

# Άνεμος

---

Γιάννης Κατσιγιαννης

# Άνεμος και ατμοσφαιρική κυκλοφορία

Η γενική ατμοσφαιρική κυκλοφορία οφείλεται κυρίως στην ηλιακή ακτινοβολία και στην περιστροφή της Γης. Συγκεκριμένα:

- Διαφορετική θερμοκρασία μεταξύ ισημερινού και πόλων (διαφορετική ακτινοβολία) → Συνεχή κίνηση αερίων μαζών από τους πόλους προς τον ισημερινό (ψυχρές επιφανειακές μάζες) και αντίστροφα (θερμές μάζες)
- Η περιστροφή της Γης → κίνηση ψυχρών επιφανειακών μαζών προς Δυτικά και θερμών μαζών σε μεγαλύτερο ύψος προς Ανατολικά
- Ανομοιομορφία θερμικής συμπεριφοράς ξηράς και θάλασσας – ανομοιόμορφη ψύξη → ζώνες διαφορετικής θερμοκρασίας → πεδία στατικής πίεσης

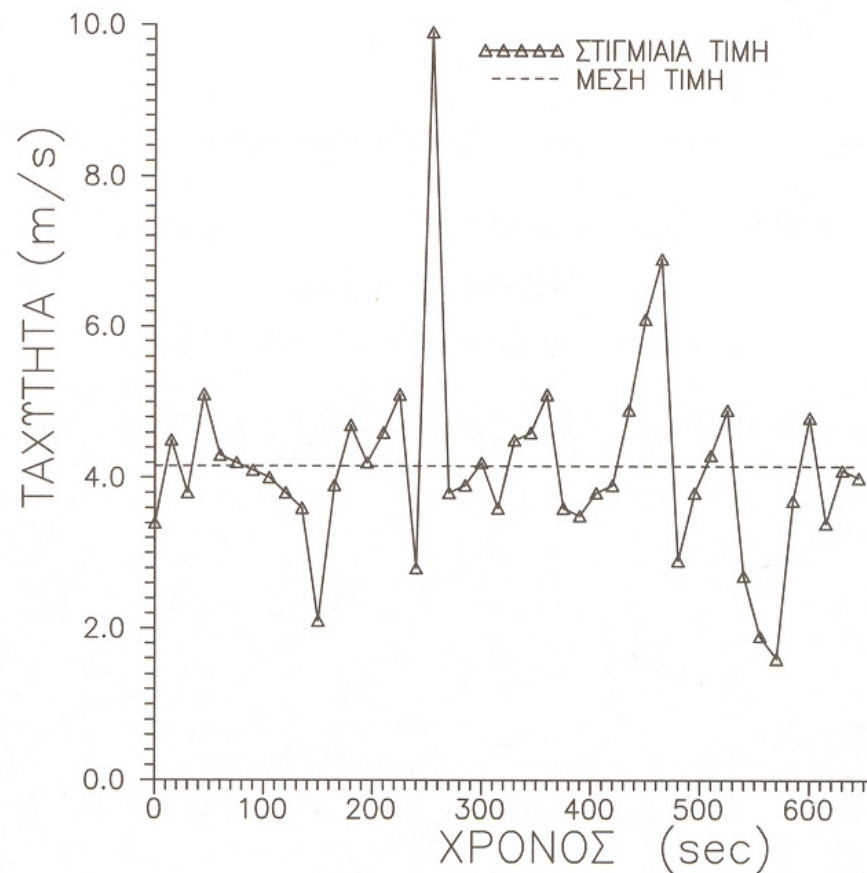
# Χαρακτηριστικές παράμετροι του ανέμου

Η γνώση των χαρακτηριστικών του ανέμου είναι απαραίτητη στις μελέτες εκτίμησης της ενέργειας που περικλείει ο άνεμος. Για την επιλογή της κατάλληλης θέσης εγκατάστασης αιολικών συστημάτων θα πρέπει να γνωρίζουμε:

