



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα **ΠΠ**

ΤΙΤΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΕΝΕΡΓΕΙΑ

ΕΝΟΤΗΤΑ: 5. Αιολική Ενέργεια

ΟΝΟΜΑ ΚΑΘΗΓΗΤΗ: Δ. ΚΑΡΑΜΑΝΗΣ

**ΤΜΗΜΑ: Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών
Πόρων**

ΑΓΡΙΝΙΟ



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη 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.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΚΑΡΑΜΑΝΗΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής Εναλλακτικών Πηγών
Ενέργειας



Επικοινωνία: +30 264107-4210

Ηλεκτρονικό Ταχυδρομείο: dkaraman@upatras.gr



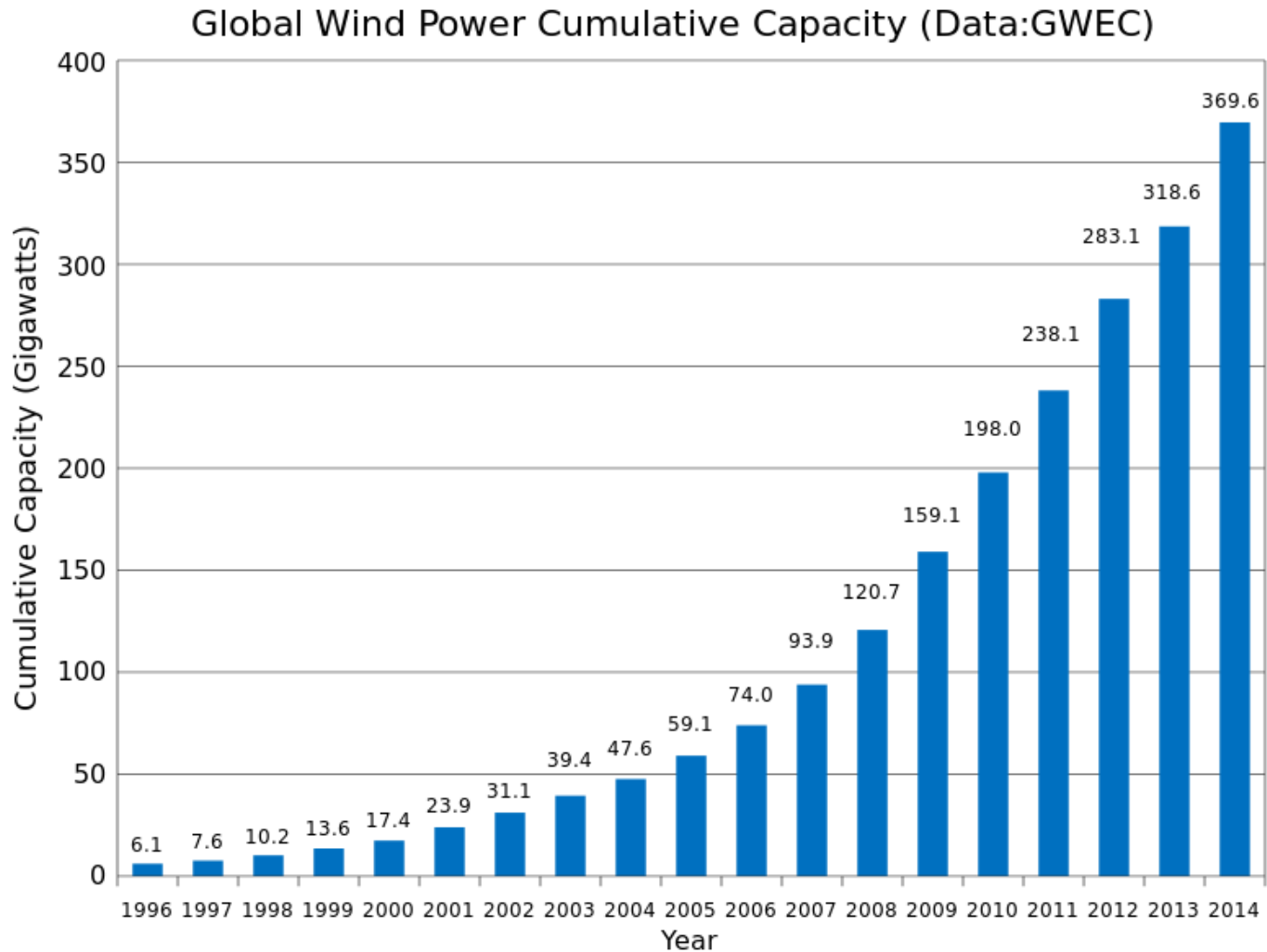
Αιολική Ενέργεια

Άνεμοι: κινούμενες μάζες από μία περιοχή σε κάποια άλλη λόγω της ανομοιόμορφης θέρμανσης της επιφάνειας της Γης από την ηλιακή ακτινοβολία.

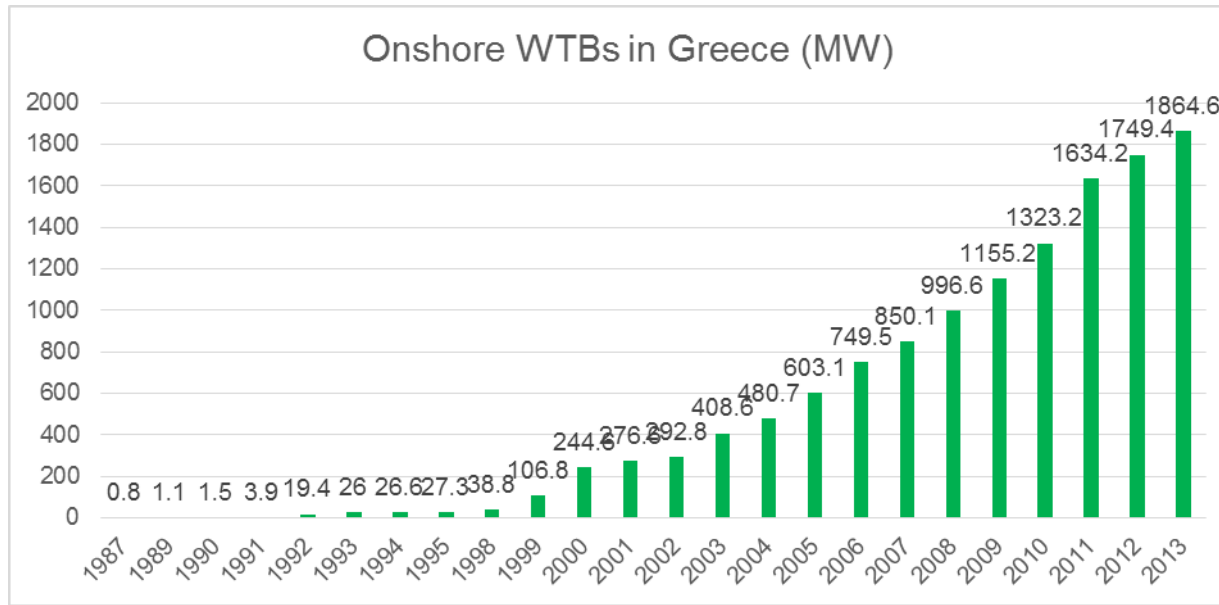
Ολική κινητική ενέργεια των ανέμων: $140 \text{ Wh/m}^2 \rightarrow$ κάλυψη αναγκών ανθρωπότητας σε ηλεκτρική ενέργεια κατά 2 φορές.

Στο 25 % της επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας πάνω από 5.0 m/s σε ύψος 10 m πάνω από το έδαφος και μπορούν να είναι εκμεταλλεύσιμοι για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Αιολική Ενέργεια



"Global Wind Power Cumulative Capacity" by Delphi234 - Own work. Licensed under CC0 via Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Global_Wind_Power_Cumulative_Capacity.svg#/media/File:Global_Wind_Power_Cumulative_Capacity.svg



Δεν υπάρχει Υπεράκτιο Έργο στην Ελλάδα

10.39 GW υπεράκτια στην Ευρώπη (584 WTBs, 82 φάρμες σε 11 χώρες)

	Αριθμός ΥΑ Τουρμπίνων	Διασυνδεδεμένα MW το 1 ^ο εξάμηνο του 2015
Ολλανδία	38	114
Γερμανία	406	1708
ΗΒ	140	522
Συνολικά	584	2342.9

Αιολικό Δυναμικό

- Κίνηση αέριων μαζών στην ατμόσφαιρα λόγω:
 - α) ηλιακής ακτινοβολίας (διαφορετική θερμοκρασία ισημερινού και πόλων και ψυχρών μαζών από πόλους προς ισημερινό και θερμών αντίστροφα)
 - β) περιστροφής της γης (κίνηση ψυχρών επιφανειακών μαζών προς Δυτικά και θερμών μαζών σε μεγαλύτερο ύψος προς Ανατολικά)
- Επίδραση του πεδίου πίεσης λόγω διαφορετικής θερμικής συμπεριφοράς ξηράς
- Επίδραση του γήινου αναγλύφου και τοπικών παραγόντων
- Χαρακτηρισμός της κίνησης των αερίων μαζών από το διάνυσμα της ταχύτητας (μέτρο, διεύθυνση και φορά)
- Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος
- Στατιστική μελέτη του στοχαστικού φαινομένου για τον προσδιορισμό αξιοποιήσιμου αιολικού δυναμικού

