

Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΤΟΣ 2014

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΕ ΤΗ
ΒΟΗΘΕΙΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ WINDROSE. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ
ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ ΣΑΡΛΑΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ ΣΙΝΙΟΡΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ: ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΕ ΤΗ
ΒΟΗΘΕΙΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ WINDROSE. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ
ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ : ΣΙΝΙΟΡΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΣΑΡΛΑΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Α.Μ.: 32426

Για την ανάθεση της εργασίας αυτής, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Κύριο Παναγιώτη Σινιόρο, καθηγητή Α.Τ.Ε.Ι. Πειραιά και εισηγητή μου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και ιδιαίτερα τους γονείς μου Αντώνη και Μαρία, αλλά και τους φίλους μου για την ηθική υποστήριξη αλλά και την υπομονή που έδειξαν όλο αυτό τον καιρό.

Γεώργιος Σαρλάνης

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	4
---------------	---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο :Αιολική ενέργεια.....5

➤ Ιστορική αναδρομή – Ανεμομηχανές.....	5
---	---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο :Αιολικό Δυναμικό.....8

➤ 2.1 Γενικά για την ατμόσφαιρα.....	8
➤ 2.2 Ευστάθεια ατμόσφαιρας.....	10
➤ 2.3 Ήλιος και Άνεμος.....	11
➤ 2.4 Χρονικές μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου.....	15
➤ 2.5 Ταξινόμηση των ανέμων.....	16
➤ 2.6 Μετρητικά όργανα ανέμου.....	18
✓ 2.6.1 Ανεμόμετρο	18
✓ 2.6.2 Ανεμοδείκτης.....	18
➤ 2.7 Νέα όργανα μέτρησης.....	19
✓ 2.7.1 LIDAR.....	19
✓ 2.7.2 SODAR.....	21
➤ 2.8 Σύγκριση των συστημάτων LIDAR και SODAR.....	22
➤ 2.9 Νέα δυναμική – Προοπτικές.....	23
❖ Συμπέρασμα.....	23

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο :Το Προγραμμα Windrose.....24

➤ 3.1 Εισαγωγή	24
➤ 3.2 Εγκατάσταση.....	26
✓ Εκτελώντας το <i>WindRose</i> για πρώτη φορά	27
➤ 3.3 Καινούργια χαρακτηριστικά.....	27
➤ 3.4 Εισαγωγή παραμέτρων	31
✓ 3.4.1 Input.....	31
✓ 3.4.2 PowerCurve.....	39
➤ 3.5 Έλεγχος των δεδομένων.....	41
➤ 3.6 Τα παραγόμενα φύλλα εργασίας	43

✓ 3.6.1 Results.....	43
✓ 3.6.2 Windrose.....	48
✓ 3.6.3 Shear.....	49
✓ 3.6.4 Upolar.....	52
✓ 3.6.5 TimeCharts.....	53
✓ 3.6.6 3D, 12pie.....	56
✓ 3.6.7 12diurnal, BarCharts.....	57
✓ 3.6.8 Weibull.....	58
✓ 3.6.9 UhourT, UhourG.....	60
✓ 3.6.10 DIRhourT, DIRhourG.....	61
✓ 3.6.11 WTprodT, WTprodG.....	61
✓ 3.6.12 TempT, TempG.....	63
✓ 3.6.13 SRadT, SRadG, TempData.....	63
➤ 3.7 Συσχέτιση μετρήσεων από 2 Περιοχές.....	64
✓ Περιγραφή φύλλου εργασίας WindCorr.....	64

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο :Εφαρμογή του προγράμματος Windrose σε πραγματικό μοντέλο ανεμογεννήτριας.....70

Βιβλιογραφία.....86

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η παρουσίαση του λογισμικού προγράμματος Windrose, το οποίο χρησιμοποιείται για την ανάλυση ανεμολογικών – μετεωρολογικών δεδομένων. Κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά του Windrose είναι ο υπολογισμός των πλήρων στατιστικών των ανεμολογικών δεδομένων και των συντελεστών της κατανομής Weibull. Επίσης εμπεριέχει καμπύλες ισχύος ανεμογεννητριών και υπολογίζει την αναμενόμενη παραγόμενη ενέργεια.

Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναδρομή τόσο για την αιολική ενέργεια, όσο και για τις ανεμομηχανές. Εν συνεχεία, αναλύεται το αιολικό δυναμικό. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της περιγραφής της ατμόσφαιρας, του ήλιου και του ανέμου. Επιπλέον, γίνεται λόγος για τα όργανα μέτρησης της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου.

Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται εξ ολοκλήρου στη λειτουργία του προγράμματος Windrose. Συγκεκριμένα, αναλύονται ο τρόπος εγκατάστασης, η διαδικασία εισαγωγής παραμέτρων και ο έλεγχος των προς επεξεργασία δεδομένων. Ανάλυση επιδέχονται και τα παραγόμενα φύλλα εργασίας στα οποία αναγράφονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα επεξεργασίας των ανεμολογικών δεδομένων.

Εν τέλει, θα πραγματοποιηθεί δοκιμή του επικείμενου προγράμματος σε ένα πραγματικό μοντέλο ανεμογεννήτριας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Αιολική ενέργεια

Ιστορική αναδρομή - Ανεμομηχανές

Η αιολική ενέργεια είναι μία από τις πιο παλιές φυσικές πηγές ενέργειας που αξιοποιήθηκε σε μηχανική μορφή. Η πρωτογενής αυτή μορφή ενέργειας που παρέχεται άμεσα από τη φύση, έπαιξε αποφασιστικό ρόλο στην εξέλιξη της ανθρωπότητας ιδιαίτερα με τη χρήση της στη ναυτιλία για συγκοινωνίες και εξερευνήσεις. Η σημασία της ενέργειας του ανέμου φαίνεται στην Ελληνική μυθολογία όπου ο Αίολος διορίζεται από τους θεούς ως ταμίας των ανέμων. Πρώτη χρήση της αιολικής ενέργειας από τον άνθρωπο έγινε για την κίνηση των πλοίων τους.

Υπάρχουν επίσης ιστορικές και αρχαιολογικές μαρτυρίες ότι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν από τους Κινέζους, τους Πέρσες και τους Αιγυπτίους πολλούς αιώνες πριν από τη γέννηση του Χριστού. Περισσότερα σήμερα είναι γνωστά για τους ανεμόμυλους των Περσών οι οποίοι ήταν κατακόρυφου άξονα.

Στην Αίγυπτο σώζονται πύργοι ανεμόμυλων ηλικίας μεγαλύτερης των 3000 ετών. Στο Αφγανιστάν βρίσκονται τα ερείπια ενός μεγάλου κτιρίου, με πολλές οπές δια μέσου των οποίων ο αέρας που εισροούσε, έβαζε σε κίνηση ειδικές μηχανές που εκτελούσαν χρήσιμες για τον άνθρωπο εργασίες. Στις χώρες της Ανατολής, στην Περσία, στη Μικρά Ασία, στο Αιγαίο, οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν από πολύ παλαιά για την άλεση δημητριακών, μέχρι τη Βυζαντινή εποχή και μεταγενέστερα.

Οι ανεμόμυλοι δεν χρησιμοποιήθηκαν μόνο για την άλεση δημητριακών αλλά και για άλλους σκοπούς, με περισσότερο σπουδαίο την άντληση των υδάτων. Η μεγαλύτερη διάδοση των ανεμόμυλων έγινε στην Ολλανδία. Εκεί με την βοήθεια τους απορροφήθηκαν τα νερά των τεράστιων σε έκταση περιοχών της χώρας που βρίσκονταν σε χαμηλή στάθμη και διοχετεύονταν στη θάλασσα. Στην Ελλάδα για την άντληση ποτιστικού νερού από τα πηγάδια χρησιμοποιήθηκαν οι ανεμόμυλοι κυρίως στην Ανατολική Κρήτη. Υπολογίζεται ότι ο αριθμός τους είχε φτάσει προπολεμικά τους 6.808.

Μία σύντομη ιστορική αναδρομή στη χρησιμοποίηση των ανεμόμυλων δείχνει ότι κατά τους αρχαίους χρόνους χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για το άλεσμα του σιταριού. Μέχρι και το 900 μ.Χ χρησιμοποιούνταν στην Περσία ακόμα ανεμόμυλοι κατακόρυφου άξονα για το πότισμα κήπων.



Στη συνέχεια αναφέρονται οι κυριότεροι χρονικοί σταθμοί της πορείας του ανεμόμυλου.

- **1200 μ.Χ** Ανεμόμυλοι οριζοντίου άξονα χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη για το άλεσμα σιταριού.
- **1500μ.Χ** Στα πεδινά της Ολλανδίας εμφανίζονται οι πρώτοι ανεμόμυλοι. Don Quijote τους φέρνει στην Ισπανία.
- **1600 μ.Χ** Άποικοι κατασκευάζουν ανεμόμυλους ευρωπαϊκού τύπου στα ανατολικά παράλια της Βορείου Αμερικής.
- **1700 μ.Χ** Οι ατμομηχανές αρχίζουν να αντικαθιστούν τους ανεμόμυλους.
- **1860 μ.Χ** Οι Αμερικανοί κατασκευάζουν πολυπτερυγους ανεμόμυλους για να χρησιμοποιηθούν στην κίνηση αντλιών.
- **1870 μ.Χ** Το Σικάγο γίνεται κέντρο βιομηχανικής παραγωγής ανεμόμυλων.
- **1900 μ.Χ** Οι Δανοί παράγουν ηλεκτρισμό από τον άνεμο.
- **1920 μ.Χ** Ανεμόμυλοι μεταλλικής κατασκευής χρησιμοποιούνται στην Αμερική για ηλεκτροδότηση στα αγροτικά σπίτια.

- **1930 μ.Χ** Οι ανεμόμυλοι στις αγροτικές περιοχές αντικαθίστανται από την επέκταση των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας.
- **1940 μ.Χ** Στο Vermont (Η.Π.Α) κατασκευάζεται για πρώτη φορά πειραματικός ανεμοκινητήρας αρκετά μεγάλης ισχύος με δύο πτερύγια.
- **1950 μ.Χ** Η ατομική ενέργεια μειώνει το ενδιαφέρον για την χρησιμοποίηση της αιολικής ενέργειας.
- **1960 μ.Χ** Η μόλυνση του περιβάλλοντος από τις υπάρχουσες πηγές ενέργειας (άνθρακας- πετρέλαιο) αρχίζει να γίνεται έντονη.
- **1970 μ.Χ** Έλλειψη καυσίμων αναζωογονεί το ενδιαφέρον για αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας.
- **1976 μ.Χ** Τεχνολογικά αναπτυγμένες χώρες διαθέτουν για πρώτη φορά μεγάλο ύψος χρημάτων για προγράμματα γύρω από την τεχνικοοικονομική διερεύνηση των ανεμοκινητήρων.
- **1983 μ.Χ** Κατασκευή ανεμοκινητήρων ισχύος 3 MW.
- **1990 μ.Χ** Κατασκευή ανεμοκινητήρων ισχύος 7 MW.

Η ολοένα και αυξανόμενη μόλυνση του περιβάλλοντος από τον άνθρακα και το πετρέλαιο, αρχίζει να γίνεται έντονη τα τελευταία χρόνια. Ο άνθρωπος αναζητάει καινούργιες πηγές ενέργειας και στρέφεται σιγά σιγά προς την αιολική ενέργεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Αιολικό Δυναμικό

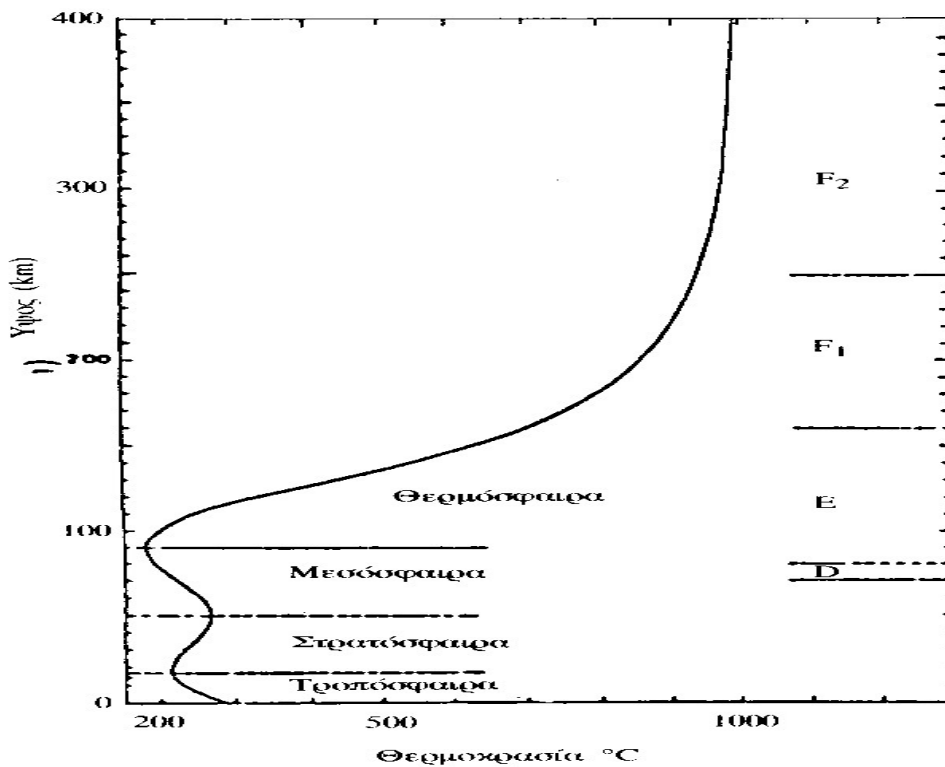
2.1 Γενικά για την ατμόσφαιρα

Ο χώρος μέσα στον οποίο δημιουργούνται τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα είναι η ατμόσφαιρα, η οποία ορίζεται ως το σφαιροειδές αέριο περίβλημα που περικλείει ένα ουράνιο σώμα. Οι δυνάμεις που τη συγκρατούν σε υδροστατική ισορροπία γύρω από το σώμα αυτό είναι οι βαρυτικές δυνάμεις του πλανήτη. Οι διάφορες διαταραχές, και τα φαινόμενα που αυτές συνεπάγονται, οφείλονται σε μικρές αποκλίσεις από αυτή την κατάσταση ισορροπίας. Το μείγμα των αερίων που συνιστούν την ατμόσφαιρα της Γης εκτείνεται μέχρι ύψους 800 με 1000 km από την επιφάνεια του εδάφους με μεγαλύτερο ύψος (ή βάθος) στον ισημερινό και μικρότερο στους πόλους. Τα συνιστώμενα αέρια είναι ανομοιόμορφα κατανομημένα στο ύψος αυτό με τρόπο ώστε το 99,9% της ολικής μάζας της ατμόσφαιρας να βρίσκεται στα πρώτα 50 km και το 0,099% στην περιοχή μεταξύ 50 και 100 km ύψος.

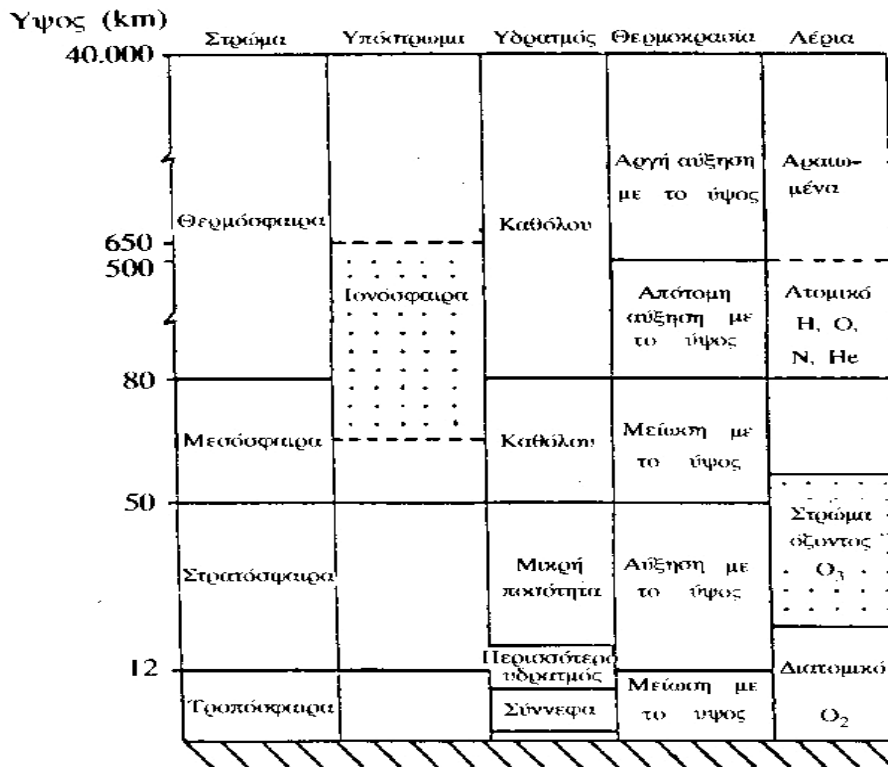
Τα σπουδαιότερα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας, εκτός από τη σύνθεσή της, είναι η θερμοκρασία, η πίεση και η πυκνότητα. Τα χαρακτηριστικά αυτά υπόκεινται σε σημαντικές μεταβολές που εξαρτώνται από το υψόμετρο, την ώρα, την ηλιακή επίδραση (δηλαδή την εποχή) και άλλους παράγοντες. Η θερμοκρασία στην ατμόσφαιρα μεταβάλλεται από ένα ελάχιστο -138°C , που μετρήθηκε σε ύψος 85 km, μέχρι ένα μέγιστο σε περιόδους μέγιστης ηλιακής επίδρασης, 1227°C σε ύψη μεγαλύτερα των 400 km. Οι θερμοκρασίες αυτές, κατά ένα μέρος, εξαρτώνται, από την έκταση στην οποία τα διάφορα αέρια των περιοχών αυτών απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα και την υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπουν στη συνέχεια.

Η πίεση της ατμόσφαιρας, που εξαρτάται από το ολικό βάρος του αέρα που βρίσκεται από πάνω της και μειώνεται προοδευτικά καθώς το ύψος αυξάνει. Πιο συγκεκριμένα, ενώ στην επιφάνεια της Θάλασσας έχει μια μέση τιμή 760 mmHg, σε ύψος 100 km πέφτει στα $2,26 \cdot 10^{-4}$ mmHg, στα $1,00 \cdot 10^{-6}$ mmHg, στο ύψος των 200 km και ούτω καθ' εξής. Η πυκνότητα της ατμόσφαιρας κατά τον ίδιο τρόπο μειώνεται με την αύξηση του υψομέτρου. Στο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας βρίσκεται μια τιμή $1,226 \text{ kg/m}^3$ ενώ στα 100 km η μέση πυκνότητα είναι μόνο $4,97 \cdot 10^{-7} \text{ kg/m}^3$ και στα 200 km έχει μειωθεί στα $3,32 \cdot 10^{-10} \text{ kg/m}^3$. Για ευκολία, στη μελέτη των διαφόρων ατμοσφαιρικών φαινομένων, η ατμόσφαιρα υποδιαιρείται σε ζώνες. Ο διαχωρισμός που χρησιμοποιείται περισσότερο είναι αυτός που στηρίζεται στην κατανομή της θερμοκρασίας με το ύψος. Η πρώτη περιοχή που εκτείνεται από το επίπεδο του εδάφους μέχρι το πρώτο ελάχιστο της θερμοκρασίας, καλείται **Τροπόσφαιρα**. Η επόμενη περιοχή που εκτείνεται

μέχρι το δεύτερο μέγιστο της θερμοκρασίας (το πρώτο μέγιστο της Θερμοκρασίας βρίσκεται στο επίπεδο του εδάφους), καλείται **Στρατόσφαιρα**. Η πιο πάνω περιοχή, που φθάνει μέχρι το δεύτερο θερμοκρασιακό ελάχιστο, είναι η **Μεσόσφαιρα**. Η τέταρτη περιοχή που ακολουθεί, είναι η **Θερμόσφαιρα**. Πέρα από τη θερμόσφαιρα βρίσκεται άλλη μια περιοχή η οποία, όμως, δεν ορίζεται από τη θερμοκρασία της και καλείται **Εξώσφαιρα** η οποία πιστεύεται ότι αρχίζει σε ύψος περίπου 400 km. Οι παραπάνω περιοχές απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα.



Ο κύριος όγκος της γήινης ατμόσφαιρας είναι ηλεκτρικά ουδέτερος. Ωστόσο, όμως, σε ύψος πάνω από 50 km περίπου, ένα μικρό τμήμα της ατμόσφαιρας είναι ιονισμένο, περιέχοντας ιόντα και ελεύθερα ηλεκτρόνια. Η περιοχή αυτή της ατμόσφαιρας καλείται **Ιονόσφαιρα** και υποδιαιρείται στις επί μέρους ζώνες D, E, F1 και F2. Η κύρια αιτία ιονισμού των στοιχειωδών σωματιδίων της α-ατμόσφαιρας είναι η υπεριώδης ακτινοβολία του ηλιακού φάσματος. Τέλος σύμφωνα με έναν άλλο τρόπο χωρισμού, η ατμόσφαιρα διαιρείται σε μία περιοχή όπου δεν υπάρχει σχεδόν καμία μεταβολή στη χημική της σύνθεση, την **Ομόσφαιρα** και μια άλλη περιοχή, πιο πάνω, με σημαντικές μεταβολές στη σύνθεση, την **Ετερόσφαιρα**.



Επίσης, οι μεταβατικές ζώνες ανάμεσα σε μερικές από τις κύριες αυτές περιοχές, έχουν ιδιαίτερα ονόματα. Για παράδειγμα, η οριακή περιοχή ανάμεσα στην Τροπόσφαιρα είναι γνωστή ως **Τροπόπαυση** και η περιοχή ανάμεσα στη Στρατόσφαιρα και τη Μεσόσφαιρα ονομάζεται **Στρατόπαυση**. Γενικά πάντως, ο πιο απλοποιημένος χωρισμός της ατμόσφαιρας είναι σε **κατώτερη** και **ανώτερη** ατμόσφαιρα. Η κατώτερη ατμόσφαιρα συνήθως θεωρείται ότι φθάνει μέχρι την κορυφή της Στρατόσφαιρας σε ένα ύψος περίπου 50 km. Κάθε τι πιο πάνω, ανήκει στην ανώτερη ατμόσφαιρα.

2.2 Ευστάθεια ατμόσφαιρας

Το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας του εδάφους και του Ηλίου περνάει από τον αέρα με τρόπο ώστε, για πρακτικούς σκοπούς, ο καθαρός αέρας να μπορεί να θεωρηθεί διαφανής στην ακτινοβολία. Κοντά στο έδαφος, δηλαδή μέχρι τα πρώτα 10 μέτρα, υπάρχει μια αισθητή ανταλλαγή θερμότητας του αέρα με την επιφάνεια του εδάφους. Ο καθαρός αέρας μπορεί να θεωρηθεί ότι θερμαίνεται ή ψύχεται λόγω «γειννίας» με το έδαφος (συναγωγή) παρά με ακτινοβολία. Κατά τη διάρκεια της ημέρας,

όταν δεν υπάρχουν καθόλου σύννεφα ή έστω η νέφωση είναι μικρή, η επιφάνεια του εδάφους θερμαίνεται συνεχώς από τον ήλιο. Συγχρόνως, όμως, χάνεται συνεχώς θερμότητα λόγω ακτινοβολίας και μόνο όταν ο ρυθμός θέρμανσης από τον ήλιο ξεπεράσει τις απώλειες λόγω ακτινοβολίας, το έδαφος αρχίζει να θερμαίνεται. Όταν θερμανθεί αρκετά, αρχίζει η κυκλοφορία ρευμάτων συναγωγής που μεταφέρουν θερμότητα σε μεγαλύτερη καθ' ύψος μάζα αέρα. Επειδή ο αέρας είναι συμπιεστό ρευστό, με την ανύψωση διαστέλλεται καθώς κινείται σε στρώματα με χαμηλότερη πίεση με αποτέλεσμα, λόγω της διαστολής, να ψύχεται.

2.3 Ήλιος και Άνεμος

Η δημιουργία των ανέμων είναι ένα θέμα που απασχολεί την ανθρωπότητα από τους αρχαίους χρόνους. Οι απόψεις του Αναξίμανδρου "ότι οι άνεμοι οφείλονται σε λεπτότατους ατμούς του αέρα, οι οποίοι αναγκάζονται να κινούνται από την θερμότητα του ηλίου", του Αναξίμενη "ότι οι άνεμοι δημιουργούνται όταν, έχοντας χάσει ο αέρας την πυκνότητα του γίνεται αραιός και τίθεται σε κίνηση" ή αρχαίων Ελλήνων φυσικών φιλοσόφων "ότι ο άνεμος λέγεται η αισθητή οριζόντια κίνηση του αέρα", επικρατούν μέχρι τις μέρες μας.



Η δημιουργία και κίνηση του ανέμου είναι ένα σύνθετο μετεωρολογικό φαινόμενο, που οφείλεται στην άνιση κατανομή της θερμότητας που στέλνεται από τον ήλιο προς τη γη. Οι ηλιακές ακτίνες επειδή προσπίπτουν στις διάφορες περιοχές της γης με διαφορετική γωνία, τις θερμαίνουν ανομοιόμορφα. Ο θερμός αέρας ανέρχεται σε υψηλότερα επίπεδα, επειδή είναι ελαφρύτερος, και την θέση του καταλαμβάνει ψυχρός αέρας. Γενικά, τα ψυχρά ρεύματα αέρα που προέρχονται από τους πόλους κατευθύνονται προς

τις τροπικές περιοχές, όπου η θερμοκρασία είναι υψηλότερη, παίρνοντας τη θέση του θερμομέτρου αέρα ο οποίος κατευθύνεται προς τους πόλους. Με αυτή τη φυσική ροή αναπτύσσονται σταθεροί άνεμοι. Η κινητική ενέργεια του ανέμου οφείλεται στην ηλιακή ακτινοβολία και περίπου το 2% της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στον πλανήτη μας μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια. Η ισχύς όλων των ανέμων στη γη υπολογίζεται σε 3.610^9 MW. Οι ενεργειακές ανάγκες των ΗΠΑ είναι μόλις το 10% της ενέργειας των ανέμων που πνέουν εκεί, γεγονός που αποδεικνύει πόσο πλούσια πηγή ενέργειας είναι ο άνεμος.

Ο άνεμος χαρακτηρίζεται από δύο κύρια χαρακτηριστικά του:

- Την **ταχύτητα** και την
- **Διεύθυνση** του

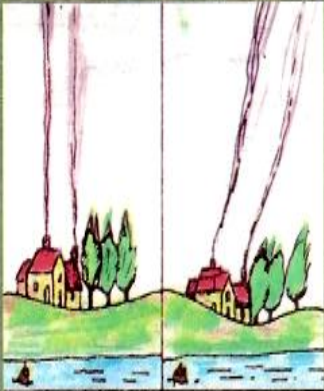





Η ταχύτητα του ανέμου κυρίως οφείλεται στη διαφορά της ατμοσφαιρικής πίεσης μεταξύ δύο τόπων. Οι παράγοντες οι οποίοι δημιουργούν διαφορά στην ατμοσφαιρική πίεση μεταξύ δύο τόπων που βρίσκονται στο ίδιο υψόμετρο είναι:

1. Η δράση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στη γη
2. Η περιστροφή της γης γύρω από τον άξονά της.
3. Η ποικιλομορφία της επιφάνειας της γης (ωκεανοί, βουνά, λίμνες, έρημοι, δάση) ,εξαιτίας της οποίας επηρεάζεται η θερμοκρασία του εδάφους.
4. Η τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ του ανέμου και της επιφανείας πάνω από την οποία πνέει.

Οι προαναφερόμενοι παράγοντες δημιουργούν ανομοιομορφίες στην κατανομή της ατμοσφαιρικής πίεσης πάνω στη γη, εξαιτίας των οποίων αναπτύσσονται δυνάμεις, οι οποίες προκαλούν μετατοπίσεις αέριων μαζών σε μεγάλη ή μικρή κλίμακα.

Η ταχύτητα των ανέμων εκφράζεται σε χιλιόμετρα ανά ώρα (km/h) ή σε ναυτικά μίλια ανά ώρα (κόμβοι) ή μέτρα ανά δευτερόλεπτο(m/sec) . Η κλίμακα μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου επινοήθηκε από τον Άγγλο πλοίαρχο Μποφόρ το 1805 και τροποποιημένη από τον παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό ισχύει μέχρι σήμερα.

Η κλίμακα μποφόρ περιλαμβάνει 12 βαθμούς, που ο καθένας αντιπροσωπεύει και ένα φαινόμενο (π.χ. θρόισμα φύλλων) και το αντίστοιχο όριο της ταχύτητας του ανέμου.

Φαινόμενο	Βαθμός	Φαινόμενο	Βαθμός
	<p>0 ΜΠΟΦΟΡ Ο καπνός ανεβαίνει ολόγεια</p> <p>1 ΜΠΟΦΟΡ Λοξός καπνός</p>		<p>4 ΜΠΟΦΟΡ Σηκώνεται σκόνη, παρασύρονται χαρτιά</p> <p>5 ΜΠΟΦΟΡ Ο ποδηλάτης νιώθει αντίσταση, κυματάκια στη λίμνη</p>
	<p>2 ΜΠΟΦΟΡ Τα φύλλα θροίζουν, ο ανεμοδείκτης κινείται</p>		<p>6 ΜΠΟΦΟΡ Κινούνται μεγάλοι κλώνοι, αναποδο-γυρίζουν ομπρέλες</p> <p>7 ΜΠΟΦΟΡ Λυγίζουν τα δέντρα, δύσκολο το βάδισμα</p>
	<p>3 ΜΠΟΦΟΡ Κυματίζουν οι σημαίες</p>		<p>8 ΜΠΟΦΟΡ Σπάζουν κλώνοι, πολύ δύσκολο το βάδισμα κόντρα στον άνεμο</p> <p>9 ΜΠΟΦΟΡ Ξεκολλούν καπνοδόχοι και κεραμίδια</p> <p>10 ΜΠΟΦΟΡ Δέντρα σπάζουν ή ξεριζώνονται</p>

<i>Βαθμοί Beaufort</i>	<i>Γενική περιγραφή</i>	<i>Προσδιορισμός</i>	<i>m/s</i>	<i>Km/h</i>
0	Νηνεμία	Καπνός ανέρχεται κατακόρυφα.	<0.6	<1
1	Υποπνέων	Η διεύθυνση προσδιορίζεται από τον καπνό, αλλά όχι από τους ανεμοδείκτες.	0.6-1.7	1-6
2	Ασθενής	Αισθητός στο πρόσωπο. Θρόισμα φύλλων. Κινεί συνήθη ανεμοδείκτη.	1.8-3.3	7-12
3	Λεπτός	Φύλλα και κλώνοι σε συνεχή κίνηση. Εκτείνει λεπτή σημαία.	3.4-5.2	13-18
4	Μέτριος	Εγείρεται κονιορτός και φύλλα χαρτιού. Μικροί κλάδοι δένδρων κινούνται.	5.3-7.4	19-26
5	Λαμπρός	Μικρά δένδρα με φύλλα λυγίζουν	7.5-9.8	27-35
6	Ισχυρός	Μεγάλοι κλάδοι δένδρων κινούνται. Συριγμοί στα τηλεφωνικά σύρματα. Δύσκολη χρήση ομπρέλας.	9.9-12.4	36-44
7	Σφοδρός	Κινεί ολόκληρα δένδρα. Βάδισμα αντίθετα προς τον άνεμο με δυσχέρεια.	12.5-15.2	45-55
8	Ορμητικός	Θραύει κλώνους δένδρων και το βάδισμα γενικά εμποδίζεται.	15.3-18.2	56-66
9	Θύελλα	Κίνδυνος για μικρές κατασκευές	18.2-21.6	66-78
10	Ισχυρή θάλασσα	Ξεριζώνονται δένδρα και προκαλούνται σημαντικές ζημιές στις οικοδομές.	21.6-25.4	78-90
11	Σφοδρή θύελλα	Σπάνια σημειώνεται στην ξηρά και προκαλεί εκτεταμένες ζημιές.	25.5-29.0	91-104
12	Τυφώνας	Εξαιρετικά σοβαρές καταστροφές.	>29.0	>105

Τέλος, η παρακάτω εξίσωση συνδέει προσεγγιστικά τις βαθμίδες της κλίμακας *Beaufort* με την ταχύτητα του ανέμου σε μίλια την ώρα, δηλαδή:

$$V = 1.8 \cdot \sqrt{B^3}$$

2.4 Χρονικές μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου

Για τις ανάγκες υπολογισμού του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού μιας περιοχής δεν επαρκεί η γνώση της μέσης ταχύτητας του ανέμου της περιοχής, αλλά μας χρειάζονται αναλυτικές πληροφορίες και για την κατανομή της πιθανότητας εμφάνισης των διαφόρων τιμών ταχύτητας του ανέμου μέσα στο χρόνο, με έμφαση στην καταγραφή των διαστημάτων νηνεμίας καθώς και των διαστημάτων εμφάνισης πολύ ισχυρών ανέμων.

Για το σκοπό αυτό και πριν να πάρουμε την τελική απόφαση για την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας σε μια περιοχή είναι απαραίτητο να συγκεντρώσουμε τα διαθέσιμα ανεμολογικά στοιχεία της περιοχής, να τα επεξεργαστούμε στατιστικά και να δημιουργήσουμε τα αντίστοιχα διαγράμματα πυκνότητας πιθανότητας και διάρκειας των ανέμων. Επιπλέον, είναι απαραίτητος ο εντοπισμός της συχνότητας και της διάρκειας των περιόδων χαμηλών ταχυτήτων και άπνοιας (δηλ. " $V \leq V_c$ ") οπότε και η ανεμογεννήτρια βρίσκεται εκτός λειτουργίας. Στις χρονικές αυτές περιόδους πρέπει να αναζητήσουμε άλλες πηγές ενέργειας, γεγονός που επηρεάζει ταυτόχρονα και την επιλογή και καταπόνηση των συσσωρευτών αποθήκευσης ενέργειας.

