

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΒΙΟΜΗΧΑΝ. ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ & ΤΕΧΝ. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Διπλωματική Εργασία

*" ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ
ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ "*



Δήμητρα Βασιλειάδου
Α.Μ. 599005/428

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Αναπλ. Καθηγητής κ. Σταπουντζής Ερρίκος

ΒΟΛΟΣ 2004



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 4002/1
Ημερ. Εισ.: 07-10-2004
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜΒ
2004
ΒΑΣ

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Ερρίκο Σταπουντζή, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητές κ. Νικόλαο Πελεκάση και κ. Νικόλαο Ανδρίτσο για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Οφείλω ευχαριστίες στον κ. Πανταζή Παναγιώτη του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βόλο, που με βοήθησε στη δημιουργία και τη μετατροπή των χαρτών που χρειάστηκα για τη λειτουργία του προγράμματος WASP που είναι και το αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας. Ευχαριστώ τους φίλους μου Καπτσιανού Δήμητρα και Καραμπάση Ιωάννη για την ηθική υποστήριξή τους και την κατανόησή τους, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των τελευταίων μηνών της προσπάθειάς μου. Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμον στους γονείς μου, Παύλο και Χαρίκλεια Βασιλειάδη και στην αδερφή μου Αναστασία για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια. Αφιερώνω αυτή την εργασία στην οικογένειά μου.

Βασιλειάδου Δήμητρα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. Εισαγωγή
 - 1.1 Σπουδαιότητα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.)
 - 1.2 Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην παγκόσμια παραγωγή ενέργειας και στην Ελλάδα
 - 1.3 Η Αιολική Ενέργεια

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση
 - 2.1 Παλιές και νέες συναφείς επιστημονικές μελέτες
 - 2.2 Διαθέσιμο λογισμικό
 - 2.2.1 PV-SIZE 2.1.0
 - 2.2.2 WindFarm
 - 2.2.3 GH WindFarmer

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. Μεθοδολογία της μελέτης
 - 3.1 Συλλογή στοιχείων του ανάγλυφου
 - 3.1.1 Τραχύτητα
 - 3.1.2 Ορογραφία
 - 3.1.3 Εμπόδια
 - 3.2 Συλλογή στοιχείων του ανέμου
 - 3.3 Τεχνικά στοιχεία της ανεμογεννήτριας-καμπύλες ισχύος
 - 3.3.1 Υπολογισμός της μέσης ισχύος
 - 3.3.2 Κριτήρια επιλογής αιολικών μηχανών
 - 3.4 WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program)
 - 3.4.1 Περιγραφή και περιεχόμενα του WAsP

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. Συλλογή των δεδομένων
 - 4.1 Χωροτακτικά δεδομένα
 - 4.2 Ανεμολογικά δεδομένα
 - 4.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας-καμπύλη ισχύος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. Επεξεργασία των δεδομένων με το WAsP

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. Σενάρια παραγωγής ενέργειας
 - 6.1 Διεύθυνση του ανέμου
 - 6.2 Τραχύτητα του εδάφους
 - 6.2.1 Ομοιόμορφη τραχύτητα
 - 6.2.2 Αλλαγή της τραχύτητας σε έναν τομέα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7. Συμπεράσματα

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ & ΜΟΝΑΔΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Περίληψη

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν αρχίσει να εισέρχονται στη ζωή των ανθρώπων με ποικίλες μορφές, τείνοντας έτσι να αντικαταστήσουν τα συμβατικά καύσιμα και να προστατέψουν σε μεγάλο βαθμό το περιβάλλον αλλά και όσους ζουν μέσα σ' αυτό. Η αιολική ενέργεια είναι από τις πιο σημαντικές μορφές τους και εξελίσσεται με γρήγορους ρυθμούς στις περισσότερες περιοχές του κόσμου. Σ' αυτή τη διπλωματική εργασία χρησιμοποιείται ένας υπολογιστικός και εμπορικός κώδικας, το *Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP)*, για την εκτίμηση της ενέργειας του Αιολικού Δυναμικού στην ευρύτερη περιοχή του Βόλου Μαγνησίας.

Αναπτύσσονται οι μέθοδοι συλλογής στοιχείων του ανάγλυφου της περιοχής, του ανέμου, των τεχνικών χαρακτηριστικών της ανεμογεννήτριας αλλά και του προγράμματος που χρησιμοποιήθηκε και γίνεται μια εκτενής περιγραφή τόσο των περιεχομένων όσο και των δυνατοτήτων του WAsP.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται λεπτομερώς ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιήθηκαν, επεξεργάστηκαν και αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα από το πρόγραμμα καθώς επίσης και τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την εκτίμηση του Αιολικού Δυναμικού.

Τέλος, εφαρμόζονται διάφορα σενάρια παραγωγής ενέργειας ανάλογα με τη διεύθυνση του ανέμου και ανάλογα με το μήνα ενώ στα δεδομένα που ήδη έχουν χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της διπλωματικής, γίνονται μεταβολές στην τραχύτητα του εδάφους σε έναν τομέα (sector), ώστε να παρατηρηθεί η διακύμανση και η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου στην περιοχή του μετεωρολογικού σταθμού, της πυκνότητας ισχύος και της ετήσιας παραγωγής ενέργειας (ΑΕΡ) στην περιοχή της επιλεγείσης ανεμογεννήτριας.

Κεφάλαιο 1

1. Εισαγωγή

1.1 Σπουδαιότητα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.)

Ανανεώσιμη πηγή ενέργειας ονομάζεται η μορφή ενέργειας η οποία δεν εξαντλείται στο εγγύς μέλλον και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με σταθερό και αξιόπιστο τρόπο.

Η πιο ουσιαστική και απόλυτη ανανεώσιμη μορφή ενέργειας είναι ο ήλιος με χωρητικότητα περίπου 160 φορές από την αποθηκευμένη ενέργεια στη γη [3]. Οι Α.Π.Ε. ταξινομούνται όπως φαίνεται παρακάτω:

- Ηλιακή ενέργεια
- Υδροηλεκτρική ενέργεια ή υδροίσχυς
- Αιολική ενέργεια
- Καύσιμες ανανεώσιμες πηγές και απορρίμματα (βιομάζα)
- Γεωθερμία
- Παλιρροϊκή ενέργεια
- Ενέργεια από κύματα
- Θερμότητα από ωκεανούς

Η σπουδαιότητά τους έγκειται κυρίως στο γεγονός ότι μπορούν να αντικαταστήσουν τις συμβατικές μορφές ενέργειας καθώς και στο ότι είναι ήπιες μιας και έχουν μικρές ή τουλάχιστον αρκετά μικρότερες από τις συμβατικές μορφές ενέργειας επιπτώσεις στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα τα περιβαλλοντικά οφέλη από τις Α.Π.Ε. είναι:

- Η μείωση των εκπομπών ρύπων και, επομένως η μείωση των επιπτώσεων από την κλιματική αλλαγή.
- Η βελτιωμένη ποιότητα του νερού καθώς τα υδροηλεκτρικά φράγματα μπορούν να προσφέρουν το νερό για άρδευση και ύδρευση ενώ μικρά αιολικά και φωτοβολταϊκά σχήματα μπορούν να βοηθήσουν στην άντληση νερού σε απομακρυσμένες περιοχές.
- Η μείωση των εκπομπών στον τομέα των μεταφορών.
- Η μείωση της ανάγκης για έργα υποδομής μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιπρόσθετα με όλα τα παραπάνω είναι και τα κοινωνικο-οικονομικά οφέλη που έχουμε από τις Α.Π.Ε. τα οποία συνοψίζονται παρακάτω:

- Ενεργειακή απεξάρτηση, διασπορά και εξασφάλιση του ενεργειακού ανεφοδιασμού μιας χώρας, με αποτέλεσμα τη σταθεροποίηση των ενεργειακών τιμών.
- Διασπορά θέσεων εργασίας και ιδιαίτερα σε απομακρυσμένες περιοχές που υπάρχει μεγάλη ανάγκη.
- Ανάπτυξη της οικονομίας μέσω της ενεργειακής απεξάρτησης.
- Ανάπτυξη της τεχνολογίας, της τεχνολογίας και των υπηρεσιών στον τομέα των Α.Π.Ε..

Η βασική έννοια της ανανεωσιμότητας των Α.Π.Ε. είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την έννοια της αιφόρου ανάπτυξης εφόσον συνεισφέρουν και στις τρεις συνιστώσες της (οικονομία, περιβάλλον και κοινωνική ευημερία) και την προσπάθεια μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Βέβαια υπάρχουν και κάποια προβλήματα που περιορίζουν την άμεση αξιοποίηση και την περαιτέρω διείσυσή τους όπως για παράδειγμα το υψηλό τους κόστος, το γεγονός ότι ο απλός κόσμος δεν αντιλαμβάνεται την ανάγκη για επενδύσεις στις Α.Π.Ε., η έλλειψη εμπειρίας και ευαισθητοποίησης από μεγάλους ιδιωτικούς και δημόσιους οργανισμούς και η δυσχέρεια του κράτους να προχωρήσει σε επιδοτήσεις λόγω του μεγάλου επιχειρηματικού κινδύνου.

1.2 Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) στην παγκόσμια παραγωγή ενέργειας και στην Ελλάδα

Η ουσιαστική ανάπτυξη των Α.Π.Ε. πραγματοποιείται τα τελευταία 30-35 χρόνια και παρόλο που στο μέλλον θα παραχθούν μεγαλύτερες ποσότητες ενέργειας από αυτές, η συμμετοχή τους σε παγκόσμιο επίπεδο αναμένεται να μειωθεί ελαφρά. Στο χρονικό διάστημα 1990-2001 η συνολική παραγωγή ενέργειας από τις Α.Π.Ε. παρουσιάζει μια μέση αύξηση 1,7% που είναι λίγο μεγαλύτερη από τη μέση αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας [3]. Αυτό που πρέπει και αξίζει να τονιστεί είναι ότι οι λιγότερο σημαντικές Α.Π.Ε. (ηλιακή, αιολική κ.ά.) παρουσιάζουν μέση ετήσια αύξηση 19%. Η αιολική ενέργεια κυρίως εμφανίζει εντυπωσιακή αύξηση της τάξης του 30-40%, με την Ευρωπαϊκή Ένωση να παρουσιάζει μέση ετήσια αύξηση της τάξης του 38%.

Στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα το 2001 το κυρίαρχο ορυκτό καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι ο λιγνίτης με δευτερεύον το φυσικό αέριο, το οποίο θα αυξήσει σημαντικά τη συμμετοχή του στο άμεσο μέλλον, και τις Α.Π.Ε. να συμμετέχουν με ένα ποσοστό περίπου 7,3%. Από τις Α.Π.Ε. τα μεγάλα υδροηλεκτρικά συστήματα κυριαρχούν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με ποσοστό 92%. Η αιολική ενέργεια συμμετείχε το 2001 με 1,5%, η βιομάζα με 0,4% ενώ η εγκατεστημένη ισχύς των μικρών υδροηλεκτρικών συστημάτων στην Ελλάδα ανέρχεται περίπου σε 60MW (το 2002). Το επίπεδο ανάπτυξης των Α.Π.Ε. στην Ελλάδα το 1999 και το 2003 και οι προοπτικές που διανοίγονται για το 2005 ενόψει της Λευκής Βίβλου της Ευρωπαϊκής Ένωσης συνοψίζονται στον πίνακα 1.1 [3]. Όπως φαίνεται, εκτός από τα μεγάλα υδροηλεκτρικά και πιθανόν τα αιολικά συστήματα, είναι μάλλον απίθανο να ικανοποιηθούν οι άμεσοι στόχοι του 2005.

Πίνακας 1.1 Το επίπεδο ανάπτυξης των Α.Π.Ε. στην Ελλάδα το 1999 και οι προοπτικές για το 2005.

Τεχνολογία	Κατάσταση Το 1999	Κατάσταση το 2002	Προοπτική μέχρι το 2005
Αιολικά	43 MW	350 MW	1.000 MW
Μεγάλα Υ/Η	2.800 MW	3.100 MW	3.100 MW
Μικρά Υ/Η	42 MW	60 MW	200 MW
Φωτοβολταϊκά	0.3 MW	2.37 MW	30 MW
Ηλιακοί συλλέκτες	2.300.000 m ²	2.850.000 m ²	6.000.000 m ²
Βιομάζα	900.000 ΤΙΠ	~950.000 ΤΙΠ	1.600.000 ΤΙΠ
Γεωθερμία	8.000 ΤΙΠ	10.500 ΤΙΠ	100.000 ΤΙΠ

1.3 Η Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια άρχισε να χρησιμοποιείται για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας ήδη από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα, αν και μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1973 χρησιμοποιήθηκε ακόμα περισσότερο. Για να θεωρηθεί μια περιοχή κατάλληλη για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας θα πρέπει η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου να ξεπερνά τα 4-5 m/s. Οι σύγχρονοι "ανεμόμυλοι" που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζονται ανεμογεννήτριες ή ανεμοκινητήρες και διακρίνονται σε δύο κυρίως κατηγορίες: τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα και τις ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα. Παρόλο όμως που μεμονωμένες ανεμογεννήτριες μπορούν να ικανοποιήσουν χρήστες εκτός δικτύου, συχνά το μοντέλο αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας εστιάζεται στη σύνδεση της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από τα λεγόμενα "αιολικά πάρκα" (wind farms), δηλαδή από μια ομάδα ανεμογεννητριών.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών συστημάτων παγκοσμίως σήμερα υπερβαίνει το 30.000MW [2]. Τα μεγαλύτερα αιολικά πάρκα βρίσκονται σε περιοχές της Καλιφόρνιας, της Γερμανίας και της Δανίας η οποία καλύπτει το 20% των αναγκών της σε ηλεκτρική ενέργεια από τον άνεμο. Η Δανία, επίσης, είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας ανεμογεννητριών στον κόσμο, κατέχοντας το 40% της παγκόσμιας παραγωγής τους και έχει αναπτύξει λογισμικό για εκτίμηση των ενεργειακών πόρων (wind power potential). Όσον αφορά την Ελλάδα, σήμερα υπάρχουν περισσότερα από 150 MW σε αιολικά πάρκα κυρίως στα νησιά του Αιγαίου (Σύρος, Άνδρος, Χίος, Κύθνος, Σαμοθράκη κ.ά.), στην Εύβοια και στην Κρήτη. Τα τελευταία χρόνια αξιοσημείωτη είναι και η ανάπτυξη που παρουσιάζεται στην Ασία (Ινδία, Ιαπωνία, Κίνα).

Βέβαια για να τοποθετηθεί μια ή περισσότερες ανεμογεννήτριες σε μια περιοχή πρέπει να γίνουν συστηματικές μελέτες, οι οποίες τις περισσότερες φορές είναι αρκετά χρονοβόρες, ώστε να έχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα. Παρακάτω συνοψίζονται οι δυο τρόποι με τους οποίους γίνονται αυτές οι μελέτες:

- Περίπτωση μιας ανεμογεννήτριας: Συγκεντρώνονται τα πρωτογενή μετεωρολογικά στοιχεία (wind) τα οποία σε συνδυασμό με τα δεδομένα του ανάγλυφου της ευρύτερης περιοχής και τις αρχές και τις παραδοχές της ρευστομηχανικής μας δίνουν τελικά τις κατανομές ταχυτήτων (χ,y) όσο αυξάνεται το υψόμετρο. Αυτά τα δεδομένα συνδυάζονται με τα πιο ενδεικτικά χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών.
- Περίπτωση πολλών ανεμογεννητριών: Ακολουθείται η ίδια διαδικασία όπως και πριν για κάθε μια από τις ανεμογεννήτριες, μόνο που σε αυτήν την περίπτωση εξετάζεται και η αλληλεπίδραση της μιας ανεμογεννήτριας με την άλλη. Γι' αυτό και πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη προσοχή και φυσικά χρόνος για τον ακριβή προσδιορισμό της περιοχής και της απόστασης που θα τοποθετηθούν (wind farm siting, wind park design κ.ά.).

Το αντικείμενο της συγκεκριμένης διατριβής θα αφορά την πρώτη περίπτωση, δηλαδή με την αξιοποίηση ενός υπολογιστικού και εμπορικού κώδικα (WAsP) για την εκτίμηση της ενέργειας από ανεμογεννήτριες στην ευρύτερη περιοχή του Βόλου.

Κεφάλαιο 2

2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Παλιές και νέες συναφείς επιστημονικές μελέτες

Υπάρχουν αρκετές μελέτες στις οποίες έχει χρησιμοποιηθεί το WAsP (το πρόγραμμα με το οποίο επεξεργάστηκαν τα δεδομένα αυτής της διπλωματικής εργασίας, τα χαρακτηριστικά και οι λειτουργίες του οποίου παρουσιάζονται εκτενώς στα επόμενα κεφάλαια) ως βασικό ή δευτερεύον εργαλείο για τη διεξαγωγή τους.

Οι Bernhard Lange και Jørgen Højstrup [8] χρησιμοποίησαν αυτό το πρόγραμμα, γιατί το WAsP είναι ένα εργαλείο που αποτελεί πολύ καλή μέθοδο πρόβλεψης των πόρων του ανέμου, τόσο για παραθαλάσσιες περιοχές όσο και για τοποθεσίες που βρίσκονται στην ενδοχώρα. Είναι γνωστό πως οι συνθήκες στη θάλασσα δεν είναι σταθερές, όπως συμβαίνει στη στεριά, αλλά εξαρτώνται από την παρουσία των κυμάτων. Επίσης, η σταθερότητα της ατμόσφαιρας στη στεριά διαφέρει από αυτήν στη θάλασσα (διαφορετική ροή θερμότητας). Όλα αυτά αλλά και άλλα προβλήματα που επιδρούν αρνητικά στον υπολογισμό της ταχύτητας του ανέμου, απλοποιούνται από το WAsP το οποίο χρησιμοποιεί απλά, εμπειρικά μοντέλα (υποθέτει μήκος τραχύτητας για την επιφάνεια της θάλασσας 0.2 mm, η σταθερότητα της ατμόσφαιρας θεωρείται ως μια διαταραχή του λογαριθμικού, κάθετου προφίλ της ταχύτητας του ανέμου, οι αλλαγές της τραχύτητας γίνονται με μια εμπειρική φόρμουλα χρησιμοποιώντας ένα εσωτερικό οριακό στρώμα κ.ά.). Τελικά, οι αποκλίσεις του προγράμματος από τις μετρήσεις ήταν της τάξεως του 5% ενώ μεγαλύτερες αποκλίσεις παρατηρήθηκαν στην περίπτωση που το πρόγραμμα υπέρ-προβλέπει τη διαφορά μεταξύ των ταχυτήτων του ανέμου στη στεριά μ' αυτές στη θάλασσα.

Το WAsP χρησιμοποιήθηκε και από τους R.N. Farrugia και E. Scerri [9], οι οποίοι ασχολήθηκαν με την εκτίμηση των πόρων του ανέμου σε διάφορες περιοχές της Μάλτας αλλά και των μικρών νησιών που βρίσκονται γύρω από αυτήν, καθώς οι περιοχές αυτές εξαρτώνται πλήρως από συμβατικούς πετρελαϊκούς σταθμούς. Έτσι, σε μια απόπειρα εύρεσης στοιχείων που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε κάλυψη ενός μέρους των αναγκών από αιολική ενέργεια, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα αυτό. Γιατί ένας μετεωρολογικός σταθμός μπορεί να παρέχει πρωτογενή στοιχεία για την ταχύτητα του ανέμου, το πρόγραμμα όμως θα "διορθώσει" όσα σφάλματα περιέχονται, εφόσον θα λάβει υπόψη την τραχύτητα του εδάφους, την ορογραφία του και τα πιθανά εμπόδια που μπορεί να συναντά ο αέρας κατά την πορεία του. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν 2 υπολογιστικές μέθοδοι οι οποίες συγκρίθηκαν με το WAsP και η μέγιστη απόκλιση που παρατηρήθηκε ήταν της τάξεως του 15%. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί, πάντως, είναι πως το WAsP ενδυνάμωσε την υπόθεση που ήθελε να υπάρχουν τοποθεσίες στα νησιά αυτά που θα μπορούσαν να τοποθετηθούν ανεμογεννήτριες και να βοηθήσουν στην ενεργειακή οικονομία.

Το WAsP, βέβαια, παρέχει διαφορετικά αποτελέσματα στον χρήστη σε περίπτωση που εφοδιαστεί με δεδομένα της ίδιας περιοχής μεν αλλά διαφορετικής ακρίβειας. Αυτό φαίνεται και στην εργασία των J. Navarro, M. Marchante, I. Marti, J. Dominguez, I. Sanchez, F. Martin [10] οι οποίοι κάνουν μια σύγκριση χρησιμοποιώντας αρχικά έναν χάρτη 1:25000 και στη συνέχεια έναν άλλο 1:200000 και μετά από ένα στατιστικό τεστ που εφαρμόζουν παρατηρούν πως τα αποτελέσματα διαφέρουν μεταξύ τους. Αξιοσημείωτο είναι και το γεγονός ότι το πρόγραμμα αυτό είναι απαραίτητο για τη δημιουργία αιολικών χαρτών διαφόρων περιοχών όπως βοήθησε για παράδειγμα τον Rick Watson [11] να δημιουργήσει τον αιολικό χάρτη της Ιρλανδίας (από τα δεδομένα που υπήρχαν στον Ευρωπαϊκό Αιολικό Χάρτη που εκδόθηκε το 1989) και τους O. Rathmann και L. Landberg να δημιουργήσουν έναν αντίστοιχο για την περιοχή της Kola Peninsula της Ρωσίας [15].

Ακόμα όμως και σε περιπτώσεις εργασιών-μελετών που χρησιμοποιείται κάποιο άλλο υπολογιστικό πακέτο πρόβλεψης μετεωρολογικών συνθηκών, όπως είναι το HIRLAM στις εργασίες του Lars Landberg [12], [16], το WAsP χρησιμοποιείται για να δώσει τις περισσότερες λεπτομέρειες που απαιτούνται για να ολοκληρωθεί σωστά η μελέτη και να προκύψουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα αποτελέσματα.

Το WAsP, όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, είναι ένα κλασσικό εργαλείο που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ταχύτητας του ανέμου σε ομάδες περιοχών και την αποδοτικότερη χωροθέτηση των ανεμογεννητριών. Για να δώσει όμως σωστά αποτελέσματα πρέπει να υπάρχει πληθώρα ανεμολογικών δεδομένων και η περιοχή να είναι απαλλαγμένη από δυσμορφίες του εδάφους.

Επειδή όμως υπάρχουν περιοχές με μικρό αριθμό μετρήσεων, χρησιμοποιούνται παράλληλα και υπολογιστικές μέθοδοι που βοηθούν στην πραγματοποίηση μιας μελέτης-εργασίας. Έτσι και στην εργασία των Helmut P. Frank και Lars Landberg [13] γίνεται μια σύγκριση μεταξύ ενός αιολικού χάρτη που προέκυψε από επεξεργασμένες μετρήσεις-παρατηρήσεις (και όχι από πραγματικές) και ενός χάρτη που είναι βασισμένος σε υπολογιστικές προσομοιώσεις.

Τελικά, δημιουργήθηκε ένας αιολικός χάρτης για την Ιρλανδία από υπολογιστικές προσομοιώσεις χρησιμοποιώντας το μοντέλο KAMM (Karlsruhe Atmospheric Mesoscale Model), τα αποτελέσματα του οποίου συγκρίθηκαν με αυτά του WAsP, και προέκυψε πως ενώ για τις περιοχές με υψηλή πυκνότητα ισχύος οι προβλέψεις είναι σωστές, για τις υπόλοιπες περιοχές υπάρχει υπέρ-πρόβλεψη.

Είναι λογικό, όμως, να υπάρχουν και τοποθεσίες που το ανάγλυφο του εδάφους τους είναι αρκετά τραχύ και πολύπλοκο όπως είναι η Ελλάδα, η Ισπανία, η Πορτογαλία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Σ' αυτές τις περιοχές είναι και πολύ δύσκολο τα αποτελέσματα του προγράμματος να είναι ακριβή. Βέβαια, ακόμα και αν η επιφάνεια του εδάφους είναι αρκετά ομαλή θα πρέπει και τα δεδομένα που εισάγονται για την περιγραφή της τραχύτητάς της να είναι επαρκή και να απεικονίζουν την έκταση με πολλές λεπτομέρειες. Αυτό το πρόβλημα παρουσιάζεται στην εργασία των Niels G. Mortensen και Eric L. Petersen [14], στην οποία αναφέρεται επίσης πως ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για σωστά αποτελέσματα αποτελεί και η απόσταση μεταξύ των ισούψων της περιοχής που δεν πρέπει να ξεπερνά τα 20m.

Εξίσου σημαντικό, όμως, είναι και η εύρεση της κατάλληλης περιοχής όπου είναι προτιμότερο να τοποθετηθεί μία ή και περισσότερες ανεμογεννήτριες, ώστε να υπάρχει πλήρη εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας που μπορεί να προσδώσει αυτή. Γι' αυτό το λόγο και έχουν πραγματοποιηθεί πολλές εργασίες από διάφορους μελετητές ανά τον κόσμο για ποικίλες περιοχές ανά την υφήλιο. Ο λόγος για τον οποίο επέλεξαν να ασχοληθούν μ' αυτό το αντικείμενο, είναι η ταχύτερη ανάπτυξη που παρουσιάζει η οικονομία των κρατών που έχουν καταφέρει να εκμεταλλευτούν την αιολική ενέργεια και παράλληλα για να βοηθήσουν και να ενημερώσουν τους ανθρώπους που έχουν τη δύναμη και τις δυνατότητες να γίνουν τέτοια έργα αλλά δεν έχουν επαρκείς γνώσεις πάνω στις τεχνικές, χωροτακτικές αλλά και περιβαλλοντολογικές πλευρές του θέματος.

Οι Y. Cabooter, L. Dewilde και M. Langie συγκεκριμένα [17], ασχολήθηκαν με μια περιοχή του Βελγίου (Flanders). Εκεί το πρόβλημα δεν είναι οικονομικό αλλά χωροτακτικό και περιβαλλοντολογικό. Είναι πολύ δύσκολο να βρεθούν μέρη που να είναι επικερδή για τους επενδυτές και αποδεκτά από το κράτος. Αυτός ήταν και ο στόχος αυτής της εργασίας, στην οποία για να προκύψουν τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκε και το WAsP. Με το ίδιο θέμα ασχολήθηκαν και οι E. J. van Zuylen, R. A. van Beek και R. Heemskerk [18], για την περιοχή της Ολλανδίας όπου η υλοποίηση ανεμογεννητριών προχωρά σταθερά αλλά με πολύ αργό ρυθμό (λιγότερο από 50MW ανά έτος).

Για να βρεθούν κατάλληλες υποψήφιες περιοχές για την τοποθέτηση των γεννητριών είναι πολύ σημαντικό να υπολογιστούν οι πόροι του ανέμου στα πιθανά σημεία. Ένας τρόπος για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, είναι να μετρηθεί η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου. Βέβαια το πιο πιθανό είναι οι μετρήσεις αυτές να μην καλύπτουν μεγάλο χρονικό διάστημα και έτσι να μην υπάρχει σωστή εκτίμηση.

Σε περίπτωση όμως που οι μετρήσεις είναι αρκετές και επαρκούν τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μεθοδολογία Μέτρηση - Συσχέτιση - Πρόβλεψη (Measure-Correlate-Predict) που χρησιμοποίησαν οι A. Joensen, L. Landberg και H. Madsen στην εργασία τους [19]. Σ' αυτή την εργασία παρουσιάζεται βασικά πώς η στατιστική συσχέτιση μεταξύ του ανέμου σε μια αναφορική τοποθεσία και μιας πιθανής τοποθεσίας αιολικού πάρκου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να υπολογιστεί μακροπρόθεσμα η πηγή του ανέμου στην πιθανή αυτή τοποθεσία.

Σε μια άλλη περιοχή της Ευρώπης, τη Γερμανία, η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας είναι ραγδαία. Το μεγαλύτερο ποσοστό των ανεμογεννητριών, βέβαια, τοποθετούνταν σε παράκτιες περιοχές αλλά από το 1997 ξεκίνησε η τοποθέτησή τους και στην ενδοχώρα (το 1997 το 60% των γεννητριών τοποθετήθηκε στο εσωτερικό της χώρας). Αυτό, στις περισσότερες περιπτώσεις, σημαίνει πως οι γεννήτριες πλέον αρχίζουν να τοποθετούνται σε μέρη που η ορογραφία τους και η μορφολογία του εδάφους τους είναι σύνθετη. Αυτό ήταν και το αντικείμενο της μελέτης των Detlev Heinemann, Heinz-Theo Mengelkamp, Martin Strack και Hans-Peter Waldl [20] οι οποίοι χρησιμοποίησαν ένα ειδικό μοντέλο ροής (GESIMA) μια και ο Ευρωπαϊκός Αιολικός Χάρτης είναι κατάλληλος μόνο για ομαλές επιφάνειες εδάφους και λόφους. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις εφαρμογές του μοντέλου, μετά από σύγκριση και επαλήθευσή τους με τις μετρούμενες τιμές (ταχύτητας, ενέργειας κ.ά.) είναι αρκετά ικανοποιητικά και πολλά υποσχόμενα για το μέλλον.

Παρόμοιο πρόβλημα αντιμετώπισαν στην εργασία τους για την περιοχή της Ιαπωνίας και οι T. Maeda, T. Yokota, Y. Shimizu, Y. Maniwa, H. Hyodo και T. Mori [21]. Στην Ιαπωνία υπάρχουν βλέψεις για τοποθέτηση ανεμογεννητριών σε αρκετές περιοχές της οι οποίες δεν έχουν, όπως είναι φυσικό, όλες ομαλό και επίπεδο έδαφος αλλά έχουν και λόφους και βουνά. Η εκτίμηση ενός τέτοιου σύνθετου εδάφους είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστεί υπολογιστικά και έτσι στη μελέτη αυτή τα αποτελέσματα των μετρήσεων της κατανομής της κάθετης ταχύτητας του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος παρουσιάζονται με το ηχητικό ραντάρ του Doppler (Doppler Sodar).

Φτάνοντας στο σήμερα και έχοντας αποκτήσει μεγάλη εμπειρία πάνω σε θέματα ανεμογεννητριών, που είναι τοποθετημένες κυρίως σε παράκτιες περιοχές, υπάρχει ακόμα μεγάλη αβεβαιότητα κατά τον υπολογισμό της παραγωγής ισχύος όσον αφορά την πρόβλεψη του "συνδέσμου" μεταξύ της ατμόσφαιρας και των ανεμογεννητριών. Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν στην εργασία των Rebecca Barthelmie, Gunner Larsen, Sara Pryor, Hans Jørgensen, Hans Bergström, Wolfgang Schlez, Kostas Rados, Bernhard Lange, Per Vølund, Søren Neckelmann, Søren Mogensen, Gerard Schepers, Terry Hegberg, Luuk Folkerts και Mikael Magnusson [4], οι οποίοι χρησιμοποίησαν νέες βάσεις δεδομένων από ήδη υπάρχοντα παραθαλάσσια αιολικά πάρκα και λεπτομερειακά προφίλ απόρρου, για διαφορετική ταχύτητα ανέμου, σταθερότητα και συνθήκες τραχύτητας, δημιουργήθηκαν κριτήρια για τη βελτίωσή τους. Παράλληλα, χρησιμοποίησαν προσομοιώσεις μεσοκλιματικών μοντέλων για να εκτιμήσουν την επιρροή των θερμικών ροών, της τραχύτητας και της τοπογραφίας σε παραθαλάσσιες ταχύτητες ανέμου. Έτσι, η εργασία τους έφερε μια σημαντική εξέλιξη πάνω σ' αυτό το θέμα, στη βελτιωμένη πρόβλεψη της ταχύτητας του ανέμου και των προφίλ των δινών στο εσωτερικό των αιολικών πάρκων που βρίσκονται σε παραθαλάσσιες περιοχές.

Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας αλλά και οι μετρήσεις που παίρνει το ανεμόμετρο μπορεί να επηρεαστούν σημαντικά από την κλίση με την οποία φτάνει σ' αυτά η ροή του ανέμου. Η επίδραση αυτή είναι ακόμα μεγαλύτερη όταν η επιφάνεια του εδάφους δεν είναι ομαλή αλλά σύνθετη. Μ' αυτό το πρόβλημα ασχολήθηκε και ο T. F. Pedersen [5] στην εργασία του στην οποία η ολική εξάρτηση της καμπύλης ισχύος στην κλίση της ροής του αέρα αναλύεται για την επιρροή της τόσο στην απόδοση της γεννήτριας όσο και στο "κύπελλο" του ανεμομέτρου.

Πρόσφατα έχει παρατηρηθεί μια αξιοσημείωτη αύξηση στην παραγωγή ανεμογεννητριών. Είναι γνωστό, όμως, πως οι ανεμογεννήτριες είναι ένας συνεχής παραγωγός με μεγάλη διακύμανση παραγωγής, με αποτέλεσμα οποιαδήποτε αύξηση στον αριθμό τους να μεγαλώνει και τις ανησυχίες για την ποιότητα της ισχύος που παράγεται.

Το γεγονός αυτό γίνεται ακόμα πιο σημαντικό όταν πρόκειται όχι για μία μόνο ανεμογεννήτρια αλλά για ένα αιολικό πάρκο. Αυτό είναι και το θέμα των άρθρων που επιμελήθηκαν οι Toshiya Nanahara, Masahiro Asari, Takamitsu Sato, Koji Yamaguchi, Masaaki Shibata, Tsutomu Maejima [6], [7] οι οποίοι χώρισαν το θέμα σε δύο ενότητες. Στην πρώτη παρουσιάζουν αρχικά μια σύντομη αναφορά μετρήσεων του ανέμου που έχουν ληφθεί σε δυο τοποθεσίες κατά τη διάρκεια ενός έτους, σε ομαλή αλλά και σε σύνθετη επιφάνεια εδάφους.

Στη συνέχεια η χωρική συνοχή (spatial coherence) της ταχύτητας του αέρα αναλύεται δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στην εξάρτησή της από την απόσταση μεταξύ των σημείων που γίνονται οι παρατηρήσεις, τη διεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου και τη συχνότητα διακύμανσης. Τελικά, τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι η συνοχή της ταχύτητας του ανέμου με την παραγωγή της ανεμογεννήτριας παρουσιάζει ιδιαίτερη ομοιότητα. Στο δεύτερο άρθρο παρουσιάζονται οι μετρήσεις που έχουν ληφθεί από 16 διαφορετικές τοποθεσίες και κατόπιν αναλύονται οι συντελεστές συσχέτισης της παραγωγής της ισχύος του ανέμου των ανεμογεννητριών οι οποίες βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους. Αυτό που παρατηρήθηκε στην εργασία αυτή είναι η μεταβολή των συντελεστών συσχέτισης μέρα με τη μέρα.

2.2 Διαθέσιμο λογισμικό

Τα διαθέσιμα λογισμικά που υπάρχουν στο εμπόριο και μπορεί, όποιος ενδιαφέρεται να ασχοληθεί με θέματα ανεμογεννητριών και γενικά με θέματα που αφορούν την αιολική ενέργεια, να χρησιμοποιήσει ως εργαλεία είναι αρκετά. Κάποια από αυτά είναι το WAsP, που είναι και το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας και θα παρουσιαστεί αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια, το PV-SIZE 2.1.0, το WindFarm και το GH WindFarmer, μια συνοπτική αναφορά των οποίων γίνεται αμέσως παρακάτω.