Αιολικό Δυναμικό

Το ποσό του ανέμου που είναι διαθέσιμο σε μια τοποθεσία μπορεί να ποικίλλει από το ένα έτος στο επόμενο, με ακόμη μεγαλύτερη κλίμακα διακυμάνσεων για περιόδους δεκαετιών ή περισσότερων

Συνοπτικές διακυμάνσεις

- Χρονική κλίμακα μικρότερη του έτους - εποχιακές διακυμάνσεις
- Επίδραση καιρικών συστημάτων και φαινομένων

Ημερήσιες διακυμάνσεις

- Προβλέψιμο ανάλογα με την ώρα της ημέρας (ανάλογα με την τοποθεσία)
- Σημαντικό για την ενσωμάτωση μεγάλων ποσοτήτων αιολικής ενέργειας στο δίκτυο

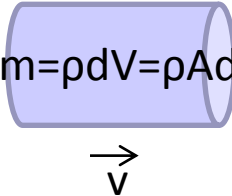
Ανατάραξη (Τύρβη)

- Βραχύβιας κλίμακας πρόβλεψη (λεπτά ή λιγότερο)
- Σημαντική επίδραση στην σχεδίαση και την απόδοση των ανεμογεννητριών
- Επίδραση στην ποιότητα του ρεύματος που τροφοδοτείται στο δίκτυο
- Έντασης της τύρβης δίνεται από $I = \sigma / v$, όπου σ είναι η τυπική απόκλιση της ταχύτητας του ανέμου

Αιολικό Δυναμικό

Κινητική ενέργεια και ισχύς του ανέμου

$$ds = v dt$$

$$dm = \rho dV = \rho A ds = \rho A v dt$$


$$E_k = \frac{1}{2} dm v^2 = \frac{1}{2} \rho A v dt v^2$$

$$P_a / A = E_k / A dt = \frac{1}{2} \rho v^3$$

$$\text{STP } (T_0 = 288.1 \text{ K}), (P_0 = 100.325 \text{ Pa}), \rho_0 = 1.225 \text{ kg/m}^3$$

Όμως: Πυκνότητα και ταχύτητα μεταβλητά μεγέθη → Πειραματικός προσδιορισμός



Αιολικό Δυναμικό-Μέτρηση

Ανεμόμετρο

Τα κυπελλοφόρα ανεμόμετρα βασίζονται στις αεροδυναμικές δυνάμεις (στην συγκεκριμένη περίπτωση στην αντίσταση) που ασκούνται σε ένα σώμα από τον άνεμο. Στην κατάσταση ισορροπίας τα κύπελλα περιστρέφονται γύρω από τον άξονα του ανεμομέτρου με γωνιακή ταχύτητα ανάλογη της ταχύτητας του ανέμου. Ένας αισθητήρας μετράει τη συχνότητα περιστροφής του άξονα του ανεμομέτρου και με αυτό τον τρόπο υπολογίζεται η ταχύτητα του ανέμου.

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Εύρος μέτρησης: 0 to 75 m/s

Παροχή τάσης: 4.75 to 28V DC

Χρόνος ενεργοποίησης: 2 sec

Τρέχουσα κατανάλωση: 1 mA τυπική (1.3 mA max)

Στάνταρ καλώδιο: 3m

Εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας: -30 to 70 °C



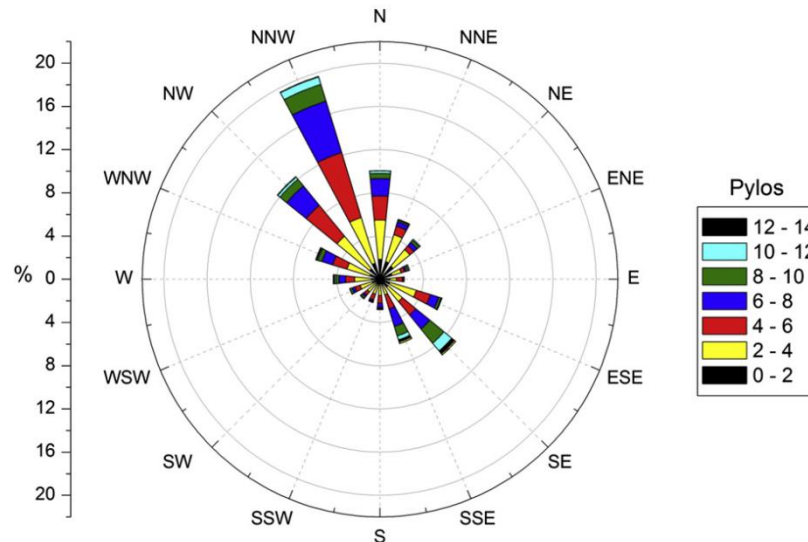
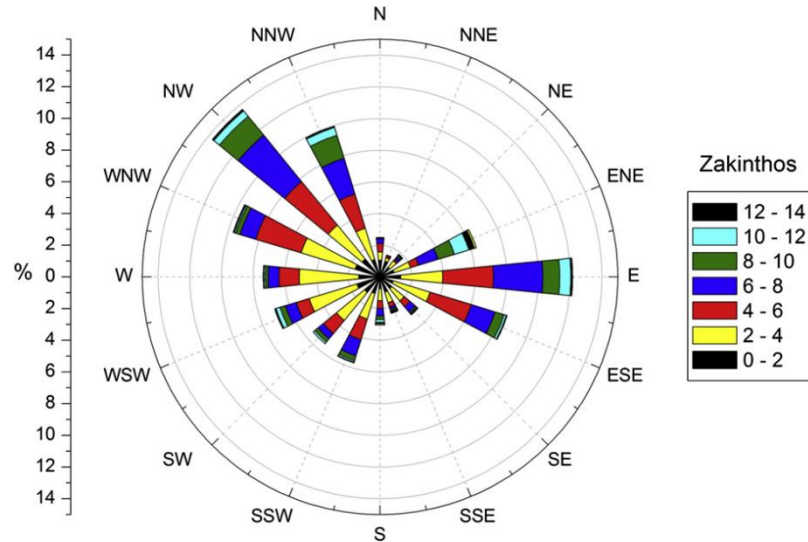
"Wea00920" by photographer: Archival Photograph by Mr. Sean Linehan, NOS, NGS - The Aims and Methods of Meteorological Work by Cleveland Abbe, in Maryland Weather Service, Johns Hopkins Press, Baltimore, 1899. Volume I, page 316. NOAA's National Weather Service (NWS) Collection, Image ID: wea00920. Source link: <http://www.photolib.noaa.gov/htmls/wea00920.htm>Direct link to image: <http://www.photolib.noaa.gov/bigs/wea00920.jpg>. Licensed under Public Domain via Commons - <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wea00920.jpg#/media/File:Wea00920.jpg>