Όπως καταλαβαίνουμε για να μπορέσουμε να καταλήξουμε σε ασφαλή αποτελέσματα απαιτούνται μακροχρόνιες και αναλυτικές μετρήσεις. Όμως το σημαντικό κόστος μετρήσεων αλλά και η αναπόφευκτη καθυστέρηση σε συνδυασμό με την έλλειψη κατά κανόνα μακροχρόνιων μετρήσεων στις συγκεκριμένες «ενδιαφέρουσες» περιοχές, μας υποχρεώνει να καταφύγουμε σε ημιεμπειρικά αναλυτικά μοντέλα, που περιγράφουν το τοπικό αιολικό δυναμικό μιας περιοχής βάσει μικρού αριθμού παραμέτρων. Οι χρησιμοποιούμενες αυτές σχέσεις πέρα από τα προβλήματα ακρίβειας που παρουσιάζουν, εμφανίζουν και επιπλέον προβλήματα αξιοπιστίας σε τοπικό επίπεδο για μια συγκεκριμένη περιοχή.

Οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενες **αναλυτικές διανομές** πιθανότητας είναι η **διανομή "Weibull"** και η **διανομή "Rayleigh"**.

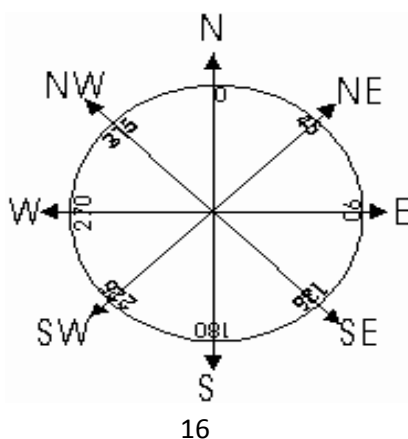
Η διανομή που προτάθηκε από τον Weibull περιγράφει ικανοποιητικά τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά στις περιοχές της εύκρατης ζώνης και για ύψος μέχρι 100 μέτρα από το έδαφος. Η εν λόγω διανομή προσδιορίζει την πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται σε μια περιοχή της ταχύτητας 'V' βάσει **δύο μόνο παραμέτρων**, την παράμετρο 'C' (σε m/s) και την παράμετρο 'k' (καθαρός αριθμός). Τέλος είναι πολύ σημαντικό να είναι γνωστές οι κύριες διευθύνσεις που πνέουν οι άνεμοι γιατί βάση αυτών γίνεται ο προσανατολισμός των ανεμογεννητριών. Οι συχνές και απότομες μεταβολές της διεύθυνσης μειώνουν την απόδοση των ανεμογεννητριών, γιατί δεν είναι δυνατή η ακαριαία προσαρμογή τους στις νέες διευθύνσεις.

2.5 Ταξινόμηση των Ανέμων

Η διεύθυνση του ανέμου σε μια θέση δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται συνεχώς, καθορίζεται δε με βάση το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος, σε σχέση με την θέση μέτρησης. Παρακάτω δίνεται η ονοματολογία των ανέμων.

Κατευθύνσεις Ανεμολογίου	Ελληνικός Συμβολισμός	Διεθνής Συμβολισμός
Βορράς	B	N
Ανατολή	A	E
Νότος	N	S
Δύση	Δ	W
Βορειανατολικά	BA	NE
Νοτιοανατολικά	NA	SE
Νοτιοδυτικά	ΝΔ	SW
Βορειοδυτικά	NB	NW

Η Διεύθυνση του ανέμου είναι συνάρτηση του αληθούς Βορρά και μετριέται κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού, σε μοίρες ή σε τιμές που αντιστοιχούν σε ολόκληρο κυκλικό τομέα.



Κατά την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, χαρακτηρίζουμε σαν κύρια διεύθυνση του ανέμου κάθε διεύθυνση η οποία συνεισφέρει τουλάχιστον 10% στη συνολική διαθέσιμη αιολική ισχύ. Οι κύριες διευθύνσεις του ανέμου είναι διαφορετικές για κάθε τοποθεσία, δεδομένου ότι ο προσανατολισμός των λόφων, των βουνών, των κοιλάδων, η υπάρχουσα βλάστηση καθώς και η ύπαρξη κτιρίων ανάμεσα στα άλλα επηρεάζουν τις κύριες διευθύνσεις του ανέμου.

Επικρατούσα διεύθυνση ονομάζουμε: Την διεύθυνση του ανέμου, η οποία στην υπό μελέτη περιοχή έχει την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης. Μεταβάλλεται συνήθως με την εποχή του χρόνου.

Προσήνεμη περιοχή ονομάζουμε: Ο χώρος μεταξύ του σημείου στο οποίο θέλουμε να εγκαταστήσουμε μια ανεμογεννήτρια και της επικρατούσας διεύθυνσης, μας προσδιορίζει την προσήνεμη περιοχή.

Υπήνεμη περιοχή ονομάζουμε: Την περιοχή η οποία είναι προστατευμένη από τον άνεμο (περιοχές που εκτίθενται σε ανέμους με ελάχιστη συχνότητα εμφάνισης) και είναι συχνά αντίθετη της προσήνεμης περιοχής.

Στον Ελλαδικό χώρο η επικρατούσα κατά κανόνα διεύθυνση των ανέμων είναι η βόρεια και βορειανατολική, ιδιαίτερα στην περιοχή του Αιγαίου, χωρίς βέβαια να αποκλείονται περιπτώσεις σε περιοχές με διαφορετική επικρατούσα διεύθυνση.

Με βάση τις παρατηρήσεις της διεύθυνσης του ανέμου μπορούμε να χαράξουμε σε πολικό διάγραμμα (ή ανεμολόγιο ροζέτα) τις συχνότητες (%), σε σχέση με το σύνολο των παρατηρήσεων που διαθέτουμε, ανάλογα με το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος. Στο ίδιο διάγραμμα είναι δυνατόν να παρασταθεί και η μέση ταχύτητα του ανέμου κατά την εκάστοτε διεύθυνση. Επιπλέον, για μεγαλύτερη ακρίβεια είναι δυνατός ο υπό κλίμακα σχεδιασμός, ώστε να εμφανίζονται και τα διαστήματα έντασης του ανέμου για κάθε διεύθυνση. Ανάλογα με την επιθυμητή ακρίβεια χρησιμοποιούνται 8.16 ή 32 τομείς, όπου και καθορίζονται οι κυκλικοί τομείς για κάθε μια από τις διευθύνσεις. Τέλος, στο κέντρο του πολικού διαγράμματος και σε ειδικό κύκλο κατάλληλης ακτίνας καταγράφεται το ποσοστό της νηνεμίας.

2.6 Μετρητικά όργανα ανέμου

2.6.1 Ανεμόμετρο

Για την μέτρηση του ανέμου και την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού χρησιμοποιούνται ειδικές συσκευές (**ανεμόμετρα**) που μετρούν την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου. Συμπληρωματικά χρησιμοποιούνται θερμόμετρα και βαρόμετρα για την ατμοσφαιρική πίεση.

Το **ανεμόμετρο** χρησιμοποιείται για να θέσει τα όρια λειτουργίας της ανεμογεννήτριας ,δηλαδή πότε θα μπει σε παραγωγή και πότε θα σταματήσει για ασφάλεια(25m), καθώς και για την εκτέλεση αυτόματων λειτουργιών όπως είναι η περιστροφή της νασέλλα προς την διεύθυνση του ανέμου, απαλοιφή διαφόρων σφαλμάτων, και έλεγχος της καμπύλης ισχύος της ανεμογεννήτριας. Τα πλέον απλά ανεμόμετρα είναι τα ανεμόμετρα ταχύτητας , στα οποία η ένταση του ανέμου προκύπτει από την ταχύτητα περιστροφής που επιβάλει ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του οργάνου. Τα ανεμόμετρα αυτού του τύπου είναι αθροιστικά και μετρούν μέσες τιμές της έντασης του ανέμου. Για την καταγραφή των στιγμιαίων τιμών της έντασης του ανέμου χρησιμοποιούνται τα ανεμόμετρα πίεσης, στα οποία η ένταση προσδιορίζεται από την πίεση που ασκεί ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του οργάνου.

Από τα κλασσικά ανεμόμετρα ταχύτητας τα πλέον γνωστά είναι τα κυπελλοφόρα ανεμόμετρα. Αυτά αποτελούνται από ένα κατακόρυφο άξονα στην κορυφή του οποίου υπάρχουν τρεις ή τέσσερις οριζόντιοι βραχίονες συμμετρικά τοποθετημένοι. Στα άκρα κάθε βραχίονα είναι τοποθετημένο ένα ημισφαιρικό ή κωνικό κύπελλο, σε τρόπο ώστε η διαμετρική τομή του να είναι κατακόρυφη.

2.6.2 Ανεμοδείκτης

Ο **ανεμοδείκτης** αφορά την περιστροφή της νασέλλα προς την διεύθυνση του ανέμου. Αποτελείται από έναν κατακόρυφο άξονα στο πάνω άκρο του οποίου περιστρέφεται ένας οριζόντιος άξονας με ένα ή δύο ελάσματα στο ένα άκρο του. Όταν η πίεση που ασκεί ο άνεμος εξισορροπηθεί και από τις δύο πλευρές του ελάσματος του ανεμοδείκτη, αυτός έχει στραφεί έτσι ώστε ο δείκτης του ανεμοδείκτη να διευθύνεται προς τη μεριά από την οποία φυσάει ο άνεμος . Ένας ακριβής ανεμοδείκτης έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

- Περιστρέφεται γύρω από τον κατακόρυφο άξονα του με ελάχιστες τριβές.
- Δεν παρουσιάζει τάσεις κλίσεως προς μια διεύθυνση. Αυτό επιτυγχάνεται με την ακριβή αντιστάθμιση των ελασμάτων με τη χρήση αντίβαρου.
- Εμφανίζει τη μέγιστη ροπή στρέψης για δεδομένη αλλαγή της διεύθυνσης του ανέμου σε σχέση με την αδράνεια του οργάνου.
- Παρουσιάζει γρήγορη απόκριση στις διαρκείς διακυμάνσεις της διεύθυνσης του ανέμου.

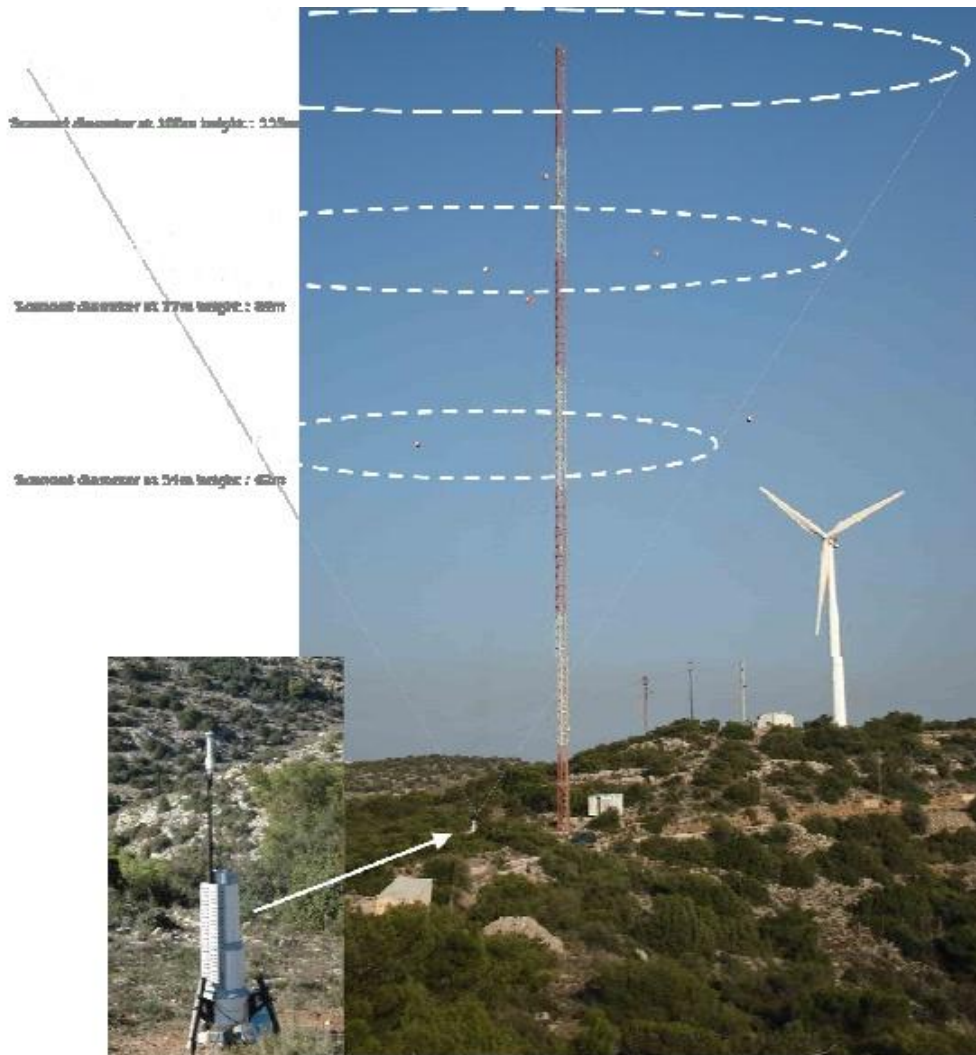
Για κλιματολογικούς και πρακτικούς λόγους έχει συμφωνηθεί ότι σε μια ομοιογενή περιοχή ο ανεμογράφος πρέπει να τοποθετείται σε ύψος 10 μέτρων από το έδαφος, ώστε να επιτυγχάνεται μια αντιπροσωπευτική καταγραφή του αιολικού δυναμικού της περιοχής. Σε μία τοποθεσία με ομοιόμορφη κατανομή εμποδίων με μέσο ύψος εμποδίων «H», το όργανο πρέπει να τοποθετηθεί σε ύψος «10+H» μέτρων από το έδαφος, όπου $H_{\max} \leq 12\text{m}$. Στην περίπτωση ύπαρξης εμποδίων γύρω από το όργανο πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν στην εύρεση της βέλτιστης θέσης του οργάνου οι διαστάσεις των εμποδίων, εφ' όσον είναι απαραίτητο να γίνουν μετρήσεις στην περιοχή αυτή.

2.7 Νέα όργανα μέτρησης

2.7.1 LIDAR (light detection and ranging)

Το σύστημα LIDAR (light detection and ranging) ένα νέο τεχνολογικό σύστημα αιχμής για τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου σε μεγάλα ύψη και σε κάθε είδους καιρικές συνθήκες. Πρόκειται για μια πρωτοποριακή υπηρεσία που επιλύει το πρόβλημα της εγκατάστασης ιστών σε δυσπρόσιτες περιοχές, όπου το κόστος είναι υψηλό και οι συνθήκες εργασίας δυσμενείς.

Συγκεκριμένα το σύστημα LIDAR μετρά την ταχύτητα του αέρα έως και 150 μέτρα από το έδαφος, εκπέμποντας καθ' ύψος μία δέσμη laser. Διαθέτει ειδικές προδιαγραφές για διαρκή και αδιάλειπτη λειτουργία σε αντίξοες καιρικές συνθήκες, καθώς και ενσωματωμένες μονάδες υψηλής τεχνολογίας για την ανάλυση και επεξεργασία του σήματος. Η λειτουργία του συστήματος είναι πλήρως αυτοματοποιημένη, ενώ μπορεί να συνδεθεί και με δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.



Σήμερα, οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες προσεγγίζουν τα 100 μέτρα σε ύψος πλήμνης. Η ακριβής μέτρηση της ταχύτητας του αέρα είναι εξαιρετικά σημαντική για την εκτίμηση της ενεργειακής τους απόδοσης, αλλά και για τον προσδιορισμό του πεδίου ροής της ταχύτητας. Το LIDAR έχει παρουσιάσει αξιόπιστα και ακριβή αποτελέσματα στις συγκριτικές δοκιμές της ταχύτητας του αέρα στο Αιολικό Πάρκο του ΚΑΠΕ.



2.7.2 SODAR(Sound Detection And Ranging)

Το σύστημα SODAR (Sound Detection And Ranging) ή ο ακουστικός ηχοβολητής είναι ένα πολύ χρήσιμο όργανο για τη μελέτη των κατώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας επειδή μπορεί να επιστρέψει τις πολύτιμες πληροφορίες για τις διαδικασίες κλίμακας μικροϋπολογιστών στο στρώμα ορίου. Το σύστημα Sodar μπορεί συνεχώς και αξιόπιστα να χρησιμοποιηθεί για να μετρήσει τα κάθετα σχεδιαγράμματα της ταχύτητας ανέμου και της κατεύθυνσης, των κάθετων κινήσεων, της αναταραχής και της θερμικής δομής στο χαμηλότερο μέρος της τροπόσφαιρας. Εν συντομία, η μέτρηση των προαναφερθεισών ποσοτήτων ολοκληρώνεται με την εκπομπή ενός ακουστικού σφυγμού στην ακουστική ζώνη και την ανάλυση της αναδρομικά διασκορπισμένης ηχούς. Η χρονική καθυστέρηση της ηχούς χρησιμοποιείται για να μετρήσει τις ποσότητες ως λειτουργία του ύψους. Ο McAllister (1969) αρχικά παρουσίασε πειραματικά ότι οι ακουστικές ηχώ θα μπορούσαν να ληφθούν αξιόπιστα μέχρι τα ύψη αρκετών μέτρων.

Οι παραλλαγές στον ακουστικό δείκτη διάθλασης στην ατμόσφαιρα, που παράγεται λόγω των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας, της πίεσης ατμού και της ταχύτητας ανέμου, είναι πολύ μεγάλες όταν συγκρίνονται με τις παραλλαγές που παράγονται στα μικροκύματα, τα οποία χρησιμοποιούνται στο ραντάρ. Αυτό περιορίζει το εύρος του συστήματος Sodar χαρακτηριστικά στο χαμηλότερο 1 με 2km της ατμόσφαιρας. Η άμεση και ισχυρή αλληλεπίδραση των ηχητικών κυμάτων με τη μικροδομή της ατμόσφαιρας, το χαμηλότερο κόστος των κεραιών και την ευκολία της εγκατάστασης είναι οι παράγοντες που κάνουν τα sodars τα χρήσιμα όργανα για τη μελέτη των χαμηλότερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας.



2.8 Σύγκριση των συστημάτων LIDAR και SODAR

Πλεονεκτήματα

LIDAR	SODAR
Ακρίβεια μέτρησης	Κόστος
Υψηλός συντελ. συσχέτισης (>0.97)	Ωριμότερη τεχνολογία
Ευκολία τοποθέτησης	Ταυτόχρονη μέτρηση ταχύτητας σε πολλά ύψη
Ελάχιστη απόρριψη δεδομένων (κυρίως σε άπνοιες)	
Μέγεθος μετρούμενης επιφάνειας αέρα ανάλογο της διαμέτρου της Α/Γ	

Μειονεκτήματα

LIDAR	SODAR
Κόστος	Χαμηλός συντελεστής συσχέτισης
	Αδυναμία μέτρησης >18m/s
	Ευαίσθητο στον θόρυβο περιβάλλοντος - ανακλάσεις
	Τοποθέτηση >200μ από εμπόδια



2.9 Νέα δυναμική – Προοπτικές

- Αναγωγή μετρήσεων σε μεγαλύτερα ύψη
 - Καινούργιες μέθοδοι μέτρησης πεδίου ροής εντός Αιολικού Πάρκου (π.χ.: Ιστός αναφοράς + lidar σε διάφορες θέσεις)
 - Αντιπροσωπευτικότερος τρόπος μέτρησης δεδομένου του μεγέθους των νέων Α/Γ
- αλλά και**
- Τεχνολογίες ανώριμες (ακόμα) για αδιάλειπτη χρήση χωρίς συνεχή επίβλεψη

Συμπέρασμα

Τα συστήματα **SODAR** και (κυρίως) **LIDAR**

- Αναμένεται σε λίγα χρόνια να δώσουν λύση στο πρόβλημα της μέτρησης του αέρα στα (διαρκώς αυξανόμενα) ύψη των Α/Γ
- Θα συνεισφέρουν στην καλύτερη γνώση του πεδίου ταχυτήτων σε πολλές θέσεις εντός Α/Π, άρα και στην βελτιστοποίηση λειτουργίας τους
- Συνεχής παρακολούθηση και επιβεβαίωση της ενεργειακής απόδοσης Α/Π (σε σχέση με την εγγυημένη), καθίσταται πλέον συνήθης πρακτική

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Το Προγραμμα Windrose

3.1 Εισαγωγή

Το *WindRose* είναι ένα πρόγραμμα για την ανάλυση ανεμολογικών - μετεωρολογικών δεδομένων (ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου, τύρβη, θερμοκρασία, ηλιακή ακτινοβολία). Το *WindRose* δεν είναι μία αυτόνομη εφαρμογή αλλά ένα πρόσθετο πρόγραμμα (*Add-in*) στο Microsoft Excel[®] 2000/XP/2003 για Windows 9x/ME/NT4/2000/XP. Τα αποτελέσματα κάθε ανάλυσης είναι στα ελληνικά ή στα αγγλικά και τοποθετούνται μέσα σε ένα φύλλο εργασίας (spreadsheet) σε μορφή γραφημάτων και αριθμητικών δεδομένων που μπορεί στην συνέχεια να χρησιμοποιηθεί όπως ένα οποιοδήποτε αρχείο του Excel.

Οι αναλύσεις των δεδομένων γίνονται βάσει των υπάρχοντων διεθνών standards (IEC, MEASNET) παρέχοντας συμβατότητα και κύρος στα αποτελέσματα.

Χαρακτηριστικά

- υπολογίζει τα πλήρη στατιστικά των ανεμολογικών δεδομένων, τους συντελεστές της κατανομής Weibull, ανά διεύθυνση και συνολικά, καθώς και τα ροδογράμματα ως προς τον χρόνο και την ενέργεια
- πραγματοποιεί συσχετίσεις ταχύτητας, διεύθυνσης και τύρβης μεταξύ 2 ιστών και προσομοιώνει ελλειπή δεδομένα, βάση των υπολογισμένων συσχετίσεων με την περιοχή αναφοράς
- υποστηρίζει ιστούς με πολλαπλά (καθ' ύψος) ανεμόμετρα και ανεμοδείκτες, υπολογίζοντας ακριβέστερα την ταχύτητα του αέρα σε μεγαλύτερα ύψη
- εμπεριέχει καμπύλες ισχύος ανεμογεννητριών και υπολογίζει την αναμενόμενη παραγόμενη ενέργεια
- λαμβάνει υπόψη την μεταβολή της πυκνότητας με το υψόμετρο

- δέχεται δεδομένα με επιλέξιμο χρονικό βήμα (10λεπτο, ώρα, κλπ)
- δέχεται έως 1000 αρχεία ASCII γενικού format με τις ημερομηνίες σε ευρωπαϊκό ή αμερικάνικο τύπο και μπορεί ως εκ τούτου να χρησιμοποιηθεί για να επεξεργαστεί αρχεία από διάφορους data loggers (όπως: ΣΤΥΛΙΤΗΣ, NRG, NOMAD, CAMPBELL, κλπ)
- παράγει μηνιαία γραφήματα με την κατανομή της ταχύτητας, της διεύθυνσης, της ενέργειας A/Γς, της θερμοκρασίας και της ηλιακής ακτινοβολίας, ανά ώρα της ημέρας
- σε περίπτωση μετρήσεων με συστηματικό σφάλμα, υπάρχει η δυνατότητα διόρθωσης (βάσει του τύπου: $\alpha \cdot x + \beta$), όλων των μεγεθών και για κάθε αρχείο ξεχωριστά

Πως λειτουργεί;

Τα δεδομένα που απαιτούνται για την εκτέλεση του προγράμματος είναι αρχεία ASCII με τουλάχιστον 5 στήλες δεδομένων:

- ταχύτητα ανέμου
- διεύθυνση ανέμου
- τυπική απόκλιση (standard deviation) ταχύτητας ανέμου
- ώρα
- ημερομηνία.

Επίσης (προαιρετικά), αν υπάρχουν στα αρχεία αυτά και στήλες με:

- μέγιστη τιμή της ταχύτητας (ριπή)
- θερμοκρασία
- ηλιακή ακτινοβολία

τότε λαμβάνονται υπόψη και υπολογίζονται τα ανάλογα μεγέθη.

Ακόμα, υπάρχει η δυνατότητα της προσαρμογής του *WindRose* ώστε να διαβάζει αρχεία άλλης μορφής, μετά από προηγούμενη συνεννόηση.

Η φιλοσοφία του προγράμματος είναι η παροχή ενός εργαλείου που παράγει μεν τα απαραίτητα στοιχεία, αλλά που ο καθένας μπορεί να το προσαρμόσει στις απαιτήσεις του. (π.χ. μπορεί να προσθέσει εικόνες, να αναδιατάξει όλα τα γραφήματα, να τους αλλάξει χρώματα και διαστάσεις, να αλλάξει το κείμενο, να δημιουργήσει συνδεδεμένα αρχεία Word (με embedded links) που ενημερώνονται αυτομάτως μετά από κάθε εκτέλεση του *WindRose*, να δημιουργήσει ένα άλλο spreadsheet και να δουλεύει στο εξής με αυτό, κ.ο.κ.).

Το *WindRose.XLS* αποτελείται από τα εξής 25 επί μέρους φύλλα εργασίας (*worksheets*):

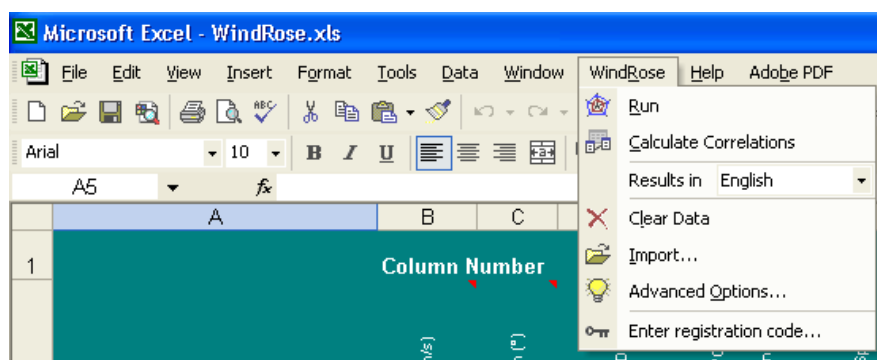
<i>Input</i>	<i>UhourT</i>	<i>DIRhourG</i>
<i>PowerCurve</i>	<i>TimeCharts</i>	<i>DIRhourT</i>
<i>Results</i>	<i>3D</i>	<i>TempG</i>
<i>WindCorr</i>	<i>12diurnal</i>	<i>TempT</i>
<i>Tables</i>	<i>12pie</i>	<i>SradG</i>
<i>Weibull</i>	<i>BarCharts</i>	<i>SradT</i>
<i>Upolar</i>	<i>WTprodG</i>	<i>TempData</i>
<i>UhourG</i>	<i>WTprodT</i>	<i>Air-Density</i>
<i>WindRose</i>		

Δύο φύλλα εργασίας (*Input* και *PowerCurve*) χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή όλων των απαραίτητων παραμέτρων που χρειάζονται για την εκτέλεση του προγράμματος. Όλα τα υπόλοιπα φύλλα χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων με μορφή γραφημάτων ή/και πινάκων (εκτός του *WindCorr* που χρησιμοποιείται ξεχωριστά στις συσχετίσεις). Στην συνέχεια αναφέρεται αναλυτικά η δομή και το περιεχόμενο όλων των φύλλων εργασίας, ξεκινώντας από εκείνα που περιέχουν τις προς εισαγωγή παραμέτρους (*Input*, *PowerCurve*).

3.2 Εγκατάσταση

Η εγκατάσταση του προγράμματος είναι απλή (θεωρούμε ότι το Excel είναι ήδη εγκατεστημένο και λειτουργεί σωστά) και πραγματοποιείται από το παρεχόμενο πρόγραμμα *WindRose_Setup.exe*, το οποίο αναλαμβάνει την εγκατάσταση όλων των απαραίτητων αρχείων. Συνιστάται, η απεγκατάσταση των παλαιότερων εκδόσεων, πριν την εγκατάσταση της καινούργιας. Στο τέλος της εγκατάστασης, προστίθεται στην λίστα των προγραμμάτων (*Start - Programs*) η επιλογή *WindRose*, απ' όπου μπορεί κανείς να ανοίξει το βασικό αρχείο του προγράμματος που είναι το φύλλο εργασίας *WindRose.XLS*. Τέλος, στο βασικό menu του Excel υπάρχει πλέον και η επιλογή *WindRose*, απ' όπου εκτελείται το πρόγραμμα.

Η απεγκατάσταση του προγράμματος είναι το ίδιο εύκολη. Από το *Control Panel* (Πίνακας Ελέγχου) επιλέγουμε *Add/Remove Programs* (Προσθαφαίρεση Προγραμμάτων) και εκεί τσεκάρουμε το *WindRose*.



Τρόπος εκτέλεσης του προγράμματος, μέσα από το Excel.

Σε περίπτωση που το *WindRose.XLS* δεν ανοίγει, παρουσιάζοντας μήνυμα ασφαλείας (*Security Warning*), αυτό οφείλεται στα macros που είναι ενσωματωμένα στο αρχείο αυτό. Πάντως τα macros αυτά είναι ασφαλή, φέρουν ψηφιακή υπογραφή (digital signature: *WindRose*) και πρέπει να συμπεριληφθούν στα *Trusted Sources* του Excel, έτσι ώστε να μην ξαναεμφανιστεί το μήνυμα αυτό (βλέπε Παράρτημα: *ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ*).

1η εκτέλεση του προγράμματος

Για την ευκολότερη κατανόηση του προγράμματος και των δυνατοτήτων του, παρέχονται τρία ASCII αρχεία (*GenASCII.TXT*, *ST-FLASH.TXT* και *NOMAD.TXT*) με έτοιμα ανεμολογικά δεδομένα. Το 1^ο είναι γενικού τύπου, το 2^ο προέρχεται από ένα Data Logger τύπου Στυλίτη της εταιρίας *SYMMETRON* και το 3^ο προέρχεται από Data Logger τύπου *NOMAD* της εταιρίας *SECONDWIND*. Επίσης, το φύλλο *Input* είναι κατάλληλα συμπληρωμένο.

Έτσι, ο χρήστης δεν έχει παρά να επιλέξει από το menu του Excel το *WindRose*, και *Run* και ακολούθως θα συμπληρωθούν τα υπόλοιπα φύλλα, το περιεχόμενο των οποίων περιγράφεται παρακάτω. Η εξέλιξη της επεξεργασίας εμφανίζεται στο *status bar* του Excel.

3.3 Καινούργια χαρακτηριστικά

Σε σχέση με παλαιότερες εκδόσεις του *WindRose*, η παρούσα έκδοση του προγράμματος ενσωματώνει μία σειρά από νέα χαρακτηριστικά, τα οποία παρατίθενται παρακάτω (με την αντίστροφη χρονική σειρά που ενσωματώθηκαν). Η εισαγωγή των παραμέτρων των φύλλων εργασίας που είχαν δημιουργηθεί με παλαιότερες εκδόσεις του *WindRose*, στο καινούργιο *WindRose.XLS* γίνεται με την βοήθεια της επιλογής *Import...* από το menu του *WindRose* (βλέπε παρακάτω).

Δυνατότητα επιλογής των παραμέτρων του προγράμματος.

Μία σειρά από χαρακτηριστικές παραμέτρους του προγράμματος μπορούν πλέον να τροποποιηθούν από τον χρήστη. Αυτό πραγματοποιείται μέσα από το Excel, στο menu του *WindRose* με την επιλογή *Advanced Options...* Ενδεικτικά αναφέρονται: τα αποδεκτά όρια τιμών για όλα τα μετρούμενα μεγέθη (ταχύτητα, διεύθυνση, θερμοκρασία, κλπ), τα όρια ανίχνευσης ακρότατων τιμών (*spikes*), τα όρια ανίχνευσης μη αποδεκτών καθ' ύψος προφίλ ταχυτήτων, η ελάχιστη πληρότητα ανά μήνα για τον υπολογισμό της ταχύτητας και της παραγωγής Α/Γ σε 12μηνιαία βάση, κ.ά..

Υπολογισμός της μέσης ετήσιας ταχύτητας και της ετήσιας εκτιμώμενης παραγωγής Α/Γ.

Είναι ευρέως αποδεκτό, η χρονική περίοδος αναφοράς σε εφαρμογές αιολικής ενέργειας, να είναι το έτος. Έτσι, όταν τα δεδομένα υπερβαίνουν τους 12 μήνες, τότε η μέση τιμή υπολογίζεται κατ' αρχήν για κάθε ένα μήνα (π.χ. για όλους τους Ιανουάριους) και στην συνέχεια προκύπτει η μέση ετήσια τιμή, από τις 12 μέσες μηνιαίες τιμές. Έτσι, στην περίπτωση ανεμολογικών δεδομένων διάρκειας π.χ. 15 μηνών (με 2 καλοκαίρια) οι 3 επιπλέον μήνες λαμβάνονται υπόψη χωρίς να προκαλέσουν κάποια εποχιακή επίδραση στην μέση ετήσια τιμή. Ομοίως, η ετήσια παραγωγή της Α/Γς προκύπτει από τις 12 μέσες μηνιαίες κατανομές ταχύτητας.

Υπολογισμός ανά μήνα της κατανομής δεδομένων και της κατανομής Weibull.

Συχνά παρουσιάζει ενδιαφέρον η μεταβολή της κατανομής των δεδομένων (γεγονότα/ταχύτητα) ανά μήνα. Στην παρούσα έκδοση αυτό είναι πλέον δυνατό, καθώς επίσης και ο ανά μήνα υπολογισμός των

συντελεστών της κατανομής Weibull.

