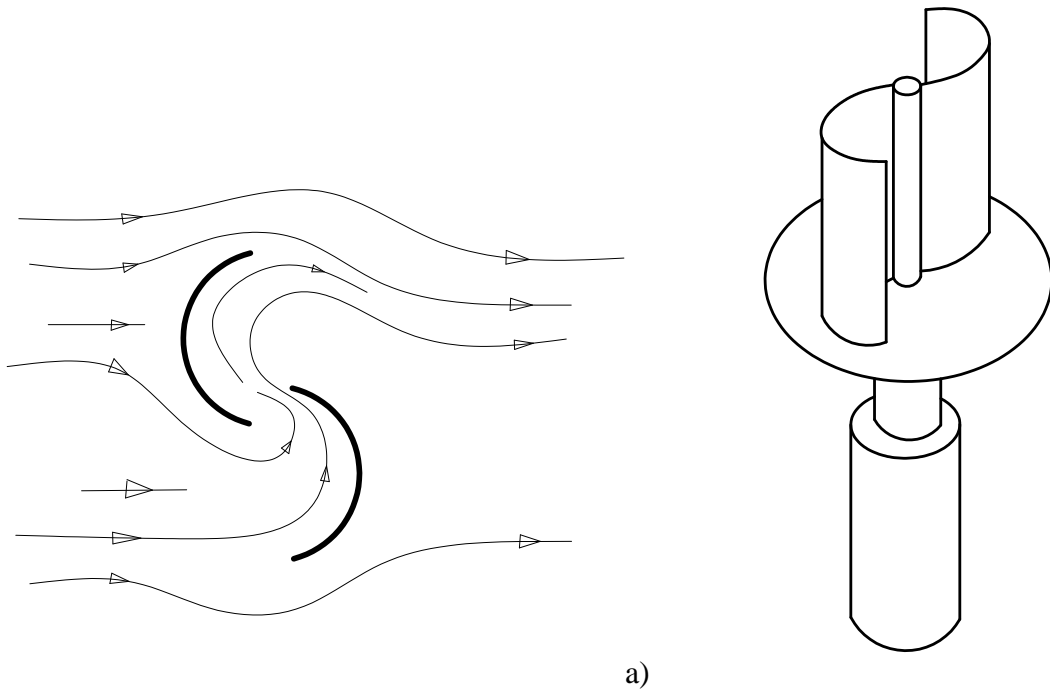
Lịch sử phát triển của HAWTs và VAWTs đã có từ lâu đời, đã có rất nhiều kiểu dáng hình học cánh được các nhà nghiên cứu đưa ra và đã áp dụng tương đối có hiệu quả. Sau đây là một số kiểu dáng hình học cánh turbine điển hình trên thế giới đã được loài người phát minh ra.

1.2.1. Kiểu dạng chén.

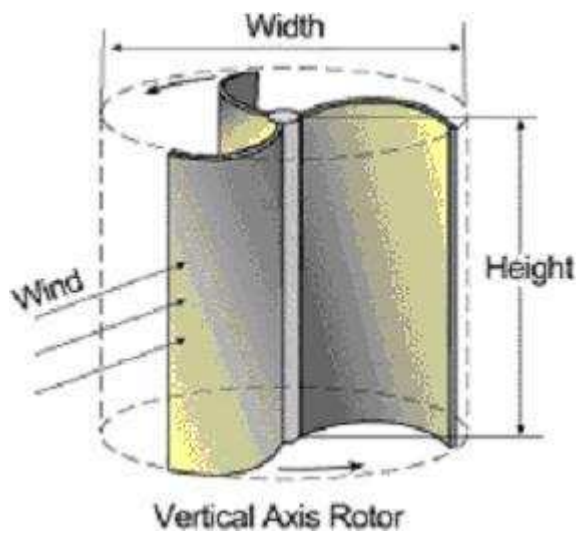


Hình 1.2. Rotor dạng chén.

1.2.2. Kiểu savonius.



a)



a)

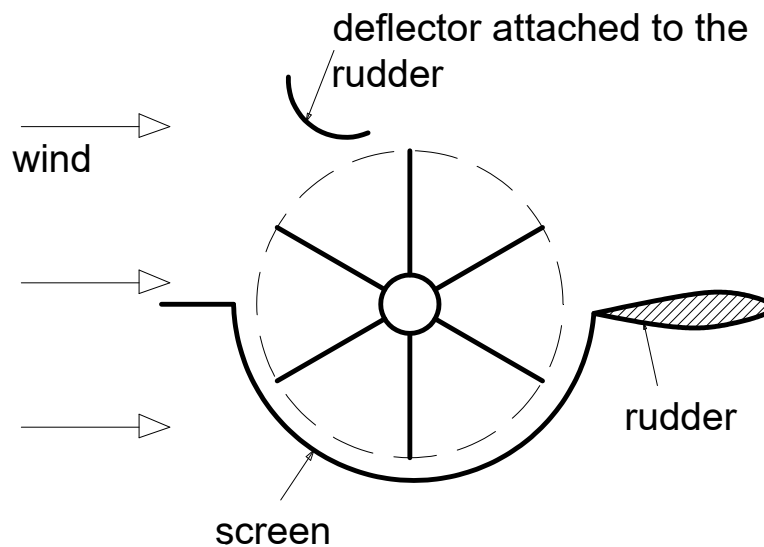


b)

Hình 1.3. Turbine kiểu savonius.
a) savonius ; b) multi-bladed savonius

Kiểu savonius có các cánh có thể được làm bằng nhiều cách khác nhau như với các thùng, các cánh buồm, các thùng dầu. Rotor Savonius có dạng chữ S khi nhìn từ trên xuống và nó được bắt nguồn từ Finland. Thiết kế này quay một cách tương đối chậm chạp.

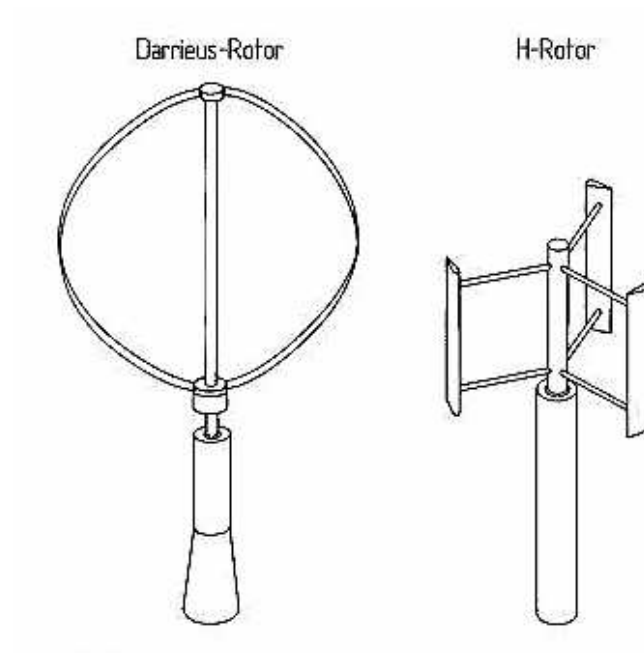
1.2.3. Turbine kiểu plates.



Hình 1.4. Turbine kiểu plates.

1.2.4. Kiểu Darrieus – Rotor và H – Rotor.

Kiểu Darrieus có trục nâng thẳng đứng, trông giống như cái búa đầm hình quả trứng "eggbeater". Darrieus có bắt nguồn từ Pháp, lần đầu tiên được cấp bằng sáng chế vào năm 1927. Mỗi cánh chịu lực nâng (lực xoắn) cực đại, chỉ có 2 cánh quay tròn làm cho lực xoắn có giá trị không lồ.



a)



b)

Hình 1.5. Turbine kiểu Darrieus và H – rotor.

a) Kiểu Darrieus – Rotor ; b) H – Rotor.

1.2.5. Một số hệ thống phong điện có các cánh turbine điều khiển được.

- Hệ thống Cyclogyro.

Hệ thống Cyclogyro hay Gyromill không như các hệ thống Darrieus rotor mà nó có các cánh có thể điều chỉnh được hướng đón gió. Sự thay đổi các góc độ của cánh nhờ vào hệ thống cơ cấu bản lề hoặc cơ cấu Cam. Các cuộc thử nghiệm cho thấy rằng hệ thống Cyclogyro cho hiệu quả cao hơn rất nhiều so với các hệ thống Darrieus cổ điển.

- Hệ thống Darrieus rotor được thiết kế bởi De Lagarde (của trường đại học Montpellier) và Evans (của trường đại học ST Andrews).

Trong hệ thống Darrieus có cánh điều khiển thì trọng tâm của cánh có sự lệch tương đối so với trục quay.

- Hệ thống Darrieus rotor có hình dạng hình học thay đổi.

Trong thử nghiệm giới hạn tốc độ quay, P.J. Musgrove và I. D. Mays của trường đại học Reading ở UK hệ thống Darrieus với các cánh hình chữ nhật và hình dạng thay đổi.

1.3. KẾT LUẬN.

Như vậy hệ thống HAWTs và VAWTs đã phát triển từ rất sớm cách đây hàng nghìn năm. Cho đến ngày nay nó vẫn rất được quan tâm, ở một số nước có sự phát triển rất mạnh mẽ hệ thống HAWTs và VAWTs, đã có nhiều công trình nghiên cứu của các nhà khoa học về máy phong điện, song nhìn chung việc tính toán thiết kế hệ thống cánh turbine trong máy phong điện vẫn luôn là một đề tài hết sức thu hút các nhà khoa học, nó đã và vẫn đang không ngừng được các nhà khoa học tìm tòi nghiên cứu cải tiến hoàn thiện hơn.

CHƯƠNG 2.

CƠ SỞ LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN KHÍ ĐỘNG HỌC TURBINE.

2.1. CÁC ĐỊNH LUẬT CƠ BẢN VÀ CÁC KHÁI NIỆM VỀ KHÍ ĐỘNG HỌC CÁNH TURBINE TRONG MÁY PHONG ĐIỆN.

Các máy sử dụng nguồn năng lượng gió có thể phân thành 2 nhóm chính là: hệ thống máy phong điện trục ngang và hệ thống máy phong điện trục đứng

Học thuyết của Betz được trình bày dưới đây liên quan chủ yếu đến hệ thống phong điện trục ngang. Tuy nhiên, công suất của hệ thống phong điện trục đứng được đánh giá so sánh với công suất tính toán lớn nhất bằng phương trình Betz.

Các khái niệm khí động lực học trên các kết cấu dạng cánh và hình dạng hình học tương tự nhau trên các hệ thống phong điện là như nhau đối với hệ thống trục ngang cũng như trong hệ thống trục đứng.

2.1.1. Học thuyết của Betz.

Các lý thuyết chung đầu tiên về turbine gió được xây dựng bởi A. Betz của Viện nghiên cứu Gottingen. Betz cho rằng Rotor gió là lý tưởng, nó không có Mayo và có số cánh vô tận và không đưa ra lực cản tới sự di chuyển của gió khi đi qua nó.

Như vậy nó là một máy biến đổi năng lượng sạch. Ngoài ra, các điều kiện trên tổng diện quét bởi Rotor giả thiết là không đổi và tốc độ của gió đi qua Rotor giả thiết là đều làm trục quay.

Như vậy ta cần chú ý đến Rotor gió lý tưởng ở bộ phận cột đỡ, bố trí địa điểm trong môi trường lưu động.

Trong đó:

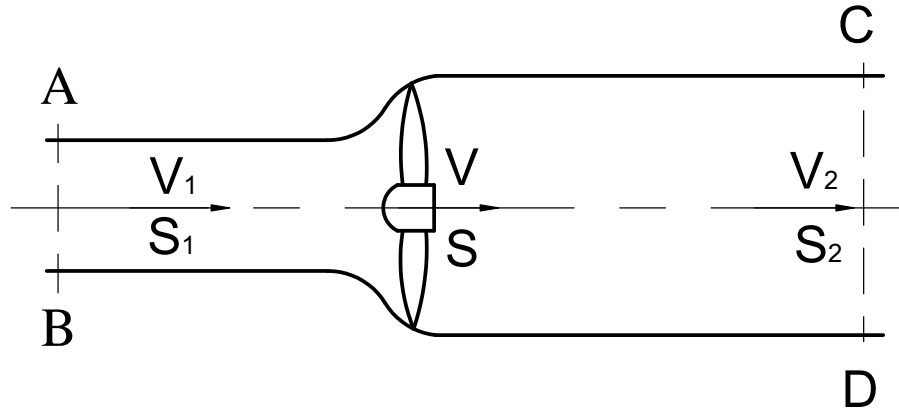
V_1 là vận tốc gió trước khi di chuyển qua turbine.

V là vận tốc gió thực tế di chuyển qua Rotor và giả thiết là đều tới diện tích quét của cánh S .

V_2 là vận tốc gió sau khi di chuyển qua turbine.

S_1 là diện tích mặt cắt của gió trước khi di chuyển qua Rotor.

S_2 là diện tích mặt cắt của gió sau khi di chuyển qua Rotor.



Hình 2.1. Khí động học cánh.

Việc chế tạo các Rotor gió chỉ có hiệu quả khi lực của gió bị giảm đi khi di chuyển qua Rotor, như vậy V_2 phải nhỏ hơn V_1 . Kết quả là diện tích mặt cắt ngang của cơn gió di chuyển qua Rotor tăng lên từ đầu cơn gió tới cuối cơn gió hay S_2 lớn hơn S_1 .

Nếu giả sử rằng cơn gió là không nén được, điều kiện liên tục (khối lượng gió là hằng số) có thể viết được:

$$S_1 V_1 = S V = S_2 V_2$$

Lực của cơn gió tác dụng lên Rotor, theo định lý Euler's là như nhau:

$$F = \rho S V (V_1 - V_2)$$

Công suất đạt được là:

$$P = F V = \rho S V^2 (V_1 - V_2)$$

Như vậy thấy rằng, công suất có được từ động năng. Sự biến thiên của động năng từ đầu cơn gió đến cuối cơn gió có giá trị:

$$\Delta T = \frac{1}{2} \rho S V (V_1^2 - V_2^2)$$

Cân bằng hai biểu thức P và ΔT ta được:

$$V = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

Lực tác dụng lên Rotor và công suất cung cấp được tính theo công thức:

$$F = \frac{1}{2} \rho S (V_1^2 - V_2^2)$$

$$P = \frac{1}{4} \rho S (V_1^2 - V_2^2) (V_1 + V_2)$$

Vận tốc gió ở phía trước Rotor là V_1 , ta có thể nghiên cứu sự biến thiên của công suất P theo hàm của V_2

Vi phân ta có:

$$\frac{dP}{dV_2} = \frac{1}{4} \rho S (V_1^2 - 2V_1V_2 - 3V_2^2)$$

$\frac{dP}{dV_2} = 0$ có 2 trường hợp:

- thứ nhất: $V_2 = -V_1$ thì bài toán không có ý nghĩa vật lý.
- thứ hai: $V_2 = V_1/3$ công suất đạt giá trị lớn nhất:

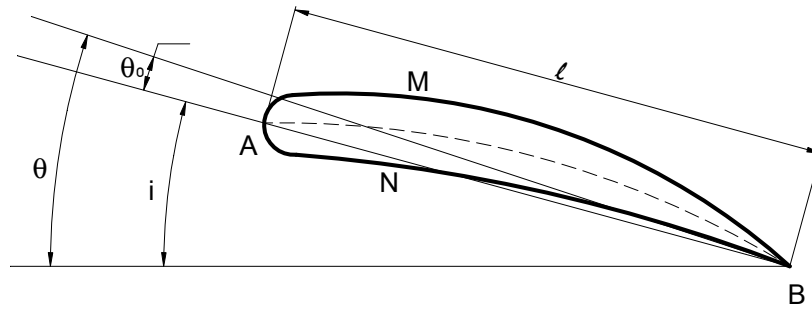
$$P_{\max} = \frac{8}{27} \rho S V_1^3$$

Trong đó ρ là trọng lượng riêng của không khí, ta thay $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$

$$P_{\max} = \frac{8}{27} \rho S V_1^3 = 0.37 S V_1^3$$

2.1.2. Cánh và kết cấu cánh: hình dáng hình học và khí động học cánh turbine.

Bộ phận chính của máy phong điện kiểu trục ngang hay trục đứng là bộ phận cánh. Điều đáng chú ý ở đây là khả năng quay của cánh. Để nó hoạt động tốt đặc biệt chú ý đến việc lựa chọn hình dạng và kích thước cánh tối ưu, kiến thức cơ bản về khí động học của cánh có hình dáng hình học khác nhau.



Hình 2.2. Hình dáng hình học cánh turbine.

2.1.2.1. Các khái niệm cơ bản.

Đầu nhọn của biên dạng cánh (điểm B) được gọi là “cánh sau”. “Cánh trước” là vị trí của điểm A ở đầu biên dạng cánh, là điểm cách xa điểm B nhất.

$AB = \ell$ là dây cung của biên dạng cánh.

AMB là bề mặt trên.

ANB là bề mặt dưới.

Góc tới i là góc hợp bởi dây cung và phương vectơ vận tốc \vec{V} của gió.

Góc nâng θ_0 bằng 0 là góc hợp bởi dây cung với đường trung hòa.

Góc nâng θ là góc hợp bởi đường trung hòa và vectơ vận tốc \vec{V} của gió.

$$i = \theta + \theta_0$$

$$\theta = i - \theta_0$$

Trong đó: θ_0 là âm, θ và i là dương.

2.1.2.2. Khí động lực học tác dụng làm cánh quay trong môi trường tĩnh.

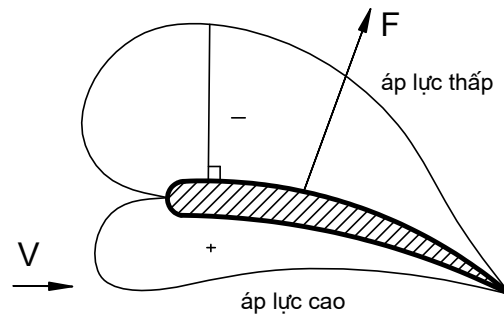
Nếu giả sử cánh được lắp trên giá đỡ và gió di chuyển tới với vận tốc V , nhưng chiều ngược lại, khí động lực học tác dụng lên cánh có giá trị không đổi. Lực tác dụng chỉ phụ thuộc vào vận tốc tương đối và góc đụng.

Áp lực của gió lên mặt của cánh không đều: Trên mặt trước áp lực giảm và trên mặt sau áp lực tăng. Mô tả đồ thị biến thiên của áp lực, ta vẽ trên đường vuông góc với mặt biên dạng cánh là các đoạn có chiều dài bằng K_p :

$$K_p = \frac{p - p_0}{\frac{1}{2}\rho V^2}$$

Trong đó p là áp lực tĩnh, vuông góc trên bề mặt cánh, và ρ , p_0 , V là các điều kiện.

K_p là âm khi các điểm nằm ở mặt trên của cánh, và dương ở mặt dưới của cánh.(hình 2.3)



Hình 2.3. Áp lực ở mặt trên và mặt dưới của cánh.

Tổng hợp lực của các lực tác dụng lên cánh là F

$$F = \frac{1}{2}\rho C_r S V^2$$

Trong đó:

ρ là trọng lượng riêng của không khí

S là diện tích được tính bằng: $S = (\text{dây cung}) \times (\text{chiều dài của cánh})$

C_r là toàn bộ hệ số khí động học

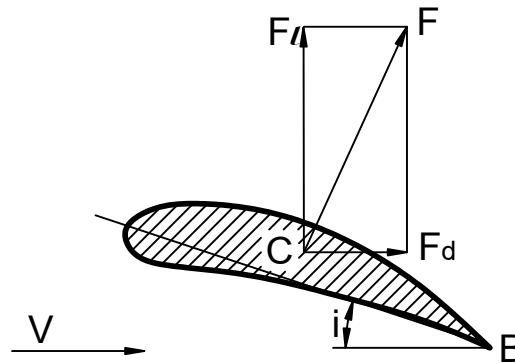
Lực này có thể chia thành 2 thành phần:

- thành phần song song với vectơ \vec{V} : lực cản \vec{F}_d
- thành phần vuông góc với vectơ \vec{V} : lực nâng \vec{F}_l

F_d và F_l được tính:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho C_d S V^2$$

$$F_\ell = \frac{1}{2} \rho C_\ell S V^2$$



Hình 2.4. Thành phần lực tác dụng lên cánh turbine.

Trong đó C_d và C_ℓ là hệ số cản và hệ số nâng. Vì F_d và F_ℓ vuông góc với nhau nên ta có:

$$F_d^2 + F_\ell^2 = F^2$$

Tương tự có:

$$C_d^2 + C_\ell^2 = C_r^2$$

Gọi M là mômen dọc của lực F , ta có hệ số mômen dọc C_m .

$$M = \frac{1}{2} \rho C_m S \ell V^2$$

Trong đó ℓ là chiều dài dây cung.

Do đó khí động lực học trên mặt cắt hình học có thể biểu diễn bằng lực cản, lực nâng, mômen dọc. Lúc này với mỗi giá trị của góc tới, sẽ có một điểm đặc biệt C mà tại đó mômen của lực F bằng 0. Điểm đặc biệt này là trung tâm của áp lực. Khí động học ảnh hưởng lên mặt cắt hình học của cánh có thể biểu diễn bằng lực

nâng và lực cản tác động vào điểm đó. Trung tâm của áp lực tương đối tới cánh trước được xác định bằng hệ số:

$$CP = \frac{AC}{AB} = \frac{x_\ell}{l} = \frac{C_m}{C_\ell}$$

Thông thường $CP = 25\% \div 30\%$.

2.1.2.3. Sự biến thiên của hệ số nâng và hệ số cản.

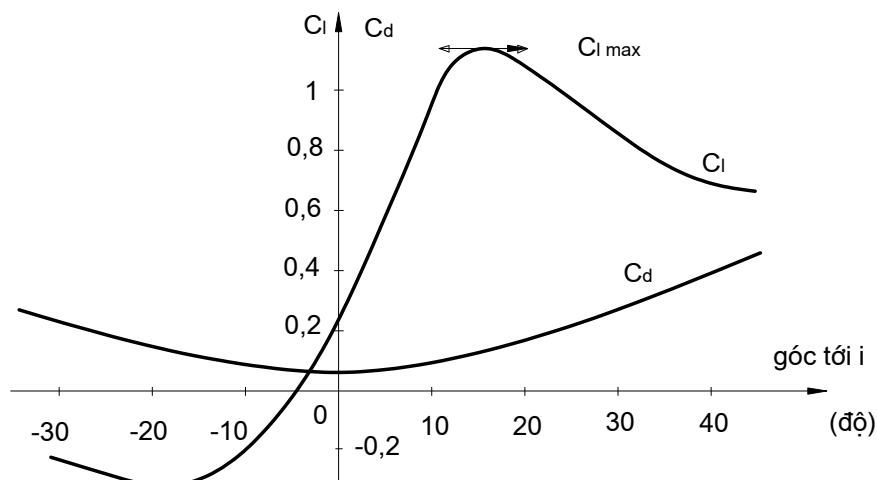
a. Sự biến thiên của C_ℓ và C_d .

