

250, ΜΕ.
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ

174
ΜΠΛΕ

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ
ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ**

**ΚΩΛΕΤΣΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
ΦΥΣΙΚΟΣ**

Τριμελής συμβουλευτική επιτροπή

Επιβλέπων

Πνευματικός Ιωάννης

Λέκτορας

Μέλη

Κασσωμένος Παύλος

Επίκουρος Καθηγητής

Χατζηαναστασίου Νικόλαος

Λέκτορας

Ιωάννινα 2006



Α.Π.Σ.Α.Σ. 2006

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ

ΠΡΟΤΥΠΟ ΓΥΜΝΑΣΙΟ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΟ ΛΥΚΕΙΟ
ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

ΜΑΘΗΤΕΙΟ
ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

ΠΡΟΤΥΠΟ ΓΥΜΝΑΣΙΟ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΟ ΛΥΚΕΙΟ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

ΜΑΘΗΤΕΙΟ

ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

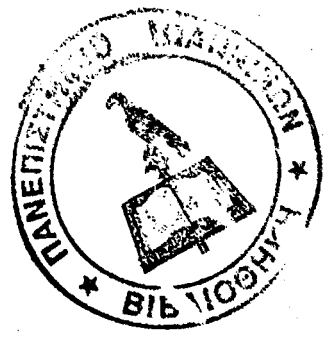
ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ



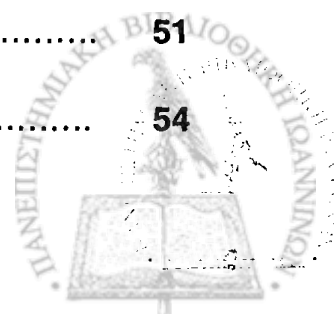
Στους γονείς μου και τον αδελφό μου



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

Πρόλογος	6
Περίληψη	8
Summary	9
Εισαγωγή	10
Κεφάλαιο 1: Αιολική Ενέργεια	
1.1 Μετεωρολογία της αιολικής ενέργειας	15
1.2 Ιστορικό εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας	16
1.3 Είδη και χαρακτηριστικά λειτουργίας ανεμογεννητριών	19
1.4 Η φυσική της αιολικής ενέργειας	21
1.4.1 Διαθέσιμο αιολικό δυναμικό	21
1.4.2 Κατανομή της ταχύτητας του ανέμου	27
1.5 Κλιματολογία του ανέμου	31
1.6 Χωροχρονικές μεταβολές της αιολικής ενέργειας.....	33
1.6.1 Χωρικές μεταβολές	33
1.6.2 Χρονικές μεταβολές	35
1.7 Η μεταβολή του ανέμου στο ΑΟΣ	37
1.7.1 Προεκβολές των μέσων ταχυτήτων του ανέμου	37
1.8 Τοπογραφία και άνεμος	42
1.8.1 Αεροδυναμικό μήκος τραχύτητας	43
1.8.2 Εμπόδια	47
1.8.3 Ορεογραφία	48
1.9 Εκτίμηση της αιολικής ενέργειας	51
1.10 Μετεωρολογικά μοντέλα.....	54



1.10.1 Λογισμικό «WAsP».....	54
1.10.2 Λογισμικό «Windrose»	60
1.11 Περιβαλλοντικά οφέλη	63
Κεφάλαιο 2: Χαρακτηριστικά περιοχών μελέτης – αυτόματων και συνοπτικών μετεωρολογικών σταθμών	
2.1 Περιοχές μελέτης	67
2.2 Χαρακτηριστικά αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών	68
2.3 Χαρακτηριστικά συνοπτικών μετεωρολογικών σταθμών	77
Κεφάλαιο 3: Η αιολική ενέργεια στις υπό μελέτη περιοχές	
3.1 Εισαγωγή.....	79
3.2 Κλιματολογία της αιολικής ενέργειας στο Νομό Ιωαννίνων.....	79
3.3 Επεξεργασία ανεμολογικών δεδομένων	82
3.4 Εκτίμηση αιολικού δυναμικού με το «WAsP».....	95
3.5 Επεξεργασία του κοινού ανεμώδη μήνα	129
3.5.1 Στατιστική επεξεργασία μέσω του «Windrose»	131
3.5.2 Υπολογισμός της σταθερότητας του ανέμου	151
3.6 Οικονομική μελέτη	154
Συμπεράσματα – Προτάσεις για μελλοντική έρευνα ...	163
Βιβλιογραφία	172



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα εργασία με τον τίτλο «Μελέτη του αιολικού δυναμικού σε περιοχές του Ν. Ιωαννίνων», γίνεται προσπάθεια για την επεξεργασία ανεμολογικών δεδομένων και την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού σε περιοχές του Ν. Ιωαννίνων. Η εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Μετεωρολογίας του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας και Φυσικής του Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος».

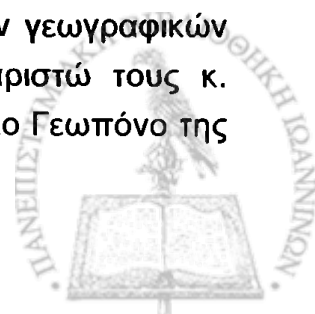
Πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2003-2004, με επιβλέποντα τον Λέκτορα του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων κ. Ιωάννη Πνευματικό, ενώ στην τριμελή συμβουλευτική επιτροπή συμμετείχαν ο Επίκουρος Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων κ. Παύλος Κασσωμένος και ο Λέκτορας του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων κ. Νικόλαος Χατζηναστασίου.

Εκφράζω τις θερμές ευχαριστίες μου στον Λέκτορα κ. Ιωάννη Πνευματικό, για την καθοδήγηση και την άριστη συνεργασία μας, καθώς επίσης για την πολύτιμη στήριξη που μου παρείχε. Επίσης, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Παύλο Κασσωμένο, για τις εύστοχες παρατηρήσεις του στο κείμενο της παρούσας διπλωματικής, καθώς και για το συνεχές και έμπρακτο ενδιαφέρον του. Ευχαριστώ επίσης θερμά, τον Λέκτορα κ. Νικόλαο Χατζηναστασίου για τις εύστοχες παρατηρήσεις του στο κείμενο της παρούσας διπλωματικής και για την συνεχή συμβολή του στην πρόδοδό μου.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω, τον Καθηγητή κ. Βασίλειο Κατσούλη και τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Αριστείδη Μπαρτζώκα, για την αποφασιστική συμβολή τους στην πρόδοδό μου.

Ευχαριστώ, την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, για την ευγενή παραχώρηση των ανεμολογικών μετρήσεων στις περιοχές του αεροδρομίου Ιωαννίνων και της Κόνιτσας.

Εκφράζω επίσης τις θερμές ευχαριστίες μου στους κ. Δημήτριο Φουσέκη, Φυσικό – Δρ Μηχανικής Ρευστών (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας), για την παροχή έντυπου και ηλεκτρονικού μέσου. Επίσης, ευχαριστώ τον κ. Μάκη Τσιότσικα Γεωπόνο, για την πολύτιμη βοήθειά του, για τον προσδιορισμό των γεωγραφικών συντεταγμένων των αγρομετεωρολογικών σταθμών. Επίσης, ευχαριστώ τους κ. Λάμπρο Καταφυγιώτη Γεωπόνο – Μετεωρολόγο και κ. Γεώργιο Στάικο Γεωπόνο της



Διεύθυνσης Έρευνας του Τμήματος Αγρομετεωρολογίας του Υπουργείου Γεωργίας και κ. Αλέξη Αλωνιτσιώτη για την ευγενή παροχή των ανεμολογικών δεδομένων στις περιοχές του Κατσικά και της Ζίτσας. Ευχαριστώ επίσης, τον κ. Τσέφο Κωνσταντίνο, Τεχνικό του Εργαστηρίου Μετεωρολογίας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων για την παροχή χαρτών στις υπό μελέτη περιοχές.

Εκφράζω τις θερμές ευχαριστίες μου στον κ. Σταμάτη Τζουβελέκα, απόφοιτο της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών – Τμήμα Μηχανολογίας του ΤΕΙ Ηρακλείου, για την καθοριστική και αποφασιστική βοήθειά του.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης, τους Μεταπτυχιακούς φοιτητές και φίλους, κ. Χαράλαμπο Καρανδινό και κ. Αθηνά Κοντογιάννη, καθώς και το Φυσικό-Μετεωρολόγο κ. Γεώργιο Χαμπηλομάτη, για την άριστη συνεργασία μας κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου και την πολύτιμη στήριξη που μου παρείχαν. Επίσης, ευχαριστώ τον μεταπτυχιακό φοιτητή κ. Κωνσταντίνο Μυρωνάκη, για τη βοήθεια που μου παρείχε στη ψηφιοποίηση των τοπογραφικών χαρτών.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους γονείς μου Γεώργιο και Ιωάννα, τον παππού μου Τηλέμαχο και τη γιαγιά μου Σεβαστή και τον αδελφό μου Τηλέμαχο, για την συνεχή και πολύτιμη στήριξή τους καθώς και για την αμέριστη και κάθε είδους συμπαράστασή τους, καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, έγινε προσπάθεια για την μελέτη του αιολικού δυναμικού σε περιοχές του Νομού Ιωαννίνων.

Αρχικά, περιγράφονται φυσικές έννοιες της αιολικής ενέργειας, οι χωροχρονικές μεταβολές της και μελετάται η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα καθώς και οι παράγοντες που την επηρεάζουν.

Στην μελέτη χρησιμοποιήθηκαν ωριαία ανεμολογικά δεδομένα από δύο αυτόματους αγρομετεωρολογικούς σταθμούς, στον Κατσικά και τη Ζίτσα, για τη χρονική περίοδο 1998-2002, καθώς επίσης και τρίωρα ανεμολογικά δεδομένα από δύο συνοπτικούς σταθμούς της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, στην περιοχή του αεροδρομίου των Ιωαννίνων και την Κόνιτσα, για τη χρονική περίοδο 1999-2001. Αναφέρονται τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά των υπό μελέτη περιοχών και τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά των αυτόματων και συνοπτικών Μετεωρολογικών σταθμών.

Μελετήθηκε η ετήσια, μηνιαία και ωριαία αιολική κλιματολογία των περιοχών, για τη χρονική περίοδο 1998-2002, πραγματοποιώντας ανάλυση των ανεμολογικών δεδομένων. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε λογισμικό το οποίο υπολόγισε το αιολικό δυναμικό στην ευρύτερη περιοχή των Ιωαννίνων και της Ζίτσας και προσδιόρισε την περιοχή με το μεγαλύτερο αιολικό δυναμικό, πλησίον της κορυφής του όρους Μιτσικέλι. Επίσης, διαπιστώθηκε πως το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό στην περιοχή της Ζίτσας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη μικρών ενεργειακών αναγκών. Στη συνέχεια, έγινε ιδιαίτερη περιγραφή της συνοπτικής κατάστασης της ανεμώδους ημέρας και χρησιμοποιήθηκε λογισμικό για την επεξεργασία του κοινού ανεμώδη μήνα, για τη χρονική περίοδο 1998-2002, για να υπολογιστεί η τυχόν ύπαρξη συσχέτισης των δύο περιοχών και υπολογίστηκε η σταθερότητα του ανέμου.

Τέλος, από τα αποτελέσματα της οικονομικής μελέτης, διαπιστώθηκε ότι δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα η εγκατάσταση ανεμογεννήτριας στις υπό μελέτη περιοχές.



SUMMARY

In this thesis below, we study the wind power potential in areas of Ioannina Prefecture.

Initially, a description of the wind energy physics was attempted, as well as its time and place changes. Additionally, the alteration of the wind speed in the limited atmospheric layer and the factors which affect it was examined.

In this study, gathered and elaborated hourly wind data from two automatic agricultural meteorological stations, in Katsika and Zitsa, for the time period 1998-2002, and three-hourly wind data from two synoptic meteorological stations, in the area of Ioannina airport and Konitsa, for the time period 1999-2001. There was a mention at geographic characteristics, taken from the areas under examination, and also the technological characteristics based on automatic and synoptic Meteorological Stations.

The annual, monthly and hourly wind climatology was examined by making analysis of wind data. For this purpose software was used, which estimate the wind power potential at more extensive area of Ioannina and Zitsa and define the area with the highest wind power potential nearby the pick of mount Mitsikeli. Likewise, it was ascertained that the exploitable wind power potential in Zitsa area, can be used in covering micro-energy needs. In addition, a special description was made for a windy day's synoptic situation and software was used to process the data of a common windy month, for the time period 1998-2002, for any correlation of both areas, as well as a wind stability calculation was made.

Finally, from the results of economical research, it was also ascertained that the wind turbine's installation, at the areas under examination, is not economically beneficial.



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Άνεμος ονομάζεται κάθε οριζόντια ή κατακόρυφη μετακίνηση ατμοσφαιρικής αέριας μάζας, υπό την επίδραση του πεδίου βαρύτητας. Είναι βασικό μετεωρολογικό και κλιματικό στοιχείο, προσδιορίζεται με την ένταση ή την ταχύτητά του (σε m/s) και με τη διεύθυνσή του, που δεν είναι η ανυσματική, αλλά η διεύθυνση από την οποία πνέει ο άνεμος σ' έναν τόπο. Απουσία μετεωρολογικών οργάνων (ανεμόμετρα, ανεμοδείκτες), ο προσδιορισμός της ταχύτητας του ανέμου, γίνεται εμπειρικά με την κλίμακα Beaufort (Πίνακας 1) (Σούλης 1994). Ο άνεμος παρουσιάζει συνήθως γρήγορες μεταβολές στην ταχύτητά του. Μερικές φορές πνέει κατά ριπές. Η αναρρίπιση (gust), είναι απότομη άνοδος της ταχύτητας V του ανέμου σε 8 m/s και άνω, που διαρκεί λιγότερο από 2 min (συνήθως λιγότερο από 20 sec), με $\Delta V \geq 4,5$ m/s μεταξύ κορυφής ή έξαρσης (peak) και κοιλίας ή κατάπαυσης (lull) (Ζαμπάκας 1981).

Πίνακας 1: Κλίμακα Beaufort.

Βαθμοί Beaufort	Χαρακτηρισμός	Προσδιορισμός
0	Άνεμος	Ο καπνός ανεμίζεται κατακόρυφα (άνευθα). Ταχύτητα κάτω του 1 km/h
1	Υακινθίων	Η διεύθυνση προσδιορίζεται από τον καπνό, αλλά όχι από τους ανεμοδείκτες. Ταχύτητα 1-6 km/h
2	Ασθενής	Αισθητός στο πρόσωπο, θρόνισμα φύλλων. Κινεί συνήθη ανεμοδείκτη. Ταχύτητα 7-12 km/h
3	Ασπτός	Φύλλα και κλάδοι σε συνεχή κίνηση. Εκτείνει λεπτή σημαία. Ταχύτητα 13-18 km/h
4	Μέτριος	Εγείρεται κομάρτος και φύλλα χερσιού. Μικροί κλάδοι δέντρων κινούνται. Ταχύτητα 19-26 km/h
5	Ασπτός	Μικρά δένδρα και φύλλα λυγίζουν. Κιματίζια στα Μίσσηρα νερά. Ταχύτητα 27-35 km/h
6	Ισχυρός	Μεγάλοι κλάδοι δέντρων κινούνται. Συχνή στα τηλεφωνικά σύρματα. Ανεμοίχοι ηχηρή σιροφίλια. Ταχύτητα 36-44 km/h
7	Σφοδρός	Κινεί ολόκληρα δένδρα. Βαθμια ανάθετο προς τον ήλιο με δυσχέρεια. Ταχύτητα 45-55 km/h
8	Ορμητικός	Θρόνη κλάδοι δέντρων και το βόδισμα γενικά ανεμολύεται. Ταχύτητα 56-66 km/h
9	Θύελλα	Ελαφρές ζημιές στις οικοδομές. Πόλινες και κωνοφόροι αναρριάζονται. Ταχύτητα 67-77 km/h
10	Ισχυρή Θύελλα	Ειρρίζονται δένδρα και προκαλούν σημαντικές ζημιές στις οικοδομές. Ταχύτητα 78-90 km/h
11	Σφοδρή Θύελλα	Στασιότατα σηματούνται στην έρημ και προκαλεί οστετομένες ζημιές. Ταχύτητα 90-104 km/h
12	Γιγάντας	Εξαιρετικά σφοδρές καταστροφές. Ταχύτητα άνω των 104 km/h

Ο άνεμος είναι βασικό στοιχείο του καιρού και όταν πνέει σ' έναν τόπο από ορισμένη διεύθυνση για μεγάλα χρονικά διαστήματα, δημιουργεί τύπο κλίματος, όπως π.χ. οι Ετησίες, οι μουσώνες, κ.λπ. Όπως είναι γνωστό από τη δυναμική και



κινηματική μελέτη της ατμόσφαιρας, ο άνεμος μεταβάλλεται με το ύψος. Κοντά στην επιφάνεια, τα εμπόδια και η τοπογραφία του εδάφους, τροποποιούν τόσο τη διεύθυνση όσο και την έντασή του. Πάνω από τους ωκεανούς, ο επιφανειακός άνεμος δεν αναχαιτίζεται από μεγάλα εμπόδια και εμφανίζει μεγαλύτερες μέσες εντάσεις, παρά πάνω από τις ηπείρους. Για αυτούς τους λόγους και για να είναι δυνατή η σύγκριση, ο άνεμος μετράται διεθνώς ή καταγράφεται σε σταθμούς με αναπεπταμένο έδαφος, χωρίς μικροεμπόδια (οικίες, δέντρα, βράχους, κορυφές κ.λ.π.) και σε ύψος 10 m από το έδαφος. Αν οι μετρήσεις δεν εκτελούνται κατά διεθνή πρότυπα, γίνεται κατάλληλη αναγωγή στα 10 m.

Η ημερήσια πορεία της ταχύτητας του επιφανειακού ανέμου, είναι απλή με μέγιστο νωρίς το απόγευμα (13:00–17:00 τοπικού χρόνου, ανάλογα με το γεωγραφικό παράγοντα) και ελάχιστο πριν την ανατολή (Ζαμπάκας 1981). Τούτο συμβαίνει γιατί, η υπερθέρμανση του εδάφους κατά τη διάρκεια της ηλιοφάνειας, οδηγεί σε ανοδικές κινήσεις και ανταλλαγές αερίων στοιχείων, μεταξύ ταχέων ανωτέρων στρωμάτων και αντίστοιχων βραδέων ή ακίνητων επιφανειακών. Το αποτέλεσμα είναι μια κατακόρυφη κατανομή της ταχύτητας, που αυξάνεται ομοιόμορφα περίπου με το ύψος. Κατά τη διάρκεια της νύκτας δεν συμβαίνει αυτό και η ατμόσφαιρα κοντά στο έδαφος παρουσιάζει μεγαλύτερη στρωμάτωση, με το παρεδάφιο στρώμα τριβής να είναι περισσότερο ήρεμο. Πολλές φορές, σε απομονωμένα όρη κατά τη διάρκεια ηλιοφάνειας, τα ανοδικά και χωρίς οριζόντια ταχύτητα, λόγω επιφανειακής τριβής, ρεύματα ελαττώνουν την υψηλή ταχύτητα του ρεύματος γενικής κυκλοφορίας στο ύψος αυτό, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται τότε μεταμεσημβρινό ελάχιστο. Κατά τη νύκτα, εμφανίζεται το μέγιστο της υψηλής ταχύτητας του ανεμπόδιστου ρεύματος γενικής κυκλοφορίας, ενώ το στρώμα τριβής περιορίζεται πολύ κοντά στο έδαφος.

Οι κυριότεροι διαμορφωτικοί παράγοντες της ετήσιας πορείας των ανέμων είναι: η ηλιακή ακτινοβολία, η διανομή ξηρών και θαλασσών και κυρίως τα βαρομετρικά συστήματα που επικρατούν κατά εποχές και οι εποχικοί άνεμοι.

Ο άνεμος επιδρά ποικιλοτρόπως στα διάφορα κλιματικά στοιχεία, όπως στη θερμοκρασία, την υγρασία, τη βροχή, κ.λ.π.. Αυξάνει την εξατμισοδιαπνοή, ξηραίνει το έδαφος και προκαλεί στα φυτά μαρανση, ανθόρροια, καρπόρροια και μηχανικές βλάβες (Σούλης 1994). Ωστόσο από οικονομική άποψη, είναι ανεξάντλητη πηγή αιολικής ενέργειας.

Από τις ανανεώσιμες εναλλακτικές πηγές ενέργειας, η αιολική ενέργεια είναι οικονομικότερη, για εφαρμογές όπως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η άντληση νερού. Η αιολική ενέργεια ποικίλει τόσο στο χρόνο όσο και στο χώρο, συμπεριλαμβάνοντας τυχαίους παράγοντες, οι οποίοι συμβάλλουν σ' αυτή τη



μεταβολή. Έτσι, σε αντίθεση με τα αποθέματα των συμβατικών καυσίμων (πετρέλαιο, φυσικό αέριο), ποικίλει με την ώρα της ημέρας και την εποχή του χρόνου, ακόμα και από έτος σε έτος. Συγκρινόμενη με την ηλιακή ενέργεια, είναι πιο «ευπαθής» στις μεταβολές της τοπογραφίας και των καιρικών συστημάτων (Παντής 2004, Πνευματικός 2005).

Η ενέργεια που περικλείει ο άνεμος, μπορεί να αξιοποιηθεί με κατάλληλους μηχανισμούς και διατάξεις. Συγκεκριμένα, η εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του ανέμου γίνεται μέσω ανεμοκινητήρων, που τη μετατρέπουν σε ωφέλιμη μηχανική ενέργεια και μέσω ανεμογεννητριών, ανεμοκινητήρων δηλαδή που διαθέτουν ηλεκτρογεννήτρια και τη μετατρέπουν απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Καλύπτεται έτσι ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών: η μηχανική ενέργεια χρησιμοποιείται για τη λειτουργία αντλιών νερού στην ύδρευση και άρδευση περιοχών, για θέρμανση αγροτικών μονάδων και κατοικιών, για τη λειτουργία εγκαταστάσεων αφαλάτωσης νερού σε συνδυασμό με άλλες πηγές ενέργειας κ.ά., ενώ η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να τροφοδοτεί το ηλεκτρικό δίκτυο. Για την παραγωγή αξιόλογων ποσών ηλεκτρικής ενέργειας, δημιουργούνται συγκροτήματα από πολλές ανεμογεννήτριες μαζί, τα οποία ονομάζονται αιολικά πάρκα.

Η παρούσα εργασία, μελετά το αιολικό καθεστώς σε περιοχές του Νομού Ιωαννίνων. Για τη μελέτη των ανεμολογικών συνθηκών των περιοχών, επεξεργάστηκαν ωριαία αγρομετεωρολογικά δεδομένα από δύο αυτόματους μετεωρολογικούς σταθμούς, στις περιοχές Κατσικά και Ζίτσας, για την περίοδο 1998–2002 και τριώρες ανεμολογικές μετρήσεις από δύο συνοπτικούς μετεωρολογικούς σταθμούς της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.), στις περιοχές του αεροδρομίου των Ιωαννίνων και της Κόνιτσας, για τη χρονική περίοδο 1999–2001. Ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε στις περιοχές των αγρομετεωρολογικών σταθμών, όπου εξήχθησαν χρήσιμα συμπεράσματα για τις ανεμολογικές συνθήκες. Επίσης σ' αυτές τις περιοχές, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό «WASP», με τη βοήθεια του οποίου υπολογίστηκε το αιολικό δυναμικό των περιοχών Κατσικά και Ζίτσας, καθώς επίσης και η ετήσια παραγόμενη αιολική ενέργεια που παράγεται από τη χρησιμοποίηση κατάλληλων ανεμογεννητριών (Α/Γ).

Αναλυτικά η παρούσα διπλωματική διατριβή, περιλαμβάνει τα εξής επιμέρους Κεφάλαια:

Στο Κεφάλαιο 1 δίνεται μια αναλυτική περιγραφή της φυσικής της αιολικής ενέργειας και των χωροχρονικών μεταβολών της. Στη συνέχεια, περιγράφεται η κλιματολογία, η γεωγραφική κατανομή και οι παράγοντες που επηρεάζουν τον άνεμο, καθώς επίσης και η θεωρητική περιγραφή των μεταβολών του ανέμου. Στο τέλος, δίνεται μια περιγραφή των μετεωρολογικών μοντέλων που υπολογίζουν



ανεμολογικές παραμέτρους και συγκεκριμένα του μετεωρολογικού αιολικού μοντέλου «WASP».

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά των περιοχών μελέτης, καθώς επίσης και τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά των αυτόματων και συνοπτικών μετεωρολογικών σταθμών.

Στο Κεφάλαιο 3 δίνεται μια περιγραφή της αιολικής ενέργειας στο νομό Ιωαννίνων, αναλύεται η στατιστική επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων στις υπό μελέτη περιοχές και γίνεται ιδιαίτερη ανάλυση και επεξεργασία στον πλέον ανεμώδη μήνα (Μάρτιος 1998) της χρονικής περιόδου 1998–2002, στις περιοχές Κατσικά και Ζίτσας, με τη χρήση του λογισμικού «Windrose», του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). Επίσης, πραγματοποιήθηκε η συσχέτιση των δύο περιοχών σύμφωνα με τα ανεμολογικά δεδομένα του κοινού ανεμώδη μήνα. Για τον πλέον ανεμώδη μήνα, μελετήθηκε η συνοπτική κατάσταση της ανεμώδους ημέρας (26/03/98) του ίδιου μήνα και υπολογίστηκε μια παράμετρος γνωστή ως σταθερότητα του ανέμου. Επίσης, για τις δύο αυτές περιοχές, με τη χρήση του μοντέλου «WASP», υπολογίζεται το αιολικό δυναμικό και η μέση ετήσια αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας, με την επιλογή κατάλληλων ανεμογεννητριών. Επιπλέον, για την περιοχή της Ζίτσας, υπολογίστηκε η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας από Α/Γ μικρής ονομαστικής ισχύος, για την κάλυψη μικρών ενεργειακών αναγκών. Επίσης, εντοπίστηκε η περιοχή ($\varphi = 39^\circ 42' 54''$ N, $\lambda = 20^\circ 54' 24''$ E, $z = 1.600$ m), κοντά στην κορυφή του όρους Μιτσικέλι, με την υψηλότερη μέση ταχύτητα ανέμου στην ευρύτερη περιοχή του λεκανοπεδίου των Ιωαννίνων. Τέλος, έγινε μια οικονομική μελέτη σκοπιμότητας για την εγκατάσταση Α/Γ στις δύο υπό μελέτη περιοχές, για την εκμετάλλευση του τοπικού αιολικού δυναμικού.

Στο τέλος, αναπτύσσονται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής διατριβής, καθώς και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

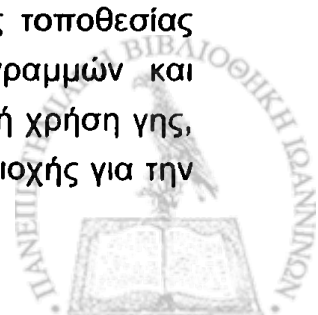


1.1 Μετεωρολογία της αιολικής ενέργειας

Ο όρος «Μετεωρολογία της αιολικής ενέργειας» (Wind Power Meteorology), δεν είναι ένας όρος ο οποίος βρίσκεται στο βασικό γλωσσάρι των μετεωρολογικών όρων. Παρόλα αυτά, είναι ένας επιστημονικός κλάδος, ο οποίος έχει αναπτυχθεί κάτω από τους δικούς του όρους. Μπορεί τυπικά να περιγραφεί ως εφαρμοσμένη γεωφυσική δυναμική των ρευστών, αλλά με ένα πολύπλοκο ορισμό που στηρίζεται στον συνδυασμό της Μετεωρολογίας και της εφαρμοσμένης Κλιματολογίας. Η Μετεωρολογία, είναι μια ατμοσφαιρική επιστήμη με την ευρύτερη έννοια. Περιέχει θερμοδυναμική της ατμόσφαιρας και ατμοσφαιρική χημεία, ποιοτική και ποσοτική περιγραφή των ατμοσφαιρικών κινήσεων και την αλληλεπίδραση μεταξύ της ατμόσφαιρας και της επιφάνειας της Γης και γενικά της βιόσφαιρας. Στόχοι της είναι η πλήρης κατανόηση κι η ακριβής πρόβλεψη των ατμοσφαιρικών φαινομένων. Είναι ένα από τα πιο πολύπλοκα πεδία, τόσο της Φυσικής, όσο και της εφαρμοσμένης επιστήμης.

Η Κλιματολογία είναι η επιστημονική μελέτη κι οι πρακτικές εφαρμογές του κλίματος. Χρησιμοποιεί τα ίδια δεδομένα, όπως η Μετεωρολογία και τα αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε προβλήματα στη βιομηχανία, τη γεωργία, τα μέσα μεταφοράς, την κατασκευή κτιρίων και τη βιολογία. Πολλές από τις εφαρμογές της Κλιματολογίας κατέχουν ένα μέρος της Μετεωρολογίας, αλλά όταν η μελέτη επικεντρώνεται στις ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες ενός συγκεκριμένου σημείου, στην επιφάνεια της Γης, αποτελεί κυρίως εφαρμογές της Γεωγραφίας. Η «Μετεωρολογία της αιολικής ενέργειας», δεν ανήκει λοιπόν εξ' ολοκλήρου σε κανένα εκ των επιστημονικών κλάδων της Μετεωρολογίας, της Κλιματολογίας και της Γεωγραφίας. Είναι μια εφαρμοσμένη επιστήμη, της οποίας οι μέθοδοι είναι καθαρά μετεωρολογικοί, αλλά οι στόχοι και τα αποτελέσματά της είναι γεωγραφικοί. Ασχολείται με 3 κύρια πεδία: την μικρό-επιλογή τοποθεσίας (micro-siting) για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών (Α/Γ), την εκτίμηση του τοπικού αιολικού δυναμικού και την πρόγνωση με χρονικό ορίζοντα, που κυμαίνεται σε μέγεθος από μερικές ώρες έως μερικές ημέρες.

Σύμφωνα με την «Μετεωρολογία της αιολικής ενέργειας» ως επιλογή κατάλληλης τοποθεσίας (siting) για την εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού, προσδιορίζεται η εκτίμηση της μέσης ισχύος που παράγεται από μια συγκεκριμένη Α/Γ σε μία ή και περισσότερες συγκεκριμένες θέσεις. Μια πλήρης διαδικασία επιλογής τοποθεσίας συμπεριλαμβάνει ορισμούς όπως, η διαθεσιμότητα ενεργειακών γραμμών και μετασχηματιστών για τη μεταφορά ενέργειας, η παρούσα και μελλοντική χρήση γης, κ.λπ. Για να αποσαφηνιστεί το πρόβλημα της καταλληλότητας μιας περιοχής για την



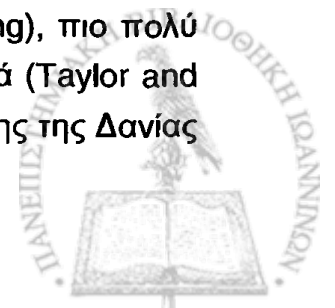
εγκατάσταση Α/Γ, σύμφωνα με το ενεργειακό αιολικό δυναμικό μιας περιοχής, απαιτούνται κατάλληλες μέθοδοι για τον υπολογισμό του, τόσο των ακραίων ανεμολογικών συνθηκών, όσο και της τύρβωσης του ανέμου.

Τοπικός υπολογισμός (regional assessment) του αιολικού δυναμικού, σημαίνει εκτίμηση της παραγωγής ενέργειας από πλήθος Α/Γ (αιολικό πάρκο), που κατανέμονται σε μια περιοχή. Στην ιδανική περίπτωση, προκύπτουν λεπτομερή αποτελέσματα υψηλής ανάλυσης και χάρτες αιολικού δυναμικού, που καταγράφουν το αιολικό δυναμικό (σε ετήσια και εποχιακή βάση), την αβεβαιότητα του αιολικού δυναμικού και περιοχές αυξημένης τυρβώδους ροής.

Η πρόγνωση των ωριαίων και ημερήσιων αριθμητικών τιμών των μετεωρολογικών παραμέτρων, αποτελεί μία από την μεγαλύτερη πρόκληση για την επιστήμη της Μετεωρολογίας. Την τελευταία δεκαετία, η ανάπτυξη της τεχνολογίας στο χώρο των ηλεκτρονικών υπολογιστών, αλλά και η ποιότητα των ανεμολογικών παρατηρήσεων από επίγεια αλλά και εναέρια μέσα (ραδιοανεμοβολίδες, δορυφόροι), έχουν βελτιώσει σημαντικά τον τομέα της πρόγνωσης. Αποτέλεσμα της βελτίωσης αυτής είναι η δημιουργία μεθοδολογίας που συνδυάζει τα μετεωρολογικά αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης, με τα μοντέλα μικρό-επιλογής τοποθεσίας (micro-siting), για την πρόγνωση της παραγόμενης ενέργειας σε αιολικά πάρκα.

1.2 Ιστορικό εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας

Ο επιστημονικός κλάδος της «Μετεωρολογίας της αιολικής ενέργειας», έχει εξελιχθεί μαζί με την εμπορική ανάπτυξη των Α/Γ και την εκμετάλλευση του ανέμου για την παραγωγή ενέργειας. Απ' τα τέλη της δεκαετίας του 70, λόγω της ενεργειακής κρίσης και των δυσμενών επιδράσεων των αέριων ρύπων στο περιβάλλον, επιστημονικές ερευνητικές ομάδες επεξεργάζονται μετεωρολογικά και κλιματολογικά θέματα, σχετικά με την αιολική ενέργεια. Τα εθνικά προγράμματα αιολικής ενέργειας, τα οποία ξεκίνησαν σε ένα μεγάλο αριθμό κρατών στη δεκαετία του 70, αποτελούν μέρος των ερευνών για το εθνικό αιολικό δυναμικό κάθε κράτους. Μεταξύ αυτών, τα πλέον διαδεδομένα είναι: ο Αιολικός Χάρτης των Η.Π.Α. (Wind Energy Resource Atlas) απ' το εργαστήριο Pacific Northwest Laboratory (Elliott et al. 1986) και ο Αιολικός Χάρτης της Δανίας (Danish Wind Atlas) απ' την Risø National Laboratory (Petersen et al. 1981). Επιπροσθέτως με αυτούς τους χάρτες, είχε δημοσιευτεί κι ένας αριθμός εργασιών που αφορούσαν την επιλογή τοποθεσίας (siting), πιο πολύ στις Η.Π.Α. (Traci et al. 1977, Hiester and Pennell 1981), στον Καναδά (Taylor and Lee 1984) και στην Ολλανδία (Vermeulen et al. 1986). Ο Αιολικός Χάρτης της Δανίας



(Danish Wind Atlas) και αργότερα ο Ευρωπαϊκός (European Wind Atlas) (Troen and Petersen 1989) εξυπηρετούσαν κοινούς στόχους, όπως η δημιουργία χαρτών αιολικού δυναμικού και εργασίες για την επιλογή τοποθεσίας Α/Γ (siting).

Τη δεκαετία του 80, υπό τη διεύθυνση της ΔΕΗ και με τη συμμετοχή όλων των Πανεπιστημίων πραγματοποιήθηκε ερευνητική μελέτη για την αποτύπωση του αιολικού δυναμικού και τη δημιουργία του πρώτου αιολικού χάρτη της χώρας μας.

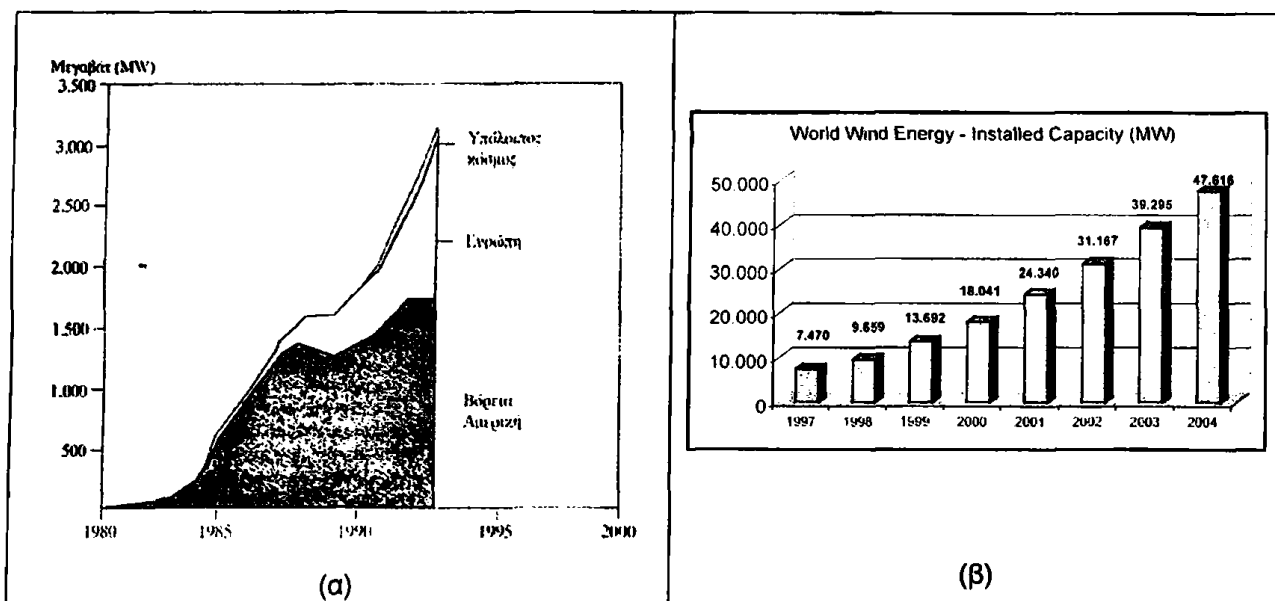
Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980, η ανάπτυξη των Α/Γ αυξήθηκε δραματικά. Πραγματοποιήθηκε ένας μεγάλος αριθμός επιδείξεων της μεθόδου λειτουργίας τους, αλλά εξ' αιτίας του ανεπιτυχούς σχεδιασμού τους, μετά από μερικά χρόνια λειτουργίας, οι Α/Γ αχρηστεύονταν. Εν τω μεταξύ, ο μικρός αριθμός ιδιωτικής παραγωγής Α/Γ, οδηγούσε σε μεγαλύτερη και περισσότερο αξιόπιστη ανάπτυξη, δημιουργώντας μια περιορισμένη αγορά Α/Γ. Η περισσότερο γνωστή, είναι η ανάπτυξη της βιομηχανίας των Αμερικανικών και Ευρωπαϊκών Α/Γ, η «έκρηξη» της αγοράς στην Καλιφόρνια και η επακόλουθη φθίνουσα πορεία, που οδήγησε σε πολλαπλές πτωχεύσεις στη Βιομηχανία (Petersen et al. 1981). Με γνώμονα τις παραπάνω επιπτώσεις, αναπτύχθηκε μια πιο αργή αλλά και πιο σταθερή ανάπτυξη στην ευρωπαϊκή αγορά: η κοινότητα της αιολικής ενέργειας, είχε διδαχθεί απ' την περιπέτεια της Καλιφόρνιας. Η σημαντικότητα της ακριβούς γνώσης του ενεργειακού δυναμικού και των αξιόπιστων μεθόδων για την επιλογή τοποθεσίας Α/Γ (siting), είχε γίνει όλο και περισσότερο αναγκαία.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990, σημειώθηκε ιδιαίτερα μεγάλη ανάπτυξη στην εφαρμογή της αιολικής ενέργειας, παγκόσμια. Ο συναγωνισμός είχε γίνει έντονος, όχι μόνο μεταξύ των εμπορικών ειδών των Α/Γ, αλλά και μεταξύ των προγραμμάτων έρευνας (projects). Ποιο πρόγραμμα να επιλεγεί και σε ποια περιοχή; Συνήθως, η οικονομία και κατά συνέπεια η προσδοκία για την παραγωγή ενέργειας, κατά τη διάρκεια ζωής μιας Α/Γ, είναι οι κρίσιμες παράμετροι. Εδώ, η εφαρμογή της «Μετεωρολογίας της αιολικής ενέργειας» επιτελεί ένα σημαντικότατο ρόλο. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί, ότι αυτός ο επιστημονικός κλάδος έχει αναπτυχθεί τα τελευταία είκοσι χρόνια, στρέφοντας έναν σχετικά «ελεύθερο» ακαδημαϊκό επιστημονικό κλάδο, σε έναν «σκληρό» ερευνητικό και αναπτυξιακό κλάδο, υπό την πίεση της κοινότητας της αιολικής ενέργειας – με μία ισχυρή και σχεδόν μη ρεαλιστική απαίτηση, για ακριβείς και αποτελεσματικές μεθόδους. Μια απεικόνιση της αυξημένης ζήτησης της παραγωγής αιολικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο, φαίνεται στο Σχήμα 1.2.1 (α, β).

Τα τελευταία χρόνια σημειώνεται αλματώδης ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας και η Ευρώπη, παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο σε αυτήν την προσπάθεια. Από τα 3.800 MW που παρήχθησαν παγκοσμίως το 2000, τα 3.500 MW παρήχθησαν στην

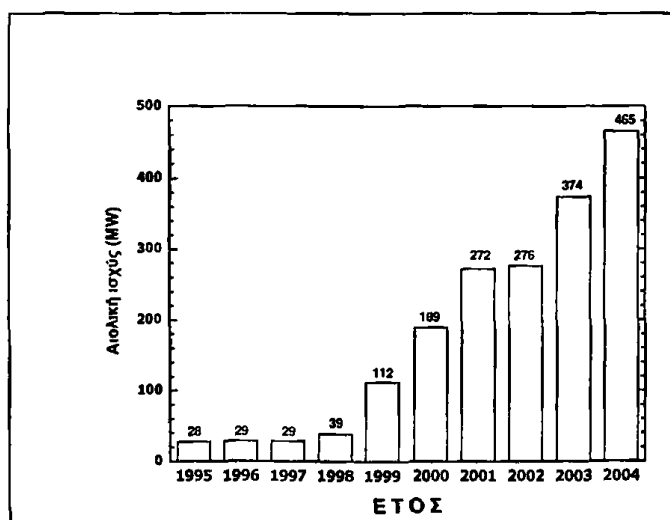


Ευρώπη. Στόχος της Ευρώπης είναι, μέχρι το 2010, να παράγεται ενέργεια μερικών δεκάδων GW από Α/Γ, οι οποίες θα έχουν πολύ καλύτερη απόδοση απ' αυτές που χρησιμοποιούνται σήμερα.



Σχήμα 1.2.1: (α) Δυναμικό αιολικής ενέργειας (MW), για την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), τη Βόρεια Αμερική και τον υπόλοιπο κόσμο την περίοδο 1980–1993 [Πηγή: Gipe]. (β) Παγκόσμια εγκατεστημένη αιολική ενέργεια την περίοδο 1997–2004 [Πηγή: World Wind Energy Association].

Στη χώρα μας, η εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών πάρκων στο τέλος του 1997 ήταν μόλις 29 MW, ενώ στο τέλος του 2001 σχεδόν δεκαπλασιάστηκε κι έφθασε τα 272 MW (Σχήμα 1.2.2). Με το τέλος του τρέχοντος έτους, η ισχύς των αιολικών πάρκων θα πλησιάσει τα 500 MW (Πηγή: «Ανεμολόγια»).

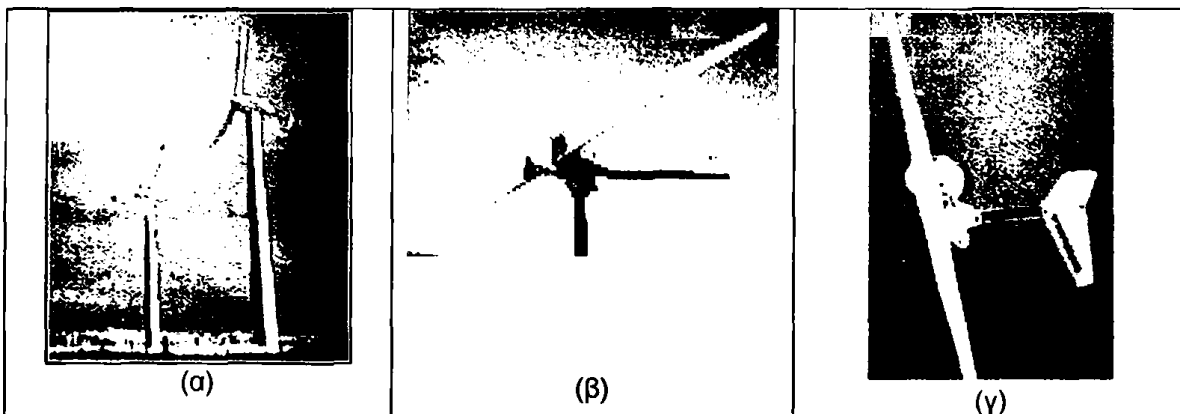


Σχήμα 1.2.2: Συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς στην Ελλάδα, τη χρονική περίοδο 1995-2004 [Πηγή: «Ανεμολόγια»].



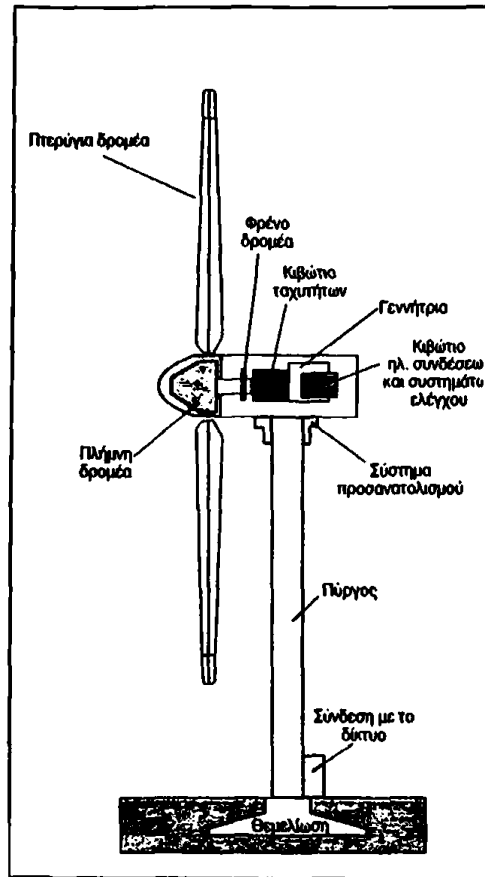
1.3 Είδη και χαρακτηριστικά λειτουργίας ανεμογεννητριών

Οι μηχανές με τις οποίες εκμεταλλευόμαστε την αιολική ενέργεια, ονομάζονται ανεμογεννήτριες (ΑΓ). Διακρίνουμε δύο είδη ανεμογεννητριών: τις τρίπτερες και τις δίπτερες (Σχήμα 1.3.1). Οι δίπτερες, με ρότορα μικρότερο των 10 μέτρων, έχουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης ασθενούς αιολικού δυναμικού. Στις μηχανές μεγάλου μεγέθους επικρατούν οι τρίπτερες, με κόστος κατασκευής και συντήρησης μικρότερο απ' αυτό των δίπτερων αντίστοιχου μεγέθους. Στην αγορά έχουν επικρατήσει οι ΑΓ οριζοντίου άξονα με δύο ή τρία πτερύγια, σε ποσοστό πάνω από 95%. Η σύγχρονη τεχνολογία χρήσης της αιολικής ενέργειας ξεκίνησε με μικρές ΑΓ δυναμικότητας 20 ως 75 kW. Σήμερα, χρησιμοποιούνται ΑΓ δυναμικότητας 200 ως 2.000 kW. Από ενεργειακής απόψεως, αναφέρεται πως οι ΑΓ παραλαμβάνουν περίπου μέσα σε δύο με τρεις μήνες λειτουργίας τους, όλη την ενέργεια που απαιτήθηκε για να κατασκευαστούν, ενώ οι παραθαλάσσιες ΑΓ απαιτούν ακόμα λιγότερο χρόνο (Πηγή: Danish Wind Turbine Manufacturers Association).



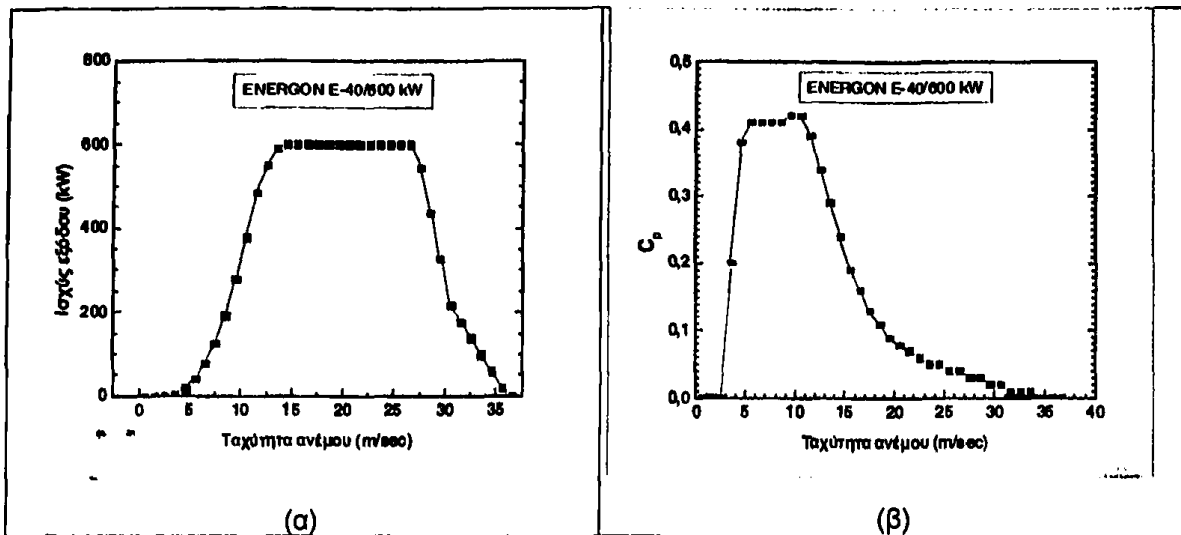
Σχήμα 1.3.1: Είδη ανεμογεννητριών: (α) με τρία πτερύγια, (β) και (γ) δύο πτερύγια [Πηγή: Περιφερειακό Ενεργειακό Κέντρο Ηπείρου].

Τα μηχανικά μέρη μιας ΑΓ αποτελούνται από το δρομέα, που αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια με ενισχυμένο πολυεστέρα, το σύστημα διάδοσης της κίνησης, την ηλεκτρογεννήτρια (σύγχρονη ή επαγωγική), το σύστημα προσανατολισμού, τον πύργο (σωληνωτό ή δικτυωτό) και τον ηλεκτρικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου. Μια τομή οριζοντίου άξονα μιας ΑΓ, φαίνεται στο Σχήμα 1.3.2. Οι τυπικές διαστάσεις μιας ΑΓ 500 kW είναι: διάμετρος δρομέα 40 m και ύψος 40-50 m, ενώ οι διαστάσεις μια ΑΓ 1 MW είναι 55 m και 50-60 m, αντίστοιχα.



Σχήμα 1.3.2: Τομή οριζοντίου άξονα μιας ανεμογεννήτριας.

• Για να υπολογιστεί η πραγματική ηλεκτρική ισχύς που παράγει μια Α/Γ, θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψη η καμπύλη ισχύος της. Η καμπύλη αυτή, καθορίζει την απόδοση της Α/Γ συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου και είναι διαφορετική για κάθε Α/Γ. Στο Σχήμα 1.3.3, παρουσιάζεται η καμπύλη ισχύος της Α/Γ Energon E-40, 600 kW, με το αντίστοιχο διάγραμμα της κατανομής του συντελεστή ισχύος (C_p) ανά ταχύτητα ανέμου. Στην καμπύλη ισχύος διακρίνονται κάποια χαρακτηριστικά μεγέθη λειτουργίας της συγκεκριμένης Α/Γ (Σχήμα 1.3.3α): η ταχύτητα έναρξης λειτουργίας (cut-in speed = 3,5 m/s), όπου ξεκινά να λειτουργεί η Α/Γ, η ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας (rated speed = 15 m/s), όπου η Α/Γ λαμβάνει ισχύ εξόδου ίση με την ονομαστική της ισχύ (π.χ. 600 kW) και ταχύτητα αποκοπής (cut-out speed = 27 m/s), όπου σταματά η λειτουργία της Α/Γ για λόγους ασφαλείας.



Σχήμα 1.3.3: Χαρακτηριστικές καμπύλες (α) ισχύος και (β) συντελεστή ισχύος (C_p) για την ανεμογεννήτρια Energon E-40, 600 kW.

1.4 Η φυσική της αιολικής ενέργειας

Μεταβολή του μέτρου της ταχύτητας του ανέμου, συνεπάγεται και μεταβολή της κινητικής ενέργειας. Για τον ποσοτικό προσδιορισμό της κινητικής ενέργειας που αποταμιεύεται με τον τρόπο αυτό, χρησιμοποιείται ο όρος της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας (available wind energy). Η διαθέσιμη αιολική ενέργεια χαρακτηρίζεται από δύο μεθόδους υπολογισμού, σύμφωνα με το αντικείμενο μελέτης της αιολικής ενέργειας (υπολογισμός αιολικού δυναμικού, σχεδιασμός Α/Γ, κ.λπ.). Η κάθε μέθοδος υπολογισμού χαρακτηρίζεται από τη χρησιμοποίηση ή μη, του συντελεστή ισχύος C_p (power coefficient), όπως αναφέρεται παρακάτω.

1.4.1 Διαθέσιμο αιολικό δυναμικό

Η ισχύς P_a που διέρχεται από διατομή εμβαδού A , κάθετα τοποθετημένης σε ρεύμα αέρα ταχύτητας V , είναι η κινητική ενέργεια ροής:

$$P_a = \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \right) \cdot (V) \cdot (A) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot A \quad (1.4.1)$$

όπου ρ η πυκνότητα του αέρα.

Μια μέθοδος χαρακτηρισμού της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας των περιοχών ενδιαφέροντος, δίδεται μέσω της μέσης διαθέσιμης αιολικής ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας $\langle P_a \rangle / A$:

$$\langle P_a \rangle / A = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \langle V^3 \rangle \quad (1.4.2)$$

όπου τα σύμβολα $\langle \rangle$, σημαίνουν τη διαδικασία μεσοποίησης. Η πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα ρ , λαμβάνεται να είναι ουσιαστικά σταθερή $\rho \approx \langle \rho \rangle$. Σημειώνεται ότι, εάν η ρ μετράται σε Kg/m^3 και η V σε m/s , τότε η εξίσωση (1.4.2) μετράται σε μονάδες W/m^2 .

Εάν είναι γνωστή μόνο η μέση ταχύτητα του ανέμου $\langle V \rangle$ και ζητείται η μέση διαθέσιμη αιολική ενέργεια $\langle P_a \rangle / A$, τότε χρειάζεται η πληροφορία για το λόγο $\langle V^3 \rangle / \langle V \rangle^3$, ο οποίος ονομάζεται συντελεστής ενέργειας (energy pattern factor). Μια προσέγγιση για την εκτίμηση του συντελεστή ενέργειας, δίδεται μέσω της κατανομής πιθανότητας (συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας) της ταχύτητας του ανέμου. Ιδιαίτερα, η μέση ταχύτητα ανέμου είναι το απλό ολοκλήρωμα της κατανομής πιθανότητας:

$$\langle V \rangle = \int_0^{\infty} V \cdot p(V) \cdot dV \quad (1.4.3)$$

Η κυβική μέση ταχύτητα $\langle V^3 \rangle$, είναι:

$$\langle V^3 \rangle = \int_0^{\infty} V^3 \cdot p(V) \cdot dV \quad (1.4.4)$$

Εάν η κατανομή πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου δεν είναι γνωστή, αλλά είναι διαθέσιμες χρονοσειρές των δεδομένων της ταχύτητας του ανέμου $V(t)$ ($0 \leq t \leq T$), τότε οι μέσες τιμές των εξισώσεων (1.4.3) και (1.4.4), δίδονται από τις εξισώσεις:

$$\langle V \rangle = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T V(t) \cdot dt \quad (1.4.5)$$

και



$$\langle V^3 \rangle = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T [V(t)]^3 \cdot dt \quad (1.4.6)$$

Ο συντελεστής ενέργειας δεν είναι σταθερός για παρατηρούμενες κατανομές ταχύτητας, αλλά γενικά κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 1,5 και 3, με τη μέση τιμή του να είναι γύρω στο 2 (Πίνακας 1.4.1).

Πίνακας 1.4.1: Τιμές διαφόρων αδιάστατων πηλίκων.

k	$\langle V \rangle / c$	$\sigma / \langle V \rangle$	$\langle V^3 \rangle / \langle V \rangle^3$	$V_m / \langle V \rangle$	$V_0 / \langle V \rangle$	$V_1 / \langle V \rangle$	$V_3 / \langle V \rangle$
1,2	0,941	0,837	3,99	0,783	0,239	1,063	2,407
1,4	0,911	0,724	3,03	0,844	0,448	1,097	2,068
1,6	0,897	0,640	2,48	0,887	0,604	1,115	1,852
1,8	0,889	0,575	2,14	0,917	0,717	1,124	1,703
2,0	0,886	0,523	1,91	0,939	0,798	1,128	1,596
2,2	0,886	0,480	1,75	0,956	0,857	1,129	1,515
2,4	0,886	0,444	1,63	0,968	0,901	1,128	1,452
2,6	0,888	0,413	1,53	0,978	0,934	1,126	1,402
2,8	0,890	0,387	1,46	0,985	0,959	1,123	1,361
3,0	0,893	0,363	1,40	0,991	0,978	1,120	1,328
3,2	0,896	0,343	1,36	0,996	0,993	1,117	1,299
3,5	0,900	0,316	1,30	1,001	1,010	1,111	1,265
4,0	0,906	0,281	1,23	1,007	1,027	1,103	1,221
5,0	0,918	0,229	1,15	1,012	1,042	1,089	1,165
6,0	0,928	0,194	1,11	1,014	1,046	1,078	1,131
7,0	0,935	0,168	1,08	1,014	1,046	1,069	1,108
8,0	0,942	0,148	1,06	1,014	1,044	1,062	1,092
9,0	0,947	0,133	1,05	1,014	1,042	1,056	1,080
10,0	0,951	0,120	1,04	1,013	1,040	1,051	1,070

όπου $\langle V \rangle$ = μέση ταχύτητα ανέμου, k = παράμετρος σχήματος της κατανομής Weibull, c = παράμετρος κλίμακας της κατανομής Weibull, σ = τυπική απόκλιση της ταχύτητας του ανέμου, $\langle V^3 \rangle / \langle V \rangle^3$ = συντελεστής ενέργειας, V_m = η διάμεσος (ποσοστημόριο 50%) της κατανομής της ταχύτητας του ανέμου, V_0 = η ταχύτητα για μέγιστο $\rho(V)$, V_1 = η ταχύτητα για μέγιστο $V\rho(V)$ και V_3 = η ταχύτητα για μέγιστο $V^3\rho(V)$.

Πολλοί ερευνητές του ενεργειακού τομέα, έχουν υπολογίσει το αιολικό δυναμικό σε τοπική, εθνική και παγκόσμια κλίμακα (Pacific Northwest Laboratory 1981, Mikhail 1981, WMO 1981). Για αυτές τις ταξινομήσεις, υπολογίστηκε για περιοχές όπου ήταν διαθέσιμα μόνο τα δεδομένα της $\langle V \rangle$, ένας συντελεστής ενέργειας της τάξης του 1,91 (παράμετρος σχήματος Weibull, k = 2,0). Έγχρωμοι παγκόσμιοι χάρτες και εθνικοί χάρτες των Ηνωμένων Πολιτειών για το αιολικό δυναμικό, είναι διαθέσιμοι στην αναφορά του WMO (1981).