- Την ταχύτητα του ανέμου
- Την διεύθυνση του ανέμου
- Τον στροβιλισμό του ανέμου
- Την μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος
- Την κατανομή του ανέμου

# Ταχύτητα Ανέμου (V)

Διανομή Ταχύτητας



# Μέτρηση ταχύτητας ανέμου

Η μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου γίνεται με το *ανεμόμετρο*





# Διεύθυνση του ανέμου

---

- Ως διεύθυνση του ανέμου ορίζεται το σημείο του ορίζοντα από το οποίο φυσά ο άνεμος σε σχέση με την θέση στην οποία μετράμε
- Η διεύθυνση του ανέμου «ταλαντώνεται» συνεχώς γύρω από μία μέση θέση εμφανίζοντας όμως μικρότερες διακυμάνσεις από την ταχύτητα του ανέμου
- Κύριες διευθύνσεις του ανέμου:
  - Οι διευθύνσεις του ανέμου που συνεισφέρουν τουλάχιστον 10% στην συνολική διαθέσιμη αιολική ενέργεια
  - Εξαρτώνται από τους προσανατολισμούς των τοποθεσιών, από την βλάστηση και από τα χαρακτηριστικά του εδάφους (λόφοι, βουνά, κοιλάδες, κτίρια,...)



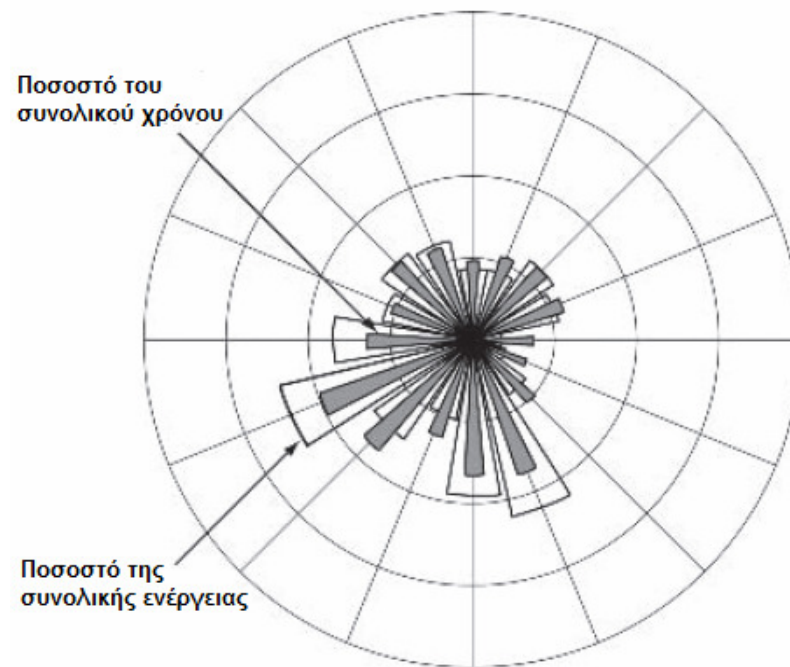
# Διεύθυνση του ανέμου

---

- **Επικρατούσες διευθύνσεις του ανέμου**
  - Οι διευθύνσεις που εμφανίζονται στην περιοχή που μελετάμε την μεγαλύτερη συχνότητα
  - Η επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου αλλάζει συχνά με την εποχή
- **Προσήνεμη - Υπήνεμη Περιοχή**
  - Προσήνεμη: Ο χώρος μεταξύ του σημείου που θέλουμε να εγκαταστήσουμε την αιολική μηχανή και του σημείου του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος (επικρατούσα διεύθυνση)
  - Υπήνεμη: Η περιοχή που είναι προστατευόμενη από τον άνεμο. Συχνά είναι η αντίθετη της προσήνεμης. Περιοχή που εκτίθεται σε ανέμους με ελάχιστη συχνότητα εμφάνισης

