

# ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



Δρ. Άγγελος Σ. Μπουχουράς

# ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

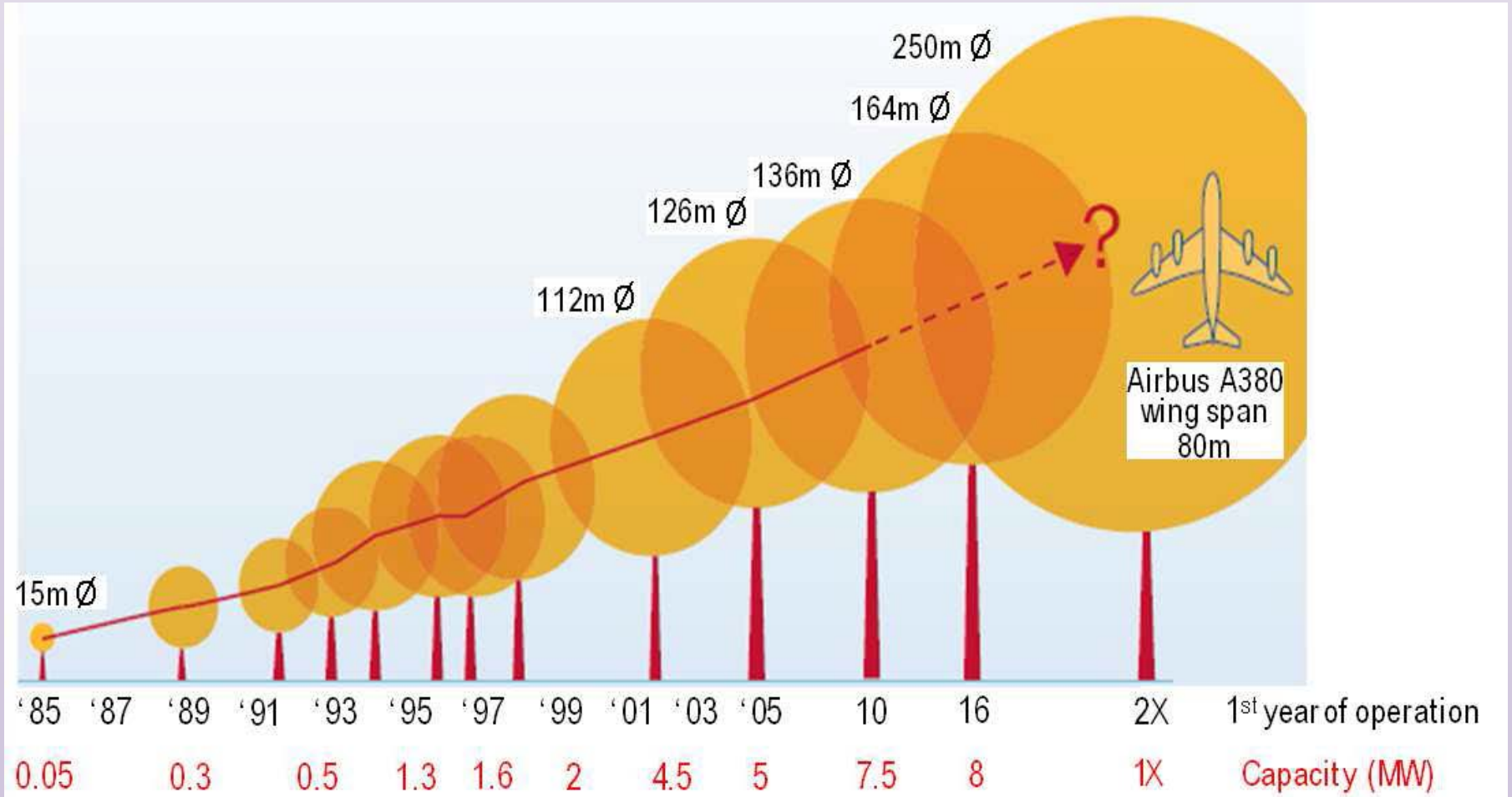


# Αιολικοί Σταθμοί

---

- Αιολικές μηχανές ή ανεμοκινητήρες: οι μηχανές οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας
- Ανεμογεννήτριες (wind turbines) είναι αιολικές μηχανές που τη μετατρέπουν πρώτα σε περιστροφική (μηχανική) και μετά σε ηλεκτρική, ενώ για παράδειγμα οι ανεμόμυλοι ή οι ανεμαντλίες χρησιμοποιούν απλά την περιστροφική ενέργεια για την εκτέλεση ενός έργου (άλεση σιταριού, άντληση νερού)
- Περιοχές με μέση ταχύτητα ανέμου της τάξεως των  $>6\text{m/s}$  αποτελούν δυνητικά τοποθεσίες για οικονομικά συμφέρουσα παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος

# Αιολικοί Σταθμοί



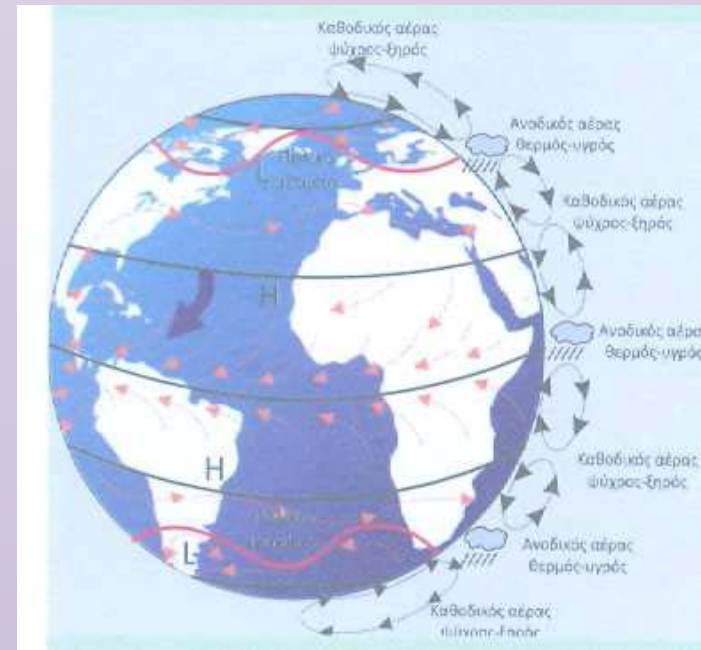
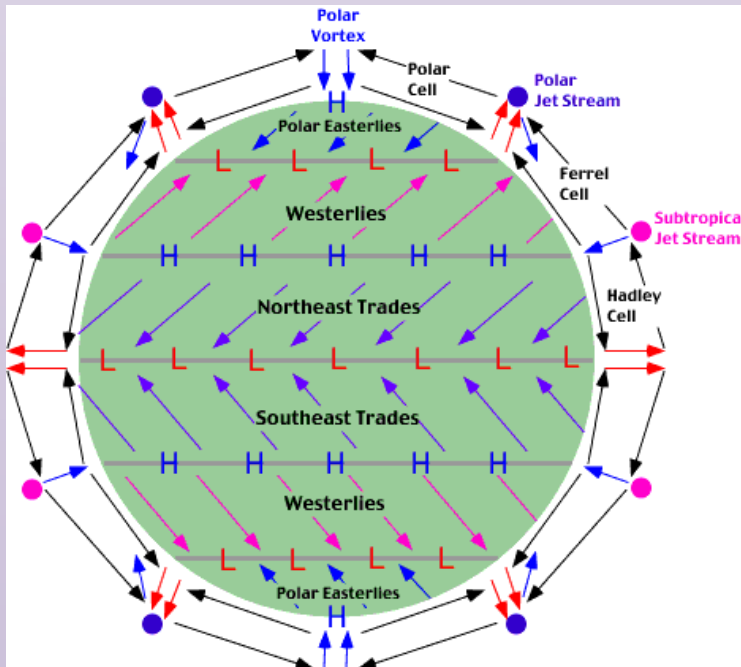
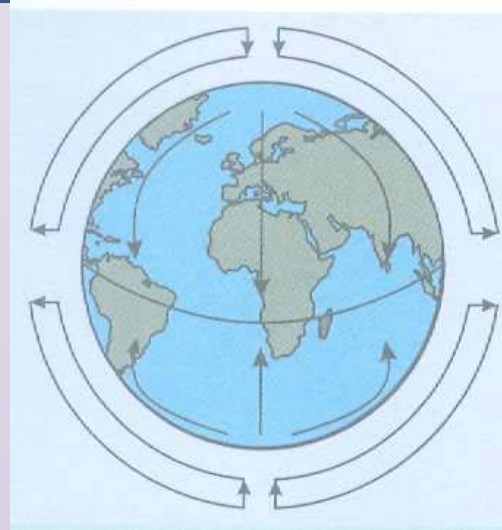
# Αιολικοί Σταθμοί

---

- **Αιολικό Δυναμικό:**
- Ο άνεμος, δηλαδή η κίνηση αερίων μαζών εμπεριέχει ένα σημαντικό ποσό κινητικής ενέργειας που ονομάζεται αιολική ενέργεια και την οποία μπορούν να εκμεταλλευθούν οι αιολικές μηχανές
- Τα βασικά χαρακτηριστικά του ανέμου:
  - ταχύτητα και
  - η διεύθυνσή του
- Κατηγορίες αιολικού δυναμικού:
- Θεωρητικό (ή μετεωρολογικό) δυναμικό. Είναι το σύνολο της ενέργειας του ανέμου που ρέει στο περιβάλλον.
- Διαθέσιμο δυναμικό. Είναι το θεωρητικό δυναμικό αλλά περιορισμένο σε εκείνες τις περιοχές που μπορεί να γίνει εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας. Για παράδειγμα ορισμένες περιοχές αποκλείονται από την εγκατάσταση συστημάτων ανεμογεννητριών λόγω χωροταξικών και γεωγραφικών περιορισμών.
- Τεχνολογικό δυναμικό. Το τεχνολογικό δυναμικό αποτελεί το κομμάτι του διαθέσιμου δυναμικού που μπορεί να εκμεταλλευτεί μια συγκεκριμένη τεχνολογία.
- Οικονομικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό. Το τεχνολογικό δυναμικό το οποίο είναι οικονομικά βιώσιμο καθορίζει το οικονομικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό.

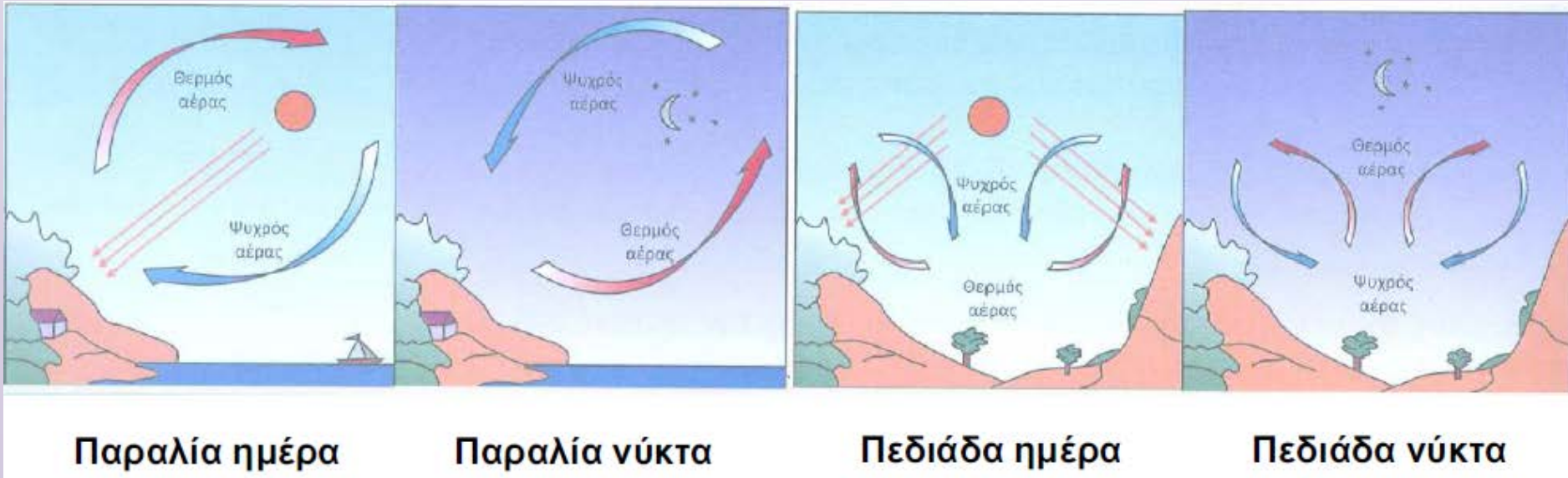
# Αιολικοί Σταθμοί

- Κίνηση του ανέμου:
- Γενική ή παγκόσμια κίνηση:
- Κατακόρυφη μεταφορά
- Κυψέλες ανακυκλοφορίας



# Αιολικοί Σταθμοί

- Τοπικοί άνεμοι:



# Αιολικοί Σταθμοί

---

- **Χαρακτηριστικά ανέμου:**
- Οι χρονικές μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου:
- Μεγάλων περιόδων: Η πρόβλεψη της διακύμανσης της ταχύτητας σε περίοδο  $>1y$  είναι σημαντική για την ενεργειακή παραγωγή από αιολικά συστήματα σε μια περιοχή. Απαιτούνται μετρήσεις ταχύτητας και άλλων μετεωρολογικών παραμέτρων (όπως πίεσης και θερμοκρασίας), ενώ για ασφαλή εκτίμηση της μεταβολής της απαιτούνται μετρήσεις  $>5y$ .
- Ετήσιες: Σημαντικές μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου στην περίοδο ενός έτους, παρατηρούνται σχεδόν σε όλες τις περιοχές και με διαφορετικό τρόπο. Για παράδειγμα, στην Ελλάδα στα νησιά του Αιγαίου, παρατηρούνται μεγάλες ταχύτητες κατά το Φεβρουάριο και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες του Ιουλίου και του Αυγούστου, ενώ την Άνοιξη και το Φθινόπωρο η ταχύτητα του ανέμου είναι μικρότερη. Στη δυτική Ελλάδα, κατά τους χειμερινούς μήνες εμφανίζονται οι μεγαλύτερες ταχύτητες, ενώ από τις αρχές της Άνοιξης έως και μέσα Φθινοπώρου οι μέσες ταχύτητες είναι χαμηλότερες.

