ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά μαθήματα ΠΠ

Ανανεώσιμες Μορφές Ενέργειας

Ενότητα 8: Εκμετάλλευση Αιολικού Δυναμικού, Αιολικές Μηχανές και Ανεμογεννήτριες

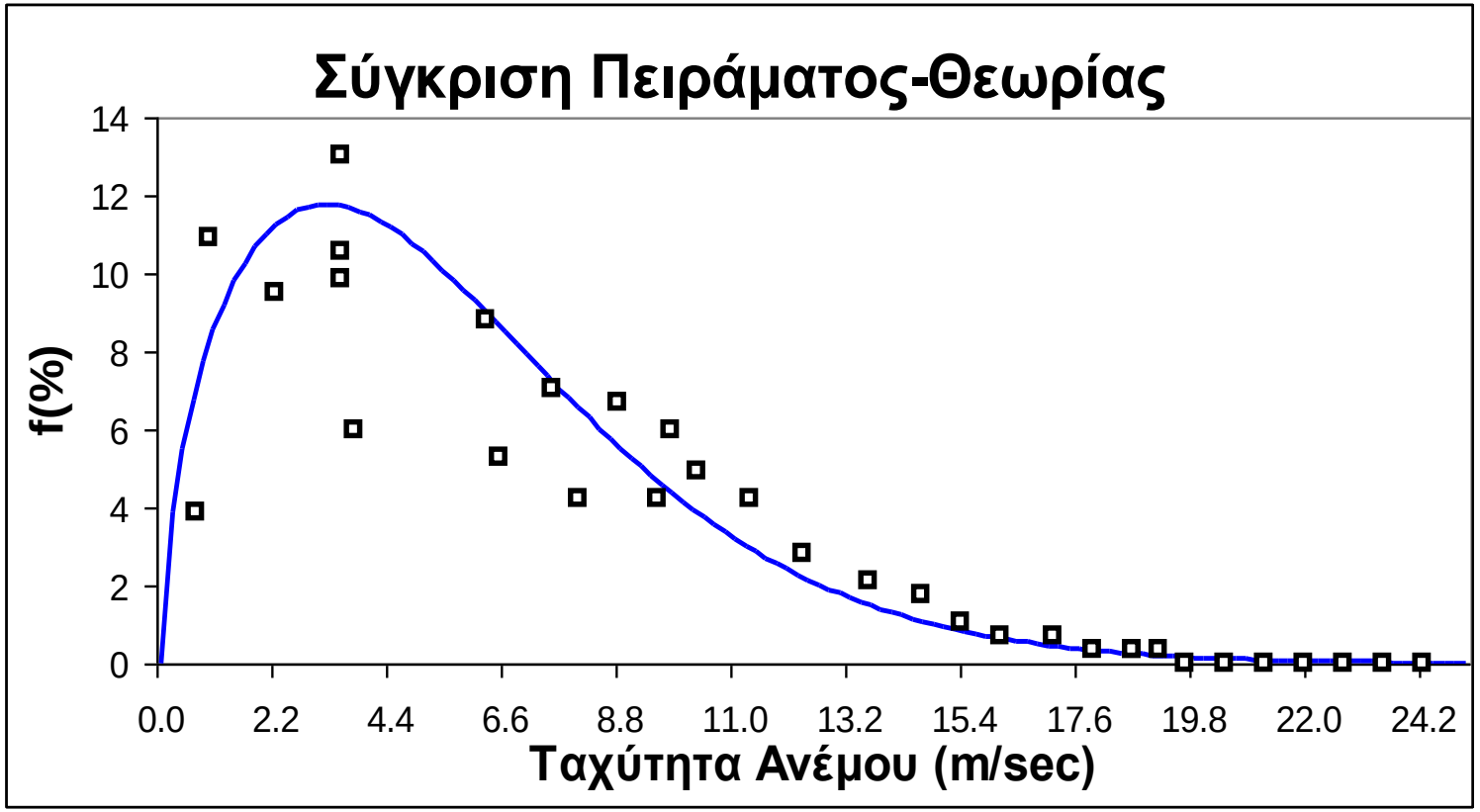
Ελευθέριος Αμανατίδης
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Χημικών Μηχανικών

Περιεχόμενα ενότητας

Εκμετάλλευση Αιολικής Ενέργειας - Ανεμογεννήτριες

- Λειτουργία και είδη ανεμογεννητριών
- Συντελεστής Ισχύος – Θεωρία Δίσκου Ενέργειας
- Μέγιστο Όριο Απόδοσης Betz
- Δυναμική Συμπεριφορά Αιολικής Μηχανής
- Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Α/Γ
- Χαρακτηριστικές ταχύτητες
- Πρακτικά στοιχεία επιλογής Α/Γ

Κατανομή Weibull – Παράδειγμα



- Τα αποτελέσματα μπορούν να θεωρηθούν αρκετά ικανοποιητικά αν και εμφανίζονται αρκετές αποκλίσεις σε μικρές και μεσαίες ταχύτητες

Διαθέσιμη Αιολική Ενέργεια

- Η ισχύς το ανέμου σε μέσα γεωγραφικά πλάτη δεν επηρεάζεται από την πυκνότητα του αέρα
- Η ισχύς είναι ανάλογη της επιφάνειας σάρωσης
- Η ισχύς είναι συνάρτηση του κύβου της ταχύτητας

Θεωρώντας ότι ο αέρας διαπερνά κάθετα την επιφάνεια Α με στιγμιαία ταχύτητα V (V=S/t)

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$$

$$m = \rho \cdot U = \rho \cdot A \cdot S = \rho \cdot A \cdot V \cdot t$$

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot t \Rightarrow P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3$$

Διαθέσιμη Αιολική Ενέργεια

- Η μέση ταχύτητα του ανέμου σε διαστήματα Τ:

$$V = \frac{1}{T} \cdot \int_{to}^{to+T} V(t)dt$$

- Η στιγμιαία ταχύτητα σε σχέση με την διακύμανση γύρω από την μέση τιμή:

$$V(t) = \bar{V} + V'(t) = \bar{V} + \sigma_v$$

- Η μέση αιολική ισχύς σε χρόνο Τ είναι:

$$P_T = 0.5 \cdot A \cdot \rho \cdot V^3 \Rightarrow P_T = \frac{0.5 \cdot A \cdot \rho}{T} \cdot \int_0^T [V(t)]^3 dt$$

Λειτουργία και είδη ανεμογεννητριών

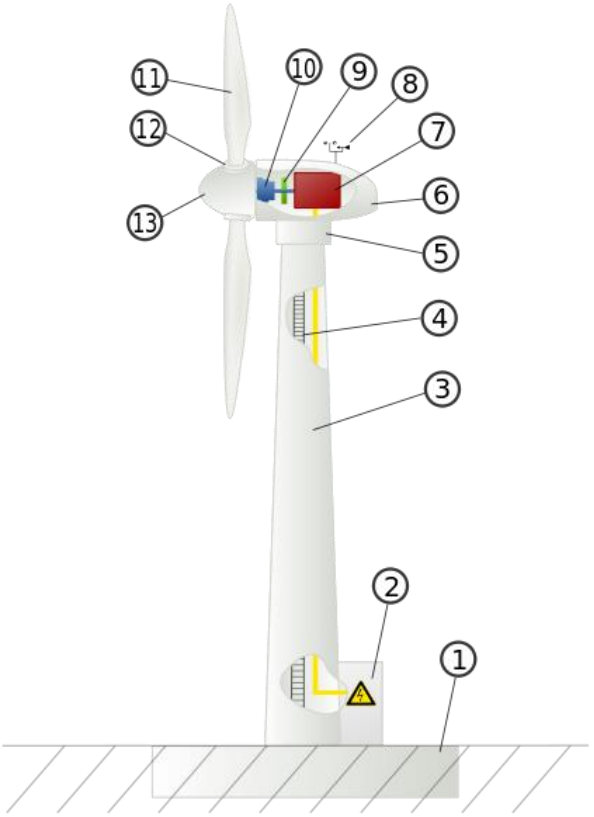
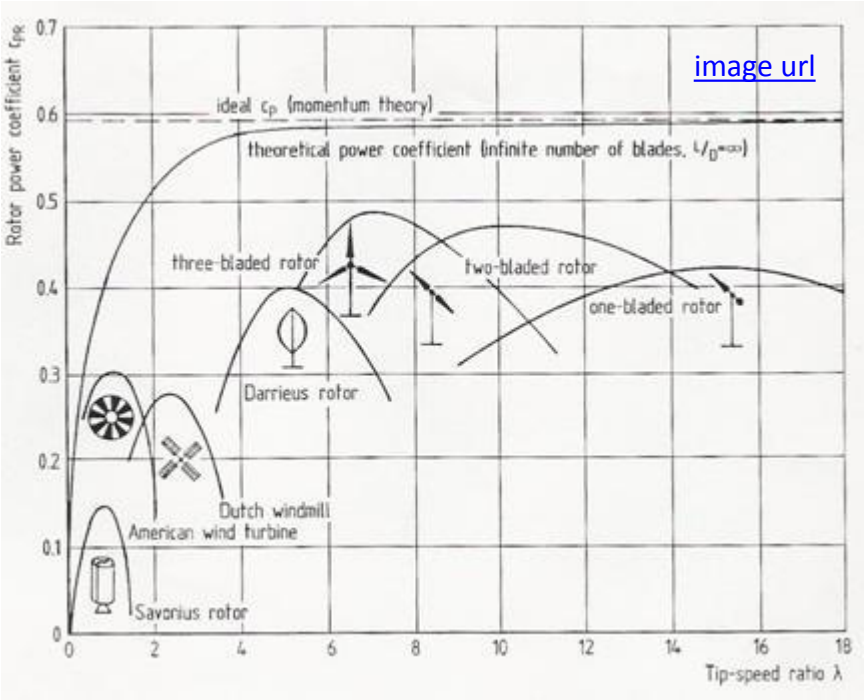