# Διεύθυνση του ανέμου

Μετράται σε μοίρες έχοντας ως αναφορά τον πραγματικό βορρά. Απεικονίζεται στο ροδόγραμμα



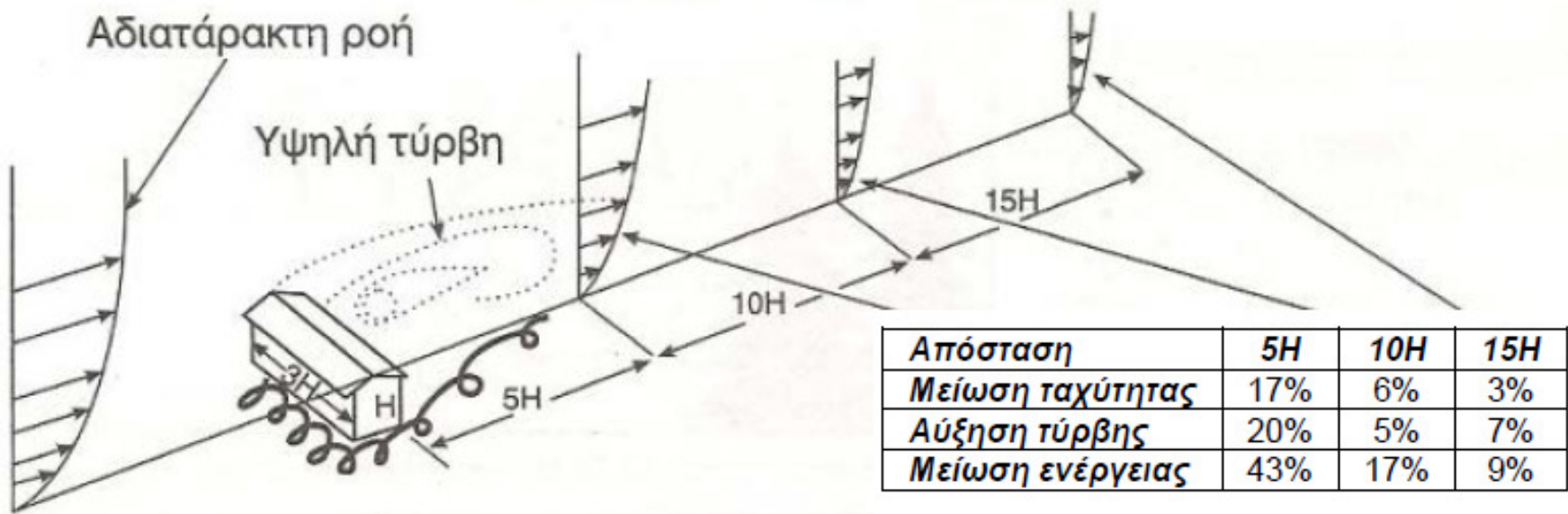


# Μέτρηση διεύθυνσης του ανέμου

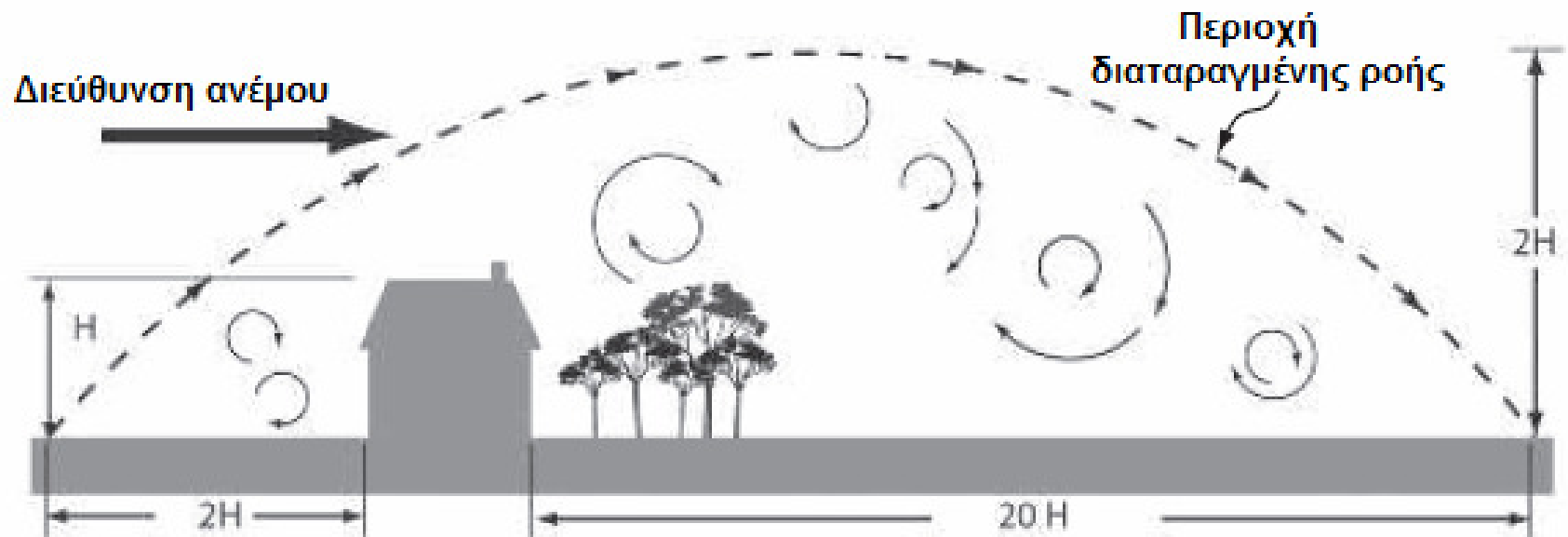
Η μέτρηση της διεύθυνσης του ανέμου γίνεται με τον *ανεμοδείκτη*