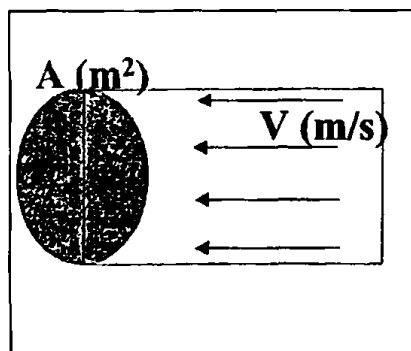
Ένας άλλος τρόπος απεικόνισης της μέσης διαθέσιμης αιολικής ενέργειας είναι σε μονάδες kWh/m^2 , δια μέσω του πολλαπλασιασμού της εξίσωσης (1.4.2) με 8.760 ώρες / χρόνο και μετατροπή σε kW από W (δηλαδή διαιρώντας με το 1000). Έτσι, η διαθέσιμη αιολική ενέργεια kWh/m^2 είναι: $8,76 \cdot \langle P_a \rangle / A = 4,38 \cdot \rho \cdot \langle V \rangle^3$. Άλλες απεικονίσεις όπως η διαθέσιμη μηνιαία αιολική ενέργεια σε kWh/m^2 , έχει προφανώς προκύψει από το πλήθος των ωρών στη διάρκεια του μήνα.

Σύμφωνα με την αρχή της διατήρησης της μάζας στη ροή (δηλαδή τον περιορισμό για τη συνέχεια), όλη η διαθέσιμη ενέργεια P_a (που συζητήθηκε προηγουμένως) δεν είναι αποσπώμενη. Ποικίλες έρευνες, μελέτησαν το κλάσμα της P_a που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της αιολικής ενέργειας P_e , η οποία μπορεί να δεσμευτεί.

Το ποσό της ισχύος το οποίο μπορεί να δεσμευτεί από ένα ρεύμα αέρα, εξαρτάται από την διαθέσιμη αιολική ενέργεια και από τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του μηχανικού μέσου που χρησιμοποιείται για τη δέσμευση της αιολικής ενέργειας. Η παραγόμενη ισχύ P του περιστρεφόμενου μέρους μιας Α/Γ, η οποία εκτίθεται σε ένα εμβαδόν A της ροής του αέρα, με ταχύτητα V και πυκνότητα ρ (Σχήμα 1.4.1), είναι:

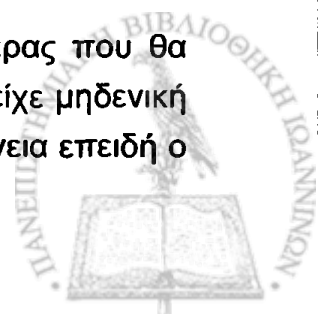
$$P = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot V^3 \cdot A \quad (1.4.7)$$

όπου η εξίσωση (1.4.7) διαφέρει από την εξίσωση (1.4.1), μόνο κατά τον παράγοντα C_p του συντελεστή ισχύος (power coefficient), ο οποίος εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου V .



Σχήμα 1.4.1: Διέλευση ατμοσφαιρικού αέρα ταχύτητας V , από επιφάνεια εμβαδού A .

Μια Α/Γ δεν μπορεί να δεσμεύσει όλη αυτή την ισχύ, γιατί τότε ο αέρας που θα περνούσε πίσω από τα πτερύγιά της δεν θα απομακρυνόταν, διότι θα είχε μηδενική κινητική ενέργεια στην έξοδο. Έτσι, δεν θα παραλάμβανε καθόλου ενέργεια επειδή ο



στάσιμος αέρας στην έξοδο, δεν θα επέτρεπε να εισαχθεί νέος. Στην αντίθετη περίπτωση, θα διερχόταν ο αέρας και δεν θα παραγόταν έργο. Η εξίσωση (1.4.1) περιγράφει την θεωρητική αιολική ισχύς, ενώ η εξίσωση (1.4.8), που ακολουθεί, περιγράφει την ονομαστική ισχύ μιας Α/Γ:

$$P = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \eta_M \cdot \eta_E \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (1.4.8)$$

όπου C_p ο συντελεστής ισχύος, η_M ο βαθμός απόδοσης του μηχανικού συστήματος και η_E ο βαθμός απόδοσης ηλεκτρομηχανικής μετατροπής. Το Σχήμα 1.4.2, δίδει τα ποσοστά απόδοσης που μπορούν να αποσπαστούν από την ενέργεια του ανέμου, σε διάφορες εφαρμογές. Η μέγιστη μηχανική ισχύς που μπορεί να παραχθεί από μια αιολική, είναι ίση με το 59,3% αυτής, σύμφωνα με το νόμο Betz (Betz 1926).

Στο Σχήμα 1.4.2, απεικονίζεται η πραγματική απόδοση μιας Α/Γ δύο πτερυγίων (40%), ενώ στο Σχήμα 1.4.3, απεικονίζεται ο συντελεστής ισχύος για διάφορα είδη αιολικών μηχανών (Wilson and Lissaman 1974).

Μερικές εκτιμήσεις της αιολικής ενέργειας που μπορεί να δεσμευτεί P_e , χρησιμοποιούν τη μέση τιμή της εξισώσεως (1.4.7), με έναν μέσο συντελεστή ισχύος $\langle C_p \rangle$, για παράδειγμα:

$$P_e = \frac{1}{2} \cdot \langle C_p \rangle \cdot \langle \rho \rangle \cdot \langle V^3 \rangle \cdot A \quad (1.4.9)$$

Για $\langle \rho \rangle$ σε kg/m^3 , V σε m/s και A σε m^2 . Με την εξίσωση (1.4.9), υπολογίζεται η αιολική ισχύς σε Watt. Συχνά, τα χαρακτηριστικά της παραγόμενης ισχύος μιας συγκεκριμένης Α/Γ (με συγκεκριμένη σχέση για την $C_p(V)$), χρησιμοποιούνται για την αποτίμηση της P_e , δια μέσου της κατανομής πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου $p(V)$:

$$P_e = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot \int_0^{\infty} C_p(V) \cdot V^3 \cdot p(V) \cdot dV \quad (1.4.10)$$

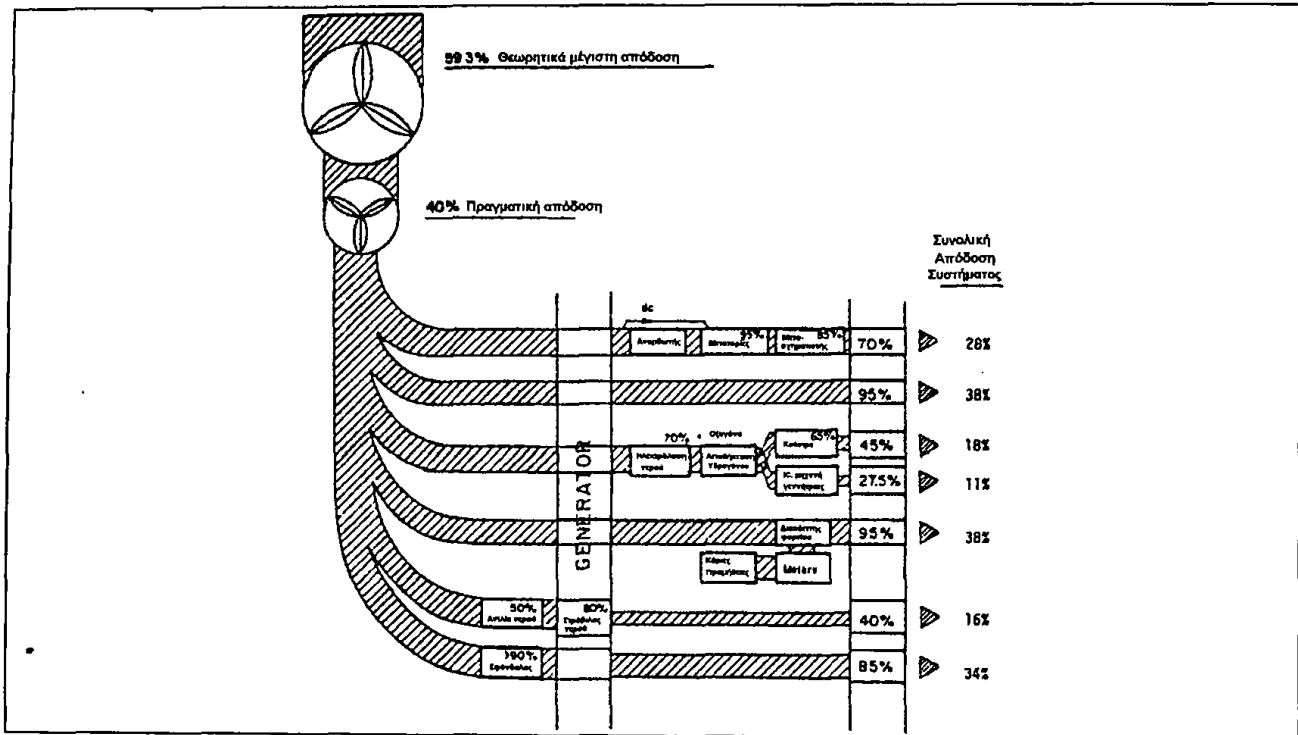
Μια άλλη έκφραση για την ενέργεια που μπορεί να δεσμευτεί, είναι ο συντελεστής απόδοσης (capacity factor) C_f , το πηλίκο P_e/P_r όπου P_r είναι η εκτιμώμενη ισχύ της αιολικής ενέργειας της Α/Γ. Καθώς, η P_r δίνεται από τη σχέση:



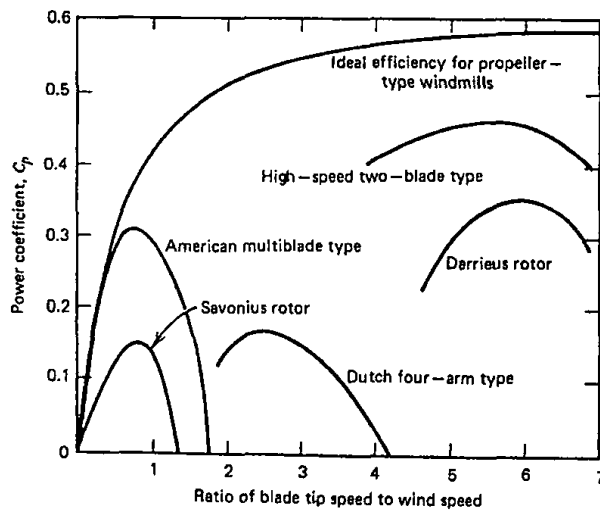
$$P_r = \frac{1}{2} \cdot C_p(V_r) \cdot \rho \cdot V_r^3 \cdot A \quad (1.4.11)$$

όπου V_r είναι η εκτιμώμενη ταχύτητα του ανέμου κι ο συντελεστής απόδοσης δίνεται απ' τη σχέση:

$$C_r = \int_0^\infty \frac{C_p(V) \cdot V^3 \cdot p(V) \cdot dV}{[C_p(V_r) \cdot V_r^3]} \quad (1.4.12)$$



Σχήμα 1.4.2: Πραγματικά ποσοστά απόδοσης Α/Γ.



Σχήμα 1.4.3: Τυπικές αποδόσεις αιολικών μηχανών (Α/Γ).



Ορισμένες φορές, η ετήσια ενέργεια που μπορεί να δεσμευτεί εκφράζεται ως ειδική παραγωγή (specific output) (σε ετήσιες kWh ανά εκτιμώμενα kW), χρησιμοποιώντας 8.760 ώρες ανά έτος φορές το συντελεστή ικανότητας. Ομοίως, η μηνιαία ενέργεια που μπορεί να αποσπαστεί σε μηνιαίες kWh ανά kW, βρίσκεται από τον πολλαπλασιασμό του αριθμού των ωρών ανά μήνα.

Με δεδομένη τη χωροθέτηση των Α/Γ (πλήθος ανά επιφάνεια), είναι δυνατόν να εκτιμηθεί η ενέργεια που μπορεί να δεσμευτεί (σε kW ανά Km²). Αυτή η ποσότητα μπορεί να βρεθεί από τη σχέση $f_e \cdot P_e \cdot \eta_w$, όπου P_e είναι η ενέργεια που μπορεί να δεσμευτεί ανά Α/Γ, η_w είναι ο αριθμός των Α/Γ ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο μιας χερσαίας περιοχής και $f_e \leq 1$ είναι η κλασματική μείωση της ισχύος, εξαιτίας της κοντινής απόστασης των Α/Γ.

1.4.2 Κατανομή της ταχύτητας του ανέμου

Η γνώση της κατανομής πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου $p(V)$ και οι μεταβλητές $\langle V \rangle$ και $\langle V^3 \rangle$, είναι σημαντικές για την εκτίμηση της μέσης διαθέσιμης αιολικής ενέργειας (εξισώσεις (1.4.2) και (1.4.6)), του συντελεστή ενέργειας ($\langle V^3 \rangle / \langle V \rangle^3$) και της πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου, να βρίσκεται σε ορισμένα διαστήματα ($p(V_1 \leq V \leq V_2)$).

Μια τέτοια αναλυτική έκφραση, είναι η κατανομή της ταχύτητας του ανέμου απ' το μοντέλο του Weibull, που χρησιμοποιείται στις εφαρμογές για τα φορτία του ανέμου (wind loads) (Davenport 1963) και βρίσκει εφαρμογή στις μελέτες της αιολικής ενέργειας (Barnes 1974, Justus 1975, Wentink 1976, Justus et al. 1976 a, b,; Hennessey 1977) και εκφράζεται ως:

$$p(V) = \left(\frac{k}{c}\right) \cdot \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right] \quad (1.4.13)$$

όπου c καλείται παράμετρος κλίμακας (scale factor) και εκφράζεται σε μονάδες ταχύτητας και k παράμετρος σχήματος (shape factor), που είναι αδιάστατος. Η αθροιστική πιθανότητα δίνεται από τη σχέση:

$$p(V \leq V_x) = \int_0^{V_x} p(V) \cdot dV = 1 - \exp\left[-\left(\frac{V_x}{c}\right)^k\right] \quad (1.4.14)$$



Κάποιες άλλες ενδιαφέρουσες αναλυτικές συναρτήσεις κατανομής είναι: η κατανομή Rayleigh, η διπαραμετρική κανονική κατανομή κι η κατανομή Γάμμα. Η διπαραμετρική κανονική κατανομή, εισήχθηκε από τους Crutcher and Baer (1962) και κατανέμει κανονικοποιημένα, συσχετίζοντας μεταξύ τους, τις συνιστώσες του ανέμου. Η μονοπαραμετρική κατανομή της ταχύτητας, προέρχεται από την διπαραμετρική κανονική κατανομή, ωστόσο είναι μια πολύπλοκη άθροιση των παραγώγων των εξισώσεων του Bessel (Smith 1971, 1976). Αυτή η μορφή είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθεί στις εφαρμογές της αιολικής ενέργειας, εξαιτίας αφενός της πολύπλοκης μορφής της κι αφετέρου της ανάγκης καθορισμού πέντε παραμέτρων (μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των συνιστωσών του ανέμου και των συνιστωσών των συσχετιζόμενων συναρτήσεων).

Η οικογένεια των καμπυλών Pearson τύπου III (κατανομή Γάμμα), συχνά χρησιμοποιήθηκε για την κατανομή ανεμολογικών δεδομένων (Putnam 1948, Sherlock 1951). Η κατανομή Weibull είναι μια ειδική περίπτωση της γενικευμένης κατανομής Γάμμα. Η κατανομή Rayleigh, η οποία έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα (Court 1974, Barnes 1974) είναι μια ειδική περίπτωση της κατανομής Weibull, όπου $k = 2$ στις εξισώσεις (1.4.13) και (1.4.14). Αναλυτικότερα, η κατανομή Rayleigh μπορεί να παραχθεί ως μια μονοπαραμετρική κατανομή ταχύτητας, της διπαραμετρικής κανονικής κατανομής με μηδενικές συνιστώσες μέσω των τιμών, ισοδύναμες συνιστώσες τυπικών αποκλίσεων και μηδενική συσχετιζόμενη συνιστώσα. Από πρακτικής απόψεως, οι δύο παράμετροι της συνάρτησης Weibull, παρέχουν μια εμπειρική μέθοδο για την ακριβή αναπαράσταση των κατανομών του ανέμου, η οποία είναι πιο κατάλληλη απ' ό,τι η διπαραμετρική κανονική κατανομή και πιο ευπροσάρμοστη απ' ό,τι η μονοπαραμετρική Rayleigh.

Η κατανομή Weibull είναι μια διπαραμετρική κατανομή (c και k), η οποία επιτρέπει την αξιολόγηση αρκετά σημαντικών ιδιοτήτων των κατανομών του ανέμου, σε όρους των δύο παραμέτρων. Η πιθανότητα των ταχυτήτων κάτω από μία τιμή της V_x , δίνεται από την εξίσωση (1.4.14). Ομοίως, η πιθανότητα των ταχυτήτων πάνω από την τιμή V_x δίνεται από:

$$p(V \geq V_x) = \int_0^{V_x} p(V) \cdot dV = \exp \left[- \left(\frac{V_x}{c} \right)^k \right] \quad (1.4.15)$$

Σημειώνεται ότι, η $p(V \geq V_x) = 1 - p(V \leq V_x)$ εξάγεται από την εξίσωση (1.4.14) και η πιθανότητα να εντοπίζονται ταχύτητες μεταξύ δύο τιμών V_x και V_y είναι:



$$p(V_x \leq V \leq V_y) = \int_{V_x}^{V_y} p(V) \cdot dV = \exp\left[-\left(\frac{V_x}{c}\right)^k\right] - \exp\left[-\left(\frac{V_y}{c}\right)^k\right] \quad (1.4.16)$$

Η διάμεσος τιμή (ποσοστημόριο 50%) της ταχύτητας του ανέμου V_m , μπορεί να υπολογιστεί από την επίλυση της εξίσωσης (1.4.15),:

$$\frac{1}{2} = \exp\left[-\left(\frac{V_m}{c}\right)^k\right] \quad \text{δηλαδή}$$

$$V_m = c \cdot (\ln 2)^{1/k} \quad (1.4.17)$$

Η μέση ταχύτητα $\langle V \rangle$, υπολογίζεται από την κατανομή Weibull:

$$\langle V \rangle = \int_0^{\infty} V \cdot p(V) \cdot dV = c \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (1.4.18)$$

όπου Γ είναι η συνάρτηση Γάμμα. Η τυπική απόκλιση (σ) της κατανομής, δίνεται από:

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} (V - \langle V \rangle)^2 \cdot p(V) \cdot dV = c^2 \cdot \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right] \quad (1.4.19)$$

Η μέση τιμή του κύβου της ταχύτητας του ανέμου $\langle V^3 \rangle$, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\langle V^3 \rangle = \int_0^{\infty} V^3 \cdot p(V) \cdot dV = c^3 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (1.4.20)$$

Έτσι, οι λόγοι $\langle V^3 \rangle / c$, $\sigma / \langle V \rangle$ και οι πρότυποι ενεργειακοί συντελεστές $\langle V^3 \rangle / \langle V \rangle^3$ και $V_m / \langle V \rangle$, εξαρτώνται από τον συντελεστή μορφής k μέσω των εξισώσεων:

$$\frac{\langle V \rangle}{c} = \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (1.4.21)$$

$$\frac{\sigma}{\langle V \rangle} = \left[\frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right)}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right)} - 1 \right]^{1/2} \quad (1.4.22)$$



$$\frac{\langle V^3 \rangle}{\langle V \rangle^3} = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right)}{\Gamma^3\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (1.4.23)$$

$$\frac{V_m}{\langle V \rangle} = \frac{(\ln 2)^{1/k}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (1.4.24)$$

Ταχύτητες οι οποίες συνεισφέρουν κατά μέγιστο βαθμό στην κατανομή (V_0), στη μέση ταχύτητα (V_1) και στη μέση ενέργεια (V_3), μπορούν να υπολογιστούν βρίσκοντας την μέγιστη τιμή στη σχέση: $V^n \rho(V)$ για $n = 0, 1$ και 3 , που προκύπτει από τις λύσεις της $d(V^n \rho[V]) / dV = 0$. Αυτές προσδιορίζονται σε σχέση με τη μέση ταχύτητα $\langle V \rangle$ και είναι:

$$\frac{V_0}{\langle V \rangle} = \frac{(k-1)/k^{1/k}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (1.4.25)$$

$$\frac{V_1}{\langle V \rangle} = \frac{1}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (1.4.26)$$

$$\frac{V_3}{\langle V \rangle} = \frac{[(k+2)/k]^{1/k}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (1.4.27)$$

Ο Πίνακας 1.4.1, δίνει τις τιμές των $\langle V \rangle/c$, $\sigma/\langle V \rangle$, $\langle V^3 \rangle/\langle V \rangle^3$, $V_m/\langle V \rangle$, $V_0/\langle V \rangle$, $V_1/\langle V \rangle$ και $V_3/\langle V \rangle$ για διάφορες τιμές του k .

Εξαιτίας των σχέσεων (εξισώσεις 1.4.21 και 1.4.22) μεταξύ της μέσης ταχύτητας του ανέμου $\langle V \rangle$, της τυπικής απόκλισης σ και των παραμέτρων Weibull c και k , η γνώση των $\langle V \rangle$ και σ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή των c και k . Επειδή το k τείνει να αυξάνεται με την $\langle V \rangle$, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια εμπειρική σχέση για την εκτίμηση του k από την $\langle V \rangle$ (με το c να υπολογίζεται από την $\langle V \rangle$ και k μέσω της εξίσωσης 1.4.21, άπαξ και το k εκτιμάται). Μια τέτοια σχέση (Justus 1978), θεωρεί το k ανάλογο του $(\langle V \rangle)^{1/2}$ με ένα συντελεστή να κυμαίνεται από 0,83 σε περιοχές υψηλής κύμανσης, έως 1,05 για περιοχές χαμηλής κύμανσης. Μια παρόμοια σχέση μεταξύ k και $\langle V \rangle$ έχει επίσης προταθεί από τον Cherry (1980).



1.5 Κλιματολογία του ανέμου

Σύμφωνα με τους αποδεκτούς ορισμούς του καιρού και του κλίματος (Lamb 1972):

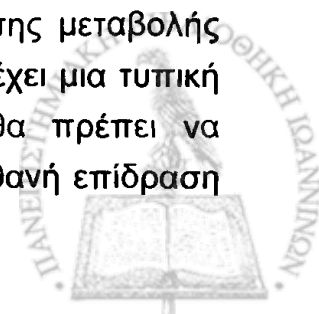
Καιρός είναι το σύνολο των ατμοσφαιρικών συνθηκών σε ένα οποιαδήποτε μέρος και χρόνο – η στιγμιαία κατάσταση της ατμόσφαιρας κι ιδιαιτέρως αυτών των στοιχείων, που επιδρούν άμεσα στους ζώντες οργανισμούς. Τέτοια στοιχεία καιρού είναι η θερμοκρασία, η ατμοσφαιρική πίεση, ο άνεμος, η υγρασία, η νέφωση, η βροχή, η ηλιοφάνεια κι η ορατότητα.

Κλίμα είναι το αθροιστικό σύνολο των καιρικών συνθηκών, που συμβαίνουν σε ένα μέρος κατά τη διάρκεια του έτους ή σειράς ετών. Εξαιτίας της αλλαγής από έτος σε έτος των μέσων συνθηκών των στοιχείων του καιρού, το κλίμα μπορεί να καθοριστεί και σε μερικές περιόδους του χρόνου – μερικά χρόνια, μια συγκεκριμένη δεκαετία ή μερικές δεκαετίες.

Η μεταβλητότητα είναι ενδογενές χαρακτηριστικό του κλίματος, εξ' αιτίας των καιρικών αλλαγών που συμβαίνουν από έτος σε έτος ή ανάμεσα σε συνεχόμενες δεκαετίες. Τα δεδομένα τα οποία σχηματίζουν τη βάση κάθε μελέτης αιολικού δυναμικού, καλύπτουν μια ορισμένη περίοδο του χρόνου, η οποία στις περισσότερες περιπτώσεις είναι γύρω στα δέκα χρόνια. Τώρα γεννάται το εξής ερώτημα: σε ποια έκταση είναι αυτή η περίοδος αντιπροσωπευτική, για ένα μεγάλης διάρκειας κλίμα και το πιο σημαντικό, πόσο μεγάλη πρέπει να αναμένεται η απόκλιση στις μελλοντικές δεκαετίες; Μια μελέτη κλιματικής μεταβλητότητας στη Βόρεια Ευρώπη δείχνει ότι, οι μεταβολές στην αιολική ενέργεια μπορούν να κυμανθούν πάνω από 30% από δεκαετία σε δεκαετία (Troen and Petersen 1989). Σε μια άλλη έρευνα, βρέθηκε από την ανάλυση της αναμενόμενης ενεργειακής ισχύος μιας ανεμογεννήτριας ύψους 45 m και σε μια χρονική περίοδο πάνω από 22 χρόνια, ότι η ενδοετήσια μεταβολή στην ισχύ, αντιστοιχεί σε μια μέση σχετική τυπική απόκλιση της τάξεως του 13% (Petersen et al. 1981).

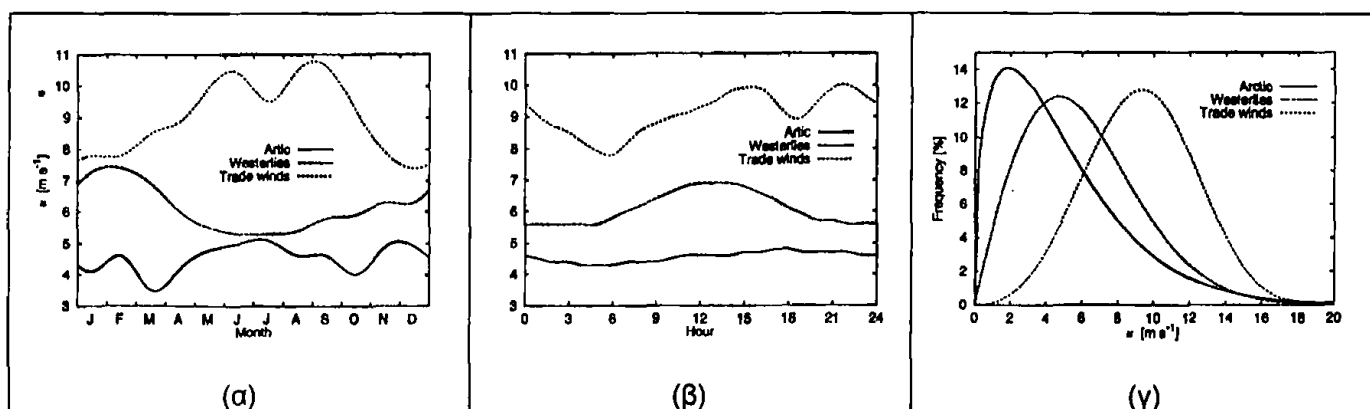
Κατά την οικονομική μελέτη για την χρησιμοποίηση μιας Α/Γ, τα ποσοστά της μεταβλητότητας θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπ' όψη. Σε αντίθεση με άλλους σημαντικούς παράγοντες, όπως τα ποσοστά συμμετοχής στις επιχειρήσεις όσον αφορά την ενέργεια και στις τιμές των καυσίμων, η αβεβαιότητα στο αιολικό δυναμικό δεν είναι πολύ μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια ζωής μιας Α/Γ, περίπου 20 ετών.

Βάση ερευνών που πραγματοποιήθηκαν πρόσφατα, η εκτίμηση της μεταβολής της αιολικής ενέργειας από μία εικοσάχρονη περίοδο στην επόμενη, έχει μια τυπική απόκλιση της τάξεως περίπου του 10% ή και λιγότερο. Δεν θα πρέπει να λησμονούμε ότι σύμφωνα με μελέτες που πραγματοποιήθηκαν, η πιθανή επίδραση



της αύξησης της περιεκτικότητας του CO₂ στην ατμόσφαιρα, μπορεί να προκαλέσει μια βαθμιαία αλλαγή στο παγκόσμιο κλίμα. Εάν αυτό συμβεί, τότε αναμένεται μια αλλαγή τόσο στις μέσες κλιματικές τιμές, όσο και στις διακυμάνσεις της αιολικής ενέργειας.

Το προφίλ του ανέμου (κατατομή ανέμου με το ύψος) που παρατηρείται σε οποιαδήποτε στιγμή, είναι μία μέτρηση των χαρακτηριστικών στοιχείων του τρέχοντος καιρού. Εάν η παρατήρηση του ίδιου προφίλ ανέμου συνεχιστεί και στα επόμενα έτη, τότε γίνεται λόγος για την κλιματολογία του προφίλ. Η αιολική κλιματολογική περιγραφή για την ταξινόμηση μιας συγκεκριμένης περιοχής, δεν είναι μια απλή διαδικασία. Πολλές διαφορετικές μορφές της στατιστικής του ανέμου, μπορούν να ληφθούν υπ' όψη για την περιγραφή των αιολικών κλιμάτων, τοπικών ή περιφερειακών. Για τον Ευρωπαϊκό Αιολικό Χάρτη (European Wind Atlas), μια γραφική απεικόνιση καλείται αιολικό κλιματολογικό αποτύπωμα (Troen and Petersen 1989). Η εμπειρία έχει διδάξει, ότι η συλλογή πληροφορίας για ποικίλα στατιστικά μεγέθη, παρέχει μια καλή απεικόνιση του αιολικού κλίματος. Το Σχήμα 1.5.1, περιγράφει τις χρήσιμες πληροφορίες για τον χαρακτηρισμό ενός αποτυπώματος, παρουσιάζοντας τρία διαφορετικά ευρέως αιολικά κλίματα από τους Αρκτικούς (Arctic), τους Δυτικούς (Westerlies) και τους Αληγείς (Trade) ανέμους. Οι διαφορές μεταξύ αυτών των κλιμάτων είναι σημαντικές, στις ημερήσιες και ετήσιες μεταβολές.



Σχήμα 1.5.1: (α) Ετήσιες και (β) ημερήσιες μεταβολές της μέσης ταχύτητας του ανέμου για 3 διαφορετικά αιολικά κλίματα των Αρκτικών (Arctic), Δυτικών (Westerlies) και Αληγών (Trade) ανέμων. (γ) Συχνότητες κατανομής της ταχύτητας του ανέμου για τα 3 αιολικά κλίματα. Διακρίνεται η υπεροχή των Αληγών έναντι των άλλων 2 συστημάτων.



1.6 Χωροχρονικές μεταβολές της αιολικής ενέργειας

Εκτός της χρονικής μεταβολής, η αιολική ενέργεια μεταβάλλεται και χωρικά. Αυτό οφείλεται στη μεταβλητότητα της έντασης του ανέμου, που παρατηρείται στα διάφορα γεωγραφικά πλάτη, σε διαφορετικές χρονικές περιόδους (ημέρα, μήνα, εποχή, έτος).

1.6.1 Χωρικές μεταβολές

Είναι γνωστό ότι, το κλίμα ποικίλλει κατά μεγάλο βαθμό παγκοσμίως. Αυτό έχει ως συνέπεια κλιματικά στοιχεία, όπως η υγρασία, η θερμοκρασία, ο υετός κι ο άνεμος να μεταβάλλονται από περιοχή σε περιοχή. Το Σχήμα 1.6.1, παρουσιάζει τη μέση ταχύτητα του ανέμου στα 10 m από το έδαφος για την περίοδο 1976–1995, σύμφωνα με την ανάλυση των δεδομένων απ' το NCEP/NCAR.

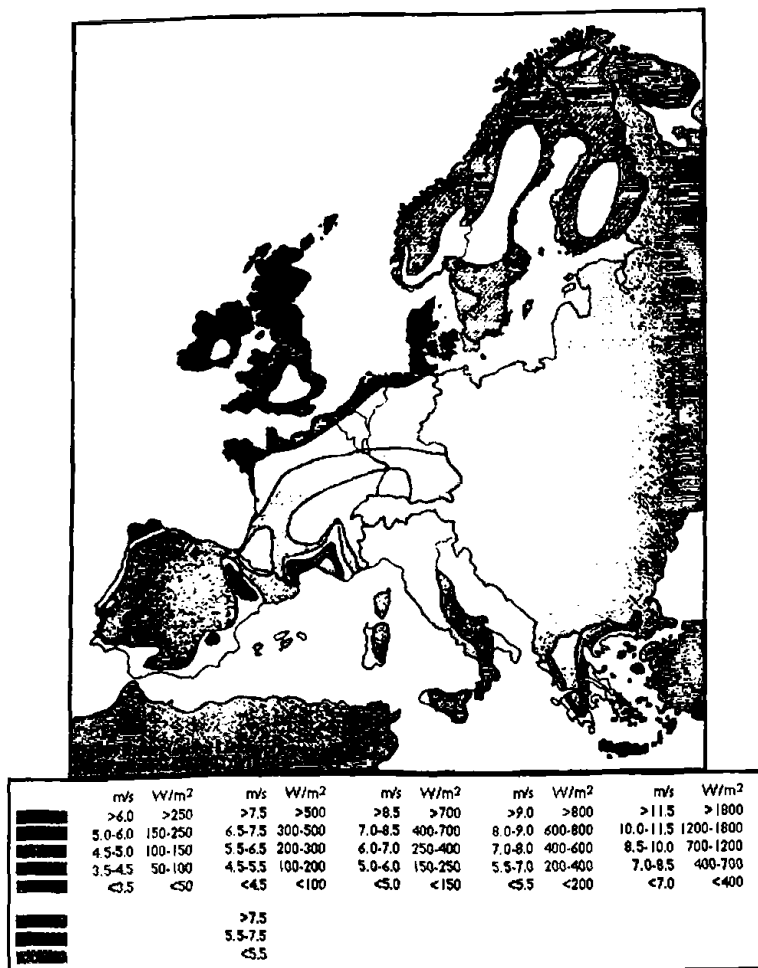


Σχήμα 1.6.1: Παγκόσμια κατανομή της μέσης ταχύτητας του ανέμου (σε m/s) στα 10 m από το έδαφος, για τη χρονική περίοδο 1976–1995 [Πηγή: NCEP/NCAR].

Όπως διακρίνεται στο Σχήμα, ξεχωρίζουν οι περιοχές του Νοτίου Ημισφαιρίου, καθώς και η εξωτροπική κυκλωνική δραστηριότητα κατά μήκος του Βορείου Ατλαντικού και Βορείου Ειρηνικού, όπου εντοπίζονται οι υψηλές ταχύτητες ανέμου. Επιπλέον, διακρίνονται: ο νοτιοδυτικός μουσσώνας και το ρεύμα αέρα της Σομαλίας (Somali Jet).

Το αιολικό δυναμικό στον Ευρωπαϊκό χώρο, παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.6.2, όπου παρουσιάζει τις ταχύτητες του ανέμου για όλη την Ευρώπη, μετρημένες στο ύψος των 50 μέτρων, για κάθε είδους τοπική μορφολογία [Πηγή: Risø National Laboratory].



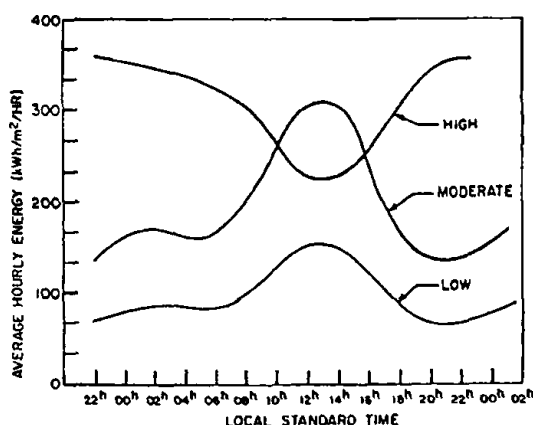


Σχήμα 1.6.2: Κατανομή της ταχύτητας του ανέμου (m/s) και εκτίμηση του αιολικού δυναμικού (W/m²) στον Ευρωπαϊκό χώρο. Το πρώτο ζευγάρι στηλών της λεζάντας του Σχήματος, αντιστοιχούν στην ταχύτητα (m/s) και στην ενέργεια (W/m²) του ανέμου σε υπήνεμες περιοχές. Το δεύτερο ζευγάρι σε ανοικτές περιοχές, το τρίτο σε παραθαλάσσιες περιοχές, το τέταρτο σε ανοικτή θάλασσα και το τελευταίο ζευγάρι σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο (λόφοι, γκρεμοί).

Προφανώς, αυτή είναι μια περιγραφική εικόνα των ταχυτήτων του ανέμου που επικρατούν τόσο παγκοσμίως, όσο και στον Ευρωπαϊκό χώρο, διότι αφενός δεν απεικονίζει τοπικά συστήματα ανέμου σε κλίμακα μικρότερη των μερικών εκατοντάδων χιλιομέτρων, αφετέρου δεν εμφανίζονται τα συστήματα μεγάλης κλίμακας με τις ισχυρές ετήσιες μεταβολές. Παρόλα αυτά, σαν σημείο αναφοράς για την εκτίμηση τοπικού αιολικού δυναμικού, οι πληροφορίες δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για τους χάρτες, είναι εξαιρετικά χρήσιμες σε συνδυασμό με τα επαρκή μετεωρολογικά μοντέλα.

1.6.2 Χρονικές μεταβολές

Η αιολική ενέργεια εκτός της χωρικής μεταβλητότητας, παρουσιάζει και χρονική. Αυτό δημιουργείται, όπως είναι φυσικό, λόγω της διαφορετικής εντάσεως του ανέμου κατά τη διάρκεια ενός έτους, εποχής, μήνα ακόμα και ημέρας. Για την βέλτιστη χρησιμοποίηση της αιολικής ενέργειας, ο παράγοντας του ημερήσιου ανέμου θα πρέπει να ταιριάζει με το ημερήσιο φορτίο, που αντιστοιχεί στην αιολική ενέργεια. Για παράδειγμα, για την ενεργειακή κάλυψη των κλιματιστικών, το μέγιστο φορτίο εντοπίζεται τις πρώτες απογευματινές ώρες. Περιοχές με συνθήκες «μέτριων» ανέμων (Σχήμα 1.6.3), είναι προτιμότερες σε σχέση με αυτές των «υψηλών» ανέμων (Garate 1977).

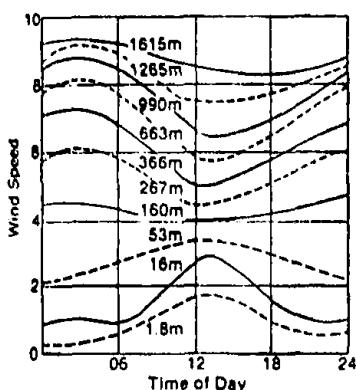


Σχήμα 1.6.3: Ημερήσιες μεταβολές της αιολικής ενέργειας για τρεις συνθήκες ανέμου.

Πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη προσοχή στα συμπεράσματα που εξάγονται για τις ημερήσιες μεταβολές του ανέμου στο επίπεδο του ύψους της πλήμνης του δρομέα μιας ΑΓ (Σχήμα 1.3.2), σε σχέση με τις παρατηρούμενες ημερήσιες μεταβολές στο κατά πολύ χαμηλότερο επίπεδο του ανεμομέτρου. Αυτό συνήθως συμβαίνει στις ορεινές περιοχές (Coty 1976). Στο επίπεδο του εδάφους, τα μέγιστα των ανέμων κοντά στην επιφάνεια συμβαίνουν νωρίς το απόγευμα, ενώ οι άνεμοι σε μεγαλύτερα ύψη (≥ 100 m) είναι ασθενέστεροι κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου (Crawford and Hudson 1970) (Σχήμα 1.6.4).

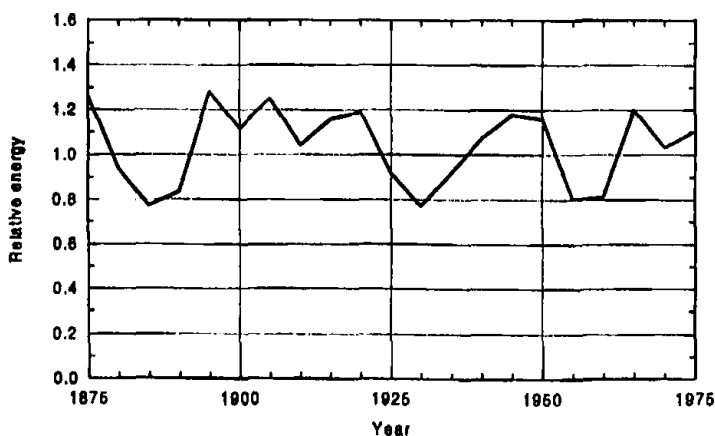
Αυτή η μεταβολή οφείλεται, στα μεγάλα ποσοστά ανταλλαγής ορμής προς το έδαφος, κατά τη διάρκεια ασταθών συνθηκών και χαμηλής ανταλλαγής ορμής προς το έδαφος κατά τη διάρκεια ευσταθών συνθηκών. Ο Coty (1976), βρήκε ότι οι ημερήσιες μεταβολές του ανέμου σε ορεινές περιοχές δεν ακολουθούν απλούς κανόνες και διαφοροποιούνται αξιοσημείωτα από περιοχή σε περιοχή. Ο άνεμος στην κορυφή του βουνού, εξαιτίας του διαχωρισμού λόγω της παρατηρούμενης

ευστάθειας του ελεύθερου αέρα και της επιφάνειας, ακολουθεί άλλοτε το καθεστώς του ελεύθερου αέρα και άλλοτε το καθεστώς της επιφάνειας.



Σχήμα 1.6.4: Μεταβολή του ημερήσιου κύκλου της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος, πάνω από το έδαφος.

Η σημαντικότητα της ενδοετήσιας μεταβολής απεικονίζεται στο πείραμα του Putnam (1948), ο οποίος βρήκε ότι στο Grandpa's Knob, οι μέσες ταχύτητες ανέμου ενός έτους, μπορούν να αποκλίνουν περισσότερο από 26% σε σχέση με τις μέσες τιμές πέντε ετών. Παρόλα αυτά, οι μέσες ετήσιες τιμές του ανέμου για ένα χρόνο δεν μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστες για κλιματολογικά συμπεράσματα. Μελέτες σχετικά με το ιστορικό των καταγραφών της ταχύτητας του ανέμου σε σταθμούς κοντά σε υποψήφιες αιολικές περιοχές έδειξαν ότι, η λειτουργία του πρώτου έτους είναι δυνατόν να πραγματοποιείται με μη αποδεκτές, χαμηλές μέσες τιμές ταχύτητας του ανέμου. Σύμφωνα με τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε στη Βόρεια Ευρώπη (Troen and Petersen 1989), οι μεταβολές της αιολικής ενέργειας μπορούν να κυμανθούν πάνω από 30% από δεκαετία σε δεκαετία (Σχήμα 1.6.5).



Σχήμα 1.6.5: Μέση σχετική ενέργεια του ανέμου για διαδοχικές πενταετίες, από χρονοσειρές στο Hesselø της Δανίας, τη χρονική περίοδο 1873–1982.



1.7 Η μεταβολή του ανέμου στο Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα (ΑΟΣ)

Ο άνεμος στο κατώτερο τμήμα της ατμόσφαιρας που είναι γνωστό και ως ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα (ΑΟΣ), είναι η πιο σημαντική ατμοσφαιρική μεταβλητή για τη «Μετεωρολογία της αιολικής ενέργειας». Αρχικά, οι ερευνητικές μελέτες του ΑΟΣ εστίαζαν περισσότερο σε θέματα σχετικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση, την αγρομετεωρολογία, κ.λπ. Μέχρις ότου αποκτηθεί η απαραίτητη θεωρητική υποδομή για το ΑΟΣ, οι κατασκευαστές των Α/Γ στο παρελθόν κατέληγαν σε λανθασμένα συμπεράσματα, όσον αφορά τις εκτιμήσεις τους περί των ανεμολογικών συνθηκών στο ΑΟΣ. Παρόλα αυτά, αυτό πλέον έχει αλλάξει κι ο εξοπλισμός για την κατασκευή λεπτομερούς κι υψηλής ρεαλιστικότητας μοντέλου, που περιγράφει κι απεικονίζει για παράδειγμα την τύρβη πάνω από το επίπεδο του περιστρεφόμενου μέρους μιας Α/Γ, αποτελεί πλέον μια τρομακτική πρόκληση για τη «Μετεωρολογία της αιολικής ενέργειας».

Το ΑΟΣ, είναι το στρώμα του αέρα ακριβώς πάνω από την επιφάνεια της Γης. Το στρώμα εκτείνεται περίπου 100 m πάνω από το έδαφος για αίθριες νύκτες και χαμηλές ταχύτητες ανέμου και σε 2 Km για αίθριες καλοκαιρινές ημέρες. Το κατώτερο τμήμα του ΑΟΣ, ονομάζεται επιφανειακό οριακό στρώμα (ΕΟΣ) κι ορισμένες φορές προσδιορίζεται ως το σταθερό πηλίκιο (10%) του πάχους του ΑΟΣ. Για τη μελέτη του αιολικού δυναμικού και των ανεμολογικών συνθηκών γενικότερα, το πάχος του ΑΟΣ προσδιορίζεται στο 1 Km.

1.7.1 Προεκβολές των μέσων ταχυτήτων του ανέμου

Υπάρχουν δύο μέθοδοι για την κατακόρυφη μετά του ύψους προεκβολή της ταχύτητας του ανέμου στις εφαρμογές της αιολικής ενέργειας στο ΑΟΣ: (1) προεκβολή των ταχυτήτων του ανέμου, που μεσοποιήθηκαν για μια μικρή χρονική περίοδο (π.χ. μέσος άνεμος σε 1 min, όπως αναφέρεται από την National Weather Service) και (2) προεκβολή των ταχυτήτων του ανέμου, που μεσοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας μεγάλη χρονική περίοδο (>1 hour). Η προεκβολή της ταχύτητας του ανέμου για τη μεσοποίηση μικρής χρονικής περιόδου, αποδεικνύεται επαρκώς στη θεωρία ομοιότητας των ατμοσφαιρικών οριακών στρωμάτων, ενώ η προεκβολή των ταχυτήτων του ανέμου μεσοποίησης μεγάλης περιόδου, συνδέεται με την εμφάνιση ποικίλων παραγόντων που την επηρεάζουν, όπως η ατμοσφαιρική ευστάθεια και συνεπώς πρέπει να βασιστεί σε μια πιο εμπειρική προσέγγιση.



Η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου $\langle u \rangle$ μετά του ύψους στην περίπτωση μεσοποίησης μικρής χρονικής περιόδου, γίνεται γνωστή με τη βοήθεια της θεωρίας της ομοιότητας του οριακού στρώματος (Monin and Obukhov 1954):

$$\frac{k \cdot z \cdot d \langle u \rangle}{u \cdot dz} = \Phi \left(\frac{z}{L} \right) \quad (1.7.1)$$

$$\langle u \rangle = \left(\frac{u_*}{k} \right) \cdot \left[\ln \left(\frac{z}{z_0} \right) - \Psi \left(\frac{z}{L} \right) \right] \quad (1.7.2)$$

όπου, Φ και Ψ είναι οι παγκόσμιες συναρτήσεις του ύψους z , σε συνάρτηση με την κλίμακα ομοιότητας L (μήκος Monin-Obukhov), τη σταθερά von Karman k ($\approx 0,4$), το αεροδυναμικό μήκος τραχύτητας z_0 και την ταχύτητα τριβής u_* , η οποία συνδέεται με την επιφανειακή τάση τ , απ' τη σχέση $\tau = -\rho \langle v'u' \rangle = \rho u_*^2$, όπου u, v, w οι συνιστώσες της διανυσματικής ταχύτητας του ανέμου $V(u,v,w)$. Το μήκος Monin-Obukhov L , εξαρτάται τόσο απ' την επιφανειακή τάση τ , όσο και από την ροή θερμότητας $H_0 = \rho c_p \langle w'T' \rangle$. Η σχέση δίνεται απ' την εξίσωση:

$$L = - \frac{u_*^3 \cdot \rho \cdot c_p \cdot T_0}{k \cdot g \cdot H_0} \quad (1.7.3)$$

όπου g = η τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας, c_p = η γραμμομοριακή θερμοχωρητικότητα του ατμοσφαιρικού αέρα υπό σταθερή πίεση και k = η σταθερά von Karman.

Στη μέθοδο μεσοποίησης μικρής χρονικής περιόδου, για την προεκβολή της ταχύτητας του ανέμου V_1 από το ύψος z_1 , στην ταχύτητα V_2 σε ύψος z_2 (με την προϋπόθεση ότι τα z_0 και L είναι γνωστά), χρησιμοποιώντας την εξίσωση (1.7.2) προκύπτει:

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{\ln \left(\frac{z_2}{z_0} \right) - \Psi \left(\frac{z_2}{L} \right)}{\ln \left(\frac{z_1}{z_0} \right) - \Psi \left(\frac{z_1}{L} \right)} \quad (1.7.4)$$

όπου υπό συνθήκες ουδέτερης θερμικής ευστάθειας της ατμόσφαιρας (ταχύτητες του ανέμου > 6 m/s) απλοποιείται στη λογαριθμική σχέση προεκβολής:



$$V_2 = V_1 \cdot \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right)} \quad (1.7.5)$$

Οι δυσκολίες για την εκτίμηση της συνάρτησης Ψ στη γενικευμένη μορφή της εξίσωσης (1.7.4), μπορούν να ξεπεραστούν χρησιμοποιώντας τον εκθετικό νόμο του Panofsky (1977):

$$V_2 = V_1 \cdot \left(\frac{z_2}{z_1}\right)^\alpha \quad (1.7.6)$$

ο εκθέτης α δίδεται αναλυτικά από τη σχέση:

$$\alpha = \frac{\phi\left(\frac{z_g}{L}\right)}{\ln\left(\frac{z_g}{z_0}\right) - \Psi\left(\frac{z_g}{L}\right)} \quad (1.7.7)$$

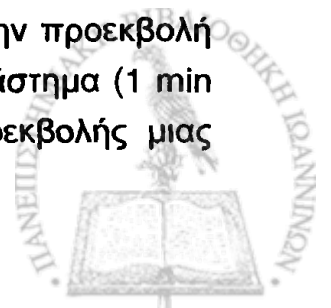
όπου $z_g = (z_1 z_2)^{1/2}$.

Υπό συνθήκες ουδέτερης ευστάθειας (υψηλές ταχύτητες ανέμου), η εξίσωση (1.7.7) απλοποιείται στη σχέση:

$$\alpha = \frac{1}{\ln\left(\frac{z_g}{z_0}\right)} \quad (1.7.8)$$

Κατά την διάρκεια των νυκτερινών ωρών, οι άνεμοι γενικά πνέουν ασθενείς κοντά στην επιφάνεια, αλλά συχνά η ταχύτητά τους αυξάνεται σε ορισμένα ύψη υπεράνω του εδάφους. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως νυκτερινός αεροχείμαρρος (nocturnal jet) (Blackadar 1957). Τέτοιες συνθήκες, προκαλούνται από χαμηλά ποσά ανταλλαγής ορμής άνωθεν προς την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια της νυκτερινής περιόδου. Τέτοιες συνθήκες οριακού στρώματος, δεν εισάγονται ικανοποιητικά στο μοντέλο των Monin-Obukhov ή στον ισοδύναμο εκθετικό νόμο, που αναφέρθηκε προηγουμένως. Οι Mahrt and Heald (1979) μελέτησαν τέτοιες έντονες συνθήκες νυκτερινής διάτμησης, στο γενικό πλαίσιο των εφαρμογών της αιολικής ενέργειας.

Η θεωρία ομοιότητας των Monin-Obukhov, είναι εφαρμόσιμη για την προεκβολή της ταχύτητας του ανέμου που έχει μεσοποιηθεί για μικρό χρονικό διάστημα (1 min έως 1 hour). Η θεωρία αυτή δεν εφαρμόζεται στη διαδικασία προεκβολής μιας



γνωστής μέσης ταχύτητας ανέμου μεγάλης περιόδου (π.χ., μηνιαίας ή ετήσιας) από ένα ύψος σε ένα άλλο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, στη χρονική διάρκεια μιας μηνιαίας ή ετήσιας μεσοποιημένης περιόδου, περιλαμβάνεται ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα ατμοσφαιρικών συνθηκών ευστάθειας (τιμές του L). Επιπλέον, σε αρκετές περιοχές, διαφορετικά επιφανειακά χαρακτηριστικά σε διάφορες διευθύνσεις απ' την περιοχή ενδιαφέροντος, οδηγούν σε διαφορετικές τιμές του μήκους τραχύτητας της επιφάνειας z_0 (ίσως και παραπάνω από έναν παράγοντα 10).

Το μοντέλο του εκθετικού νόμου στη μορφή της εξίσωσης (1.7.6), συχνά εφαρμόζεται για την προεκβολή των μέσων ταχυτήτων του ανέμου μεγάλης χρονικής περιόδου. Η μεταβολή του εκθέτη α με την ευστάθεια, σύμφωνα με την θεωρία ομοιότητας, οδηγεί σε μερικά γενικά συμπεράσματα που αφορούν την παράμετρο α :

1. ο εκθέτης α δεν μπορεί να έχει μια σταθερά παγκόσμια τιμή για όλες τις περιοχές, θα εξαρτάται τουλάχιστον απ' το μέσο επιφανειακό μήκος τραχύτητας και τη μέση θερμική ευστάθεια της περιοχής (L).
2. περιοχές με υψηλές τιμές ταχυτήτων ανέμου (≥ 6 m/s) επηρεάζονται απ' τις ουδέτερες συνθήκες ευστάθειας.
3. περιοχές με χαμηλές τιμές της ταχύτητας του ανέμου, θα έχουν αυξημένη συχνότητα εμφανίσεων υψηλής και χαμηλής ευστάθειας. Έτσι, η ενεργός τιμή του εκθέτη α θα είναι πιο ευμετάβλητη από περιοχή σε περιοχή, σε περιοχές με χαμηλές ταχύτητες ανέμου απ' ότι σε περιοχές με υψηλές ταχύτητες ανέμου, αλλά οι σημαντικά υψηλές τιμές του εκθέτη α για τις ευσταθείς συνθήκες παρά για τις ασταθείς, θα δημιουργήσουν μια μέση ενεργή τιμή του εκθέτη α μεγαλύτερη σε περιοχές με χαμηλές παρά σε περιοχές με υψηλές ταχύτητες ανέμου.

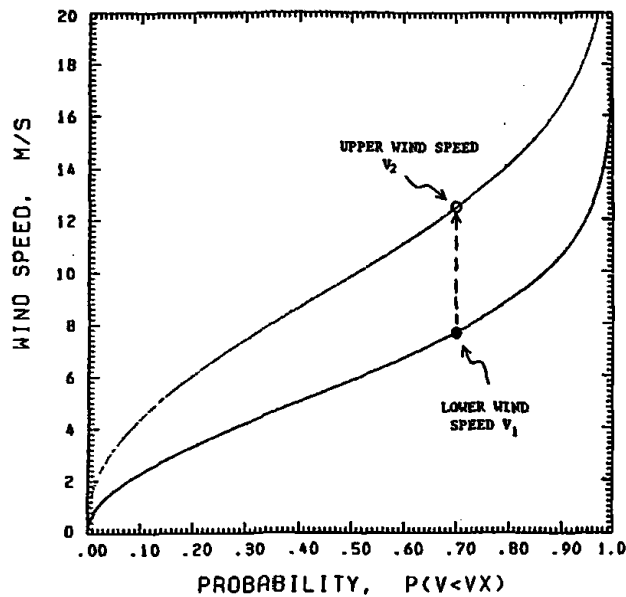
Οι Justus and Mikhail (1976) και Mikhail and Justus (1979a) εισήγαγαν την έννοια της προεκβολής των κατανομών της ταχύτητας του ανέμου, ως ένα μοντέλο που αναφέρεται στις μέσες τιμές της ταχύτητας του ανέμου μεγάλης περιόδου. Η τεχνική αυτή εμφανίζεται στο Σχήμα 1.7.1, και συνδέει την ταχύτητα του ανέμου V_2 σε ύψος z_2 , με τη μέση ταχύτητα V_1 σε ύψος z_1 , εξισώνοντας τις αθροιστικές πιθανότητες των κατανομών $p(V_1)$ και $p(V_2)$.

Για την κατανομή Weibull της εξίσωσης (1.4.15), η εφαρμογή της μεθόδου αυτής δίνει $(V_2/c_2)^{k_2} = (V_1/c_1)^{k_1}$ και τελικά:

$$V_2 = A \cdot V_1^\beta \quad (1.7.9)$$

με το εκθέτη β να είναι μια συνάρτηση των υψών z_1 και z_2 , $\beta = k_1/k_2$ και τον συντελεστή A , μια συνάρτηση του επιφανειακού μήκους τραχύτητας z_0 και των υψών z_1 και z_2 , $A = c_2/c_1^\beta$.





Σχήμα 1.7.1: Παράδειγμα εφαρμογής της προεκβολής της κατανομής ταχύτητας του ανέμου, εξισώνοντας αθροιστικές πιθανότητες, για μέσες ταχύτητες μεγάλης χρονικής περιόδου.

Η μορφή της εξίσωσης (1.7.9), μπορεί να εξισωθεί με τον εκθετικό νόμο της εξίσωσης (1.7.6), μόνο εάν:

$$A = \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^a \quad (1.7.10)$$

$$\beta = 1 + b \cdot \ln \left(\frac{z_2}{z_1} \right) \quad (1.7.11)$$

και

$$\alpha = a + b \cdot \ln V_1 \quad (1.7.12)$$

όπου a είναι μια συνάρτηση του z_0 , το b παρατηρείται να είναι προσεγγιστικά σταθερό και μάλιστα $b = -0.0881$ (με μια προσαρμογή, εάν το z_1 δεν είναι στο καθιερωμένο ύψος των 10 μέτρων) (Justus and Mikhail 1976). Σε μεγάλες τιμές του V_1 , η εξίσωση (1.7.12) πρέπει να παρουσιάζει την ίδια εξάρτηση με την εξίσωση (1.7.8). Οι Mikhail and Justus (1979a), βρήκαν πως μια κατάλληλη μορφή της εξίσωσης (1.7.12), είναι:

$$\alpha = \frac{1}{\ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right)} + b \cdot \ln\left(\frac{V_1}{6}\right) \quad (1.7.13)$$

Όταν $\beta = k_1/k_2$ και $A = c_2/c_1^\beta$, οι σχέσεις (1.7.11) και (1.7.13) μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για να προεκβάλλουν τις παραμέτρους της κατανομής Weibull, δηλαδή:

$$k_2 = \frac{k_1}{\beta} = \frac{k_1}{1 + \ln\left(\frac{z_2}{z_1}\right)} \quad (1.7.14)$$

$$c_2 = c_1 \cdot \left(\frac{z_2}{z_1}\right)^\alpha \quad (1.7.15)$$

(με το α να δίνεται απ' την εξίσωση (1.7.13)). Αυτή η μέθοδος προεκβολής των παραμέτρων Weibull αναπτύχθηκε απ' τους Justus and Mikhail (1976) και τροποποιήθηκε απ' τους Mikhail and Justus (1979a). Χρησιμοποιήθηκε κι απ' τους Spera and Richards (1979) με μια αλλαγή στην παράσταση (χρησιμοποιώντας τον \log_{10} αντί του \log_e και εισάγοντας μια «ομογενή ταχύτητα ανέμου» V_h , στην οποία το $\alpha = 0$) και χρησιμοποιώντας μια διαφορετική εξάρτηση του z_0 ($a = (z_0/10)^{0.2}$ αντί για $a = 1/\ln(z_g/z_0)$), στην εξίσωση (1.7.13)).

1.8 Τοπογραφία και άνεμος

Ο άνεμος κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, επηρεάζεται έντονα από την τοπογραφία της περιοχής μελέτης. Η αλληλεπίδραση μεταξύ του ανέμου και της επιφάνειας, λαμβάνει χώρα σε ένα μεγάλο εύρος μηκών κλίμακας. Η Μετεωρολογία του οριακού στρώματος, προσπαθεί να ταξινομήσει τα χαρακτηριστικά των περιοχών, ώστε να εισαχθούν στα μοντέλα και να παραμετροποιηθούν. Οι επιδράσεις της τοπογραφίας μπορούν να εκφραστούν με τους παρακάτω 3 διαφορετικούς παράγοντες:

Τραχύτητα: Η συνολική επίδραση του τύπου της επιφάνειας του εδάφους και των στοιχείων τραχύτητάς του, οδηγούν σε μια συνολική επιβράδυνση του ανέμου κοντά στο έδαφος, η οποία χαρακτηρίζεται ως τραχύτητα του εδάφους.

Εμπόδια: Κοντά σε ένα εμπόδιο, όπως ένα κτίριο ή σε μια περιοχή εμποδίων, ο άνεμος επηρεάζεται σημαντικά από την παρουσία του εμποδίου, το οποίο μειώνει την ταχύτητα του ανέμου σημαντικά.