image url

Wind turbine components : **1** – Foundation, **2** – Connection to the electric grid , **3** – Tower, **4** – Access ladder, **5** – Wind orientation control (Yaw control), **6** – Nacelle, **7** – Generator, **8** – Anemometer, **9** – Electric or Mechanical Brake, **10** – Gearbox , **11** – Rotor blade, **12** – Blade pitch control, **13** – Rotor hub.



Μερικά από τα είδη ανεμογεννητριών που έχουν προταθεί

Υπολογισμός Συντελεστή Ισχύος – Θεωρία Δίσκου Ενέργειας

- Σύμφωνα με την **θεωρία του δίσκου ενέργειας** ο μηχανισμός δέσμευσης της κινητικής ενέργειας του ανέμου από τον δρομέα θεωρείται **ιδανικός**, δηλαδή χωρίς απώλειες

- Ο **δρομέας** εξετάζεται ως «μαύρο κουτί» διαμέσου του οποίου περνά ο αέρας που υφίσταται μεταβολή της ενέργειάς του, μεταβολή που ουσιαστικά εκφράζεται με **πτώση της στατικής του πίεσης**

- Η **πτερωτή** θεωρείται ως δίσκος που ενεργεί πάνω στο ρευστό (δίσκος ενέργειας)

- Μία **αιολική μηχανή** δεν μπορεί να δεσμεύσει όλη την κινητική ενέργεια του ανέμου γιατί τότε η μάζα του αέρα που διαπερνά την πτερωτή μηχανή θα είχε στην συνέχεια μηδενική ενέργεια

Θεωρία Δίσκου Ενέργειας

- Το μέγιστο ποσό της κινητικής ενέργειας που μπορεί να δεσμεύσει μια ιδανική αιολική μηχανή υπολογίστηκε από τον Betz

- Ο **Betz** υπέθεσε ότι έχουμε μια ιδανική πτερωτή η οποία δεν φέρει το μηχανικό εξοπλισμό της πάνω στο άξονα περιστροφής και ο αριθμός των πτερυγίων μπορεί να είναι απεριόριστος, χωρίς να παρατηρείται αντίσταση από την διέλευση του αέρα από αυτά

- Αυτές οι προϋποθέσεις επιτρέπουν να θεωρηθεί ότι:
  - Υπάρχουν ομοιόμορφες συνθήκες σε όλη την περιοχή σάρωσης της πτερωτής
  - Η ταχύτητα του αέρα, τόσο διαμέσου της πτερωτής όσο και μακριά από αυτή είναι αξονική

Θεωρία Δίσκου Ενέργειας

- Η διάμετρος μίας ιδανικής πτερωτής, τοποθετημένη μέσα σε φλέβα κινούμενου αέρα ορίζει τον ροϊκό σωλήνα του ανεμοκινητήρα

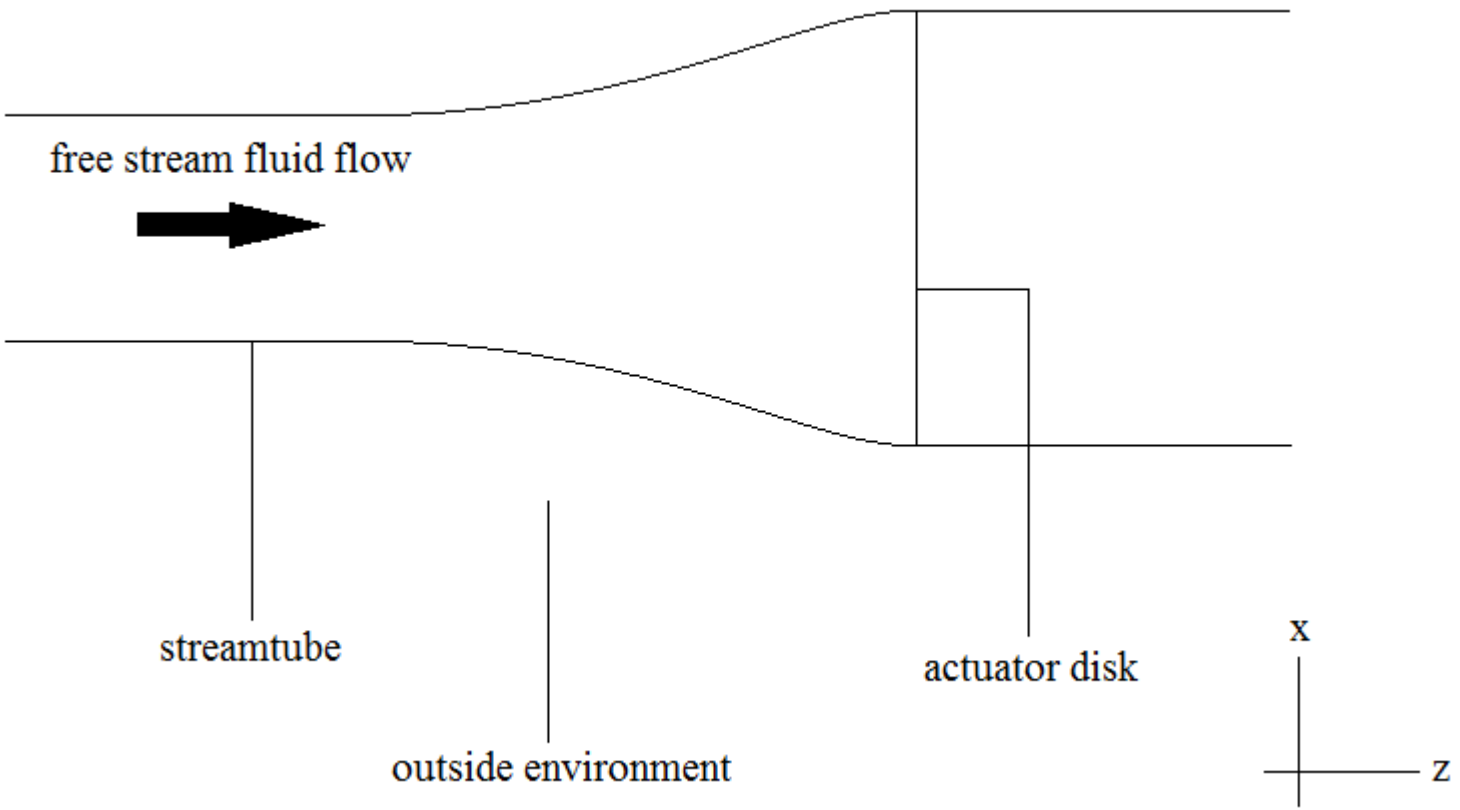
- Ο αέρας πολύ μακρυά (στο άπειρο) στα προσήνεμα του δίσκου έχει πίεση p και πλησιάζει τον δίσκο με ταχύτητα U.

- Ο δίσκος αφαιρεί ενέργεια από τον αέρα και υπήνεμα από τον δίσκο όπου η πίεσή του αέρα θα έχει αποκατασταθεί από την πίεση του περιβάλλοντος p, η ταχύτητα του ανέμου θα είναι V μικρότερη από την U (V<U)

- Λόγω διατήρησης της μάζας μέσα στον ροϊκό σωλήνα θα πρέπει η διατομή του ροϊκού σωλήνα να μεγαλώνει πίσω από την πτερωτή.