Sự biến thiên của C_ℓ và C_d được thể hiện ở hình 2.5

Trước tiên xét sự biến thiên của hệ số nâng, biểu đồ biểu diễn là một đường cong, điểm cao nhất của đồ thị đạt giá trị C_ℓ max, tại điểm dừng i_M .

Sau điểm dừng, hệ số nâng giảm dần. C_ℓ đạt giá trị nhỏ nhất tại C_ℓ min.

Sự biến thiên đường cong hệ số cản là khác nhau: C_d đạt giá trị nhỏ nhất khi góc tới đạt giá trị nào đó.



Hình 2.5. Biểu đồ biến thiên của hệ số nâng và hệ số cản.

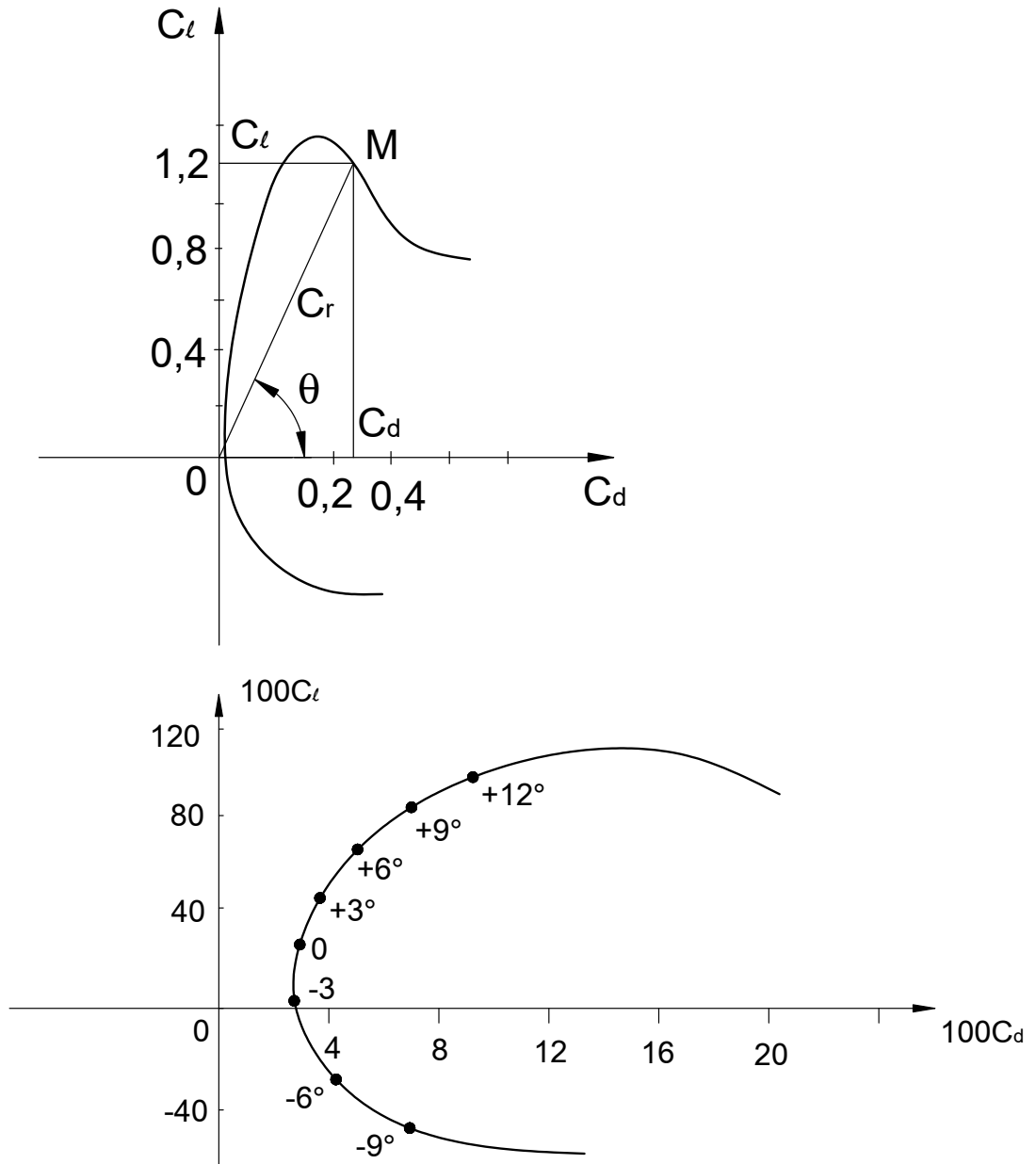
b. Hệ số nâng chống lại hệ số cản.

Sự biến thiên của hệ số nâng ngược với hệ số cản (hình 2.6)

Độ dốc của đường thẳng OM là: $\text{tg}\theta = C_\ell / C_d$

Khi OM tiếp xúc đường cong C_ℓ / C_d , $\text{tg}\theta$ đạt giá trị lớn nhất và C_ℓ / C_d đạt giá trị nhỏ nhất.

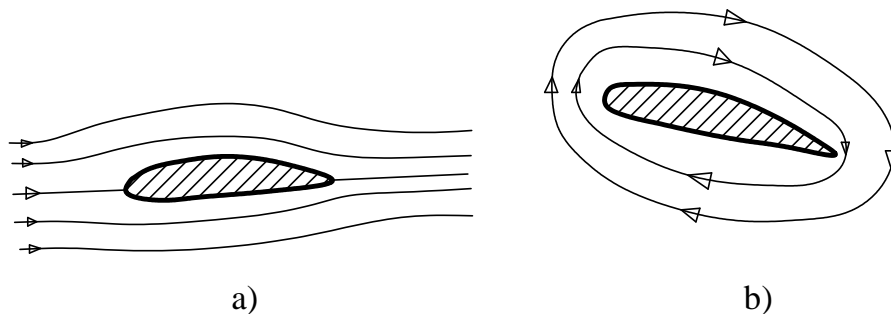
Sự biến thiên của đường cong thường được chia thành các giá trị độ theo góc tới.



Hình 2.6. Biểu diễn quan hệ giữa C_d và C_ℓ .

Nhận xét 1:

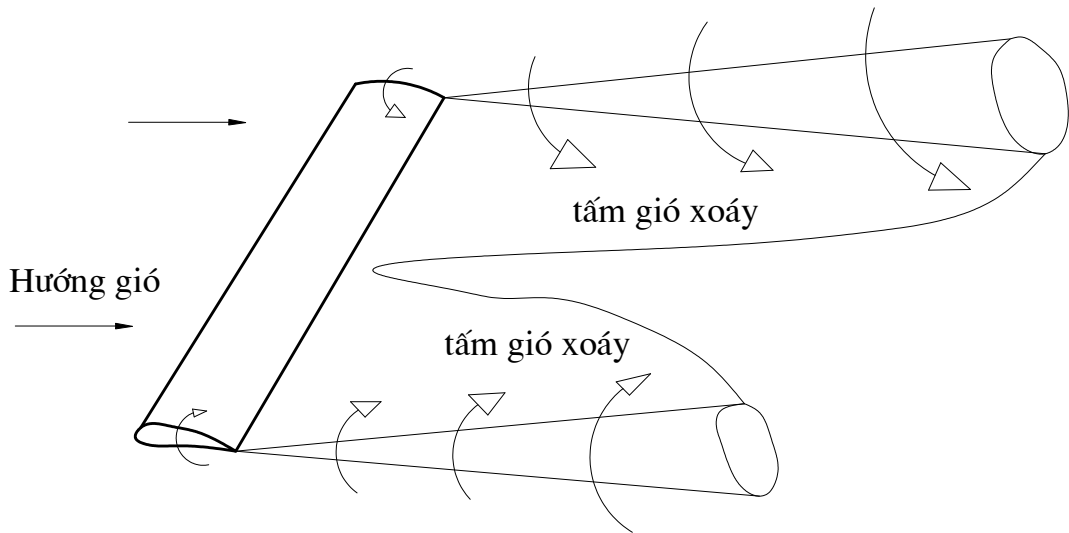
Phù hợp với định lý Bernouilli, vận tốc dòng khí phía trên cánh lớn hơn, và ở phía dưới cánh chậm hơn so với vận tốc của dòng lặng, ở xa biên dạng cánh. Như vậy, xung quanh dòng khí khí động học có thể coi như là sự kết hợp của 2 dòng khí khác nhau. Thứ nhất là dòng khí có phương vuông góc xung quanh cánh lực nâng bằng 0 khi cánh nằm ở vị trí dòng chảy đều. Thứ 2 là một dòng khí mà nó chuyển động tròn xung quanh cánh và thuận chiều ở bề mặt trên của cánh, và ngược chiều trên bề mặt dưới của cánh. Lực nâng của cánh là sự kết hợp của cả hai dòng khí này.(hình 2.7a)



Hình 2.7. Sự chuyển động của các dòng khí quanh cánh.

Nhận xét 2:

Kết quả trên chỉ áp dụng cho các cánh có chiều dài vô cùng lớn. Với cánh có chiều dài giới hạn thì các kết quả phải điều chỉnh. Áp lực trên mặt dưới của cánh lớn hơn áp lực không khí xung quanh ở mặt trên. Như vậy, ở các đầu mút không khí tiến đến từ mặt dưới về phía bề mặt trên. Kết quả là tạo ra gió xoáy ở các đầu mút của cánh. Trong thực tế, rất nhiều cơn gió xoáy được tạo ra dọc theo chiều dài cánh vì tác động của các đầu mút cánh. Có nhiều cơn xoáy nhỏ cuộn thành 2 cơn xoáy lớn vào phía trong của đầu mút cánh.(hình 2.8)



Hình 2.8. Xoáy hình móng ngựa.

Hệ quả của việc tạo ra các cơn xoáy làm gia tăng lực cản.

$$F_{di} = \frac{1}{2} \rho C_{di} S V^2$$

Như vậy hệ số cản là:

$$C_d = C_{d0} + C_{di}$$

Trong đó C_{d0} là hệ số cản của cánh có chiều dài vô cùng lớn.

Ngoài ra, xét lực nâng, góc tới phải tăng lên bằng giá trị ϕ . Như vậy góc tới mới nhận được giá trị:

$$i = i_0 + \phi$$

Trong máy phong điện, khi dòng khí phân bố theo hình Ellip thì C_{di} và ϕ được tính bởi công thức:

$$C_{di} = \frac{S}{L^2} \frac{C_\ell^2}{\pi} = \frac{C_\ell^2}{\pi a}$$

$$\phi = \frac{S}{L^2} \frac{C_\ell}{\pi} = \frac{C_\ell}{\pi a}$$

Trong đó S là diện tích của cánh

L là chiều dài, và a là hệ số co ($a = L^2/S$).

c. Các hệ số khí động học tương đối trên dây cung và pháp tuyến với dây cung.

Nếu ta dự kiến F trên dây cung và trên đường vuông góc với dây cung (hình 2.9a), ta có:

- trên dây cung:

$$F_t = \frac{1}{2} \rho S V^2 (C_d \cos i - C_l \sin i)$$

- trên đường vuông góc với dây cung:

$$F_n = \frac{1}{2} \rho S V^2 (C_l \cos i + C_d \sin i)$$

Biểu thức có thể viết như sau:

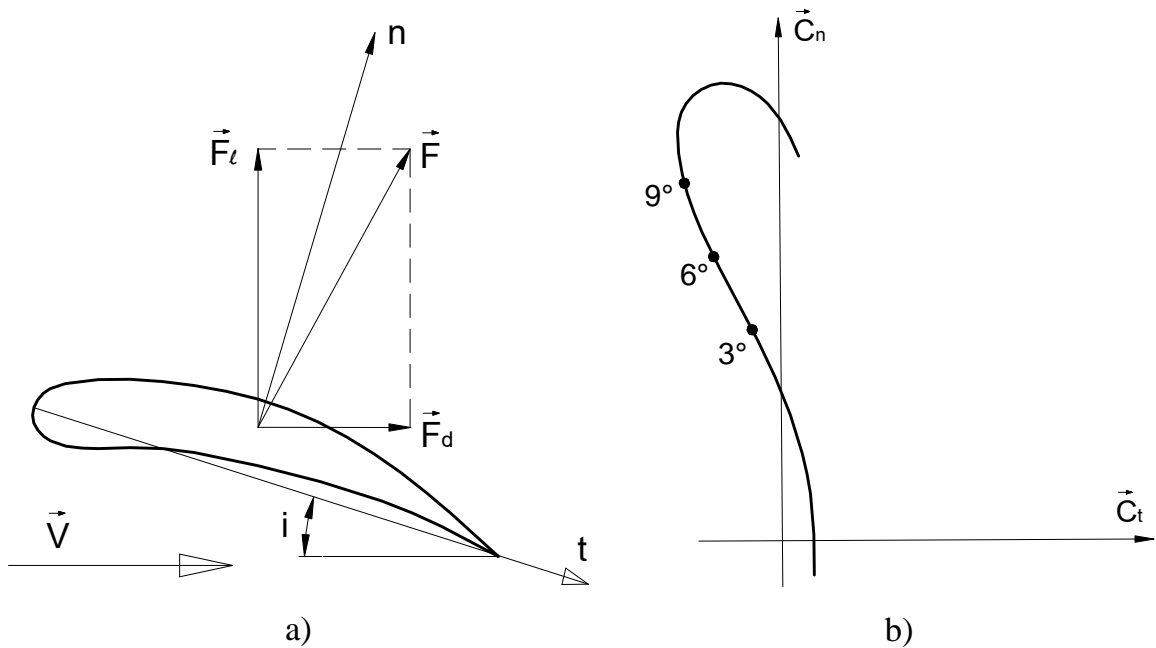
$$F_t = \frac{1}{2} \rho C_t S V^2 \quad \text{và} \quad F_n = \frac{1}{2} \rho C_n S V^2$$

Trong đó:

$$C_n = C_l \cos i + C_d \sin i$$

$$C_t = C_d \cos i - C_l \sin i$$

C_n tỷ lệ nghịch với C_t , được thể hiện ở hình 1.10b nó được gọi là “Lilienthal polar”.



Hình 2.9. Biểu diễn hệ số khí động học trên dây cung và tiếp tuyến với dây cung.

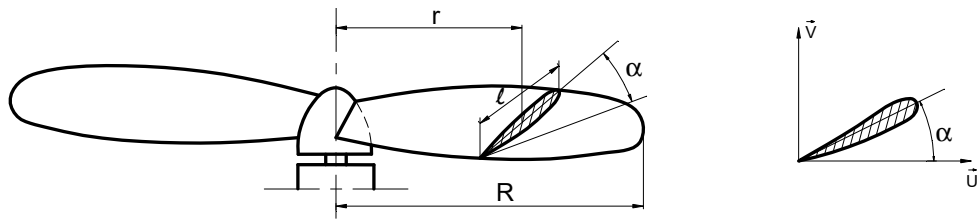
Trong thực tế, đồ thị được sử dụng để xác định độ dày của cánh sao cho chịu được lực khí động học tác dụng lên nó.

2.1.3. Khí động học của Rotor

2.1.3.1. Các khái niệm hình học

Các máy phong điện cổ điển hay các turbine gió hiện đại có nhiều cánh được gia cố trục và cấu tạo của Rotor. Ta đưa ra một số khái niệm sau:

- Trục Rotor: là trục quay của Rotor.
- Mặt phẳng quay: là mặt phẳng vuông góc với trục Rotor, nó là mặt phẳng do các cánh quay tạo nên.
- Đường kính Rotor: là đường kính phần diện tích quét của Rotor.



Hình 2.10. Thông số hình học cánh.

- Mặt cắt của cánh tại vị trí có bán kính r : là phần giao nhau của cánh với 1 ống trụ có bán kính r và có trục trùng với trục của Rotor.
- Góc lệch hay góc dốc: là góc α hợp bởi dây cung của mặt cắt cánh ở vị trí bán kính r và mặt phẳng quay.
- Độ dốc hình học của mặt cắt của cánh ở vị trí bán kính r : là độ dốc của đường xoắn ốc bán kính r có trục là trục Rotor, và nó tiếp tuyến với dây cung ở vị trí bán kính r . α là góc lệch ở vị trí bán kính r , độ dốc của mặt cắt được tính:

$$H = 2\pi r \cdot \text{tg}\alpha$$

2.1.3.2. Năng suất vận hành của một phần tử cánh (thuyết cơ bản)

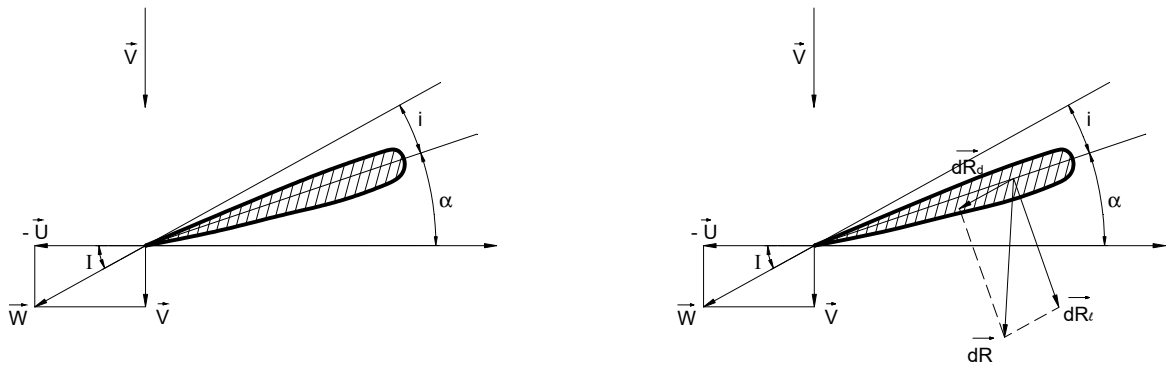
Xét 1 phần tử cánh chiều dài dr , dây cung ℓ và góc dốc α ở vị trí bán kính r trên rotor cánh.

Phần tử này có tốc độ trên mặt phẳng quay của Rotor là: $U = 2\pi rN$.

Nếu ta gọi vận tốc thực của gió là V khi đó vận tốc tương đối của gió tác dụng lên cánh là W . (hình 2.11)

$$\vec{V} = \vec{U} + \vec{W}$$

$$\vec{W} = \vec{V} - \vec{U}$$



Hình 2.11. Biểu diễn các thành phần vận tốc tác dụng trên mặt cắt ngang cánh.

Góc tới: $i = I - \alpha$

I là góc hợp bởi giữa \vec{W} và mặt phẳng quay của Rotor. I được gọi là góc nghiêng.

Như vậy phần tử cánh bị gió tác động với vận tốc tương đối \vec{W} . Phần tử cánh này sẽ chịu một khí động lực học dR . Lực dR có thể tách làm 2 thành phần là lực nâng dR_l và lực cản dR_d : dR_l có phương vuông góc với vận tốc tương đối \vec{W} , dR_d có phương song song với \vec{W} . Giá trị của C_l và C_d sẽ được tính toán liên quan đến góc tới i hay chính là việc sử dụng biên dạng cánh, dựng hình phần tử cánh.

Khí động lực học dR gây ra lực dọc trục do gió tác dụng vào Rotor và momen xoắn trên trục Rotor.

Ta có dF là hình chiếu của dR lên trục Rotor và dM là mômen tương đối của trục Rotor, là hình chiếu của dR lên mặt phẳng quay.

$$dF = dR_{\ell} \cos I + dR_d \sin I$$
$$dM = r(dR_{\ell} \sin I - dR_d \cos I)$$

Nếu ta đưa vào các mối quan hệ:

$$dR_{\ell} = \frac{1}{2} \rho C_{\ell} W^2 dS \quad \text{và} \quad dR_d = \frac{1}{2} \rho C_d W^2 dS$$

$$W^2 = V^2 + U^2 = V^2 + \omega^2 r^2$$

$$\omega r = \cot g i$$

$$dP = \omega dM$$

Ta thu được biểu thức dF , dM và dP như sau:

$$dF = \frac{1}{2} \rho V^2 dS (1 + \cos^2 I) (C_{\ell} \cos I + C_d \sin I)$$

$$dM = \frac{1}{2} \rho V^2 dS (1 + \cos^2 I) (C_{\ell} \sin I - C_d \cos I)$$

$$dP = \frac{1}{2} \rho V^3 dS \cdot \cos I (1 + \cos^2 I) (C_{\ell} \sin I - C_d \cos I)$$

2.1.3.3. Biểu thức tổng quát của áp lực, mômen và công suất.

Tổng hợp lực tác dụng F do gió gây ra trên Rotor và mômen M trên trục Rotor là tổng của tất cả các lực thành phần dF và các mômen thành phần dM tác dụng lên các cánh. Vì vậy công suất P truyền đi của gió đến Rotor và công suất sử dụng P_u tạo ra do turbine gió có thể tính toán mà không gặp khó khăn trong các điều kiện khác nhau, có các biểu thức:

$$P = \sum dF \cdot V = FV$$

$$P_u = M\omega$$

Hiệu suất là:

$$\eta = \frac{P_u}{P} = \frac{M\omega}{FV}$$

2.1.4. Hiệu suất của các máy phong điện có hình dáng hình học tương tự.

Ở trên chúng ta có tóm tắt khí động học tác dụng lên Rotor nhưng chúng ta bỏ qua một số hệ số kể đến ảnh hưởng của sự tương tác giữa các cánh. Các hệ số này cần thiết phải được thử nghiệm vật lý trên mô hình mẫu trong ống thổi khí động.

Với các hình dáng hình học máy và mẫu gió tương tự nhau ta thấy rằng: các góc tới của mỗi phần tử cánh trên các mẫu là giống nhau.

Với các điều kiện thấy rằng các hệ số phải bằng:

$$\frac{V_{11}}{V_{12}} = \frac{V_{21}}{V_{22}} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{W_{10}}{W_{20}} = \frac{U_{10}}{U_{20}}$$

Số 1 là chỉ mẫu chạy thử, số 2 chỉ mô hình vật làm mẫu.

V_{11} và V_{12} là các vận tốc tương ứng ở đầu cơn gió của mẫu chạy thử và mô hình vật làm mẫu.