2.2.1 PV-SIZE 2.1.0

Το PV SIZE 2.1.0 αποτελεί εργαλείο διαστασιολόγησης συστημάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Επιτρέπει τη διαστασιολόγηση ενός συστήματος ΑΠΕ το οποίο αποτελείται από:

- Φωτοβολταϊκά Πλαίσια (Photovoltaic Modules). Διαθέτει βιβλιοθήκη με τα προϊόντα των μεγαλύτερων κατασκευαστών. Η βιβλιοθήκη είναι ανοιχτή (μπορεί δηλαδή να συντηρηθεί από το χρήστη) και διαθέτει Τεχνικά και Οικονομικά Δεδομένα.
- Μικρές Ανεμογεννήτριες (έως και 25 kW). Διατίθεται επίσης ανοιχτή Βιβλιοθήκη Τεχνικών και Οικονομικών χαρακτηριστικών.
- Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος, του οποίου η ενεργειακή προσφορά καθορίζεται από το χρήστη, ώστε να συνεπικουρείται το σύστημα ΑΠΕ.

Το λογισμικό λειτουργεί σε τρία απλά βήματα:

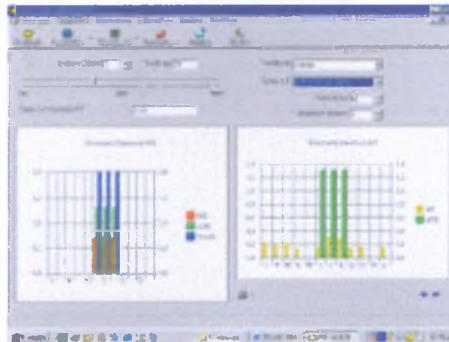
- Καθορίζονται οι ενεργειακές ανάγκες, επιλέγονται οι συσκευές, οι ώρες λειτουργίας, η εποχή ζήτησης και η τοποθεσία του συστήματος.
- Επιλέγει ο χρήστης τα είδη που επιθυμεί να απαρτίζουν το σύστημά του (Φωτοβολταϊκά πλαίσια, Ανεμογεννήτριες, συνεπικούρηση από Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος).
- Το λογισμικό υπολογίζει και προτείνει το βέλτιστο σύστημα. Η πρόταση αποτελείται από Τεχνικό και Οικονομικό μέρος και ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να την τροποποιήσει.

Οι Τεχνικές και Οικονομικές Προσφορές που παράγονται από το Λογισμικό (με πλήρεις δυνατότητες προεπισκόπησης, διαμόρφωσης και εκτύπωσης) αποθηκεύονται στη Βάση Δεδομένων. Όλες οι εκτυπώσεις φέρουν λογότυπα που επιλέγει ο χρήστης του Προγράμματος.

Συντηρείται εξάλλου Βάση Δεδομένων Πελατών και διατίθενται εργαλεία για την παρακολούθηση της εξέλιξης προσφορών προς αυτούς.

Περιλαμβάνονται επίσης, εργαλεία αποστολής Ομαδικής αλληλογραφίας προς τους πελάτες.

Όσον αφορά το περιβάλλον του προγράμματος, είναι πολυγλωσσικό με απεριόριστο αριθμό γλωσσών. Έτσι κάθε χρήστης έχει τη δυνατότητα να βλέπει το λογισμικό σε όποια γλώσσα επιθυμεί. Επιπρόσθετα, είναι και πολυχρηστικό με πολλά δικαιώματα ανά χρήστη. Μ' αυτόν τον τρόπο ο κάθε ένας μπορεί να "βλέπει" ακριβώς αυτό που χρειάζεται ώστε να επιτελέσει το έργο του. (εικόνα 2.1)



Εικόνα 2.1

Τέλος, το λογισμικό λειτουργεί σε όλα τα λειτουργικά συστήματα της Microsoft (Win95 ως και WinXP) ενώ οι απαιτήσεις σε Hardware είναι ελάχιστες.

2.2.2 WindFarm

Η ReSoft Ltd έχει αφιερωθεί εξ' ολοκλήρου στο λογισμικό του WindFarm χρησιμοποιώντας την πείρα πολλών ετών που έχει κερδίσει στην αεροδυναμική και στην ανάπτυξη αιολικών πάρκων. Το WindFarm επιτρέπει στον χρήστη να αναλύσει, να σχεδιάσει και να βελτιστοποιήσει το αιολικό πάρκο με το οποίο θα ασχοληθεί.

Πρόκειται για ένα μεγάλο, ισχυρό εργαλείο, φιλικό προς το χρήστη και λειτουργεί στα λειτουργικά συστήματα της Microsoft Win95/98/NT/2000 και XP χωρίς να απαιτεί εξωτερικά πακέτα λογισμικού.

Αυτό που είναι σημαντικό και αξίζει να αναφερθεί, είναι ότι δεν απαιτείται το WASP για τη χρησιμοποίηση του WindFarm (σε αντίθεση με τα περισσότερα λογισμικά, όπου είναι ένα συμπληρωματικό κόστος). Αν φυσικά ο χρήστης το επιθυμεί, μπορεί να χρησιμοποιήσει το WindFarm παράλληλα με το WASP μια και τα στοιχεία μπορούν εύκολα να μετατραπούν σε και από τη μορφή του WASP.

Το πρόγραμμα επίσης, υποστηρίζεται πλήρως από εκτενή βιβλιογραφία και ένα σύστημα βοήθειας ενώ στο κόστος του προγράμματος συμπεριλαμβάνεται και η τεχνική υποστήριξη για ένα έτος. Έτσι, παρέχεται πρόσθετη υποστήριξη στους άπειρους χρήστες, βοηθάει στην επίλυση οποιωνδήποτε προβλημάτων και προσφέρει συμβουλές ώστε να είναι σε θέση ο χρήστης να αξιοποιήσει τη μέγιστη δυνατότητα του προγράμματος.

Το WindFarm υπολογίζει την ενεργειακή παραγωγή ενός αιολικού πάρκου λαμβάνοντας υπόψη ταυτόχρονα την επίδραση της τοπογραφίας και του απόρρου της ροής. Η τελική τοποθέτηση των ανεμογεννητριών μπορεί να βελτιστοποιηθεί έτσι ώστε να αποδίδουν τη μέγιστη ενεργειακή παραγωγή ή με το ελάχιστο ενεργειακό κόστος ενώ παράλληλα να υπόκεινται σε φυσικούς, μηχανικούς και σχεδιαστικούς (συμπεριλαμβανομένου του θορύβου) περιορισμούς. Η ανάλυση της ενεργειακής παραγωγής είναι λίγο πιο περίπλοκη σε σχέση με άλλα λογισμικά και περιλαμβάνει πολυάριθμες προηγμένες επιλογές του απόρρου.

Το WindFarm επίσης, έχει αναβαθμίσει τις γραφικές του παραστάσεις και μπορεί να εκτελέσει τους υπολογισμούς της ροής του αέρα, τους υπολογισμούς του θορύβου (παρουσιάζονται περιγράμματα θορύβου) και να μετρήσει-συσχετίσει-προβλέψει τα δεδομένα της ταχύτητας του αέρα.

Τέλος, τα ισχυρά εργαλεία απεικόνισης δημιουργούν ποιοτικά φωτομοντάζ σχεδιασμού με ρεαλιστικά γραφικά ανεμογεννητριών συμπεριλαμβανομένου και του Animation.

2.2.3 GH WindFarmer

Το GH WindFarmer είναι ένα πλήρως ολοκληρωμένο "πακέτο" σχεδιασμού και βελτιστοποίησης αιολικών πάρκων που έχει δημιουργηθεί από τους Garrad και Hassan (GH). Έχει αισθητική και εύχρηστη επιφάνεια εργασιών η οποία λειτουργεί σε περιβάλλον Windows 98/NT/2000/XP ενώ παράλληλα είναι πλήρως επικυρωμένο, προσφέροντας ασυναγώνιστα εργαλεία σχεδίου και βελτιστοποίησης σε ένα "αρθρωτό" σχήμα, ώστε να καλύψει τις απαιτήσεις κάθε πελάτη.

Επίσης, επιτρέπει στους υπεύθυνους για την ανάπτυξη του αιολικού πάρκου, να μεγιστοποιήσουν την ενεργειακή παραγωγή του διατηρώντας ταυτόχρονα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο ελάχιστο και στους υπεύθυνους για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη, να αξιολογήσουν τις οπτικές και τις ηχητικές επιπτώσεις των πολυάριθμων αιολικών πάρκων.

Αυτό που είναι αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το πρόγραμμα αυτό είναι συμβατό (χρησιμοποιώντας έναν κατάλληλο μετατροπέα) και με το τυποποιημένο πακέτο ροής του ανέμου WAsP και μάλιστα σε περίπτωση που αποφασίσει ο ενδιαφερόμενος να αγοράσει το WindFarmer τότε με τα ίδια χρήματα αποκτά και το WAsP.

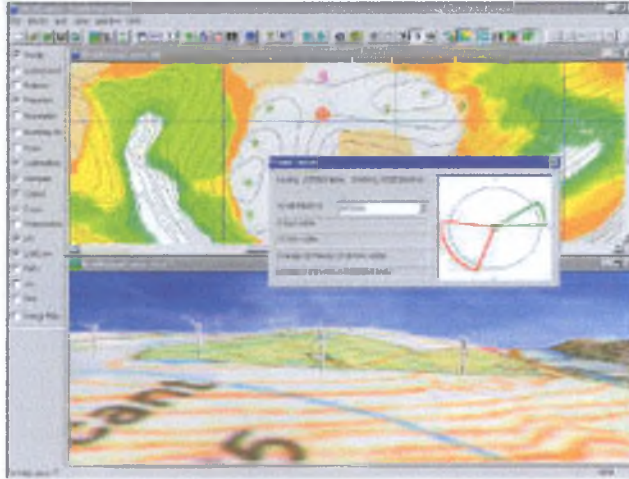
Παρακάτω παραθέτονται και κάποιες εικόνες από το περιβάλλον του προγράμματος (εικόνες 2.2, 2.3, 2.4).



Εικόνα 2.2

Κάποια από τα πιο σημαντικά εμπόδια στην περαιτέρω επέκταση του αιολικού δυναμικού σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση είναι τα υψηλά οικονομικά και διοικητικά έξοδα σε όλα τα συμβαλλόμενα μέρη, οι καθυστερήσεις και τα υψηλά ποσοστά αποτυχίας που συνδέονται με τις προτεινόμενες αναπτύξεις που περνούν από τη διαδικασία αξιολόγησης του σχεδιασμού.

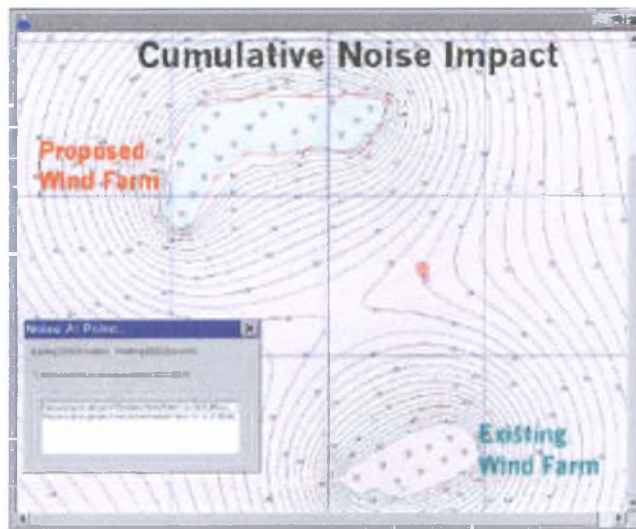
Ο κυριότερος λόγος γι' αυτό είναι η αναμενόμενη οπτική ρύπανση που θα δημιουργηθεί λόγω της ανάπτυξης. Μια πρωταρχική ανησυχία για τους αρμόδιους όσον αφορά το σχεδιασμό, είναι ο συσσωρευτικός αντίκτυπος που θα έχουν τα ήδη υπάρχοντα αλλά και τα προτεινόμενα αιολικά πάρκα, όμως μέχρι τώρα δεν έχει βρεθεί κάποιο αντικειμενικό εργαλείο για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος.



Εικόνα 2.3

Γι' αυτούς τους λόγους το πρόγραμμα αυτό έχει στοχεύσει να εξετάσει τις παραπάνω προκλήσεις μέσω της ανάπτυξης, της δοκιμής και της νομιμοποίησης του νέου λογισμικού το οποίο:

- θα εξοπλίσει τους αρμόδιους για το σχεδιασμό, με ικανότητες οπτικοποίησης αντίστοιχες με τις ανάγκες που έχουν.
- θα βελτιώσει τη διαδικασία ανταλλαγής στοιχείων μεταξύ των βάσεων δεδομένων λογισμικού σχεδίου και GIS για να παρέχει ενημερωμένες οδηγίες για την ανάπτυξη.
- θα προωθήσει τη σωστή ερμηνεία των απεικονίσεων και των φωτομοντάζ των υπολογιστών μέσω των αρμοδίων για το σχεδιασμό.



Εικόνα 2.4

Τελικά το GH WindFarmer είναι ένα δυνατό, επικυρωμένο και ευρέως γνωστό πακέτο λογισμικού που εκπληρώνει τους παραπάνω στόχους. Οι ισχυρές ικανότητές του παρέχουν στις σχεδιαστικές αρχές άμεση πρόσβαση στα αποτελέσματα συμπεριλαμβανομένου επίσης και των παρακάτω:

- αξιολόγηση των σημείων που θα τοποθετηθούν τα αιολικά πάρκα σε σχέση με τις περιοχές ενδιαφέροντος.
- ζώνες οπτικής επιρροής (**Zones of Visual Interest**) σε συνδυασμό με την οπτική επιρροή των πολλαπλών αιολικών πάρκων και συμπεριλαμβανομένης της κυρτότητας της γης.
- απευθείας προσομοίωση των αιολικών πάρκων στην τοποθεσία (που έχει επιλεγεί), ανάλογα με τις συνθήκες του ουρανού, του φωτισμού και του εδάφους.
- επιλογές φωτομοντάζ και Animation ανεμογεννητριών.
- χάρτες εκτίμησης του θορύβου για την αξιολόγηση ενός αιολικού πάρκου ή της συνολικής επιρροής πολλών ταυτόχρονα.

Το GH WindFarmer είναι σχεδιασμένο για εύκολη και αξιόπιστη μεταφορά πληροφοριών μεταξύ των υπεύθυνων για την ανάπτυξη των αιολικών πάρκων και των αρχών του σχεδιασμού, ώστε να βελτιωθεί η διαδικασία σχεδιασμού χωρίς να παρουσιαστεί πρόβλημα με την ακρίβεια.

Με το GH WindFarmer οι υπεύθυνοι του σχεδιασμού μπορούν να αναθεωρήσουν ένα αιολικό πάρκο που προτείνεται από έναν υπεύθυνο για την ανάπτυξη, να εξετάσει τις εναλλακτικές τοποθεσίες και να μεταφέρει τα αποτελέσματα για την παρουσίαση και την περαιτέρω ανάλυση στο δικό τους GIS ή σε κάποιο άλλο περιβάλλον λογισμικού.

Κεφάλαιο 3

3. Μεθοδολογία της μελέτης

Η μεθοδολογία της παρούσας εργασίας είναι υπολογιστική και αποτελείται από κατάλληλες και πιστοποιημένες μεθόδους συλλογής στοιχείων του ανάγλυφου, του ανέμου, των τεχνικών χαρακτηριστικών της ανεμογεννήτριας αλλά και του προγράμματος που χρησιμοποιήθηκε.

3.1 Συλλογή στοιχείων του ανάγλυφου

Με τον όρο ανάγλυφο μιας περιοχής εννοούμε βασικά τη μορφολογία του εδάφους της, δηλαδή τι υπάρχει στην επιφάνεια της έκτασης που εξετάζουμε.

Όταν πρέπει να περιγραφεί μια περιοχή στην πράξη, συνίσταται να είναι διαθέσιμο το ακόλουθο υλικό:

- ένας πρόσφατα αναθεωρημένος τοπογραφικός χάρτης κλίμακας 1:25.000 ή 1:50.000 με τις ισοϋψείς.
- ένας τοπογραφικό χάρτης ή ένα σκίτσο που θα παρουσιάζει τις περιοχές με διαφορετική τραχύτητα, π.χ. δάση, λίμνες, θάλασσες, πόλεις κ.ά. Αν αυτό δεν είναι εφικτό, πρέπει να κατασκευαστεί ένα ρόδο τραχύτητας (δηλ. ένα ρόδο χωρισμένο π.χ. σε 12 τομείς που θα περιγράφει την τραχύτητα της περιοχής).
- ένας χάρτης ή ένα σκίτσο στο οποίο θα φαίνονται τα "εμπόδια" κοντά στο σημείο ενδιαφέροντος.

Επίσης, φωτογραφίες της περιοχής ή/και αεροφωτογραφίες μπορούν να φανούν πολύ χρήσιμες αν μια επίσκεψη στην περιοχή (-ές) δεν είναι εφικτή.

Για να συλλεχθούν αυτά τα στοιχεία υπάρχουν αρκετές πηγές όπως είναι για παράδειγμα η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού και διάφορες αρμόδιες υπηρεσίες της Νομαρχίας ή του Δήμου (Πολεοδομία, τμήμα Περιβάλλοντος κ.ά.).

Στο πρόγραμμα που θα χρησιμοποιήσουμε όσον αφορά το ανάγλυφο υπάρχουν τρία κύρια αποτελέσματα της τοπογραφίας στον αέρα: τα αποτελέσματα της τραχύτητας του εδάφους, της ορογραφίας και των "εμποδίων" που μπορεί να υπάρχουν στην περιοχή. Στη φύση αυτά τα αποτελέσματα δεν είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Το πρόγραμμα, βέβαια, το λαμβάνει αυτό υπόψη, αλλά επιτρέπει στο χρήστη να διευκρινίσει το κάθε ένα από αυτά ανεξάρτητα από το άλλο. Θα πρέπει να σημειωθεί πως σε μια συγκεκριμένη περιοχή, μπορεί να μην υπάρχει κάποιο κοντινό εμπόδιο καθώς επίσης η περιοχή αυτή μπορεί να είναι τελείως επίπεδη σε ολόκληρη την έκτασή της. Παρόλ' αυτά όμως, δεν υπάρχει περίπτωση να μην επηρεαστεί ο αέρας από την τραχύτητα του εδάφους. Έτσι, ακόμα και για την πιο απλή τοποθεσία πρέπει να αξιολογηθεί και να διευκρινιστεί η τραχύτητα της επιφάνειας του εδάφους. Αν δεν γίνει αυτό, τότε το WAsP θα υποθέσει ένα προεπιλεγμένο μήκος τραχύτητας 0.03 m.

3.1.1 Τραχύτητα (roughness)

Η συλλογική επίδραση της επιφάνειας του εδάφους και των εμποδίων, που οδηγούν σε μια γενική καθυστέρηση του ανέμου κοντά στο έδαφος, αναφέρονται στο πρόγραμμα ως τραχύτητα του εδάφους (Σχήμα 3.1). Παρόλ' αυτά, δεν συμβάλλουν όλα τα τοπογραφικά στοιχεία στην τραχύτητα. Η βλάστηση και τα σπίτια είναι παραδείγματα στοιχείων τραχύτητας, ενώ οι μακριοί ομαλοί λόφοι δεν είναι για τον λόγο ότι οι ίδιοι δεν προκαλούν αύξηση στον στροβιλισμό της ροής.



Σχήμα 3.1 Απεικόνιση τραχύτητας εδάφους

Στον Ευρωπαϊκό Αιολικό Χάρτη (Troen και Petersen, 1989) οι διαφορετικές μορφές του εδάφους έχουν διαιρεθεί σε τέσσερις τύπους, κάθε ένας από τους οποίους χαρακτηρίζεται από τα στοιχεία της τραχύτητάς του και αναφέρεται ως κατηγορία τραχύτητας (roughness class) (πίνακας 3.1).

Μήκος τραχύτητας

Η τραχύτητα μιας έκτασης συνήθως παραμετροποιείται από μια κλίμακα μήκους που ονομάζεται μήκος τραχύτητας, z_0 . Τυπικά, z_0 είναι το ύψος όπου η μέση ταχύτητα του ανέμου μηδενίζεται, αν το προφίλ του αέρα μεταβάλλεται λογαριθμικά με το ύψος. Αυτό συνήθως συμβαίνει κατά τη διάρκεια μέτριων και ισχυρών ανέμων.

Μια απλή εμπειρική σχέση μεταξύ των στοιχείων τραχύτητας και του μήκους τραχύτητας έχει δοθεί από τον Lettau (1969). Ένα στοιχείο τραχύτητας χαρακτηρίζεται από το ύψος του h και τη διατομή που έρχεται "αντιμέτωπη" με τον αέρα S . Επιπλέον, για έναν αριθμό στοιχείων τραχύτητας που κατανέμονται ομοιόμορφα σε μια περιοχή, η πυκνότητα μπορεί να περιγραφεί από τη μέση οριζόντια περιοχή, A_H που είναι διαθέσιμη σε κάθε στοιχείο.

Οπότε

$$z_0 = 0.5 (h * S)/A_H$$

Αυτή η σχέση δίνει λογικούς υπολογισμούς του z_0 όταν A_H είναι πολύ μεγαλύτερη από S ενώ τείνει να υπερεκτιμήσει το z_0 όταν A_H είναι της ίδιας τάξης με S , και αυτό γιατί όταν τα στοιχεία τραχύτητας είναι πολύ κοντά το ένα με το άλλο, η ροή "ανυψώνεται" πάνω από αυτά οπότε μόνο ένα μέρος του S και του h συμβάλλουν στην τραχύτητα. Επιπλέον, η ανύψωση της ροής απαιτεί τη μέτρηση του ύψους πάνω από το έδαφος από ένα σημείο μεταξύ της κορυφής των στοιχείων τραχύτητας και του μισού ύψους των στοιχείων. Αυτό το ύψος αναφέρεται ως μήκος μετατοπίσεων (displacement length) το οποίο πρέπει να λαμβάνεται συχνά υπόψη σε περιοχές με δάση, πόλεις, και ψηλή βλάστηση. Τέλος, η εξίσωση υποθέτει ότι το πορώδες είναι περίπου μηδέν, δηλαδή ότι τα στοιχεία τραχύτητας είναι στερεά.

Ο πίνακας που ακολουθεί δείχνει τη σχέση μεταξύ του μήκους τραχύτητας, των χαρακτηριστικών επιφάνειας εκτάσεων και της κατηγορίας τραχύτητας που δίνονται στον Ευρωπαϊκό Αιολικό Χάρτη.

z_0 [m]	Χαρακτηριστικά επιφάνειας εκτάσεων	Κατηγορία τραχύτητας
1.00	πόλη	
0.80	δάσος	
0.50	προάστια	
0.40		3 (0.40 m)
0.30	"ζώνες" εμποδίων	
0.20	πολλά δέντρα ή/και θάμνοι	
0.10	καλλιεργήσιμο έδαφος ("κλειστή" εικόνα)	2 (0.10 m)
0.05	καλλιεργήσιμο έδαφος ("ανοικτή" εικόνα)	
0.03	καλλιεργήσιμο έδαφος με ελάχιστα κτίρια/δέντρα	1 (0.03 m)
0.02	περιοχές αερολιμένων με κτίρια και δέντρα	
0.01	περιοχές διαδρόμων αερολιμένων	
0.008	γρασίδι	
0.005	"γυμνό" έδαφος (ομαλές)	
0.001	χιονοκλυμένες περιοχές (ομαλές)	
0.0003	αμμώδης περιοχές (ομαλές)	
0.0002		0 (0.0002 m)
0.0001	υδάτινες περιοχές (λίμνες, φιορδ, θάλασσα)	

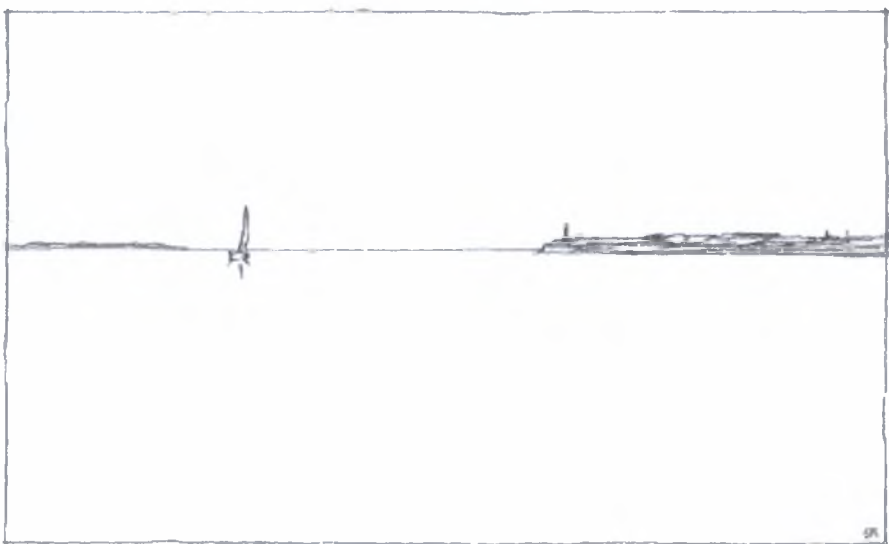
Πίνακας 3.1 Σχέση z_0 , χαρακτηριστικών επιφάνειας εκτάσεων και κατηγορίας τραχύτητας

Πρέπει να σημειωθεί ότι το μήκος της τραχύτητας όπως εφαρμόζεται στο WASP θεωρείται ως μια κλιματολογική παράμετρος για το λόγο ότι η τραχύτητα μιας περιοχής αλλάζει με τη φύλλωση, τη βλάστηση, το χιόνι κ.ά.

Τονίζεται επίσης, ότι το μήκος τραχύτητας του νερού θα δίνεται 0, για να είναι σε θέση το πρόγραμμα να διαχωρίσει τις υδάτινες από τις πολύ ομαλές ηπειρωτικές επιφάνειες.

Μια περιγραφή και μια απεικόνιση αυτών των τεσσάρων κατηγοριών τραχύτητας δίνονται στα παραδείγματα που ακολουθούν στα οποία επιπλέον παρουσιάζεται και η σχέση μεταξύ του μήκους τραχύτητας και της κατηγορίας τραχύτητας.

- Παράδειγμα έκτασης που αντιστοιχεί στην κατηγορία τραχύτητας 0 (Σχήμα 3.2): περιοχές ύδατος. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τη θάλασσα, τα φιορδ, και τις λίμνες. Το μήκος τραχύτητας είναι $z_0 = 0.0002\text{m}$



Σχήμα 3.2 Παράδειγμα έκτασης που αντιστοιχεί στην κατηγορία τραχύτητας 0

- Παράδειγμα της έκτασης που αντιστοιχεί στην κατηγορία τραχύτητας 1 (Σχήμα 3.3): ανοικτές περιοχές με λίγους ανεμοφράχτες. Η έκταση εμφανίζεται να είναι πολύ ανοικτή, επίπεδη ή ελαφρώς "ανώμαλη". Αγροκτήματα και κάποια δέντρα και θάμνοι είναι δυνατόν να βρεθούν. Το μήκος τραχύτητας είναι $z_0 = 0.03\text{m}$



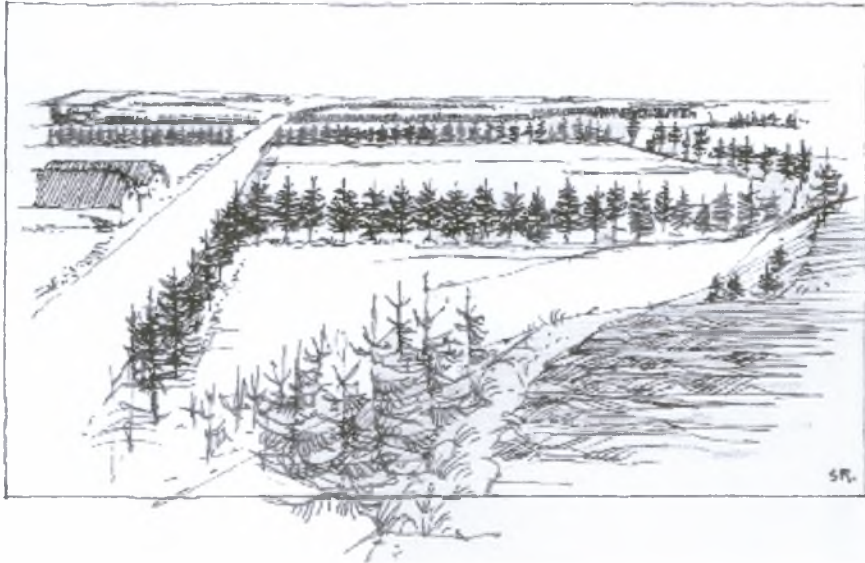
Σχήμα 3.3 Παράδειγμα έκτασης που αντιστοιχεί στην κατηγορία τραχύτητας 1

- Παράδειγμα της έκτασης που αντιστοιχεί στην κατηγορία τραχύτητας 2 (Σχήμα 3.4): αγροτική έκταση με ανεμοφράχτες μεταξύ των οποίων υπάρχει απόσταση μεγαλύτερη των 1000m και κάποιες διεσπαρμένες οικιστικές περιοχές. Η έκταση χαρακτηρίζεται από μεγάλες ανοικτές περιοχές μεταξύ των πολλών ανεμοφραχτών δίνοντας στο χώρο μια "ανοικτή εικόνα". Το μήκος τραχύτητας είναι $z_0 = 0.10\text{m}$



Σχήμα 3.4 Παράδειγμα έκτασης που αντιστοιχεί στην κατηγορία τραχύτητας 3

- Παράδειγμα της έκτασης που αντιστοιχεί στην κατηγορία τραχύτητας 3 (Σχήμα 3.5): αστικές περιοχές, δάση, και αγροτικές εκτάσεις με πολλούς ανεμοφράχτες. Το αγροτικό έδαφος χαρακτηρίζεται από πολλούς και σε απόσταση μόλις μερικών εκατοντάδων μέτρων μεταξύ τους ανεμοφράχτες. Οι δασικές και αστικές περιοχές ανήκουν επίσης σε αυτήν την κατηγορία. Το μήκος τραχύτητας είναι $z_0 = 0.40 \text{ m}$



Σχήμα 3.5 Παράδειγμα έκτασης που αντιστοιχεί στην κατηγορία τραχύτητας 3

3.1.2 Ορογραφία (orography)

Γενικά, είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη η επίδραση που έχουν στη ροή οι μεταβολές του ύψους γύρω από την περιοχή που ενδιαφερόμαστε (Σχήμα 3.6). Για να γίνει αυτό, πρέπει να εισαχθεί στο μοντέλο το ύψος της έκτασης σε κάθε σημείο του πλέγματος, να χρησιμοποιηθούν δηλαδή οι ισούψεις της περιοχής οι οποίες δίνονται σε τυποποιημένους τοπογραφικούς χάρτες.



Σχήμα 3.6 Απεικόνιση ορογραφίας περιοχής

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην ίδια την περιοχή – ειδικά αν αυτή βρίσκεται ακριβώς πάνω από λόφο ή από μια κορυφογραμμή. Κατά προτίμηση, η πιο "κλειστή" ισούψη πρέπει να εσωκλείει την ίδια την περιοχή για να είναι σε θέση να καθορίσει την κορυφή του λόφου. Αν αυτό δεν ισχύει, κάποιος πρέπει να συμπληρώσει τα περιγράμματα χαρτών με ένα περίγραμμα ύψους εσωκλείοντας ακριβώς την περιοχή και με την ίδια ανύψωση με αυτό.

Για να είναι ο χάρτης με τις ισούψεις ακριβής θα πρέπει να καλύπτει μια περιοχή ακτίνας τουλάχιστον 10 χιλιομέτρων ενώ το υψόμετρο θα πρέπει να μεταβάλλεται κάθε τουλάχιστον 20m.

Τα ορογραφικά στοιχεία όπως οι λόφοι, οι κοιλάδες, οι απότομοι βράχοι, οι γκρεμοί και οι κορυφογραμμές ασκούν μια πρόσθετη επιρροή στον αέρα. Κοντά στην κορυφή τους ο αέρας θα επιταχυνθεί ενώ κοντά στη βάση τους και στις κοιλάδες θα επιβραδυνθεί.

3.1.3 Εμπόδια (obstacles)

Η σχετική μείωση της ταχύτητας του ανέμου που προκαλείται από ένα εμπόδιο στο έδαφος ορίζεται ως "καταφύγιο" (shelter). Αν ένα εμπόδιο παρέχει καταφύγιο στη συγκεκριμένη τοποθεσία εξαρτάται από:

- την απόσταση από το εμπόδιο ως την τοποθεσία (x)
- το ύψος του εμποδίου (h)
- το ύψος του σημείου του ενδιαφέροντος στην τοποθεσία (H)
- το μήκος του εμποδίου (L)
- το πορώδες του εμποδίου (P)

Κοντά σε ένα "εμπόδιο" όπως είναι για παράδειγμα ένα κτίριο, ο αέρας επηρεάζεται έντονα από την παρουσία του. Αν το σημείο του ενδιαφέροντος (τοποθεσία του ανεμόμετρου ή της ανεμογεννήτριας) βρίσκεται σε απόσταση περίπου 50 φορές το ύψος του εμποδίου ή ψηλότερα από το ύψος περίπου τριών εμποδίων από αυτό, τότε το εμπόδιο θα πρέπει να αντιμετωπιστεί ως στοιχείο τραχύτητας ενώ σε περίπτωση που είναι μέσα σ' αυτή τη ζώνη τότε τα αποτελέσματα που θα προκαλέσει το "εμπόδιο" πρέπει να ληφθούν υπόψη.

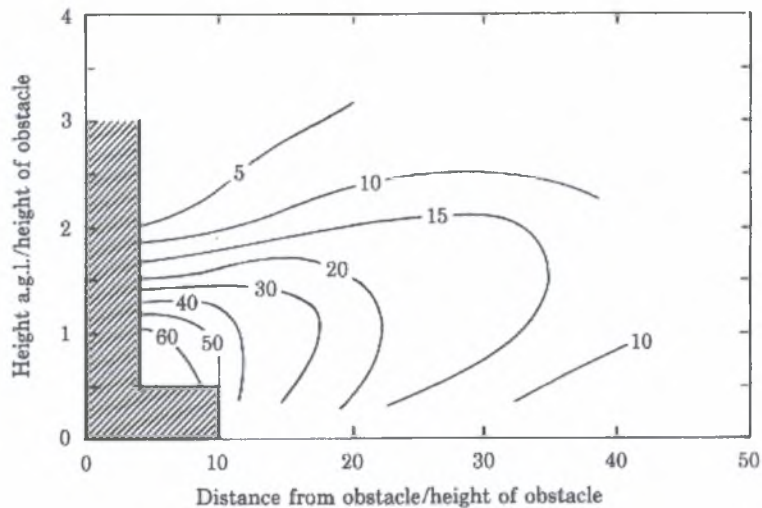
Το WAsP κατά τη διάρκεια μιας μελέτης μπορεί ταυτόχρονα να χειριστεί μέχρι και 50 εμπόδια.