Δυνατότητα επεξεργασίας ενός Ιστού με πολλαπλά ανεμόμετρα - ανεμοδείκτες.

Οι παλαιότερες εκδόσεις του *WindRose* υποστήριζαν ανεμολογικά δεδομένα από ένα μόνο ζευγάρι ανεμόμετρου και ανεμοδείκτη. Η επεξεργασία ενός ιστού με όλα τα ανεμόμετρά του και τους ανεμοδείκτες του, εκτός από την ευκολία χρήσης που παρέχει, δίνει την δυνατότητα ακριβέστερης εκτίμησης της ταχύτητας στο ύψος της πλήμνης της Α/Γ με αποτέλεσμα μεγαλύτερη ακρίβεια στην εκτίμηση της ενεργειακής παραγωγής μιας Α/Γ.

Βελτίωση των συσχετίσεων μεταξύ 2 περιοχών.

Κατά την διάρκεια των συσχετίσεων ανεμολογικών δεδομένων από 2 (γειτονικές) περιοχές παρέχεται πλέον η δυνατότητα επιλογής της μεθόδου συσχέτισης (π.χ. $y=ax+b$ ή $y=ax$). Επίσης, παρέχεται πλέον η δυνατότητα μετατροπής των δεδομένων σε ωριαία, δίωρα, εξάωρα, δωδεκάωρα και ημερήσια, για καλύτερη εξάλειψη των τοπικών τυχαιοτήτων. Τέλος, η περιοχή αναφοράς δεν χρειάζεται να είναι κατ' ανάγκη αυτή με τα περισσότερα δεδομένα.

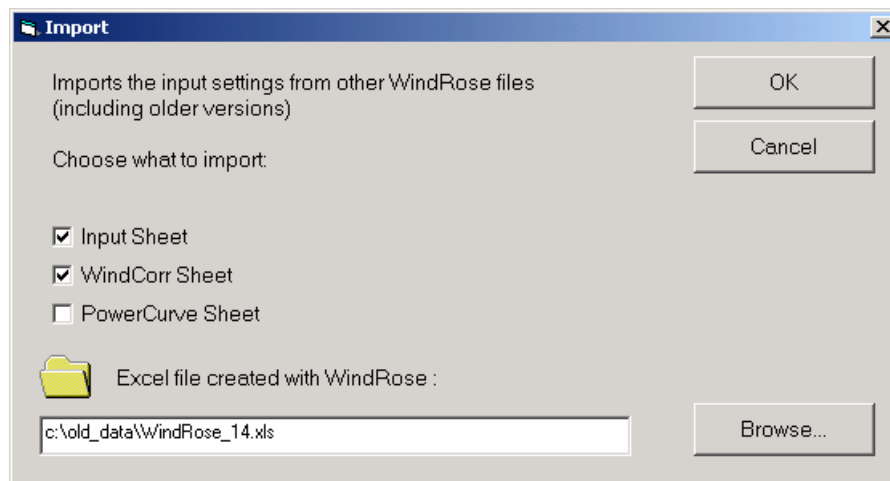
Παραγωγή των ανά μήνα και έτος αναλυτικών Πινάκων & Διαγραμμάτων

Στην περίπτωση όπου η χρονική διάρκεια των δεδομένων υπερέβαινε το ένα έτος, στις προηγούμενες εκδόσεις ορισμένα διαγράμματα και πίνακες έπρεπε να δημιουργηθούν ξεχωριστά ανά έτος, με ξεχωριστά τρεξίματα του *WindRose*. Τώρα, με το ίδιο τρέξιμο, δημιουργούνται αυτομάτως όλα τα διαγράμματα και οι πίνακες ανά μήνα κάθε έτους. Πρόκειται για τα φύλλα εργασίας: *UhourG*, *UhourT*, *DIRhourG*, *DIRhourT*, *WtprodG*, *WtprodT*, *TempG*, *TempT*, *SradG*, *SRadT* Τέλος, παρατίθεται σε πίνακες η ανά μήνα και έτος πληρότητα των δεδομένων, η μέση τιμή, η αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ, καθώς και η μέγιστη ταχύτητα και ριπή.

Εισαγωγή παραμέτρων από άλλα αρχεία WindRose

Όπως προαναφέρθηκε, πραγματοποιείται μέσω της επιλογής *Import...* από το menu του *WindRose*. Οι επιλογές που εμφανίζονται φαίνονται στο παρακάτω σχήμα. Σημειώνεται ότι εισάγονται μόνο οι

παράμετροι της επεξεργασίας και όχι τα αποτελέσματα αυτής. Έτσι, πρέπει να επανεκτελεστεί το πρόγραμμα για να ανανεωθούν τα παραγόμενα φύλλα.



Επιλογή της μεθόδου υπολογισμού της πυκνότητας του αέρα .

Επειδή ο υπολογισμός της πυκνότητας του αέρα στο υψόμετρο των μετρήσεων είναι κρίσιμος για την εκτίμηση της ενέργειας, προσετέθη μία ακόμα μέθοδος καθώς και η δυνατότητα της εισαγωγής συγκεκριμένων τιμών ανά μήνα (βλέπε κεφάλαιο *ΆΛΛΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ* - § Διόρθωση της πυκνότητας με το υψόμετρο).

Εγκατάσταση μέσω προγράμματος & αλλαγή του *Add-In* από *XLA* σε *COM+*

Με την έκδοση του Office 2000 η Microsoft εισήγαγε ένα καινούργιο τρόπο λειτουργίας των επιπρόσθετων προγραμμάτων (*Add-ins*) από τρίτους κατασκευαστές στα προγράμματα του Office. Η «τεχνολογία» αυτή υιοθετήθηκε και για το *WindRose*. Έτσι, δεν παρατηρούνται πολλαπλά μενού *WindRose* στο βασικό μενού του Excel, σε περίπτωση ταυτόχρονου ανοίγματος πολλών φύλλων που δημιουργήθηκαν με το *WindRose*.

Λεπτομερής έλεγχος των δεδομένων με γραφική απεικόνιση

Μετά το τέλος κάθε επεξεργασίας εμφανίζονται σε ένα γράφημα όλα τα πρωτογενή δεδομένα. Παρέχεται η δυνατότητα *Zoom* και *Panning* (κύλιση) έτσι ώστε να απεικονιστεί ένα οποιοδήποτε υποσύνολο των

δεδομένων .

Μηνιαία γραφήματα με την μέση ωριαία διεύθυνση του ανέμου

Πρόκειται για γραφήματα που απεικονίζουν την εξέλιξη της μέσης ωριαίας διεύθυνσης, με διαφορετική σήμανση ανάλογα την ταχύτητα του ανέμου (φύλλα: *DIRhourG – DIRhourT*)

12 μηνιαία πολικά γραφήματα της ταχύτητας του αέρα

Πρόκειται για γραφήματα που απεικονίζουν την μέση και την μέγιστη τιμή της ταχύτητας του ανέμου ανά διεύθυνση (φύλλο: *UpolarG*)

Συσχέτιση δεδομένων – Εκτίμηση δεδομένων βάση άλλου σταθμού μέτρησης

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του *WindRose* είναι η δυνατότητα συσχέτισης των δεδομένων δύο σταθμών. Χρησιμοποιείται επίσης και για την εκτίμηση δεδομένων μεταξύ γειτονικών σταθμών, στην περίπτωση που ο ένας παρουσιάζει ελλιπή δεδομένα (φύλλο: *WindCorr*).

Επιλογή του τρόπου υπολογισμού της κατανομής Weibull

Για την καλύτερη προσέγγιση της κατανομής των δεδομένων από την κατανομή Weibull, προσετέθη μία ακόμα μέθοδος (*Weibull paper*) υπολογισμού των παραμέτρων (k , C) της κατανομής, η οποία λαμβάνει υπόψη μόνο ένα συγκεκριμένο διάστημα.

3.4 Εισαγωγή παραμέτρων

3.4.1 Input

Το φύλλο *Input* αποτελείται από 4 πίνακες. Ο πρώτος είναι πίνακας με τα αρχεία προς επεξεργασία. Ο δεύτερος περιλαμβάνει συντελεστές και μεταβλητές που χαρακτηρίζουν την επεξεργασία των δεδομένων. Ο τρίτος συμπληρώνεται προαιρετικά και περιλαμβάνει τους συντελεστές διόρθωσης των ανεμολογικών μεγεθών προς επεξεργασία. Ο τέταρτος αφορά την διόρθωση της πυκνότητας του αέρα με το υψόμετρο.

Αναλυτικά:

Ο πρώτος πίνακας περιλαμβάνει τα ονόματα των αρχείων με τα ανεμολογικά δεδομένα καθώς και τους αριθμούς των στηλών για την ταχύτητα (σε m/s), την διεύθυνση (σε μοίρες), την τυπική απόκλιση της ταχύτητας (σε m/s), την θερμοκρασία (σε βαθμούς Κελσίου), την ηλιακή ακτινοβολία (σε W/m²), την ώρα και την ημερομηνία. Τέλος, υπάρχει ο αριθμός των γραμμών που δεν θα ληφθούν υπόψη στην αρχή κάθε αρχείου (σχόλια, κλπ). Τα αρχεία είναι προτιμότερο να είναι τοποθετημένα με χρονική σειρά (αρχίζοντας από αυτά με τις παλαιότερες μετρήσεις), επειδή αν διαπιστωθεί ότι τα δεδομένα δεν είναι χρονικά ταξινομημένα, τότε απαιτείται επιπλέον μνήμη και χρόνος για να ταξινομηθούν (αυτό γίνεται αυτόματα).

File Names	Column Number									
	Wind Speed (m/s)	Wind Direction (°)	Wind Speed SDV	Temperature (°C)	Solar Radiation (W/m ²)	Gust of Wind Speed [m/s]	Time	Date	Lines to skip	
c:\windrose\site1\winddata1.txt	5	9	6			4	2	1	15	
c:\windrose\site1\winddata2.txt	5	9	6			4	2	1	15	
c:\windrose\site1\winddata5.txt	5	9	6			4	2	1	15	
c:\windrose\site1\oldLogger1.dat	1	2	4			3	10	12	0	
c:\windrose\site1\winddata1.txt	5	9	6			4	2	1	15	
c:\windrose\site1\testcase.new	1	20	2			19	8	12	0	

Υπόδειγμα συμπλήρωσης του πίνακα με τα προς επεξεργασία αρχεία
(φύλλο Input 1^{ος} Πίνακας).

Η αναμενόμενη μορφή των ASCII αρχείων είναι να έχουν κάποιες γραμμές στην αρχή με σχόλια και στην συνέχεια τουλάχιστον 5 στήλες δεδομένων με την ταχύτητα, την διεύθυνση, την τυπική απόκλιση της ταχύτητας, την ώρα και την ημερομηνία. Οι επιτρεπόμενοι διαχωριστικοί χαρακτήρες για τις στήλες των δεδομένων στα ASCII αρχεία είναι οι εξής:

- Το κενό διάστημα
- Το κόμμα ,
- Το tab
- Οι 2 παρενθέσεις ()
- Το διπλό εισαγωγικό "
- Το ελληνικό ερωτηματικό (semicolon) ;

Μορφή ώρας

Το *WindRose* διαβάζει επιτυχώς την στήλη της ώρας όταν αυτή έχει μία από τις παρακάτω μορφές:

ωω:λλ:δδ , ωω.λλ.δδ , ωωλλδδ , ωω:λλ , ωω.λλ , ωωλλ

Σημειώνεται ότι αν δεν βρεθεί κανένας από τους διαχωριστικούς χαρακτήρες: : . και υπάρχουν μόνο 1 ή 2 ψηφία, τότε θεωρείται ότι ο αριθμός αυτός είναι η ώρα της ημέρας. (π.χ.: 5 θεωρείται σαν 05:00:00). Ομοίως αν υπάρχουν 3 ή 4 ψηφία (χωρίς διαχωριστικό χαρακτήρα), τότε θεωρείται ότι τα 2 τελευταία αντιπροσωπεύουν τα λεπτά της ώρας και τα πρώτα 1 ή 2 την ώρα. Τέλος, αν υπάρχουν 5 ή 6 ψηφία (χωρίς διαχωριστικούς χαρακτήρες) τότε τα 2 τελευταία είναι τα δευτερόλεπτα, τα 2 μεσαία τα λεπτά και τα πρώτα 1 ή 2 ψηφία είναι η ώρα.

Ιδιαίτερες μορφές της ώρας που δεν συναντώνται κατά κανόνα σε αρχεία ανεμολογικών δεδομένων (π.χ. 1:30μμ ή ο γαλλικός τρόπος απεικόνισης της ώρας: 13h50) μπορούν να ενσωματωθούν στο *WindRose* κατά παραγγελία.

Τέλος, υπάρχουν περιπτώσεις όπου η ώρα απεικονίζεται με ένα αθροιστικό τρόπο, δηλαδή αθροίζοντας χρονικά βήματα από την αρχή της ημέρας. Έτσι, αν το χρονικό βήμα ήταν 10λεπτο τότε για στήλη της ώρας εμφανίζεται η σειρά 1 έως 144. Στην περίπτωση αυτή δίπλα στον αριθμό της στήλης της ώρας βάζουμε τον λατινικό χαρακτήρα s π.χ. αν η στήλη της είναι η 9^η, βάζουμε 9s.

Μορφή ημερομηνίας

Το *WindRose* διαβάζει επιτυχώς στήλες ημερομηνιών με την παρακάτω μορφή:

ηημμεε , ηημμεεεε , η/μ/εε , ηη/μμ/εεεε , η.μ.εε ,
ηη.μμ.εεεε , η-μ-εε , ηη-μμ-εεεε

Οι αποδεκτοί χαρακτήρες διαχωρισμού μεταξύ ημέρας, μήνα και έτους είναι οι: / . - .

Αν η μορφή της ημερομηνίας είναι Αμερικάνικου τύπου (ο μήνας μπροστά και μετά η ημέρα (μμ/ηη/εε, μμηηεεεε, κ.λ.π) τότε, δίπλα στον

αριθμό της στήλης της ημερομηνίας τίθεται ο λατινικός χαρακτήρας χαρακτήρα **u** π.χ. αν η στήλη της ημερομηνίας είναι η 10^η, βάζουμε 10u.

Μία άλλη μορφή ημερομηνίας είναι αυτή όπου το έτος ακολουθείται από τον μήνα και το τέλος είναι η ημέρα (εεμμηη, εεεε.μμ.ηη, ... κ.λ.π.). Στην περίπτωση αυτή δίπλα στον αριθμό της στήλης της ημερομηνίας τίθεται ο λατινικός χαρακτήρας χαρακτήρα **i** π.χ. αν η στήλη της ημερομηνίας είναι η 10^η, βάζουμε 10i.

Αρχεία που έχουν δημιουργηθεί από καταγραφικό τύπου NOMAD έχουν ένα άλλο τρόπο απεικόνισης της ημερομηνίας. Έτσι για την 26^η Σεπτεμβρίου 1998 έχουν:

Sep 26, 1998

Τέτοια αρχεία μπορούν να διαβαστούν από το *WindRose* θεωρώντας ότι η στήλη της ημερομηνίας είναι μία (και όχι τρεις) και βάζοντας δίπλα στον αριθμό της στήλης τον λατινικό χαρακτήρα **n** π.χ. αν η στήλη της ημερομηνίας είναι η 10^η, βάζουμε 10n.

Αρχεία που προέρχονται από καταγραφικό τύπου CAMPBELL έχουν άλλη μία (!) μορφή ημερομηνίας. Έτσι για την 26^η Σεπτεμβρίου 1998 έχουν:

1998, 269

όπου το 269 είναι ο αύξων αριθμός των ημερών του έτους από την 1^η Ιανουαρίου. Για να διαβαστούν τέτοια αρχεία πρέπει να τεθεί ο λατινικός χαρακτήρας χαρακτήρα **c** δίπλα στον αριθμό της στήλης του έτους. Έτσι αν η στήλη του έτους είναι η 10^η, βάζουμε 10c. Επιπροσθέτως, για να διαβαστεί σωστά πρέπει η στήλη της αύξουσας ημέρας: **α)** να είναι αμέσως μετά από αυτήν του έτους (δηλ. η 11^η στο παραπάνω παράδειγμα) **β)** να μην είναι η τελευταία του αρχείου και **γ)** να προσμετρείται κανονικά σαν ξεχωριστή στήλη όταν γίνεται η καταμέτρηση των στηλών του ASCII αρχείου.

Στην επόμενη σελίδα δίνονται ορισμένα παραδείγματα συμπλήρωσης του φύλλου *Input* για διάφορα είδη ASCII αρχείων με ανεμολογικά δεδομένα. Για την καλύτερη κατανόηση όλων των διαφορετικών μορφών ώρας και ημερομηνίας, οι πρώτες γραμμές κάθε αρχείου έχουν όλα τα αποδεκτά format.

WindSpeed	Dir	Usdv	Gust	Time	Date
14.3	137.6	2.9	22.7	0:7	01/12/00
14.3	144.6	2.8	21.9	0:17:00	1/12/00
13.9	146.5	2.9	21.1	0:27:00	1/12/0
14.1	144.0	2.9	22.7	00:37:00	1-12-2000
13.4	146.6	2.7	21.1	00:47:0	1.12.2000
13.1	144.3	2.6	20.4	0057	1.12.00
12.4	142.1	2.8	20.4	0107	1-12-2000
12.6	140.6	2.5	19.6	0117	1/12/2000
12.8	146.5	3.2	21.9	01.27.00	01122000
12.4	144.1	3.0	21.1	01.37.00	01122000
13.2	147.8	3.0	20.4	1.47.00	01122000
13.3	150.3	3.0	20.4	015700	01122000
12.8	148.3	2.5	21.1	020700	01122000

Wind Speed [m/s]
Wind Direction [°]
Wind Speed SDV
Temperature [°C]
Solar Radiation [W/m2]
Gust of Wind Speed [m/s]
Time
Date
Lines to skip

WindSpeed	Dir	Usdv	Gust	Time	Date
14.3	137.6	2.9	22.7	0:7	12/01/00
14.3	144.6	2.8	21.9	0:17:00	12/1/00
13.9	146.5	2.9	21.1	0:27:00	12/1/0
14.1	144.0	2.9	22.7	00:37:00	12-1-2000
13.4	146.6	2.7	21.1	00:47:0	12.1.2000
13.1	144.3	2.6	20.4	0057	12.1.00
12.4	142.1	2.8	20.4	0107	12-1-2000
12.6	140.6	2.5	19.6	0117	12/1/2000
12.8	146.5	3.2	21.9	1.27.00	12012000
12.4	144.1	3.0	21.1	1.37.00	12012000
13.2	147.8	3.0	20.4	1.47.00	12012000
13.3	150.3	3.0	20.4	015700	12012000
12.8	148.3	2.5	21.1	020700	12012000

Wind Speed [m/s]
Wind Direction [°]
Wind Speed SDV
Temperature [°C]
Solar Radiation [W/m2]
Gust of Wind Speed [m/s]
Time
Date
Lines to skip

WindSpeed	Dir	Usdv	Gust	Time	Date
14.3	137.6	2.9	22.7	0:7	00/12/01
14.3	144.6	2.8	21.9	0:17:00	00/12/1
13.9	146.5	2.9	21.1	0:27:00	0/12/1
14.1	144.0	2.9	22.7	00:37:00	2000-12-1
13.4	146.6	2.7	21.1	00:47:0	2000.12.1
13.1	144.3	2.6	20.4	0057	00.12.1
12.4	142.1	2.8	20.4	0107	2000-12-01
12.6	140.6	2.5	19.6	0117	2000/12/01
12.8	146.5	3.2	21.9	1.27.00	20001201
12.4	144.1	3.0	21.1	1.37.00	20001201
13.2	147.8	3.0	20.4	1.47.00	20001201
13.3	150.3	3.0	20.4	015700	20001201
12.8	148.3	2.5	21.1	020700	20001201

Wind Speed [m/s]
Wind Direction [°]
Wind Speed SDV
Temperature [°C]
Solar Radiation [W/m2]
Gust of Wind Speed [m/s]
Time
Date
Lines to skip

Site Name: SOMEWHERE
Site Number: 1
Start Time: 18:57 03/01/2000
Finish Time: 15:00 03/27/2000
Total Time: 25 day(s) 20 hour(s) 3 minute(s)

DATE	TIME	Anem A Other An Average 10 minut m/s	Anem A Other An Avg Dev 10 minut m/s	Anem A Other An Minimum 10 minut m/s dir	Anem A Other An Maximum 10 minut m/s dir	Vane A Wind Van Average 10 minut ψ
Mar 1,2000	18:57	10.1	1.2	7.9 236 18:59	11.6 211 18:59	222.2
Mar 1,2000	19:00	11.5	0.8	9.4 221 19:05	13.2 219 19:04	222.2
Mar 1,2000	19:10	12.2	0.7	10.6 226 19:17	13.4 224 19:19	222.2
Mar 1,2000	19:20	12.1	0.7	10.0 225 19:22	13.1 228 19:25	226.4
Mar 1,2000	19:30	11.2	0.7	9.6 228 19:31	12.4 219 19:30	227.8
Mar 1,2000	19:40	10.9	0.6	9.1 225 19:44	12.0 233 19:49	226.4
Mar 1,2000	19:50	10.8	0.8	9.1 243 19:54	12.7 245 19:59	236.2
Mar 1,2000	20:00	10.4	1.0	8.4 277 20:04	13.0 250 20:06	250.3

Wind Speed [m/s]
Wind Direction [°]
Wind Speed SDV
Temperature [°C]
Solar Radiation [W/m2]
Gust of Wind Speed [m/s]
Time
Date
Lines to skip

Ιστός με περισσότερα του ενός ανεμόμετρα και ανεμοδείκτες

Σε περίπτωση ιστών με περισσότερα του ενός ανεμόμετρα και ανεμοδείκτες, το *WindRose* δύναται να υπολογίσει την καθ' ύψος μεταβολή της ταχύτητας (wind shear), βάση του εκθετικού νόμου

$U/U_0=(z/z_0)^\alpha$. Έτσι, μπορεί να γίνει ακριβέστερα η αναγωγή της ταχύτητας σε μεγαλύτερα (από τα μετρούμενα) ύψη. Στην περίπτωση αυτή οι αριθμοί των στηλών της ταχύτητας, της διεύθυνσης, κλπ διαχωρίζονται ανά καθ' ύψος όργανο με το ελληνικό ερωτηματικό ;. Σημειώνεται ότι οι αριθμοί των στηλών τίθενται με σειρά αύξοντος ύψους. Τέλος, τα ύψη των ανεμομέτρων τίθενται στον 2^ο Πίνακα του φύλλου *Input* όπως στο παρακάτω παράδειγμα..

Measurements Height :
above Ground level (m) 10;20;30;40;50

*Τα ύψη των ανεμομέτρων τίθενται στον 2^ο Πίνακα του φύλλου *Input*.
(εδώ π.χ. η 21^η στήλη αντιστοιχεί στο ανεμόμετρο των 10μ, κ.ο.κ).*

Ο δεύτερος πίνακας περιλαμβάνει ένα σύνολο από μεταβλητές, εκ των οποίων οι 4 πρώτες είναι αυτές που θα αλλάζουν σε κάθε επεξεργασία, ανά περιοχή. Οι 2 πρώτες είναι ένας τίτλος και ένας υπότιτλος που αφορούν την ανάλυση που πραγματοποιείται και οι άλλες 2 είναι η ημερομηνίες έναρξης και λήξης της επεξεργασίας των δεδομένων. Οι ημερομηνίες αυτές μπορούν να καλύπτουν και μικρότερο χρονικό διάστημα από αυτό των συλλεχθέντων δεδομένων.

Τα υπόλοιπα στοιχεία του 2ου πίνακα είναι οι αναγκαίοι παράμετροι που για την επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων. Συγκεκριμένα:

- το χρονικό βήμα των μετρήσεων (10 λεπτά, 1 ώρα, κλπ).
- το όριο για τις άπνοιες (τιμή της ταχύτητας του ανέμου, κάτω από την οποία η ένδειξη της διεύθυνσης του ανέμου δεν είναι αξιόπιστη). Συνήθως τίθεται 2m/s.
- ο αριθμός των τομέων διεύθυνσης του ανέμου (16, 12, 8) για τον οποίο θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση (συνιστάται : 16)
- το ύψος του ιστού, καθώς και το υψόμετρο της τοποθεσίας
- το διάστημα της ταχύτητας του ανέμου για το οποίο υπολογίζεται η ένταση της τύρβης (USDV / UMEAN). Συνιστάται να είναι 10m/s \pm 1m/s.
- το μοντέλο της ανεμογεννήτριας για το οποίο θα υπολογιστεί η ενέργεια που θα παρήγαγε αν ήταν

εγκατεστημένη στη θέση του ιστού.

- τον εκθέτη α με τη χρήση του οποίου ανάγεται η ταχύτητα από το ύψος του ιστού στο ύψος της πλήμνης της ανεμογεννήτριας, βάσει του τύπου:

$u_{hub}/u_{mast} = [h_{hub}/h_{mast}]^\alpha$. Όταν ο ιστός περιέχει περισσότερα του ενός ανεμόμετρα, δεν χρησιμοποιείται διότι υπολογίζεται αναλυτικά εξ' αυτών. Για την Ελλάδα και σε περιοχές σύνθετης τοπογραφίας συνιστάται η τιμή 0.08. Αντίθετα, σε περιοχές επίπεδης τοπογραφίας τίθεται 0.14.

Title1	(Site's name)
Title2	(comment)
Start from	18/12/1999
End at	29/5/2000
Minutes between data	10
Limit for calms (m/s)	2
Number of Direction Sectors	16
Measurements Height :	
above Ground level (m)	10
above Sea level (m)	300
Calcul. of mean turbulence	
at wind speed (m/s)	10
± bin width (m/s)	1
Wind Turbine selected	NEG Micon 750/48
Exponent coefficient (α)	0.08
Weibull method	"paper" method
low limit (m/s)	4
high limit (m/s)	16
Wind Speed Uncertainty	
Calibr. error at U_{mean} (m/s)	0.06
Anemometer's max speed m/s	40
Data Logger's precision (bits)	8
Site Correlation	
file name	
Export processed data	
file name	

Χαρακτηριστικοί παράμετροι για την ανάλυση των δεδομένων
(φύλλο Input 2^{ος} Πίνακας)

- την μέθοδο υπολογισμού των συντελεστών (k, C) της κατανομής Weibull που προσομοιώνει την πραγματική κατανομή των δεδομένων. Εν

συντομία υπάρχουν 2 τρόποι υπολογισμού: α) χρησιμοποιώντας μόνο την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση της ταχύτητας και β) χρησιμοποιώντας την κατανομή της ταχύτητας σε ένα συγκεκριμένο εύρος (π.χ.: 4-16m/s).⁴ Γενικά, συνιστάται η 2^η μέθοδος.

Τέλος, δίνονται (προαιρετικά) τα ονόματα δύο αρχείων, στα οποία θα εγγραφούν:

- όλες οι απαραίτητες πληροφορίες που θα χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα *WindRose* στο στάδιο των συσχετισμών (φύλλο *WindCorr*).

Πρόκειται για ένα (ενδιάμεσο) αρχείο που απαιτείται στην περίπτωση όπου πρόκειται να πραγματοποιηθούν συσχετίσεις με τα ανεμολογικά δεδομένα της συγκεκριμένης τοποθεσίας με αυτά από άλλη τοποθεσία.

- όλα τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποίησε το πρόγραμμα *WindRose* για να πραγματοποιήσει τις αναλύσεις. Η χρησιμότητά του έγκειται στο να συγκεντρωθούν όλα τα δεδομένα (στην περίπτωση που τα δεδομένα προέρχονται από πολλά αρχεία με διαφορετικούς συντελεστές διόρθωσης - βλέπε επόμενη § και Πίνακα 3) σε ένα και μοναδικό αρχείο. Τα δεδομένα του αρχείου αυτού έχουν ήδη “διορθωθεί” με τους αντίστοιχους συντελεστές του Πίνακα 3, άρα σε μελλοντική επεξεργασία του, δεν πρέπει δοθούν εκ νέου συντελεστές διόρθωσης.

Wind Speed MULT	
Wind Speed OFFSET (m/s)	
Wind Direction MULT	
Wind Direction OFFSET (°)	
Temperature MULT	
Temperature OFFSET (°C)	
Solar Radiation MULT	
Solar Radiation OFFSET (W/m)	
	-38
	600

Οι συντελεστές διόρθωσης των διαφόρων μεγεθών (φύλλο *Input*, 3^{ος} Πίνακας)

Ο 3ος Πίνακας του φύλλου *Input* αφορά τους συντελεστές διόρθωσης των μετρουμένων μεγεθών, σε περίπτωση συστηματικού σφάλματος (π.χ. στην περίπτωση λαθεμένων συντελεστών βαθμονόμησης ανεμομέτρου, εσφαλμένη σκόπευση ανεμοδείκτη, λάθος ώρα/ημερομηνία, κλπ). Η διόρθωση που εφαρμόζεται είναι γραμμικού τύπου ($\alpha x + \beta$). Αν δεν δοθούν τιμές για τα α και β , τότε η τιμή τους θεωρείται 1.0 και 0.0 αντίστοιχα.

Air Density	
Method 1 : $\rho = f(z)$	
Method 1 : $\rho = f(z)$	
Method 2 : $\rho = f(\theta, z)$	
Use the table below	
Month of the	Value
Jan	1.142
Feb	1.124
Mar	1.124
Apr	1.106
May	1.089
Jun	1.073
Jul	1.057
Aug	1.057
Sep	1.073
Oct	1.089
Nov	1.106
Dec	1.124
Γ [$^{\circ}\text{C}\cdot\text{km}$]	6.5
θ_{mean} [$^{\circ}\text{C}$] (for Method 2 only)	15

Επιλογή της μεθόδου αναγωγής της πυκνότητας του αέρα, στο υψόμετρο των μετρήσεων (4ος Πίνακας - φύλλο *Input*)

Ο 4ος Πίνακας του φύλλου *Input* αφορά την διόρθωση της πυκνότητας του αέρα σε σχέση με το υψόμετρο της τοποθεσίας. Η τιμή της πυκνότητας είναι ιδιαίτερος σημαντική στους ενεργειακούς υπολογισμούς. Τρεις είναι οι δυνατές επιλογές:

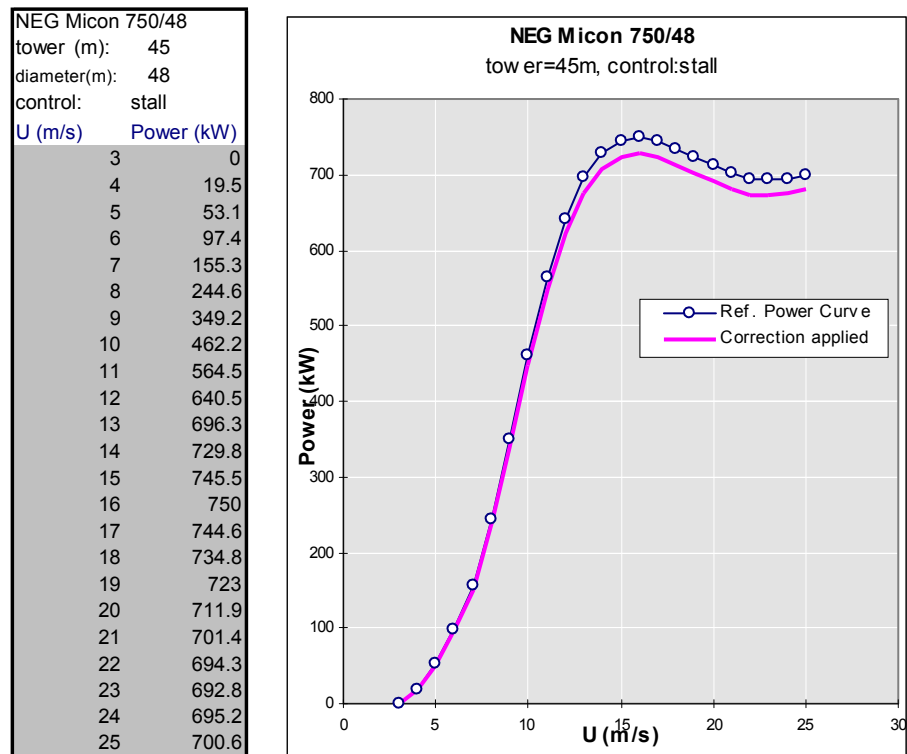
- η “1η μέθοδος” όπου ο υπολογισμός της πυκνότητας γίνεται με βάση ένα εμπειρικό τύπο με μόνη παράμετρο το υψόμετρο
- η “2η μέθοδος” όπου ο υπολογισμός της πυκνότητας γίνεται βάση της θερμοκρασίας και του υψομέτρου
- η εισαγωγή των τιμών πυκνότητας ανά μήνα του έτους.

Ένα άλλο φύλλο εργασίας (το *Air Density*) παρουσιάζει την μεταβολή της πυκνότητας με το υψόμετρο και την θερμοκρασία, σύμφωνα με τους υπολογισμούς των 2 μεθόδων.

Τέλος, στο φύλλο *Input* υπάρχει και ένα γράφημα με την καμπύλη ισχύος της επιλεγμένης ανεμογεννήτριας. Στο γράφημα παρουσιάζεται, εκτός από την καμπύλη ισχύος που έχει εισαχθεί στο φύλλο *PowerCurve*, η αναγόμενη καμπύλη ισχύος, βάση της μεταβολής της πυκνότητας του αέρα στο δεδομένο υψόμετρο της τοποθεσίας.

3.4.2 Power Curve

Το φύλλο εργασίας αυτό αποτελείται από ζεύγη στηλών που εμπεριέχουν ήδη αρκετές καμπύλες ισχύος από διάφορες ανεμογεννήτριες. Η προσθήκη νέων καμπυλών ισχύος Α/Γ γίνεται στο φύλλο αυτό, είτε πληκτρολογώντας είτε με την μορφή *Copy/Paste Special... (Values)*, ώστε να μην χαλάσει η υπάρχουσα μορφοποίηση. Στο κελί *control*: δύο είναι οι δυνατές τιμές: *pitch* και *stall*. Ο μέγιστος αριθμός των δεδομένων της καμπύλης ισχύος είναι 100. Λεπτομέρειες για τον τρόπο υπολογισμού της παραγόμενης ενέργειας από μία Α/Γ δίνονται στο κεφάλαιο *ΤΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΦΥΛΛΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ - § Φύλλο Results*.