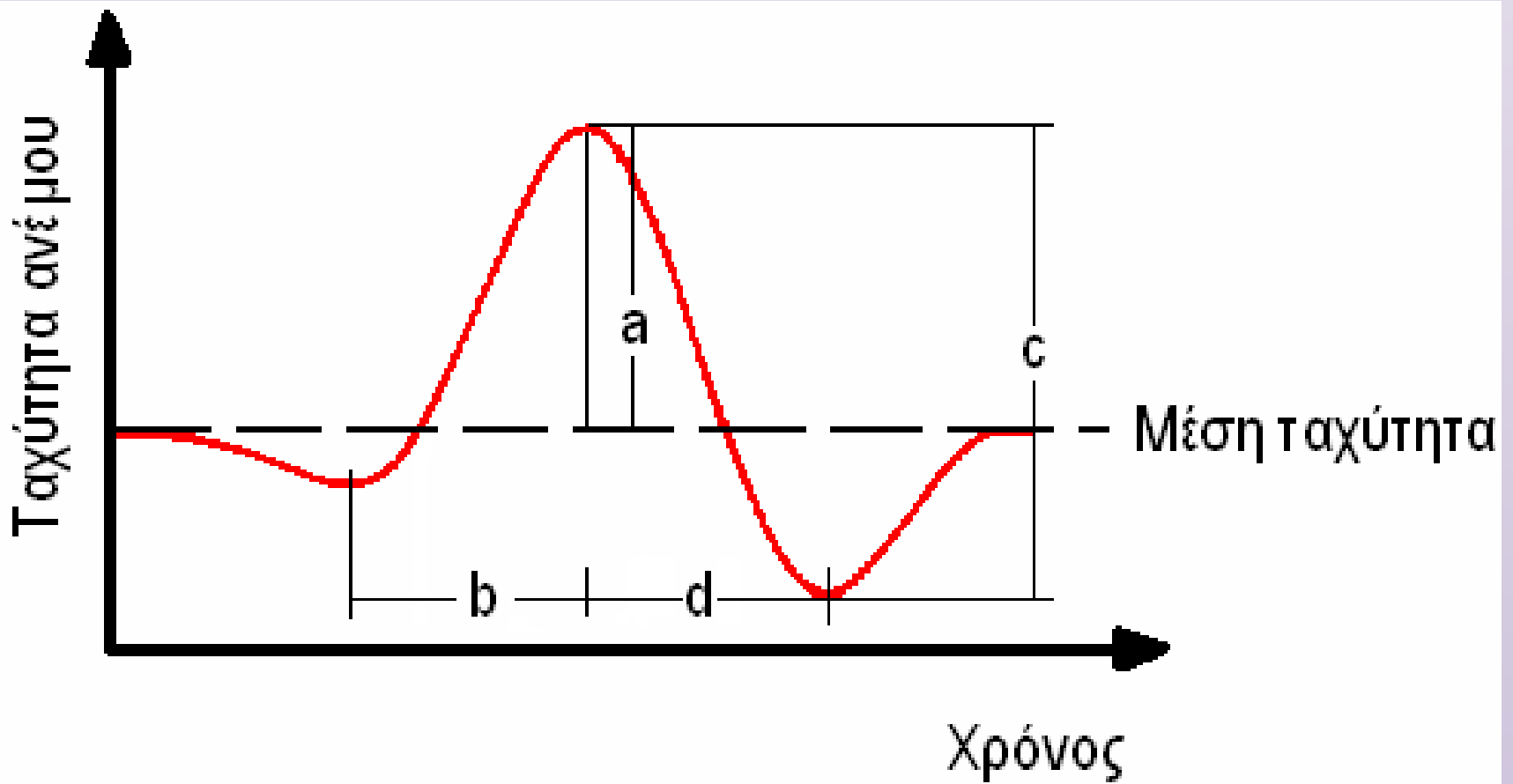


# Αιολικοί Σταθμοί

---

- Ημερήσιες. Σε τροπικά και μέσα γεωγραφικά πλάτη, όπου η διαφορά θέρμανσης κατά τον ημερήσιο κύκλο είναι μεγάλη, υπάρχει και μεγάλη διακύμανση στον άνεμο. Συνήθως, η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και μειώνεται από τα μεσάνυχτα έως το πρωί. Η ημερήσια διακύμανση της ταχύτητας εξαρτάται ακόμα από την εποχή, το υψόμετρο και τον τύπο του γεωγραφικού ανάγλυφου
- Σύντομες. Οι σύντομες διακυμάνσεις της ταχύτητας περιλαμβάνουν την τύρβη και τις ριπές του ανέμου. Θεωρείται πως οι στοχαστικές και συνεχείς διακυμάνσεις της ταχύτητας σε περιόδους μικρότερες από 1s έως 10min αντιπροσωπεύουν την τύρβη ενώ μεταβάλλεται και η φορά του ανέμου
- Ριπή του ανέμου είναι ένα μεμονωμένο γεγονός μέσα στη τυρβώδη ροή. Οι ριπές έχουν 4 χαρακτηριστικά: a πλάτος, b χρόνος ανάπτυξης, c εύρος, και d χρόνος παρέλευσης

# Αιολικοί Σταθμοί



# Αιολικοί Σταθμοί

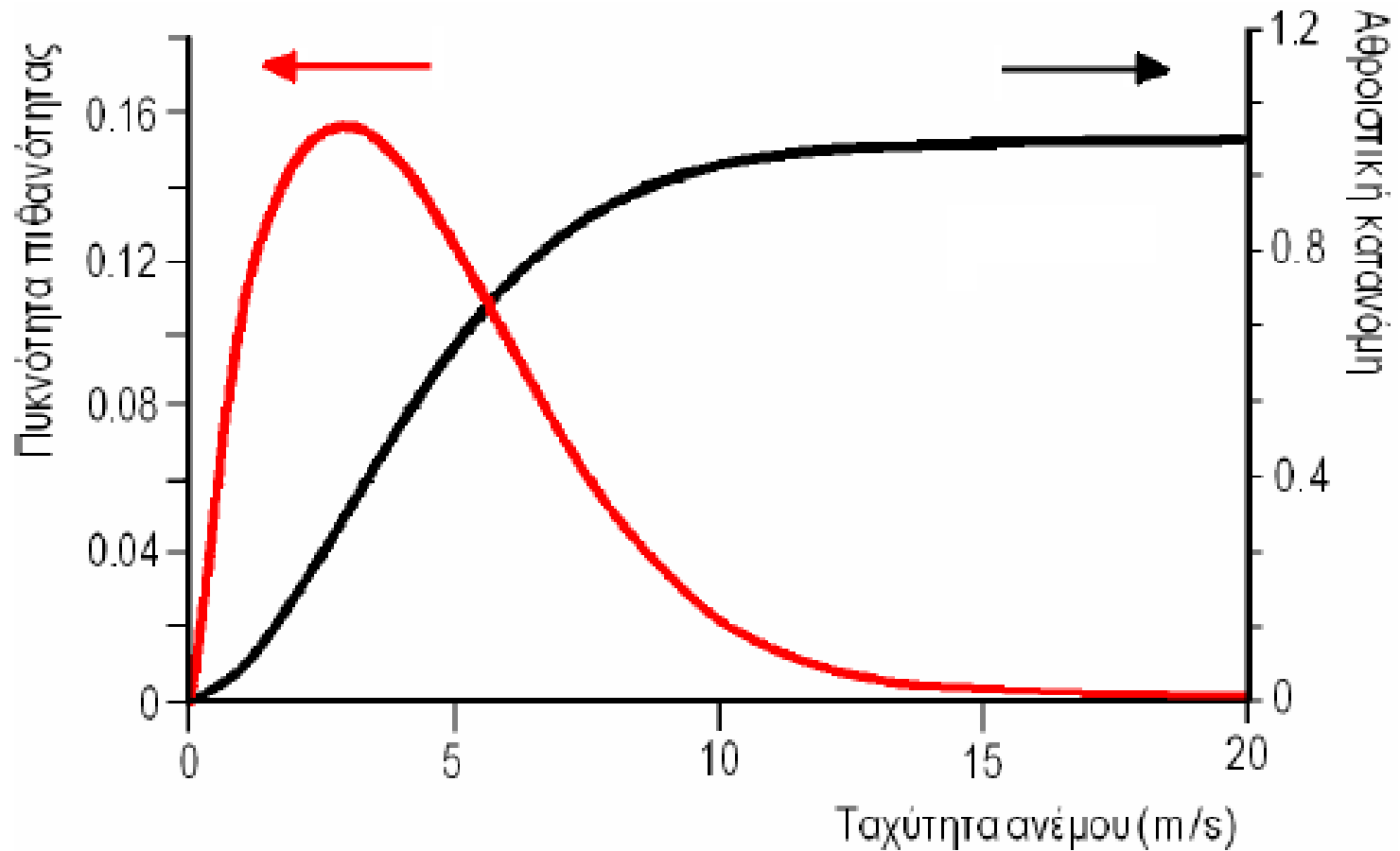
- Κατανομή ανέμου Weibull:

- Πυκνότητα πιθανότητας: 
$$f(\vec{V}) = \frac{k}{c} \left( \frac{\vec{V}}{c} \right)^{k-1} e^{-\left( \frac{\vec{V}}{c} \right)^k}$$

- Αθροιστική κατανομή εκφράζει την πιθανότητα κάποια χρονική στιγμή να φυσάει άνεμος μικρότερης ταχύτητας από  $\vec{V}_x$