V_{21} và V_{22} là vận tốc tương ứng ở cuối cơn gió

V_1 và V_2 là vận tốc gió đi qua các Rotor gió

U_{10} và U_{20} là tốc độ ở chu vi đường tròn trên mặt phẳng quay.

U_1 và U_2 là tốc độ ở chu vi của các phần tử của mẫu chạy thử và mô hình vật làm mẫu tương ứng.

Ta có các mối quan hệ:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{U_{10}}{U_{20}} = \frac{V_{11}}{V_{12}}$$

Có thể viết là:

$$\frac{U_{10}}{V_1} = \frac{U_{20}}{V_2} \quad \text{và} \quad \frac{U_{10}}{V_{11}} = \frac{U_{20}}{V_{12}}$$

Thứ nhất, từ biểu thức đầu ra ta có thể kết luận rằng các góc nghiêng I_0 bằng nhau ở các cánh của mẫu chạy thử và mô hình vật làm mẫu; thứ hai, hệ số tốc độ đầu cánh λ_0 phải giống nhau đối với mẫu chạy thử và mô hình vật làm mẫu.

Thực tế là, nếu chúng ta gọi I_1 và I_2 là các góc nghiêng ở các mặt cắt, ta có:

$$\cos I_1 = \frac{U_1}{V_1} = \frac{\omega_1 r_1}{V_1}$$
$$\cos I_2 = \frac{U_2}{V_2} = \frac{\omega_2 r_2}{V_1}$$

Có biểu thức:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{U_{10}}{U_{20}} = \frac{\omega_1 r_1}{\omega_2 r_2}$$

Suy ra:

$$\frac{\cos I_2}{\cos I_1} = \frac{\omega_2 r_2}{\omega_1 r_1} \frac{V_1}{V_2} = 1$$

Từ đó ta kết luận rằng góc nghiêng I là bằng nhau ở các cánh của mẫu chạy thử và mô hình vật làm mẫu.

Các góc dốc bằng nhau, các góc tới bằng nhau ($i = I - \alpha$). Như vậy C_ℓ và C_d có giá trị giống nhau.

Tìm các biểu thức của áp lực, mômen và công suất sinh ra bởi phần tử cánh:

$$dF = \frac{1}{2} \rho V^2 dS (1 + \cos^2 I) (C_\ell \cos I + C_d \sin I)$$

$$dM = \frac{1}{2} \rho V^2 r dS (1 + \cos^2 I) (C_\ell \sin I - C_d \cos I)$$

$$dP = \frac{1}{2} \rho V^3 dS \cos I (1 + \cos^2 I) (C_\ell \sin I - C_d \cos I)$$

Chia dF cho $\rho V^2 dS$, dM cho $\rho V^2 r dS$, dP cho $\rho V^3 dS$, ta được biểu thức chỉ có hai thừa số $\cos I$, C_ℓ và C_d . Ta thấy rằng giá trị của I , i , C_ℓ , C_d là giống nhau trên các phần tử tương tự nhau của mẫu chạy thử và mô hình vật làm mẫu khi điều kiện tương tự nhau.

$$\frac{dF_1}{\rho_1 V_1^2 dS_1} = \frac{dF_2}{\rho_2 V_2^2 dS_2}, \quad dF_1 = dF_2 \frac{\rho_1 V_1^2 dS_1}{\rho_2 V_2^2 dS_2} = dF_2 \frac{\rho_1 V_1^2 D_1^2}{\rho_2 V_2^2 D_2^2}$$

$$\frac{dM_1}{\rho_1 V_1^2 r_1 dS_1} = \frac{dM_2}{\rho_2 V_2^2 r_2 dS_2}, \quad dM_1 = dM_2 \frac{\rho_1 V_1^2 r_1 dS_1}{\rho_2 V_2^2 r_2 dS_2} = dM_2 \frac{\rho_1 V_1^2 D_1^3}{\rho_2 V_2^2 D_2^3}$$

$$\frac{dP_1}{\rho_1 V_1^3 dS_1} = \frac{dP_2}{\rho_2 V_2^3 dS_2}, \quad dP_1 = dP_2 \frac{\rho_1 V_1^3 D_1^2}{\rho_2 V_2^3 D_2^2}$$

Ta có thể nói rằng toàn bộ áp lực, mômen và công suất bằng tổng các ứng suất cơ sở, các mômen cơ sở, và các công suất cơ sở.

$$F_1 = \sum dF_1 = \frac{\rho_1 V_1^2 D_1^2}{\rho_2 V_2^2 D_2^2} \sum dF_2 = \frac{\rho_1 V_1^2 D_1^2}{\rho_2 V_2^2 D_2^2} F_2$$

Ta có thể viết:

$$\frac{F_1}{\rho_1 V_1^2 D_1^2} = \frac{F_2}{\rho_2 V_2^2 D_2^2}$$

Tương tự như trên có:

$$M_1 = \sum dM_1 = \frac{\rho_1 V_1^2 D_1^3}{\rho_2 V_2^2 D_2^3} \sum dM_2 = \frac{\rho_1 V_1^2 D_1^3}{\rho_2 V_2^2 D_2^3} M_2$$

$$\frac{M_1}{\rho_1 V_1^2 D_1^3} = \frac{M_2}{\rho_2 V_2^2 D_2^3}$$

Và:

$$P_1 = \sum dP_1 = \frac{\rho_1 V_1^3 D_1^2}{\rho_2 V_2^3 D_2^2} \sum dP_2 = \frac{\rho_1 V_1^3 D_1^2}{\rho_2 V_2^3 D_2^2} P_2$$

$$\frac{P_1}{\rho_1 V_1^3 D_1^2} = \frac{P_2}{\rho_2 V_2^3 D_2^2}$$

Các phương trình trước giả sử rằng các điều kiện là giống nhau.

Cuối cùng thể hiện rằng kết quả của mẫu chạy thử và mô hình vật làm mẫu có tỷ số tốc độ đầu cánh là bằng nhau.

2.2. NĂNG LƯỢNG CỦA GIÓ.

Bản chất của gió là hiện tượng đối lưu, các khối không khí di chuyển theo quy luật từ nơi có áp suất cao đến nơi có áp suất thấp tạo ra gió. Sự di chuyển của các khối không khí này mang theo năng lượng. Tốc độ của gió thay đổi liên tục theo thời gian.

Năng lượng của khối không khí di chuyển với tốc độ V qua một diện tích A có thể được tính toán bằng công thức:

$$P = 1/2\rho AV^3 \text{ (w)}$$

Trong đó:

P : công suất của gió.

ρ : là mật độ không khí (trọng lượng riêng của không khí) (kg/m^3).

V : là tốc độ khối không khí (tốc độ gió) (m/s).

Năng lượng của cơn gió tỷ lệ với mật độ không khí ρ , diện tích chặn gió A (chính là diện tích Rotor của turbine gió) và vận tốc gió lũy thừa 3. Mật độ không khí là một hàm của áp suất không khí và nhiệt độ không khí:

$$\rho(z) = \frac{P_0}{RT} \exp\left(\frac{-gz}{RT}\right)$$

Trong đó:

$\rho(z)$: là hàm mật độ không khí trên mực nước biển (kg/m^3).

P_0 : là áp suất khí quyển ($1,225 \text{ kgm}^3$).

R : là hằng số khí đặc biệt của không khí ($287,05 \text{ J / (kg.K)}$).

g : là gia tốc trọng trường (9.81 m/s^2).

T : là nhiệt độ (K).

z : là độ cao trên mực nước biển (m).

Năng lượng của cơn gió là năng lượng tổng đạt được trong 1 đơn vị thời gian. Năng lượng gió được chuyển đổi thành năng lượng cơ khí qua chuyển động quay của Roto turbine gió.

Điều đáng chú ý là công suất gió tăng theo lũy thừa 3 của vận tốc gió và vì thế vận tốc gió là một trong những yếu tố quyết định khi muốn sử dụng năng lượng gió.

Công suất gió được sử dụng thông qua turbine gió để phát điện nhỏ hơn rất nhiều so với năng lượng của luồng gió vì vận tốc của gió ở phía sau một turbine không thể giảm xuống bằng không. Trên lý thuyết chỉ có thể lấy tối đa là 59,3% năng lượng tồn tại trong luồng gió. Trị giá của tỷ lệ giữa công suất lấy ra được từ gió và công suất tồn tại trong gió được gọi là hệ số Betz, do Albert Betz tìm ra vào năm 1926.

$$P_{\text{Betz}} = 1/2\rho AV^3 C_{p \text{ Betz}} = 1/2\rho AV^3 \cdot 0,593$$

Trong đó :

P: là mật độ năng lượng.

A: là diện tích quét của cánh turbine.

V: là vận tốc gió - Mật độ năng lượng trên một đơn vị thể tích dòng chảy không khí.

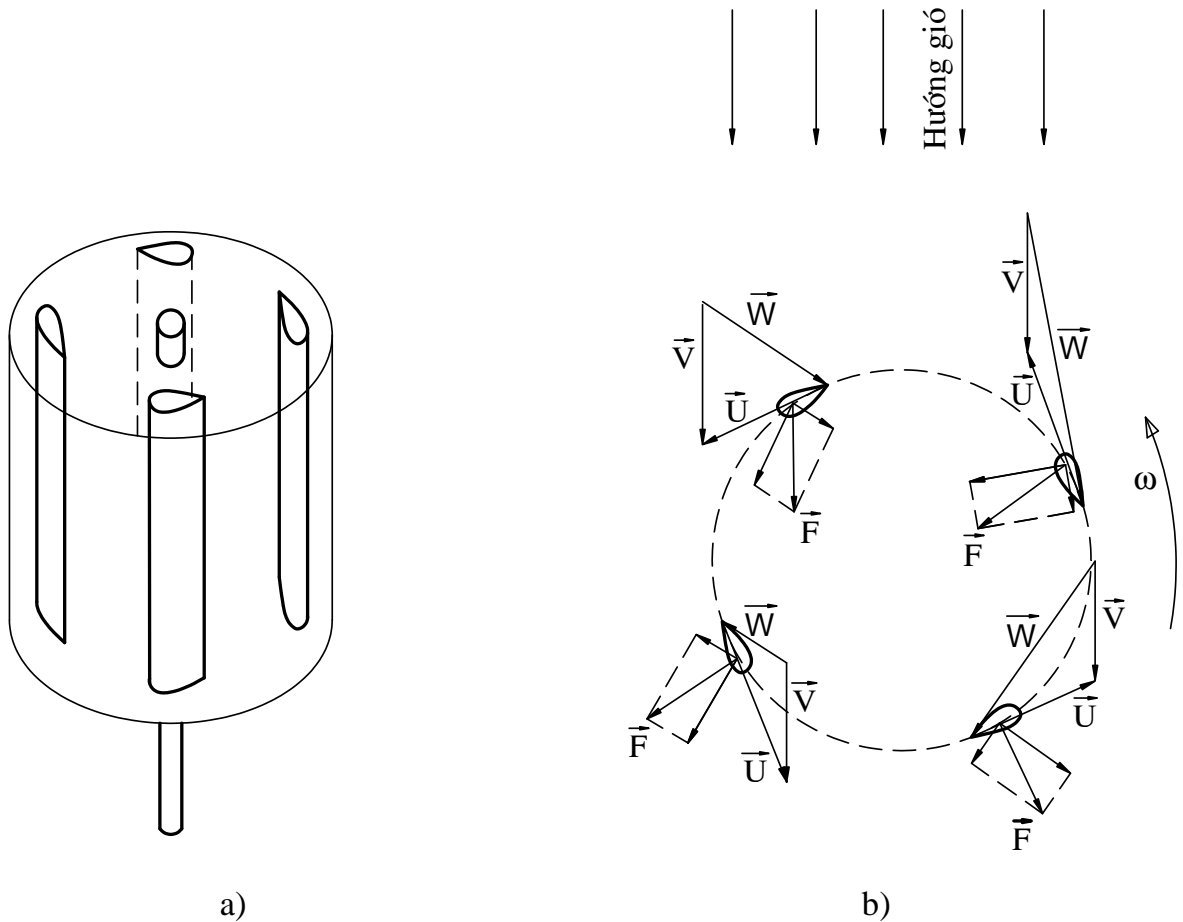
Số 0,593 được gọi là giới hạn Betz hoặc hệ số Betz.

2.3. LỰC VÀ SỰ PHÂN BỐ LỰC TRÊN BỀ MẶT CÁNH TURBINE.

Hệ thống máy phong điện có cánh turbine gắn cứng được phát minh đầu tiên vào năm 1931 ở nước Pháp. Hệ thống gồm các cánh được liên kết bởi các mối nối cứng, thông thường biên dạng của chúng là hai mặt lồi, chúng có nhiều kiểu như hệ thống cánh kiểu hình trụ, hình nón, hình cầu hay kiểu parabol. Song bất cứ kiểu biên dạng nào chúng cũng đều hoạt động theo một nguyên lý chung.

2.3.1. Nguyên lý.

Nhờ lực của gió tác động vào cánh turbine làm Rotor chuyển động. Khi nghiên cứu khí động lực học của cánh turbine có modun thay đổi ta có kết quả như hình 2.12.



Hình 2.12. Thành phần lực và vận tốc trên cánh turbine.

Gió chuyển động với vận tốc tương đối là \vec{W} khi tác động vào cánh turbine, \vec{V} là vận tốc thực của gió và \vec{U} là vận tốc vòng, ta có: $\vec{V} = \vec{U} + \vec{W}$ hoặc có thể được viết là: $\vec{W} = \vec{V} - \vec{U}$. Nếu biết được vectơ vận tốc \vec{V} và \vec{U} , ta có thể xác định được vectơ \vec{W} và từ đó có thể nắm bắt được nguyên lý khí động học của cánh turbine. Nếu vận tốc gió là hằng số và phương chuyển động của Roto là giả định thì việc tính toán không gặp nhiều khó khăn.

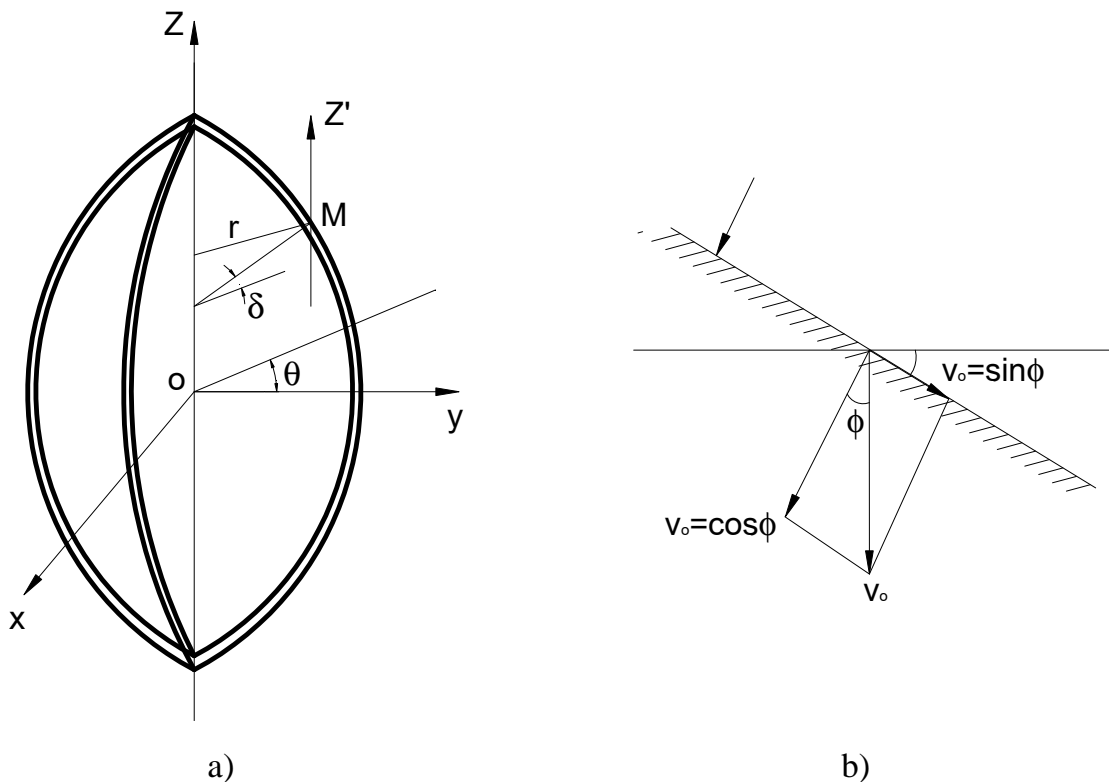
Nghiên cứu tam giác vectơ vận tốc của cánh turbine ở các vị trí khác nhau thấy rằng các lực tạo ra mômen quay ở tất cả các vị trí, trừ khi biên dạng của cánh (cánh đối xứng) có phương song song với hướng gió.

Góc tạo bởi hướng gió với profile cánh không vượt quá giá trị giới hạn $i_{\max} = \sin^{-1}(V/U)$. Góc này nhọn nếu vận tốc vòng \vec{U} của Rotor lớn hơn so với vận tốc gió \vec{V} .

2.3.2. Nghiên cứu Rotor Darrieus.

Nghiên cứu nguyên lý của Rotor Darrieus với các cánh dạng parabol, được R.J. Templin người Canada tìm ra trong phòng thí nghiệm.

Ở đây ta thảo luận nguyên lý hoạt động của Rotor Darrieus với cánh dạng trục đứng, nghiêng, dạng cầu, dạng parabol.



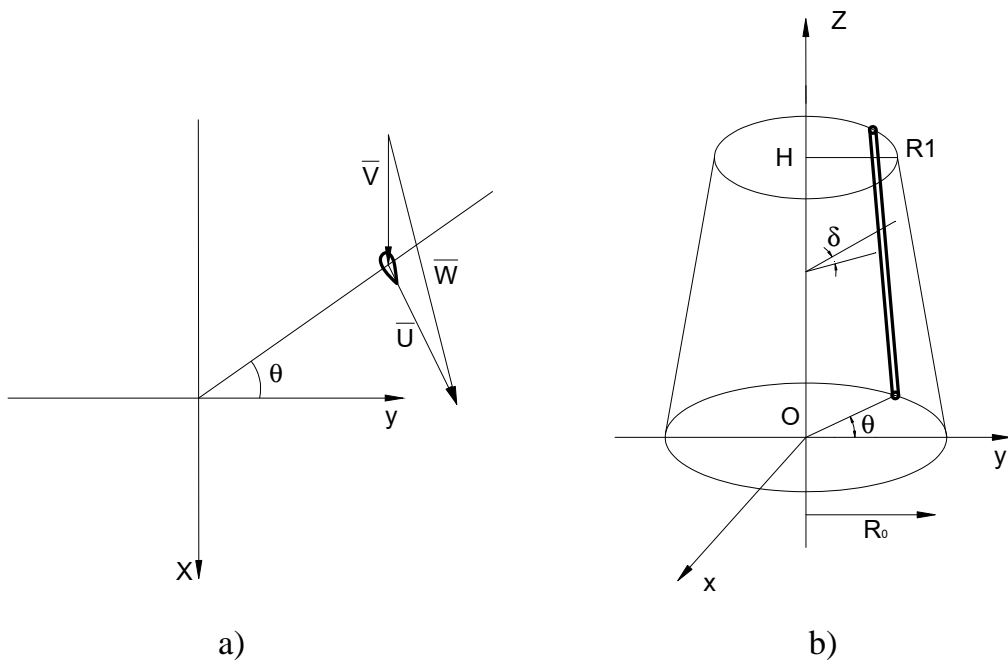
Hình 2.13. Thành phần vận tốc trên Rotor Darrieus.

Khí động học của cánh turbine có vai trò rất quan trọng cụ thể là:

Tại vị trí cánh nghiêng lực nâng được xem như là thành phần $V_0 \cos\phi$ có phương vuông góc với phương nghiêng của cánh. Góc tới được xác định giới hạn bởi thành phần: phương vuông góc với dây cung của cánh và phương vuông góc với phương nghiêng của cánh. Thành phần $V_0 \sin\phi$ song song với phương nghiêng của cánh và thành phần này không ảnh hưởng tới chuyển động của cánh (hình 2.13).

Ta hình dung 1 hệ trục tọa độ cố định $Oxyz$ và Rotor Darrious quay quanh trục thẳng đứng Oz . Vận tốc của gió tới Rotor là V có phương song song với Ox (hình 2.14).

Ta xét 1 phần tử trên cánh tại điểm M là trung điểm của dây cung ℓ và có chiều dài ds , r là khoảng cách giữa phần tử xét tới trục quay và θ là góc giữa mặt phẳng Oyz và mặt phẳng thẳng đứng được tạo bởi trục quay và đường vuông góc với dây cung tại điểm M của phần tử cánh đang xét. (ta có thể giả thiết rằng mặt phẳng này là duy nhất cho tất cả các phần tử của cùng cánh). Góc δ là góc giữa pháp tuyến của phần tử cánh và mặt phẳng nằm ngang.



Hình 2.14. Thành phần vận tốc trên H-rotor.

Rotor cánh có dạng parabol có chiều cao $2H$ có tâm O :

$$\frac{r}{R} = 1 - \frac{z^2}{H^2}$$

$$\delta = \text{tg}^{-1}(2zR/H^2)$$

Rotor cánh có dạng trụ với các cánh hình chữ nhật trục thẳng đứng:

$$r = R \text{ và } \delta = 0$$

Rotor có thân dạng nón:

$$r = R_0 - (R_0 - R_1)z/H$$

$$\delta = \text{tg}^{-1}((R_0 - R_1)/H)$$

Tính toán thành phần của vận tốc tương đối \vec{W} theo hướng của dây cung của phần tử cánh và phương vuông góc với dây cung của cánh và phương vuông góc với phương nghiêng của cánh. Trong quá trình tính toán ta thừa nhận các đường trục phụ sau (ở hình 2.13; 2.14):

Trục thẳng đứng Mz' có chiều dương hướng lên trên, Mt là dây cung đặc biệt có chiều dương hướng tới mặt quét của cánh, Mr có phương nằm ngang, vuông góc với dây cung.