Αριστερά: Δείγμα καμπύλης ισχύος (φύλλο: *PowerCurve*).
Δεξιά: Γραφική απεικόνισή της μαζί με την διόρθωση λόγω του υψομέτρου της τοποθεσίας (φύλλο: *Input*).

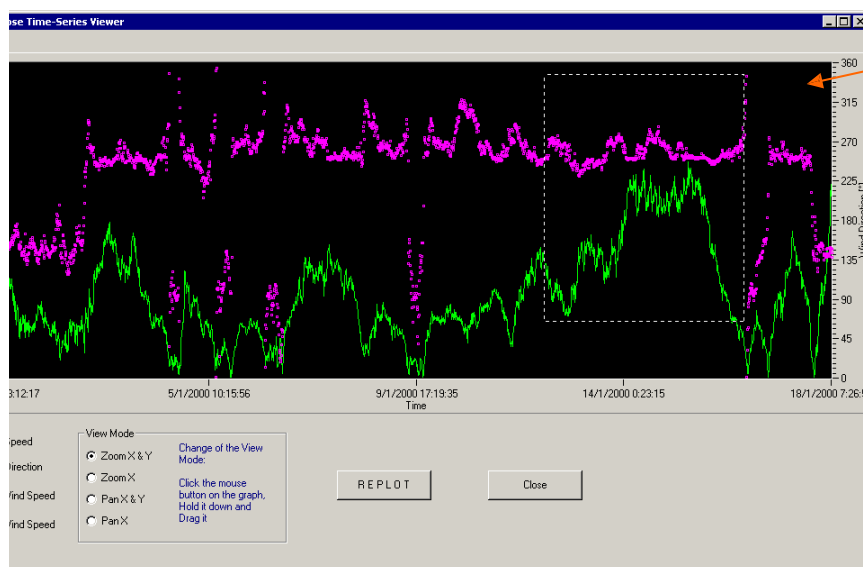
Σημείωση

- Ο ακριβής υπολογισμός της ισχύος για μία συγκεκριμένη ταχύτητα ανέμου γίνεται με γραμμική παρεμβολή στην καμπύλη ισχύος. Αν όμως η ταχύτητα ανέμου είναι μεγαλύτερη από την μέγιστη ταχύτητα της καμπύλης ισχύος ή μικρότερη από την ελάχιστη τότε η Α/Γ θεωρείται εκτός λειτουργίας και παραγόμενη ισχύς τίθεται μηδέν.
- Ο υπολογισμός της ισχύος που θα παράγαγε η Α/Γ

στο δεδομένο χρονικό διάστημα γίνεται χρησιμοποιώντας την πραγματική κατανομή ταχυτήτων και όχι την κατανομή Weibull.

3.5 Έλεγχος των δεδομένων

Μόλις συμπληρωθεί το φύλλο *Input*, τότε η εκτέλεση του προγράμματος μπορεί να ξεκινήσει, επιλέγοντας στο menu του Excel το *Run in Greek* ή *Run in English*, ανάλογα με την γλώσσα στην οποία θέλουμε να είναι τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Μόλις ολοκληρωθεί η επεξεργασία θα εμφανιστεί η παρακάτω οθόνη (σχήμα 4), όπου απεικονίζονται αναλυτικά όλα τα δεδομένα που επεξεργάστηκε το *WindRose*. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι από τα πιο σημαντικά του προγράμματος, μιας που επιτρέπει τον λεπτομερειακό έλεγχο των δεδομένων και την αναζήτηση πιθανών σφαλμάτων στις μετρήσεις. Επίσης, επιτρέπει την απεικόνιση απεριορίστου αριθμού δεδομένων (με μόνο όριο αυτό της μνήμης του υπολογιστή) και αντιπαρέρχεται την εγγενή αδυναμία του Excel να απεικονίσει ιδιαίτερα μεγάλο αριθμό στα γραφήματά του.



Αναλυτική απεικόνιση όλων των δεδομένων που επεξεργάστηκε το *WindRose*.

Στην οθόνη αυτή ο χρήστης μπορεί να επιλέξει πια μεγέθη θα εμφανιστούν στην οθόνη, τσεκάροντας το αντίστοιχο κουτάκι στο κάτω-

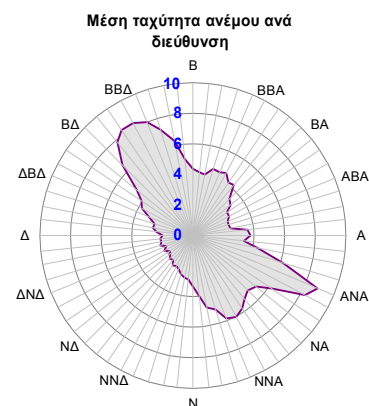
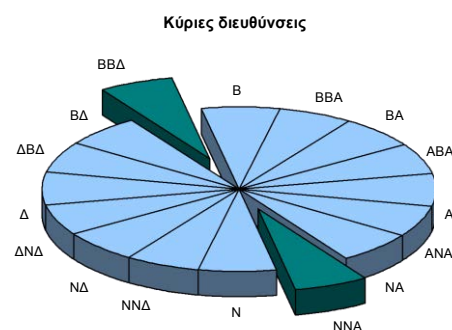
δεξιά μέρος του παραθύρου. Επίσης, ο χρήστης μπορεί να «ζουμάρει» σε κάποια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, αν επιλέξει μια περιοχή κρατώντας το ποντίκι πατημένο. Αυτό πραγματοποιείται όταν η επιλογή στο *View Mode* είναι είτε στο *Zoom X & Y* είτε στο *Zoom X* (ανάλογα αν το «ζουμάρισμα» γίνεται και στους 2 άξονες ή μόνο στον ένα). Τέλος, οι επιλογές *Pan X & Y* και *Pan X* επιτρέπουν την μετακίνηση (κατά τους δύο άξονες ή μόνο τον ένα) όλου του γραφήματος, αν κρατηθεί το ποντίκι συνεχώς πατημένο ενώ ταυτόχρονα μετακινείται.

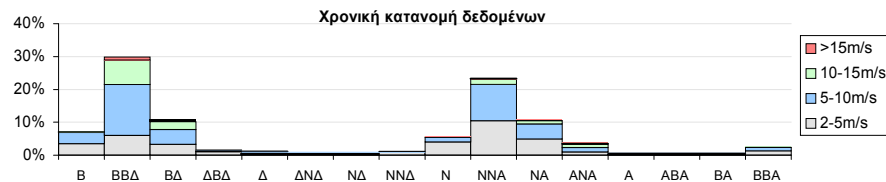
3.6 Τα παραγόμενα φύλλα εργασίας

3.6.1 Results

Πρόκειται για μία σελίδα όπου αναγράφονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της επεξεργασίας των ανεμολογικών δεδομένων. Αναλυτικά τα μεγέθη που παρατίθενται είναι:

Περίοδος μετρήσεων : 4/2/2002 έως 3/2/2003		
Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου (σε ύψος 40μ.)	6.2 m/s	(γενικός μ.ο.= 6.0 m/s)
Ένταση τύρβης (στα 10m/s)	9.2 %	
Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (μέση τιμή 10λεπτου)	27.2 m/s	(6/1/2003 07:50)
Μέγιστη ριπή ανέμου (στιγμιαία τιμή)	34.1 m/s	(6/1/2003 07:40)
Αβεβαιότητα μέτρησης ταχύτητας	0.2 m/s	
Μέση Ισχύς ανέμου	307.7 Watt/m ²	
Συνολική Ενέργεια ανέμου	2477.6 kWh/m ²	
Συντελεστής κατανομής Weibull shape factor (k)	1.62	
scale factor (C)	6.7 m/s	
Σύνολο έγκυρων δεδομένων	48312	
Αριθμός απνοιών (<2m/s)	5593	
Πληρότητα δεδομένων	91.7 %	
Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ	3 741 322.5 kWh	(Gamesa G80-2.0MW)
Συντελεστής φορτίου Α/Γ	23.2 %	(ρ _{avg} =1.148kg/m ³)
Εκτιμώμενη Μέση ετήσια ταχύτητα στα 67μ.	6.6 m/s	(γενικός μ.ο.= 6.5 m/s)
Αναμ. Ετήσια παραγωγή Α/Γ & συντ. φορτίου υπολογισμός βάση της κατανομής δεδομένων	4 156 542.8 kWh	23.71 %
υπολογισμός βάση της κατανομής Weibull	4 121 083.3 kWh	23.51 %
Ενέργεια: κύρια διεύθυνση	BBA	41.22 %
2η κύρια διεύθυνση	NNA	20.64 %
Χρόνος: κύρια διεύθυνση	BBA	29.93 %
2η κύρια διεύθυνση	NNA	23.57 %





Τα βασικά αποτελέσματα του προγράμματος (φύλλο εργασίας: Results).

- Η μέση ταχύτητα του ανέμου. Στις εφαρμογές αιολικής ενέργειας συνηθίζεται η χρονική περίοδος αναφοράς να είναι το 1 έτος. Έτσι, εάν το χρονικό διάστημα μετρήσεων υπερβαίνει το 1 έτος, τότε εκτός από τον γενικό μέσο όρο, δίδεται και η σταθμισμένη τιμή στο 12μηνο (βλέπε επόμενη παράγραφο).
- Η ένταση της τύρβης (στο καθορισμένο διάστημα ταχυτήτων).
- Η μέγιστη τιμή της ταχύτητας 10λέπτου (ή άλλου χρονικού βήματος).
- Η μέγιστη ριπή (διάρκειας συνήθως 1sec) εάν καταγράφεται για κάθε χρονικό βήμα η μέγιστή του ταχύτητα.
- Η μέση ισχύς του ανέμου (σε Watt/m^2).
- Η συνολική ενέργεια του αέρα (σε kWh/m^2).
- Οι συντελεστές της κατανομής Weibull που προσεγγίζει την κατανομή των δεδομένων.
- Ο συνολικός αριθμός των έγκυρων δεδομένων.
- Ο αριθμός των απνοιών.
- Η επί τοις εκατό πληρότητα των δεδομένων (δηλαδή, ο λόγος των έγκυρων προς τα σύνολο των αναμενόμενων δεδομένων, στο δοθέν χρονικό διάστημα).
- Η αναμενόμενη ενέργεια που θα παρήγαγε η επιλεγθείσα Α/Γ (σε kWh) στο δεδομένο χρονικό διάστημα και για τα συλλεχθέντα δεδομένα.
- Ο συντελεστής φορτίου της Α/Γς (το % ποσοστό της ονομαστικής

της ισχύος με την οποία σε συνεχή λειτουργία θα παρήγαγε την παραπάνω ενέργεια).

- Η εκτιμώμενη μέση ταχύτητα στο ύψος της πλήμνης της Α/Γς. Εάν υπάρχουν περισσότερα του ενός καθ' ύψος ανεμόμετρα, τότε αυτή βασίζεται στο λεπτομερές (ανά ταχύτητα και διεύθυνση) κατακόρυφο προφίλ ταχύτητας. Όπως και για την μετρούμενη ταχύτητα, εάν το χρονικό διάστημα μετρήσεων υπερβαίνει το 1 έτος, τότε εκτός από τον γενικό μέσο όρο, δίδεται και η σταθμισμένη τιμή στο 12μηνο (βλέπε επόμενη παράγραφο).
- Η ετήσια αναμενόμενη παραγωγή της Α/Γς μαζί με τον αντίστοιχο συντελεστή φορτίου, όπως υπολογίζεται βάση της πραγματικής κατανομής των δεδομένων, αλλά και της κατανομής Weibull, για διαθεσιμότητα 100%. Εάν το χρονικό διάστημα μετρήσεων υπερβαίνει το 1 έτος, τότε η ετήσια παραγωγή προκύπτει από το άθροισμα των 12 μηνιαίων κατανομών δεδομένων και Weibull (βλέπε επόμενη παράγραφο)
- Οι δύο κύριες διευθύνσεις (ενεργειακά και χρονικά) και τα ποσοστά τους.

Εδώ επισημαίνεται ότι όταν υπάρχουν επαρκή δεδομένα και για τους 12 μήνες, τότε η μέση ετήσια τιμή υπολογίζεται από τις 12 μέσες μηνιαίες τιμές, ώστε να μην αλλοιωθεί η περίοδος αναφοράς (που θέλουμε να είναι το έτος). Η % μηνιαία πληρότητα δεδομένων υπεισέρχεται στον υπολογισμό της μέσης τιμής για κάθε ένα από τους 12 μήνες (βήμα 2). Στον τελικό υπολογισμό της μέσης ετήσιας ταχύτητας (βήμα 3) οι 12 μήνες δεν σταθμίζονται με την (νέα μηνιαία) πληρότητά τους, απλώς απαιτείται έκαστος εκ των 12 αυτών, να υπερκαλύπτει ένα ελάχιστο ποσοστό πληρότητας. Παράδειγμα:

ΒΗΜΑ 1			ΒΗΜΑ 2		
Μήνας	Μέση Ταχύτητα	Πληρότητα δεδομένων	Μήνας	Μέση Ταχύτητα	Πληρότητα Δεδομένων
Ιαν. 2003	9.3	100 %	Ιαν.	9.86 (*)	77 %
Φεβ. 2003	7.0	100 %	Φεβ.	7.64	99 %
Μαρ. 2003	6.9	100 %	Μαρ.	6.6	100 %
Απρ. 2003	6.3	60 %	Απρ.	7.36	80 %
Μαϊ. 2003	5.3	100 %	Μαϊ.	6.3	100 %
Ιουν. 2003	6.9	100 %	Ιουν.	6.45	91 %
Ιουλ. 2003	7.7	99 %	Ιουλ.	7.7	99 %
Αυγ. 2003	8.5	90 %	Αυγ.	8.5	100 %
Σεπ. 2003	6.0	100 %	Σεπ.	6.0	100 %
Οκτ. 2003	6.4	75 %	Οκτ.	6.4	100 %
Νοε. 2003	8.1	100 %	Νοε.	8.1	100 %
Δεκ. 2003	7.9	100 %	Δεκ.	7.9	75 %
Ιαν. 2004	10.9	54 %			
Φεβ. 2004	8.3	98 %			

ΒΗΜΑ 3

Μαρ. 2004	6.3	100 %	Μέση ετήσια ταχύτητα = 7.4 = (9.86+7.64+6.6+7.36+6.3+6.45+ +7.7 +8.5 +6.0+6.4 +8.1+7.9)/12 (*) 9.86 = (9.3*1.0+10.9*0.54)/1.54
Απρ. 2004	8.0	100 %	
Μαϊ. 2004	7.3	100 %	
Ιουν. 2004	5.9	82 %	

Πως υπολογίζεται η παραγωγή ενέργειας μιας Α/Γ ;

- Ο υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας μιας Α/Γ βασίζεται στην γνώση της ταχύτητας στο ύψος της πλήμνης (εκεί όπου μετριέται εξάλλου και για την καμπύλη ισχύος της). Αν δεν μετριέται η ταχύτητα στο ύψος της πλήμνης, τότε ανάγεται σε αυτό βάση του εκθετικού νόμου $U/U_0=(z/z_0)^\alpha$.
- Όταν υπάρχουν περισσότερα του ενός ανεμόμετρα καθ' ύψος, τότε η αναγωγή γίνεται σύμφωνα με το υπολογισμένο κατακόρυφο προφίλ ταχύτητας, ανά ταχύτητα και διεύθυνση. Όταν υπάρχει ένα μόνο ύψος μέτρησης τότε η αναγωγή της ταχύτητας στο ύψος της πλήμνης γίνεται με βάση ένα (χαμηλής ακρίβειας) ομοιόμορφο προφίλ ταχύτητας.
- Έχοντας υπολογίσει την ταχύτητα στο ύψος της πλήμνης της Α/Γ, η παραγόμενη ενέργεια υπολογίζεται με βάση την «διορθωμένη» καμπύλη ισχύος της Α/Γ.
- Σύμφωνα με τα ισχύοντα στάνταρτ η καμπύλη ισχύος δίδεται στο ύψος της θάλασσας όπου $\rho=1.225\text{kg/m}^3$. Ο υπολογισμός της πυκνότητας στο συγκεκριμένο υψόμετρο γίνεται με 3 διαφορετικές μεθόδους (π.χ. ανάλογα με το αν υπάρχουν μετρήσεις θερμοκρασίας, κλπ). Στην συνέχεια, η «τοπική» πυκνότητα αέρα σε συνδυασμό με τον τύπο ελέγχου ισχύος της Α/Γ (π.χ. *pitch*, *stall*) παράγει την «διορθωμένη» λόγω υψομέτρου καμπύλη ισχύος της Α/Γ, σύμφωνα με το IEC-61400-12-1).
- Τέλος, ο συνδυασμός της αναχθείσης ταχύτητας στο ύψος της πλήμνης με την «διορθωμένη» καμπύλη ισχύος δίνει την δυνατότητα του ακριβούς υπολογισμού της παραγόμενης ενέργειας της Α/Γ.

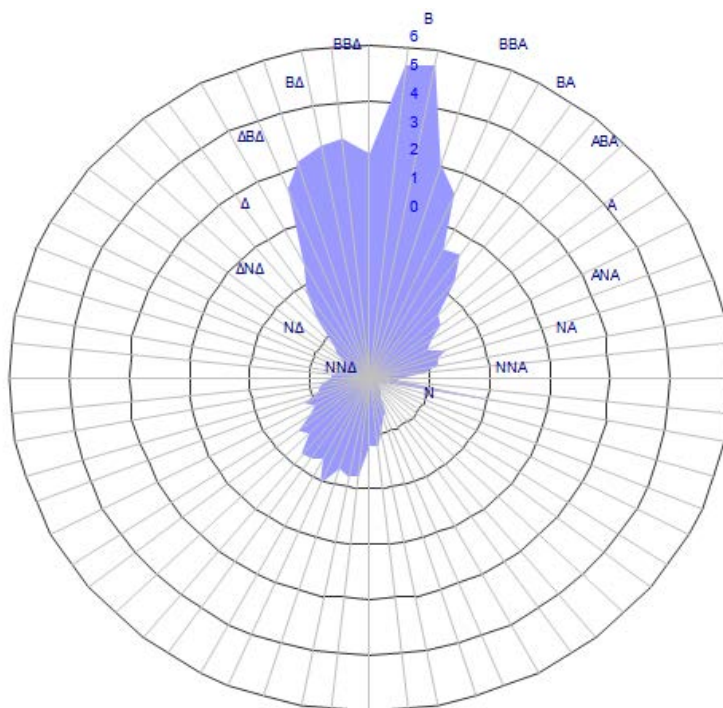
Γιατί υπολογίζονται 3 εκτιμώμενες παραγωγές Α/Γ :

- Η 1^η τιμή αναφέρεται στο δοθέν χρονικό διάστημα και όχι κατ' ανάγκη στο έτος. Επίσης, δίνει την ενέργεια που προκύπτει από τα όλα συλλεχθέντα δεδομένα, άρα, σε περίπτωση μεγάλου ποσοστού απολεσθέντων δεδομένων, μειώνεται σημαντικά.
- Οι επόμενες 2 τιμές αναφέρονται στην ετήσια αναμενόμενη παραγωγή της Α/Γ, με 2 τρόπους. Ο πρώτος τρόπος χρησιμοποιεί την πραγματική κατανομή των δεδομένων και ο δεύτερος την κατανομή Weibull που προσομοιάζει τα δεδομένα. Και οι 2 κατανομές ανάγονται στο έτος άρα εδώ δεν υπεισέρχεται η έννοια των απολεσθέντων δεδομένων (π.χ. λόγω βλάβης του καταγραφικού). Σημειώνεται ότι: όσο μικρότερη είναι η διαφορά τους, τόσο καλύτερα η υπολογισμένη κατανομή Weibull αντιπροσωπεύει (ενεργειακά) την δεδομένη περιοχή.
- Όταν τα δεδομένα καλύπτουν διάστημα μεγαλύτερο του 1 έτους (π.χ. 29 μήνες), τότε για κάθε μήνα ξεχωριστά, υπολογίζεται η μέση κατανομή του (για όλα τα έτη) και στην συνέχεια η ετήσια ενέργεια προκύπτει από τον άθροισμα των 12 μηνιαίων ενεργειών. Έτσι απαλείφεται τυχόν εποχιακή επίδραση όταν τα δεδομένα δεν είναι διάρκειας ακριβώς 12, 24, 36, κ.ο.κ μηνών.
- Για τους ίδιους λόγους υπολογίζονται και τρεις συντελεστές ισχύος.

Τέλος, παρατίθενται 3 γραφήματα όπου απεικονίζονται οι δύο κυριότερες διευθύνσεις χρονικά & ενεργειακά (pie chart), η μέση ταχύτητα του αέρα ανά διεύθυνση (polar chart) και τέλος η πιθανότητα κατανομής των δεδομένων (χρονικά) ανά διεύθυνση, για 4 διαστήματα ταχυτήτων: 2-5m/s, 5-10m/s, 10-15m/s και >15m/s (ιστόγραμμα).

3.6.2 Windrose

Η σελίδα αυτή αποτελείται από δύο λεπτομερή ροδογράμματα (διαγράμματα κατανομής σε πολικές συντεταγμένες). Στο 1ο παρουσιάζεται το ροδόγραμμα χρόνου και στο 2ο το ροδόγραμμα ενέργειας. Εδώ σημειώνεται ότι δεν έχουν ληφθεί υπόψη οι άπνοιες, επειδή κατά την διάρκεια της άπνοιας δεν εμπιστευόμαστε την διεύθυνση που αναφέρει ο ανεμοδείκτης. Πάντως, αν ο χρήστης επιθυμεί το αντίθετο, μπορεί να αλλάξει την τιμή της ταχύτητας του ανέμου για τις άπνοιες στο φύλλο *Input*.



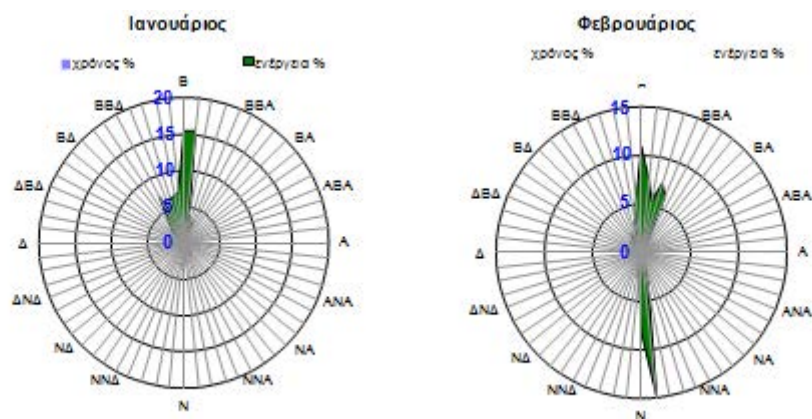
Το ροδόγραμμα διευθύνσεων του ανέμου, για 64 τομείς διεύθυνσης (πιθανότητα εμφάνισης μιας διεύθυνσης στο συνολικό χρόνο)

Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς και τα 2 ροδογράμματα αποτελούνται από 64 τόξα εύρους $5.625^\circ (=360^\circ/64)$. Κάθε τιμή της κατανομής είναι η μέση τιμή των μετρήσεων που εμπεριέχονται στο τόξο και λαμβάνεται στο κέντρο του τόξου, π.χ. η τιμή της κατανομής στο σημείο 0° είναι ο μέσος όρος των μετρήσεων που βρίσκονται μέσα στο τόξο $[-2.8125^\circ, +2.8125^\circ)$.

Το 2^ο ροδόγραμμα που απεικονίζει την κατανομή της ενέργειας ανά διεύθυνση, αναφέρεται στην ενέργεια του αέρα και όχι της A/Γς. Αν και η διαφορά είναι πολύ μικρή, εν τούτοις υφίσταται κυρίως στην περίπτωση

δεδομένων με ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες από την ταχύτητα αποσύνδεσης (cut-out speed) της Α/Γς, όπου η μηχανή θεωρείται ότι έχει τεθεί εκτός λειτουργίας.

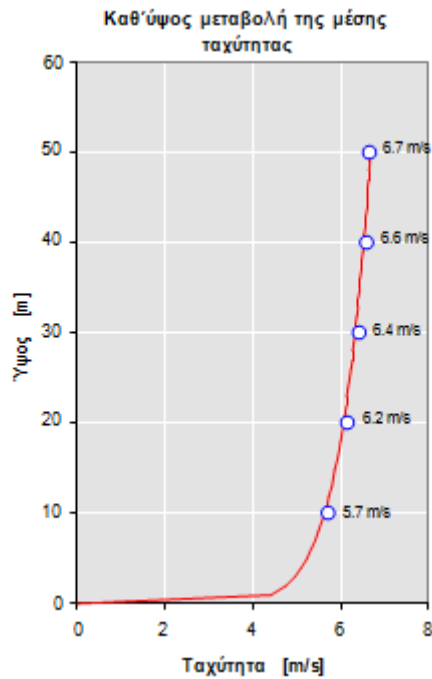
Τέλος, μετά από τα δύο αυτά συγκεντρωτικά ροδογράμματα, παρατίθενται τα μηνιαία ροδογράμματα, χρόνου και ενέργειας.



Αναλυτικά μηνιαία ροδογράμματα

3.6.3 Shear

Το φύλλο αυτό δημιουργείται αυτόματα αν υπάρχουν περισσότερα του ενός ανεμόμετρα.



Μεταβολή της μέσης τιμής της ταχύτητας ανά ύψος. Μετρήσεις και υπολογισθέν *wind shear* (φύλλο εργασίας: *Shear*).

Το 1^ο γράφημα που περιέχει δίνει την μέση τιμή των ανεμομέτρων ανά ύψος, καθώς και το (μέσο) υπολογισθέν κατακόρυφο προφίλ ταχύτητας (*wind shear*). Ο υπολογισμός του γίνεται βάση του λεγόμενου «εκθετικού νόμου»:

$$u(z) = u(z_{ref}) \left(\frac{z}{z_{ref}} \right)^\alpha$$

όπου, z_{ref} είναι το ύψος όπου μετρήθηκε η ταχύτητα $u(z_{ref})$, z είναι το ύψος στο οποίο θα υπολογιστεί η ταχύτητα $u(z)$ και α ο εκθέτης του εκθετικού νόμου.

Average and Max (10min) wind speed per direction

Height	U	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	N	All Dire
10	Ave	6.84	5.59	3.62	3.19	4.37	5.35	5.04	5.07	4.76	3.88	6.06	6.96	5.75
	Max	16.85	13.52	8.18	8.79	16.57	13.06	12.34	11.84	10.91	10.88	16.03	19.03	19.03
20	Ave	7.29	6.07	3.78	3.35	4.57	5.61	5.39	5.66	5.57	4.27	6.42	7.32	6.17
	Max	17.58	14.48	8.86	9.17	16.75	13.15	13.11	13.68	13.39	13.27	16.55	19.50	19.50
30	Ave	7.72	6.52	4.07	3.24	4.64	5.70	5.77	6.10	6.04	4.49	6.51	7.45	6.44
	Max	18.03	15.50	9.73	9.20	16.65	13.52	13.85	14.83	15.06	14.37	16.46	19.60	19.60
40	Ave	7.98	6.65	3.86	3.47	4.63	5.70	6.00	6.37	6.29	4.62	6.65	7.64	6.62
	Max	18.27	15.78	9.80	9.52	16.30	13.84	14.56	15.15	15.54	14.43	16.67	19.85	19.85
50	Ave	8.00	6.65	4.39	3.50	4.59	5.67	6.07	6.51	6.46	4.72	6.74	7.67	6.69
	Max	18.37	15.82	9.84	9.42	16.18	13.92	14.88	15.55	16.02	14.83	16.94	20.04	20.04
80	Ave	8.41	7.03	4.60	3.60	4.66	5.77	6.45	7.03	7.08	5.01	6.96	7.90	7.02
	Max	18.85	16.62	10.41	9.60	16.06	14.24	15.87	16.86	18.04	16.25	17.25	20.33	20.33

Μέση και μέγιστη τιμή ταχύτητας ανά ύψος και ανά διεύθυνση (φύλλο *Shear*)

Ο επόμενος Πίνακας παρουσιάζει τις μετρημένες μέσες και μέγιστες τιμές δεκαλέπτου (ή άλλου χρονικού βήματος) ανά διεύθυνση και ανά ύψος. Στο κάτω μέρος του Πίνακα δίνονται και οι υπολογιζόμενες τιμές της μέσης και μέγιστης τιμής της ταχύτητας στο ύψος της πλήμνης της επιλεχθείσης Α/Γ.

Weibull parameters per Height

Height	Const	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	N	All Dire
10	k	2.60	2.80	2.76	1.84	1.54	2.45	2.24	2.46	2.63	2.25	1.92	2.33	2.01
	C	7.8	6.3	4.2	3.3	4.7	6.1	5.7	5.7	5.3	4.2	6.7	7.9	6.4
20	k	2.65	2.72	2.46	1.97	1.57	2.45	2.24	2.49	2.48	2.04	1.79	2.35	2.08
	C	8.2	6.8	4.3	3.6	4.9	6.4	6.1	6.3	6.3	4.5	7.1	8.2	6.9
30	k	2.64	2.67	2.48	1.94	1.66	2.46	2.11	2.47	2.49	2.01	1.78	2.34	2.10
	C	8.7	7.3	4.7	3.5	5.0	6.5	6.6	6.8	6.8	4.8	7.2	8.4	7.2
40	k	2.62	2.63	2.24	1.92	1.66	2.49	2.07	2.49	2.49	2.08	1.78	2.35	2.08
	C	9.0	7.4	4.4	3.7	5.0	6.5	6.8	7.1	7.1	5.0	7.4	8.6	7.4
50	k	2.59	2.62	2.63	1.96	1.66	2.48	2.05	2.45	2.51	2.10	1.76	2.33	2.09
	C	9.0	7.4	5.1	3.8	5.0	6.4	6.9	7.2	7.3	5.2	7.5	8.7	7.5
80	k	2.55	2.53	2.64	2.01	1.70	2.46	1.94	2.41	2.40	2.02	1.71	2.31	2.07
	C	9.5	7.8	5.3	3.9	5.1	6.5	7.3	7.7	8.0	5.5	7.7	8.9	7.9

Μεταβολή των συντελεστών της κατανομής Weibull ανά ύψος και ανά διεύθυνση (φάλλο Shear)

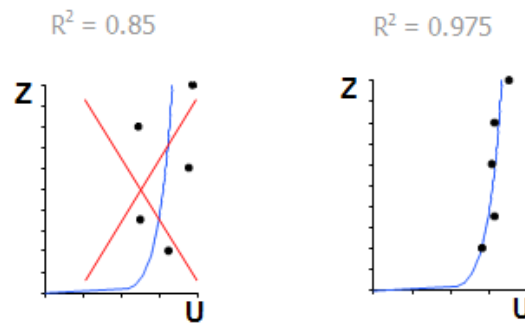
Στην συνέχεια ένας άλλος Πίνακας παρουσιάζει την μεταβολή των συντελεστών της κατανομής Weibull ανά ύψος και ανά διεύθυνση. Και εδώ στο κάτω μέρος δίνονται οι εκτιμώμενες τιμές στο ύψος του πύργου της Α/Γ. Σημειώνεται ότι οι υπολογισμοί του κατακόρυφου προφίλ ταχύτητας (*wind shear*) γίνονται με βάση όλα τα ανεμόμετρα καθώς και ανά διεύθυνση και ταχύτητα. Στην συνέχεια η ταχύτητα για το ύψος της πλήμνης της Α/Γ υπολογίζεται με βάση το υψηλότερο ανεμόμετρο.

Wind Shear exp. coef. α

πυθ	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	N	average
5-6	0.100	0.110	0.112	0.060	0.045	0.045	0.107	0.152	0.172	0.133	0.061	0.063	0.103
6-7	0.108	0.117	0.120	0.071	0.040	0.048	0.122	0.172	0.195	0.141	0.065	0.072	0.111
7-8	0.107	0.121	0.124	0.050	0.026	0.048	0.137	0.192	0.202	0.133	0.068	0.069	0.110
8-9	0.115	0.128	0.113	0.039	0.020	0.039	0.158	0.201	0.217	0.142	0.072	0.062	0.111
9-10	0.120	0.132	0.121	0.041	0.008	0.029	0.158	0.182	0.222	0.167	0.069	0.068	0.115
10-11	0.125	0.126			0.006	0.039	0.160	0.173	0.235	0.166	0.076	0.070	0.120
11-12	0.112	0.154			0.007	0.031	0.154	0.153	0.221	0.164	0.067	0.061	0.103
12-13	0.105	0.164			0.001	0.036	0.152	0.153	0.221	0.188	0.068	0.061	0.103
13-14	0.095	0.158			-0.010	0.048	0.166	0.145	0.236		0.071	0.056	0.088
14-15	0.093	0.114			-0.012		0.137	0.168	0.260	0.195	0.081	0.057	0.087
15-16	0.087	0.105						0.171	0.264		0.068	0.059	0.077
16-17	0.090				-0.015				0.253		0.039	0.057	0.071
17-18	0.067											0.044	0.055
18-19	0.055											0.045	0.047
19-20												0.045	0.045
20-21												0.031	0.031
21-22													
22-23													
23-24													
24-25													
25-													
average	0.096	0.130	0.118	0.052	0.010	0.040	0.147	0.169	0.225	0.161	0.067	0.057	0.107

Μεταβολή του εκθέτη α του εκθετικού νόμου ανά ταχύτητα και ανά διεύθυνση (φάλλο Shear)

Ο τελευταίος Πίνακας του φύλλου αυτού παρουσιάζει τον εκθέτη α του εκθετικού νόμου ως προς την ταχύτητα και την διεύθυνση. Κάθε τιμή παριστά τον μέσο όρο όλων των τιμών που έλαβε για το συγκεκριμένο διάστημα ταχύτητας και διεύθυνσης. Σε κάθε χρονικό βήμα, έγκυρες θεωρούνται οι τιμές του α εάν προκύπτουν από παρεμβολή με R^2 (*goodness of fit*) μικρότερο του 0.95 (δες και το παρακάτω σχήμα).

