



ΑΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ- ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΜΕΛΕΤΗ, ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ
ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΑΓΙΑΣ ΕΙΡΗΝΗΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ
ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥ ΣΕΛΙΝΟΥ
(ΜΕ ΑΝΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΜΕΤΡΗΘΗΚΑΝ
ΣΕ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ ΣΤΟΝ
ΠΡΑΣΕ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΜΟΥΣΟΥΡΩΝ)



ΣΤΑΘΗΣ ΛΟΥΚΑΣ
ΑΡΙΘ. ΜΗΤΡΩΟΥ: **293**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΚΑΡΑΠΙΔΑΚΗΣ ΕΜΜ.

ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2014



Α Τ Ε Ι Κ Ρ Η Τ Η Σ - Π Α Ρ Α Ρ Τ Η Μ Α
Χ Α Ν Ι Ω Ν
Τ Μ Η Μ Α Φ Υ Σ Ι Κ Ω Ν Π Ο Ρ Ω Ν Κ Α Ι Π Ε Ρ Ι Β Α Λ Λ Ο Ν Τ Ο Σ



**ΜΕΛΕΤΗ, ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓΙΑΣ ΕΙΡΗΝΗΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥ ΣΕΛΙΝΟΥ
(ΜΕ ΑΝΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΜΕΤΡΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ
ΣΤΟΝ ΠΡΑΣΕ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΜΟΥΣΣΟΥΡΩΝ)**

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ - ΘΕΩΡΙΑ

1. Ιστορική αναδρομή
2. Ισχύς ανέμου – Ωφέλιμη αιολική ισχύς
3. Κατάταξη αιολικών μηχανών
4. Άνεμος – Ατμόσφαιρα
5. Ανάλυση αιολικού δυναμικού
6. Κατανομή Weibull
7. Έρευνα θέσης αιολικού πάρκου
8. Μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια
9. Κατανομή Ανέμου
10. Ευστάθεια της Ατμόσφαιρας
11. Εκθετικός Νόμος Κατανομής του Ανέμου
12. Μήκος Τραχύτητας
13. Όριο Τραχύτητας
14. Διαθέσιμη Αιολική Ενέργεια

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ
ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ
ΑΝΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ



Α Τ Ε Ι Κ Ρ Η Τ Η Σ – Π Α Ρ Α Ρ Τ Η Μ Α
Χ Α Ν Ι Ω Ν
Τ Μ Η Μ Α Φ Υ Σ Ι Κ Ω Ν Π Ο Ρ Ω Ν Κ Α Ι Π Ε Ρ Ι Β Α Λ Λ Ο Ν Τ Ο Σ



ΜΕΛΕΤΗ, ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΑΓΙΑΣ ΕΙΡΗΝΗΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥ ΣΕΛΙΝΟΥ
(ΜΕ ΑΝΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΜΕΤΡΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ ΣΤΟΝ
ΠΡΑΣΕ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΜΟΥΣΟΥΡΩΝ)

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο Ι

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ

1. Ιστορική αναδρομή

Η αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου ξεκίνησε από τα πρώιμα ιστορικά χρόνια και έπαιξε αποφασιστικό ρόλο στην εξέλιξη της ανθρωπότητας με τη χρήση της τόσο στη ναυτιλία όσο και στην άρδευση, καθώς και στις αγροτικές καλλιέργειες.

Η ελληνική μυθολογία αναφέρεται στο θεό "Αίολο", ο οποίος με τη βοήθεια των οκτώ βοηθών θεών (των οκτώ πρωτευόντων ανέμων, Βορέα, Καικία, Απηλιώ- τη, Εύρο, Νότο, Λίψ, Ζέφυρο και Σκίρωνα) θεωρείται ο διαχειριστής των ανέμων.

Ο Αναξιμένης τον 6ο π.Χ. αιώνα μελετώντας τη φύση υποστήριξε ότι η αρχή των όντων είναι ο αιθέρας, ο οποίος μετατρέπεται σε πυρ όταν αραιώνεται, ενώ όταν συμπυκνώνεται μετατρέπεται σε νέφη, νερό, γη και λίθους.

Αργότερα ο Εμπεδοκλής (5ο π.Χ. αιώνα) θεμελίωσε τη στοιχειακή θεωρία, θεωρώντας ότι ο κόσμος αποτελείται από τέσσερα πρωταρχικά στοιχεία, δηλαδή "Πυρ, Αήρ, Ύδωρ και Γη".

Ο Πλάτων, απέδωσε στα στοιχεία γεωμετρικές ιδιότητες και θεώρησε ότι τα τέσσερα στοιχεία του Εμπεδοκλή προέρχονται από την ίδια πρωταρχική ουσία, την "ύλη".

Ο Αριστοτέλης τέλος παραδέχεται ότι δεν υπάρχει διαφορά στη φύση των στοιχείων του Εμπεδοκλή, αλλά τα θεωρεί ενσωματώσεις ιδιοτήτων που συνδυάζονται μεταξύ των κατά διαφορετικό τρόπο. Οι ιδιότητες θερμό, ξηρό, ψυχρό και υγρό συνενώνονται στα στοιχεία, έτσι ώστε τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά του αέρα να είναι κατά τον Αριστοτέλη το υγρό και το θερμό.

Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε αρχικά από τον άνθρωπο για την κίνηση των ιστιοφόρων πλοίων. Οι "ιστορικές και αρχαιολογικές αναφορές υποστηρίζουν επίσης ότι αιολικές μηχανές (ανεμόμυλοι) χρησιμοποιήθηκαν και από άλλους αρχαίους λαούς, όπως: τους Κινέζους, τους Πέρσες και τους Αιγυπτίους.

Στη Βαβυλωνία, ανεμόμυλοι έδιναν την απαραίτητη ενέργεια για την άρδευση της Μεσοποταμίας.

Παράλληλα αρχαιολογικές ανασκαφές στις αρχές του 20ου αιώνα στο Αφγανιστάν, έφεραν στο φως μεγάλες ποσότητες από ανεμόμυλους καθέτου άξονα στα Σίστρα και στην περιοχή της Βακτρίας,

Η χρήση των ανεμόμυλων για την άλεση των δημητριακών και την άρδευση συνεχίσθηκε στις χώρες της Ανατολής, στη Μικρά Ασία και στο Αιγαίο και κατά τη Βυζαντινή εποχή.

Στην Ευρώπη υποστηρίζεται ότι οι ανεμόμυλοι εμφανίσθηκαν περίπου το 1200 μ.Χ., και μεταφέρθηκαν από τους σταυροφόρους κατά την επιστροφή τους.

Στην Ολλανδία μάλιστα γύρω στο 1500 μ.Χ. οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν για την άντληση των νερών από τις περιοχές που βρίσκονται σε χαμηλότερη στάθμη από αυτήν της θάλασσας.

Οι κύριες χρήσεις του ήταν το άλεσμα των σιτηρών, το κόψιμο του καπνού, του ξύλου και άλλων γεωργικών προϊόντων, καθώς και η άντληση νερού για άρδευση ή αποξήρανση

Στις αρχές του αιώνα μας πρώτοι οι Δανοί παράγουν ηλεκτρισμό από τον άνεμο, ενώ στην Αμερική ανεμόμυλοι μεταλλικής κάτασκευής χρησιμοποιούνται επίσης για ηλεκτροδότηση.

2. Ισχύς ανέμου – Ωφέλιμη αιολική ισχύς

Η ισχύς "N" αέριας δέσμης σταθερής ταχύτητας "V" και πυκνότητας "ρ", που διέρχεται από μια νοητή επιφάνεια εμβαδού "A" κάθετη στο δάνυσμα της ταχύτητας δίνεται σαν:

$$N_A = 0,5 \cdot \rho \cdot v^3 \cdot A$$

Η ισχύς του ανέμου είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητάς του.

Είναι αδύνατον να δεσμευθεί ολόκληρη η ισχύς του ανέμου, δεδομένου ότι:

- Ο αέρας που διαπερνά την πτερωτή μιας αιολικής μηχανής πρέπει να διαθέτει την απαραίτητη ταχύτητα ώστε να απομακρύνεται από αυτή, έτσι ένα αξιόλογο μέρος της κινητικής ενέργειας να χάνεται με τη δέσμη διαφυγής του ανέμου.
- Ένα μικρό ποσοστό της μάζας του αέρα, στην πραγματικότητα παρακάμπει την πτερωτή.
- Τέλος, ένα μικρό επίσης μέρος της κινητικής ενέργειας του ανέμου παραμένει ανεκμετάλλευτο, δεδομένης της χρονικής υστέρησης προσανατολισμού της πτερωτής στη διεύθυνση του ανέμου.

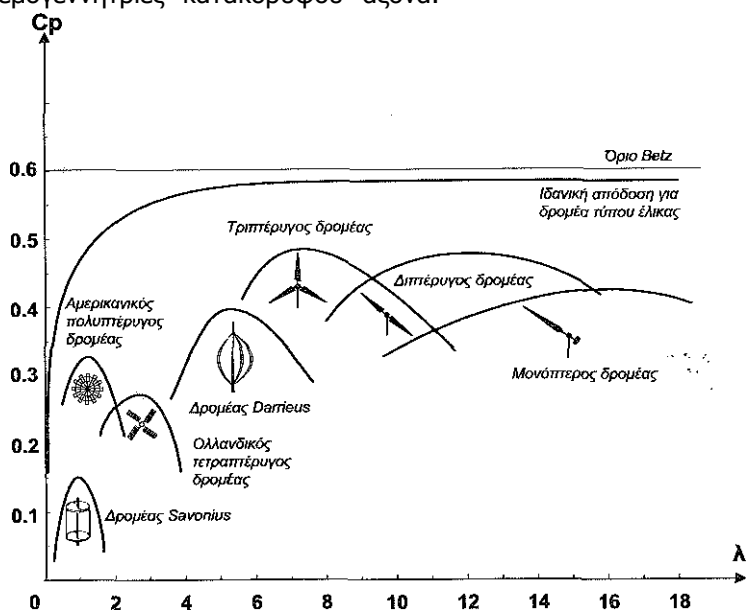
Εκτός από τους παραπάνω προφανείς λόγους μειωμένης αξιοποίησης του αιολικού δυναμικού μιας αέριας δέσμης, μηχανικές αλλά και αεροδυναμικές απώλειες επάνω στις πτερυγώσεις καθώς και άλλοι περιορισμοί, μειώνουν σημαντικά σε μέγεθος και σε εύρος.

3. Κατάταξη Αιολικών Μηχανών

Οι αιολικές μηχανές αποτελούν ανθρώπινες επινοήσεις, που έχουν σαν σκοπό την αξιοποίηση του μεγαλύτερου δυνατού ποσοστού της κινητικής ενέργειας του ανέμου. Τελικός στόχος είναι η μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ωφέλιμη ενέργεια.

Οι επικρατέστεροι τύποι ανεμογεννητριών ταξινομούνται κυρίως σύμφωνα με τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με τη ροή του ανέμου.

Οι πλέον διαδεδομένοι τύποι ανεμοκινητήρων είναι οι ανεμογεννήτριες "οριζοντίου" και οι ανεμογεννήτριες "κατακόρυφου" άξονα.



Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα έχουν συνήθως τον άξονα τους παράλληλο προς την κατεύθυνση του ανέμου (head on), ενώ σε μερικές περιπτώσεις έχουμε ανεμογεννήτριες των οποίων ο άξονας είναι παράλληλος προς την επιφάνεια της γης και κάθετος προς την κατεύθυνση του ανέμου (cross-wind).

Οι ανεμογεννήτριες κατακορύφου άξονα εμφανίζουν το σημαντικό πλεονέκτημα της αυτόματης προσαρμογής στη διεύθυνση του ανέμου, δεδομένου ότι ο άξονάς των είναι κάθετος σε αυτή καθώς και στην επιφάνεια της γης.

Οι αιολικές μηχανές κατατάσσονται επίσης σε ταχύστροφες και σε αργόστροφες, ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής των ή ακριβέστερα ανάλογα με την τιμή της παραμέτρου περιστροφής "λ".

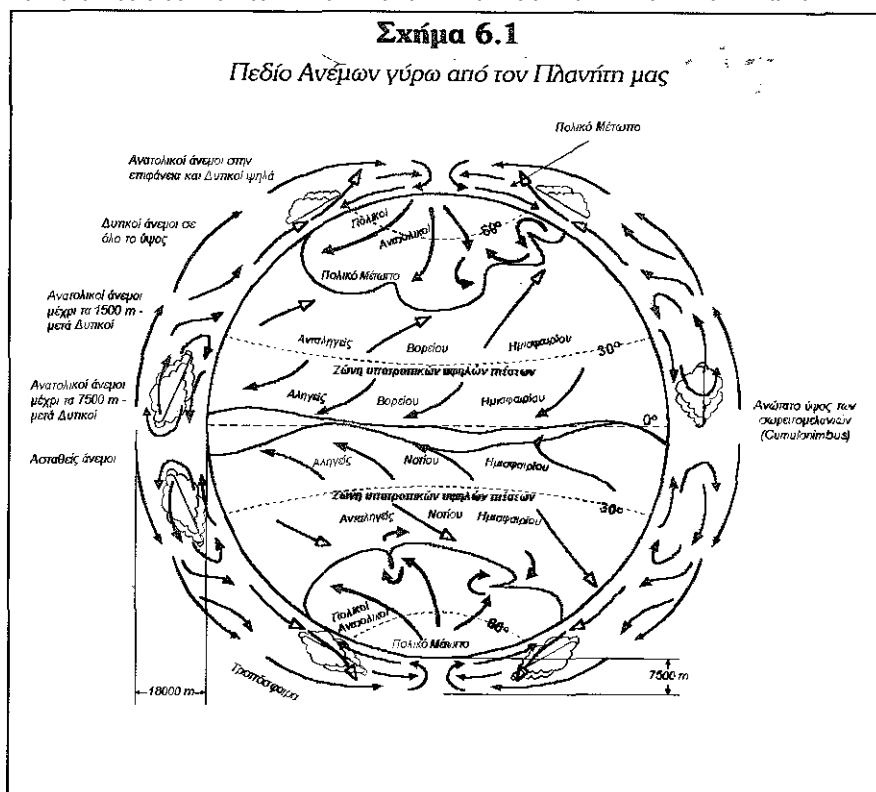
Επιπλέον, καθοριστικό ρόλο παίζει και η διασύνδεση ή μη της εγκατάστασης με το ηλεκτρικό δίκτυο, δεδομένου ότι σε περιπτώσεις σύγχρονων ηλεκτρογεννητριών διασυνδεδεμένων με το δίκτυο, το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα πρέπει να έχει τη συχνότητα του δικτύου.

4. Άνεμος – Ατμόσφαιρα

Άνεμος ονομάζεται ο ατμοσφαιρικός αέρας ευρισκόμενος σε κίνηση. Όπως για οποιοδήποτε ρευστό ευρισκόμενο σε κίνηση, έτσι και στην περίπτωση του ανέμου, για τον καθορισμό του διανύσματος της ταχύτητας του απαιτείται η γνώση του μέτρου (ένταση του ανέμου) και της φοράς-διεύθυνσης (διεύθυνση) του ανέμου.

Η διεύθυνση και η ένταση του ανέμου εξαρτώνται τόσο από ειδικούς παράγοντες (γενική ατμοσφαιρική κυκλοφορία, πεδίο πίεσης) όσο και από τους τοπικούς παράγοντες (δηλ. ανάγλυφο της περιοχής, ύπαρξη θάλασσας κ.λπ.)

Η γενική ατμοσφαιρική κυκλοφορία οφείλεται κυρίως στην ηλιακή ακτινοβολία και στην περιστροφή της γης. Πράγματι η διαφορετική θερμοκρασία μεταξύ ισημερινού και πόλων,



αποτέλεσμα της διαφορετικής ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται τα διαφορετικά σημεία του πλανήτη μας, έχει σαν αποτέλεσμα τη συνεχή κίνηση αερίων μαζών από τους πόλους στον

ισημερινό και αντιθέτως. Πιο συγκεκριμένα, ψυχροί επιφανειακοί άνεμοι πνέουν από τους πόλους στον ισημερινό για να αντικαταστήσουν το θερμό αέρα, που ανυψώνεται λόγω μείωσης της πυκνότητάς του και ο οποίος κινείται δια μέσου της ανώτερης ατμόσφαιρας προς τους πόλους.

Παράλληλα, η περιστροφή της γης γύρω από τον άξονά της έχει σαν αποτέλεσμα την κίνηση ψυχρών αέριων επιφανειακών μαζών προς τα δυτικά, ενώ ο θερμός αέρας μετακινείται σε μεγαλύτερα ύψη και προς τα ανατολικά. Τέλος πρέπει να ληφθεί υπόψιν και η ανομοιομορφία της θερμικής συμπεριφοράς θάλασσας και ξηράς, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ζωνών διαφορετικής θερμοκρασίας, που οδηγούν σε αντίστοιχα πεδία στατικής πίεσης.

Από το σύνολο των κινήσεων του ανέμου η σπουδαιότερη σε σχέση με τον προσδιορισμό του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας του ανέμου. Βέβαια για την επιλογή της κατάλληλης θέσης εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας απαιτείται επιπλέον της γνώσης για την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου, να έχουν καταγραφεί οι επικρατούσες στην περιοχή αναταράξεις, ο στροβιλισμός και η τύρβη του ανέμου, καθώς και η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου συναρτήσει του ύψους από το έδαφος.

5. Ανάλυση αιολικού δυναμικού

Για τη σωστή αεροδυναμική συμπεριφορά μιας αιολικής μηχανής είναι σκόπιμο η πτερωτή της ανεμογεννήτριας να βρίσκεται εκτός του πεδίου επιρροής τυχόν επιφανειακών εμποδίων. Με τον τρόπο αυτό έχουμε μεγιστοποίηση της διαθέσιμης κινητικής ενέργειας του ανέμου, το πεδίο ροής είναι ελεύθερο στροβιλισμού και η τύρβη του ανέμου είναι η ελάχιστη δυνατή. Είναι συνεπώς σκόπιμο να εντοπίσουμε τις περιοχές επιρροής των κυριότερων επιφανειακών εμποδίων.

Πρέπει να επισημάνουμε ότι ιδιαίτερη επίδραση στη συνολική διανομή της ταχύτητας του ανέμου έχει η διαμόρφωση του εδάφους, δεδομένου ότι η παρουσία εμποδίων, στενώσεων ή ανοιγμάτων τροποποιεί σημαντικά τα αιολικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής.

Ακριβείς υπολογισμοί μπορούν να γίνουν μόνο με την αριθμητική προσομοίωση της υπό εξέταση περιοχής και τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Σαν γενικός κανόνας πρέπει να θεωρηθεί η αρχή ότι ο δρομέας (πτερωτή) μιας ανεμογεννήτριας, πρέπει να βρίσκεται έξω από τη ζώνη επιρροής οποιουδήποτε επιφανειακού εμποδίου που βρίσκεται ανάντη της ανεμογεννήτριας, ώστε να μεγιστοποιηθεί η διαθέσιμη αιολική ενέργεια και να ελαχιστοποιηθεί η αναπτυσσόμενη ατμοσφαιρική τύρβη.

Για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής δεν είναι αρκετό να γνωρίζουμε απλώς τη μέση ταχύτητα του ανέμου της περιοχής, αλλά απαιτείται η κατά το δυνατόν ακριβέστερη γνώση της κατανομής των συχνοτήτων εμφάνισης των διαφόρων ταχυτήτων καθώς και των αντίστοιχων διευθύνσεων.

6. Κατανομή Weibull

Για να καταλήξουμε σε ασφαλή αποτελέσματα για την εγκατάσταση μιας αιολικής μηχανής απαιτούνται μακροχρόνιες και αναλυτικές μετρήσεις

Το κόστος των μετρήσεων και η αναπόφευκτη καθυστέρηση του έργου σε συνδυασμό με την συχνή έλλειψη μακροχρόνιων μετρήσεων στις περιοχές που ενδιαφερόμαστε οδηγούν στην χρήση ημιεμπειρικών μοντέλων

Τα μοντέλα αυτά μπορούν να περιγράψουν το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής βάσει μικρού αριθμού παραμέτρων, ώστε να εκτιμηθεί η ενέργεια που μπορούμε να πάρουμε από τον άνεμο

Η κατανομή Weibull περιγράφει ικανοποιητικά τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά στις περιοχές της εύκρατης ζώνης και για ύψος μέχρι 100m από το έδαφος

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

Εκφράζει την πιθανότητα η ταχύτητα V να βρίσκεται στην περιοχή V-dV/2 και V+dV/2
 Η παράμετρος c συνδέεται με την μέση ταχύτητα με την σχέση:

$$\bar{V} = c \cdot \Gamma \cdot \left[1 + \frac{1}{k} \right]$$

Ο κύβος της μέσης ταχύτητας του ανέμου δίνεται από την εξίσωση:

$$\bar{V}^3 = c^3 \cdot \Gamma \cdot \left[1 + \frac{3}{k} \right]$$

$$L(s) = \int_{-\infty}^{\infty} t_{s-1} e^{-t} dt$$

Η παράμετρος k είναι αντιστρόφως ανάλογη της διακύμανσης σ² των ταχυτήτων του ανέμου ως προς την μέση ταχύτητα:

$$\sigma^2 = c^2 \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{k} \right) - \left\{ \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) \right\}^2 \right]$$

Μεγαλύτερες τιμές του k εκφράζουν μικρότερη διασπορά των ταχυτήτων του ανέμου και συνεπώς μεγαλύτερη συγκέντρωση γύρω από την μέση τιμή.