Αιολικό Δυναμικό-Μέτρηση

Ανεμοδείκτης

Τεχνικά Χαρακτηριστικά

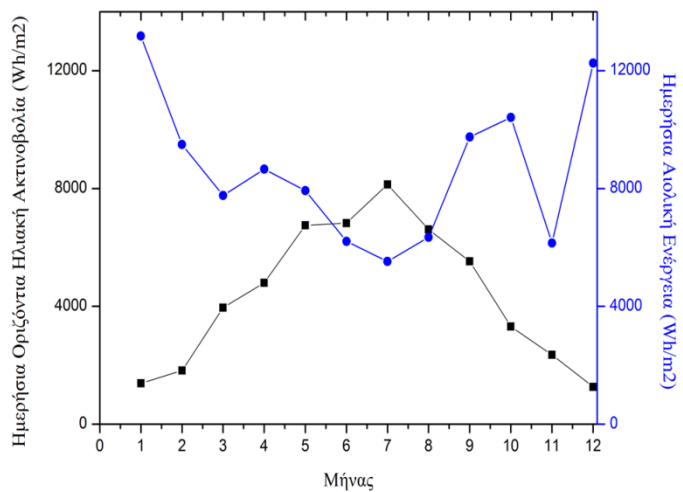
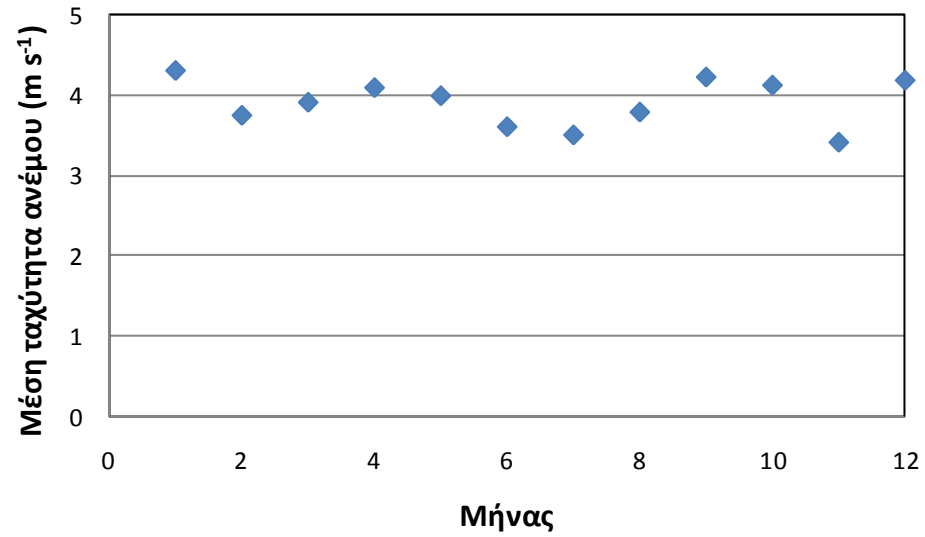
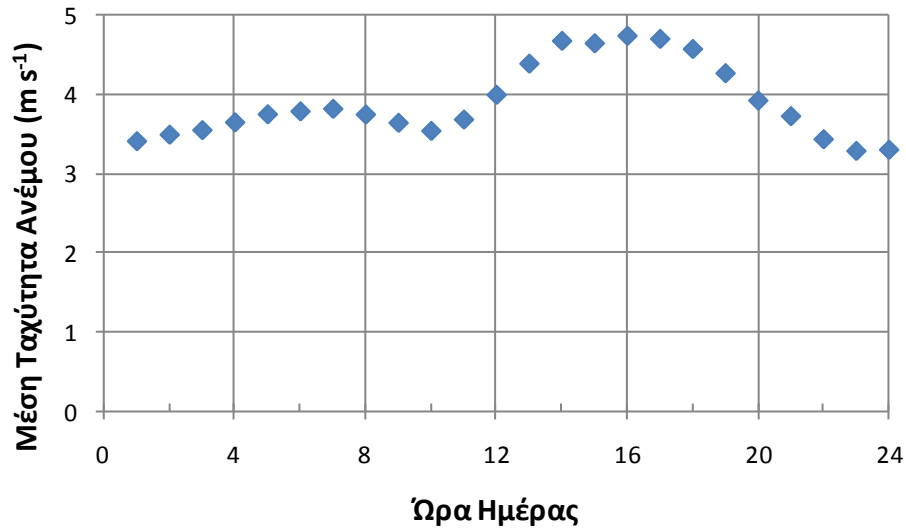
- Μέγιστη ταχύτητα ανέμου πάνω από 75 m/s
- Εύρος: 360°
- Εύρος θερμοκρασίας: -50 to 70 °C
- Παροχή τάσης: 1 to 5V (20 max)



"Wind speed and direction instrument - NOAA". Licensed under Public Domain via Commons -

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wind_speed_and_direction_instrument_-_NOAA.jpg#/media/File:Wind_speed_and_direction_instrument_-_NOAA.jpg