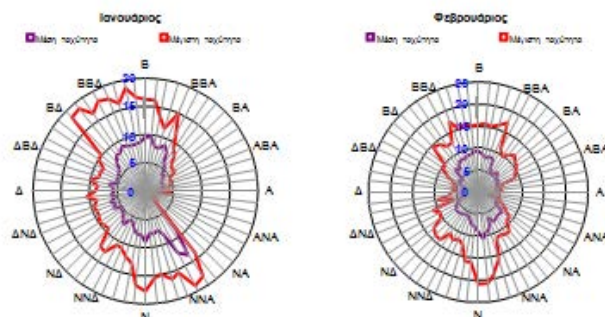


Κριτήριο εγκυρότητας του υπολογιζόμενου *wind shear* (μπλε γραμμή) από τις καθ' ύψος μετρήσεις ταχύτητας (μαύρες κουκκίδες).
Αριστερά: $R^2 < 0.95$ άκυρο. Δεξιά: $R^2 > 0.95$ έγκυρο (φύλλο εργασίας *Shear*).

3.6.4 Upolar

Στο φύλλο αυτό παρουσιάζονται 12 μηνιαία πολικά διαγράμματα με την μέση και μέγιστη ταχύτητα του ανέμου. Σημειώνεται ότι η μέγιστη ταχύτητα του ανέμου που απεικονίζεται εδώ, δεν είναι αυτή της ριπής (διάρκεια 1sec) αλλά αυτή με διάρκεια όση και το χρονικό βήμα (10λεπτο). Όπως και στο φύλλο *WindRose*, τα ροδογράμματα αποτελούνται από 64 τόξα εύρους 5.625° ($=360^\circ/64$).

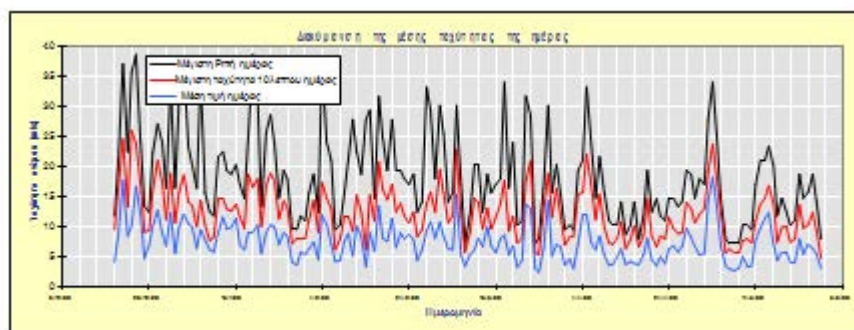
Επισημαίνεται, ότι τα διαγράμματα αυτά δεν απεικονίζουν την πιθανότητα του να φυσήξει ο αέρας από μια συγκεκριμένη διεύθυνση, αλλά το πόσο ισχυροί άνεμοι πνέουν ανά διεύθυνση (άσχετα αν είναι σπάνιο).



Αναλυτικά μηνιαία πολικά διαγράμματα της μέσης και μέγιστης ταχύτητας του ανέμου

3.6.5 TimeCharts

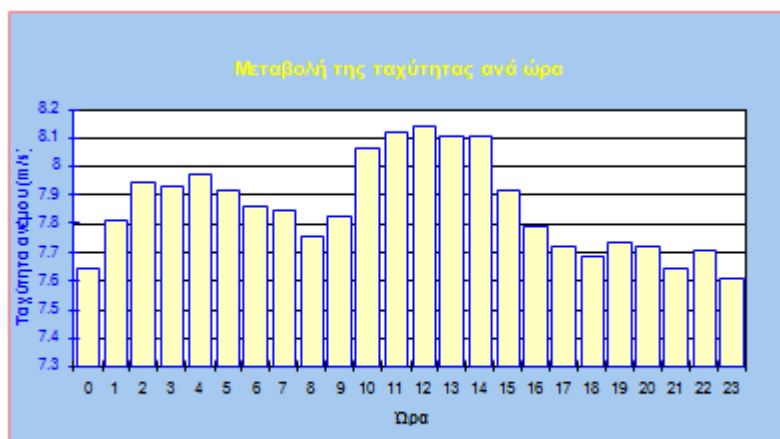
Τρία διαγράμματα συνθέτουν την σελίδα αυτή και δίνουν την γενική εικόνα της διακύμανσης της ταχύτητας του αέρα στην περιοχή των μετρήσεων (λεπτομερέστερες απεικονίσεις παρατίθενται στα επόμενα φύλλα εργασίας).



Μεταβολή της μέσης ημερήσιας ταχύτητας αέρα

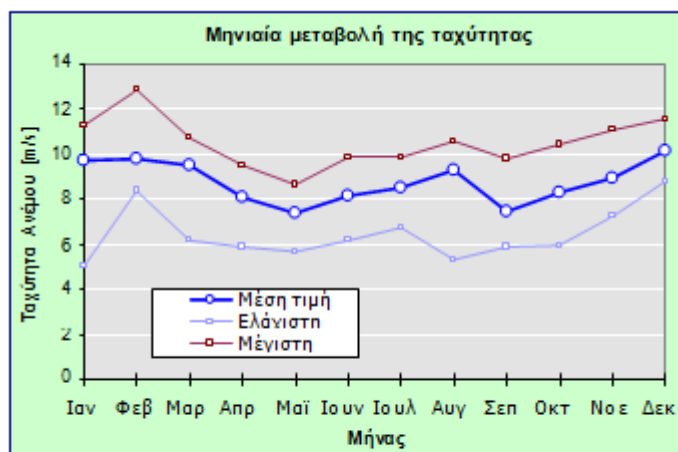
Το 1ο δείχνει την μέση τιμή της ταχύτητας κάθε ημέρας για όλες τις ημέρες. Στο ίδιο διάγραμμα παρουσιάζεται και η μέγιστη τιμή του χρονικού βήματος (π.χ. 10λεπτου) κάθε ημέρας.

Στο 2ο διάγραμμα είναι η λεγόμενη κατανομή Diurnal, δηλαδή η διακύμανση της ταχύτητας ανά ώρα της ημέρας για το σύνολο των μετρήσεων (στο φύλλο *12diurnal* υπάρχει η ωριαία διακύμανση της ταχύτητας αλλά για κάθε μήνα ξεχωριστά). Όλα τα δεδομένα λαμβάνονται υπόψη, ανεξαρτήτως διεύθυνσεως ανέμου.



Η κατανομή Diurnal.

Το 3ο διάγραμμα παρουσιάζει την μέση ταχύτητα ανά μήνα. Αν τα ανεμολογικά δεδομένα υπερβαίνουν το 1 έτος, τότε εμφανίζονται και οι ακρότατες τιμές της διακύμανσης της μέσης τιμής του ίδιου μήνα.



*Εξέλιξη της μέσης ταχύτητας ανά μήνα στην διάρκεια πολλών ετών
(η ελάχιστη- μέγιστη τιμή αναφέρονται στην ελάχιστη-μέγιστη μέση τιμή του μήνα.)*

Στην σελίδα αυτή, υπάρχουν 2 αναλυτικοί πίνακες που εμπεριέχουν σημαντικά στοιχεία της ανάλυσης: Ο 1ος είναι πίνακας με τις τιμές της % έντασης της τύρβης ($\sigma_u / U_{MEAN} * 100$) ανά διεύθυνση ανέμου και ανά διάστημα ταχύτητας εύρους 1m/s. Ο 2ος παρουσιάζει τον αριθμό των δεδομένων πάλι ανά διεύθυνση και διάστημα ταχύτητας 1m/s. Εδώ αξίζει να τονιστούν τα παρακάτω:

Η κατηγοριοποίηση των ταχυτήτων του ανέμου έχει γίνει σε 25 διαστήματα εύρους 1m/s, με το 26^ο να εμπεριέχει τον αριθμό όλων των δεδομένων >25m/s. Στον 1^ο Πίνακα δεν εμφανίζονται τα διαστήματα ταχύτητας <5m/s (έχοντας ενεργοποιήσει την απόκρυψη κελιών του Excel), αφενός επειδή η ένταση της τύρβης για μικρές ταχύτητες δεν έχει ιδιαίτερη φυσική σημασία, αφετέρου γιατί καθίσταται προβληματική η σύγκριση των διαφόρων τιμών στην γραφική απεικόνιση του πίνακα (φύλλο εργασίας 3D).

Κατανομή δεδομένων ανά διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου

μπς	BBA	BA	ABA	A	ANA	NA	NNA	N	NNA	NA	ΔNA	Δ	ΔBA	BA	BBA	B	Σύνολο
0-1	32	61	50	78	124	100	92	154	110	104	141	189	229	166	38	38	1704
1-2	41	55	80	142	141	175	134	158	158	224	315	436	493	337	47	42	2978
2-3	31	49	69	187	239	255	140	141	139	304	483	782	784	428	64	22	4117
3-4	16	27	61	139	206	215	127	153	161	361	720	1338	797	288	18	7	4634
4-5	9	5	18	60	167	209	158	189	142	284	899	2165	862	106	10	7	5290
5-6	18	8	11	33	139	243	220	148	105	236	609	2351	782	65	22	13	5003
6-7	7	2	1	14	144	218	218	130	91	208	430	1988	1004	88	10	3	4556
7-8				15	115	265	204	54	91	177	246	1463	1131	106	5	1	3873
8-9	1			10	69	168	122	31	93	138	151	1272	1298	120		2	3475
9-10				7	46	184	78	28	52	135	122	995	1413	137	1		3198
10-11				5	31	218	77	26	42	83	76	1163	1439	176			3338
11-12				4	46	205	71	19	23	71	72	1159	1338	250	1		3259
12-13				10	23	211	81	26	26	61	30	1004	1245	177	1		2895
13-14				4	16	191	37	23	20	33	22	938	1238	57	2		2581
14-15				5	14	122	34	13	15	51	6	813	1100	44	1		2218
15-16				4	6	86	27	4	2	63	3	430	933	40	1		1698
16-17				8	6	93	26	6		22	162	684	68	2			1067
17-18				10	6	58	12	3		8	29	524	30				680
18-19				12	1	37	7	2		2	6	470	11				548
19-20				4		18	11	1			1	308	11				354
20-21				1	1	18	8					189	3				220
21-22						8	6					89					103
22-23						1	4					25					30
23-24							2					5					7
24-25							3					3					6
25-							1										1
Σύνολο	155	207	290	752	1540	3298	1900	1309	1270	2565	4325	18684	18383	2698	223	133	57732

Πίνακας με την κατανομή των δεδομένων ανά ταχύτητα και διεύθυνση.

Ο αριθμός των τομέων διεύθυνσης είναι αυτός που καθορίστηκε στο φύλλο εργασίας *Input* (8, 12 ή 16). Επισημαίνεται οι διευθύνσεις αντιστοιχούν στα κέντρα των τομέων που αναφέρονται, π.χ. αν έχουν επιλεχθεί 16 τομείς (η συνιστώμενη τιμή) τότε το εύρος κάθε τομέα είναι 22.5° ($=360^\circ/16$) και για τον Βορρά λαμβάνονται υπόψη οι μετρήσεις με διεύθυνση ανέμου μέσα στο τόξο $[348.75^\circ, +11.25^\circ)$. Ο 2ος πίνακας είναι ένα γρήγορο εργαλείο για να διαπιστώσει κανείς αριθμητικά οιαδήποτε λάθη ή ιδιαιτερότητες των μετρήσεων.

Ο υπολογισμός της μέσης τύρβης σε κάθε διάστημα γίνεται με την κλασσική μέθοδο, χωρίς καμία επιπλέον διόρθωση. Παρόλο που ο τρόπος αυτός δεν είναι ακριβής, προσεγγίζει αρκετά την πραγματική τιμή, την οποία θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε επ' ακριβώς μόνο από τις λεπτομερείς χρονοσειρές ταχύτητας του αέρα.

Στο τέλος της σελίδας αυτής παρατίθενται 2 αριθμοί που αναφέρονται στις διαδοχικές περιστροφές που πραγματοποίησε ο ανεμοδείκτης κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Οι αριθμοί αυτοί χρησιμεύουν στον υπολογισμό των περιελίξεων των καλωδίων μεταφοράς ισχύος της Α/Γς. Για τον υπολογισμό τους έχουν ληφθεί υπόψη όλα τα δεδομένα (συμπεριλαμβανομένων και των απνοιών) επειδή, ακόμα και στην περίπτωση χαμηλών ταχυτήτων αέρα, η Α/Γ περιστρέφεται με σκοπό τον καλύτερο δυνατό προσανατολισμό. Είναι προφανές ότι η ακρίβεια των αριθμών αυτών, εξαρτάται από το ποσοστό πληρότητας των δεδομένων.

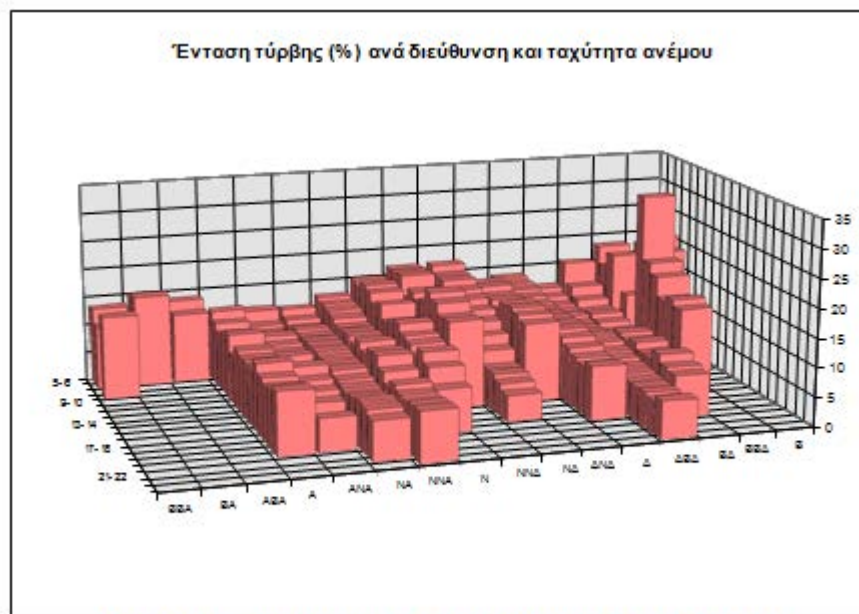
Ένταση τύρβης (%) ανά διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου

m/s	ΒΒΑ	ΒΑ	ΑΒΑ	Α	ΑΝΑ	ΝΑ	ΝΝΑ	Ν	ΝΝΔ	ΝΔ	ΔΝΔ	Δ	ΔΒΔ	ΒΔ	ΒΒΔ	Β
6-8	14	16	14	11	11	11	13	15	17	16	13	14	11	16	15	16
8-7	11	16	12	12	9	10	12	15	17	18	14	13	10	12	15	15
7-3				11	9	9	12	16	17	17	15	13	10	10	18	21
3-9	15			10	9	10	11	15	14	17	15	12	9	9	9	19
9-10				11	10	9	10	14	16	16	14	12	9	9	12	
10-11				12	9	9	10	15	15	15	14	12	9	8		
11-12				9	9	9	11	12	16	13	13	11	8	7	32	
12-13				10	9	9	10	13	18	12	15	12	9	7	20	
13-14				10	7	9	11	14	17	11	15	12	9	9	19	
14-16				10	7	9	10	13	15	9	15	12	8	8	15	
15-18				10	10	9	11	12	15	7	14	11	8	9	18	
18-17				12	8	8	11	11		6		10	7	8	15	
17-18				10	7	7	10	12		6		9	7	8		
13-18				10	6	7	8	11		5		9	7	9		
19-20				10		7	9	8				9		8		
20-21				11	6	8	8						8	8		
21-22						8	8						8	7		
22-23						9	9						8			
23-24						7							7			
24-25													7			
25-																

Πίνακας με την κατανομή της τύρβης ανά ταχύτητα και διεύθυνση.

3.6.6 3D

Στην σελίδα αυτή απεικονίζονται τρισδιάστατα οι 2 πίνακες του φύλλου Tables. Στο 1^ο διάγραμμα απεικονίζεται η κατανομή της % έντασης της τύρβης ανά διεύθυνση και ταχύτητα στο δε 2^ο η κατανομή των δεδομένων επίσης ανά διεύθυνση και ταχύτητα. Για την εξαγωγή



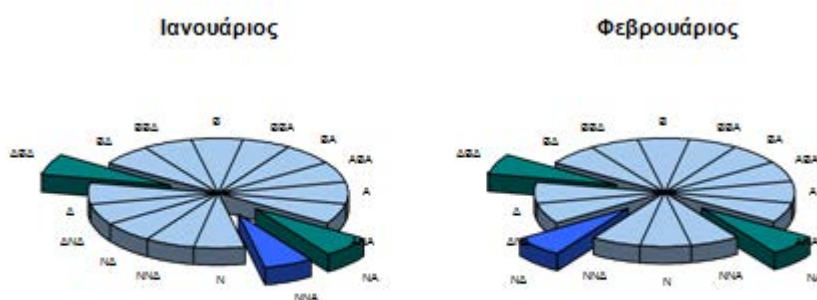
Τρισδιάστατη απεικόνιση της έντασης της τύρβης ανά ταχύτητα και διεύθυνση.

ασφαλών συμπερασμάτων από το 1^ο διάγραμμα σχετικά με την κατανομή της τύρβης, πρέπει να ελέγχεται κατά πόσον ένας ικανός αριθμός σημείων υπάρχει στο αντίστοιχο 2ο διάγραμμα (ή στον 2ο πίνακα

του φύλλου *Tables*).

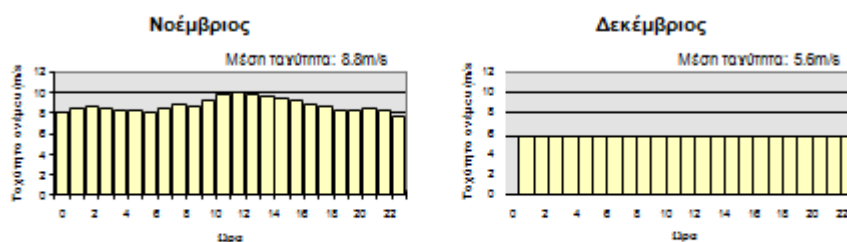
12 pie

Στο 2σέλιδο αυτό φύλλο παρουσιάζονται 12 pie charts, ένα για κάθε μήνα, όπου απεικονίζονται οι δύο κύριες διευθύνσεις του ανέμου χρονικά και ενεργειακά. Όπως και στο φύλλο *WindRose* έτσι και εδώ δεν λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό ως προς τον χρόνο οι άπνοιες. Αν υπάρχουν δεδομένα από τον ίδιο μήνα αλλά άλλου έτους, τότε αυτά συνυπολογίζονται. Στο τέλος της 2ης σελίδας υπάρχει αναλυτικός πίνακας όπου παρουσιάζονται και αριθμητικά τα αποτελέσματα.



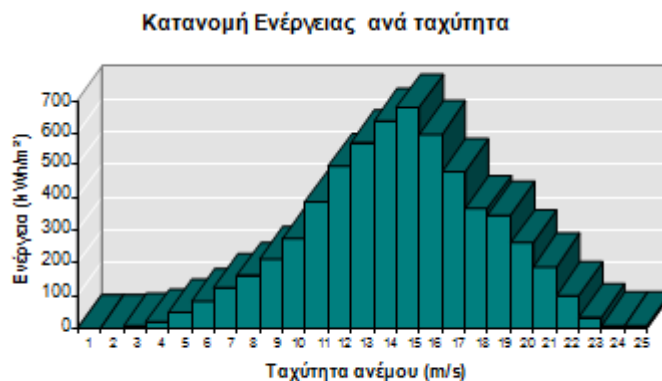
3.6.7 12 diurnal

Στην σελίδα αυτή απεικονίζεται 12 διαγράμματα, ένα ανά μήνα, η ωριαία μεταβολή της ταχύτητας κατά την διάρκεια της ημέρας. Όλα τα δεδομένα λαμβάνονται υπόψη ανεξαρτήτως διεύθυνσεως ανέμου. Επίσης, αν υπάρχουν δεδομένα από τον ίδιο μήνα αλλά άλλου έτους, τότε αυτά συνυπολογίζονται.



Barcharts

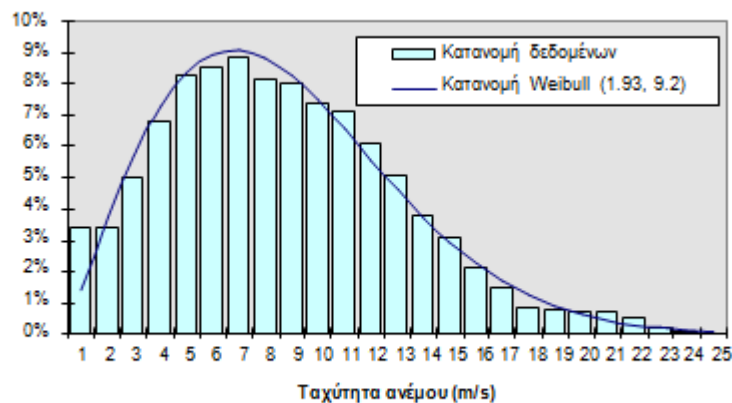
Τέσσερα διαγράμματα συνθέτουν την σελίδα αυτή. Τα δύο πρώτα αφορούν την κατανομή της συνολικής ενέργειας (του ανέμου και όχι της A/Γ_s) ανά διεύθυνση και ανά ταχύτητα. Τα δύο τελευταία αφορούν την χρονική κατανομή του ανέμου πάλι ανά διεύθυνση και ταχύτητα. Στα διαγράμματα κατανομής χρόνου και ενέργειας ανά διεύθυνση, δεν συμπεριλαμβάνονται τα δεδομένα με ταχύτητα μικρότερη της επιλεγμένης για τις άπνοιες. Αν ο χρήστης επιθυμεί το αντίθετο, τότε μπορεί να θέσει σαν όριο για τις άπνοιες τα 0m/s και να ξανατρέξει το πρόγραμμα.



Κατανομή της συνολικής ενέργειας του αέρα ανά ταχύτητα.

3.6.8 Weibull

Τρία διαγράμματα και ένας πίνακας συνθέτουν την σελίδα αυτή. Στο 1^ο διάγραμμα εμφανίζεται η πραγματική κατανομή των δεδομένων ανά ταχύτητα, μαζί με την κατανομή Weibull που την προσεγγίζει. Για τον υπολογισμό των συντελεστών της χρησιμοποιείται η μέθοδος *Weibull paper* και ελήφθησαν υπόψη όλα τα δεδομένα, ανεξαρτήτως διεύθυνσεως του αέρα. Αντιθέτως, στον Πίνακα του φύλλου αυτού, παρουσιάζονται ανά τομέα διεύθυνσης οι συντελεστές της κατανομής Weibull, το εκατοστιαίο ποσοστό των δεδομένων, η μέση ταχύτητα και η ένταση της τύρβης. Αν υπάρχουν πολλά ανεμόμετρα, τότε αυτά τα αποτελέσματα αφορούν το ανεμόμετρο αναφοράς.

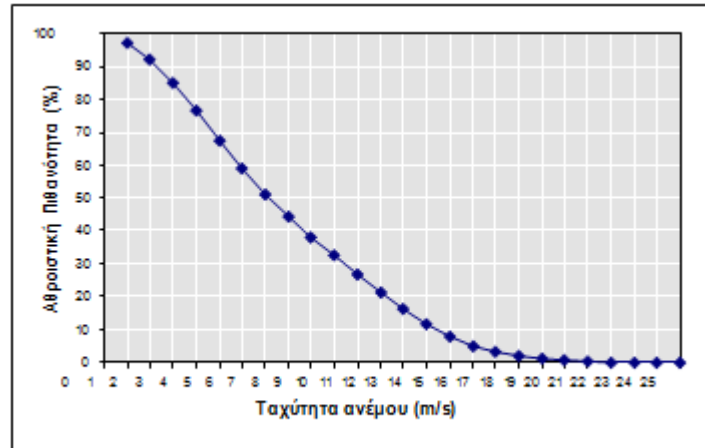


Η κατανομή των δεδομένων ανά ταχύτητα καθώς και η κατανομή Weibull που την προσεγγίζει.

Το 2^ο διάγραμμα είναι αυτό με την αθροιστική πιθανότητα (%) σε συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου. Η χρησιμότητα του έγκειται στο να βρει κανείς την πιθανότητα που υπάρχει να εμφανιστούν ταχύτητες μεγαλύτερες από μία συγκεκριμένη ταχύτητα (π.χ. τι πιθανότητα έχει να λειτουργεί μια Α/Γ αν η cut-in ταχύτητά της είναι 5m/s). Τελευταίο είναι το διάγραμμα που παρουσιάζει την μεταβολή της έντασης της τύρβης ανά διεύθυνση για την ταχύτητα του ανέμου που καθορίστηκε στο φύλλο Input (π.χ. στα 10m/s ±1m/s).

Διεύθυνση	Γωνία (°)	Weibull shape	Weibull scale	Κατανομή δεδομένων	Μέση ταχύτητα	Εντ.τύρβης στα 10m/s
ΒΒΑ	11.25 - 33.75	1.65	3.27	0.27%	2.5	
ΒΑ	33.75 - 56.25	1.79	2.73	0.36%	1.9	
ΑΒΑ	56.25 - 78.75	1.65	2.97	0.50%	2.2	
Α	78.75 - 101.25	1.42	5.69	1.30%	4.0	11.0
ΑΝΑ	101.25 - 123.75	1.70	6.28	2.67%	5.0	9.5
ΝΑ	123.75 - 146.25	1.87	9.37	5.71%	8.3	9.3
ΝΝΑ	146.25 - 168.75	1.72	8.40	3.29%	6.9	10.3
Ν	168.75 - 191.25	1.58	5.88	2.27%	4.7	14.2
ΝΝΔ	191.25 - 213.75	1.71	6.11	2.20%	5.1	15.4
ΝΔ	213.75 - 236.25	1.85	7.23	4.44%	5.9	15.2
ΔΝΔ	236.25 - 258.75	2.16	6.07	7.49%	4.9	14.0
Δ	258.75 - 281.25	2.36	8.98	32.36%	7.8	11.7
ΔΒΔ	281.25 - 303.75	2.11	11.32	31.84%	10.2	8.8
ΒΔ	303.75 - 326.25	1.74	7.25	4.67%	6.7	8.6
ΒΒΔ	326.25 - 348.75	1.53	4.37	0.39%	3.0	12.1
Β	348.75 - 11.25	1.55	3.02	0.23%	2.3	

Παρουσίαση ανά διεύθυνση των επί μέρους συντελεστών της κατανομής Weibull, του ποσοστού των δεδομένων, της μέσης τιμής τους και της έντασης της τύρβης τους.



Αθροιστική πιθανότητα των δεδομένων.

3.6.9 UhourT, UhourG

Στα 2 αυτά φύλλα εργασίας απεικονίζεται ανά μήνα η μέση τιμή της ταχύτητας ανά ώρα για όλες τις ημέρες του μήνα. Στο φύλλο *UhourT* υπάρχουν οι πίνακες με τις τιμές των (ωριαίων) ταχυτήτων και στο φύλλο *UhourG* γραφήματά τους ανά μήνα.

Μέση ταχύτητα ανέμου ανά ημέρα και ώρα

Ιανουάριος 2000	Μέση ταχύτητα: 9.0m/s Πληρότητα δεδομένων: 100.0%																								
1	12.9	12.8	12.3	12.5	11.5	11.1	11.0	10.4	10.1	8.8	7.0	7.1	5.5	6.1	6.2	5.8	5.9	5.5	5.4	5.5	6.4	7.5	7.8	7.1	8.5
2	6.4	6.4	5.5	4.9	5.4	5.7	4.5	4.5	2.5	2.5	3.9	4.0	4.0	3.6	3.5	5.4	5.0	5.3	3.6	3.5	4.6	6.5	6.9	5.1	5.3
3	7.9	11.1	11.6	12.0	12.5	12.0	15.0	15.5	16.4	15.5	14.7	15.2	12.7	12.3	11.9	12.9	11.5	12.1	11.5	12.4	15.7	14.9	12.1	11.7	12.1
4	5.6	9.2	9.2	8.9	8.2	6.4	5.9	6.1	6.6	6.1	6.7	6.1	5.2	4.1	1.8	2.0	1.6	2.0	1.7	1.1	3.3	6.2	10.4	10.1	5.5
5	5.0	7.3	5.5	5.5	5.4	6.9	5.9	4.9	6.0	6.0	5.2	5.3	4.0	1.9	2.1	1.6	2.6	3.2	3.5	2.7	1.5	0.5	2.2	3.5	4.6
6	4.5	5.6	5.9	5.7	5.3	5.2	6.0	6.1	6.0	5.7	5.6	5.0	4.4	3.2	2.1	2.5	2.9	2.7	3.0	3.6	1.7	3.0	2.5	3.4	4.2
7	5.5	6.2	6.4	7.2	7.5	5.4	9.0	10.2	8.7	11.4	12.5	11.9	12.5	12.2	11.1	11.5	11.6	12.2	11.9	10.6	11.2	13.6	12.4	12.2	10.4
8	12.1	12.6	12.4	12.1	10.5	9.8	11.2	10.3	11.1	10.2	9.4	6.4	6.9	5.2	3.5	2.7	3.5	2.9	4.3	5.4	5.2	6.9	6.9	6.6	7.9
9	7.4	7.6	6.7	6.5	6.0	5.0	5.4	5.6	5.0	5.1	4.5	4.2	2.5	0.8	2.0	1.7	2.0	1.5	0.6	1.5	0.7	2.2	4.4	4.5	3.9
10	6.2	6.5	6.7	6.6	6.4	6.2	6.5	6.4	7.4	7.5	7.4	6.6	7.1	6.5	6.6	6.3	5.5	5.3	4.9	5.7	6.5	6.6	6.7	5.5	6.5
11	6.7	7.9	7.6	8.0	7.9	7.9	8.5	9.6	9.6	9.4	8.9	8.4	7.3	6.5	5.9	4.6	3.9	4.5	6.5	6.3	6.9	9.2	9.2	11.1	7.0
12	10.9	11.0	12.1	11.4	11.6	12.6	12.9	12.6	12.4	12.2	11.4	10.5	9.4	9.1	10.2	10.1	9.6	8.9	7.9	7.2	7.2	7.5	9.6	9.9	10.5
13	9.8	12.0	12.2	14.5	12.2	14.2	14.9	14.5	14.6	14.0	12.6	12.6	12.9	12.9	11.7	11.7	11.6	12.5	14.1	14.2	12.6	12.6	15.6	16.2	12.5
14	17.5	16.5	20.5	21.5	20.9	21.4	20.4	19.0	20.1	21.1	22.0	19.4	20.0	21.4	19.4	20.5	19.5	18.9	19.9	18.7	19.0	19.6	19.0	19.6	19.9
15	20.5	21.2	16.7	19.2	19.5	20.0	21.5	21.1	22.2	22.9	21.4	20.4	21.7	21.2	20.4	19.4	19.6	18.3	17.2	14.5	14.2	12.9	12.5	11.4	15.9
16	10.2	9.6	9.4	9.0	8.4	6.7	6.5	6.6	6.1	4.5	5.4	4.6	3.2	1.5	1.4	3.2	4.2	5.6	6.5	5.6	5.2	3.9	3.7	2.0	5.6
17	1.7	4.1	5.1	7.5	7.6	9.1	6.6	7.9	10.3	11.6	12.0	13.6	15.2	14.0	12.9	12.6	11.0	10.6	9.6	5.5	7.3	2.9	1.1	2.0	6.6
18	3.7	7.6	9.7	8.9	11.0	12.9	16.9	15.5	16.6	15.1	17.2	16.4	12.1	12.9	9.4	9.2	11.1	10.5	10.5	9.0	9.4	9.7	11.5	12.9	11.9
19	14.0	10.6	9.0	10.0	12.5	12.2	12.5	12.0	14.5	14.9	15.2	14.2	10.0	10.6	11.2	12.6	10.2	8.2	6.0	9.5	7.4	7.2	6.2	3.5	10.5
20	4.5	3.9	3.9	5.5	6.1	7.1	5.2	5.7	6.1	7.5	5.9	5.6	4.6	4.3	4.6	5.4	6.2	10.1	11.9	12.5	12.2	12.9	12.6	12.4	7.6
21	12.0	9.9	7.9	6.0	4.1	0.5	1.6	2.5	7.2	6.4	9.5	12.2	14.6	12.4	12.6	14.6	15.9	12.6	12.5	12.1	12.5	12.2	12.7	12.0	10.2
22	12.1	9.6	12.7	17.1	14.1	17.7	17.9	16.2	12.9	12.6	10.9	9.7	6.7	6.5	6.4	5.4	2.0	4.2	7.6	7.0	7.6	7.5	7.4	6.2	9.9
23	7.5	7.2	5.9	5.5	4.6	4.4	4.5	3.5	2.6	2.7	3.7	5.1	5.4	6.2	7.5	9.9	8.0	9.4	6.1	10.4	9.1	10.6	10.6	12.5	6.9
24	12.2	12.6	14.6	12.5	12.6	14.5	14.5	11.9	12.6	15.1	15.1	14.5	16.5	16.2	15.7	15.2	16.5	12.5	14.7	15.9	15.9	11.5	12.1	11.9	14.5
25	11.7	12.1	12.2	11.5	10.9	11.5	11.7	9.5	8.4	7.4	7.4	7.6	8.9	9.7	9.0	9.6	9.2	9.1	8.0	6.9	5.5	6.9	6.4	6.7	9.2
26	7.2	6.1	5.6	6.2	5.7	6.2	6.5	7.2	7.7	6.7	7.1	6.1	9.2	9.5	10.6	12.2	11.6	12.5	12.9	12.9	12.4	12.1	6.1	4.7	6.9
27	5.9	6.4	7.0	6.5	7.9	9.6	7.7	5.7	6.2	5.4	4.4	3.5	2.0	2.0	2.4	3.2	4.5	5.4	5.1	4.7	3.5	4.7	6.0	5.1	5.2
28	4.2	2.0	1.9	0.4	1.2	3.0	2.7	5.1	4.7	2.1	3.4	6.5	9.5	9.6	6.7	9.5	10.6	10.5	10.6	11.1	11.5	12.1	14.4	14.6	7.2
29	12.9	12.1	12.6	14.2	14.6	12.0	12.5	11.6	10.2	9.2	9.2	9.7	10.6	9.2	9.7	9.5	8.0	7.4	8.0	6.2	7.2	6.6	6.2	10.1	11.9
30	6.1	5.7	6.4	5.7	6.0	5.6	5.4	5.4	5.5	6.5	6.5	6.1	10.6	10.5	10.2	9.7	10.2	10.1	9.5	8.2	6.6	6.7	5.5	6.4	7.9
31	7.9	7.1	5.4	4.7	6.6	4.0	0.5	2.0	0.9	1.5	1.9	1.1	1.1	1.5	2.5	2.6	2.4	4.7	5.4	5.6	6.2	6.9	7.0	6.2	4.2

Αναλυτικός πίνακας με την μεταβολή της μέσης ωριαίας ταχύτητας για όλες τις ημέρες του μήνα

3.6.10 DIRhourT, DIRhourG

Στα 2 αυτά φύλλα εργασίας απεικονίζεται ανά μήνα η μέση ωριαία διεύθυνση του ανέμου. Η απεικόνιση γίνεται με 3 διαφορετικά σύμβολα ανάλογα με την ταχύτητα του αέρα (0-5, 5-10, >10m/s). Στο φύλλο *DIRprodT* υπάρχουν οι αναλυτικοί πίνακες με τις τιμές των διευθύνσεων και στο φύλλο *DIRprodG* τα αντίστοιχα γραφήματά τους.