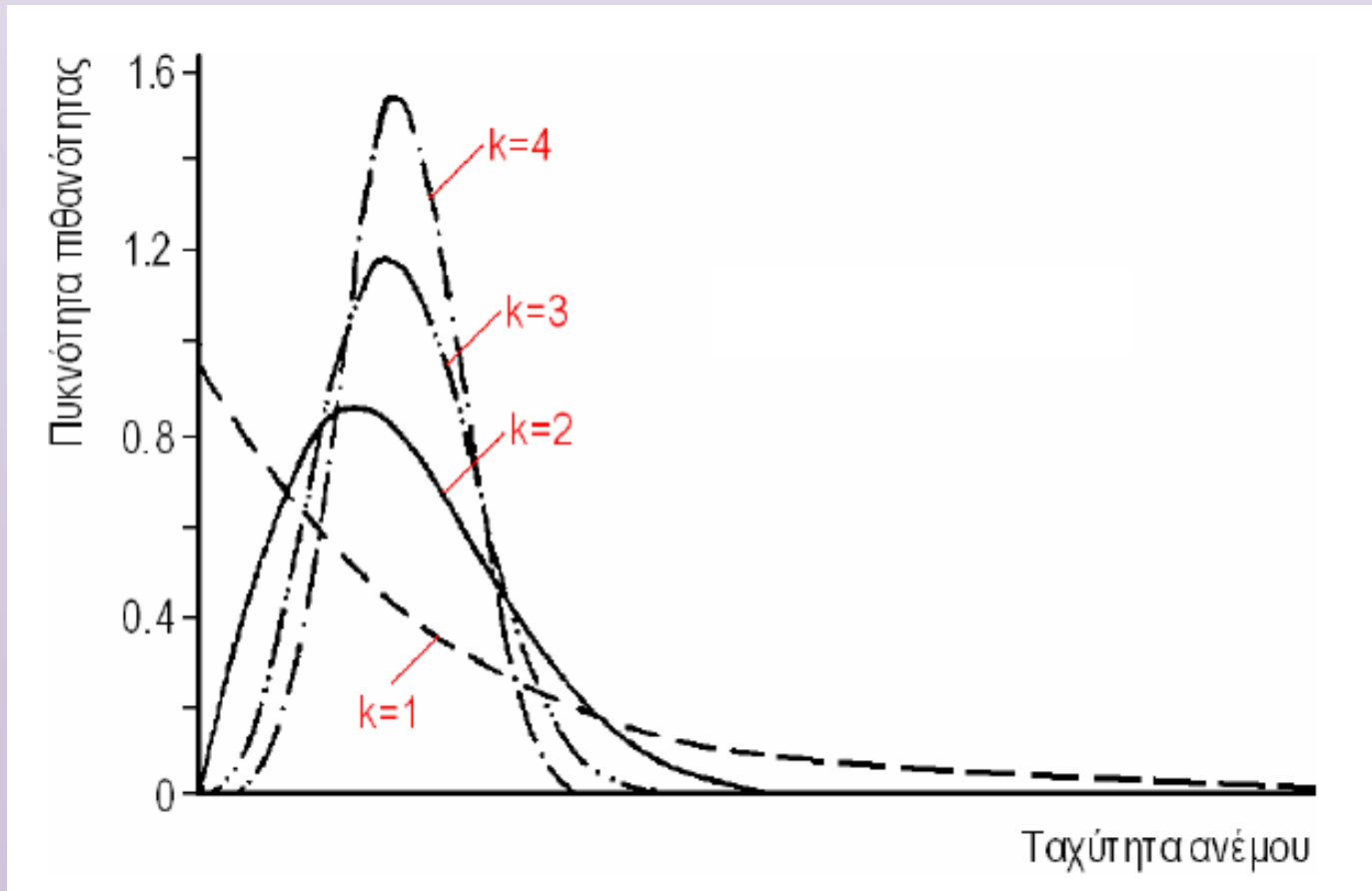
$$\Pi_w(\vec{V} \leq \vec{V}_x) = \int_0^{\vec{V}_x} f(\vec{V}) d\vec{V} = 1 - e^{-\left( \frac{\vec{V}_x}{c} \right)^k}$$

# Αιολικοί Σταθμοί



# Αιολικοί Σταθμοί

- Η παράμετρος  $k$  ονομάζεται παράμετρος μορφής
- Η παράμετρος  $c$  ονομάζεται παράμετρος κλίμακας



# Αιολικοί Σταθμοί

- **Κατανομή του ανέμου καθ' ύψος:**
- Για να γίνει αναγωγή της ταχύτητας από το ύψος των μετρήσεων ( $z_r$ ) σε κάποιο άλλο ύψος ( $z$ ) χρησιμοποιείται συνήθως ο εκθετικός νόμος:

$$\vec{V}(z) = \vec{V}_r \left( \frac{z}{z_r} \right)^\alpha$$

- όπου  $z_r$  το ύψος αναφοράς,  $V(z)$  η ταχύτητα σε ύψος  $z$ ,  $V_r$  η ταχύτητα στο ύψος αναφοράς  $z_r$  και  $\alpha$  ο εκθετικός συντελεστής της τραχύτητας του εδάφους

$$\vec{V}(z) = \vec{V}_r \frac{\ln\left(\frac{z}{z_o}\right)}{\ln\left(\frac{z_r}{z_o}\right)}$$

- όπου  $z_o$  το μήκος τραχύτητας του εδάφους

# Αιολικοί Σταθμοί

- **Ενέργεια και ισχύς του ανέμου:**

- Μέση (διαθέσιμη) ετήσια ισχύς:

$$\dot{W}_{\text{mean}} = \frac{1}{8,760} \cdot \frac{1}{2} \rho A \sum_{i=1}^{8,760} \vec{V}_i^3$$

- Για μια περιοχή με δεδομένη κατανομή πυκνότητας πιθανότητας  $f$ , η μέση (διαθέσιμη) αιολική ισχύς είναι:

$$\dot{W}_{\text{mean}} = \int_0^{\infty} \frac{1}{2} \rho A f \vec{V}^3 d\vec{V}$$

- Η τεχνικά εκμεταλλεύσιμη ισχύς ενός δεδομένου ρεύματος αέρα είναι μικρότερη από τη διαθέσιμη. Ο λόγος της διαθέσιμης ισχύος προς την τεχνικά εκμεταλλεύσιμη ονομάζεται συντελεστής ισχύος ( $C_p$ ) και αποτελεί χαρακτηριστική μεταβλητή του τεχνικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται (ανεμογεννήτρια). Ακόμα όμως και χωρίς την υπόθεση συγκεκριμένης αιολικής μηχανής, ο συντελεστής ισχύος δεν μπορεί να ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο όριο το οποίο ονομάζεται όριο του Betz (Betz Limit) και έχει τιμή  $C_p = 0.5926$

# Αιολικοί Σταθμοί

- Ταξινόμηση Ανεμογεννητριών:
- Ανάλογα την ισχύ:

Μέγεθος Α/Γ	Ισχύς εξόδου (kW)	Διάμετρος στροφείου (m)	Ύψος πύργου (m)	Επιφάνεια σάρωσης (m <sup>2</sup> )
Micro	< 1	< 1		< 1
Μικρό	1 - 50	1 - 16	5 - 30	1 - 200
Μεσαίο	50 με 1,000	16 με 55	30 με 70	200 – 2,400
Μεγάλο	> 1,000	>55	>50	>2,400

- Ανάλογα του τρόπου αλληλεπίδρασης του ανέμου με την ανεμογεννήτρια:
- Τύπου άνωσης: Μοντέλο ροής όπως στην άνωση
- Τύπου οπισθέλκουσας: Αν το περύγιο είναι έτσι τοποθετημένο και διαμορφωμένο έτσι ώστε η ροή του αέρα να δημιουργεί μια ωστική ροπή



# Αιολικοί Σταθμοί

---

- **Ταξινόμηση Ανεμογεννητριών:**
- Τα κυριότερα χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν τις ανεμογεννήτριες άνωσης από αυτές του τύπου οπισθέλκουσας συνοψίζονται παρακάτω:
- Οι τύπου άνωσης έχουν μεγαλύτερο  $C_p$  από τις τύπου οπισθέλκουσας
- Οι τύπου άνωσης έχουν χαμηλότερη ροπή και κατά συνέπεια μειωμένη ικανότητα εκκίνησης
- Οι τύπου άνωσης απαιτούν πιο μελετημένα πτερύγια από αυτά του τύπου οπισθέλκουσας
- Οι τύπου άνωσης μπορούν να δώσουν μεγαλύτερες τιμές ισχύος από αυτές του τύπου οπισθέλκουσας
- Οι τύπου οπισθέλκουσας μπορεί να είναι απλούστατες, κατασκευασμένες από απλά υλικά και δεν απαιτούν ειδικευμένο προσωπικό

# Αιολικοί Σταθμοί

- **Ανάλογα της διεύθυνσης του άξονα περιστροφής:**
- Τα κυριότερα χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν τις ανεμογεννήτριες άνωσης από αυτές του τύπου οπισθέλκουσας συνοψίζονται παρακάτω:

Ανεμογεννήτριες

Οριζόντιου

Άξονα, (ΑΟΑ)



Ανεμογεννήτριες

Κατακόρυφου

Άξονα, (ΑΟΑ)



# Αιολικοί Σταθμοί

---

- Γενικά χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών οριζοντίου άξονα (ΑΟΑ):
- Η τεχνολογία και η εμπειρία σχετικά με τις ΑΟΑ είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτές των ΑΚΑ
- Έχουν ελαφρά μεγαλύτερο CP (μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης) από τις ΑΚΑ
- Απαιτούν υψηλότερη κατασκευή πύργου από τις ΑΚΑ, αλλά λόγω του ύψους της ανεμογεννήτριας, εκμεταλλεύονται και άνεμο μεγαλύτερης ταχύτητας
- Εύκολη συναρμολόγηση
- Κατά τη λειτουργία τους παράγεται αξιοσημείωτος θόρυβος
- Λόγω του μεγέθους, κοστίζει πολύ η κατασκευή και η μεταφορά τους
- Χρειάζονται μηχανισμό περιστροφής για τον προσανατολισμό των πτερυγίων στη διεύθυνση του ανέμου

# Αιολικοί Σταθμοί

---

- Γενικά χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα (ΑΚΑ):
- Σχετικά με τις ΑΟΑ έχουν χαμηλότερη απόδοση
- Διαθέτουν πτερύγια σταθερής διατομής μη συστρεφόμενα, αλλά απαιτούν μια κατά μήκος καμπυλότητα
- Έχουν το σύστημα μετάδοσης, τη γεννήτρια και το σύστημα ελέγχου κοντά στο έδαφος και έτσι είναι πιο εύκολη η τοποθέτηση και η συντήρηση αυτών των μηχανικών μερών
- Δουλεύουν με χαμηλότερες μέσες ταχύτητες αέρα, οπότε παράγουν λιγότερο θόρυβο
- Δέχονται άνεμο από όλες τις κατευθύνσεις χωρίς να χρειάζεται ειδικός μηχανισμός προσανατολισμού
- Λόγω του μικρού μεγέθους δεν μπορούν να εκμεταλλευτούν ανέμους υψηλών ταχυτήτων.

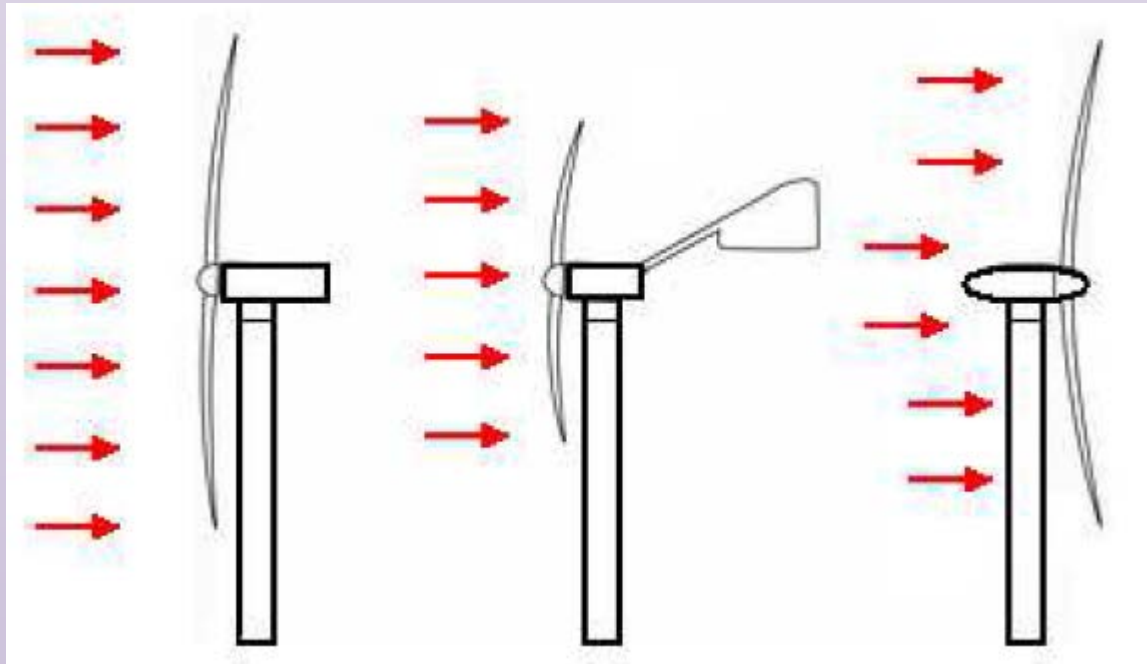
# Αιολικοί Σταθμοί

---

- Γενικά χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα (ΑΚΑ):
- Έχουν κάποιες μεγαλύτερες δυσκολίες με τις ροπές ανατροπής απ' ότι οι ΑΟΑ.
- Μπορεί να τοποθετηθούν σε περισσότερα μέρη λόγω μεγέθους (όπως μέσα στην πόλη, στις ταράτσες, σε αυτοκινητόδρομους).
- Η κατασκευή τους είναι πιο απλή και κατά συνέπεια τα έξοδα αυτοματισμού, συντήρησης ή επισκευών είναι σαφώς μικρότερα σε σύγκριση με τα αντίστοιχα των ΑΚΑ.
- Υπάρχει δυσκολία συντήρησης σε κάποια μηχανικά μέρη, για παράδειγμα η αλλαγή των εδράνων κύλισης.