Αιολικό Δυναμικό

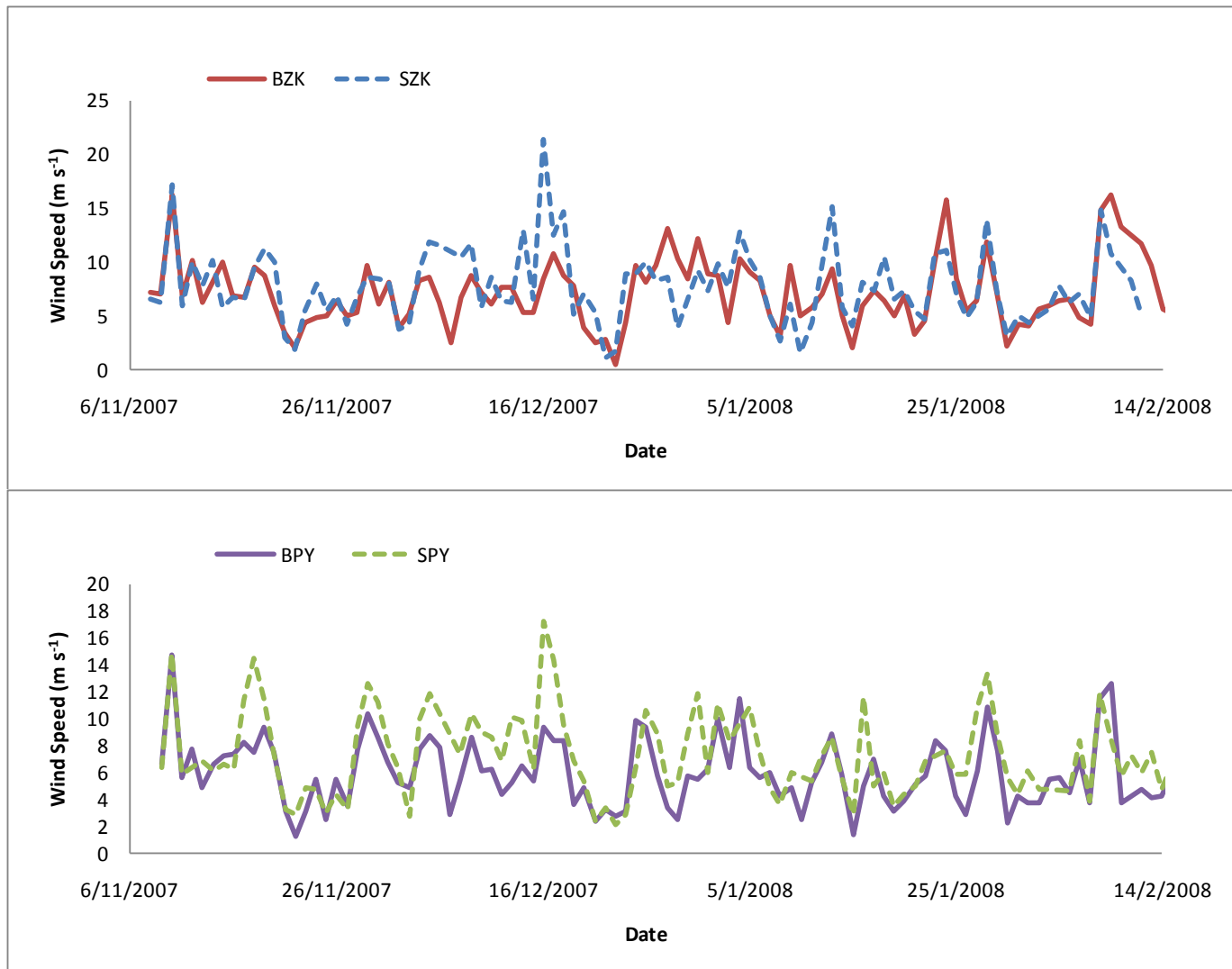


Ηλιακό και Αιολικό Δυναμικό μπορεί να δρουν συμπληρωματικά σε ετήσια βάση

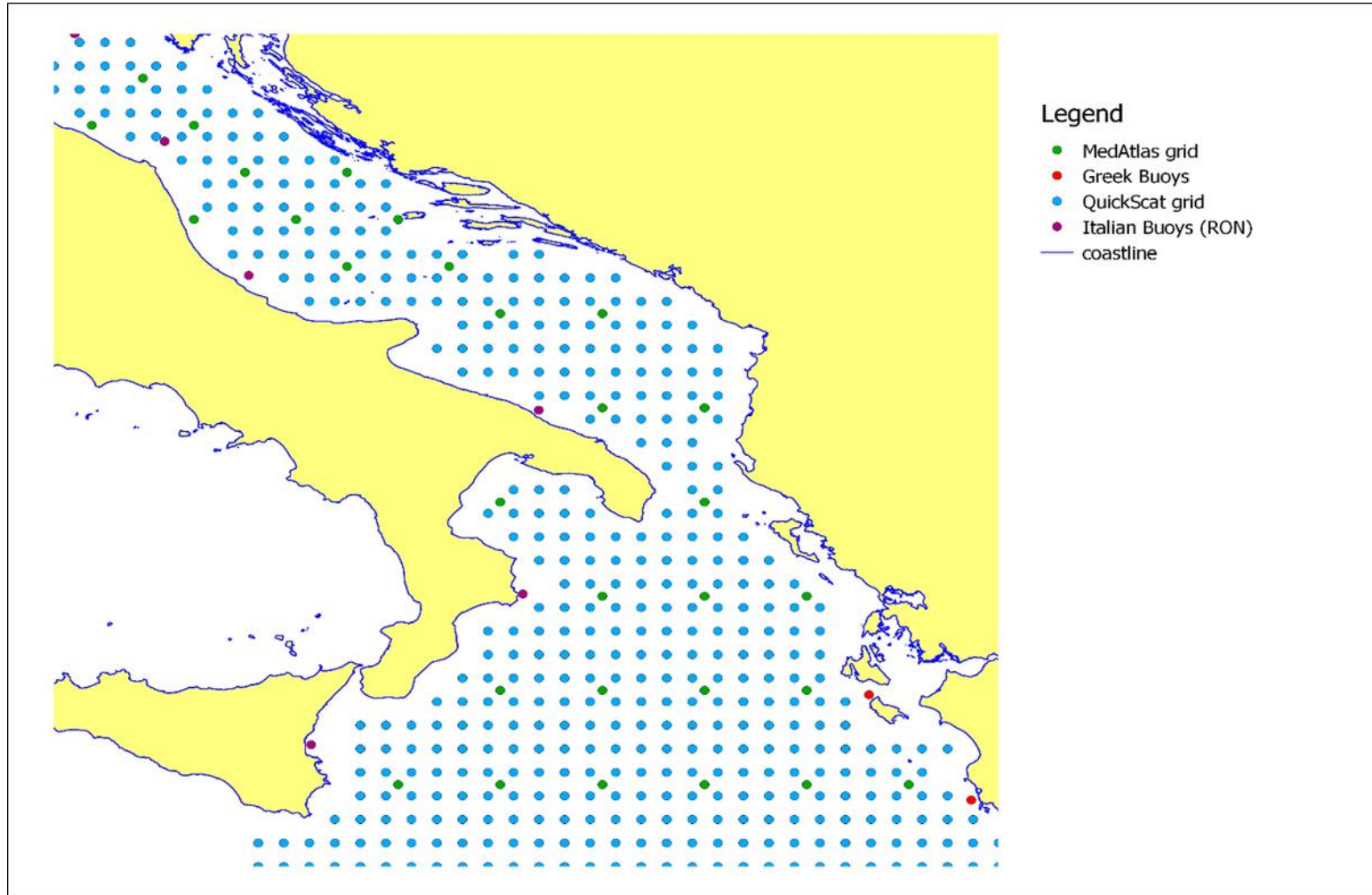
Υπεράκτιο Αιολικό Δυναμικό

Εκτίμηση από δεδομένα πλωτήρων (σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ του ΕΛΚΕΘΕ)
Δορυφορικά δεδομένα, μοντέλα πρόγνωσης

Σύγκριση δεδομένων πλωτήρων και δορυφορικών στα 10 m



Υπεράκτιο Αιολικό Δυναμικό

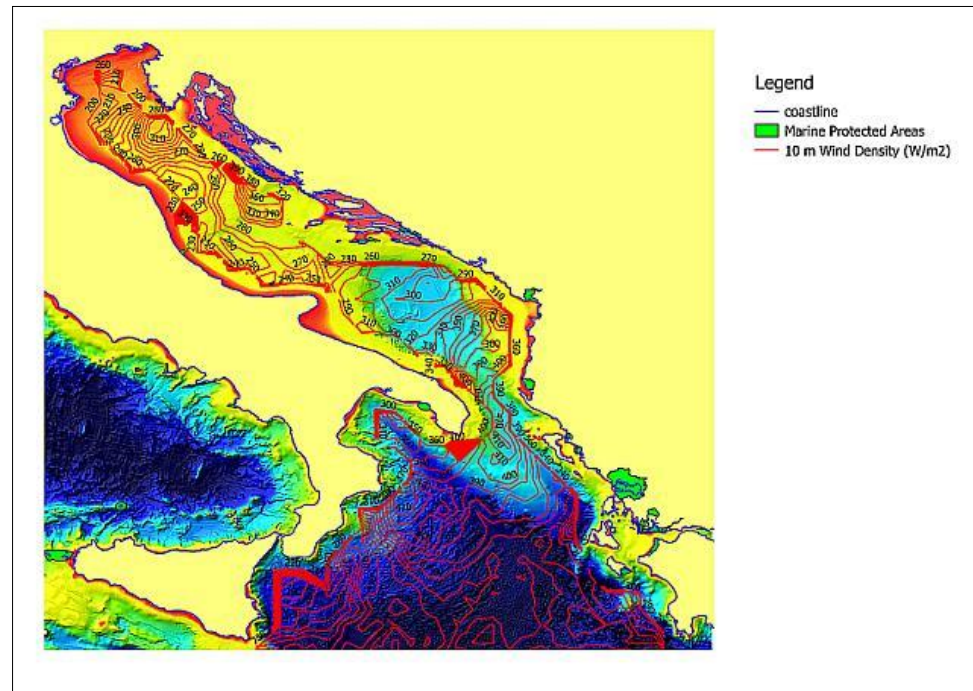
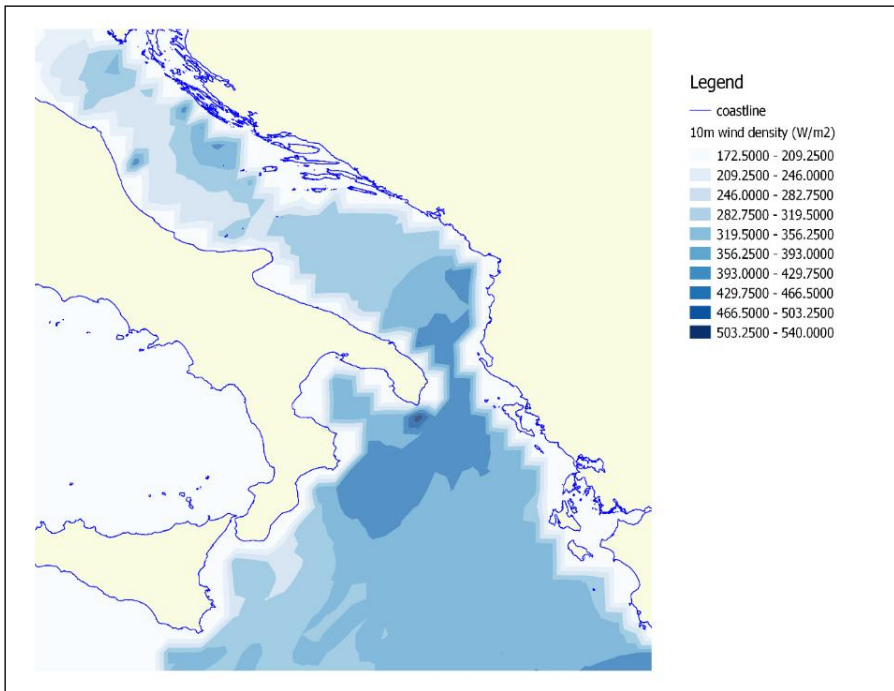


Σύψας, Διπλωματική Εργασία, ΕΑΠ, 2014

Υπεράκτιο Αιολικό Δυναμικό

Πυκνότητα ισχύος ανέμου στα 10 m

Προστατευόμενες περιοχές (πράσινο) και ΠΙΑ 10 m



Σύψας, Διπλωματική Εργασία, ΕΑΠ, 2014

Χρονικό Διάστημα Μέτρησης Ταχύτητας

Η στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου είναι το άθροισμα της μέσης ταχύτητας και της διακύμανσης γύρω από την μέση τιμή

Η διακύμανση προσδιορίζεται με μετρήσεις της ταχύτητας ανέμου και εξαγωγή της μέσης τιμής για κάποιο χρονικό διάστημα. Τυπικές τιμές των 10 min για εφαρμογές προσδιορισμού αιολικού δυναμικού για παραγωγή ενέργειας

Μεγάλος όγκος μετρήσεων στην Ελλάδα

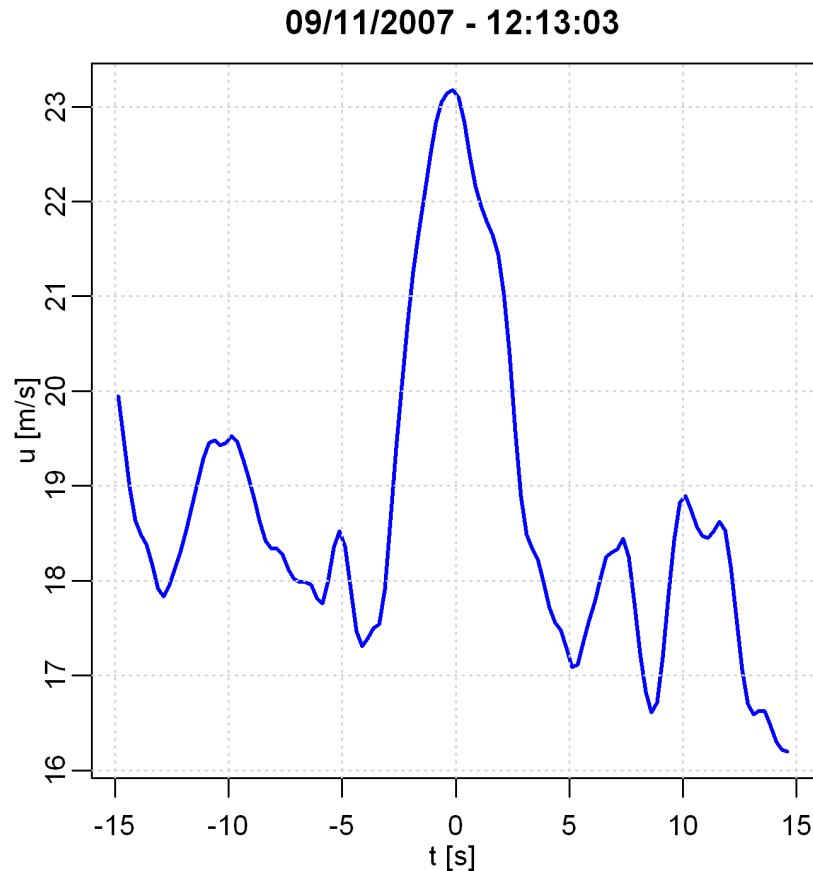
- ΕΜΥ (www.hnms.gr)
- ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΑ (www.meteo.gr)
- ΚΑΠΕ (www.cres.gr/kape/datainfo/maps.htm)
- ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑ
- ΔΕΗ, ΦΟΡΕΙΣ, ΙΔΙΩΤΕΣ