Θεωρία Δίσκου Ενέργειας

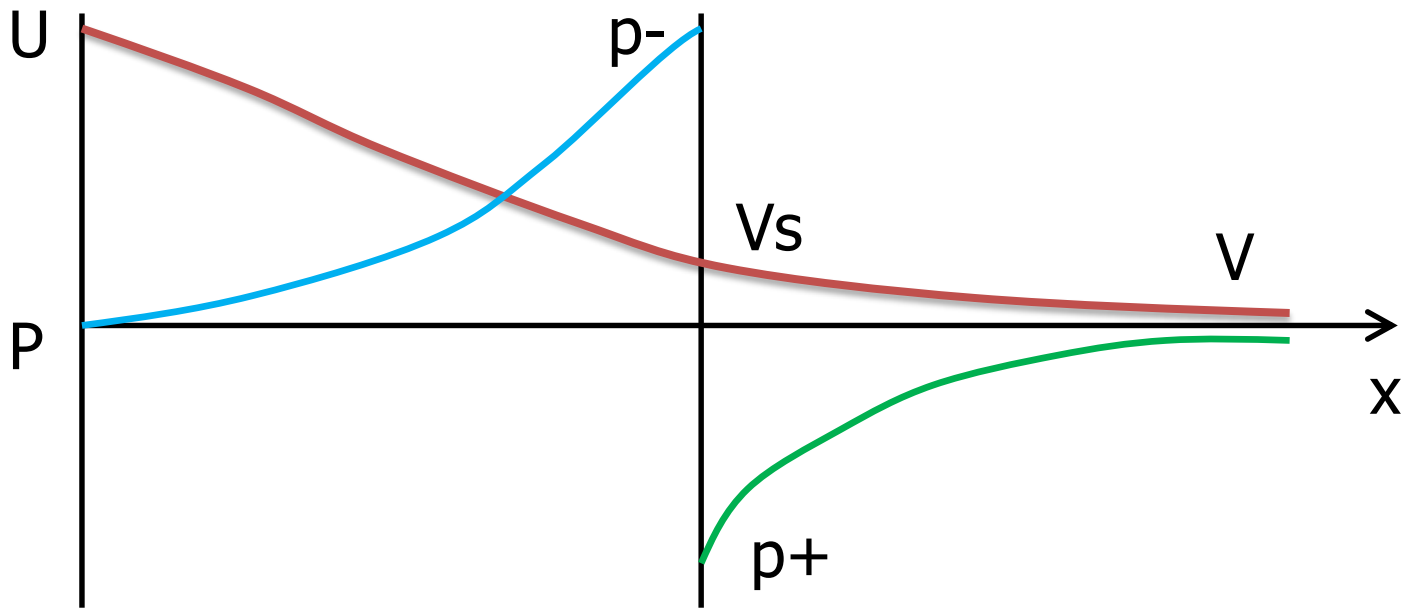
image url



Θεωρία Δίσκου Ενέργειας

- Το ρευστό μετά τον δίσκο έχει μικρότερη ενέργεια από αυτή πριν από τον δίσκο και **οριακά** λίγο πριν και λίγο μετά παραμένει η ίδια για λόγους διατήρησης της μάζας

- Η στατική πίεση του ρευστού μετά τον δίσκο θα είναι μικρότερη από την στατική πίεση πριν από τον δίσκο



Θεωρία Δίσκου Ενέργειας

- Αρχή διατήρησης της μάζας

$$\dot{m} = \rho \cdot A_\delta \cdot V_s = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot V_s$$

όπου: **ρ** η πυκνότητα του ρευστού, $\mathbf{A_\delta}$ η διατομή του ροϊκού σωλήνα στον δίσκο ακτίνας R και $\mathbf{V_s}$ η ταχύτητα πάνω στον δρομέα

- Αρχή διατήρησης ορμής (**T**: ωστική δύναμη)

$$T = \rho \cdot A_\delta \cdot V_s \cdot (U - V)$$

όπου: **U** η ταχύτητα πολύ πριν φτάσει ο αέρα στον δίσκο και **V** η ταχύτητα πολύ μετά τον δίσκο

Θεωρία Δίσκου Ενέργειας

- Αρχή διατήρησης της ενέργειας

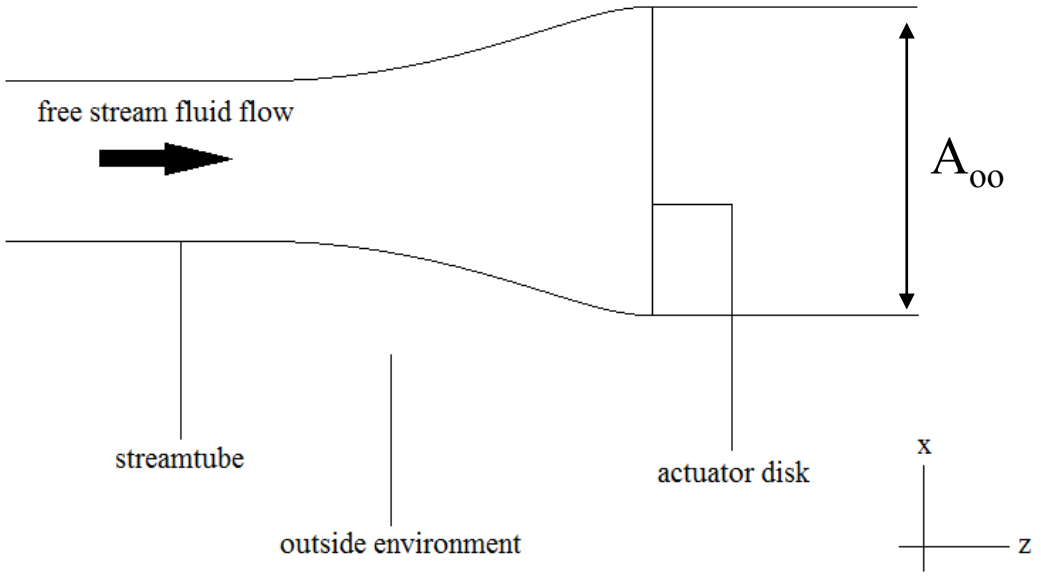
$$V_s = \frac{1}{2}(U + V)$$

Συντελεστής αξονικής απαγωγής:

$$a = \frac{U - V_s}{U}$$

$$V_s = U(1 - a)$$

$$V = U(1 - 2a)$$



Ισχύς που δεσμεύεται από τον δίσκο: $P = T \cdot V_s$

Θεωρία Δίσκου Ενέργειας

- **Όριο του Betz**

Συντελεστής Ισχύος: $C_p = 4 \cdot a \cdot (1-a)^2$

Συντελεστής Αντίστασης: $C_T = 4 \cdot a \cdot (1-a)$

Μέγιστη τιμή του συντελεστή ισχύος:

ονομάζεται **όριο Betz** και υπολογίζεται $C_{P\max} = \frac{16}{27} = 59\%$

όταν $dC_p/d\alpha=0$ (εμφανίζεται ακρότατο) → $\alpha=1/3$

$P_{\max} = C_{P\max} \cdot \bar{P}$ (όπου $\bar{P}$ η μέγιστη διαθέσιμη ισχύς του ανέμου)

Θεωρία Δίσκου Ενέργειας

- Όριο του Betz

Η μέγιστη τιμή του συντελεστή αντίστασης υπολογίζεται όταν $dC_T/d\alpha=0$ (εμφανίζεται ακρότατο) → $\alpha=1/2$

- Για $dC_P/d\alpha=0$ ($\alpha=1/3$)→$Vs=2/3*U$ και $V=1/3*U$

- Για $dC_T/d\alpha=0$ ($\alpha=1/2$)→$Vs=1/2*U$ και $V=0$

Δυναμική συμπεριφορά αιολικής μηχανής

- Η απόδοση μιας αιολικής μηχανής επηρεάζεται από την απόσταση μεταξύ των πτερυγίων για δεδομένες ταχύτητες ανέμου

- Η συχνότητα περιστροφής των πτερυγίων πρέπει να προσαρμόζεται με την ταχύτητα του ανέμου

Δυναμική συμπεριφορά αιολικής μηχανής

Η ισχύς της αιολικής μηχανής εξαρτάται από:

- Χρόνος $\mathbf{t_b}$ για να πάει το πτερύγιο από τη θέση που βρίσκεται στη θέση του επόμενου πτερυγίου. Για μια αιολική μηχανή με n πτερύγια που περιστρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ω ισχύει:

$$t_b = \frac{2\pi}{n\omega}$$

- Χρόνος $\mathbf{t_w}$ που μεσολαβεί για την αποκατάσταση διαταραχθέντος στρώματος αέρα με στρώμα στρωτής ροής:

$$t_w = \frac{d}{u}$$

- όπου **d** είναι το μήκος διαταραχθέντος στρώματος αέρα λόγω του περάσματος από την αιολική μηχανή

- Η μέγιστη ισχύς απορροφάται όταν: $\mathbf{t_b = t_w}$ στην κορυφή των πτερυγίων

Δυναμική συμπεριφορά αιολικής μηχανή

- Ο συντελεστής απόδοσης μιας αιολικής μηχανής εξαρτάται από:
- Λόγος της ταχύτητας ακροπτερυγίου λ:

$$\lambda = \frac{\text{ταχύτητα ακρου}}{\text{ταχύτητα ανέμου}} \quad \frac{R\omega}{u}$$

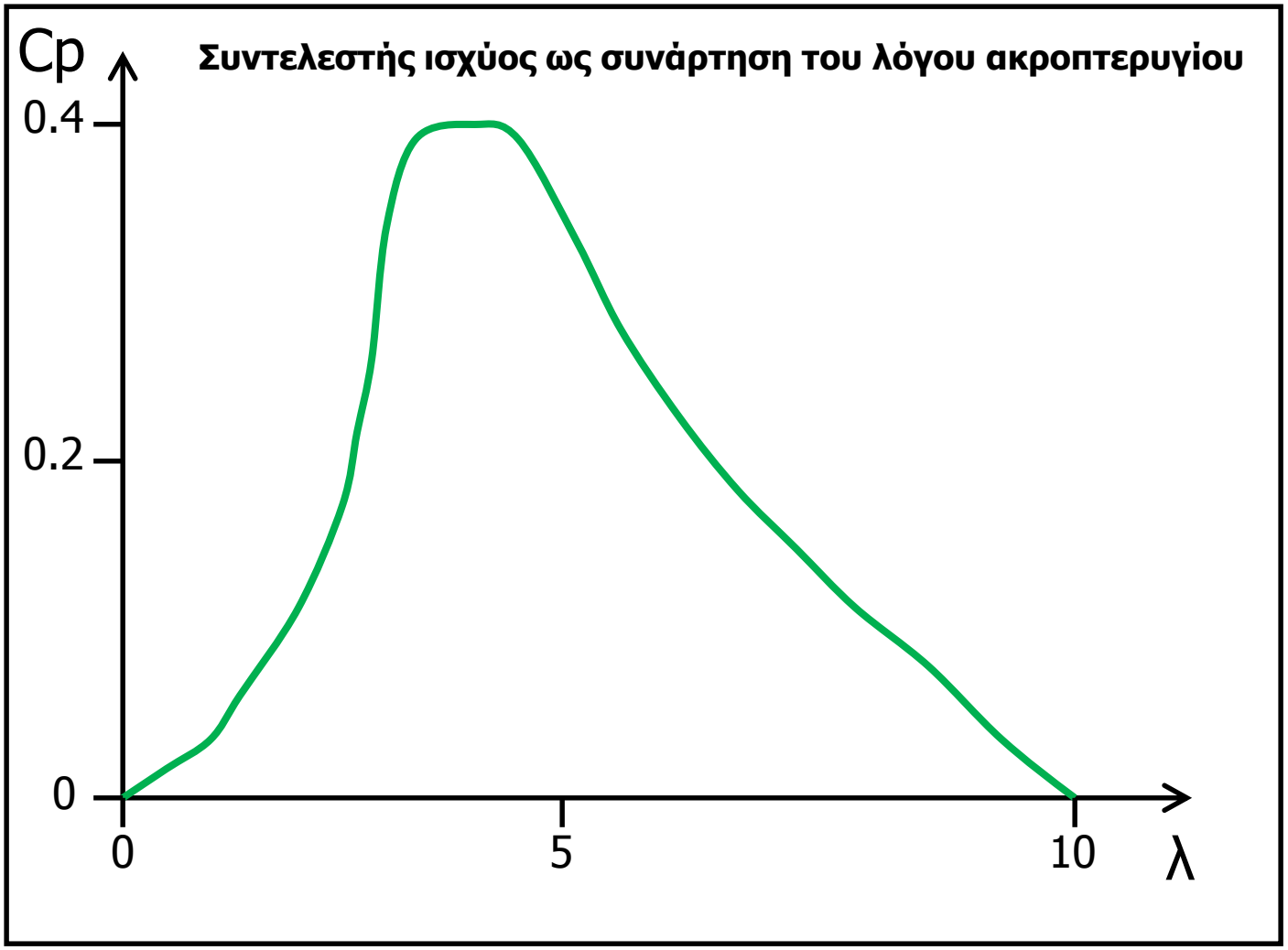
- Για μέγιστη ισχύ έχουμε:

$$\lambda = \frac{2\pi R}{nd} \quad \frac{2\pi}{kn}$$

- όπου n ο αριθμός των ακροπτερυγίων, d το πλάτος του ακροπτερυγίου και k=d/R

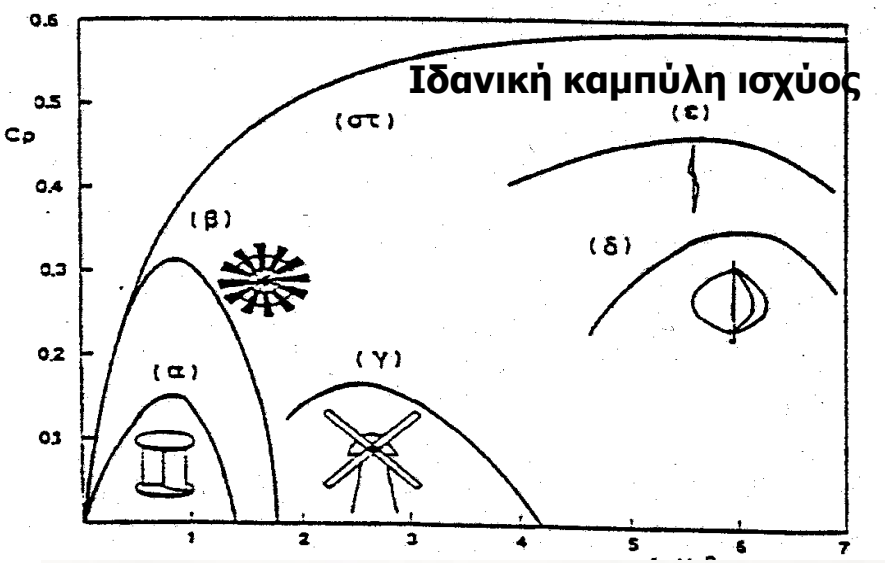
- Όταν k=1/2 το λ γίνεται μέγιστο, οπότε για μια αιολική μηχανή με n πτερύγια έχουμε: $\lambda_o = 4*\pi/n$

Δυναμική συμπεριφορά αιολικής μηχανή



Δυναμική συμπεριφορά αιολικής μηχανής

- Η ιδανική καμπύλη ισχύος τείνει ασυμπτωτικά στο όριο Betz
- Μεγάλες διαφορές στις διάφορες μηχανές:
  - **(β)** πολύπτερη αιολική μηχανή → μεγάλη διακύμανση του συντελεστή ισχύος και το Cp λαμβάνει μικρές τιμές
  - **(ε)** γρήγορη αιολική μηχανή με 2 πτερύγια → μικρή διακύμανση και μεγάλες τιμές