➤ Πορώδες

Η διαπερατότητα ενός πετρώματος καθορίζεται κυρίως από το πορώδες και σε μικρότερο βαθμό από ορισμένες χημικές και κρυσταλλογραφικές ιδιότητές του. Κατά γενικό κανόνα, το πορώδες μπορεί να τεθεί ίσο με μηδέν για τα κτίρια και περίπου 0.5 για τα δέντρα. Μια σειρά παρόμοιων κτιρίων τα οποία απέχουν το ένα από το άλλο το ένα τρίτο του μήκους ενός κτιρίου έχει ένα πορώδες περίπου 0.33. Όσο για τους ανεμοφράχτες η τιμή του πορώδους μπορεί να εκτιμηθεί σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα που ακολουθεί. Το πορώδες των δέντρων αλλάζει με το φύλλωμα, δηλαδή ανάλογα με την εποχή και όπως συμβαίνει και με το μήκος τραχύτητας, το πορώδες πρέπει να θεωρηθεί κλιματολογική παράμετρος.

Ανεμοφράχτες	Πορώδες P
Στερεός (τοιχος)	0
Πολύ πυκνός	< 0.35
Πυκνός	0.35 - 0.50
Ανοικτός	> 0.50

Η μείωση της ταχύτητας του αέρα λόγω της προφύλαξης από ένα απείρως μακρύ δυσδιάστατο εμπόδιο μηδενικού πορώδους παρουσιάζεται παρακάτω (Σχήμα 3.7). Το σχήμα είναι βασισμένο στις απόψεις του Perera (1981).

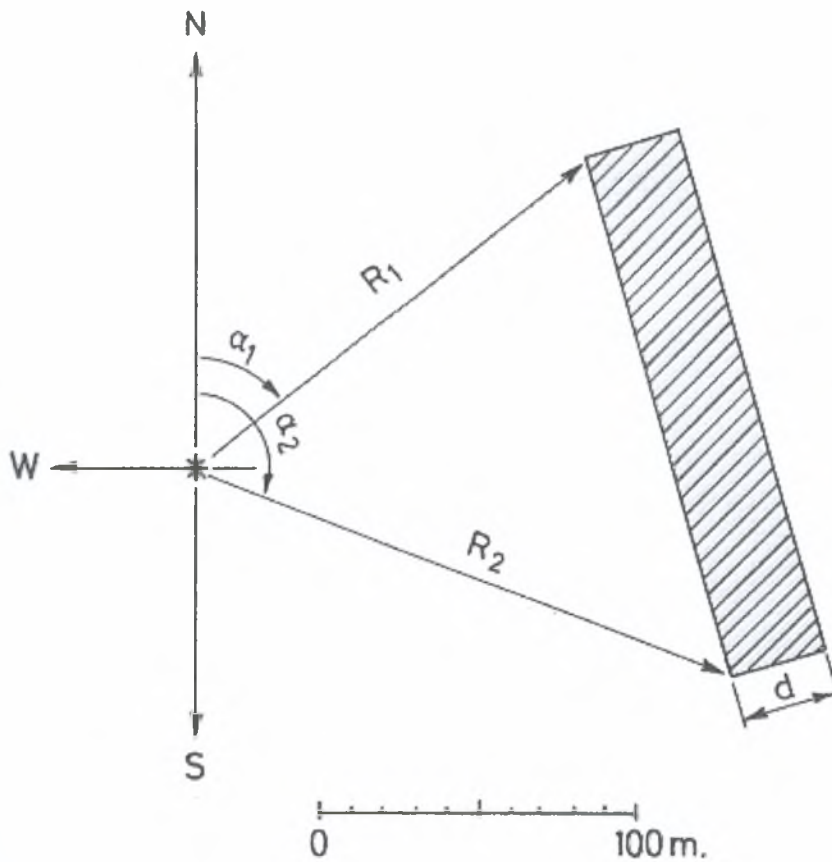


Σχήμα 3.7 Μείωση της ταχύτητας του αέρα λόγω της προφύλαξης από ένα απείρως μακρύ δυσδιάστατο εμπόδιο μηδενικού πορώδους

Οι τιμές του άξονα x είναι η απόσταση από το εμπόδιο / το ύψος του εμποδίου και του άξονα y το ύψος από την επιφάνεια του εδάφους / ύψος του εμποδίου.

Το καταφύγιο μειώνεται όσο μικραίνει το μήκος και όσο αυξάνεται το πορώδες του εμποδίου. Στη σκιασμένη περιοχή η προστασία εξαρτάται πολύ από τη λεπτομερή γεωμετρία του εμποδίου. Επιπλέον, η ταχύτητα του αέρα αυξάνεται συνήθως κοντά και πάνω από το εμπόδιο. Οι ανεμογεννήτριες σε ένα αιολικό πάρκο "προφυλάσσουν" επίσης η μία την άλλη, γεγονός που οδηγεί σε μείωση της γενικής παραγωγής ισχύος.

Τα εμπόδια θεωρούνται από το WASP ως "κουτιά" με ορθογωνική διατομή και αποτύπωμα (footprint). Κάθε ένα από αυτά καθορίζεται, από τη θέση του σε σχέση με την περιοχή, από τις διαστάσεις του και από το πορώδες του. Το σχήμα παρακάτω (Σχήμα 3.8) καθορίζει τις ποσότητες που πρέπει να περιγράφουν ένα εμπόδιο και που, φυσικά, πρέπει να εισαχθούν στο WASP. Το σημείο που βρίσκεται το "*" υποδηλώνει τη θέση της περιοχής.



- α_1 γωνία από το N στην πρώτη γωνία [°]
- R_1 ακτινική απόσταση στην πρώτη γωνία [m]
- α_2 γωνία από το N στη δεύτερη γωνία [°]
- R_2 ακτινική απόσταση στη δεύτερη γωνία [m]
- h ύψος του εμποδίου [m]
- d βάθος του εμποδίου [m]
- P πορώδες (εκτίμηση)

Σχήμα 3.8 Περιγραφή των ποσοτήτων που πρέπει να περιγράφουν ένα εμπόδιο

Τα εμπόδια δεν συνδέονται άμεσα με τον τοπογραφικό χάρτη. Οι γωνίες μετριοούνται από 0° (Βορράς) ως 360° δεξιόστροφα, και είναι ενδείξεις που λαμβάνονται από πυξίδα. Οι αποστάσεις μετριοούνται σε μέτρα.

3.2 Συλλογή στοιχείων του ανέμου

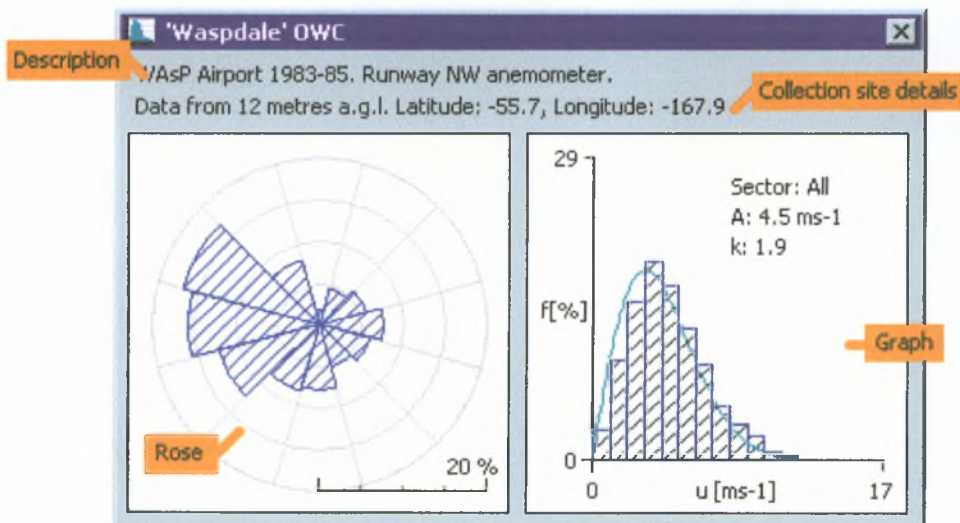
Τα πρωτογενή μετεωρολογικά στοιχεία πρέπει να παρασχεθούν στο WAsP ως αρχεία που περιέχουν δεδομένα για την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου. Οι κλιματολογικές συνθήκες που παρατηρούνται μπορούν να προκύψουν από ένα ή περισσότερα αρχεία πρωτογενών στοιχείων. Τα αρχεία αυτά μπορούν να περιέχουν και άλλα δεδομένα εκτός από την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου, αλλά θα αγνοηθούν φυσικά κατά την ανάγνωσή τους. Σε περίπτωση που χρησιμοποιηθούν περισσότερα από ένα αρχεία, κάθε ένα από αυτά μπορεί να έχει διαφορετική μορφή.

Η ακρίβεια και η αξιοπιστία των δεδομένων του αιολικού χάρτη εξαρτώνται σαφώς από την ποιότητα των πρωτογενών μετεωρολογικών στοιχείων!

Μετρήσεις (σε τακτά χρονικά διαστήματα) των τιμών της ταχύτητας του ανέμου και της διεύθυνσής του μπορούν να ληφθούν από σταθμούς που έχουν δημιουργηθεί για να συλλέγουν τέτοια στοιχεία ή και από άλλες πηγές. Για να είναι, όμως, επαρκή και ακριβή τα αποτελέσματα που θα δώσουν οι πηγές θα πρέπει:

- οι μετρήσεις να λαμβάνονται για ένα ικανοποιητικό χρονικό διάστημα (τουλάχιστον ένα έτος, αλλά κατά προτίμηση περισσότερα).
- καλά εκτεθειμένο ανεμόμετρο, μακριά από κτίρια και άλλα εμπόδια (αυτή η απαίτηση είναι συχνά και η δυσκολότερη να ικανοποιηθεί).
- ακριβής περιγραφή των ανεμομετρικών συνθηκών και δεκάλεπτοι ή ωριαίοι μέσοι όροι λήψης δεδομένων π.χ. κάθε τρεις ώρες καθ' όλη τη διάρκεια της εικοσιτετράωρης ημέρας.

Η χρησιμοποίηση των πρωτογενών στοιχείων ως αρχική πηγή προτιμάται, για το λόγο ότι μ' αυτό τον τρόπο επιτρέπεται η ανίχνευση τυχών λαθών στα δεδομένα που μπορεί να είναι μη είναι ανιχνεύσιμα στην περίπτωση που έχουμε περιλήψεις τους. Τα πρωτογενή στοιχεία στη συνέχεια πρέπει να υποβληθούν σε επεξεργασία από τον μάγο του OWC προκειμένου να ληφθεί ένας στατιστικός συνοπτικός πίνακας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το WAsP (Σχήμα 3.9).



Σχήμα 3.9 Στατιστικός συνοπτικός πίνακας μετά από επεξεργασία των δεδομένων από τον μάγο του OWC

Η τρέχουσα έκδοση του μάγου δεν αναγνωρίζει τα δυαδικά αρχεία, μπορεί όμως να διαβάσει πολλές άλλες διαφορετικές μορφές. Τα δεδομένα πρέπει να ακολουθούν τους παρακάτω κανόνες:

- πρέπει να είναι σωστά και τακτικά τοποθετημένα μέσα στο αρχείο.
- δεν πρέπει να υπάρχουν κενά ή κενές γραμμές στην όλη διάταξή τους μέσα στο αρχείο.
- πρέπει να χωρίζονται μεταξύ τους.
- μπορούν να υπάρξουν διάφορες ετικέτες στην κορυφή του αρχείου που θα δίνουν πληροφορίες για τα δεδομένα που περιέχονται σ' αυτό.

Τα στοιχεία πρέπει να ελεγχθούν προσεκτικά ακόμα κι αν υποτίθεται ότι έχουν ελεγχθεί από την υπηρεσία που μας τα έχει παραχωρήσει. Αυτό πρέπει να γίνει γιατί είναι δυνατό να ανιχνευθούν διάφορα προβλήματα όπως να υπάρχουν:

- ανώμαλα υψηλές ταχύτητες του αέρα.
- ανώμαλος αριθμός παρατηρήσεων σε ορισμένες κατηγορίες ταχύτητας του ανέμου ή/και σε τομείς της κατεύθυνσής του.
- ορισμένα σχέδια στον πίνακα που προκαλείται από το μετασχηματισμό των στοιχείων που αναφέρονται αρχικά σε Beaufort, τους κόμβους, τα μίλια ανά ώρα κ.ά. στα μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Ο μετασχηματισμός των στοιχείων που μετριοούνται παραδείγματος χάριν σε 16 τομείς σε 12 τομείς μπορεί επίσης να προκαλέσει ένα σχέδιο στον πίνακα.
- σταθμοί με μια συστηματική έλλειψη παρατηρήσεων, π.χ. καμία νυχτερινή παρατήρηση.

Η λύση γι' αυτές τις ανεπάρκειες στοιχείων είναι συχνά αρκετά απλή (Ευρωπαϊκός Αιολικός Χάρτης, 1989). Έτσι, οι ανώμαλα υψηλές ταχύτητες του αέρα μπορούν να αφαιρεθούν με το χέρι, τα ανώμαλα περιστατικά των ταχυτήτων και των κατευθύνσεων του αέρα πρέπει να ελεγχθούν σε σχέση με τη γνωστή κλιματολογία και οι μορφές που προκαλούνται από διακριτοποίηση των στοιχείων μπορούν να αποβληθούν από το WAsP, λαμβάνοντας υπόψη τα διαστήματα διακριτοποίησης.

Μια σημαντική απορία είναι το θέμα που προκύπτει για το αν υπάρχουν στοιχεία που έχουν ήδη περικοπεί. Αν, για παράδειγμα, ένα σύνολο "πρωτογενών" στοιχείων δίνεται σε ακέραια ms^{-1} λόγω προγενέστερης επεξεργασίας (γεγονός που συμβαίνει συχνά σε μερικούς μετεωρολογικούς σταθμούς) της χρήσης του μάγου OWC έχοντας ως προεπιλογή για τα διαστήματα της ταχύτητας του ανέμου 1 ms^{-1} θα προκληθούν λάθη, γιατί η τιμή της ταχύτητας $u = n$ (n ακέραιος αριθμός) θα προστεθεί στο πιο διάστημα (bin), το οποίο αντιπροσωπεύεται στη συνέχεια από την τιμή του μεσαίου σημείου του: $u_m = n + 0.5$

Παράδειγμα 1

Αν οι ταχύτητες του ανέμου δίνονται σε ακέραια μέτρα ανά δευτερόλεπτο (1, 2, 3, ...) και οι κατευθύνσεις του σε 36 κατηγορίες (10, 20, 30, ..., 360) το εύρος των διαστημάτων διακριτοποίησης είναι 1.0 ms^{-1} και 10° , δηλαδή 1.0 και 10.0.

Η καμπύλη ισχύος για οποιαδήποτε ανεμογεννήτρια εξαρτάται από την πυκνότητα του αέρα, η οποία αλλάζει με τη θερμοκρασία και την πίεσή του (υψόμετρο). Η καμπύλη ισχύος αναφέρεται συνήθως σε μια τυποποιημένη πυκνότητα αέρα $1.225 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, που αντιστοιχεί σε πίεση 1013.25 hPa στην επιφάνεια της θάλασσας και σε θερμοκρασία αέρα 15°C . Αυτή είναι επίσης και η πυκνότητα αέρα που χρησιμοποιείται σε αυτήν την έκδοση του WAsP όταν υπολογίζεται η πυκνότητα ισχύος.

Παρόλ' αυτά ο σωστός υπολογισμός της παραγωγής μέσης ισχύος, σε μια περιοχή όπου η μέση πυκνότητα του αέρα είναι διαφορετική από την τιμή που αναφέρθηκε προηγουμένως, θα είναι λίγο πολύπλοκος. Γι' αυτό το λόγο πρέπει να πάρουμε την καμπύλη ισχύος από τον κατασκευαστή ο οποίος θα την έχει υπολογίσει για την συγκεκριμένη πυκνότητα του αέρα.

3.3.1 Υπολογισμός της μέσης ισχύος

Οι διαδικασίες και οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται από το WAsP για τον υπολογισμό της μέσης παραγωγής ισχύος μιας ανεμογεννήτριας παρουσιάζονται παρακάτω:

Μόλις μετρηθεί η καμπύλη ισχύος $P(u)$ για μια ανεμογεννήτρια, η μέση παραγωγή της ισχύος μπορεί να υπολογιστεί με την προϋπόθεση ότι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της ταχύτητας του αέρα στο ύψος των πηλημνών καθορίζεται είτε από μετρήσεις είτε από μια διαδικασία τοποθέτησης (siting procedure):

$$P = \int_0^{\infty} Pr(u)P(u)du \quad (1)$$

Αν η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $P(u)$ έχει καθοριστεί μέσω της διαδικασίας τοποθέτησης, τότε δίνεται ως συνάρτηση Weibull και στην περίπτωση αυτή η έκφραση της μέσης παραγωγής ισχύος γίνεται:

$$P = \int_0^{\infty} \left(\frac{k}{A}\right)\left(\frac{u}{A}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{u}{A}\right)^k\right) P(u)du \quad (2)$$

Κατά γενικό κανόνα, αυτό το ολοκλήρωμα δεν μπορεί να υπολογιστεί αναλυτικά και πρέπει να χρησιμοποιηθούν αριθμητικές μέθοδοι.

Οι πραγματικές καμπύλες ισχύος είναι σχεδόν ομαλές και μπορούν να προσεγγιστούν καλά από μια τμηματικά γραμμική συνάρτηση με λίγα μόνο σημεία. Χρησιμοποιώντας αυτή την προσέγγιση, η ισχύς μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$P(u) = \frac{P_{i+1} - P_i}{u_{i+1} - u_i} (u - u_i) + P_i \quad (3)$$

που επιτρέπει μια αναλυτική λύση της εξίσωσης (2) (Petersen, 1981), δηλαδή

$$P = \sum_i \frac{P_{i+1} - P_i}{\alpha_{i+1} - \alpha_i} (G_k(\alpha_{i+1}) - G_k(\alpha_i)) \quad (4)$$

όπου $\alpha_i = u_i / A$. Η συνάρτηση $G_k(\alpha)$ είναι $1/k$ φορές η ατελής συνάρτηση Γάμα των δύο ορισμάτων $1/k$ και α^k .

Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να βρεθεί μια ασυνέχεια στην καμπύλη ισχύος. Σε περίπτωση "κενού διαστήματος" στην ισχύ από P_i σε P_{i+1} στο $u_i = u_{i+1}$, η συμβολή στο σύνολο από αυτό το κενό διάστημα γίνεται:

$$(P_{i+1} - P_i) \exp(-\alpha_i^k) \quad (5)$$

Με τη χρησιμοποίηση των εξισώσεων (4) και (5) η μέση ισχύς μπορεί να υπολογιστεί θεωρητικά για οποιαδήποτε καμπύλη ισχύος απλά με τη διαίρεση της σε ένα ικανοποιητικό και επαρκή αριθμό γραμμικών τμημάτων. Στην πράξη, η μέθοδος θα είναι χρήσιμη μόνο αν η καμπύλη ισχύος μπορεί να προσεγγιστεί από έναν μικρό αριθμό γραμμικών τμημάτων.

3.3.2 Κριτήρια επιλογής αιολικών μηχανών

Για την επιλογή των κατάλληλων αιολικών μηχανών πέρα από τη βασική παράμετρο της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής με βάση το υπάρχον αιολικό δυναμικό της περιοχής, είναι σκόπιμο να εξετάζονται και άλλοι παράγοντες όπως:

- το κόστος αγοράς και εγκατάστασης του συγκεκριμένου τύπου της ανεμογεννήτριας
- ορισμένα τεχνικά στοιχεία της μηχανής που αφορούν την εγκατάσταση, ανέγερση και λειτουργία της ανεμογεννήτριας στην επιλεχθείσα θέση
- η εμπορικότητα του μοντέλου και η αξιοπιστία του σε συνάρτηση με το χρόνο
- η υποστήριξη της μηχανής μετά την πώλησή της (after sale service) που αναφέρεται στην εγγύηση καλής λειτουργίας των μηχανών, σε παροχή ανταλλακτικών κ.ά.
- η περιβαλλοντική συμβατότητα της μηχανής (πύργος - πτερωτή - υπερκατασκευή) με τα τοπικά οικοσυστήματα, δηλαδή οπτικοαισθητική ενσωμάτωση, περιορισμένες ηχητικές εκπομπές κ.ά.

Πάντως σε περίπτωση που η ταχύτητα του ανέμου είναι μικρότερη από την ταχύτητα ενάρξεώς της, η γεννήτρια δε θα είναι σε θέση να παράγει ισχύ. Όταν όμως η ταχύτητα του αέρα υπερβαίνει την ταχύτητα ενάρξεως, η παραγωγή ισχύος $P(u)$ θα αυξάνεται όσο αυξάνεται η ταχύτητα του αέρα μέχρι μια μέγιστη τιμή και η παραγωγή θα είναι σχεδόν σταθερή. Με ταχύτερες αέρα υψηλότερες από την ταχύτητα διακοπής η ανεμογεννήτρια σταματάει, αποτρέποντας έτσι τις δομικές αποτυχίες.

3.4 WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program)

Το 1987 το τμήμα Αιολικής Ενέργειας και Ατμοσφαιρικής Φυσικής στο Εθνικό Εργαστήριο του Risø εισήγαγαν το WAsP – ένα ισχυρό εργαλείο για την ανάλυση δεδομένων του αέρα, την παραγωγή αιολικών χαρτών, την εκτίμηση των μετεωρολογικών συνθηκών μιας περιοχής και την τοποθέτηση των ανεμογεννητριών. Με την πάροδο των ετών, το πρόγραμμα έχει γίνει το πρότυπο της βιομηχανίας για την αξιολόγηση των πόρων του ανέμου και την τοποθέτηση των ανεμογεννητριών και των αιολικών πάρκων και έχει υιοθετηθεί σε περισσότερες από 70 χώρες σε όλο τον κόσμο.

Το WAsP αρχικά αναπτύχθηκε, σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε από τον Ib Troen, τον Niels G. Mortensen και τον Erik L. Petersen, στο Εθνικό Εργαστήριο του Risø, έχοντας οικονομική ενίσχυση από την Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η παρούσα έκδοση (Windows-version) αναπτύχθηκε από μια ομάδα που αποτελείται από τους Lars Landberg, Niels G. Mortensen και τον Ole Rathmann από το τμήμα Αιολικής Ενέργειας και Ατμοσφαιρικής Φυσικής του Risø, τον Sofus S. Mortensen από το Lambda Soft (DK) και τον Duncan N. Heathfield από το World in a Box Limited (UK).

Η έννοια των δεικτών της τραχύτητας αναπτύχθηκε και εξετάστηκε από τον Anthony J. Bowen από το Πανεπιστήμιο του Canterbury (NZ) ενώ τα καλλιτεχνικά σχέδια έγιναν από τον Soren Rasmussen. Το πρόγραμμα έχει εξελιχθεί από την ίδια ομάδα που ασχολήθηκε με τον Δανέζικο και τον Ευρωπαϊκό Αιολικό Χάρτη καθώς και τις προηγούμενες εκδόσεις των προγραμμάτων του WAsP.

Οι αλγόριθμοι στην καρδιά του λογισμικού του WAsP έχουν εξεταστεί και έχουν εφαρμοστεί για περισσότερο από 15 χρόνια σε πολλά διαφορετικά μέρη του κόσμου. Με την πάροδο του ετών, γίνονται όλο και περισσότερες προσπάθειες για βελτίωση των αλγόριθμων του και να υποστηριχθεί το λογισμικό που ήδη υπήρχε.

Το WAsP περιέχει διάφορα "μοντέλα" για να περιγράψει τη ροή αέρα πάνω από διαφορετικά ανάγλυφα εδάφους και κοντά σε κτίρια, δάση ή οτιδήποτε άλλο μπορεί να θεωρηθεί ως "εμπόδιο" στην κίνηση του ανέμου. Το πρόγραμμα αποτελείται από πέντε κυρίως βήματα:

Ανάλυση Πρωτογενών Δεδομένων: Σ' αυτή τη φάση πραγματοποιείται μια ανάλυση των μετρήσεων του αέρα και στη συνέχεια παρέχεται μια στατιστική περίληψη του παρατηρηθέντος κλίματός του, στην περιοχή που μας απασχολεί. Αυτό εφαρμόζεται στην πράξη χρησιμοποιώντας ένα χωριστό εργαλείο του WAsP, το Observed Wind Climate (OWC).

Δημιουργία των δεδομένων του αιολικού χάρτη:

Τα αναλυθέντα δεδομένα του ανέμου μπορούν να μετατραπούν σε σύνολα δεδομένων αιολικών χαρτών όπου "έχουν καθαριστεί" σε σχέση πάντα με συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Τα σύνολα αυτά είναι ανεξάρτητα της περιοχής και οι κατανομές του αέρα έχουν μειωθεί σε κανονικές συνθήκες.

Υπολογισμός των μετεωρολογικών συνθηκών: Χρησιμοποιώντας ένα σύνολο δεδομένων ενός αιολικού χάρτη που υπολογίζεται από WAsP ή από κάποια άλλη πηγή – π.χ. από τον Ευρωπαϊκό Αιολικό Χάρτη – το πρόγραμμα μπορεί να υπολογίσει τις μετεωρολογικές συνθήκες σε οποιοδήποτε σημείο εκτελώντας τον αντίστροφο υπολογισμό όπως χρησιμοποιείται για να παραγάγει έναν άτλαντα αέρα. Στη συνέχεια, με την εισαγωγή των δεδομένων του ανάγλυφου της έκτασης γύρω από την περιοχή που μας ενδιαφέρει, τα "μοντέλα" μπορούν να προβλέψουν τις πραγματικές μετεωρολογικές συνθήκες σε αυτή την περιοχή.

Υπολογισμός του δυναμικού της αιολικής ενέργειας: Το συνολικό ενεργειακό περιεχόμενο του μέσου αέρα υπολογίζεται επίσης από το WAsP. Επιπλέον, μπορεί να ληφθεί μια εκτίμηση της πραγματικής, ετήσιας μέσης ενεργειακής παραγωγής μιας ανεμογεννήτριας παρέχοντας στο WAsP την καμπύλη του δυναμικού της.

Υπολογισμός της παραγωγής των αιολικών πάρκων:

Λαμβάνοντας υπόψη την καμπύλη του συντελεστή ώθησης της ανεμογεννήτριας και του σχεδιαγράμματος του αιολικού πάρκου, το WAsP μπορεί τελικά να υπολογίσει τις απώλειες του απορρέυματος για κάθε γεννήτρια στο πάρκο και μ' αυτό τον τρόπο στη συνέχεια την καθαρή ετήσια ενεργειακή παραγωγή της κάθε μιας ξεχωριστά αλλά και ολόκληρου του πάρκου, δηλαδή την ακαθάριστη παραγωγή μείον τις απώλειες του απορρέυματος.

Το πρόγραμμα, συνεπώς, περιέχει μέρη ανάλυσης και εφαρμογής τα οποία μπορούν να συνοψιστούν στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 3.2):

Ανάλυση

μετρήσεις (σε τακτά χρονικά διαστήματα) των τιμών της ταχύτητας του ανέμου και της διεύθυνσής του → στατιστικά αποτελέσματα του ανέμου

στατιστικά αποτελέσματα του ανέμου + περιγραφή της περιοχής → δεδομένα αιολικού χάρτη

Εφαρμογή

δεδομένα αιολικού χάρτη + περιγραφή της περιοχής → υπολογισμός μετεωρ. συνθηκών

υπολογισμός μετεωρ. συνθηκών + καμπύλη δυναμικού → υπολογισμός παραγωγής δυναμικού

Παραγωγή Αιολικό Πάρκου

υπολογισμός παραγωγής δυναμικού + χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών και πάρκων → ακαθάριστη και καθαρή ετήσια ενεργειακή παραγωγή κάθε γεννήτριας και του αιολικού πάρκου

Πίνακας 3.2 Συνοπτικός πίνακας όπου παρουσιάζονται οι βασικές λειτουργίες του WAsP

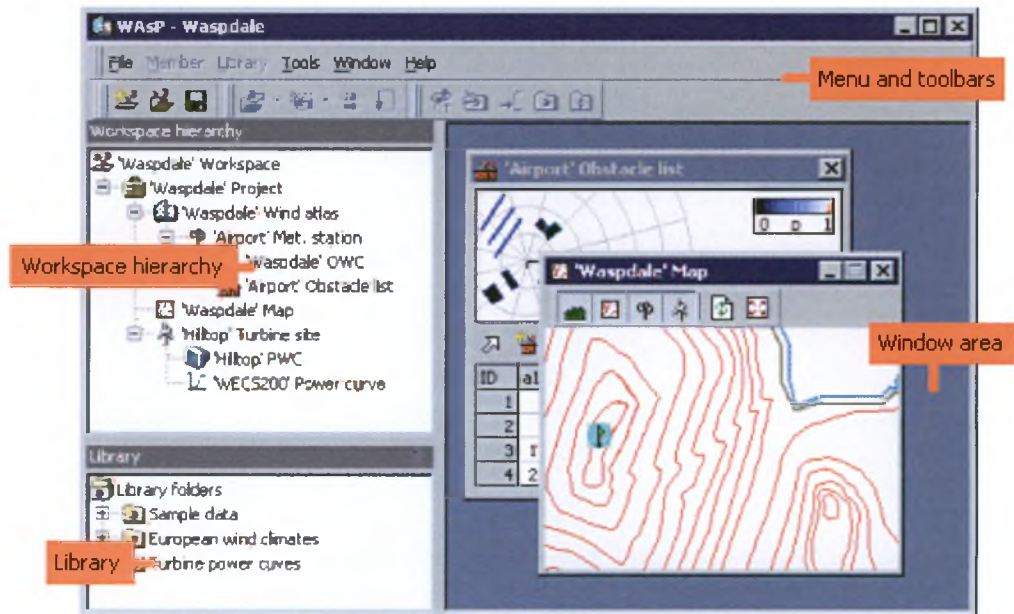
Το πρόγραμμα βέβαια, εξελίσσεται συνεχώς με καινούριες ιδέες από τους δημιουργούς του αλλά και μέσω των ερωτήσεων και των αποριών που προκύπτουν από τα άτομα που το χρησιμοποιούν σε ολόκληρο τον κόσμο. Για το λόγο αυτό γίνονται και σεμινάρια στη Δανία δυο φορές το χρόνο όπου οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να συμμετέχουν και να ενημερωθούν καλύτερα και πληρέστερα από τους ανθρώπους του εργαστηρίου του Risø.

Η τελευταία έκδοση του WAsP είναι το 8.1 στην οποία υπάρχουν νέα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και πολλές βελτιώσεις και διορθώσεις πάνω σε προβλήματα που είχαν παρατηρηθεί από τους χρήστες του προγράμματος. Οι βελτιώσεις και οι διορθώσεις αυτές αφορούν κυρίως σε τεχνικά θέματα, όπως για παράδειγμα έχουν εμπλουτιστεί με περισσότερες λεπτομέρειες τα "παράθυρα" στα οποία συμπληρώνονται τα απαραίτητα στοιχεία για τους υπολογισμούς, δίνοντας με αυτόν τον τρόπο τελικά πιο ακριβή και πιο σωστά αποτελέσματα. Επίσης, το πρόγραμμα αναγνωρίζει περισσότερα είδη αρχείων σε σχέση με παλαιότερες εκδόσεις, είναι πιο ευέλικτο και δίνει καλύτερη και πιο ακριβή ανάλυση των λαθών στα οποία έχει υποπέσει ο χρήστης βοηθώντας τον έτσι να τα αντιμετωπίσει όχι μόνο γρηγορότερα αλλά και μόνος του.

3.4.1 Περιγραφή και περιεχόμενα του WAsP

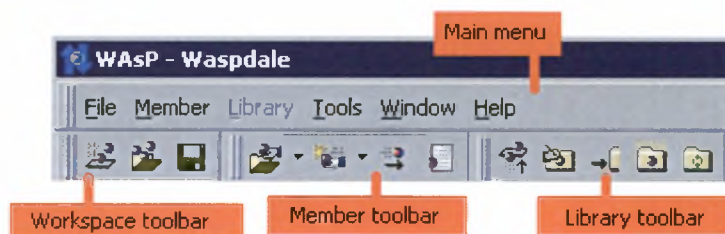
Το κύριο παράθυρο του WAsP έχει τέσσερις περιοχές εργασίας (Εικόνα 3.1).

Στην κορυφή του κύριου παραθύρου βρίσκεται το μενού των εφαρμογών και οι γραμμές εργαλείων τα οποία βέβαια μπορούν να μετακινηθούν σε νέες θέσεις. Στην αριστερή πλευρά του κύριου παραθύρου βρίσκονται δύο μικρότερα παράθυρα: ο χώρος εργασίας (workspace) μέσα στον οποίο πραγματοποιούνται όλες οι εργασίες και ο χώρος της βιβλιοθήκης (library) τα οποία δεν μπορούν να μετακινηθούν ή να κλείσουν, αλλά μπορούν να αυξομειωθούν και είναι ορατά μόνο όταν ο χώρος εργασίας είναι ανοικτός. Ο υπόλοιπος χώρος στο κύριο παράθυρο είναι η περιοχή που χρησιμοποιείται για να ανοίγουν τα επιμέρους παράθυρα τα οποία μπορούν να ανοιχθούν, να μετακινηθούν, να αυξομειωθούν και να κλείσουν την ώρα που ο χρήστης χρησιμοποιεί το πρόγραμμα.



Εικόνα 3.1 Το κύριο παράθυρο του WAsP

Το WAsP έχει επίσης ένα κυρίως μενού και τρεις γραμμές εργαλείων (Εικόνα 3.2):



Εικόνα 3.2 Μενού και γραμμές εργαλείων του WAsP

Το κυρίως μενού περιέχει τα παρακάτω υπό-μενού:

- Αρχείο (file)
- Μέλος (member)
- Βιβλιοθήκη (library)
- Εργαλεία (tools)
- Παράθυρο (window)
- Βοήθεια (help)

Τα μοντέλα του WAsP όμως χρειάζονται αρχεία με στοιχεία τα οποία θα εισαχθούν ως δεδομένα στο πρόγραμμα και στη συνέχεια θα παράγουν τα αποτελέσματα. Κάθε μέλος της ιεραρχίας αντιπροσωπεύει ένα αρχείο δεδομένων στο σύστημα αρχείων του υπολογιστή. Τα μέλη μπορούν να θεωρηθούν ως "δείκτες" στα αρχεία ενώ σκοπός της ιεραρχίας είναι να δείχνει τις σχέσεις που έχουν μεταξύ τους τα αρχεία.

Τα μέλη μπορούν να:

- εισαχθούν στην ιεραρχία ως νέα
- εισαχθούν στην ιεραρχία από κάποιο αρχείο
- σωθούν σε αρχείο
- σωθούν σε ένα αρχείο με διαφορετικό όνομα
- αφαιρεθούν από την ιεραρχία

Υπάρχουν διάφοροι τύποι μελών ιεραρχίας που μπορούν να εμφανιστούν στο χώρο εργασίας. Ο κατάλογος που ακολουθεί παρέχει μια συνοπτική εισαγωγή σε αυτούς.