Για συγκεκριμένη γεωγραφική θέση και χαρακτηριστικά εδάφους: Εκτίμηση αιολικού δυναμικού με μέτρηση ταχύτητας τουλάχιστον ένα έτος ή συσχέτιση με μετρήσεις κοντινών σταθμών ή μοντελοποίηση ή υβριδικός προσδιορισμός (π.χ. νευρωνικά δίκτυα)

Για εγκατάσταση αιολικής μηχανής: Εκτίμηση μέγιστης ταχύτητας με στατιστική ακραίων τιμών για μεγάλες περιόδους.

Ριπή ανέμου

Ξαφνική και μικρής διάρκειας αύξηση της ταχύτητας του ανέμου ($V > 10$ m/s και $\Delta V > 5$ m/s).
Αν εμφανίζονται μεγάλη διάρκεια, η αιολική μηχανή σταματά.



<http://emmanuel.branlard.free.fr/work/papers/html/2008ecn/node16.php>

Εκτίμηση αιολικού δυναμικού και αξιολόγηση παραγωγής ενέργειας

Αναγωγή ταχύτητας του ανέμου u_i από το σημείο Z_0 που μετράται (συνήθως 10 m για χερσαία και 3.5 m σε παράκτιους πλωτήρες), σε οποιοδήποτε ύψος Z :

$$u_j = u_0 \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^a \quad (\alpha=1/7 \text{ για χερσαία συστήματα})$$

$$u_j = u_0 \ln(Z/\alpha) / \ln(Z_0/\alpha) \quad (\alpha=0.2 \text{ mm για παράκτια συστήματα})$$

Ίσχύς του ανέμου ανά μονάδα επιφάνειας για N μετρήσεις ταχύτητας ανέμου (διάρκειας τουλάχιστον 1 έτους), :

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2N} \sum_{j=1}^N \rho_j u_j^3$$

όπου ρ_0 η πυκνότητα του αέρα ($\rho_0=1.225 \text{ kg/m}^3$ για παράκτια έργα) ή εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία ως

$$\rho_j = \rho_0 \frac{T_0}{T_j} \left(1 - \frac{\Gamma Z}{T_0} \right)^{\frac{g}{T_j R}} \quad (\text{kg m}^{-3})$$

όπου $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ η επιτάχυνση της βαρύτητας, $R = 287 \text{ J deg}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ η σταθερά των αερίων, T_j είναι η θερμοκρασία σε Kelvin [K], $T_0 = 288 \text{ K}$ ($=273 + 15$), $\rho_0 = 1.225 \text{ kg m}^{-3}$ είναι η πυκνότητα του αέρα στην επιφάνεια της θάλασσας και Γ είναι η κατακόρυφη βαθμίδα θερμοκρασίας που συνήθως θεωρείται 6.5 K km^{-1} .

Εκτίμηση αιολικού δυναμικού και αξιολόγηση παραγωγής ενέργειας

Σταθμισμένη μέση πυκνότητα ισχύος του ανέμου

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \sum_i \rho_i f_i u_j^3$$

όπου f_i είναι η συχνότητα παρατήρησης ταχύτητας ανέμου u_i .

Η σταθμισμένη πυκνότητα ισχύος εξαρτάται από την επιλογή του εύρους κλάσης της κατανομής που συνήθως επιλέγεται ίδια με την κατανομή ταχυτήτων της καμπύλης ισχύος των ανεμογεννητριών.

Η ηλεκτρική παραγωγή ισχύος P μιας ανεμογεννήτριας:

$$P = \int_0^{\infty} P_e(u) f(u) du$$

όπου $f(u)$ είναι η συχνότητα παρατηρήσεων στην κατανομή ταχύτητας u και $P_e(u)$ είναι η καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας που συνήθως δίνεται από τον κατασκευαστή.

Ισχύς εξόδου της ΑΓ (πεδίου ανέμου):

$$P = \sum_i P_e(u_i) f_i$$

και η συνολική παραγωγή ενέργειας σε χρονική περίοδο T :

$$E = T \sum_i P_e(u_i) f_i$$

Εκτίμηση αιολικού δυναμικού και αξιολόγηση παραγωγής ενέργειας

Ο συντελεστής αξιοποίησης (capacity factor) μπορεί να οριστεί ως

$$CF = \frac{P}{P_{rated}}$$

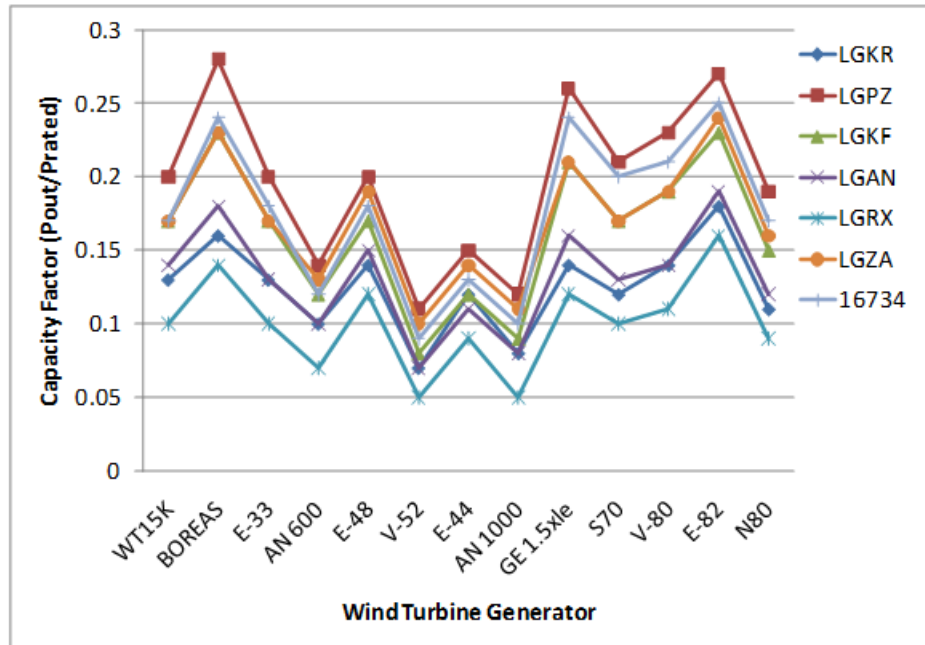
όπου P είναι η ισχύς εξόδου της ανεμογεννήτριας και P_{rated} είναι η ονομαστική της ισχύς.

Ο συντελεστής αξιοποίησης CF αποτελεί ένα μέτρο σύγκρισης της παραγόμενης ισχύος μιας τουρμπίνας για κάποιο χρονικό διάστημα με το ποσό της ισχύος που θα έδινε η τουρμπίνα εάν δούλευε σε μέγιστη έξοδο 100% για το ίδιο χρονικό διάστημα.

Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα της καμπύλης ισχύος μιας ανεμογεννήτριας αλλά δίνονται μόνο οι τρεις ονομαστικές ταχύτητες της (η ταχύτητα έναρξης (cut-in) (u_1), η ονομαστική (rated) (u_0) και η ταχύτητα διακοπής λειτουργίας (cut-out) (u_2), η κατανομή Weibull είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη στατιστική κατανομή για την περιγραφή των δεδομένων της ταχύτητας ανέμου σε μια περιοχή και με αρκετά καλή συμφωνία με τα πειραματικά δεδομένα.

Συντελεστής Αξιοποίησης

Capacity Factor: P_{out}/P_{rated} WTGs



Εκτίμηση αιολικού δυναμικού και αξιολόγηση παραγωγής ενέργειας

Κατανομή Weibull

$$f(u) = \left(\frac{\kappa}{c}\right) \left(\frac{u}{c}\right)^{\kappa-1} \exp\left[-\left(\frac{u}{c}\right)^\kappa\right], \kappa > 0, c > 0$$

όπου u είναι η ταχύτητα του ανέμου, κ και c είναι οι δύο παράμετροι σχήματος (shape) και κλίμακας (scale), αντίστοιχα.