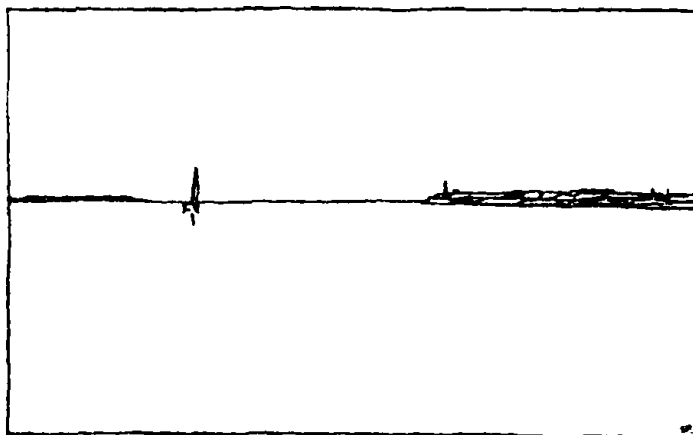


Ορεογραφία: Όταν η τυπική κλίμακα των χαρακτηριστικών του εδάφους, γίνεται μεγαλύτερη από το ύψος του σημείου του ενδιαφέροντος, τότε αυτά δρουν ως ορεογραφικά στοιχεία ως προς τον άνεμο. Κοντά στην κορυφή ή στο υψηλότερο σημείο ενός λόφου, στους γκρεμούς, στις οροσειρές και στις απότομες πλαγιές, ο άνεμος επιταχύνεται ενώ κοντά στις κοιλάδες επιβραδύνεται.

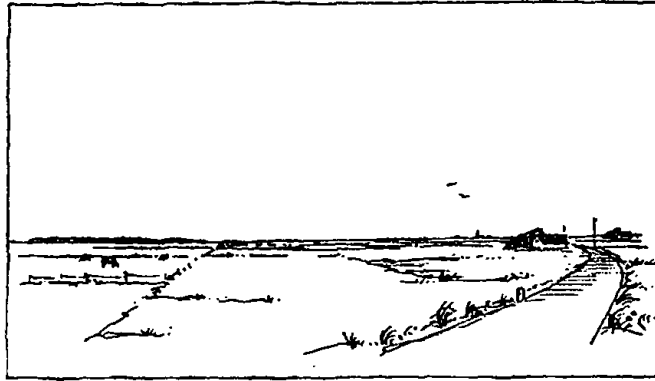
Αυτός ο διαχωρισμός της τοπογραφίας, έχει αποδειχθεί ότι διευκολύνει κατά πολύ την «Μετεωρολογία της αιολικής ενέργειας» και χρησιμοποιείται συχνά για τη περιγραφή της πολυπλοκότητας των τοπογραφικών παραγόντων.

1.8.1 Αεροδυναμικό μήκος τραχύτητας

Η τραχύτητα της επιφάνειας μιας συγκεκριμένης περιοχής, καθορίζεται από το μέγεθος και την κατανομή των στοιχείων τραχύτητας που εμπεριέχονται σ' αυτή. Στις επιφάνειες ξηράς υπάρχουν στοιχεία τραχύτητας όπως βλάστηση αλλά και περιοχές με κτίρια και χωμάτινες επιφάνειες. Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Αιολικό Χάρτη (Troen and Petersen 1989), τα διαφορετικά είδη εδάφους διαχωρίζονται σε 4 βαθμίδες, όπου η καθεμία χαρακτηρίζεται από τα στοιχεία τραχύτητας που περιέχει. Κάθε βαθμίδα εδάφους καλείται τάξη τραχύτητας (roughness class). Απεικόνιση και περιγραφή αυτών των τεσσάρων βαθμίδων, δίνεται στα Σχήματα 1.8.1–1.8.4.



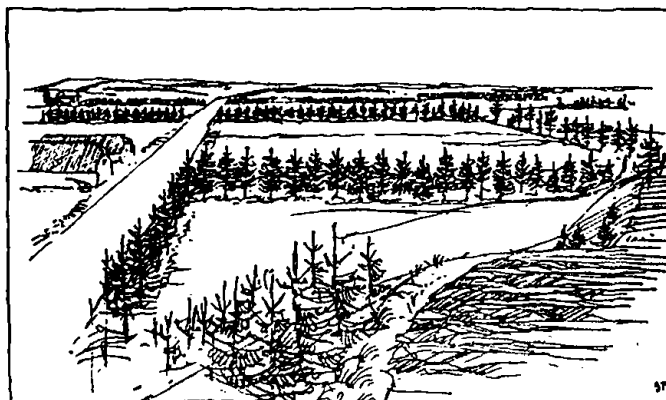
Σχήμα 1.8.1: Παράδειγμα εδάφους που αντιστοιχεί στη βαθμίδα τραχύτητας 0: υδάτινες επιφάνειες ($z_0 = 0,0002 \text{ m}$). Αυτή η τάξη περιλαμβάνει τις θάλασσες, λίμνες και τα φιορδ.



Σχήμα 1.8.2: Παράδειγμα εδάφους που αντιστοιχεί στη **βαθμίδα τραχύτητας 1**: ανοικτές περιοχές με λίγα εμπόδια ($z_0 = 0,03 \text{ m}$). Το έδαφος παρουσιάζει μεγάλο άνοιγμα και είναι επίπεδο ή ελαφρώς κυματοειδές. Μπορούν να υπάρχουν μονάδες από φάρμες και ελάχιστες συστοιχίες δέντρων ή θάμνων.



Σχήμα 1.8.3: Παράδειγμα εδάφους που αντιστοιχεί στη **βαθμίδα τραχύτητας 2**: αγροτικές περιοχές με εμπόδια (δέντρα) και μερικά διασκορπισμένα κτίρια, όπου η μέση απόσταση διαχωρισμού τους υπερβαίνει τα 1000 m ($z_0 = 0,10 \text{ m}$). Το έδαφος χαρακτηρίζεται από μεγάλες ανοικτές περιοχές με πολλούς ανεμοθραύστες ανάμεσα, δίνοντας στην περιοχή μια εικόνα μεγάλου ανοίγματος. Το έδαφος μπορεί να είναι επίπεδο ή κυματοειδές.



Σχήμα 1.8.4: Παράδειγμα εδάφους που αντιστοιχεί στη **βαθμίδα τραχύτητας 3**: αστικές περιοχές, δάση και αγροτικές περιοχές με πολλά εμπόδια ($z_0 = 0,40 \text{ m}$). Η αγροτική περιοχή χαρακτηρίζεται από πολλά και πυκνά εμπόδια, η μέση απόσταση των οποίων είναι περίπου μερικών εκατοντάδων μέτρων. Δάση και αστικές περιοχές ανήκουν σ' αυτή τη βαθμίδα, επίσης.

Η τραχύτητα του εδάφους περιγράφεται συχνά από την αεροδυναμική κλίμακα μήκους, που ονομάζεται μήκος τραχύτητας z_0 . Το z_0 περιγράφει το ύψος όπου, η μέση ταχύτητα του ανέμου γίνεται μηδενική.

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 εμποδίου h και το εμβαδόν της επιφάνειας του εμποδίου S , το οποίο βρίσκεται εκτεθειμένο στον άνεμο. Επιπλέον, για έναν αριθμό στοιχείων τραχύτητας που κατανέμονται ομοιόμορφα σε μια περιοχή, η πυκνότητά τους μπορεί να περιγραφεί από το μέσο οριζόντιο εμβαδόν της επιφάνειας, A_H , διαθέσιμο για κάθε στοιχείο. Έτσι, θα είναι:

$$z_0 = 0,5 \cdot \frac{h \cdot S}{A_H} \quad (1.8.1)$$

Αυτή η σχέση δίνει μια αξιόπιστη εκτίμηση του z_0 , όταν το A_H είναι πολύ μεγαλύτερο από το S . Το z_0 τείνει να υπερεκτιμηθεί, όταν το A_H είναι της τάξης μεγέθους του S . Αυτό συμβαίνει διότι, όταν τα στοιχεία τραχύτητας είναι πολύ κοντά μεταξύ τους, η ροή «ανυψώνεται» πάνω από αυτά, με συνέπεια μόνο ένα κλάσμα του S και h να συνεισφέρει στην τραχύτητα. Επιπλέον, η ανύψωση της ροής απαιτεί την μέτρηση του ύψους πάνω από το έδαφος, μεταξύ της κορυφής των στοιχείων τραχύτητας και του μέσου ύψους του στοιχείου. Αυτό το ύψος καλείται ύψος μηδενικής μετατόπισης (displacement height). Αυτή η μετατόπιση του ύψους πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπ' όψη σε δασώδεις περιοχές, με ψηλή βλάστηση και σε πόλεις. Η εξίσωση (1.8.1), προϋποθέτει ότι η πορώδης υφή (porosity) είναι προσεγγιστικά μηδενική, που σημαίνει πως τα στοιχεία τραχύτητας θα είναι στερεά. Για πορώδη στοιχεία τραχύτητας το z_0 της εξίσωσης (1.8.1), θα πρέπει να μειωθεί κατά ένα κλάσμα ίσο με την πορώδη υφή.

Στο Σχήμα 1.8.5, δίνεται η σχέση μεταξύ μήκους τραχύτητας, των χαρακτηριστικών του εδάφους και των βαθμίδων τραχύτητας.



z_0 [m]	Επιφανειακά στοιχεία τραχύτητας	Τάξεις τραχύτητας
1.00	πόλη δάσος	
0.50	προάστια	3
0.30	εμπόδια	
0.20	πολλά δέντρα / θάμνοι	
0.10	αγροτικές περιοχές με κλειστή μορφή	2
0.05	αγροτικές περιοχές με ανοικτή μορφή	
0.03	αγροτικές περιοχές με λίγα κτίρια, δέντρα κ.τ.λ. περιοχές αεροδρομίων με κτίρια και δέντρα	1
0.01	περιοχές διαδρόμων αεροδρομίου κουρεμένο γρασίδι	
$5 \cdot 10^{-3}$	γυμνό έδαφος (επίπεδο)	
10^{-3}	χιονισμένες επιφάνειες (επίπεδες)	
$3 \cdot 10^{-4}$	αμμώδεις επιφάνειες (επίπεδες)	0
10^{-4}	υδάτινες περιοχές (λίμνες, φιορδ, ανοικτή θάλασσα)	

Σχήμα 1.8.5: Αριθμητικές τιμές του μήκους τραχύτητας z_0 (m), για φυσικές και τεχνητές επιφάνειες. Δίνεται η περιγραφή των επιφανειακών χαρακτηριστικών, καθώς και οι βαθμίδες τραχύτητας (European Wind Atlas, 1989).

Το μήκος τραχύτητας των επιφανειών που επικαλύπτονται από βλάστηση, μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου (για παράδειγμα: σιτοβολώνες, κυματισμός θάλασσας, κ.λπ.). Ο υπολογισμός της τραχύτητας πάνω απ' το νερό, όταν τα ιξώδη φαινόμενα και η επιφανειακή τάση του νερού θεωρούνται αμελητέα, εφαρμόζεται με την εξίσωση (Charnock 1955):

$$z_0 = b \cdot \frac{u^2}{g} \quad (1.8.2)$$

όπου b είναι μια σταθερά ($b \approx 0,014$), g η τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας και u η ταχύτητα τριβής.



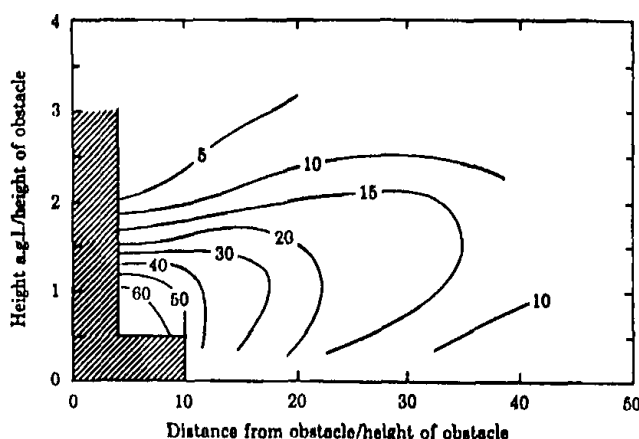
1.8.2 Εμπόδια

Η δεύτερη τοπική επίδραση, η οποία πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη, είναι το φαινόμενο της ροής του ανέμου πίσω από εμπόδια (τύρβωση). Αυτό το φαινόμενο ορίζεται ως η σχετική επιβράδυνση της ταχύτητας του ανέμου, εξαιτίας ενός εμποδίου στο έδαφος. Το κατά πόσον ένα εμπόδιο δημιουργεί το φαινόμενο αυτό, εξαρτάται από:

- την απόσταση μεταξύ του εμποδίου και του εξεταζόμενου σημείου (x)
- το ύψος του εμποδίου (h)
- το ύψος του εξεταζόμενου σημείου (H)
- το μήκος του εμποδίου (L)
- την πορώδη υφή του εμποδίου (P)

Το Σχήμα 1.8.6, δείχνει την επιβράδυνση της ταχύτητας του ανέμου, πίσω από ένα δισδιάστατο εμπόδιο απείρου μήκους, μηδενικής πορώδους υφής (Perera 1981). Το φαινόμενο της ροής πίσω από το εμπόδιο ελαττώνεται, όταν μειωθεί το μήκος του και αυξηθεί η πορώδης υφή του εμποδίου.

Σαν γενικός κανόνας, η αριθμητική τιμή της πορώδους υφής μπορεί να τεθεί μηδέν για την περίπτωση κτιρίων και $\approx 0,5$ για την περίπτωση δέντρων. Μια σειρά όμοιων κτιρίων, με τη μεταξύ τους απόσταση να κυμαίνεται σχεδόν με το ένα τρίτο του μήκους ενός κτιρίου, η τιμή της πορώδους υφής θα είναι περίπου 0,33. Οι τιμές διάφορων εμποδίων, όσον αφορά την αριθμητική τιμή της πορώδους υφής, δίνονται στον Πίνακα 1.8.1.



Σχήμα 1.8.6: Μείωση της ταχύτητας του ανέμου επί τοις εκατό, εξαιτίας του φαινομένου της ροής πίσω από εμπόδιο, που δημιουργείται από ένα δισδιάστατο εμπόδιο και στηρίζεται στις διατυπώσεις του Perera (1981). Στη σκιασμένη περιοχή, το φαινόμενο αυτό εξαρτάται από τη γεωμετρία του εμποδίου. Επίσης, η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται κοντά και πάνω από το εμπόδιο – όμοια με τη συμπεριφορά της επιτάχυνσης του ανέμου πάνω από λόφους.



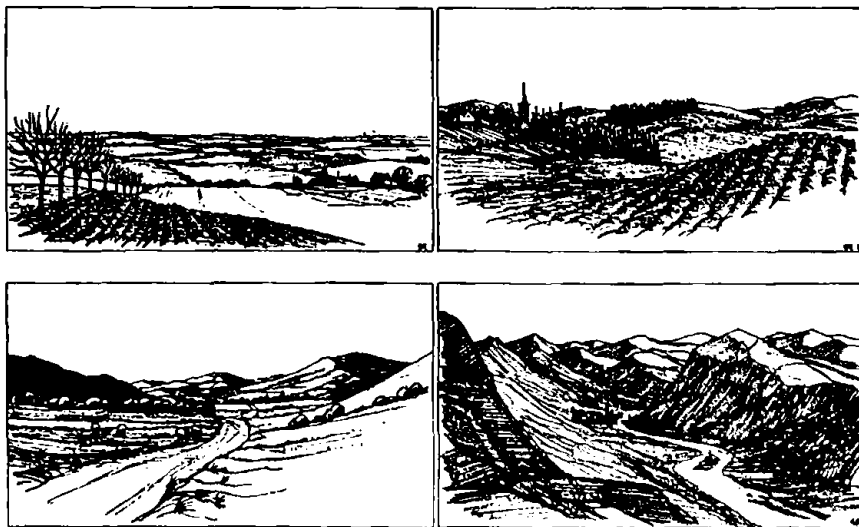
Πίνακας 1.8.1: Τιμές πορώδους υφής για κάθε είδους εμπόδιο.

Είδος εμποδίου	Πορώδης υφή (P)
Συμπαγής (τοίχος)	0
Πολύ πυκνός	$\leq 0,35$
Πυκνός	0,35–0,50
Ανοικτός	$\geq 0,50$

Η αριθμητική τιμή της πορώδους υφής των δέντρων αλλάζει σύμφωνα με το φύλλωμά τους (εποχή) κι όπως το μήκος τραχύτητας, έτσι κι η πορώδης υφή θα πρέπει να θεωρούνται ως κλιματολογικές παράμετροι. Σε ένα αιολικό πάρκο οι ΑΓ δημιουργούν, η μία στην άλλη, φαινόμενα ροής όμοια με αυτά των εμποδίων και σαν συνέπεια έχουν τη συνολική μείωση της παραγόμενης ενέργειας.

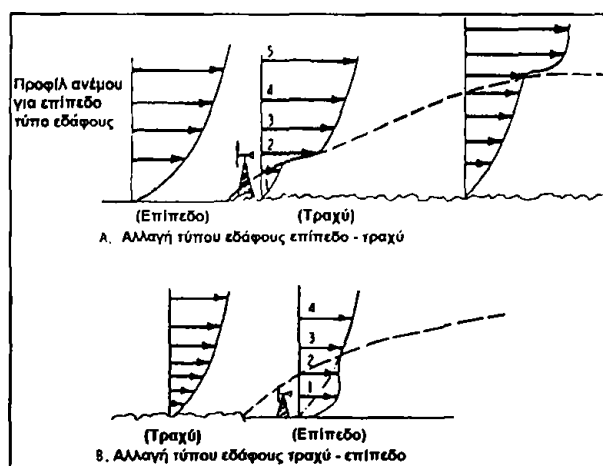
1.8.3 Ορεογραφία

Ο όρος ορεογραφία αναφέρεται στην περιγραφή των μεταβολών του ύψους του εδάφους, σχετικά με ένα σταθερό σημείο αναφοράς που είναι η μέση στάθμη της θάλασσας. Η ορεογραφία περιγράφεται στους περισσότερους τοπογραφικούς χάρτες, από τις ισοϋψείς γραμμές της επιφάνειας του εδάφους. Για τους σκοπούς των εφαρμογών της αιολικής ενέργειας, διαχωρίζονται οι διάφοροι τύποι εδαφών σε τρεις απλές κατηγορίες: τον επίπεδο, το λοφώδη και τον ορεινό τύπο εδάφους (Σχήμα 1.8.7).



Σχήμα 1.8.7: Εικόνες διαφορετικών τύπων εδαφους: επίπεδος (άνω αριστερά) και λοφώδης (άνω δεξιά), πιο πολύπλοκος και απότομος τύπος εδαφους (κάτω αριστερά) και ορεινός τύπος με βαθιές κοιλάδες (κάτω δεξιά).

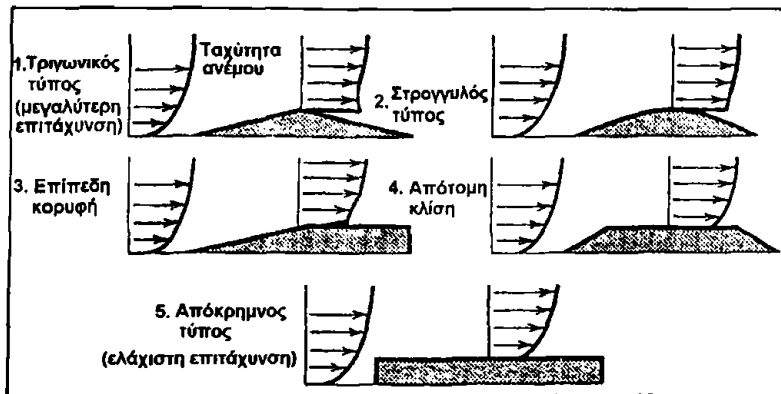
Όλοι οι προηγούμενοι υπολογισμοί για την προεκβολή των ταχυτήτων του ανέμου, είναι έγκυρες μόνο για ένα σχετικά επίπεδο και ομογενές έδαφος (δηλαδή, χωρίς μεταβολές στην τιμή της επιφανειακής τραχύτητας). Οι Frost and Nowak (1977) όρισαν το επίπεδο έδαφος, σύμφωνα με τις παρακάτω προϋποθέσεις: (1) οι υψομετρικές διαφορές μεταξύ της περιοχής ενδιαφέροντος και του γειτονικού εδάφους, μέσα σε μια ακτίνα 12 Km, να μην είναι μεγαλύτερες από 60 m και (2) σε όλους τους λόφους να ισχύει, πως ο λόγος του ύψος (h) προς το πλάτος (ℓ) να είναι: $h/\ell < 0,02$ σε μια απόσταση 4 Km απ' την περιοχή. Για επίπεδο τύπο εδάφους και στις πεδινές περιοχές μακριά από βουνά, οι ορογραφικές επιρροές είναι αμελητέες και η τραχύτητα του εδάφους είναι το μόνο σημαντικό στοιχείο για τη ροή του ανέμου. Στο Σχήμα 1.8.8, παρουσιάζεται η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος (κατατομή ή προφίλ) για επίπεδο ή τραχύ τύπο εδάφους.



Σχήμα 1.8.8: Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος (κατατομή ή προφίλ), ανάντη και κατάντη της αλλαγής διαφορετικών τύπων εδάφους.

Ο λοφώδης τύπος εδάφους, είναι το έδαφος το οποίο είναι αρκετά ομαλό, ώστε να εξασφαλίσει πιο προσαρτώμενη ροή ανταποκρινόμενη σε τύπους εδάφους, όπου οι πλαγιές είναι λιγότερο απότομες από $h/\ell = 0,3$. Οι τυπικές οριζόντιες διαστάσεις των λόφων, είναι της τάξεως των μερικών χιλιομέτρων ή και λιγότερο. Αυτός ο τύπος εδάφους, λαμβάνεται υπ' όψη στα πρόσφατα μοντέλα γραμμικής ροής και υπάρχουν αρκετές ομάδες δεδομένων, που χρησιμοποιούνται στον έλεγχο των μοντέλων ροής. Καθώς το έδαφος γίνεται πιο απότομο και περισσότερο πολύπλοκο κι οι τυπικές οριζόντιες διαστάσεις των λόφων αυξάνονται σε μερικά χιλιόμετρα, η μεγάλη κλίμακα ορογραφικών χαρακτηριστικών μπορεί να προκαλέσει ισχυρές μετατροπές στο εσωτερικό οριακό στρώμα. Τα γραμμικά μοντέλα, μπορούν να δίδουν ακόμα ακριβή τοπικά αποτελέσματα, αλλά η οριζόντια προεκβολή του αιολικού κλίματος γίνεται όλο

και πιο δύσκολη. Το Σχήμα 1.8.9, παρουσιάζει τις μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος πάνω από διαφορετικές μορφές λόφων (Sanborn 1977).



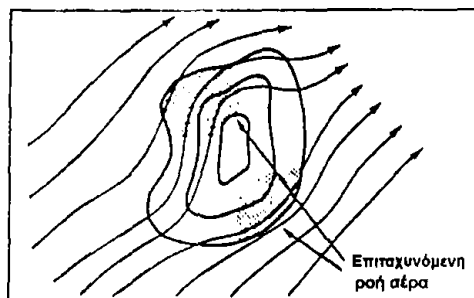
Σχήμα 1.8.9: Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος για διάφορους τύπους λόφων.

Στον ορεινό τύπο εδάφους, ένα σημαντικό ποσοστό των πλαγιών είναι απότομες και μεγαλύτερες από $h/l = 0,3$, με αποτέλεσμα να συμβαίνει διαχωρισμός της ροής. Επιπρόσθετα, το εσωτερικό οριακό στρώμα επηρεάζεται ισχυρά από το έδαφος. Γενικά, η ροή δεν μπορεί να εισαχθεί επαρκώς στα μοντέλα χρησιμοποιώντας απλά γραμμικά μοντέλα. Πρέπει να χρησιμοποιηθούν μη γραμμικά, αριθμητικά μοντέλα ή μετρήσεις. Τα Σχήματα 1.8.10 και 1.8.11, δείχνουν την επιρροή των βουνών στον άνεμο.



Σχήμα 1.8.10: Η επίδραση (α) του προσανατολισμού και (β) της μορφής των κορυφών μιας οροσειράς στην κατάσταση του ανέμου.





Σχήμα 1.8.11: Ροή ανέμου γύρω από έναν απομονωμένο λόφο ή βουνό.

1.9 Εκτίμηση της αιολικής ενέργειας

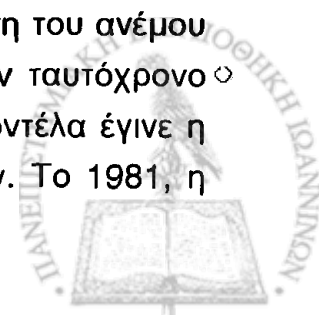
Οι διαρκώς αυξανόμενες απαιτήσεις της σύγχρονης κοινωνίας για ενέργεια, αλλά και η προσπάθεια για καθαρότερο περιβάλλον αναδεικνύουν την ανάγκη για έρευνα και ανάπτυξη, σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο βαθμό, των εναλλακτικών ανανεώσιμων και οικολογικά καθαρών πηγών ενέργειας, όπως η αιολική. Για αυτό το λόγο, γίνεται προσπάθεια εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας, σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές μέσης ταχύτητας ανέμου. Για τον εντοπισμό της κατάλληλης περιοχής, χρειάζεται να πραγματοποιηθεί μια διαδικασία καταγραφής των ανεμολογικών συνθηκών που επικρατούν, προκειμένου να εξαχθούν τα κατάλληλα συμπεράσματα, για την εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού της περιοχής. Αυτό έκανε την επιστημονική κοινότητα και κυρίως τον κλάδο της «Μετεωρολογίας της αιολικής ενέργειας», να στραφεί στην εκτίμηση της αιολικής ενέργειας, για τις περιοχές ενδιαφέροντος. Έτσι, δημιουργήθηκαν τα μοντέλα εκτίμησης αιολικής ενέργειας, τα οποία είναι σε θέση να εντοπίζουν περιοχές, όπου θα μπορούν να εγκατασταθούν μηχανές για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, λαμβάνοντας υπ' όψη ποικίλους παράγοντες, όπως η τοπογραφία της περιοχής (τραχύτητα, εμπόδια, ορογραφία).

Η ατμόσφαιρα περιλαμβάνει κινήσεις με κλίμακα που μεταβάλλεται από περίπου 1 mm έως χιλιάδες χιλιόμετρα. Σε ιδανικές συνθήκες, τα μαθηματικά μοντέλα θα έπρεπε να χρησιμοποιούν μετεωρολογικές παρατηρήσεις με χωρικό διαμερισμό 1 mm και χρονικό διαμερισμό της τάξης του 1 sec. Αυτό είναι εφικτό στην πράξη, με αποτέλεσμα τα μοντέλα να δομούνται ξεχωριστά για συστήματα διαφορετικών κλιμάκων. Έτσι, για παράδειγμα, υπάρχουν μοντέλα για τοπικές ατμοσφαιρικές κυκλοφορίες, όπως οι θαλάσσιες αύρες, ροές στα βουνά και αναπτύξεις καιρικών συστημάτων στην Ευρώπη ή ακόμα και στον παγκόσμιο χώρο. Στηριζόμενες στο σύστημα του μοντέλου, οι εξισώσεις μπορούν να απλοποιηθούν και για την ανάπτυξη

της «Μετεωρολογίας της αιολικής ενέργειας», όπου το σημείο εκκίνησης θα είναι το απλούστατο μοντέλο για την κίνηση στην ατμόσφαιρα: συνεχείς άνεμοι πάνω από εκτεταμένες πεδιάδες υπό νεφοσκεπή ουρανό ή με άλλα λόγια: ένα στάσιμο πεδίο ανέμου, το οποίο πνέει πάνω από μια απείρως επίπεδη πεδιάδα ομοιόμορφης τραχύτητας, με ουδέτερη θερμική στρωμάτωση. Το μοναδικό ποσοτικό ενδιαφέρον, είναι η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος. Άμεσες φυσικές μελέτες, οδηγούν στο ήδη γνωστό λογαριθμικό προφίλ του ανέμου, το οποίο καθορίζεται εξ' ολοκλήρου από τρεις μεταβλητές: το ύψος πάνω από το έδαφος, το μήκος τραχύτητας και την ταχύτητα τριβής. Το μήκος τραχύτητας παραμετροποιεί την τραχύτητα του εδάφους και η ταχύτητα τριβής παραμετροποιεί τη δύναμη τριβής, μεταξύ του κινούμενου αέρα και του εδάφους.

Στη συνέχεια, στα μοντέλα εισήχθησαν οι παράμετροι του γεωστροφικού ανέμου (δύναμη βαροβαθμίδας, δύναμη Coriolis) καθώς και το ήδη γνωστό λογαριθμικό προφίλ. Αυτό έδωσε τη δυνατότητα με γνωστά: την τιμή του γεωστροφικού ανέμου και την ταχύτητα τριβής, να μπορεί να υπολογίζεται η ταχύτητα του ανέμου στο επιθυμητό ύψος. Στη συνέχεια στα αριθμητικά μοντέλα προστέθηκαν οι παράμετροι του καιρού και του κλίματος. Η ατμόσφαιρα δεν θεωρείται στάσιμη, αλλά χαρακτηρίζεται από μια δραστηριότητα, δηλαδή από τη διέλευση υψηλών και χαμηλών συστημάτων πίεσης. Ο γεωστροφικός άνεμος έχει μια κλιματολογική μεταβολή, η οποία χρειάζεται να υπολογιστεί ώστε να είναι γνωστή η κλιματολογία του επιφανειακού ανέμου. Αυτή ήταν η φιλοσοφία της μελέτης του Δανέζικου Αιολικού Χάρτη (Danish Wind Atlas) (1977-1980) (Petersen et al. 1981). Τα δεδομένα της επιφανειακής πίεσης που μετρήθηκαν κάθε τρεις ώρες, σε χρονικό διάστημα άνω των 13 χρόνων, σε 55 σταθμούς στη Νορβηγία, στη Σουηδία, τη Δανία, τη Γερμανία και την Πολωνία, χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του γεωστροφικού ανέμου πάνω από τη Δανία. Αυτός με τη σειρά του, χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό χρονοσειρών του επιφανειακού ανέμου σε ύψη μεταξύ 10 και 200 μέτρων, για τέσσερις χαρακτηριστικές τιμές του μήκους τραχύτητας. Κάθε τιμή του μήκους τραχύτητας καταχωρήθηκε σε ένα χαρακτηριστικό τύπο του εδάφους, καλούμενο βαθμίδα τραχύτητας.

Έπρεπε όμως να ξεπεραστεί κι ένα ακόμη «εμπόδιο». Ήταν απαραίτητο να συμπεριληφθούν οι επιδράσεις των αλλαγών από μία τάξη τραχύτητας στην άλλη και οι μεταβολές του ύψους λόγω του εδάφους. Με άλλα λόγια, ήταν αναπόφευκτη η κατασκευή μοντέλων, τα οποία από τις βασικές πληροφορίες που εξάγονται από τους τοπογραφικούς χάρτες, να μπορούν να υπολογίσουν την επίδραση του ανέμου λόγω των τοπογραφικών χαρακτηριστικών. Αυτό επιτεύχθηκε από τον ταυτόχρονο συνδυασμό της θεωρίας και των πειραματικών ερευνών. Έτσι, στα μοντέλα έγινε η εισαγωγή παραμέτρων αλλαγής της τραχύτητας, λόφων και εμποδίων. Το 1981, η



Ευρωπαϊκή Κοινότητα προώθησε το πρώτο της ερευνητικό πρόγραμμα αιολικής ενέργειας. Στα σχέδια του προγράμματος αυτού, ήταν η δημιουργία του Ευρωπαϊκού Αιολικού Χάρτη (European Wind Atlas), βασιζόμενο στη μεθοδολογία του αντίστοιχου Δανέζικου (Danish Wind Atlas), για μη ορεινούς τύπους εδαφών και μια εφαρμογή ενός μοντέλου διατήρησης της μάζας για ορεινούς τύπους εδαφών.

Εξαιτίας της πολυπλοκότητας του ευρωπαϊκού ανάγλυφου και του μεγάλου αριθμού των σταθμών που χρησιμοποιούνται για ανάλυση, ήταν απαραίτητο να αντικατασταθεί το μοντέλο αλλαγής της τραχύτητας και το μοντέλο του λόφου, από περισσότερο γενικευμένα μοντέλα υπολογισμών, τα οποία να ήσαν σε θέση να χειριστούν πληροφορίες τοπογραφικού χάρτη, σε ψηφιακή μορφή. Το αποτέλεσμα ήταν ένα μοντέλο ροής πάνω από λόφο, μ' ένα επεκτεινόμενο πολικό πλέγμα, το κέντρο του οποίου ήταν στο σημείο του ενδιαφέροντος, καθιστώντας με αυτό τον τρόπο μια αξιόπιστη περιγραφή του εδάφους γύρω από την συγκεκριμένη περιοχή μελέτης. Επειδή οι υψομετρικές διαφορές του εδάφους, κοντά στο σημείο του ενδιαφέροντος ασκούν την μεγαλύτερη επιρροή, αυτό αποτελεί το επιθυμητό χαρακτηριστικό πλεονέκτημα του μοντέλου. Το μοντέλο της αλλαγής της τραχύτητας, αρχικώς επεκτάθηκε σε ένα μοντέλο πολλαπλής αλλαγής της τραχύτητας και έπειτα ενσωματώθηκε σε ένα πιο γενικευμένο μοντέλο, το οποίο να είναι ικανό να δέχεται από το χρήστη περιοχές με διαφορετική τραχύτητα, από τοπογραφικούς χάρτες. Ο Ευρωπαϊκός Αιολικός Χάρτης, δημιουργήθηκε το 1989 κι οι υπολογιστικές μέθοδοι έγιναν δημοσίως διαθέσιμες ένα έτος μετά, από το λογισμικό πρόγραμμα «WASP»: The Wind Atlas Analysis and Application Program (Mortensen et al. 1993).

Το λογισμικό πακέτο «WASP» χρησιμοποιήθηκε έκτοτε εκτενώς, σε παγκόσμια κλίμακα, για την αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση είτε μεμονωμένων Α/Γ, είτε συγκροτημάτων Α/Γ (αιολικά πάρκα). Παρόλα αυτά, υπάρχουν κάποιοι ευδιάκριτοι περιορισμοί: όσο περισσότερο πολύπλοκη είναι η κατάσταση σε σχέση με την τοπογραφία, την κλιματολογία ή και τα δύο μαζί, τόσο περισσότερο αβέβαια είναι τα αποτελέσματα από τους υπολογισμούς. Πολλές από τις διαδικασίες οι οποίες καθιστούν τη μέθοδο υπολογισμού, είναι αυστηρώς εφαρμοζόμενες μόνο υπό ιδανικό και περιορισμένο εύρος συνθηκών. Τα πιο δύσκολα προβλήματα συναντούνται σε ορεινούς τύπους εδάφους, όπου επιδράσεις μεγάλης κλίμακας αποδίδουν στο μοντέλο αυξανόμενα ελαττώματα.



1.10 Μετεωρολογικά μοντέλα

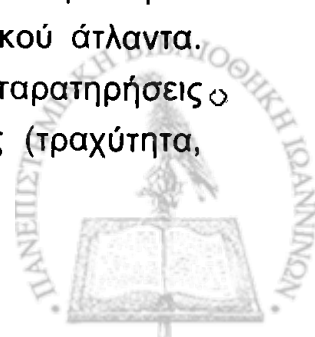
Στην παρούσα διπλωματική, για τον υπολογισμό του αιολικού δυναμικού στις περιοχές της Κατσικά και της Ζίτσας του Ν. Ιωαννίνων, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο εκτίμησης αιολικού δυναμικού Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP). Επίσης, για τους ανεμώδης μήνες των δύο αυτών περιοχών, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πακέτο «Windrose» του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.), το οποίο εκτός των ανεμολογικών στατιστικών, εκτιμά την αιολική ενέργεια που μπορεί να δεσμευτεί από την περιοχή μελέτης και βοηθά στην επιλογή της κατάλληλης Α/Γ.

1.10.1 Λογισμικό «WAsP»

Το υπολογιστικό πρόγραμμα «WAsP» (έκδοση 6.0) αναπτύχθηκε για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού περιοχών, οι οποίες είναι υποψήφιας για την εγκατάσταση Α/Γ ή αιολικών πάρκων. Έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει ανεμολογικά στοιχεία, όπως: την μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου και την ετήσια παραγωγή ενέργειας, λαμβάνοντας υπ' όψη την τοπογραφία του εδάφους και τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής, καθώς κι άλλες σχετικές παραμέτρους που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του ανέμου. Η αξιοπιστία και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων του «WAsP», εξαρτάται σημαντικά από την αξιοπιστία των δεδομένων εισαγωγής. Ιδιαίτερης σημασίας είναι η ακρίβεια των ανεμολογικών πληροφοριών, οι πληροφορίες για το υψόμετρο του εδάφους κι η καμπύλη ισχύος της Α/Γ. Ένας βασικός περιορισμός στις ανεμολογικές πληροφορίες είναι κατά πόσον αυτές είναι αντιπροσωπευτικές της περιοχής, κάτι το οποίο σημαίνει ότι τα δεδομένα θα πρέπει να καλύπτουν αρκετά χρόνια, χωρίς να είναι απαραίτητο να καλύπτουν τη βασική 30χρονη κλιματολογική περίοδο. Μικρές χρονικές περίοδοι, δίδουν υψηλές αβεβαιότητες και η χρήση ανεμολογικών δεδομένων κάτω του ενός έτους, θα πρέπει να αποφεύγεται.

Η δομή του «WAsP» αποτελείται από τέσσερα υπολογιστικά πακέτα:

1. Ανάλυση των πρωτογενών δεδομένων (raw data): Αυτή η επιλογή επιτρέπει την ανάλυση οποιασδήποτε χρονοσειράς ανεμολογικών δεδομένων.
2. Δημιουργία των δεδομένων του αιολικού άτλαντα: Τα επεξεργασμένα ανεμολογικά δεδομένα, μπορούν να μετατραπούν σε μια ομάδα δεδομένων αιολικού άτλαντα. Στην ομάδα των δεδομένων του αιολικού άτλαντα, οι ανεμολογικές παρατηρήσεις έχουν «καθαριστεί» σύμφωνα με τις ειδικές συνθήκες της περιοχής (τραχύτητα, εμπόδια) και έχουν αναχθεί στις βασικές (standard) συνθήκες.



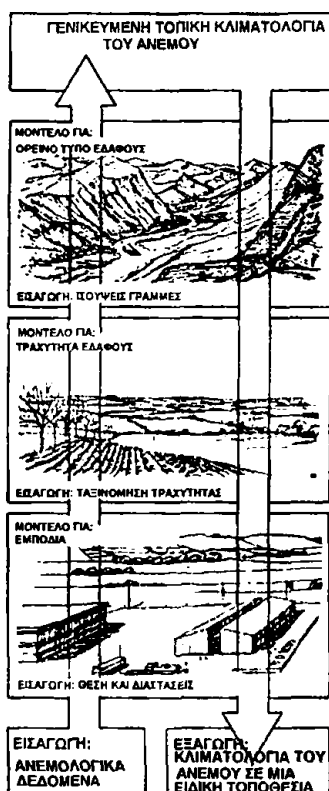
3. Εκτίμηση του αιολικού κλίματος: Χρησιμοποιώντας την ομάδα δεδομένων του αιολικού άτλαντα, που υπολογίστηκε από το «WASP» ή από άλλες πηγές – π.χ. του Ευρωπαϊκού Αιολικού Χάρτη - το πρόγραμμα μπορεί να εκτιμήσει το αιολικό κλίμα σε ένα συγκεκριμένο σημείο, εκτελώντας την αντίστροφη διαδικασία υπολογισμού που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία του αιολικού άτλαντα.

4. Εκτίμηση της αιολικής ενέργειας: Το συνολικό ενεργειακό περιεχόμενο της μέσης ταχύτητας του ανέμου, υπολογίζεται από το «WASP». Επιπλέον, μια εκτίμηση της πραγματικής, ετήσιας μέσης παραγωγής ενέργειας μιας ανεμογεννήτριας μπορεί να επιτευχθεί, παρέχοντας στο «WASP» την καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας.

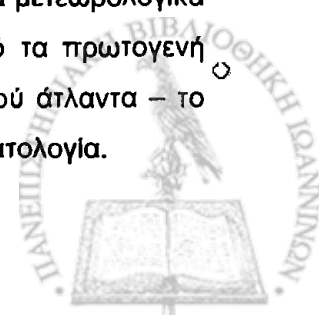
Το Σχήμα 1.10.1, είναι το διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας υπολογισμού του αιολικού άτλαντα, που χρησιμοποιείται στο «WASP». Το πρόγραμμα αποτελείται από δύο μέρη: της ανάλυσης και της εφαρμογής, τα οποία μπορούν να περιγραφούν με τον ακόλουθο τρόπο:

Ανάλυση: μετεωρολογικά δεδομένα + περιγραφή περιοχής → δεδομένα αιολικού άτλαντα.

Εφαρμογή: δεδομένα αιολικού άτλαντα + περιγραφή περιοχής → εκτίμηση αιολικού κλίματος.



Σχήμα 1.10.1: Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας του αιολικού άτλαντα του WASP. Τα μετεωρολογικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του τοπικού αιολικού κλίματος, από τα πρωτογενή δεδομένα. Στην αντίστροφη διαδικασία – στην εφαρμογή των δεδομένων του αιολικού άτλαντα – το αιολικό κλίμα σε οποιαδήποτε ειδική θέση, μπορεί να υπολογιστεί από την τοπική κλιματολογία.



Οι τοπογραφικές πληροφορίες στο «WASP» εισάγονται από ψηφιακούς χάρτες. Οι πληροφορίες αυτές, προέρχονται από τις ισοϋψείς καμπύλες και τις περιοχές με διαφορετικά μήκη τραχύτητας. Για τους λόφους το «WASP» περιέχει το μοντέλο BZ (Troen 1990), όπου λαμβάνει υπ' όψη του την αλλαγή της ροής του ανέμου λόγω της παρουσίας λόφου, καθώς και τις επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις που συμβαίνουν στα διάφορα σημεία του λόφου. Το γεωμετρικό σχήμα των εμποδίων στο «WASP», θεωρείται ως «κουτί» με ορθογώνια διατομή. Κάθε εμπόδιο θα πρέπει να καθορίζεται απ' την θέση του σχετικά με την περιοχή ενδιαφέροντος, τις διαστάσεις του και την τιμή της πορώδους υψής του. Στο Σχήμα 1.10.2, απεικονίζονται οι παράμετροι που προσδιορίζουν ένα απλό εμπόδιο που εισάγεται στο «WASP». Το «WASP» μπορεί να διαχειριστεί πάνω από 50 εμπόδια, ταυτόχρονα.

Για να διευκρινιστεί εάν ένα αντικείμενο θεωρείται από το «WASP» ως εμπόδιο ή στοιχείο τραχύτητας, θα πρέπει να ισχύουν τα παρακάτω:

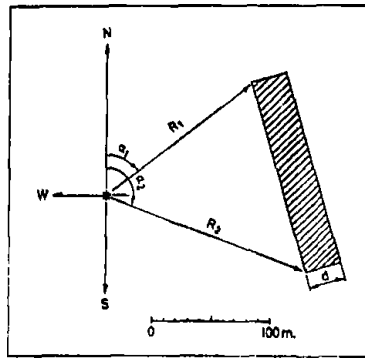
α) εάν το σημείο ενδιαφέροντος (ανεμόμετρο ή πλήμνη δρομέα A/Γ) είναι πλησιέστερα από 50 φορές το ύψος του εμποδίου σε σχέση με το αντικείμενο και λιγότερο από περίπου 3 φορές το ύψος του εμποδίου από το έδαφος, το αντικείμενο θα πρέπει να θεωρείται ως εμπόδιο. Σε αυτήν την περίπτωση το εμπόδιο δεν θα πρέπει να λαμβάνεται ως στοιχείο τραχύτητας.

β) εάν το σημείο ενδιαφέροντος είναι μακρύτερα σε μια απόσταση 50 φορές το ύψος του εμποδίου ή υψηλότερα από 3 φορές το ύψος του εμποδίου, το αντικείμενο θα πρέπει να υπολογίζεται ως στοιχείο τραχύτητας.

Ο κύριος ρόλος του «WASP» είναι διπλός. Πρώτον, συγχωνεύει ρουτίνες προγραμμάτων για τη διόρθωση των ανεμολογικών μετρήσεων, που μετρούνται σε μια συγκεκριμένη θέση και τις μετασχηματίζει σε μια ομάδα δεδομένων που περιγράφουν το αιολικό κλίμα μιας περιοχής – αυτό καλείται αιολικός άτλαντας. Δεύτερον, κάνει χρήση αυτών των ομάδων δεδομένων για την εκτίμηση των ανεμολογικών συνθηκών, σε ένα οποιοδήποτε μέρος και ύψος στην ευρύτερη περιοχή, εφαρμόζοντας τα ίδια προγράμματα.

Το «WASP» ενσωματώνει μια ομάδα μοντέλων (προγραμμάτων) κι έτσι είναι ικανό να παράγει δεδομένα αιολικού άτλαντα, που βασίζονται σε επιφανειακές ανεμολογικές μετρήσεις, καθώς επίσης και σε δεδομένα γεωστροφικού ανέμου. Τα τελευταία λαμβάνονται από παρατηρήσεις ραδιοανεμοβolidων ή από αναλύσεις επιφανειακής πίεσης.





• θέση περιοχής	
α_1	γωνία απο το Βορρά - 1η άκρη [μοίρες]
R_1	ακτινική απόσταση απ' 1η άκρη [m]
α_2	γωνία απο το Βορρά - 2η άκρη [μοίρες]
R_2	ακτινική απόσταση απ' 2η άκρη [m]
h	ύψος εμπόδιου [m]
d	πλάτος εμπόδιου [m]
p	εκτιμώμενη παρόδη υφή

Σχήμα 1.10.2: Πληροφορίες για το εμπόδιο. Οι γωνίες μετρούνται από το 0 (Βορρά) μέχρι 360 μοίρες (δεξιόστροφα). Τα εμπόδια προσδιορίζονται σχετικά με την περιοχή ενδιαφέροντος και δεν συνδέονται άμεσα από τον τοπογραφικό χάρτη.

Για τη δημιουργία δεδομένων αιολικού άτλαντα χρησιμοποιώντας το «WASP», ακολουθούνται τα εξής βήματα:

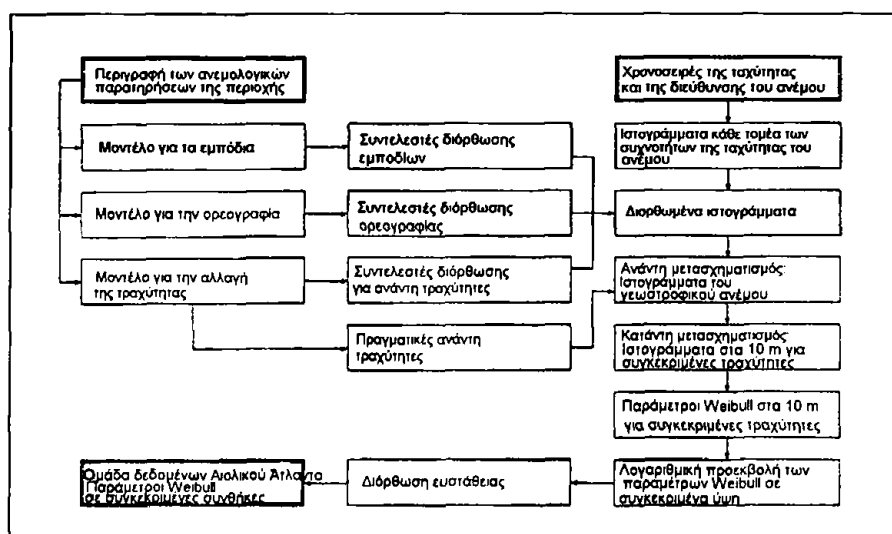
1. Οι μετεωρολογικές μετρήσεις υπό μορφή χρονοσειρών ή κλιματολογικών πινάκων, κατάγράφονται σε αρχείο τύπου κειμένου αναγνωρίσιμο από το «WASP» (.txt, .dat, κ.λπ.).
2. Η περιγραφή του μετεωρολογικού σταθμού μπορεί να εισαχθεί άμεσα και να αποθηκευτεί για ενδεχόμενη μελλοντική χρήση. Η περιγραφή περιλαμβάνει το ύψος του ανεμόμετρου, τις συνθήκες επιφανειακής τραχύτητας γύρω από τον σταθμό και την ενδεχόμενη παρουσία εμποδίων πλησίον του σταθμού. Επίσης και την εισαγωγή της ορογραφίας.
3. Βασιζόμενο στις πληροφορίες των βημάτων 1 και 2, το «WASP» υπολογίζει για κάθε τομέα και τάξη ταχύτητας του ανέμου (βάση του εξαγόμενου ιστογράμματος), την αντίστοιχη διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου ανάντη του ανεμομέτρου. Σ' αυτή τη διαδικασία, τα δεδομένα απαλλάσσονται από τις επιδράσεις των γειτονικών εμποδίων, τις ανομοιογένειες της τραχύτητας και τις διαταραγμένες ροές εξαιτίας της γεωμετρίας του εδάφους.
4. Χρησιμοποιώντας τις εμπειρικές σχέσεις μεταξύ του ανέμου πάνω από ομοιογενές έδαφος και του υπερκείμενου μεγάλης κλίμακας ή συνοπτικής κλίμακας ανέμου, τα

δεδομένα προεκβάλλονται για την εξαγωγή του κλίματος του γεωστροφικού ανέμου της περιοχής. Αυτό θεωρείται ανεξάρτητο απ' τις ειδικές συνθήκες της επιφάνειας. Αυτή η μέθοδος, είναι γνωστή στο πρόγραμμα ως ανάντη μετασχηματισμός (upward transformation).

5. Ο αντίστροφος υπολογισμός, γνωστός ως κατάντη μετασχηματισμός (downward transformation) πραγματοποιείται για τον υπολογισμό του αιολικού κλίματος, σε διάφορα συγκεκριμένα ύψη υπεράνω από συγκεκριμένες επιφανειακές τραχύτητες.

6. Τελικώς, τα δεδομένα αυτά αναλύονται σε όρους της συνάρτησης κατανομής Weibull. Οι παράμετροι Weibull, προσδιορίζονται με βάση τον «αιολικό άτλαντα» της περιοχής και είναι το σημείο εκκίνησης για τον υπολογισμό της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας σε μια περιοχή.

Το διάγραμμα ροής του μοντέλου ανάλυσης του αιολικού άτλαντα, φαίνεται στο Σχήμα 1.10.3.

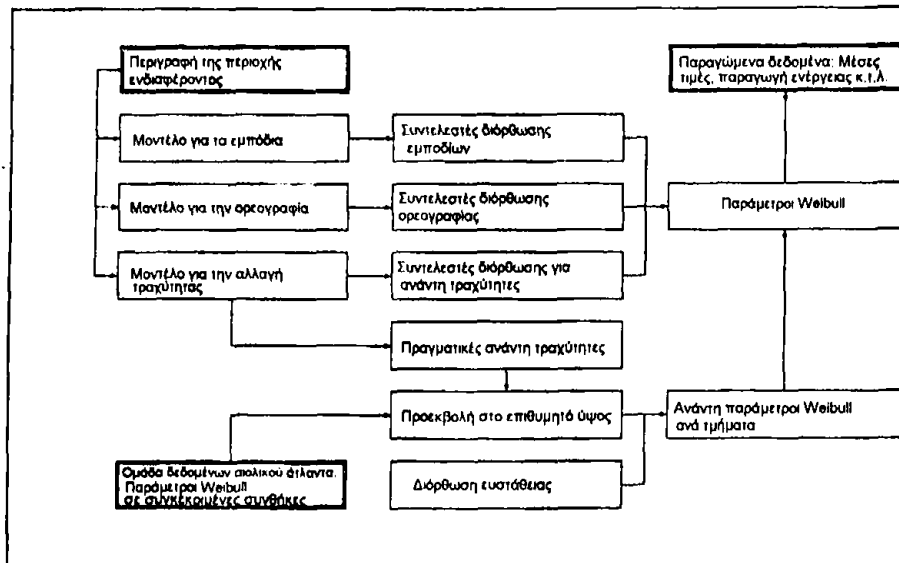


Σχήμα 1.10.3: Διάγραμμα ροής του μοντέλου ανάλυσης του «WASP».

Ιδιαίτερης σημασίας είναι το μοντέλο εφαρμογής, το οποίο δημιουργήθηκε έτσι ώστε να επιτρέπει τον αντίστροφο υπολογισμό των κατανομών της ταχύτητας του ανέμου, από την τοπική κλιματολογία.

Το μοντέλο εφαρμογής σχεδιάστηκε ώστε να είναι, όσο το δυνατόν, μια αντίστροφη διάταξη του μοντέλου ανάλυσης. Οι συντελεστές διόρθωσης για τα τοπικά εμπόδια, την ορογραφία και τις αλλαγές της τραχύτητας, υπολογίζονται όπως ακριβώς και στο μοντέλο ανάλυσης, χρησιμοποιώντας αυτή την φορά μια λίστα εμποδίων, την περιγραφή της τραχύτητας και τα ορογραφικά δεδομένα που αναφέρονται στην περιοχή, όπου θα εφαρμοστούν τα δεδομένα του αιολικού άτλαντα. Για ένα δοθέν ύψος πάνω από το έδαφος και μια συγκεκριμένη επιφανειακή

τραχύτητα, λίστα εμποδίων και ορεογραφικών λεπτομερειών, το μοντέλο υπολογίζει τις τιμές των παραμέτρων Weibull και τις συχνότητες εμφάνισης ανά τομείς, για μια δοθείσα τοπική κλιματολογία. Το διάγραμμα ροής του μοντέλου εφαρμογής φαίνεται στο Σχήμα 1.10.4.



Σχήμα 1.10.4: Διάγραμμα ροής του μοντέλου εφαρμογής του «WASP».

Το κυριότερο ερώτημα σε εφαρμογές αιολικής ενέργειας, είναι: «Ποιο ποσό ενέργειας αναμένεται να παραχθεί από μια Α/Γ σε μια συγκεκριμένη περιοχή;». Η απάντηση στο ερώτημα αυτό, περιέχεται τόσο στην γνώση της καμπύλης ισχύος μιας ανεμογεννήτριας όσο και στη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου, στο ύψος της πλήμνης του δρομέα (Σχήμα 1.3.2). Το αποτέλεσμα αυτών των δύο συναρτήσεων, αποδίδεται με την καμπύλη της πυκνότητας ισχύος, το ολοκλήρωμα της οποίας είναι η μέση παραγωγή ενέργειας (European Atlas 1989). Αυτό το ολοκλήρωμα υπολογίζεται απ' το «WASP» σε όρους των παραμέτρων της κατανομής Weibull και προσεγγίζει την καμπύλη ισχύος με μια ανά τομείς γραμμική συνάρτηση. Η διαδικασία του υπολογισμού της μέσης ετήσιας παραγωγής ενέργειας από μια Α/Γ, γίνεται αφού προσδιοριστεί η θέση κι ο τύπος της Α/Γ (ουσιαστικά η καμπύλη ισχύος της). Η διαδικασία υπολογισμού έχει ως εξής:

- Εφόσον έχουν εισαχθεί ο χάρτης και τα ανεμολογικά δεδομένα (αιολικός άτλαντας), εισάγεται η θέση της Α/Γ.
- Εισάγεται η καμπύλη ισχύος.
- Προσδιορίζονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής εγκατάστασης της Α/Γ.

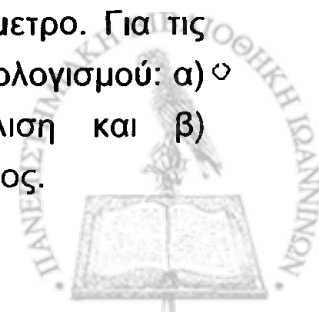


Με αυτόν τον τρόπο, ολοκληρώνονται οι διαδικασίες υπολογισμού της αιολικής ενέργειας σε μια ή πολλές περιοχές, που είναι και ο αντικειμενικός σκοπός της δημιουργίας ενός αιολικού μοντέλου.

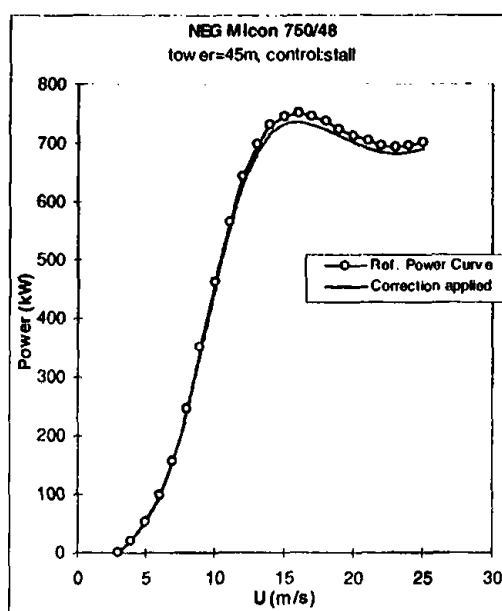
1.10.2 Λογισμικό «Windrose»

Το «Windrose» (ΚΑΠΕ) είναι ένα πρόγραμμα για την ανάλυση ανεμολογικών και μετεωρολογικών δεδομένων (ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου, τύρβη, θερμοκρασία, ηλιακή ακτινοβολία). Υπολογίζει τα πλήρη στατιστικά των ανεμολογικών δεδομένων, τους συντελεστές της κατανομής Weibull ανά διεύθυνση και συνολικά, καθώς και τα ροδογράμματα ως προς το χρόνο και την ενέργεια (ροδόγραμμα είναι η αζιμουθιακή κατανομή μιας παραμέτρου, με σημείο αναφοράς τον Βορρά). Πραγματοποιεί συσχετίσεις ταχύτητας, διεύθυνσης και τύρβης μεταξύ δύο υπό μελέτη περιοχών, περιέχει καμπύλες ισχύος και υπολογίζει την διαθέσιμη αιολική ενέργεια, λαμβάνοντας υπ' όψη και την μεταβολή της πυκνότητας με το υψόμετρο. Επίσης, παράγει μηνιαία γραφήματα με την κατανομή της ταχύτητας, της διεύθυνσης, της ενέργειας της ΑΓ, της θερμοκρασίας και της ηλιακής ακτινοβολίας ανά ώρα της ημέρας. Το πλεονέκτημα του «Windrose», είναι ότι μπορεί να δεχθεί έως 1000 αρχεία ASCII γενικής μορφής κειμένου (format), με τις ημερομηνίες σε ευρωπαϊκό ή αμερικάνικο τύπο και μπορεί ως εκ τούτου να χρησιμοποιηθεί, για να επεξεργαστεί αρχεία από διάφορες μονάδες συλλογής-ελέγχου και επεξεργασίας δεδομένων (data loggers) (όπως : ΣΤΥΛΙΤΗΣ, NRG, NOMAD, CAMPBELL, κ.λ.π.).

Το «Windrose» δεν είναι μια αυτόνομη εφαρμογή, αλλά ένα πρόσθετο πρόγραμμα στο πρόγραμμα «Microsoft Excel». Αποτελείται από τα εξής 24 επί μέρους φύλλα εργασίας: (1) Input, (2) Power Curve, (3) Results, (4) Wind Corr, (5) Tables, (6) Weibull, (7) UhourG, (8) UPolar, (9) UhourT, (10) Time Charts, (11) 3D, (12) 12 diurnal, (13) 12 pie, (14) Bar Charts, (15) WtProdG, (16) WtProdT, (17) DIRhourG, (18) DIRhourT, (19) TempG, (20) TempT, (21) SradG, (22) SradT, (23) Temp Data και (24) Air-Density. Ένα από τα φύλλα εργασίας, που φέρει την ονομασία Input, χρησιμεύει για την εισαγωγή των δεδομένων. Το φύλλο Input αποτελείται από 4 πίνακες. Ο πρώτος περιλαμβάνει τα προς επεξεργασία αρχεία, ο δεύτερος περιλαμβάνει τους συντελεστές και τις μεταβλητές που χαρακτηρίζουν την επεξεργασία των δεδομένων, ο τρίτος συμπληρώνεται προαιρετικά και περιλαμβάνει τους συντελεστές διόρθωσης των ανεμολογικών μεγεθών προς επεξεργασία κι ο τέταρτος αφορά την διόρθωση της πυκνότητας του αέρα με το υψόμετρο. Για τις παραμέτρους c και k της κατανομής Weibull υπάρχουν δύο τρόποι υπολογισμού: α) \circ χρησιμοποιώντας μόνο τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση και β) χρησιμοποιώντας την κατανομή της ταχύτητας σε ένα συγκεκριμένο εύρος.