Ρίζα του χώρου εργασίας (Workspace Root)

Υπάρχει πάντα μια (και μόνο μια) ρίζα σε κάθε χώρο εργασίας. Βρίσκεται στην κορυφή της ιεραρχίας και ενώ η ίδια δεν ανήκει πουθενά μπορεί να έχει οποιοδήποτε τύπου μέλη ως παρακλάδια της. Όταν ένας χώρος εργασίας ανοιχθεί, ανοίγονται ταυτόχρονα και όλα τα παρακλάδια του.



Θέμα (Project)

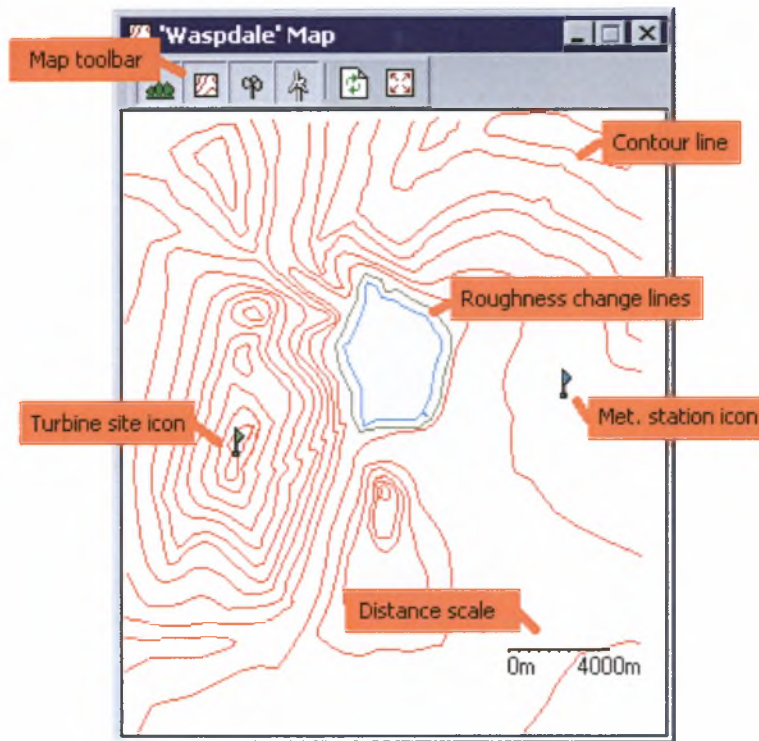
Τα θέματα χρησιμοποιούνται για να διαχειριστούν ομάδες μελών της ιεραρχίας που συσχετίζονται μεταξύ τους. Τα θέματα είναι πάντα παρακλάδια της ρίζας του χώρου εργασίας και σε περίπτωση που κάποιο από αυτά ανοιχθεί τότε όλα τα παρακλάδια του ανοίγουν επίσης.



Χάρτης (Map)

Το WAsP χρησιμοποιεί χάρτες για να πάρει πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά της ορογραφίας και της τραχύτητας της τοποθεσίας που υπάρχει ενδιαφέρον. Οι χάρτες μπορούν να εμφανιστούν σε διάφορες θέσεις στην ιεραρχία του χώρου εργασίας αλλά βασικά κάθε θέμα έχει έναν μόνο χάρτη.

Παρακάτω (Εικόνα 3.3) μπορούμε να παρατηρήσουμε τη μορφή που έχει ο χάρτης που χρησιμοποιείται από το πρόγραμμα, στον οποίο είναι τοποθετημένη τόσο η ανεμογεννήτρια όσο και ο μετεωρολογικός σταθμός όπου συλλέχθηκαν τα δεδομένα:



Εικόνα 3.3 Χάρτης του WAsP

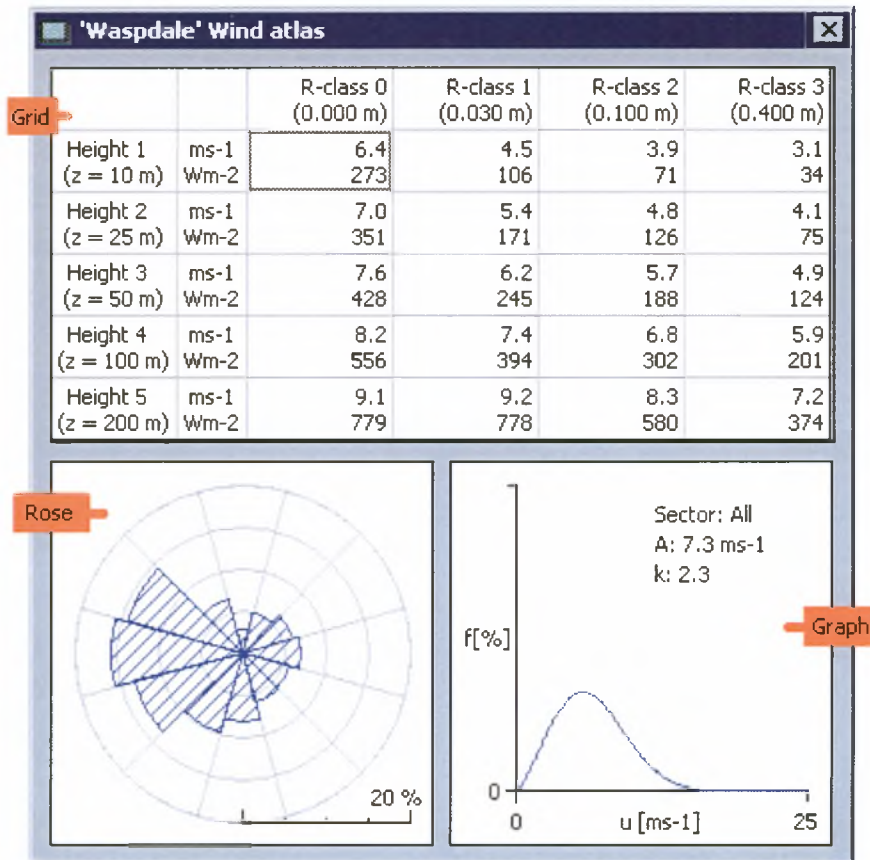


Αιολικός χάρτης (Wind Atlas)

Οι αιολικοί χάρτες είναι τα κεντρικά στοιχεία της ιεραρχίας. Ένας αιολικός χάρτης στο WAsP περιέχει δεδομένα που περιγράφουν τις μετεωρολογικές συνθήκες της εν λόγω περιοχής. Τα μοντέλα του προγράμματος αναλύουν τα δεδομένα που αφορούν τον αέρα, τα οποία συλλέγονται από μετεωρολογικούς σταθμούς, για να παράγουν στη συνέχεια τους αιολικούς χάρτες που θα χρησιμοποιήσουν για τον υπολογισμό των μετεωρολογικών συνθηκών (και την παραγωγή ισχύος) στις περιοχές που θα τοποθετηθούν οι ανεμογεννήτριες.

Παρακάτω παρατηρούμε τη μορφή με την οποία το WAsP εξάγει τα αποτελέσματα (Εικόνα 3.4). Πιο συγκεκριμένα, στο "παράθυρο" εμφανίζονται τρεις περιοχές: του πίνακα, του ρόδου και του γραφήματος. Στον πίνακα παρουσιάζεται η μέση ταχύτητα του αέρα και η μέση πυκνότητα ισχύος για 20 διαφορετικές τυποποιημένες κατηγορίες, που καθορίζονται από το ύψος πάνω από το έδαφος και το μήκος τραχύτητας, στο ρόδο οι συχνότητες της κατεύθυνσης του ανέμου ανά τομέα και στο γράφημα η συχνότητα κατανομής της ταχύτητας του ανέμου και οι παράμετροι A και k της Weibull για κάθε τομέα. Η παράμετρος A ονομάζεται παράμετρος κλίμακας (scale) και επηρεάζει το μέσο όρο και τη διασπορά της κατανομής (πόσο "τραβηγμένη" είναι η καμπύλη). Η παράμετρος k ονομάζεται παράμετρος σχήματος (shape) και αν:

- λαμβάνει τιμές μικρότερες από τη μονάδα ($k < 1$), σημαίνει πως η κατανομή είναι παρεμφερής με την εκθετική κατανομή.
- λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες από το τρία ($k < 3$), σημαίνει πως η κατανομή είναι συμμετρική και παρεμφερής με την κανονική κατανομή.
- λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες από τη μονάδα και μικρότερες από το τρία ($1 < k < 3$), σημαίνει πως η καμπύλη είναι σκεδασμένη (η καμπύλη είναι μετατοπισμένη προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά).



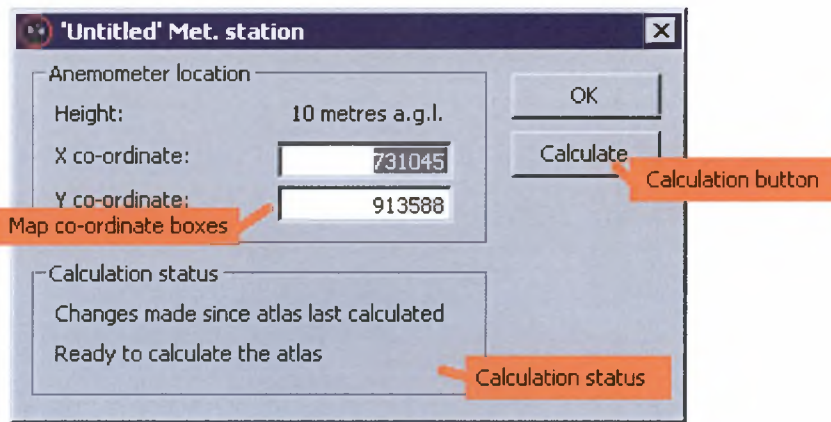
Εικόνα 3.4 Το παράθυρο του αιολικού χάρτη στο WAsP

φ

Μετεωρολογικός σταθμός (Met. Station)

Ένας μετεωρολογικός σταθμός χρησιμοποιείται για να υπολογίσει έναν αιολικό χάρτη. Δεν περιέχει στοιχεία εκτός από τη θέση που έχει στο χάρτη και συνδέεται με τις κλιματολογικές συνθήκες που έχουν παρατηρηθεί σε αυτόν (Εικόνα 3.5). Μπορεί να συνδεθεί και με έναν κατάλογο εμποδίων που μπορεί να τον περιβάλλουν καθώς και με μια περιγραφή των μηκών της τραχύτητας της ευρύτερης περιοχής.

Όταν ένας σταθμός ανοιχθεί ξανά, όλα τα παρακλάδια του ανοίγονται επίσης.



Εικόνα 3.5 Παράθυρο όπου απεικονίζονται τα στοιχεία που αφορούν την περιοχή του μετ. σταθμού



Παρατηρούμενες Κλιματολογικές Συνθήκες (Observed Wind Climate)

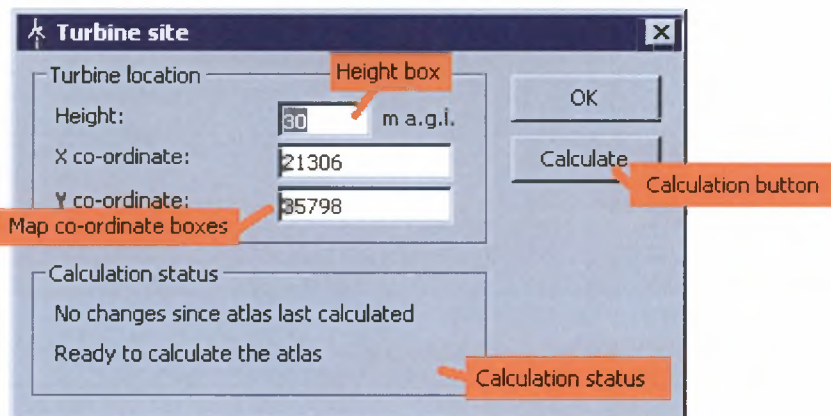
Παρατηρούμενες κλιματολογικές συνθήκες (ή OWC για συντομία) είναι ο όρος που δίνει το πρόγραμμα στην περίληψη των ανεμολογικών δεδομένων που καταγράφονται σε έναν μετεωρολογικό σταθμό.



Περιοχή γεννητριών (Turbine Site)

Μια περιοχή γεννητριών (Εικόνα 3.6) χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την παραγωγή ισχύος που θα προέκυπτε από την τοποθέτηση μιας γεννήτριας σε κάποιο σημείο σε έναν χάρτη και έχει πάντα Predicted Wind Climate. Επίσης, μια περιοχή γεννητριών δεν έχει στοιχεία εκτός από τη θέση της στο χάρτη και το ύψος των πηλμνών της γεννήτριας αλλά μπορεί να συνδεθεί με έναν κατάλογο εμποδίων που μπορεί να την περιβάλλουν καθώς και με μια περιγραφή των μηκών τραχύτητας της ευρύτερης περιοχής.

Όταν μια περιοχή γεννητριών ανοιχθεί τότε όλα τα παρακλάδια της ανοίγονται επίσης.

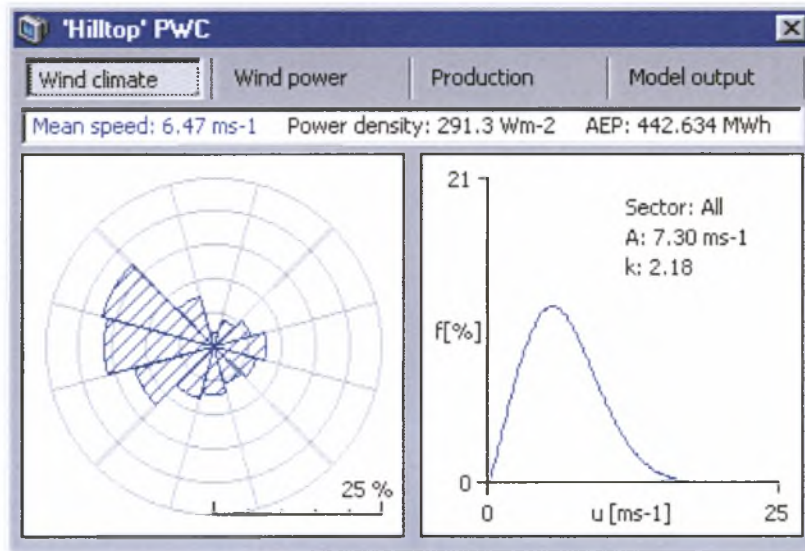


Εικόνα 3.6 Παράθυρο όπου απεικονίζονται τα στοιχεία που αφορούν την περιοχή που τοποθετείται η ανεμογεννήτρια



Προβλεπόμενες Κλιματολογικές Συνθήκες (Predicted Wind Climate)

Εδώ περιέχονται τα αποτελέσματα που υπολογίστηκαν από μια περιοχή γεννητριών. Είναι κάτι αντίστοιχο με τις Παρατηρούμενες Κλιματολογικές Συνθήκες αλλά παράλληλα περιέχει και πρόσθετες πληροφορίες. Για την ακρίβεια, το "παράθυρο" με τα αποτελέσματα παρουσιάζει τη μέση ταχύτητα του ανέμου, τη συνολική πυκνότητα ισχύος και τη συνολική παραγωγή ισχύος (Εικόνα 3.7).



Εικόνα 3.7 Το παράθυρο του PWC

Όπως φαίνεται και παραπάνω υπάρχουν τέσσερις παρουσιάσεις στοιχείων:

- ρόδο και γραφική παράσταση για το προβλεφθέν κλίμα αέρα
- ρόδο και γραφική παράσταση για την πυκνότητα ισχύος
- ρόδο και γραφική παράσταση για την παραγωγή ισχύος (AEP)
- πίνακα που παρουσιάζει λεπτομερώς τα αποτελέσματα



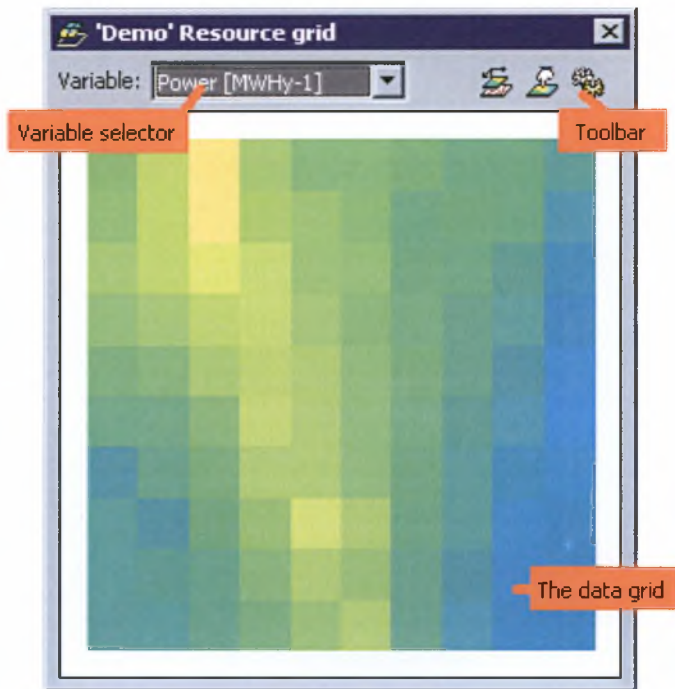
Αιολικό πάρκο (Wind Farm)

Τα αιολικά πάρκα είναι μια συλλογή περιοχών που τοποθετούνται ανεμογεννήτριες και υπολογίζονται σε μια φορά. Τα αποτελέσματά τους είναι λιγότερο λεπτομερή από μια περιοχή γεννήτριας ενώ τα ίδια είναι λιγότερο ευέλικτα αλλά προσφέρουν έναν κατάλληλο τρόπο για να εργαστεί ο χρήστης με πολλές περιοχές ταυτόχρονα.



Πλέγμα ανάπτυξης δεδομένων (Resource Grid)

Τα πλέγματα ανάπτυξης δεδομένων είναι επίσης μια συλλογή περιοχών που τοποθετούνται ανεμογεννήτριες και υπολογίζονται σε μια φορά αλλά εδώ οι τοποθεσίες διευθετούνται σε ένα κανονικό πλέγμα που καλύπτει την περιοχή. Το μέγεθος του πλέγματος καθώς και το μέγεθος των κελιών του μπορούν να επιλεγούν με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να χαρτογραφηθούν τις κλιματολογικές συνθήκες σε οποιοδήποτε σημείο του χάρτη – και με όση λεπτομέρεια απαιτείται όπως φαίνεται και παρακάτω (Εικόνες 3.8, 3.9).



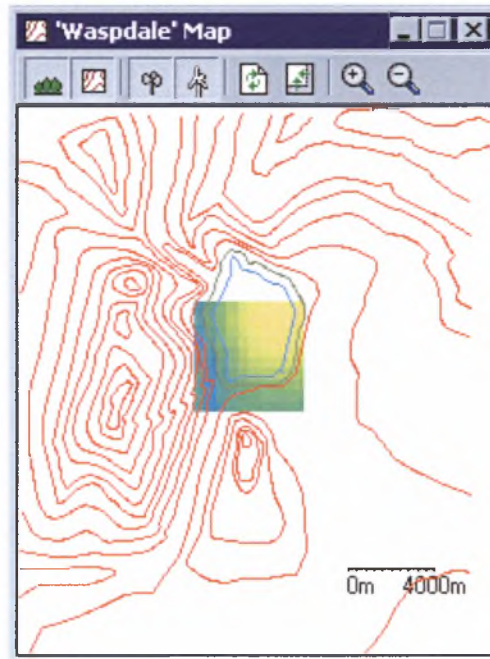
Εικόνα 3.8 Παράθυρο του Resource Grid

Εικόνα 3.9 Παράθυρο δεδομένων του Resource Grid

Κάθε σημείο στο πλέγμα είναι όπως μια απλούστερη εκδοχή μιας κανονικής περιοχής γεννητριών. Όλα τα σημεία έχουν το ίδιο ύψος από την επιφάνεια του εδάφους (a.g.l.). Για κάθε σημείο, το WASP υπολογίζει τα ακόλουθα στοιχεία:

- το υψόμετρο
- η μέση ταχύτητα του ανέμου
- η μέση πυκνότητα ισχύος
- η ετήσια ενεργειακή παραγωγή (αν υπάρχει ανεμογεννήτρια)
- η τιμή της παραμέτρου a της Weibull
- η τιμή της παραμέτρου k της Weibull

Τα πλέγματα μπορούν επίσης να προσαρμοστούν και πάνω στο χάρτη για να έχει ο χρήστης καλύτερη εικόνα (Εικόνα 3.10).



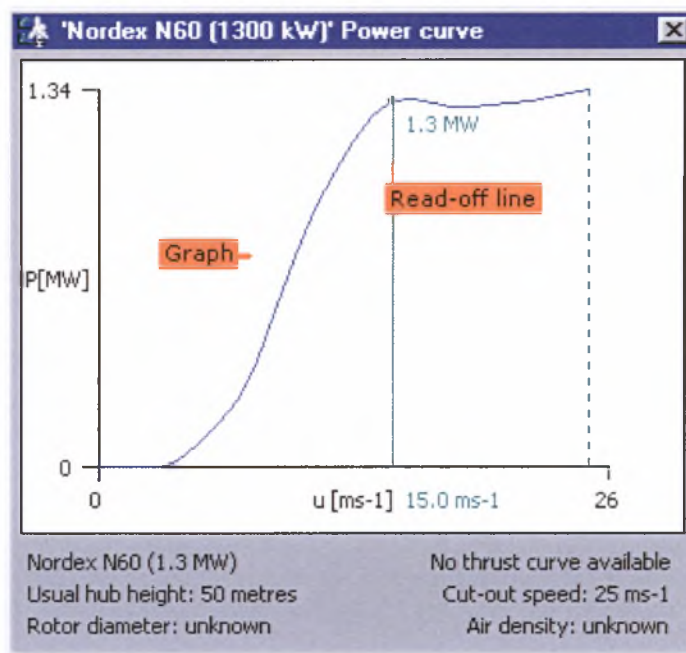
Εικόνα 3.10 Προσαρμογή του Resource Grid στο χάρτη

Λ

Καμπύλη ισχύος (Power Curve)

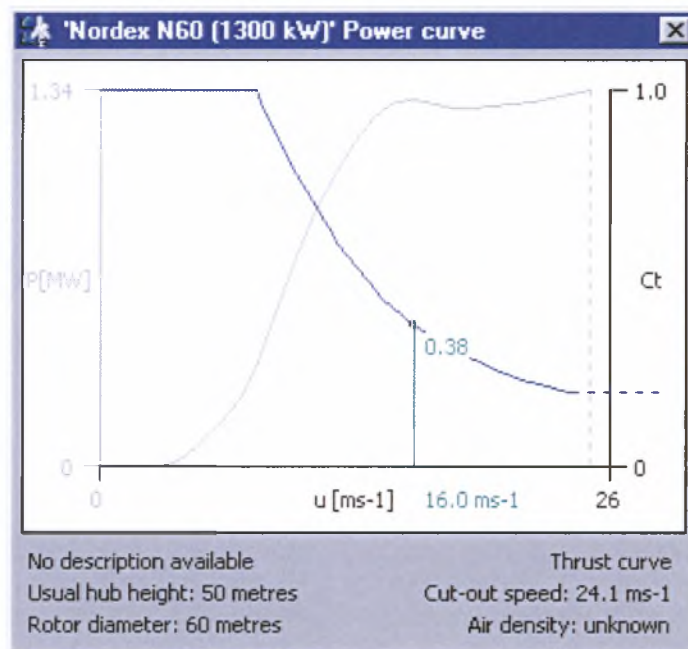
Μια καμπύλη ισχύος περιγράφει τον τρόπο που η παραγωγή ισχύος μιας γεννήτριας μεταβάλλεται με την ταχύτητα του ανέμου. Μπορεί να συνδεθεί με μια ή με πολλά περιοχές γεννητριών ή αιολικά πάρκα.

Στο "παράθυρο" της καμπύλης ισχύος (Εικόνα 3.11) παρουσιάζεται τουλάχιστον η περιγραφή της γεννήτριας, το χαρακτηριστικό ύψος των πλεμνών και μια γραφική παράσταση της παραγωγής ισχύος σε σχέση με την ταχύτητα του αέρα.



Εικόνα 3.11 Παράθυρο Καμπύλης Ισχύος

Επίσης, στο "παράθυρο" της καμπύλης ισχύος μπορεί να παρουσιάζεται η διάμετρος του ρότορα και μια γραφική παράσταση του συντελεστή ώθησης σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου, αν αυτές οι πληροφορίες είναι διαθέσιμες βέβαια (Εικόνα 3.12).



Εικόνα 3.12 Παράθυρο Καμπύλης Ισχύος



Διορθώσεις χρηστών (User Corrections)

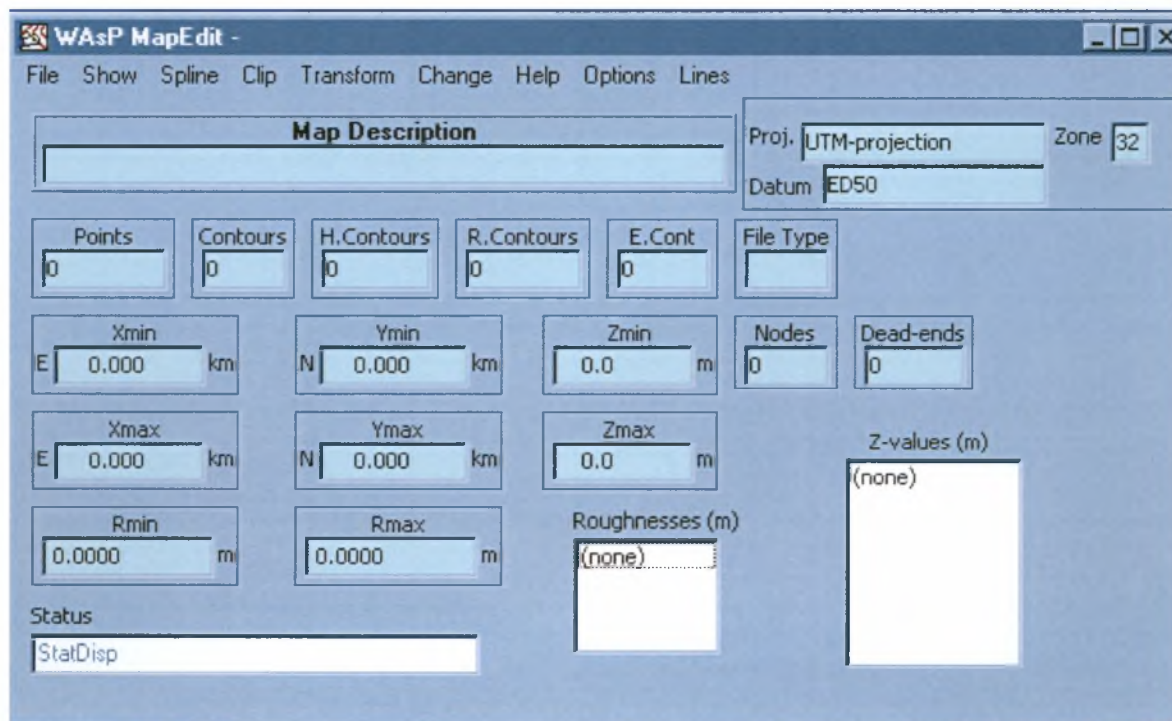
Ένα σύνολο διορθώσεων από τους ίδιους τους χρήστες μπορεί να συνδεθεί με ένα μετεωρολογικό σταθμό ή μια περιοχή γεννητριών. Παρέχει έναν τρόπο ενημέρωσης του WAsP για κάποιες ρυθμίσεις που δεν μπορούν να περιγραφούν χρησιμοποιώντας τα υπόλοιπα μέλη της ιεραρχίας

Το WAsP, τέλος, έχει τρία (3) βασικά εργαλεία:

- ❖ Τον συντάκτη χαρτών (Map Editor) με τον οποίο ο χρήστης μπορεί να ανακτήσει, να εκδώσει, να ελέγξει, να επαναμορφοποιήσει και να αποθηκεύσει αρχεία χαρτών του WAsP (Εικόνα 3.15). Ο συντάκτης χαρτών είναι ένα χωριστό εργαλείο, το οποίο χρησιμοποιείται για να παρέχει τοπογραφικά δεδομένα στο WAsP. Με το συντάκτη χαρτών, ο χρήστης μπορεί να ψηφιοποιήσει τις πληροφορίες που αφορούν το ύψος και τις χρήσεις του εδάφους από μια σκαναρισμένη εικόνα ενός τοπογραφικού χάρτη. Διαφορετικά είδη χαρτών μπορούν να εισαχθούν και να εξαχθούν, οι ψηφιακοί χάρτες μπορούν να αναλυθούν και να ελεγχθούν, το περιεχόμενο ενός ψηφιακού χάρτη μπορεί να διορθωθεί και οι χάρτες μπορούν να μετασχηματιστούν από τη μια μορφή στην άλλη.

Μια συνοπτική περιγραφή των πραγμάτων που μπορεί να κάνει ο χρήστης με το συντάκτη χαρτών καθώς επίσης και η μορφή του δίνονται παρακάτω.

- εισαγωγή αρχείων χαρτών του WAsP (ASCII και δυαδικά σχήματα)
- εισαγωγή αρχείων της μορφής: *.bna, *.ntf, *.xyz αλλά και άλλων μορφών



Εικόνα 3.15 Παράθυρο Συντάκτη Χαρτών (Map Editor)

- ❖ Τον υπολογιστή της πυκνότητας αέρα (Air Density Calculator), ο οποίος υπολογίζει την πυκνότητα αέρα [kg/m^3] ως συνάρτηση του ύψους (υψόμετρο) Z [m a.s.l.] και τη μέση θερμοκρασία του αέρα στο ίδιο ύψος. Υποτίθεται μια μεταβολή της πίεσης με το ύψος 6.5K/km και μια πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας 1013.25 hPa . Οι πυκνότητες του αέρα ανά μικρά διαστήματα του ύψους και της θερμοκρασίας δίνονται σε μορφή πίνακα παρακάτω (Πίνακας 3.3).

Z	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
0	1.316	1.292	1.269	1.247	1.225	1.204	1.184	1.164	1.145	1.127
100	1.300	1.276	1.254	1.232	1.211	1.190	1.170	1.151	1.133	1.115
200	1.283	1.260	1.238	1.217	1.196	1.176	1.157	1.138	1.120	1.103
300	1.267	1.245	1.223	1.202	1.182	1.163	1.144	1.126	1.108	1.091
400	1.251	1.230	1.208	1.188	1.169	1.150	1.131	1.113	1.096	1.079
Z	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35
500	1.258	1.236	1.214	1.194	1.174	1.155	1.136	1.118	1.101	1.084
600	1.242	1.220	1.199	1.179	1.160	1.141	1.123	1.106	1.089	1.072
700	1.226	1.205	1.185	1.165	1.146	1.128	1.110	1.093	1.077	1.061
800	1.210	1.190	1.170	1.151	1.133	1.115	1.098	1.081	1.065	1.049
900	1.195	1.175	1.156	1.138	1.120	1.102	1.085	1.069	1.053	1.038
Z	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
1000	1.200	1.180	1.161	1.142	1.124	1.106	1.089	1.073	1.057	1.042
1100	1.184	1.165	1.146	1.128	1.111	1.094	1.077	1.061	1.045	1.030
1200	1.169	1.151	1.132	1.115	1.097	1.081	1.065	1.049	1.034	1.019
1300	1.154	1.136	1.118	1.101	1.084	1.068	1.052	1.037	1.022	1.008
1400	1.140	1.122	1.105	1.088	1.072	1.056	1.040	1.025	1.011	0.997
Z	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25
1500	1.143	1.125	1.108	1.091	1.075	1.059	1.043	1.028	1.014	1.000
1600	1.128	1.111	1.094	1.078	1.062	1.046	1.031	1.017	1.003	0.989
1700	1.114	1.097	1.081	1.065	1.049	1.034	1.019	1.005	0.991	0.978
1800	1.100	1.083	1.067	1.052	1.037	1.022	1.008	0.994	0.980	0.967
1900	1.086	1.070	1.054	1.039	1.024	1.010	0.996	0.983	0.969	0.957
Z	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20
2000	1.088	1.072	1.056	1.041	1.026	1.012	0.998	0.985	0.971	0.959
2100	1.074	1.058	1.043	1.028	1.014	1.000	0.987	0.973	0.961	0.948
2200	1.060	1.045	1.030	1.016	1.002	0.988	0.975	0.962	0.950	0.938
2300	1.046	1.031	1.017	1.003	0.990	0.977	0.964	0.951	0.939	0.927
2400	1.033	1.018	1.005	0.991	0.978	0.965	0.953	0.941	0.929	0.917

Πίνακας 3.3 Οι πυκνότητες του αέρα ανά μικρά διαστήματα του ύψους και της θερμοκρασίας

Η εκτίμηση είναι βασισμένη σε κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες, αν όμως υπάρχουν πληροφορίες για τη μακροπρόθεσμη βαρομετρική πίεση και τη θερμοκρασία του αέρα για την εν λόγω τοποθεσία, πρέπει να υπολογιστεί η πυκνότητα του αέρα απευθείας.

- ❖ Το "μάγο" των παρατηρηθέντων κλιματολογικών συνθηκών (OWC Wizard) ο οποίος ουσιαστικά είναι ένα πρόγραμμα που παράγει αρχεία OWC από πρωτογενή μετεωρολογικά στοιχεία ταχύτητας και κατεύθυνσης του ανέμου (Εικόνα 3.16). Το WAsP για τον υπολογισμό ενός αιολικού χάρτη χρειάζεται ένα συνοπτικό πίνακα ο οποίος θα περιλαμβάνει τη συχνότητα με την οποία παρουσιάζονται οι ταχύτητες του ανέμου σε σχέση με την κατεύθυνσή του. Αυτός ο συνοπτικός πίνακας περιλαμβάνεται στο αρχείο των παρατηρηθέντων κλιματολογικών συνθηκών (OWC ή *.tab αρχείο). Ο "μάγος" επίσης καθιστά δυνατό στο χρήστη να προσαρμόσει τα πρωτογενή στοιχεία πριν να συνταχθεί ο πίνακας. Με τον τρόπο αυτό, μπορεί να επιλέξει ποια από τα στοιχεία θέλει να παραλείψει από τον τελικό πίνακα καθώς και να εφαρμόσει γραμμικές ρυθμίσεις στις τιμές των στοιχείων.



Εικόνα 3.16 Παράθυρο που εμφανίζεται κατά την έναρξη του μάγου (OWC Wizard)

Κεφάλαιο 4

4. Συλλογή των δεδομένων

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εργασία αυτή είναι τριών ειδών: χωροτακτικά, ανεμολογικά και δεδομένα που αφορούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας που χρησιμοποιήθηκε και την καμπύλη ισχύος της.