Η αθροιστική συνάρτηση κατανομή $F(u)$ της κατανομής Weibull δίνεται ως:

$$F(u) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{u}{c}\right)^\kappa\right]$$

Οι παράμετροι κ και c μπορούν εύκολα να υπολογιστούν από τη θεωρία ελαχίστων τετραγώνων της απλής γραμμικής εξίσωσης που παίρνουμε εάν λογαριθμήσουμε τα δύο μέλη της Εξίσωσης ως

$$\frac{1}{\kappa} \ln(-\ln(1 - F(u))) = [\ln(u) - \ln(c)]$$

Εκτίμηση αιολικού δυναμικού και αξιολόγηση παραγωγής ενέργειας

Ο συντελεστής αξιοποίησης μπορεί να υπολογιστεί ως

$$CF = \left(\frac{u1}{u0}\right)^3 e^{-\left(\frac{u1}{c}\right)^\kappa} + \frac{3\Gamma(3/\kappa)}{\kappa\left(\frac{u0}{c}\right)^3} \left[\gamma\left(\left(\frac{u0}{c}\right)^\kappa, \frac{3}{4}\right) - \gamma\left(\left(\frac{u1}{c}\right)^\kappa, \frac{3}{4}\right) \right] - e^{-\left(\frac{u2}{c}\right)^\kappa}$$

Η συνάρτηση $\Gamma(3/\kappa)$ μπορεί να υπολογιστεί ως συνάρτηση του EXCEL
(=exp(gamma ln(3/k)))

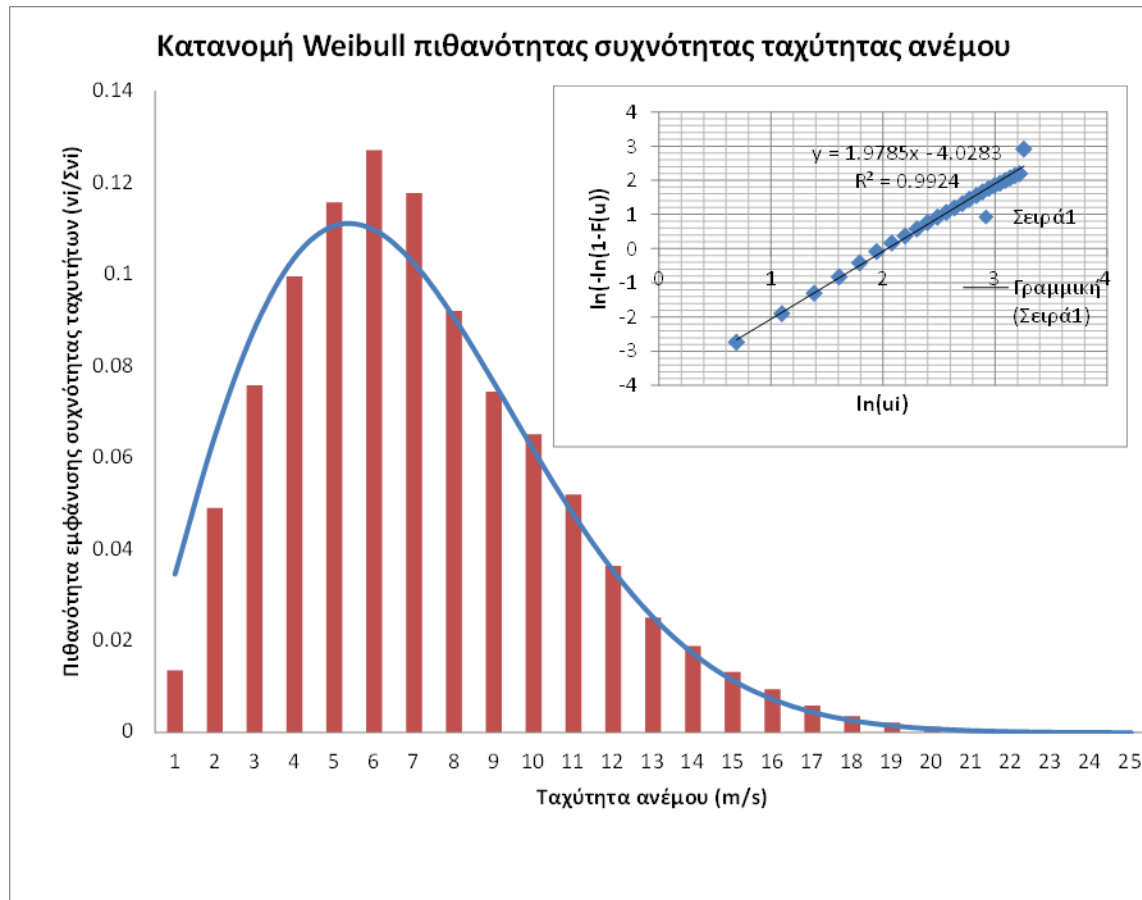
Η μη ολοκληρωμένη συνάρτηση $\gamma(\alpha, x)$ μπορεί να υπολογιστεί μέσω των συναρτήσεων του EXCEL

=EXP(GAMMALN(alpha))*GAMMADIST(x,alpha,1,1) όπου το x είναι το 3/4.

Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση:

$$CF = \frac{\exp\left(-\left(\frac{u1}{c}\right)^\kappa\right) - \exp\left(-\left(\frac{u0}{c}\right)^\kappa\right)}{\left(\frac{u0}{c}\right)^\kappa - \left(\frac{u1}{c}\right)^\kappa} - \exp\left[-\left(\frac{u2}{c}\right)^\kappa\right]$$

Εκτίμηση αιολικού δυναμικού και αξιολόγηση παραγωγής ενέργειας



$$\text{Μέση ταχύτητα ανέμου } V = c\Gamma(1 + 1/k)$$

Κατανομή Weibull

Η κατανομή Weibull δεν είναι συμμετρική όπως η κατανομή Gauss και η μέση τιμή δεν συμπίπτει με τη διάμεσο (ίσα εμβαδα).

Η μορφή της κατανομής διαφέρει από τόπο σε τόπο και εξαρτάται από τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες, το ανάγλυφο του εδάφους και ενδέχεται να αποκλίνει από την απλή μορφή της κατανομής Weibull. Μικρή τιμή της παραμέτρου k χαρακτηρίζει μεγάλη μεταβλητότητα ταχύτητας ανέμου ενώ μεγάλη τιμή το αντίθετο. Ειδική της μορφή αποτελεί η κατανομή Rayleigh με συντελεστή $k=2$ που είναι ισοδύναμη με τυπική απόκλιση 52% από τη μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου.

Η τυπική απόκλιση των διακυμάνσεων της ταχύτητας του ανέμου από τη μέση τιμή είναι συνήθως σταθερή σε αγροτικές ή υπεράκτιες περιοχές αλλά μεταβάλλεται σημαντικά στον αστικό ιστό.

Τραχύτητα εδάφους

Το μήκος τραχύτητας z_0 και η κατηγορία τραχύτητας για την επιφάνεια ενδιαφέροντος εγκατάστασης ανεμογεννήτριας σχετίζεται με το μήκος εμποδίων της επιφάνειας

Κατηγορία Τραχύτητας	Τύπος εδάφους	$Z_0(m)$
0	Πηλώδες έδαφος, Πάγος	$10^{-5} - 3*10^{-5}$
0	Ήρεμη θάλασσα	$2*10^{-4} - 3*10^{-4}$
0	Αμμώδες έδαφος	$10^{-4} - 10^{-3}$
0	Χιονοκαλυμμένο επίπεδο έδαφος	$4.9*10^{-3}$
1	Χέρσο έδαφος	$10^{-3}-0.01$
1	Χλοερό έδαφος	0.017
1	Επίπεδο ακαλλιέργητο έδαφος	0.021
2	Χαμηλή βλάστηση, Στέπα	0.032
2	Υψηλά χόρτα	0.039
2	Σιποβολώνες	0.045
2	Καλλιέργειες	0.064
2	Θαμνώδες έδαφος	0.1-0.3
2	Δάση με χαμηλά δένδρα	0.05-0.1
3	Δάση με υψηλά δένδρα	0.2-0.9
3	Προαστιακές περιοχές	1-2
3	Πόλεις	1-4

Στροβιλισμός του αέρα

Δημιουργείται από την ανατάραξη του αέρα λόγω περιδίνησης κοντά στην επαφή με το έδαφος (διαφορετική τραχύτητα) και την κίνησή του σε διαφορετικές κατευθύνσεις

Επηρεάζει τη λειτουργία και την απόδοση της ανεμογεννήτριας και περιορίζει σημαντικά την ανάπτυξη αστικών εφαρμογών

Παράδειγμα

7όροφο κτίριο (20m)