Στους υπολογισμούς του προγράμματος συμπεριλαμβάνεται κι η πυκνότητα του αέρα, η οποία υπολογίζεται με τρεις μεθόδους: στην 1^η μέθοδο, ο υπολογισμός της πυκνότητας γίνεται με βάση έναν εμπειρικό τύπο με μόνη παράμετρο το υψόμετρο, στην 2^η μέθοδο ο υπολογισμός της πυκνότητας γίνεται με βάση τη θερμοκρασία και το υψόμετρο και τέλος στην 3^η μέθοδο, ο υπολογισμός της πυκνότητας του αέρα γίνεται με τη βοήθεια ενός πίνακα, που περιέχει τις μηνιαίες τιμές της πυκνότητας του ανέμου. Τέλος, στο φύλλο Input υπάρχει κι ένα γράφημα με την καμπύλη ισχύος της επιλεγόμενης Α/Γ. Στο γράφημα παρουσιάζεται εκτός από την καμπύλη ισχύος και η διορθωμένη καμπύλη ισχύος (λόγω μεταβολής της πυκνότητας του αέρα στο δεδομένο υψόμετρο της τοποθεσίας) (Σχήμα 1.10.5).

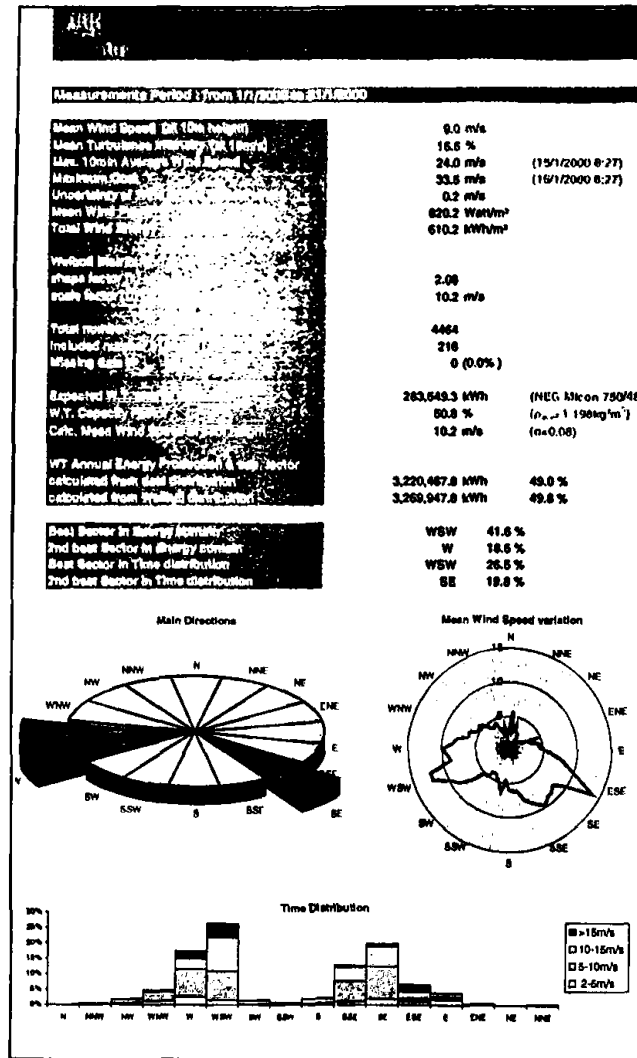


Σχήμα 1.10.5: Γραφική απεικόνιση της καμπύλης ισχύος Α/Γ και της διορθώσεως της πυκνότητας του αέρα, λόγω του υψομέτρου της τοποθεσίας (φύλλο Input).

Αφού συμπληρωθεί το φύλλο με τα δεδομένα εισαγωγής (φύλλο Input), στο φύλλο με τα αποτελέσματα του προγράμματος (φύλλο Results), παρουσιάζονται συνοπτικά τα κυριότερα αποτελέσματα. Εικόνα του φύλλου Results, φαίνεται στο Σχήμα 1.10.6.

Μια από τις εφαρμογές του λογισμικού «Windrose», είναι οι υπολογισμοί συσχετίσεων από ανεμολογικά δεδομένα δύο υπό μελέτη περιοχών. Ο υπολογισμός των συσχετίσεων είναι δυνατός, μόνο στην περίπτωση που τα ανεμολογικά δεδομένα των δύο περιοχών έχουν κάποιο κοινό χρονικό διάστημα. Από τις δύο τοποθεσίες, αυτή με το μεγαλύτερο πλήθος δεδομένων χαρακτηρίζεται ως τοποθεσία αναφοράς (reference time series). Με βάση τα κοινά δεδομένα των δύο περιοχών, υπολογίζονται οι συντελεστές συσχέτισης (correlation coef.), παλινδρόμησης (regression coef.: R^2) και γραμμικής παρεμβολής (κλίση: slope, τεταγμένη επί την

αρχή: offset). Τιμές του συντελεστή συσχέτισης κοντά στη μονάδα δείχνουν μεταβολές σε φάση, ενώ τιμές κοντά στο μηδέν δείχνουν ασυσχέτιστες μεταβολές. Ακόμα, τιμές του συντελεστή παλινδρόμησης (regression coef.: R^2) κοντά στη μονάδα, δείχνουν ότι το «νέφος» των μετρήσεων προσομοιάζεται καλά από την ευθεία της γραμμικής παρεμβολής.



Σχήμα 1.10.6: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων (πινακών και γραφημάτων) από την επεξεργασία ανεμολογικών δεδομένων με το πρόγραμμα «Windrose».



1.11 Περιβαλλοντικά οφέλη

Το παγκόσμιο ενδιαφέρον προς την κατεύθυνση της αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας, οφείλεται κυρίως σε δύο λόγους: 1) την επίλυση του ενεργειακού προβλήματος, αφού τα αποθέματα συμβατικών πηγών ενέργειας εξαντλούνται και 2) στο γεγονός ότι πρόκειται για φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις. Στον Πίνακα 1.11.1, αναγράφεται η ποσότητα των αερίων στοιχείων σε γραμμάρια (gr), που απελευθερώνονται για την παραγωγή ενέργειας 1 kWh, από εργοστάσιο λιγνίτη.

Πίνακας 1.11.1: Εκπομπές αερίων ρύπων για την παραγωγή ενέργειας 1 kWh από εργοστάσιο επεξεργασίας λιγνίτη (Πηγή: Στατιστικά Στοιχεία Δ.Ε.Η.).

Στοιχεία	Απελευθέρωση αερίων ρύπων (σε gr)
CO ₂	1.400
SO ₂	2 – 3
NO _x	1,5 – 2,5

Σημειώνεται ότι, μια τυπική ανεμογεννήτρια στο Ηνωμένο Βασίλειο, που έχει ικανότητα παραγωγής ισχύος 1 MW, συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών αερίων κάθε χρόνο κατά: 2.260 τόνους CO₂, 26,3 τόνους SO₂ και 7,9 τόνους NO_x (Πηγή: BWEA, Calculations for wind energy).

Παρόλο το τεράστιο περιβαλλοντικό όφελος από τη μείωση των αερίων ρύπων, υπάρχουν τρεις παράγοντες, που επηρεάζουν αρνητικά το περιβάλλον. Αυτοί είναι: η οπτική επιβάρυνση του ορίζοντα της περιοχής εγκατάστασης της Α/Γ, η θνησιμότητα των πτηνών και ο θόρυβος των Α/Γ. Οι Α/Γ είναι αρκετά υψηλές τεχνητές κατασκευές, με αποτέλεσμα να προκαλούνται αντιδράσεις από τους κατοίκους γειτονικών προς αυτές περιοχών. Έρευνες που έγιναν, απέδειξαν πως μετά την ανοικοδόμηση των Α/Γ, οι κάτοικοι συμβιβάστηκαν με την παρουσία των Α/Γ και αντιλήφθηκαν τα πολλαπλά περιβαλλοντικά οφέλη τους. Λιγότερες αντιδράσεις εντοπίζονται στην τάξη των αγροτών, όπου ορισμένες φορές πληρώνονται από τους ιδιοκτήτες των Α/Γ με τη μορφή φόρων ή ενοικίου.

Όσον αφορά τη θνησιμότητα των πτηνών εξαιτίας των Α/Γ, αρκετές έρευνες επί του θέματος κατέληξαν στο συμπέρασμα, πως το ποσοστό θνησιμότητας των πτηνών είναι πολύ μικρό. Ενδεικτικός είναι ο Πίνακας 1.11.2, από έρευνα που διεξήχθη στις Η.Π.Α. και αφορά την ετήσια θνησιμότητα των πτηνών ανά πηγή προέλευσης.



Πίνακας 1.11.2: Ετήσια θνησιμότητα πτηνών (Πηγή: Environment of Canada, Information about Wind Energy).

Κατασκευές	Θάνατοι πτηνών
Οχήματα	60.000.000 – 80.000.000
Κτίρια και παράθυρα	98.000.000 – 980.000.000
Ηλεκτρικές γραμμές τροφοδοσίας	174.000.000
Πύργοι επικοινωνίας	4.000.000 – 50.000.000
Ανεμογεννήτριες	10.000 – 40.000

Βέβαια, όταν επιλέγεται μια περιοχή για την τοποθέτηση μιας Α/Γ, καλό είναι να μην αποτελεί σημείο μετανάστευσης ή περάσματος αποδημητικών πτηνών, ώστε να μειωθεί περαιτέρω η πιθανότητα θνησιμότητάς τους.

Τέλος, ένα εμπόδιο για την ανέγερση Α/Γ σε μια περιοχή αποτελεί ο θόρυβος, που παράγεται από αυτές. Οι Α/Γ παράγουν δύο τύπους θορύβου: το μηχανικό θόρυβο, από τη γεννήτρια και τα μηχανικά μέρη και τον αεροδυναμικό θόρυβο, που δημιουργείται από τα πτερύγια όταν περνά ο αέρας. Η πρόοδος στην τεχνολογία (κατάλληλος σχεδιασμός των πτερυγίων, νέα υλικά, κ.λπ.) είχε ως αποτέλεσμα να μειωθεί σημαντικά ο μηχανικός θόρυβος. Ο θόρυβος αυξάνεται, καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου. Ο Πίνακας 1.11.3, συγκρίνει τα επίπεδα του θορύβου διαφόρων αντικειμένων.

Όπως διακρίνεται στον Πίνακα 1.11.3, το επίπεδο θορύβου μιας Α/Γ 660 kW σε μια απόσταση 200 m (650 ft), είναι μικρότερο από το επίπεδο θορύβου μιας κανονικής κατοικημένης προαστιακής περιοχής. Επίσης, σε αποστάσεις 300 m, ο θόρυβος μιας υψηλής ποιότητας Α/Γ είναι μικρότερος από 45 db, δηλαδή όσο ένα ψιθύρισμα.

Σύμφωνα λοιπόν με τις παραπάνω διατυπώσεις, τα περιβαλλοντικά οφέλη της χρήσης των Α/Γ είναι τεράστια και οι λεγόμενες αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, μπορούν να χαρακτηριστούν ως υπερβολές.



Πίνακας 1.11.3: Επίπεδα θορύβου διαφόρων αντικειμένων (Πηγή: Danish Wind Turbine Manufacturers Association).

Πηγή	Απόσταση (ft)	Επίπεδο ηχητικής πίεσης (dB)
Κατώφλι πόνου		140
Αεριοπρωθητική μηχανή	200	120
Έμπορική αμαξοστοιχία	100	70
Ηλεκτρική σκούπα	10	70
Φορητό που κινείται με ταχύτητα 30 mph	300	65
Απασχολημένο γραφείο		60
Αστική κατοικημένη περιοχή		58 – 62
Μεγάλος μετασχηματιστής	200	55
Άνεμος στα δέντρα	40	55
Κανονική κατοικημένη προαστιακή περιοχή		53 – 57
Ελαφριά οδική κυκλοφορία	100	50
Μέσο σπίτι		50
Ανεμογεννήτρια 660 kW	650	47
Ψίθυρος	5	30
Ήσυχο υπνοδωμάτιο		20
Κατώφλι ακοής		0



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΑΥΤΟΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΟΠΤΙΚΩΝ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ



2.1 Περιοχές μελέτης

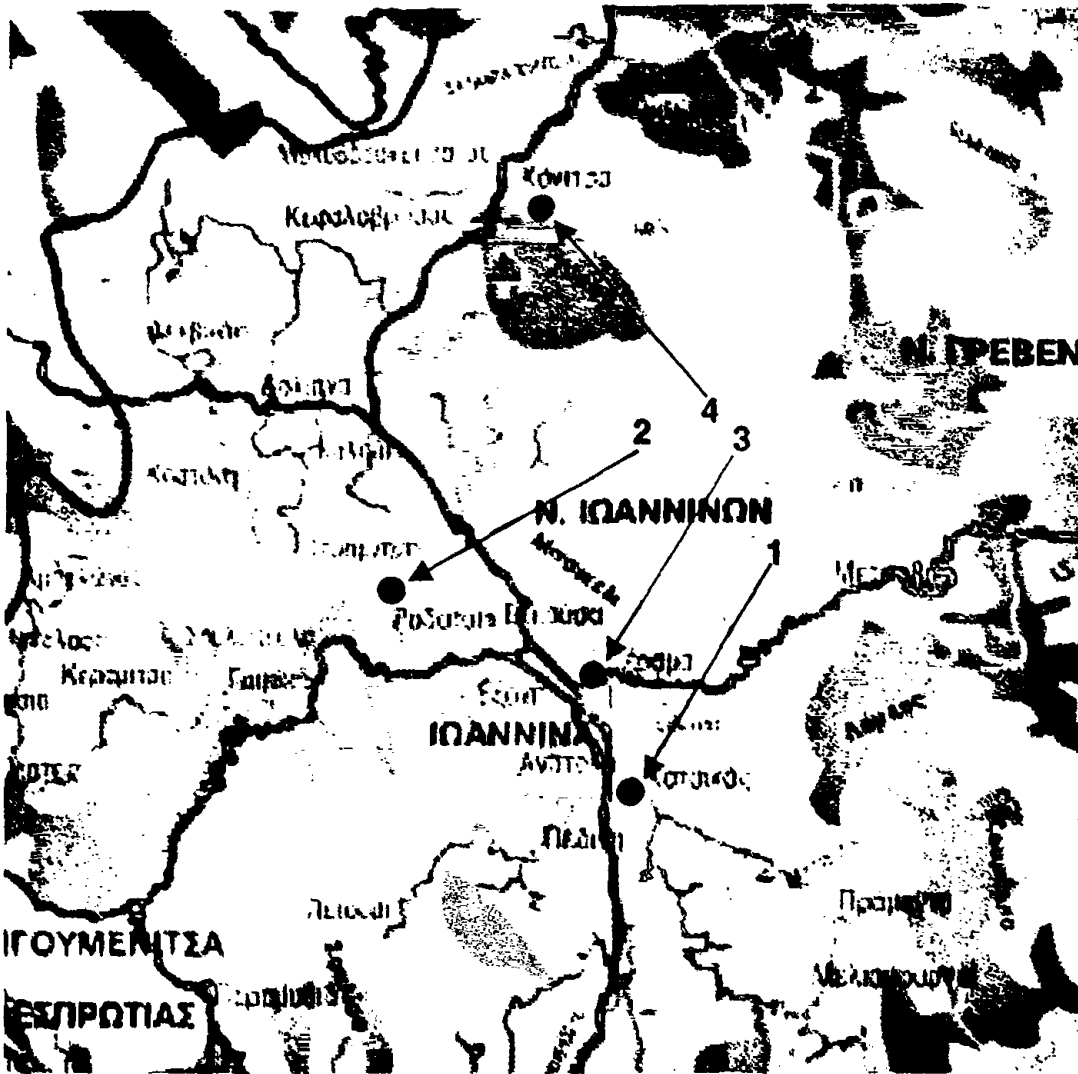
Για την παρούσα μελέτη επιλέχθηκαν τέσσερις περιοχές στο Νομό Ιωαννίνων: η περιοχή του Κατσικά, της Ζίτσας, της Κόνιτσας και το αεροδρόμιο των Ιωαννίνων. Κριτήριο της επιλογής αυτών των περιοχών, ήταν η ύπαρξη ανεμολογικών μετρήσεων: Στις περιοχές του Κατσικά και της Ζίτσας, οι μετρήσεις ελήφθησαν από αυτόματους αγρομετεωρολογικούς σταθμούς του Υπουργείου Γεωργίας, ενώ στις περιοχές της Κόνιτσας και του αεροδρομίου των Ιωαννίνων, από συνοπτικούς σταθμούς της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.). Τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά των περιοχών, εμφανίζονται στον Πίνακα 2.1.1.

Πίνακας 2.1.1: Γεωγραφικά χαρακτηριστικά των Μετεωρολογικών σταθμών.

	Αυτόματοι μετεωρολογικοί σταθμοί		Συνοπτικοί μετεωρολογικοί σταθμοί	
	Κατσικά (1)	Ζίτσα (2)	Αεροδρόμιο Ιωαννίνων (3)	Κόνιτσα (4)
Γεωγραφικό μήκος (λ)	20° 52' 41" E	20° 39' 03" E	20° 49' E	20° 45' E
Γεωγραφικό πλάτος (φ)	39° 37' 59" N	39° 45' 30" N	39° 42' N	40° 03' N
Υψόμετρο (m)	485	708	484	542

Οι παραπάνω περιοχές, σημειώνονται στο γεωφυσικό χάρτη του Νομού Ιωαννίνων (Σχήμα 2.1.1). Με το μπλε χρώμα συμβολίζονται οι αγρομετεωρολογικοί σταθμοί, ενώ με το κόκκινο οι συνοπτικοί της Ε.Μ.Υ.. Σ' αυτήν την απεικόνιση, φαίνεται καθαρά η ορειογραφία της κάθε εξεταζόμενης περιοχής. Σε ευθεία απόσταση, οι δυο περιοχές των αγρομετεωρολογικών σταθμών (Κατσικά, Ζίτσα) απέχουν περίπου 25 Km.

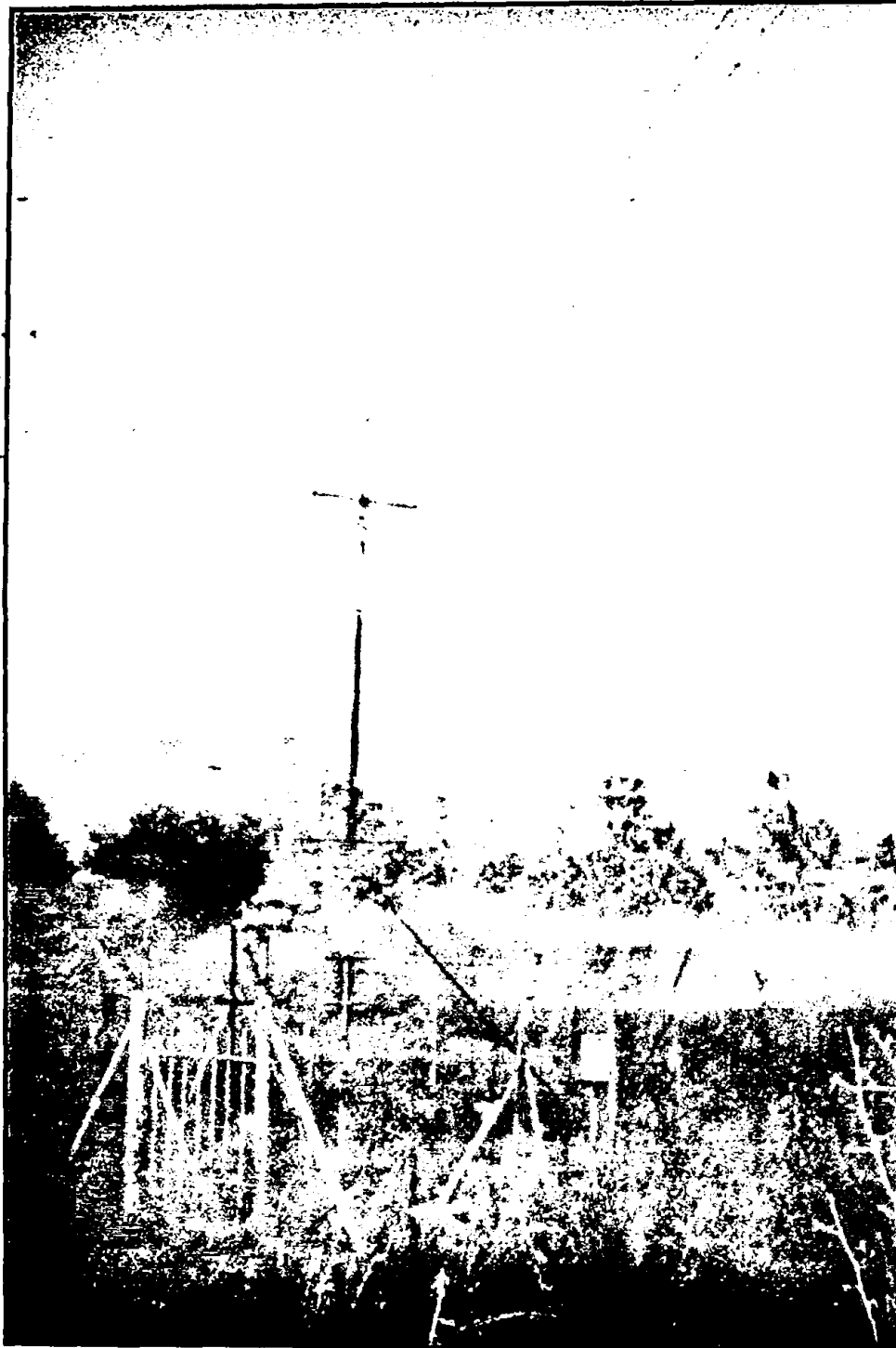




Σχήμα 2.1.1: Γεωφυσικός χάρτης του Νομού Ιωαννίνων.

2.2 Χαρακτηριστικά αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών

Τα ανεμολογικά δεδομένα της διπλωματικής εργασίας, προέρχονται από τους αυτόματους αγρομετεωρολογικούς σταθμούς (ΑΜΣ) που λειτουργεί η Διεύθυνση Έρευνας του Υπουργείου Γεωργίας, στην Κασικιά και τη Ζίτσα. Οι αυτόματοι αγρομετεωρολογικοί σταθμοί, εικόνες των οποίων παρουσιάζονται στα Σχήματα 2.2.1 και 2.2.2, ξεκίνησαν την λειτουργία τους το 1998 κι αποτελούνται από τις παρακάτω επιμέρους μονάδες και μετεωρολογικούς αισθητήρες:



Σχήμα 2.2.1: Φωτογραφία του αυτόματου αγρομετεωρολογικού σταθμού του Υπουργείου Γε στην περιοχή του Κατσικά του Ν. Ιωαννίνων.



2.2: Φωτογραφία του αυτόματου αγρομετεωρολογικού σταθμού του Υπουργείου Γεωρ
λογίας της Ζήτησης του Ν. Ιωαννίνων.



- α) Μονάδα συλλογής-ελέγχου και επεξεργασίας των δεδομένων (Data Logger)
- β) Μονάδα μετάδοσης των δεδομένων μέσω του δικτύου (modem)
- γ) Μετεωρολογικά όργανα
- δ) Μετεωρολογικός ιστός

Η μονάδα συλλογής-ελέγχου και επεξεργασίας των δεδομένων (μοντέλο CR10X, της εταιρείας Campbell Scientific, Inc), δειγματοληπτεί και ελέγχει την αξιοπιστία των σημάτων εξόδου των αισθητήρων των μετεωρολογικών οργάνων, κάθε ώρα. Η επεξεργασία των πρωτογενών σημάτων (δεδομένων) δημιουργεί μια νέα σειρά δεδομένων, τα οποία μέσω modem αποστέλλονται στα κεντρικά γραφεία της Υπηρεσίας Έρευνας του Υπουργείου Γεωργίας στην Αθήνα.

Η μονάδα διαθέτει έξι (6) διαφορεικές αναλογικές εισόδους σήματος, δύο (2) παλμικές εισόδους καθώς και οκτώ (8) εισόδους ελέγχου σημάτων εισόδου / εξόδου. Η διαδικασία της δειγματοληψίας, του ελέγχου των σημάτων εξόδου των μετεωρολογικών οργάνων, η επεξεργασία των δεδομένων καθώς και η μετάδοση μέσω του modem, γίνεται με ειδικά προγράμματα λογισμικού (software) τα οποία αποθηκεύονται στην μαγνητική μνήμη της μονάδας Data Logger (RAM). Τα προγράμματα αυτά, που εκτελούνται 64 φορές ανά δευτερόλεπτο, καλύπτουν την ταυτόχρονη δειγματοληψία, τον έλεγχο την επεξεργασία και την μεταφορά δεδομένων των σύγχρονων μονάδων Data Logger (multi-tasking operating system). Το μέσο μαγνητικής αποθήκευσης του Data Logger έχει χωρητικότητα 62 kB. Τα ηλεκτρονικό (hardware) τμήμα του σταθμού, προστατεύεται από ραδιοφωνικές (RF) και άλλου τύπου παρεμβολές. Ηλεκτρικό ρολόι που τροφοδοτείται από αλκαλική μπαταρία, εξασφαλίζει την αδιάλειπτη λειτουργία της διαδικασίας δειγματοληψίας των αισθητήρων των μετεωρολογικών οργάνων, τα οποία είναι συνδεδεμένα στον Data Logger (Πνευματικός 1998).

Οι μετεωρολογικοί αισθητήρες που δειγματοληπτούνται σε κάθε αυτόματο αγρομετεωρολογικό σταθμό είναι:

1) Πυρανόμετρο (μοντέλο CM 6B, της εταιρείας Kipp & Zonen), το οποίο είναι στερεωμένο στο ιστό του ΑΜΣ σε ύψος 3,20 m για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας (Πίνακας 2.2.1). Η θερμοστήλη του πυρανομέτρου διαθέτει 64 θερμοζεύγη Cu-Cn.



Πίνακας 2.2.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά ακτινομέτρου.

Φασματική περιοχή	305 - 2800 nm
Ευαισθησία	9 - 15 $\mu\text{V}/(\text{Wm}^2)$
Εσωτερική αντίσταση	70 - 100 Ohm
Χρόνος απόκρισης	2 sec
Μέγιστη τιμή έντασης ακτινοβολίας	2.000 W/m^2
Αισθητήριο	64 θερμοζεύγη Cu-Cn

2) Τρία (3) θερμόμετρα αντιστάσεως (RTD, Resistance Temperature Detector) για την μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα. Ο αισθητήρας του θερμομέτρου (T351, της εταιρείας Vector Instruments) είναι αντίσταση λευκόχρυσου (Pt100) (Πίνακας 2.2.2).

Πίνακας 2.2.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα του θερμομέτρου των ΑΜΣ.

Εύρος περιοχής μέτρησης	-100 °C - 350 °C
Εσωτερική αντίσταση	1000 Ω
Ακρίβεια μέτρησης	$\pm 0,1$ °C

Η θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα στον μετεωρολογικό ιστό του ΑΜΣ, μετρείται σε τρία διαφορετικά επίπεδα και σε ύψη 1, 2 και 3 m.

3) Η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς καταγράφεται με την υγρομετρική παράμετρο της σχετικής υγρασίας. Ο αισθητήρας (MP101A της εταιρείας Rotronic) διαθέτει πολυμερές στοιχείο (Hygromer C94) για την χωρητική μέτρηση της σχετικής υγρασίας στην περιοχή 0-100 %, με ακρίβεια $\pm 1,5$ %.

Η παράμετρος της υγρασίας μετρείται σε ύψος 2 m. Οι αισθητήρες της θερμοκρασίας καθώς και της σχετικής υγρασίας, προστατεύονται από τις καιρικές συνθήκες και την επίδραση της ακτινοβολίας με ειδικό κάλυμμα (AC1002, της εταιρείας Campbell Scientific, Inc).

4) Τρεις (3) αισθητήρες μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου. Πρόκειται για ανεμόμετρα κυπέλλων (A100R, της εταιρείας Vector Instruments) των οποίων τα τεχνικά χαρακτηριστικά είναι καταχωρημένα στον Πίνακα 2.2.3. Η περιστροφή των κυπέλλων και στην συνέχεια του μαγνήτη ανιχνεύεται από ηλεκτρονικό



μικροδιακόπτη (mercury wetted reed-switch) και κάθε περιστροφή αντιπροσωπεύει διαδρομή του ανέμου ίση με 1,25 m (0,8 περιστροφές ανά m).

Πίνακας 2.2.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα του ανεμομέτρου.

Εύρος περιοχής μέτρησης	0,2 – 75 m/s
Ακρίβεια μέτρησης	1% της μέτρησης στην κλίμακα 10-55 m/s 2% της μέτρησης σε κλίμακα >55 m/s
Βαθμονόμηση	1 παλμός για διαδρομή ανέμου 1,25 m
Σταθερά μήκους	2,3 m
Κατώφλι μέτρησης	0,2 m/s

Η ταχύτητα του ανέμου μετρείται στον μετεωρολογικό ιστό του ΑΜΣ στα ύψη 3 και 6 m.

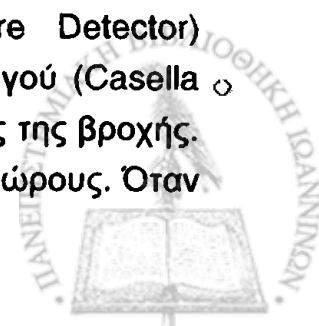
5) Για την μέτρηση της διεύθυνσης του ανέμου, χρησιμοποιείται ποτενσιομετρικός ανεμοδείκτης (W200P/L, της εταιρείας Vector Instruments) (Πίνακας 2.2.4).

Πίνακας 2.2.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα του ανεμοδείκτη.

Μεγίστη ταχύτητα	75 m/s
Περιοχή μέτρησης	360°
Ακρίβεια μέτρησης	± 4°
Ονομαστική τιμή ποτενσιομέτρου	2000 Ω ± 3 %
Απόκριση	Μήκος απόσβεσης 3,4 m Πηλίκιο απόσβεσης 0,2 m Σταθερά μήκους 2,3 m

Η διεύθυνση του ανέμου μετρείται στον μετεωρολογικό ιστό του ΑΜΣ σε δυο διαφορετικά επίπεδα (3 m και 6 m).

6) Για την μέτρηση της θερμοκρασίας εδάφους σε βάθη 2, 20 και 50 cm χρησιμοποιούνται θερμόμετρα αντιστάσεως (της εταιρείας TC Ltd). Ο αισθητήρας του θερμομέτρου είναι αντίσταση (RTD, Resistance Temperature Detector) λευκόχρυσου (Pt100) (Πίνακας 2.2.5). Βροχόμετρο ανατρεπόμενου ζυγού (Casella Tipping Bucket Rain Gauge) χρησιμοποιείται για να καταγράψει το ύψος της βροχής. Το νερό της βροχής οδηγείται σε ένα δοχείο που έχει διαιρεθεί σε δύο χώρους. Όταν



ένας από τους δύο χώρους γεμίσει με μία προκαθορισμένη ποσότητα νερού ανατρέπεται για να αδειάσει, ενώ το νερό της συνεχιζόμενης βροχόπτωσης οδηγείται και γεμίζει τον άλλο χώρο. Η κάθε ανατροπή του δοχείου κλείνει έναν διακόπτη προκαλώντας ηλεκτρικό παλμό που καταγράφεται στον Data Logger.

- Πίνακας 2.2.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα του βροχόμετρου.

Μέγεθος ανατρεπόμενου δοχείου ζυγού	0,1 mm
Επιφάνεια δοχείου συλλογής	400 cm ²
Ακρίβεια μέτρησης	1 % σε 1 litre/hr

7) Λεκάνη εξάτμισης που διαθέτει ποντεσιομετρικό αισθητήρα για την μετάδοση του ύψους του νερού (εύρος περιοχής μέτρησης 0-150 mm, ακρίβεια μέτρησης 0,5 mm) στον Data Logger. Η λεκάνη είναι κατασκευασμένη από ανοξείδωτη λαμαρίνα πάχους 1 mm και τοποθετείται σε ειδική ξύλινη βάση. Ο ποτενσιομετρικός αισθητήρας είναι τοποθετημένος μέσα σε ανεξάρτητο ανοξείδωτο δοχείο, το οποίο συγκοινωνεί με τη λεκάνη εξάτμισης μέσω εύκαμπτου σωλήνα προσαρμοσμένου στο κάτω μέρος του, εξασφαλίζοντας έτσι την ίδια στάθμη και στα δύο δοχεία.

Ο ιστός του σταθμού είναι κατασκευασμένος από αλουμίνιο ειδικών προδιαγραφών για να παραμένει ελαφρύς, έχει ύψος 10 m και κάθε μετεωρολογικό όργανο είναι τοποθετημένο στο άκρο βραχίονα από αλουμίνιο το άλλο άκρο του οποίου είναι στερεωμένο στο ιστό. Στην κορυφή του ιστού υπάρχει ράβδος αντικεραυνικής προστασίας.

Η τροφοδοσία των σταθμών γίνεται από την τάση δικτύου πόλης (220 V), αλλά υπάρχει και μπαταρία 12V DC, 7,2 Ah σε περίπτωση αστοχίας του δικτύου.

Τα αγρομετεωρολογικά δεδομένα καλύπτουν την χρονική περίοδο 1998-2002. Ο συνολικός αριθμός ωριαίων καταγεγραμμένων τιμών για την περιοχή του Κατσικά είναι 40.146 και για την περιοχή της Ζίτσας 38.545. Για την εξεταζόμενη χρονική περίοδο, το πλήθος των ωριαίων τιμών που λείπουν είναι 3.678 για την περιοχή του Κατσικά και 5.179 για την περιοχή της Ζίτσας. Στους Πίνακες 2.2.6 και 2.2.7, δίνονται χαρακτηριστικά δείγματα ημερήσιας εγγραφής των αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή της Ζίτσας και του Κατσικά του Ν. Ιωαννίνων, αντίστοιχα.



Πίνακας 2.2.6: Ημερησία εγγραφή της 27/02/1998 του αυτόματου μετεωρολογικού σταθμού στην περιοχή της Ζίτσας του Ν. Ιωαννίνων. (Ta=Θερμοκρασία αέρα (°C), RH=Σχετική υγρασία (%), WS=Ταχύτητα ανέμου (m/sec), WD=Διεύθυνση ανέμου (Deg), Ts=Θερμοκρασία εδάφους (°C), Solar=Ηλιακή ακτινοβολία (W/m²), Evap=Εξάτμιση (mm), Rain=Βροχόπτωση (mm), Battery=Στάθμη μπαταρίας (Volt)).

Ωρα	Ta (1m)	Ta (2m)	Ta (3m)	RH (2m)	WS (3m)	WD (3m)	WS (6m)	WD (6m)	TS (2cm)	TS (20cm)	TS (50cm)	Solar	Evap	Rain	Battery
1:00	5.3	5.6	6.5	62.0	1.2	34.0	1.7	28.9	7.0	8.2	8.6	0.0	0.2	0.0	11.6
2:00	5.6	6.1	7.1	57.7	1.5	73.5	2.1	72.6	6.8	8.1	8.6	0.0	0.0	0.0	11.6
3:00	5.0	5.6	6.6	59.9	1.3	59.0	1.7	62.0	6.6	8.0	8.6	0.0	0.0	0.0	11.5
4:00	5.1	5.4	6.3	61.9	1.0	41.9	1.2	39.0	6.3	7.9	8.6	0.0	0.0	0.0	11.5
5:00	5.1	5.4	6.4	61.4	1.9	53.0	2.5	50.8	6.1	7.8	8.6	0.0	0.0	0.0	12.3
6:00	5.0	5.2	6.1	63.2	1.7	61.5	2.4	60.4	6.0	7.7	8.6	0.0	0.2	0.0	12.3
7:00	5.2	5.4	6.4	61.6	2.0	68.2	2.6	68.3	5.8	7.7	8.5	0.0	0.0	0.0	12.3
8:00	5.5	5.9	6.6	59.0	1.7	68.5	2.2	64.9	5.8	7.6	8.5	24.9	0.0	0.0	12.5
9:00	7.4	7.7	8.3	53.3	1.7	27.0	2.3	18.8	5.8	7.5	8.6	175.4	0.4	0.0	12.1
10:00	9.7	9.5	10.0	48.8	1.8	32.0	2.3	28.2	6.2	7.5	8.6	355.8	0.0	0.0	12.8
11:00	12.0	11.3	11.6	43.1	2.6	85.2	3.1	84.8	7.0	7.5	8.6	567.8	0.0	0.0	13.7
12:00	12.6	11.4	11.6	44.4	3.9	79.7	4.6	84.3	7.8	7.3	8.5	684.5	0.0	0.0	15.0
13:00	13.1	11.9	12.2	43.8	4.3	78.7	5.2	78.6	8.6	7.3	8.5	747.0	0.0	0.0	13.2
14:00	13.0	11.9	12.3	44.5	4.4	69.9	5.6	72.5	9.5	7.4	8.5	741.0	0.2	0.0	15.0
15:00	13.6	12.5	12.8	40.8	3.6	78.2	4.4	80.8	10.1	7.4	8.5	663.8	0.3	0.0	15.1
16:00	14.0	13.0	13.2	37.9	3.2	84.9	3.7	84.5	10.2	7.5	8.5	532.6	0.0	0.0	15.0
17:00	13.5	12.8	12.9	38.4	2.7	87.4	3.1	82.1	10.0	7.7	8.4	350.0	0.3	0.0	14.6
18:00	12.1	11.9	12.1	41.5	2.0	78.9	2.5	79.1	9.7	7.8	8.4	145.0	0.2	0.0	13.4
19:00	9.1	9.4	10.3	48.2	2.5	88.5	2.9	88.9	9.3	8.0	8.4	9.7	0.0	0.0	12.9
20:00	8.5	8.9	9.8	48.5	0.7	291.7	0.9	284.5	8.8	8.0	8.4	0.0	0.0	0.0	12.9
21:00	8.1	8.3	9.2	51.9	0.9	308.4	1.2	303.0	8.4	8.1	8.4	0.0	0.2	0.0	12.0
22:00	7.5	7.8	8.7	54.2	0.9	293.0	1.2	285.5	8.0	8.1	8.4	0.0	0.1	0.0	11.9
23:00	7.4	7.6	8.5	54.5	1.0	300.9	1.3	297.3	7.7	8.1	8.4	0.0	0.0	0.0	12.7

Πίνακας 2.2.7: Ημερήσια εγγραφή της 28/02/1998 του αυτόματου μετεωρολογικού σταθμού στην περιοχή του Κατσικά του Ν. Ιωαννίνων. (Ta=Θερμοκρασία αέρα (°C), RH=Σχετική υγρασία (%), WS=Ταχύτητα ανέμου (m/sec), WD=Διεύθυνση ανέμου (Deg), Ts=Θερμοκρασία εδάφους (°C), Solar=Ηλιακή ακτινοβολία (W/m²), Evap=Εξάτμιση (mm), Rain=Βροχόπτωση (mm), Battery=Στάθμη μπαταρίας (Volt)).

Ωρα	Ta (1m)	Ta (2m)	Ta (3m)	RH (2m)	WS (3m)	WD (3m)	WS (6m)	WD (6m)	TS (2cm)	TS (20cm)	TS (50cm)	Solar	Evap	Rain	Battery
1:00	2.6	3.3	3.8	79.7	0.5	216.3	0.7	224.0	6.8	8.3	8.5	0.0	0.2	0.0	14.3
2:00	1.7	2.4	2.9	82.3	0.4	191.9	0.4	207.5	6.5	8.2	8.5	0.0	0.0	0.0	14.3
3:00	1.0	1.7	2.2	85.2	0.3	231.5	0.4	238.3	6.3	8.1	8.5	0.0	0.0	0.0	14.3
4:00	0.3	1.1	1.6	88.5	0.2	192.2	0.4	193.3	6.1	8.0	8.5	0.0	0.0	0.0	14.3
5:00	0.3	0.9	1.4	90.0	0.4	232.8	0.5	231.6	5.9	7.9	8.5	0.0	0.0	0.0	14.3
6:00	-0.4	0.4	0.8	91.9	0.3	208.9	0.3	230.4	5.7	7.8	8.6	0.0	0.0	0.0	14.3
7:00	-0.6	0.2	0.5	92.2	0.3	231.1	0.4	234.2	5.4	7.7	8.5	0.0	0.0	0.0	14.4
8:00	-0.6	0.1	0.5	92.3	0.3	219.4	0.5	232.2	5.2	7.5	8.5	22.6	0.2	0.0	14.4
9:00	3.5	4.2	3.9	75.9	0.2	208.4	0.4	199.1	5.2	7.5	8.5	212.8	0.2	0.0	15.2
10:00	6.8	7.5	6.8	68.4	0.5	53.0	0.6	44.3	5.6	7.4	8.5	405.4	0.1	0.0	15.2
11:00	8.6	9.0	8.4	65.4	1.0	35.7	1.1	33.0	6.1	7.3	8.5	574.6	0.2	0.0	15.2
12:00	10.8	11.1	10.6	52.4	0.9	41.5	1.0	40.4	6.7	7.3	8.5	688.9	0.2	0.0	15.2
13:00	13.2	13.5	13.1	45.0	0.9	64.0	1.0	55.5	7.5	7.3	8.5	739.0	0.2	0.0	15.2
14:00	14.7	15.0	14.7	44.3	1.2	47.1	1.3	46.0	8.1	7.4	8.5	714.0	0.1	0.0	15.2
15:00	16.1	16.4	16.0	38.2	1.5	19.6	1.7	15.2	8.8	7.5	8.4	655.5	0.0	0.0	13.9
16:00	17.5	17.7	17.2	32.2	1.3	301.9	1.6	301.2	9.1	7.7	8.4	531.3	0.2	0.0	13.9
17:00	16.9	17.1	16.9	35.3	1.5	300.9	1.8	293.6	9.0	7.9	8.4	340.3	0.0	0.0	13.9
18:00	14.9	15.3	15.3	46.0	1.7	297.3	2.2	291.4	8.8	8.0	8.3	125.3	0.0	0.0	14.0
19:00	11.4	12.2	12.5	60.0	0.6	246.5	0.9	236.5	8.5	8.1	8.3	5.0	0.1	0.0	14.1
20:00	8.6	9.4	9.9	72.0	0.3	218.7	0.5	220.8	8.1	8.2	8.3	0.0	0.0	0.0	14.2
21:00	7.2	8.0	8.4	80.2	0.3	214.6	0.4	228.4	7.8	8.2	8.3	0.0	0.2	0.0	14.3
22:00	5.7	6.6	7.0	86.4	0.2	200.2	0.3	214.6	7.5	8.2	8.3	0.0	0.0	0.0	14.3
23:00	4.4	5.1	5.6	92.0	0.2	51.6	0.2	322.2	7.2	8.2	8.3	0.0	0.2	0.0	14.4

2.3 Χαρακτηριστικά συνοπτικών μετεωρολογικών σταθμών

Οι συνοπτικοί μετεωρολογικοί σταθμοί, που λειτουργούν για την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ.), βρίσκονται στο αεροδρόμιο των Ιωαννίνων και την Κόνιτσα. Ο μετεωρολογικός σταθμός στο αεροδρόμιο των Ιωαννίνων, χρησιμοποιεί ανεμογράφο τύπου Fues με κατώφλι εκκίνησης 1 Κόμβο (1 (Knot), Κόμβος = 0,515 m/s) κι ο αντίστοιχος σταθμός στην Κόνιτσα χρησιμοποιεί ανεμογράφο τύπου Young, με κατώφλι εκκίνησης 1,2 Knot. Η ταχύτητα κι η διεύθυνση του ανέμου καταγράφονται ανά τρίωρο στο ύψος των 2 m. Τα ανεμολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και από τους δύο σταθμούς, καλύπτουν τη χρονική περίοδο 1999-2001.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Η ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΙΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΕΣ



3.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα διπλωματική, πραγματοποιείται η στατιστική επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων, που ελήφθησαν από τους σταθμούς τεσσάρων περιοχών (Κατσικά, Ζίτσα, Αεροδρόμιο Ιωαννίνων, Κόνιτσα) του Νομού Ιωαννίνων, σε ετήσια, εποχική, μηνιαία και ωριαία βάση. Στις δύο πρώτες περιοχές τα δεδομένα ελήφθησαν από αγρομετεωρολογικούς σταθμούς, ενώ στις υπόλοιπες δύο, απ' τους συνοπτικούς σταθμούς της Ε.Μ.Υ.. Στις περιοχές όπου τα δεδομένα ελήφθησαν από τους αγρομετεωρολογικούς σταθμούς, έγινε μια προσπάθεια για τον υπολογισμό του αιολικού δυναμικού και της αιολικής ενέργειας, μέσω του αιολικού μετεωρολογικού προγράμματος «WAsP».

Επίσης, στις δύο αυτές περιοχές, εντοπίστηκε ο κοινός ανεμώδης μήνας και μέσω του λογισμικού «Windrose», υπολογίστηκαν όλες οι ανεμολογικές στατιστικές παράμετροι, καθώς επίσης, εκτιμήθηκε η αιολική ενέργεια που δύναται να παραχθεί από κάθε περιοχή, επιλέγοντας την κατάλληλη Α/Γ. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί συσχέτισης, βάση των ανεμολογικών μηνιαίων δεδομένων των δύο περιοχών και υπολογίστηκαν παράμετροι συσχέτισης, όπως: συντελεστές συσχέτισης (correlation coef.), παλινδρόμησης (regression coef.: R^2) και γραμμικής παρεμβολής (slope, offset), με το αντίστοιχο διάγραμμα. Για τον ανεμώδη μήνα των δύο περιοχών, υπολογίστηκε και μια παράμετρος γνωστή ως σταθερότητα του ανέμου. Τέλος, πραγματοποιήθηκε μια οικονομική μελέτη για τις δύο περιοχές, για να διαπιστωθεί εάν είναι οικονομικά συμφέρουσα η εγκατάσταση Α/Γ.

3.2 Κλιματολογία της αιολικής ενέργειας στο Νομό Ιωαννίνων

Χαρακτηριστικό του ετήσιου πεδίου ροής των ανέμων στο Λεκανοπέδιο των Ιωαννίνων, είναι η παρουσία μεγάλου αριθμών ημερών νηνεμίας που φθάνει σε ποσοστό 66% και το υψηλό ποσοστό ασθενών έως μέτριων ανέμων δυτικής κυρίως διεύθυνσης. Οι ισχυροί είναι ελάχιστοι Β-ΒΑ (βόρειας έως βορειοανατολικής) διεύθυνσης και οι ορμητικοί σπάνιοι. Στον Πίνακα 3.2.1, παρουσιάζεται η εκατοστιαία συχνότητα διευθύνσεων και εντάσεων του ανέμου στα Ιωάννινα, για τη χρονική περίοδο 1951-1978 (Σούλης 1994).



Πίνακας 3.2.1: Μηνιαία και ετήσια κατανομή (%) του ανέμου ανά διεύθυνση και ένταση στον μετεωρολογικό σταθμό των Ιωαννίνων (1951-1978).

Κατηγορία ανέμων	Β	ΒΑ	Α	ΝΑ	Ν	ΝΔ	Δ	ΔΔ	Άθροισμα	Β	ΒΑ	Α	ΝΑ	Ν	ΝΔ	Δ	ΔΔ	Άθροισμα	
Ιανουάριος									72,0	Φεβρουάριος									64,8
Νηνεμία	0,7	0,5	1,3	4,7	2,7	1,0	2,0	1,7	14,6	1,2	0,5	1,8	6,3	3,3	1,5	3,8	1,4	19,8	
Ασθενείς	1,0	1,3	2,0	2,7	0,6	0,3	1,2	1,1	10,2	1,0	1,5	1,7	4,0	2,0	0,1	1,5	1,4	13,2	
Μέτριες	0,1	0,9	1,0	0,2	-	-	-	0,0	2,2	0,0	0,7	0,5	0,1	0,1	-	-	-	1,4	
Ισχυροί	-	0,4	0,5	0,1	-	-	-	-	1,0	0,1	0,4	0,4	-	0,1	-	-	-	1,0	
Ορμητικοί	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Άθροισμα	1,8	3,1	4,8	7,7	3,3	1,3	3,2	2,9	100,0	2,3	3,1	4,4	10,6	5,5	1,7	5,1	2,8	100,0	
Μάρτιος									59,0	Απρίλιος									61,0
Νηνεμία	1,5	0,9	2,0	5,6	3,3	1,1	5,4	3,0	27,8	2,0	0,7	1,6	4,1	3,3	1,5	3,7	3,6	22,5	
Ασθενείς	0,6	2,1	2,8	3,9	2,0	0,4	1,9	1,3	15,0	1,0	1,9	1,9	3,2	2,1	0,8	3,1	1,6	15,6	
Μέτριες	-	1,1	0,9	0,1	0,1	-	-	0,1	2,3	-	0,4	0,3	-	0,1	-	-	-	0,8	
Ισχυροί	-	0,4	0,5	-	-	-	-	-	0,9	-	0,1	-	-	-	-	-	-	0,1	
Ορμητικοί	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Άθροισμα	2,1	4,5	6,2	9,6	5,4	1,5	7,3	4,4	100,0	3,0	3,1	3,8	7,3	5,5	2,3	6,8	5,2	100,0	
Μάιος									61,5	Ιούνιος									59,4
Νηνεμία	3,0	1,0	1,3	3,5	2,0	1,1	8,2	4,6	24,7	4,4	0,9	1,6	2,4	1,5	0,6	8,4	6,2	26,0	
Ασθενείς	1,4	0,8	1,2	2,0	0,9	0,5	3,6	3,2	13,6	1,6	0,8	1,2	1,7	0,7	1,1	4,3	2,8	14,3	
Μέτριες	-	0,1	0,1	-	-	-	-	-	0,2	-	0,1	-	-	-	-	0,1	0,1	0,3	
Ισχυροί	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ορμητικοί	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Άθροισμα	4,4	1,9	2,6	5,5	2,9	1,6	11,8	7,8	100,0	6,0	1,9	2,8	4,1	2,2	1,7	12,8	9,1	100,0	
Ιούλιος									59,2	Αύγουστος									61,9
Νηνεμία	4,0	1,7	2,0	2,7	0,9	0,9	9,5	4,1	25,8	4,2	1,2	1,5	2,0	1,3	0,8	7,8	5,5	24,3	
Ασθενείς	1,9	1,2	2,4	1,2	0,4	0,5	3,8	3,2	14,6	1,5	1,7	1,5	1,5	0,4	0,4	3,5	2,6	13,1	
Μέτριες	-	0,1	0,2	-	-	-	0,1	0,2	0,4	-	0,5	0,2	-	-	-	-	0,1	0,7	
Ισχυροί	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ορμητικοί	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Άθροισμα	5,9	3,0	4,6	3,9	1,3	1,4	13,6	7,5	100,0	5,7	3,4	3,2	3,5	1,7	1,2	11,3	8,2	100,0	
Σεπτέμβριος									66,6	Οκτώβριος									68,0
Νηνεμία	2,6	1,1	1,6	2,3	1,6	1,1	7,4	3,7	21,4	1,8	0,8	1,1	4,0	2,7	1,2	3,8	1,9	17,3	
Ασθενείς	1,5	2,3	2,6	0,9	0,6	0,3	1,4	1,5	11,1	0,9	2,7	1,7	2,5	1,2	0,3	1,0	0,7	12,0	
Μέτριες	-	0,4	0,3	-	-	-	-	0,1	0,8	-	0,1	0,7	1,1	-	-	-	-	1,9	
Ισχυροί	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-	0,1	0,3	0,4	-	-	-	-	0,8	
Ορμητικοί	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Άθροισμα	4,1	3,9	4,5	3,2	2,2	1,4	8,8	5,3	100,0	2,9	4,5	3,2	6,5	3,9	1,5	4,8	2,6	100,0	
Νοεμβριος									76,8	Δεκέμβριος									77,5
Νηνεμία	0,9	0,3	0,9	4,9	3,7	1,0	2,3	1,2	15,2	0,6	0,4	1,0	4,2	2,1	0,8	2,6	1,0	12,7	
Ασθενείς	0,6	1,0	1,0	2,5	0,8	0,3	0,9	0,2	7,3	0,6	1,5	1,2	2,2	0,8	0,2	0,9	0,8	8,2	
Μέτριες	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ισχυροί	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ορμητικοί	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Άθροισμα	1,5	1,8	2,0	7,3	4,5	1,3	3,2	1,4	100,0	1,2	1,9	2,2	6,4	2,9	1,0	3,5	1,9	100,0	
Έτος									65,6										
Νηνεμία	2,2	0,8	1,5	3,9	2,4	1,0	5,6	3,2	20,6										
Ασθενείς	1,1	1,6	1,9	2,4	1,0	0,4	2,3	1,7	12,4										
Μέτριες	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
Ισχυροί	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
Ορμητικοί	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
Άθροισμα	3,3	3,1	4,0	6,3	3,4	1,4	7,9	5,0	100,0										

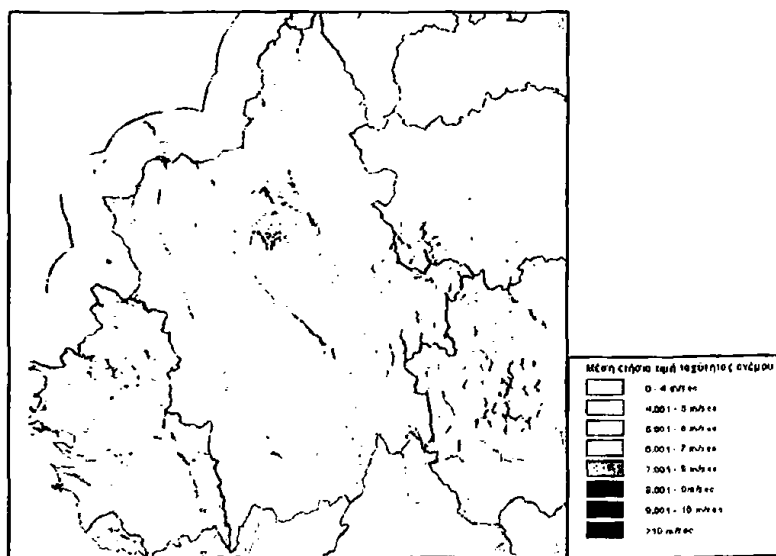
Όπως διακρίνεται στον Πίνακα 3.2.1, τον Ιανουάριο στα Ιωάννινα παρουσιάζεται ένα ποσοστό νηνεμιών (άπνοιες, calm) που φθάνει στο 72% των ημερών του μήνα και οι άνεμοι που επικρατούν είναι κατά το πλείστον νοτιοανατολικοί (ΝΑ) ασθενείς. Οι άλλες διευθύνσεις αντιπροσωπεύονται από ασθενείς έως μέτριους ανέμους ενώ οι ορμητικοί άνεμοι είναι σπάνιοι και κυρίως βορείων (Β) έως ανατολικών (Α) διευθύνσεων. Τον Απρίλιο οι ημέρες νηνεμίας φθάνουν στο 61% κι οι άνεμοι είναι δυτικών (Δ) και ΝΑ διευθύνσεων ασθενείς έως μέτριοι. Τον Ιούλιο οι ημέρες νηνεμίας πλησιάζουν το 59,2% και επικρατούν οι Δ ασθενείς έως μέτριοι άνεμοι. Οι ισχυροί είναι ελάχιστοι και πνέουν από τα δυτικά. Τέλος, τον Οκτώβριο οι ημέρες νηνεμίας φθάνουν στο 68% κι επικρατούν οι ΝΑ ασθενείς έως μέτριοι άνεμοι.

Στο παρελθόν έχουν γίνει ελάχιστες μελέτες για την αποτύπωση του αιολικού δυναμικού της Ηπείρου (Κατσούλης 1987 και 1988, ΚΑΠΕ). Τη δεκαετία του 80, υπό τη διεύθυνση της Δ.Ε.Η. και με τη συμμετοχή όλων των Πανεπιστημίων πραγματοποιήθηκε ερευνητική μελέτη για την αποτύπωση του αιολικού δυναμικού και τη δημιουργία του πρώτου αιολικού χάρτη της χώρας μας. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης για την περιοχή των Ιωαννίνων, έδειξαν ότι: η μέση ετήσια τιμή της



ταχύτητας του ανέμου ήταν 0,933 m/s, με το 95% των περιπτώσεων να εντοπίζεται στο διάστημα 0-5 m/s. Υπάρχουν περιπτώσεις εμφάνισης ταχυτήτων άνω των 15 m/s, αλλά είναι πολύ σπάνιες. Η παράμετρος k της κατανομής Weibull, κυμαίνεται από 0,299 έως 0,890. Οι χαμηλές αυτές τιμές, σημαίνουν ότι οι ταχύτητες ανέμου εμφανίζουν εξαιρετική διακύμανση γύρω από τη μέση τιμή. Οι τιμές της παραμέτρου c , κυμαίνονται μεταξύ 0,016 και 1,739 m/s. Οι άνεμοι με τη μεγαλύτερη ένταση και συχνότητα είναι του ανατολικού τομέα (μέγιστο στο ΒΑ τομέα) και εν συνεχεία, οι άνεμοι δυτικής μέχρι βορειοδυτικής διεύθυνσης. Στην ίδια μελέτη, εφαρμόστηκε το μοντέλο «ΑΙΟΛΟΣ», το οποίο ακολουθεί σε μεγάλο βαθμό τον αλγόριθμο του NOABL (Phillips 1979), για τη δυνατότητα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας (εγκατάσταση Α/Γ ή αιολικού πάρκου). Η εφαρμογή και αξιολόγηση του μοντέλου, είχε πραγματοποιηθεί στο παρελθόν κι από άλλους ερευνητές (Traci 1980, Λάλας 1984, Λάλας 1985, Lalas 1985). Τα αποτελέσματα του μοντέλου έδειξαν ότι, η περιοχή δεν προσφέρεται για εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου και κατά συνέπεια για την εγκατάσταση Α/Γ (Κατσούλης 1988).

Μια άλλη μελέτη για την αποτύπωση του αιολικού δυναμικού της Ελλάδας πραγματοποιήθηκε από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). Οι αιολικοί χάρτες που προέκυψαν από αυτή τη μελέτη, είναι συνδυασμός μετρήσεων και υπολογισμών. Το Σχήμα 3.2.1 παρουσιάζει για την περιοχή της Ηπείρου, τις ισοταχείς περιοχές της μέσης ετήσια ταχύτητας του ανέμου (σε m/s) σε ύψος 40 m από το έδαφος. Το ύψος αυτό, αντιπροσωπεύει το τυπικό ύψος της πλήμνης του δρομέα μιας Α/Γ ονομαστικής ισχύος 500–600 kW.



Σχήμα 3.2.1: Αποτύπωση του αιολικού δυναμικού στην περιοχή της Ηπείρου, στο ύψος των 40 m από την επιφάνεια του εδάφους [Πηγή: ΚΑΠΕ].

Όπως διακρίνεται στο Σχήμα 3.2.1, η περιοχή της Ηπείρου και ιδιαίτερα ο Νομός Ιωαννίνων, παρουσιάζει μικρές ταχύτητες ανέμου με εξαίρεση τις κορυφές των βουνών, όπου οι ταχύτητες παρουσιάζονται αυξημένες. Οι τοπικές αυτές συνθήκες οφείλονται στο έντονο ανάγλυφο του εδάφους και αποτελούν χαρακτηριστικό των κορυφογραμμών των ορεινών όγκων. Για το Ν. Ιωαννίνων, το όρος Μιτσικέλι (1.810 m), φαίνεται να παρουσιάζει τις μεγαλύτερες ταχύτητες του νομού, με περίπου 6 m/s (σε ύψος 40 m από την επιφάνεια του εδάφους).