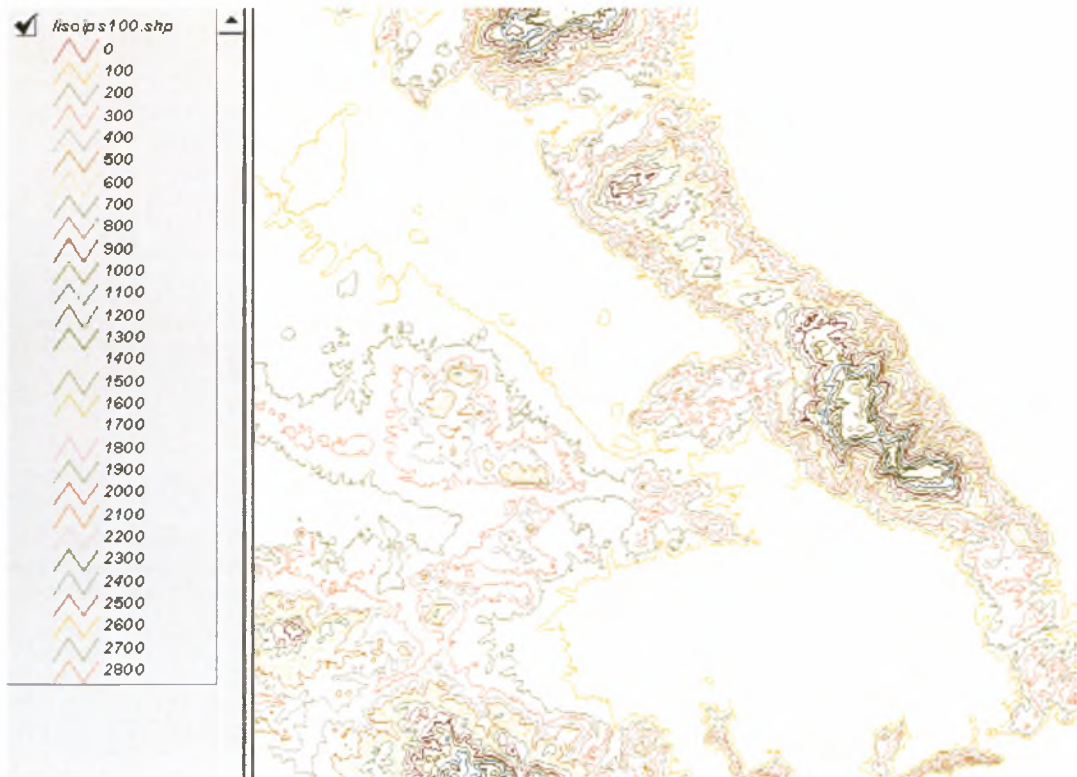
4.1 Χωροτακτικά δεδομένα

Τα χωροτακτικά δεδομένα που υπήρχαν όταν ξεκίνησε η εργασία αυτή ήταν κάποια αρχεία του ArcView τα οποία περιείχαν τις ισοϋψείς ολόκληρης της Ελλάδος καθώς επίσης και τις χρήσεις της γης της (σχήμα 4.1). Το μέγεθος όμως των αρχείων αυτών ήταν υπερβολικά μεγάλο γιατί περιείχε περισσότερες πληροφορίες από όσες η εργασία απαιτούσε.



Σχήμα 4.1 Χάρτης της Ελλάδας με τις ισοϋψείς

Για το λόγο αυτό ο χάρτης που χρησιμοποιήθηκε τελικά περιορίζεται στην περιοχή της Μαγνησίας που είναι ουσιαστικά και το κομμάτι της Ελλάδος που ενδιαφέρει άμεσα το αντικείμενο αυτής της διατριβής (Σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.2 Ισοϋψείς στην περιοχή της Μαγνησίας

Ο παραπάνω χάρτης έχει προκύψει μετά από επεξεργασία των δεδομένων στο ArcView GIS 3.2 και στα αριστερά του απεικονίζονται οι αντιστοιχίες των υψομέτρων με τα χρώματα.

Βέβαια παρόμοιοι χάρτες, όχι μόνο για τη Μαγνησία αλλά και για άλλες περιοχές, μπορούν να βρεθούν και στο διαδίκτυο, όπως αυτός που υπάρχει στη σελίδα του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ - CRES) [22] (Σχήμα 4.3).

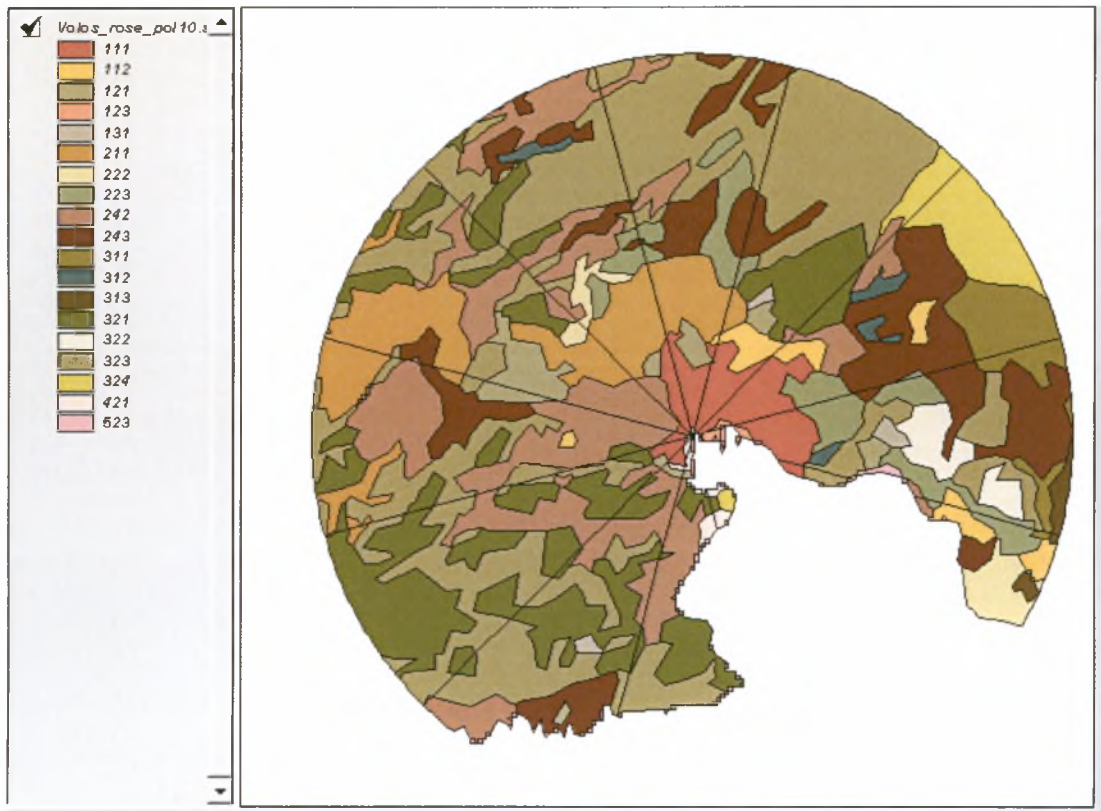


Σχήμα 4.3 Ισοϋψείς της Μαγνησίας από ΚΑΠΕ

Πολύ σημαντικό, επίσης, είναι να γνωρίζει ο χρήστης και τις χρήσεις της γης στην ευρύτερη περιοχή του Βόλου (μια απόσταση περίπου 10km από την περιοχή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Πεδίο του Άρεως, όπου υπήρχε τοποθετημένο το ανεμόμετρο με το οποίο πήραμε τις μετρήσεις της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου) ώστε να είναι δυνατή μια εκτίμηση της τραχύτητας της περιοχής, προκειμένου τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από το WAsP να είναι πιο ακριβή.

Τα δεδομένα για της χρήσεις αξιοποιήθηκαν με τη βοήθεια των προγραμμάτων ArcView GIS 3.2 και Corine. Το Corine είναι ένα πρόγραμμα που αντιστοιχεί τη χρήση της γης μιας περιοχής με έναν κωδικό, ώστε να είναι σε θέση ο χρήστης να καταλαβαίνει τι υπάρχει στο έδαφος της περιοχής που τον ενδιαφέρει και στη συνέχεια να το κατατάξει σε μια κατηγορία τραχύτητας για να μπορέσει να φτιάξει, τελικά, το ρόδο της τραχύτητας στο πρόγραμμα.

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η κατανομή των χρήσεων της γης στην ευρύτερη περιοχή του Βόλου καθώς επίσης και ο αντίστοιχος κωδικός της κάθε μιας ενώ στον πίνακα αμέσως μετά επεξηγείται και τι ακριβώς αντιπροσωπεύει ο κάθε κωδικός.



Σχήμα 4.4 Χρήσεις γης της ευρύτερης περιοχής του Βόλου

1. Τεχνητές επιφάνειες

1.1. Αστική περιοχή

1.1.1. Συνεχής αστική περιοχή

Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής είναι καλυμμένο από κτίρια, δρόμους κ.ά.

1.1.2. Ασυνεχής αστική περιοχή

Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής είναι καλυμμένο από κατασκευές. Κτίρια, δρόμοι σε συνδυασμό με περιοχές βλάστησης και γυμνό έδαφος, οι οποίες κατέχουν ασυνεχείς αλλά συγκεκριμένες επιφάνειες.

1.2 Βιομηχανικές και εμπορικές περιοχές

1.2.1. Βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες

Τεχνητές επιφάνειες (με τσιμέντο, ασφαλτο κ.ά.) χωρίς βλάστηση.

1.2.3. Λιμάνια

Υποδομή λιμανιών που περιλαμβάνει προκυμαίες, ναυπηγεία και μαρίνες.

1.3 Ορυχεία, χωματερές και περιοχές υπό κατασκευή

1.3.1. Περιοχές εξόρυξης μεταλλεύματος

Περιοχές ανοικτής εξόρυξης βιομηχανικού μεταλλεύματος ή άλλου είδους μεταλλεύματα.

2 Γεωργικές περιοχές

2.1. Καλλιεργημένη γη

Καλλιεργημένες περιοχές που οργώνονται συχνά.

2.1.1. Μη αρδεύσιμη καλλιεργημένη γη

Δημητριακά, όσπρια, καλλιέργειες ζωοτροφών και χέρσα γη. Περιλαμβάνει λουλούδια και δέντρα (φυτώρια) καλλιέργειες και λαχανικά, είτε σε ανοιχτή περιοχή είτε κάτω από πλαστικό ή γυαλί. Περιλαμβάνει αρωματικά, ιατρικά και μαγειρικά φυτά. Αποκλείει μόνιμα βοσκοτόπια.

2.2. Μόνιμες καλλιέργειες

Κυρίως περιοχές με δασώδεις σοδιές. Αποκλείονται βοσκοτόπια και δάση.

2.2.2. Δέντρα με φρούτα και φυτείες σαρκωδών φρούτων

Περιοχές καλυμμένες με δέντρα φρούτων και θάμνους: μονά ή μικτά είδη φρούτων, δέντρα φρούτων σε συνδυασμό με μόνιμες περιοχές με γρασίδι. Περιλαμβάνει φυτείες με καστανιές και καρυδιές.

2.2.3. Φυτείες ελιών

Περιοχές με ελιές που περιλαμβάνει και αμπέλια στην ίδια περιοχή.

2.4. Ετερογενείς γεωργικές περιοχές

2.4.2. Μεικτή καλλιέργεια

Μικρές περιοχές τοποθετημένες πλάι-πλάι με διαφορετικές καλλιέργειες.

2.4.3. Γη που περιλαμβάνει κυρίως γεωργικές καλλιέργειες, με περιοχές φυσικής βλάστησης.

3. Δάση και ημί-φυσικές περιοχές

3.1. Δάση

3.1.1. Δάσος με πλατύφυλλα δέντρα

Βλάστηση που περιλαμβάνει κυρίως δέντρα και θάμνους, όπου τα πλατύφυλλα είδη κυριαρχούν.

3.1.2. Δάση με κωνοφόρα δέντρα

Βλάστηση που περιλαμβάνει κυρίως δέντρα και θάμνους, όπου τα κωνοφόρα είδη κυριαρχούν.

3.1.3. Μικτά δάση

Βλάστηση που περιλαμβάνει κυρίως δέντρα και θάμνους, όπου τα πλατύφυλλα και κωνοφόρα είδη κυριαρχούν.

3.2. Θαμνώδης και / ή βοτανώδης βλάστηση

3.2.1. Φυσική περιοχή με γρασίδι

Χαμηλής παραγωγικότητας περιοχή. Συνήθως περιλαμβάνει πετρώδεις περιοχές, ρείκια και χέρσα γη.



3.2.2. Χερσότοπος και θαμνότοπος

Βλάστηση χαμηλή και πυκνή, όπου κυριαρχούν θάμνοι και βοτανώδη φυτά

3.2.3. Σκληρόφυλλη βλάστηση

Θαμνώδης σκληρόφυλλη βλάστηση. Περιλαμβάνει *maquis* και *garrigue*.

Maquis: πυκνή βλάστηση που αποτελείται από διάφορους θάμνους που συνδυάζονται με πυριτικά εδάφη στο Μεσογειακό περιβάλλον.

Garrigue: Ασυνεχείς θαμνώδεις περιοχές. Μπορεί να περιλαμβάνει και κάποια απομονωμένα δέντρα.

3.2.4. Μεταβατικός δασότοπος / θαμνότοπος

Θαμνώδης ή βοτανώδης βλάστηση με διασκορπισμένα δέντρα. Μπορεί να παρουσιάζει υποβάθμιση δασότοπου ή ανάπλαση δάσους.

4.2. Παραλιακά εδάφη

Μη δασικές περιοχές, εποχιακά ή μόνιμα κατακλυσμένες με υφάλμυρο ή αλμυρό νερό.

4.2.1. Έλη με αλάτι

Συνήθως αποτελούνται από φυτά που ακμάζουν στην αλμυρότητα.

5.2. Θαλασσινά νερά

5.2.3. Θάλασσα και ωκεανός

Ζώνη με διεύθυνση προς τη θάλασσα από το χαμηλότερο όριο της παλίρροιας.

4.2 Ανεμολογικά δεδομένα

Τα ανεμολογικά δεδομένα που συλλέχθηκαν όταν ξεκίνησε αυτή η διπλωματική εργασία περιείχαν στοιχεία για την Αγχιάλο, τη Λάρισα και το Βόλο. Τα δεδομένα για την Αγχιάλο και τη Λάρισα παρελήφθησαν από τα αντίστοιχα αεροδρόμια της πολεμικής αεροπορίας (111 και 110 πτέρυγα μάχης αντίστοιχα) και είναι ομαδοποιημένα για ένα μεγάλο αριθμό ετών ενώ του Βόλου έχουν ληφθεί από το τμήμα Γεωπονίας Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και είναι στοιχεία για 3 χρόνια σε πρωτογενή μορφή (raw data).

➤ Λάρισα:

Τα στοιχεία που ακολουθούν (πίνακας 4.1) είναι ετήσια και αφορούν από το 1955 ως το 1994, μια περίοδο δηλαδή 40 χρόνων. Αυτό που μπορεί κάποιος να παρατηρήσει, είναι πως οι άνεμοι που επικρατούν είναι κυρίως ανατολικοί και μετά βορειοανατολικοί, νοτιοανατολικοί και βόρειοι. Κάνοντας έναν απλό υπολογισμό με τα στοιχεία που αναρτώνται στον πίνακα που ακολουθεί και γνωρίζοντας ότι τα 40 χρόνια αντιστοιχούν σε 350400 ώρες μπορεί να βρεθεί ότι φυσούσε ανατολικά 58748 ώρες, βορειοανατολικά 19850 ώρες, νοτιοανατολικά 18161 ώρες και βόρεια 16896 ώρες στα 40 έτη.

Έτσι, η ισχύς μιας ανεμογεννήτριας 600 kW στη συγκεκριμένη περιοχή με βαθμό απόδοσης 40% θα ήταν περίπου 37400000 kWh για 40 χρόνια.

BEAUF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM	SUM
0									55,564	55,564
1	0,362	0,274	1,107	0,603	0,285	0,438	0,449	0,416		3,934
2	1,961	2,115	6,958	2,761	0,997	1,392	1,775	1,764		19,723
3	1,249	1,698	5,895	1,348	0,241	0,712	1,074	0,844		13,061
4	0,800	1,074	2,268	0,405	0,077	0,307	0,438	0,373		5,742
5	0,318	0,329	0,373	0,044	0,022	0,055	0,099	0,088		1,328
6	0,099	0,131	0,121	0,011	0,011	0,022	0,022	0,033		0,450
7	0,022	0,033	0,033	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011		0,143
8	0,011	0,011	0,011	0,000	0,000	0,011	0,000	0,011		0,055
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
>11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
SUM	4,822	5,665	16,766	5,183	1,644	2,948	3,868	3,540	55,564	100,000

Πίνακας 4.1 Ανεμολογικά δεδομένα για την περιοχή της Λάρισας

➤ Αγχιάλος:

Τα στοιχεία που ακολουθούν (πίνακας 4.2) είναι ετήσια και αφορούν από το 1956 ως το 1993, μια περίοδο δηλαδή 38 χρόνων. Αυτό που μπορεί κάποιος να παρατηρήσει, είναι πως οι άνεμοι που επικρατούν είναι κυρίως ανατολικοί και μετά δυτικοί, βορειοδυτικοί και νοτιοανατολικοί. Κάνοντας έναν απλό υπολογισμό με τα στοιχεία που αναρτώνται στον πίνακα που ακολουθεί και γνωρίζοντας ότι τα 38 χρόνια αντιστοιχούν σε 332880 ώρες μπορεί να βρεθεί ότι φυσούσε ανατολικά 65797ώρες, δυτικά 45571ώρες, βορειοδυτικά 40758 ώρες και νοτιοανατολικά 21510 ώρες στα 38 έτη.

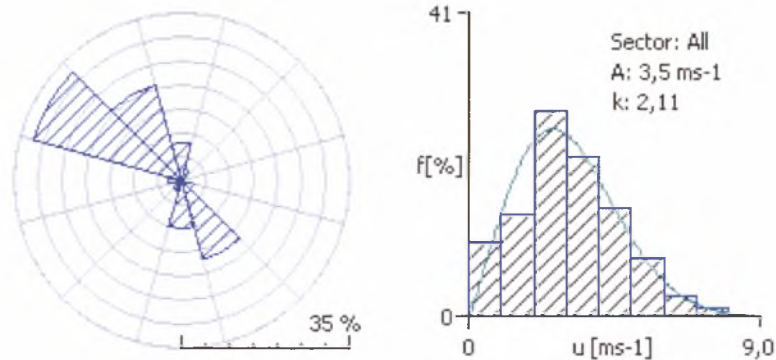
Έτσι, η ισχύς μιας ανεμογεννήτριας 600 kW στη συγκεκριμένη περιοχή με βαθμό απόδοσης 40% θα ήταν περίπου 51800000 kWh.

BEAUF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM	SUM
0									35,201	35,201
1	0,591	0,241	1,018	0,449	0,329	0,186	1,621	0,745		5,180
2	2,650	1,369	6,045	2,070	0,799	0,493	5,388	5,519		24,333
3	1,741	1,336	7,424	2,190	0,383	0,252	4,063	4,074		21,463
4	0,646	0,810	4,293	1,336	0,131	0,099	1,873	1,522		10,710
5	0,131	0,142	0,734	0,307	0,055	0,055	0,537	0,296		2,257
6	0,011	0,077	0,186	0,088	0,011	0,022	0,164	0,066		0,625
7	0,011	0,011	0,044	0,011	0,011	0,011	0,022	0,011		0,132
8	0,011	0,011	0,022	0,011	0,011	0,000	0,011	0,011		0,088
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000		0,011
>11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
SUM	5,792	3,997	19,766	6,462	1,730	1,118	13,690	12,244	35,201	100,000

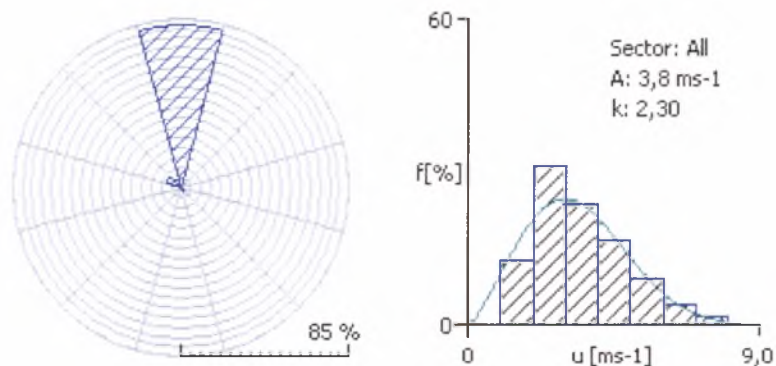
Πίνακας 4.2 Ανεμολογικά δεδομένα για την περιοχή της Αγχιάλου

➤ Βόλος:

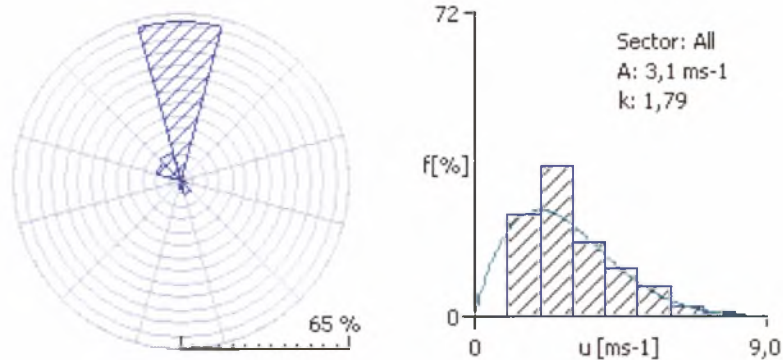
Αντίθετα, τα δεδομένα του Βόλου είναι πρωτογενή και αφορούν 4 χρόνια, από το 1994 ως το 1996 και το 1998. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί, είναι ότι το ανεμόμετρο έπαιρνε τιμές κάθε μια ώρα και έτσι τελικά προέκυψαν τα αρχεία του Excel τα οποία έχουν 3 στήλες: την ώρα που έχει ληφθεί η μέτρηση, την ταχύτητα του ανέμου και την κατεύθυνσή του. Από τα δεδομένα αυτά, στη συνέχεια, προέκυψαν, με τη βοήθεια του WAsP, το ανεμόροδο και η γραφική παράσταση που προσομοιώνει τα αποτελέσματα με την καμπύλη της Weibull για κάθε χρόνο χωριστά (σχήματα 4.5, 4.6, 4.7, 4.8)



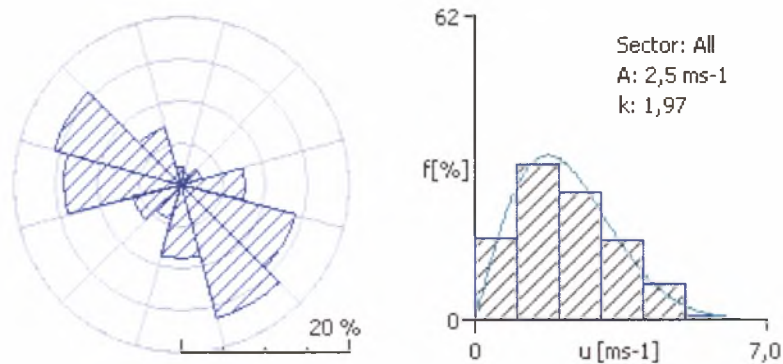
Σχήμα 4.5 Ανεμόροδο και γραφική παράσταση για το 1994



Σχήμα 4.6 Ανεμόροδο και γραφική παράσταση για το 1995



Σχήμα 4.7 Ανεμόροδο και γραφική παράσταση για το 1996



Σχήμα 4.8 Ανεμόροδο και γραφική παράσταση για το 1998

Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς, το 1995 και το 1996 επικρατούν βόρειοι άνεμοι, το 1994 βορειοδυτικοί και νοτιοανατολικοί και το 1998 βορειοδυτικοί, δυτικοί και νοτιοανατολικοί. Επίσης, στις γραφικές παραστάσεις αναγράφονται και οι αντίστοιχες τιμές των παραμέτρων A και k της Weibull.

4.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας-Καμπύλη Ισχύος

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παράγραφο αυτή αφορά μια περιοχή της Κρήτης όπου είναι τοποθετημένη μια ανεμογεννήτρια της Δ.Ε.Η..

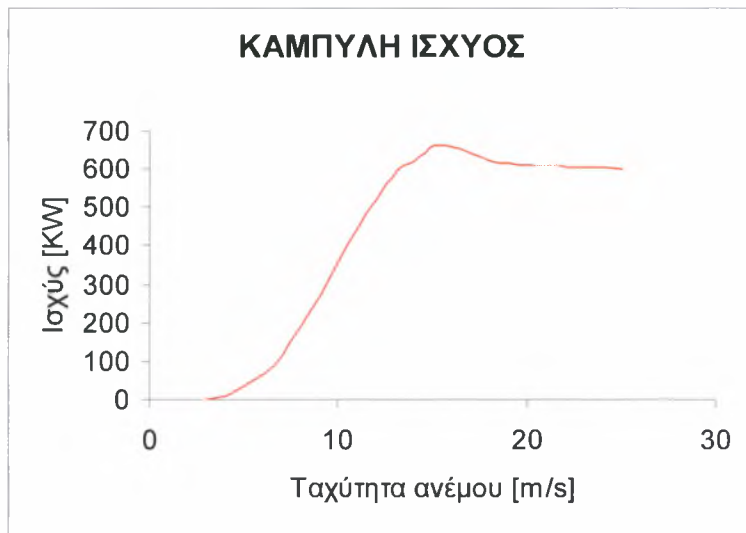
Το ανεμόμετρο που χρησιμοποιήθηκε είναι του κατασκευαστή Carlo Galvazzi και είναι τύπου optoelectric impulse. Κατασκευάζεται από PVC ή από ατσάλι, οι τιμές της ταχύτητας που καταγράφει κυμαίνονται από 2-30 m/s και η διάρκεια ζωής του είναι περίπου 10 χρόνια.

Όσον αφορά την ανεμογεννήτρια, κατασκευάστηκε από τη Micon A/S και είναι τύπου M1500-600/150 kW. Η διάμετρος του ρότορά της, ο οποίος αποτελείται από τρία πτερύγια, είναι 43m, το ύψος των πτερνών της 46m, η ταχύτητα ενάρξεως είναι 3m/s, η ταχύτητα αποκοπής της 25m/s και η ισχύς της 600 kW.

Τα δεδομένα για τη δημιουργία της καμπύλης ισχύος της ανεμογεννήτριας καθώς και η γραφική παράστασή της δίνονται παρακάτω:

Ταχύτητα του ανέμου στο ύψος των πλημνών (m/s)	Καθαρή παραγωγή ισχύος (kW)
0	0,0
1	0,0
2	0,0
3	0,0
4	11,0
5	38,7
6	67,4
7	114,3
8	188,2
9	270,8
10	359,4
11	450,4
12	523,7
13	596,7
14	620,6
15	662,6
16	658,5
17	643,8
18	620,0
19	614,0
20	612,0
21	610,0
22	608,0
23	606,0
24	604,0
25	602,0
26	0,0
27	0,0
28	0,0
29	0,0
30	0,0

Πίνακας 4.3 Δεδομένα καμπύλης ισχύος



Σχήμα 4.9 Γραφική παράσταση της καμπύλης ισχύος

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι τα δεδομένα της καμπύλης ισχύος της ανεμογεννήτριας πρέπει να αντιστοιχούν σε πυκνότητα αέρα $\rho=1.225\text{kg/m}^3$, ατμοσφαιρική πίεση 1013.3 hPa και θερμοκρασία αέρα $T=15^\circ\text{C}$.

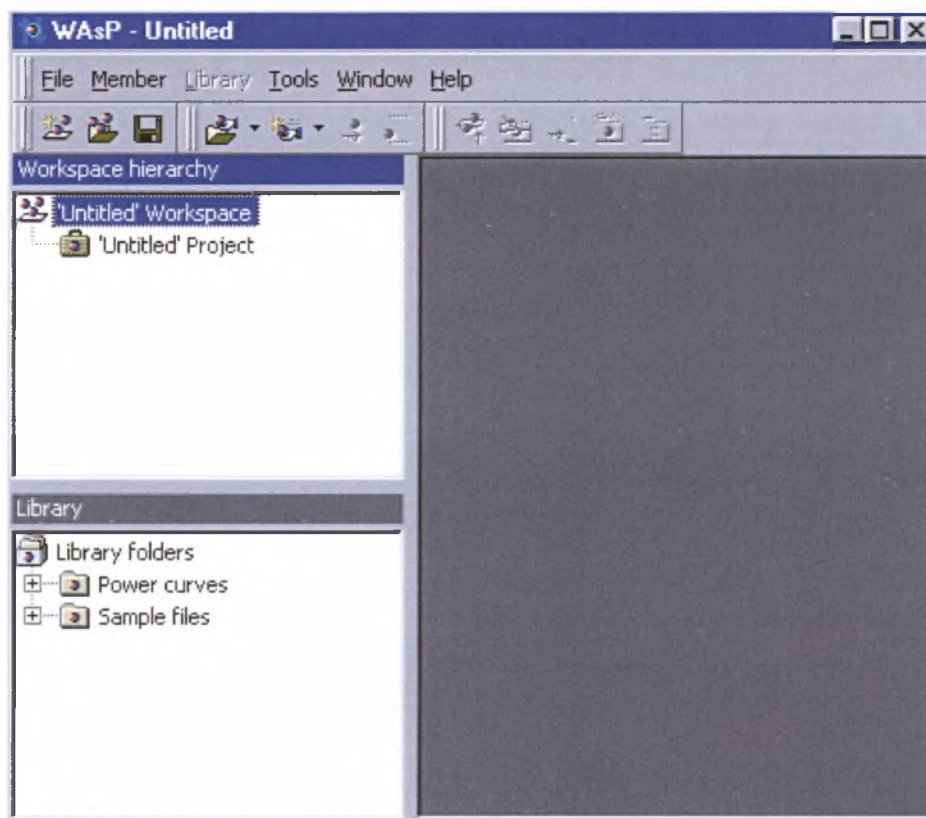
Κεφάλαιο 5

5. Επεξεργασία των δεδομένων με το WAsP

Σ' αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί λεπτομερώς ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιήθηκαν, επεξεργάστηκαν και αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα από το πρόγραμμα ενώ παράλληλα θα παρουσιαστούν και τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

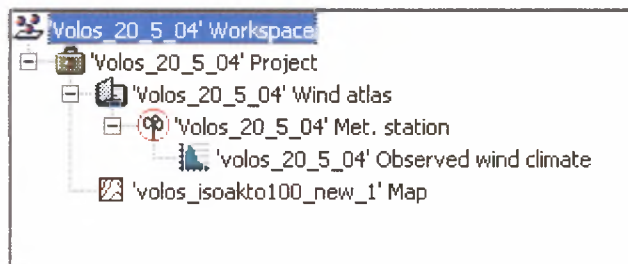
Ανοίγοντας το WAsP εμφανίζεται στο χρήστη ένα κενό παράθυρο. Για να ξεκινήσει να δουλεύει, θα πρέπει αρχικά να δημιουργήσει ένα καινούριο Χώρο Εργασίας (workspace) επιλέγοντάς τον από το Αρχείο που βρίσκεται στη γραμμή εργαλείων του μενού ή από το ήδη υπάρχον εικονίδιο. Στη συνέχεια, θα ανοίξει και ένα Θέμα (project) και αφού τα ονομάσει και τα δύο θα τα σώσει.

Με το άνοιγμα του προγράμματος, εκτός από το παράθυρο που διαμορφώνεται σιγά σιγά η ιεραρχία του χώρου εργασίας ανοίγει και το παράθυρο της βιβλιοθήκης (library) η οποία ουσιαστικά βοηθάει τον χρήστη στην ανεύρεση αρχείων χωρίς αυτός να χάνει χρόνο (εικόνες 5.1, 5.2).

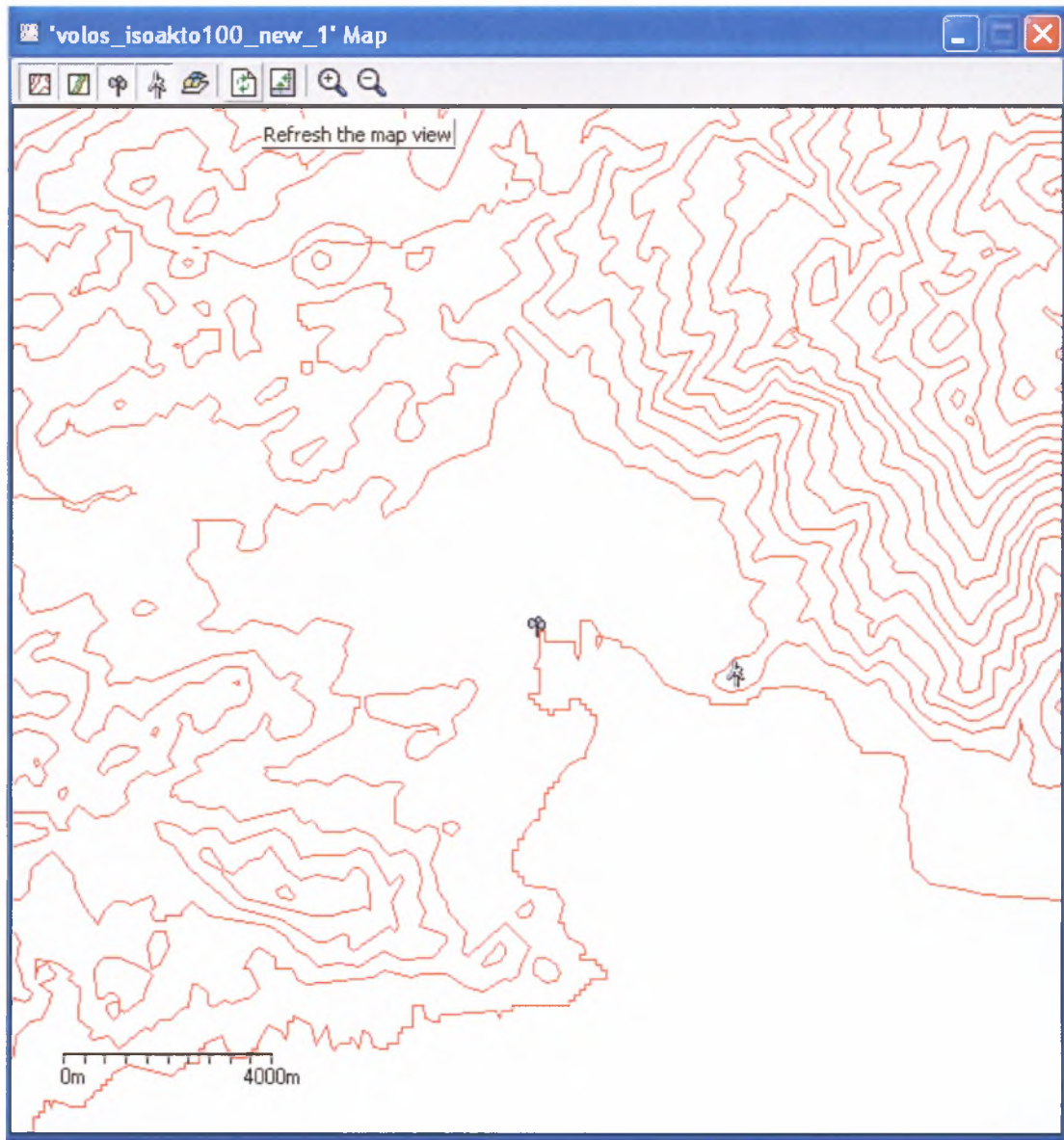


Εικόνα 5.1 Εκκίνηση του προγράμματος

Μόλις ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία ο χρήστης κάνει εισαγωγή στο θέμα τον χάρτη της περιοχής (από αρχείο .bna το οποίο έχει επεξεργαστεί από τον Συντάκτη Χαρτών - Map Editor - για να "διαβαστεί" από το WAsP) (εικόνα 5.3) και ένα καινούριο αιολικό χάρτη (wind atlas) ο οποίος όμως θα προκύψει από το μετεωρολογικό σταθμό. Για το λόγο αυτό γίνεται και εισαγωγή νέου μετεωρολογικού σταθμού στον αιολικό χάρτη. Τελικά, προκύπτει η παρακάτω ιεραρχία:



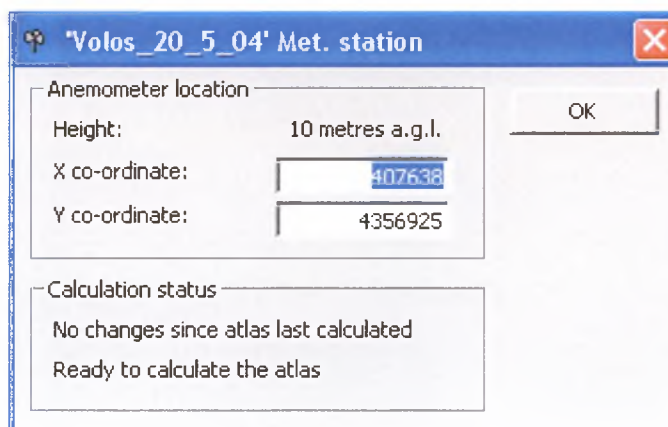
Εικόνα 5.2 Η ιεραρχία



Εικόνα 5.3 Ο χάρτης με τις ισοψείς της περιοχής

Για να συνεχιστεί η διαδικασία, αυτό που χρειάζεται το πρόγραμμα είναι τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής που ενδιαφέρεται ο χρήστης, της ευρύτερης περιοχής του Βόλου στη δική μας περίπτωση.