Vận tốc tương đối \vec{W} liên hệ với vận tốc tiếp tuyến $U = \omega r$ và vận tốc thực của gió \vec{V} là:

$$\vec{W} = \vec{V} - \vec{U}$$

Véc tơ \vec{W} là tổng của 2 véc tơ nằm ngang thì nó sẽ có phương nằm ngang. Các thành phần của \vec{W} xác định theo các phương ở trên là:

$$W_r = V \sin \theta ; W_t = U + V \cos \theta ; W_z = 0$$

Ta có:

$$W_t = U + V \cos \theta = r\omega + V \cos \theta$$

Vận tốc W được dùng để xác định lực tác dụng lên cánh, W được tính như sau:

$$W^2 = (r\omega + V \cos\theta)^2 + V^2 \sin^2\theta \cos^2\delta$$

Góc tới i được xác định:

$$\operatorname{tgi} = \frac{V \sin\theta \cos\delta}{r\omega + V \cos\theta}$$

Ước tính các thành phần của lực tác động lên cánh:

Áp lực động $q = 1/2\rho W^2$ và ℓ là chiều dài dây cung của biên dạng đang xét. C_n và C_t là các hệ số khí động học (song song và vuông góc tới dây cung tương ứng)

$$C_t = C_\ell \sin i - C_d \cos i$$

$$C_n = C_\ell \cos i + C_d \sin i$$

ds là chiều dài phần tử cánh xét ở trên. Các thành phần của khí động lực học theo phương dây cung và phương vuông góc tới phần tử cánh là:

$$dN = C_n q \ell \frac{dz}{\cos\delta}$$

$$dT = C_t q \ell \frac{dz}{\cos\delta}$$

ds và dz liên hệ với nhau bằng biểu thức:

$$dz = ds \cos\delta$$

Ta giải bài toán các thành phần lực và tổng hợp lực của gió tác dụng lên Rotor:

$$\begin{aligned} dF &= dN \cos\delta \sin\theta - dT \cos\theta \\ &= q \ell \left(C_n \sin\theta - C_t \frac{\cos\theta}{\cos\delta} \right) dz \end{aligned}$$

Trong mỗi cánh lực cơ sở thay đổi khi cánh quay. Thành ra ta cần tính toán giá trị trung bình.

Xác định các điều kiện và giả thiết rằng chiều dài dây cung của cánh là hằng số, lực theo phương tác dụng của gió lên Rotor được tính là:

$$F = \frac{b\ell}{2\pi} \int_{-H}^{+H} \int_0^{2\pi} q \left(C_n \sin\theta - C_t \frac{\cos\theta}{\cos\delta} \right) d\theta dz$$

Đạo hàm biểu thức mômen quay và công suất:

Mômen của khí động lực học tác dụng lên phần tử cánh quanh trục quay là như nhau và được tính bằng:

$$dM = \frac{C_t q \ell}{\cos \delta} r dz$$

Như vậy mômen quay của Rotor là:

$$M = \frac{b \ell}{2\pi} \int_{-H}^{+H} \int_0^{2\pi} \frac{C_t q r}{\cos \delta} d\theta dz$$

Công suất sẽ là:

$$P = M\omega = \frac{b \ell}{2\pi} \int_{-H}^{+H} \int_0^{2\pi} \frac{C_t q r \omega}{\cos \delta} d\theta dz$$

Kết quả tính toán không như của R.J. Templin, nhưng phương pháp được ứng dụng trong kỹ thuật, nó là cơ sở trong các định luật và các kết quả là như nhau.

Biểu thức trên ta thấy không có thông số của vận tốc gió V_1 . Kết quả này rất quan trọng trong thuyết của Betz.

Ta thấy rằng các lực tác dụng trên hệ thống cánh turbine gió trục ngang được tính là:

$$F = \rho S V (V_1 - V_2)$$

Đặt $V_2 = kV_1$, vận tốc gió qua Rotor có thể được viết là:

$$V = \frac{1}{2}(V_1 - V_2) = V_1 \frac{(1 + k)}{2}$$

Như vậy F sẽ được tính là:

$$F = \frac{1}{2} \rho S (V_1^2 - V_2^2) = \frac{1}{2} \rho S V_1^2 (1 - k^2) = 2\rho S V^2 \frac{1 - k}{1 + k}$$

Giả thiết rằng lý thuyết của Betz là đúng với turbine gió trục đứng. Biểu thức tính toán của F cho turbine gió trục đứng là:

$$2\rho S V^2 \frac{1-k}{1+k} = \frac{b\ell}{2\pi} \int_{-H}^{+H} \int_0^{2\pi} q \left(C_n \sin\theta - C_t \frac{\cos\theta}{\cos\delta} \right) d\theta dz$$

Trong đó: $q = 1/2\rho W_u^2$, ta được:

$$G = \frac{1-k}{1+k} = \frac{b\ell}{8\pi S} \int_0^\pi \frac{W_u^2}{V^2} \left(C_n \sin\theta - C_t \frac{\cos\theta}{\cos\delta} \right) d\theta dz$$

Khi đó:

$$\frac{W_u^2}{V^2} = \left(\frac{r\omega}{V} + \cos\theta \right)^2 + \sin^2\theta \cos^2\delta$$

$$\text{Có: } \frac{\omega r}{V} = \frac{r}{R} \cdot \frac{\omega R}{V}, \text{ từ đó: } \frac{W_u^2}{V^2} = \left(\frac{\omega R}{V} \frac{r}{R} + \cos\theta \right)^2 + \sin^2\theta \cos^2\delta$$

$$\text{Tương tự: } tgi = \frac{\sin\theta \cdot \cos\delta}{\frac{\omega W}{V} \cdot \frac{r}{R} + \cos\theta}$$

Có thể đưa ra quan hệ giữa $\omega R/V$ tới G và k từ đó:

$$k = \frac{1-G}{1+G}$$

Biết được k , ta có tỷ số tốc độ:

$$\lambda_0 = \frac{\omega R}{V_1} = \frac{\omega R}{V} \left(\frac{1+k}{2} \right) = \frac{\omega R}{V(1+G)}$$

2.3.3. Hệ số công suất và hệ số mômen.

Hệ số công suất được tính bằng:

$$C_p = \frac{2P}{\rho S V_1^3} = \frac{b\ell}{2\pi S} \int_{-H}^{+H} \int_0^{2\pi} C_t \frac{W_u^2}{V_1^3} \frac{\omega r}{\cos\delta} dz d\theta$$

Ta có thể viết:

$$\frac{W_u^2}{V_1^3} \cdot \omega r = \frac{W_u^2}{8V^2} \cdot \frac{\omega R}{V} \cdot \frac{r}{R} (1+k)^3$$

Từ phương trình C_p có thể tính được các giá trị khác nhau theo $\omega R/V$. Với mỗi giá trị của $\omega R/V$ tương ứng ta có một giá trị của λ_0 .

Hệ số mômen liên hệ với hệ số công suất qua biểu thức:

$$C_p = C_m \lambda_0$$

Suy ra:

$$C_m = \frac{C_p}{\lambda_0} = \frac{2P}{\rho S V_1^3} \cdot \frac{V_1}{\omega R} = \frac{2M}{\rho S R V_1^2}$$

2.4. KẾT LUẬN.

Việc tính toán thiết kế hệ thống VAWTs đã được chú trọng rất nhiều trong những năm gần đây, tính toán với những hệ thống VAWTs có cánh turbine gắn cứng gặp rất nhiều khó khăn nhưng việc tính toán thiết kế hệ thống VAWTs có cánh điều khiển được còn khó khăn hơn rất nhiều. Đây vẫn còn là đề tài hết sức nóng bỏng đang được chú trọng quan tâm không chỉ ở nước ta mà còn của cả thế giới.

Hệ thống VAWTs điều khiển được góc xoay cánh có tính tối ưu về khả năng hứng gió tức là tối ưu về công suất máy hơn rất nhiều hệ thống VAWTs có cánh gắn cứng. Hơn nữa phong điện còn là một giải pháp mở ra thời kỳ năng lượng sạch và có tính bền vững cho loài người.

CHƯƠNG 3.

TÍNH TOÁN THIẾT KẾ MÔ HÌNH CÁNH TURBINE.

3.1. ĐẶT VẤN ĐỀ.

So sánh giữa hệ thống phong điện trục đứng và trục ngang:

- Về lý thuyết, hệ thống trục đứng có những ưu điểm nổi trội so với hệ thống trục ngang: Có thể hoạt động ở tốc độ gió thấp, do đó độ cao của tháp thấp hơn, độ an toàn trong bão cao hơn; hiệu suất chuyển đổi công suất gió sang cơ học cao hơn (tới 50%), do đó chi phí sản xuất, tiêu hao vật tư và chi phí đầu tư thấp hơn; khả năng công nghệ tốt hơn.

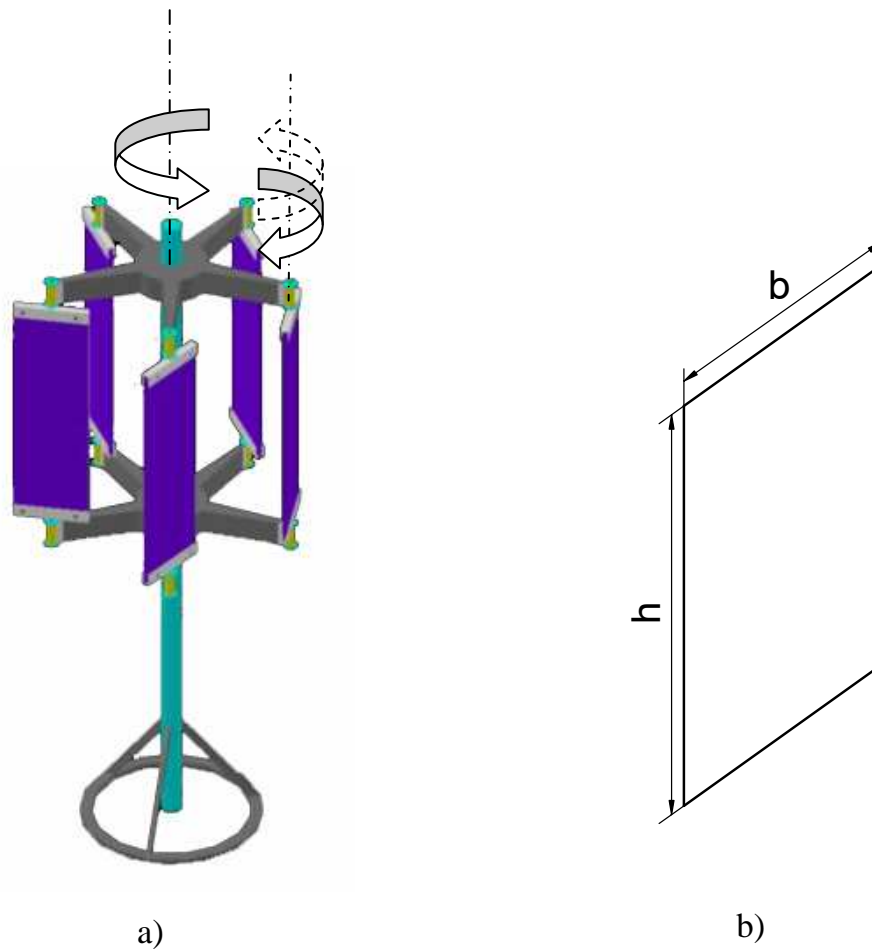
- Tuy nhiên, để phát huy được những ưu điểm trên, đặc biệt là việc nâng cao hiệu suất chuyển đổi công suất gió sang cơ học ở các hệ thống có công suất lớn, đòi hỏi các cánh turbine phải có khả năng điều chỉnh chống cản gió trong hành trình không sinh công. Vấn đề này hiện chưa có được một nguyên lý cũng như công nghệ phù hợp (chi phí về hệ thống điều khiển và công suất điều khiển quá lớn so với công suất phát điện của hệ thống). Vì vậy, hệ thống trục đứng mới chỉ phổ biến ở dạng công suất nhỏ, không có cơ cấu điều khiển góc hứng gió của các cánh. Trên thực tế, hiệu suất chuyển đổi gió sang cơ học ở các hệ thống này mới chỉ dừng lại ở mức 45-50%, so với các hệ thống trục đứng là dưới 40%. Và các hệ thống phong điện đang được phát triển và ứng dụng phổ biến là các hệ thống kiểu trục ngang, đặc biệt là các hệ thống công suất lớn (từ hàng trăm KW đến 6MW).

- Tại Việt Nam, với thực trạng năng lực sản xuất của ngành công nghiệp chế tạo trong nước, việc theo đuổi thiết kế và chế tạo các hệ thống kiểu trục ngang là chưa khả thi, cộng với đó là điều kiện áp dụng của chúng ta không thực sự thuận lợi như một số nước (Đức, Đan mạch, vv) ở chỗ: tốc độ gió trung bình thấp và thường xuyên chịu ảnh hưởng của bão lớn. Vì vậy, việc phát triển hệ thống kiểu trục đứng chắc chắn có nhiều thuận lợi và khả thi hơn.

Từ những lý do trên, cho thấy việc đặt vấn đề nghiên cứu, tính toán thiết kế hệ thống turbine gió kiểu trục đứng có khả năng điều khiển góc hứng gió của các cánh

turbine trong mỗi hành trình nhằm đạt hiệu quả chuyển đổi công suất gió sang cơ học ở mức tối đa (mức giới hạn theo định luật Betz là 59%) là rất cấp thiết, có ý nghĩa khoa học và ý nghĩa thực tiễn cao. Sự thành công về phương pháp và công nghệ điều khiển cánh turbine sẽ có tính đột phá, cho phép mở ra một tiềm năng chế tạo và phát triển công nghệ phong điện kiểu trực đứng công suất lớn phù hợp với điều kiện sản xuất và ứng dụng tại Việt Nam.

3.2. KIỂU DÁNG HÌNH HỌC CÁNH TURBINE THIẾT KẾ.



Hình 3.1. a) Mô hình hệ thống cánh turbine nghiên cứu.

b) Hình dáng hình học cánh turbine dạng tấm.

b – là chiều rộng cánh.

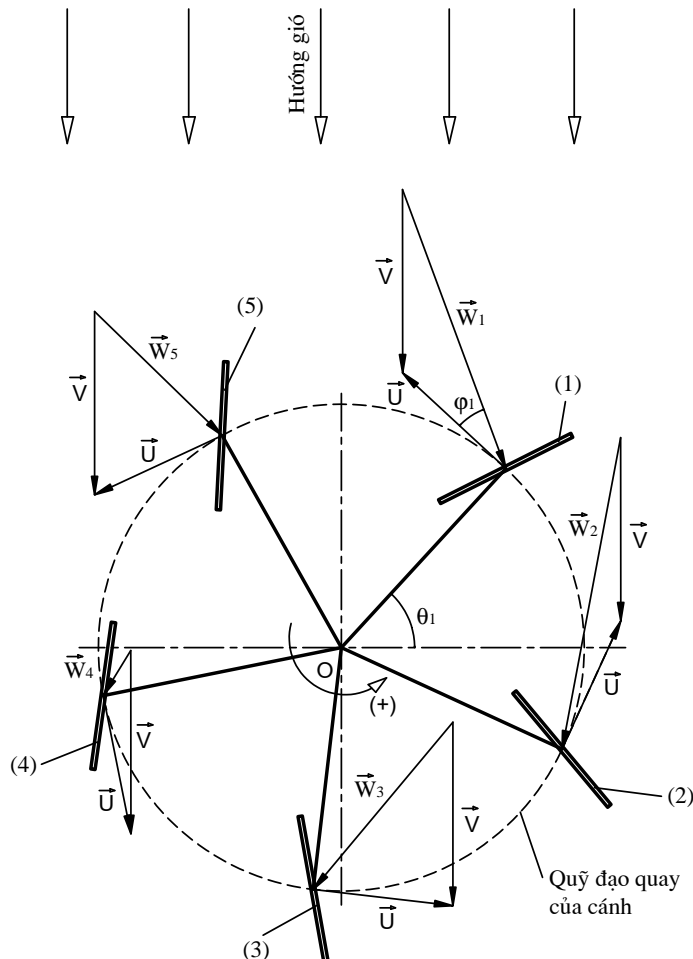
h – là chiều cao cánh.

Sau khi tìm hiểu và nghiên cứu, luận văn đi sâu nghiên cứu hệ thống cánh turbine gió kiểu H – Rotor có hình dáng hình học cánh đơn giản, đó là cánh có dạng tấm phẳng. Vẫn dựa trên nguyên tắc cấu tạo của hệ thống H – Rotor song ở đây đề tài đi sâu nghiên cứu tính toán thiết kế hệ thống có 5 cánh và các cánh điều khiển góc hứng gió được. (hình 3.1)

3.3. KÍCH THƯỚC HÌNH HỌC CÁNH.

3.3.1. Bài toán khí động học cánh turbine dạng tấm phẳng.

Nhờ lực của gió tác động vào cánh turbine làm Rotor chuyển động. Ta có kết quả phân tích véc tơ vận tốc như hình 3.2



Hình 3.2. Biểu diễn các véc tơ vận tốc tác dụng lên các cánh turbine.

Gió chuyển động với vận tốc tương đối là \vec{W} khi tác động vào cánh turbine, \vec{V} là vận tốc thực của gió và \vec{U} là vận tốc vòng (vận tốc tiếp tuyến), ta có:
 $\vec{V} = \vec{U} + \vec{W}$ hoặc có thể được viết là: $\vec{W} = \vec{V} - \vec{U}$. Nếu biết được vectơ vận tốc \vec{V} và \vec{U} , ta có thể xác định được vectơ \vec{W} .

Vận tốc tương đối \vec{W} liên hệ với vận tốc tiếp tuyến $U = \omega r$ và vận tốc thực của gió \vec{V} là:

$$\vec{W} = \vec{V} - \vec{U}$$

Hoặc: $\vec{W} = \vec{W}_r + \vec{W}_t$

Trong đó: \vec{W}_r là véc tơ vận tốc \vec{W} chiếu lên phương pháp tuyến.

\vec{W}_t là véc tơ vận tốc \vec{W} chiếu lên phương tiếp tuyến.

* **Xét cánh số 1:** (hình 3.3)

Có: $W_{r1} = V \cdot \sin\theta_1$

$$W_{t1} = U + V \cdot \cos\theta_1$$

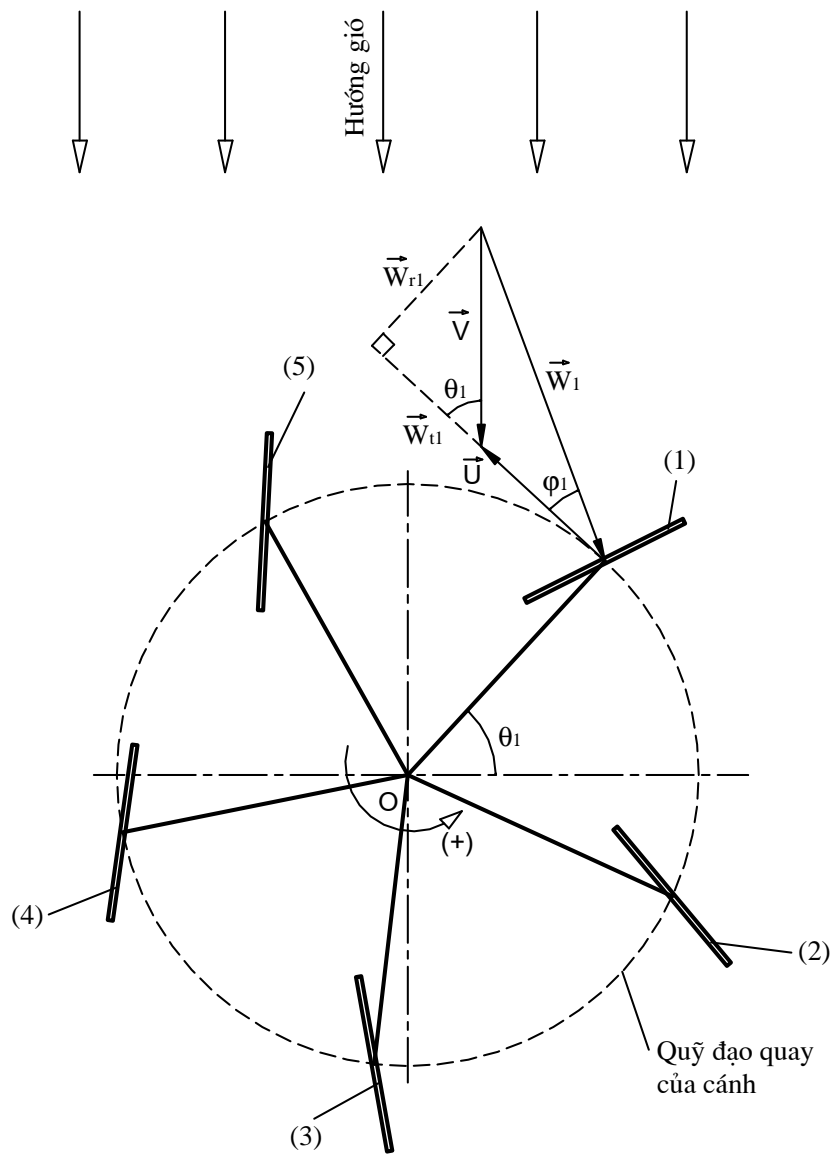
$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{W_{r1}}{W_{t1}} = \frac{V \cdot \sin\theta_1}{U + V \cdot \cos\theta_1} = \frac{\sin\theta_1}{\frac{U}{V} + \cos\theta_1}$$

Đặt $\lambda = \frac{U}{V} = \frac{\omega r}{V}$, λ được gọi là tỷ số tốc độ (Tip speed ratio).

Trong đó: ω là vận tốc góc.

r là bán kính quỹ đạo quay của cánh.

$$\Rightarrow \operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{W_{r1}}{W_{t1}} = \frac{\sin\theta_1}{\lambda + \cos\theta_1} \quad (3.1)$$



Hình 3.3. Biểu diễn véc tơ vận tốc trên cánh số 1.