Κατανομή Weibull – Υπολογισμός k και c

Για την εύρεση της καμπύλης διάρκειας των ταχυτήτων του ανέμου πρέπει να προσδιοριστεί το χρονικό διάστημα για το οποίο η μετρημένη ταχύτητα είναι μικρότερη από κάποια προσδιορισμένη τιμή. Ολοκληρώνοντας την κατανομή Weibull έχουμε:

$$P(V \leq V_x) = \int_0^{V_x} P(V) dV = 1 - e^{-\left(\frac{V_x}{c}\right)^k}$$

Λογαριθμούμε:

$$\ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - P(V \leq V_x)} \right) \right] = -k \ln c + k \ln V_x$$

Θέτουμε:

$$\left. \begin{aligned} y &= \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - P(V \leq V_x)} \right) \right] \\ x &= \ln V_x \end{aligned} \right\} y = -k \cdot \ln c + k \cdot x$$

Με την μέθοδο των ελαχίστων

τετραγώνων υπολογίζουμε τα k και c:

$$Y = A + B \cdot X$$

$$A = \frac{(\sum y) \cdot (\sum x^2) - (\sum x) \cdot (\sum x \cdot y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$B = \frac{n \cdot (\sum x \cdot y) - (\sum x) \cdot (\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$c = e^{-\frac{A}{B}} \quad \text{και} \quad k = B$$

Η αναγωγή των τιμών της παραμέτρου c σε διάφορα ύψη μπορεί να γίνει με βάση το μοντέλο κατανομής του ανέμου το οποίο χρησιμοποιούμε για την συγκεκριμένη περιοχή της μελέτης. Η μεταβολή της παραμέτρου k καθ' ύψος υπολογίζεται από νομόγραμμα το οποίο δίνει την μεταβολή της καθ' ύψος

• Η αναγωγή των τιμών της παραμέτρου c σε διάφορα ύψη μπορεί να γίνει με βάση το μοντέλο κατανομής του ανέμου το οποίο χρησιμοποιούμε για την συγκεκριμένη περιοχή της μελέτης. Η μεταβολή της παραμέτρου k καθ' ύψος υπολογίζεται από νομόγραμμα το οποίο δίνει την μεταβολή της καθ' ύψος

Κατανομή Weibull

Κατανομή της πυκνότητας πιθανότητας

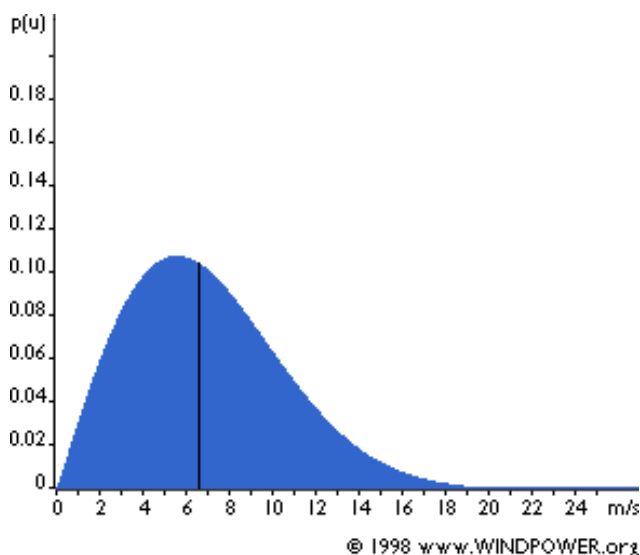
Συνολική επιφάνεια=1

Ο μέσος της κατανομής=6.6m/sec (ίσα εμβαδά) → Τον μισό χρόνο η ταχύτητα του ανέμου έχει τιμή μικρότερη από 6.6m/sec και τον άλλο μισό μεγαλύτερη από 6.6m/sec

Μέση τιμή ανέμου: 7m/sec

Η συχνότερη τιμή: 5.5m/sec

Η μορφή της κατανομής διαφέρει από τόπο σε τόπο και εξαρτάται από τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες, το ανάγλυφο του εδάφους, ...

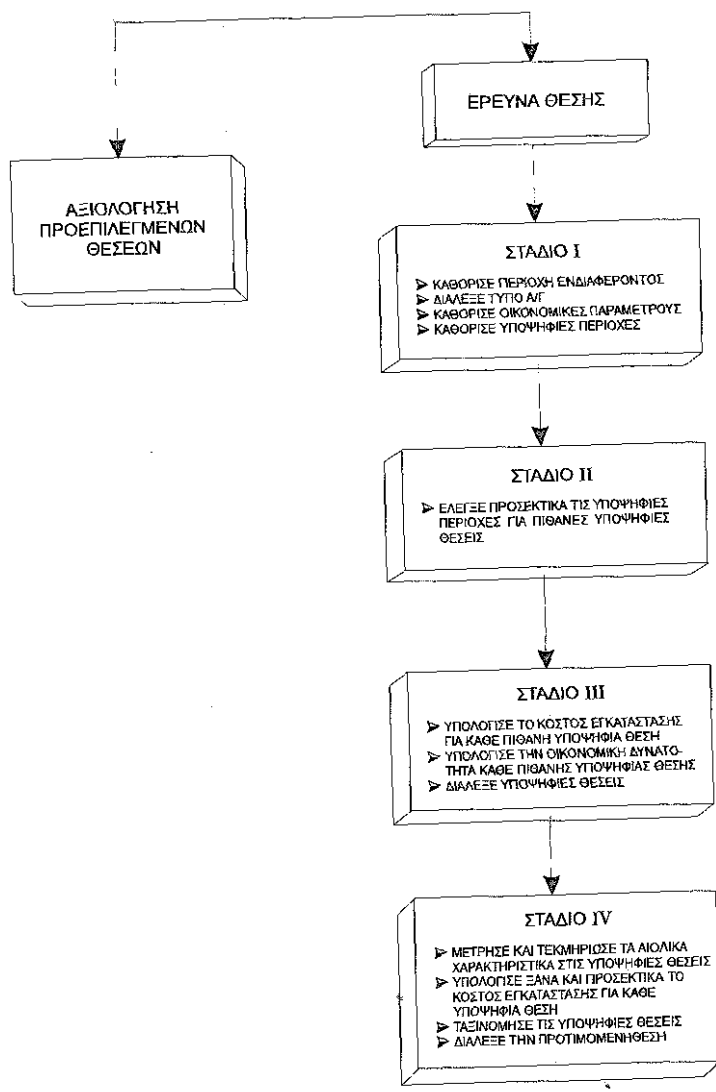


7. Έρευνα θέσης αιολικού πάρκου

Η διαδικασία της οποίας τα βήματα θα ακολουθήσουμε στη συνέχεια είναι αρκετά γενική και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για την εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου είτε για την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας μικρού ή μεγάλου μεγέθους. Λόγω του κόστους και του χρόνου που απαιτείται για ανεμολογικές μετρήσεις επιχειρείται η μέγιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων πληροφοριών, ενώ η εκτέλεση μετρήσεων μετατοπίζεται στα τελευταία μόνο στάδια της διαδικασίας επιλογής.

Η συνολική διαδικασία επιλογής αποτελείται από τέσσερα βασικά στάδια, ενώ είναι επίσης δυνατόν να αξιολογηθούν ορισμένες προεπιλεγμένες θέσεις εγκατάστασης, παρακάμπτοντας τα

αρχικά δύο στάδια της προτεινόμενης διαδικασίας. Πιο συγκεκριμένα τα βήματα που ακολουθούνται είναι ως εξής:



8. Μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια

Η μέση ετησίως παραγόμενη ενέργεια από μια αιολική μηχανή ονομαστικής ισχύος " N_0 " μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$E = 8760 * \Omega * N_0$$

όπου με " Ω " συμβολίζουμε το μέσο ετήσιο συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης, ο οποίος ορίζεται σαν:

$$\Omega = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{N(V)}{N_0} \cdot \delta(t) \cdot dt$$

ενώ η παράμετρος 'T' αναφέρεται στη χρονική περίοδο ενός έτους, δηλαδή 8760h ή 31.536.000 sec. Ένας πλέον εύχρηστος τρόπος για τον υπολογισμό του μέσου συντελεστή ισχύος, ιδιαίτερα χρήσιμος για ενεργειακές προβλέψεις και προκαταρκτικούς υπολογισμούς, προκύπτει εάν χρησιμοποιήσουμε τη μέση ετήσια διαθεσιμότητα "Δ" της εγκατάστασης καθώς και τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας εμφάνισης ανέμων, "f(V)", για μια περιοχή. Με τη χρήση των παραπάνω μεγεθών η εξίσωση γράφεται σαν:

$$E = 8760 \cdot \Delta \cdot \omega \cdot N_0$$

όπου:

$$\omega = \int_{V_c}^{V_F} \frac{N(V)}{N_0} \cdot f(V) \cdot dV$$

Επειδή όμως η παραγόμενη ενέργεια εκ μέρους της ανεμογεννήτριας είναι μηδενική για ταχύτητες ανέμου μικρότερες της ταχύτητας έναρξης λειτουργίας και μεγαλύτερες της ταχύτητας διακοπής λειτουργίας, η εξίσωση γράφεται:

Τέλος υπενθυμίζεται ότι:

$$\omega = \int_{V_c}^{V_F} \frac{N(V)}{N_0} \cdot f(V) \cdot dV \quad \int_0^{\infty} f(V) \cdot dV = 1.0$$

Βάσει των δύο εξισώσεων η ακριβής τιμή του μέσου συντελεστή ισχύος είναι συνάρτηση αφενός του τοπικού αιολικού δυναμικού μιας περιοχής αφετέρου των λειτουργικών χαρακτηριστικών μιας υπό μελέτη ανεμογεννήτριας.

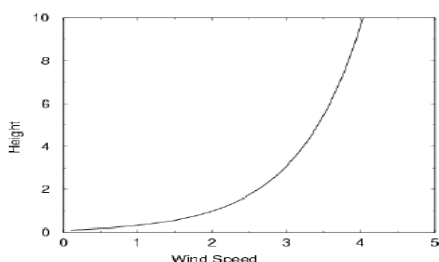
Επιπλέον, κάνοντας χρήση της εξίσωσης είναι δυνατή η εκτίμηση της συνεισφοράς μέρους του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, π.χ. για $V < V_0$, στη μέση ενεργειακή παραγωγή μιας αιολικής μονάδος. Είναι δηλαδή δυνατόν να γραφεί ότι:

$$\omega(V_0) = \int_{V_c}^{V_0} \frac{N(V')}{N_0} \cdot f(V') \cdot dV'$$

9. Κατανομή Ανέμου

Η κατανομή του ανέμου (wind profile) που ενδιαφέρει σε σχέση με την αιολική ενέργεια αναφέρεται στην μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος, στις πρώτες λίγες εκατοντάδες μέτρα πάνω από το έδαφος. Η κατανομή του ανέμου επηρεάζει:

- Την αιολική ενέργεια που απορροφά η αιολική μηχανή
- Την κόπωση της αιολικής μηχανής
- Την αντοχή του πύργου στήριξης Η μορφή της καμπύλης εξαρτάται από το τοπικό περιβάλλον και την ευστάθεια της ατμόσφαιρας



Η μεταβολή της μέσης ταχύτητας με το ύψος δίνεται από την εξίσωση:

$$V_z = \frac{u_*}{k} \int_{z_0}^{z+z_0} \frac{\phi}{z} dz$$

όπου:

- u_* η ταχύτητα τριβής η οποία εξαρτάται από την από την πυκνότητα του αέρα (ρ) και την επιφανειακή τάση Reynolds (τ): $u_* = \sqrt{\tau/\rho}$

- k είναι η σταθερά von Karman (~ 0.4 σταθερά αναλογίας)

- z_0 το μήκος τραχύτητας του εδάφους

- L η παράμετρος ευστάθειας της ατμόσφαιρας

- ϕ συνάρτηση που εξαρτάται από την ατμοσφαιρική ευστάθεια

Η παράμετρος L της ευστάθειας της ατμόσφαιρας, δίνεται από την σχέση:

όπου g :

T : η $L = \frac{u_*^2 \cdot c_p \cdot \rho \cdot T}{\kappa \cdot g \cdot H_F}$ η επιτάχυνση της βαρύτητας

H_F : η απόλυτη θερμοκρασία του αέρα

κατακόρυφη ροή θερμότητας

c_p : η ειδική θερμότητα σε σταθερή πίεση

10. Ευστάθεια της Ατμόσφαιρας

Ορίζεται από την κατακόρυφη με το ύψος μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα. Η ευστάθεια της ατμόσφαιρας μετριέται από την τάση που έχει μία αέρια μάζα, που έχει μετακινηθεί κατακόρυφα, να επιστρέψει ή όχι στην αρχική της θέση.

$$\frac{dT}{dz} > -\frac{g}{c_p} \text{ ευσταθής ατμόσφαιρα}$$

$$\frac{dT}{dz} < -\frac{g}{c_p} \text{ ασταθής ατμόσφαιρα}$$

$$\frac{dT}{dz} = -\frac{g}{c_p} \text{ ουδέτερη ατμόσφαιρα}$$

Ορίζεται από την κατακόρυφη με το ύψος μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα. Η ευστάθεια της ατμόσφαιρας μετριέται από την τάση που έχει μία αέρια μάζα, που έχει μετακινηθεί κατακόρυφα, να επιστρέψει ή όχι στην αρχική της θέση.

π.χ σε ευσταθείς συνθήκες το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος μπορεί να φτάσει στα 10 m ενώ συνήθως είναι μεταξύ 50 m και 2 km.

Σε ουδέτερη ατμόσφαιρα η σχέση μεταβολής ανέμου καθ' ύψος γίνεται (ύψη μεταξύ $3z_0$ και $1000z_0$, z_0 : μήκος τραχύτητας):

$$V_z = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z_0 + z}{z_0}$$

11. Εκθετικός Νόμος Κατανομής του Ανέμου

Ο εκθετικός νόμος δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\frac{u_{z_1}}{u_{z_2}} = \left(\frac{z_1}{z_2} \right)^n$$

Εφαρμόζεται σε μεγάλο πλήθος μετρήσεων και όχι σε ατομικές μετρήσεις.

Εμφανίζει καλή ακρίβεια σε περιπτώσεις που η διαφορά ύψους είναι περισσότερο από 30-50 m. Η ακρίβεια όμως ελαττώνεται πολύ για μεγάλες διαφορές υψών.

Δεν χρειάζονται γνώσεις ευστάθειας της ατμόσφαιρας.

Το n δίνεται από τη σχέση, όταν το ύψος αναφοράς (z_2) είναι διαφορετικό από τα 10m (z_0 : μήκος τραχύτητας):

$$n = 0.04 \ln z_0 + 0.003 \ln z_0^2 + 0.24$$

Για ύψος αναφοράς $z_2=10\text{m}$ οι τιμές δίνονται από πίνακες:

Κατηγορία Τραχύτητας	Είδος Εδάφους	z_0 (m)	n
0	Εξομαλυσμένο (θάλασσα, χιόνι, άμμος)	0.001-0.02	0.10-0.13
1	Μέτρια τραχύτητα (χαμηλή βλάστηση και καλλιέργειες, αγροτικές περιοχές)	0.02-0.30	0.13-0.20
2	Τραχύ έδαφος (Δάση, προάστια πόλεων)	0.30-2.0	0.20-0.27
3	Πολύ τραχύ έδαφος (αστικές περιοχές, ψηλά κτίρια)	2.0-10.0	0.27-0.40

Για ουδέτερες συνθήκες έχουμε (Τα ύψη z_1 και z_2 λαμβάνονται από τη ζώνη μηδενικής ταχύτητας ανέμου):

$$n = \frac{1}{\ln \sqrt{\frac{z_1 z_2}{z_0}}}$$

12. Μήκος Τραχύτητας

Το μήκος τραχύτητας z_0 εκφράζει το μέσο ύψος των στοιχείων μιας επιφάνειας.

–Ομοιογενές πεδίο: μήκος τραχύτητας μικρό σε σχέση με το ύψος της αιολικής μηχανής

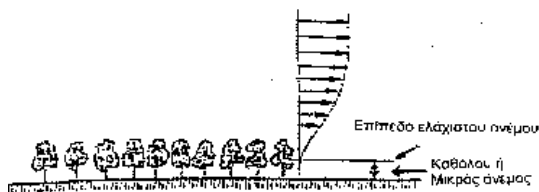
–Ανομοιογενές πεδίο: μήκος τραχύτητας μεγάλο

Οι τιμές του z_0 κυμαίνονται από 0.01m (πάγος) ως 10 m (αστικές περιοχές)

Σημαντικό για το αιολικό δυναμικό της περιοχής

Το z_0 αλλάζει με τις εποχές (φθινόπωρο, άνοιξη, εποχές συγκομιδής, ...).

Το z_0 εξαρτάται από την πυκνότητα των εδαφικών χαρακτηριστικών

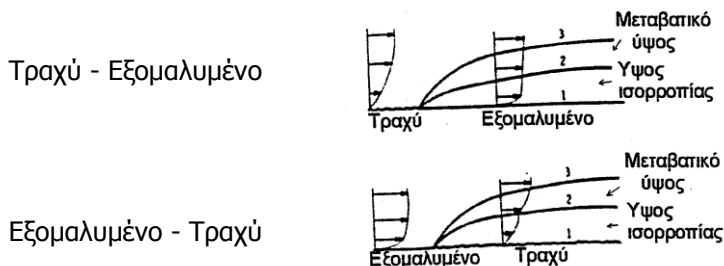


13. Όριο Τραχύτητας

Η διαχωριστική γραμμή μεταξύ δύο γειτονικών περιοχών διαφορετικής τραχύτητας έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία του ορίου τραχύτητας.

Η μεταβολή αυτή του μήκους τραχύτητας έχει σαν αποτέλεσμα την διαδοχική μεταβολή του κατανομής του ανέμου λόγω του σχηματισμού διαδοχικών εσωτερικών οριακών στρωμάτων

Απαιτείται προσεκτική διαστασιολόγηση του πύργου της αιολικής μηχανής ώστε η πτερωτή της μηχανής να μην βρίσκεται σε ζώνη σημαντικών «αναταράξεων».



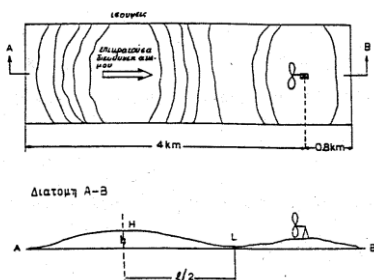
Επίπεδο πεδίο

Ένα πεδίο θεωρείται επίπεδο αν:

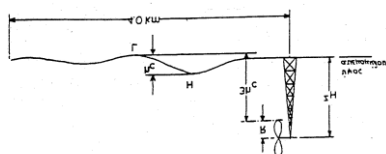
Η διαφορά ύψους της θέσης μεταξύ της θέσης όπου πρόκειται να τοποθετηθεί η αιολική μηχανή και του περιβάλλοντος χώρου σε μια ακτίνα 6km είναι μικρότερη από 60m.

Ο λόγος h/l μικρότερος του 0.02, όπου h το μέγιστο ύψος της περιοχής στα προσήνεμα της αιολικής μηχανής και l το διπλάσιο της απόστασης μεταξύ χαμηλότερου και ψηλότερου σημείου

Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να έχουμε μία απόσταση «επίπεδη» τουλάχιστον 4km στα προσήνεμα της θέσης της αιολικής μηχανής και 0.8km στα υπήνεμα



Το έδαφος θεωρείται επίπεδο αν το ύψος της πτερωτής ($Z_H - R$) [Z_H : ύψος άξονα πτερωτής και R : ακτίνα] από τα χαμηλότερο σημείο L του πεδίου στα προσήνεμα της μηχανής (~4km) είναι τουλάχιστον 3 φορές μεγαλύτερο από την διαφορά (h_c) μεταξύ του ψηλότερου (H) και του χαμηλότερου (L) σημείου :

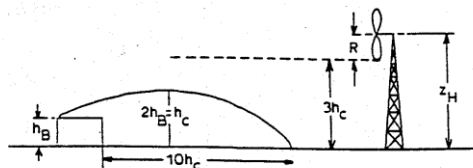


Μη ομοιογενές πεδίο

Όταν τα εδαφικά χαρακτηριστικά δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένα ή/και το μέγεθός τους είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με την αιολική μηχανή τότε το πεδίο δεν είναι ομοιογενές και δεν μιλάμε για μήκος τραχύτητας, αλλά για εμπόδια στη ροή του ανέμου.