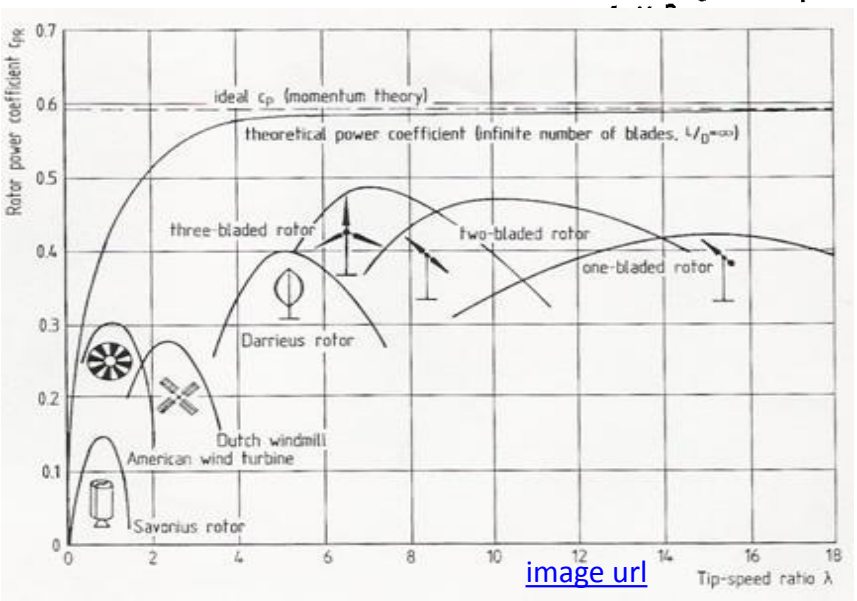


image url

Δυναμική συμπεριφορά αιολικής μηχανής

- Δύο είναι οι βασικές δυνάμεις:
  - Ανωστική δύναμη
  - Οπισθέλκουσα δύναμη
- Η ανωστική δύναμη είναι κάθετη στην οπισθέλκουσα, η οποία εμποδίζει την περιστροφή
- Ένας από τους βασικούς στόχους του αεροδυναμικού σχεδιασμού της πτερωτής είναι η κατασκευή πτερυγίων με υψηλό λόγο ανωστικής προς οπισθέλκουσα

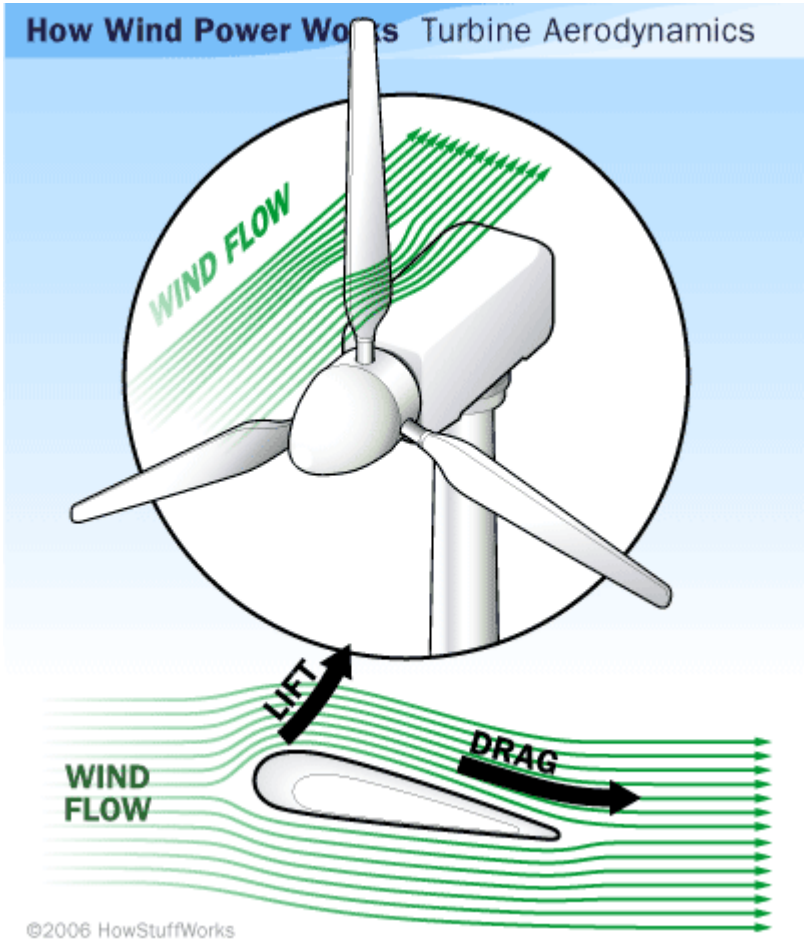


image url

Δυναμική συμπεριφορά αιολικής μηχανής

- **Ανωστική Δύναμη (L)**

Ο αέρας ολισθαίνει κατά μήκος της άνω επιφάνειας του πτερυγίου με μεγαλύτερη ταχύτητα από ότι στην κάτω επιφάνεια. Αυτό σημαίνει ότι η πίεση είναι μικρότερη στην άνω επιφάνεια του πτερυγίου από ότι στην κάτω με συνέπεια να ασκείται μία ανωστική δύναμη από κάτω πρός τα πάνω.

Η ανωστική δύναμη είναι κάθετη στην διεύθυνση του ανέμου

$$c_L = \frac{L}{1/2\rho u^2 S}$$

Συντελεστής άνωσης:

όπου:u ταχύτητα του ανέμου ως προς την αεροτομή και S επιφάνεια προβολής της αεροτομής στον άνεμο

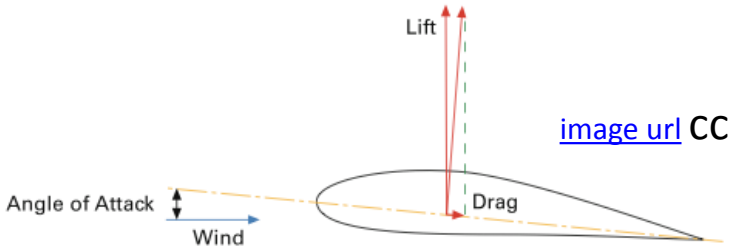


image url CC

Δυναμική συμπεριφορά αιολικής μηχανής

- Οπισθέλκουσα Δύναμη (D)

Ουσιαστικά είναι η αντίσταση που εμφανίζει αεροτομή στον αέρα που προσπέφτει στην πτερωτή. Η οπισθέλκουσα αυξάνει με την αύξηση της επιφάνειας προσβολής. Είναι εξίσου σημαντική για τον αεροδυναμικό σχεδιασμό.

Αντίστοιχα υπάρχει και ο συντελεστής οπισθέλκουσας ο οποίος είναι αδιάστατος:

$$c_D = \frac{D}{1/2\rho u^2 S}$$

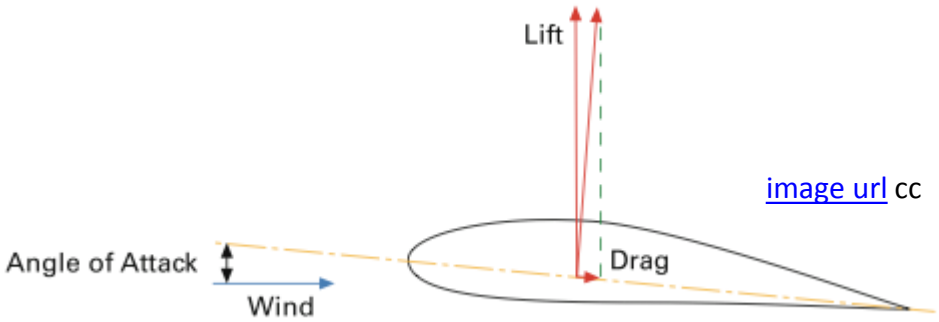


image url cc

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α/Γ

- Η μέγιστη αιολική ενέργεια που δεσμεύει μια ιδανική αιολική μηχανή είναι ένα τμήμα της κινητικής ενέργειας του ανέμου και ισούται με:

Emax=Cp*Ewind ,όπου Cp=0.59 το όριο του Betz

- Η ηλεκτρική ισχύς που παίρνουμε από την αιολική μηχανή είναι:

$$P_{electric} = c_p n_{gearbox} n_{generator} n_{accumulator} P_{wind}$$

όπου: $n_{gearbox}$ η απόδοση του πολλαπλασιαστή στροφών
$n_{generator}$ η απόδοση της γεννήτριας
$n_{accumulator}$ η απόδοση των συσσωρευτών

- Η ετήσια αιολική ενέργεια είναι:

$$E_{electric} = P_{electric} T$$ όπου Τ ένα έτος

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α/Γ

(Παράδειγμα [1])

- Ανεμογεννήτρια 60m διαμέτρου πτερωτής
- Ταχύτητα ανέμου 12 m/sec
- Πυκνότητα αέρα 1.2 kgr/m^3
- $P_{wind}=0.5*\rho*A*u^3=...=2931$ kW
- Ο συντελεστής ισχύος της Α/Γ είναι 0.44, οπότε η ισχύς του δρομέα είναι:
- $P_{rotor}=2931*0.44=1290$ kW
- Το σύστημα πέδησης του δρομέα και ο πολλαπλασιαστής στροφών έχουν αποδόσεις: 99.6% και 97.2% αντίστοιχα, οπότε η παραδιδόμενη στην γεννήτρια ισχύ είναι:

→ $P_{\rightarrow generator}=1290*0.996*0.972=1249$ kW

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α/Γ

(Παράδειγμα [1])

- Ο συντελεστής απόδοσης της γεννήτριας είναι 96.5% και η έξοδος της γεννήτριας περνά από διάφορα ηλεκτρονικά κυκλώματα (μετατροπείς συχνότητας, φίλτρα αρμονικών, ..) με συνολική απόδοση 95.8%
- $\rightarrow P_{generator\rightarrow}=1249*0.958=1197kW$

- Τέλος πριν παραδοθεί η ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο περνά από μετασχηματιστή για διόρθωση τάσης, με απόδοση 98%:
- $\rightarrow P_{\rightarrow grid}=1197*0.98=1173kW$

- Συνήθως οι απώλειες του ηλεκτρικού δικτύου είναι της τάξης του **8%**

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α/Γ

(Παράδειγμα [1])

- Η ισχύς του ανέμου: **2931kW**
- Ο δρομέας παράγει **1290kW** και παραδίδει στη γεννήτρια **1249kW**
- Η γεννήτρια παράγει **1197kW** εκ των οποίων τα **1173kW** παραδίδονται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας
- Τελικά στον καταναλωτή παραδίδονται **1079kW** (8% απώλειες στο δίκτυο)

Ενέργεια από τον άνεμο

- Με βάση την κατανομή Weibull υπολογίζεται η συνολική διαθέσιμη αιολική ισχύ σε W/sqm (γκρι περιοχή)
- Με βάση το όριο του Betz (=0.59) υπολογίζεται η μέγιστη ισχύς του ανέμου που θεωρητικά μπορεί να μετατραπεί σε μηχανική (μπλε περιοχή)
- Με βάση την συνολική απόδοση της εκάστοτε Α/Γ υπολογίζεται η ηλεκτρική ισχύς που παράγεται

Power of the wind

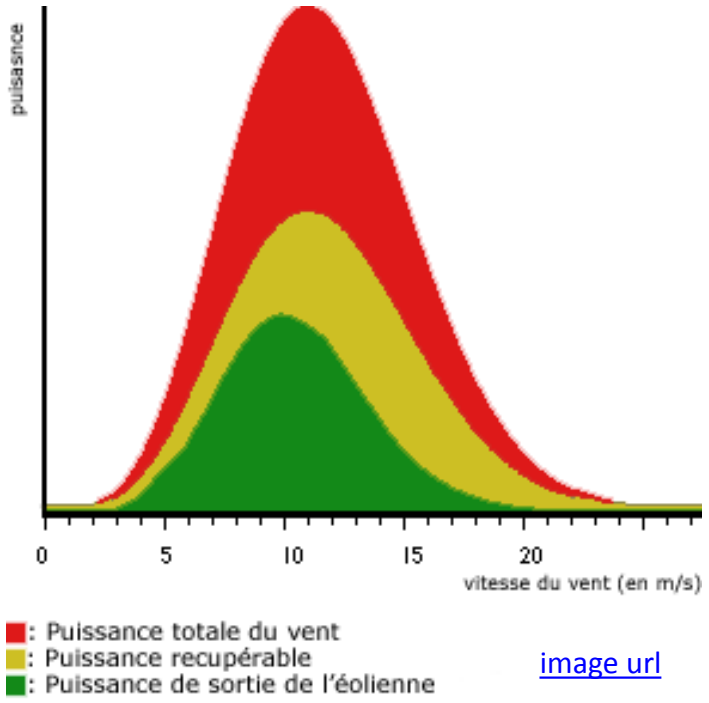


image url

Total Power Input

Usable Power Input (Betz' law)

Turbine Power Output

Ενέργεια από τον άνεμο

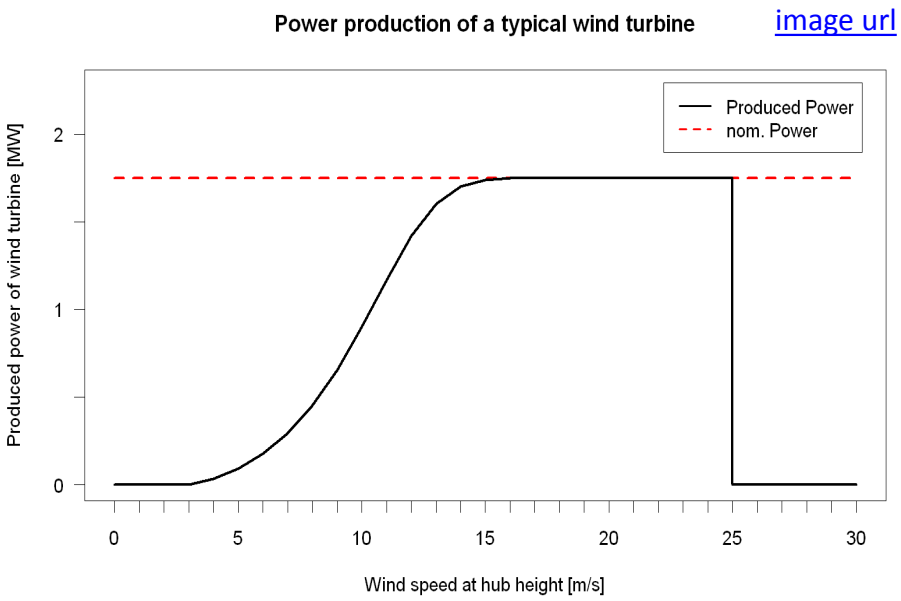
- Αυτό που είναι σημαντικό είναι το γεγονός ότι το μεγαλύτερο μέρος της διαθέσιμης αιολικής ενέργεια βρίσκεται για ταχύτητες **μεγαλύτερες από την μέση ταχύτητα του ανέμου** του τόπου όπου είναι εγκατεστημένη η Α/Γ.

- Αυτό συμβαίνει γιατί οι υψηλές ταχύτητες του ανέμου έχουν πολύ μεγαλύτερο ενεργειακό «περιεχόμενο» σε σχέση με τις χαμηλές ταχύτητες του ανέμου

- Η χρήση της μέσης ταχύτητας για τον υπολογισμό της ενέργειας που μπορεί να παράγει μια Α/Γ γενικά οδηγεί σε υποτίμηση των ενεργειακών μεγεθών

Ενέργεια από τον άνεμο

- Η καμπύλη ισχύος μιας Α/Γ δείχνει πως μεταβάλλεται παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ της μηχανής για διάφορες τιμές της ταχύτητας του ανέμου.
- Συχνά η καμπύλη δημιουργείται από επί τόπου μετρήσεις και χρήση ανεμόμετρων
- Λόγω της διακύμανσης του ανέμου συχνά υπάρχει αβεβαιότητα στις μετρήσεις (π.χ. ±3% σφάλμα στην ταχύτητα του ανέμου→±9% στην αιολική ενέργεια)



Ενέργεια από τον άνεμο

- Ο συντελεστής ισχύος της Α/Γ προσδιορίζει πόσο αποδοτικά η μηχανή μετατρέπει την αιολική ενέργεια σε μηχανική
- Αν και η μέση απόδοση είναι περίπου 20%, ο Cp μεταβάλλεται έντονα με την ταχύτητα του ανέμου
- Η μέγιστη απόδοση είναι 44% για ταχύτητα ~9m/sec, τιμή που ο σχεδιαστής εσκεμμένα επέλεξε
- Για χαμηλές ταχύτητες η απόδοση είναι χαμηλή (χαμηλή διαθέσιμη αιολική ενέργεια), ενώ για υψηλές αυξάνει