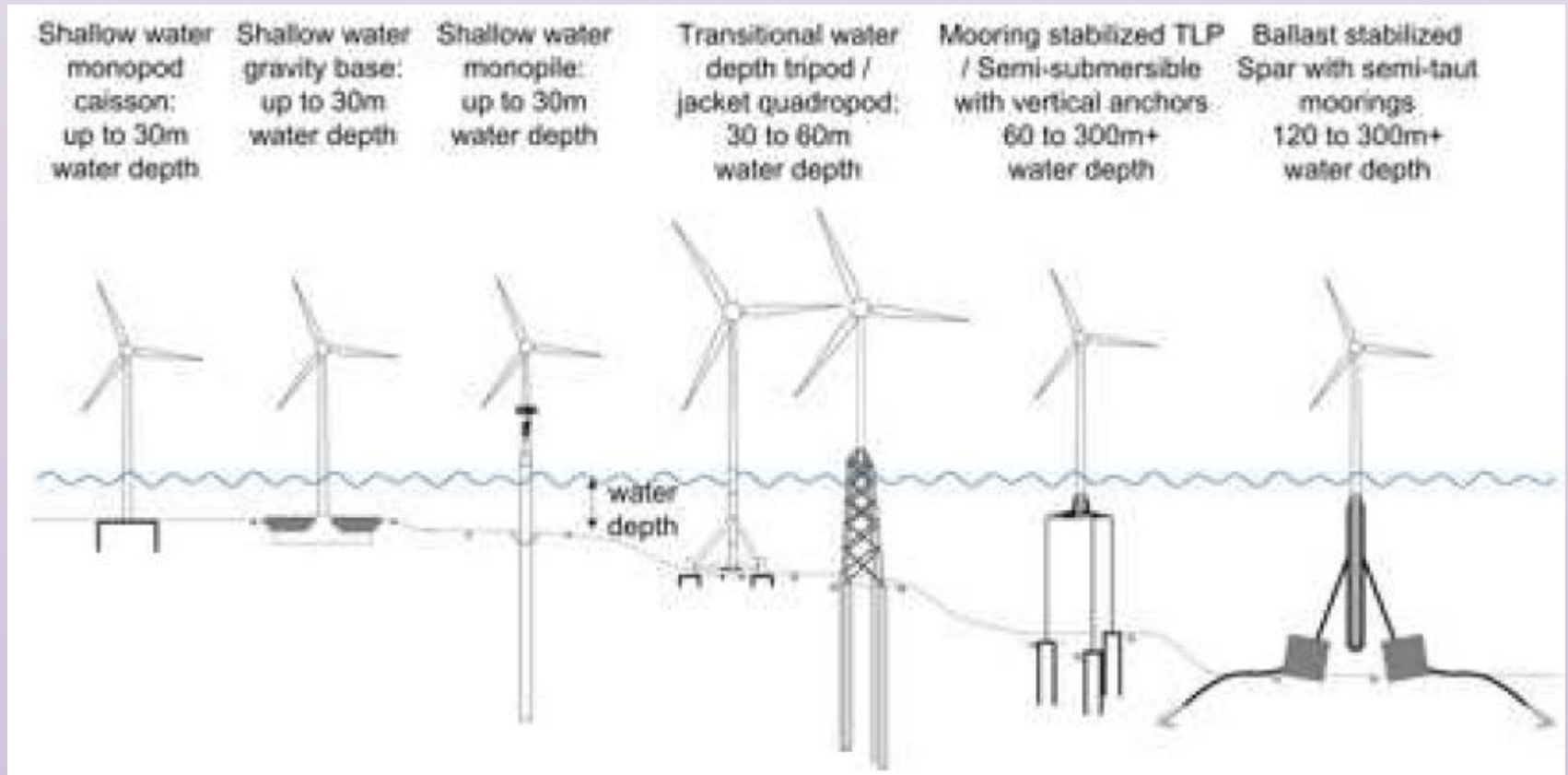
# Αιολικοί Σταθμοί

- Ταξινόμηση Ανεμογεννητριών:
- Ανάλογα τη θέση του στροφείου και του πύργου σε σχέση με τον άνεμο:
  - ανεμογεννήτριες προσήνεμης διάταξης όπου ο άνεμος συναντά πρώτα το στροφείο και μετά τον πύργο και στην υπήνεμη διάταξη όπου συμβαίνει το αντίθετο



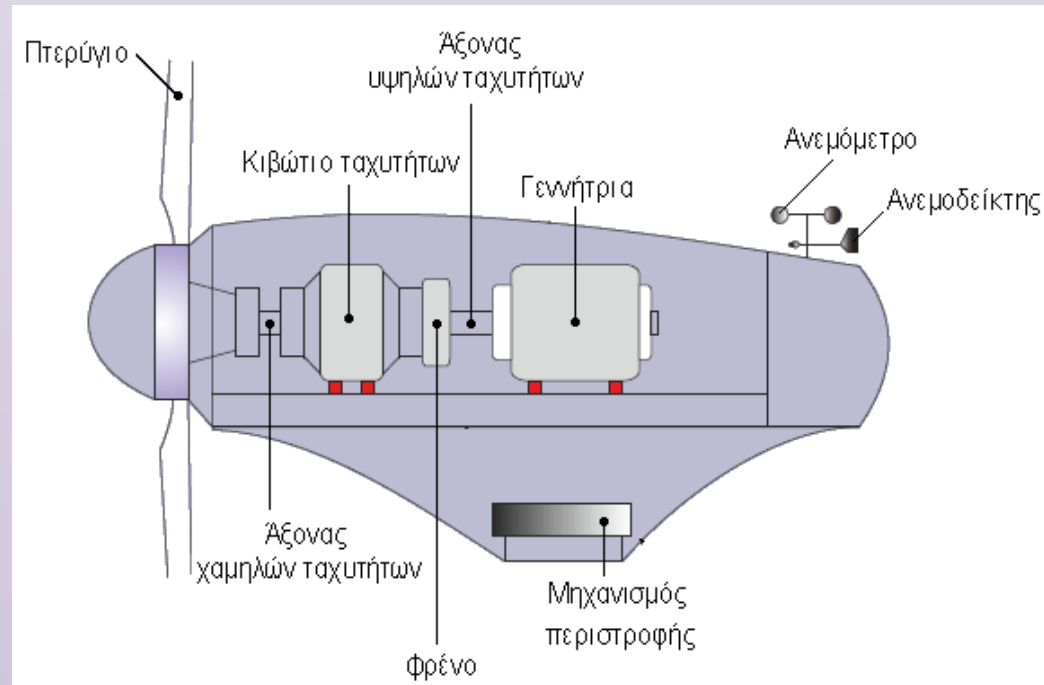
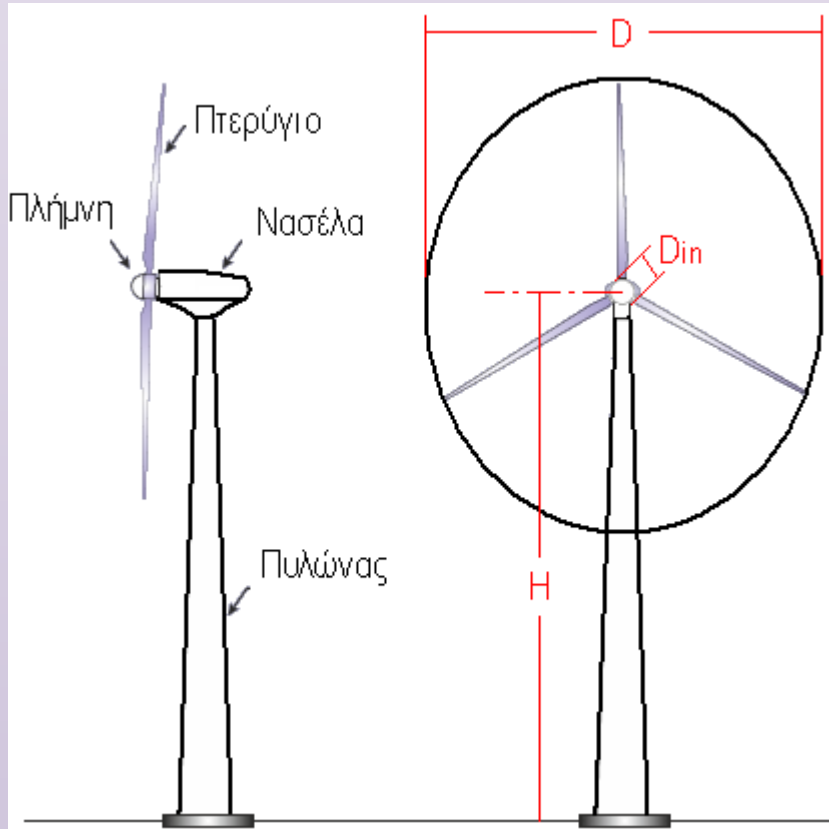
# Αιολικοί Σταθμοί

- Ανάλογα της θέσης τοποθέτησης:



# Αιολικοί Σταθμοί

- **Ανεμογεννήτρια Οριζόντιου Άξονα:**





# Αιολικοί Σταθμοί

- **Ανεμογεννήτρια Οριζόντιου Άξονα:**



# Αιολικοί Σταθμοί

---

- Προσήνεμη και υπήνεμη διάταξη Α/Γ οριζόντιου άξονα:
- Η κατηγοριοποίηση αυτή των Α/Γ οριζόντιου άξονα σχετίζεται με τη θέση των πτερυγίων σε σχέση με τον πυλώνα. Υπάρχουν δύο κατηγορίες διατάξεων:
- Προσήνεμη διάταξη: Όταν η Α/Γ λειτουργεί ο άνεμος συναντάει πρώτα τα πτερύγια και μετά τον πυλώνα. Οι Α/Γ αυτές αποτελούν την πλειονότητα των Α/Γ που κυκλοφορούν στην αγορά
- Υπήνεμη διάταξη: Όταν η Α/Γ λειτουργεί ο άνεμος συναντάει πρώτα τον πυλώνα και μετά τα πτερύγια. Οι Α/Γ αυτές δεν χρειάζονται ουρά για να λειτουργήσουν. Μπορεί να παρουσιαστεί πρόβλημα στη λειτουργία τους αν ο άνεμος αλλάξει απότομα στην αντίθετη κατεύθυνση

# Αιολικοί Σταθμοί

---

- Προσήνεμη και υπήνεμη διάταξη Α/Γ οριζόντιου άξονα:

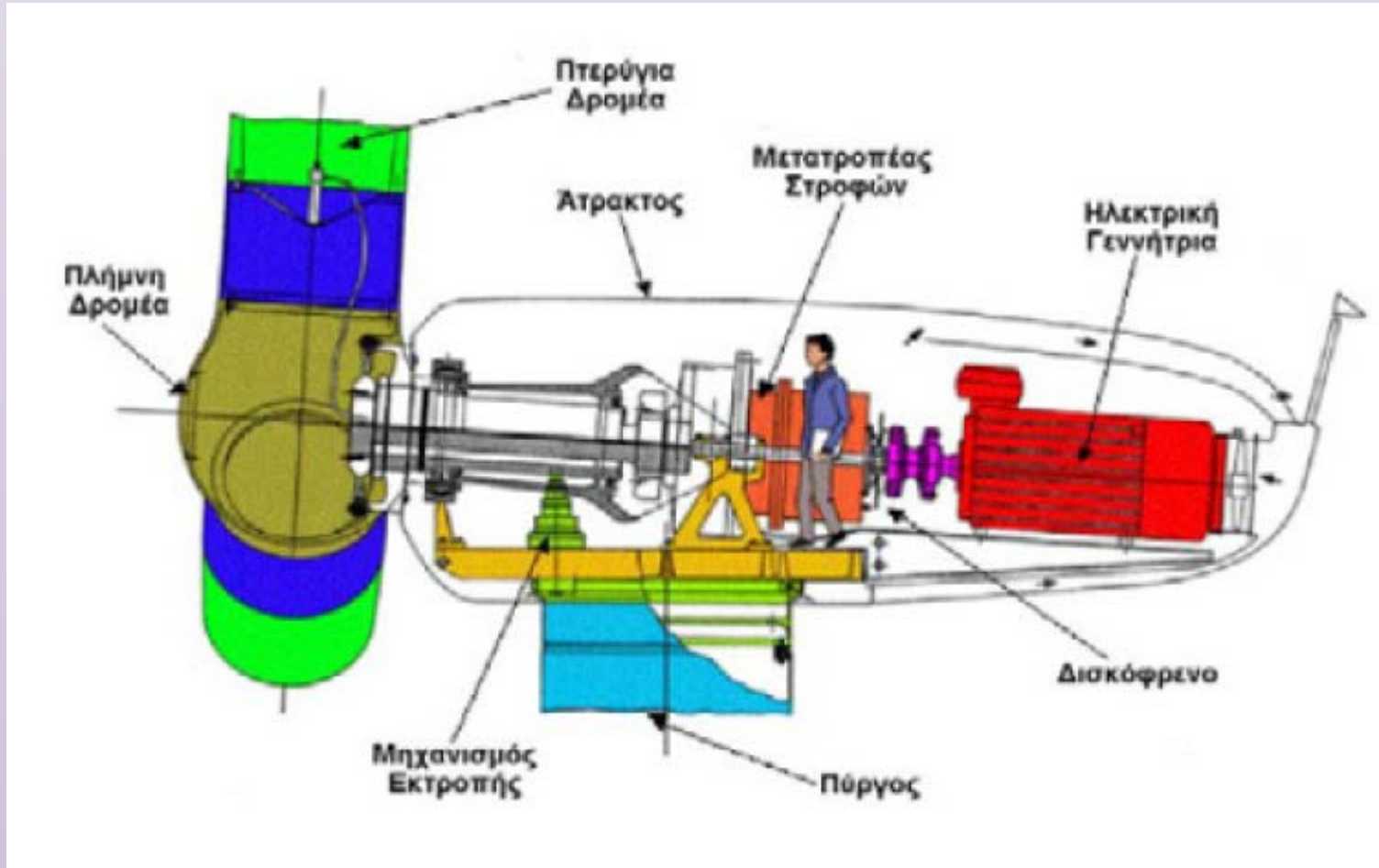


Προσήνεμη



Υπήνεμη

# Αιολικοί Σταθμοί



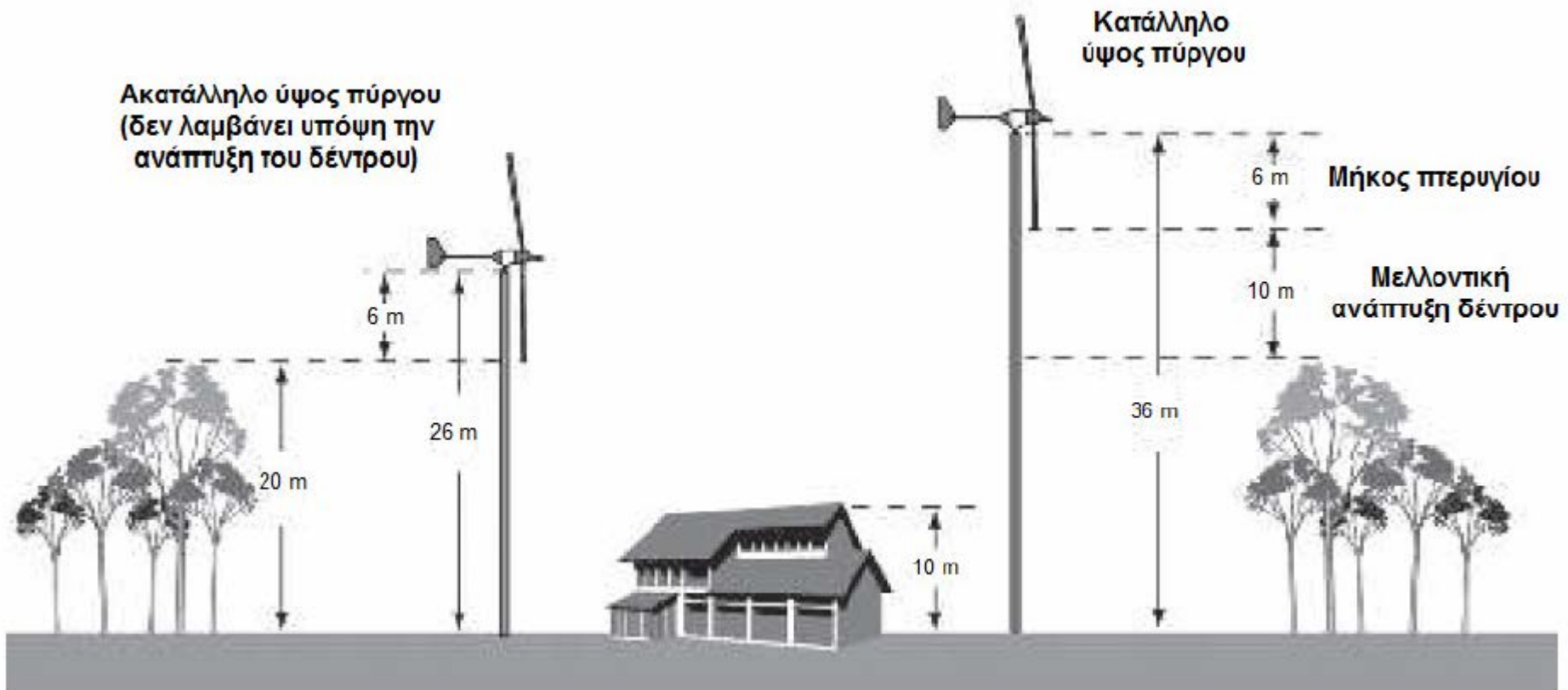
# Αιολικοί Σταθμοί

- Συντελεστής φορτίου Α/Γ:
- Η πραγματική αποδοτικότητα μιας Α/Γ υπολογίζεται μέσω του συντελεστή φορτίου (ΣΦ). Ο ΣΦ αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Ο ετήσιος ΣΦ διαιρεί την ενέργεια που παράγει η Α/Γ σε ένα χρόνο  $E_{WTyear}$  (σε kWh) με την ενέργεια που θα παρήγαγε θεωρητικά η ΑΓ εάν λειτουργούσε στην ονομαστική της ισχύ  $P_R$  (σε kW) και για τις 8760 ώρες του έτους. Στον υπολογισμό της  $E_{WTyear}$  έχει ληφθεί υπόψη η τεχνική διαθεσιμότητα "Δ" της αιολικής εγκατάστασης

$$\text{Ετήσιος ΣΦ} = \frac{E_{WTyear}}{P_R \cdot 8760 \text{ h}}$$

# Αιολικοί Σταθμοί

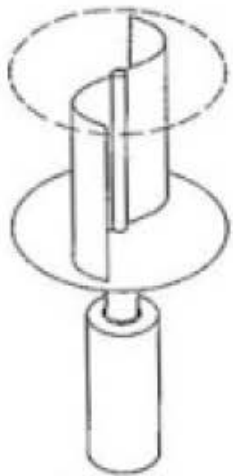
- Επίπεδο δέντρων και επιλογή ύψους μικρών Α/Γ:



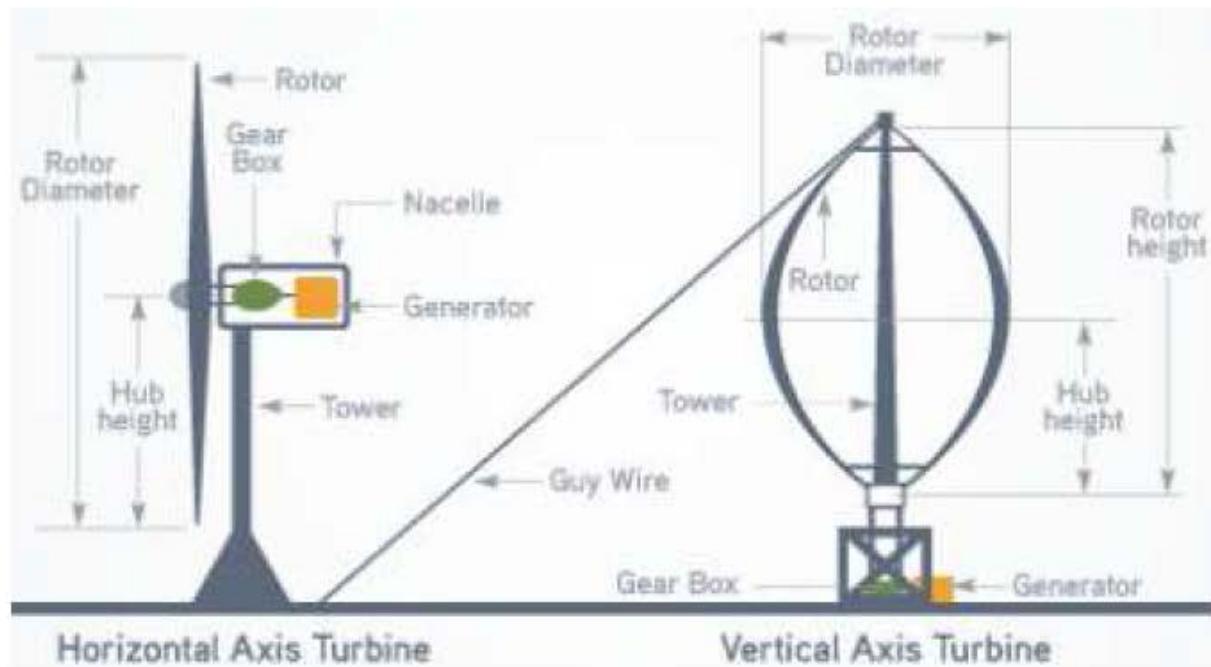
# Αιολικοί Σταθμοί

- **Ανεμογεννήτρια Κατακόρυφου Άξονα:**

*Savonius*



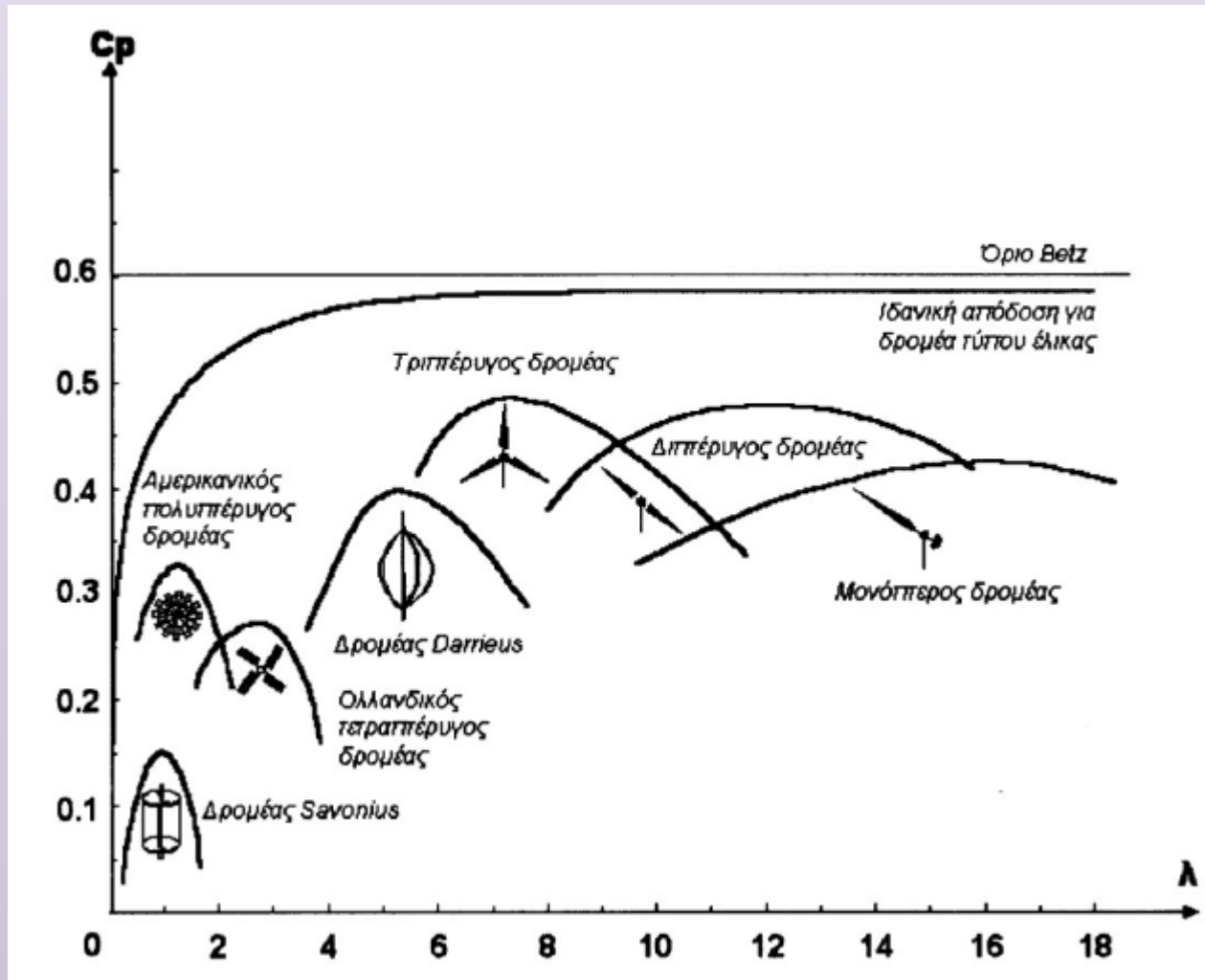
*Darrieus*





# Αιολικοί Σταθμοί

- Επιδόσεις Ανεμογεννητριών Τύπου Άνωσης: με  $\lambda$ =λόγος ταχύτητας άκρου





# Αιολικοί Σταθμοί

- **Επιδόσεις Ανεμογεννητριών Τύπου Άνωσης:**

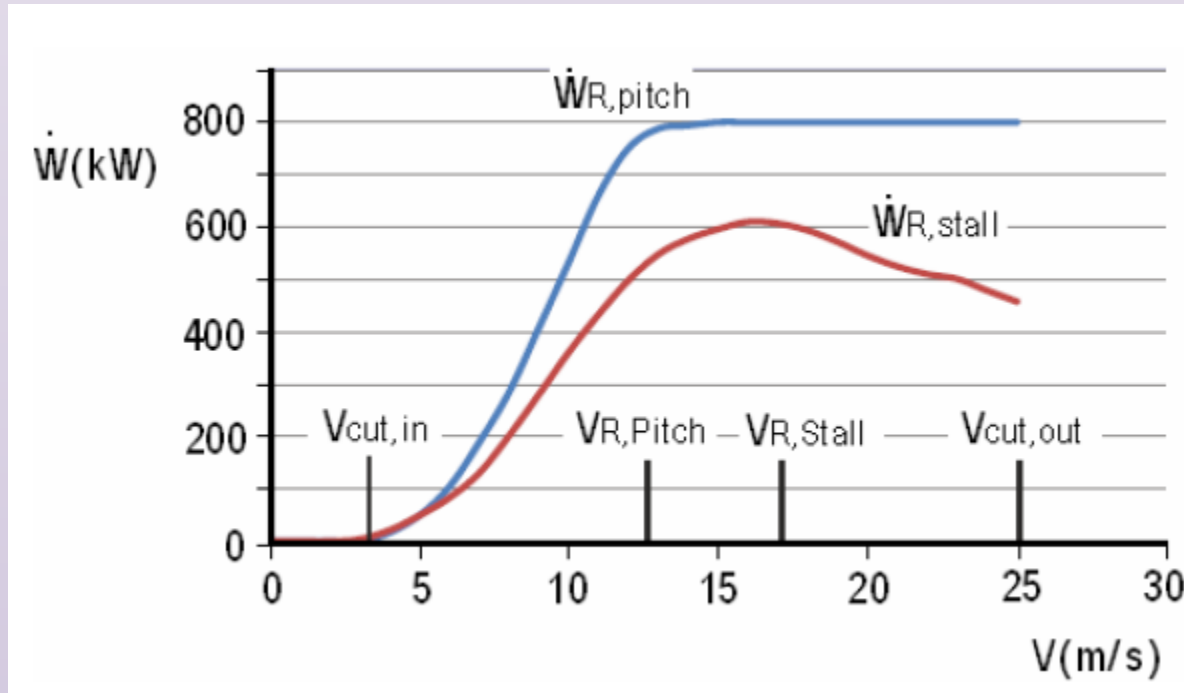
- Πραγματική ισχύ που παράγει η ανεμογεννήτρια:

$$\dot{W} = \eta_e \eta_m \frac{1}{2} C_P (\lambda, \beta) \rho A \bar{V}^3 = \eta_{\text{tot}} \frac{1}{2} C_P (\lambda, \beta) \rho A \bar{V}^3$$

- $\eta_e$  είναι ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης της γεννήτριας και γενικά του συστήματος μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική
- $\eta_m$  είναι ο μηχανικός βαθμός απόδοσης που συμπεριλαμβάνει τις μηχανικές απώλειες στο κιβώτιο ταχυτήτων, στις εδράσεις, στο σύστημα ρύθμισης και ελέγχου του στροφείου, το σύστημα προσανατολισμού κ.λπ. Και
- $\eta_{\text{tot}}$  ο ολικός βαθμός απόδοσης της ανεμογεννήτριας ο οποίος κυμαίνεται από 15-46% με τις μεγάλες σύγχρονες τριπτέρυγες ανεμογεννήτριες να παρουσιάζουν ολική απόδοση  $> 37\%$ .

# Αιολικοί Σταθμοί

- Επιδόσεις Ανεμογεννητριών Τύπου Άνωσης:



- Η περιοχή μεταξύ της ταχύτητας έναρξης λειτουργίας έως την ονομαστική ταχύτητα χαρακτηρίζεται και ως περιοχή λειτουργίας **σταθερής απόδοσης**
- Η περιοχή μεταξύ της ονομαστικής ταχύτητας και της ταχύτητας διακοπής λειτουργίας χαρακτηρίζεται ως περιοχή **σταθερής αποδιδόμενης ισχύος**

# Αιολικοί Σταθμοί

---

- **Πολύστροφες ανεμογεννήτριες:**
- Πλεονεκτήματα:
  - χαμηλό κόστος και βάρος, μικρή αξονική ώθηση, αντοχή σε απότομες αλλαγές κατεύθυνσης του ανέμου και σχετικά
  - εύκολη αλλαγή συστροφής των πτερυγίων
- Το κυριότερο μειονέκτημα:
  - η δυσκολία στο ξεκίνημα για μικρές ταχύτητες ανέμου. Για να ξεπεραστεί αυτό το εμπόδιο μπορεί αφενός να αυξηθεί το μήκος της χορδής του πτερυγίου κοντά στον άξονα και αφετέρου να χρησιμοποιηθεί στροφείο πτερυγίων μεταβλητής συστροφής (pitch angle). Η γωνία αυτή μπορεί να είναι μέγιστη όταν η ανεμογεννήτρια ξεκινάει και να μικραίνει καθώς η ταχύτητα περιστροφής αυξάνει.

# Αιολικά Πάρκα

---

- Εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση μεγάλου αριθμού ανεμογεννητριών σε περιοχές με σημαντική ένταση ανέμου, δημιουργώντας έτσι αιολική μονάδα παράγωγής ισχύος
- Οικονομία κλίμακας, μείωση του κόστους:
- μελετών σκοπιμότητας, προμελετών (προκαταρκτικού σχεδιασμού) και των οριστικών (τελικών) μελετών εφαρμογής,
- των δικαιώματα χρήσης Γης,
- των αδειών,
- διαχείρισης κατασκευής του έργου (project management),
- σύνδεσης με το δίκτυο ή υποθαλάσσια),
- έργων υποδομής (βοηθητικά κτίρια, κατασκευές, περίφραξη, οπτικό σύστημα παρακολούθησης και ασφάλειας
- κ.λπ.),
- της συντήρησης.
- που είναι ανεξάρτητοι της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος, μειώνοντας έτσι το κόστος της επένδυσης και λειτουργίας ανά ανεμογεννήτρια

# Αιολικά Πάρκα

---

- Παράγοντες που καθορίζουν την οικονομική βιωσιμότητα μιας επένδυσης εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας είναι:
- Κόστος κτήσης της ή των ανεμογεννητριών
- Κόστος αγοράς ή ενοικίασης της Γης
- Κόστος κατασκευής υποδομών.
- Το αιολικό δυναμικό της περιοχής
- Κόστος της kWh που παράγεται από συμβατικούς ενεργειακούς σταθμούς
- Διάρκεια ζωής της ή των ανεμογεννητριών
- Επιδοτήσεις
- Κόστος χρήματος

# Αιολικά Πάρκα

---

- Ενεργειακό Έργο – Επένδυση:
- Κάθε έργο (επένδυση) καλύπτει μία ανάγκη ή εκμεταλλεύεται μία ευκαιρία
- Ενεργειακό Έργο - Επένδυση
- Δομικοί παράγοντες του έργου (Stakeholders):
- Εκείνοι που αποφασίζουν για τη διεξαγωγή (πολιτικοί, επενδυτές κ.λπ.)
- Δικαιούχοι του έργου, δηλαδή οι πελάτες (customers)
- Ιδιοκτήτης του έργου, (άτομο ή εταιρία)
- Οι χρηματοδότες (financiers, sponsors)
- Οι εργολήπτες ή ανάδοχοι (contractors)
  
- Ενεργειακό έργο
- Κύκλος Ζωής του Έργου
- Κύκλος Ζωής του Προϊόντος

# Αιολικά Πάρκα

- **Θέση Εγκατάστασης Συστήματος Ανεμογεννητριών:**
- **Επίπεδο έδαφος ή θάλασσα**
- Η οριζόντια ταχύτητα του ανέμου  $V$  (που είναι και η πιο μεγάλη σε μέτρο) μεταβάλλεται με το ύψος από το έδαφος σύμφωνα με τον εκθετικό νόμο

$$\frac{\vec{V}(z)}{\vec{V}(z_0)} = \left( \frac{z}{z_0} \right)^n$$

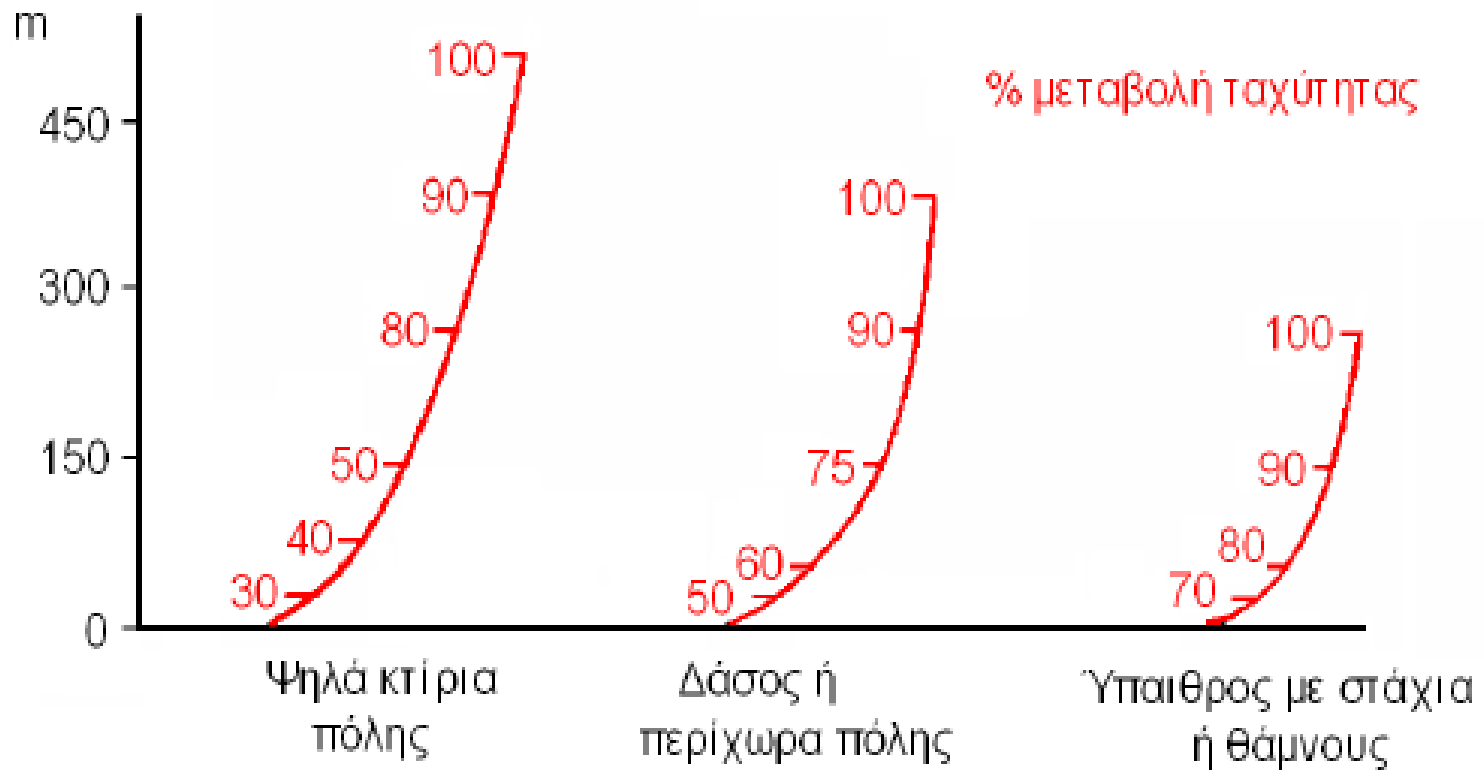
ή με τον λογαριθμικό νόμο:

$$\frac{\vec{V}(z)}{\vec{V}(z_0)} = \frac{\ln(z/\varepsilon)}{\ln(z_0/\varepsilon)}$$

- όπου  $z$  είναι το ύψος από την επιφάνεια του εδάφους,  $z_0$  είναι κάποιο συμβατικό ύψος (συνήθως στη Μετεωρολογία είναι 10m ή 30m),  $\varepsilon$  είναι η ισοδύναμη τραχύτητα του εδάφους και  $n$  ένας εκθέτης που εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους.