Θεωρούμε ότι υπάρχει εμπόδιο στα προσήνεμα μιας αιολικής μηχανής αν:

Η αιολική μηχανή θα πρέπει να τοποθετηθεί σε απόσταση $10h_c$ από το εμπόδιο



14. Διαθέσιμη Αιολική Ενέργεια

Μεταβολή της πυκνότητας ρ με το ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας:

Υψόμετρο (σε πόδια)*	Ποσοστό (%) Σε σχέση με την επιφάνεια της θάλασσας	Υψόμετρο (σε πόδια)	Ποσοστό (%) Σε σχέση με την επιφάνεια της θάλασσας
500	99	6000	83
1000	97	7000	80
2000	94	8000	77
3000	91	9000	74
4000	88	10000	70
5000	86		

* 1 πόδι = 0.3048m

$$\rho = 1.225 \cdot \frac{288.15}{T} \cdot \frac{P}{1013.3}$$

P: ατμοσφαιρική πίεση σε mb

T: Θερμοκρασία του αέρα σε °ΚΗ μεταβολή του πυκνότητας του αέρα μεταξύ χειμώνα και καλοκαιριού είναι της τάξης του 10% (~1.225 kg/m³)

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

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

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

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

Θεωρώντας ότι ο αέρας διαπερνά κάθετα την επιφάνεια A

με στιγμιαία ταχύτητα V (V=S/t)Επίδραση επιφάνειας σάρωσης → 2 Επίδραση ταχύτητας → 3

Η μέση ταχύτητα του ανέμου σε διαστήματα T:

$$V = \frac{1}{T} \cdot \int_{t_0}^{t_0+T} V(t) dt$$

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 T είναι:

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

Διαθέσιμη Αιολική Ενέργεια

$$P_T = \frac{0.5 \cdot A \cdot \rho}{T} \cdot \int [\bar{V} + \sigma_v]^3 dt = \frac{0.5 \cdot A \cdot \rho}{T} \cdot \left[\int \bar{V}^3 dt + \int \sigma_v^3 dt + 3 \cdot \int \bar{V}^2 \cdot \sigma_v dt + 3 \cdot \int \bar{V} \cdot \sigma_v^2 dt \right]$$

$$P_T = 0.5 \cdot A \cdot \rho \cdot \bar{V}^3 \cdot \left[1 + \frac{\bar{\sigma}^3}{\bar{V}^3} + \frac{3 \cdot \bar{\sigma}}{\bar{V}} + \frac{3 \cdot \bar{\sigma}^2}{\bar{V}^2} \right] \quad \text{Αλλά}$$

$$\bar{\sigma}_v = 0 \quad I = \frac{\sigma_v}{\bar{V}}$$

(Ένταση της ανατάραξης)

$$\left[\frac{\bar{\sigma}^3}{\bar{V}^3} \right] \approx 0$$

$$\rightarrow P_T = 0.5 \cdot A \cdot \rho \cdot \bar{V}^3 \cdot [1 + 3 \cdot I^2]$$

Θεωρώντας ένα σύνολο μέσων ταχυτήτων του ανέμου για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα (μήνας, χρόνος,...) η μέση ισχύς του ανέμου μπορεί να υπολογιστεί με βάση την κατανομή των συχνοτήτων των ταχυτήτων στο διάστημα αυτό με V_{max} την μέγιστη ταχύτητα του συνόλου των δεδομένων και $f(V_i)$ την συχνότητα εμφάνισης του V_i :

$$P_T = 0.5 \cdot A \cdot \rho \cdot [1 + 3 \cdot I^2] \cdot \int_0^{V_{max}} f(\bar{V}_i) \cdot \bar{V}_i^3 d\bar{V} = 0.5 \cdot A \cdot \rho \cdot [1 + 3 \cdot I^2] \cdot \sum_i f(\bar{V}_i) \cdot \bar{V}_i^3$$

Θεωρώντας ωριαίες μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου, τότε σε ένα χρόνο θα έχουμε $T=24 \cdot 365=8760$ μετρήσεις:

$$E_E = 4.38 \cdot A \cdot \rho \cdot [1 + 3 \cdot I^2] \cdot \sum_i f(\bar{V}_i) \cdot \bar{V}_i^3 \quad \text{kWh/year}$$

Θεωρώντας $\rho=1.225 \text{ kg/m}^3$ η ανά μονάδα σάρωσης διαθέσιμη αιολική ενέργεια είναι:

$$E_E = 5.366 \cdot [1 + 3 \cdot I^2] \cdot \sum_i f(\bar{V}_i) \cdot \bar{V}_i^3 \quad \text{kWh/m}^2/\text{year}$$



Τ Ε Ι Κ Ρ Η Τ Η Σ - Π Α Ρ Α Ρ Τ Η Μ Α Χ Α Ν Ι Ω Ν
Τ Μ Η Μ Α Φ Υ Σ Ι Κ Ω Ν Π Ο Ρ Ω Ν Κ Α Ι Π Ε Ρ Ι Β Α Λ Λ Ο Ν Τ Ο Σ



ΜΕΛΕΤΗ, ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓΙΑΣ ΕΙΡΗΝΗΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥ ΣΕΛΙΝΟΥ
(ΜΕ ΑΝΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΜΕΤΡΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ
ΣΤΑΘΜΟ ΣΤΟΝ ΠΡΑΣΕ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΜΟΥΣΟΥΡΩΝ)

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο Ι Ι

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ – ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Θα χρησιμοποιηθούν ανεμολογικά στοιχεία, τα οποία μετρήθηκαν σε μετεωρολογικό σταθμό στη θέση Βατάλι της Τ.Κ. Πρασέ του Δήμου Μουσούρων, κατά το έτος 1977.

Τα ανεμολογικά στοιχεία αυτά λόγω του μεγέθους των παρατίθενται σε συνημμένο αρχείο και παρακάτω φαίνονται σε πίνακα οι μέσες μηνιαίες και ετήσιες τιμές.

ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ	ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
Ιανουάριος	10,36	21,89	1344
Φεβρουάριος	8,32	29,24	4031
Μάρτιος	9,59	33,85	4465
Απρίλιος	8,13	32,37	4317
Μάιος	7,40	22,64	4451
Ιούνιος	6,02	20,59	4038
Ιούλιος	8,95	22,26	3885
Αύγουστος	8,65	20,00	3985
Σεπτέμβριος	9,55	30,92	3862
Οκτώβριος	9,20	36,43	4452
Νοέμβριος	7,40	37,99	4339
Δεκέμβριος	10,36	38,98	4464
ΣΥΝΟΛΑ	103,93	347,14	47633
ΜΕΣΕΣ ΕΤΗΣΙΕΣ	8,66	28,93	

Για λόγους πνευματικών δικαιωμάτων τα στοιχεία έχουν τροποποιηθεί.



Α Τ Ε Ι Κ Ρ Η Τ Η Σ - Π Α Ρ Α Ρ Τ Η Μ Α
Χ Α Ν Ι Ω Ν
Τ Μ Η Μ Α Φ Υ Σ Ι Κ Ω Ν Π Ο Ρ Ω Ν Κ Α Ι Π Ε Ρ Ι Β Α Λ Λ Ο Ν Τ Ο Σ



ΜΕΛΕΤΗ, ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓΙΑΣ ΕΙΡΗΝΗΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥ ΣΕΛΙΝΟΥ (ΜΕ ΑΝΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΜΕΤΡΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ ΣΤΟΝ ΠΡΑΣΕ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΜΟΥΣΣΟΥΡΩΝ)

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο Ι Ι Ι

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ – ΑΝΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

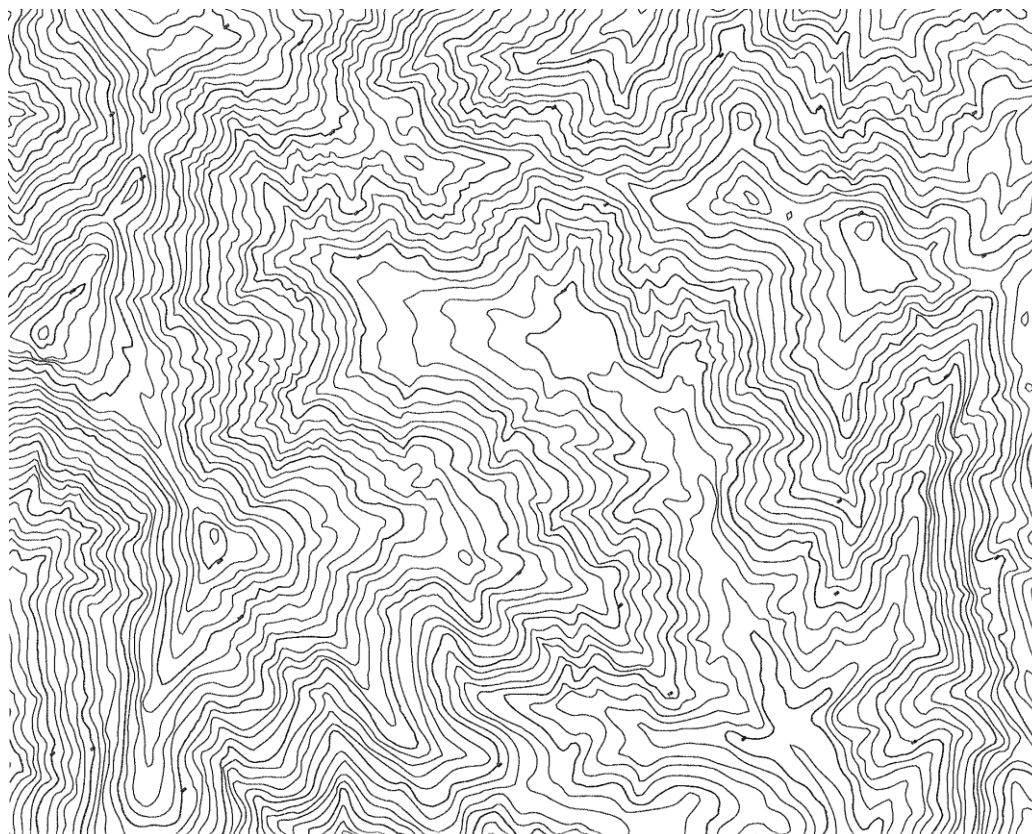
Θα χρησιμοποιήσουμε στον ηλεκτρονικό υπολογιστή το πρόγραμμα ανάλυσης παραμέτρων αιολικών πάρκων Wasp.

Αρχικά θα πρέπει να ψηφιοποιήσουμε την επιλεγμένη περιοχή στο πρόγραμμα AutoCad, με υπόβαθρο τους χάρτες της ΓΥΣ 1:5000 σε ΕΓΣΑ 87.

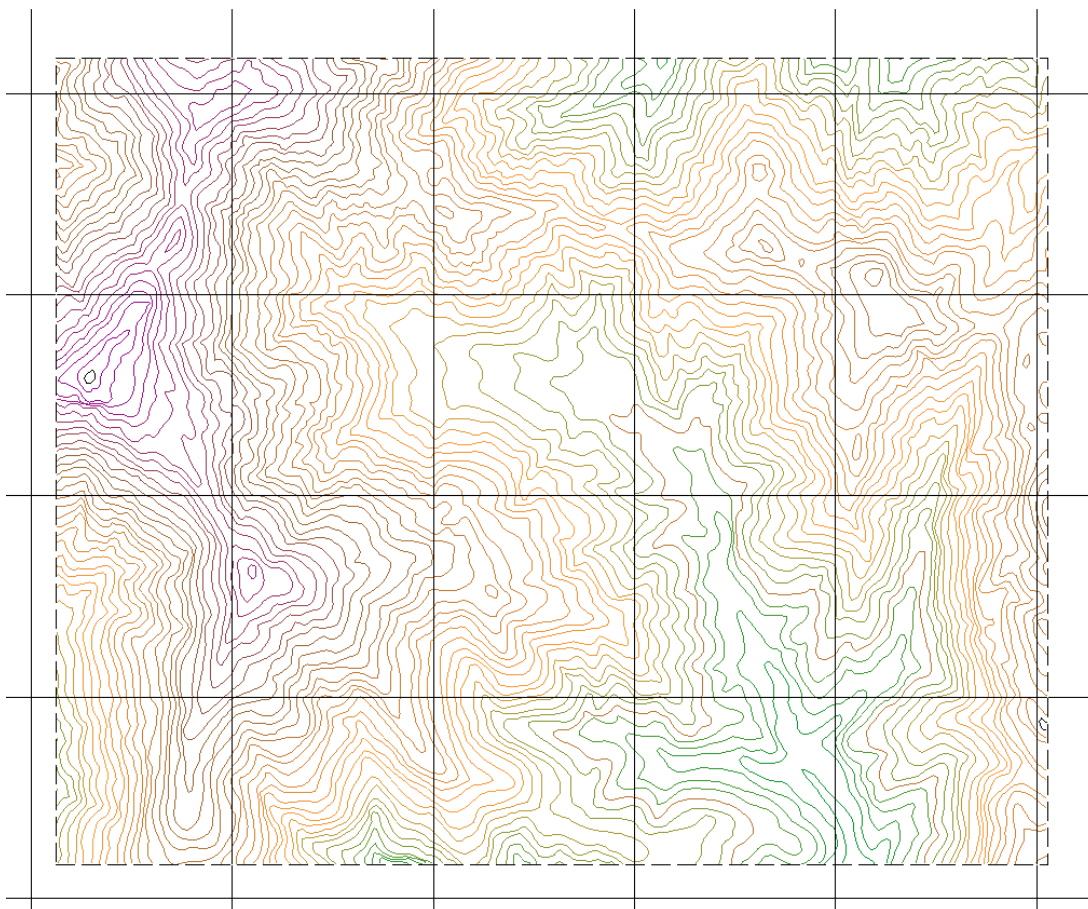
Επιλέγουμε την περιοχή που περικλείεται με συντεταγμένες $X=481123.00$ $Y=3913175.16$ $Z=740.00$, $X=486047.24$ $Y=3913172.37$ $Z=740.00$, $X=486046.50$ $Y=3909172.44$ $Z=790.25$ και $X=481123.98$ $Y=3909172.21$ $Z=973.01$, που περιέχει την θέση του μετεωρολογικού σταθμού και την θέση στην οποία θέλουμε να γίνει η αναγωγή των μετρήσεων.

Ψηφιοποιήσαμε τις υψομετρικές καμπύλες των 100 μέτρων και τις καμπύλες των 20 μέτρων.

Έτσι αποτυπώσαμε τον παρακάτω χάρτη



Στο πρόγραμμα ανάλυσης παραμέτρων αιολικών πάρκων Wasp map editor εισάγουμε τον ψηφιοποιημένο χάρτη και τον μετατρέπουμε σε χάρτη συμβατό με το Wasp, όπως παρακάτω.



Εισάγουμε νέο αρχείο και επιλέγουμε τοποθεσία μετεωρολογικού σταθμού και χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας.

Ο μετεωρολογικός σταθμός, που έγιναν οι μετρήσεις έχει συντεταγμένες $X=484641,44$ $Y=3912240,95$ και $Z=1000,00$.

Από την εμπειρία επιλέγονται δύο γήπεδα στα οποία θα τοποθετηθούν οκτώ ανεμογεννήτριες τύπου NEG-Micon 2750/92 (2750 KW) και στα οποία θα γίνει η αναγωγή με βάση τα δεδομένα τα οποία έχουν συλλεχθεί, οπότε θα επιλεγθούν οι καταλληλότερες θέσεις των ανεμογεννητριών, ώστε να έχουμε την μεγαλύτερη ετήσια παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

ΓΗΠΕΔΟ Α – Θέσεις ανεμογεννητριών

A1. $X= 481310,2$ - $Y= 3911554,0$

A2. $X= 481882,9$ - $Y= 3911271,0$

A3. $X= 482165,8$ - $Y= 3911119,0$

A4. $X= 482434,8$ - $Y= 3910933,0$

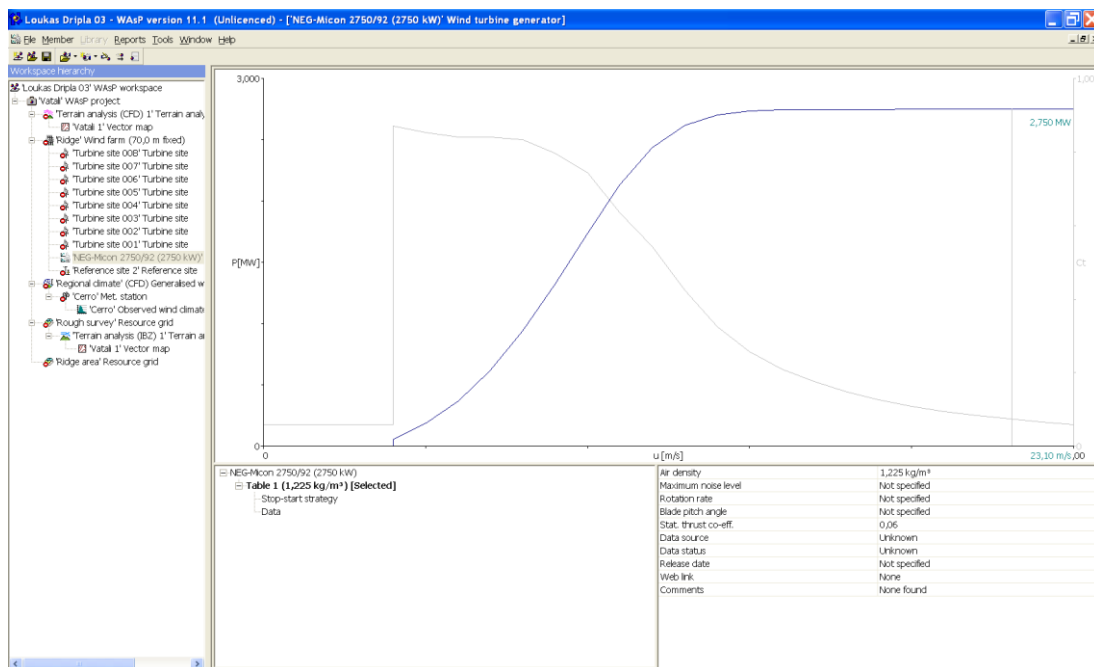
A5. $X= 481613,8$ - $Y= 3911395,0$

A6. $X= 482697,0$ - $Y= 3910761,0$

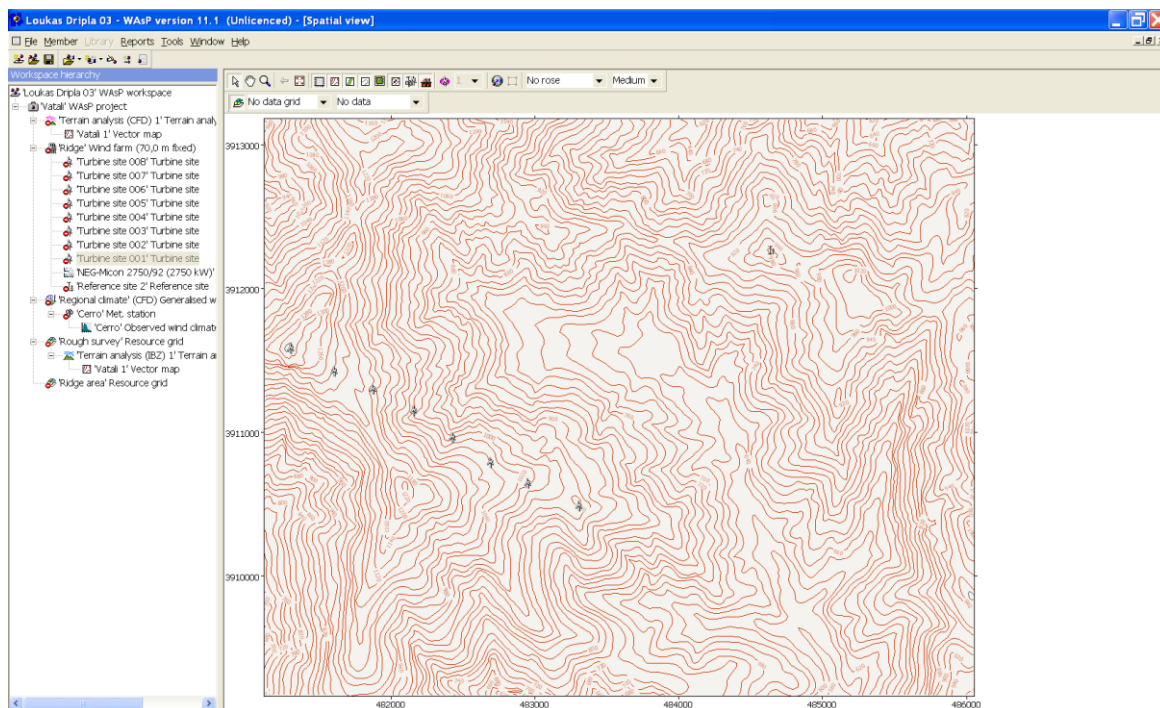
A7. $X= 482959,2$ - $Y= 3910616,0$

A8. $X= 483311,0$ - $Y= 3910457,0$

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ NEG-Micon 2750/92 (2750 kW)

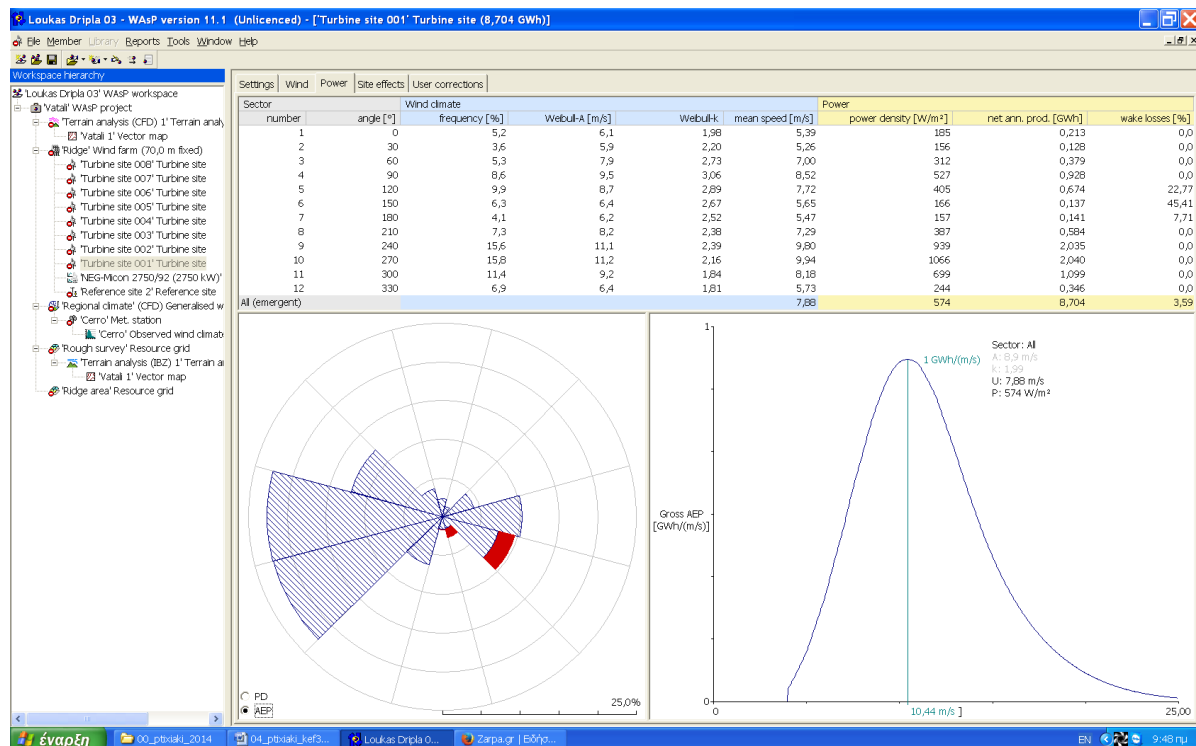
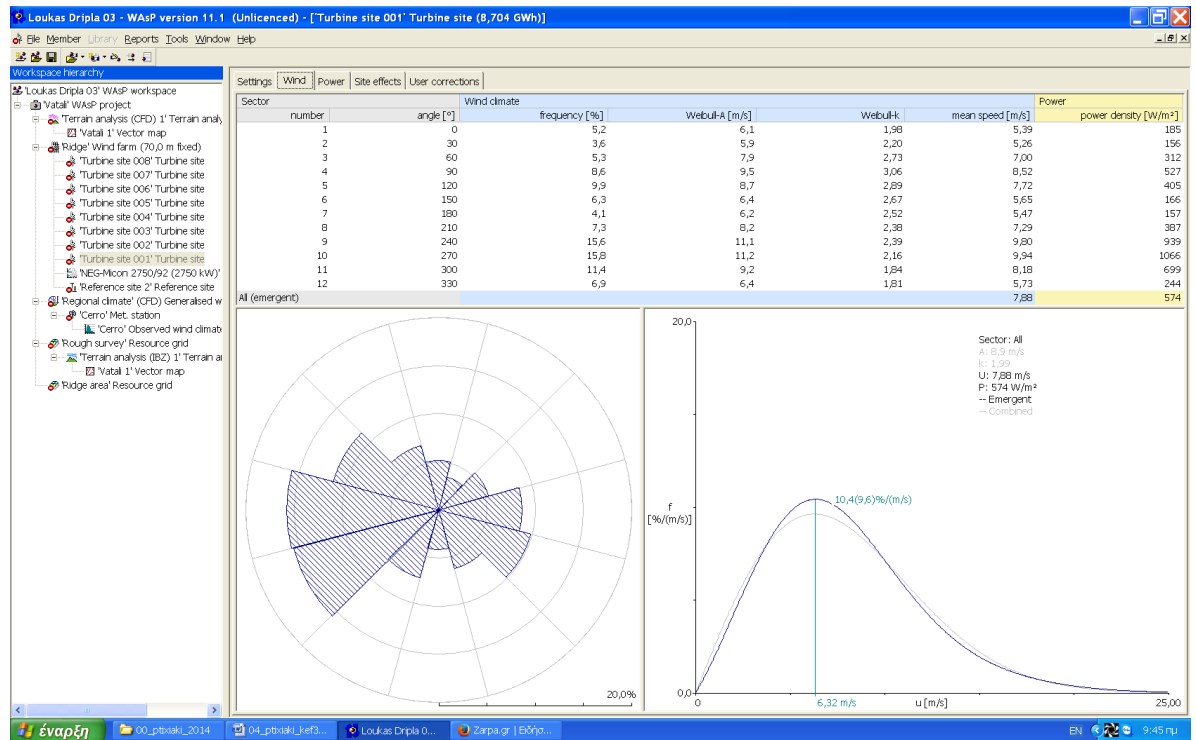


ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΓΗΠΕΔΟΥ Α

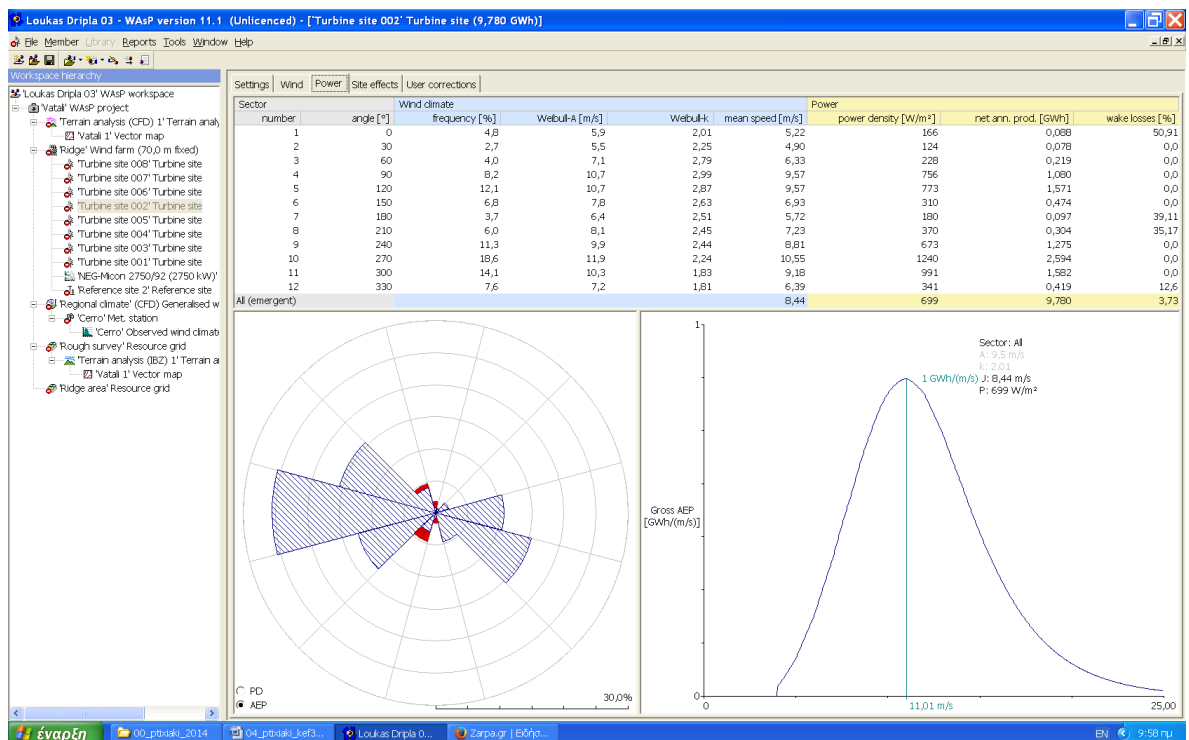
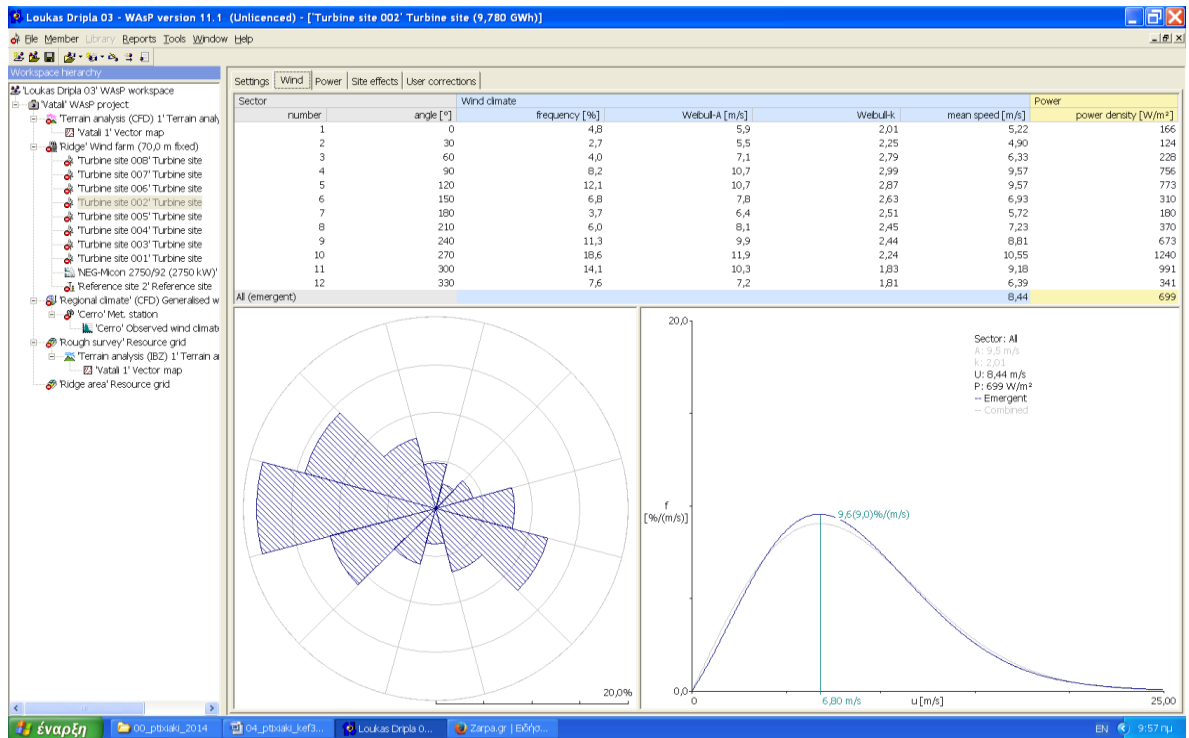


Παρακάτω βλέπουμε για την κάθε ανεμογεννήτρια, τα ρόδα ανέμου και την καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας.

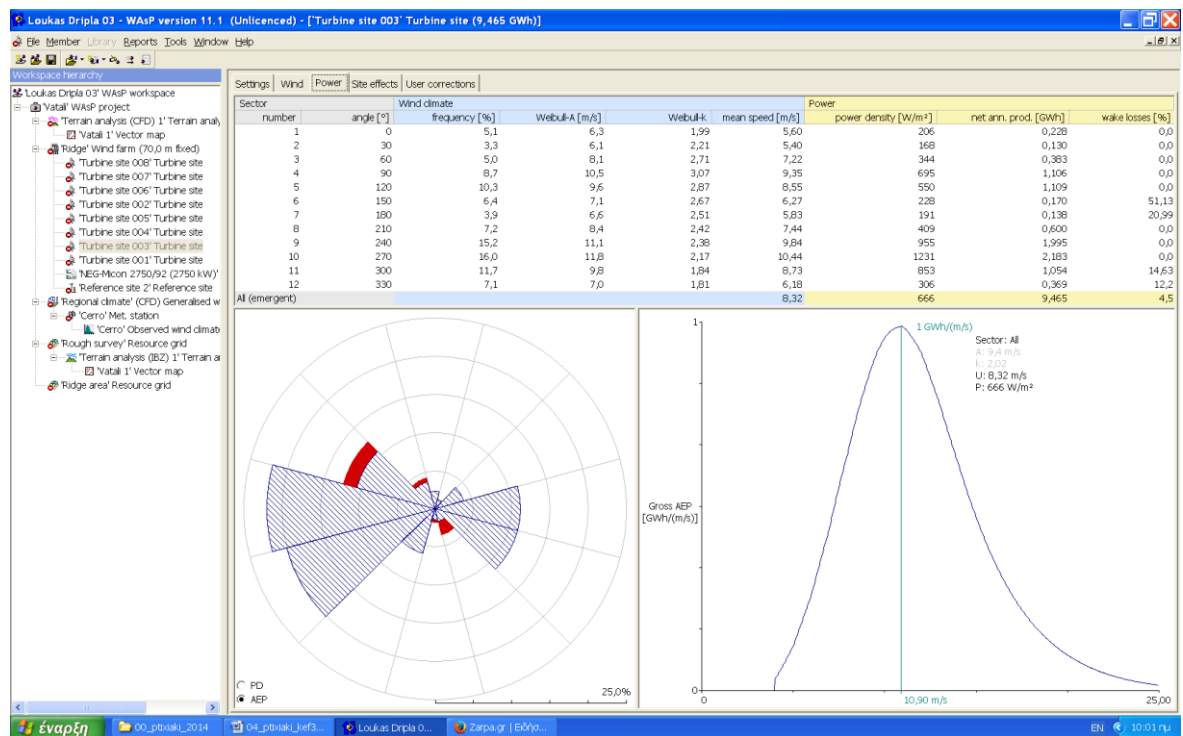
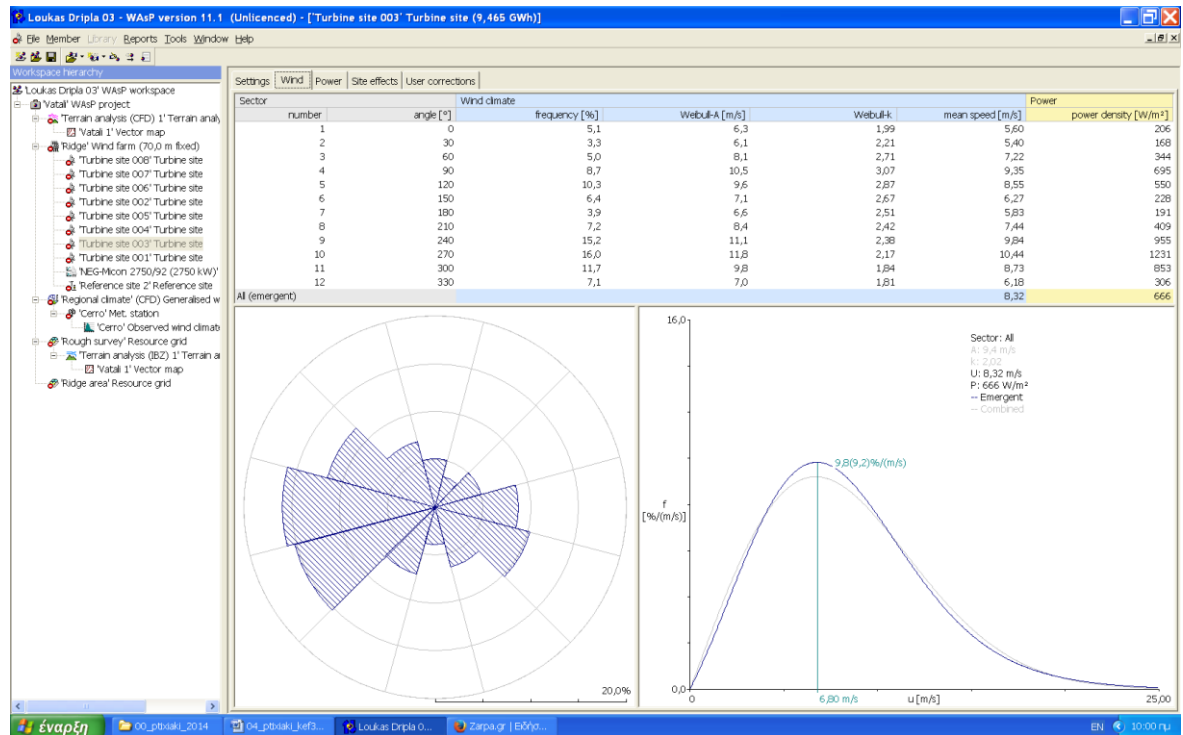
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ Α1.



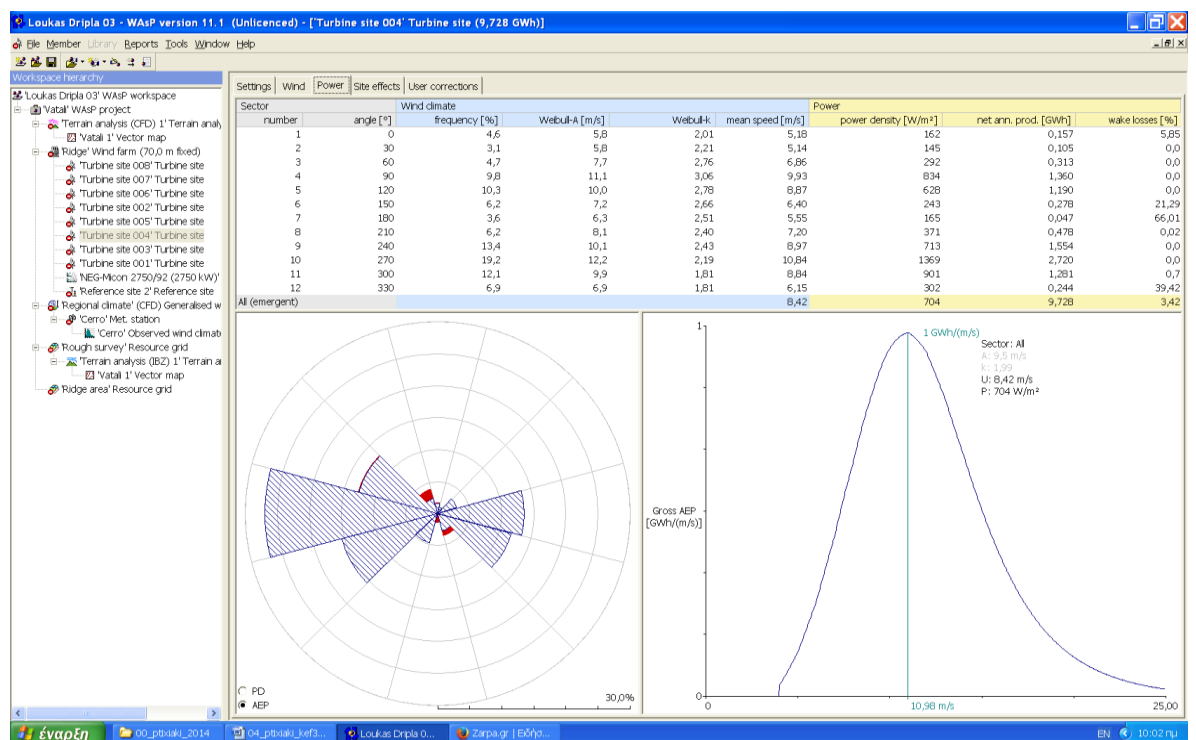
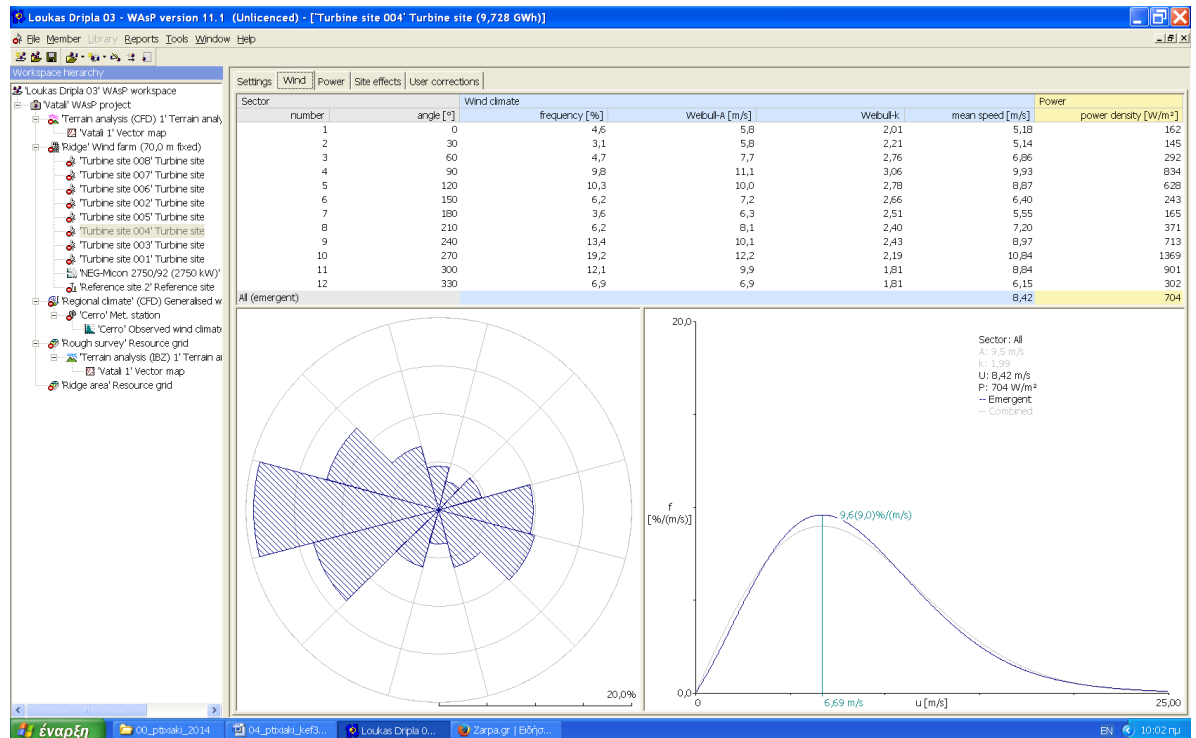
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ Α2.



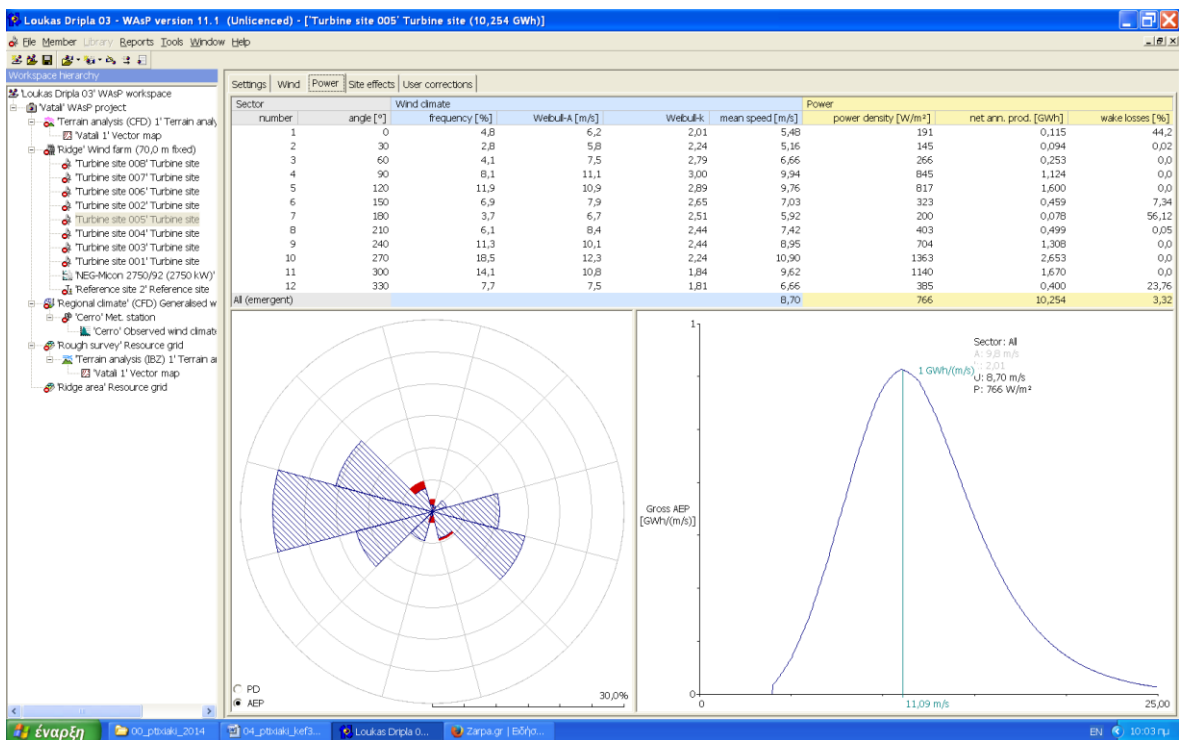
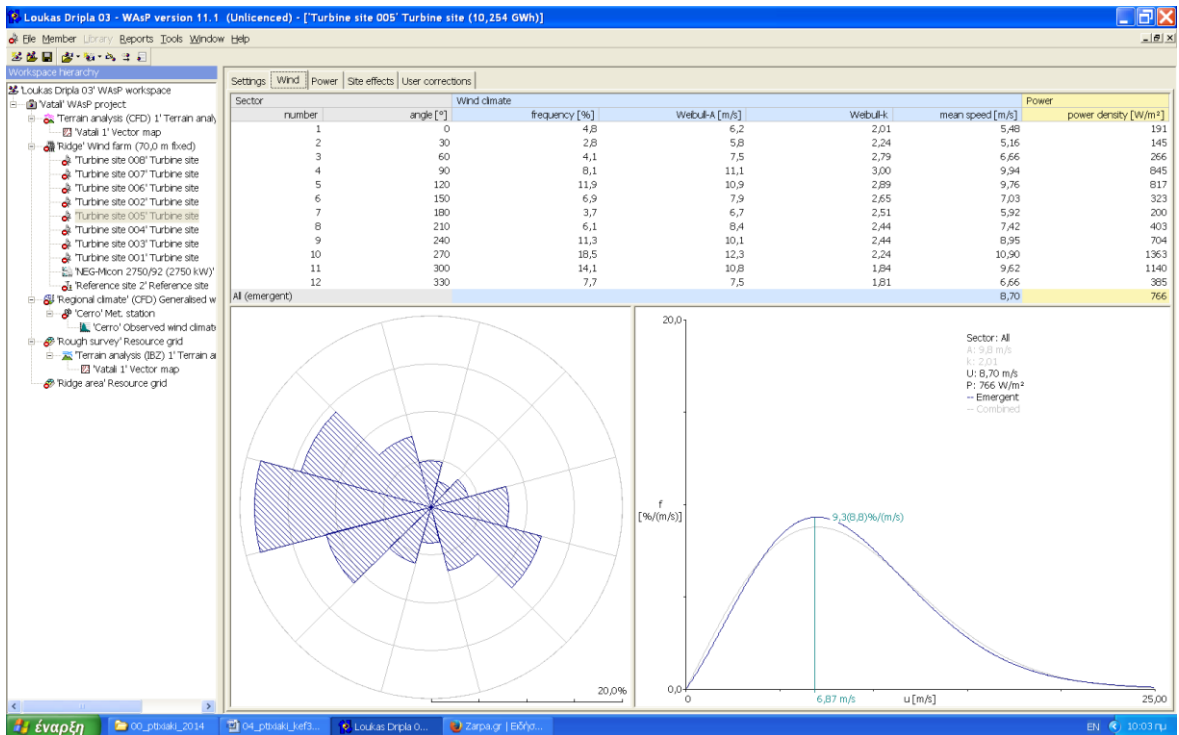
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ Α3.