Μέση διεύθυνση ανέμου ανά ώρα και ημέρα

Ιανουάριος 2000 Μέση ταχύτητα: 9.0m/s Πληρότητα δεδομένων: 100.0%

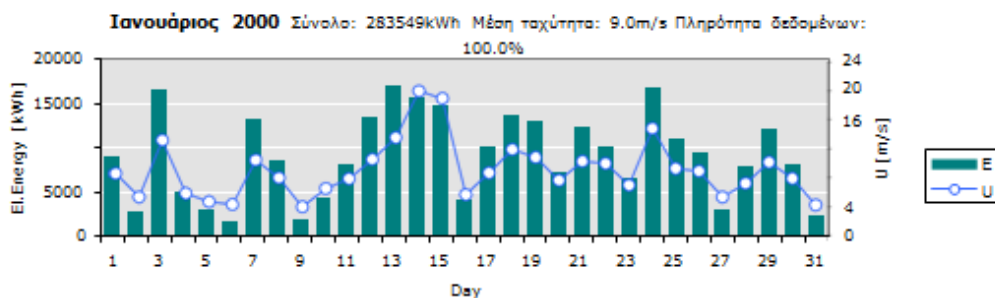
2000	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31											
1	174	142	142	142	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141												
2	147	140	143	141	147	153	155	177	154	148	152	133	122	136	141	144	159	152	157	155	207	248	256	257	257	257	257	257	257	257	257											
3	261	240	244	242	245	247	245	247	247	245	247	250	253	259	252	252	261	249	254	251	245	243	252	259	259	259	259	259	259	259	259											
4	251	245	245	244	241	239	239	244	251	254	253	265	257	261	241	101	99	95	91	98	275	273	254	259	259	259	259	259	259	259	259											
5	255	254	257	248	248	243	235	221	234	236	240	255	273	274	79	85	87	103	125	125	118	120	264	265	265	265	265	265	265	265	265											
6	266	266	265	269	275	279	283	258	264	262	267	275	278	304	37	59	95	54	86	103	75	35	40	33	33	33	33	33	33	33	33											
7	265	266	273	263	277	272	274	291	290	290	271	265	259	257	265	272	275	270	269	267	269	252	250	253	253	253	253	253	253	253	253	253										
8	253	252	251	251	253	256	252	256	253	252	253	254	254	256	249	251	312	300	299	299	290	298	297	295	295	295	295	295	295	295	295	295										
9	266	265	265	262	260	254	253	259	262	262	263	274	290	155	124	92	90	91	73	129	159	266	257	271	271	271	271	271	271	271	271	271										
10	251	253	270	265	265	267	263	266	267	262	258	264	278	290	300	312	310	311	301	302	305	302	295	299	299	299	299	299	299	299	299	299	299									
11	272	260	262	261	267	264	255	251	251	250	250	252	260	255	259	278	274	272	257	251	276	267	262	267	267	267	267	267	267	267	267	267	267	267								
12	257	256	252	256	252	245	245	247	245	251	252	269	272	269	267	271	266	260	266	257	261	256	242	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24							
13	244	235	233	236	240	244	246	245	245	242	245	247	246	242	250	253	267	271	270	266	271	274	273	271	271	271	271	271	271	271	271	271	271	271	271	271						
14	261	255	250	250	250	250	254	260	261	257	255	264	274	275	273	271	274	260	269	267	267	263	262	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261					
15	252	252	255	264	267	256	251	256	253	252	253	252	251	251	252	252	251	251	252	252	251	249	247	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245				
16	253	256	254	256	256	255	256	260	261	259	267	275	267	6	63	102	96	95	124	134	135	150	155	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171				
17	246	252	256	251	257	253	254	262	255	255	245	252	251	251	250	252	257	245	245	246	250	230	145	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16				
18	132	145	152	145	140	144	142	145	141	149	141	145	155	160	129	140	146	142	141	119	125	143	144	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14			
19	125	134	122	115	115	95	107	106	116	121	121	120	129	127	145	156	160	157	129	140	145	152	170	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23		
20	271	270	230	157	159	172	159	159	206	193	204	233	242	242	247	267	250	244	244	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245		
21	249	250	257	257	269	320	75	104	145	145	129	126	140	134	126	126	133	134	123	126	124	129	142	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	
22	125	133	125	115	110	117	116	117	105	106	124	151	142	137	137	145	159	303	294	300	295	296	310	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
23	304	305	323	329	1	329	327	319	14	29	79	97	97	89	85	95	91	91	77	99	83	97	92	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		
24	99	101	102	99	100	103	105	95	97	125	112	107	111	106	113	113	117	122	125	122	126	143	140	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	
25	139	142	145	145	149	152	152	154	154	159	152	151	144	141	144	146	144	150	157	156	155	163	163	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	
26	169	165	166	166	169	170	167	177	179	173	159	150	140	134	125	144	152	159	159	155	157	165	163	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	
27	231	232	245	249	255	250	244	235	232	230	262	279	305	77	85	89	100	126	150	169	205	227	242	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
28	255	271	295	318	30	95	111	144	167	125	111	122	129	125	125	126	140	142	142	141	145	146	149	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
29	150	151	145	144	129	141	150	147	147	142	142	145	142	137	134	129	141	147	142	142	152	152	145	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	
30	145	144	141	144	140	141	136	127	134	134	122	124	120	116	115	109	106	106	110	120	121	127	126	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
31	140	145	156	144	144	162	171	205	156	271	314	16	75	85	120	122	124	122	126	125	125	126	123	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	

Αναλυτικός Πίνακας με την μεταβολή της μέσης ωριαίας διεύθυνσης στην διάρκεια του μήνα

3.6.11 WTprodT, WTprodG

Στα 2 αυτά φύλλα εργασίας απεικονίζεται ανά μήνα η αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας της ανεμογεννήτριας που επιλέχθηκε στο φύλλο *Input*, ανά ώρα για όλες τις ημέρες του μήνα. Εάν υπάρχουν ελλιπή δεδομένα τότε προφανώς δεν εμφανίζεται παραγωγή Α/Γς, γι' αυτό επιστάται η προσοχή στον τίτλο κάθε γραφήματος όπου δίδεται η πληρότητα δεδομένων. Στο φύλλο *WTprodT* υπάρχουν οι πίνακες με τις τιμές της ωριαίας παραγόμενης ενέργειας και στο φύλλο *WtprodG* τα αντίστοιχα γραφήματά τους ανά μήνα.

Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (NEG Micon 750/48) ανά ημέρα



Η παραγόμενη ενέργεια της Α/Γς ανά ημέρα.

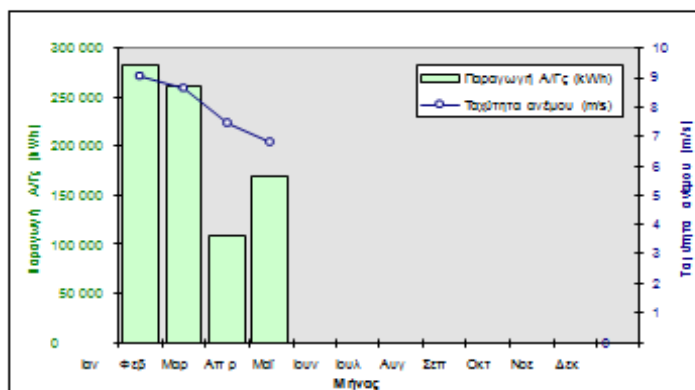
Τέλος, ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα απεικονίζει την μεταβολή της μέσης ταχύτητας ανά μήνα, καθώς και την αναμενόμενη παραγωγή της Α/Γς, στην διάρκεια του έτους. Και εδώ, δεδομένα από τον ίδιο μήνα αλλά από διαφορετικά έτη συνυπολογίζονται.

Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (NEG Micon 750/48) ανά ημέρα και ώρα

Ιανουάριος 2000 Σύνολο: 283549kWh Μέση ταχύτητα: 9.0m/s Πληρότητα δεδομένων: 100.0%

1	731	730	725	707	672	620	641	607	672	612	537	520	114	127	127	121	124	110	102	122	171	221	217	247	2607
2	179	174	124	72	101	120	22	22	1	22	22	22	42	112	122	122	22	22	22	22	22	212	212	212	2702
3	224	644	677	662	712	722	722	724	712	722	722	727	722	722	722	662	721	662	701	662	727	722	722	722	14222
4	222	422	422	422	272	172	122	127	127	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	4272
5	422	222	222	422	411	222	222	122	74	122	122	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	2222
6	22	117	124	122	22	22	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	1272
7	122	127	177	222	227	222	222	272	421	622	712	622	712	702	622	677	672	702	622	611	622	722	722	722	12122
8	722	717	712	722	612	612	622	622	622	622	622	622	622	622	622	622	622	622	622	622	622	622	622	622	22222
9	222	222	222	122	22	22	122	112	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	1222
10	122	212	222	122	127	127	127	127	127	222	222	222	212	127	127	122	22	77	117	122	122	122	122	122	4222
11	222	227	222	212	227	221	422	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	2222
12	641	647	627	622	622	722	721	712	722	722	627	612	212	472	222	227	222	422	212	222	272	222	222	222	12222
13	242	672	727	721	721	722	722	722	722	722	712	722	722	721	622	622	622	722	727	722	712	722	722	712	17222
14	622	622	672	622	672	222	227	622	672	622	422	621	622	622	622	672	621	622	622	622	622	622	622	622	22222
15	672	227	621	622	621	672	222	222	222	222	222	222	112	422	672	622	227	621	621	621	622	722	721	721	14222
16	222	222	212	422	222	222	222	127	127	122	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	4222
17	2	42	22	212	222	472	417	222	222	722	722	722	722	712	621	612	221	412	272	12	22	22	22	22	12222
18	21	221	222	422	642	722	727	622	711	627	722	627	722	722	622	622	622	622	622	622	622	622	622	622	12222
19	721	612	222	222	712	721	722	722	722	722	722	622	222	621	627	717	222	272	222	217	222	222	222	222	12222
20	22	22	22	122	122	222	222	122	122	122	122	122	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	12222
21	622	221	222	121	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	12222
22	621	212	622	722	712	721	622	712	622	622	622	422	122	122	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	12222
23	222	222	122	122	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	12222
24	712	712	722	712	622	712	627	622	722	622	622	622	712	712	621	622	712	727	721	712	717	622	722	712	12222
25	621	627	622	672	622	672	622	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	12222
26	222	121	112	127	122	127	222	227	212	222	222	422	227	621	722	672	722	721	722	727	622	222	222	222	2222
27	122	177	221	122	222	222	212	117	127	112	22	22	22	22	22	17	62	122	22	22	72	122	22	22	12222
28	42	1	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	12222
29	712	722	722	721	721	722	722	622	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	12222
30	121	121	172	122	122	111	122	122	122	127	212	222	612	622	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	2222
31	242	241	122	67	121	42	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	2222

Αναλυτικός Πίνακας με την ενέργεια της Α/Γς ανά ώρα, στην διάρκεια του μήνα.



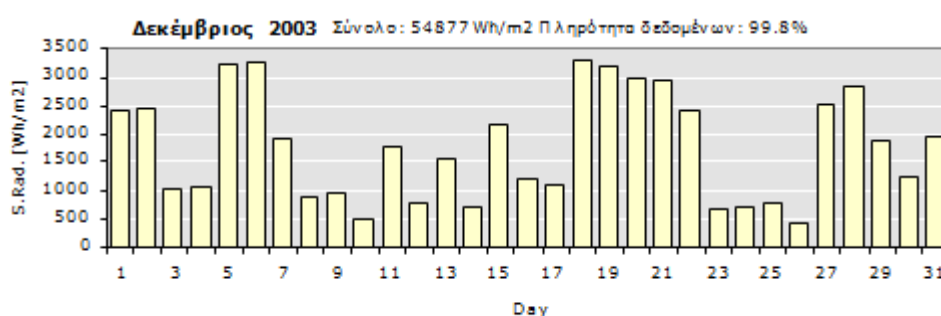
Η μεταβολή ανά μήνα της μέσης ταχύτητας μαζί με την αναμενόμενη ενέργεια της Α/Γς.

3.6.12 TempT, TempG

Στην περίπτωση όπου υπάρχουν δεδομένα για την θερμοκρασία, τότε στα 2 αυτά φύλλα εργασίας απεικονίζονται γραφήματα (*TempG*) και πίνακες (*TempT*), ανά μήνα κάθε έτους, με την μέση τιμή της θερμοκρασίας ανά ώρα, για όλες τις ημέρες του μήνα.

3.6.13 SRadT, SRadG, TempData

Στην περίπτωση όπου έχουν εισαχθεί δεδομένα για την ηλιακή ακτινοβολία, στα 2 αυτά φύλλα εργασίας απεικονίζεται ανά μήνα, η ηλιακή ακτινοβολία ανά ώρα για όλες τις ημέρες του μήνα. Στο φύλλο *SRadT* υπάρχουν οι πίνακες με τις τιμές της ωριαίας ηλιακής ακτινοβολίας και στο φύλλο *SRadG* τα αντίστοιχα γραφήματά τους ανά μήνα.



Μεταβολή της συνολικής ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας στην διάρκεια ενός μήνα.

TempData

Στο φύλλο αυτό αναγράφονται όλες οι αριθμητικές τιμές που χρησιμοποιούνται για όλα τα παραπάνω διαγράμματα. Για την διευκόλυνση του χρήστη, κάθε στήλη έχει τον τίτλο της και επιπλέον τα διαγράμματα έχουν ομαδοποιηθεί χρωματικά. Πάντως, σε κάθε διάγραμμα ο χρήστης έχει την δυνατότητα να δει ποια είναι η στήλη των δεδομένων που χρησιμοποιούνται, κάνοντας ένα διπλό κλικ με το ποντίκι πάνω στην αντίστοιχη καμπύλη και επιλέγοντας *X Values* και *Names and Values*.

3.7 Συσχέτιση μετρήσεων από 2 Περιοχές.

WindCorr

Στο φύλλο αυτό πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί συσχέτισεων από ανεμολογικά δεδομένα δύο τοποθεσιών. Η χρήση του φύλλου αυτού είναι δυνατή μόνο στην περίπτωση που ο χρήστης έχει ήδη δημιουργήσει, με το πρόγραμμα *WindRose*, τα δύο απαιτούμενα αρχεία, ένα για κάθε τοποθεσία. Υπενθυμίζεται, ότι αυτό γίνεται θέτοντας απλώς ένα όνομα αρχείου στον Πίνακα 2 του φύλλου *Input* και επιλέγοντας στην συνέχεια *Run*.



Το κελί του φύλλου *Input* στο οποίο δίδεται ένα όνομα αρχείου, το οποίο μετά την εκτέλεση του *WindRose*, θα περιέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για την υπολογισμό των συσχέτισεων

Σημείωση

- Ο υπολογισμός των συσχέτισεων είναι δυνατός μόνο στην περίπτωση που οι τα ανεμολογικά δεδομένα των 2 περιοχών έχουν κάποιο κοινό χρονικό διάστημα

Από τις δύο τοποθεσίες αυτή με το μεγαλύτερο πλήθος δεδομένων χαρακτηρίζεται ως *Τοποθεσία Αναφοράς (Reference time series)*. Με βάση τα κοινά δεδομένα των δύο περιοχών υπολογίζονται οι συντελεστές συσχέτισης (*correlation coef.*), παλινδρόμησης (*regression coef.: R^2*) ⁶ και γραμμικής παρεμβολής (*slope, offset*). Αυτοί οι συντελεστές υπολογίζονται:

- Ανά διάστημα ταχύτητας (π.χ. 5-6m/s) και ανά τομέα διεύθυνσης (π.χ. BBA).
- Ανά διάστημα ταχύτητας ανεξαρτήτως διεύθυνσης
- Ανά τομέα διεύθυνσης ανεξαρτήτως ταχύτητας (εκτός των απνοιών)

Για όλες τις ταχύτητες, ανεξαρτήτως διεύθυνσης

Υπενθυμίζεται εδώ ότι τιμές του *συντελεστή συσχέτισης* κοντά στην

μονάδα δείχνουν μεταβολές σε φάση⁷, ενώ τιμές κοντά στο μηδέν δείχνουν ασυσχέτιστες μεταβολές⁸. Ακόμα, τιμές του συντελεστή παλινδρόμησης (*regression coef.*: R^2) κοντά στην μονάδα, δείχνουν ότι το “νέφος” των μετρήσεων προσομοιάζεται καλά από την ευθεία της γραμμικής παρεμβολής.

Δεδομένου ότι συνήθως η απόσταση μεταξύ των δύο υπό συσχέτιση σταθμών είναι αρκετές εκατοντάδες (ή και χιλιάδες) μέτρα, το πρόγραμμα εκτελεί αρχικά ένα υπολογισμό του μέγιστου γενικού συντελεστή συσχέτισης όλων των ταχυτήτων, μετατοπίζοντας την μία χρονοσειρά ως προς την άλλη κατά 2 ώρες. Έτσι, εντοπίζεται η χρονική μετατόπιση (δηλαδή το διάστημα που μεσολαβεί για να μετρήσει ο 2ος σταθμός κάτι που μετρήσε ο 1ος σταθμός) που υπάρχει μεταξύ των γεγονότων που καταγράφονται στους 2 σταθμούς. Αυτή η χρονική μετατόπιση των 2 χρονοσειρών αναγράφεται στον Πίνακα 2 του φύλλου *WindCorr*.

Ο 1ος Πίνακας του φύλλου *WindCorr* (στήλη *A*) περιέχει τις αναγκαίες παραμέτρους που πρέπει να συμπληρωθούν για την εκτέλεση των συσχετίσεων. Αναλυτικά: Τα 2 πρώτα αρχεία είναι αντίστοιχα το αρχείο αναφοράς (δηλ. αυτό με τα περισσότερα δεδομένα) και το αρχείο σύγκρισης (δηλ. αυτό με τα λιγότερα/ελιπτή δεδομένα), όπως δημιουργούνται μετά από διαδοχικές εκτελέσεις του *WindRose*. Ακολούθως (και προαιρετικά), παρατίθεται το όνομα του αρχείου στο οποίο εγγράφονται τα (κοινά) δεδομένα των δύο περιοχών που χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς των συσχετίσεων. Η χρησιμότητά του έγκειται στην επαλήθευση των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν για την περαιτέρω ανάλυση. Στην συνέχεια το 4ο αρχείο (προαιρετικό και αυτό) χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των δεδομένων της 2ης περιοχής όπως υπολογίζονται βάση των συσχετισμών.

Στην συνέχεια του Πίνακα 1, δίνονται οι εξής παράμετροι οι οποίοι είναι αναγκαίοι για τους υπολογισμούς των συσχετίσεων:

- η αρχική χρονική μετατόπιση των δύο χρονοσειρών για τον υπολογισμό του μέγιστου συντελεστή συσχέτισης
- το αν η συσχέτιση θα γίνει με τις μέσες ωριαίες ταχύτητες
- ο αριθμός των διαστημάτων ταχύτητας
- το εύρος του κάθε διαστήματος ταχύτητας
- ο ελάχιστος κοινός χρόνος δεδομένων σε κάθε διάστημα ταχύτητας και τομέα διεύθυνσης, ώστε να υπάρχει ικανός

αριθμός των δεδομένων για αξιόπιστα αποτελέσματα

- ο αριθμός των τομέων διεύθυνσης (4, 8, 12, 16 ή 32)

File name of Reference time-series	c:\windrose\Ref.bin
File name of uncompleted time-series	c:\windrose\Unc.bin
File name containing the synchronised time-series (optional)	
File name of the predicted time-series (optional)	c:\windrose\pred.txt
Time shift (hours) of the time-series	2
Average data on hour basis ?	<input type="checkbox"/>
Number of wind speed bins	20
width of wind speed bin [m/s]	2
min. hours of common data	2
Number of Dir. sectors	8

Ο Πίνακας 1 του φύλλου εργασίας *WindCorr*, με τις προς συμπλήρωση παραμέτρους, για την πραγματοποίηση των συσχετισμών

Μόλις, συμπληρωθεί ο Πίνακας 1, τότε επιλέγοντας από το κύριο menu του Excel το *WindRose* και *Calculate Correlations* ξεκινάει ο υπολογισμός των συσχετίσεων. Τα αποτελέσματα αναγράφονται μετά από λίγο σε τρεις πίνακες, το περιεχόμενο των οποίων αναφέρεται στην συνέχεια.

Ο 2ος Πίνακας του φύλλου *WindCorr* περιέχει τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των συσχετίσεων. Έτσι, για κάθε αρχείο εμφανίζει:

- τον αριθμό των δεδομένων που περιέχει
- την ημερομηνία της 1ης και της τελευταίας μέτρησης
- μέση ταχύτητα του ανέμου.

Στην συνέχεια, αναγράφονται:

- ο αριθμός των κοινών (ταυτόχρονων) μετρήσεων
- ο μέγιστος συντελεστής συσχέτισης, μετά από την χρονική μετατόπιση των δύο χρονοσειρών
- η χρονική διαφορά (σε λεπτά της ώρας) για την οποία επιτυγχάνεται η καλύτερη συσχέτιση

- ο πολλαπλασιαστής και η σταθερά της γραμμικής παρεμβολής, και
- ο συντελεστής παλινδρόμησης (regression coef.)

Τα παραπάνω αποτελέσματα αφορούν την γενική συσχέτιση των ταχυτήτων, ανεξαρτήτως διεύθυνσης, στο κοινό χρονικό διάστημα των 2 περιοχών.

Αριθμός μετεωρίσεων	1η μέτρηση	τελευταία	Μέση τιμή ταχύτητας [m/s]	Αριθμός ταυτόχρονων μετρήσεων	Μέγιστος Συντελεστής συσχέτισης ταχυτήτων	...σε κοινή διασπορά [mm]	Περίοδος παρατήρησης	Μέση τιμή ταχύτητας 1	Μέση τιμή ταχύτητας 2	Συντελεστής συσχέτισης
79573	21/3/2025 9:40	31/3/2027 9:10	9.22	2228	0.743	-10	0.985	0.910	0.813	
52295	23/3/2025 22:00	11/4/2027 8:50	9.03							

Ο Πίνακας 2 με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των συσχέτισεων ταχύτητας (φύλλο εργασίας WindCorr).

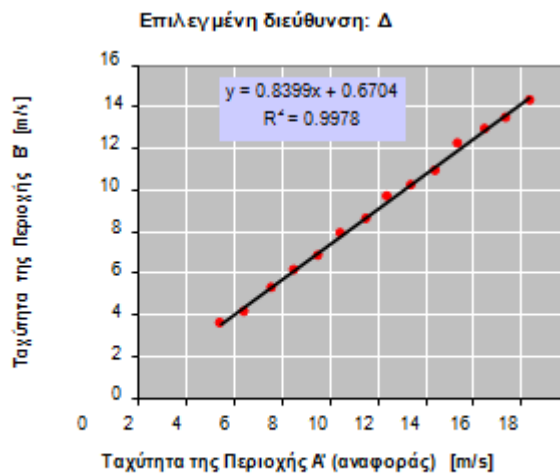
Στον 3ο Πίνακα αναγράφονται ανά διάστημα ταχύτητας και τομέα διεύθυνσης, οι ταχύτητες και οι εντάσεις της τύρβης για κάθε περιοχή, καθώς και οι συντελεστές συσχέτισης, παλινδρόμησης και γραμμικής παρεμβολής. Ο Πίνακας αυτός είναι “δυναμικός” δηλαδή τα περιεχόμενά του αλλάζουν ανάλογα με την επιλογή του *drop-down button* με το οποίο επιλέγουμε τον τομέα διεύθυνσης.

Διάστημα ταχύτητας Παραγωγής Αναφοράς † [m/s]	Αριθμός μετρήσεων	Μέση τιμή Παραγωγής Αναφοράς † [m/s]	Μέση τιμή Παραγωγής 2 [m/s]	Συντελεστής Συσχέτισης	Παλίση	Σταθερός όρος [m/s]	R2	Μέση τιμή Παραγωγής Αναφοράς †	Μέση τιμή Παραγωγής 2	Μέση τιμή Παραγωγής Αναφοράς †	Μέση τιμή Παραγωγής 2
0-2	25	1.6	1.6	0.6905	1.221	-0.279	0.96720	179	197	22.9	29.2
2-4	76	3.2	3.2	0.5809	0.482	0.819	0.07997	182	199	20.9	29.9
4-6	142	5.1	5.6	0.4929	0.679	-0.690	0.21412	179	194	12.9	22.2
6-8	159	7.0	7.5	0.4323	0.749	0.212	0.16821	180	191	11.7	19.9
8-10	191	8.9	7.1	0.4322	0.809	-0.021	0.19799	190	197	11.9	20.2
10-12	100	10.9	8.7	0.3942	0.774	0.294	0.14790	176	197	12.9	22.0
12-14	29	12.0	10.0	0.3427	0.622	1.699	0.02991	177	199	14.2	29.2
14-16	49	14.9	11.0	0.4229	1.220	-7.027	0.20777	179	192	14.9	29.2
16-18	14	16.7	12.9	0.2247	0.790	-0.679	0.02047	179	190	12.2	29.2
18-20											
20-22											
22-24											
24-26											
26-28											
28-30											

Ο Πίνακας 3 του φύλλου εργασίας WindCorr, με τα αναλυτικά αποτελέσματα ανά διάστημα ταχύτητας. Σημειώνεται επίσης το σημείο όπου επιλέγεται ο τομέας διεύθυνσης.

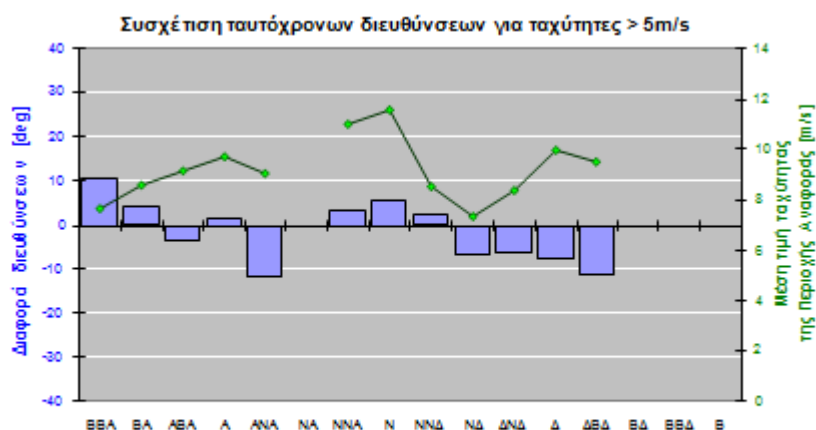
Τέλος, στον 4ο Πίνακα του φύλλου *WindCorr*, ταξινομούνται οι ταυτόχρονες μετρήσεις, ανά τομέα διεύθυνσης. Εδώ λαμβάνονται υπόψη μόνο τα ταυτόχρονα δεδομένα με ταχύτητα ανέμου $\geq 5\text{m/s}$. Έτσι,

μπορεί να συμπεράνει κανείς την γωνιακή μεταβολή του ανύσματος της ταχύτητας του ανέμου από την μία περιοχή στην άλλη.



Αντιστοιχία των ταχυτήτων των 2 Περιοχών, ανά τομέα διεύθυνσης.

Γενικά, ο υπολογισμός του μέσου όρου μιας ακολουθίας τιμών γωνιών, δεν είναι απλός εξ' αιτίας της ασυνέχειας που παρουσιάζεται στο σημείο 0° , 360° . Στην περίπτωση δε, που τα δεδομένα βρίσκονται και στα 4 τεταρτημόρια του τριγωνομετρικού κύκλου, τότε είναι δύσκολη η εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Σε τέτοια περίπτωση, το αποτέλεσμα εμφανίζεται με κόκκινο χρώμα και ανάλογη υποσημείωση.



Αντιστοιχία της διεύθυνσης του ανέμου στις 2 Περιοχές

Συσχέτιση ταυτόχρονων διευθύνσεων για ταχύτητες > 5m/s								
Διεύθυνση 1ης περιοχής	Γωνία 1	Γωνία 2	Αριθμός οδούτων	Μέση διεύθυνση 1ης περιοχής	Μέση διεύθυνση 2ης περιοχής	Μέση ταχύτητα 1	Μέση ταχύτητα 2	
ΒΒΑ	11.25	33.75	36	26	37	7.64	7.26	
ΒΑ	33.75	56.25	221	45	48	8.59	8.82	
ΑΒΑ	56.25	78.75	124	68	65	9.16	8.50	
Α	78.75	101.25	169	88	90	9.73	9.22	
ΑΝΑ	101.25	123.75	64	110	98	9.05	8.31	
ΝΑ	123.75	146.25						
ΝΝΑ	146.25	168.75	19	163	167	10.98	8.98	
Ν	168.75	191.25	64	174	180	11.60	9.64	
ΝΝΔ	191.25	213.75	21	208	210	8.54	7.99	
ΝΔ	213.75	236.25	75	224	217	7.36	7.51	
ΔΝΔ	236.25	258.75	409	252	246	8.36	7.39	
Δ	258.75	281.25	1044	269	261	9.96	9.11	
ΔΒΔ	281.25	303.75	147	287	276	9.53	7.77	
ΒΔ	303.75	326.25						
ΒΒΔ	326.25	348.75						
Β	348.75	11.25						

(Κόκκινο χρώμα ο μέσος όρος προκύπτει από δεδομένα και στους 4 τομείς 90μοιρών του τριγ. κύκλου)

Συσχέτιση των διευθύνσεων μεταξύ ταυτόχρονων μετρήσεων για τις 2 περιοχές
(Πίνακας 4, φύλλο εργασίας WindCorr).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Εφαρμογή του προγράμματος Windrose σε πραγματικό μοντέλο ανεμογεννήτριας Enercon E-48 800kW

Σε αυτό το κεφάλαιο, όπως είχα αναφέρει και στην περίληψη αυτής εδώ της εργασίας, θα γίνει μία εφαρμογή του προγράμματος Windrose με πραγματικά ανεμολογικά δεδομένα μιας περιοχής σε ένα πραγματικό μοντέλο ανεμογεννήτριας με σκοπό να δούμε τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της.

Τα ανεμολογικά δεδομένα που κατάφερα να βρω είναι από την περιοχή **Ηλιόλουστη στο Μαρμάρι Ευβοίας** και για την χρονική περίοδο ενός μήνα, και συγκεκριμένα του **Ιουλίου 2004**.