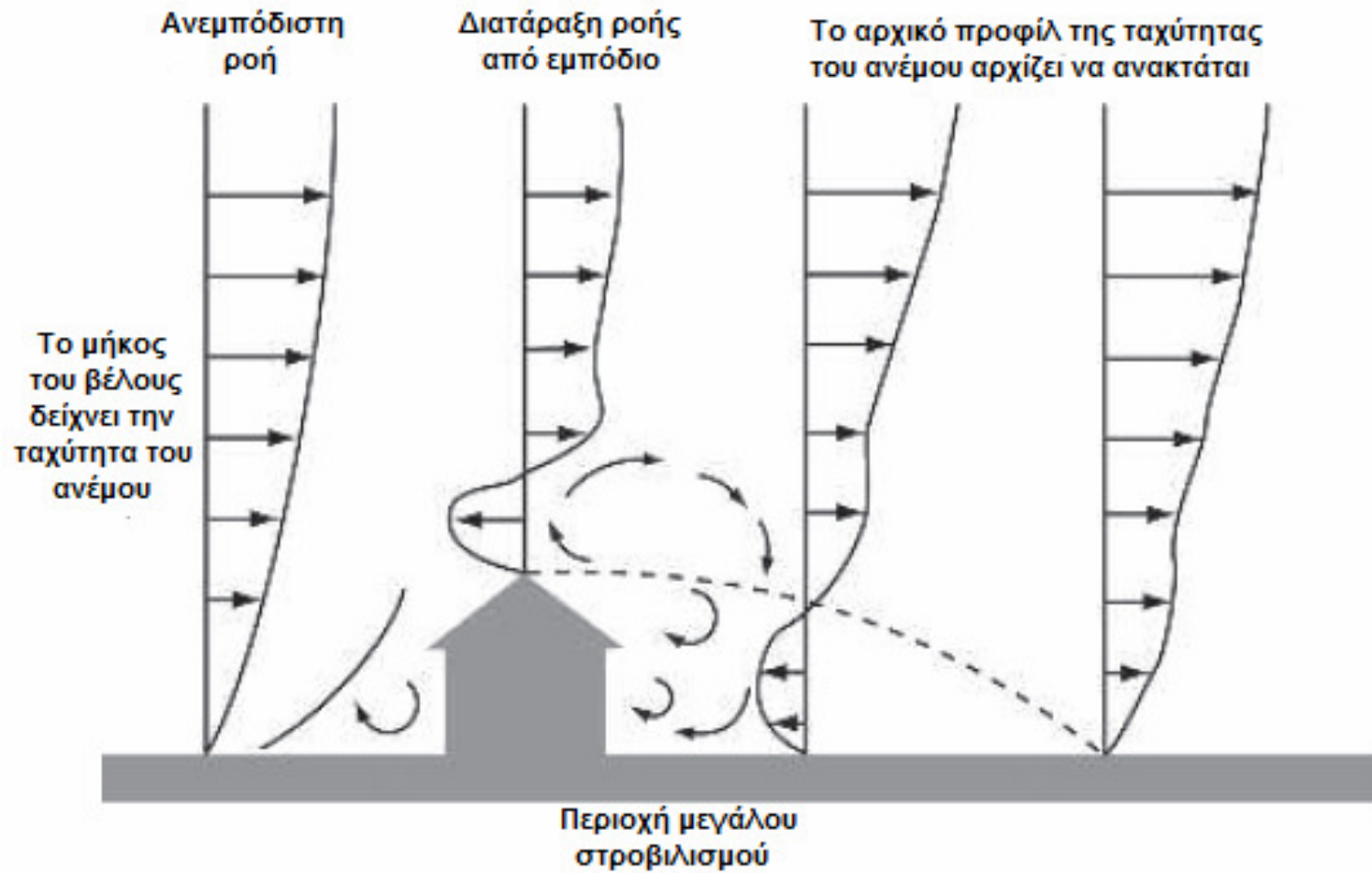
# Στροβιλισμός ανέμου



# Στροβιλισμός ανέμου



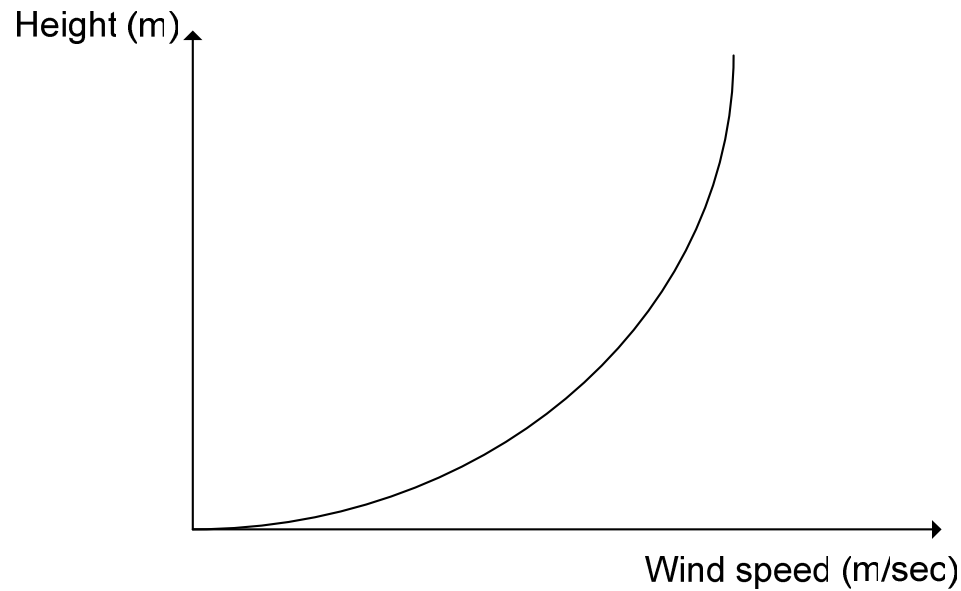
# Στροβιλισμός ανέμου



# Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος – Εκθετικός νόμος

$$\frac{V(z)}{V(z_1)} = \left( \frac{z}{z_1} \right)^{\alpha}$$

$V_z$  (m/sec): Η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος  $z$   
 $V_{z1}$  (m/sec): Η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς  $z_1$   
 $\alpha$ : Δείκτης τραχύτητας εδάφους (κυμαίνεται από 0.1 έως 0.45)





# Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος – Λογαριθμικός νόμος

---

$$\frac{V(z)}{V(z_1)} = \frac{\ln(z - z^*) / z_0}{\ln(z_1 - z^*) / z_0}$$

$V_z$  (m/sec): Η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος  $z$

$V_{z_1}$  (m/sec): Η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς  $z_1$