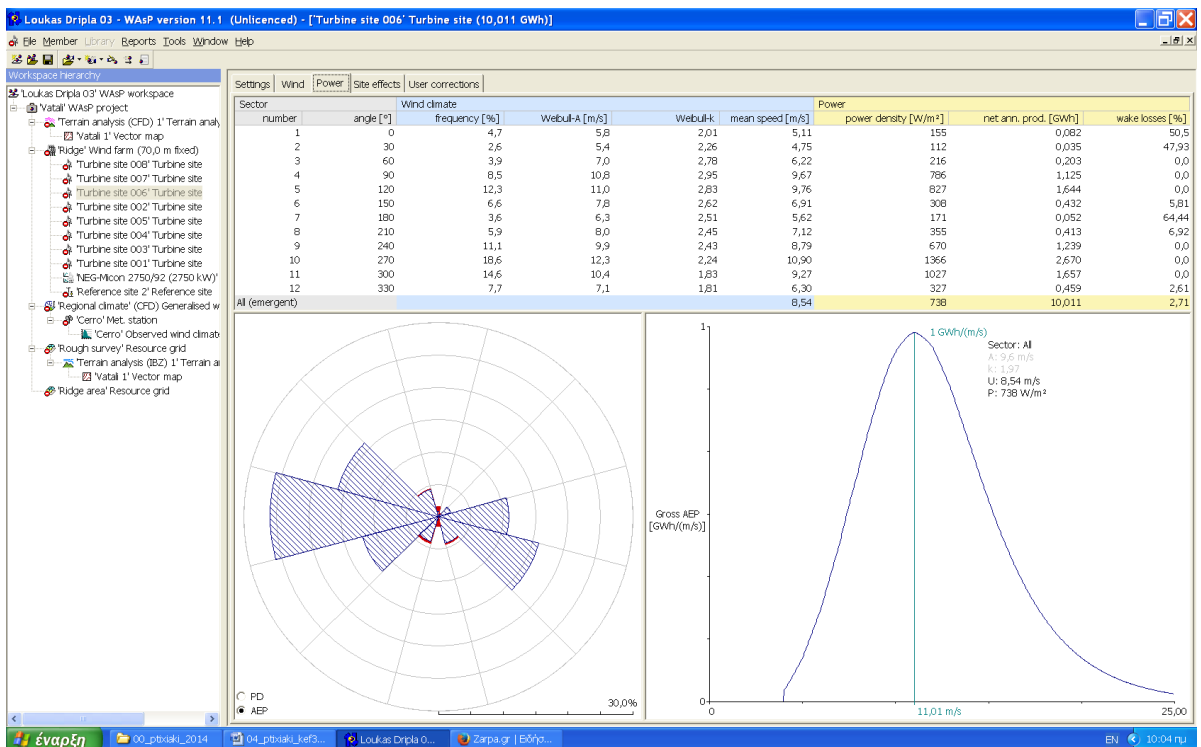
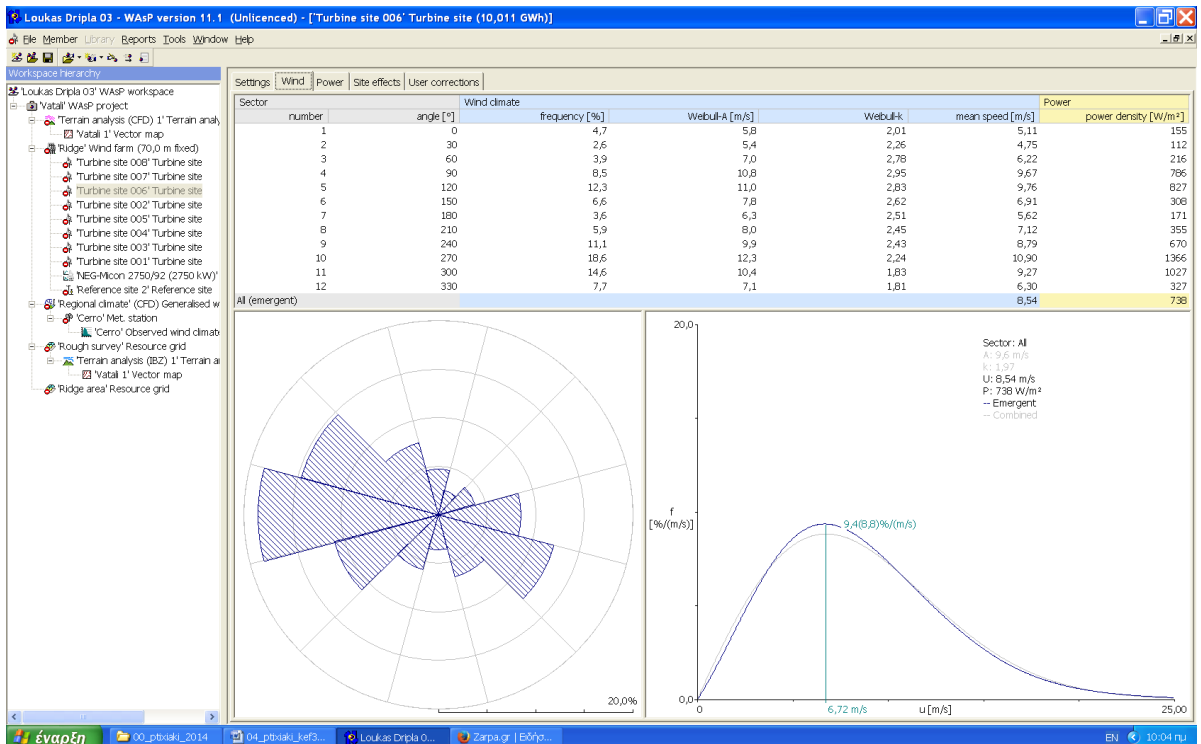
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ Α4.



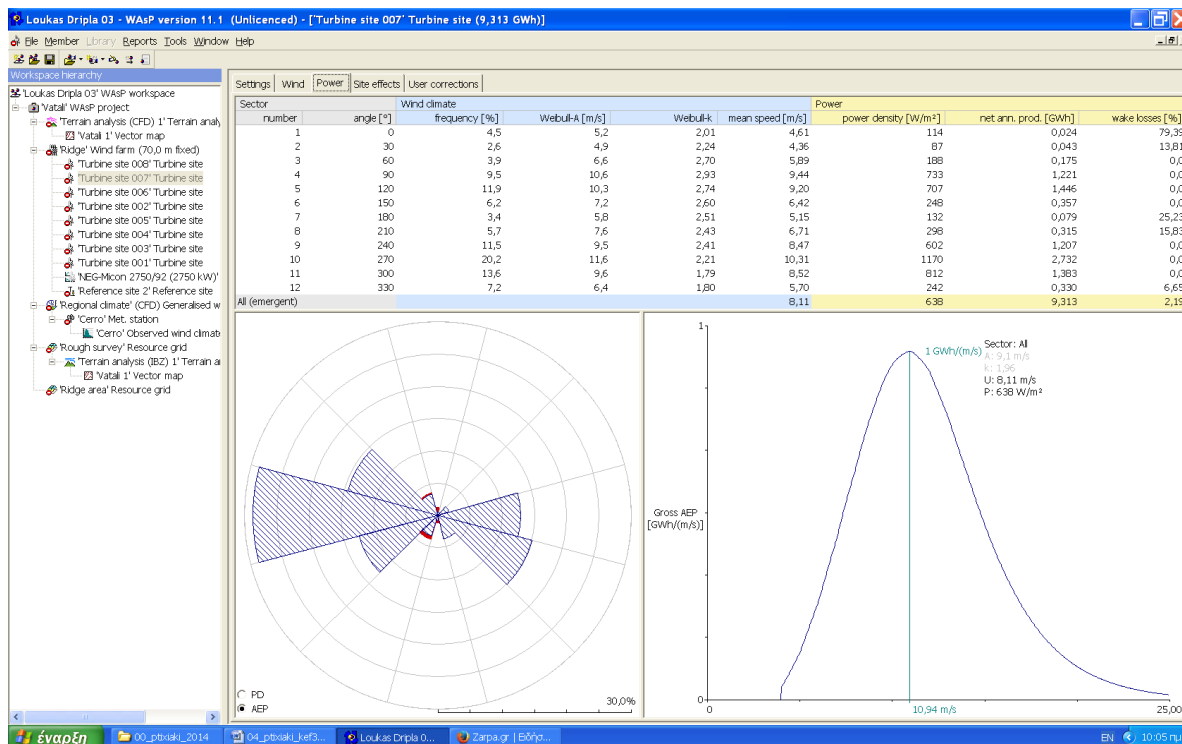
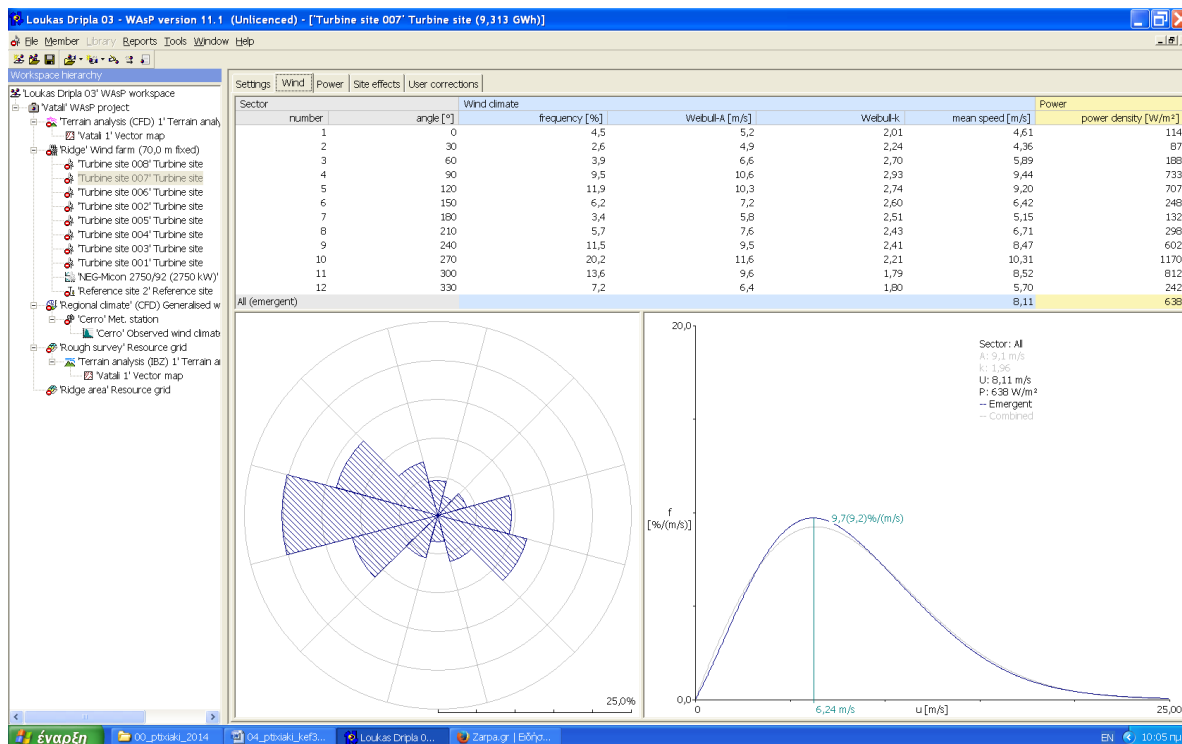
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ Α5.



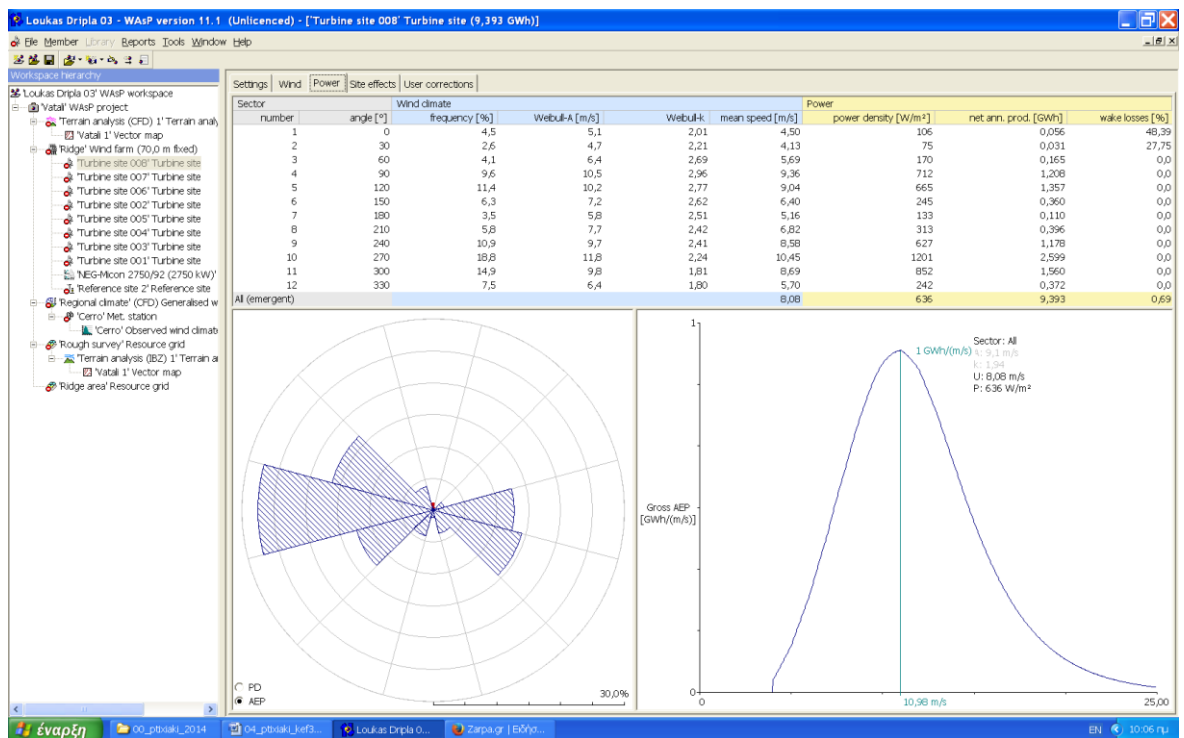
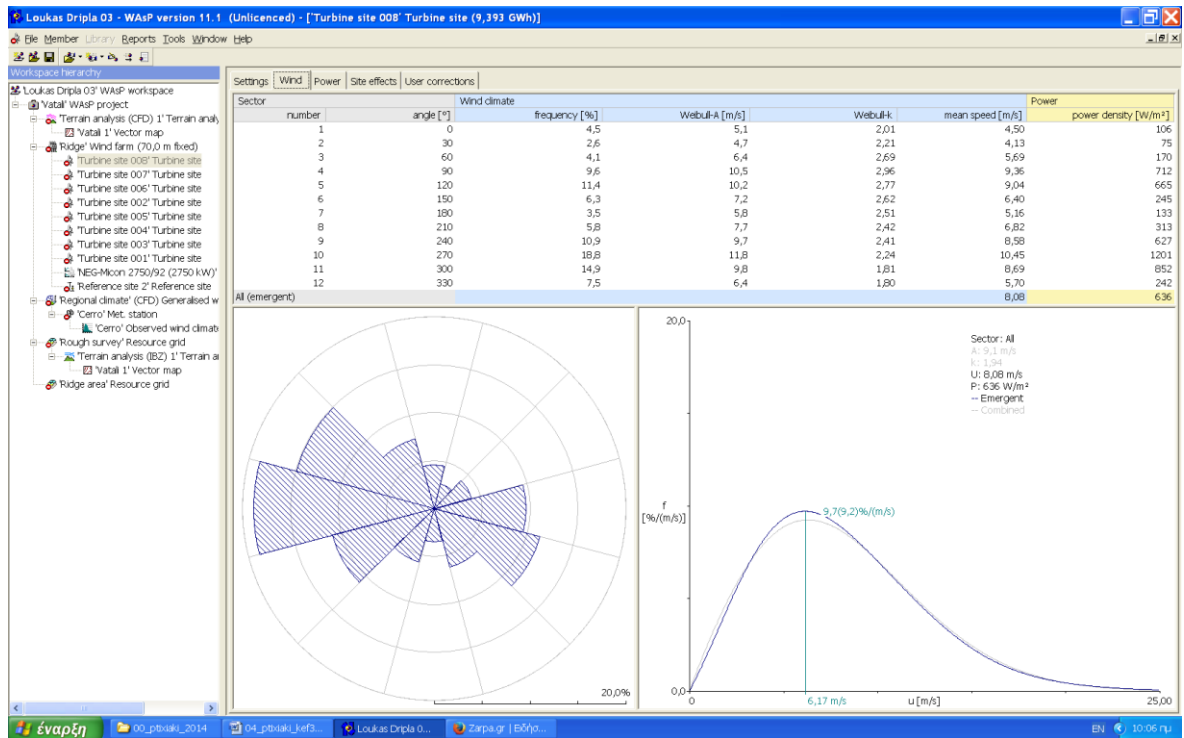
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ Α6.



ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ Α7.

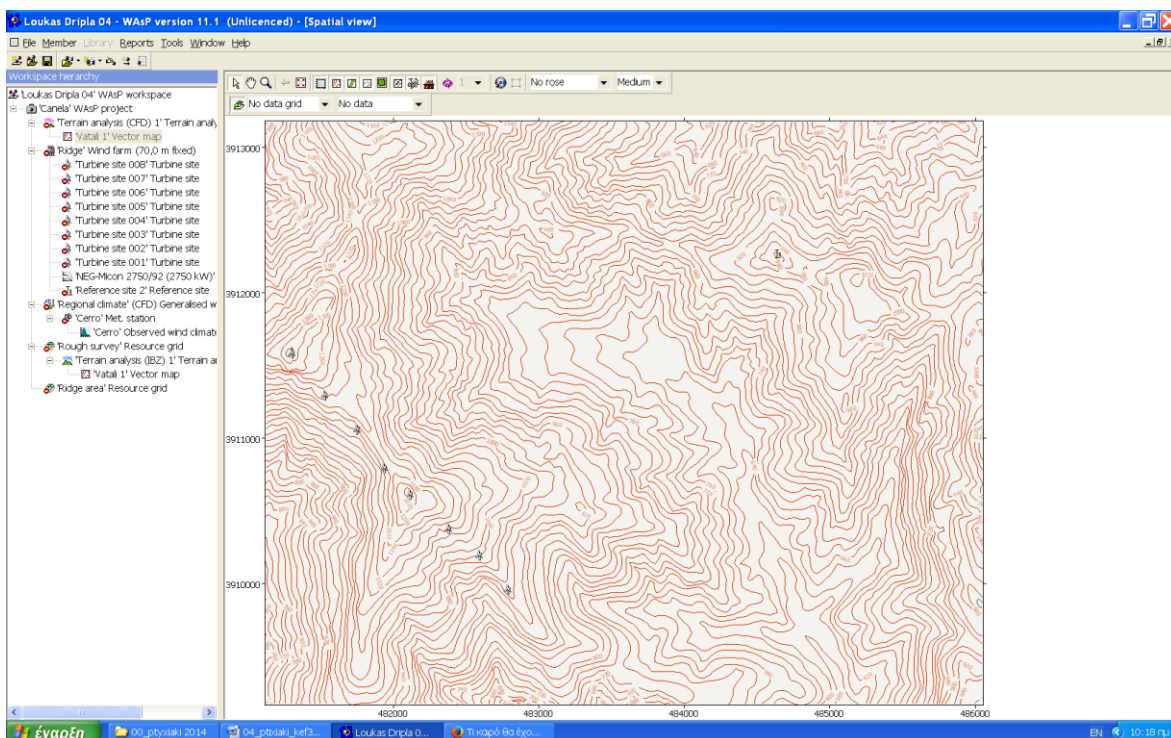


ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ Α8.