* **Xét cánh số 2:** (hình 3.4)

Ta có:

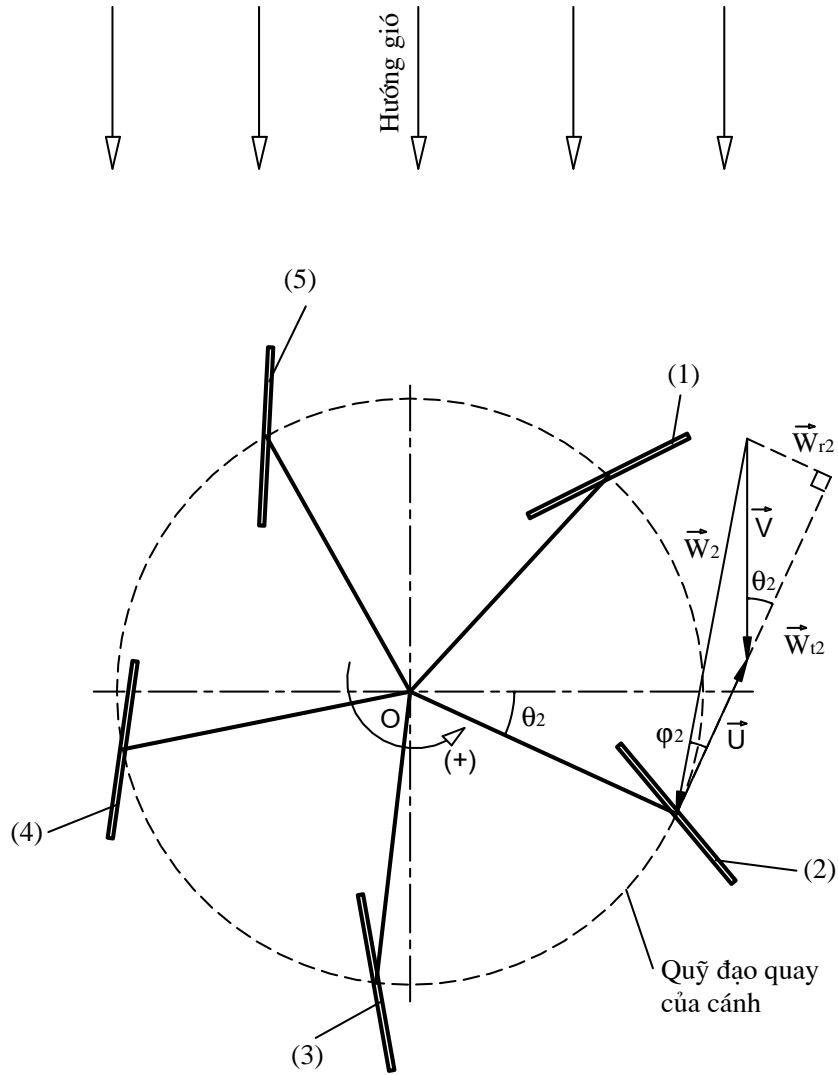
$$W_{r2} = V \cdot \sin\theta_2$$

$$W_{t2} = U + V \cdot \cos\theta_2$$

$$\operatorname{tg}\varphi_2 = \frac{W_{r2}}{W_{t2}} = \frac{V \cdot \sin\theta_2}{U + V \cdot \cos\theta_2} = \frac{\sin\theta_2}{\frac{U}{V} + \cos\theta_2}$$

Lại có: $\lambda = \frac{U}{V} = \frac{\omega r}{V}$

$\Rightarrow \operatorname{tg}\varphi_2 = \frac{W_{r2}}{W_{t2}} = \frac{\sin\theta_2}{\lambda + \cos\theta_2}$ (3.2)



Hình 3.4. Biểu diễn véc tơ vận tốc trên cánh số 2.

* **Xét cánh số 3:** (hình 3.5)

Ta có:

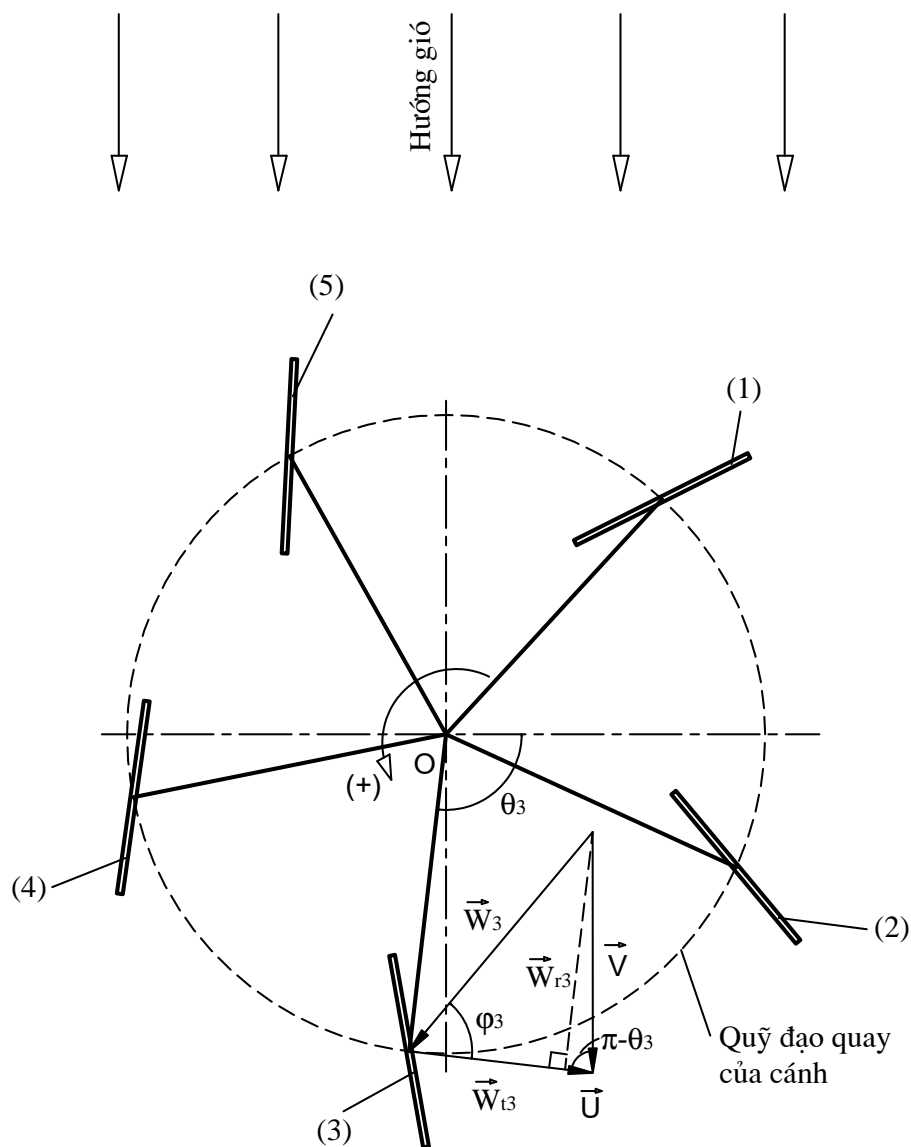
$$W_{r3} = V \cdot \sin(\pi - \theta_3) = V \cdot \sin\theta_3$$

$$W_{t3} = U - V \cdot \cos(\pi - \theta_3) = U + V \cdot \cos\theta_3$$

$$\operatorname{tg}\varphi_3 = \frac{W_{r3}}{W_{t3}} = \frac{V \cdot \sin\theta_3}{U + V \cdot \cos\theta_3} = \frac{\sin\theta_3}{\frac{U}{V} + \cos\theta_3}$$

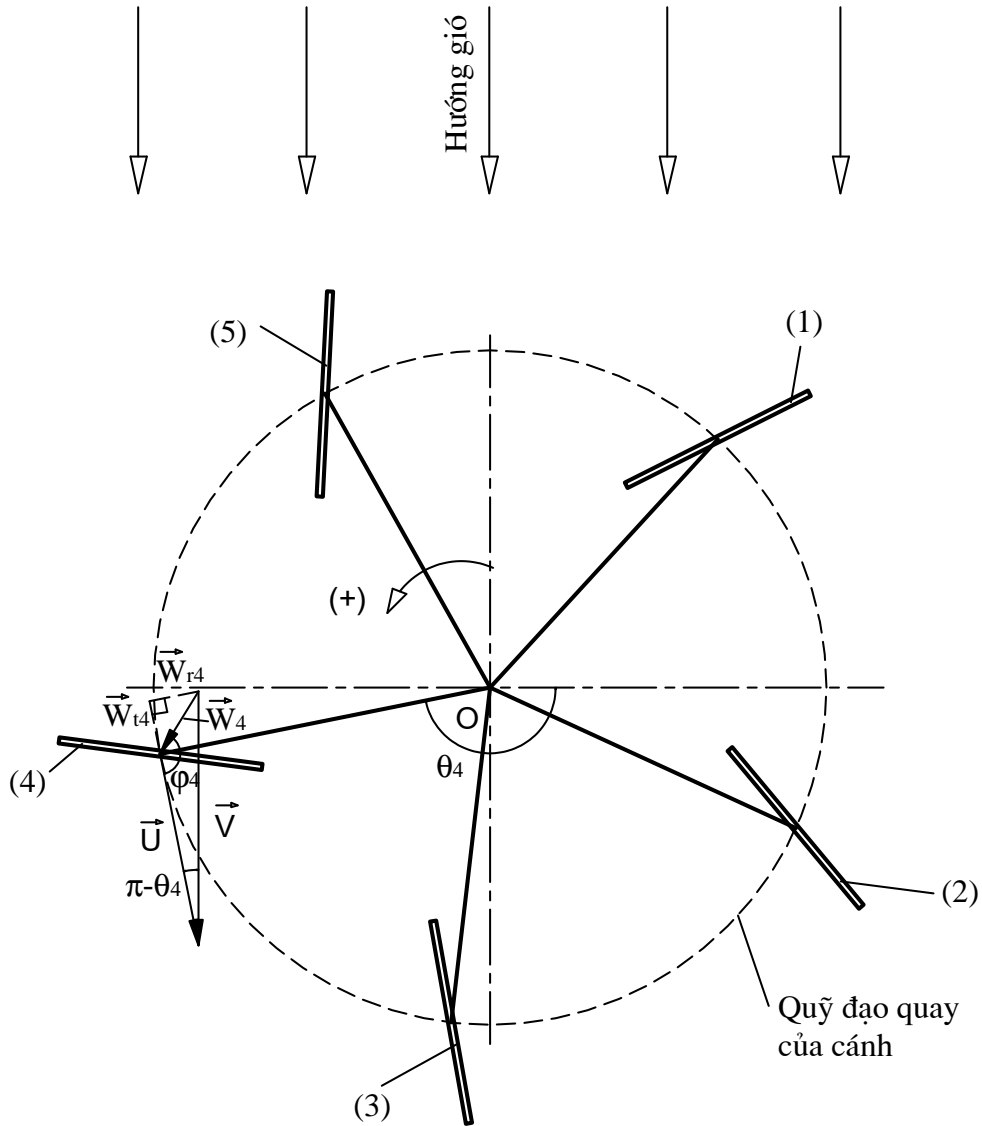
có: $\lambda = \frac{U}{V} = \frac{\omega r}{V}$

$$\Rightarrow \operatorname{tg}\varphi_3 = \frac{W_{r3}}{W_{t3}} = \frac{\sin\alpha_3}{\lambda + \cos\alpha_3} \quad (3.3)$$



Hình 3.5. Biểu diễn véc tơ vận tốc trên cánh số 3.

* Xét cánh số 4: (hình 3.6)



Hình 3.6. Biểu diễn véc tơ vận tốc trên cánh số 4.

Ta có:

$$W_{r4} = V \cdot \sin(\pi - \theta_4) = V \cdot \sin\theta_4$$

$$W_{t4} = V \cdot \cos(\pi - \theta_4) - U = -(V \cdot \cos\theta_4 + U)$$

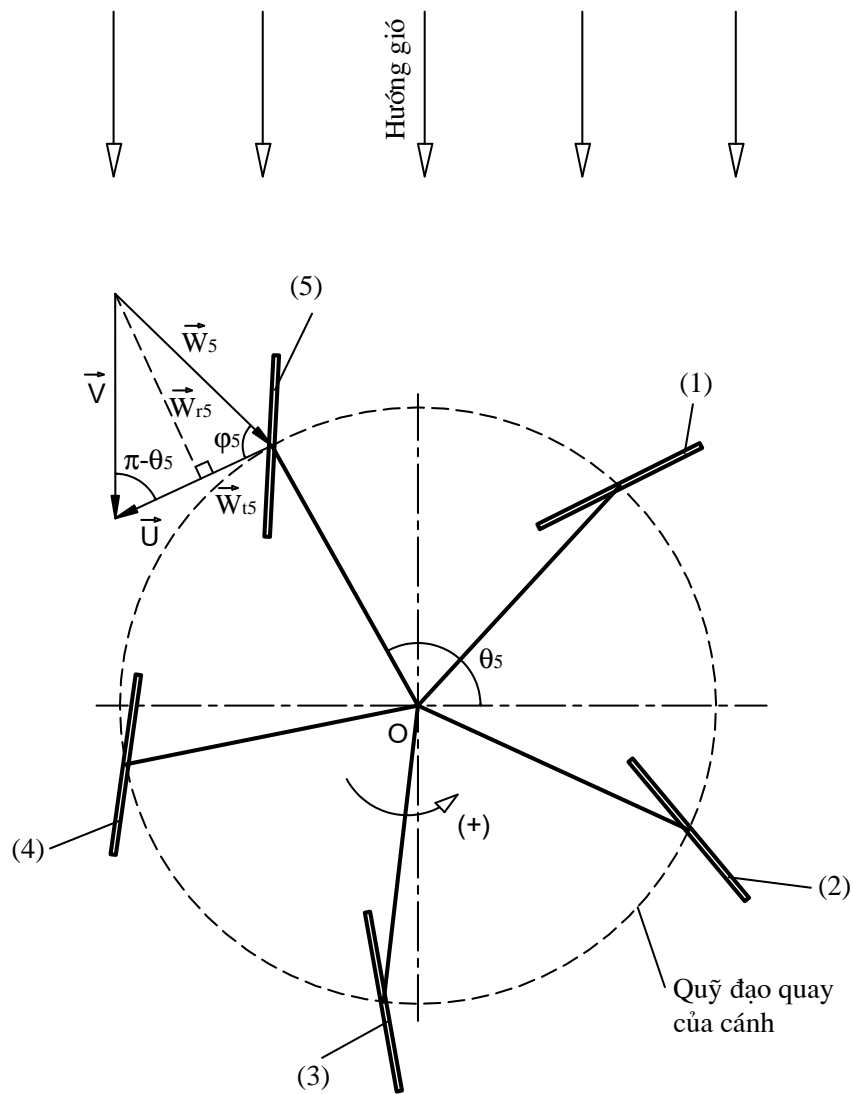
$$\operatorname{tg}(\pi - \varphi_4) = \frac{W_{r4}}{W_{t4}} = \frac{V \cdot \sin\theta_4}{-(U + V \cdot \cos\theta_4)} = \frac{\sin\theta_4}{-\left(\frac{U}{V} + \cos\theta_4\right)}$$

$$\Rightarrow \operatorname{tg}\varphi_4 = \frac{\sin\theta_4}{\frac{U}{V} + \cos\theta_4}$$

có: $\lambda = \frac{U}{V} = \frac{\omega r}{V}$

$$\Rightarrow \operatorname{tg}\varphi_4 = \frac{W_{r4}}{W_{t4}} = \frac{\sin\theta_4}{\lambda + \cos\theta_4} \quad (3.4)$$

* Xét cánh số 5:



Hình 3.7. Biểu diễn véc tơ vận tốc trên cánh số 5.

Ta có:

$$W_{r5} = V \cdot \sin(\pi - \theta_5) = V \cdot \sin\theta_5$$

$$W_{t5} = U - V \cdot \cos(\pi - \theta_5) = U + V \cdot \cos\theta_5$$

$$\Rightarrow \operatorname{tg}\varphi_5 = \frac{W_{r5}}{W_{t5}} = \frac{V \cdot \sin\theta_5}{U + V \cdot \cos\theta_5} = \frac{\sin\theta_5}{\frac{U}{V} + \cos\theta_5}$$

$$\text{có: } \lambda = \frac{U}{V} = \frac{\omega r}{V}$$

$$\Rightarrow \operatorname{tg}\varphi_5 = \frac{W_{r5}}{W_{t5}} = \frac{\sin\theta_5}{\lambda + \cos\theta_5} \quad (3.5)$$

Tổng kết:

Như vậy các thành phần của \vec{W} xác định theo phương tiếp tuyến và pháp tuyến trên các cánh là:

$$W_t = U + V \cos\theta; W_r = V \sin\theta$$

Ta có:

$$W_t = U + V \cos\theta = r\omega + V \cos\theta$$

Vận tốc W được dùng để xác định lực tác dụng lên cánh, W được tính như sau:

$$W^2 = W_t^2 + W_r^2 = (r\omega + V \cos\theta)^2 + V^2 \sin^2\theta$$

Góc φ được xác định:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{V \sin\theta}{r\omega + V \cos\theta} = \frac{\sin\theta}{\frac{r\omega}{V} + \cos\theta} = \frac{\sin\theta}{\lambda + \cos\theta}$$

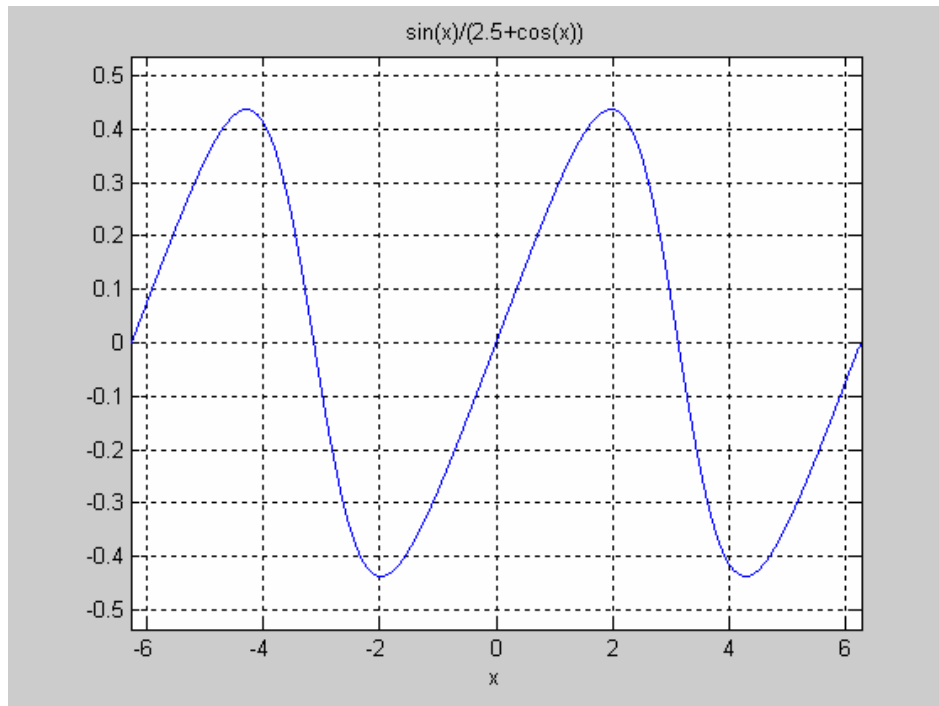
Tham khảo tài liệu [15] ta có:

$$\lambda_{\max \text{ power}} = \frac{4\pi}{c}$$

Trong đó: c là số lượng cánh turbine. Ở đây $c = 5$ (cánh)

$$\Rightarrow \lambda_{\max \text{ power}} = \frac{4\pi}{c} = \frac{4\pi}{5} = 2,5 \quad (3.6)$$

$$\Rightarrow \operatorname{tg}\varphi = \frac{\sin\theta}{\lambda + \cos\theta} = \frac{\sin\theta}{2,5 + \cos\theta}$$



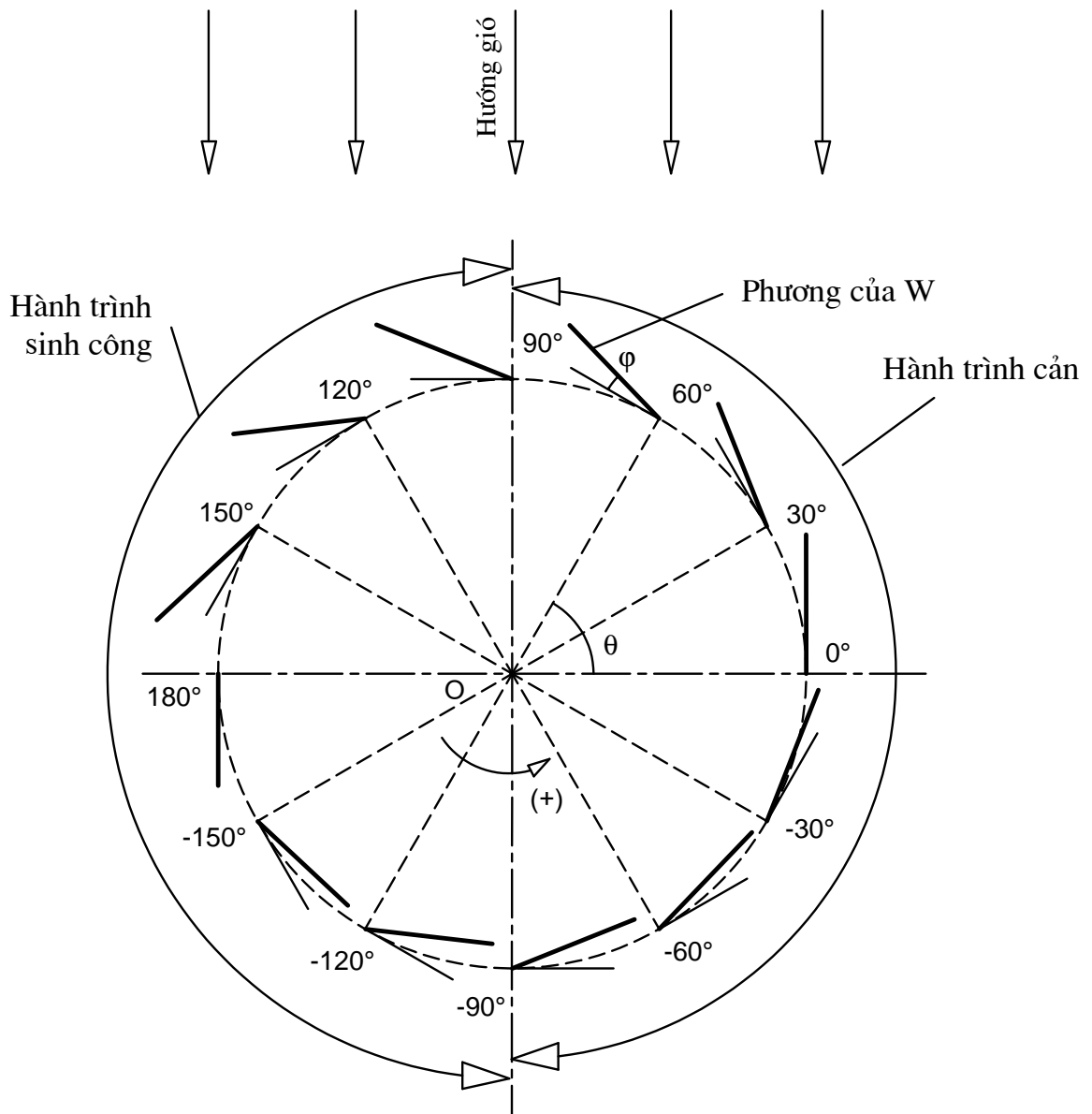
Hình 3.8. Đồ thị biến thiên của θ và φ .