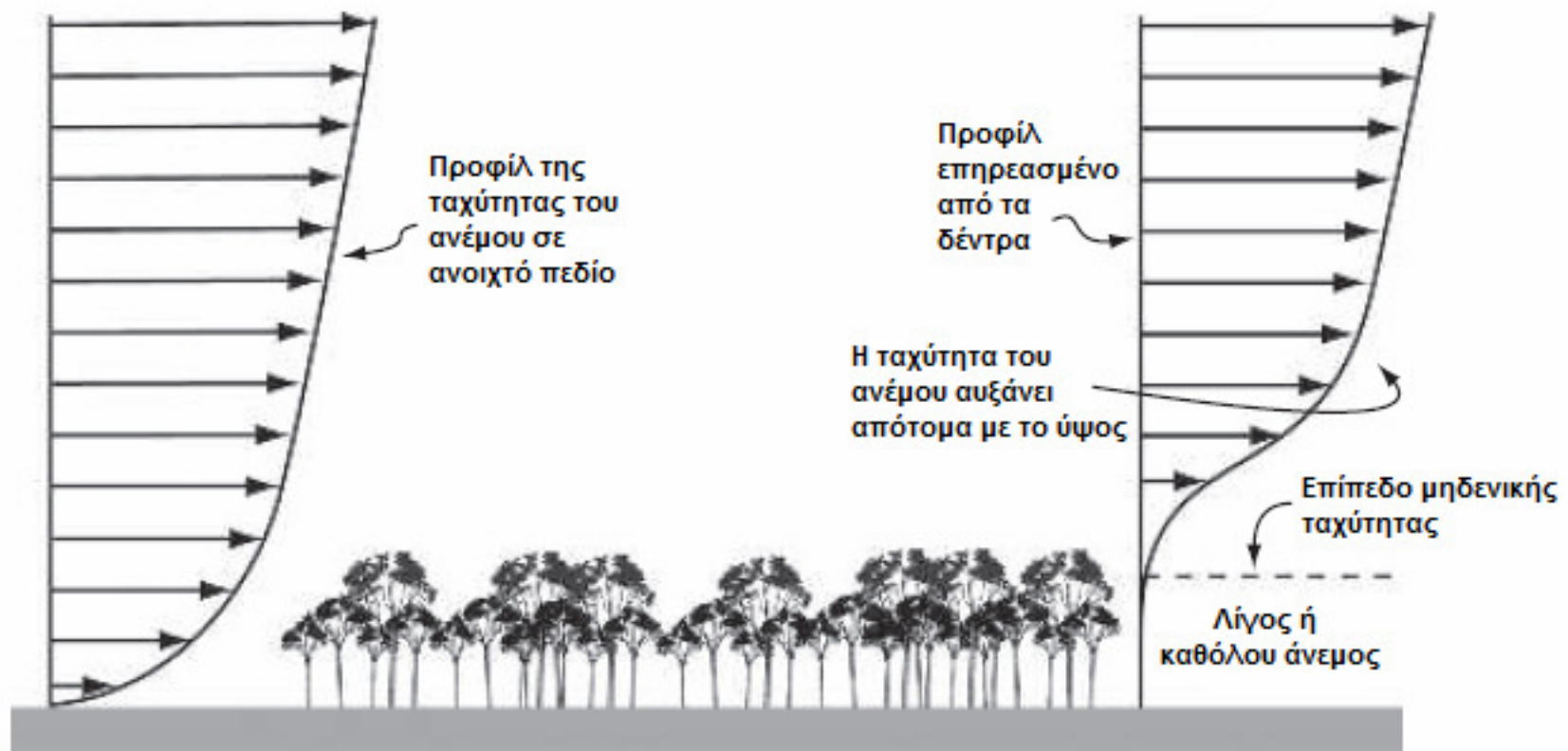
$z_0$  (m): μήκος τραχύτητας περιοχής

$z^*$  (m): ύψος μετατόπισης μηδενικού σημείου  
(συνήθως  $z^*=0$ )

# Παράμετροι τραχύτητας εκθετικού και λογαριθμικού νόμου

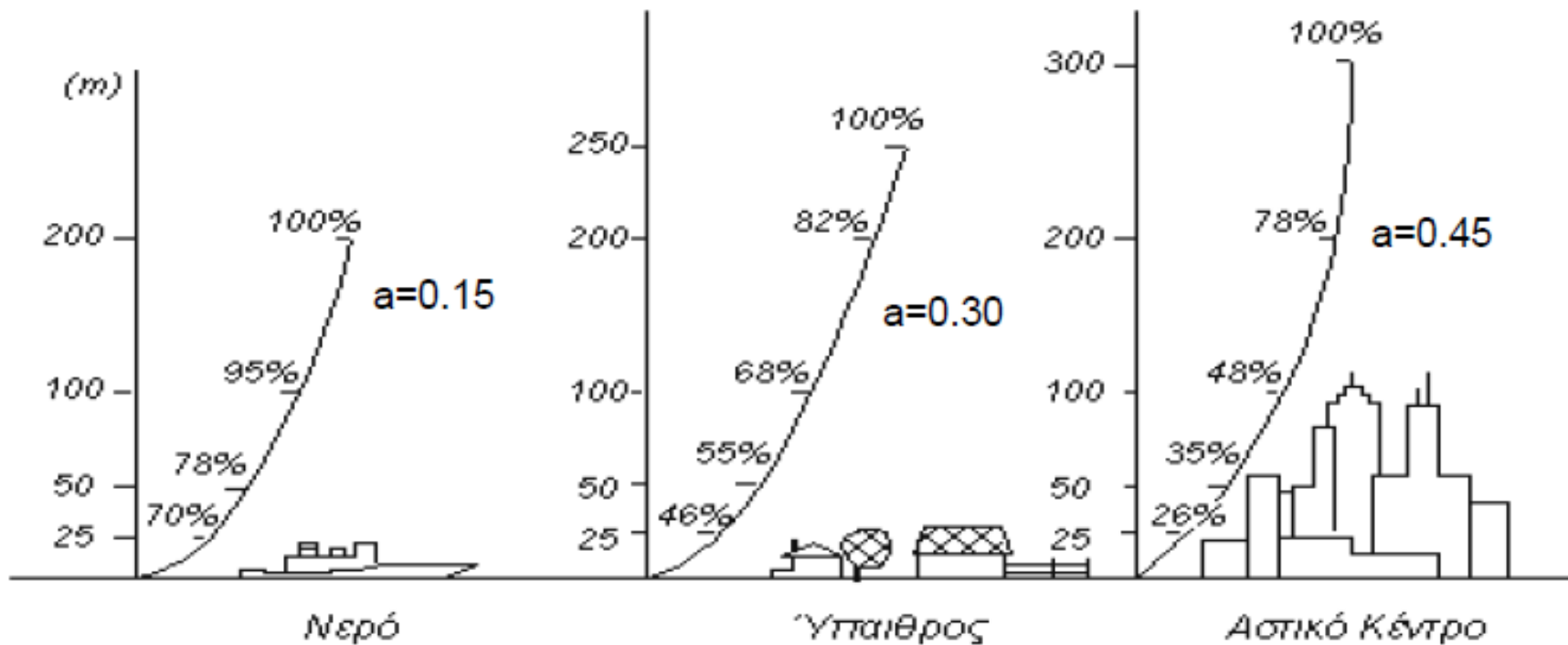
Κατηγορία τραχύτητας	Είδος εδάφους	$\alpha$	$z_0(\text{m})$
0	Εξομαλυμένο (θάλασσα, χιόνι, άμμος)	0.10÷0.13	0.001÷0.02
1	Μέτρια βλάστηση (χαμηλή βλάστηση, καλλιέργειες, αγροτικές περιοχές)	0.13÷0.20	0.02÷0.30
2	Τραχύ έδαφος (δάση, προάστια πόλεων)	0.20÷0.27	0.30÷2.0
3	Πολύ τραχύ έδαφος (αστικές περιοχές, υψηλά κτίρια)	0.27÷0.45	2.0÷15.0