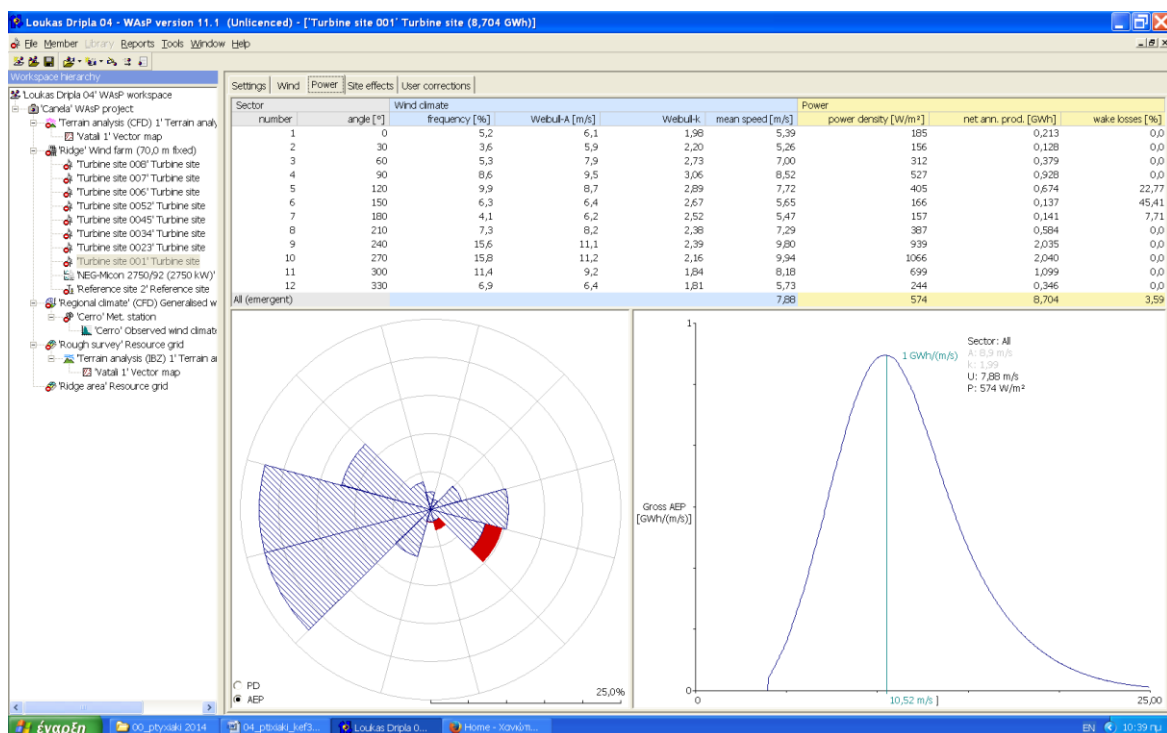
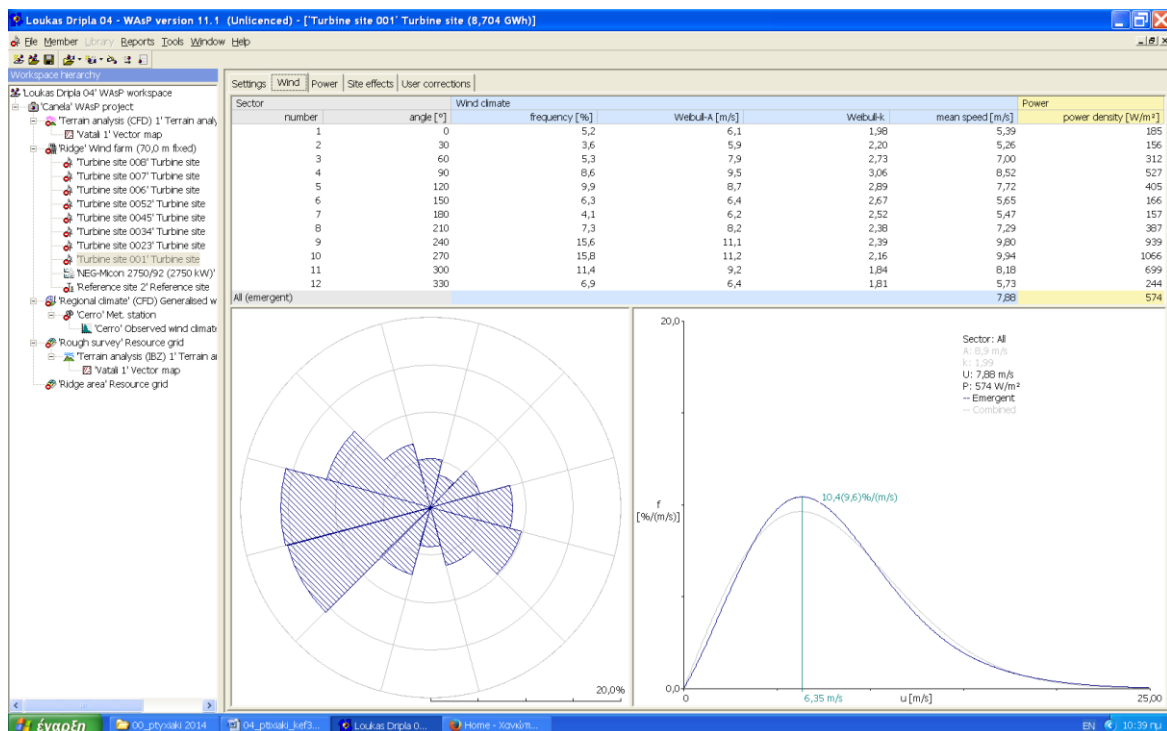


ΓΗΠΕΔΟ Β – Θέσεις ανεμογεννητριών

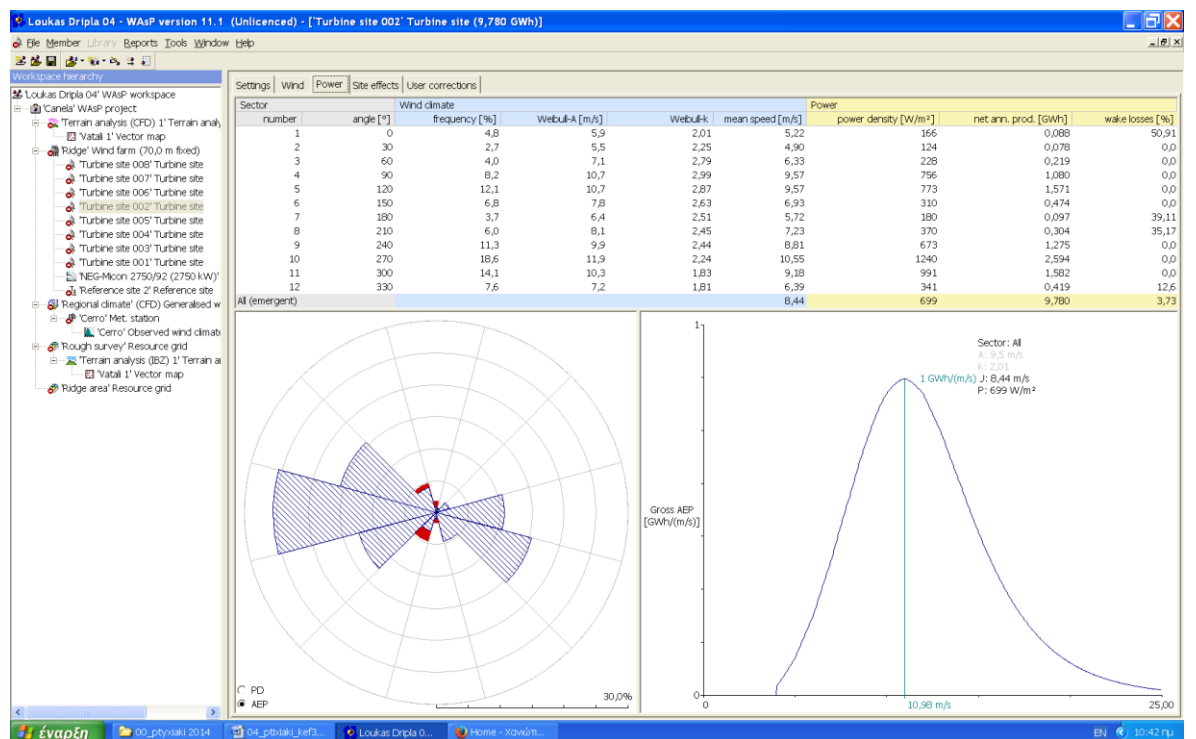
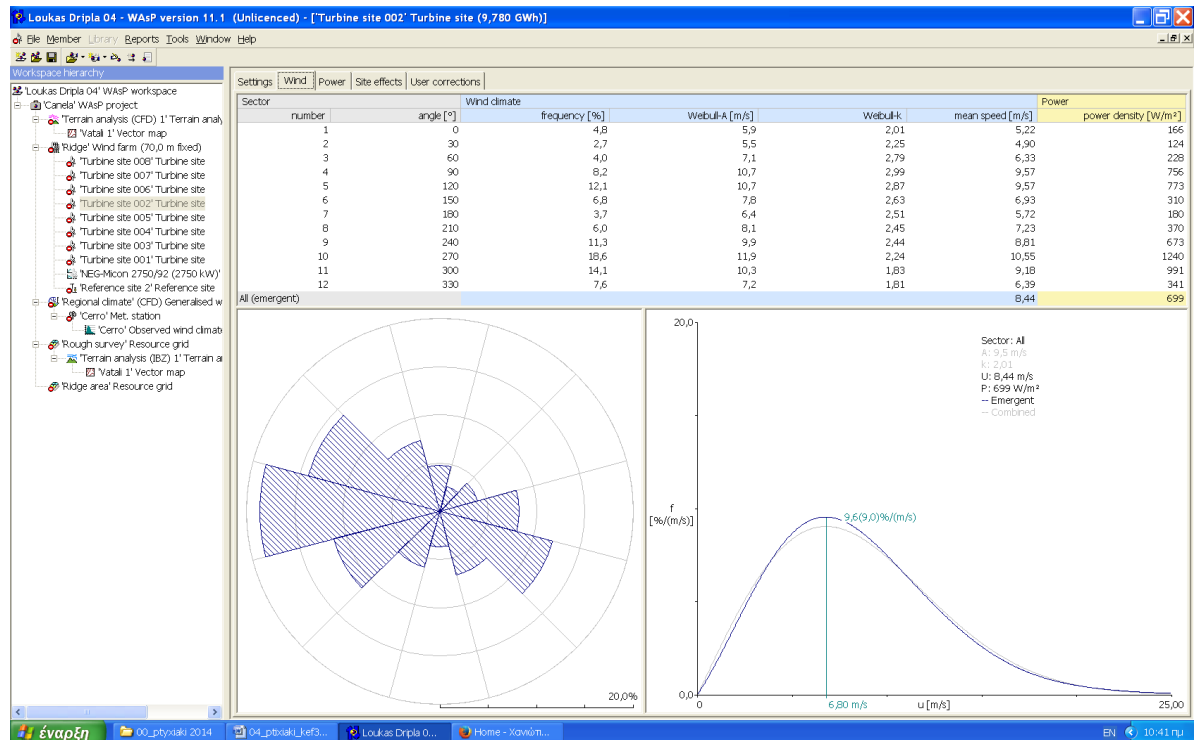
- B1. X= 481310,2 - Y= 3911554,0
- B2. X= 481537,9 - Y= 3911264,0
- B3. X= 481758,7 - Y= 3911030,0
- B4. X= 481945,0 - Y= 3910768,0
- B5. X= 482124,3 - Y= 3910581,0
- B6. X= 482386,5 - Y= 3910347,0
- B7. X= 482600,4 - Y= 3910167,0
- B8. X= 482793,6 - Y= 3909933,0



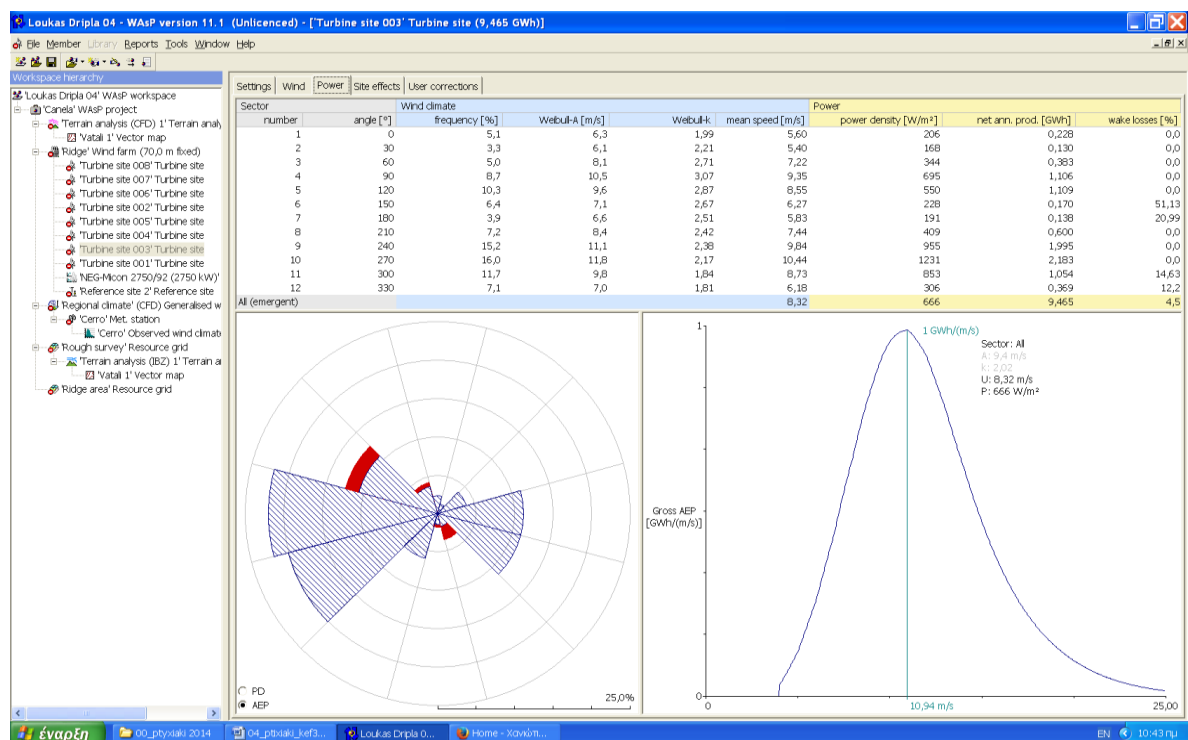
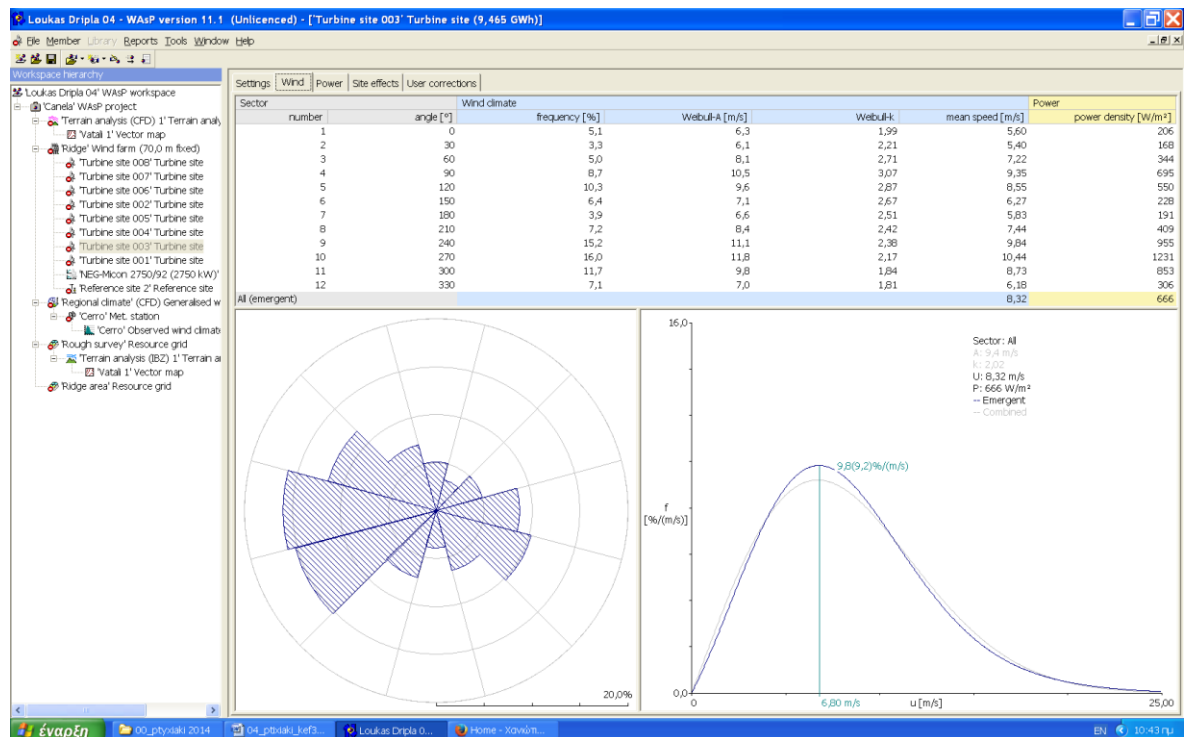
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ Β1.



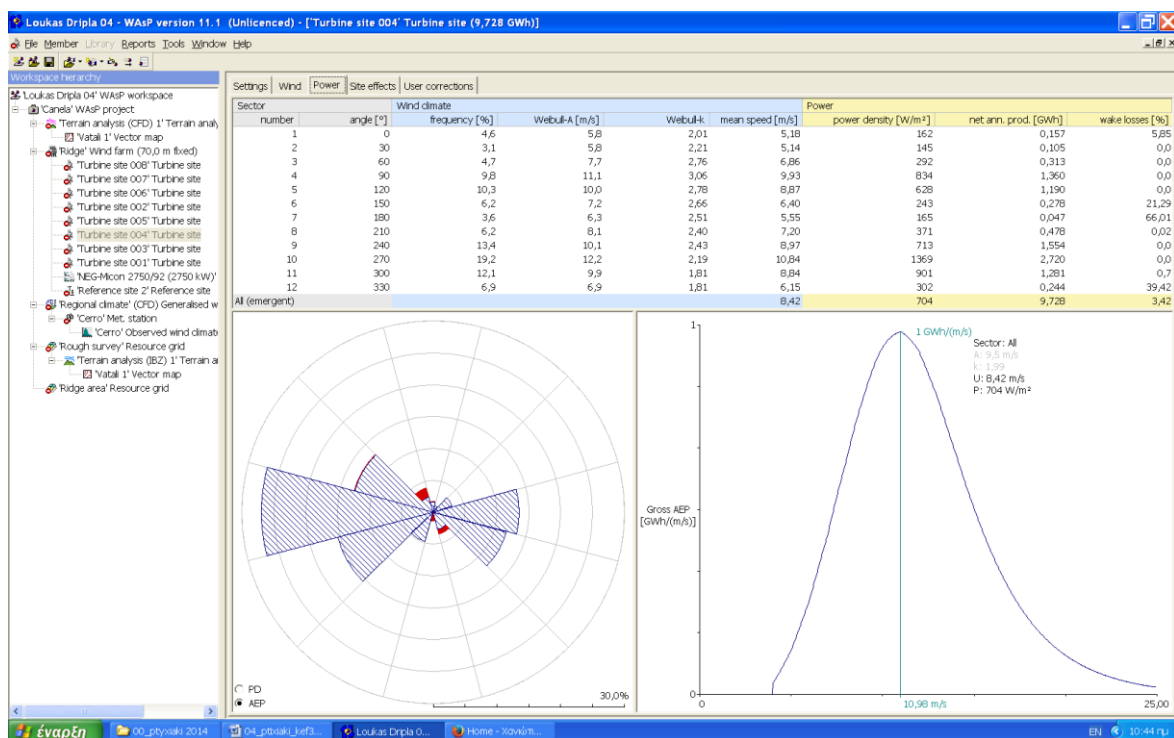
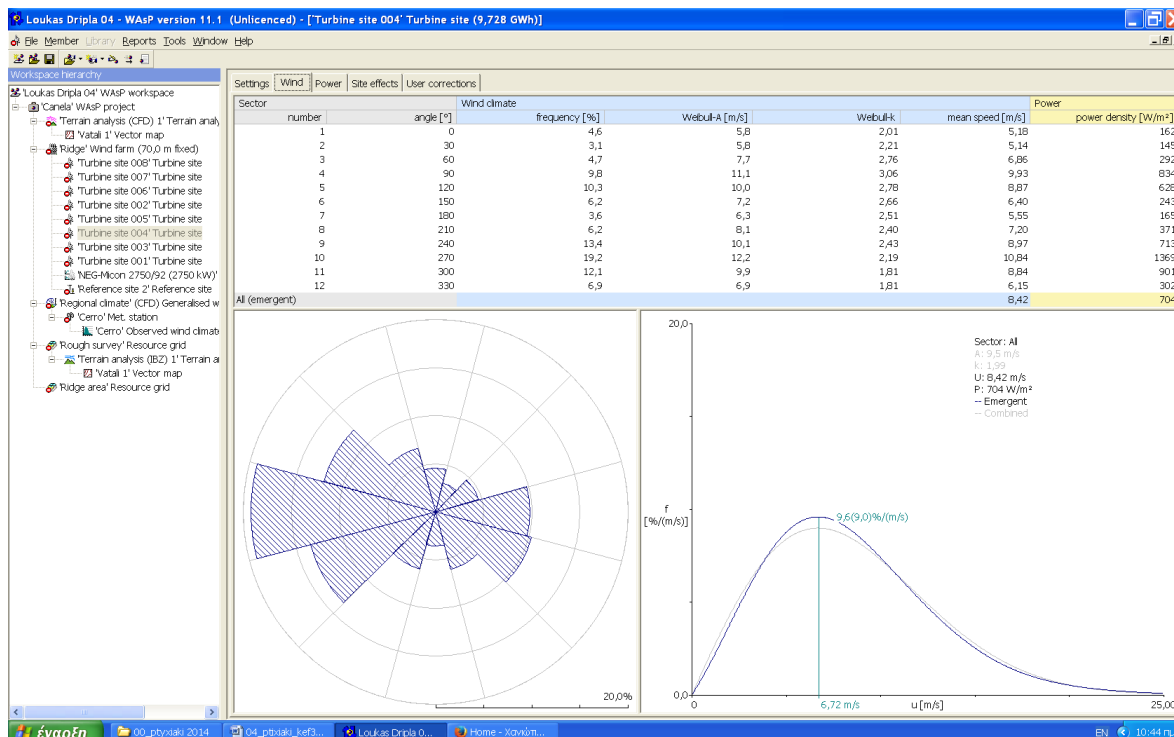
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ Β2.