3.3 Επεξεργασία ανεμολογικών δεδομένων

Από την επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων, που ελήφθησαν από τους αγρομετεωρολογικούς σταθμούς στις περιοχές του Κατσικά και της Ζίτσας, για τη χρονική περίοδο 1998–2002, βρέθηκε πως για την περιοχή του Κατσικά το έτος με την υψηλότερη μέση τιμή ταχύτητας ανέμου ήταν το 1998, ενώ για την περιοχή της Ζίτσας το 2001 (Πίνακες 3.3.1 και 3.3.2). Οι υψηλότερες ταχύτητες που καταγράφησαν ήταν 12,10 m/s (1998) και 11,60 m/s (1999), για την περιοχή του Κατσικά και της Ζίτσας, αντίστοιχα. Η καταγραφή των τιμών αυτών έγινε σε ύψος 6 m από την επιφάνεια του εδάφους, στο σημείο που βρίσκονται το δεύτερο ανεμόμετρο και ο ανεμοδείκτης, του μετεωρολογικού ιστού.

Στους Πίνακες 3.3.1 και 3.3.2, αναγράφονται χρήσιμα ανά έτος στατιστικά στοιχεία για το πεδίο των ανέμων στις δύο περιοχές. Η τελευταία γραμμή των Πινάκων, καταγράφει τις περιπτώσεις ουδέτερης (neutral) θερμικής ευστάθειας της ατμόσφαιρας. Σύμφωνα με τον Justus (1978), η ταχύτητα του ανέμου στις περιπτώσεις αυτές είναι μεγαλύτερη των 6 m/s.



Πίνακας 3.3.1: Χαρακτηριστικά στατιστικά στοιχεία των ανεμολογικών δεδομένων στην περιοχή Κατσικά του Ν. Ιωαννίνων.

	1998	1999	2000	2001	2002
Μέση Τιμή	1,00	0,78	0,82	0,97	0,89
Τυπική απόκλιση	1,13	0,81	0,87	1,08	0,90
Ποσοστημόριο 25%	0,30	0,20	0,20	0,28	0,29
Διάμεση Τιμή	0,60	0,50	0,49	0,58	0,60
Ποσοστημόριο 75%	1,30	1,20	1,19	1,29	1,22
Ενδοτεταρτημοριακό εύρος (IRQ)	1,00	1,00	0,99	1,01	0,93
Επικρατούσα τιμή	0,30	0,20	0,20	0,25	0,25
Διακύμανση	1,27	0,66	0,76	1,16	0,82
Κύρτωση	14,91	6,01	6,34	9,62	18,11
Ασυμμετρία	3,10	2,04	2,09	2,70	3,21
Ελάχιστη Τιμή	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Μέγιστη Τιμή	12,10	6,30	7,70	8,30	10,76
Πλήθος μετρήσεων	7.407	8.760	8.784	8.760	6.435
Διάστημα Εμπιστοσύνης (95%)	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
Πλήθος ωρών >= Μέση τιμή	2.650	3.343	3.124	3.663	2.450
Πλήθος ωρών >= Διάμεση τιμή	3.899	4.548	4.407	4.808	3.232
Πλήθος ημερών μετρήσεων	308	365	366	365	268
Πλήθος ουδέτερων περιπτώσεων	57	5	9	74	32

Πίνακας 3.3.2: Χαρακτηριστικά στατιστικά στοιχεία των ανεμολογικών δεδομένων στην περιοχή Ζίτσας του Ν. Ιωαννίνων.

	1998	1999	2000	2001	2002
Μέση Τιμή	2,13	2,08	2,02	2,15	1,89
Τυπική απόκλιση	1,32	1,37	1,34	1,34	1,22
Ποσοστημόριο 25%	1,10	1,00	1,00	1,07	0,94
Διάμεση Τιμή	1,80	1,70	1,61	1,78	1,53
Ποσοστημόριο 75%	2,90	2,90	2,78	2,96	2,62
Ενδοτεταρτημοριακό εύρος (IRQ)	1,80	1,90	1,78	1,89	1,68
Επικρατούσα τιμή	1,00	0,90	1,20	1,11	1,20
Διακύμανση	1,75	1,88	1,81	1,81	1,48
Κύρτωση	1,10	2,18	1,28	0,43	0,29
Ασυμμετρία	1,11	1,23	1,17	0,97	0,98
Ελάχιστη Τιμή	0,00	0,00	0,00	0,11	0,03
Μέγιστη Τιμή	8,90	11,60	9,70	8,97	6,72
Πλήθος μετρήσεων	7.407	8.760	8.760	8.300	5.318
Διάστημα Εμπιστοσύνης (95%)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Πλήθος ωρών >= Μέση τιμή	3.044	3.590	3.480	3.392	2.141
Πλήθος ωρών >= Διάμεση τιμή	3.750	4.434	4.388	4.168	2.673
Πλήθος ημερών μετρήσεων	308	365	365	345	221
Πλήθος ουδέτερων περιπτώσεων	85	71	71	61	7



Η περιοχή της Ζίτσας, έχει τις μεγαλύτερες μέσες τιμές ταχύτητας ανέμου κατά τη διάρκεια της πενταετίας. Επιλέγοντας το έτος 1998 και για τους δύο αγρομετεωρολογικούς σταθμούς, έγινε στατιστική επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων ανά διακριτά διαστήματα της ταχύτητας του ανέμου (bins). Τα αποτελέσματα για τις δύο περιοχές, φαίνονται στους Πίνακες 3.3.3 και 3.3.4, που ακολουθούν.

Πίνακας 3.3.3: Κατανομή (%) του ανέμου ανά διεύθυνση (με βήμα 22,5°) και ένταση (m/s) για το έτος 1998, στον Αγρομετεωρολογικό σταθμό Κατσικά του Ν. Ιωαννίνων.

	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 & άνω	Σύνολο	Μέση Ταχ.	Απόκλιση	Ελάχιστη	Μέγιστη
B	3,9	-	-	-	3,9	1,1	0,6	-	3,0
BBA	9,1	1,4	0,1	-	10,7	1,7	1,3	0,1	11,9
BA	5,9	1,8	0,6	0,1	8,4	2,4	2,2	-	12,1
ABA	2,7	0,1	-	-	2,8	1,2	0,8	0,1	4,1
A	2,2	0,1	-	-	2,3	1,1	0,7	0,1	4,0
ANA	2,5	-	-	-	2,5	1,0	0,6	0,1	3,8
NA	3,7	0,2	-	-	3,9	1,4	0,9	0,1	4,6
NNA	4,4	-	-	-	4,4	1,1	0,7	0,1	3,7
N	3,6	-	-	-	3,6	0,7	0,4	-	2,3
NNΔ	7,1	-	-	-	7,1	0,5	0,3	-	2,5
NΔ	9,9	-	-	-	9,9	0,5	0,3	-	2,4
ΔNΔ	6,1	0,1	-	-	6,2	0,7	0,6	-	3,9
Δ	4,9	0,1	-	-	5,0	1,3	0,9	-	3,9
ΔBΔ	4,7	0,4	-	-	5,1	1,6	1,0	-	4,5
BΔ	2,6	-	-	-	2,6	1,2	0,7	-	3,6
BBA	2,3	-	-	-	2,3	1,1	0,6	-	2,7
ΑΠΝΟΙΑ	19,3				19,3				
ΣΥΝΟΛΟ	95,1	4,2	0,6	0,1	100	1,2	0,8	-	12,1

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.3.3, για την περιοχή Κατσικά, το μεγαλύτερο ποσοστό ανέμων προέρχεται από βόρειο-βορειοανατολικές (BBA), βορειοανατολικές (BA) διευθύνσεις, όπου εντοπίζονται και οι μεγαλύτερες μέσες τιμές ταχύτητας ανά διεύθυνση και ακολουθούν οι νοτιοδυτικές (NΔ), όπου πνέουν άνεμοι χαμηλής εντάσεως ($\approx 0,5$ m/s, ασθενείς, 1 B). Πρέπει να σημειωθεί και το υψηλό ποσοστό νηνεμιών 19,3%, καθώς επίσης και πως οι ισχυροί άνεμοι εντοπίζονται μόνο στη BA διεύθυνση.



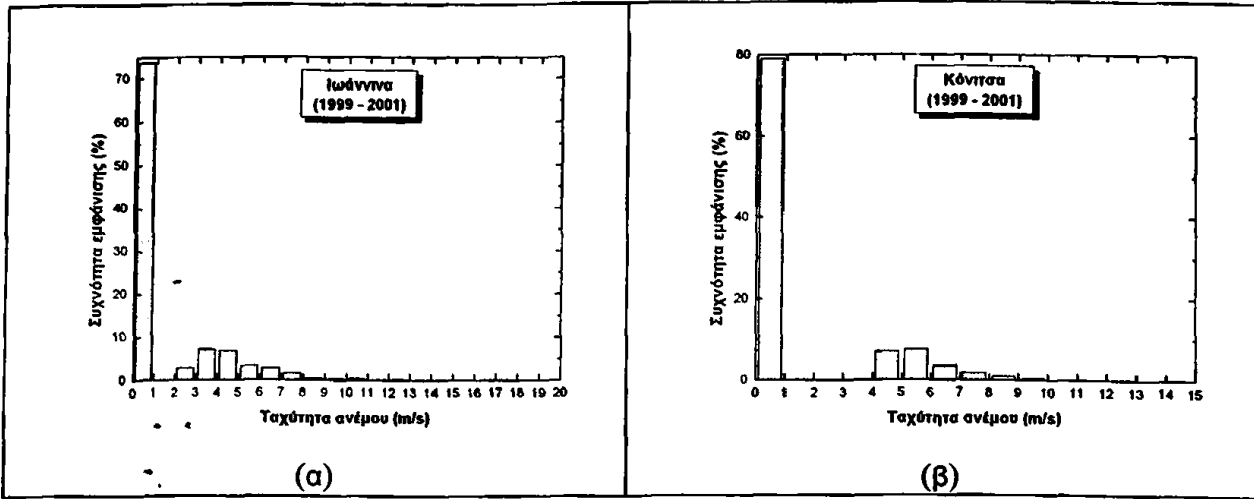
Πίνακας 3.3.4: Κατανομή (%) του ανέμου ανά διεύθυνση (με βήμα 22,5°) και ένταση (m/s) για το έτος 1998, στον Αγρομετεωρολογικό σταθμό Ζίτσας του Ν. Ιωαννίνων.

	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 & άνω	Σύνολο	Μέση Ταχ.	Απόκλιση	Ελάχιστη	Μέγιστη
B	5,3	0,1	-	-	5,4	1,3	0,7	-	4,1
BBA	4,8	0,2	-	-	5,0	1,3	0,7	0,2	4,5
BA	6,0	0,5	0,1	-	6,6	1,5	1,2	0,2	8,6
ABA	7,8	1,1	0,4	-	9,3	1,9	1,5	0,3	8,9
A	6,5	3,1	0,1	-	9,8	2,5	1,3	0,3	7,3
ANA	6,3	1,5	-	-	7,8	2,4	0,9	0,2	6,7
NA	2,6	0,2	-	-	2,8	1,6	1,0	0,3	7,0
NNA	2,8	0,1	-	-	2,9	1,7	0,9	0,1	6,2
N	3,5	0,9	-	-	4,4	2,3	0,9	0,3	5,5
NNΔ	4,4	3,2	-	-	7,6	2,9	1,2	0,2	6,8
NΔ	4,2	5,4	0,3	-	9,9	3,4	1,3	0,2	7,3
ΔNΔ	4,1	2,9	0,1	-	7,2	3,0	1,4	0,1	8,0
Δ	4,3	0,7	-	-	5,1	1,8	1,2	0,3	6,6
ΔBΔ	4,6	0,1	-	-	4,7	1,4	0,7	0,3	5,0
BΔ	5,8	0,1	-	-	5,9	1,4	0,7	0,3	4,0
BBA	5,1	0,3	-	-	5,4	1,5	0,8	0,2	4,5
ΑΠΝΟΙΑ	0,4				0,4				
ΣΥΝΟΛΟ	78,4	20,5	1,1	-	100	2,0	1,0	-	8,9

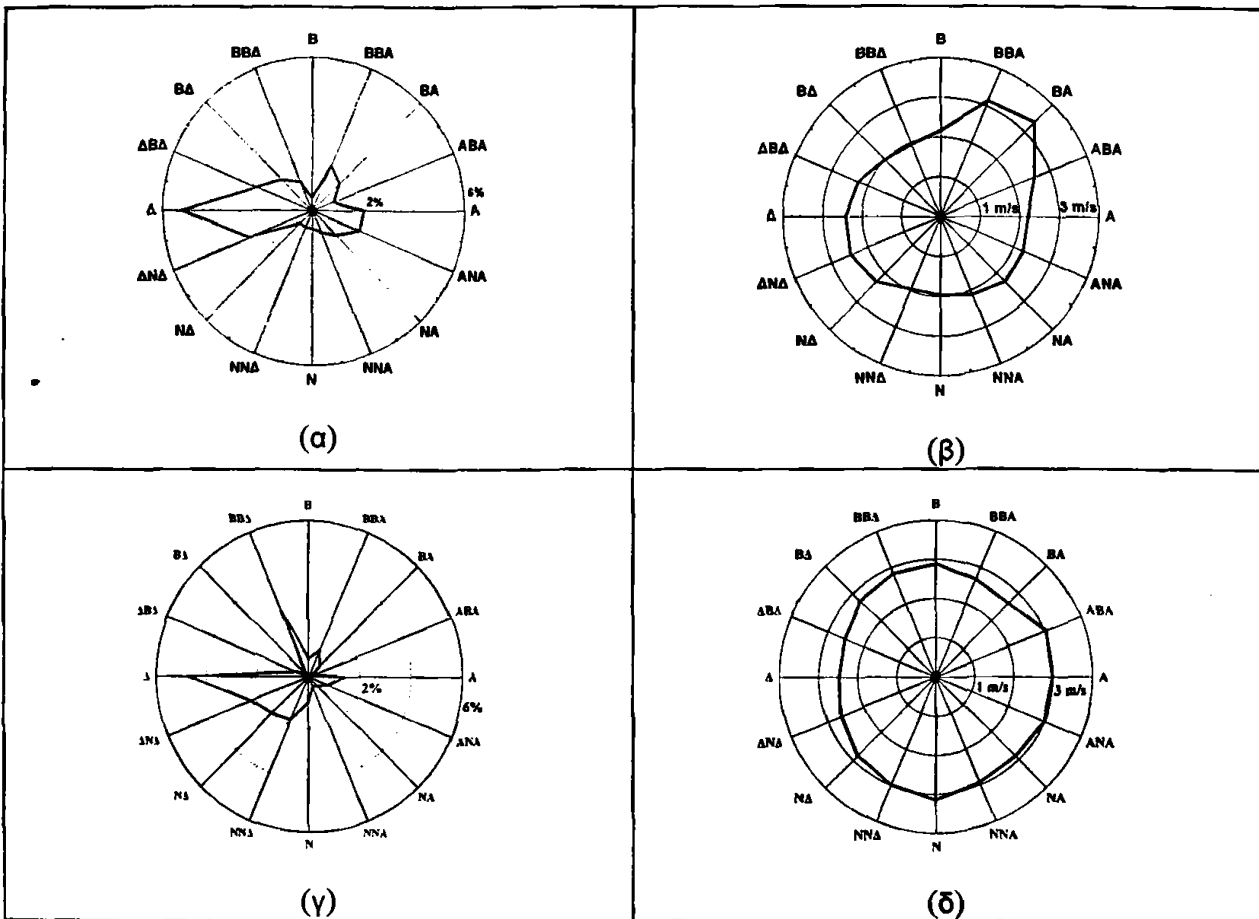
Στην περιοχή της Ζίτσας, το μεγαλύτερο ποσοστό ανέμων προέρχεται κυρίως από ΝΔ διευθύνσεις και ακολουθούν οι Α και ΑΒΑ. Οι μεγαλύτερες μέσες τιμές ταχυτήτων είναι ΝΔ, δυτικών-νοτιοδυτικών (ΔΝΔ) διευθύνσεων, ενώ το ποσοστό νηνεμίας είναι μικρότερο συγκριτικά με την περιοχή του Κατσικά. Πάντως και στις δύο περιοχές, γενικά, οι μέσες ταχύτητες του ανέμου λαμβάνουν μικρές τιμές, επαληθεύοντας τις αιολικές κλιματολογικές συνθήκες της Ηπείρου (Σούλης 1994).

Για τη γραφική απεικόνιση του αιολικού δυναμικού των υπό μελέτη περιοχών, δίνονται τα πολικά διαγράμματα των Σχημάτων 3.3.1 και 3.3.2.





Σχήμα 3.3.3: Ραβδογράμματα συχνότητας εμφάνισης των ταχυτήτων του ανέμου στις περιοχές (α) του αεροδρομίου των Ιωαννίνων και (β) της Κόνιτσας, για τη χρονική περίοδο 1999-2001.



Σχήμα 3.3.4: Ροδογράμματα κατανομής (α), (γ) της διεύθυνσης και (β), (δ) της μέσης ταχύτητας του ανέμου, για τις περιοχές του αεροδρομίου Ιωαννίνων και της Κόνιτσας αντίστοιχα, για τη χρονική περίοδο 1999-2001.



Όπως διακρίνεται στο Σχήμα 3.3.4, στην περιοχή του αεροδρομίου Ιωαννίνων, οι ισχυρότεροι άνεμοι πνέουν από ΒΒΑ έως ΒΑ διευθύνσεις με μια συχνότητα εμφάνισης γύρω στο 2%, ενώ οι άνεμοι με το μεγαλύτερο ποσοστό εμφάνισης είναι δυτικής διευθύνσεως (Δ) με σχετικά μικρότερη ένταση. Στην περιοχή της Κόνιτσας οι άνεμοι Δ διευθύνσεως εμφανίζονται συχνότερα, ενώ η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι σχεδόν η ίδια για όλες τις διευθύνσεις, με ελαφρώς αυξημένη την ένταση στους ανέμους του 1ου τομέα (ΑΒΑ, Α και ΑΝΑ).

Συμπερασματικά, οι τιμές των μέσων ταχυτήτων του ανέμου και στις τέσσερις εξεταζόμενες περιοχές είναι μικρές, καθότι δεν ξεπερνούν την αριθμητική τιμή των 2,5 m/s (ασθενείς άνεμοι στην κλίμακα Beaufort) κατά μέσο όρο. Αυτό που θα πρέπει να επισημανθεί, είναι οι διευθύνσεις των επικρατούντων ανέμων σε κάθε περιοχή, και ιδιαίτερα στις περιοχές του λεκανοπεδίου των Ιωαννίνων (Κατσικά, αεροδρόμιο), όπου οι ισχυρότεροι άνεμοι πνέουν από ΒΒΑ έως ΒΑ διευθύνσεις. Η μεγαλύτερη ταχύτητα που καταγράφηκε (Πίνακας 3.3.3), ήταν 12,1 m/s (ισχυρός στην κλίμακα Beaufort, 6 Β.) ΒΑ διεύθυνσης. Επίσης, στην περιοχή του αεροδρομίου στην ίδια διεύθυνση, καταγράφηκε η ταχύτητα των 15,5 m/s (ισχυρός, 7 Β.). Η διεύθυνση αυτή συναντά κάθετα το όρος Μιτσικέλι (1.810 m), το οποίο εκτείνεται νοτιοανατολικά (ΝΑ). Έτσι, οι άνεμοι ΒΒΑ και ΒΑ διεύθυνσης που κατέρχονται από το βουνό με συγκριτικά μεγάλη ταχύτητα, είναι γνωστοί ως καταβάτες (Stull 1988, Panofsky and Dutton 1984).

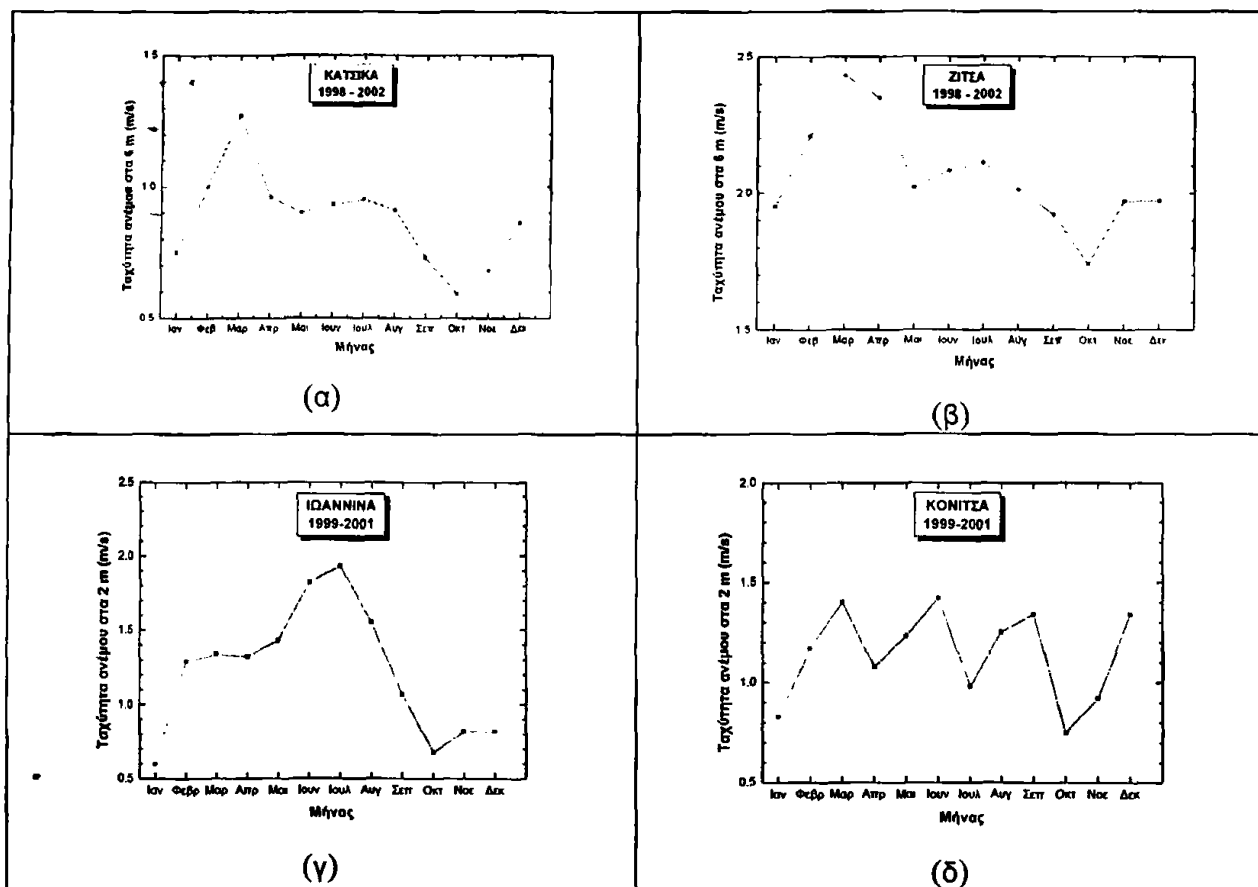
Η μηνιαία μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου στις εξεταζόμενες περιοχές, απεικονίζεται το Σχήμα 3.3.5.

Για την περιοχή του Κατσικά αλλά και της Ζίτσας, ο πλέον ανεμώδης μήνας είναι ο Μάρτιος και ακολουθούν οι καλοκαιρινοί μήνες Ιούνιος, Ιούλιος και Αύγουστος. Στην περιοχή του αεροδρομίου των Ιωαννίνων, διακρίνεται ένα μέγιστο τον μήνα Ιούλιο και ακολουθεί ο Μάρτιος. Για την περιοχή της Κόνιτσας, οι μέγιστες τιμές της ταχύτητας του ανέμου εντοπίζονται επίσης, τους καλοκαιρινούς μήνες και το Μάρτιο αλλά και το Δεκέμβριο. Και στις τέσσερις περιοχές διακρίνεται ένα ελάχιστο στις τιμές των μέσων ταχυτήτων του ανέμου, τους μήνες Οκτώβριο και Ιανουάριο.

Το ελάχιστο της μέσης ταχύτητας του ανέμου τον μήνα Ιανουάριο, που παρατηρείται και στις τέσσερις περιοχές, οφείλεται στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία του χειμώνα. Οι άνεμοι αυτήν την περίοδο, επηρεάζονται από τις υψηλές πιέσεις δύο αντικυκλωνικών συστημάτων (Ατλαντικού και Σιβηρικού), καθώς και από τις χαμηλές πιέσεις των υφέσεων που δημιουργούνται στο χώρο της Μεσογείου. Μεταξύ των δύο αυτών αντικυκλωνικών συστημάτων, δημιουργούνται κατά τη χειμερινή περίοδο πεδία χαμηλών πιέσεων, τα οποία δέχονται ανέμους πότε του βορείου και πότε του νοτίου τομέα. Έτσι, ο Ελληνικός χώρος είναι πεδίο διαρκώς μεταβαλλόμενων, κατά



τη διεύθυνση ανέμων, οι οποίοι αλλοιώνονται αισθητά από το έντονα ανώμαλο ανάγλυφο του εδάφους. Οι ισχυροί και οι ορμητικοί σπάνια εμφανίζονται και είναι Β έως Α. Το ίδιο συμβαίνει και για το ελάχιστο του Οκτωβρίου, καθώς το φθινόπωρο επικρατούν σχεδόν οι ίδιες με το χειμώνα συνθήκες, επηρεασμένες κυρίως από την επέκταση του Ατλαντικού αντικυκλώνα στα βόρεια της Αφρικής και από τις υφέσεις της Μεσογείου (Σούλης 1994).



Σχήμα 3.3.5: Μέση ταχύτητα ανέμου ανά μήνα για τις περιοχές (α) Κατσικά, (β) Ζίτσα, (γ) αεροδρομίου Ιωαννίνων και (δ) Κόνιτσα.

Τα δευτερεύοντα μέγιστα που εμφανίζονται και στις τέσσερις περιοχές, συμβαίνουν τους θερινούς μήνες. Αυτή την περίοδο, οι αντικυκλώνες έχουν απομακρυνθεί από τον Ελληνικό χώρο. Ο σχηματισμός υφέσεων σχεδόν αδρανεύει και το σύστημα των ανέμων στην Ήπειρο εμφανίζεται σταθερό με ομαλές πιέσεις, οι οποίες ελαττώνονται προς τα ΝΑ. Εμφανίζονται ασθενείς συνήθως βορειοδυτικοί (ΒΔ) άνεμοι, με μεγαλύτερη ένταση τις μεσημβρινές ώρες, οι οποίοι σταματούν να πνέουν κατά τη νύχτα. Πρόκειται για τους Μαΐστρους, οι οποίοι πνέουν από τον Ιούνιο ή και νωρίτερα, μέχρι το Σεπτέμβριο. Κατά τη διάρκεια του θέρους επίσης, στο εσωτερικό της Ηπείρου εμφανίζονται αύρες (αύρες των ορέων και των κοιλάδων). Συνεπώς, τα



μέγιστα των θερινών μηνών οφείλονται αφενός στους Μαΐστρους κι αφετέρου στις αύρες των ορέων και των κοιλάδων (Σούλης 1994, Katsoulis 1992).

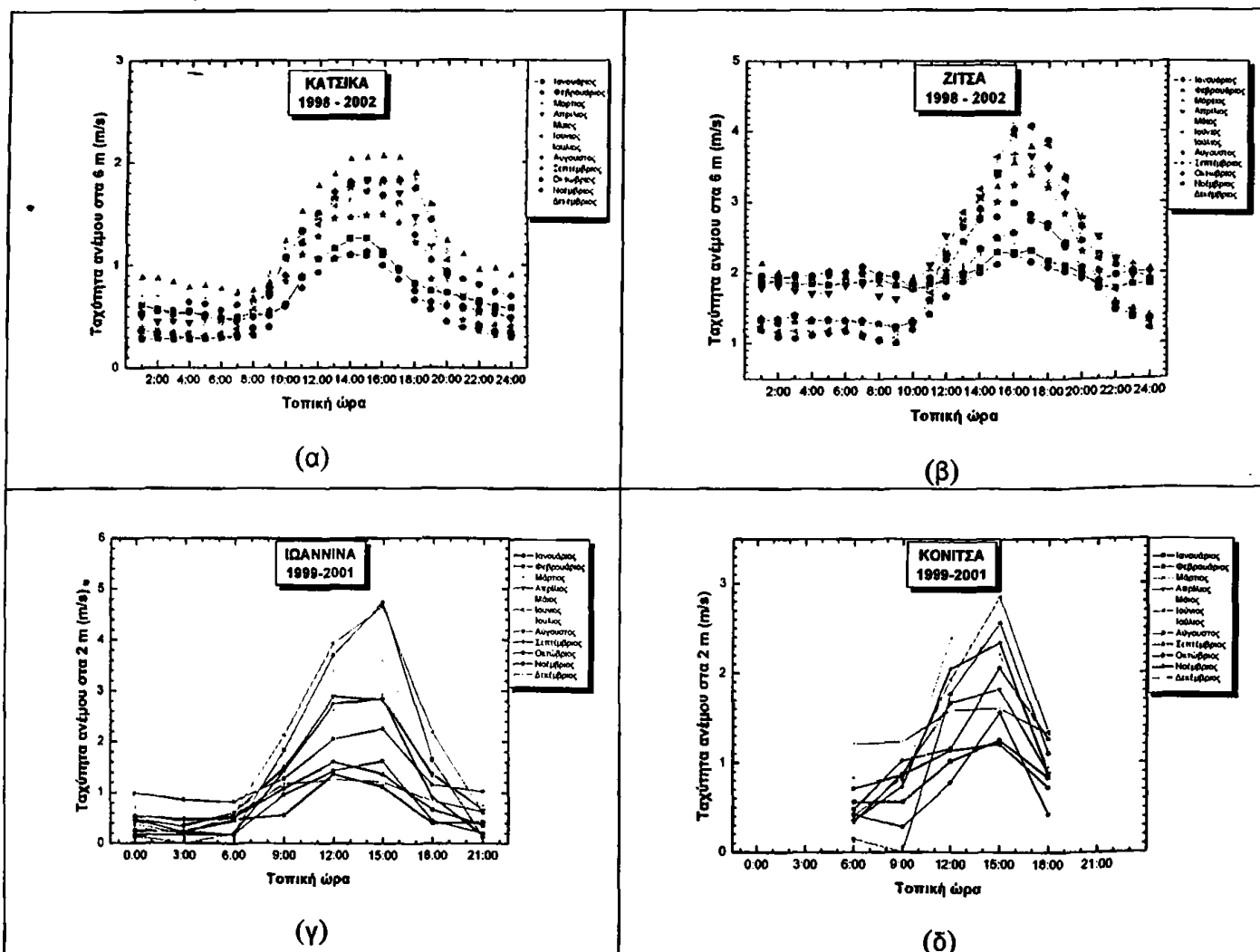
Για τις περιοχές της Ζίτσας και του Κατσικά, το κύριο μέγιστο εντοπίζεται το μήνα Μάρτιο. Κατά την άνοιξη επικρατούν οι ίδιες σχεδόν με το χειμώνα συνθήκες, αλλά σε μικρότερο βαθμό, επειδή τα βαρομετρικά συστήματα απομακρύνονται από το χώρο αυτό. Η σύγκριτικά, με τους άλλους μήνες, μεγαλύτερη ταχύτητα του ανέμου ίσως οφείλεται στην παρουσία του ανέμου Σιρόκο. Πνέει από τη βόρεια Αφρική με διεύθυνση ΝΑ έως ΝΔ, είναι θερμός και ξηρός άνεμος, που εμπλουτίζεται σε υδρατμούς, καθώς διέρχεται πάνω από τη Μεσόγειο και φθάνει στην Ήπειρο θερμός και υγρός, προκαλώντας έντονες βροχές. Ο Σιρόκος εμφανίζεται συνήθως κατά την άνοιξη, αλλά και το φθινόπωρο σε μικρότερο όμως βαθμό. Για την περιοχή του αεροδρομίου, όπου το πρωτεύων μέγιστο παρατηρείται τον Ιούλιο, πιθανώς να οφείλεται στην παρουσία της χερσαίας αύρας. Οι αύρες αυτές επικρατούν στο εσωτερικό της Ηπείρου και οφείλονται στη διαφορά θερμοκρασίας που υπάρχει, κυρίως το καλοκαίρι, στα στρώματα του αέρα πάνω από τις πλαγιές των βουνών και στην ελεύθερη ατμόσφαιρα στο ίδιο υψόμετρο. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται διαφορετικές βαροβαθμίδες, οπότε κατά την ημέρα πνέουν άνεμοι από τις κοιλάδες προς τις κορυφές των βουνών (αύρα κοιλάδων) και κατά τη νύχτα από τα βουνά προς τις κοιλάδες (αύρα ορέων). Η περιοχή της Κόνιτσας, φαίνεται ότι επηρεάζεται εν μέρει από όλους τους παραπάνω αναφερόμενους ανέμους (Σχήμα 3.3.5).

Στην παραπάνω παράγραφο, έγινε αναφορά για τις χερσαίες αύρες (ορέων και κοιλάδων). Όπως αναφέρθηκε, πνέουν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές της ημέρας (νύκτα ή και ημέρα). Επίσης, στα παραπάνω είδη ανέμων (αύρες και Μαΐστροι), η έντασή τους χαρακτηρίζεται από ωριαία κύμανση, εκτός της μηνιαίας. Για αυτό το λόγο, τα ανεμολογικά δεδομένα των περιοχών, διαχωρίστηκαν και ανά ώρα (Σχήμα 3.3.6). Τα ανεμολογικά δεδομένα για τους αγρομετεωρολογικούς σταθμούς (Κατσικά, Ζίτσα) καταγράφονται ανά ώρα και καλύπτουν μια ημερήσια χρονική περίοδο (24 ώρες). Τα ανεμολογικά δεδομένα των συνοπτικών σταθμών της Ε.Μ.Υ. καταγράφονται ανά τρεις ώρες. Ιδιαίτερα για την περιοχή της Κόνιτσας, τα ανεμολογικά δεδομένα καλύπτουν τη χρονική περίοδο από τις 06:00 έως τις 18:00.

Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών και στις τέσσερις υπό μελέτη περιοχές, το μέγιστο σημειώνεται τις μεσημεριανές ώρες και συγκεκριμένα από την 14^η έως την 17^η ώρα, ενώ για τους μήνες Οκτώβριο – Ιανουάριο το μέγιστο εντοπίζεται μεταξύ 12^{ης} και 14^{ης} ώρας και αντιστοιχεί σε μικρότερες ταχύτητες ανέμου. Το ημερήσιο εύρος της έντασης είναι μεγαλύτερο τη θερινή περίοδο, όταν επικρατούν οι Μαΐστροι και οι αύρες και όχι την ψυχρή εποχή, που οι άνεμοι είναι αποτέλεσμα των ατμοσφαιρικών διαταραχών. Αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές στην περιοχή της Ζίτσας,

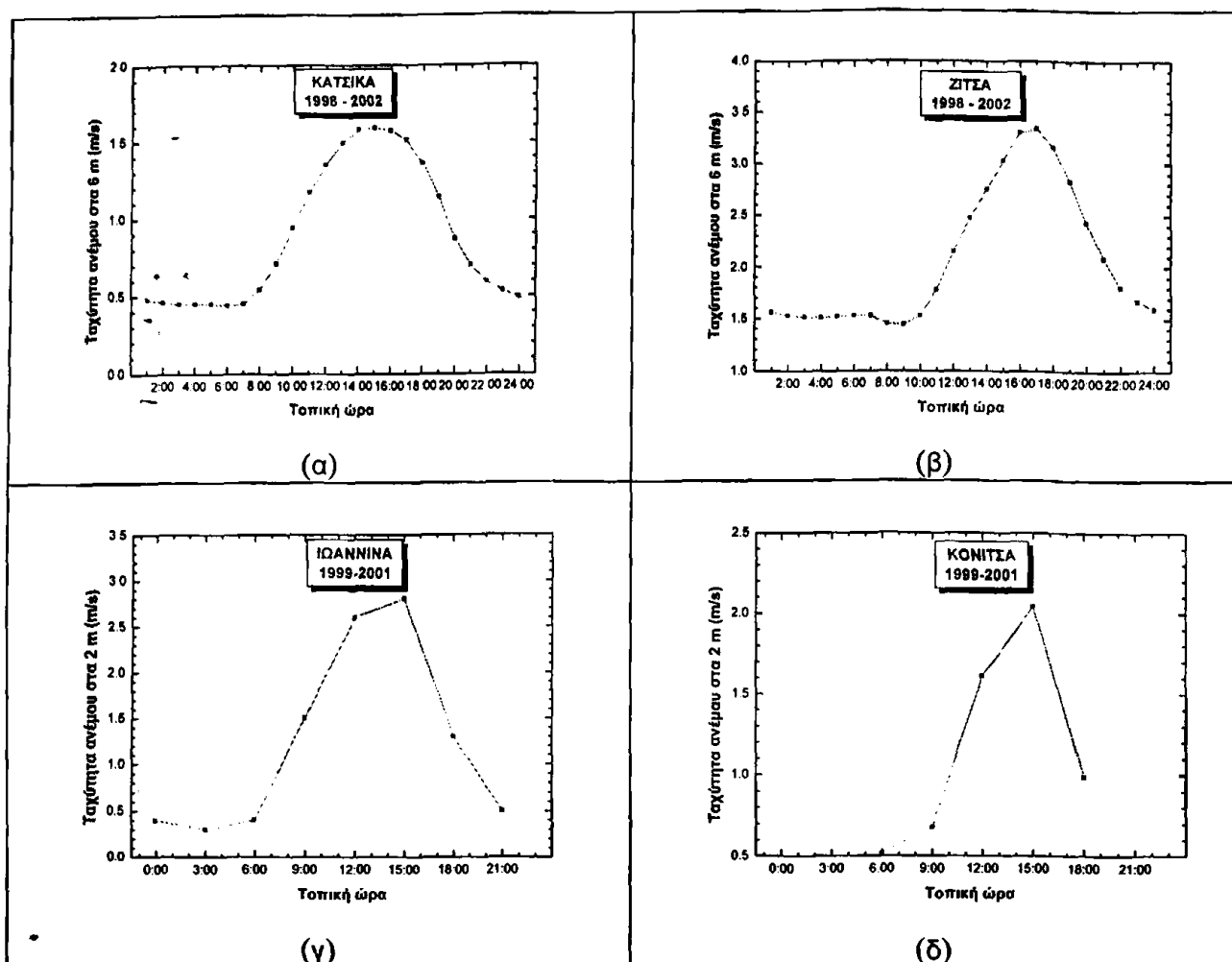


όπου τους θερινούς μήνες παρατηρείται μεγάλο εύρος της εντάσεως των ανέμων. Στην περιοχή του Κατσικά το εύρος δεν είναι τόσο μεγάλο, διότι οι αύρες ορέων είναι πιο έντονες, λόγω της πιο σύνθετης τοπογραφίας σε σχέση με τη Ζίτσα, με αποτέλεσμα την αυξημένη συγκριτικά ταχύτητα ανέμου κατά τη διάρκεια της νύκτας. Οι μικρότερες τιμές εμφανίζονται κατά τις νυχτερινές ώρες από την 23^η έως την 8^η πρωινή. Οι παρατηρήσεις αυτές, ταιριάζουν απόλυτα με την αιολική κλιματολογία της Ηπείρου (Σούλης 1994). Τα ίδια συμπεράσματα προκύπτουν όταν μελετηθούν οι ημερήσιες μέσες ωριαίες τιμές της ταχύτητας του ανέμου (Σχήμα 3.3.7).



Σχήμα 3.3.6: Μέση ωριαία κατανομή της μηνιαίας ταχύτητας του ανέμου ανά ώρα για τις περιοχές (α) Κατσικά, (β) Ζίτσας, (γ) αεροδρομίου Ιωαννίνων και (δ) Κόνιτσας.



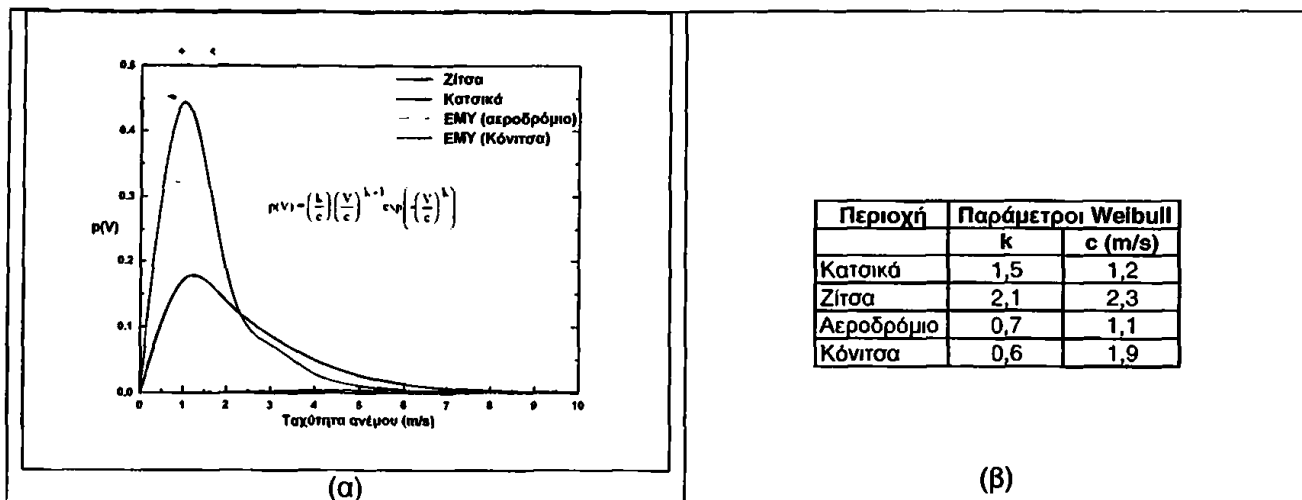


Σχήμα 3.3.7: Ημερήσια μεταβολή της μέσης ωριαίας ταχύτητας του ανέμου για τις περιοχές (α) Κατσικά, (β) Ζίτσα, (γ) αεροδρόμιο Ιωαννίνων και (δ) Κόνιτσα.

Οι μεγαλύτερες εντάσεις του ανέμου εντοπίζονται τις μεσημεριανές και πρώτες απογευματινές ώρες, ενώ οι χαμηλότερες στο διάστημα από τα μεσάνυχτα έως τις πρώτες πρωινές ώρες. Το μεγαλύτερο ημερήσιο εύρος φαίνεται να εμφανίζεται στη Ζίτσα και στο αεροδρόμιο των Ιωαννίνων. Αυτό οφείλεται ίσως στην ορογραφία της κάθε περιοχής και κατά συνέπεια στα τοπικά συστήματα κυκλοφορίας του ανέμου (χερσαίες αύρες, καταβάτες άνεμοι, κ.λπ.). Πρέπει τέλος να σημειωθεί, πως τα ανεμολογικά δεδομένα των αγρομετεωρολογικών σταθμών είναι ωριαία, ενώ των συνοπτικών σταθμών της Ε.Μ.Υ. τρίωρα. Στον λόγο αυτό οφείλεται και η παρατηρούμενη εξομαλυμένη μορφή των ανεμολογικών χρονοσειρών των αγρομετεωρολογικών σταθμών, σε σχέση με τους συνοπτικούς (Σχήμα 3.3.7).



Η κατανομή Weibull έχει αποδειχθεί ότι περιγράφει ικανοποιητικά την ποιότητα του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής (Justus 1978, Ρηνεματικός 1991a, b, Katsoulis and Metaxas 1992). Έτσι, για τις υπό μελέτη περιοχές, υπολογίστηκαν οι παράμετροι της κατανομής Weibull και σχεδιάστηκε το διάγραμμα της πιθανότητας κατανομής της ταχύτητας του ανέμου (Σχήμα 3.3.8α,β), χρησιμοποιώντας την εξίσωση (1.4.13).



Σχήμα 3.3.8: (α) Η διπαραμετρική κατανομή Weibull $p(v)$ σε συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου, περιγράφει την ποιότητα του αιολικού δυναμικού στις περιοχές μελέτης Κατσικά, Ζίτσας, Ιωαννίνων (αεροδρόμιο) και Κόνιτσας. (β) Οι παράμετροι Weibull c και k των υπό μελέτη περιοχών, χρησιμοποιούνται σε πολλούς ενεργειακούς υπολογισμούς.

Οι περιοχές των αγρομετεωρολογικών σταθμών, περιγράφονται ικανοποιητικά από την κατανομή Weibull, όπως διακρίνεται στο Σχήμα 3.3.8α, παρουσιάζοντας τις μεγαλύτερες πιθανότητες εμφάνισης, σε ταχύτητες ανέμου γύρω στο 1-1,5 m/s. Παρατηρείται, πως οι τιμές της παραμέτρου c της κατανομής Weibull είναι κοντά στην τιμή της μέσης ταχύτητας του ανέμου (Katsoulis and Metaxas 1992).

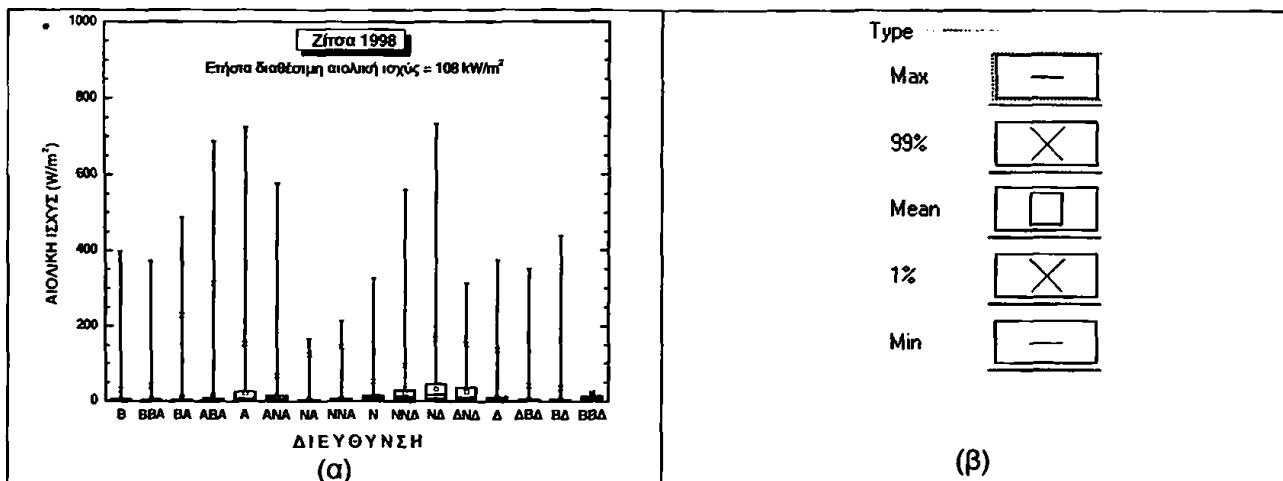
Επίσης, για να σχηματίσουμε μια γενική εικόνα της ενέργειας του ανέμου στις υπό μελέτη περιοχές, έγιναν οι υπολογισμοί της διαθέσιμης αιολικής ισχύος, σύμφωνα με τις εξισώσεις (1.4.1) και (1.4.7). Η εξίσωση (1.4.1), όπου περιγράφει την θεωρητική αιολική ισχύ, διαφέρει από την εξίσωση (1.4.7) κατά τον συντελεστή ισχύος C_p . Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3.5. Σύμφωνα με τις τιμές του Πίνακα 3.3.5, η περιοχή με την μεγαλύτερη διαθέσιμη αιολική ισχύς, φαίνεται να είναι η Ζίτσα (~ 285 kW/m²) κι ακολουθεί το αεροδρόμιο των Ιωαννίνων (~ 123 kW/m²), ο Κατσικάς (~ 76 kW/m²) και τέλος η περιοχή της Κόνιτσας (~ 59 kW/m²), για τη χρονική περίοδο 1998-2002.



Πίνακας 3.3.5: Στατιστικά στοιχεία διαθέσιμης αιολικής ισχύος (W/m^2) για τις υπό μελέτη περιοχές.

Περιοχές	Θεωρητική διαθέσιμη αιολική ισχύς (W/m^2)				Διαθέσιμη αιολική ισχύς (W/m^2)			
	Κατσικά	Ζίτσα	Αεροδρόμιο Ιωαννίνων	Κόνιτσα	Κατσικά	Ζίτσα	Αεροδρόμιο Ιωαννίνων	Κόνιτσα
Περίοδος	1998-2002	1998-2002	1999-2001	1999-2001	1998-2002	1998-2002	1999-2001	1999-2001
Ημερήσια μέση τιμή	4	14	26	23	2	7	14	12
Τυπική Απόκλιση	22	30	99	59	12	16	53	32
Μέγιστη Ημερήσια	1.085	956	2.259	669	585	515	1.218	361
Συνολική ισχύς	141.181	529.653	228.072	109.131	76.097	285.483	122.931	58.821

Στην περιοχή της Ζίτσας, η συνολική θεωρητική διαθέσιμη αιολική ισχύς, δίχως τον υπολογισμό της παραμέτρου C_p , πλησιάζει τις 530 kW/m^2 . Ιδιαίτερα για το έτος 1998, η ετήσια θεωρητική διαθέσιμη αιολική ισχύς κυμαίνεται στα 108 kW/m^2 (Κωλέτσας και Πνευματικός 2004). Η κατανομή της θεωρητικής αιολικής ισχύος ανά διεύθυνση, αποδίδεται καλύτερα χρησιμοποιώντας τα θηκογράμματα, διαγράμματα Tukey (Tukey 1977). Τα θηκογράμματα δίδουν σημαντικές στατιστικές πληροφορίες, όπως: την ελαχίστη, μέση, μέγιστη τιμή, ποσοστημότητα 25%, 50% και 75% (Πνευματικός 2000). Το θηκογράμμα ενέργειας για την περιοχή της Ζίτσας, για το έτος 1998, εμφανίζεται στο Σχήμα 3.3.9.



Σχήμα 3.3.9: (α) Γράφημα τύπου Tukey (θηκόγραμμα), που απεικονίζει σημαντικές χαρακτηριστικές στατιστικές παραμέτρους των τιμών της θεωρητικής διαθέσιμης αιολικής ισχύος (σε W/m^2) ανά διεύθυνση στην Ζίτσα, το έτος 1998. (β) Συμβολισμός των στατιστικών παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στο αντίστοιχο θηκόγραμμα. Το άνω και κάτω άκρο του ορθογώνιου «κουτιού» σημειώνει τις τιμές των ποσοστημορίων 25% και 75%, και η γραμμή μέσα στο ορθογώνιο «κουτί» το ποσοστημότητα 50%.

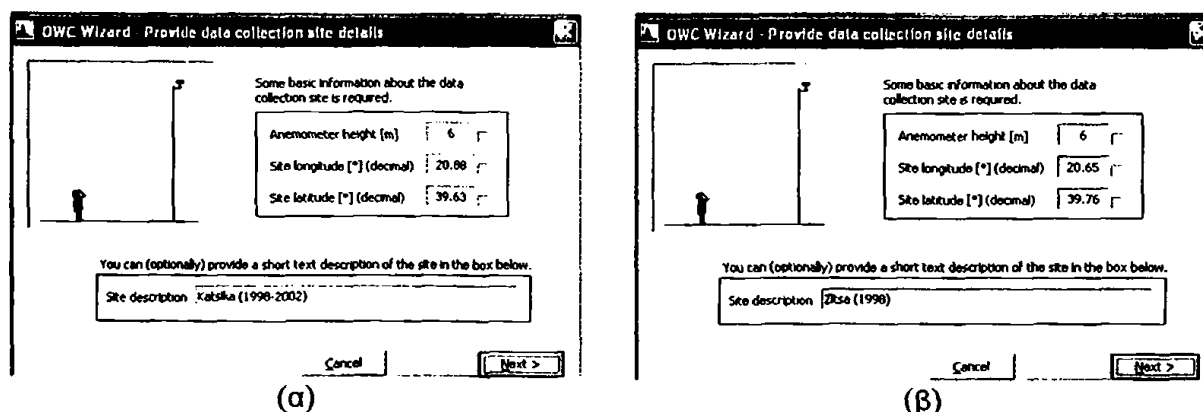


Σύμφωνα με το Σχήμα 3.3.9, το μεγαλύτερο ποσό ισχύος του ανέμου στην περιοχή της Ζίτσας, παρατηρείται στην ΝΔ κυρίως διεύθυνση.

3.4 Εκτίμηση αιολικού δυναμικού με το «WAsP»

Στην παρούσα εργασία, γίνεται μια προσπάθεια για την εκτίμηση (αποτύπωση) του αιολικού δυναμικού στις περιοχές του Κατσικά και της Ζίτσας του Ν. Ιωαννίνων, χρησιμοποιώντας το αιολικό μετεωρολογικό πρόγραμμα «WAsP» (έκδοση 6.0). Στη συνέχεια, επιλέγοντας την κατάλληλη ανεμογεννήτρια (Α/Γ) υπολογίζεται και η αιολική ενέργεια που μπορεί να δεσμευτεί στην κάθε περιοχή.

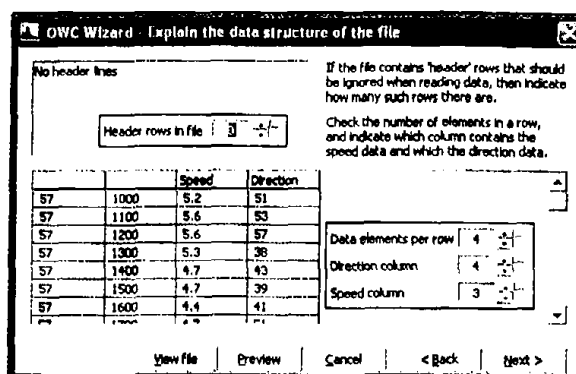
Τα ανεμολογικά δεδομένα (raw data) που προέρχονται από μετρήσεις, μπορούν να εισαχθούν στο πρόγραμμα με τη μορφή αρχείων δεδομένων (.dat), αρχείων κειμένου (.txt) ή σαν αρχεία μορφοποιημένου κειμένου (.prn). Η εισαγωγή γίνεται με τη βοήθεια του «OWC Wizard», ενός προγράμματος ειδικά για τον σκοπό αυτό, το οποίο συνοδεύει το «WAsP 6.0». Το «OWC Wizard» δημιουργεί μια ροζέτα ανέμου που αντιστοιχεί στις μετρήσεις. Για την εισαγωγή των ανεμολογικών δεδομένων, πρέπει να γνωρίζουμε το ύψος του ανεμογράφου από τον οποίο προέρχονται τα ανεμολογικά δεδομένα και το γεωγραφικό πλάτος (φ) και μήκος (λ) του σταθμού (Σχήμα 3.4.1).



Σχήμα 3.4.1: Εισαγωγή χαρακτηριστικών ανεμομέτρου (ύψος) και γεωγραφικών συντεταγμένων (φ και λ) του σταθμού στο πρόγραμμα «WAsP» για την περιοχή (α) του Κατσικά και (β) της Ζίτσας.

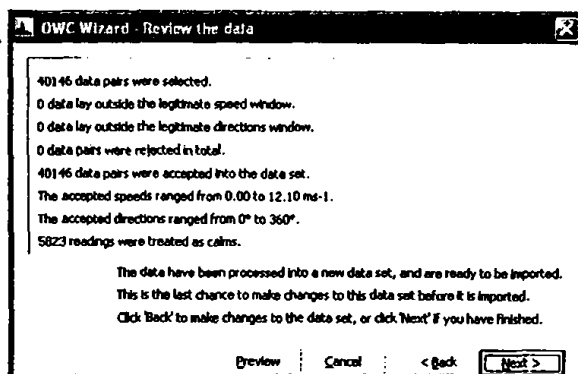
Αφού εισαχθούν οι γεωγραφικές συντεταγμένες, εισάγονται κατάλληλα και τα δεδομένα μέσω του αρχείου .txt (Σχήμα 3.4.2).



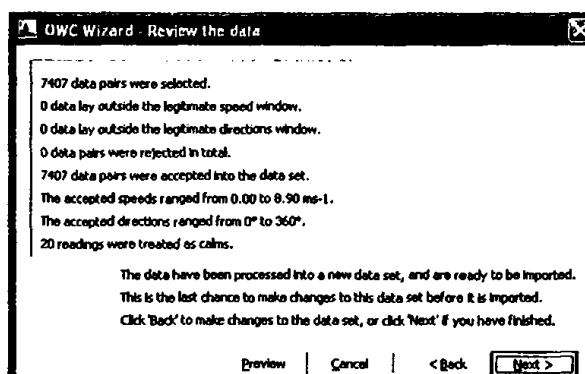


Σχήμα 3.4.2: Εισαγωγή κατά στήλες των ανεμολογικών δεδομένων (ταχύτητας και διεύθυνσης) σύμφωνα με τη μορφοποίηση που παρέχει το «WAsP» (1η στήλη Ιουλιανή ημέρα, 2η στήλη ώρα, 3η στήλη ταχύτητα ανέμου και 4η στήλη διεύθυνση).

Στη συνέχεια, εισάγονται ενδεχόμενες αποκλίσεις από τις τιμές του αρχείου, όπως διορθώσεις ταχύτητας ανέμου ή διεύθυνσης. Στο σημείο αυτό, γίνεται επιλογή του κατωφλίου νηνεμιών. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για την περιοχή της Ζίτσας. Όταν ολοκληρωθεί η εισαγωγή των προς επεξεργασία δεδομένων, εμφανίζεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας για κάθε περιοχή, που περιγράφει την ποιότητα και ποσότητα των ανεμολογικών δεδομένων (Σχήμα 3.4.3).



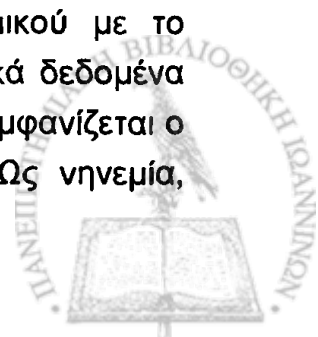
(α)



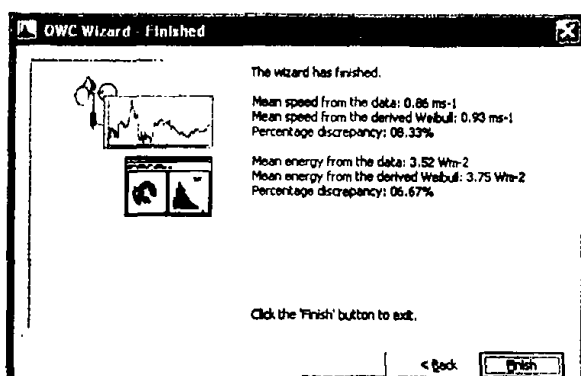
(β)

Σχήμα 3.4.3: Συγκεντρωτικοί πίνακες των αρχείων δεδομένων των περιοχών (α) Κατσικά και (β) Ζίτσας.

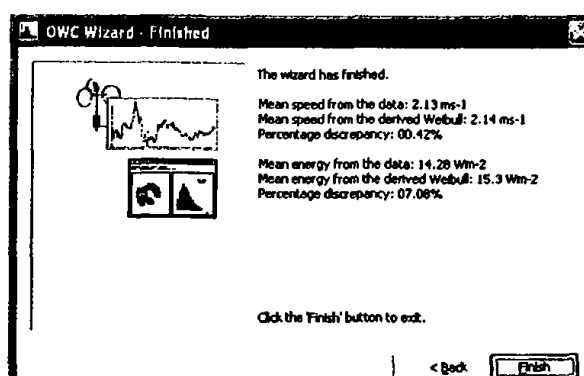
Στην περιοχή της Ζίτσας για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού με το πρόγραμμα «WAsP», επιλέχθηκαν για τεχνικούς λόγους τα ανεμολογικά δεδομένα του έτους 1998 (βλάβη λειτουργίας του ανεμοδείκτη). Στο Σχήμα 3.4.3, εμφανίζεται ο αριθμός των δεδομένων που χαρακτηρίζονται ως νηνεμίες (calm). Ως νηνεμία,



ορίζονται οι ταχύτητες του ανέμου, των οποίων το μέτρο είναι μικρότερο από 0,2 m/s, που είναι και το κατώφλι εκκίνησης του ανεμομέτρου που χρησιμοποιείται στους αγρομετεωρολογικούς σταθμούς (Πίνακας 2.2.3). Τέλος, εισάγεται ο συνολικός αριθμός τομέων διεύθυνσης (8, 12, 16). Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκαν 16 τομείς, με το κέντρο του πρώτου τομέα να είναι οι 360°. Εφόσον, ολοκληρωθεί και το τελευταίο στάδιο για την εισαγωγή των ανεμολογικών δεδομένων, το πρόγραμμα «OWC Wizard» του «WAsP», δίδει έναν συνοπτικό πίνακα για κάθε περιοχή, με τους πρώτους υπολογισμούς (Σχήμα 3.4.4). Γραφική απεικόνιση υπό μορφή ροδογράμματος και ιστογράμματος και για τις δύο περιοχές, παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.4.5. Επίσης, στο ίδιο σχήμα παρουσιάζονται κι οι παράμετροι της κατανομής Weibull k και A (όπου $A = c$). Υπάρχει επίσης η δυνατότητα από το πρόγραμμα, της γραφικής απεικόνισης των παραμέτρων Weibull ανά τομέα διεύθυνσης (αζιμουθιακή κατανομή).