# Επίδραση εμποδίων στο προφίλ της ταχύτητας του ανέμου





# Επίδραση τραχύτητας στην ταχύτητα του ανέμου



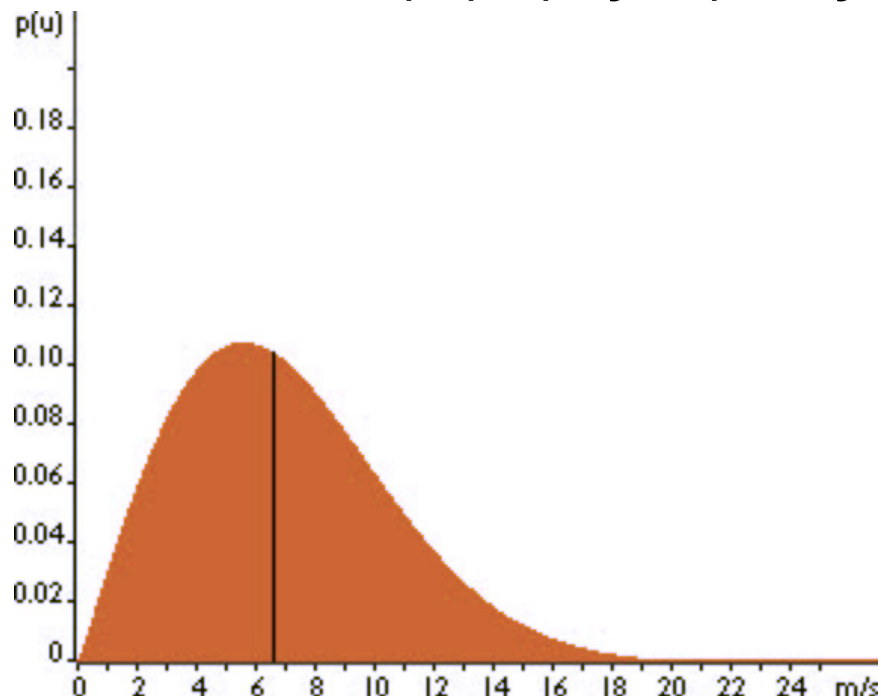
# Κατανομή ανέμου

Ο άνεμος ακολουθεί την κατανομή Weibull:

$$P(V) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k}$$

$k$ : Παράμετρος σχήματος ( $1 < k < 3$ )

$c$ : Παράμετρος κλίμακας



# Κατανομή ανέμου

Διανομή Πυκνότητας Πιθανότητας Ανεμολογικών Μετρήσεων