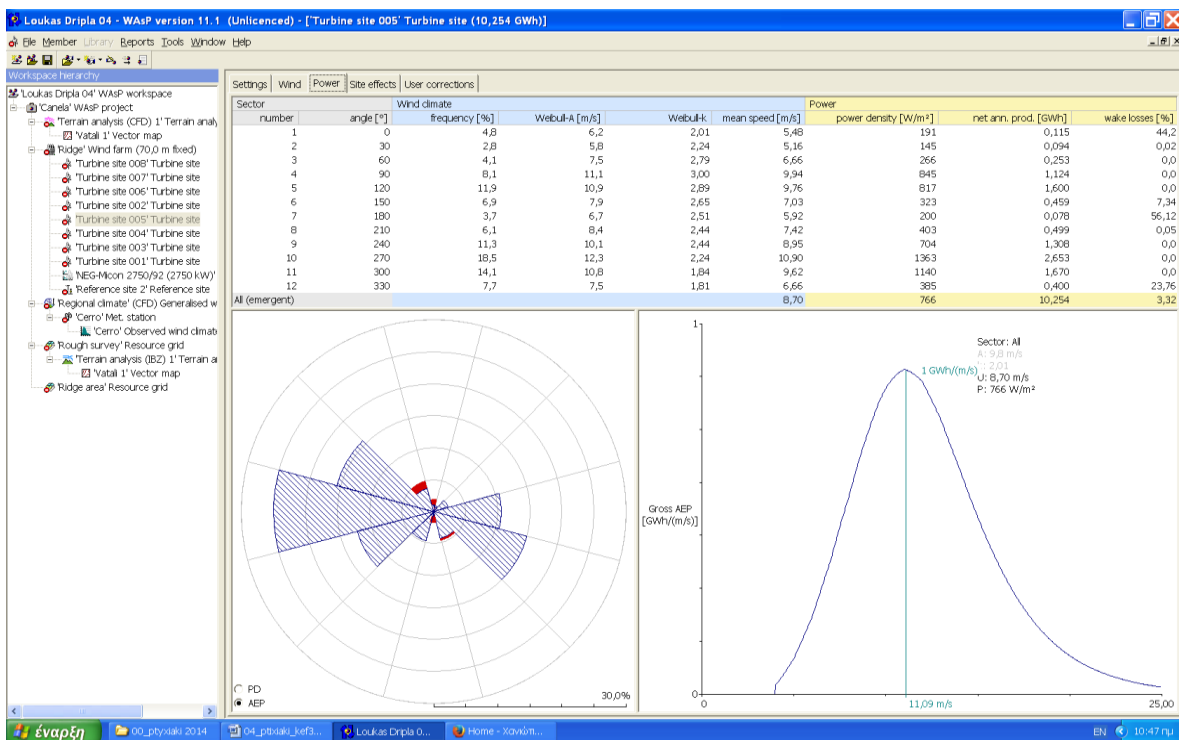
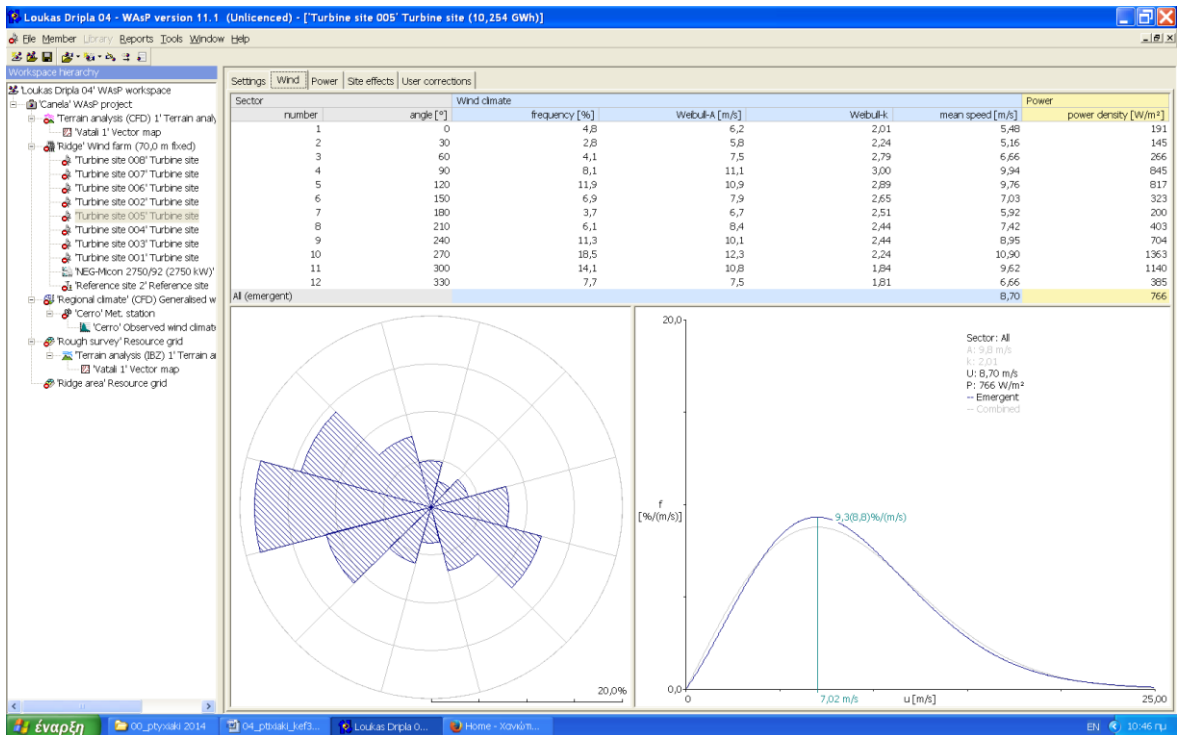
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ Β3.



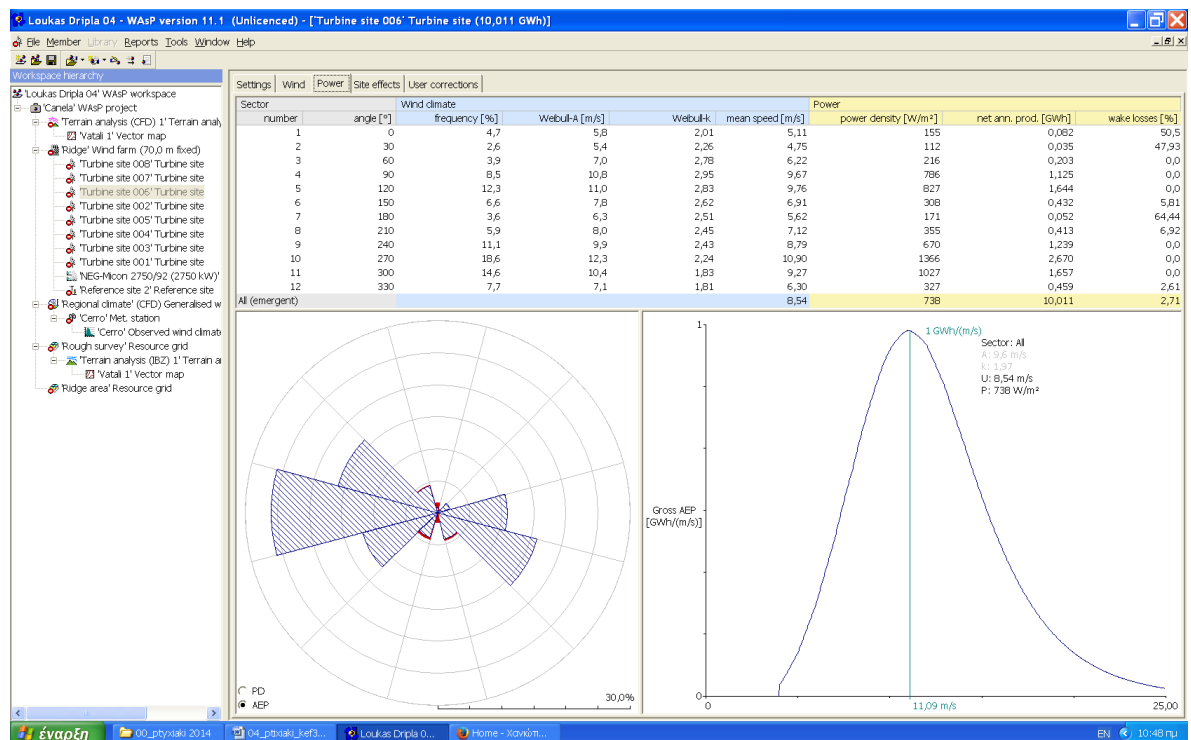
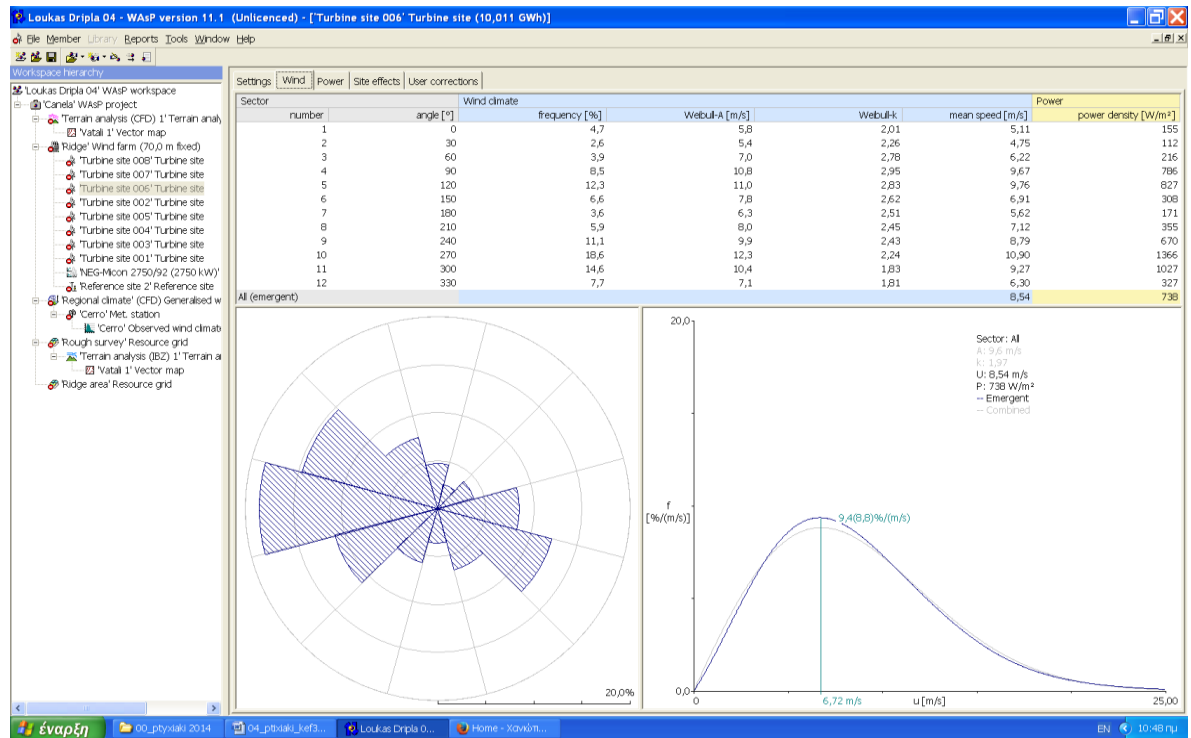
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ Β4.



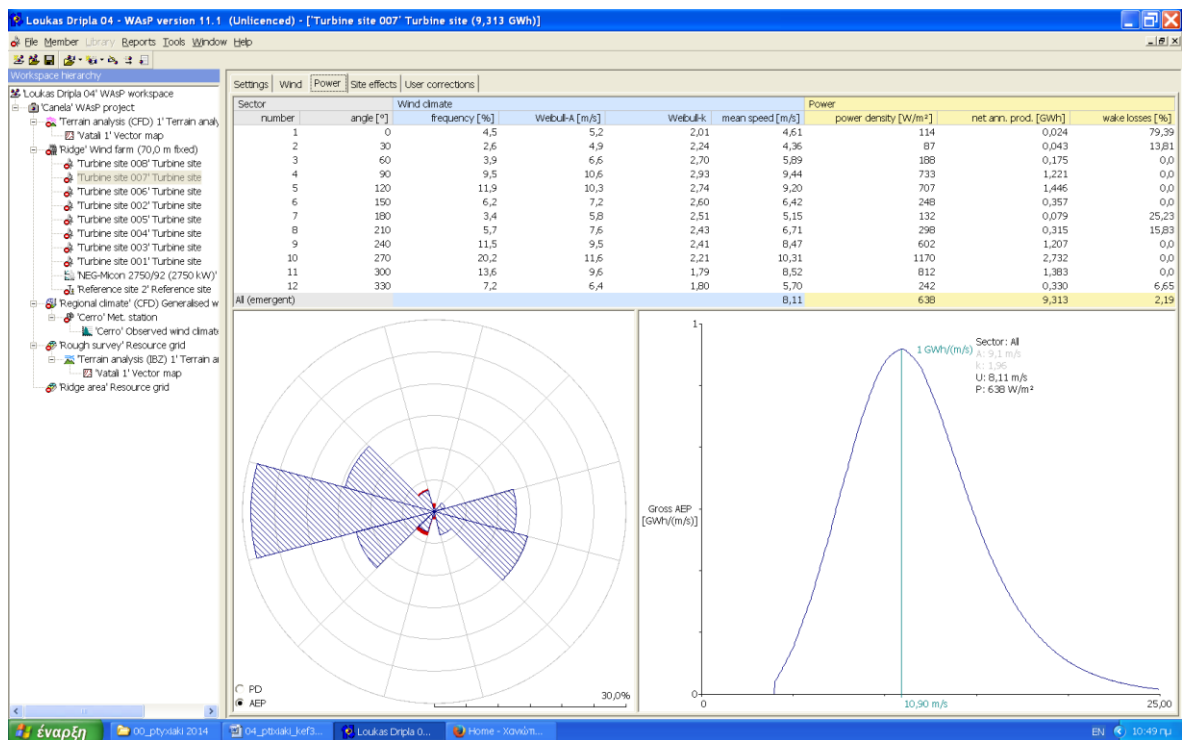
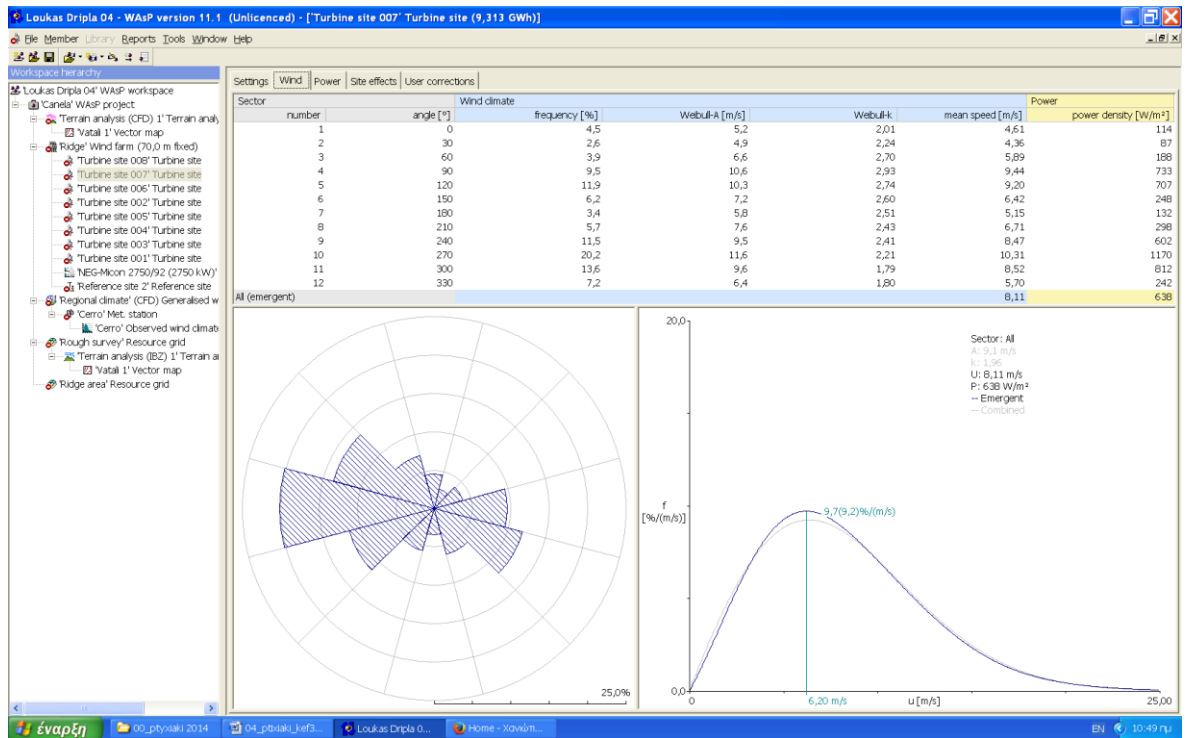
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ Β5.



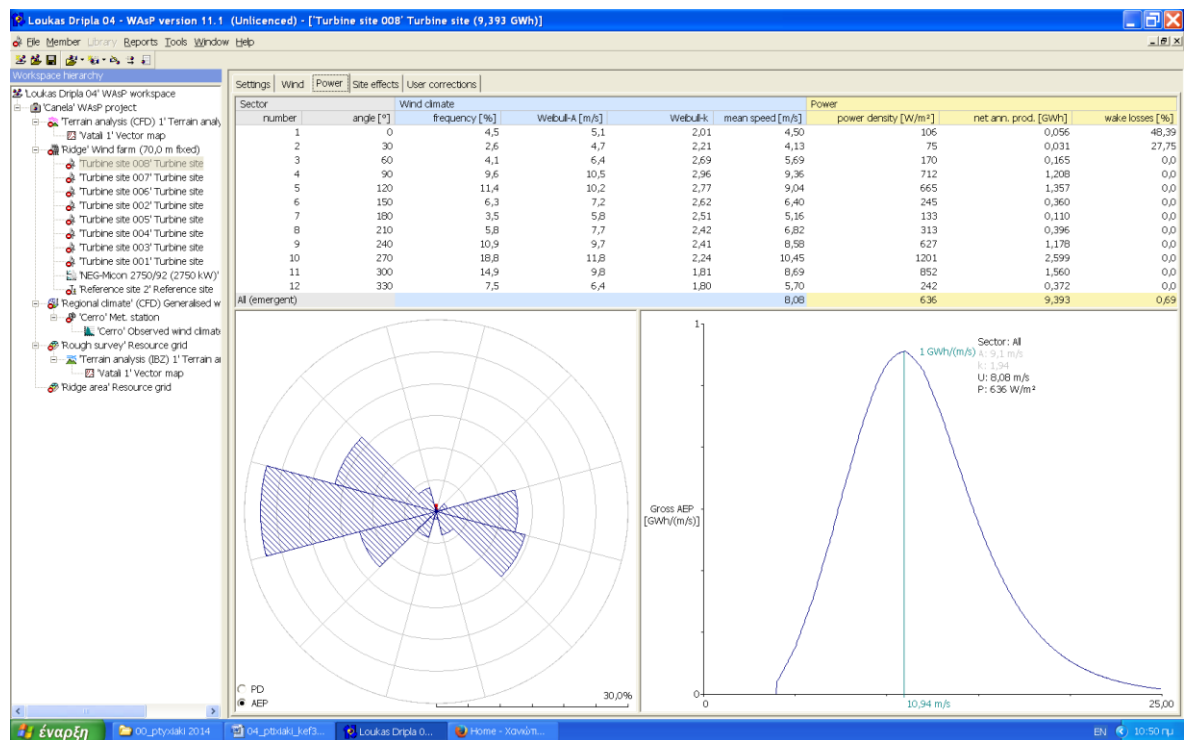
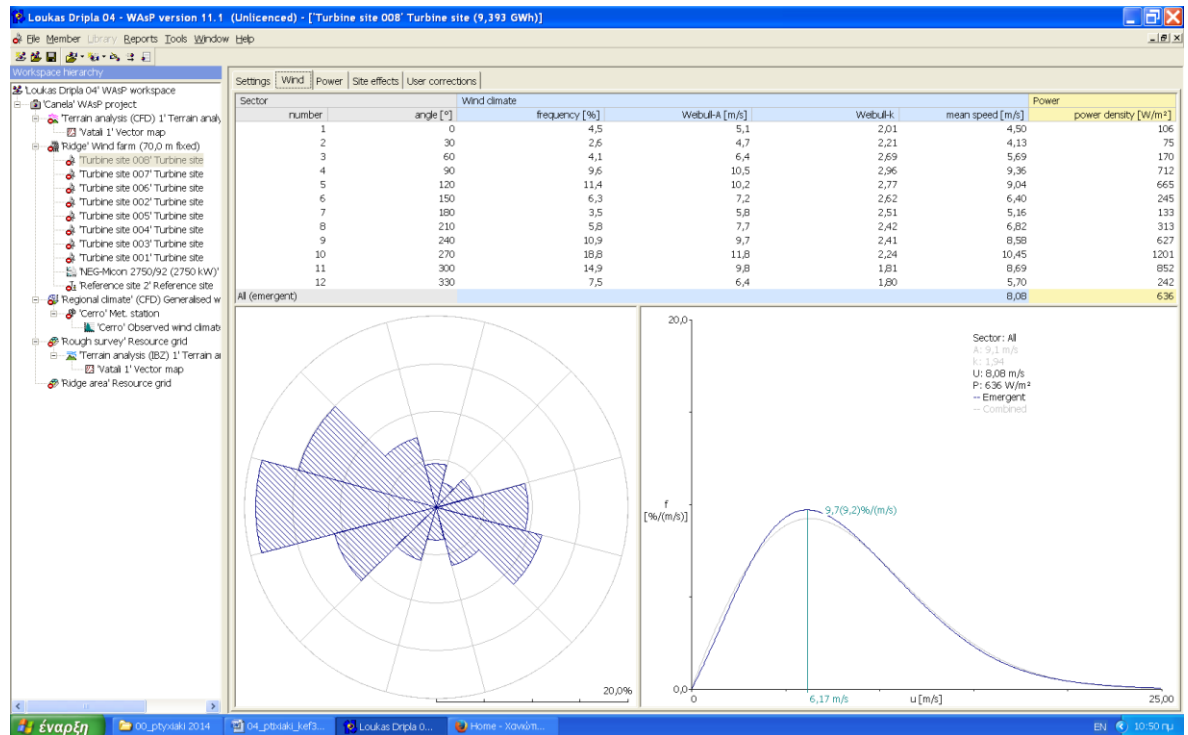
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ Β6.



ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ Β7.



ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ Β8.



ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ Α

Με το πρόγραμμα Wasp μας δίνεται η δυνατότητα εύκολα να έχουμε αναμενόμενη ετήσια παραγωγή και άλλα χρήσιμα στοιχεία του αιολικού πάρκου για τις θέσεις των γεννητριών που προβλέπουμε με τις διάφορες μετακινήσεις.

Site description	X-location [m]	Y-location [m]	Elev. [m]	RDX [%]	dRDX [%]	Height [m]	Speed [m/s]	Gross [GWh]	Net AEP [GWh]	Wake loss [%]
Reference site 2	484641,0	3912240,0	387,4	0,0	-	35,0	7,69	-	-	-
Turbine site 008	483311,0	3910457,0	474,9	0,0	-	70,0	8,08	9,488	9,393	0,69
Turbine site 007	482959,2	3910616,0	517,7	0,0	-	70,0	8,11	9,522	9,313	2,19
Turbine site 006	482697,0	3910761,0	559,9	0,0	-	70,0	8,54	10,290	10,011	2,71
Turbine site 002	481613,8	3911395,0	574,6	0,0	-	70,0	8,44	10,159	9,780	3,73
Turbine site 005	482434,8	3910933,0	600,0	0,0	-	70,0	8,70	10,605	10,254	3,32
Turbine site 004	482165,8	3911119,0	583,8	0,0	-	70,0	8,42	10,073	9,728	3,42
Turbine site 005	481882,9	3911271,0	567,4	0,0	-	70,0	8,32	9,912	9,465	4,5
Turbine site 004	481613,8	3911395,0	574,6	0,0	-	70,0	8,44	10,159	9,780	3,73
Turbine site 003	481310,2	3911554,0	519,2	0,0	-	70,0	7,88	9,029	8,704	3,59

Ακόμη το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα να εκδοθούν αναλυτικά αποτελέσματα και συμπεράσματα.

'Ridge' wind farm

Produced on 20/8/2014 at 11:25:59 πμ by licenced user: Unlicensed using WAsP version: 11.01.0016.

Summary results

Parameter	Total	Average	Minimu m	Maximu m
Net AEP [GWh]	76,647	9,581	8,704	10,254
Gross AEP [GWh]	79,046	9,881	9,029	10,605
Wake loss [%]	3,03	-	-	-

Site results

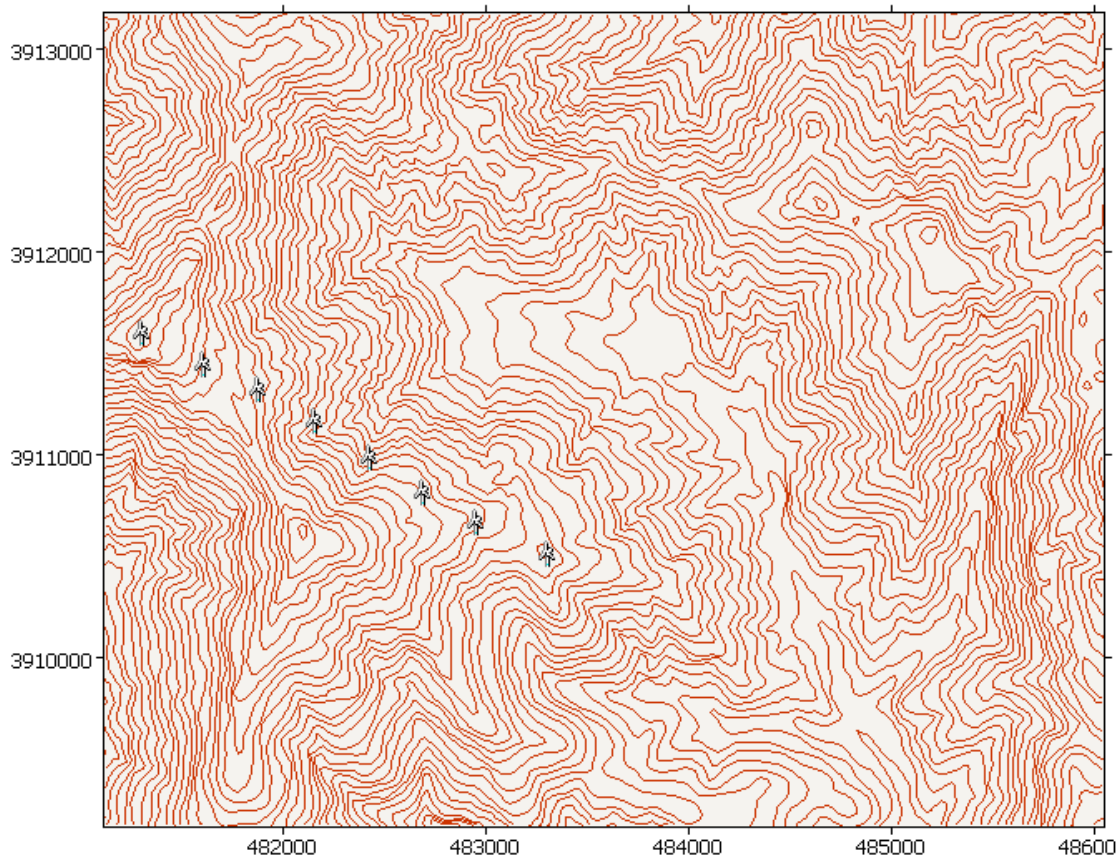
Site	Location [m]	Turbine	Elevation [m a.s.l.]	Height [m a.g.l.]	Net AEP [GWh]	Wake loss [%]
Turbine site 008	(483311, 3910457)	N/A	474,923	70	N/A	N/A
Turbine site	(482959,2,	N/A	517,7198	70	N/A	N/A

007	3910616,0)							
Turbine site 006	(482697, 3910761)	N/A	559,8688	70	N/A	N/A	N/A	N/A
Turbine site 002	(481613,8, 3911395,0)	N/A	574,5709	70	N/A	N/A	N/A	N/A
Turbine site 005	(482434,8, 3910933,0)	N/A	599,98	70	N/A	N/A	N/A	N/A
Turbine site 004	(482165,8, 3911119,0)	N/A	583,7883	70	N/A	N/A	N/A	N/A
Turbine site 003	(481882,9, 3911271,0)	N/A	567,3616	70	N/A	N/A	N/A	N/A
Turbine site 001	(481310,2, 3911554,0)	N/A	519,2038	70	N/A	N/A	N/A	N/A

Site wind climates

Site	Location [m]	Height [m a.g.l.]	A [m/s]	k	U [m/s]	E [W/m ²]	RIX [%]	dRIX [%]
Turbine site 008	(483311, 3910457)	70	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Turbine site 007	(482959,2, 3910616,0)	70	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Turbine site 006	(482697, 3910761)	70	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Turbine site 002	(481613,8, 3911395,0)	70	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Turbine site 005	(482434,8, 3910933,0)	70	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Turbine site 004	(482165,8, 3911119,0)	70	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Turbine site 003	(481882,9, 3911271,0)	70	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Turbine site 001	(481310,2, 3911554,0)	70	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

The wind farm lies in a map called 'Vatali 1'.



The wind farm is in a project called 'Vatali'
A wind atlas called 'Regional climate' was used to calculate the predicted wind climates

There is no wake information available. Please ensure the calculations have run to view wake model output.

Data origins information

The map was imported by 'Dimos_Mousourwn' from a file called 'C:\Users\Dimos_Mousourwn\Desktop\Canela2.map', on a computer called 'DIMOS_MOUSOU-PC'. The map file data were last modified on the 15/8/2014 at 10:21:36 πμ

There is no information about the origin of the wind atlas associated with this wind farm.

The wind turbine generator associated with this wind farm was imported by 'Duncan' from a file called 'C:\Wasp\Wind turbine generators\NEG-Micon NM 2750-92 (2750 kW).pow', on a computer called 'LUXBOROUGH'. The wind turbine generator file was last modified on the 13/1/2003 at 2:23:04 μμ

Project parameters

The wind farm is in a project called Vatali.

All of the parameters in the project are default values.

Terrain analysis parameters:

All of the terrain analysis (CFD) parameters which are relevant to this report have default values.

ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ Β

The screenshot shows the 'Site list' tab in the Loukas Dripa 04 - WASP version 11.1 software. The table displays the following data:

Site description	X-location [m]	Y-location [m]	Elev. [m]	RtX [%]	d.RtX [%]	Height [m]	Speed [m/s]	Gross [GWh]	Net AEP [GWh]	Wake loss [%]
Reference site 2	-484641,0	3912240,0	587,4	0,0	-	35,0	7,69	-	-	-
Turbine site 008	482793,6	3909933,0	474,9	0,0	-	70,0	8,08	9,458	9,393	0,69
Turbine site 007	482600,4	3910167,0	517,7	0,0	-	70,0	8,11	9,522	9,313	2,19
Turbine site 006	482386,5	3910347,0	559,9	0,0	-	70,0	8,54	10,290	10,011	2,71
Turbine site 005	481537,9	3911264,0	574,6	0,0	-	70,0	8,44	10,159	9,780	3,73
Turbine site 004	482124,3	3910581,0	600,0	0,0	-	70,0	8,70	10,605	10,254	3,32
Turbine site 003	481945,0	3910768,0	583,8	0,0	-	70,0	8,42	10,073	9,728	3,42
Turbine site 002	481758,7	3911030,0	567,4	0,0	-	70,0	8,32	9,912	9,465	4,5
Turbine site 001	481310,2	3911554,0	519,2	0,0	-	70,0	7,88	9,029	8,704	3,59

'Ridge' wind farm

Produced on 20/8/2014 at 11:38:17 πμ by licenced user: Unlicensed using WASP version: 11.01.0016.

Summary results

Parameter	Total	Average	Minimu m	Maximu m
Net AEP [GWh]	76,647	9,581	8,704	10,254
Gross AEP [GWh]	79,046	9,881	9,029	10,605
Wake loss [%]	3,03	-	-	-

Site results

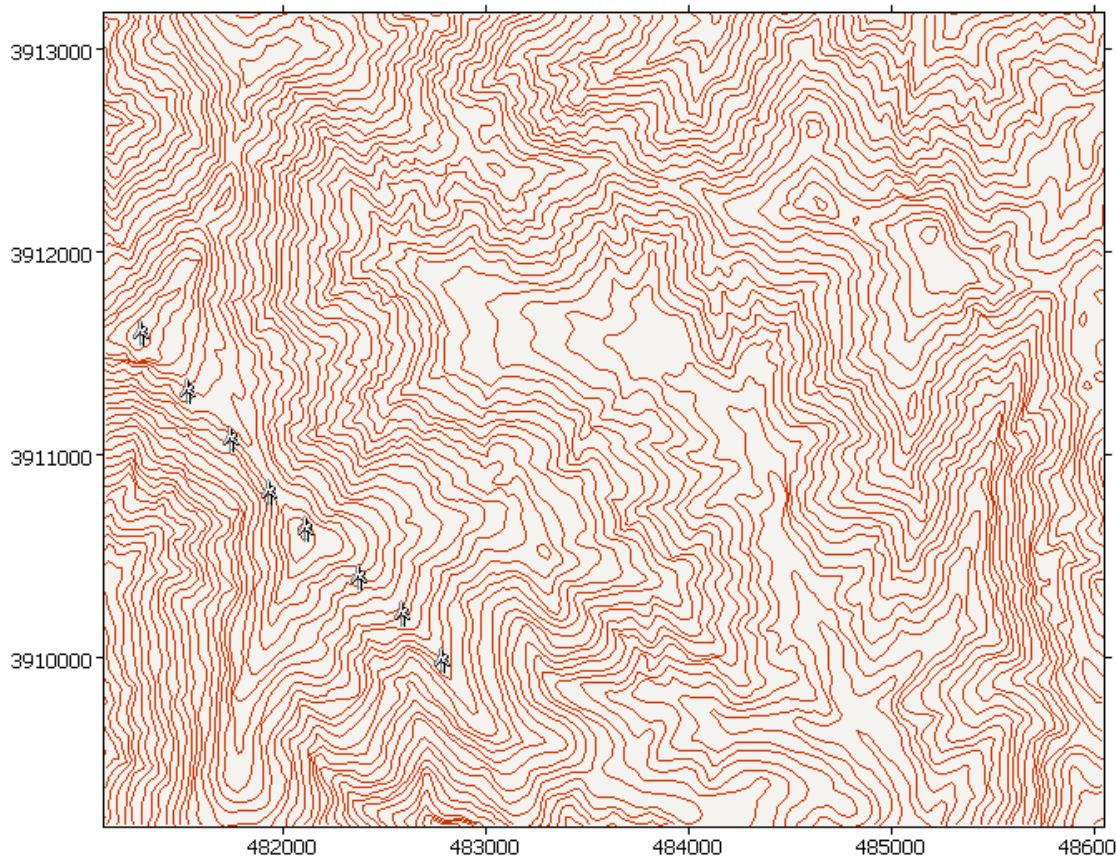
Site	Location [m]	Turbine	Elevation [m a.s.l.]	Height [m a.g.l.]	Net AEP [GWh]	Wake loss [%]
Turbine site 008	(482793,6, 3909933,0)	N/A	474,923	70	N/A	N/A
Turbine site 007	(482600,4, 3910167,0)	N/A	517,7198	70	N/A	N/A
Turbine site 006	(482386,5, 3910347,0)	N/A	559,8688	70	N/A	N/A
Turbine site	(481537,9, ...)	N/A	574,5709	70	N/A	N/A

005	3911264,0)						
Turbine site 004	(482124,3, 3910581,0)	N/A	599,98	70	N/A	N/A	
Turbine site 003	(481945,0, 3910768,0)	N/A	583,7883	70	N/A	N/A	
Turbine site 002	(481758,7, 3911030,0)	N/A	567,3616	70	N/A	N/A	
Turbine site 001	(481310,2, 3911554,0)	N/A	519,2038	70	N/A	N/A	

Site wind climates

Site	Location [m]	Height [m a.g.l.]	A [m/s]	k	U [m/s]	E [W/m ²]	RIX [%]	dRIX [%]
Turbine site 008	(482793,6, 3909933,0)	70	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Turbine site 007	(482600,4, 3910167,0)	70	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Turbine site 006	(482386,5, 3910347,0)	70	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Turbine site 005	(481537,9, 3911264,0)	70	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Turbine site 004	(482124,3, 3910581,0)	70	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Turbine site 003	(481945,0, 3910768,0)	70	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Turbine site 002	(481758,7, 3911030,0)	70	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Turbine site 001	(481310,2, 3911554,0)	70	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

The wind farm lies in a map called 'Vatali 1'.



The wind farm is in a project called 'Canela'
A wind atlas called 'Regional climate' was used to calculate the predicted wind climates

There is no wake information available. Please ensure the calculations have run to view wake model output.

Data origins information

The map was imported by 'Dimos_Mousourwn' from a file called 'C:\Users\Dimos_Mousourwn\Desktop\Canela2.map', on a computer called 'DIMOS_MOUSOU-PC'. The map file data were last modified on the 15/8/2014 at 10:21:36 πμ

There is no information about the origin of the wind atlas associated with this wind farm.

The wind turbine generator associated with this wind farm was imported by 'Duncan' from a file called 'C:\Wasp\Wind turbine generators\NEG-Micon NM 2750-92 (2750 kW).pow', on a computer called 'LUXBOROUGH'. The wind turbine generator file was last modified on the 13/1/2003 at 2:23:04 μμ

Project parameters

The wind farm is in a project called Canela.

All of the parameters in the project are default values.

Terrain analysis parameters:

All of the terrain analysis (CFD) parameters which are relevant to this report have default values.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ:

Με το πρόγραμμα ανάλυσης παραμέτρων αιολικών πάρκων Wasp και τα βοηθητικά του προγράμματα, έχοντας μετρήσεις από μετεωρολογικό σταθμό μπορούμε να κάνουμε αναγωγή και να χωροθετήσουμε αιολικά πάρκα σε άλλες περιοχές, με ασφαλή συμπεράσματα για την ετήσια παραγωγή ενέργειας.

Εδώ και στις δύο περιπτώσεις των γηπέδων Α και Β, η ετήσια παραγωγή ενέργειας είναι η ίδια $P=67,255$ GWh, επειδή το πρόγραμμα είναι ελεύθερο λογισμικό αλλά χωρίς την δυνατότητα υπολογισμών. Διαφορετικά πρέπει να γίνει αγορά του προγράμματος Wasp, οπότε θα μπορούσαμε να συμπεράνουμε την βέλτιστη θέση χωροθέτησης αιολικού πάρκου με την αποδοτικότερη παραγωγή ενέργειας.



Α Τ Ε Ι Κ Ρ Η Τ Η Σ – Π Α Ρ Α Ρ Τ Η Μ Α
Χ Α Ν Ι Ω Ν
Τ Μ Η Μ Α Φ Υ Σ Ι Κ Ω Ν Π Ο Ρ Ω Ν Κ Α Ι Π Ε Ρ Ι Β Α Λ Λ Ο Ν Τ Ο Σ



**ΜΕΛΕΤΗ, ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓΙΑΣ ΕΙΡΗΝΗΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥ ΣΕΛΙΝΟΥ
(ΜΕ ΑΝΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΜΕΤΡΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ
ΣΤΟΝ ΠΡΑΣΕ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΜΟΥΣΟΥΡΩΝ)**

Β Ι Β Λ Ι Ο Γ Ρ Α Φ Ι Α

ΒΙΒΛΙΑ

Ιωάννης Καλδέλλης – Κοσμάς Καββαδίας :
Εργαστηριακές εφαρμογές ήπιων μορφών ενέργειας, Αθήνα 2001, ISBN 960-351-345-8

Γ. Μπεργελές :
Ανεμοκινητήρες, Αθήνα, ISBN 960-7346-19-x

Ιωάννης Κλεάνθη Καλδέλλης :
Διαχείριση της αιολικής ενέργειας, Αθήνα 1999, ISBN 960-351-255-9

Αλέξανδρος Αλεξάκης :
Αιολική ενέργεια, Αθήνα, ISBN 960-7012-35-6

John Walker – Nicholas Jenkins :
Wind energy technology, England 1997, ISBN 0-471-96044-6

David Spera :
Wind turbine technology, New York 1998, ISBN 0-7918-1205-7

Rinie Van Est :
Winds of change, California 1999, ISBN 90-5727-027-7

Paul Gipe :
Wind power for home and business, U.S.A. 1993, ISBN 0-930031-64-4

Godfrey Boyle :
Renewable energy, power for a sustainable future, Oxford 1996,
ISBN 0-19-856452-x

Γιάννης Βουρδουμπάς :
Το ενεργειακό πρόβλημα της Κρήτης και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Χανιά 1998,
ISBN 960-90873-0-2

Ian Graham :
Wind power, Austin 1999, ISBN 0-8172-5364-5

Απόστολου Μαχιά :
Ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις, Αθήνα 1981

Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Χανίων :
Το υδατικό δυναμικό του Νομού Χανίων, Χανιά 1996

Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, παράρτημα Κρήτης :
Πρακτικά διημερίδας Διαχείριση υδατικών πόρων Κρήτης, Χανιά 1993

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ – ΜΕΛΕΤΕΣ - ΕΡΓΑΣΙΕΣ

ΤΕΙ Κρήτης Παράρτημα Χανίων :
Σημειώσεις Αεροδυναμικής, Χανιά 2003

Δ. Κολοκοτσά – Β. Γέρος :
Εργαστηριακές ασκήσεις , Σχεδιασμός και διαχείριση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών
ενέργειας, Χανιά 2003

ΤΕΙ Κρήτης Παράρτημα Χανίων :
Σχεδιασμός και διαχείριση συστημάτων ΑΠΕ, Χανιά 2003

ΤΕΙ Κρήτης Παράρτημα Χανίων :
Ήπιες μορφές ενέργειας I και II, Χανιά 2003

Ο.Α.ΔΥ.Κ. – ΤΕΙ Ηρακλείου :
Προμελέτη σκοπιμότητας για την εγκατάσταση αιολικού πάρκου στην περιοχή Καλυδωνία –
Ραβδούχα, Ηράκλειο 1995

Ρυθμιστική αρχή ενέργειας :
Η πορεία της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, Αθήνα 2003

Ρυθμιστική αρχή ενέργειας :
Γνωμοδότηση για τις χρεώσεις σύνδεσης στο σύστημα, Αθήνα 2004

Ρυθμιστική αρχή ενέργειας :
Δυνατότητα πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας, Αθήνα 2004

Επιτροπή Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων :
C5-0537-02, Η ενεργειακή συνεργασία με τις αναπτυσσόμενες χώρες, Βρυξέλλες 2002

Umweltkontor – Δήμος Μουσούρων :
Φάκελος για την αδειοδότηση αιολικού πάρκου ισχύος 5,4 MW

ENVITEC ΑΝΑΝΑΕΩΣΙΜΕΣ Α.Ε. – Νεσκάκης :
Φάκελος για την αδειοδότηση αιολικών πάρκων ισχύος 5,4 + 5,4 MW

Thomas Achermann – Lennart Soder :
An overview of wind energy-status 2002

Νίκος Πιτσιτάκης :
Εγχειρίδιο αεροπορικής μετεωρολογίας, Χανιά 1997

ΝΟΜΟΙ

Ν.2244/1994, ΦΕΚ 168Α

Ν.2773/1999, ΦΕΚ 286Α

Ν.2837/2000, ΦΕΚ 178Α

Ν.2919/2001, ΦΕΚ 128Α

Ν.2941/2001, ΦΕΚ 201Α

Ν.2992/2002, ΦΕΚ 54Α

Ν.3075/2002, ΦΕΚ 297Α

Ν.3175/2003, ΦΕΚ 207Α

ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Από μετεωρολογικούς σταθμούς :
Πρασές 1997, 1998, 1999

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ για την βοήθειά τους καθηγητές :
Α. Νεσκάκη, Μ. Καραπιδάκη, Γ. Σταυρουλάκη, Β. Γέρο, Π. Σουπιό

ακόμη
τον φίλο μου Γ. Νεσκάκη,
την Γιούλη από την γραμματεία της σχολής



Λουκάς Στάθης