Ta lập bảng giá trị θ , φ ở một số vị trí:

θ (độ)	0	30	60	90	120	150	180
φ (độ)	0	8,4	16,1	21,8	23,4	17	0

θ (độ)	0	- 30	- 60	- 90	- 120	-150	180
φ (độ)	0	- 8,4	- 16,1	- 21,8	- 23,4	-17	0

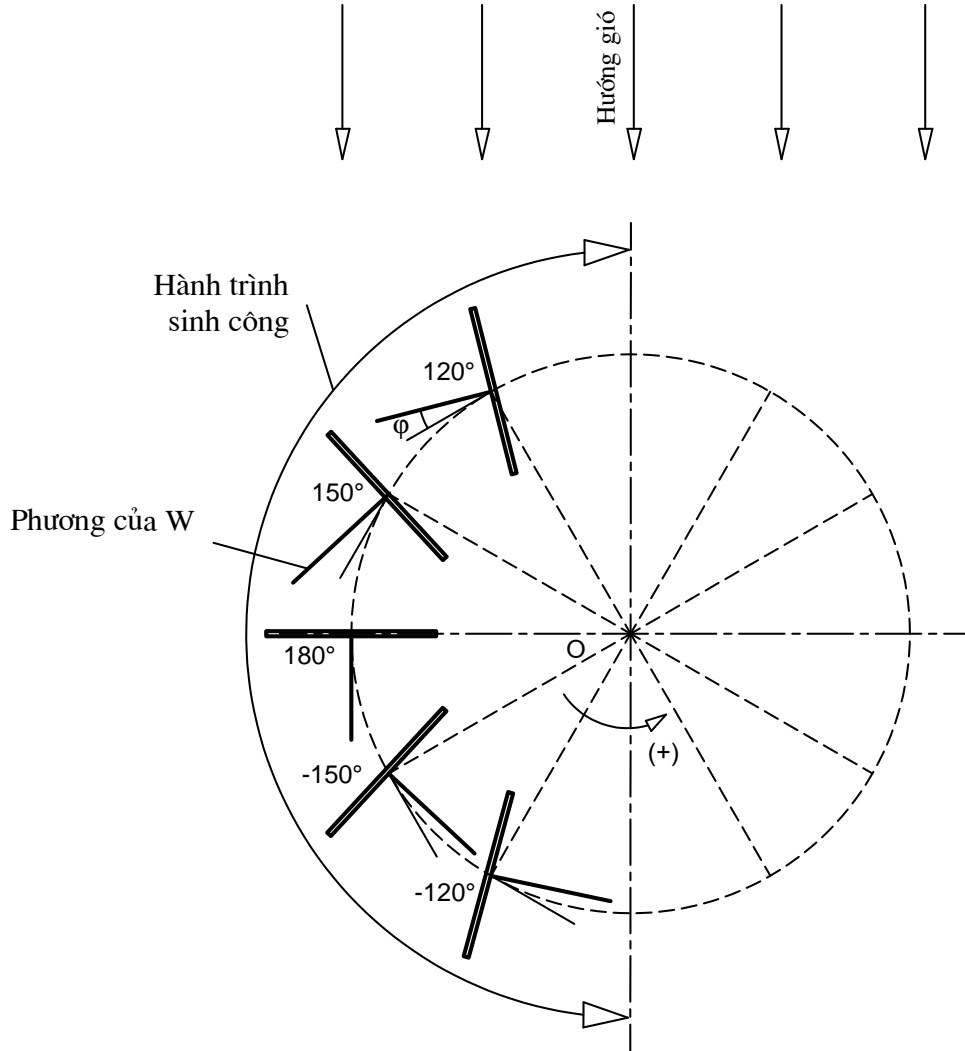
Như vậy \vec{W} sẽ như hình 3.9



Hình 3.9. Phương của véc tơ vận tốc \vec{W} .

Trong quá trình hệ thống cánh Turbine quay gồm có 2 hành trình là: hành trình sinh công có ích và hành trình cản.

* Xét trên hành trình sinh công có ích:

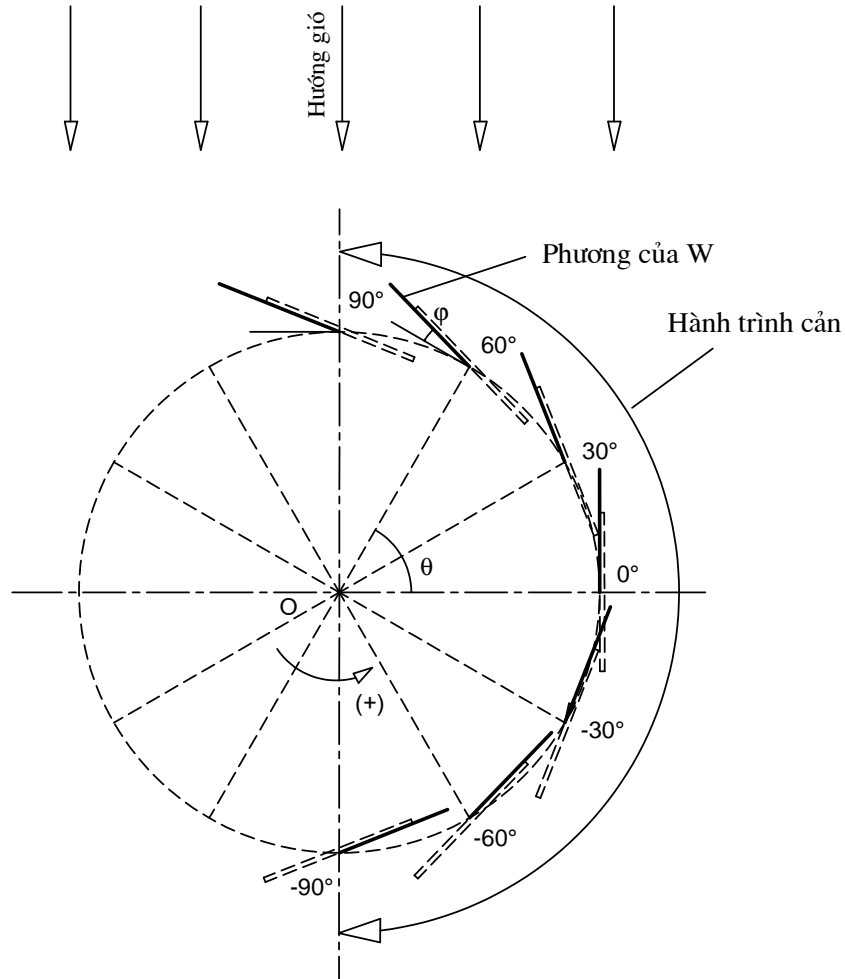


Hình 3.10. Phương của véc tơ vận tốc \vec{W} trên hành trình sinh công và vị trí cánh Turbine hợp lý.

Từ hình 3.10 ta dễ thấy để mặt phẳng cánh turbine hứng được gió tốt nhất, sinh công hiệu quả nhất thì mặt phẳng cánh phải vuông góc với phương véc tơ vận tốc \vec{W} . Có nghĩa là cánh hợp với phương tiếp tuyến với quỹ đạo quay tại vị trí đang xét 1 góc φ .

$$\text{có: } \operatorname{tg}\varphi = \frac{\sin\theta}{2,5 + \cos\theta}. \quad (3.7)$$

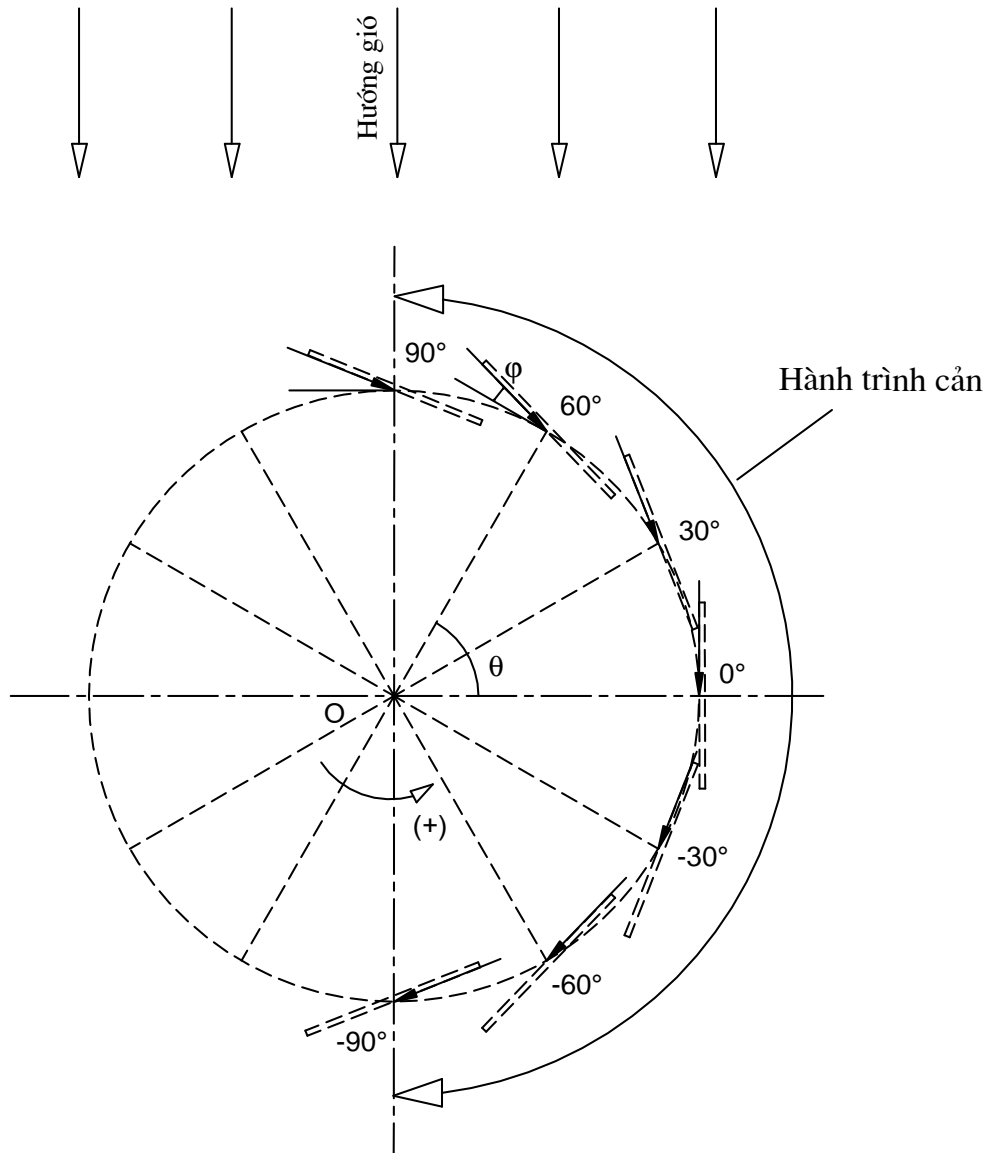
* *Xét trên hành trình cản:*



Hình 3.11. Phương của véc tơ vận tốc \vec{W} trên hành cản.

Trên hành trình cản mặt phẳng cánh turbine phải có vị trí sao cho ảnh hưởng của \vec{W} là nhỏ nhất (có giá trị $\rightarrow 0$). Vì thế cánh turbine phải trùng với phương véc tơ vận tốc \vec{W} . Như vậy có nghĩa là ở hành trình cản các cánh turbine hợp với phương tiếp tuyến với quỹ đạo quay tại vị trí đang xét 1 góc là φ . (hình 3.12)

Được xác định bằng biểu thức (3.7): $\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sin\theta}{2,5 + \cos\theta}$



Hình 3.12. Vị trí cánh cần gió nhỏ nhất.

Mặt khác:

$$\lambda = \frac{U}{V} = \frac{\omega r}{V} = 2,5$$

$$\Rightarrow \omega r = 2,5.V$$

Với hệ thống phong điện thì máy phát hoạt động tốt nhất khi vận tốc gió từ 10m/s đến 17m/s. Ở đây ta tính toán thiết kế hệ thống sao cho nó vẫn có thể hoạt

động đạt công suất yêu cầu tại thời điểm vận tốc gió ở mức trung bình. Nên ta chọn vận tốc gió để tính toán là $V = 7\text{m/s}$.

$$\Rightarrow \omega r = 2,5.V = 2,5.7 = 17,5$$

Ta lập bảng quan hệ giữa ω và r :

r (m)	1	2	3
ω (rad/s)	17,5	8,75	5,83
n (vòng/giây)	2,79	1,39	0,93
n (vòng/phút)	167,1	83,6	55,7

Căn cứ vào bảng ta lựa chọn r thích hợp, ở đây ta lựa chọn $r = 2\text{m}$, $n \approx 84$ vòng/phút.

3.3.2. Thử nghiệm kiểm tra hướng di chuyển của gió phía sau cánh turbine.

Việc phân tích hướng gió sau khi đi qua cánh turbine trong hệ thống cánh turbine hết sức quan trọng vì với hệ thống VAWTs các cánh đón gió trước sẽ đóng vai trò như là một vật cản gió đối với cánh đón gió sau vì thế nó ảnh hưởng trực tiếp tới khả năng làm việc của mỗi cánh. Do đó phân tích hướng di chuyển của gió sau khi đi qua cánh giúp ta giải quyết bài toán về kích thước cánh, tức là kích thước phù hợp để các cánh đều được làm việc ở điều kiện như nhau trên toàn bộ diện tích của nó, khi đó sẽ phát huy được tối đa hiệu quả của mỗi cánh.

Ở đây luận văn sử dụng phương pháp thống kê, thực nghiệm để xác định hướng di chuyển của gió. Bằng cách sử dụng máy đo tốc độ gió để xác định hướng di chuyển của gió ở phía sau cánh turbine. (hình 3.13)


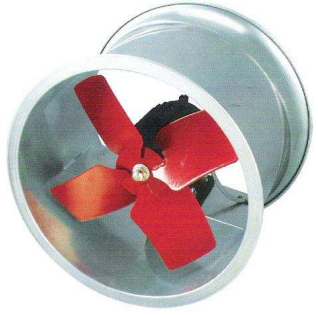
3.3.2.1. Thiết bị thí nghiệm.

- Dụng cụ đo tốc độ gió:

Anemometer Smart sensor AR836.

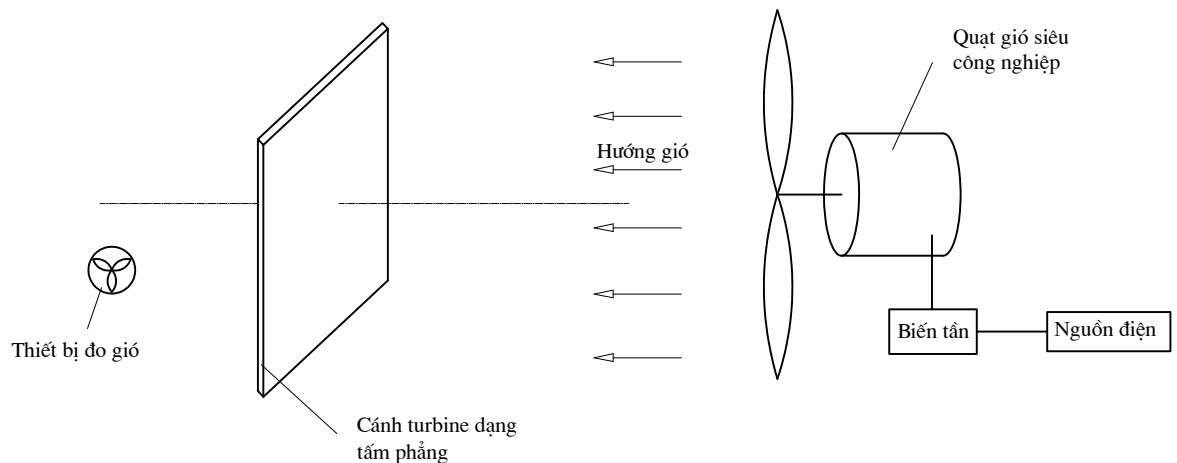
m/s: 0 ~ 45



<p>- Biến tần: Biến tần 3 pha 2,2KW (EI – 450/220V/ 2HP)</p>	
<p>- Quạt gió siêu công nghiệp: 3K90 – L4 1,1KW.</p>	
<p>- Cánh turbine dạng tấm phẳng kích thước 2000x2000x10mm. - Thước dây.</p>	

3.3.2.2. Tiến hành thí nghiệm.

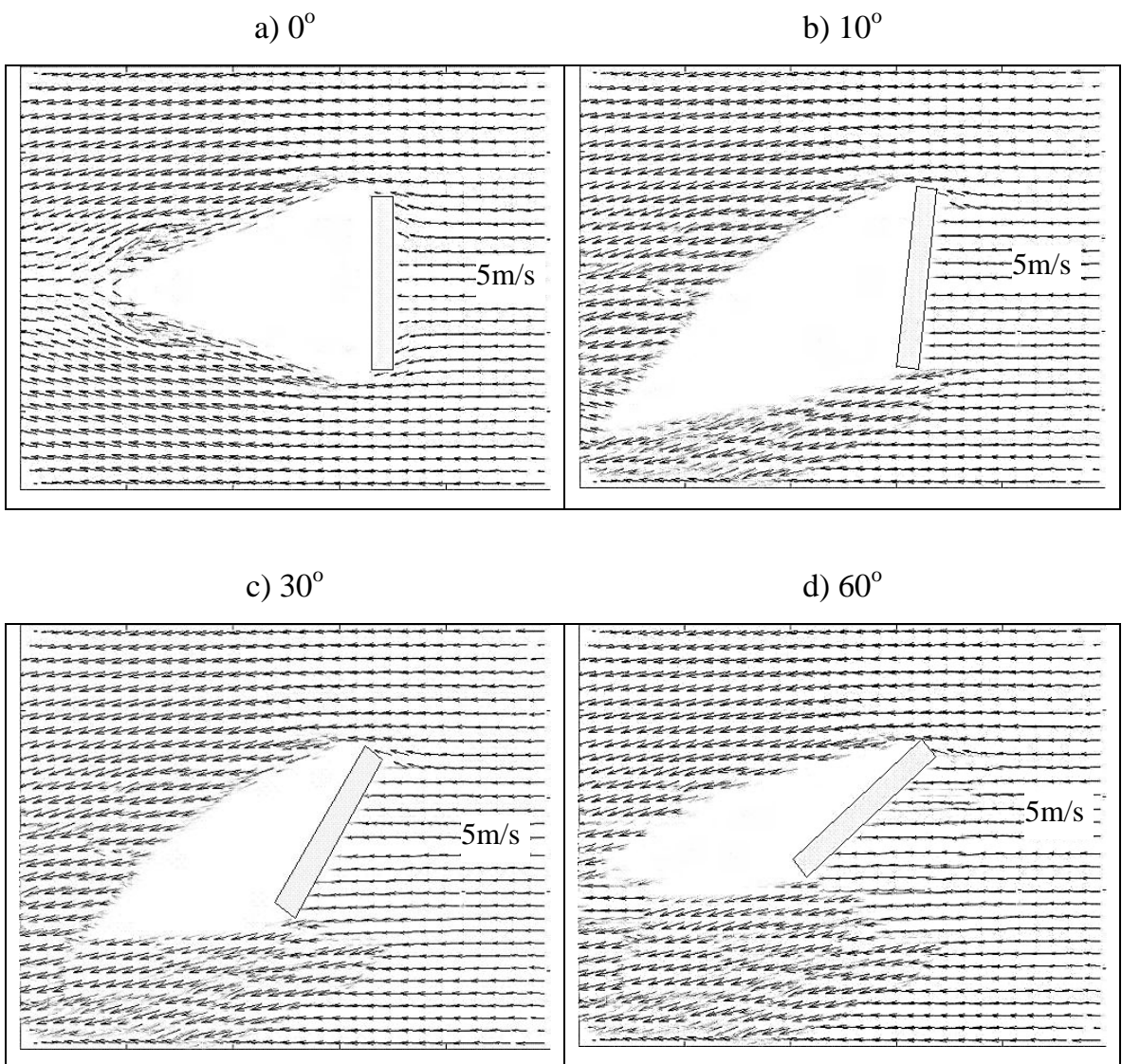
- Mô hình thí nghiệm:



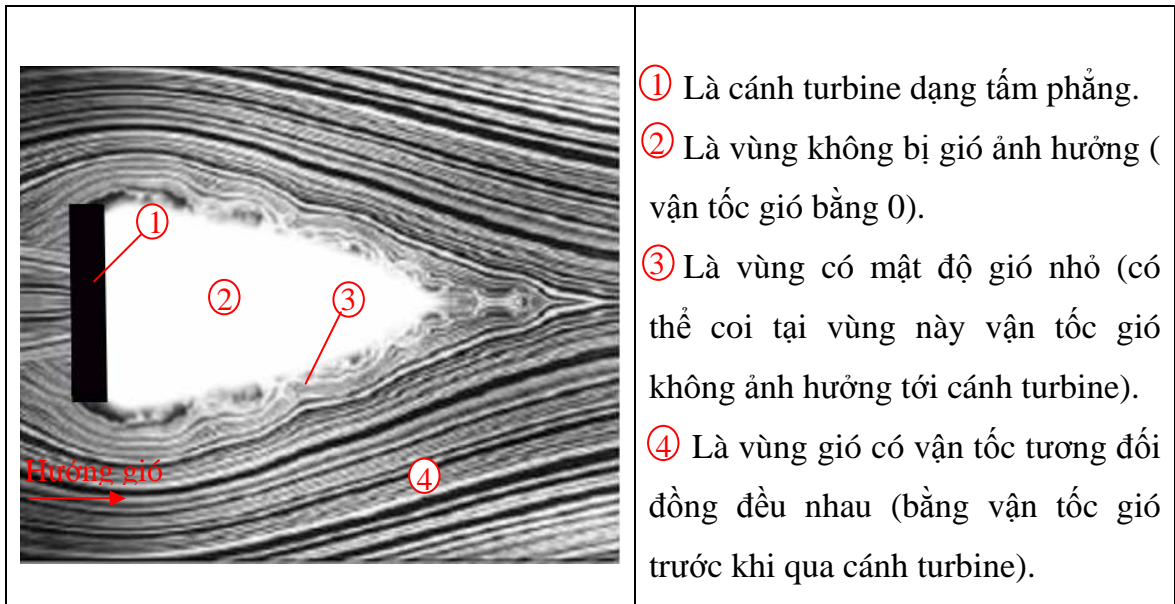
Hình 3.13. Mô hình thí nghiệm đo xác định hướng gió.