Πρώτα όμως θα πρέπει να δώσει ο χρήστης τις συντεταγμένες του μετεωρολογικού σταθμού (το σημείο που είναι τοποθετημένο το ανεμόμετρο) (εικόνα 5.4). Οι συντεταγμένες του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και συγκεκριμένα του σημείου που ήταν τοποθετημένο το ανεμόμετρο που έπαιρνε τις μετρήσεις, είναι: γεωγραφικό μήκος $E=407638$ και γεωγραφικό πλάτος $N=4356925$ ($\varphi=39\ 21' 37''$, $\lambda=22\ 55' 49''$). Το ύψος του εισάγεται αυτόματα κατά την επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων από το "μάγο", όπως θα δειχθεί λίγο παρακάτω. Ο κόκκινος κύκλος γύρω από το εικονίδιο του μετ. σταθμού δείχνει ότι δεν έχουν γίνει ακόμα οι υπολογισμοί.

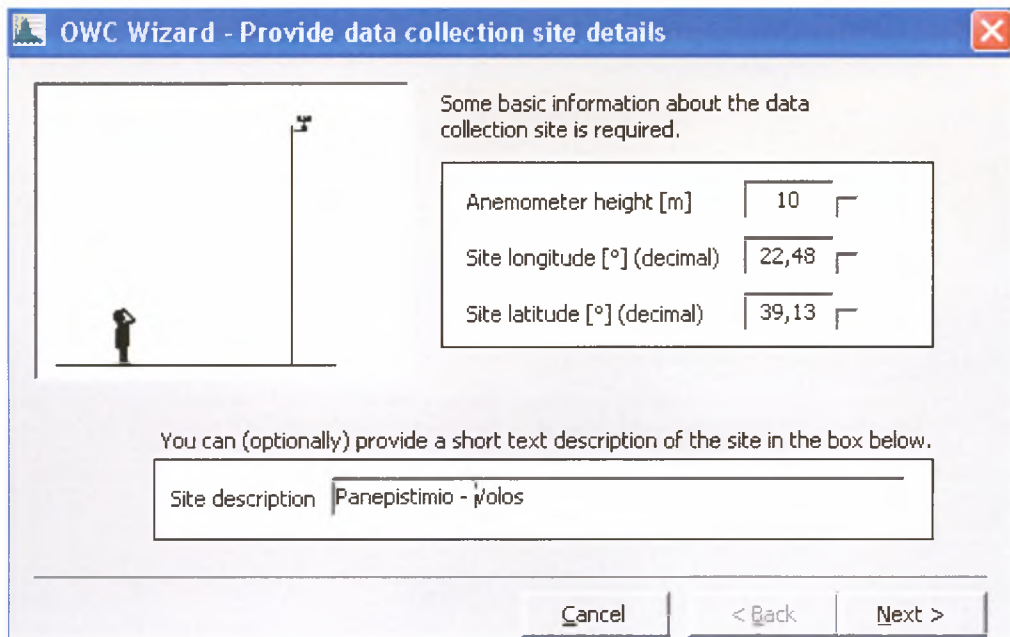


Εικόνα 5.4

Κάτι που πρέπει να σημειωθεί είναι πως γύρω από το ανεμόμετρο δεν υπάρχει κάποιο εμπόδιο, οπότε δε θα υπάρχουν στην ιεραρχία του χώρου εργασίας δεδομένα τέτοιου περιεχομένου αλλά μόνο τραχύτητας.

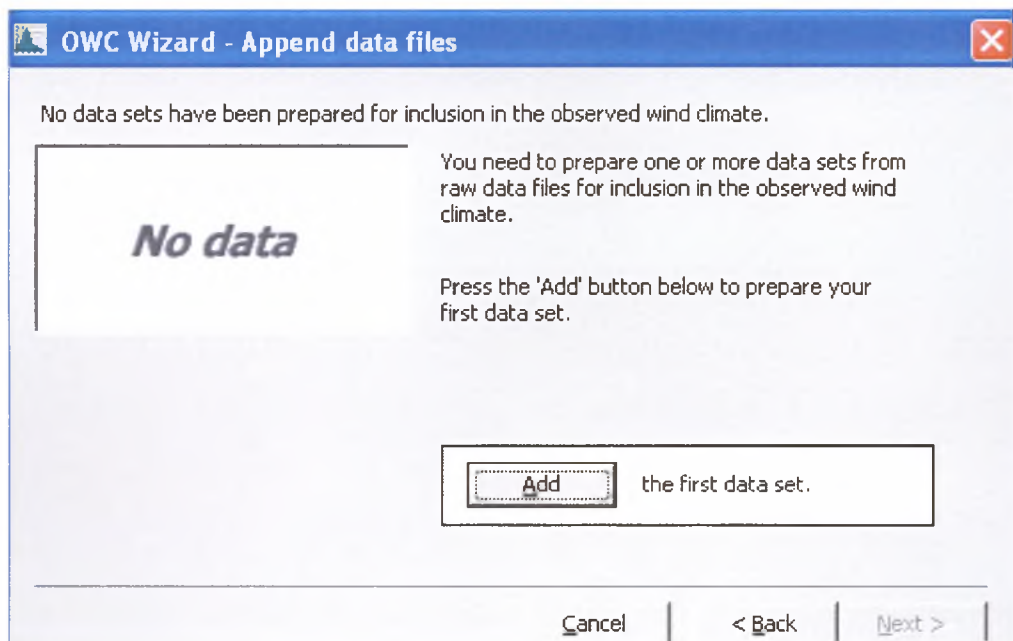
Όσον αφορά τώρα την επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων, ο χρήστης πρέπει να εισάγει στην ιεραρχία τα στοιχεία που προέκυψαν από τις μετρήσεις του ανεμομέτρου για την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου. Για να πραγματοποιηθεί αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο "μάγος" (wizard) του WAsP μια και τα στοιχεία είναι πρωτογενή (raw data) και πρέπει να μετατραπούν σε μια αναγνωρίσιμη μορφή για το πρόγραμμα.

Έτσι, ξεκινώντας τον "μάγο" ο χρήστης δηλώνει το γεωγραφικό μήκος και πλάτος που βρίσκεται το ανεμόμετρο καθώς επίσης και το ύψος του από την επιφάνεια του εδάφους και προαιρετικά μια μικρή περιγραφή - ονομασία της περιοχής που είναι τοποθετημένο (εικόνα 5.5).



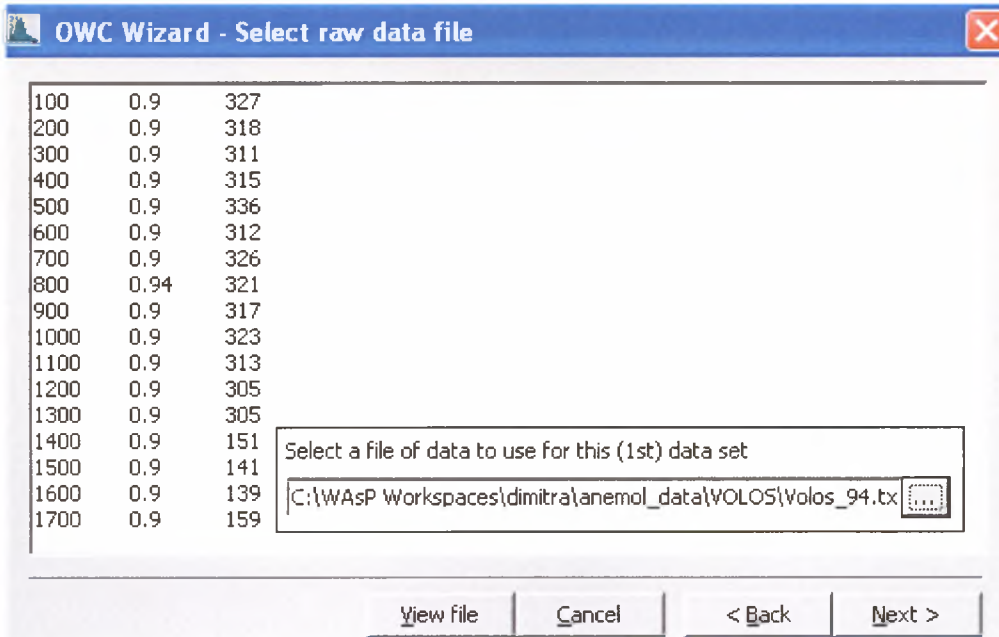
Εικόνα 5.5

Στη συνέχεια, εισάγει το αρχείο (το οποίο είναι μορφής .txt) όπου υπάρχουν αποθηκευμένα τα ανεμολογικά δεδομένα (εικόνα 5.6, 5.7).



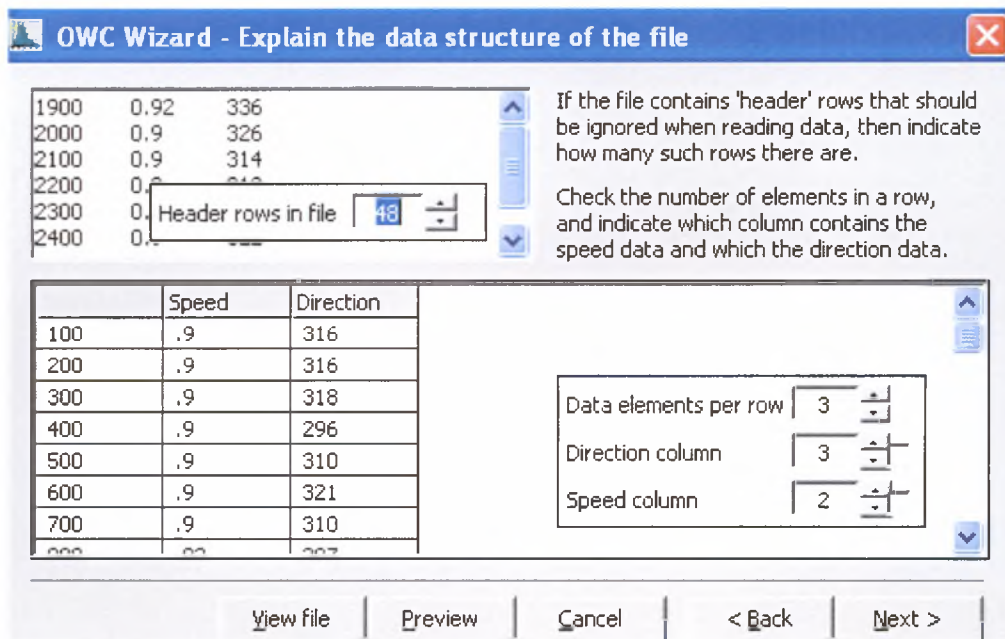
Εικόνα 5.6

Στη συγκεκριμένη περίπτωση το περιεχόμενο του αρχείου αφορά τις μετρήσεις του έτους 1994.



Εικόνα 5.7

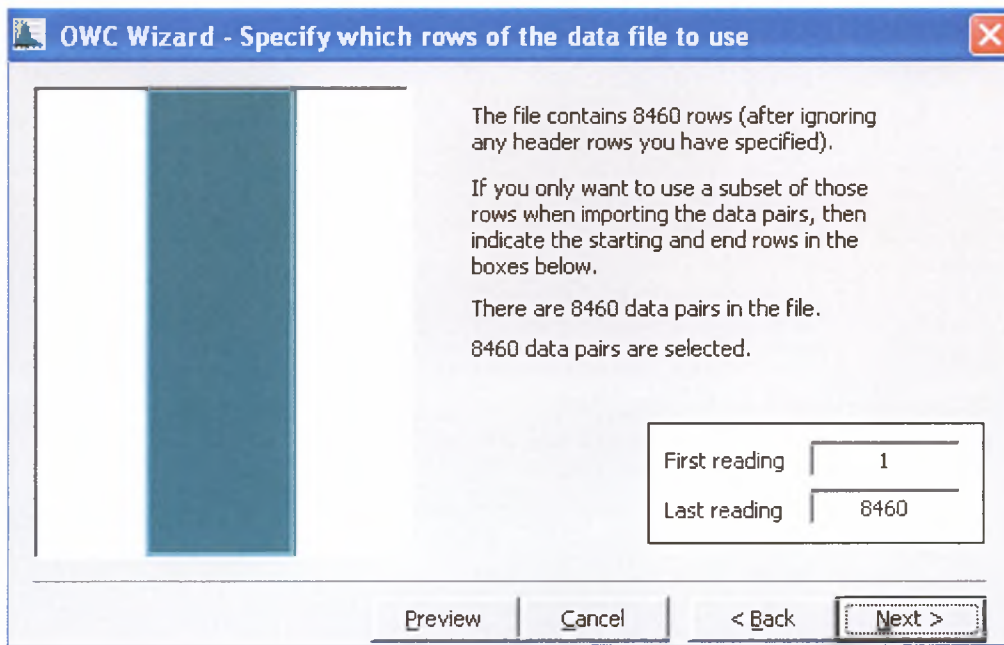
Κατόπιν, αφαιρούνται από το αρχείο οι κενές σειρές καθώς και σειρές που οι τιμές της ταχύτητας είναι λανθασμένες (αρνητικές τιμές ή υπερβολικά μεγάλες που δεν αντιστοιχούν σε πραγματικά δεδομένα) ενώ ταυτόχρονα ο χρήστης δηλώνει σε ποια στήλη αναφέρεται η ταχύτητα και σε ποια η κατεύθυνση του ανέμου για να μην παρερμηνευτούν τα δεδομένα κατά την επεξεργασία τους (εικόνα 5.8).



Εικόνα 5.8

Αφού ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία, ο "μάγος" κάνει μια περιληπτική αναφορά των δεδομένων που έχει επεξεργαστεί και ενημερώνει τον χρήστη για τον αριθμό των σειρών που έχει "διαβάσει".

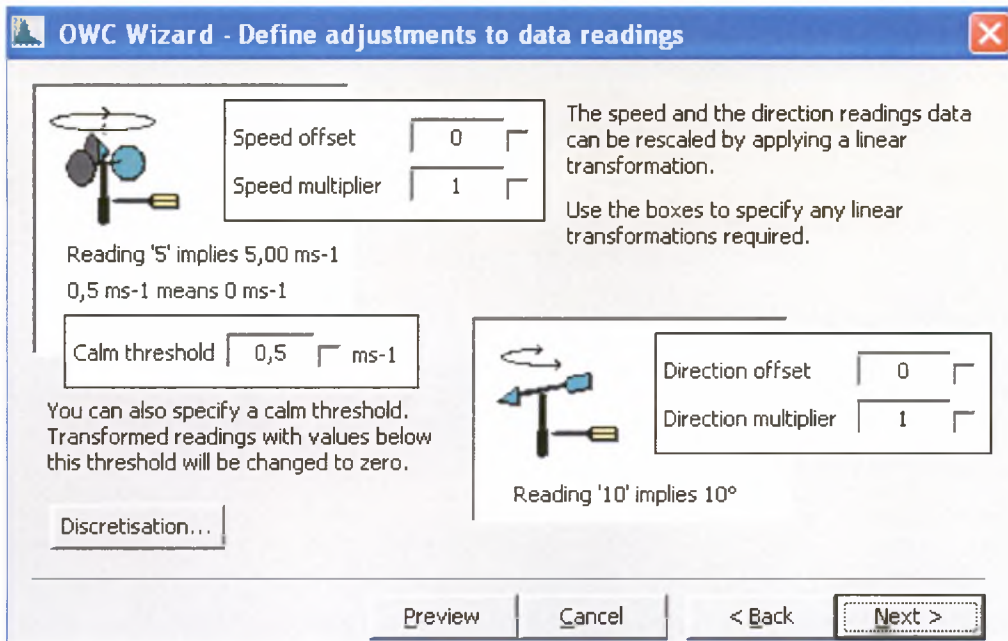
Με τον τρόπο αυτό ο χρήστης είναι σε θέση να αφαιρέσει κάποιες από τις σειρές αν το επιθυμεί, ώστε να αποφύγει τυχόν επεξεργασία τους από το "μάγο", για το λόγο ότι μπορεί να περιέχουν στοιχεία που δε θα ήθελε να χρησιμοποιηθούν στη συγκεκριμένη μελέτη (εικόνα 5.9).



Εικόνα 5.9

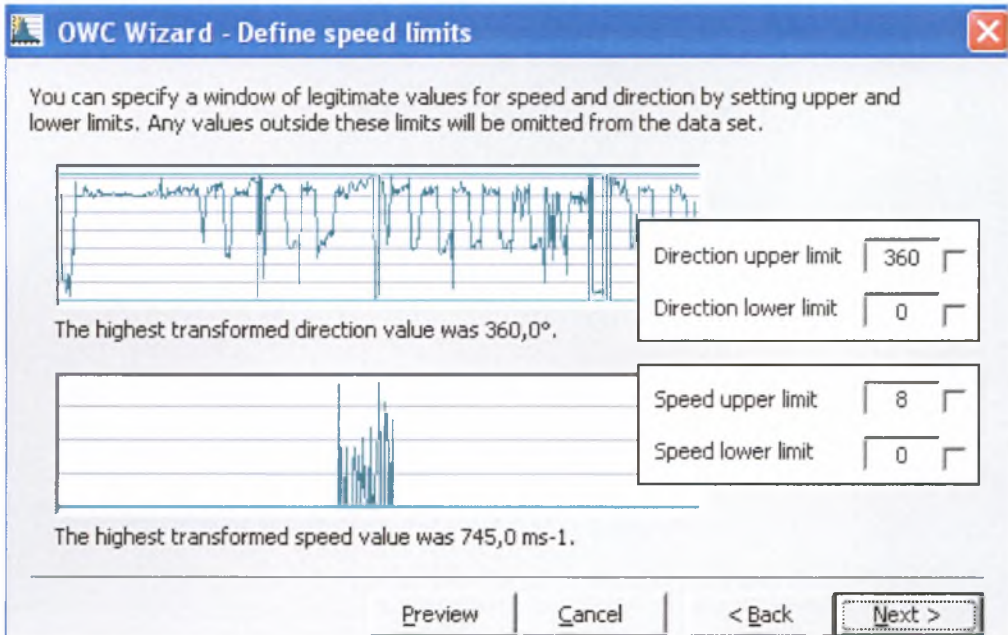
Στο επόμενο "παράθυρο" ο χρήστης μπορεί να δηλώσει την τιμή της ταχύτητας κάτω από την οποία το πρόγραμμα θα λαμβάνει υπόψη ότι είναι νηνεμία (στη συγκεκριμένη εργασία η τιμή αυτή είναι 0.5 m/s) ενώ παράλληλα μπορεί να μετατρέψει τα δεδομένα του αρχείου σε μονάδες του διεθνούς συστήματος (SI) καθώς υπάρχουν ανεμόμετρα που μπορεί να μετράνε την ταχύτητα του ανέμου σε χιλιόμετρα ανά ώρα (km/hour) ή σε μίλια ανά ώρα (miles/hour) ή σε κόμβους (knots) κ.ά.(εικόνα 5.10).

Τα αρχεία που χρησιμοποιήθηκαν στη διπλωματική αυτή έδιναν την ταχύτητα του ανέμου σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/s) και την κατεύθυνσή του σε μοίρες οπότε δεν χρειάστηκε να μετατραπούν.



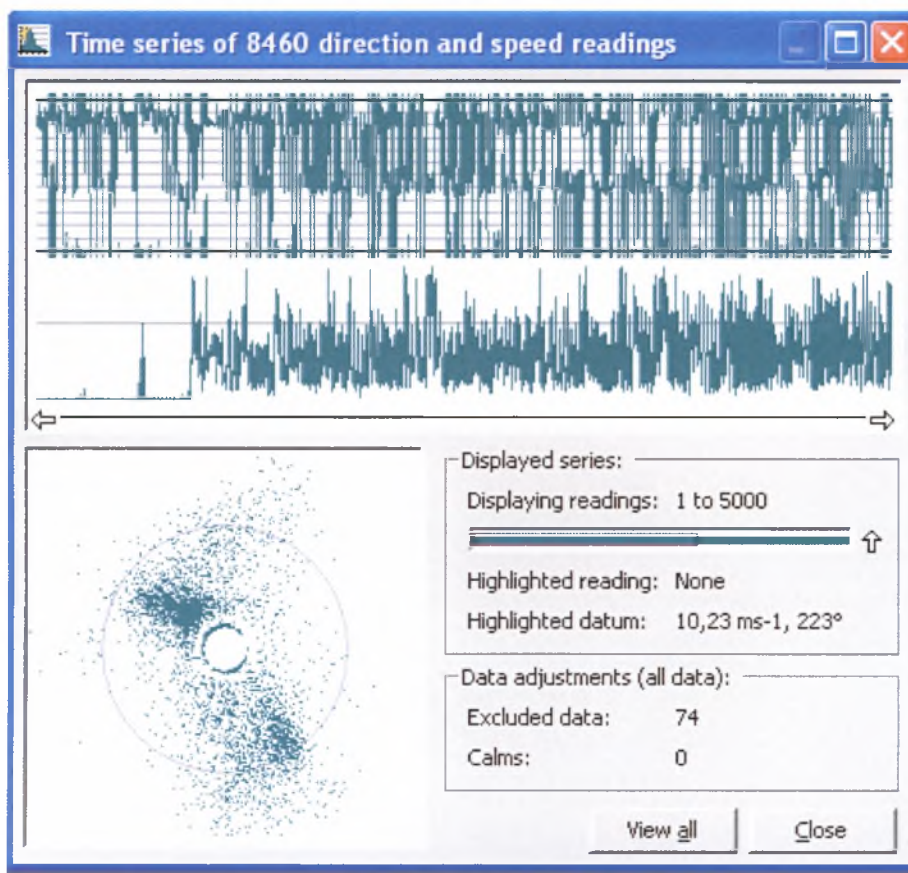
Εικόνα 5.10

Το επόμενο βήμα είναι να οριστούν τα ανώτερα και κατώτερα όρια τόσο της ταχύτητας όσο και της διεύθυνσης του ανέμου. Στην εργασία αυτή, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.11 που ακολουθεί, η ταχύτητα κυμαίνεται από 0-8 m/s και η διεύθυνση από 0-360 μοίρες.



Εικόνα 5.11

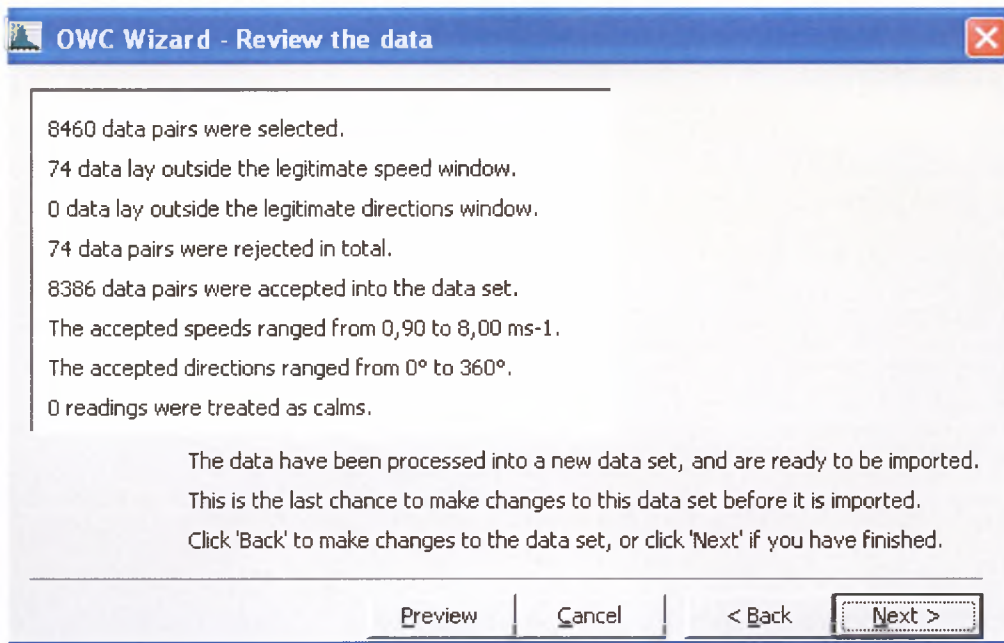
Πατώντας το κουμπί "προεπισκόπηση" (preview) στο παραπάνω "παράθυρο" θα παρουσιαστούν τα ανεμολογικά δεδομένα σε διάφορα γραφήματα (χρονική καταγραφή της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου) όπως αυτά που ακολουθούν (εικόνα 5.12).



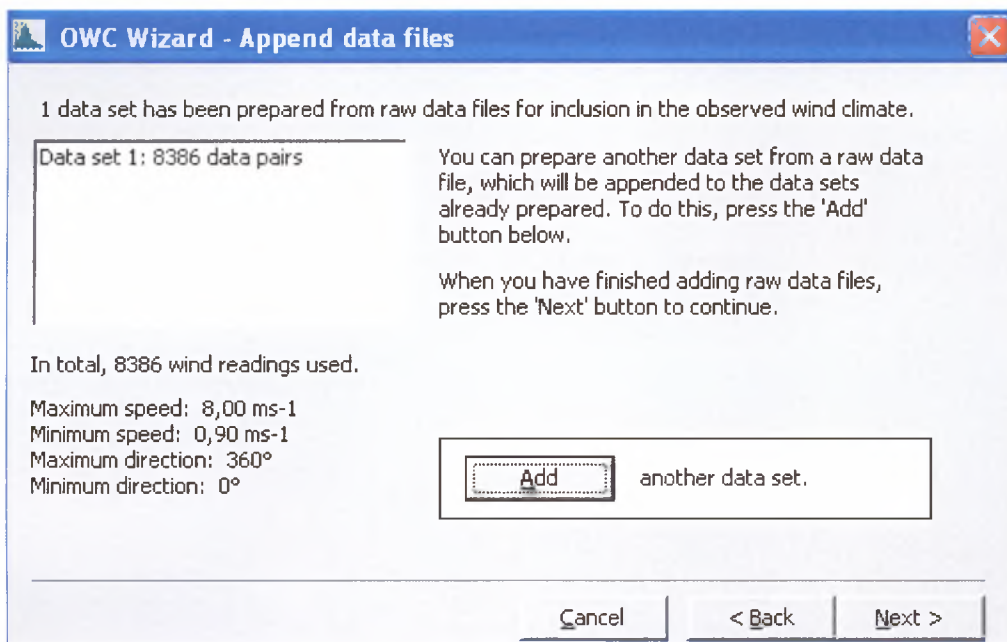
Εικόνα 5.12

Στο τέλος γίνεται μια συγκεντρωτική, περιληπτική αναφορά όλων των παραπάνω και είναι η τελευταία ευκαιρία που έχει ο χρήστης να αλλάξει κάτι στο συγκεκριμένο σετ δεδομένων(εικόνα 5.13).

Παρόλ' αυτά πατώντας το κουμπί "επόμενο" δεν ολοκληρώνεται η διαδικασία καθώς ο χρήστης μπορεί, αν το επιθυμεί βέβαια, να προσθέσει και άλλα δεδομένα π.χ. για άλλες χρονιές (εικόνα 5.14).

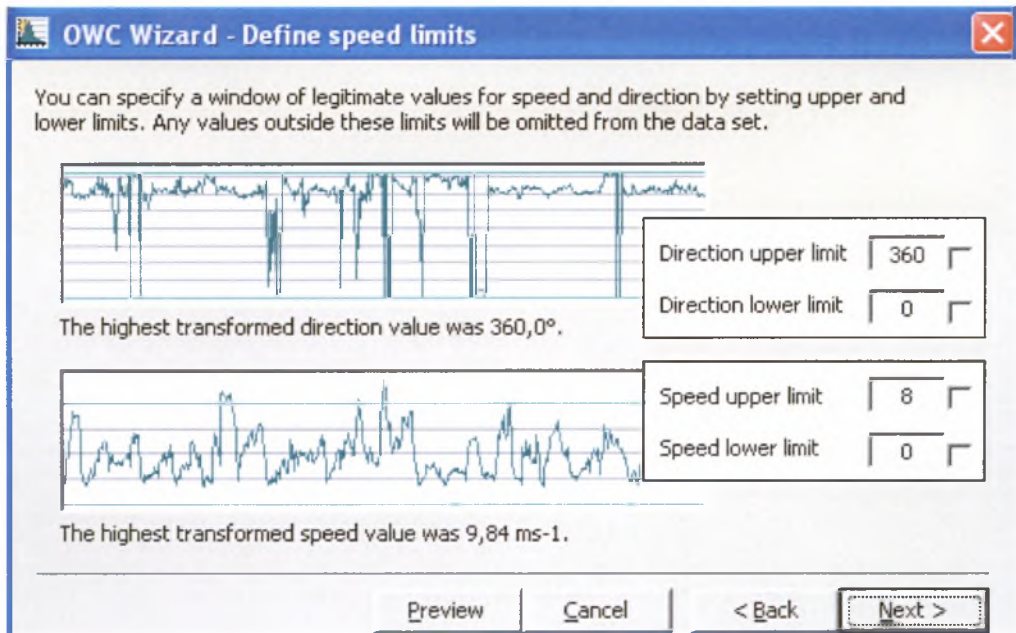


Εικόνα 5.13

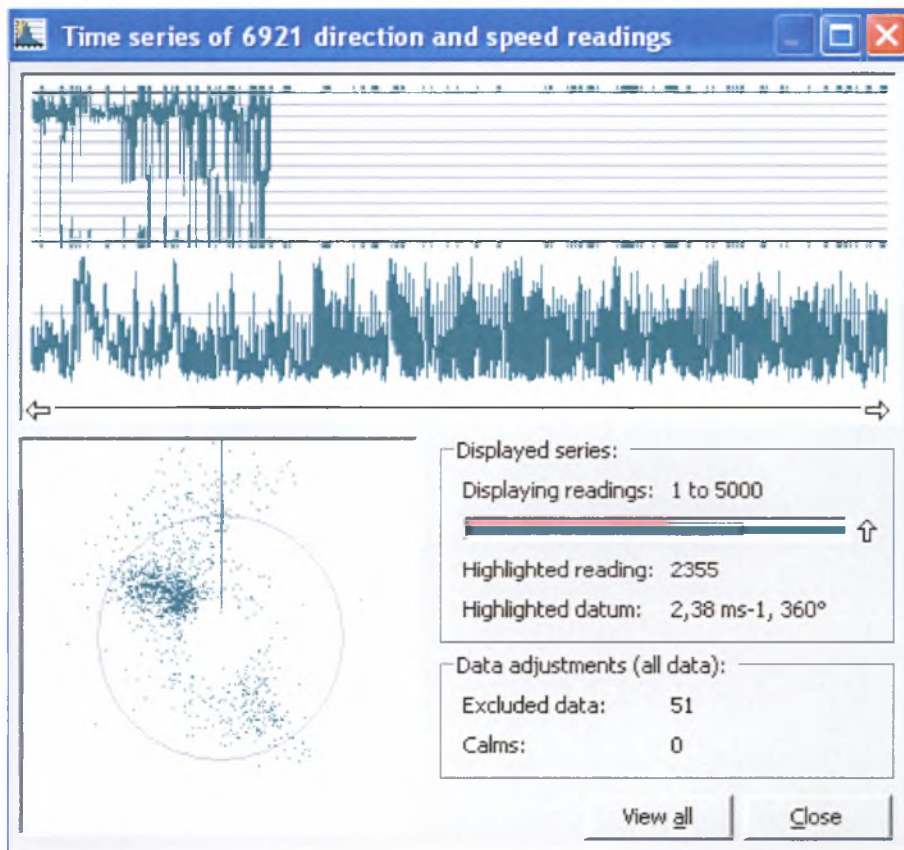


Εικόνα 5.14

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν γι' αυτή τη μελέτη αφορούν μια περίοδο 3 χρόνων, από το 1994 ως το 1996, οπότε προστέθηκαν άλλα δύο σετ δεδομένων (εικόνες 5.15, 5.16, 5.17, 5.18).