Το αρχείο με τα συγκεντρωμένα ανεμολογικά δεδομένα έχει την παρακάτω μορφή

u10[m/s]	u20[m/s]	u30[m/s]	u40[m/s]	u50[m/s]	Dir1[deg]	Dir2[deg]	Dir3[deg]	u10sdv[m/s]	u20sdv[m/s]	u30sdv[m/s]	u40sdv[m/s]	u50sdv[m/s]
3.61	3.68	4.52	3.90	4.77	100.70	97.10	92.20	0.44	0.47	0.25	0.55	0.10
3.80	3.85	4.56	4.05	4.75	99.20	95.90	91.70	0.35	0.40	0.30	0.56	0.25
3.49	3.69	4.46	3.89	4.70	100.10	96.40	92.20	0.39	0.32	0.20	0.44	0.22
3.99	3.97	4.45	4.20	4.54	97.20	94.20	89.80	0.25	0.25	0.20	0.32	0.20
4.38	4.48	4.71	4.63	4.70	91.20	87.80	83.20	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10
4.46	4.60	4.81	4.79	4.79	83.00	80.50	76.50	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
4.47	4.59	4.76	4.73	4.74	84.50	81.30	78.20	0.14	0.10	0.14	0.14	0.14
4.41	4.51	4.67	4.63	4.65	86.90	83.90	79.20	0.17	0.10	0.10	0.10	0.00
3.95	4.09	4.42	4.32	4.43	94.20	90.30	84.90	0.43	0.32	0.14	0.26	0.14
3.50	3.75	4.31	3.99	4.42	96.40	91.40	86.90	0.69	0.81	0.64	0.99	0.37
4.25	4.45	4.78	4.74	4.83	87.60	85.40	82.30	0.35	0.30	0.22	0.17	0.14
4.39	4.65	4.92	4.84	4.92	86.10	85.20	83.20	0.26	0.14	0.10	0.10	0.10
4.83	4.88	5.05	4.96	5.03	89.80	87.50	83.70	0.10	0.10	0.00	0.10	0.10
4.76	4.82	5.10	5.08	5.15	91.20	88.20	83.30	0.17	0.10	0.10	0.10	0.10
3.48	3.46	3.97	3.67	4.18	105.00	97.80	89.00	0.76	0.80	0.68	0.92	0.54
3.36	3.18	3.81	3.18	3.81	102.90	98.60	92.30	0.28	0.14	0.14	0.28	0.10
3.11	3.11	3.46	2.75	3.58	102.10	98.00	92.70	0.39	0.40	0.28	0.66	0.10
2.75	2.86	2.92	2.82	3.44	106.60	102.30	96.30	0.47	0.58	0.45	0.65	0.32
3.92	4.13	2.80	4.43	4.35	119.90	114.10	107.80	0.32	0.22	0.62	0.40	0.25
3.73	3.84	3.35	4.23	4.15	124.90	118.90	111.90	0.39	0.28	0.77	0.41	0.30
3.73	3.92	2.74	4.22	4.51	117.20	113.00	106.60	0.25	0.30	0.52	0.56	0.17
3.72	4.10	2.62	4.18	4.36	113.90	110.10	107.00	0.45	0.47	0.46	0.59	0.14
3.35	3.79	2.49	4.30	4.25	111.50	109.40	106.80	0.41	0.46	0.41	0.39	0.17
3.49	3.87	2.62	3.65	3.99	112.10	109.40	105.10	0.43	0.44	0.53	0.73	0.14
3.03	3.24	2.84	2.61	3.74	109.00	106.90	101.40	0.39	0.41	0.48	0.66	0.10
3.55	3.84	2.44	3.81	4.01	112.30	109.50	105.00	0.40	0.41	0.40	0.45	0.10
3.76	4.09	2.25	4.04	3.94	112.80	111.10	107.20	0.40	0.32	0.44	0.30	0.17
3.42	3.42	2.01	3.29	3.22	115.20	113.00	109.10	0.49	0.45	0.57	0.46	0.28
2.91	2.65	2.62	2.00	3.01	101.80	100.30	97.20	0.44	0.35	0.43	0.46	0.14
3.52	3.35	3.58	3.17	3.52	97.00	94.20	90.40	0.32	0.30	0.17	0.32	0.10

*Αρχείο .txt στο οποίο είναι αποθηκευμένες οι μετρήσεις
ενός μήνα από τον πύργο μέτρησης*

Τέλος, το μοντέλο που επέλεξα ώστε να “τρέξω” την εφαρμογή είναι μία ανεμογεννήτρια της εταιρίας **ENERCON**, συγκεκριμένα την **E-48** με παραγώμενη ισχύ τα **800 kW**.

INPUT SHEET

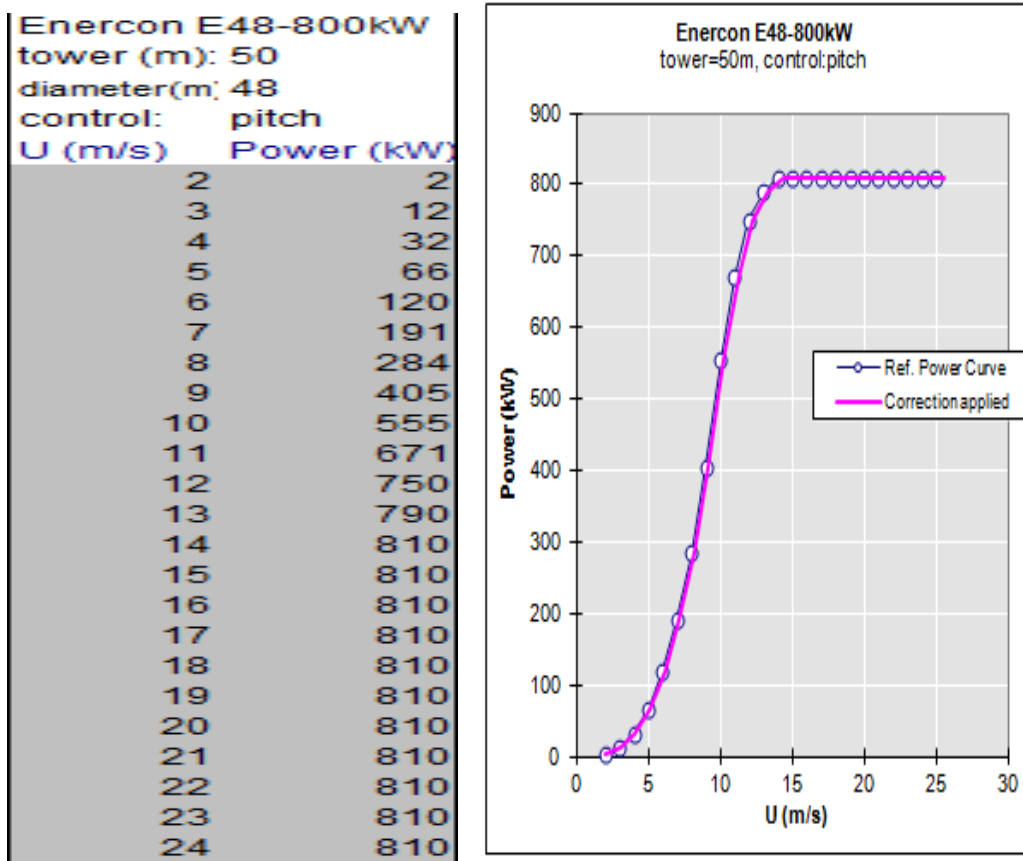
Ξεκινάμε ανοίγοντας το **Excel** και στη συνέχεια το αρχείο **Windrose**. Το **windrose** αρχείο που θα ανοίξει είναι το φύλλο **Input** όπου στον πρώτο πίνακα, πίνακας με τα αρχεία προς επεξεργασία, ορίζουμε τη διεύθυνση του αρχείου με τα ανεμολογικά μας δεδομένα (.txt) και άλλες παραμέτρους για τις μετρήσεις μας .

File Names	Wind Speed (m/s)	Wind Direction (°)	Wind Speed SDV (m/s)	Temperature (°C)	Solar Radiation (W/m ²)	Gust of Wind Speed (m/s)	Atm. Pressure (hPa)	Rel. Humidity (%)	Flow Inclination (deg)	El. Power (kW)	RPM	Control Signal A	Control Signal B	Control Signal C	Time	Date	Lines to skip
C:\Program Files\WindRose\5a3v.txt	1;2;3;4;5	6;7;8	9;10;11;12;13	14	15;16;17;18;19										20	21	1

Στη συνέχεια στο δεύτερο πίνακα, ο οποίος περιλαμβάνει ένα σύνολο από μεταβλητές, επιλέγουμε το μοντέλο ανεμογεννήτριας για το οποίο θέλουμε να υπολογιστεί η ενέργεια που θα παρήγαγε αν ήταν εγκατεστημένη στη θέση του ιστού.

Title1	(title)
Title2	(subtitle)
Start from	1/7/2004
End at	31/7/2004
Minutes between data	10
Limit for calms (m/s)	2
Number of Direction Sectors	16
Measurements Height :	
above Ground level (m)	10;20;30;40;50
above Sea level (m)	600
Calcul. of mean turbulence	
at wind speed (m/s)	10
± bin width (m/s)	1
Wind Turbine selected	Enercon E48-800kW
Exponent coefficient (α)	0,08
Weibull method	"paper" method
low limit (m/s)	4
high limit (m/s)	16
Wind Speed Uncertainty	
Calibr. error at Umean (m/s)	0,06
Anemometer's max speed	80
Data Logger's precision	8
File Name for	
Site Correlation	
Export processed data	
file name	

Ακόμα στο φύλλο αυτό υπάρχει ένα γράφημα με την καμπύλη ισχύος της επιλεγμένης ανεμογεννήτριας.



Αριστερά: Καμπύλης ισχύος ENERCON E-48 (φύλλο: *PowerCurve*).

Δεξιά: Γραφική απεικόνισή της μαζί με την διόρθωση λόγω του υψομέτρου της τοποθεσίας (φύλλο: *Input*, 600m).

Εφόσον συμπληρώσουμε το φύλλο *Input* με επαρκή στοιχεία, εκτελούμε το πρόγραμμα *WindRose*. Μόλις ολοκληρωθεί η επεξεργασία θα παραχθούν τα παρακάτω φύλλα εργασίας.

RESULTS

ΗΛΙΟΛΟΥΣΤΗ ΜΑΡΜΑΡΙ, ΕΥΒΟΙΑ

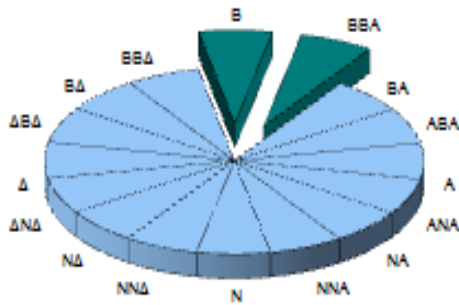
Περίοδος μετρήσεων : Πέμπτη, 1 Ιούλιος 2004 έως Σάββατο, 31 Ιούλιος 2004

Μέση ταχύτητα ανέμου (σε ύψος 50μ.)	6,8 m/s	
Ένταση τύρβης (στα 10m/s)	11,0 %	
Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (μέση τιμή 10λεπ)	16,7 m/s	(6/7/2004 04:40)
Μέγιστη ριπή ανέμου (στιγμιαία τιμή)	20,0 m/s	(6/7/2004 04:50)
Αβεβαιότητα μέτρησης ταχύτητας	0,2 m/s	
Μέση Ισχύς και Συνολική Ενέργεια του Αν	304,3 Watt/m ²	226,4 kWh/m ²
Συντελεστές αυτοσυσχέτισης	0,866 (1-ώρας)	0,968 (10λεππου)
Συντελεστές κατανομής Weibull		
shape factor (k)	2,28	
scale factor (C)	7,6 m/s	
Σύνολο έγκυρων δεδομένων	4464	
Αριθμός απνοιών (<2m/s)	202 (4,5%)	
Πληρότητα δεδομένων	100,0 %	
Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ	176.483,8 kWh	(Enercon E48-800kW)
Συντελεστής φορτίου Α/Γ	29,3 %	(ρ _{avg} =1,141kg/m ³)
Εκτιμώμενη Μέση ταχύτητα στα 50μ.	6,8 m/s	
Αναμ. Ετήσια παραγωγή Α/Γ & συντ. φορτίου		
υπολογισμός βάση της κατανομής δεδομένων	2.079.377,3 kWh	29,29 %
υπολογισμός βάση της κατανομής Weibull	2.039.459,9 kWh	28,72 %
Ενέργεια: κύρια διεύθυνση	BBA 31,10 %	
2η κύρια διεύθυνση	B 25,74 %	
Χρόνος: κύρια διεύθυνση	BBA 24,47 %	
2η κύρια διεύθυνση	B 20,93 %	

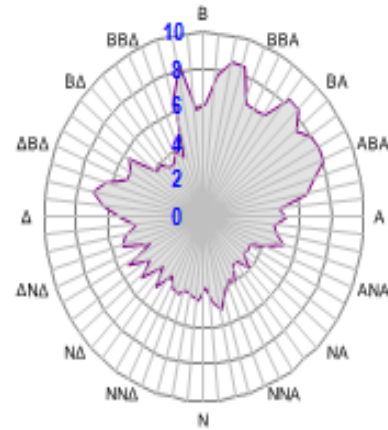
Παρατηρούμε λοιπόν, πως η **παραγόμενη ενέργεια** της Enercon E-48 για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, ανέρχεται σε **176.483,8 kWh**, ενώ η **ετήσια αναμενόμενη παραγωγή** της ανεμογεννήτριας είναι **2.079.377,3 kWh**.

Επίσης, παρατίθενται 3 γραφήματα όπου απεικονίζονται οι δύο κυριότερες διευθύνσεις χρονικά & ενεργειακά (pie chart), η μέση ταχύτητα του αέρα ανά διεύθυνση (polar chart) και τέλος η πιθανότητα κατανομής των δεδομένων (χρονικά) ανά διεύθυνση, για 4 διαστήματα ταχυτήτων: 2-5m/s, 5-10m/s, 10-15m/s και >15m/s (ιστόγραμμα).

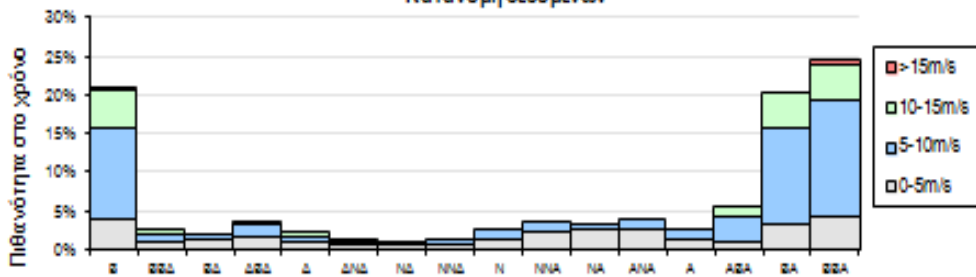
Κύριες διευθύνσεις



Μέση ταχύτητα ανέμου ανά διεύθυνση



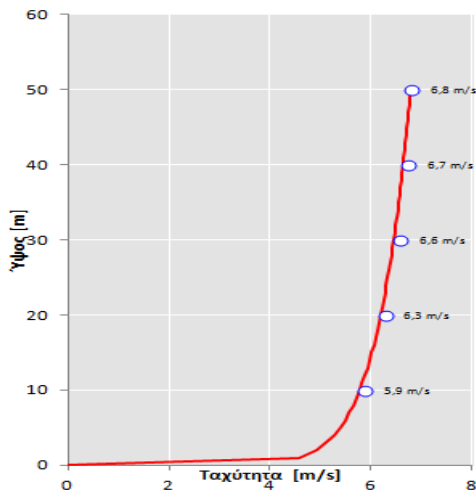
Κατανομή δεδομένων



SHEAR

Το γράφημα δίνει την μέση τιμή των ανεμομέτρων ανά ύψος, καθώς και το (μέσο) υπολογισθέν κατακόρυφο προφίλ ταχύτητας (*wind shear*), ενώ στον πίνακα παρατηρούμε τις στατιστικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου ανά ύψος

Καθ' ύψος μεταβολή της μέσης ταχύτητας



Στατιστικές τιμές ταχύτητας ανέμου

Υψος	Μέση τιμή	Μέγιστη η (μ.ο. 10min)	Ριπή
10	5,9	14,7	20,3 (μετρήσεις)
20	6,3	15,3	20,3
30	6,6	16,1	21,0
40	6,7	16,6	20,4
50	6,8	16,7	20,0
50	6,8	16,7	(εκτίμηση)

Στη συνέχεια βλέπουμε πίνακες που παρουσιάζουν τις μετρημένες μέσες και μέγιστες τιμές δεκαλέπτου ανά διεύθυνση και ανά ύψος καθώς και την ένταση της τύρβης ανά ύψος.

Μέση και Μέγιστη (10λεπτού) ταχύτητα ανά διεύθυνση

Ύψος	U	BBA	BA	ABA	A	ANA	NA	NNA	N	NNΔ	NΔ	ΔNΔ	Δ	ΔBΔ	BΔ	BBΔ	B	Σύνολο
10	μέση	6,76	6,50	6,38	4,01	3,33	3,18	3,93	4,27	3,78	3,52	4,07	4,19	4,49	3,72	5,84	6,90	5,87
	μέγιστη	14,71	11,89	10,28	7,28	5,97	6,09	9,22	9,20	6,79	5,23	9,28	9,22	8,18	6,68	13,46	14,30	14,71
20	μέση	7,17	7,17	6,92	4,23	3,42	3,25	4,01	4,42	3,95	3,74	4,39	4,93	5,14	4,03	6,18	7,26	6,28
	μέγιστη	15,34	13,05	11,05	7,93	6,32	6,34	9,20	9,40	6,76	5,64	10,65	10,99	10,49	7,83	14,35	15,01	15,34
30	μέση	7,50	7,71	7,45	4,63	3,26	3,27	4,08	4,47	4,13	4,02	4,63	5,40	5,51	4,21	6,27	7,42	6,57
	μέγιστη	16,09	14,10	11,98	8,56	6,62	6,69	8,94	9,26	6,89	5,93	11,47	11,98	11,94	8,35	14,55	15,72	16,09
40	μέση	7,72	7,91	7,63	4,48	3,34	3,32	4,06	4,47	4,22	4,21	4,83	5,61	5,68	4,32	6,39	7,62	6,73
	μέγιστη	16,64	14,42	12,27	8,74	7,12	6,86	8,67	9,13	7,32	6,29	11,96	12,15	12,08	8,54	14,63	16,12	16,64
50	μέση	7,73	7,92	7,63	4,79	4,05	3,36	4,02	4,42	4,23	4,26	4,92	5,74	5,82	4,40	6,48	7,64	6,79
	μέγιστη	16,72	14,46	12,27	8,75	7,95	6,83	8,52	9,00	7,46	6,44	12,28	12,49	12,43	8,75	14,87	16,24	16,72
50	μέση	7,73	7,92	7,63	4,79	4,05	3,36	4,02	4,42	4,23	4,26	4,92	5,74	5,82	4,40	6,48	7,64	6,79
	μέγιστη	16,72	14,46	12,27	8,75	7,95	6,83	8,52	9,00	7,46	6,44	12,28	12,49	12,43	8,75	14,87	16,24	16,72

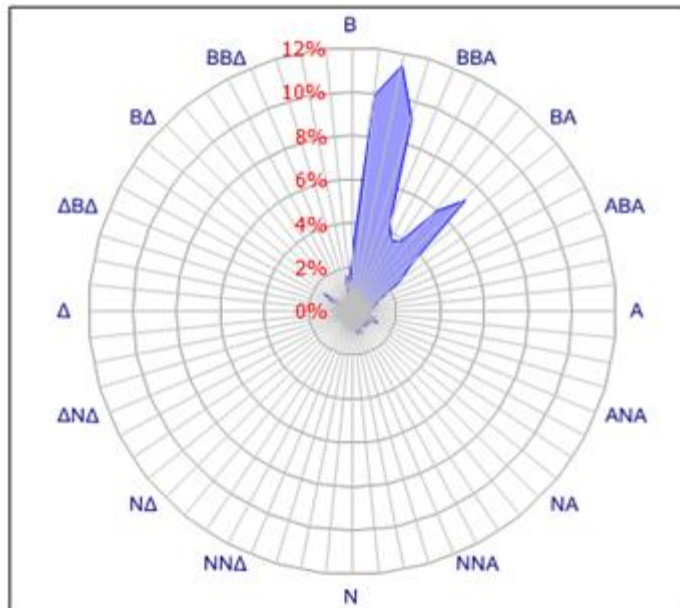
Ένταση της τύρβης ανά ύψος (υπολογισμένη στα 10m/s ± 1m/s)

Ύψος	T.I.	BBA	BA	ABA	A	ANA	NA	NNA	N	NNΔ	NΔ	ΔNΔ	Δ	ΔBΔ	BΔ	BBΔ	B	Σύνολο
10	Ave	17,8%	16,9%	12,6%												15,6%	13,3%	15,6%
	Max	27,0%	26,2%	15,3%												17,2%	24,7%	27,8%
20	Ave	17,3%	11,6%	10,4%									25,1%	24,8%		14,2%	12,0%	13,7%
	Max	26,1%	23,8%	16,1%									34,4%	26,7%		16,4%	26,4%	34,4%
30	Ave	15,3%	9,5%	9,2%									20,9%	20,5%		14,0%	11,0%	11,9%
	Max	26,5%	27,8%	16,0%									27,2%	21,9%		15,7%	24,3%	27,8%
40	Ave	14,3%	8,9%	8,4%									19,5%	19,1%		14,4%	10,2%	11,1%
	Max	30,8%	29,0%	18,6%									25,5%	20,9%		16,4%	23,0%	30,8%
50	Ave	14,2%	8,9%	8,0%									19,7%	17,8%			10,1%	11,0%
	Max	30,5%	43,0%	18,3%									25,6%	20,7%			23,2%	43,0%

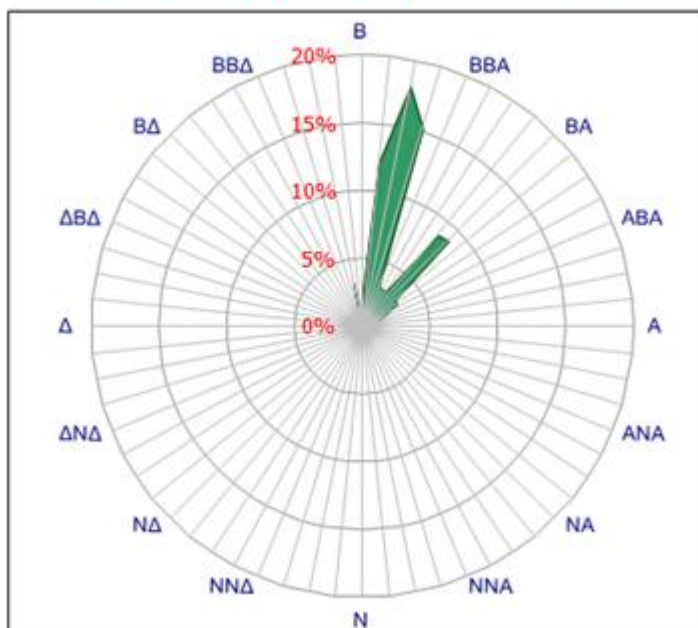
WINDROSE

Στο φύλλο εργασίας Windrose παρατίθενται τα συγκεντρωτικά ροδογράμματα του ανέμου ως προς το χρόνο και του ανέμου ως προς την ενέργεια καθώς επίσης τα μηνιαία ροδογράμματα χρόνου και ενέργειας .

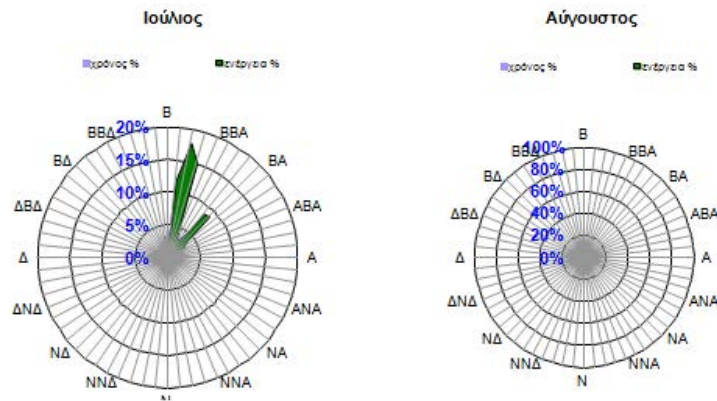
Ροδόγραμμα ανέμου ως προς το Χρόνο



Ροδόγραμμα ανέμου ως προς την Ενέργεια



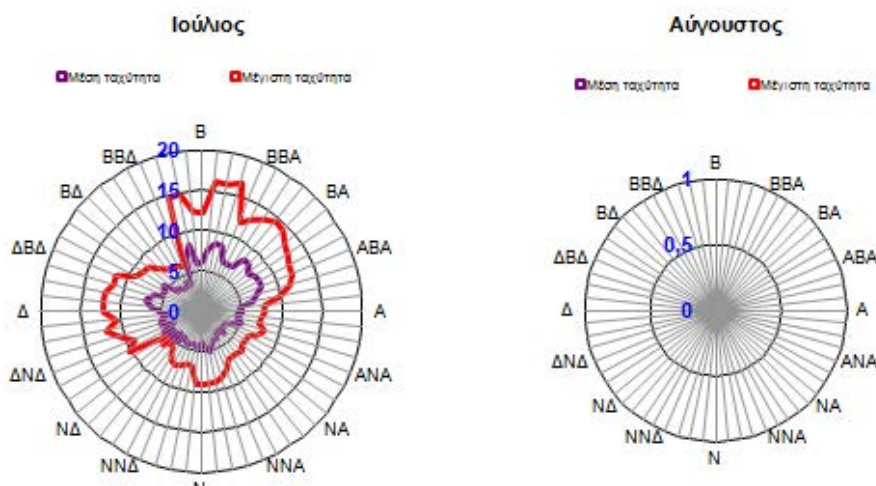
Ροδογράμματα ανέμου ανά μήνα



UPOLAR

Στο φύλλο αυτό παρουσιάζεται το μηνιαίο πολικό διάγραμμα με τη μέση και μέγιστη ταχύτητα του ανέμου. Στο διάγραμμα αυτό δεν απεικονίζει την πιθανότητα να φυσήξει ο αέρας από μια συγκεκριμένη διεύθυνση, αλλά το πόσο ισχυροί άνεμοι πνέουν ανά διεύθυνση.

Μέση & μέγιστη ταχύτητα (10λεπτου) ανέμου ανά διεύθυνση



TABLES

Σε αυτό το φύλλο παρατίθενται πίνακες με συγκεντρωτικά στοιχεία ανά διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου.

Ένταση τύρβης (%) ανά διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου

m/s	BBA	BA	ABA	A	ANA	NA	NNA	N	NNΔ	NΔ	ΔNΔ	Δ	ΔBΔ	BΔ	BBΔ	B
5-6	16	15	13	11	8	11	13	16	16	15	13	20	10	5	14	17
6-7	18	19	12	13	7	5	12	16	17	17	13	18	11	4	18	13
7-8	17	15	12	14	5		15	18	14		21	18	8	6	18	12
8-9	16	11	10	13			18	17			18	24	7	9	15	12
9-10	13	10	10					16			15	19	16		16	11
10-11	15	8	6								11	20	19		16	9
11-12	14	10	5									19	16		12	9
12-13	16	11	4								12	17	19		16	11
13-14	13	11													14	10
14-15	11	6													11	11
15-16	7															9
16-17	9															8
17-18																
18-19																
19-20																
20-21																
21-22																
22-23																
23-24																
24-25																
25-																

Κατανομή δεδομένων ανά διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου

m/s	BBA	BA	ABA	A	ANA	NA	NNA	N	NNΔ	NΔ	ΔNΔ	Δ	ΔBΔ	BΔ	BBΔ	B	Σύνολο
0-1	1				2	3		4	1			7	4	1			23
1-2	15	12	3	11	26	20	24	13	7	1	9	7	4	7	11	9	179
2-3	36	22	14	12	29	62	35	20	9	7	7	5	6	12	18	23	317
3-4	62	38	10	21	53	22	40	19	10	5	5	18	23	21	11	84	442
4-5	78	72	21	26	27	20	20	21	13	11	11	15	43	23	9	65	475
5-6	128	84	20	19	16	22	17	20	9	7	16	15	14	6	24	118	535
6-7	134	77	27	12	19	10	22	13	8	4	1	7	14	3	9	140	500
7-8	147	101	28	20	19		6	4	5		1	1	17	9	4	93	453
8-9	142	140	40	2			5	9			2	2	17	6	2	80	447
9-10	101	132	23					1			2	2	6		2	71	340
10-11	59	109	28								3	12	7		4	66	288
11-12	47	38	24									8	3		2	61	183
12-13	41	25	4								1	4	3		3	51	132
13-14	20	16													10	16	62
14-15	22	7													9	6	44
15-16	21															14	35
16-17	5															4	9
17-18																	
18-19																	
19-20																	
20-21																	
21-22																	
22-23																	
23-24																	
24-25																	
25-																	
Σύνολο	1059	873	240	123	191	159	169	124	62	35	58	103	161	88	118	901	4464

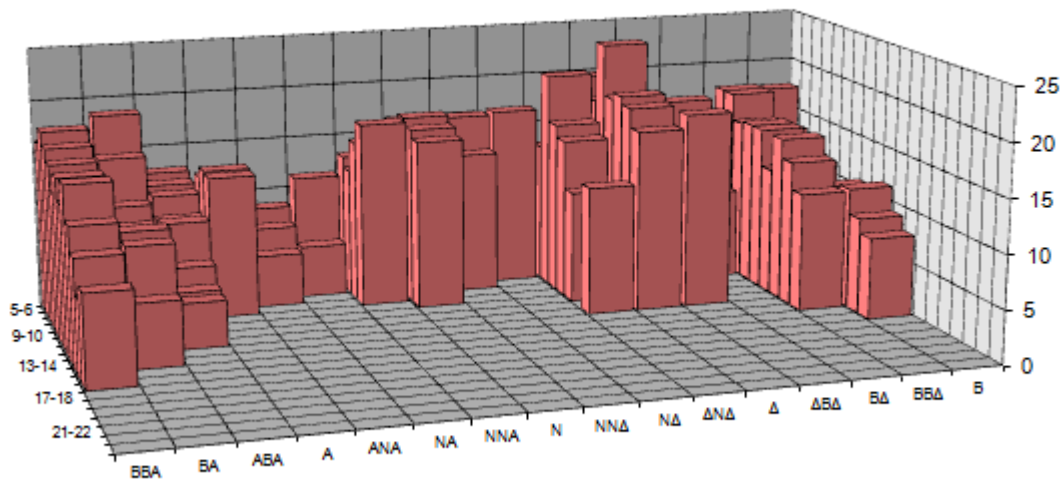
Μέγ. αριθμός διαδοχικών περιστροφών ανεμοδείκτη

αριστερόστροφα (Α-Β-Δ) 1,0
 δεξιόστροφα (Δ-Β-Α) 2,6

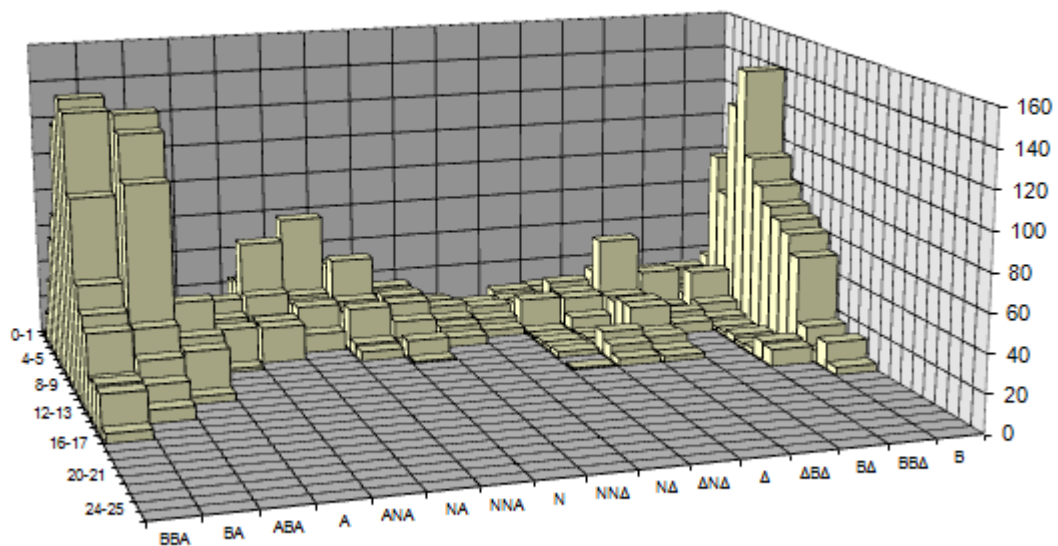
3D

Στο φύλλο αυτό απεικονίζονται τρισδιάστατα οι 2 πίνακες του φύλλου *Tables*. Στο 1^ο διάγραμμα απεικονίζεται η κατανομή της % έντασης της τύρβης ανά διεύθυνση και ταχύτητα στο δε 2^ο η κατανομή των δεδομένων επίσης ανά διεύθυνση και ταχύτητα.