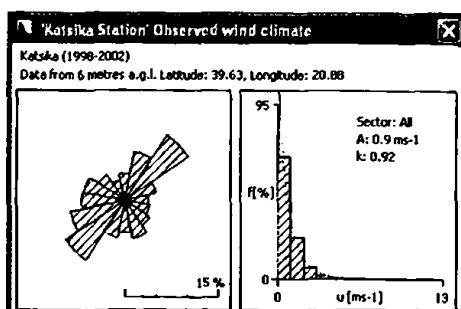


(α)

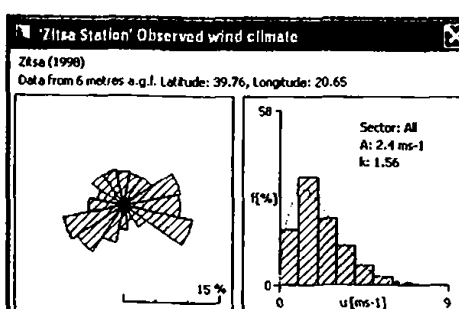


(β)

Σχήμα 3.4.4: Συνοπτικός πίνακας των υπολογισμών του OWC για την περιοχή (α) Κατσικά και (β) Ζίτσας.



(α)

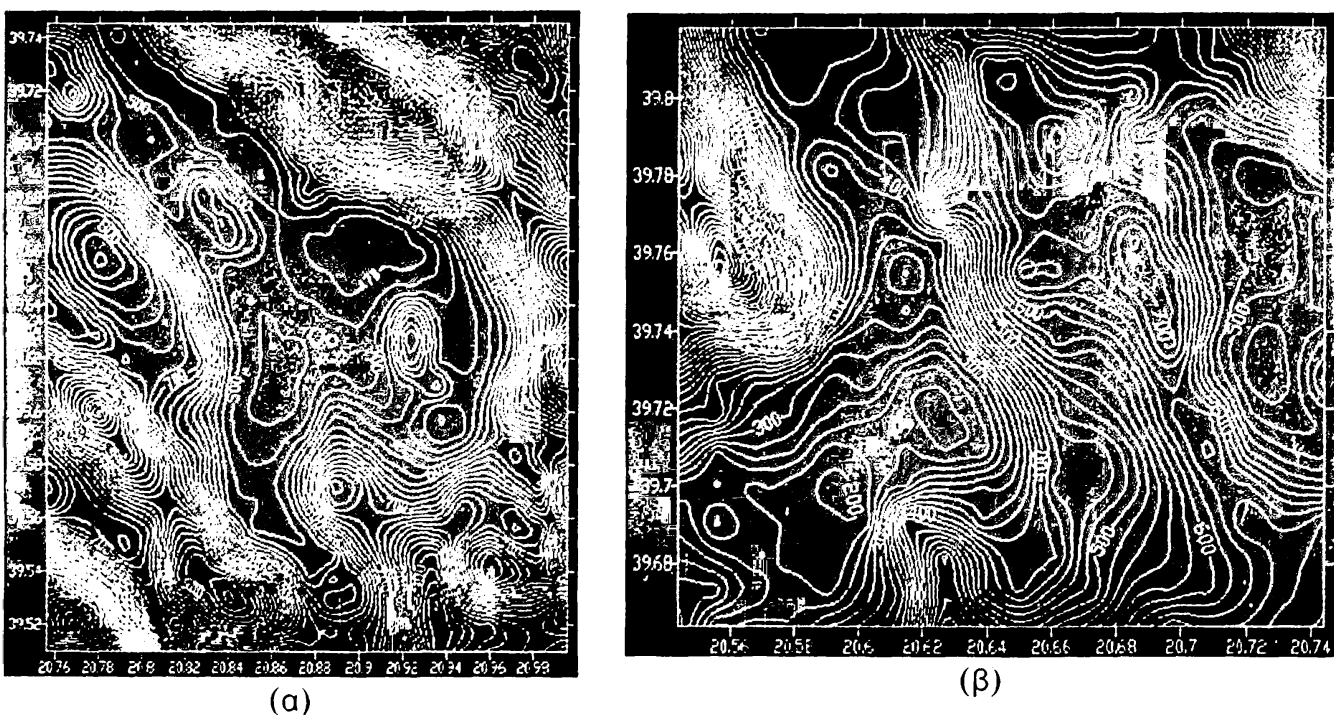


(β)

Σχήμα 3.4.5: Γραφική απεικόνιση (ροδογράμμο και ιστογράμμο) της επεξεργασίας των δεδομένων για την περιοχή (α) Κατσικά και (β) Ζίτσας του Ν. Ιωαννίνων.

Για την περιοχή του Κατσικά, οι τιμές μέσης ταχύτητας του ανέμου ($0,86 \text{ m/s}$) καθώς και των παραμέτρων κατανομής Weibull ($k = 0,92$ και $c = 0,9 \text{ m/s}$), βρίσκονται στις τιμές παλαιότερης μελέτης αποτύπωσης του αιολικού δυναμικού στην Ήπειρο (Κατσούλης 1988).

Το επόμενο και πιο σημαντικό βήμα, είναι η εισαγωγή της τοπογραφίας κάθε περιοχής. Για την εισαγωγή της τοπογραφίας χρησιμοποιήθηκαν ψηφιακοί χάρτες, οι οποίοι δημιουργήθηκαν από το σχεδιαστικό πρόγραμμα «Autocad 2004». Οι τιμές των υψομέτρων έχουν διαβαστεί από χάρτη της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ), κλίμακας $1:50.000$, του έτους 1953. Οι διαστάσεις της κυψελίδας που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση του υψομέτρου από τον χάρτη, ήταν $1 \times 1 \text{ km}^2$. Τα πρωτογενή υψόμετρα έχουν εξομαλυνθεί με διωνυμικό χωρικό φίλτρο. Για την περιοχή του Κατσικά, ο χάρτης που χρησιμοποιήθηκε καλύπτει περιοχή $27 \times 21 \text{ Km}^2$ ενώ για την περιοχή της Ζίτσας, καλύπτει περιοχή $18 \times 18 \text{ Km}^2$ (Σχήματα 3.4.6 και 3.4.7).

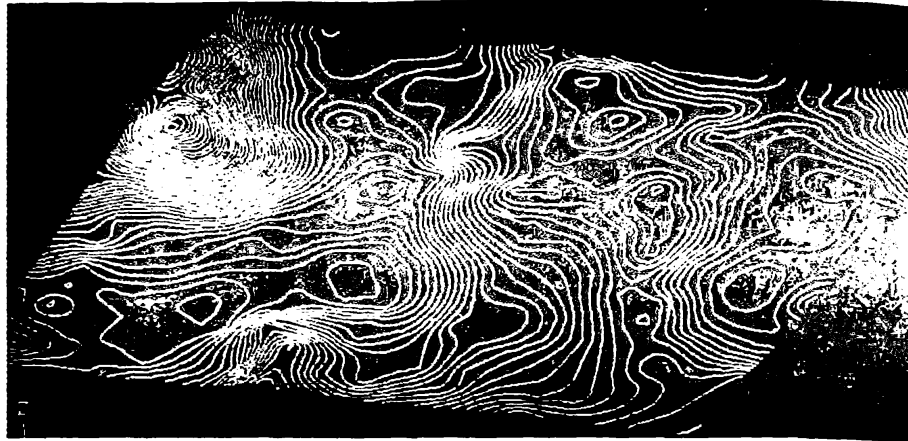


Σχήμα 3.4.6: Τοπογραφικοί χάρτες των περιοχών: (α) λεκανοπεδίου Ιωαννίνων – Κατσικά και (β) ρυτίτης Ζίτσας, σε κάτοψη. Με κόκκινο κύκλο εμφανίζονται οι θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών στις δύο περιοχές.





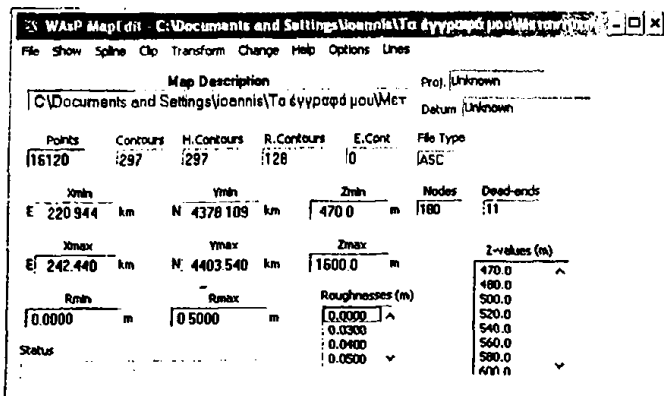
(α)



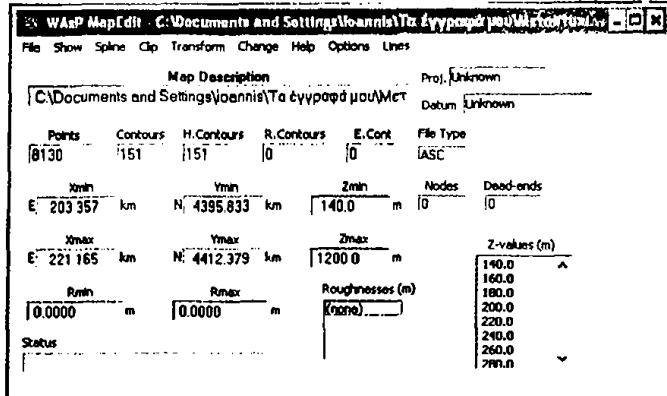
(β)

Σχήμα 3.4.7: Τοπογραφικοί χάρτες των περιοχών: (α) λεκανοπεδίου Ιωαννίνων – ευρύτερης περιοχής Ζίτσας, σε τρισδιάστατη μορφή, με χρήση του σχεδιαστικού «Autocad 2004». Με κόκκινο κύκλο εμφανίζονται οι θέσεις των αγρομετεωρολογικά δύο περιοχές.

Η μετατροπή των ψηφιοποιημένων αυτών χαρτών σε αναγνώσιμη «WAsP» μορφή, γίνεται μέσα από το πρόγραμμα «WAsP Map Editor» (Οι συντεταγμένες που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο WAsP, έχουν μετρήσει (λ, φ) σε παγκόσμιες συντεταγμένες (WGS84), εκφρασμένες σε 2002). Οι ψηφιοποιημένοι χάρτες των περιοχών που είναι αναγνωρίσιμη «WAsP», φαίνονται στο Σχήμα 3.4.9.

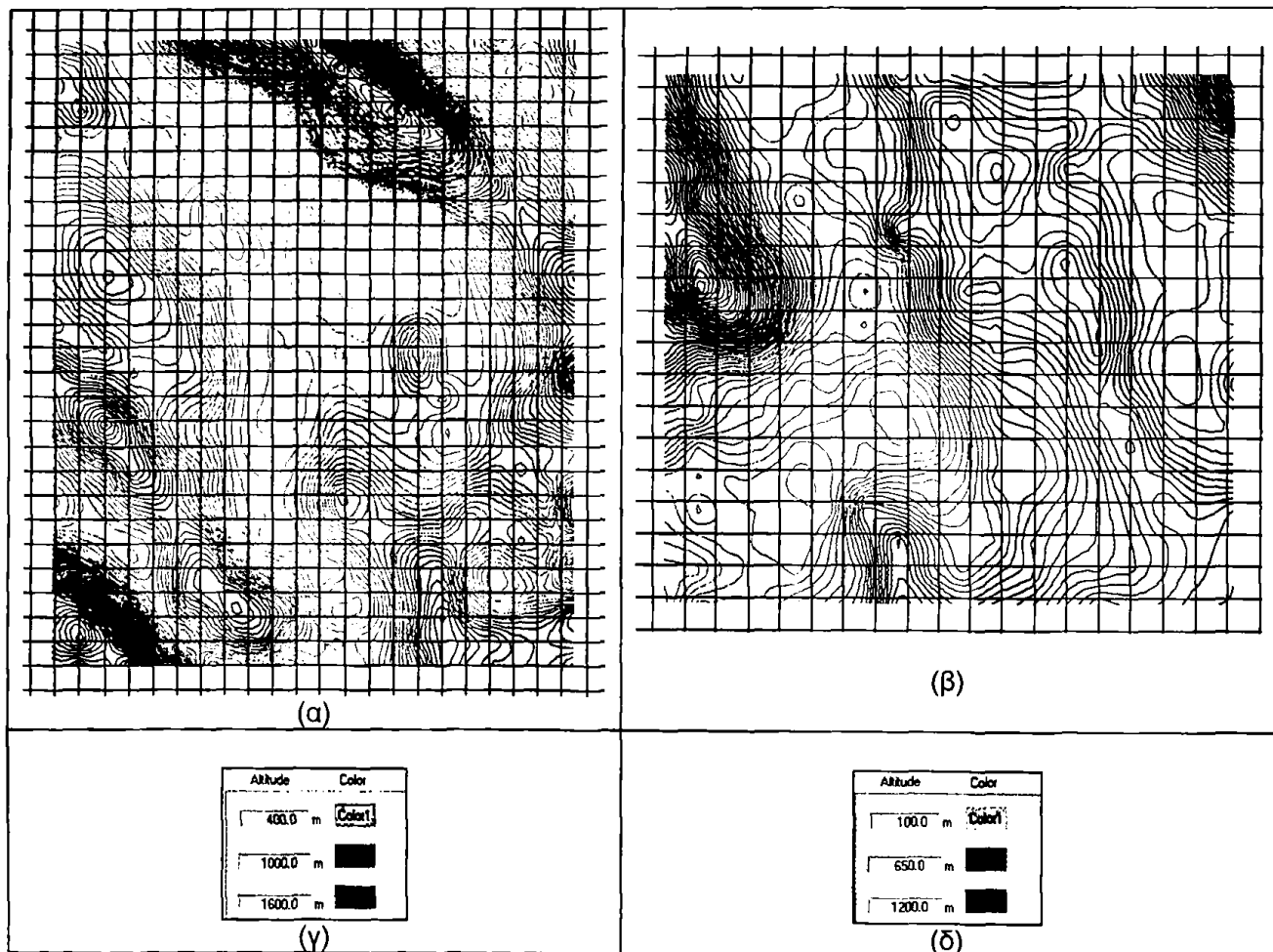


(α)



(β)

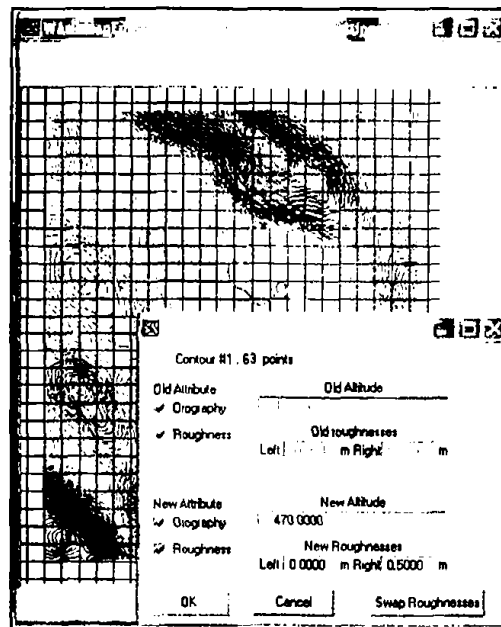
Σχήμα 3.4.8: Πίνακες του προγράμματος «WASP Map Editor». Διακρίνονται τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά των περιοχών (α) Κατσικά και (β) Ζίτσας όπως υψόμετρο, τιμές τραχύτητας.



Σχήμα 3.4.9: Ψηφιοποιημένοι χάρτες των εξεταζόμενων περιοχών (α) λεκανοπεδίου Ιωαννίνων-Κατσικά και (β) ευρύτερης περιοχής Ζίτσας, όπως φαίνονται από τον «WASP Map Editor». Το υψόμετρο για τις δύο περιοχές, δίδεται με την χρωματική κλίμακα (γ), (δ).

Μέσω του «Map Editor», μπορούν να γίνουν αλλαγές στο χάρτη και να οριστούν εκείνα τα χαρακτηριστικά που είναι απαραίτητα για τους περαιτέρω υπολογισμούς. (όπως π.χ. η τραχύτητα του εδάφους). Η τραχύτητα του εδάφους στο πρόγραμμα «WAsP», εισάγεται με δύο τρόπους: 1) μέσω των ισοϋψών καμπυλών του ψηφιοποιημένου χάρτη και 2) μέσω ροδογράμματος τραχύτητας. Ο πρώτος τρόπος προσφέρει μεγαλύτερες δυνατότητες, καθώς οι υπολογισμοί μπορούν να επεκταθούν και σε γειτονικές περιοχές όπου είναι επίσης, γνωστή η τραχύτητα. Ο δεύτερος τρόπος, αφενός περιορίζει το χώρο των υπολογισμών, καθώς η πληροφορία της τραχύτητας αφορά τη θέση του μετεωρολογικού ιστού, αφετέρου προσδίδει μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς της περιοχής, όπου ελήφθησαν οι μετρήσεις (για παράδειγμα, η εγκατάσταση μιας A/Γ στη θέση όπου βρίσκεται ο μετεωρολογικός ιστός). Στην παρούσα εργασία, εφαρμόστηκε ο πρώτος τρόπος για την περιοχή του Κατσικά, ενώ για την περιοχή της Ζίτσας εφαρμόστηκε ο δεύτερος τρόπος.

Εφαρμόζοντας τον πρώτο τρόπο στην περιοχή του Κατσικά, εισάγουμε δύο τιμές τραχύτητας δεξιά και αριστερά της ισοψούς που έχει επιλεγεί, για να προσδιοριστεί ο τύπος της επιφάνειας (στεριά ή θάλασσα) (Σχήμα 3.4.10).



Σχήμα 3.4.10: Εισαγωγή των τιμών τραχύτητας. Η ισούψης που έχει επιλεγεί σημειώνεται με κύκλο (περιοχή λίμνης Παμβώτιδας, στο χάρτη της ευρύτερης περιοχής του Κατσικά).

Οι τιμές του μήκους τραχύτητας, που εισάγονται εκατέρωθεν της ισοψούς καμπύλης λαμβάνονται από τον Πίνακα 3.4.1. Οι τιμές του Πίνακα βασίζονται σε δορυφορικές παρατηρήσεις, είναι εποχικές (χειμώνας, καλοκαίρι) και χρησιμοποιούνται στο μετεωρολογικό προγνωστικό μοντέλο «MM5». Οι τύποι των εδαφών ταξινομούνται

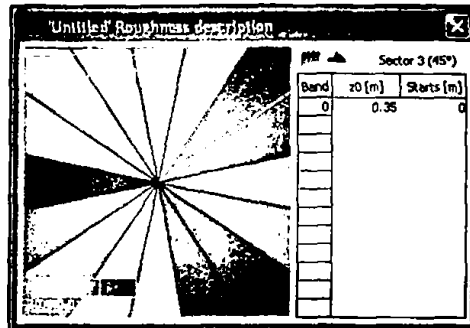
σε 25 κατηγορίες και περιλαμβάνουν αστικές περιοχές έως χιονισμένες επιφάνειες. Η 25η κατηγορία, δεν παρέχει πληροφορίες, αφού αφορά ελλιπή δεδομένα. Για την εξεταζόμενη περιοχή, εισήχθησαν οι τιμές του μέσου όρου των εποχικών τιμών του μήκους τραχύτητας. Με τον τρόπο αυτό, εισάγονται κι οι υπόλοιπες τιμές της τραχύτητας.

Πίνακας 3.4.1: Περιγραφή των 25 κατηγοριών εδάφους (USGS) και των αντίστοιχων φυσικών παραμέτρων, για το καλοκαίρι (15 Απριλίου – 15 Οκτωβρίου) και το χειμώνα (15 Οκτωβρίου – 15 Απριλίου) του Β. Ημισφαιρίου [Πηγή: PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide].

Vegetation Integer Identification	Vegetation Description	Albedo(%)		Moisture Avail. (%)		Emissivity (% at 9 m m)		Roughness Length (cm)		Thermal Inertia (cal cm-2 k-1 s-1/2)	
		Sum	Win	Sum	Win	Sum	Win	Sum	Win	Sum	Win
1	Urban	18	18	10	10	88	88	50	50	0.03	0.03
2	Dry/nd Crop. Past.	17	23	30	60	92	92	15	5	0.04	0.04
3	Irrg. Crop. Past.	18	23	50	50	92	92	15	5	0.04	0.04
4	Mix. Dry/Irrg.C.P.	18	23	25	50	92	92	15	5	0.04	0.04
5	Crop./Grs. Mosaic	18	23	25	40	92	92	14	5	0.04	0.04
6	Crop./Wood Mosc	16	20	35	60	93	93	20	20	0.04	0.04
7	Grassland	19	23	15	30	92	92	12	10	0.03	0.04
8	Shrubland	22	25	10	20	88	88	10	10	0.03	0.04
9	Mix Shrb./Grs.	20	24	15	25	90	90	11	10	0.03	0.04
10	Savanna	20	20	15	15	92	92	15	15	0.03	0.03
11	Decids. Broadlf.	16	17	30	60	93	93	50	50	0.04	0.05
12	Decids. Needlf.	14	15	30	60	94	93	50	50	0.04	0.05
13	Evergrn. Braodlf.	12	12	50	50	95	95	50	50	0.05	0.05
14	Evergrn. Needlf.	12	12	30	60	95	95	50	50	0.04	0.05
15	Mixed Forest	13	14	30	60	94	94	50	50	0.04	0.06
16	Water Bodies	8	8	100	100	98	98	.01	.01	0.06	0.06
17	Herb. Wetland	14	14	60	75	95	95	20	20	0.06	0.06
18	Wooded wetland	14	14	35	70	95	95	40	40	0.05	0.06
19	Bar. Sparse Veg.	25	25	2	5	85	85	10	10	0.02	0.02
20	Herb. Tundra	15	60	50	90	92	92	10	10	0.05	0.05
21	Wooden Tundra	15	50	50	90	93	93	30	30	0.05	0.05
22	Mixed Tundra	15	55	50	90	92	92	15	15	0.05	0.05
23	Bare Grnd. Tundra	25	70	2	95	85	95	0.10	5	0.02	0.05
24	Snow or Ice	55	70	95	95	95	95	5	5	0.05	0.05
25	No data										



Για την περιοχή της Ζίτσας, η εισαγωγή των αριθμητικών τιμών της τραχύτητας έγινε μέσω ροδογράμματος (Σχήμα 3.4.11). Οι τιμές της τραχύτητας, εισάγονται σε μορφή πίνακα ανά τομέα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.4.11, δίνοντας ως κέντρο κάθε τομέα το σημείο στο οποίο βρίσκεται ο μετεωρολογικός ιστός, όπου ελήφθησαν τα ανεμολογικά δεδομένα.



Σχήμα 3.4.11: Εισαγωγή του μήκους τραχύτητας ανά τομέα διεύθυνσης (16 τομείς). Οι τιμές του μήκους τραχύτητας μετρούνται σε μέτρα και αναπαρίστανται με χρωματική κλίμακα (περιοχή Ζίτσας).

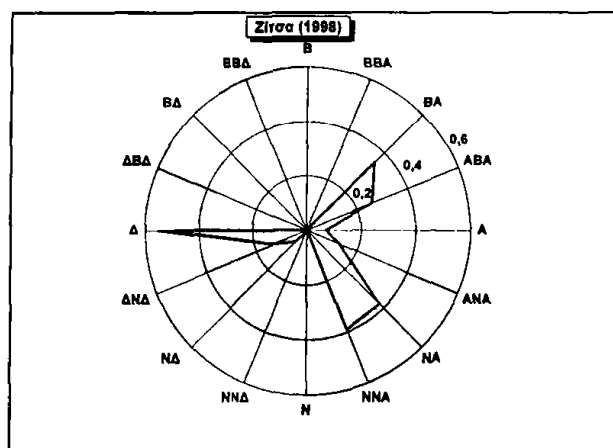
Οι αριθμητικές τιμές του μήκους τραχύτητας, προέκυψαν από την εφαρμογή της εξίσωσης (1.7.5) για τα ανεμολογικά δεδομένα των δύο επιπέδων ύψους (3 και 6 m) και λύνοντας ως προς το άγνωστο z_0 (Ρνευματικός 1991). Τα αποτελέσματα της εφαρμογής αυτής, παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4.2.

Πίνακας 3.4.2: Εκατοστιαία κατανομή του αεροδυναμικού μήκους τραχύτητας z_0 κατά μέτρο (m) και διεύθυνση (μοίρες), για το έτος 1998, στην περιοχή Ζίτσας του Νομού Ιωαννίνων.

	0,0 – 0,2	0,2 – 0,4	0,4 & άνω	Σύνολο	Μέσο z_0	Απόκλιση	Ελάχιστη	Μέγιστη
B	-	-	-	-	-	-	-	-
BBA	-	-	-	-	-	-	-	-
BA	-	7,7	1,1	8,8	0,35	0,06	0,24	0,43
ABA	9,9	19,8	1,1	30,8	0,26	0,08	0,12	0,45
A	9,9	-	-	9,9	0,07	0,06	-	0,16
ANA	1,1	-	-	1,1	0,13	-	-	-
NA	-	1,1	1,1	2,2	0,38	0,03	0,36	0,41
NNA	-	1,1	1,1	2,2	0,39	0,13	0,29	0,48
N	-	-	-	-	-	-	-	-
NNA	2,2	-	-	2,2	0,01	0,01	-	0,02
NA	26,4	-	-	26,4	0,06	0,04	0,01	0,14
ΔNA	12,1	2,2	-	14,3	0,13	0,06	0,04	0,23
Δ	-	-	2,2	2,2	0,55	0,08	0,5	0,61
ΔBA	-	-	-	-	-	-	-	-
BA	-	-	-	-	-	-	-	-
BBA	-	-	-	-	-	-	-	-
ΣΥΝΟΛΟ	61,5	31,9	6,6	100	0,23	0,03	-	0,61

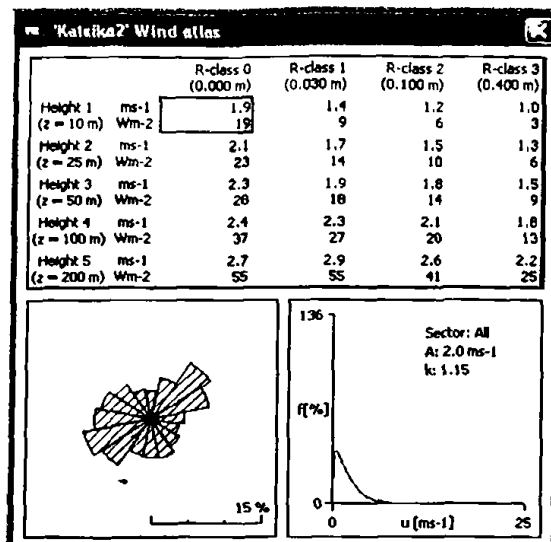


Η περιοχή όπου βρίσκεται ο αγρομετεωρολογικός σταθμός της Ζίτσας, έχει μέση τιμή αεροδυναμικού μήκους τραχύτητας $z_0 = 0,23 \text{ m}$, όπου σύμφωνα με το Σχήμα 1.8.5, έχει χαρακτηριστικά από την τάξη τραχύτητας 3. Πρόκειται δηλαδή, για περιοχή με εμπόδια και αρκετά δέντρα. Ιδιαίτερα στα δυτικά (Δ) του σταθμού, όπου σημειώνεται και η μεγαλύτερη τιμή (0,55) του z_0 (Πίνακας 3.4.2), υπάρχουν μικρά κτίρια, όπως επιβεβαιώθηκε από επίσκεψη στην περιοχή. Η γραφική παράσταση των αριθμητικών τιμών του Πίνακα 3.4.2, δίνεται με το ροδόγραμμα (πολικό διάγραμμα) του Σχήματος 3.4.12.

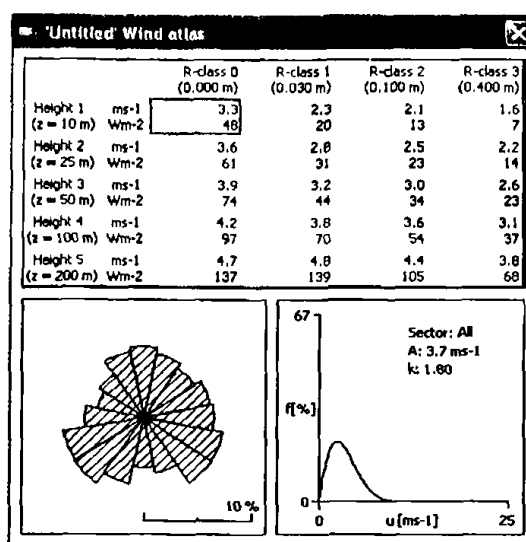


Σχήμα 3.4.12: Ροδόγραμμα αεροδυναμικού μήκους τραχύτητας z_0 (m), για την περιοχή Ζίτσας, Νομού Ιωαννίνων.

Εφόσον, εισαχθούν η τοπογραφία της περιοχής και η τραχύτητα, με έναν από τους δύο τρόπους, τότε το «WASP», ακολουθώντας τη διαδικασία που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 1 της παρούσας εργασίας, υπολογίζει τον αιολικό άτλαντα (Wind Atlas) και για τις δύο περιοχές (Σχήμα 3.4.13). Επιλέγοντας μια στήλη ή μια γραμμή του Σχήματος 3.4.13, εμφανίζεται η κατανομή της συχνότητας εμφάνισης των μέτρων της ταχύτητας του ανέμου και το αντίστοιχο ροδόγραμμα, καθώς επίσης κι οι παράμετροι της κατανομής Weibull, ανά τομέα διεύθυνσης. Ο υπολογισμός του αιολικού άτλαντα, είναι ένα βήμα πριν τον υπολογισμό του αιολικού δυναμικού και της αιολικής ενέργειας.



(α)



(β)

- Σχήμα 3.4.13: Περιεχόμενα της ομάδας δεδομένων του αιολικού άτλαντα: οι παράμετροι Weibull και οι συχνότητες εμφάνισης για τέσσερις τάξεις τραχύτητας, πέντε ύψη (10, 25, 50, 100 και 200 m) και δεκαέξι τομείς, για την περιοχή (α) Καταϊκά και (β) Ζίτσας Νομού Ιωαννίνων.

Η διαδικασία για τον υπολογισμό του αιολικού δυναμικού, έχει σε γενικές γραμμές τα εξής βήματα:

1. Εισαγωγή του χάρτη της περιοχής (Σχήμα 3.4.14).
2. Εισαγωγή των ανεμολογικών δεδομένων: Για τον υπολογισμό του αιολικού άτλαντα, χρειάζεται να προσδιοριστεί η θέση του ανεμογράφου (Σχήμα 3.4.15, 3.4.16) και να δοθούν μετρήσεις μέσω του αρχείου που έχει γίνει η επεξεργασία (βλ. Εισαγωγή δεδομένων) (Σχήμα 3.4.5).
3. Εισαγωγή υπολογισμού του αιολικού δυναμικού: Για τον υπολογισμό του αιολικού δυναμικού, πρέπει να οριστεί η περιοχή ενδιαφέροντος και το ύψος από το έδαφος όπου θα πραγματοποιηθούν οι υπολογισμοί. Το «WAsP» δημιουργεί ένα πλέγμα πάνω από την περιοχή υπολογισμού, όπου περιγράφει με χρωματική κλίμακα τα διάφορα μεγέθη, όπως την ταχύτητα του ανέμου. Για την εισαγωγή στο «WAsP» του υπολογισμού του αιολικού δυναμικού, γίνεται η επιλογή της εντολής Resource Grid. Η εισαγωγή των δεδομένων γίνεται μέσω της εντολής configure grid setup, δίνοντας τις αντίστοιχες πληροφορίες για τις γεωγραφικές συντεταγμένες του πλέγματος, την ανάλυση του πλέγματος και το ύψος από το έδαφος (Σχήμα 3.4.17α, β). Αυτή η εντολή μπορεί να εφαρμοστεί μόνο για την ευρύτερη περιοχή του λεκανοπεδίου Ιωαννίνων, διότι ο χάρτης περιέχει πληροφορίες για την τραχύτητα ολόκληρης της περιοχής κι όχι μόνο της περιοχής που βρίσκεται ο σταθμός, όπως συμβαίνει στην περίπτωση της περιοχής της Ζίτσας, όπου η τραχύτητα έχει εισαχθεί με τη μορφή ροδογράμματος.





Σχήμα 3.4.14: Εισαγωγή χάρτη στο «WAsP». Με γκρι γραμμές στο χάρτη του λεκανοπεδίου Ιωννίνων και της περιοχής Κατσικά, σημειώνονται οι ισούψεις καμπύλες για τις οποίες είναι δυνατόν να προσδιοριστούν τιμές μήκους τραχύτητας.

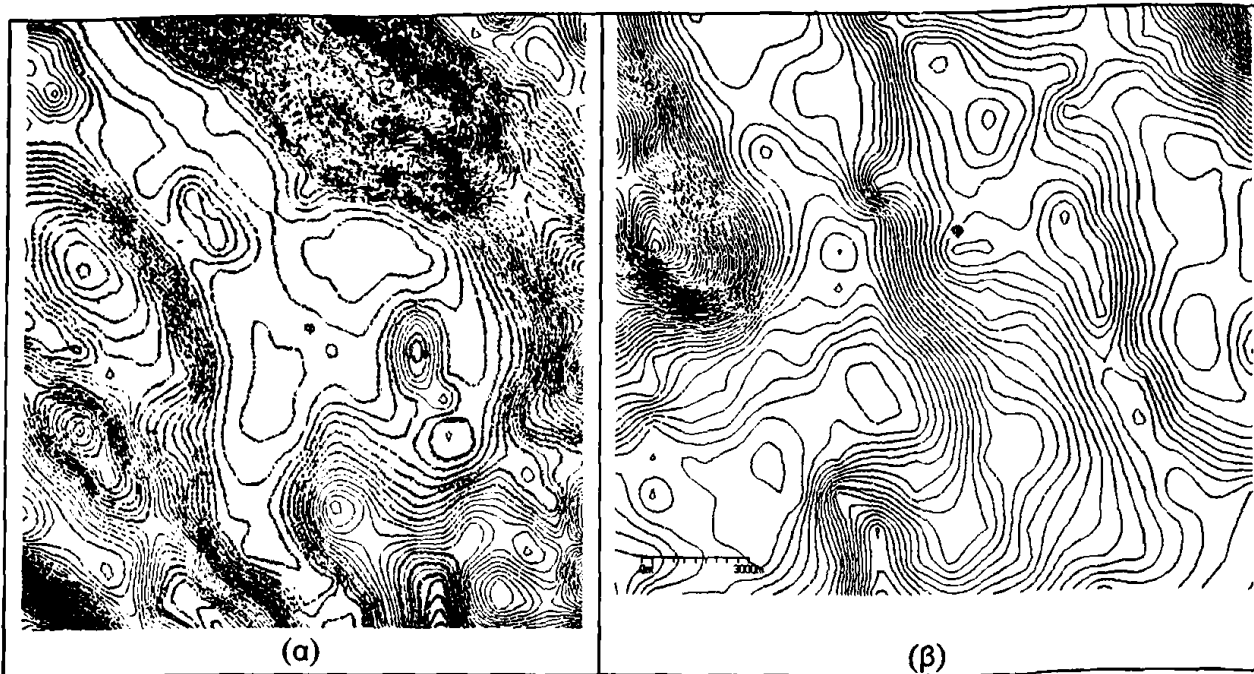
Anemometer location		OK
Height:	undefined	
X co-ordinate:	231919.367	
Y co-ordinate:	4391408.051	
Calculation status		
Changes made since atlas last calculated		
Not ready to calculate the atlas		

(α)

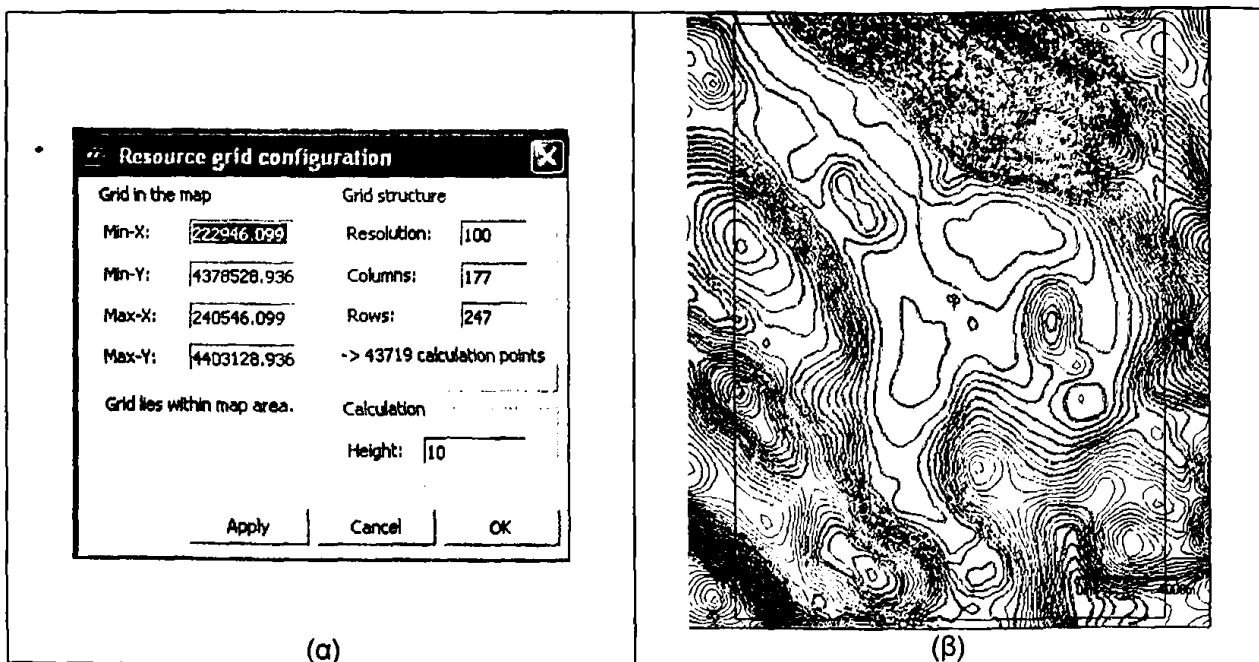
Anemometer location		OK
Height:	undefined	
X co-ordinate:	212930.209	
Y co-ordinate:	4406014.899	
Calculation status		
Changes made since atlas last calculated		
Not ready to calculate the atlas		

(β)

Σχήμα 3.4.15: Εισαγωγή της θέσης του μετεωρολογικού ιστού υπό μορφή παγκόσμιων συντεταγμένων για την περιοχή (α) Κατσικά και (β) Ζίτσας του Νομού Ιωννίνων.



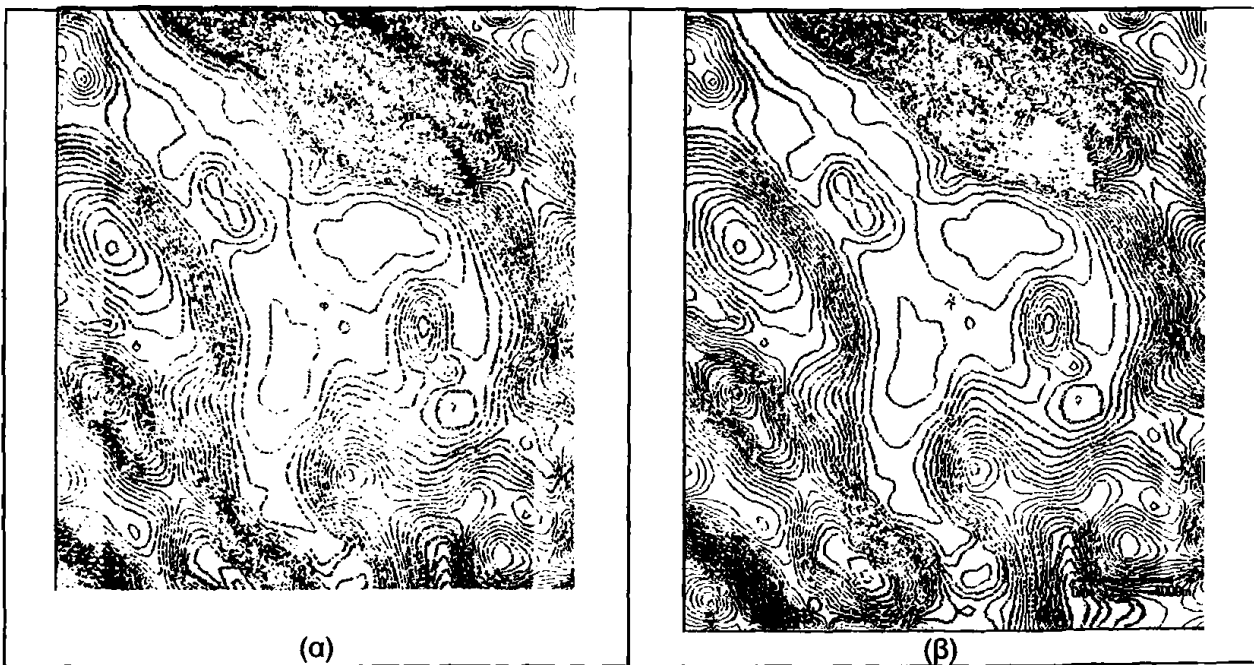
Σχήμα 3.4.16: Με την εισαγωγή των συντεταγμένων της θέσης του σταθμού, απεικονίζεται η θέση του στο χάρτη της περιοχής (α) Κατσικά και (β) Ζίτσας του Νομού Ιωαννίνων.



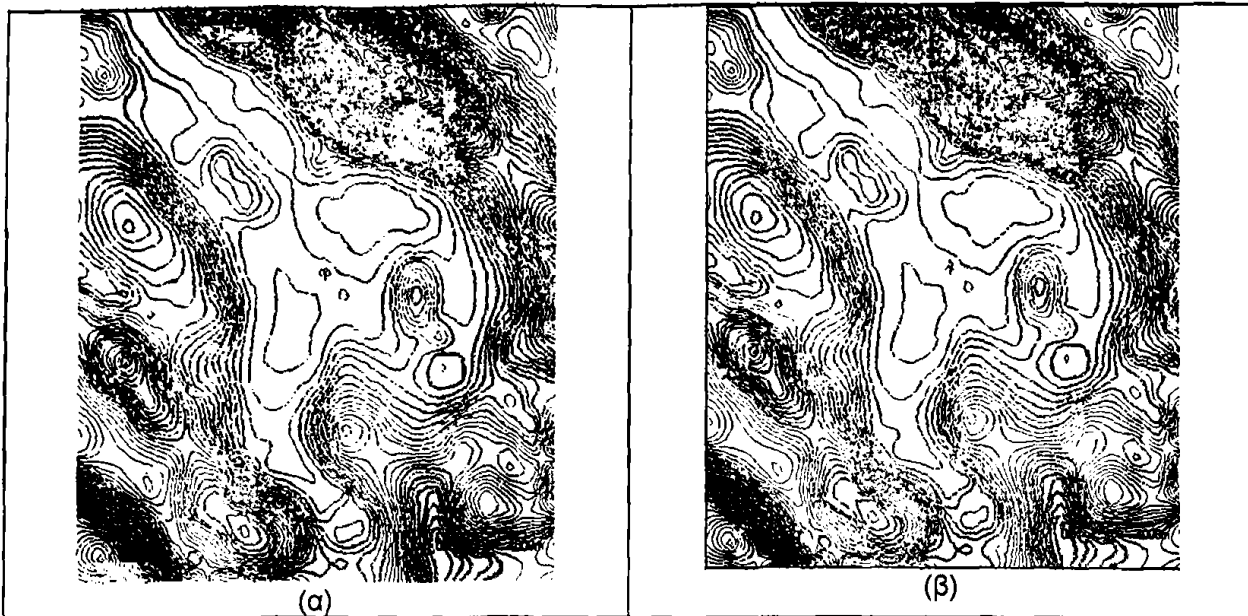
Σχήμα 3.4.17: (α) Ορισμός των παραμέτρων για την βαθμονόμηση του πλέγματος υπολογισμού του αιολικού δυναμικού στην περιοχή Κατσικά του Νομού Ιωαννίνων. Οι συντεταγμένες του πλέγματος δίνονται με την μορφή παγκόσμιων συντεταγμένων. (β) Διακρίνεται σε μαύρο πλαίσιο το πλέγμα που έχει ορισθεί.



Οι υπολογισμοί του αιολικού δυναμικού για την ευρύτερη περιοχή του λεκανοπεδίου Ιωαννίνων, σύμφωνα με τις μετρήσεις του αγρομετεωρολογικού σταθμού στην περιοχή του Κατσικά, πραγματοποιήθηκαν στα ύψη των 10 και 50 m, από την επιφάνεια του εδάφους. Η επιλογή αυτών των επιπέδων ύψους πραγματοποιήθηκε, διότι: το ύψος των 10 m θεωρείται παγκοσμίως σαν το βασικό ύψος αναφοράς των ανεμολογικών χαρακτηριστικών (ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου) του πεδίου ροής και το ύψος των 50 m αντιπροσωπεύει το τυπικό ύψος πλήμνης του δρομέα μιας σύγχρονης ανεμογεννήτριας με ονομαστική ισχύ 500-600 kW (Νομίδης 1999). Τα αποτελέσματα των υπολογισμών του πλέγματος, διατυπώνονται πάνω στον τοπογραφικό χάρτη (Σχήμα 3.4.18α και β). Η απόδοση του αιολικού δυναμικού, γίνεται με χρωματική κλίμακα. Εκτός από την απεικόνιση της μέσης ταχύτητας του ανέμου στην ευρύτερη περιοχή του λεκανοπεδίου Ιωαννίνων, γίνονται υπολογισμοί και για την ενέργεια του ανέμου, το υψόμετρο, καθώς επίσης και των συντελεστών Weibull. Στα Σχήματα 3.4.19α και β, φαίνεται ο συντελεστής k της κατανομής Weibull για την ευρύτερη περιοχή, στα ύψη των 10 και 40 m, αντίστοιχα.

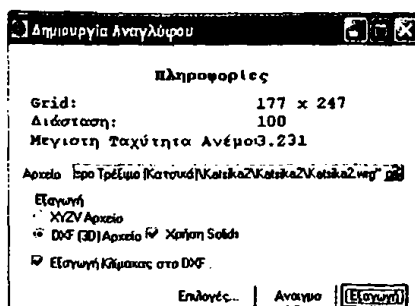


Σχήμα 3.4.18: Γραφική απεικόνιση του αιολικού δυναμικού (ευρύτερη περιοχή Ιωαννίνων) με χρωματική κλίμακα (ελάχιστη τιμή το γαλάζιο και μέγιστη το κόκκινο) για τα ύψη των (α) 10 m και (β) 50 m από την επιφάνεια του εδάφους. Στα Σχήματα διακρίνεται κι η θέση του σταθμού.

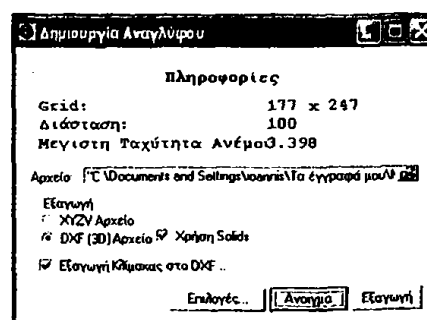


Σχήμα 3.4.19: Η απόδοση του συντελεστή της κατανομής Weibull k (ευρύτερη περιοχή Ιωαννίνων) με χρωματική κλίμακα, για τα ύψη των (α) 10 m και (β) 50 m από την επιφάνεια του εδάφους.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.4.18, με τη βοήθεια του Σχήματος 3.4.6, οι μεγαλύτερες τιμές της μέσης ταχύτητας του ανέμου, εμφανίζονται στους λόφους και στα βουνά της ευρύτερης περιοχής, με τη μέγιστη τιμή 3,2 m/s στα 10 m και 3,4 m/s στα 50 m να σημειώνεται σε μια περιοχή κοντά στην κορυφή του όρους Μιτσικέλι. Για την καλύτερη απεικόνιση της μέσης ταχύτητας του ανέμου, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα «wrg2dxf3» (Σχήμα 3.4.20α και β), το οποίο απεικονίζει με χρωματική κλίμακα τις ταχύτητες του ανέμου στα 10 και 50 m, αντίστοιχα, στην ευρύτερη περιοχή των Ιωαννίνων και λειτουργεί ως υποπρόγραμμα στο βασικό πρόγραμμα «Autocad 2004». Το πλεονέκτημα του είναι, ότι παρουσιάζει την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου στην περιοχή και σε τρισδιάστατη μορφή (Σχήμα 3.4.21α, β).



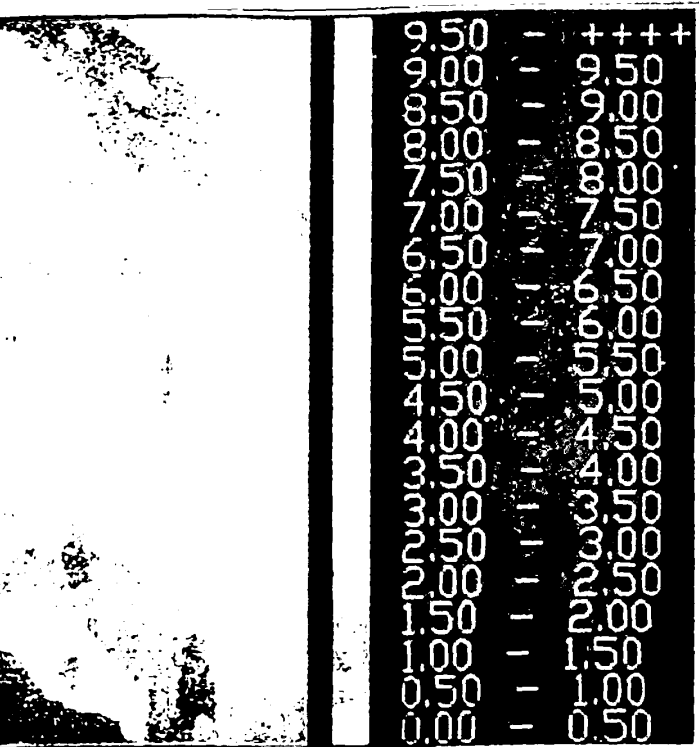
(α)



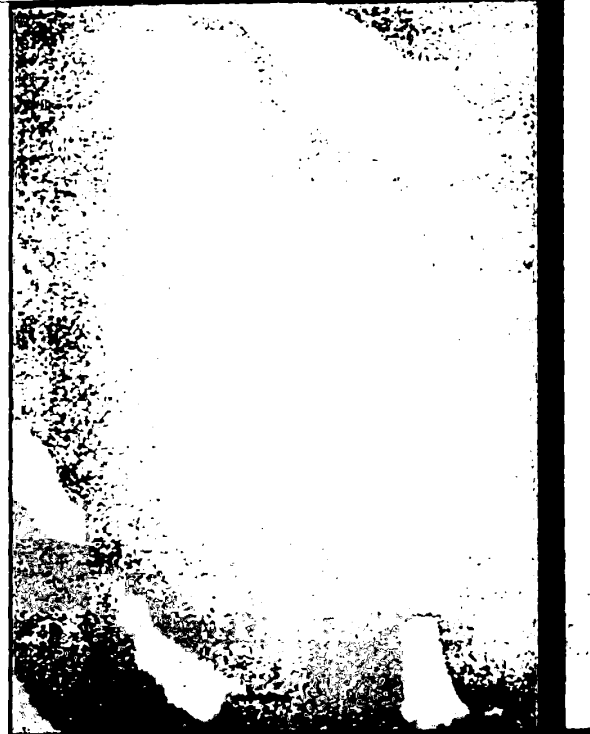
(β)

Σχήμα 3.4.20: Οι πληροφορίες που δίδονται από την εφαρμογή του προγράμματος «wrg2dxf3», στην ευρύτερη περιοχή Ιωαννίνων–Κατσικά, στα ύψη των (α) 10 m και (β) 50 m.





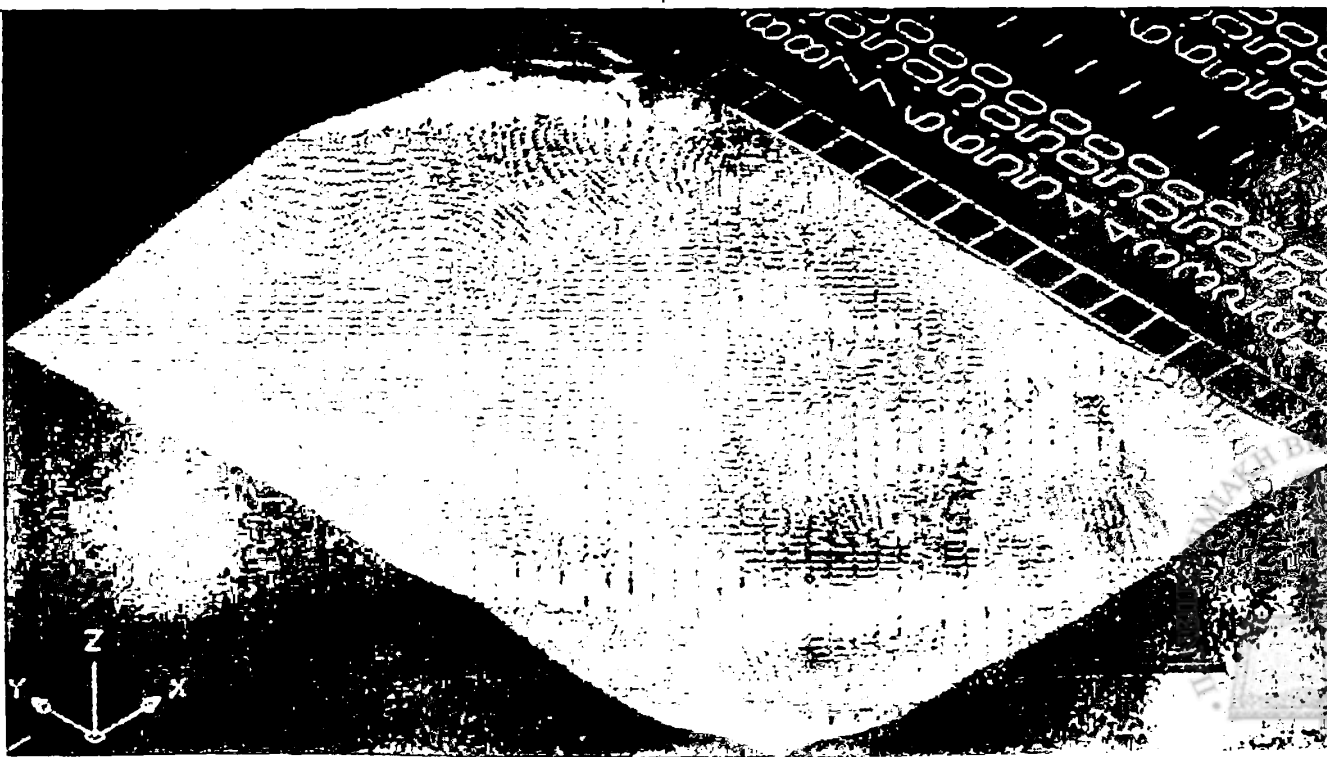
(a)



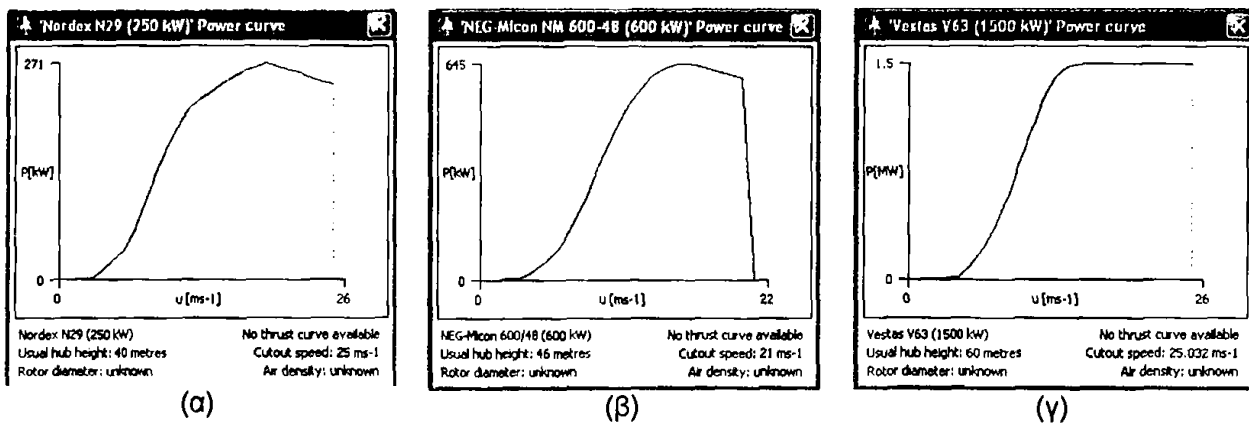
(b)



(γ)



Το τελευταίο στάδιο είναι ο υπολογισμός της μέσης ετήσιας παραγωγής ενέργειας από μια Α/Γ, αφού προσδιοριστούν η θέση κι ο τύπος της (ουσιαστικά η καμπύλη ισχύος της Α/Γ). Για τον υπολογισμό αυτό, επιλέχθηκαν τρεις διαφορετικές ανεμογεννήτριες με ονομαστική ισχύ: 250 kW, που αποτελεί χαρακτηριστικό μέγεθος Α/Γ της προηγούμενης γενιάς, 600 kW, που είναι οι πιο αντιπροσωπευτικές της σύγχρονης αερολογικής τεχνολογίας και 1.500 kW, που θα αποτελέσουν σύντομα το συνηθισμένο μέγεθος Α/Γ (Νομίδης 1999, Danish Wind Turbine Manufacturers Association). Οι καμπύλες ισχύος των Α/Γ που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους (ονομασία Α/Γ, ύψος πλήμνης του δρομέα, διάμετρος ρότορα), παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.4.22. Για την περιοχή του Κατσικά, οι ενεργειακοί υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν σε δύο τοποθεσίες: στη θέση όπου ελήφθησαν οι μετρήσεις (θέση αγρομετεωρολογικού σταθμού Κατσικά) και στην περιοχή κοντά στην κορυφή του όρους Μιτσικέλι, όπου εντοπίζεται η μεγαλύτερη μέση ταχύτητα ανέμου (γεωγραφικές συντεταγμένες: $\varphi = 39^\circ 42' 54''$ N, $\lambda = 20^\circ 54' 24''$ E και $z = 1.600$ m). Στην περιοχή της Ζίτσας, οι ενεργειακοί υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν μόνο στη θέση του σταθμού.



Σχήμα 3.4.22: Καμπύλες ισχύος και τεχνικά χαρακτηριστικά των Α/Γ: (α) Nordex N29 (250 kW), (β) NEG-Micon NM 600-48 (600 kW) και (γ) Vestas V63 (1.500 kW).