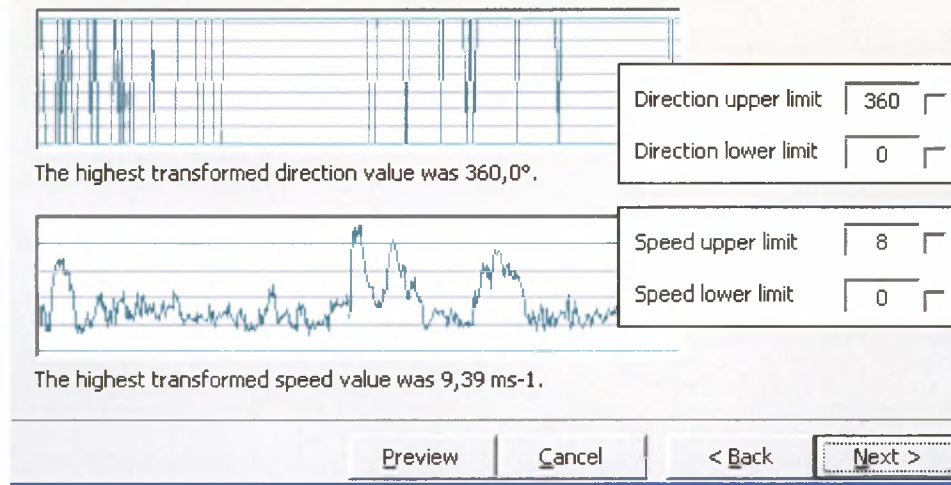


Εικόνα 5.15

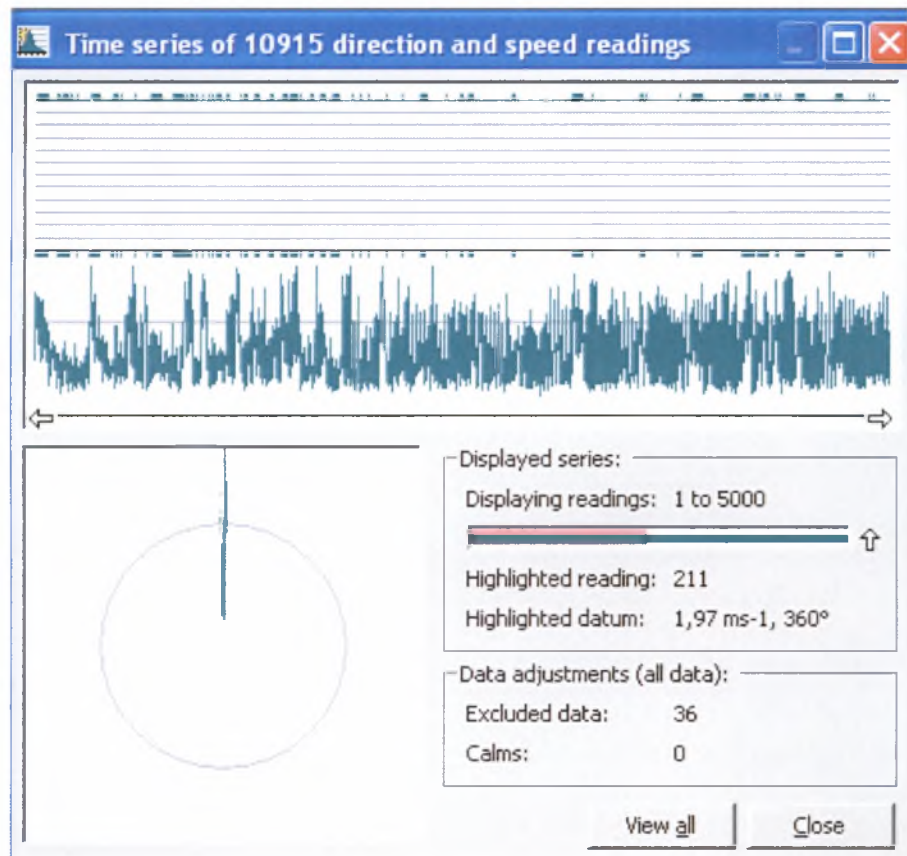


Εικόνα 5.16

You can specify a window of legitimate values for speed and direction by setting upper and lower limits. Any values outside these limits will be omitted from the data set.

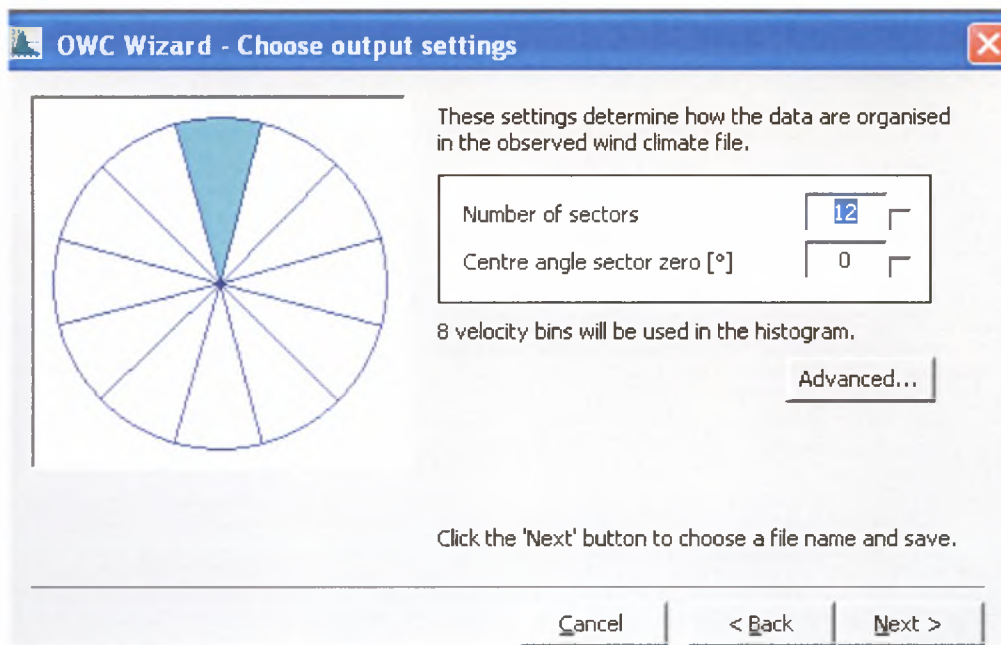


Εικόνα 5.17



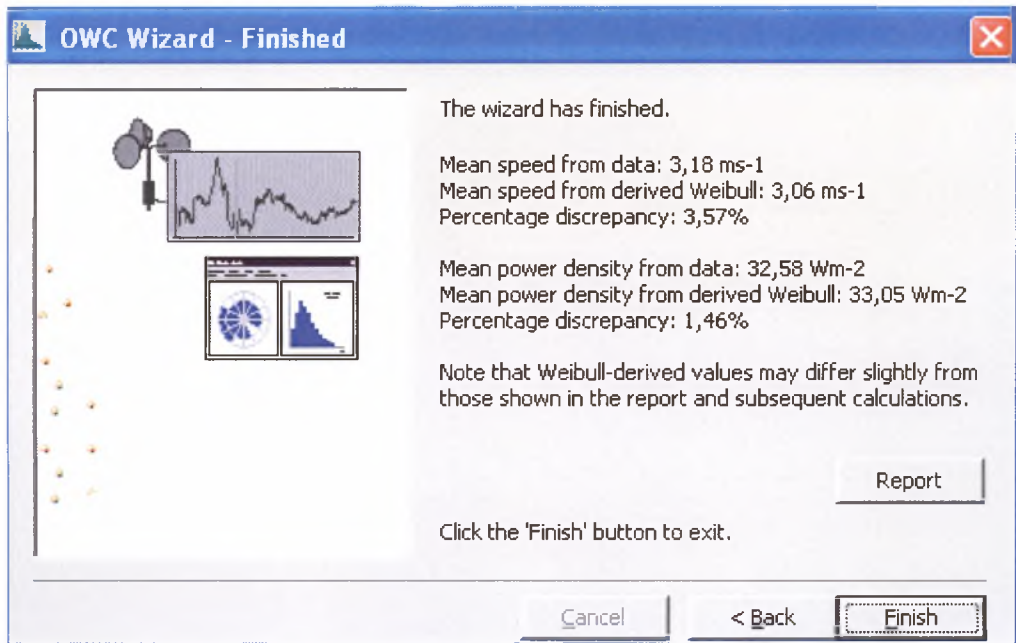
Εικόνα 5.18

Μόλις ολοκληρωθεί η εισαγωγή όλων των δεδομένων ορίζεται ο αριθμός των τομέων στους οποίους θα χωριστεί το ανεμόροδο που θα προκύψει και το κέντρο της γωνίας του πρώτου τομέα (εικόνα 5.19).



Εικόνα 5.19

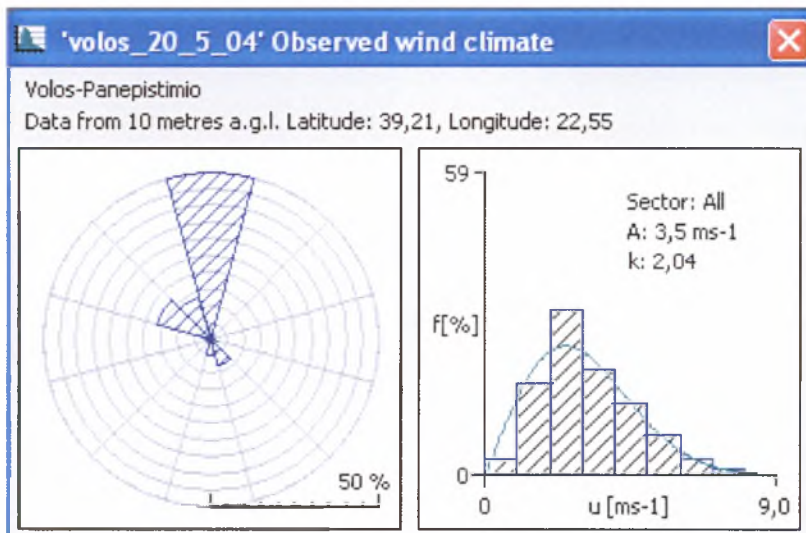
Στο σημείο αυτό ολοκληρώνεται ο "μάγος" (εικόνα 5.20) αλλά πριν πατήσει ο χρήστης το κουμπί του τέλους θα πρέπει να διαβάσει την αναφορά (report) που έχει συνάψει ο "μάγος". Με τον τρόπο αυτό θα μπορέσει να ελέγξει τη μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου και της πυκνότητας της ισχύος. Η απόκλιση τους από αυτές της κατανομής Weibull με την οποία προσομοιώνονται θα πρέπει να είναι μικρή αλλιώς τα αποτελέσματα που θα προκύψουν θα είναι λανθασμένα και φυσικά θα πρέπει να επαναληφθεί όλη η διαδικασία από την αρχή. Αυτό που μπορεί να παρατηρήσει κανείς στην αναφορά που προκύπτει είναι η αρκετά μικρή της τιμής της μέσης πυκνότητας ισχύος.



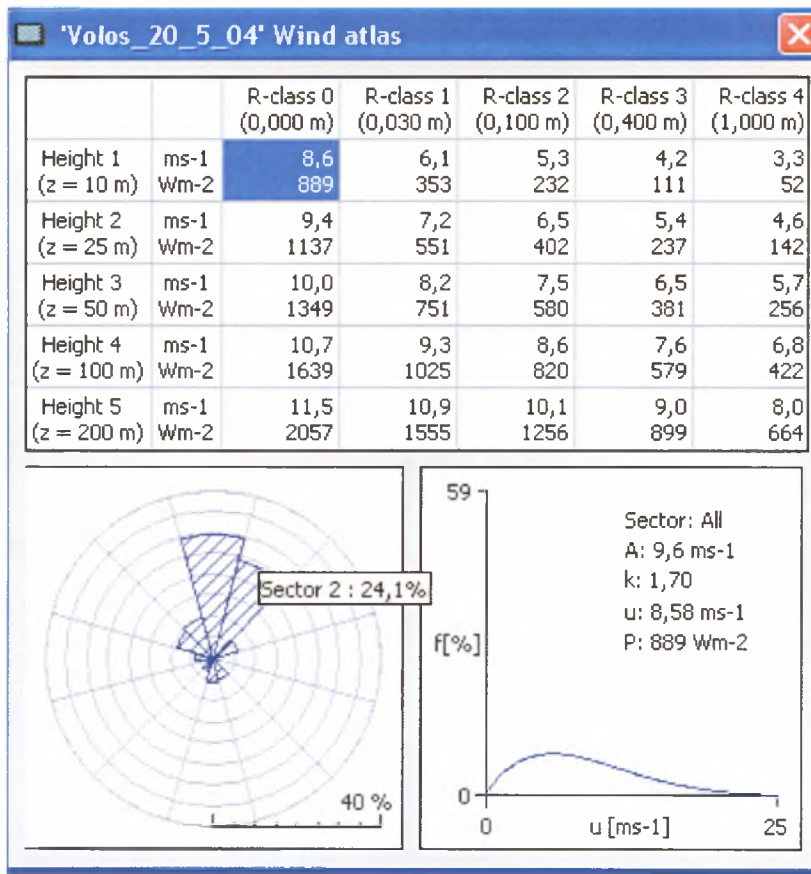
Εικόνα 5.20

Τελικά, το "παράθυρο" που εμφανίζεται στο περιβάλλον του WASP είναι αυτό που ακολουθεί (εικόνα 5.21) και περιλαμβάνει: αριστερά το ανεμόροδο που δείχνει τις σχετικές συχνότητες της διεύθυνσης του ανέμου για κάθε τομέα και στα δεξιά την γραφική παράσταση όπου παρουσιάζεται το ιστόγραμμα των συχνοτήτων της ταχύτητας του ανέμου στο σημείο της συλλογής τους.

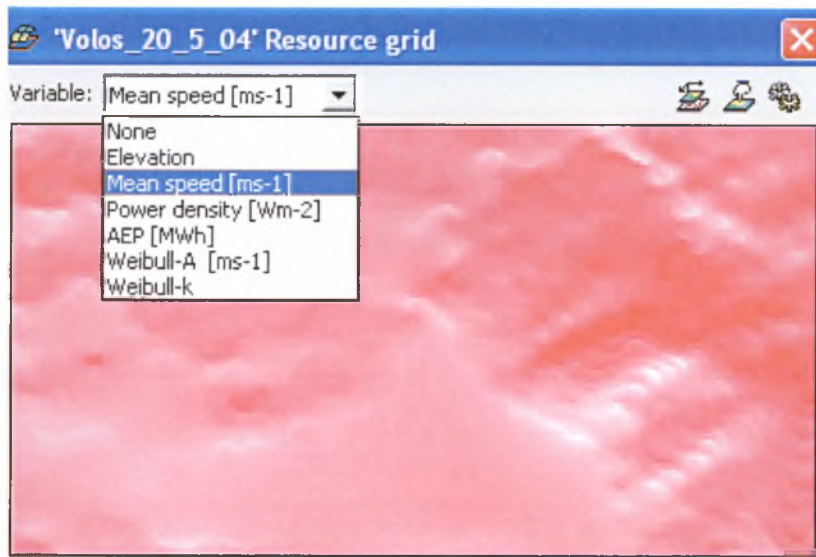
Όπως μπορεί κανείς να παρατηρήσει οι άνεμοι που επικρατούν είναι κατά κύριο λόγο βόρειοι ενώ παράλληλα οι τιμές των παραμέτρων A και k της Weibull είναι 3.5 m/s και 2.04 αντίστοιχα.



Εικόνα 5.21

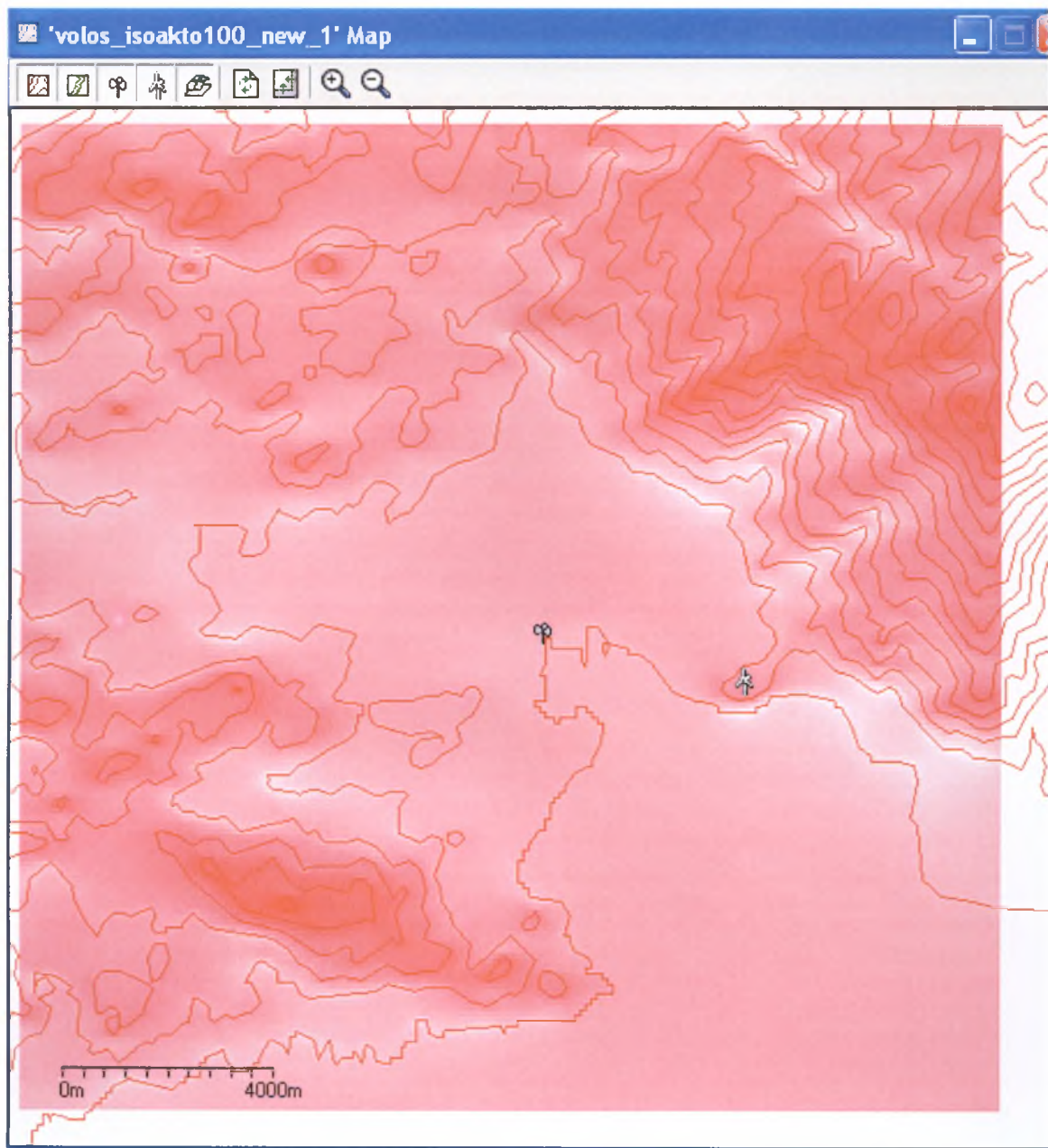


Εικόνα 5.23



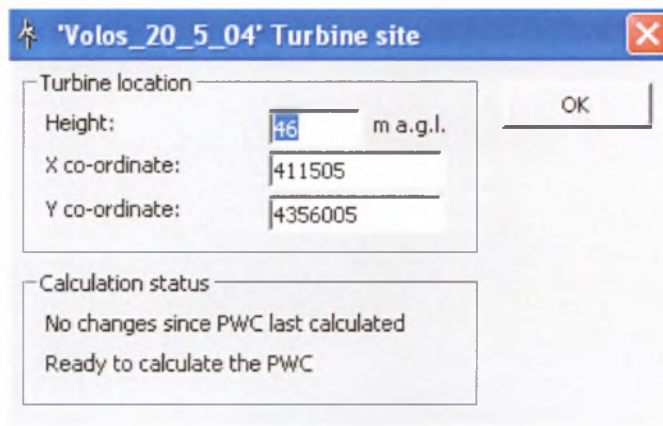
Εικόνα 5.25

Το πλέγμα ανάλυσης δεδομένων είναι δυνατόν να προσαρμοστεί και πάνω στο χάρτη της περιοχής που ενδιαφέρει το χρήστη ώστε ο ίδιος αλλά και οι υπόλοιποι ενδιαφερόμενοι να έχουν μια πιο σαφή εικόνα (εικόνα 5.26).



Εικόνα 5.26

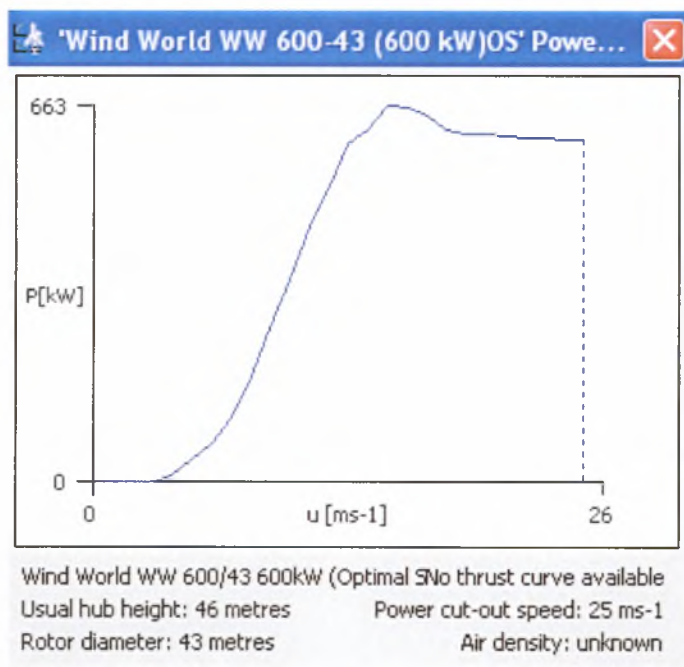
Προχωρώντας στην τοποθέτηση της ανεμογεννήτριας ο χρήστης αρχικά πρέπει να την εισάγει στην ιεραρχία και στη συνέχεια να δηλώσει τις συντεταγμένες του σημείου που έχει επιλέξει να την τοποθετήσει (εικόνα 5.27). Το ύψος από την επιφάνεια του εδάφους είναι το ύψος των πλημνών (hub height) το οποίο μπορεί να τοποθετηθεί και αυτόματα με την εισαγωγή της καμπύλης ισχύος της γεννήτριας.



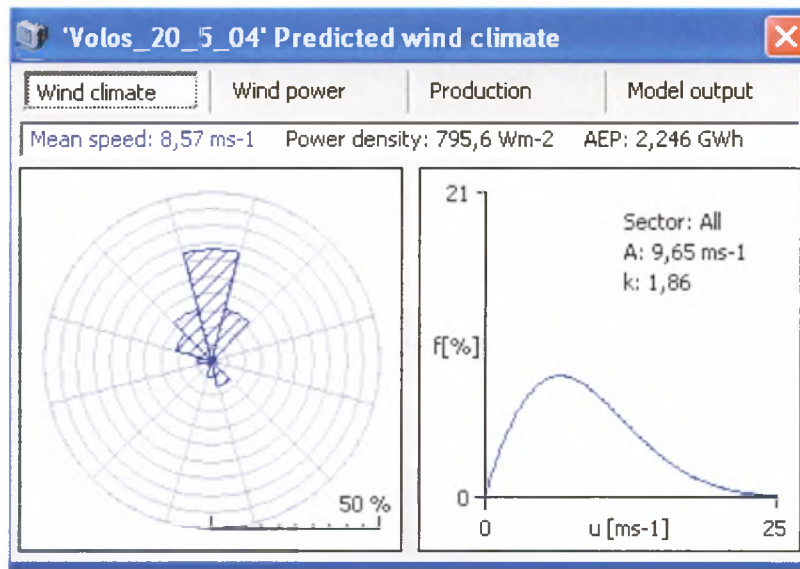
Εικόνα 5.27

Κατόπιν, επιλέγεται η ανεμογεννήτρια που θα χρησιμοποιηθεί και σύμφωνα με το αρχείο (εικόνα 5.28) που περιέχει το ύψος των πλημνών, τη διάμετρο του ρότορα καθώς και την ισχύ της γεννήτριας σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου δημιουργείται η καμπύλη ισχύος της (εικόνα 5.29).

Η ανεμογεννήτρια που χρησιμοποιήθηκε στη διπλωματική αυτή είναι 600 kW, η ταχύτητα αποκοπής της είναι 25 m/s, το ύψος των πλημνών της είναι 46 m έχει 43 m διάμετρο ρότορα.

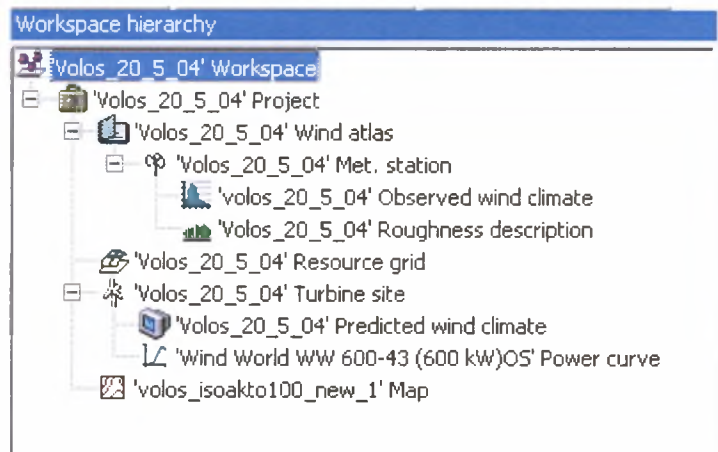


Εικόνα 5.29



Εικόνα 5.30

Τελικά, η τελική μορφή της ιεραρχίας είναι αυτή που φαίνεται στην εικόνα 5.31.



Εικόνα 5.31

Κεφάλαιο 6

6. Σενάρια παραγωγής ενέργειας

Σ' αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν διάφορα σενάρια παραγωγής ενέργειας ανάλογα με τη διεύθυνση του ανέμου και ανάλογα με το μήνα. Τα μηνιαία δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν αφορούν τους μήνες από Ιανουάριο ως και Ιούλιο του 1997 καθώς επίσης και των μηνών του Νοεμβρίου και του Δεκεμβρίου του ίδιου έτους μιας και δεν ήταν εφικτή η εύρεση δεδομένων των υπόλοιπων μηνών.

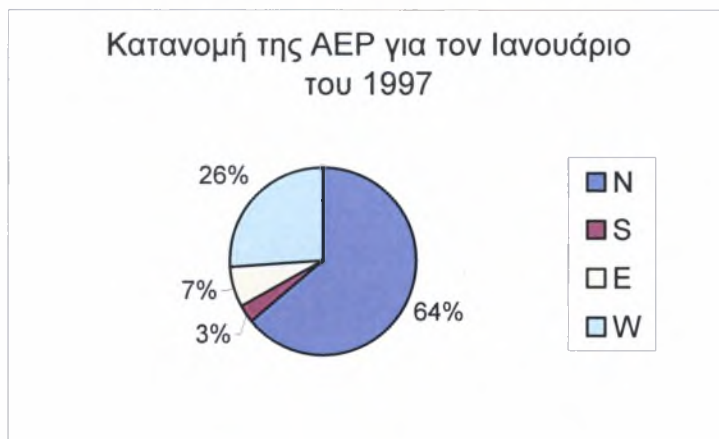
Επίσης, στα δεδομένα που ήδη έχουν χρησιμοποιηθεί στη διπλωματική αυτή, θα γίνουν διάφορες μεταβολές στην τραχύτητα του εδάφους σε έναν τομέα (sector), ώστε να παρατηρηθεί η διακύμανση και η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου στην περιοχή του μετεωρολογικού σταθμού, της πυκνότητας ισχύος και της ετήσιας παραγωγής ενέργειας (ΑΕΡ) στην περιοχή της ανεμογεννήτριας.

6.1 Διεύθυνση του ανέμου

Έχοντας επεξεργαστεί τα μηνιαία δεδομένα του 1997 (όσα ήταν διαθέσιμα) με το Excel προέκυψαν τα γραφήματα που ακολουθούν, στα οποία παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο κατανέμονται οι ταχύτητες του ανέμου ανάλογα με τη διεύθυνσή του. Το ίδιο συμβαίνει και με την ετήσια παραγωγή ενέργειας, φαίνεται δηλαδή από τα παρακάτω σχήματα σε ποια διεύθυνση του ανέμου η παραγωγή είναι μεγαλύτερη (σχήματα 6.1 ως 6.18).

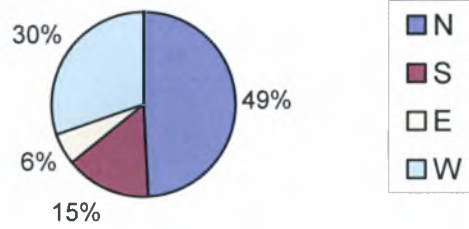


Σχήμα 6.1



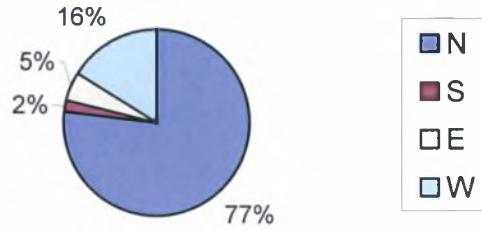
Σχήμα 6.2

Κατανομή των ταχυτήτων του ανέμου για τον Φεβρουάριο του 1997



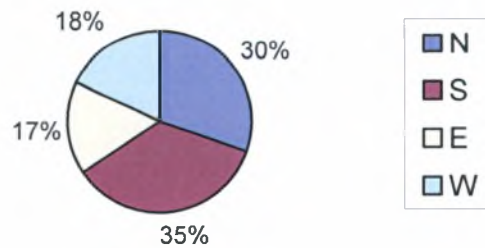
Σχήμα 6.3

Κατανομή της ΑΕΡ για τον Φεβρουάριο του 1997



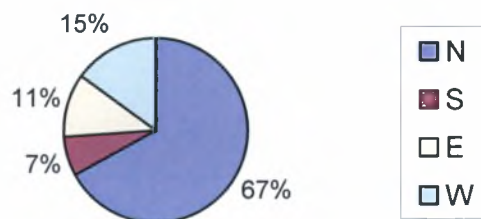
Σχήμα 6.4

Κατανομή των ταχυτήτων του ανέμου για τον Μάρτιο του 1997



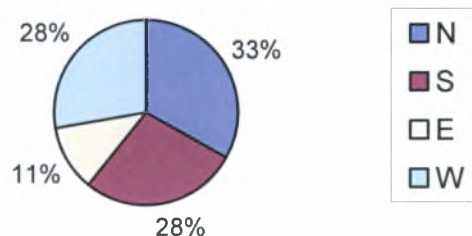
Σχήμα 6.5

Κατανομή της ΑΕΡ για τον Μάρτιο του 1997



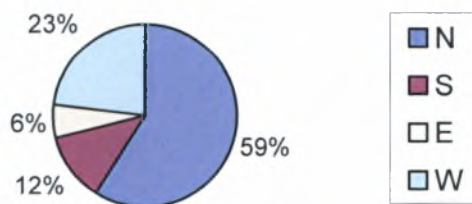
Σχήμα 6.6

Κατανομή των ταχυτήτων του ανέμου για τον Απρίλιο του 1997



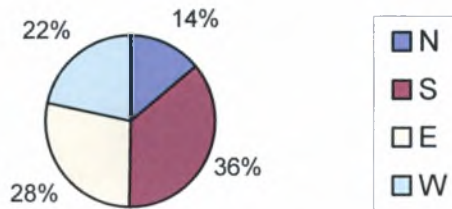
Σχήμα 6.7

Κατανομή της ΑΕΡ για τον Απρίλιο του 1997



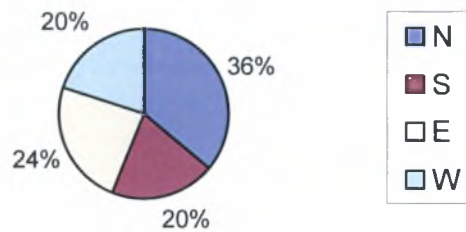
Σχήμα 6.8

Κατανομή των ταχυτήτων του ανέμου για
το Μάιο του 1997



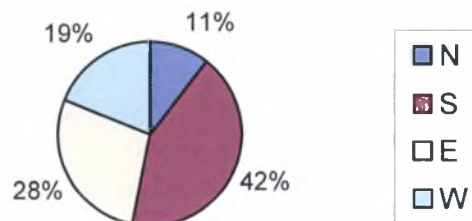
Σχήμα 6.9

Κατανομή της ΑΕΡ για το Μάιο
του 1997



Σχήμα 6.10

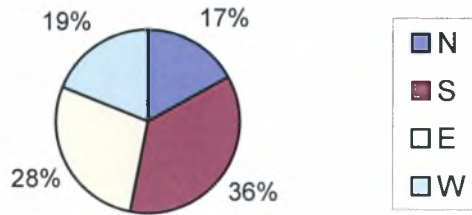
Κατανομή των ταχυτήτων του ανέμου
για τον Ιούνιο του 1997



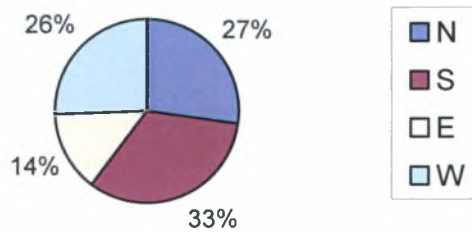
Σχήμα 6.11

Σχήμα 6.12

Κατανομή της ΑΕΡ για τον Ιούνιο
του 1997

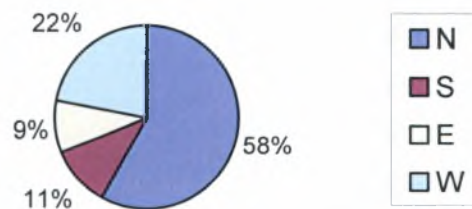


Κατανομή των ταχυτήτων του ανέμου
για τον Ιούλιο του 1997



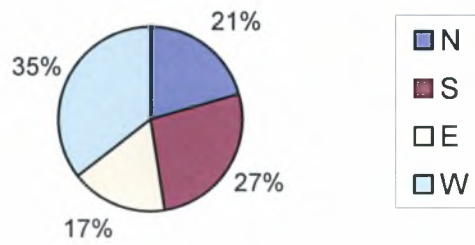
Σχήμα 6.13

Κατανομή της ΑΕΡ για τον Ιούλιο
του 1997



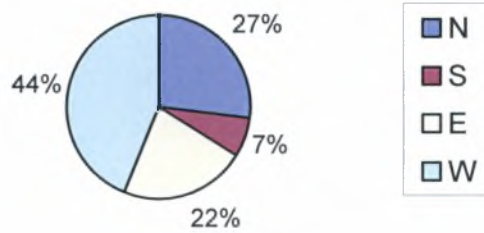
Σχήμα 6.14

Κατανομή των ταχυτήτων του ανέμου
για το Νοέμβριο του 1997



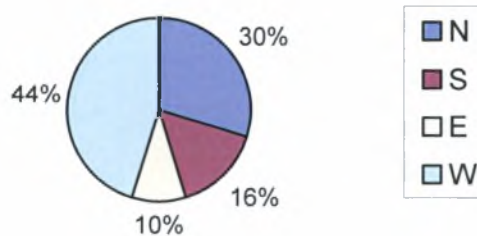
Σχήμα 6.15

Κατανομή της ΑΕΡ για το Νοέμβριο
του 1997



Σχήμα 6.16

Κατανομή των ταχυτήτων του ανέμου
για τον Δεκέμβριο του 1997



Σχήμα 6.17

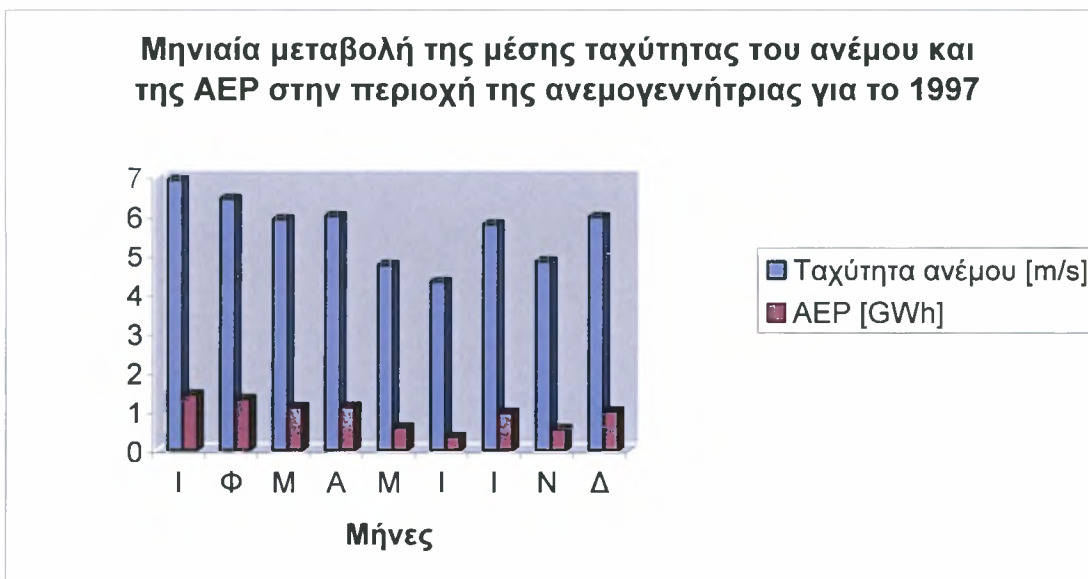


Σχήμα 6.18

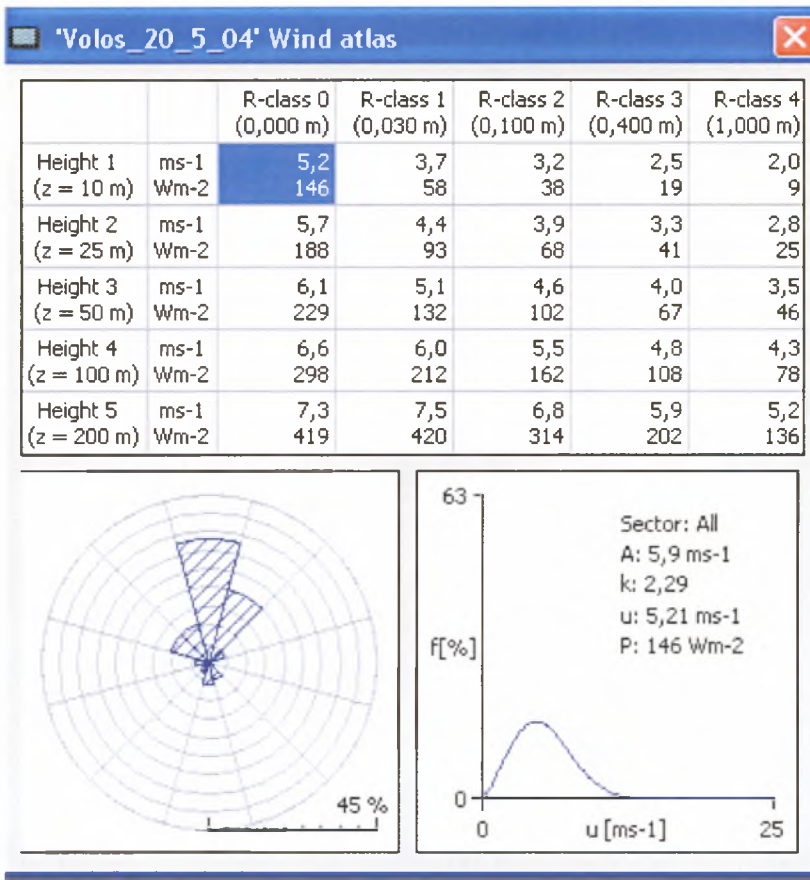
Παρατηρώντας προσεχτικά τα γραφήματα, μπορεί να καταλάβει κανείς πως οι άνεμοι που επικρατούσαν το έτος 1997 τους χειμερινούς και τους ανοιξιάτικους μήνες ήταν κυρίως Βόρειοι και Δυτικοί ενώ από το Μάιο και μετά ήταν Νότιοι και Ανατολικοί.