Πλάτος 60m

Απόσταση από ανεμογεννήτρια: 300m

Ύψος ανεμογεννήτριας: 50m

<http://www.windpower.dk/en/tour/wres/shelter/index.htm>

Κλίμακα Μποφόρ

$$v_{[m/s]} = 0,836 \cdot B^{3/2} ,$$

Η κλίμακα Μποφόρ	Χαρακτηρισμός ανέμου	Χαρακτηρισμός θάλασσας	Φαινόμενα στην ξηρά	στην θάλασσα
0 < 0.3	Άπνοια (νηνεμία)	Γαλήνια	Δεν φυσά άνεμος, ο καπνός υψώνεται κατακόρυφα.	
	Επίπεδη, κατοπτρική επιφάνεια (κοινώς «θάλασσα λάδι»).			
1 < 1.6	Σχεδόν άπνοια / Υποπνέων (ελαφρύ αεράκι)	Ρυτιδούμενη	Ο άνεμος μετακινεί τον καπνό, όχι όμως τον ανεμοδείκτη.	Το νερό κάνει μικρές «ρυτίδες».
2 < 3.4	Πολύ ασθενής (ελαφριά αύρα)	Ήρεμη	Ο άνεμος γίνεται αισθητός στο δέρμα, τα φύλλα κινούνται.	Μικρά κυματάκια που δεν «σπάνε». Οι κορυφές τους έχουν υαλώδη μορφή και ποτέ αφρό.
3 < 5.5	Ασθενής (γλυκιά αύρα)	Λίγο ταραγμένη	Φύλλα και μικρά κλαριά κινούνται διαρκώς.	Τα μικρά κύματα αρχίζουν να σπάνε και εμφανίζεται λίγος αφρός.
4 < 8	Σχεδόν μέτριος (μέτρια αύρα)	Λίγο ταραγμένη ως ταραγμένη (μέτρια)	Ο άνεμος σηκώνει σκόνη και πεσμένα χαρτιά. Τα κλαδιά αρχίζουν να κινούνται.	Μέτρια κύματα, εμφανίζεται αφρός και σταγονίδια νερού (πίτυλος).
5 < 10.8	Μέτριος	Ταραγμένη	Μικρά δέντρα αρχίζουν να κινούνται.	Μεγαλύτερα κύματα (ύψους 1,2 - 2,5 μ.), εμφανίζονται αφρώδεις κορυφές παντού.
6 < 13.9	Ισχυρός	Κυματώδης	Μεγάλα κλαδιά κινούνται και ο αέρας σφυρίζει. Η χρήση της ομπρέλας γίνεται δύσκολη.	Μεγάλα κύματα (ύψους 2 - 4 μ.) με επιμήκεις αφρώδεις κορυφές και έντονο πίτυλο.
7 < 17.2	Σφοδρός / Σχεδόν Θυελλώδης (Near Gale)	Κυματώδης έως πολύ κυματώδης	Τα δέντρα κινούνται ολόκληρα και το περπάτημα ενάντια στον άνεμο γίνεται δύσκολο.	Η θάλασσα ογκούται (φουσκώνει) και λευκός αφρός από κύματα (ύψους 3 - 5 μ.) που σπάζουν αρχίζει να παρασύρεται και να σχηματίζονται ραβδώσεις κατά την διεύθυνση του ανέμου.
8 < 20.8	Θυελλώδης (Gale)	Πολύ κυματώδης έως τρικυμώδης	Μεγάλα δέντρα κινούνται ολόκληρα και μικρά κλαδιά σπάνε. Η οδήγηση γίνεται δύσκολη και το περπάτημα ενάντια στον άνεμο εξαιρετικά δύσκολο.	Η θάλασσα αρχίζει να φουρτουνιάζει. Σχετικά υψηλά κύματα (4 - 6 μ.) με προεξέχουσες κορυφές που αρχίζουν να σπάνε. Σχηματίζονται έντονες λωρίδες αφρού κατά την διεύθυνση του ανέμου. Μεγάλες ποσότητες αιωρούμενου αφρού.

9 <24.5 Πολύ Θυελλώδης (Strong Gale) Τρικυμιώδης Μεγάλα κλαδιά σπάνε, μικρές ζημιές σε καμινάδες και σκεπές. Προσωρινή σήμανση και οδοφράγματα παρασύρονται. Δύσκολη η όρθια στάση. Υψηλά κύματα (6 - 9 μ.) με πυκνές ραβδώσεις αφρού κατά την διεύθυνση του ανέμου. Οι κορυφές των κυμάτων αρχίζουν να γέρνουν, να πέφτουν και να κυλίνουν. Ο αφρός είναι δυνατόν να επηρεάζει την ορατότητα.

10 <28.5 Θύελλα (Storm) Πολύ τρικυμιώδης Σπάνια παρατηρείται στο εσωτερικό της ξηράς. Δέντρα σπάζουν ή ξεριζώνονται. Πολλά κεραμίδια αποσπώνται από τις σκεπές, αρκετές ζημιές στο εξωτερικό των κτιρίων. Πολύ υψηλά (8 - 12,5 μ.) κύματα με μακριές λοφώδεις ράχες. Το σπάσιμο και κύλισμα των κορυφών των κυμάτων γίνεται έντονο και βίαιο. Η θάλασσα εμφανίζει μεγάλα λευκά μπαλώματα και η συνολική της εμφάνιση αρχίζει να ασπρίζει. Η ορατότητα μειώνεται.

11 <32.7 Βίαιη / Σφοδρή θύελλα (Violent Storm) Εξαιρετικά τρικυμιώδης (ή Άγρια) Πολύ σπάνια παρατηρείται στο εσωτερικό της ξηράς. Πολλές στέγες υφίστανται μεγάλη ζημιά. Αρκετές ζημιές σε κτίρια, αυτοκίνητα, πάρκα. Έπιπλα και βαριά αντικείμενα εκτός κτιρίων παρασύρονται. Αδύνατη η όρθια στάση. Εκτεταμένες ζημιές στην βλάστηση. Εξαιρετικά υψηλά (9 - 14 μ.) ογκώδη κύματα, μεγάλες ποσότητες αιωρούμενου αφρού, μικρή ορατότητα. Δύσκολη η θέα πλοίων μικρής και μεσαίας χωρητικότητας, ίσως για λίγη ώρα να χάνονται πίσω από τα κύματα.

12 >32.7 Τυφώνας (Hurricane-force)* Μαινόμενη (ή Πολύ άγρια) Εξαιρετικά σπάνιο συμβάν στο εσωτερικό της ξηράς. Σοβαρές καταστροφές σε μεγάλη έκταση. Μερικά παράθυρα μπορεί να σπάσουν. Κινητά σπίτια (mobile homes), καθώς και κακής κατασκευής υπόστεγα και αχυρώνες υφίστανται μεγάλες ζημιές ή και καταστρέφονται. Συντρίμμια εκσφενδονίζονται και παρασύρονται. Πολύ εκτεταμένες ζημιές στην βλάστηση. Τεράστια κύματα (14 μ. και άνω). Ο αέρας γεμίζει με αφρό και πίτυλο, η θάλασσα ασπρίζει εντελώς. Ελάχιστη έως μηδενική ορατότητα.

Τεχνολογία Ανεμογεννητριών

- Ανεμογεννήτριες με οριζόντιο άξονα περιστροφής, όπου ο δρομέας είναι τύπου έλικας και ο άξονας μπορεί να περιστρέφεται συνεχώς παράλληλα προς τον άνεμο και
- Ανεμογεννήτριες με κατακόρυφο άξονα που παραμένει σταθερός

Λειτουργία

Ο άνεμος περιστρέφει τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας, τα οποία είναι συνδεδεμένα με ένα περιστρεφόμενο άξονα. Ο άξονας περνάει μέσα σε ένα κιβώτιο μετάδοσης της κίνησης όπου αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής. Το κιβώτιο συνδέεται με έναν άξονα μεγάλης ταχύτητας περιστροφής ο οποίος κινεί μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.



Άνεμος-> Μηχανική Ενέργεια -> Ηλεκτρισμός

http://www.google.gr/imgres?imgurl=https://pixabay.com/static/uploads/photo/2014/07/17/12/34/missouri-395428_640.jpg&imgrefurl=https://pixabay.com/

Έξοδος Ισχύος Ανεμογεννήτριας

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho A V^3$$

όπου C_p είναι ο συντελεστής ισχύος και περιγράφει τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανικό έργο



"Darrieus-windmill". Licensed under Public Domain via Commons - <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Darrieus-windmill.jpg#/media/File:Darrieus-windmill.jpg>

Παρουσίαση θεωρίας δίσκου ενέργειας και Τεχνολογίας ΑΓ στο Μέρος Β'

Θετικές Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Αιολικής Ενέργειας

- Ενεργειακή Ανταπόδοση Α/Γ (Energy payback)= $\text{EmbodiedEnergy}_{\text{WTG}}/\text{Eout (net)}$