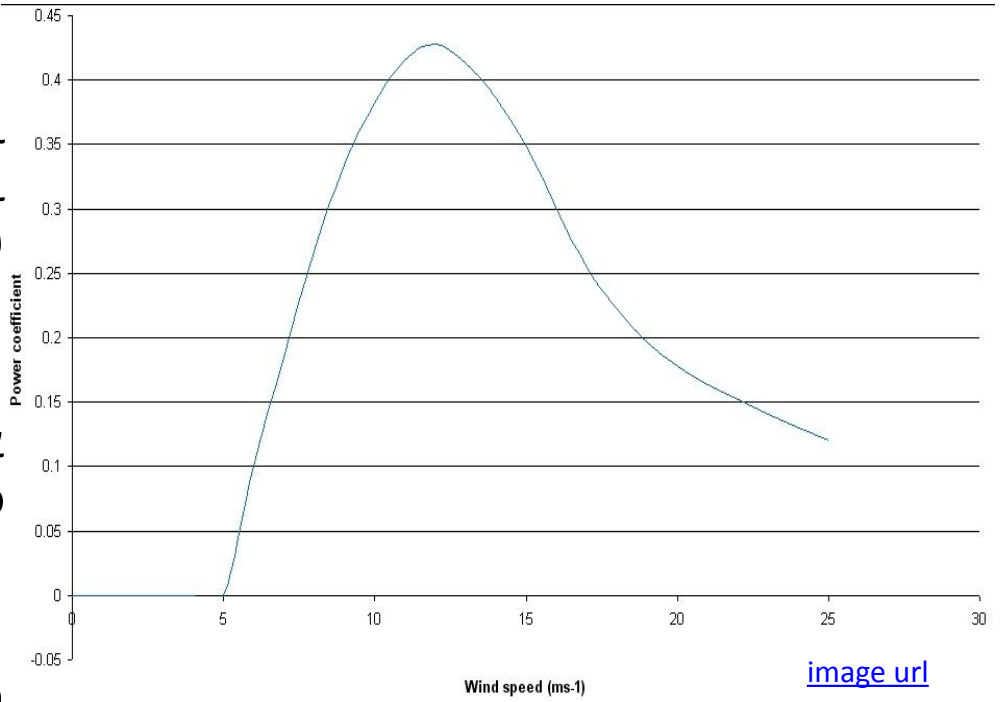


image url

Βασικές αρχές σχεδιασμού αιολικού πάρκου

- Δεν είναι ο βασικός σκοπός να κατασκευάζουμε ανεμογεννήτριες με υψηλή απόδοση
- Αυτό που έχει πραγματικά σημασία είναι το κόστος της παραγόμενης ενέργειας (€/kWh) από τον άνεμο τα επόμενα 20 χρόνια
- Από την στιγμή που το «καύσιμο» είναι δωρεάν δεν υπάρχει λόγος να κάνουμε εξοικονόμηση ενέργειας στην αιολική
- Η βέλτιστη Α/Γ δεν είναι απαραίτητα αυτή που παράγει την περισσότερη ενέργεια ανά έτος, αλλά αυτή που παράγει την φθηνότερη
- Από την άλλη κάθε τετραγωνικό μέτρο πτερωτής έχει οικονομικό κόστος οπότε αυτό που είναι σημαντικό είναι να συλλέγεται όση ενέργεια είναι δυνατόν κρατώντας χαμηλό το κόστος ανά kWh

Ενέργεια από τον άνεμο

- **Συντελεστής χωρητικότητας (Capacity factor)**

Ένας άλλος τρόπος για να τη ετήσια παραγωγή ενέργειας από μία Α/Γ είναι ο υπολογισμός του συντελεστή χωρητικότητας για την μηχανή εγκατεστημένη σε συγκεκριμένη τοποθεσία.

Ορίζεται ως το κλάσμα της ετήσιας παραγωγής ενέργειας προς την ετήσια μέγιστη θεωρητική παραγωγή ενέργειας.

Παράδειγμα: Αν μία Α/Γ 600kW παράγει 1.500.000 kWh/year ο συντελεστής χωρητικότητας είναι:

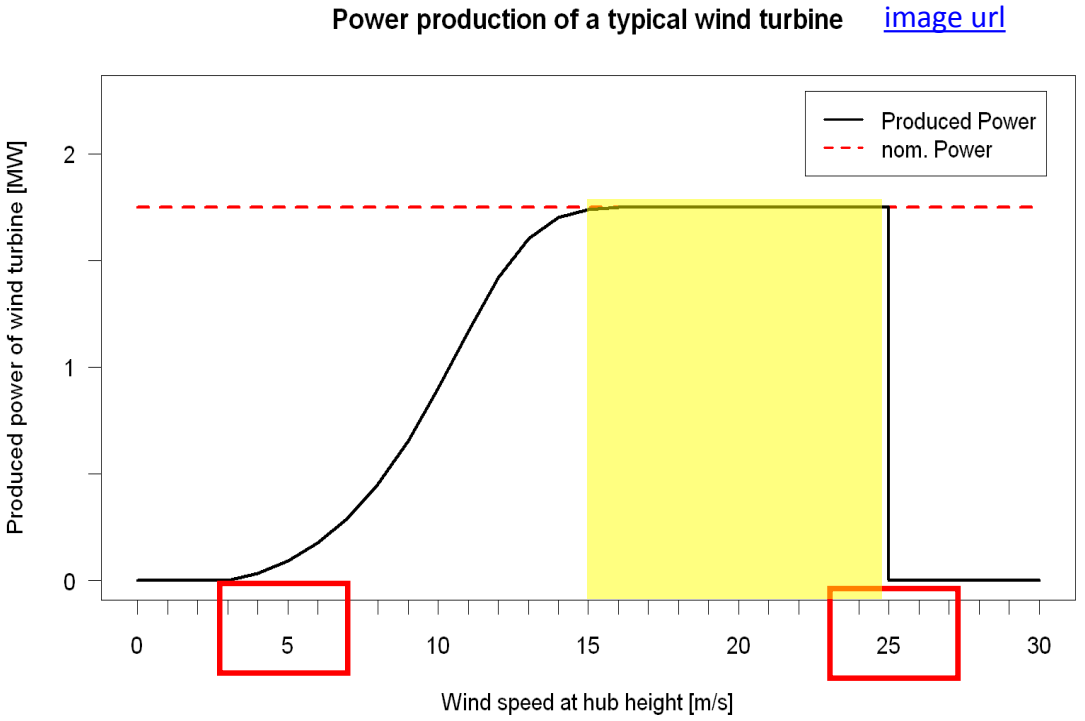
→1500000 / (365.25 * 24 * 600) = 1500000 / 5259600 = 0.285 = 28.5%

Ο συντελεστής χωρητικότητας κυμαίνεται από 0 – 100 %, αλλά συνήθως έχει τιμές μεταξύ 20 % και 70 %, με συχνότερη τιμή 25-30%

Χαρακτηριστικές ταχύτητες

Υπάρχουν τρεις χαρακτηριστικές ταχύτητες που διαμορφώνουν την καμπύλη ισχύος μιας Α/Γ

- Η ταχύτητα έναρξης λειτουργίας (V_{in})
- Η ονομαστική ταχύτητα (V_R)
- Η ταχύτητα εξόδου (V_{out})



Χαρακτηριστικές ταχύτητες

- Η ταχύτητα έναρξης λειτουργίας (V_{in}) [3-5 m/sec]

Η Α/Γ παρουσιάζει απώλειες λόγω τριβών στον άξονα περιστροφής, στο σύστημα πέδησης, στον πολλαπλασιαστή στροφών, κλπ. με αποτέλεσμα να αποδίδει ισχύ μόνο όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει μια ορισμένη ταχύτητα V_{in}. Για ταχύτητες μικρότερες από αυτή η Α/Γ δεν αποδίδει ισχύ.

$$V_{\text{in}} = \left[\frac{8 \frac{P_0}{P_R} P_R}{\rho \pi c_p D^2} \right]^{1/3}$$

όπου: $\mathbf{P_o}$ η ισχύς που χάνεται για ταχύτητες ανέμου $<\mathbf{V_{in}}$, $\mathbf{P_R}$ η ονομαστική ισχύς της μηχανής, $\mathbf{C_p}$ ο συντελεστής ισχύος, $\boldsymbol{\rho}$ η πυκνότητα του αέρα, **D** η διάμετρος της πτερωτής.

Χαρακτηριστικές ταχύτητες

- Η ονομαστική ταχύτητα ($\mathbf{V_R}$)

Για τιμές μεγαλύτερες της $\mathbf{V_{in}}$ αυξανόμενης της ταχύτητας του ανέμου έχουμε αύξηση της ωφέλιμης ισχύος μέχρι μια ταχύτητα $\mathbf{V_R}$ πέρα από την οποία υπάρχει σύστημα που διατηρεί σχεδόν σταθερή την παραγόμενη ισχύ (ονομαστική ισχύς). Έτσι θα πρέπει να βρεθεί για κάθε θέση εγκατάστασης της αιολικής μηχανής η καλύτερη σχέση μεταξύ των παρατηρούμενων ταχυτήτων του ανέμου και της ονομαστικής ταχύτητας της μηχανής.

$$V_{\mathrm{R}} = 1.9\bar{V}$$

όπου **<V> η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου** στη θέση εγκατάστασης.