Παρόλα αυτά όμως, το μεγαλύτερο ποσοστό της ετήσιας παραγωγής ενέργειας το έδιναν οι Βόρειοι και οι Δυτικοί άνεμοι με εξαίρεση το Μάιο και τον Ιούνιο που τα ποσοστά που αντιστοιχούσαν σε κάθε διεύθυνση ήταν σχεδόν ισόποσα.

Παρακάτω (σχήμα 6.19) ακολουθεί ένα γράφημα στο οποίο φαίνεται η διακύμανση της μέσης ταχύτητας και της ετήσιας παραγωγής ενέργειας κάθε μήνα για τη χρονιά του 1997. Το βασικό είναι ότι τους μήνες που είναι απαραίτητη η ενέργεια λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών που επικρατούν στην ατμόσφαιρα, υπάρχουν υψηλές τιμές ταχύτητας αλλά και παραγωγή που μπορεί να συνεισφέρει στις ενεργειακές ανάγκες και να καλύψει ένα μέρος τους.



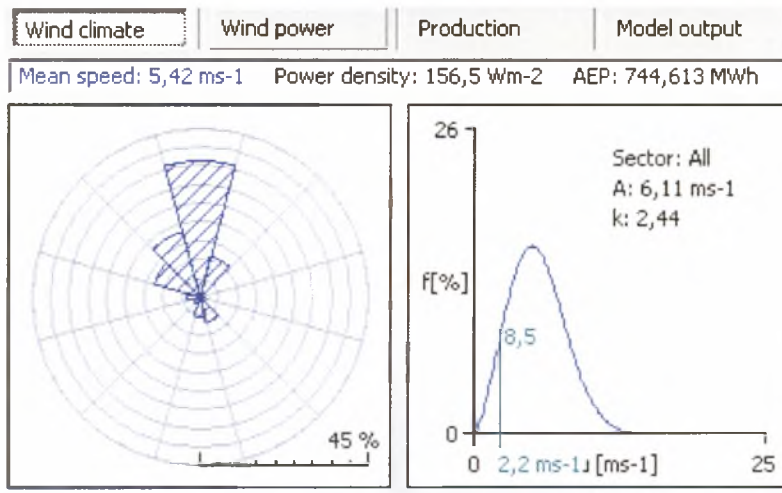
Σχήμα 6.19



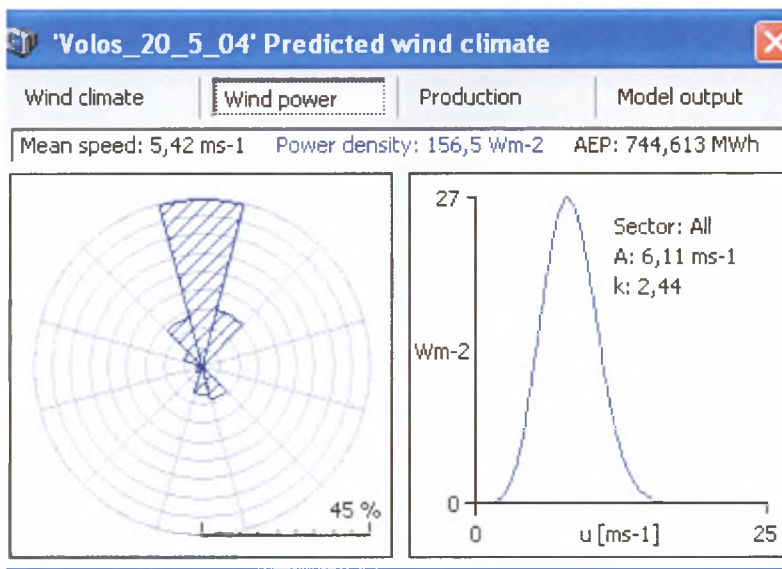
Εικόνα 6.2

Αυτό που επίσης αλλάζει, είναι και τα αποτελέσματα που προκύπτουν μετά τους υπολογισμούς από την τοποθέτηση της ανεμογεννήτριας. Η μέση τιμή της ταχύτητας όπως και η πυκνότητα ισχύος μειώνονται σημαντικά από 8.57 m/s και 795.6 W/m² σε 5.42 m/s και 156.5 W/m² αντίστοιχα ενώ παράλληλα η ετήσια παραγωγή ενέργειας (ΑΕΡ) αυξάνεται υπερβολικά από 2.246 GWh σε 744.613 GWh.

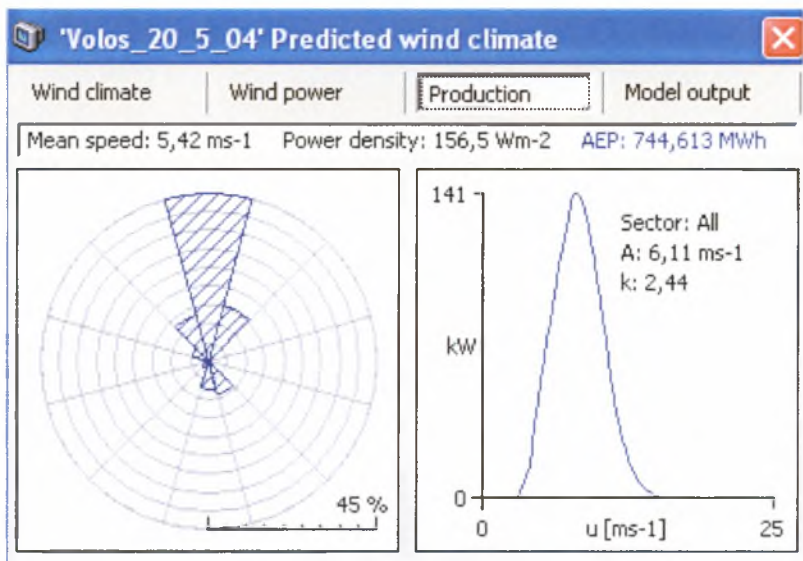
Και ενώ η τιμή της παραμέτρου A της ελαττώνεται από 9.65 m/s σε 6.11 m/s η τιμή της παραμέτρου k μεγαλώνει από 1.86 σε 2.44 (εικόνες 6.3, 6.4, 6.5, 6.6).



Εικόνα 6.3



Εικόνα 6.4



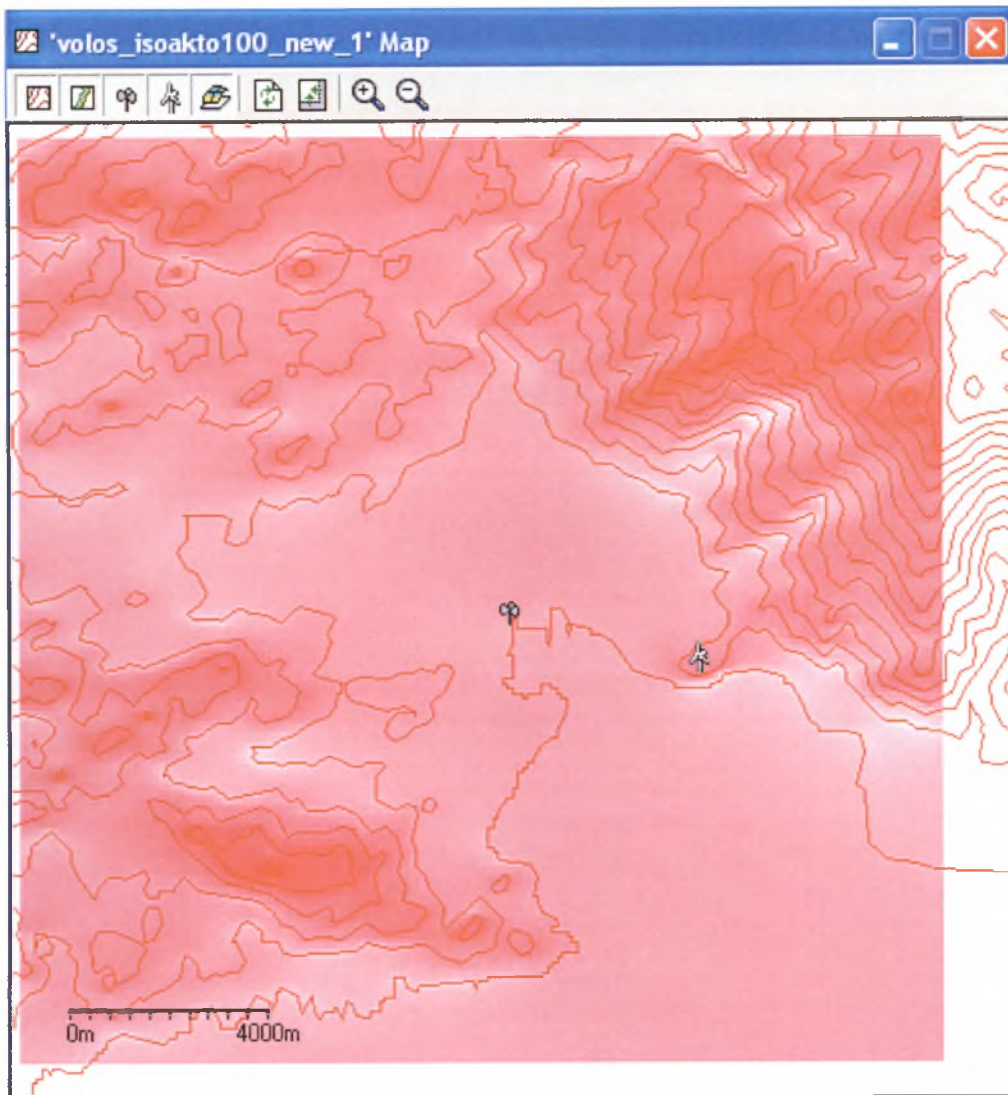
Εικόνα 6.5

The screenshot shows the 'Model output' tab of the 'Volos_20_5_04' Predicted wind climate software. It displays the same summary statistics as Figure 6.5. Below the statistics is a table with 17 columns: S, F, WA, Wk, Uc1, Uc2, Ob1, Ob2, Or1, Or2, R1, R2, R3, z0, P, and AEP. The table contains 13 rows of data for different wind speed ranges.

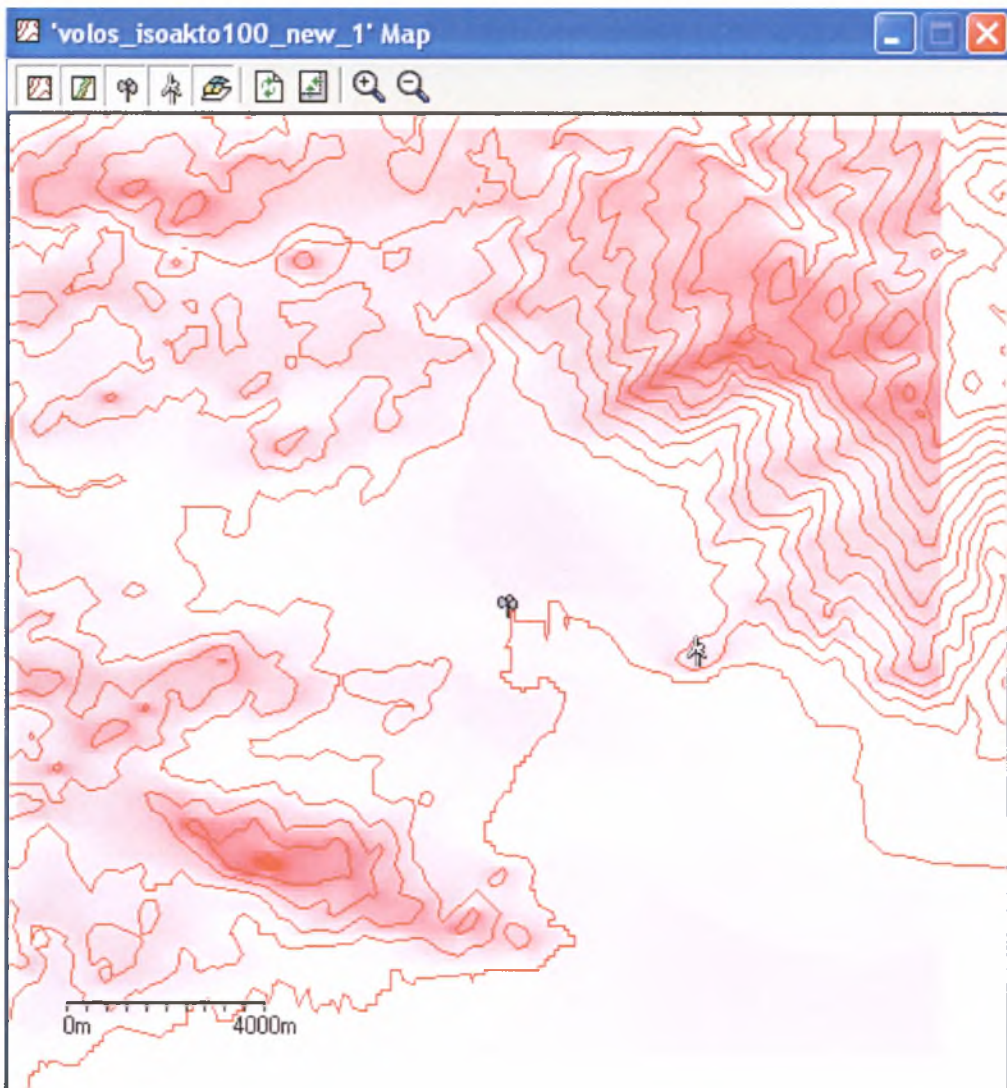
S	F	WA	Wk	Uc1	Uc2	Ob1	Ob2	Or1	Or2	R1	R2	R3	z0	P	AEP
0,0	36	6,61	2,58	0	0	0	0	11	-8	0	0	0	0,03	69,2	332,055
30,0	11	6,94	2,62	0	0	0	0	-4	-6	0	0	0	0,03	24,1	115,570
60,0	1	4,45	1,91	0	0	0	0	-8	3	0	0	0	0,03	0,5	2,380
90,0	1	4,59	2,20	0	0	0	0	4	8	0	0	0	0,03	0,6	2,402
120,0	2	4,77	2,40	0	0	0	0	18	5	0	0	0	0,03	1,2	5,177
150,0	7	6,88	3,18	0	0	0	0	21	-2	0	0	0	0,03	14,0	68,465
180,0	5	7,13	2,81	0	0	0	0	11	-8	0	0	0	0,03	11,7	56,621
210,0	2	6,22	2,37	0	0	0	0	-4	-6	0	0	0	0,03	3,5	16,492
240,0	1	4,32	2,18	0	0	0	0	-8	3	0	0	0	0,03	0,5	2,153
270,0	4	4,65	2,80	0	0	0	0	4	8	0	0	0	0,03	2,5	10,503
300,0	13	4,80	3,24	0	0	0	0	18	5	0	0	0	0,03	8,3	34,346
330,0	18	5,45	2,34	0	0	0	0	21	-2	0	0	0	0,03	20,5	95,350

Εικόνα 6.6

Στις εικόνες που ακολουθούν (εικόνες 6.7, 6.8) φαίνονται η κατανομή των ταχυτήτων του ανέμου και της πυκνότητας ισχύος αντίστοιχα ώστε ο χρήστης να έχει μια πιο σαφή και ακριβή εικόνα των πραγμάτων και των μεταβολών που πραγματοποιούνται. Με το κόκκινο χρώμα περιγράφονται οι υψηλές τιμές ενώ με το λευκό οι χαμηλές.



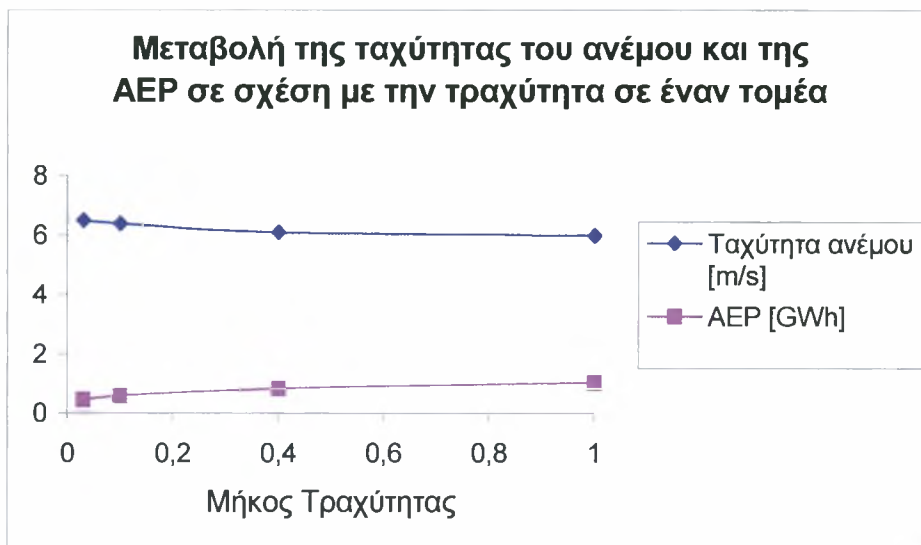
Εικόνα 6.7



Εικόνα 6.8

6.2.2 Αλλαγή της τραχύτητας σε έναν τομέα

Σ' αυτή την περίπτωση επιλέγεται ένας τομέας από τους 12, έστω ο πρώτος, και το μήκος της τραχύτητάς του ενώ στην πραγματικότητα μεταβάλλεται στην απόσταση των 10 km, γίνεται αρχικά σταθερό και ίσο με $z_0 = 0.03$ (κατηγορία τραχύτητας 1), στη συνέχεια 0.1, μετά 0.4 και τέλος 1. Με άλλα λόγια αυξάνονται τα "εμπόδια" που συναντά ο άνεμος στον πρώτο τομέα του ρόδου της τραχύτητας. Γι' αυτό το λόγο και η μέση ταχύτητα του τομέα μειώνεται όσο αυξάνεται το μήκος της τραχύτητας ενώ παράλληλα αυξάνεται η ετήσια παραγωγή της ενέργειας (σχήμα 6.20).



Σχήμα 6.20

Στη συνέχεια, στον ίδιο τομέα, επιλέχθηκαν κάποιοι συνδυασμοί τραχύτητας. Έτσι προέκυψαν τα εξής σενάρια:

A: όλος ο τομέας μήκος τραχύτητας 1.

B: τα πρώτα 2500 km μήκος τραχύτητας 1 και τα υπόλοιπα 0.4.

C: τα πρώτα 2500 km μήκος τραχύτητας 1, τα επόμενα 2500 km 0.4 και τα υπόλοιπα 0.1.

D: τα πρώτα 2500 km μήκος τραχύτητας 1, τα επόμενα 2500 km 0.4, τα επόμενα 2500 km 0.1 και τα τελευταία 2500 km 0.03.

E: η τραχύτητα που έχει πραγματικά ο τομέας.

F: τα πρώτα 2500 km μήκος τραχύτητας 0.03, τα επόμενα 2500 km 0.1, τα επόμενα 2500 km 0.4 και τα τελευταία 2500 km 1.

G: τα πρώτα 2500 km μήκος τραχύτητας 0.03, τα επόμενα 2500 km 0.1 και τα υπόλοιπα 0.4.

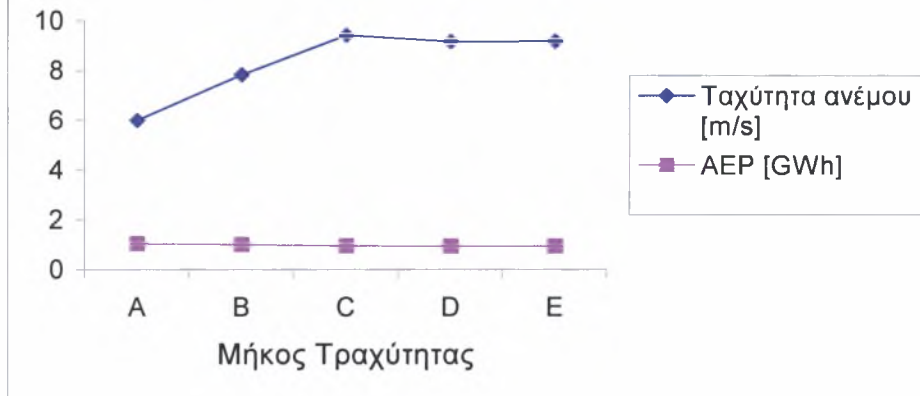
H: τα πρώτα 2500 km μήκος τραχύτητας 0.03 και τα υπόλοιπα 0.1.

I: όλος ο τομέας μήκος τραχύτητας 0.03.

Είναι προφανές πως στα πρώτα σενάρια η τραχύτητα εξομαλύνεται όσο απομακρυνόμαστε από το σημείο που βρίσκεται το ανεμόμετρο ενώ στα τελευταία σενάρια γίνεται το αντίθετο ενώ την ίδια στιγμή κάπου ανάμεσα υπάρχει και η πραγματική εικόνα της τραχύτητας του τομέα.

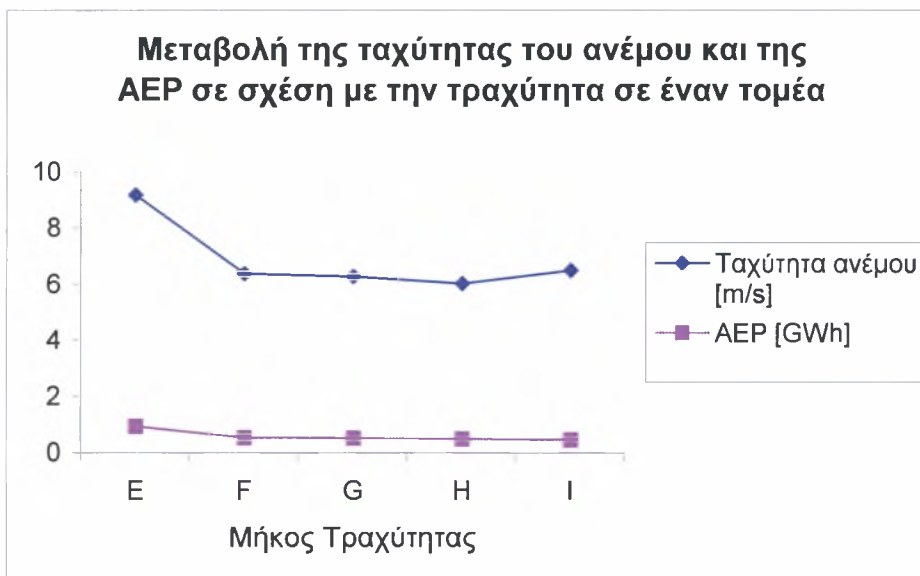
Μια σύγκριση του πραγματικού σεναρίου με τα τέσσερα πρώτα και με τα τέσσερα τελευταία σενάρια όσον αφορά τον τρόπο που επηρεάζεται η μέση ταχύτητα και η ετήσια παραγωγή της ενέργειας (ΑΕΡ) στον πρώτο τομέα, απεικονίζεται στις γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν (σχήματα 6.21, 6.22)

Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου και της ΑΕΡ σε σχέση με την τραχύτητα σε έναν τομέα



Σχήμα 6.21

Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου και της ΑΕΡ σε σχέση με την τραχύτητα σε έναν τομέα



Σχήμα 6.22

Κεφάλαιο 7

7. Συμπεράσματα

1. Είναι επιτακτική ανάγκη να ενημερωθεί ο κόσμος για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, ώστε να αρχίσει όσο το δυνατόν γρηγορότερα η εκμετάλλευσή τους.
2. Στην Ελλάδα υπάρχουν περιοχές (Σκύρος, Εύβοια, Κρήτη, Σαμοθράκη κ.ά.) που οι ταχύτητες του ανέμου είναι αρκετά υψηλές και η μορφολογία του εδάφους βοηθάει, ώστε να υπάρξει εκμετάλλευση αιολικής ενέργειας.
3. Η πολύπλοκη μορφολογία του εδάφους της Ελλάδας δεν ενδείκνυται για τη χρησιμοποίηση υπολογιστικών πακέτων όπως είναι το WASP γιατί είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί μεγάλη ακρίβεια των δεδομένων.
4. Οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή του Βόλου (απόσταση ακτίνας 10km) δεν ευνοούν ιδιαίτερα την τοποθέτηση κάποιας ανεμογεννήτριας.
5. Οι άνεμοι που επικρατούσαν στην περιοχή του Βόλου το έτος 1997 ήταν κατά κύριο λόγο Βόρειοι και Δυτικοί με εξαίρεση το Μάιο και τον Ιούνιο που τα ποσοστά που αντιστοιχούσαν σε κάθε διεύθυνση ήταν σχεδόν ισόποσα.
6. Το έτος του 1997 παρατηρήθηκε πως τους μήνες που είναι απαραίτητη η ενέργεια, λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών που επικρατούσαν στην ατμόσφαιρα, υπήρχαν υψηλές τιμές ταχύτητας αλλά και παραγωγή που μπορούσε να συνεισφέρει στις ενεργειακές ανάγκες και να καλύψει ένα μέρος τους.
7. Το μεγαλύτερο ποσοστό της ετήσιας παραγωγής ενέργειας (ΑΕΡ), για τους μήνες που εξετάστηκαν το έτος 1997, προέρχεται κυρίως από Βόρειους αλλά και Δυτικούς ανέμους με εξαίρεση το μήνα Ιούνιο που προέρχεται από Νότιους και Ανατολικούς.
8. Όσο η τραχύτητα του εδάφους εξομαλύνεται τόσο μειώνεται και η ετήσια παραγωγή ενέργειας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΚΑΙ ΜΟΝΑΔΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Σύμβολο	Ονομασία	Μονάδα Μέτρησης
P	Ισχύς	kW
R	Ακτινική Απόσταση	m
P	Πορώδες	-
h, z	Ύψος	m
d	Βάθος	m
α	Γωνία	°
k	Παράμετρος Σχήματος	-
A	Παράμετρος Κλίμακας	m/s
u	Ταχύτητα	m/s
G	Συνάρτηση Γάμα	-
L	Μήκος	m
z_0	Μήκος Τραχύτητας	m
S	Διατομή	m
Power Density	Πυκνότητα Ισχύος	W/m ²
AEP	Ετήσια Παραγωγή Ισχύος	MWh
C_t	Συντελεστής Ώθησης	-
ρ	Πυκνότητα	kg/m ³
T	Θερμοκρασία	°C
φ	Γεωγραφικό Μήκος	°
λ	Γεωγραφικό Πλάτος	°

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Mortensen, N.G., L. Landberg, I. Troen and EL Petersen, (2002): *Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP)*. Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.
- [2] Καλδέλλης Κ. Ιωάννης, Καββαδίας Α. Κοσμάς (2001), "Εργαστηριακές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας".
- [3] Ανδρίτσος Νικόλαος (2003), "Διδακτικές Σημειώσεις Ενεργειακής Οικονομίας".
- [4] Rebecca Barthelmie, Gunner Larsen, Sara Pryor, Hans Jørgensen, Hans Bergström, Wolfgang Schlez, Kostas Rados, Bernhard Lange, Per Vølund, Søren Neckelmann, Søren Mogensen, Gerard Schepers, Terry Hegberg, Luuk Folkerts και Mikael Magnusson, "ENDOW (efficient development of offshore wind farms): modeling wake and boundary layer interactions", "Wind Energy", volume7, issue 3, pp225-245, www.interscience.wiley.com.
- [5] T. F. Pedersen, "On wind turbine power performance measurements at inclined airflow", "Wind Energy", volume 7, issue 3, pp163-176, www.interscience.wiley.com.
- [6] Toshiya Nanahara, Masahiro Asari, Takamitsu Sato, Koji Yamaguchi, Masaaki Shibata, Tsutomu Maejima, "Smoothing effects of distributed wind turbines. Part 1. Coherence and smoothing effects at a wind farm", "Wind Energy", volume 7, issue 2, pp61-74, www.interscience.wiley.com.
- [7] Toshiya Nanahara, Masahiro Asari, Tsutomu Maejima, Takamitsu Sato, Koji Yamaguchi, Masaaki Shibata, "Smoothing effects of distributed wind turbines. Part 2. Coherence among power output of distant wind turbines", "Wind Energy", volume 7, issue 2, pp75-85, www.interscience.wiley.com.
- [8] Bernhard Lange, Jørgen Højstrup, "WAsP for offshore sites in confined coastal waters- the influence of the sea fetch", Proceedings of the European Wind Energy Conference, 1-5 March 1999, Nice, France pp1165-1168.
- [9] R.N. Farrugia, E. Scerri, "A wind resource assessment for the Maltese islands", Proceedings of the European Wind Energy Conference, 1-5 March 1999, Nice, France pp1121-1123.
- [10] J. Navarro, M. Marchante, I. Marti, J. Dominguez, I. Sanchez, F. Martin, "Application of a statistical method for comparison of different grid data set", Proceedings of the European Wind Energy Conference, 1-5 March 1999, Nice, France pp1136-1137.
- [11] Rick Watson, "The Irish Wind Atlas", Proceedings of the European Wind Energy Conference, 1-5 March 1999, Nice, France pp1097-1100.
- [12] Lars Landberg, "Operational results from a physical power prediction model", Proceedings of the European Wind Energy Conference, 1-5 March 1999, Nice, France pp1086-1089.
- [13] Helmut P. Frank, Lars Landberg, " Numerical simulation of the Irish wind climate and comparison with wind atlas data", Proceedings of the European Wind Energy Conference, October 1997, Dublin Castle, Ireland, pp309-312.

[14] Niels G. Mortensen, Eric L. Petersen, "Influence of topographical input data on the accuracy of wind flow modeling in complex terrain", Proceedings of the European Wind Energy Conference, October 1997, Dublin Castle, Ireland, pp317-320.

[15] O. Rathmann, L. Landberg, "Wind atlas for the Kola Peninsula", Proceedings of the European Wind Energy Conference, October 1997, Dublin Castle, Ireland, pp359-362.

[16] L. Landberg, "Predicting the power output from wind farms", Proceedings of the European Wind Energy Conference, October 1997, Dublin Castle, Ireland, pp747-750.

[17] Y. Cabooter, L. Dewilde, M. Langie, " An inventory of locations suitable for wind energy in Flanders region", Proceedings of the European Wind Energy Conference, 1-5 March 1999, Nice, France pp527-530.

[18] E. J. van Zuylen, R. A. van Beek, R. Heemskerk, "A regional siting strategy for wind turbines", Proceedings of the European Wind Energy Conference, 1-5 March 1999, Nice, France pp590-592.

[19] A. Joensen, L. Landberg, H. Madsen, "A new measure-correlate-predict approach for resource assessment", Proceedings of the European Wind Energy Conference, 1-5 March 1999, Nice, France pp1157-1160.

[20] Detlev Heinemann, Heinz-Theo Mengelkamp, Martin Strack, Hans-Peter Waldl, " Experiences with the application of the Non-Hydrostatic Mesoscale Model GESIMA for assessing wind potential in complex terrain", Proceedings of the European Wind Energy Conference, 1-5 March 1999, Nice, France pp1169-1172.

[21] T. Maeda, T. Yokota, Y. Shimizu, Y. Maniwa, H. Hyodo, T. Mori, "Measurement of atmospheric boundary layer for siting wind farms", Proceedings of the European Wind Energy Conference, 1-5 March 1999, Nice, France pp1228-1231.

[22] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), www.cres.gr.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000074058