Είδος επιφάνειας	$\varepsilon$ (m)	$n$
Ήσυχη θάλασσα	0.001 – 0.002	0.1 -0.13
Ύπαιθρος με στάχια ή θάμνους	0.02 – 0.3	0.13 – 0.2
Δάσος ή περίχωρα πόλης	0.3 - 2	0.2 – 0.27
Ψηλά κτίρια πόλης	2 - 10	0.27 – 0.4

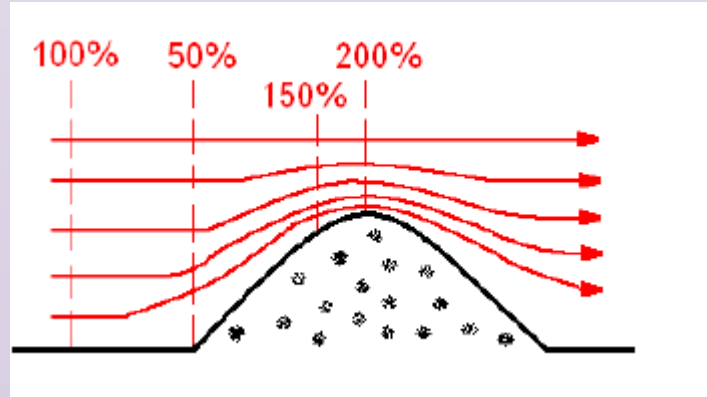
# Αιολικά Πάρκα





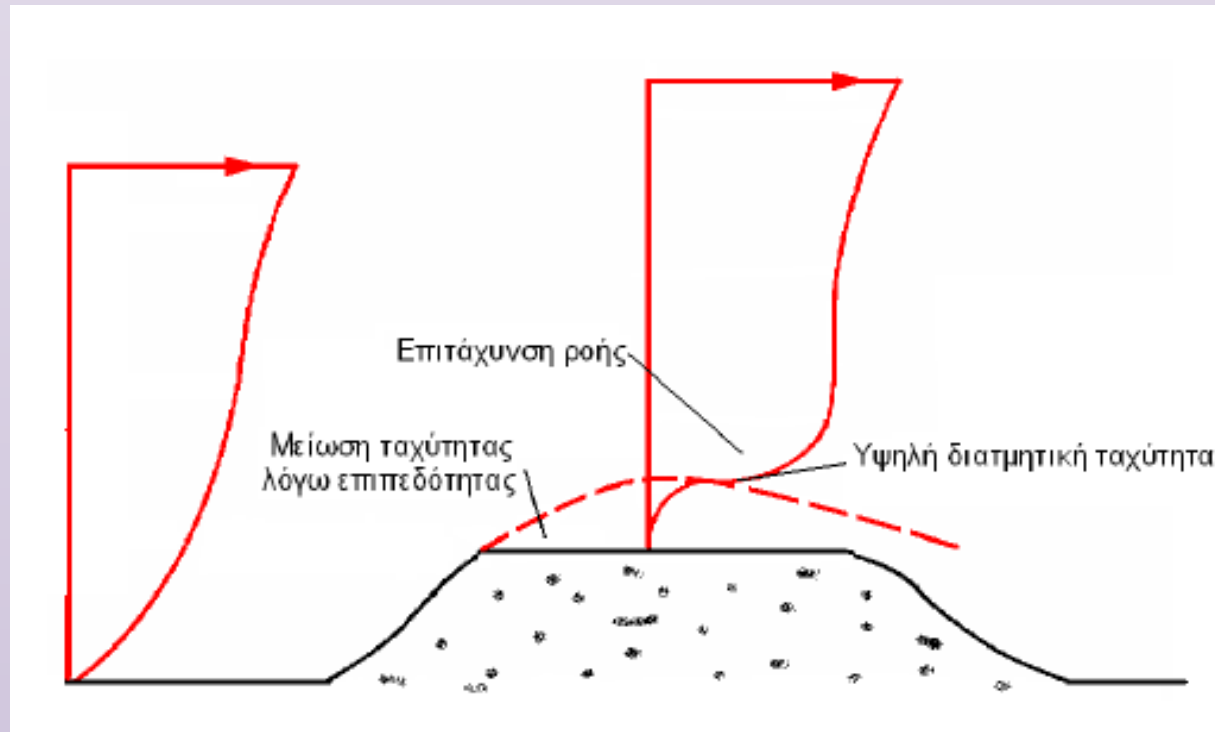
# Αιολικά Πάρκα

- Θέση Εγκατάστασης Συστήματος Ανεμογεννητριών:
- Δόφοι – βουνά



# Αιολικά Πάρκα

- Θέση Εγκατάστασης Συστήματος Ανεμογεννητριών:
- Υψίπεδα

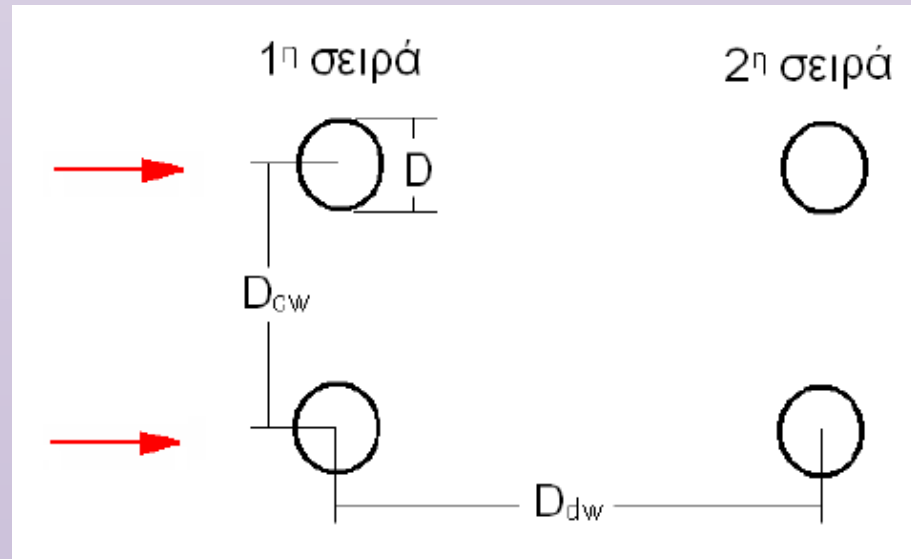


# Αιολικά Πάρκα

- **Χωροθέτηση Ανεμογεννητριών Εντός του Αιολικού Πάρκου:**
- Η τοποθέτηση τους καθορίζεται από:
- την τοπογραφία της περιοχής,
- την ένταση και διεύθυνση του ανέμου,
- τους φυσικούς και τεχνολογικούς περιορισμούς (π.χ. ακατάλληλο έδαφος, μεγάλες κλίσεις, πρόσβαση, τηλεπικοινωνιακοί σταθμοί, ραντάρ),
- τους νομοθετικούς και περιβαλλοντικούς περιορισμούς.

$$D_{cw} = 2D \div 4D$$

$$D_{dw} = 4D \div 8D$$



# Αιολικά Πάρκα

- **Ενεργειακή Παραγωγή Αιολικού Πάρκου:**

- Η ενεργειακή παραγωγή του πάρκου είναι ίση με το άθροισμα της παραγωγής ενέργειας της κάθε ανεμογεννήτριας:

$$E_{\text{park}} = \sum_{i=1}^N E_{\text{turb}}$$

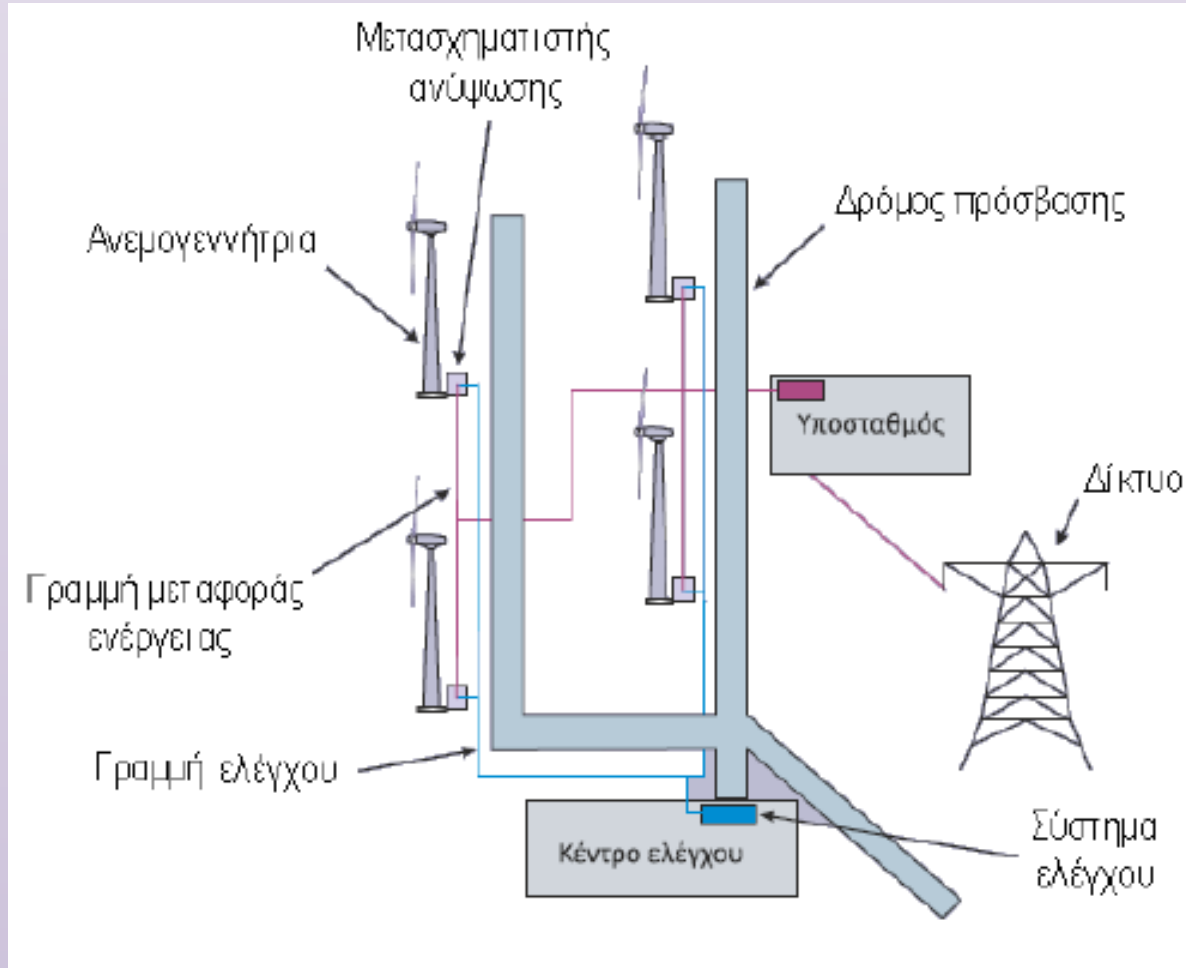
- Η συνολική παραγόμενη ενέργεια από το αιολικό πάρκο δεν ισούται με το άθροισμα των  $N$  ανεμογεννητριών αλλά είναι μικρότερη από αυτό:

$$E_{\text{park}} = N(1 - \eta_{\text{airloss}})E_{\text{turb}}$$

- Οι απώλειες της παραγόμενης ενέργειας οφείλονται στην επίδραση των υπόλοιπων ανεμογεννητριών και ονομάζονται απώλειες ομόρρου

# Αιολικά Πάρκα

- Ηλεκτρική Διασύνδεση Αιολικού Πάρκου:



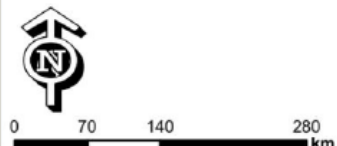
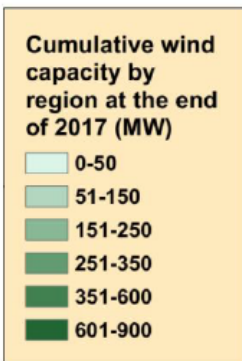
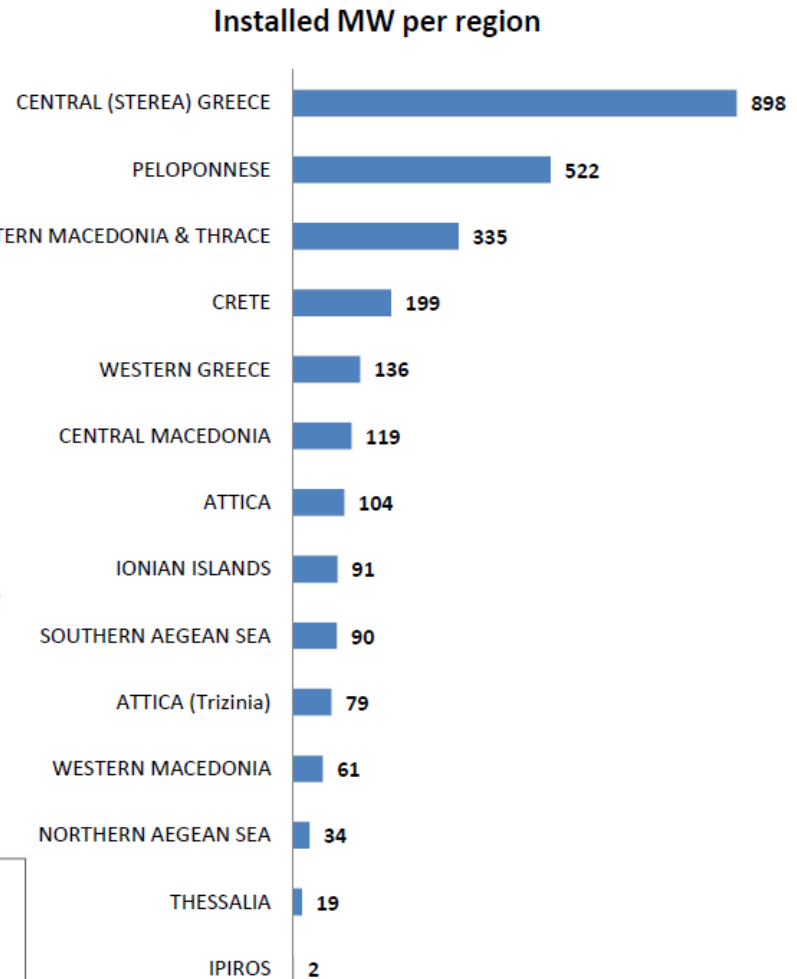
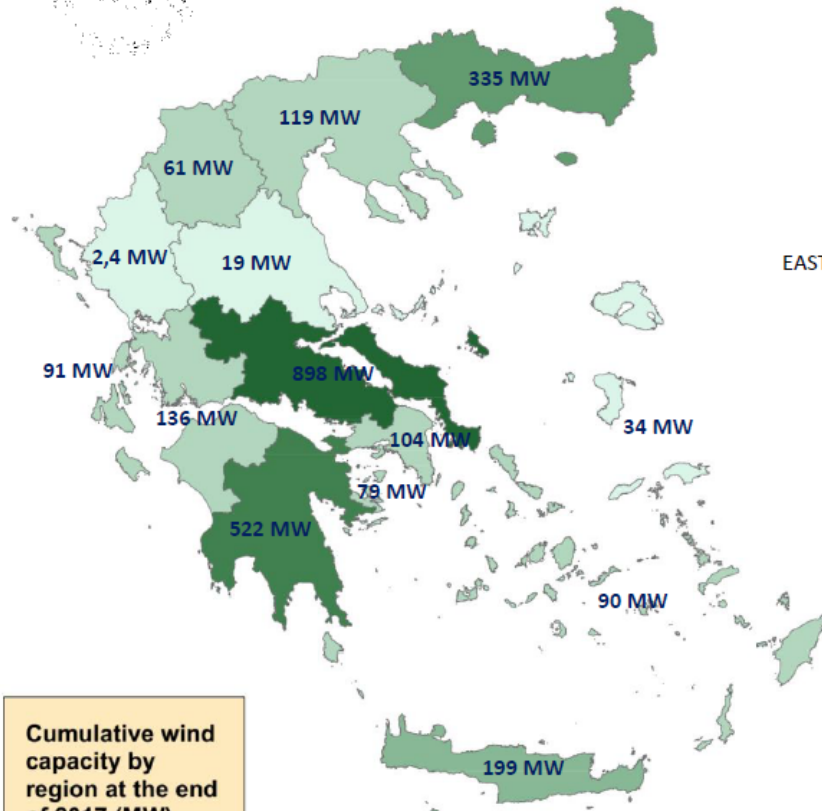
# Αιολική Ενέργεια Ελλάδα

---

- Με βάση τη Στατιστική, το σύνολο της αιολικής ισχύος που το τέλος του Ιουνίου 2018 βρισκόταν σε εμπορική ή δοκιμαστική λειτουργία είναι 2.690,5 MW αυξημένη μόλις κατά 1,5% ή 39,2 MW σε σχέση με το τέλος του 2017
- Η ισχύς αυτή κατανέμεται ως εξής:
  - Στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά : 321,7 MW
  - Στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα: 2.368,8 MW
- Σε επίπεδο Περιφερειών, η Στερεά Ελλάδα παραμένει στην κορυφή των αιολικών εγκαταστάσεων αφού φιλοξενεί 898 MW (33,4%) και ακολουθεί η Πελοπόννησος με 522 MW (19,4%) και η Ανατολική Μακεδονία – Θράκη όπου βρίσκονται 335,5 MW (12,5%), ενώ τελευταία στη λίστα βρίσκεται η περιφέρεια Ηπείρου με μόλις 2.4 MW

# Αιολική Ενέργεια Ελλάδα

## HWEA Wind Energy Statistics – June 2018



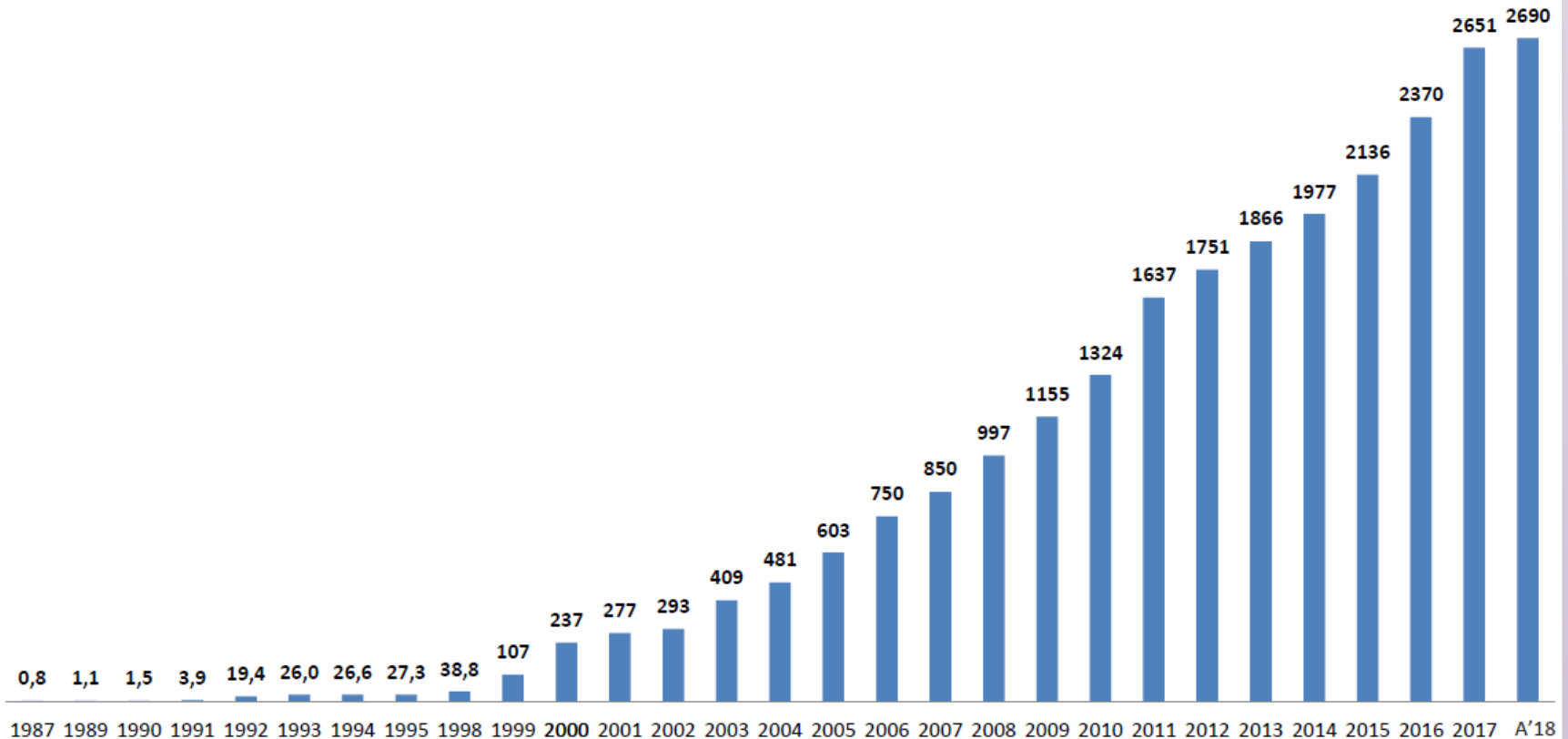
# Αιολική Ενέργεια Ελλάδα



## HWEA Wind Energy Statistics – June 2018

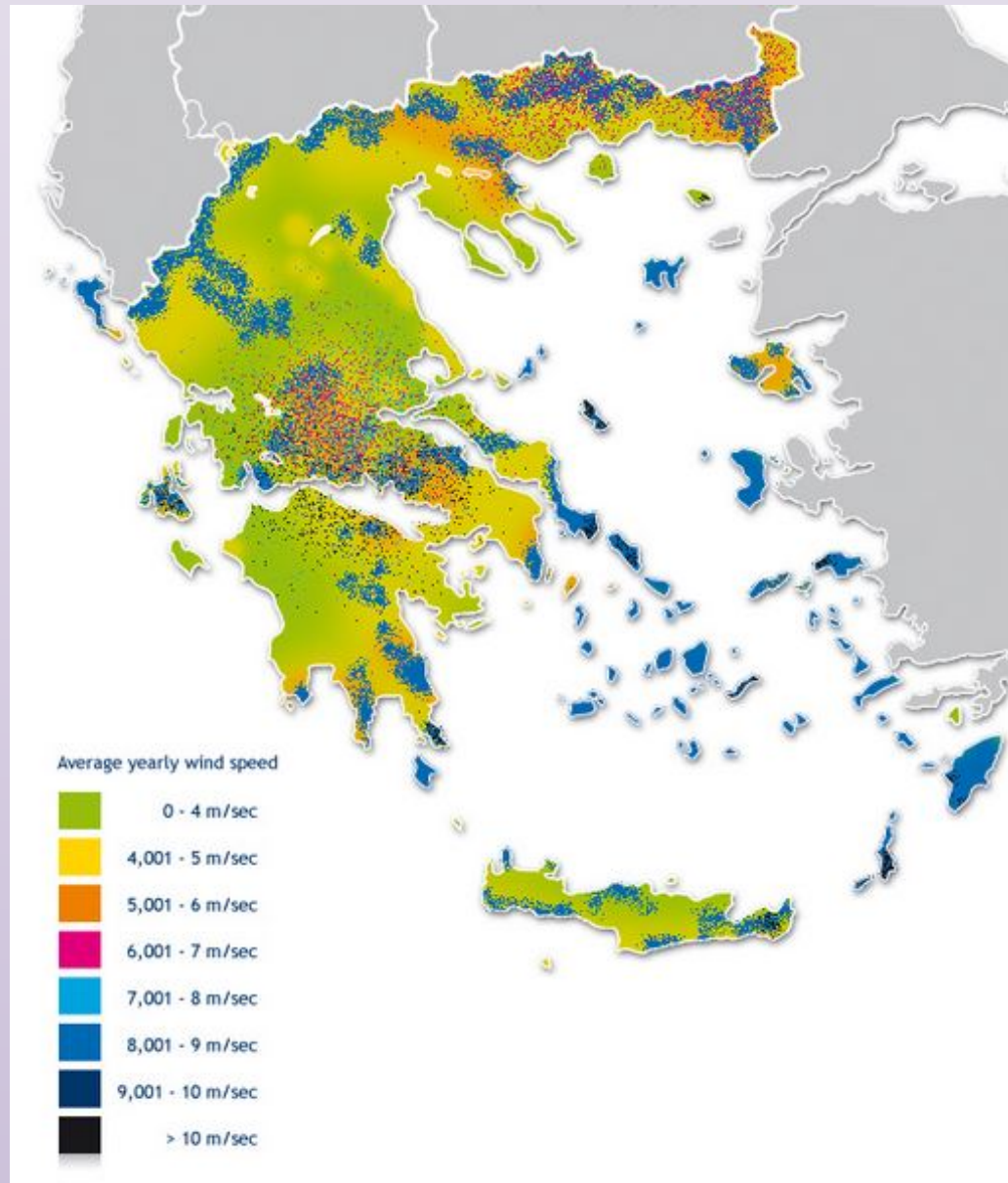


### Total installed MW per year





# Αιολική Ενέργεια Ελλάδα



# Καμπύλη Ισχύος