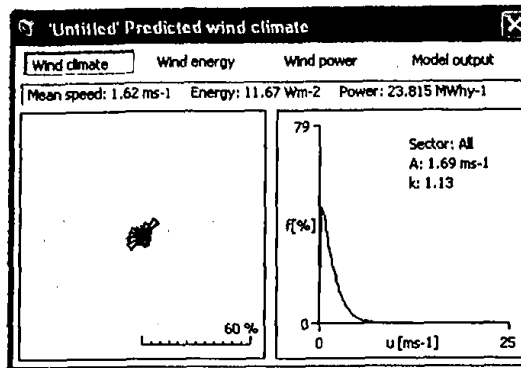
Πρώτα υπολογίστηκαν οι ενεργειακές τιμές για τη θέση όπου βρίσκεται ο σταθμός, στην περιοχή του Κατσικά. Αρχικά δίνονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες της θέσεως όπου θα εγκατασταθεί η επιλεγμένη Α/Γ, που στη συγκεκριμένη περίπτωση συμπίπτουν με αυτές του σταθμού (Σχήμα 3.4.15). Στο χάρτη της περιοχής εμφανίζεται το αντίστοιχο εικονίδιο, όπου προσδιορίζει τη θέση της Α/Γ στην περιοχή (Σχήμα 3.4.23).



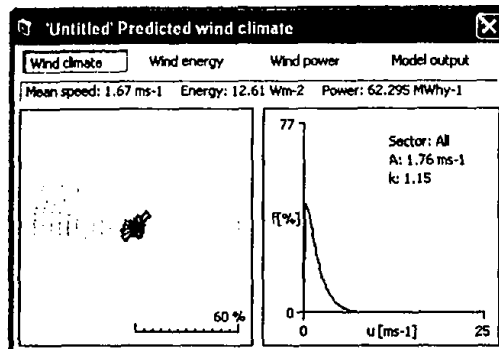
Σχήμα 3.4.23: Εμφάνιση της θέσης της επιλεγόμενης A/G στην περιοχή Κατσικά.

Ακολουθώντας τις διαδικασίες που αναφέρονται στην παράγραφο 1.10.1, υπολογίζονται η μέση ταχύτητα του ανέμου, η ενέργεια του ανέμου και η παραγωγή ενέργειας στο ύψος της πλήμνης του δρομέα κάθε A/G, καθώς επίσης δίνεται κι ένας αναλυτικός πίνακας με τους συνολικούς υπολογισμούς. Στον πίνακα αυτό, δίνονται πληροφορίες για τη συχνότητα εμφάνισης, τους συντελεστές της κατανομής Weibull, τα ποσοστά των διαφόρων τοπικών επιδράσεων (εμπόδια, ορεογραφία, τραχύτητα), καθώς επίσης και η αναμενόμενη ετήσια παραγωγή ισχύος της A/G. Η μέση ταχύτητα ανέμου στο ύψος της πλήμνης του δρομέα κάθε A/G, με την αντίστοιχη καμπύλη κατανομής, εμφανίζεται στο Σχήμα 3.4.24.

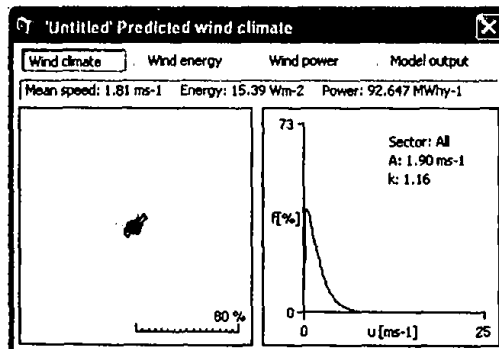
Όπως είναι εμφανές, αυξάνοντας την ονομαστική ισχύς της A/G (250, 600 και 1.500 kW), αυξάνεται και η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου στο ύψος της πλήμνης του δρομέα. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθότι μεγαλώνει το ύψος στο οποίο βρίσκεται αντίστοιχα, η πλήμνη του δρομέα κάθε A/G (40, 46 και 60 m). Μαζί με το διάγραμμα κατανομής της ταχύτητας, υπολογίζονται κι οι παράμετροι Weibull. Ο συντελεστής k , λαμβάνει σχεδόν την ίδια τιμή και στις τρεις περιπτώσεις (1,13 έως 1,16), ενώ ο συντελεστής A ή c , αυξάνεται από 1,69 έως 1,90 m/s, καθώς αυξάνει η ονομαστική ισχύς της A/G και κατά συνέπεια και το ύψος της πλήμνης του δρομέα. Στα Σχήματα 3.4.25 και 3.4.26, εμφανίζεται η ενέργεια του ανέμου και η αναμενόμενη ετήσια παραγωγή ενέργειας, με τα αντίστοιχα διαγράμματα κατανομής σε κάθε περίπτωση, καθώς επίσης και η τιμή της ταχύτητας όπου λαμβάνεται η μέγιστη τιμή της ενέργειας του ανέμου και της ετήσιας παραγωγής ενέργειας.



(α)

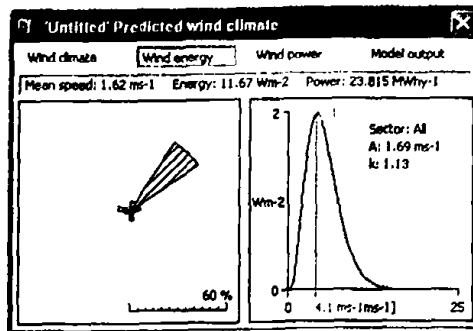


(β)

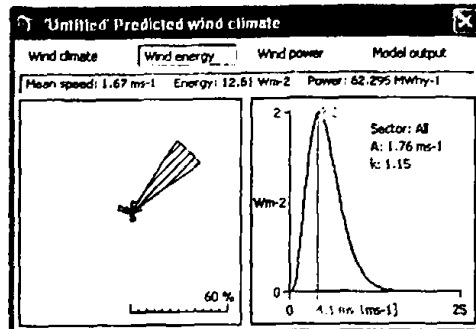


(γ)

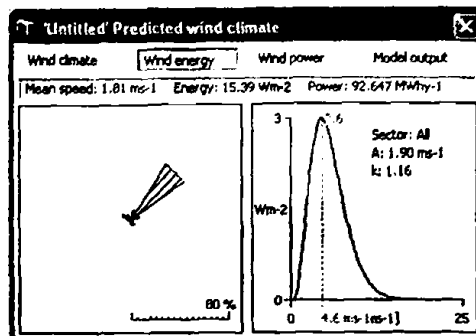
Σχήμα 3.4.24: Η μέση ταχύτητα του ανέμου στο ύψος της πλήμνης του δρομέα των Α/Γ: (α) Nordex N-29, (β) NEG Micon 600-48 και (γ) Vestas V63 και τα αντίστοιχα ροδογράμματα και διαγράμματα κατανομής ταχυτήτων, στην περιοχή του αγρομετεωρολογικού σταθμού Κατσικά.



(α)



(β)

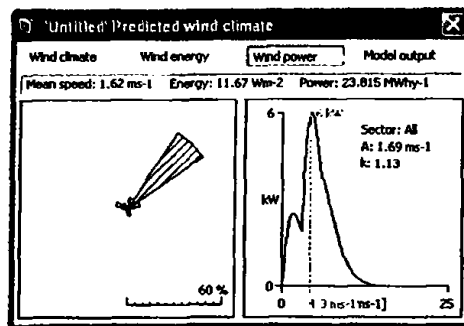


(γ)

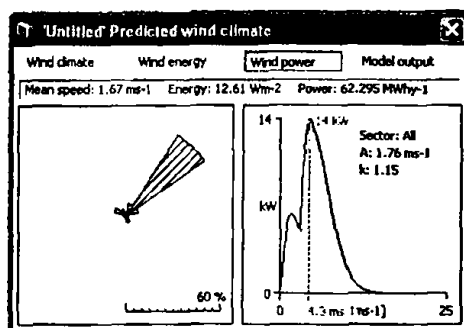
Σχήμα 3.4.25: Ενέργεια του ανέμου στο ύψος πλήμνης του δρομέα των τριών Α/Γ: (α) Nordex N-29, (β) NEG Micon 600-48 και (γ) Vestas V63, με το αντίστοιχο ροδόγραμμα και διάγραμμα κατανομής ταχυτήτων, στην περιοχή του αγρομετεωρολογικού σταθμού Κατσικά.

Στο ροδόγραμμα εμφάνισης του Σχήματος 3.4.26, η περισσότερο «ενεργειακή» διεύθυνση είναι η ΒΑ. Σ' αυτή τη διεύθυνση σύμφωνα με το πρόγραμμα, εντοπίζονται οι μεγαλύτερες ταχύτητες του ανέμου, κάτι που συμφωνεί πλήρως με την επεξεργασία των δεδομένων (Σχήμα 3.3.2). Οι δύο Α/Γ των 250 και 600 kW, λαμβάνουν τις μέγιστες τιμές της ενέργειας του ανέμου και της παραγωγής ενέργειας, για την ίδια περίπου ταχύτητα του ανέμου, 4,1 m/s, κάτι που δεν συμβαίνει για την Α/Γ των 1.500 kW, που λαμβάνει τη μέγιστη τιμή στα 6,1 m/s. Αυτό οφείλεται στο

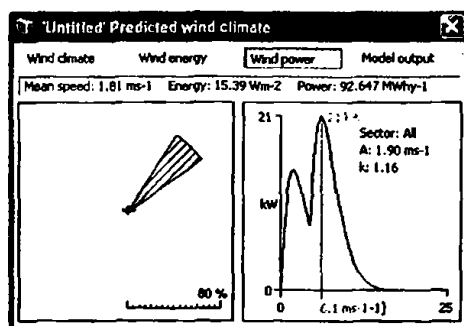
διαφορετικό ύψος, που βρίσκεται η πλήμνη του δρομέα κάθε Α/Γ. Για τις Α/Γ των 250 και 600 kW, το ύψος πλήμνης του δρομέα είναι 40 και 46 m, αντίστοιχα. Η μέγιστη τιμή της ενέργειας του ανέμου ανά ταχύτητα, στις Α/Γ των 250 και 600 kW είναι σχεδόν η ίδια, λαμβάνοντας τιμές 2,1 και 2,2 W/m², ενώ η Α/Γ των 1.500 kW λαμβάνει την τιμή 2,6 W/m². Η συνολική ενέργεια του ανέμου για τις τρεις Α/Γ στο ύψος πλήμνης του δρομέα τους, κυμαίνεται από 11,67 έως 15,39 W/m², αντίστοιχα.



(α)



(β)



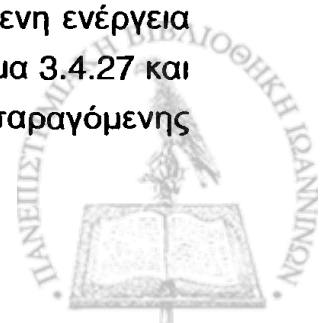
(γ)

Σχήμα 3.4.26: Αναμενόμενη ετήσια παραγωγή ισχύος από τις τρεις Α/Γ: (α) Nordex N-29, (β) NEG Micon 600-48 και (γ) Vestas V63 και τα αντίστοιχα ροδογράμματα και διαγράμματα κατανομής ταχυτήτων, στην περιοχή του αγρομετεωρολογικού σταθμού Καταϊκά.

Όσον αφορά, την παραγωγή ενέργειας από τις Α/Γ, σημαντική πληροφορία έχουμε όταν συνυπολογιστεί και η καμπύλη ισχύος τους. Έτσι, η μέγιστη τιμή παραγωγής ενέργειας για την Α/Γ των 250 kW είναι 6 kW για ταχύτητα ανέμου 4,3 m/s, σχεδόν διπλασιάζεται για την Α/Γ των 600 kW, 14 kW στα 4,3 m/s και σχεδόν τετραπλασιάζεται για την Α/Γ των 1.500 kW, 21 kW στα 6,1 m/s. Η συνολική αναμενόμενη μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας από την κάθε Α/Γ, κυμαίνεται από 23,815 MWh ανά έτος έως 92,647 MWh ανά έτος. Τόσο η ενέργεια του ανέμου, όσο και η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας από τις Α/Γ, αυξάνονται με την αύξηση της ονομαστικής ισχύος της κάθε Α/Γ. Επιλέγοντας μία διεύθυνση πάνω στο ροδόγραμμα, εμφανίζεται το αντίστοιχο διάγραμμα συχνότητας εμφάνισης και οι αντίστοιχες παραμέτροι της κατανομής Weibull.

Μια συνοπτική εικόνα των υπολογισμών, παρουσιάζεται σε μορφή πίνακα, όπου περιέχει όλα τα αποτελέσματα του προγράμματος για κάθε Α/Γ. Τα αποτελέσματα, για τις τρεις Α/Γ, που είναι υποψήφιες για εγκατάσταση στην περιοχή όπου βρίσκεται ο αγρομετεωρολογικός σταθμός, παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.4.27.

Ο πίνακας του Σχήματος 3.4.27, αποτελείται από 16 στήλες. Η 1η στήλη (S) εμφανίζει (σε μοίρες) το κέντρο κάθε τομέα διεύθυνσης, η 2η (F) τη συχνότητα εμφάνισης, η 3η (WA) και 4η στήλη (Wk) τις τιμές των συντελεστών Weibull A (ή c) και k αντίστοιχα. Η 5η και 6η στήλη αφορά διορθώσεις που εισάγονται από το χρήστη, όσον αφορά την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου αντίστοιχα. Οι επιδράσεις των εμποδίων (7η και 8η στήλη), καθώς και της ορεογραφίας (9η και 10η στήλη) στη ροή του ανέμου δίνονται: σε ποσοστιαία μεταβολή του μέτρου της ταχύτητας του ανέμου ανά διεύθυνση και σε μοίρες η μεταβολή της διεύθυνσης του ανέμου. Έτσι για παράδειγμα, στον πίνακα του Σχήματος 3.4.27 (α), στον πρώτο τομέα (0°) (δηλαδή για ανέμους βόρειας διεύθυνσης) λόγω της ορεογραφίας της περιοχής, η ταχύτητα του ανέμου επιβραδύνεται κατά 6% (στήλη Or1) κι η διεύθυνση του ανέμου στρέφεται κατά 1° δεξιόστροφα (στήλη Or2), σε σχέση με τη ροή του ανέμου χωρίς την παρουσία ορεογραφικών χαρακτηριστικών (μη διαταραγμένη ροή). Από την 11η (R1) έως την 13η στήλη (R3) εμφανίζεται η επιρροή του αεροδυναμικού μήκους τραχύτητας στο μέτρο της ταχύτητας του ανέμου, ανά τομέα διεύθυνσης. Η 11η στήλη παρουσιάζει την επιτάχυνση (ή την επιβράδυνση), η 12η στήλη τη στροφή του ανέμου λόγω της τραχύτητας και η 13η τον αριθμό των αλλαγών της τιμής του μήκους τραχύτητας ανά τομέα διεύθυνσης. Η 14η στήλη εμφανίζει την τιμή του αεροδυναμικού μήκους τραχύτητας (z_0) ανά τομέα διεύθυνσης και οι δύο τελευταίες στήλες (E και P), εμφανίζουν την ενέργεια του ανέμου και την παραγόμενη ενέργεια από την Α/Γ ανά τομέα διεύθυνσης, αντίστοιχα. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.4.27 και για τις τρεις Α/Γ, οι μεγαλύτερες τιμές της ενέργειας του ανέμου και της παραγόμενης



ενέργειας, εντοπίζονται στον τομέα με κέντρο 45°, δηλαδή στον τομέα ΒΑ διεύθυνσης και οφείλονται, όπως έχει ήδη αναφερθεί, στους καταβάτες ανέμους.

'Untitled' Predicted wind climate																
Wind climate		Wind energy		Wind power		Model output										
Mean speed: 1.62 ms ⁻¹ Energy: 11.67 Wm ⁻² Power: 23.615 MWh ⁻¹																
S	F	WA	Wk	Uc1	Uc2	Ob1	Ob2	Or1	Or2	R1	R2	R3	z0	E	P	
0.0	5	1.79	1.75	0	0	0	0	-6	1	0	0	2	0.08	0.3	0.288	
22.0	7	2.27	1.71	0	0	0	0	-5	0	1	0	5	0.03	0.8	1.523	
45.0	11	2.83	1.14	0	0	0	0	-5	0	-1	0	3	0.02	6.0	12.512	
67.0	5	1.98	1.20	0	0	0	0	-5	0	-1	0	2	0.11	0.8	1.744	
90.0	4	1.57	1.38	0	0	0	0	-6	-1	0	0	0	0.13	0.2	0.317	
112.0	4	1.59	1.51	0	0	0	0	-7	0	0	0	0	0.08	0.2	0.244	
135.0	5	1.86	1.62	0	0	0	0	-7	0	0	0	0	0.09	0.4	0.511	
157.0	6	2.05	1.65	0	0	0	0	-7	0	1	0	1	0.11	0.5	0.901	
180.0	5	1.36	1.53	0	0	0	0	-6	1	0	0	0	0.08	0.2	0.116	
202.0	6	1.06	1.70	0	0	0	0	-5	0	0	0	0	0.08	0.1	0.007	
225.0	10	1.01	1.76	0	0	0	0	-5	0	0	0	0	0.08	0.1	0.004	
247.0	9	1.08	1.41	0	0	0	0	-5	0	0	0	0	0.08	0.1	0.076	
270.0	7	1.42	1.25	0	0	0	0	-6	-1	0	0	0	0.08	0.4	0.567	
292.0	7	2.39	1.72	0	0	0	0	-7	0	0	0	0	0.08	0.9	1.738	
315.0	5	2.15	1.67	0	0	0	0	-7	0	1	0	2	0.12	0.5	0.911	
337.0	4	1.60	1.65	0	0	0	0	-7	0	0	0	0	0.14	0.2	0.160	

(α)

'Untitled' Predicted wind climate																
Wind climate		Wind energy		Wind power		Model output										
Mean speed: 1.67 ms ⁻¹ Energy: 12.61 Wm ⁻² Power: 62.295 MWh ⁻¹																
S	F	WA	Wk	Uc1	Uc2	Ob1	Ob2	Or1	Or2	R1	R2	R3	z0	E	P	
0.0	5	1.86	1.78	0	0	0	0	-6	0	1	0	2	0.08	0.3	0.738	
22.0	7	2.37	1.74	0	0	0	0	-5	0	2	0	5	0.03	0.9	3.969	
45.0	11	2.96	1.16	0	0	0	0	-5	0	1	0	3	0.02	6.5	34.261	
67.0	5	2.06	1.22	0	0	0	0	-5	0	-1	0	2	0.11	0.9	4.502	
90.0	4	1.63	1.40	0	0	0	0	-6	0	0	0	0	0.13	0.2	0.799	
112.0	4	1.65	1.53	0	0	0	0	-6	0	0	0	0	0.08	0.2	0.611	
135.0	5	1.92	1.65	0	0	0	0	-7	0	0	0	0	0.09	0.4	1.281	
157.0	6	2.12	1.68	0	0	0	0	-7	0	1	0	1	0.11	0.6	2.265	
180.0	5	1.40	1.56	0	0	0	0	-6	0	0	0	0	0.08	0.2	0.279	
202.0	6	1.10	1.74	0	0	0	0	-5	0	0	0	0	0.08	0.1	0.018	
225.0	10	1.04	1.80	0	0	0	0	-5	0	0	0	0	0.08	0.1	0.011	
247.0	9	1.12	1.44	0	0	0	0	-5	0	0	0	0	0.08	0.2	0.180	
270.0	7	1.47	1.28	0	0	0	0	-6	0	0	0	0	0.08	0.4	1.382	
292.0	7	2.48	1.76	0	0	0	0	-6	0	0	0	0	0.08	1.0	4.421	
315.0	5	2.23	1.71	0	0	0	0	-7	0	0	0	2	0.12	0.6	2.315	
337.0	4	1.66	1.68	0	0	0	0	-7	0	0	0	0	0.14	0.2	0.402	

(β)

'Untitled' Predicted wind climate																
Wind climate		Wind energy		Wind power		Model output										
Mean speed: 1.81 ms ⁻¹ Energy: 15.39 Wm ⁻² Power: 92.647 MWh ⁻¹																
S	F	WA	Wk	Uc1	Uc2	Ob1	Ob2	Or1	Or2	R1	R2	R3	z0	E	P	
0.0	5	2.02	1.85	0	0	0	0	-6	0	2	0	2	0.08	0.3	0.309	
22.0	7	2.58	1.78	0	0	0	0	-5	0	4	0	5	0.03	1.2	3.979	
45.0	11	3.24	1.18	0	0	0	0	-5	0	3	0	3	0.02	8.1	70.010	
67.0	5	2.24	1.27	0	0	0	0	-5	0	-1	0	2	0.11	1.0	6.377	
90.0	4	1.76	1.46	0	0	0	0	-6	0	0	0	0	0.13	0.3	0.548	
112.0	4	1.78	1.59	0	0	0	0	-6	0	0	0	0	0.08	0.3	0.309	
135.0	5	2.08	1.71	0	0	0	0	-6	0	0	0	0	0.09	0.5	0.774	
157.0	6	2.28	1.74	0	0	0	0	-6	0	1	0	1	0.11	0.7	1.630	
180.0	5	1.51	1.63	0	0	0	0	-6	0	0	0	0	0.08	0.2	0.066	
202.0	6	1.18	1.81	0	0	0	0	-5	0	0	0	0	0.08	0.1	0.000	
225.0	10	1.12	1.87	0	0	0	0	-5	0	0	0	0	0.08	0.1	0.000	
247.0	8	1.20	1.49	0	0	0	0	-5	0	0	0	0	0.08	0.2	0.029	
270.0	7	1.59	1.32	0	0	0	0	-5	0	0	0	0	0.08	0.5	1.090	
292.0	7	2.67	1.82	0	0	0	0	-6	0	0	0	0	0.08	1.2	4.192	
315.0	5	2.40	1.77	0	0	0	0	-6	0	0	0	2	0.12	0.7	1.826	
337.0	4	1.79	1.75	0	0	0	0	-6	0	0	0	0	0.14	0.2	0.128	

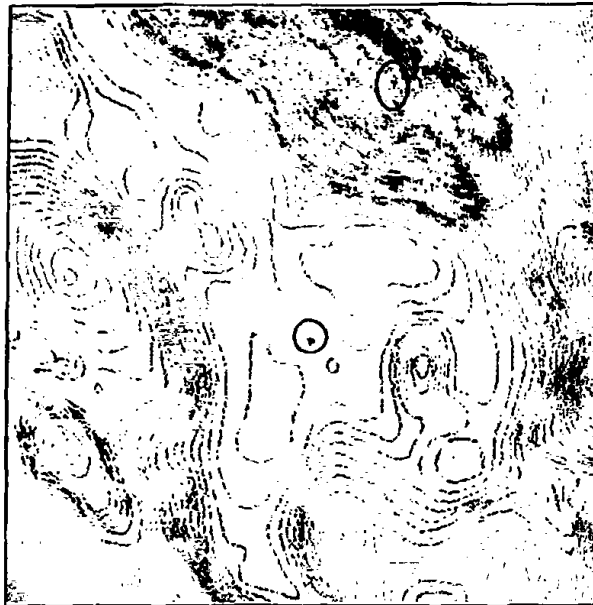
(γ)

Σχήμα 3.4.27: Τα συνοπτικά αποτελέσματα του μοντέλου για τις τρεις Α/Γ: (α) Nordex N-29, (β) NEG Micon 600-48 και (γ) Vestas V63, στην περιοχή Κατσικά. Τα αποτελέσματα δίνονται ανά τομέα διεύθυνσης (βλέπε κείμενο για την διευκρίνιση των συμβόλων).

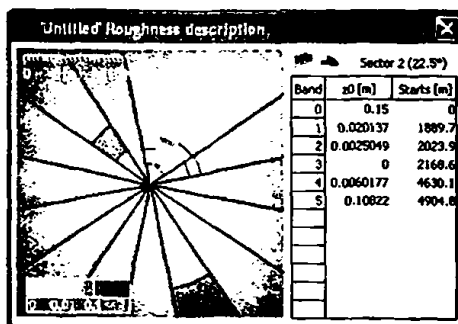


Στην κορυφή περίπτου του όρους Μιτσικέλι ($\varphi = 39^\circ 42' 54''$ N, $\lambda = 20^\circ 54' 24''$ E, $z = 1.600$ m), εντοπίζεται η μεγαλύτερη μέση ταχύτητα του ανέμου ($u = 3,2$ m/s στα 10 m). Επειδή αυτό πρακτικά σημαίνει και μεγαλύτερη παραγόμενη ενέργεια για τις συγκεκριμένες ΑΓ, έγινε εφαρμογή του προγράμματος «WASP» για τη συγκεκριμένη τοποθεσία (Σχήμα 3.4.28).

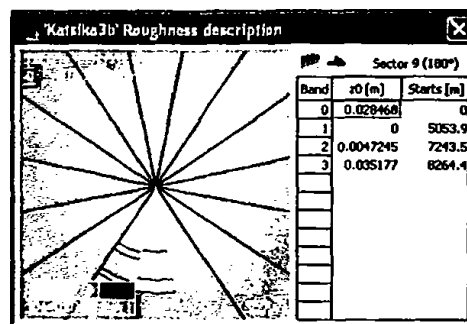
Όταν οι τιμές της τραχύτητας της συγκεκριμένης τοποθεσίας εισάγονται στον τοπογραφικό χάρτη μέσω ισοϋψών καμπυλών (Σχήμα 3.4.10), το πρόγραμμα «WASP» μπορεί να δημιουργήσει το αντίστοιχο ροδόγραμμα (Σχήμα 3.4.29α, β).



Σχήμα 3.4.28: Θέση της ΑΓ κοντά στην κορυφή του όρους Μιτσικέλι (1.600 m) του Νομού Ιωαννίνων, όπου προσδιορίζεται η μεγαλύτερη μέση ταχύτητα του ανέμου της περιοχής. Στο Σχήμα φαίνεται κι η θέση του αγρομετεωρολογικού σταθμού της περιοχής Κατσικά.



(α)



(β)

Σχήμα 3.4.29: Αεροδυναμικό μήκος τραχύτητας (z_0) ανά τομέα διεύθυνσης. Στο Σχήμα (α) παρουσιάζεται η κατανομή του αεροδυναμικού μήκους τραχύτητας του 2ου τομέα στη θέση του αγρομετεωρολογικού σταθμού Κατσικά και στο Σχήμα (β) η κατανομή του αεροδυναμικού μήκους τραχύτητας του 9ου τομέα στην περιοχή κοντά στην κορυφή του όρους Μιτσικέλι.

Στο Σχήμα 3.4.29α, στον 2ο τομέα με κέντρο τις 22,5° φαίνεται η λίμνη Παμβώτιδα να βρίσκεται ΒΑ από τη θέση του σταθμού του Κατσικά και παρουσιάζεται με μπλε χρώμα, που δηλώνει σύμφωνα με το πρόγραμμα «WAsP» την ύπαρξη υδάτινης επιφάνειας. Η λίμνη παρουσιάζεται και στον 3ο τομέα με κέντρο 45°. Όμοια και στο Σχήμα 3.4.29β, η λίμνη εμφανίζεται νότια της περιοχής κοντά στην κορυφή του όρους Μιτσικέλι, στον 9ο τομέα με κέντρο 180° και στον 10ο τομέα με κέντρο 202,5°.

Τα αποτελέσματα του προγράμματος «WAsP» για την περιοχή κοντά στη κορυφή του όρους και για τις τρεις Α/Γ, παριστάνονται στο Σχήμα 3.4.30. Όπως αναμενόταν, στην περιοχή κοντά στην κορυφή του όρους τόσο η μέση ταχύτητα και ενέργεια του ανέμου, όσο και η αναμενόμενη ετήσια παραγωγή ενέργειας από τις Α/Γ, αυξάνεται σημαντικά. Η μέση ταχύτητα σχεδόν διπλασιάζεται φτάνοντας περίπου τα 3,4 m/s, ενώ η αναμενόμενη ετήσια παραγωγή ενέργειας σχεδόν δεκαπλασιάζεται, συγκριτικά με τα αντίστοιχα μεγέθη στη θέση του σταθμού (περιοχή Κατσικά). Η διεύθυνση όπου παρουσιάζονται οι μέγιστες τιμές των παραπάνω παραμέτρων, είναι η ΒΑ (τομέας 45°). Οι ετήσιες τιμές της αναμενόμενης παραγωγής ενέργειας, κυμαίνονται από 207,388 MWh για την Α/Γ των 250 kW, έως τα 979,367 MWh για την Α/Γ των 1.500 kW, παρουσιάζοντας τις μεγαλύτερες τιμές που μπορούν να εμφανιστούν στην ευρύτερη περιοχή.

Η αύξηση των τιμών των παραμέτρων αυτών, οφείλεται κατά κύριο λόγο στο υψόμετρο της εν λόγω τοποθεσίας. Η υπό μελέτη περιοχή κοντά στην κορυφή του όρους βρίσκεται σε υψόμετρο 1.600 m περίπου, σε αντίθεση με το υψόμετρο του σταθμού που βρίσκεται στα 485 m. Η παρουσία φυσικών και τεχνητών εμποδίων σ' αυτό το ύψος είναι ανύπαρκτη. Η αριθμητική τιμή της πυκνότητας του αέρα, η οποία χρησιμοποιείται στους ενεργειακούς υπολογισμούς του προγράμματος «WAsP», θεωρείται σταθερή και ίση με 1,225 Kg m⁻³, που αντιστοιχεί σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης στο επίπεδο της θάλασσας και θερμοκρασίας 15 °C. Μια καμπύλη ισχύος, η οποία εφαρμόζεται σε μια περιοχή όπου η μέση πυκνότητα του αέρα είναι διαφορετική από την παραπάνω τιμή, είναι ανάλογη με το λόγο της πυκνότητας του αέρα στη συγκεκριμένη περιοχή, προς την καθορισμένη τιμή πυκνότητας του αέρα.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν οι ίδιοι υπολογισμοί και για την περιοχή της Ζίτσας. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το πρόγραμμα, αναφέρονται στην θέση όπου βρίσκεται ο σταθμός. Αρχικά, εισάγεται η τραχύτητα γύρω από τη θέση του σταθμού με τη μορφή ροδογράμματος (Σχήμα 3.4.11) και στη συνέχεια εισάγονται οι συντεταγμένες του αγρομετεωρολογικού σταθμού για την εγκατάσταση της Α/Γ (Σχήμα 3.4.31).



Katsika Predicted wind climate

Wind climate Wind energy Wind power Model output

Mean speed: 3.38 ms⁻¹ Energy: 124.6 Wm⁻² Power: 207.388 MWh⁻¹

S	F	WA	Wk	Uc1	Uc2	Ob1	Ob2	Or1	Or2	R1	R2	R3	z0	E	P
0.0	4	3.52	1.78	0	0	0	0	83	13	0	0	0	0.02	1.6	3.747
22.0	8	4.60	1.64	0	0	0	0	107	7	0	0	0	0.02	8.0	18.164
45.0	14	5.97	1.10	0	0	0	0	115	-1	0	0	0	0.02	79.3	71.914
67.0	6	4.57	1.17	0	0	0	0	104	-9	0	0	0	0.02	13.0	19.873
90.0	4	3.23	1.40	0	0	0	0	77	-13	0	0	0	0.02	1.7	3.875
112.0	3	2.83	1.63	0	0	0	0	47	-10	0	0	0	0.03	0.8	1.671
135.0	3	2.94	1.69	0	0	0	0	35	1	0	0	0	0.03	0.9	1.920
157.0	4	3.53	1.66	0	0	0	0	52	12	0	0	0	0.03	2.0	4.618
180.0	5	3.44	1.69	0	0	0	0	60	13	-1	0	3	0.02	2.2	5.067
202.0	7	2.86	1.66	0	0	0	0	105	7	-1	0	4	0.02	1.6	3.627
225.0	13	2.53	1.67	0	0	0	0	117	-1	0	0	0	0.03	2.2	4.531
247.0	10	2.62	1.37	0	0	0	0	105	-9	0	0	0	0.03	2.6	5.736
270.0	6	3.33	1.47	0	0	0	0	78	-13	0	0	0	0.03	2.9	6.787
292.0	5	3.84	1.69	0	0	0	0	47	-10	0	0	0	0.03	2.8	6.619
315.0	4	3.52	1.71	0	0	0	0	35	1	0	0	0	0.03	1.6	3.729
337.0	3	3.30	1.71	0	0	0	0	52	12	0	0	0	0.03	1.2	2.665

(α)

Katsika Predicted wind climate

Wind climate Wind energy Wind power Model output

Mean speed: 3.40 ms⁻¹ Energy: 121.5 Wm⁻² Power: 526.774 MWh⁻¹

S	F	WA	Wk	Uc1	Uc2	Ob1	Ob2	Or1	Or2	R1	R2	R3	z0	E	P
0.0	4	3.55	1.83	0	0	0	0	79	13	0	0	0	0.02	1.6	9.106
22.0	8	4.64	1.68	0	0	0	0	102	7	0	0	0	0.02	7.9	45.590
45.0	14	6.03	1.12	0	0	0	0	110	-1	0	0	0	0.02	76.9	189.166
67.0	6	4.62	1.19	0	0	0	0	99	-9	0	0	0	0.02	12.7	50.856
90.0	4	3.27	1.43	0	0	0	0	72	-13	0	0	0	0.02	1.7	9.525
112.0	3	2.87	1.66	0	0	0	0	44	-10	0	0	0	0.03	0.8	3.980
135.0	3	2.99	1.72	0	0	0	0	33	1	0	0	0	0.03	0.9	4.640
157.0	4	3.57	1.72	0	0	0	0	50	12	0	0	0	0.03	2.0	11.420
180.0	5	3.47	1.72	0	0	0	0	77	12	-1	0	3	0.02	2.2	12.291
202.0	7	2.87	1.72	0	0	0	0	100	7	-1	0	4	0.02	1.6	8.375
225.0	13	2.54	1.71	0	0	0	0	111	-1	0	0	0	0.03	2.2	10.128
247.0	10	2.64	1.40	0	0	0	0	100	-9	0	0	0	0.03	2.5	13.455
270.0	6	3.35	1.49	0	0	0	0	74	-13	0	0	0	0.03	2.9	16.646
292.0	5	3.89	1.73	0	0	0	0	44	-10	0	0	0	0.03	2.8	16.500
315.0	4	3.57	1.75	0	0	0	0	33	1	0	0	0	0.03	1.6	9.255
337.0	3	3.34	1.75	0	0	0	0	49	12	0	0	0	0.03	1.2	6.487

(β)

Katsika Predicted wind climate

Wind climate Wind energy Wind power Model output

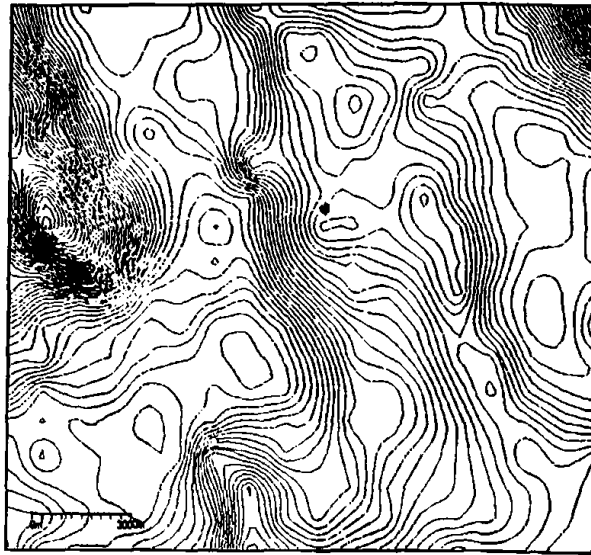
Mean speed: 3.48 ms⁻¹ Energy: 121.2 Wm⁻² Power: 979.367 MWh⁻¹

S	F	WA	Wk	Uc1	Uc2	Ob1	Ob2	Or1	Or2	R1	R2	R3	z0	E	P
0.0	4	3.66	1.88	0	0	0	0	72	12	0	0	0	0.02	1.7	11.969
22.0	8	4.76	1.74	0	0	0	0	93	7	0	0	0	0.02	8.2	77.924
45.0	14	6.21	1.15	0	0	0	0	100	-1	0	0	0	0.02	75.6	385.152
67.0	6	4.76	1.22	0	0	0	0	89	-8	0	0	0	0.02	12.7	99.082
90.0	4	3.38	1.47	0	0	0	0	65	-13	0	0	0	0.02	1.8	14.438
112.0	3	2.96	1.71	0	0	0	0	39	-10	0	0	0	0.03	0.8	4.368
135.0	3	3.10	1.78	0	0	0	0	29	1	0	0	0	0.03	1.0	5.306
157.0	5	3.70	1.78	0	0	0	0	45	11	0	0	0	0.03	2.1	16.254
180.0	5	3.58	1.76	0	0	0	0	70	12	-1	0	3	0.02	2.3	16.928
202.0	7	2.94	1.74	0	0	0	0	92	7	0	0	4	0.02	1.7	8.835
225.0	13	2.59	1.77	0	0	0	0	102	-1	0	0	0	0.03	2.2	7.605
247.0	10	2.69	1.45	0	0	0	0	90	-8	0	0	0	0.03	2.5	15.780
270.0	6	3.43	1.53	0	0	0	0	66	-13	0	0	0	0.03	3.0	24.170
292.0	5	4.02	1.78	0	0	0	0	39	-10	0	0	0	0.03	3.0	25.306
315.0	4	3.70	1.80	0	0	0	0	29	1	0	0	0	0.03	1.8	13.157
337.0	3	3.45	1.81	0	0	0	0	44	11	0	0	0	0.03	1.2	8.313

(γ)

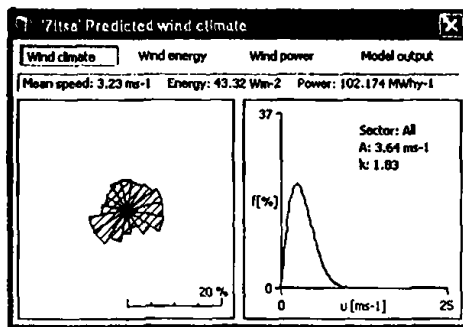
Σχήμα 3.4.30: Συνοπτικά αποτελέσματα του μοντέλου για τις τρεις ΑΓ: (α) Nordex N-29, (β) NEG Micon 600-48 και (γ) Vestas V63, στην περιοχή κοντά στην κορυφή του όρους Μιτσικέλι (1.600 m) του Νομού Ιωαννίνων. Τα αποτελέσματα δίνονται ανά τομέα διεύθυνσης.



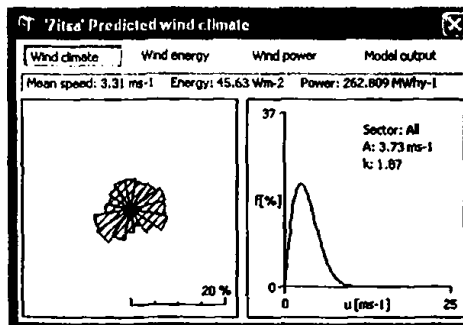


Σχήμα 3.4.31: Εμφάνιση της υποψήφιας θέσης εγκατάστασης Α/Γ στην περιοχή της Ζίτσας.

Οι Α/Γ που επιλέγονται, είναι όμοιες μ' εκείνες που επιλέχθηκαν για την περιοχή του Κατσικά (Σχήμα 3.4.22). Λαμβάνοντας υπ' όψη το ροδόγραμμα της τραχύτητας γύρω από τη θέση του σταθμού, υπολογίζονται η μέση ταχύτητα και η ενέργεια του ανέμου στο ύψος της πλήμνης του δρομέα κάθε Α/Γ, καθώς επίσης και η αναμενόμενη ετήσια παραγωγή ενέργειας. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στα Σχήματα 3.4.32-3.4.35.

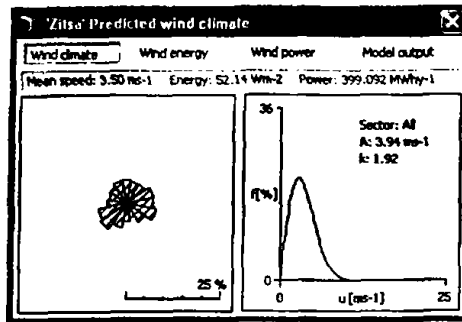


(α)



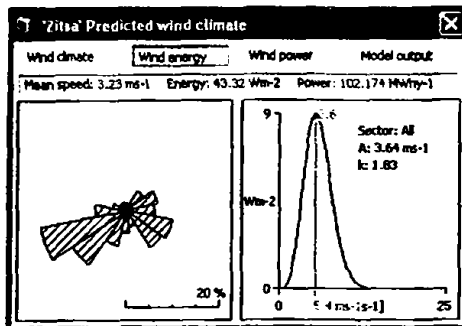
(β)



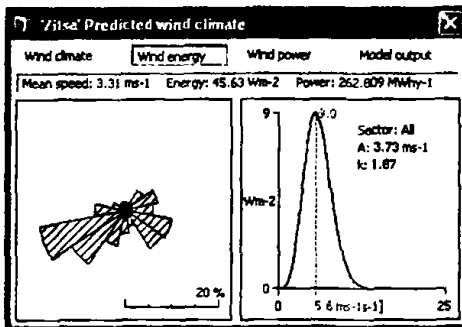


(γ)

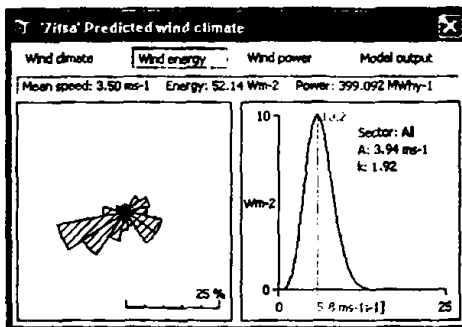
Σχήμα 3.4.32: Η μέση ταχύτητα του ανέμου στο ύψος της πλήμνης του δρομέα των ΑΓ: (α) Nordex N-29, (β) NEG Micon 600-48 και (γ) Vestas V63 και τα αντίστοιχα ροδογράμματα και διαγράμματα κατανομής ταχυτήτων, στην περιοχή του αγρομετεωρολογικού σταθμού Ζίτσας.



(α)



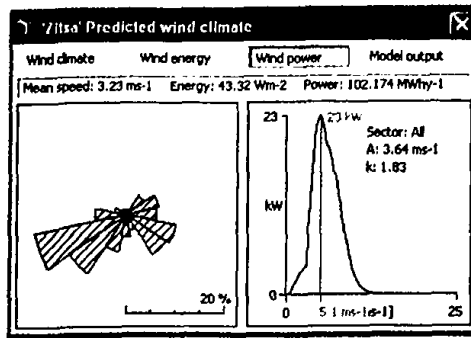
(β)



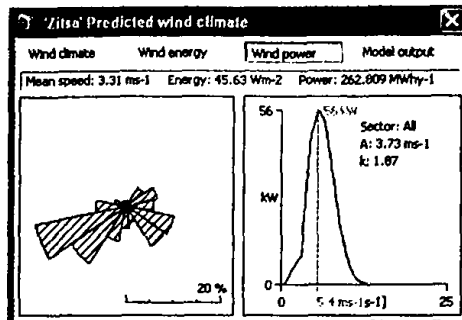
(γ)

Σχήμα 3.4.33: Ενέργεια του ανέμου στο ύψος πλήμνης του δρομέα των τριών ΑΓ: (α) Nordex N-29, (β) NEG Micon 600-48 και (γ) Vestas V63 και τα αντίστοιχα ροδογράμματα και διαγράμματα κατανομής ταχυτήτων, στην περιοχή του αγρομετεωρολογικού σταθμού Ζίτσας.

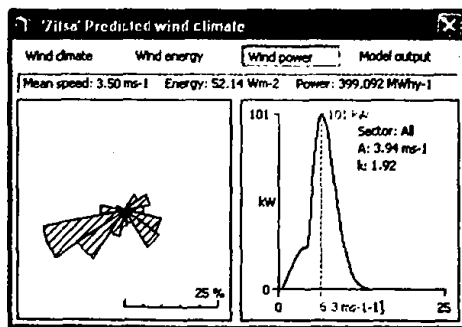




(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 3.4.34: Αναμενόμενη ετήσια παραγωγή ισχύος από τις τρεις Α/Γ: (α) Nordex N-29, (β) NEG Micon 600-48 και (γ) Vestas V63 και τα αντίστοιχα ροδογράμματα και διαγράμματα κατανομής ταχυτήτων, στην περιοχή του αγρομετεωρολογικού σταθμού Ζίτσας.

Zitsa Predicted wind climate																
Wind climate	Wind energy	Wind power	Model output													
Mean speed: 3.23 ms ⁻¹ Energy: 43.32 Wm ⁻² Power: 102.174 MWh ⁻¹																
S	F	WA	Wk	Uc1	Uc2	Ob1	Ob2	Or1	Or2	R1	R2	R3	z0	E	P	
0.0	6	2.41	2.07	0	0	0	0	6	3	0	0	0	0.03	0.7	1.087	
22.0	6	2.33	1.94	0	0	0	0	11	4	0	0	0	0.03	0.6	1.027	
45.0	6	2.85	1.40	0	0	0	0	23	4	0	0	0	0.35	2.1	4.682	
67.0	8	3.03	1.37	0	0	0	0	26	1	0	0	0	0.26	3.1	7.089	
90.0	7	3.46	1.90	0	0	0	0	21	-2	0	0	0	0.07	2.7	6.210	
112.0	8	4.28	2.44	0	0	0	0	17	-5	0	0	0	0.13	4.4	10.624	
135.0	6	4.57	2.32	0	0	0	0	12	-5	0	0	0	0.38	4.0	9.831	
157.0	4	3.46	1.77	0	0	0	0	7	-1	0	0	0	0.39	1.5	3.497	
180.0	5	3.91	2.42	0	0	0	0	6	3	0	0	0	0.03	2.0	4.661	
202.0	7	4.28	2.96	0	0	0	0	10	4	0	0	0	0.01	3.2	7.710	
225.0	8	4.89	3.01	0	0	0	0	19	4	0	0	0	0.06	5.9	14.538	
247.0	8	5.50	3.13	0	0	0	0	24	1	0	0	0	0.13	7.9	19.825	
270.0	5	3.74	1.67	0	0	0	0	29	-3	0	0	0	0.55	2.8	6.571	
292.0	5	2.91	1.63	0	0	0	0	14	-4	0	0	0	0.03	1.2	2.734	
315.0	5	2.45	2.19	0	0	0	0	8	-4	0	0	0	0.03	0.6	0.909	
337.0	6	2.49	2.17	0	0	0	0	4	-1	0	0	0	0.03	0.7	1.152	

(α)

Zitsa Predicted wind climate																
Wind climate	Wind energy	Wind power	Model output													
Mean speed: 3.31 ms ⁻¹ Energy: 45.63 Wm ⁻² Power: 262.809 MWh ⁻¹																
S	F	WA	Wk	Uc1	Uc2	Ob1	Ob2	Or1	Or2	R1	R2	R3	z0	E	P	
0.0	6	2.48	2.12	0	0	0	0	6	2	0	0	0	0.03	0.7	2.657	
22.0	6	2.39	1.98	0	0	0	0	11	4	0	0	0	0.03	0.7	2.473	
45.0	6	2.93	1.42	0	0	0	0	22	4	0	0	0	0.35	2.2	12.074	
67.0	8	3.10	1.39	0	0	0	0	25	1	0	0	0	0.26	3.2	18.063	
90.0	7	3.63	1.93	0	0	0	0	20	-2	0	0	0	0.07	2.7	15.386	
112.0	8	4.37	2.49	0	0	0	0	16	-4	0	0	0	0.13	4.6	27.179	
135.0	6	4.70	2.37	0	0	0	0	11	-4	0	0	0	0.38	4.4	26.315	
157.0	4	3.58	1.79	0	0	0	0	6	-1	0	0	0	0.39	1.6	9.353	
180.0	5	4.02	2.47	0	0	0	0	6	2	0	0	0	0.03	2.1	12.032	
202.0	7	4.38	3.04	0	0	0	0	10	4	0	0	0	0.01	3.4	19.615	
225.0	8	5.00	3.08	0	0	0	0	18	3	0	0	0	0.06	6.2	37.706	
247.0	8	5.61	3.19	0	0	0	0	23	1	0	0	0	0.13	8.3	51.701	
270.0	5	3.82	1.69	0	0	0	0	27	-3	0	0	0	0.55	2.9	16.898	
292.0	5	2.99	1.66	0	0	0	0	14	-4	0	0	0	0.03	1.3	6.865	
315.0	5	2.51	2.24	0	0	0	0	8	-3	0	0	0	0.03	0.6	2.205	
337.0	6	2.56	2.22	0	0	0	0	4	-1	0	0	0	0.03	0.8	2.636	

(β)

Zitsa Predicted wind climate																
Wind climate	Wind energy	Wind power	Model output													
Mean speed: 3.50 ms ⁻¹ Energy: 52.14 Wm ⁻² Power: 399.092 MWh ⁻¹																
S	F	WA	Wk	Uc1	Uc2	Ob1	Ob2	Or1	Or2	R1	R2	R3	z0	E	P	
0.0	6	2.64	2.18	0	0	0	0	6	2	0	0	0	0.03	0.8	1.434	
22.0	6	2.54	2.04	0	0	0	0	10	4	0	0	0	0.03	0.8	1.400	
45.0	6	3.12	1.48	0	0	0	0	19	3	0	0	0	0.35	2.4	18.216	
67.0	7	3.28	1.45	0	0	0	0	22	1	0	0	0	0.26	3.4	27.763	
90.0	7	3.70	1.99	0	0	0	0	18	-2	0	0	0	0.07	3.0	19.892	
112.0	8	4.61	2.59	0	0	0	0	14	-4	0	0	0	0.13	5.2	39.757	
135.0	6	5.01	2.49	0	0	0	0	10	-4	0	0	0	0.38	5.2	45.166	
157.0	4	3.84	1.88	0	0	0	0	6	-1	0	0	0	0.39	1.9	14.690	
180.0	5	4.27	2.55	0	0	0	0	6	2	0	0	0	0.03	2.5	16.901	
202.0	7	4.65	3.13	0	0	0	0	9	3	0	0	0	0.01	4.0	27.213	
225.0	8	5.27	3.19	0	0	0	0	16	3	0	0	0	0.06	7.2	60.352	
247.0	8	5.89	3.33	0	0	0	0	20	1	0	0	0	0.13	9.3	89.294	
270.0	5	4.03	1.77	0	0	0	0	23	-2	0	0	0	0.55	3.1	26.428	
292.0	5	3.17	1.71	0	0	0	0	13	-3	0	0	0	0.03	1.5	9.144	
315.0	5	2.66	2.31	0	0	0	0	7	-3	0	0	0	0.03	0.7	0.994	
337.0	6	2.72	2.29	0	0	0	0	4	-1	0	0	0	0.03	0.9	1.454	

(γ)

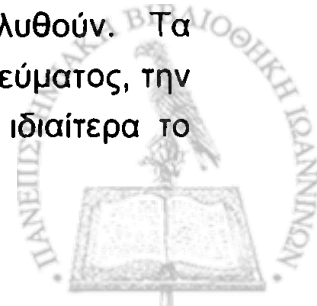
Σχήμα 3.4.35: Τα συνοπτικά αποτελέσματα του μοντέλου για τις τρεις Α/Γ: (α) Nordex N-29, (β) NEG Micon 600-48 και (γ) Vestas V63, στην περιοχή Ζίτσας. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται ανά τομέα διεύθυνσης.



Στα παραπάνω σχήματα, διακρίνεται η τιμή της ταχύτητας στην οποία εντοπίζονται η μέγιστη ενέργεια ανέμου κι η μέγιστη αναμενόμενη ετήσια παραγωγή ενέργειας από κάθε Α/Γ. Μεγαλώνοντας η ονομαστική ισχύς των Α/Γ, αυξάνονται κι οι παράμετροι της μέσης ταχύτητας, της ενέργειας και της παραγωγής ενέργειας. Οι παράμετροι της κατανομής Weibull κυμαίνονται από 3,64 έως 3,94 m/s (παράμετρος A (ή c)), ενώ η παράμετρος k από 1,83 έως 1,92. Η μέση ταχύτητα του ανέμου στο ύψος πλήμνης του δρομέα κάθε Α/Γ κυμαίνεται από 3,23 m/s, για την Α/Γ 250 kW, έως 3,50 m/s, για την 1.500 kW. Επίσης, οι ενέργειες του ανέμου για την Α/Γ των 250 kW είναι 43,32 W/m², η Α/Γ των 600 kW λαμβάνει την τιμή 45,63 W/m² και η Α/Γ των 1.500 kW, 52,14 W/m². Ως επικρατούσες διευθύνσεις, σύμφωνα με το ροδόγραμμα του Σχήματος 3.4.32, ξεχωρίζουν ελαφρώς οι ΝΔ, ΔΝΔ, με ποσοστό εμφάνισης 8% και ακολουθεί η ΑΝΑ διεύθυνση, με το ίδιο ποσοστό εμφάνισης. Οι μεγαλύτερες ταχύτητες του ανέμου εντοπίζονται στις ΝΔ, ΔΝΔ διευθύνσεις και συμφωνούν με τη στατιστική επεξεργασία της περιοχής (Σχήμα 3.3.1). Η αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας για κάθε Α/Γ έχει ως εξής: για την Α/Γ των 250 kW, 102,174 MWh ανά έτος, για την 600 kW, 262,809 MWh ανά έτος και για την Α/Γ των 1.500 kW, 399,092 MWh ανά έτος. Η διεύθυνση με τη μεγαλύτερη ενέργεια ανέμου και παραγωγή ενέργειας από κάθε Α/Γ, είναι η ΔΝΔ διεύθυνση (τομέας με κέντρο 247°), (Σχήμα 3.4.33, 3.4.34).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προγράμματος «WAsP» και συγκρίνοντας τις δύο περιοχές, η περιοχή της Ζίτσας φαίνεται να παρουσιάζει μεγαλύτερο αιολικό δυναμικό συγκριτικά με την περιοχή του Κατσικά, αφού η τιμή της μέσης ταχύτητας ανέμου στο ύψος πλήμνης του δρομέα όλων των Α/Γ είναι μεγαλύτερη. Στην περιοχή του Κατσικά οι άνεμοι με τα υψηλότερα ποσά ενέργειας είναι Β, ΒΑ διευθύνσεων, ενώ στην περιοχή της Ζίτσας είναι ΔΝΔ, ΝΔ. Η διαφορά στη διεύθυνση των ανέμων, οφείλεται κυρίως στην τοπογραφία κάθε περιοχής. Λόγω της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην περιοχή και στις δύο υπό μελέτη περιοχές, σημαντικό ποσοστό συχνότητας εμφάνισης κατέχουν οι άνεμοι Ν έως Δ διευθύνσεων (Σούλης 1994).

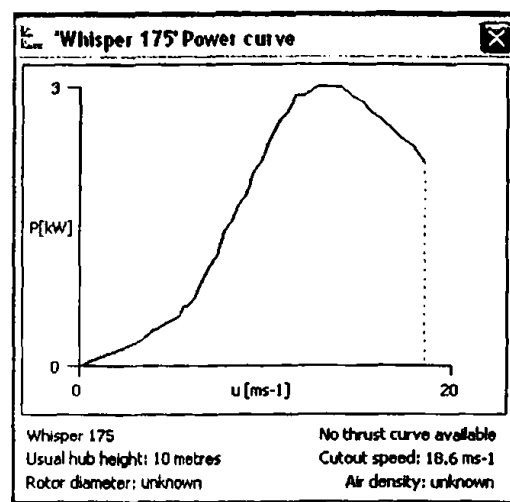
Σαν πρώτη εκτίμηση, από πλευράς αιολικής ενεργειακής εκμετάλλευσης καθίσταται φανερό, πως η περιοχή της Ζίτσας μπορεί να καλύψει κάποιες περιορισμένες ενεργειακές ανάγκες σε αγροτικό, κοινοτικό και οικιακό επίπεδο. Στην περιοχή του Κατσικά, η υποτιθέμενη ενεργειακή κάλυψη είναι σαφώς μικρότερη λόγω του χαμηλότερου αιολικού δυναμικού. Όσο για την περίπτωση εγκατάστασης Α/Γ στην κορυφή του όρους Μιτσικέλι, όπου εντοπίζεται και το μεγαλύτερο αιολικό δυναμικό της ευρύτερης περιοχής του λεκανοπεδίου Ιωαννίνων, υπάρχουν ορισμένα πρακτικά προβλήματα, που θα πρέπει προηγουμένως να επιλυθούν. Τα προβλήματα αυτά αναφέρονται στην δημιουργία νέων γραμμών τάσης ρεύματος, την προσέγγιση στην περιοχή (χάραξη δρόμων), στις καιρικές συνθήκες, ιδιαίτερα το



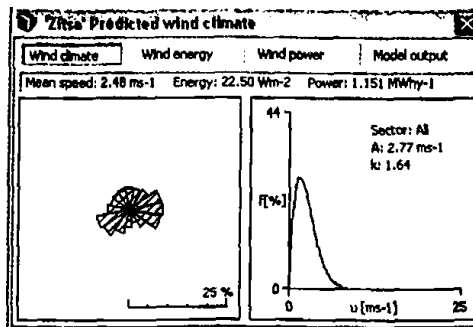
χειμώνα με τις χαμηλές θερμοκρασίες να δημιουργούν προβλήματα στα μηχανικά μέρη της Α/Γ, κίνδυνοι κεραυνοπληξίας.

Πάντως, τα όποια συμπεράσματα προκύπτουν από την σύγκριση των δύο περιοχών, θα πρέπει να συνεκτιμηθούν με το μέγεθος των δεδομένων της εκάστοτε περιοχής. Έτσι, στην περιοχή του Κατσικά, τα ανεμολογικά δεδομένα καλύπτουν μια χρονική περίοδο πέντε ετών (1998-2002), ενώ για την περιοχή της Ζίτσας περίοδο ενός έτους (1998). Συνεπώς, για την περιοχή του Κατσικά η «ενεργειακή» εικόνα είναι περισσότερο αντιπροσωπευτική και τα σφάλματα του μοντέλου μικρότερα (Mortensen et al.1993, Khan and Iqbal 2004).

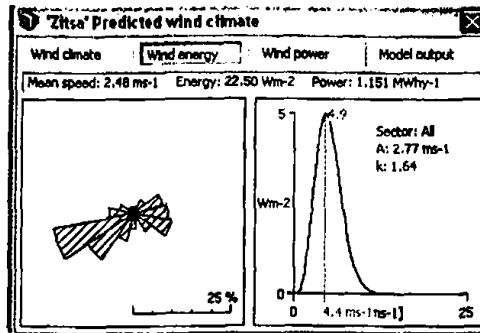
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προγράμματος «WAsP», το αιολικό δυναμικό της περιοχής της Ζίτσας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη μικρών ενεργειακών αναγκών. Για αυτό το λόγο, εξετάζεται κι η περίπτωση μιας Α/Γ με μικρότερη ονομαστική ισχύ (Whisper 175, 3 kW) (Σχήμα 3.4.36). Πρόκειται για την πρώτη Α/Γ τέτοιας τάξης ισχύος στην Ευρώπη, που λειτουργεί συνδεδεμένη με το δίκτυο χαμηλής τάσης και μπορεί να εγκατασταθεί με απόλυτη επιτυχία ακόμα και στις ταράτσες των σπιτιών (Πηγή: «Ανεμολόγια»). Το ύψος πλήμνης της επιλεγόμενης Α/Γ, ορίζεται στα 10 m από την επιφάνεια του εδάφους. Τα αποτελέσματα του προγράμματος «WAsP», απεικονίζονται στο Σχήμα 3.4.37.



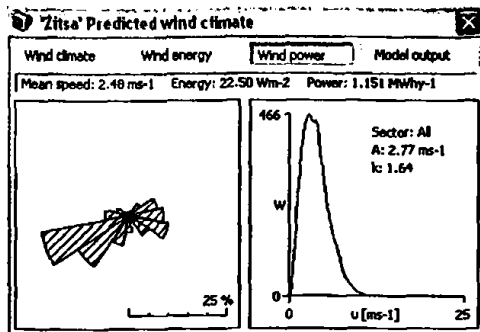
Σχήμα 3.4.36: Καμπύλη ισχύος και τεχνικά χαρακτηριστικά της Α/Γ Whisper 175 (3 kW).