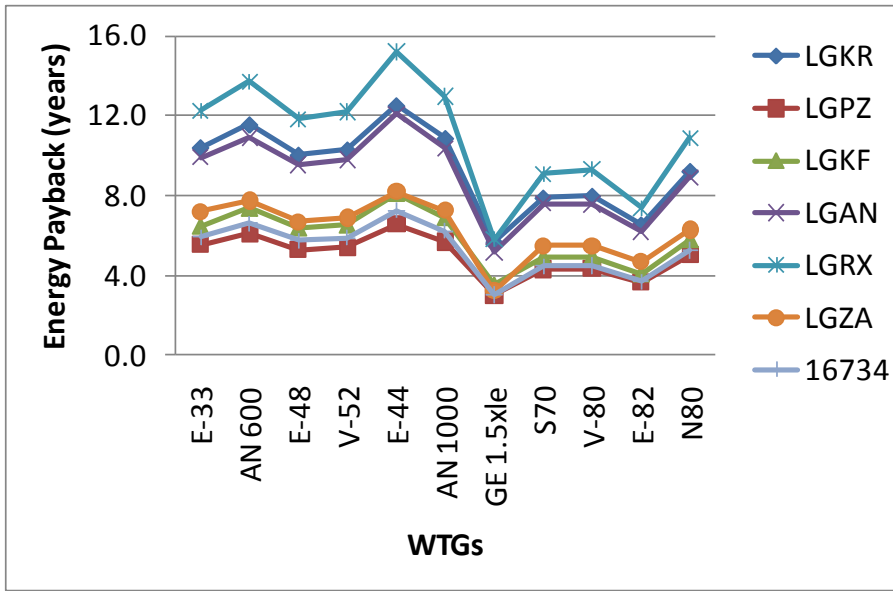
- Αποφυγή Έκλυσης CO₂: $\text{Lifetime}_{\text{WTG}} * \text{Eout(net)} \times \text{A} - \text{EmbodiedEnergy}_{\text{WTG}} \times \text{B}$

όπου

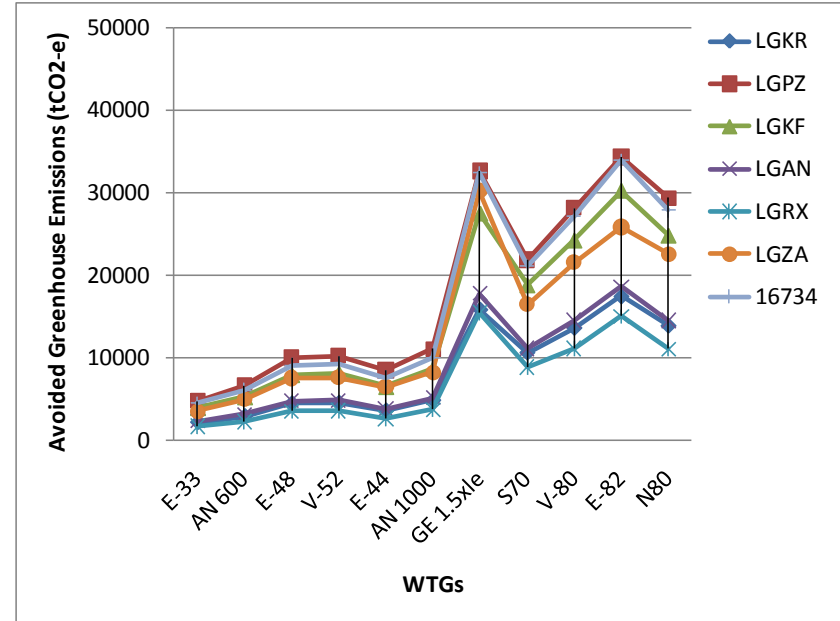
- Α ο συντελεστής έκλυσης CO₂ -e/GJ ενέργειας παραγόμενης από ορυκτά καύσιμα και ίσος με 122 kg CO₂-e/GJ
 - (<http://www.minenv.gr/4/41/e4100.html>)
 - Β ο συντελεστής έκλυσης CO₂ -e/GJ ενέργειας παραγόμενης από Α/Γ και ίσος με 60 kg CO₂ -e/GJ.
- Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα λειτουργούν ως ένας νέος τύπος οικοτόπου με υψηλότερη βιοποικιλότητα των βενθικών οργανισμών
- Οικονομική Ανταπόδοση: www.retscreen.org

Θετικές Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Αιολικής Ενέργειας

Περίοδος Ενεργειακής Ανταπόδοσης (y)



Αποφυγή έκλυσης tCO₂-e/20y



Πιθανές Αρνητικές Επιπτώσεις των Υπεράκτιων Αιολικών

- Οξύς θόρυβος στη φάση κατασκευής (οδήγηση, γεωτρήσεις και εργασίες τοποθέτησης)
- Διαταραχή κατά την διάρκεια της έρευνας, της κατασκευής και της συντήρησης
- Δημιουργία ρύπων στα ιζήματα κατά την κατασκευή και λόγω επαναιώρησης
- Συγκρούσεις των πουλιών και άλλων οργανισμών (υδρόβιων κοινοτήτων) με τις ανεμογεννήτριες
- Δημιουργία τεχνητού υφάλου, με επακόλουθες επιπτώσεις στην βιοποικιλότητα
- Επιπτώσεις από τα χτυπήματα που οφείλονται στο συνεχή θόρυβο και τους κραδασμούς που προέρχονται από τις ανεμογεννήτριες
- Ηλεκτρομαγνητικές επιπτώσεις (υποθαλάσσια καλωδιακά δίκτυα), που ενδέχεται να παρεμποδίζουν τον προσανατολισμό των οργανισμών
- Θερμικές επιπτώσεις που μπορεί να επιδεινώσουν τις επιπτώσεις των άλλων παραγόντων πίεσης επί των βενθικών οργανισμών
- Επιπτώσεις της αύξησης της κίνησης για την αντιμετώπιση προβλημάτων των Α/Γ
- Επιπτώσεις κατά την διάρκεια του παροπλισμού

N. 2742/1999 «Χωροταξικός σχεδιασμός και αιεφόρος ανάπτυξη και άλλες διατάξεις»

Υποχρεωτικά κριτήρια χωροθέτησης παράκτιων-υπεράκτιων αιολικών πάρκων:

- Η χωροθέτηση των εγκαταστάσεων αιολικής ενέργειας σε όλες τις θαλάσσιες περιοχές της χώρας επιτρέπεται, οι οποίες έχουν συνθήκες εκμετάλλευσης του ανέμου και δεν αποτελούν μέρος ενός συγκεκριμένου θεσμικού πλαισίου με την απαγόρευση στην εγκατάσταση ή οποία δεν είναι μέρος της ζώνης αποκλεισμού, όπως εκ του νόμου ή τα υποβρύχια πάρκα ή των εγκατεστημένων επιβατικών γραμμών πλοήγησης.
- τα διάκενα για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών, προκειμένου να εξασφαλιστεί η λειτουργικότητα και απόδοση των αιολικών πάρκων θα πρέπει να ελαχιστοποιούνται, σύμφωνα με τις διατάξεις της γης.
- Η εγκατάσταση των ανεμογεννητριών σε απόσταση μικρότερη των 500 μέτρων από την οργανωμένη ή σχηματιζόμενων ακτών κολύμβησης ή άλλες αξιόλογες ακτές και παραλίες (π.χ. αμμώδεις) είναι απαγορευμένη.
- Μικροί - κλειστοί κόλποι με εύρος ανοίγματος μικρότερη από 1100 m πρέπει να είναι ελεύθεροι από ανεμογεννήτριες.
- Ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης από περιοχές και στοιχεία της πολιτιστικής κληρονομιάς και οικισμοί θα πρέπει να εξετάζονται σύμφωνα με τις διατάξεις της γης.
- Σχέδια ανάπτυξης αιολικών πάρκων πρέπει να αποδεικνύουν την ικανότητα της ασφαλούς διασύνδεσης και μεταφοράς της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας με μέγιστη απόσταση από την χερσαία διαδρομή μέχρι τη διασύνδεση του υποσταθμού να είναι 20 χιλιόμετρα.
- Οι κανόνες του τοπίου που ισχύουν στους τομείς της αιολικής ενέργειας πρέπει να εφαρμοστούν.

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την 1^η έκδοση.

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Δημήτρης Καραμάνης, 2015.

Δημήτρης Καραμάνης, «Περιβάλλον - Ενέργεια». Έκδοση: 1.0. Αγρίνιο 2015.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/ENV110/index.php>

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού, Απαγόρευση Εμπορικής Χρήσης και Όχι Παράγωγα Έργα. 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».

« Το υλικό της παρουσίασης προέρχεται από τις πανεπιστημιακές παραδόσεις του καθηγητή Δ. Καραμάνη».



Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Διαφάνεια 6-7:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Global_Wind_Power_Cumulative_Capacity.svg#/media/File:Global_Wind_Power_Cumulative_Capacity.svg

Διαφάνεια 10: commons.wikimedia.org

Διαφάνεια 11: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wea00920.jpg#/media/File:Wea00920.jpg>

Διαφάνεια 12: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wind_speed_and_direction_instrument_-_NOAA.jpg#/media/File:Wind_speed_and_direction_instrument_-_NOAA.jpg

Διαφάνεια 15-16: Σύψας, Διπλωματική Εργασία, ΕΑΠ, 2014

Διαφάνεια 18: <http://emmanuel.branlard.free.fr/work/papers/html/2008ecn/node16.php>

Διαφάνεια 31:

http://www.google.gr/imgres?imgurl=https://pixabay.com/static/uploads/photo/2014/07/17/12/34/missouri-395428_640.jpg&imgrefurl=https://pixabay.com/

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Darrieus-windmill.jpg#/media/File:Darrieus-windmill.jpg>