Χαρακτηριστικές ταχύτητες

- Η ταχύτητα εξόδου (V_{out}) [22-28m/sec]

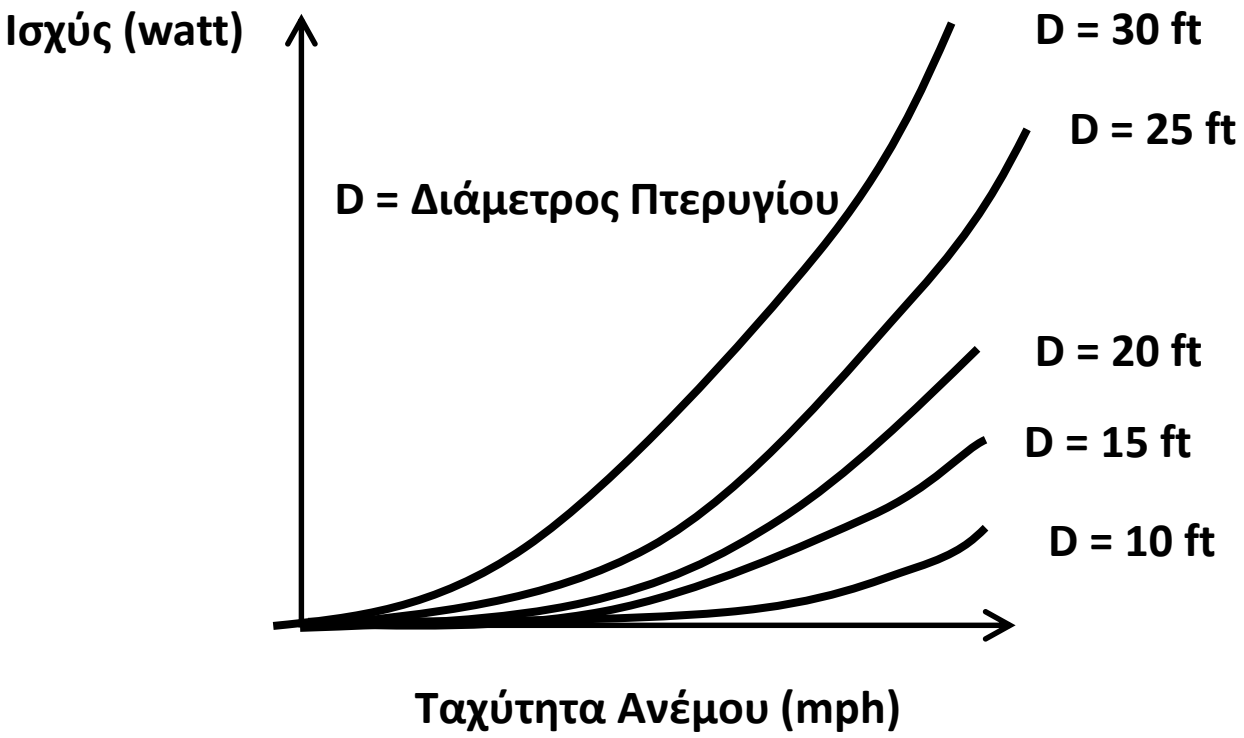
- Για πολύ υψηλές ταχύτητες του ανέμου πρέπει η αιολική μηχανή να τίθεται εκτός λειτουργίας για λόγους ασφάλειας.

- Σήμερα βέβαια στις μεγάλες αιολικές μηχανές γίνεται προσπάθεια να λειτουργούν σε οποιεσδήποτε ταχύτητες ανέμου.

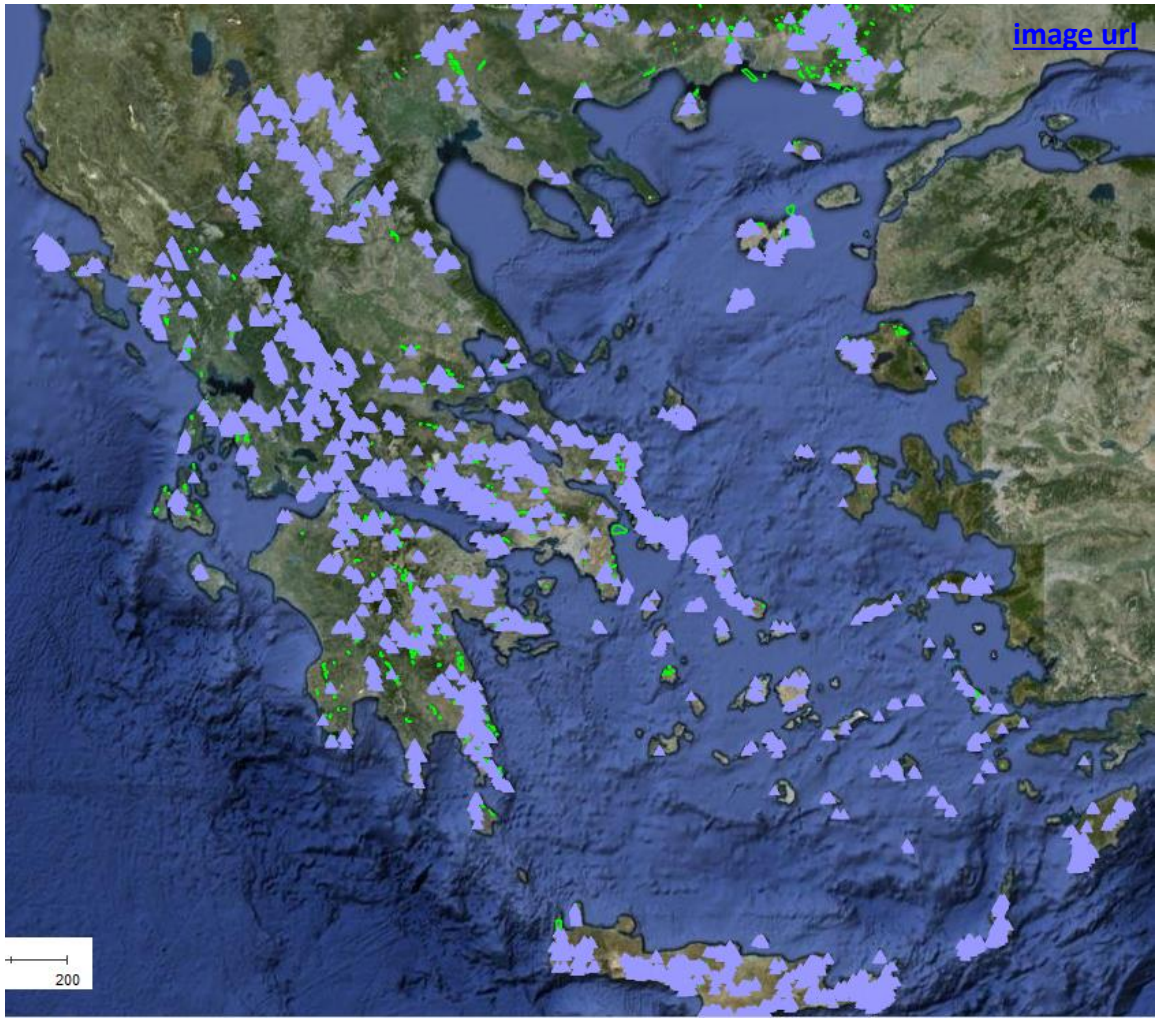
  - **Η ταχύτητα εξόδου συνδέεται και με το κόστος κατασκευής του συστήματος.**

Πρακτικά στοιχεία επιλογής ανεμογεννητριών – Αριθμός πτερυγίων

- Εκτίμηση ενεργειακών αναγκών
- Εκτίμηση διαστάσεων αιολικής μηχανής
- Ισχύς



Τρέχουσα Κατάσταση στον Ελληνικό Χώρο



1400 MW εγκατεστημένα μέχρι το τέλος του 2011

Τεχνοοικονομικά στοιχεία

- Μεγάλες Ανεμογεννήτριες (> 200 watt) ~ 1.0-1.2 €/Wp
- Μικρές Ανεμογεννήτριες (< 200 Watt) ~ 1.2 – 1.4 €/Wp
- Τιμή KWh = 0.07 – 0.08 €
- Ήπια αιολικά δεδομένα: Παραγωγή 1Wp -> 2.5 kWh
- Απόσβεση ~ 8 έτη λόγω λειτουργικών εξόδων (~ 3 % κόστους εγκατάστασης) και λόγω πιθανότητας αντικατάστασης εξοπλισμού 25 %

Τέλος Ενότητας

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Όνομα μέλους ή μελών ΔΕΠ 2014: Ελευθέριος Αμανατίδης. «Ανανεώσιμες Μορφές Ενέργειας». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: https://eclass.upatras.gr/courses/CMNG2123/.

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

[1] http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.