Ένταση τύρβης (%) ανά διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου



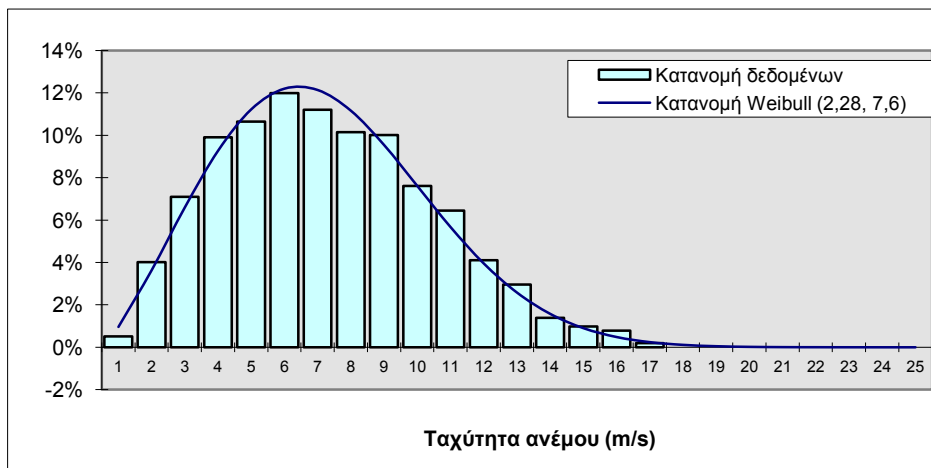
Κατανομή δεδομένων ανά διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου



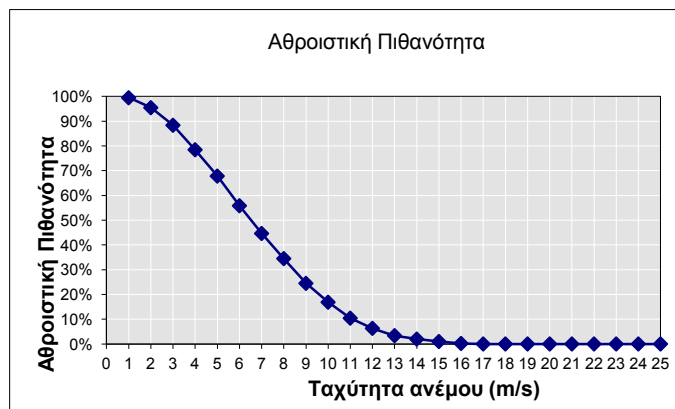
WEIBULL

Διεύθυνση	Γωνία (°)	Weibull shape	Weibull scale	Κατανομή δεδομένων	Μέση ταχύτητα	Εντ.τύρβης στα 10m/s
BBA	11,25 - 33,75	2,69	8,79	23,72%	7,7	14,2
BA	33,75 - 56,25	3,22	8,76	19,56%	7,9	8,9
ABA	56,25 - 78,75	3,01	8,47	5,38%	7,6	8,0
A	78,75 - 101,25	2,96	5,37	2,76%	4,8	
ANA	101,25 - 123,75	1,72	4,39	4,28%	4,0	
NA	123,75 - 146,25	2,21	3,88	3,56%	3,4	
NNA	146,25 - 168,75	2,05	4,42	3,79%	4,0	
N	168,75 - 191,25	2,40	5,03	2,78%	4,4	16,1
NNA	191,25 - 213,75	2,60	4,96	1,39%	4,2	
NA	213,75 - 236,25	3,81	4,87	0,78%	4,3	
ΔNA	236,25 - 258,75	1,87	5,46	1,30%	4,9	12,5
Δ	258,75 - 281,25	1,49	6,49	2,31%	5,7	19,7
ΔBA	281,25 - 303,75	2,30	6,56	3,61%	5,8	17,8
BA	303,75 - 326,25	1,89	4,81	1,97%	4,4	
BBA	326,25 - 348,75	1,26	7,21	2,64%	6,5	15,7
B	348,75 - 11,25	2,60	8,57	20,18%	7,6	10,1

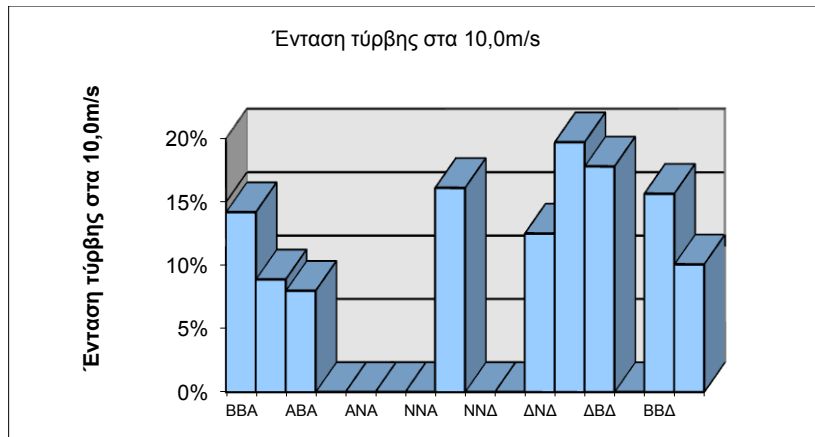
Στο 1^ο διάγραμμα εμφανίζεται η πραγματική κατανομή των δεδομένων ανά ταχύτητα, μαζί με την κατανομή Weibull που την προσεγγίζει.



Το 2^ο διάγραμμα είναι αυτό με την αθροιστική πιθανότητα (%) σε συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου και χρησιμεύει στο να βρει κανείς την πιθανότητα που υπάρχει να εμφανιστούν ταχύτητες μεγαλύτερες από μία συγκεκριμένη ταχύτητα (π.χ. τι πιθανότητα έχει να λειτουργεί μια Α/Γ αν η cut-in ταχύτητά της είναι 5m/s)

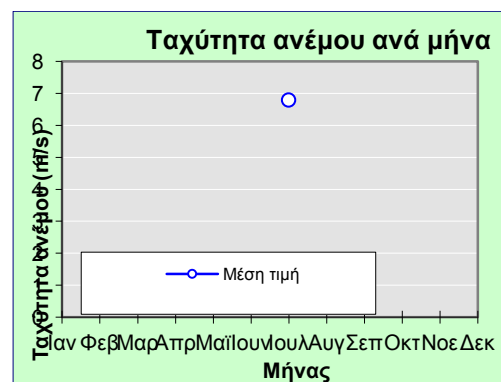
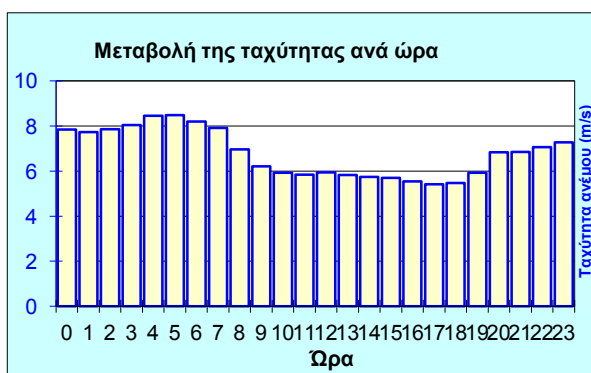
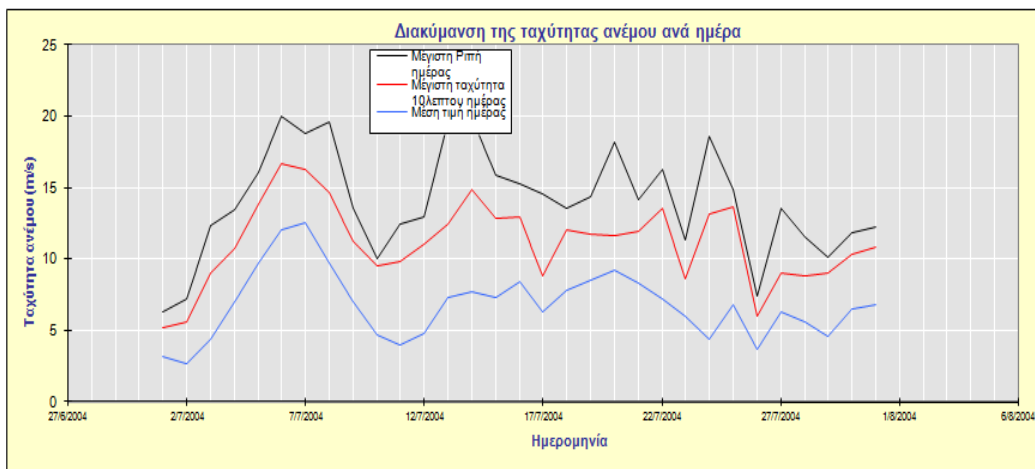


Τελευταίο είναι το διάγραμμα που παρουσιάζει την μεταβολή της έντασης της τύρβης ανά διεύθυνση για την ταχύτητα του ανέμου.



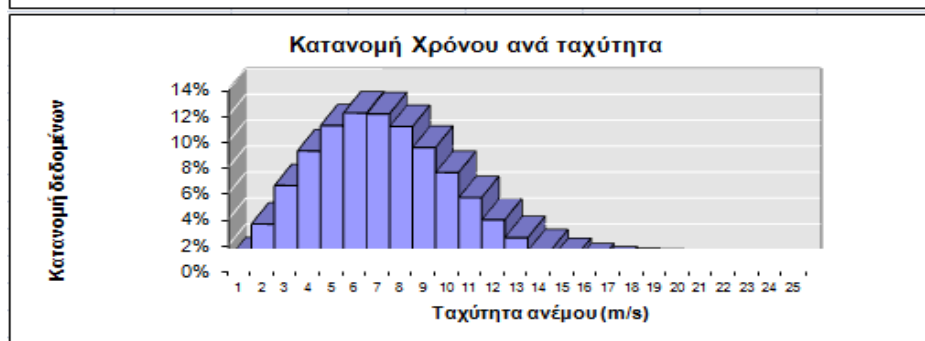
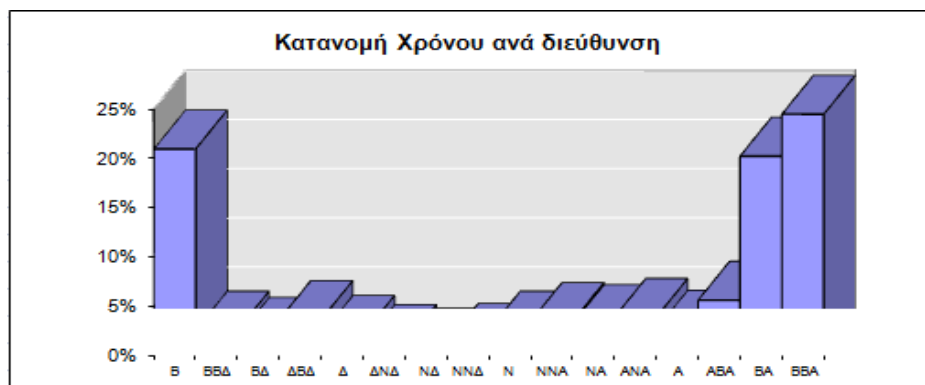
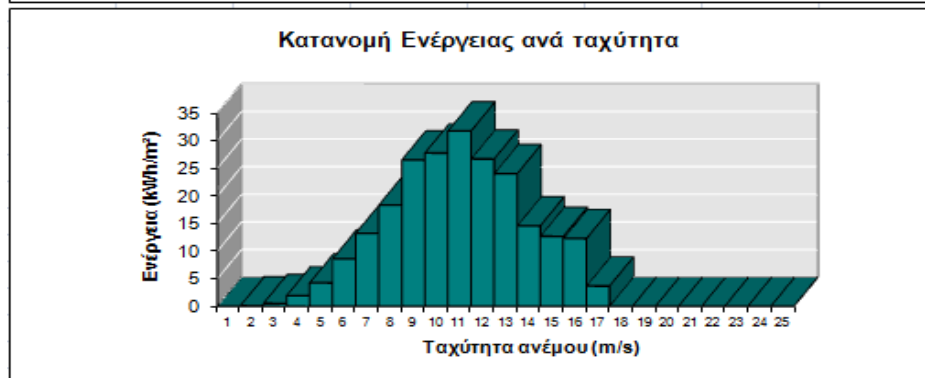
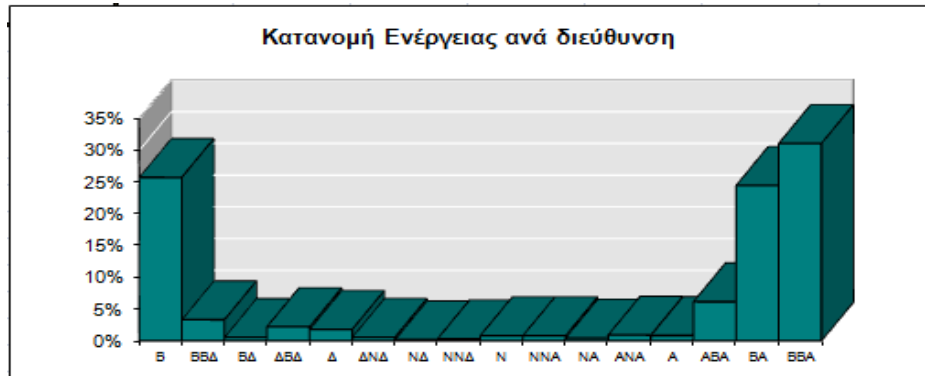
TIMECHARTS

Σε αυτό το φύλλο απεικονίζεται μία γενική εικόνα της διακύμανσης της ταχύτητας του αέρα στην περιοχή των μετρήσεων



BARCHARTS

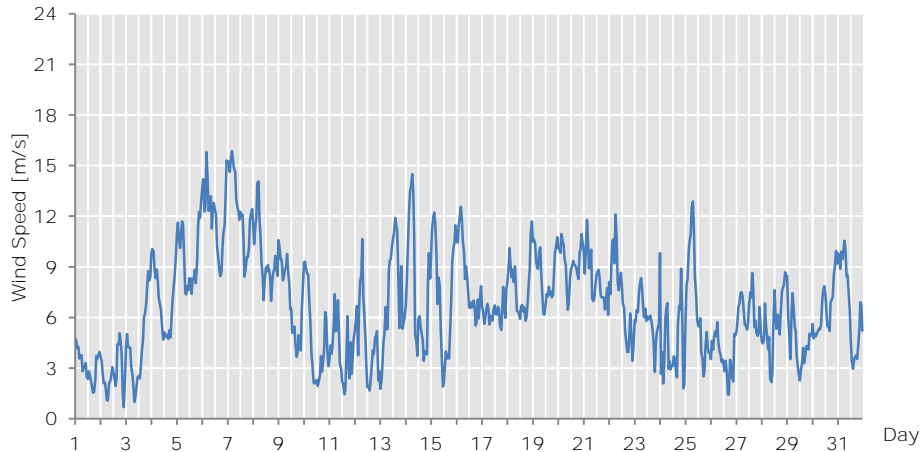
Τα δύο πρώτα διαγράμματα αφορούν την κατανομή της συνολικής ενέργειας (του ανέμου και όχι της Α/Γς) ανά διεύθυνση και ανά ταχύτητα, ενώ τα δύο τελευταία αφορούν την χρονική κατανομή του ανέμου πάλι ανά διεύθυνση και ταχύτητα.



UHOUR G, UHOUR T

Στα 2 αυτά φύλλα εργασίας απεικονίζεται ανά μήνα η μέση τιμή της ταχύτητας ανά ώρα για όλες τις ημέρες του μήνα.

Ιούλιος, 2004 Μέση ταχύτητα: 6,8m/s Πληρότητα δεδομένων:100,0%



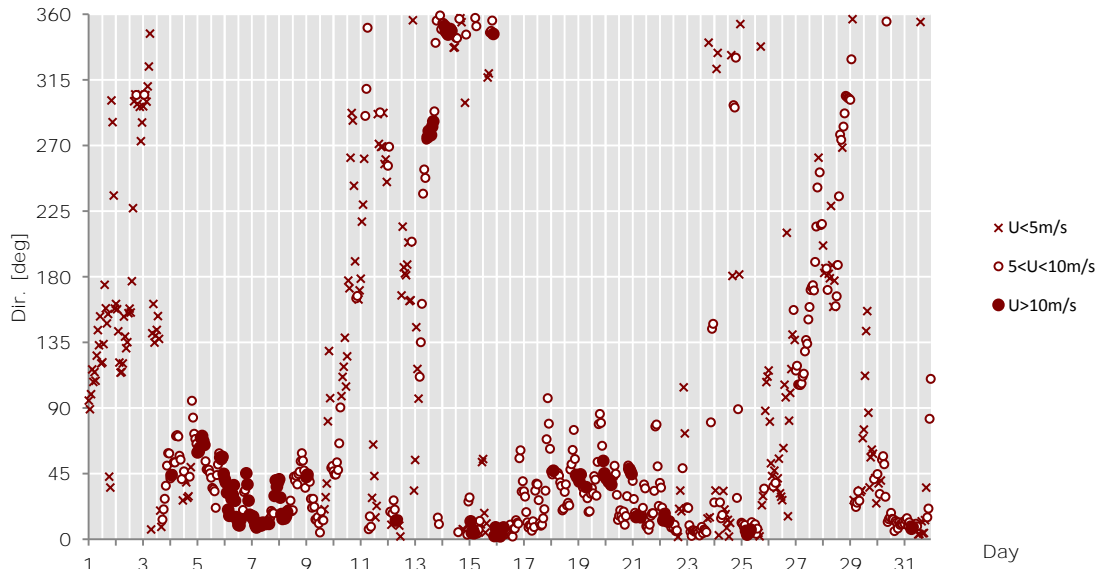
Μέση ταχύτητα ανέμου ανά ημέρα και ώρα

Ιούλιος 2004		Μέση ταχύτητα: 6,8m/s Πληρότητα δεδομένων: 100,0%																							
Ωρα	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	μ.ο.
1	4,7	4,7	4,2	4,3	3,6	3,7	3,8	2,8	3,0	3,1	3,3	2,5	2,3	2,8	2,6	2,3	1,9	1,5	1,6	2,4	3,7	3,5	3,8	4,0	3,2
2	3,7	3,4	2,7	2,1	2,1	1,7	1,1	1,1	2,1	2,2	2,4	3,1	2,8	2,5	1,9	2,3	4,4	4,4	5,1	4,6	3,9	1,3	0,7	2,0	2,7
3	4,2	5,0	4,3	4,2	4,2	3,1	2,6	1,9	1,0	1,4	2,0	2,5	2,5	2,4	3,0	3,9	4,7	6,0	6,2	6,8	7,8	8,7	8,2	8,4	4,4
4	9,8	10,0	9,9	8,9	8,3	8,8	8,2	7,2	6,8	6,4	5,6	4,7	5,1	5,0	4,8	5,0	4,7	5,2	4,8	5,9	6,9	7,9	8,5	9,4	7,0
5	11,0	11,6	10,7	10,1	10,9	11,7	11,5	9,3	7,4	7,4	7,9	7,6	8,3	8,3	7,4	8,3	8,4	8,8	8,0	9,4	11,4	12,3	11,9	13,0	9,7
6	13,6	14,2	12,3	12,6	15,8	14,1	12,3	12,6	13,2	11,3	12,3	12,8	12,3	12,1	10,3	9,6	8,9	8,4	8,6	10,1	11,0	11,5	13,2	15,3	12,0
7	15,2	15,2	14,6	15,4	15,9	15,3	14,8	14,6	13,1	12,6	12,3	11,8	12,3	12,0	12,1	10,6	8,4	9,0	9,6	9,6	10,1	11,8	12,1	12,4	12,5
8	11,5	10,3	11,4	11,9	14,0	14,1	11,8	10,8	9,3	8,3	7,0	8,2	8,9	8,7	9,1	8,8	8,4	7,0	8,2	8,7	8,8	9,7	8,9	8,5	9,7
9	10,6	10,0	9,4	9,5	8,2	8,4	8,8	9,0	9,7	8,8	8,0	6,5	6,5	5,1	5,2	5,5	4,5	3,7	4,0	4,9	4,5	4,0	6,4	8,0	7,1
10	9,2	9,3	8,9	8,6	8,6	7,1	5,6	3,9	3,2	2,1	2,1	2,2	2,3	1,9	2,2	2,6	3,7	2,8	3,2	4,2	6,3	6,0	4,0	3,1	4,7
11	3,4	4,3	3,8	4,3	5,6	7,4	5,2	5,3	7,0	5,1	3,3	3,0	2,2	2,1	1,4	1,7	3,4	6,1	3,3	2,4	4,5	2,7	3,6	4,7	4,0
12	5,3	5,8	6,7	3,8	6,6	8,1	8,5	10,6	7,3	5,9	4,7	3,0	1,9	1,9	1,7	2,3	3,3	4,1	3,8	4,8	4,9	5,2	2,3	2,8	4,8
13	1,8	2,2	3,2	4,5	5,0	6,6	5,3	5,3	8,8	9,4	9,5	10,3	10,7	11,0	11,9	11,5	11,1	9,0	5,4	7,8	9,1	5,3	5,7	5,9	7,3
14	6,7	8,2	10,0	12,2	13,5	13,7	14,5	13,6	10,9	5,0	4,6	3,7	5,9	6,1	5,4	5,1	4,6	3,4	4,0	3,9	3,8	8,0	9,8	8,3	7,7
15	9,7	11,3	12,0	12,2	11,6	9,5	6,8	8,4	7,9	5,4	3,8	1,9	2,2	3,1	4,0	3,6	3,8	3,6	5,5	7,1	9,3	10,2	10,4	11,5	7,3
16	10,5	10,4	11,4	11,9	12,6	11,8	10,5	9,8	8,3	9,0	8,3	7,5	6,6	6,6	6,9	6,6	7,0	6,6	5,5	5,7	7,1	5,9	7,0	7,9	8,4
17	6,6	6,4	5,6	5,9	6,4	6,8	6,5	5,6	6,1	5,8	5,8	6,5	6,7	6,2	6,2	6,6	6,5	5,5	5,3	6,3	7,8	6,7	6,0	7,7	6,3
18	8,0	9,0	10,1	9,1	8,4	8,8	8,1	9,0	7,7	6,4	6,3	6,2	5,9	6,7	6,7	6,4	6,6	5,8	6,0	6,8	8,0	8,9	10,9	11,7	7,8
19	10,5	10,6	10,4	9,3	9,0	8,9	10,0	10,1	8,6	7,1	6,2	6,2	6,8	7,4	7,2	7,8	7,4	7,5	7,2	7,3	8,7	9,9	10,3	10,8	8,5
20	10,1	10,0	9,8	10,9	10,5	10,3	9,5	9,1	7,5	6,5	6,8	8,3	8,9	9,0	9,3	9,1	9,1	8,9	8,6	8,3	9,8	10,1	10,9	10,4	9,2
21	9,9	8,6	9,9	11,8	10,6	8,9	9,4	10,0	7,1	7,0	7,2	7,9	8,5	8,7	8,8	8,4	7,3	7,2	7,2	7,2	6,5	6,9	7,7	6,2	8,3
22	8,1	7,4	9,0	10,5	10,6	9,2	12,1	11,0	8,1	7,6	8,1	8,7	7,8	6,8	6,6	5,2	4,7	3,9	4,0	4,8	6,2	4,8	3,4	4,2	7,2
23	5,8	5,7	6,4	6,3	7,3	8,0	8,3	7,7	6,7	6,0	6,5	5,8	6,1	5,9	6,0	6,1	5,7	5,3	4,5	2,8	4,5	5,1	5,4	5,7	6,0
24	9,8	2,7	3,9	2,1	3,1	6,0	6,6	6,8	3,0	3,4	2,9	3,2	3,1	3,7	3,6	2,8	2,4	5,6	6,7	6,5	8,9	5,6	1,8	2,0	4,4
25	6,1	7,9	8,3	10,0	10,6	10,9	12,5	12,9	11,2	8,4	7,3	5,9	5,5	5,4	6,0	3,9	3,5	2,5	2,8	4,2	5,1	4,2	3,9	3,9	6,8
26	3,5	4,6	4,1	4,8	5,2	4,9	5,7	4,6	4,0	3,8	3,4	3,5	3,2	2,8	3,4	2,7	1,4	1,4	3,5	3,1	2,5	2,2	5,0	4,9	3,7
27	5,2	5,8	6,6	6,8	7,5	7,5	7,2	6,3	5,6	5,5	5,3	5,7	6,7	7,5	7,2	8,6	7,9	5,4	5,8	5,1	4,9	5,1	6,6	5,2	6,3
28	4,6	4,5	4,7	6,8	5,6	4,8	4,1	4,8	2,3	2,2	2,7	5,4	7,6	6,0	5,3	6,2	5,7	5,0	6,5	7,5	7,8	7,9	8,7	8,4	5,6
29	8,5	5,8	4,9	3,5	6,2	7,4	6,7	5,5	5,2	3,7	3,0	2,6	2,3	2,8	3,3	4,2	3,3	3,7	4,3	4,2	4,1	5,0	4,9	5,0	4,6
30	5,6	4,8	5,1	4,9	5,0	5,2	5,3	5,3	5,5	7,0	7,6	7,8	7,3	6,4	5,5	5,5	5,2	6,9	7,0	7,2	8,5	9,0	9,9	9,2	6,5
31	9,8	9,7	8,9	9,9	9,5	9,9	10,5	10,2	8,4	8,5	7,6	6,4	4,6	3,5	3,0	3,4	3,7	3,7	3,6	4,2	5,3	6,9	6,7	5,2	6,8

DIRHOUR G, DIRHOUR T

Στα 2 αυτά φύλλα εργασίας απεικονίζεται ανά μήνα η μέση ωριαία διεύθυνση του ανέμου.

Ιούλιος, 2004



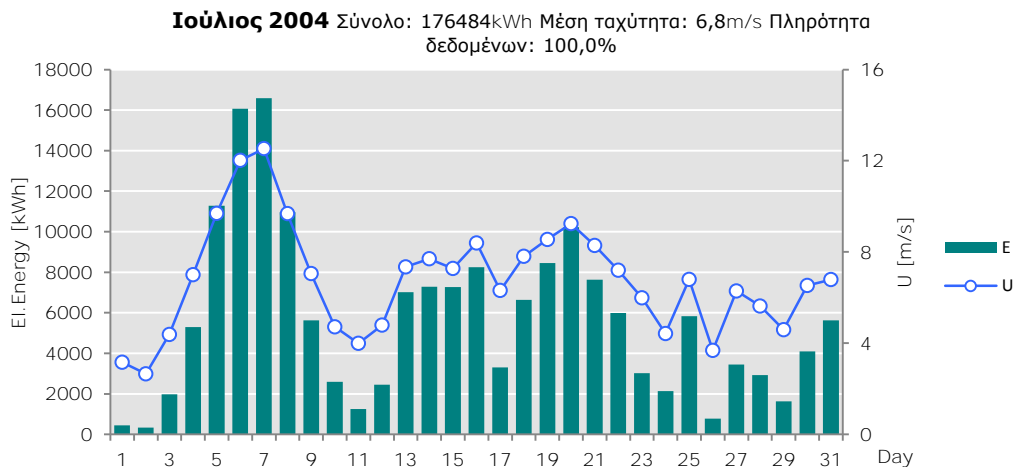
Μέση διεύθυνση ανέμου ανά ώρα και ημέρα

Ιούλιος 2004		Μέση ταχύτητα: 6.8m/s Πληρότητα δεδομένων: 100.0%																							
Ωρα	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1	95	89	100	117	108	115	109	126	144	133	153	121	121	134	175	159	148	155	43	36	301	286	236	158	
2	161	158	143	121	114	115	121	153	139	131	135	155	158	156	177	227	300	305	305	299	305	297	273	286	
3	297	305	305	300	311	324	347	7	141	161	135	140	144	153	138	20	9	14	21	28	37	51	59	59	
4	42	44	45	53	53	71	72	71	57	55	41	27	47	41	39	29	30	43	50	95	84	72	69	66	
5	60	60	63	70	71	68	65	54	48	47	48	45	42	35	34	33	22	44	51	59	56	55	57	45	
6	41	39	32	20	16	17	28	31	37	27	15	13	10	10	14	16	20	33	34	45	38	27	17	16	
7	15	16	13	10	8	9	11	10	10	11	11	11	11	11	12	11	15	20	18	18	30	41	36	39	
8	41	29	17	14	17	14	16	19	21	20	27	19	20	43	40	44	38	45	46	54	59	54	47	35	
9	43	44	42	40	28	22	28	22	14	13	15	11	5	19	14	13	21	29	38	81	129	97	49	50	
10	47	45	45	53	48	66	91	98	111	118	138	105	126	178	172	262	292	287	243	191	165	167	165	171	
11	179	218	230	261	290	309	351	7	16	9	29	65	44	15	23	292	271	293	269	269	292	257	261	245	
12	256	269	19	10	18	27	20	13	13	14	10	2	167	214	187	182	181	189	204	163	164	204	356	34	
13	55	146	117	97	112	135	162	237	254	248	274	276	280	277	277	283	287	294	341	356	15	11	359	350	
14	354	354	352	349	347	346	347	350	349	347	337	338	344	344	5	357	357	355	7	7	299	346	3	26	
15	29	12	5	6	4	358	352	4	7	13	10	53	55	18	5	11	317	320	348	349	356	347	2	8	
16	7	3	6	2	4	7	8	4	4	5	7	6	10	3	2	7	7	13	11	11	56	61	33	40	
17	33	29	19	12	8	10	9	6	12	8	33	38	38	27	11	9	10	15	21	33	69	97	79	62	
18	47	45	47	46	46	46	46	44	39	37	20	21	33	38	23	25	23	48	52	61	75	55	44	43	
19	44	40	45	44	36	32	36	36	28	19	19	31	35	32	43	41	30	53	79	86	80	64	54	45	
20	43	42	39	41	40	37	38	43	51	45	31	13	16	20	16	14	19	10	16	30	51	48	47	45	
21	40	28	18	15	16	16	17	15	17	22	38	35	9	8	7	10	16	18	18	33	77	79	50	23	
22	39	36	22	13	17	18	13	12	13	13	8	10	8	10	6	6	2	21	34	19	49	104	73	21	
23	22	22	10	5	2	6	6	6	6	6	5	3	7	9	4	7	6	5	14	341	15	80	144	148	
24	25	34	323	334	3	25	14	17	33	21	17	8	13	2	11	332	181	298	296	330	29	89	182	353	
25	11	11	9	10	6	3	4	5	7	12	6	9	10	4	7	5	2	338	23	30	35	88	108	112	
26	116	81	52	44	36	47	39	35	42	55	32	29	27	63	106	97	210	16	81	101	117	141	157	137	
27	116	119	106	106	106	107	112	114	129	137	134	151	159	171	173	174	171	190	215	241	262	252	216	216	
28	202	183	186	186	171	182	179	229	188	159	177	160	167	188	235	278	274	269	283	292	304	304	303	302	
29	301	329	357	27	25	22	25	33	27	33	34	69	75	112	143	157	87	36	56	62	59	41	42	25	
30	45	38	31	40	55	57	52	29	355	12	14	15	18	14	14	6	13	12	8	12	10	11	10	12	
31	11	13	15	9	12	10	7	8	9	10	11	9	3	4	355	12	4	4	13	36	15	21	83	110	

WTPROD G, WTPROD T

Στα 2 αυτά φύλλα εργασίας απεικονίζεται ανά μήνα η αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας της ανεμογεννήτριας **ENERCON E-48**, ανά ώρα για όλες τις ημέρες του μήνα.

Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Enercon E48-800kW) ανά ημέρα



Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Enercon E48-800kW) ανά ημέρα και ώρα

Ιούλιος 2004 Σύνολο: 176484kWh Μέση ταχύτητα: 6,8m/s Πληρότητα δεδομένων: 100,0%

Ωρα	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Σύνολο	
1	52	51	39	38	22	25	26	9	12	14	18	6	5	10	8	4	2	0	0	5	27	21	26	32	452	
2	25	18	9	2	3	0	0	0	3	3	5	13	10	7	2	6	43	42	66	48	29	1	0	5	344	
3	37	64	38	37	39	13	7	3	0	0	1	7	7	5	13	32	54	116	127	170	255	350	290	314	1990	
4	494	527	504	369	301	361	302	197	166	147	98	52	72	64	58	65	55	80	56	117	175	264	326	443	5295	
5	635	698	612	536	634	704	687	422	221	211	256	233	303	311	221	299	313	360	274	434	675	744	717	776	11277	
6	796	807	719	748	809	791	748	762	781	651	743	761	739	732	551	457	377	321	340	524	639	686	771	810	16064	
7	810	810	809	810	810	810	807	777	763	742	708	742	708	742	722	732	583	317	379	465	458	535	707	731	749	16584
8	692	558	682	714	803	803	708	614	423	307	181	304	380	351	398	364	327	185	282	346	359	472	379	339	10973	
9	589	524	443	443	290	314	361	386	483	350	270	146	148	68	73	85	44	24	31	62	46	35	147	272	5634	
10	412	420	369	331	327	190	92	31	15	3	3	3	4	2	3	9	25	10	18	38	133	116	34	14	2602	
11	20	40	28	39	99	213	76	82	222	75	17	13	3	3	0	2	20	120	25	6	48	13	24	59	1249	
12	75	105	179	29	155	281	323	601	215	108	56	13	1	1	0	7	19	35	35	60	62	76	7	10	2452	
13	2	4	17	46	66	153	88	84	396	435	447	553	602	629	717	688	638	389	99	271	388	95	95	112	7012	
14	167	284	510	720	790	797	809	789	591	63	53	28	108	119	84	71	51	20	33	30	27	349	490	305	7287	
15	482	665	724	742	696	463	166	310	260	83	27	2	5	16	34	23	30	26	90	190	437	537	571	683	7263	
16	575	576	680	720	759	715	583	490	297	390	300	228	152	152	174	159	185	158	98	98	197	112	195	255	8248	
17	152	141	94	110	143	168	146	90	121	106	103	143	161	127	123	153	147	89	80	134	259	160	115	249	3315	
18	275	381	537	402	307	359	280	387	243	138	135	126	110	159	161	138	157	104	116	163	265	366	626	704	6636	
19	585	601	569	420	376	365	512	532	333	190	127	124	171	221	203	259	212	231	196	209	357	502	556	612	8480	
20	534	520	493	636	589	557	445	388	225	142	169	305	373	391	428	404	399	371	329	300	492	530	632	575	10225	
21	508	335	502	711	583	373	434	521	201	177	195	257	326	353	357	315	208	197	198	199	144	178	245	124	7640	
22	280	211	382	580	599	410	707	601	281	238	279	338	252	174	182	76	82	36	31	55	130	62	19	40	5987	
23	104	99	140	132	207	266	301	244	162	114	149	101	118	108	115	121	95	83	47	10	50	69	84	103	3022	
24	486	18	35	5	14	125	151	173	13	19	11	15	17	27	23	10	8	130	160	191	380	110	5	7	2131	
25	145	265	299	513	593	631	742	772	657	329	217	113	91	86	113	30	24	6	11	39	70	37	30	28	5841	
26	21	50	40	59	71	59	98	49	31	30	18	21	15	10	19	11	0	0	21	17	6	3	66	65	780	
27	72	101	153	168	220	221	200	136	90	89	76	100	155	229	202	334	267	86	103	83	61	71	158	74	3451	
28	49	46	56	171	92	65	37	64	6	6	10	85	236	116	80	124	95	66	147	226	247	259	343	309	2932	
29	320	106	66	22	126	218	159	87	71	26	15	7	4	10	18	38	19	25	41	37	33	64	80	62	1632	
30	93	59	68	59	63	73	80	78	88	183	234	253	206	136	86	86	78	172	183	201	324	377	511	404	4089	
31	489	471	366	507	441	512	590	541	315	321	230	137	51	20	13	19	24	25	21	40	78	174	162	75	5621	

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ηλεκτρική ενέργεια και περιβάλλον (βιβλία Τ.Ε.Ε.)
2. Αιολική Ενέργεια (Αλέξανδρος Αλεξάκης)
3. Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας (Ιωάννης Κλεάνθη Καλδέλλης)
4. Εγχειρίδιο χρήσης προγράμματος Windrose

Διευθύνσεις ίντερνετ :

5. <http://www.biral.com/meteorological-sensors/wind-profilers>
6. <http://en.wikipedia.org/wiki/Lidar>
7. <http://en.wikipedia.org/wiki/Sodar>
8. <http://windsystemsmag.com>