Sử dụng biến tần để điều chỉnh tốc độ của quạt gió cho phù hợp, tức là điều chỉnh sao cho tại vị trí đặt cánh turbine vận tốc của gió đo được là 5m/s, 7m/s, 10m/s. Ban đầu đặt cánh turbine vuông góc với hướng gió rồi xoay cánh với các vị trí góc khác nhau 10° , 30° , 60° , 80° , 90° , tại các vị trí này ta sử dụng dụng cụ đo tốc độ gió lần lượt đo tốc độ gió phía sau cánh turbine.

- Hình ảnh biểu diễn kết quả sau khi đo:



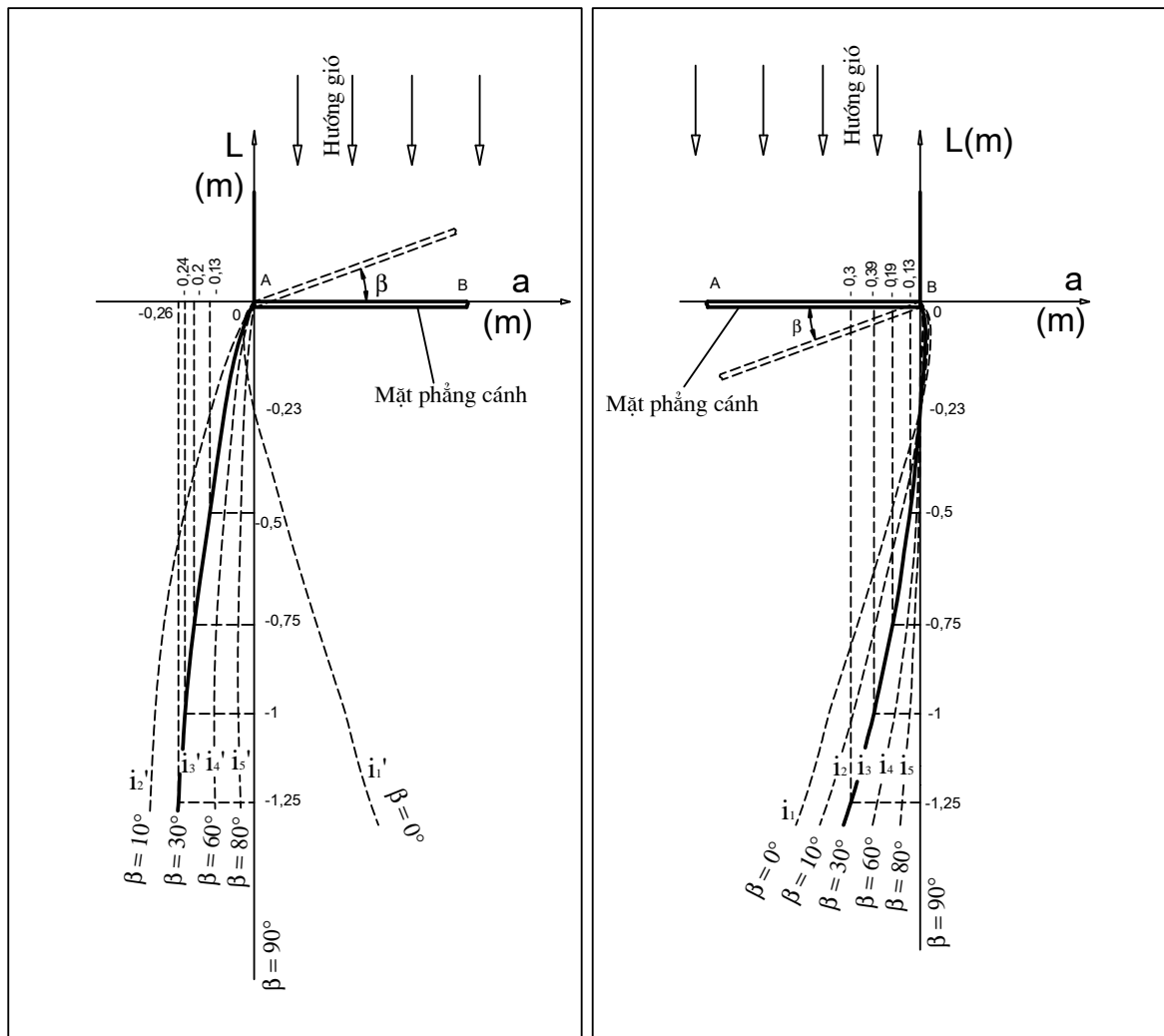
Hình 3.14. Hình ảnh biểu diễn kết quả đo hướng đi của gió.



Hình 3.15. Vùng gió phía sau cánh turbine.

Sau khi thử nghiệm ở vận tốc gió khác nhau: 5m/s, 7m/s, 10m/s, kết quả cho thấy khi gió đi qua cánh turbine nó không còn có phương chuyển động như ban đầu mà có sự thay đổi, ở cùng một vận tốc gió thì điểm giao nhau giữa i và i' nằm xa cánh turbine nhất khi $0 < \beta < 10$. Khi vận tốc gió tăng càng cao thì giao điểm này có xu hướng tiến lại gần cánh.

Do đề tài sau khi tính toán đã xác định được vị trí góc xoay cánh tối ưu (hình 3.11 và 3.12) nên trong quá trình thực nghiệm đề tài chỉ đưa ra số liệu cụ thể tại vị trí góc xoay cánh $\beta = 30^0$, vận tốc gió là 7m/s để phục vụ tính toán.



a)

b)

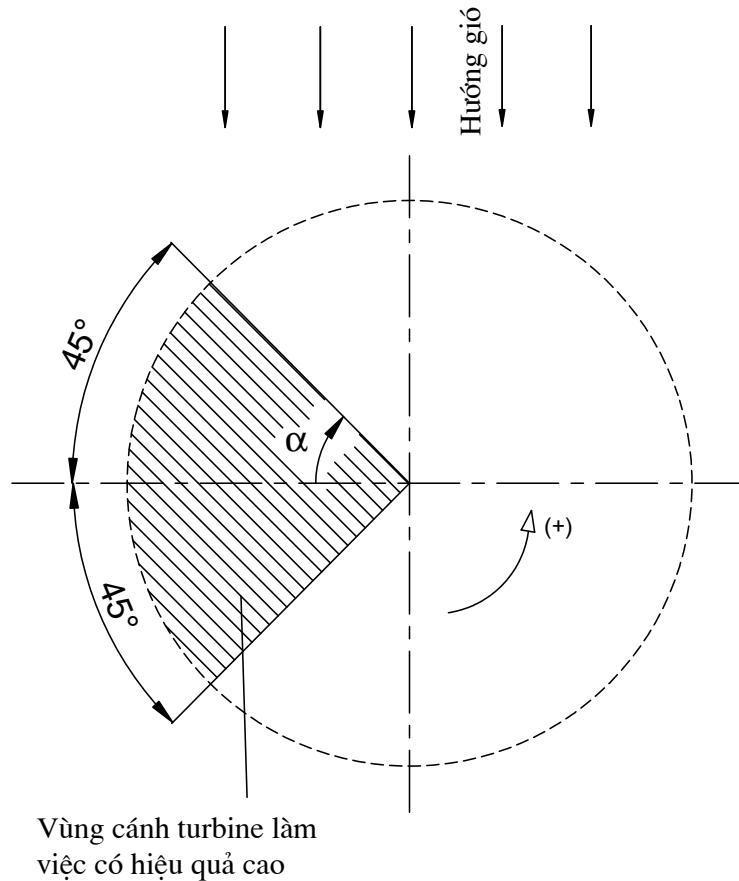
Hình 3.16. Biểu diễn hướng di chuyển của gió có $V = 7\text{m/s}$, sau khi qua cánh turbine.

- a) Ở đầu A của cánh turbine.
- b) Ở đầu B của cánh turbine.

3.3.3. Xác định chiều rộng b của cánh turbine.

Ở hành trình căn các cánh turbine nằm ở vị trí tối ưu để căn là nhỏ nhất vì thế ta chỉ đi xác định chiều rộng b của cánh ở hành trình sinh công để hệ thống đạt công suất yêu cầu và các cánh được làm việc trong điều kiện tương đối như nhau (đều chịu ảnh hưởng của gió trên toàn bộ diện tích cánh). Ở hành trình sinh công hiệu

quả làm việc của cánh giảm dần khi α tăng dần từ $0 \rightarrow \pm\pi/2$. Như vậy hệ thống đạt hiệu suất cao khi $\alpha = -\frac{\pi}{4} \rightarrow \frac{\pi}{4}$ nên ta sẽ tính toán tối ưu kích thước của cánh khi cánh làm việc trong khoảng $-\frac{\pi}{4} \leq \alpha \leq \frac{\pi}{4}$. (hình 3.17)

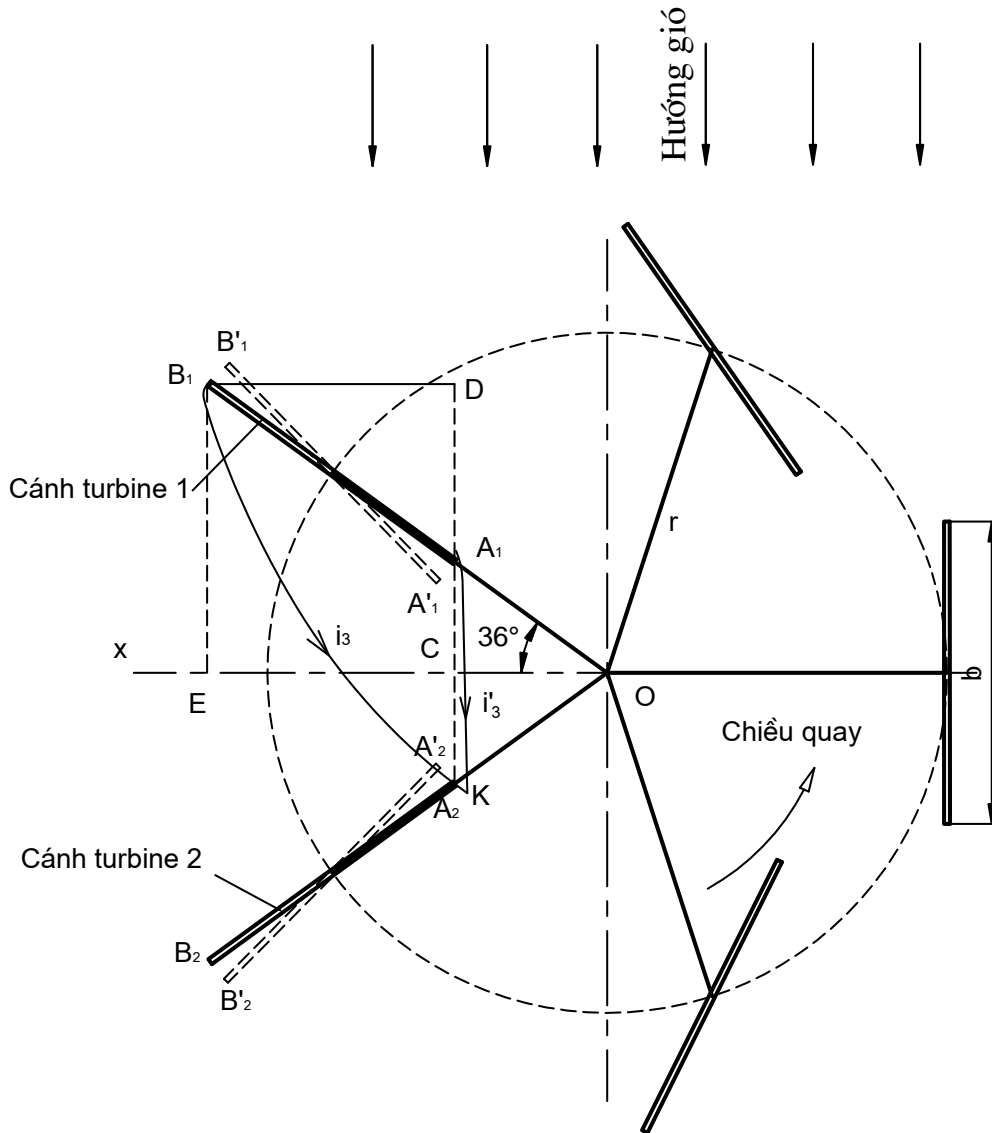


Hình 3.17. Vùng làm việc hiệu quả cao của cánh turbine.

Trong khoảng này ta xét tối ưu kích thước cánh khi hệ thống cánh turbine ở vị trí như hình 3.18. Ở vị trí này 2 cánh turbine 1 và 2 đối xứng nhau qua Ox, đây là vị trí mà diện tích cánh turbine 1 chắn gió đi đến cánh turbine 2 nhiều nhất.

Để tối ưu việc tính toán kích thước cánh ta sẽ đi tính toán tại thời điểm gió có vận tốc thấp ($v = 5\text{m/s}$), vì giao điểm giữa i và i' ở $v = 5\text{m/s}$ xa cánh turbine hơn ở các thời điểm vận tốc gió lớn hơn. Khi đó tối ưu kích thước cánh tại thời điểm này sẽ thỏa mãn được các thời điểm khác.

Từ kết quả tính toán ở mục 3.3.1 (hình 3.10) ta có các cánh sẽ ở vị trí A_1B_1' và A_2B_2' nhưng góc φ tại 2 vị trí này tương đối nhỏ ($\leq 10^0$) nên để thuận tiện cho việc tính toán ta coi $A_1B_1' \equiv A_1B_1$; $A_2B_2' \equiv A_2B_2$.



Hình 3.18. Vị trí tính toán tối ưu kích thước cánh.

Để cánh turbine 2 làm việc ở điều kiện chịu ảnh hưởng hoàn toàn của gió thì điểm giao giữa hướng di chuyển của gió i_3 và i_3' là K phải nằm phía trên đường B_2O . Để thuận lợi cho việc tính toán ta có thể coi giao điểm $K \equiv A_2$.

Từ kết quả thực nghiệm hình 3.16b ta xác định được tỷ số $L/a \approx 4 \Rightarrow a = L/4$.

$$\text{Từ đó ta có } \frac{A_2D}{B_1D} \approx 4 \Rightarrow A_2D = 4.B_1D \quad (3.8)$$

Tính A_2D :

Hệ thống cánh turbine có 5 cánh nên góc $\angle A_1OA_2 = 72^\circ$.

Ta có $A_2D = DC + A_2C = B_1E + A_2C$

Mà $A_2C = OK.\sin 36^\circ = (r - b/2).\sin 36^\circ$

$B_1E = B_1O.\sin 36^\circ = (r + b/2).\sin 36^\circ$

$$\Rightarrow A_2D = (r - b/2).\sin 36^\circ + (r + b/2).\sin 36^\circ = 2r.\sin 36^\circ$$

Tính B_1D :

Ta có $B_1D = EC$

Mà $EC = OE - OC \Rightarrow B_1D = OE - OC$

$OC = A_1O.\cos 36^\circ = (r - b/2).\cos 36^\circ$

$OE = B_1O.\cos 36^\circ = (r + b/2).\cos 36^\circ$

$$\Rightarrow B_1D = (r + b/2).\cos 36^\circ - (r - b/2).\cos 36^\circ = b.\cos 36^\circ$$

Thay A_2D và B_1D vào (2.9) ta được:

$$2r.\sin 36^\circ = 4.b.\cos 36^\circ \Rightarrow b = \frac{2}{4}r.\text{tg} 36^\circ = 0,36.r \quad (3.9)$$

Vậy chiều rộng cánh $b = 0,36.r$

*** Công suất của hệ thống.**

Công suất của trục quay được tính theo công thức: $P = \omega.M = 2\pi n.M$ (W) (3.10)

Trong đó:

ω là vận tốc góc (rad/s)

M là mômen của trục (Nm).

n là số vòng quay của trục (vòng/giây).

Áp lực gió được tính:

$$F = \frac{\rho}{2} \cdot C_d \cdot W^2 \cdot S \quad (3.11)$$

Trong đó:

C_d là hệ số cản (drag coefficient), phụ thuộc vào hình dạng của vật thể hoặc kết cấu. C_d của cánh dạng tấm phẳng được xác định bằng thực nghiệm, tài liệu [14], ta có $C_d = 1,28$.

ρ là trọng lượng riêng của không khí, $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$.

S là diện tích cánh turbine.

Vận tốc W được dùng để xác định lực tác dụng lên cánh, W được tính như sau:

$$\begin{aligned} W^2 &= W_r^2 + W_t^2 = V^2 \cdot \sin^2 \theta + (\omega r + V \cdot \cos \theta)^2 \\ &= V^2 + \omega^2 r^2 + 2\omega r \cdot V \cdot \cos \theta \end{aligned}$$

Trong đó: $V = 7 \text{ m/s}$

$$\omega r = 2,5 \cdot V = 2,5 \cdot 7 = 17,5$$

$$W^2 = 7^2 + 17,5^2 + 2 \cdot 17,5 \cdot 7 \cdot \cos \theta = 355,25 + 245 \cdot \cos \theta \quad (3.12)$$

*** Khảo sát một số vị trí đặc biệt của hệ thống:**

- **Vị trí 1:** (hình 3.19)

Cánh 1 có $\theta = 180^\circ - 72^\circ = 108^\circ$; cánh 2 có $\theta = 0$; cánh 3 có $\theta = -108^\circ$.

$$W_1^2 = 355,25 + 245 \cdot \cos 108^\circ = 279,5$$

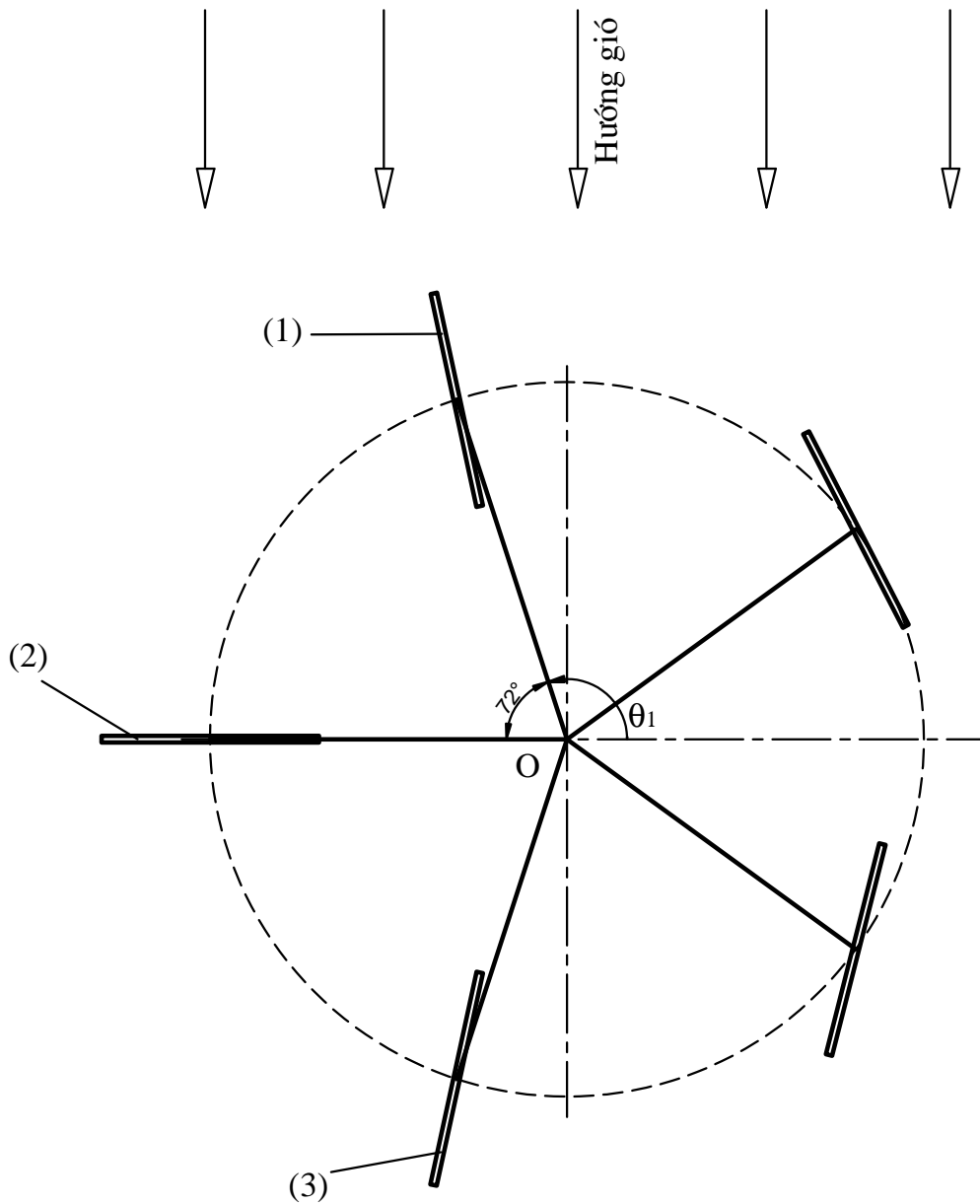
$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{\sin \theta_1}{2,5 + \cos \theta_1} = \frac{\sin 108^\circ}{2,5 + \cos 108^\circ} = 0,434 \Rightarrow \varphi_1 = 23,5^\circ$$

Thay W vào (3.12) ta có:

$$F_1 = \frac{\rho}{2} \cdot C_d \cdot W_1^2 \cdot S = \frac{1,25}{2} \cdot 1,28 \cdot 279,5 \cdot S = 223,6 \cdot S \quad (3.13)$$

Có: $W_2^2 = 355,25 + 245 \cdot \cos 180^\circ = 110,25$

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{\sin \theta_2}{2,5 + \cos \theta_2} = \frac{\sin 180^\circ}{2,5 + \cos 180^\circ} = 0 \Rightarrow \varphi_2 = 0^\circ$$



Hình 3.19. Vị trí đặc biệt 1.

Thay W vào (3.12) ta có:

$$F_2 = \frac{\rho}{2} \cdot C_d \cdot W_2^2 \cdot S = \frac{1,25}{2} \cdot 1,28 \cdot 110,25 \cdot S = 88,2 \cdot S \quad (3.14)$$

Tương tự có: $W_3^2 = 355,25 + 245 \cdot \cos(-108^\circ) = 279,5$

$$\text{tg}\varphi_3 = \frac{\sin\theta_3}{2,5 + \cos\theta_3} = \frac{\sin(-108^\circ)}{2,5 + \cos(-108^\circ)} = -0,434 \Rightarrow \varphi_3 = -23,5^\circ$$

Thay W vào (3.12) ta có:

$$F_3 = \frac{\rho}{2} \cdot C_d \cdot W_3^2 \cdot S = \frac{1,25}{2} \cdot 1,28 \cdot 279,5 \cdot S = 223,6 \cdot S \quad (3.15)$$

Công suất hệ thống:

$$\begin{aligned} P &= \omega \cdot M = \omega \cdot r \cdot (F_1 \cdot \cos\varphi_1 + F_2 \cdot \cos\varphi_2 + F_3 \cdot \cos\varphi_3) \\ &= \omega \cdot r \cdot (223,6 \cdot S \cdot \cos 23,5^\circ + 88,2 \cdot S \cdot \cos 0^\circ + 223,6 \cdot S \cdot \cos(-23,5^\circ)) \\ &= 498,3 \cdot \omega \cdot r \cdot S \end{aligned} \quad (3.16)$$

- **Vị trí 2:** (hình 3.20)

$$\text{Có } \theta_1 = -\theta_2 = 144^\circ$$

$$\text{tg}\varphi_1 = \frac{\sin\theta_1}{2,5 + \cos\theta_1} = \frac{\sin 144^\circ}{2,5 + \cos 144^\circ} = 0,348 \Rightarrow \varphi_1 = 19,2^\circ$$

$$\text{tg}\varphi_2 = \frac{\sin\theta_2}{2,5 + \cos\theta_2} = \frac{\sin(-144^\circ)}{2,5 + \cos(-144^\circ)} = -0,348 \Rightarrow \varphi_2 = -19,2^\circ$$

Từ (3.12):

$$W_1^2 = 355,25 + 245 \cdot \cos 144^\circ = 157,04$$

$$W_2^2 = 355,25 + 245 \cdot \cos(-144^\circ) = 157,04$$

Thay vào (3.11) ta có:

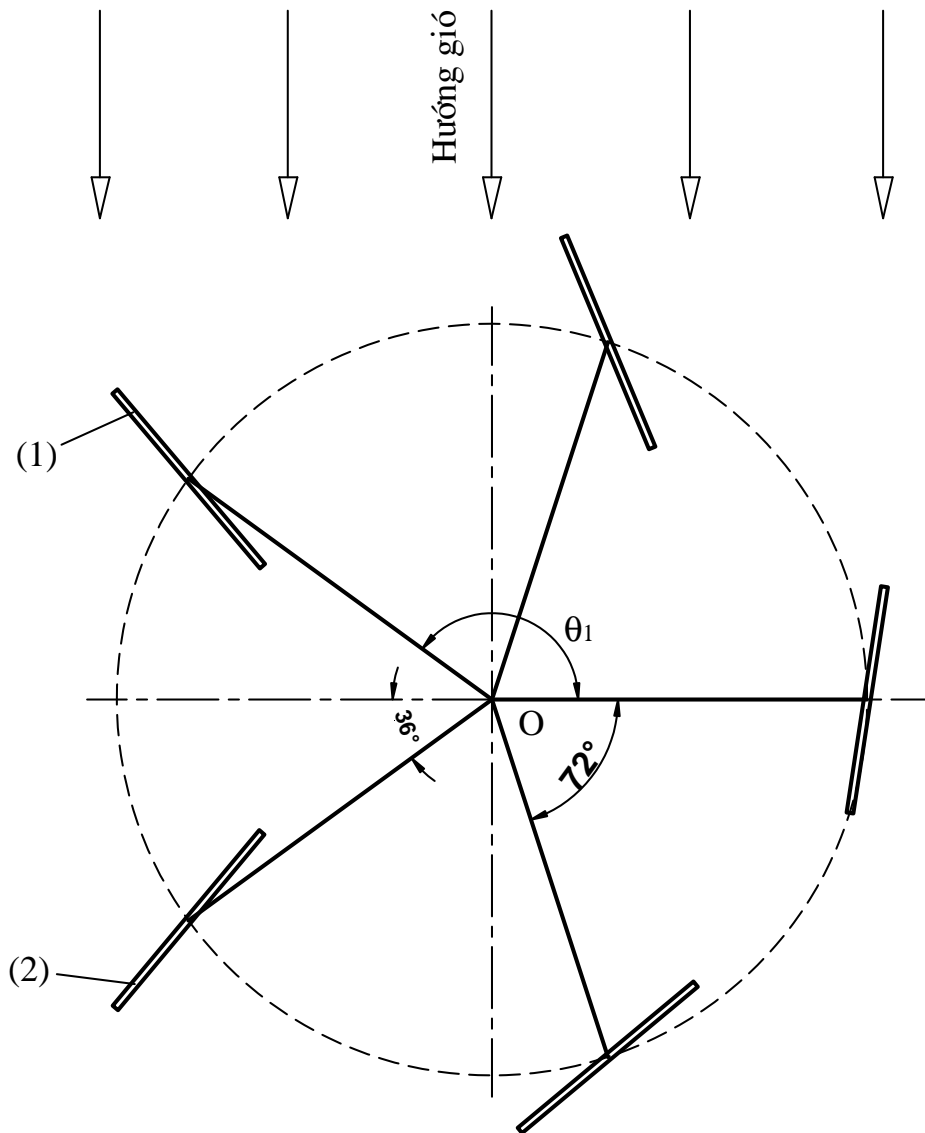
$$F_1 = \frac{\rho}{2} \cdot C_d \cdot W_1^2 \cdot S = \frac{1,25}{2} \cdot 1,28 \cdot 157,04 \cdot S = 125,7 \cdot S$$

$$F_2 = F_1 = 125,7 \cdot S$$

Công suất hệ thống:

$$\begin{aligned} P &= \omega \cdot M = \omega \cdot r \cdot (F_1 \cdot \cos\varphi_1 + F_2 \cdot \cos\varphi_2) \\ &= \omega \cdot r \cdot (125,7 \cdot S \cdot \cos 19,2^\circ + 125,7 \cdot S \cdot \cos(-19,2^\circ)) \\ &= 237,3 \cdot \omega \cdot r \cdot S \end{aligned} \quad (3.17)$$

Ta thấy công suất ở vị trí 1 lớn hơn công suất ở vị trí 2. Ta lựa chọn công suất ở vị trí 1: $P = 498,3 \cdot \omega \cdot r \cdot S$ để tính toán.



Hình 3.20. Vị trí đặc biệt 2.

3.4. TÍNH TOÁN THIẾT KẾ CÁNH TURBINE DÙNG CHO MÁY PHONG ĐIỆN CÔNG SUẤT 10KW.

Để máy phát có công suất 10KW, tham khảo tài liệu [4] do trong máy phát có tổn hao điện năng nên để máy phát đạt 10KW thì công suất của trục chính bằng 14KW.

Từ (3.16):

$$P = 498,3 \cdot \omega \cdot r \cdot S = 14000 \text{ (W)}$$

$$\Rightarrow \omega.r.S = 28,1$$

$$\Rightarrow S = 28,1/17,5 = 1,6$$

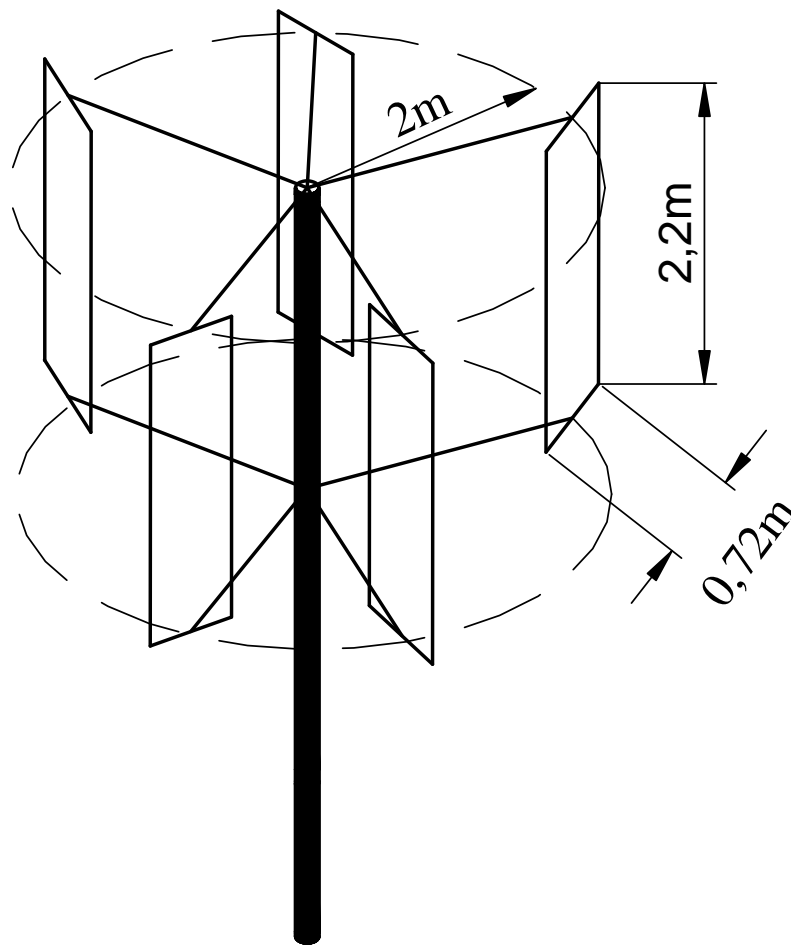
Ta có $S = b.h$ (b là chiều rộng cánh, h là chiều cao cánh)

$$\Rightarrow b.h = 1,6$$

$$\Rightarrow 0,36.r.h = 1,6$$

$$\Rightarrow 0,36.2.h = 1,6$$

$$\Rightarrow h = 2,2 \text{ (m)}$$



Hình 3.21. Kích thước hệ thống cánh.

Như vậy hệ thống cánh thiết kế có công suất 10KW có kích thước là $r = 2\text{m}$; $b = 0,72\text{m}$; $h = 2,2\text{m}$ (hình 3.21).

3.5. VẬT LIỆU CÁNH TURBINE.

Vật liệu sợi là vật tư kỹ thuật có tầm quan trọng sống còn của nhân loại trong sản xuất và đời sốngTừ loại sợi thảo mộc, dây từ thân, vỏ, rễ phụ, xơ của các loại cây cỏ, dây leo, con người tiến đến dùng sợi sinh vật rất quan trọng là tơ tằm. Sợi kim loại và sợi đa phân tử (polimer) dần dần phong phú hơn và thế chỗ cho sợi sinh vật ngày càng hiếm và đắt đỏ.

Sợi thủy tinh ra đời, có độ bền chắc gấp từ 7 đến 16 lần sợi thép cùng kích cỡ, và sau đó là sợi Carbone với các tính năng ưu việt : cách điện, cách nhiệt, chịu hoá chất, chịu lực hàng trăm lần sắt thép ... đã lên tiếng thách thức các loại vật liệu sợi khác trước nó.

Vật liệu tổ hợp (composite) là một loại vật liệu được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi nhất trong 10 năm trở lại đây. Do những đặc tính ưu việt của chúng mà ngày nay người ta sử dụng vào hầu hết các lĩnh vực công nghiệp và đời sống. Vật liệu tổ hợp được chia thành nhiều nhóm loại khác nhau, tùy thuộc vào chất phụ gia tăng cường. Nhưng loại vật liệu tổ hợp được tăng cường bằng cốt sợi là có ý nghĩa kinh tế kỹ thuật cao nhất.

Những Turbine gió sản xuất từ những năm 1980 cho đến cuối những năm 1990 chủ yếu được sử dụng các thành phần cơ bản, sau thời kỳ đó những thành phần đặc biệt bắt đầu được thiết kế và sản xuất cho cánh turbine. Một trong số những giải pháp tốt nhất đang sử dụng đó là nguyên liệu composite trong turbine gió. Ngày nay việc sử dụng vật liệu composite trong cánh turbine có vai trò hết sức quan trọng, nó đòi hỏi vật liệu phải có yêu cầu cao về tính chất vật lý, thành phần hóa học,..v..v..để turbine có thể làm việc được trong điều kiện khắc nghiệt ngoài trời (không có che chắn để bảo vệ) và chịu được tải trọng.

Vật liệu composite nền nhựa cốt sợi thủy tinh:

* **Sợi thủy tinh:** Nguyên tố chủ đạo của công nghiệp thủy tinh là Silic, chiếm một tỷ lệ lớn trong cát trắng. Sự tồn tại các phân tử chất lạ trong nguyên liệu sẽ làm cho thủy tinh có những màu sắc và tính chất rất khác, có lợi cũng như có hại. Để chủ động, nhà sản xuất phải lọc thủy tinh thành thủy tinh siêu sạch bằng ly tâm hay

bằng cách nung nguyên liệu với chất hấp phụ là Creolite hay Diatomic, nói khác đi là làm giàu Silic trong nguyên liệu rồi mới phối các “nguyên tố lạ”.

- Thủy tinh siêu sạch được gọi là thạch anh, cho phép tất cả các bước sóng quang học đi qua, và là cơ sở chế tạo các linh kiện thiết bị quang học (máy chụp hình, kính viễn vọng v.v....) tốt nhất.

- Có chì (Pb) thì chiết suất thủy tinh tăng lên nhiều lần nên óng ánh và bắt sáng như kim cương và được gọi là pha - lê, thêm bạc (Ag) thì hiệu ứng phản xạ toàn phần được xác lập và dùng trong công nghệ cáp quang.

- Có mặt các phân tử oxyd sắt (FeO) và lưu huỳnh (S), thủy tinh sẽ giòn và dễ vỡ. Có Calci (Ca) thì tính dễ vỡ càng tăng lên, nhưng mảnh vỡ lại không có cạnh sắc, tạo ra được loại thủy tinh “hạt lựu” (loại thủy tinh này khi vỡ sẽ tan thành những mảnh nhỏ như hạt lựu, không sắc bén nên khó gây thương tích cho người dùng, được sử dụng làm kính chắn gió xe ô tô).

- Khi có mặt nhôm (Al) thì thủy tinh dẻo dai, chịu uốn cong, thêm Cobalt (Co) thì thủy tinh dễ dàng kéo sợi, sau đó là xe xoắn hay dệt, dùng làm cáp chịu lực, hay kết hợp với Kevlar làm áo giáp và khiên chống đạn.

- Có Germanium (Ge) thì thủy tinh (siêu sạch – tinh thể) lại xuất hiện tính năng dị kỳ : bán dẫn, và là cơ sở của chế tạo linh kiện bán dẫn của công nghiệp điện tử, cho đến vi mạch máy tính điện tử, đang là cái “đỉnh” của thời đại.

- Có Molipdenn (Mo) và Chrôme (Cr) thì thủy tinh ngăn chặn được tia tử ngoại, thêm Paladium thì chặn cả phóng xạ nguyên tử.

- Nấu thủy tinh trong Sud (NaOH) 34 Be ở nhiệt độ 127 độ C vài giờ thì thủy tinh thành thể lỏng (thủy tinh lỏng). Xử lý bằng hơi Fluoric Acid trong điều kiện siêu tĩnh (chống rung động trên bề thủy ngân) thì thủy tinh lỏng kết tinh thành tinh thể lỏng, là công cụ display hiện đại cho đồng hồ, máy tính ... Một ít vi lượng Phosphor oxyd 2,3,4 và Chrome Oxyd 2,3, cho phép tinh thể lỏng đổi màu theo điều kiện điện áp và là cơ sở của màn hình màu tinh thể lỏng.



Hình 3.22. Sợi thủy tinh.

Sợi thủy tinh thường sử dụng trong cánh Turbine gió có 2 kiểu chính đó là E-glass và S+R glass.

Nhựa epoxy là loại nhựa có nhiều ưu điểm tốt và được sử dụng rộng rãi để chế tạo vật liệu composite như có tính ổn định hoá học, bền hoá chất, có tính cơ học cao, nó có độ bám dính cao với nhiều loại cốt, tiện lợi khi xử lý công nghệ, tạo dáng các kết cấu và có thể giữ lâu ở trạng thái chưa đóng rắn, tiện lợi cho việc chế tạo kết cấu và các bán thành phẩm.

Việc sử dụng nhựa epoxy trên nền cốt sợi thủy tinh làm tăng tính bền cơ lên đáng kể và rất thích hợp để chế tạo thiết bị chống ăn mòn hoá chất.

Qua nghiên cứu đã lựa chọn được hai loại nhựa Epoxy: EP-3 và EP-4 trong số 5 loại epoxy có trên thị trường, có khối lượng phân tử trung bình, độ nhớt và các chỉ số hoá học thích hợp cho mục tiêu đề tài.

Tham khảo trên thị trường hiện nay các nhà sản xuất cánh turbine đã có rất nhiều kinh nghiệm trong việc lựa chọn vật liệu cánh, đề tài xác định sử dụng vật liệu cánh turbine là vật liệu composite nền nhựa cốt sợi thủy tinh có $E = 39,1$ (GPa).

3.6. KẾT LUẬN.

Thiết kế hệ thống cánh turbine có các cánh điều khiển được là một hướng nghiên cứu rất có triển vọng, nó khắc phục được một số nhược điểm của hệ thống HAWTs và VAWTs có các cánh gắn cứng như khả năng đón gió.

Trong quá trình tính toán vị trí và kích thước cánh turbine có một số ưu điểm sau:

- Lựa chọn cánh dạng tám phẳng giúp quá trình tính toán kích thước và chế tạo dễ dàng.
- Đã tìm ra được công thức tính toán kích thước cánh, đặc biệt là xác định được vị trí góc xoay cánh β tối ưu nhất để hệ thống đạt công suất tối ưu.
- Lựa chọn phương pháp thực nghiệm để xác định hướng di chuyển của gió ở phía sau cánh turbine dễ thực hiện, cho kết quả nhanh.

Nhược điểm:

- Cánh dạng tám phẳng không ưu điểm về khả năng hứng gió bằng cánh có biên dạng cong.
- Thực nghiệm xác định hướng di chuyển của gió ở phía sau cánh turbine cho kết quả có độ chính xác chưa cao.

3.7. KẾT LUẬN CHUNG.

Có thể thấy rằng phạm vi cũng như quy mô sử dụng các trạm phong điện trực đứng còn rất khiêm tốn so với các hệ thống HWATs, chủ yếu các hệ thống VAWTs được sản xuất và đưa ra thị trường hiện nay là loại cánh turbine cố định, có thể hoạt động bình đẳng với mọi hướng gió nên có cấu tạo đơn giản, các bộ phận đều có kích thước không quá lớn nên vận chuyển và lắp ráp dễ dàng, độ bền cao, duy tu bảo dưỡng đơn giản. Các nghiên cứu về hệ thống này cũng còn tương đối hạn chế, chủ yếu tập trung theo hướng nghiên cứu động lực học cánh turbine nhằm nâng cao hiệu quả mặt hứng gió và giảm thiểu ảnh hưởng của mặt cản gió cho cánh turbine. Chưa thấy những công bố mới theo hướng nghiên cứu cánh turbine được điều khiển

chủ động nhằm đạt hiệu quả tối đa ở hành trình hứng gió và cản tối thiểu ở hành trình cản gió. Các công bố này chủ yếu mới dừng ở sáng tạo về mặt nguyên lý.

Như vậy đề tài nghiên cứu *tính toán thiết kế hệ thống cánh turbine gió kiểu trục đứng có các cánh điều khiển góc xoay đón gió* là hướng nghiên cứu tương đối mới mẻ không chỉ ở Việt Nam mà cả trên thế giới.

Tính toán thiết kế hệ thống cánh turbine cho kết quả kích thước cánh b , h , r tương đối lớn, đối với các hệ thống công suất nhỏ 10KW việc lựa chọn kích thước này hoàn toàn có thể chấp nhận được. Song đối với máy phát công suất càng lớn thì kích thước của hệ thống sẽ tương đối lớn, đây cũng là một trong những nhược điểm khi sử dụng cánh có dạng tấm phẳng. Với một đề tài nghiên cứu luận văn thạc sĩ, thời gian và kiến thức còn hạn chế trong lĩnh vực nghiên cứu còn mới này, kết quả của đề tài có thể ứng dụng trong các hệ thống VAWTs có công suất nhỏ và nó sẽ là cơ sở mở ra một hướng nghiên cứu tính toán thiết kế biên dạng cánh cho hiệu quả cao hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng việt:

- [1]. Đinh Bá Trụ, Hoàng Văn Lợi, *Hướng dẫn sử dụng ANSYS, Hà Nội, 2003.*
- [2]. PGS. TS Nguyễn Văn Vượng, *Sức bền vật liệu*, NXB Khoa học kỹ thuật, Hà Nội 2000.
- [3]. *Kỹ yếu*, Hội thảo toàn quốc về giảng dạy Nguyên lý-Chi tiết máy, Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái nguyên, 11&12/5/2008.
- [4]. PGS.TSKH Nguyễn Phùng Quang. “*Nghiên cứu thiết kế và chế tạo bộ phát điện bằng sức gió có công suất 10 – 30kw phù hợp với điều kiện Việt Nam*” - đề tài cấp nhà nước mã số KC.06.20CN, 2007.

Tiếng Anh:

- [5]. Y. Nakasone, S. Yoshimoto, T. A. Stolarski, *Engineering analysis with ANSYS software*, 2006.
- [6]. Erich Hau, *Windturbines Fundamentals, Technologies, Application and Economics*. Springer 2005.
- [7]. Martin O. L. Hansen. *Aerodynamics of Wind Turbines Second Edition*, by Earthscan in the UK and USA in 2008.
- [8]. D. Le Gourières, *Wind power plants theory and design*, 1982
- [9]. J. F. Mandell, D. D. Samborsky, and D. S. Cairns, *Fatigue of Composite Materials and Substructures for Wind Turbine Blades*, Contractor Report SAND2002-0771, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, 2002.
- [10]. R. P. L. Nijssen, *OptiDAT - Fatigue of Wind Turbine Blade Materials Database*, 2006.
- [11]. *Using of composite material in wind turbine blades*. Journal of Applied Sciences 6 (14), 2006.
- [12]. J.F. Manwell, J.G. McGowan and A.L. Rogers, *Wind energy explained theory, design and application*. 2002 by Wiley and Sons Ltd.

- [13]. <http://www.intechco.com>
- [14]. http://en.wikipedia.org/wiki/Drag_coefficient.
- [15]. http://en.wikipedia.org/wiki/Tip_speed_ratio.