(α)



(β)



(γ)

S	F	WA	Wk	Uk1	Uk2	Ob1	Ob2	Or1	Or2	R1	R2	R3	z0	E	P
0.0	6	1.82	1.78	0	0	0	0	6	4	0	0	0	0.03	0.3	0.009
22.0	6	1.81	1.67	0	0	0	0	16	7	0	0	0	0.03	0.3	0.011
45.0	6	2.00	1.28	0	0	0	0	32	8	0	0	0	0.35	0.9	0.041
67.0	8	2.22	1.21	0	0	0	0	41	3	0	0	0	0.26	1.8	0.085
90.0	9	2.85	1.69	0	0	0	0	36	-3	0	0	0	0.07	2.0	0.102
112.0	8	3.30	2.15	0	0	0	0	29	-7	0	0	0	0.13	2.2	0.123
135.0	5	3.07	1.98	0	0	0	0	17	-9	0	0	0	0.38	1.3	0.069
157.0	3	2.25	1.58	0	0	0	0	5	-4	0	0	0	0.39	0.4	0.021
180.0	4	2.97	2.08	0	0	0	0	6	4	0	0	0	0.03	0.9	0.047
202.0	6	3.39	2.45	0	0	0	0	15	7	0	0	0	0.01	1.6	0.091
225.0	8	3.89	2.58	0	0	0	0	29	6	0	0	0	0.06	3.1	0.179
247.0	9	4.39	2.76	0	0	0	0	38	2	0	0	0	0.13	4.7	0.262
270.0	6	2.70	1.48	0	0	0	0	44	-3	0	0	0	0.55	1.4	0.070
292.0	5	2.26	1.40	0	0	0	0	24	-7	0	0	0	0.03	0.8	0.039
315.0	5	1.90	1.87	0	0	0	0	12	-7	0	0	0	0.03	0.3	0.009
337.0	6	1.87	1.85	0	0	0	0	5	-2	0	0	0	0.03	0.3	0.009

(δ)

Σχήμα 3.4.37: Αποτελέσματα (α) της μέσης ταχύτητας του ανέμου, (β) της ενέργειας του ανέμου, (γ) της αναμενόμενης ετήσιας παραγωγής ενέργειας, με τα αντίστοιχα ροδογράμματα και (δ) τα συνοπτικά αποτελέσματα ανά διεύθυνση στο ύψος της πλήμνης του δρομέα (10 m) της Α/Γ Whisper 175 (3 kW), στην περιοχή του αγρομετεωρολογικού σταθμού Ζίτσας.



Οι παράμετροι της κατανομής Weibull είναι $c = 2,77$ m/s και $k = 1,64$. Η μέση ταχύτητα του ανέμου στο ύψος πλήμνης του δρομέα της Α/Γ είναι $u = 2,48$ m/s και η ενέργεια του ανέμου $22,50$ W/m². Ως επικρατούσες διευθύνσεις, σύμφωνα με το ροδόγραμμα του Σχήματος 3.4.37, είναι ΔΝΔ και Α με ποσοστό εμφάνισης 9%. Η αναμενόμενη παραγωγή ισχύος κυμαίνεται στα 1,151 MWh ανά έτος, με περισσότερο ενεργειακή διεύθυνση την ΔΝΔ. Δεδομένου ότι η Α/Γ, μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε ύψος χρησιμοποιώντας διαφορετικό ιστό, αφού δεν έχει πύργο σταθερού ύψους (Σχήμα 1.3.2), η ενέργεια που μπορεί να δεσμευτεί είναι δυνατόν να λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές. Για παράδειγμα στο ύψος των 50 m, που βρίσκεται το ύψος πλήμνης του δρομέα των σύγχρονων Α/Γ με ονομαστική ισχύ 600 kW, η Α/Γ Whisper 175 μπορεί να δεσμεύσει έως και 2,423 MWh ανά έτος (Σχήμα 3.4.38). Τα παραπάνω ενεργειακά ποσά είναι ικανά να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες διάφορων μικροκαταναλωτών (οικίες, μικρές βιομηχανίες, γεωργικές και βιοτεχνικές ενεργειακές ανάγκες).

'Zitsa' Predicted wind climate

Wind climate Wind energy Wind power **Model output**

Mean speed: 3.36 ms⁻¹ Energy: 47.15 Wm⁻² Power: 2.423 MWh⁻¹

S	F	WA	Wk	Uc1	Uc2	Ob1	Ob2	Or1	Or2	R1	R2	R3	z0	E	P
0.0	6	2.52	2.14	0	0	0	0	6	2	0	0	0	0.03	0.7	0.033
22.0	6	2.43	2.01	0	0	0	0	11	4	0	0	0	0.03	0.7	0.030
45.0	6	2.98	1.44	0	0	0	0	21	4	0	0	0	0.35	2.2	0.108
67.0	8	3.15	1.41	0	0	0	0	24	1	0	0	0	0.26	3.3	0.152
90.0	7	3.57	1.96	0	0	0	0	19	-2	0	0	0	0.07	2.8	0.148
112.0	8	4.43	2.51	0	0	0	0	15	-4	0	0	0	0.13	4.8	0.257
135.0	6	4.79	2.39	0	0	0	0	11	-4	0	0	0	0.38	4.6	0.234
157.0	4	3.65	1.81	0	0	0	0	6	-1	0	0	0	0.39	1.7	0.088
180.0	5	4.08	2.51	0	0	0	0	6	2	0	0	0	0.03	2.2	0.123
202.0	7	4.45	3.09	0	0	0	0	10	4	0	0	0	0.01	3.5	0.202
225.0	8	5.06	3.12	0	0	0	0	17	3	0	0	0	0.06	6.4	0.345
247.0	8	5.68	3.23	0	0	0	0	22	1	0	0	0	0.13	8.5	0.432
270.0	5	3.87	1.71	0	0	0	0	25	-3	0	0	0	0.55	3.0	0.144
292.0	5	3.03	1.69	0	0	0	0	13	-4	0	0	0	0.03	1.3	0.067
315.0	5	2.55	2.27	0	0	0	0	8	-3	0	0	0	0.03	0.6	0.028
337.0	6	2.60	2.25	0	0	0	0	4	-1	0	0	0	0.03	0.8	0.036

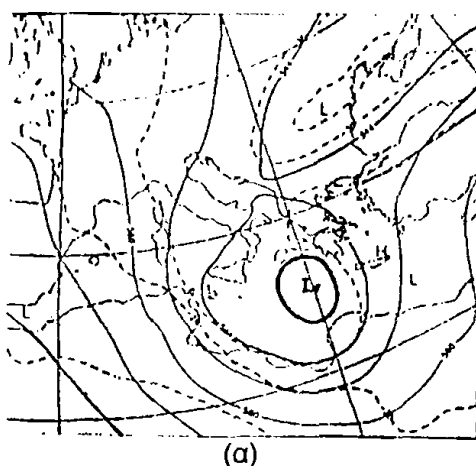
Σχήμα 3.4.38: Τα συνοπτικά αποτελέσματα του προγράμματος «WASP» για την Α/Γ Whisper 175 στην περιοχή της Ζίτσας, σε ύψος 50 m από την επιφάνεια του εδάφους. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται ανά τομέα διεύθυνσης. Στο Σχήμα εμφανίζονται η μέση ταχύτητα και η ενέργεια του ανέμου στο ίδιο ύψος.

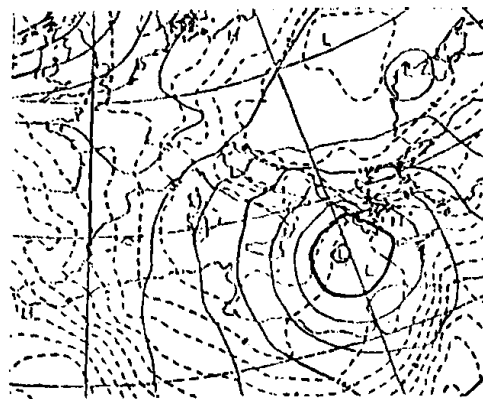


3.5 Επεξεργασία του κοινού ανεμώδη μήνα

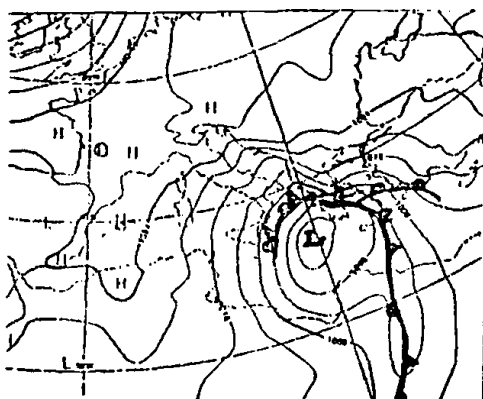
Μετά από την επεξεργασία των ετήσιων ανεμολογικών χρονοσειρών των δύο περιοχών (Κατσικά και Ζίτσας), επιλέχθηκε ο κοινός ανεμώδης μήνας και με το υπολογιστικό πρόγραμμα «Windrose» υπολογίστηκαν χαρακτηριστικές στατιστικές παράμετροι, καθώς επίσης και η αιολική ισχύ που μπορεί να δεσμευτεί από μια Α/Γ που λειτουργεί στις περιοχές αυτές. Στη συνέχεια, έγινε η συσχέτιση των ανεμολογικών χρονοσειρών των δύο περιοχών και υπολογίστηκαν οι παράμετροι συσχέτισης. Τέλος, υπολογίστηκε η παράμετρος της σταθερότητας του ανέμου.

Ο κοινός πλέον ανεμώδης μήνας για τις δύο περιοχές, είναι ο Μάρτιος του 1998 (Σχήμα 3.3.5). Συγκεκριμένα οι μέγιστες ταχύτητες του μήνα καταγράφηκαν το διήμερο 25ης-26ης Μαρτίου 1998, με μέγιστη ταχύτητα ανέμου στην περιοχή του Κατσικά 12,1 m/s και στην περιοχή της Ζίτσας, 8,9 m/s. Η συνοπτική κατάσταση της 26ης Μαρτίου, για τις 00 UTC, παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.5.1. Όπως διακρίνεται στους συνοπτικούς χάρτες, ύφεση πλησιάζει τη χώρα από νοτιοδυτικά, ενώ ταυτόχρονα στα βόρεια Βαλκάνια επικρατεί αντικυκλώνας. Η ισχυρή βαροβαθμίδα (συνδυασμός υψηλών πιέσεων από τον αντικυκλώνα με τις χαμηλές της ύφεσης), έχει σαν συνέπεια την ύπαρξη ισχυρών ανέμων στην χώρα, που προκάλεσαν εκτεταμένες καταστροφές (Ζιακόπουλος 2003). Τα φαινόμενα φαίνεται να εξασθενούν το απόγευμα της 26ης Μαρτίου, καθώς το χαμηλό απομακρύνεται προς τα ΝΑ της χώρας (Σχήμα 3.5.2). Στις υπό μελέτη περιοχές, οι ισχυροί άνεμοι που έπνεαν ήταν ΒΑ διεύθυνσης για την περιοχή του Κατσικά και ανατολικής βορειοανατολικής (ΑΒΑ) διεύθυνσης, για την περιοχή της Ζίτσας.



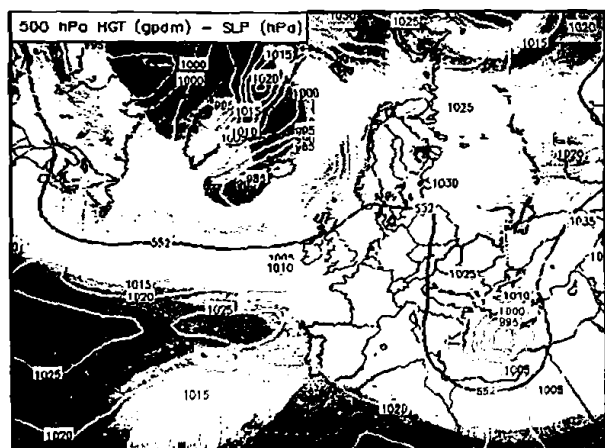


(β)

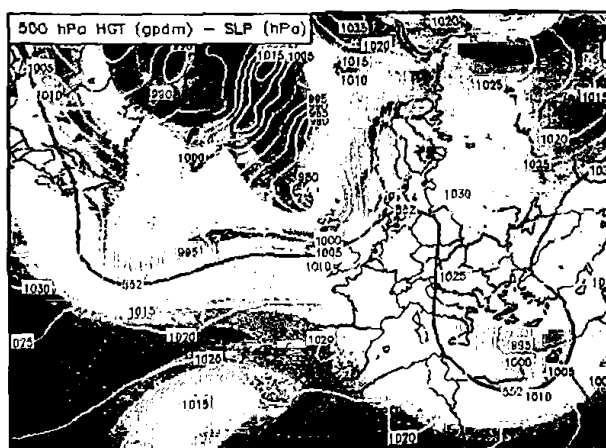


(γ)

Σχήμα 3.5.1: Αναλύσεις του ECMWF (European Center Medium Weather Forecasting) στις 26/03/98-00:00 UTC. (α) Ανάλυση των γεωδυναμικών υψών (συνεχείς γραμμές ανά 80 gpm) και της θερμοκρασίας (διακεκομμένες γραμμές ανά 5 °C) στη στάθμη των 500 hPa, (β) ανάλυση των γεωδυναμικών υψών (συνεχείς γραμμές ανά 40 gpm) και της θερμοκρασίας (διακ. γραμμές ανά 2 °C) στη στάθμη των 850 hPa, (γ) ανάλυση του πεδίου των πιέσεων στη μέση στάθμη θάλασσας (ισοβαρείς ανά 6 hPa).



(α)

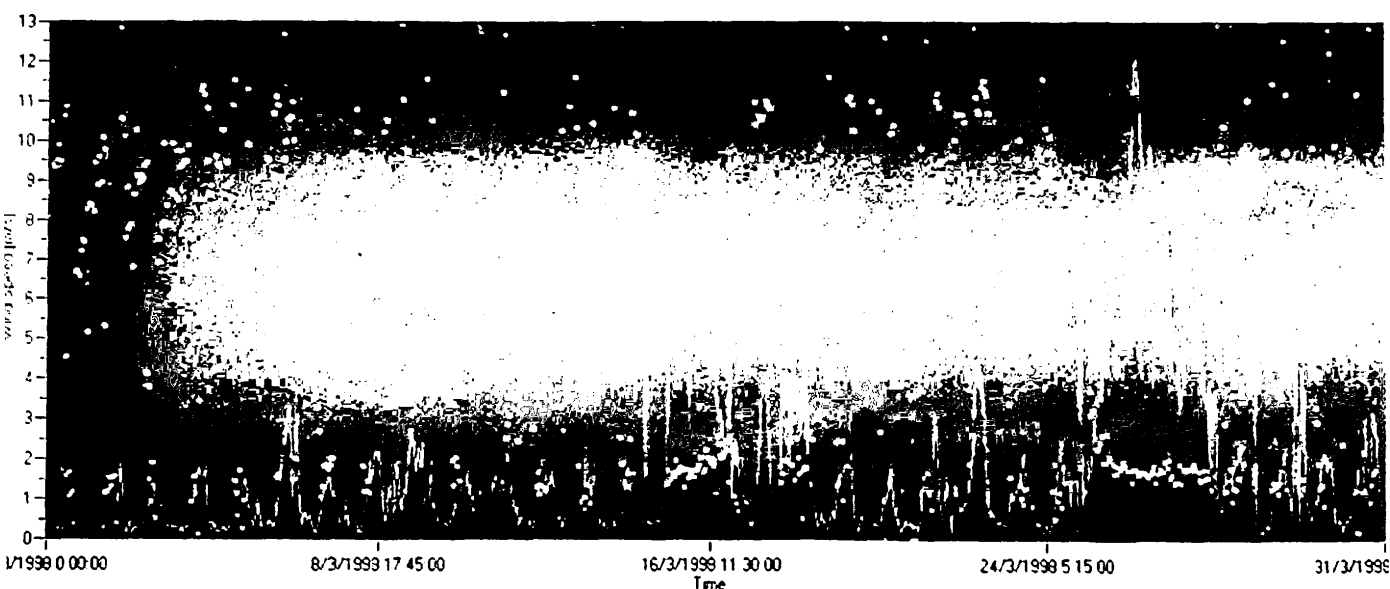


(β)

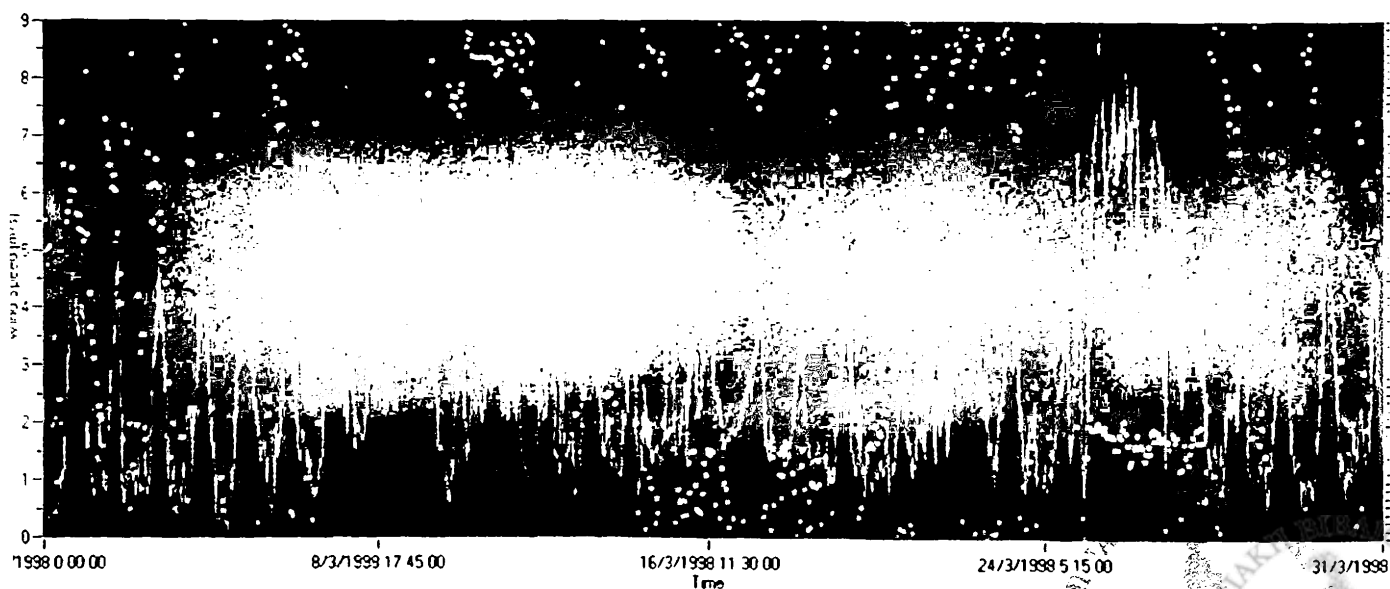
Σχήμα 3.5.2: Αναλύσεις του NCEP (National Centers for Environmental Prediction). Ανάλυση των γεωδυναμικών υψών στο επίπεδο των 500 hPa και του πεδίου των πιέσεων στη μέση στάθμη θάλασσας για τις 26/03/98, στις (α) 00 UTC και (β) 12 UTC.



Μετά την εισαγωγή των ανεμολογικών χρονοσειρών και αφού ολοκληρωθεί η εργασία τους, το πρόγραμμα δίνει αναλυτικό γράφημα με τα δεδομένα επεξεργαστεί (Σχήμα 3.5.3α, β). Με αυτό τον τρόπο δίδεται η δυνατότητα του να δειχθούν οι πιθανές σφαλμάτων στις μετρήσεις. Με τη βοήθεια του προγράμματος αποδίδονται οι μέσες ωριαίες τιμές της ταχύτητας του ανέμου, καθώς και η αντίστοιχη διεύθυνση. Στο σχήμα διακρίνονται και για τις δύο περιόδους ταχύτητες το διήμερο 25ης-26ης Μαρτίου 1998, καθώς κι οι αντιστοιχίες του ανέμου.



(α)



(β)

3.5.3: Αναλυτική απεικόνιση των ανεμολογικών δεδομένων του Μαρτίου 1998

δημιουργήθηκε το πρόγραμμα «Windrose» για την περιοχή (α) Κατακόλι και (β) Ζίτα. Το



Τα συνοπτικά αποτελέσματα του προγράμματος «Windrose», για τις δύο περιοχές δίνονται με την μορφή Πίνακα, στο Σχήμα 3.5.4.

Αγρομετεωρολογικός Σταθμός Κατσικά		
Περίοδος μετρήσεων: Κυριακή, 1 Μάρτιος 1998 έως Τρίτη, 31 Μάρτιος 1998		
Μέση ταχύτητα ανέμου (σε θάλασσ. ύψ.)	1,6 m/s	
Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (μέση τιμή 60λεπτου)	12,1 m/s	(26/3/1998 8:00)
Αριθμοί ανέμων > 0,2 m/s	0,2 m/s	
Μέση ισχύς	30 Watt/m ²	
Συνολική Ενέργεια	22 kWh/m ²	
Συντελεστής	0,81	
αέρα factor	1,6 m/s	
Συνολικός αριθμός ημερών	744	
Αριθμός ημερών με άνεμο	2	
Πληρότητα	100 %	
Αναμετρήσιμη ενέργεια	22307,2 kWh	(NEG Micon 600/48)
Συντελεστής	4,7 %	($\rho_{\text{αέρα}}=1,194\text{kg/m}^3$)
Εκτιμώμενη ταχύτητα	2,1 m/s	($\sigma=0,08$)
Αναμ. Επιφάν. ανεμογεννητριών	264623,3 kWh	4,7 %
υπολογισμός με βάση τις καταστάσεις ανέμου	239275,2 kWh	4,2 %
Ενέργεια: κόρη διεύθυνση	BA	91,6 %
2η κόρη διεύθυνση	ABA	3,4 %
Χρόνος: κόρη διεύθυνση	BA	22,8 %
2η κόρη διεύθυνση	NA	13,1 %

(α)

Αγρομετεωρολογικός Σταθμός Ζίτσας		
Περίοδος μετρήσεων: Κυριακή, 1 Μάρτιος 1998 έως Τρίτη, 31 Μάρτιος 1998		
Μέση ταχύτητα ανέμου (σε θάλασσ. ύψ.)	2,5 m/s	
Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (μέση τιμή 60λεπτου)	8,9 m/s	(25/3/1998 12:00)
Αριθμοί ανέμων > 0,2 m/s	0,2 m/s	
Μέση ισχύς	23 Watt/m ²	
Συνολική Ενέργεια	17 kWh/m ²	
Συντελεστής	1,73	
αέρα factor	3,0 m/s	
Συνολικός αριθμός ημερών	744	
Αριθμός ημερών με άνεμο	1	
Πληρότητα	100 %	
Αναμετρήσιμη ενέργεια	17776,7 kWh	(NEG Micon 600/48)
Συντελεστής	3,7 %	($\rho_{\text{αέρα}}=1,163\text{kg/m}^3$)
Εκτιμώμενη ταχύτητα	2,9 m/s	($\sigma=0,08$)
Αναμ. Επιφάν. ανεμογεννητριών	218261,9 kWh	3,8 %
υπολογισμός με βάση τις καταστάσεις ανέμου	229958,7 kWh	4,1 %
Ενέργεια: κόρη διεύθυνση	ABA	45,1 %
2η κόρη διεύθυνση	ANA	12,7 %
Χρόνος: κόρη διεύθυνση	ABA	13,1 %
2η κόρη διεύθυνση	BBA	11,8 %

(β)

Σχήμα 3.5.4: Πίνακας συνοπτικών αποτελεσμάτων της στατιστικής επεξεργασίας των ανεμολογικών δεδομένων του μηνός Μαρτίου 1998 από το πρόγραμμα «Windrose» για την περιοχή (α) Κατσικά και (β) Ζίτσας του Νομού Ιωαννίνων.



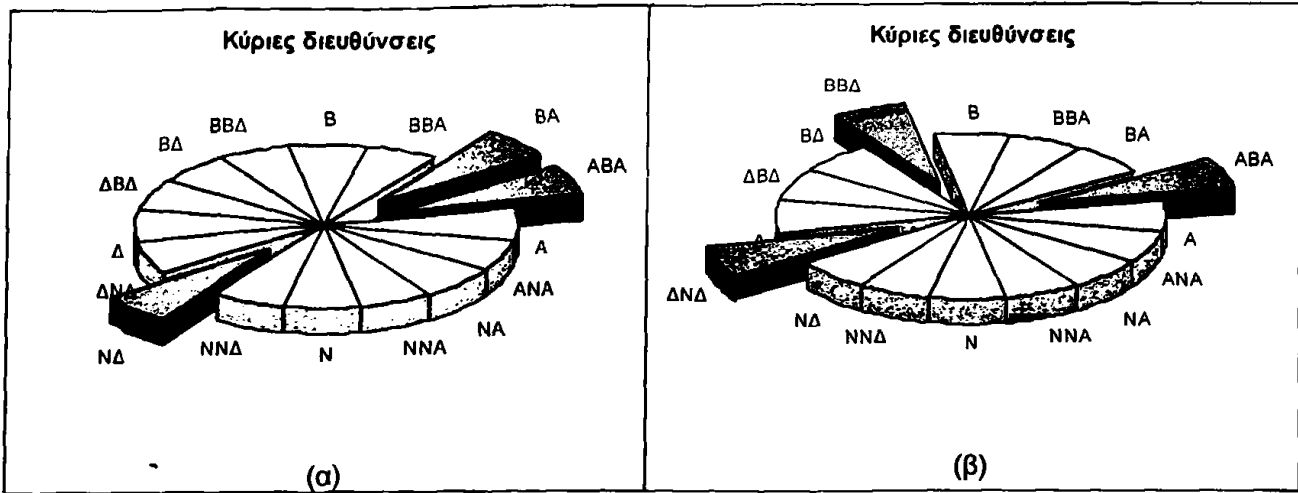
Όσον αφορά τον ανεμώδη μήνα, η περιοχή της Ζίτσας παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μέση ταχύτητα (2,5 m/s) στα 6 m, ενώ ο σταθμός του Κατσικά εμφανίζει τη μεγαλύτερη μέγιστη ταχύτητα (12,1 m/s). Επίσης, η περιοχή του Κατσικά εμφανίζει τη μεγαλύτερη ισχύ ανέμου (30 W/m^2) και τη μεγαλύτερη αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας (22.397 kWh) από την συγκεκριμένη Α/Γ. Κάτω από την ετήσια αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας, εμφανίζεται το αντίστοιχο ποσοστό του συντελεστή φορτίου. Ο συντελεστής φορτίου (capacity factor) είναι το εκατοστιαίο ποσοστό της ονομαστικής ισχύος της Α/Γ, η οποία βρισκόμενη σε συνεχή λειτουργία θα παρήγαγε το ποσό της αναμενόμενης ενέργειας. Στους Πίνακες του σχήματος 3.5.4, εμφανίζονται τρεις διαφορετικές τιμές παραγωγής ενέργειας. Η πρώτη τιμή αναφέρεται για το χρονικό διάστημα του ενός μηνός. Οι επόμενες δύο τιμές, αναφέρονται στην ετήσια αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας, χρησιμοποιώντας δύο τρόπους υπολογισμού της: ο πρώτος χρησιμοποιεί την πραγματική κατανομή των δεδομένων κι ο δεύτερος την κατανομή Weibull, που προσομοιάζει τα δεδομένα. Κι οι δύο αυτές τιμές ανάγονται στο έτος. Δίπλα στις τιμές των ενεργειών, εμφανίζονται οι αντίστοιχοι συντελεστές φορτίου.

Τα ποσοστά που εμφανίζονται δίπλα στις επικρατούσες διευθύνσεις είναι τα συνολικά ποσοστά εμφάνισης. Οι επικρατούντες άνεμοι που έπνεαν εκείνο το μήνα, ήσαν ΒΑ διεύθυνσης για τον Κατσικά και ΑΒΑ για τη Ζίτσα. Τέλος, στο Σχήμα 3.5.4, διακρίνεται μια διαφορά στην τιμή της μέσης πυκνότητας του αέρα, που βρίσκεται δίπλα στην τιμή του συντελεστή φορτίου. Η περιοχή της Ζίτσας εμφανίζει μικρότερη μέση τιμή πυκνότητας, $\rho_{ave} = 1,163 \text{ Kg/m}^3$ απ' ότι η περιοχή του Κατσικά, όπου $\rho_{ave} = 1,194 \text{ Kg/m}^3$. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο, στο υψόμετρο των δύο περιοχών (υψόμετρα: Κατσικά 485 m–Ζίτσα 708 m). Οι δύο κύριες διευθύνσεις του ανέμου, χρονικά και ενεργειακά, για τον ανεμώδη μήνα απεικονίζονται με τη μορφή πίτας, στο Σχήμα 3.5.5. Η κύρια ενεργειακή διεύθυνση του ανέμου παρουσιάζεται με πράσινο χρώμα, ενώ η επικρατούσα χρονικά διεύθυνση του ανέμου με μπλε.

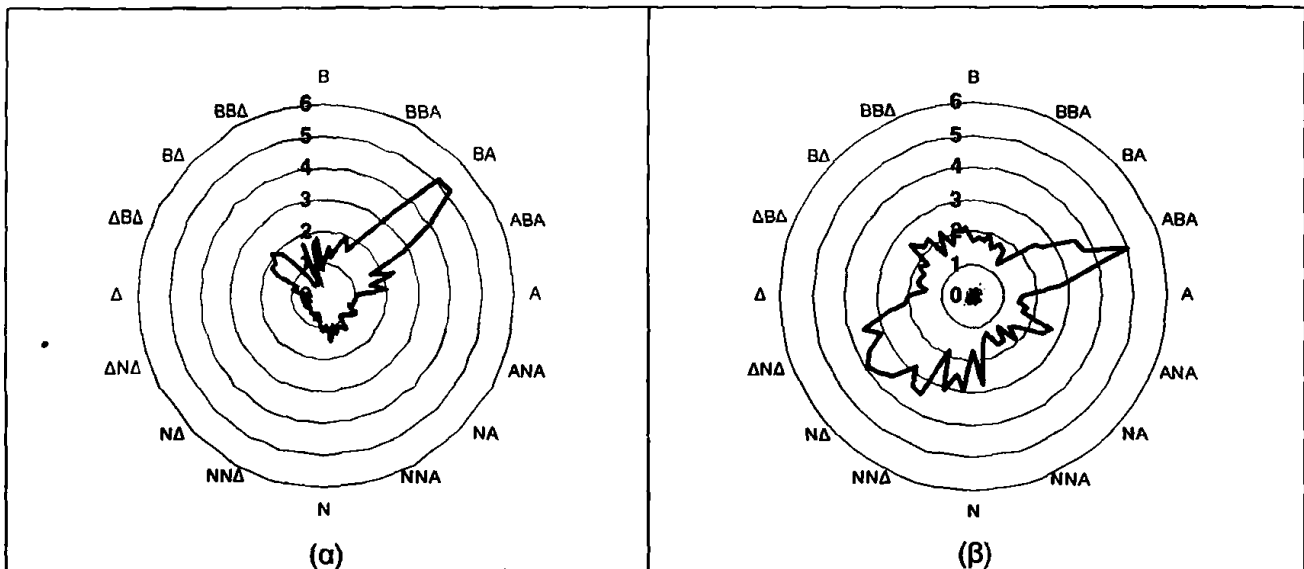
Στην περιοχή του Κατσικά οι διευθύνσεις που αποδίδουν τη μεγαλύτερη ενέργεια είναι οι ΒΑ, ΑΒΑ και η διεύθυνση με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης η ΝΔ. Στην περιοχή της Ζίτσας, οι ενεργειακές διευθύνσεις είναι οι ΑΒΑ, ΔΝΔ, με συχνότερη τη διεύθυνση βόρειο βορειοδυτική (ΒΒΔ).

Τα ροδογράμματα των δύο περιοχών, για τη μέση ταχύτητα ανέμου ανά διεύθυνση, εμφανίζονται στο Σχήμα 3.5.6.





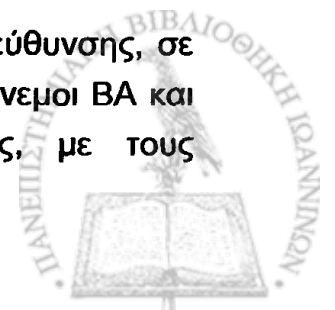
Σχήμα 3.5.5: Διαγράμματα σε μορφή πίτας για τις επικρατούσες διευθύνσεις στην περιοχή (α) του Κατσικά και (β) της Ζίτσας του Νομού Ιωαννίνων για τον Μάρτιο 1998. Με πράσινο χρώμα παρουσιάζεται η κύρια ενεργειακή διεύθυνση, ενώ με μπλε η επικρατούσα χρονικά κύρια διεύθυνση.



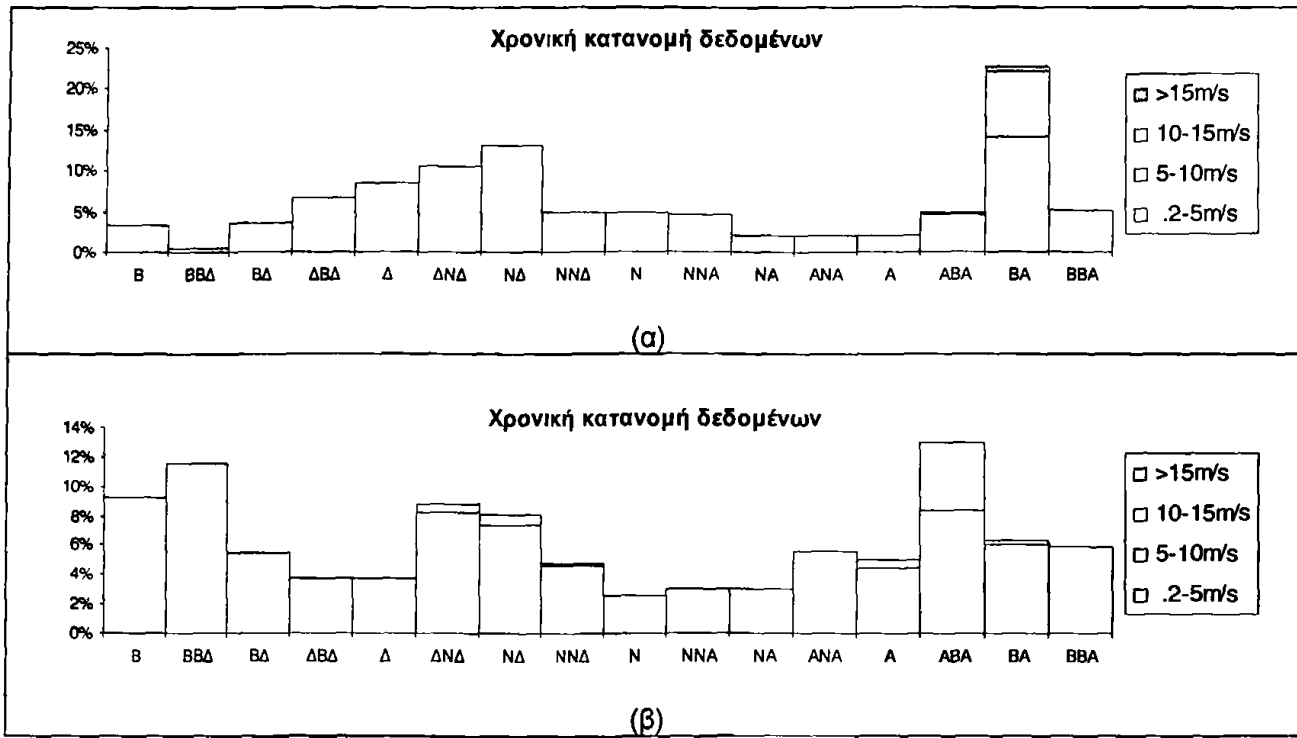
Σχήμα 3.5.6: Ροδογράμματα της μέσης ταχύτητας του ανέμου (m/s) ανά διεύθυνση, για την περιοχή (α) του Κατσικά και (β) της Ζίτσας για τον Μάρτιο 1998.

Όπως φαίνεται στα παραπάνω σχήματα, κατά τη διάρκεια του Μαρτίου 1998, στην περιοχή του Κατσικά οι ισχυροί άνεμοι πνέουν κυρίως από ΒΑ διεύθυνση, ενώ στην περιοχή της Ζίτσας οι ισχυροί άνεμοι πνέουν από ΑΒΑ και ΝΔ διεύθυνση. Μια πιο ευδιάκριτη κατανομή της συχνότητας εμφάνισης των ανέμων ανά διεύθυνση, δίνεται στο Σχήμα 3.5.7.

Στο Σχήμα 3.5.7 παριστάνεται η συχνότητα εμφάνισης (%) κάθε διεύθυνσης, σε τέσσερα διαστήματα ταχύτητας ανέμου. Στην περιοχή του Κατσικά οι άνεμοι ΒΑ και ΝΔ διευθύνσεων εμφανίζουν το υψηλότερο ποσοστό εμφάνισης, με τους



ισχυρότερους ανέμους να πνέουν από ΒΑ διευθύνσεις, ενώ στην περιοχή της Ζίτσας όλες οι διευθύνσεις έχουν αυξημένο ποσοστό εμφάνισης, με τους ισχυρότερους όμως ανέμους να πνέουν από ΑΒΑ και ΔΝΔ έως ΝΔ διευθύνσεις, κατά τη διάρκεια του μήνα.

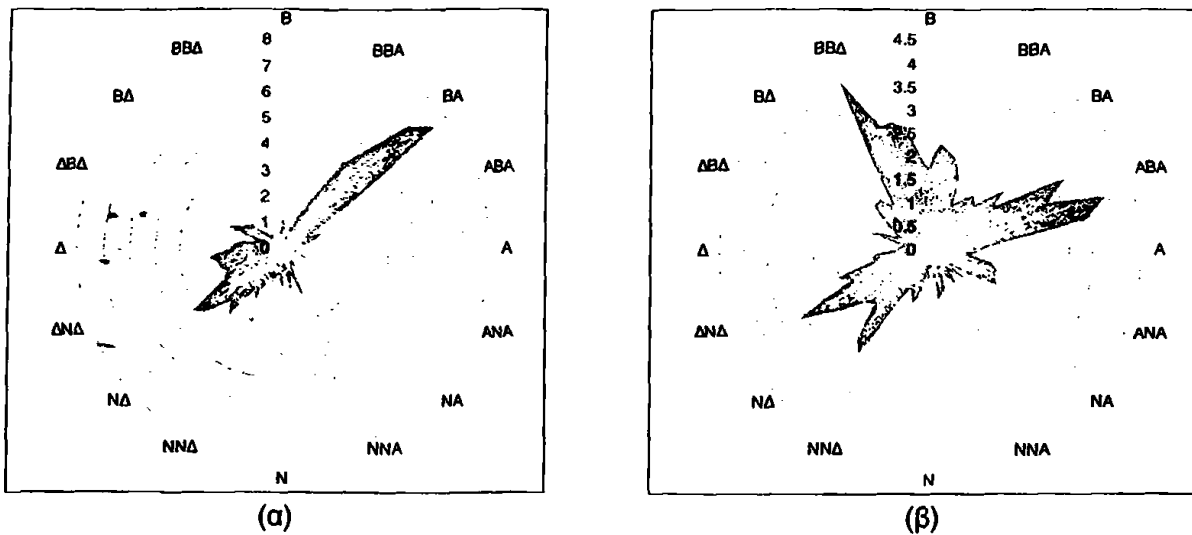


Σχήμα 3.5.7: Χρονική κατανομή (%) των μηνιαίων ανεμολογικών δεδομένων για την περιοχή (α) Κατσικά και (β) Ζίτσας για τον Μάρτιο 1998.

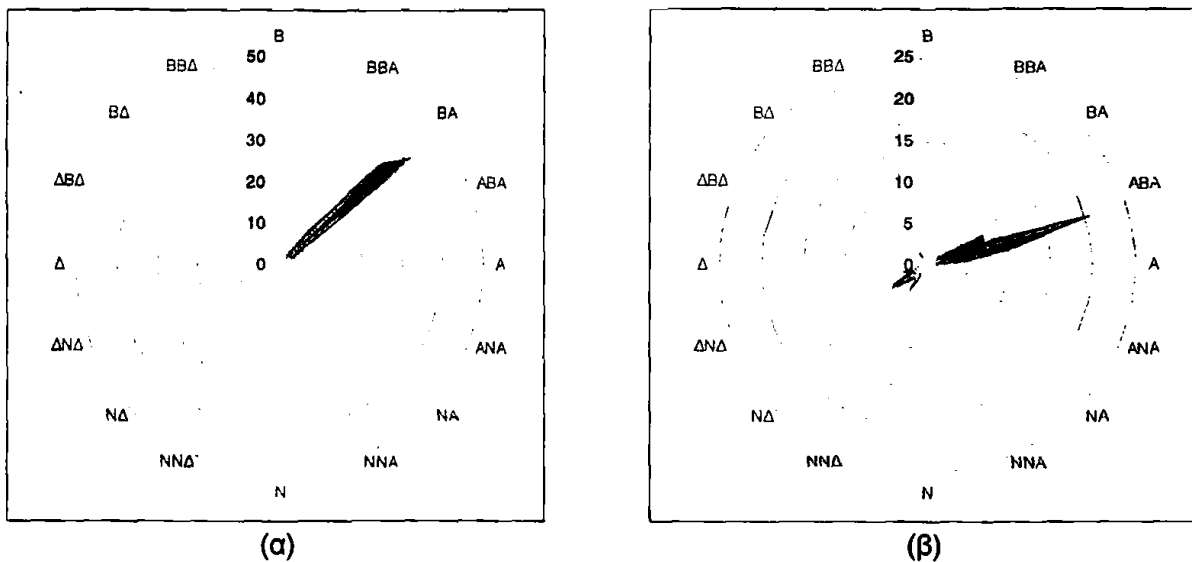
Στο Σχήμα 3.5.8, παριστάνονται τα ποσοστιαία διαγράμματα κατανομής σε πολικές συντεταγμένες (ροδογράμματα) της συχνότητας εμφάνισης της διεύθυνσης ανέμου για τις δύο περιοχές, ενώ στο Σχήμα 3.5.9 παριστάνονται τα αντίστοιχα ροδογράμματα ενέργειας. Και τα δύο ροδογράμματα, αποτελούνται από 64 τόξα εύρους $5,625^\circ$ ($360^\circ/64$). Κάθε τιμή της κατανομής είναι η μέση τιμή των μετρήσεων που εμπεριέχονται στο τόξο και λαμβάνεται στο κέντρο του τόξου. Π.χ. η τιμή της κατανομής στο σημείο 0° είναι ο μέσος όρος των μετρήσεων που βρίσκονται μέσα στο τόξο $[-2,185^\circ, +2,185^\circ]$. Στο Σχήμα 3.5.8, οι τιμές στην περίμετρο των εγγεγραμμένων κύκλων, συμβολίζουν την εκατοστιαία πιθανότητα εμφάνισης μιας διεύθυνσης, στο συνολικό αριθμό των περιπτώσεων. Στο ροδόγραμμα ενέργειας (Σχήμα 3.5.9), εμφανίζεται η ενέργεια του ανέμου ανά διεύθυνση κι όχι η αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας της επιλεγόμενης Α/Γ. Βέβαια, η διαφορά των δύο τιμών ενέργειας είναι πολύ μικρή, εν τούτοις υφίσταται κυρίως στην περίπτωση δεδομένων με ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες από την ταχύτητα διακοπής της λειτουργίας (cut-out) της Α/Γ, όπου η μηχανή θεωρείται ότι έχει τεθεί εκτός



λειτουργίας. Στην περιοχή του Κατσικά, οι άνεμοι που έχουν τη μεγαλύτερη ενέργεια είναι ΒΑ διευθύνσεων, ενώ στην περιοχή της Ζίτσας είναι ΑΒΑ διευθύνσεων, κατά τη διάρκεια του Μαρτίου 1998.



Σχήμα 3.5.8: Ροδογράμματα ανέμου ως προς τον χρόνο για την περιοχή (α) Κατσικά και (β) Ζίτσας για τον Μάρτιο 1998. Οι αριθμοί στην περίμετρο των εγγεγραμμένων κύκλων, συμβολίζουν ανάλογα την εκατοστιαία πιθανότητα εμφάνισης μιας διεύθυνσης.

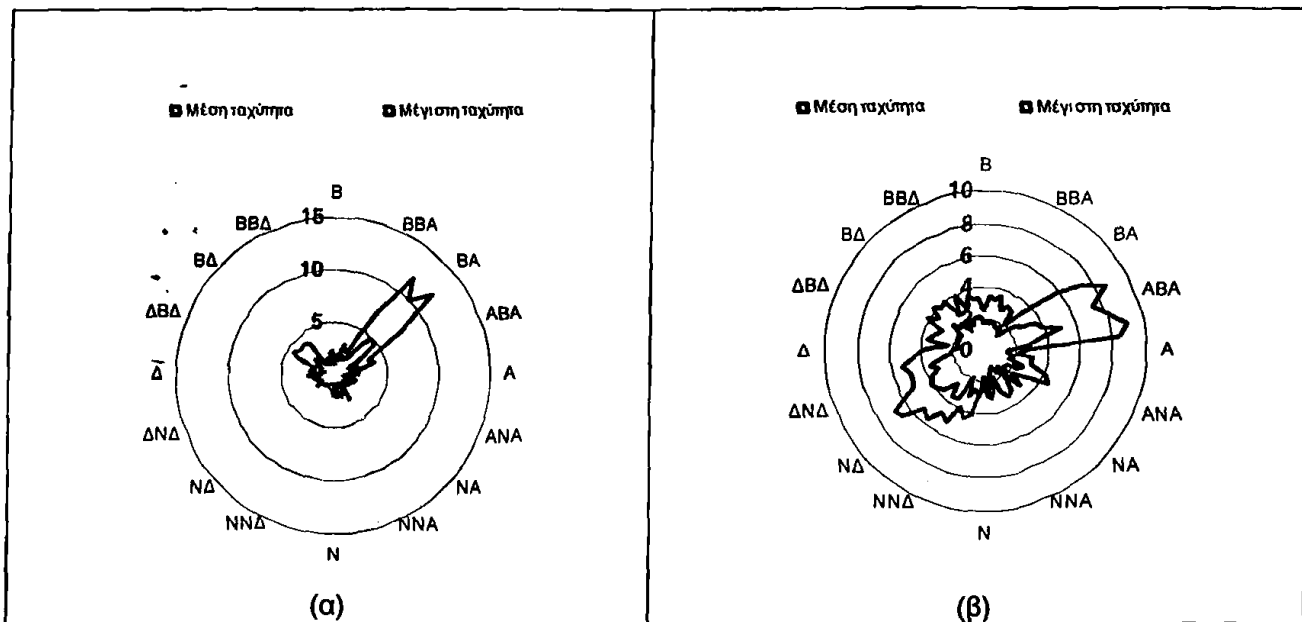


Σχήμα 3.5.9: Ροδογράμματα ανέμου της αιολικής ενέργειας για την περιοχή (α) Κατσικά και (β) Ζίτσας για τον Μάρτιο 1998.

Στο Σχήμα 3.5.10, παρουσιάζεται το μηνιαίο πολικό διάγραμμα με τη μέση και μέγιστη ταχύτητα του ανέμου, σε 64 τόξα εύρους 5,625°. Θα πρέπει ιδιαίτερα να τονισθεί ότι, η μέγιστη ταχύτητα του ανέμου δεν είναι εκείνη της ριπής (που έχει



διάρκεια 1 sec), αλλά εκείνη με διάρκεια όση και το χρονικό βήμα καταγραφής των ανεμολογικών δεδομένων (στην περίπτωση μας 1 ώρα).

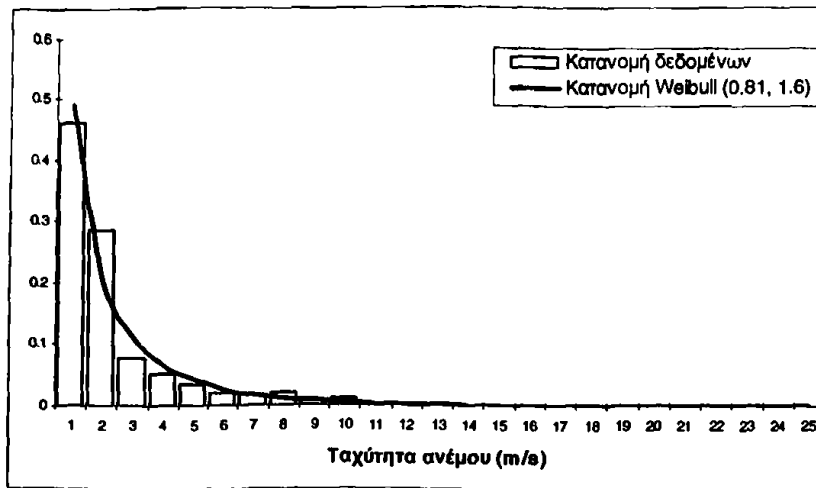


Σχήμα 3.5.10: Μέση και μέγιστη ταχύτητα ανέμου ανά διεύθυνση για την περιοχή (α) Κατσικά και (β) Ζίτσας για τον Μάρτιο 1998. Οι τιμές στην περίμετρο των εγγεγραμμένων κύκλων συμβολίζουν την ταχύτητα του ανέμου σε m/s.

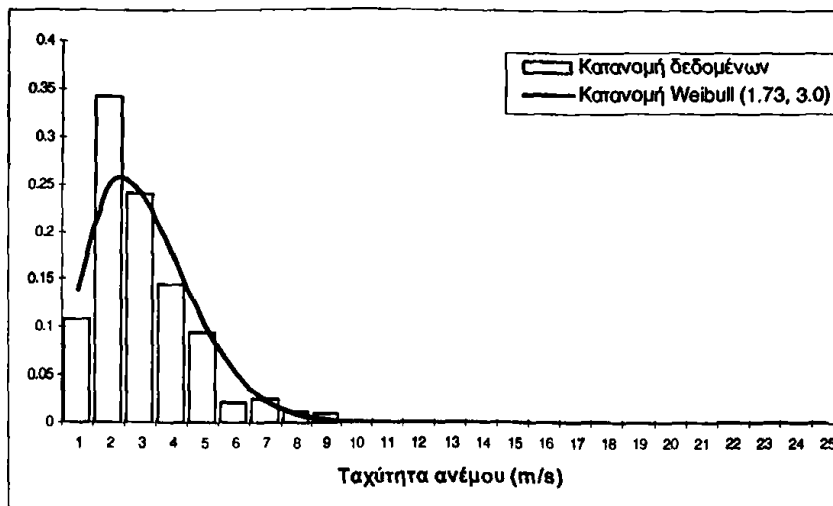
Στην περιοχή του Κατσικά τον Μάρτιο του 1998, οι ισχυρότεροι άνεμοι έπνεαν από ΒΒΑ έως ΒΑ διευθύνσεις, ενώ στην περιοχή της Ζίτσας από ΒΑ έως ΑΒΑ και από ΝΔ διευθύνσεις. Στην περιοχή του Κατσικά, οι τιμές της μέσης ταχύτητας του ανέμου είναι μικρότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες της περιοχής της Ζίτσας, ενώ αντίθετα οι μέγιστες ταχύτητες που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια του Μαρτίου, έχουν μεγαλύτερη τιμή στην περιοχή του Κατσικά. Αυτή η διαφορά, πιθανόν να οφείλεται στους καταβάτες ανέμους από το όρος Μιτσικέλι, των οποίων η παρουσία καταγράφεται στο σταθμό του Κατσικά.

Η πραγματική κατανομή των δεδομένων ανά ταχύτητα, μαζί με την κατανομή Weibull που την προσεγγίζει, παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.5.11. Για τον υπολογισμό των συντελεστών Weibull, ελήφθησαν υπ' όψη όλα τα δεδομένα ανεξαρτήτως διεύθυνσεως αέρα. Επίσης, ο πίνακας 3.5.1, εμφανίζει όλα τα δεδομένα ανά τομέα διεύθυνσης, με τους συντελεστές Weibull, το εκατοστιαίο ποσοστό των δεδομένων και τη μέση ταχύτητα.





(α)



(β)

Σχήμα 3.5.11: Κατανομή των ανεμολογικών δεδομένων ανά βήμα ταχύτητας. Στο σχήμα παρουσιάζονται η καμπύλη της κατανομής Weibull με τις αντίστοιχες παραμέτρους (k και c), για την περιοχή (α) Κατσικά και (β) Ζίτσας (Μάρτιος 1998).

Για την περιοχή του Κατσικά, η μεγαλύτερη αριθμητική τιμή της συχνότητας εμφάνισης παρατηρείται στην ΒΑ διεύθυνση, όπου εμφανίζονται οι μεγαλύτεροι από άποψης εντάσεως άνεμοι, με $u = 4,3$ m/s (μέτριοι στην κλίμακα Beaufort, Πίνακας 1). Ακολουθούν σε συχνότητα εμφάνισης οι άνεμοι ΝΔ και ΔΝΔ διευθύνσεων, αλλά με πολύ μικρή ταχύτητα ανέμου. Στην περιοχή της Ζίτσας, όσον αφορά τη συχνότητα εμφάνισης, ξεχωρίζουν οι άνεμοι ΒΒΔ διεύθυνσης, με μέση ταχύτητα $u = 1,9$ m/s (ασθενείς στην κλίμακα Beaufort) και οι ΑΒΑ διεύθυνσης που είναι οι ισχυρότεροι απ' όλες τις διευθύνσεις με $u = 4$ m/s (μέτριοι στην κλίμακα Beaufort). Επίσης, στον πίνακα 3.5.1, παρουσιάζονται οι παράμετροι της κατανομής Weibull ανά διεύθυνση.

Πίνακας 3.5.1: Κατανομή των ανεμολογικών δεδομένων ανά διεύθυνση για την περιοχή

(α) Κατσικά και (β) Ζίτσας (Μάρτιος 1998).

Διεύθυνση	Γωνία (°)	Weibull shape	Weibull scale	Κατανομή δεδομένων	Μέση ταχύτητα
BBA	11.25 - 33.75	2.4	2.1	5.1%	1.7
BA	33.75 - 56.25	1.6	4.9	22.7%	4.3
ABA	56.25 - 78.75	1.6	2.8	5.0%	2.5
A	78.75 - 101.25	1.7	1.7	2.0%	1.4
ANA	101.25 - 123.75	2.0	1.2	2.2%	0.9
NA	123.75 - 146.25	2.7	1.4	2.0%	1.1
NNA	146.25 - 168.75	1.9	1.4	4.7%	1.2
N	168.75 - 191.25	1.8	1.1	5.0%	1.0
NNA	191.25 - 213.75	0.0	0.0	5.0%	0.7
NA	213.75 - 236.25	1.2	0.6	13.0%	0.6
ANA	236.25 - 258.75	0.0	0.0	10.8%	0.6
A	258.75 - 281.25	1.3	0.8	8.6%	0.6
ABA	281.25 - 303.75	1.3	1.6	6.6%	1.5
BA	303.75 - 326.25	1.4	2.1	3.6%	1.8
BBA	326.25 - 348.75	0.0	0.0	0.5%	1.5
B	348.75 - 11.25	2.4	1.5	3.2%	1.2

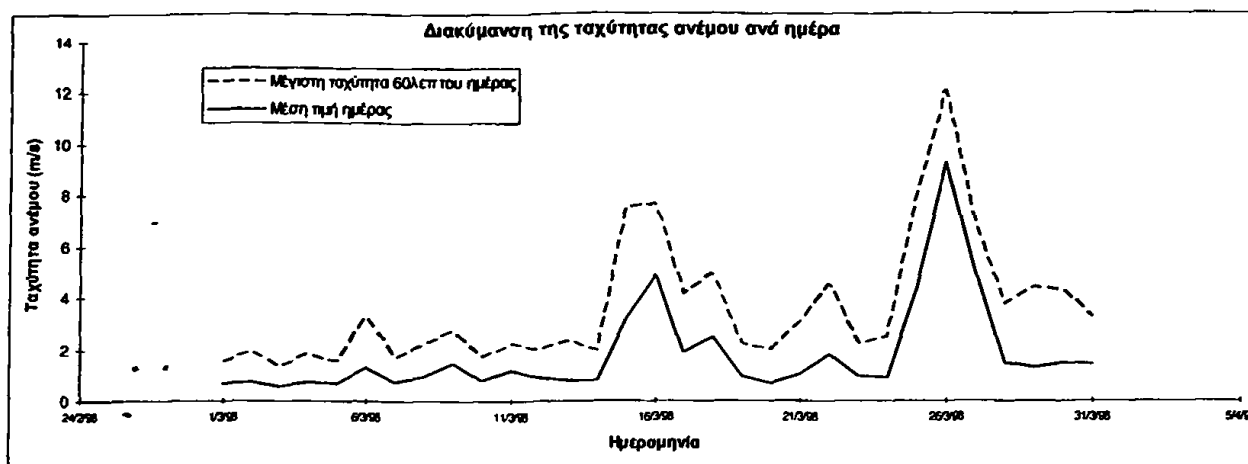
(α)

Διεύθυνση	Γωνία (°)	Weibull shape	Weibull scale	Κατανομή δεδομένων	Μέση ταχύτητα
BBA	11.25 - 33.75	2.1	2.1	5.9%	1.8
BA	33.75 - 56.25	1.5	2.4	6.3%	2.0
ABA	56.25 - 78.75	1.7	4.7	13.0%	4.0
A	78.75 - 101.25	1.2	2.5	5.0%	2.1
ANA	101.25 - 123.75	2.3	2.5	5.6%	2.2
NA	123.75 - 146.25	2.1	1.7	3.0%	1.5
NNA	146.25 - 168.75	2.4	1.8	3.1%	1.4
N	168.75 - 191.25	3.1	2.6	2.6%	2.2
NNA	191.25 - 213.75	2.5	3.4	4.7%	3.0
NA	213.75 - 236.25	3.1	3.9	8.1%	3.4
ANA	236.25 - 258.75	10.1	3.8	8.7%	3.6
A	258.75 - 281.25	2.0	2.2	3.8%	1.9
ABA	281.25 - 303.75	1.9	2.1	3.8%	1.8
BA	303.75 - 326.25	2.4	2.4	5.5%	2.1
BBA	326.25 - 348.75	2.8	2.3	11.6%	1.9
B	348.75 - 11.25	2.3	2.2	9.4%	1.9

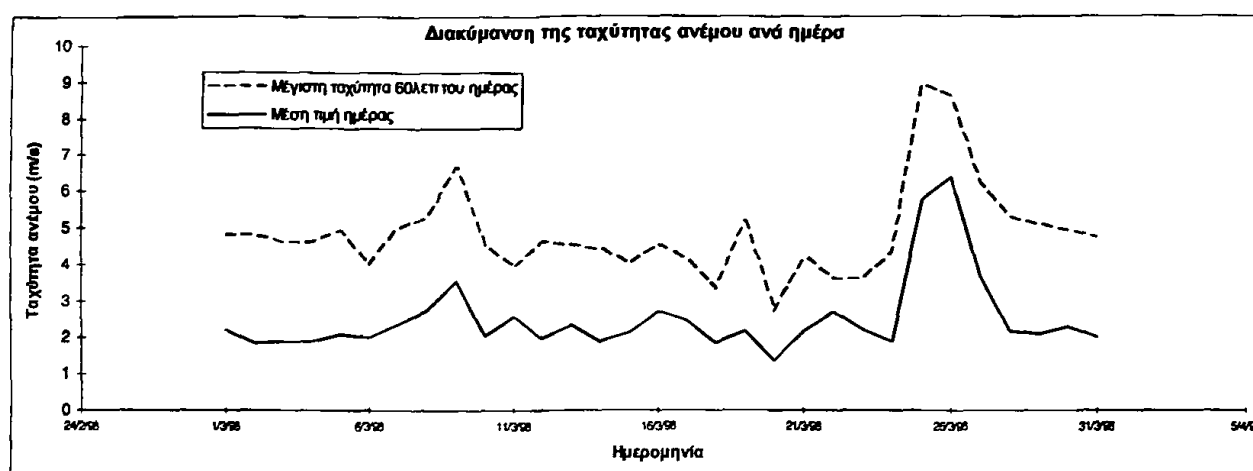
(β)

Στο Σχήμα 3.5.12, παρουσιάζεται η μέση ημερήσια τιμή της ταχύτητας του ανέμου. Στο ίδιο Σχήμα εμφανίζεται και η μέγιστη τιμή του χρονικού βήματος καταγραφής των ανεμολογικών δεδομένων κάθε ημέρας.





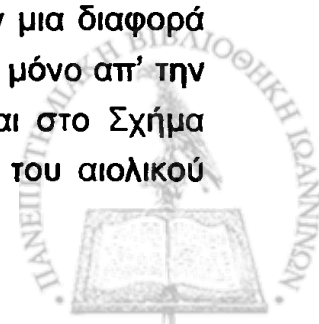
(α)



(β)

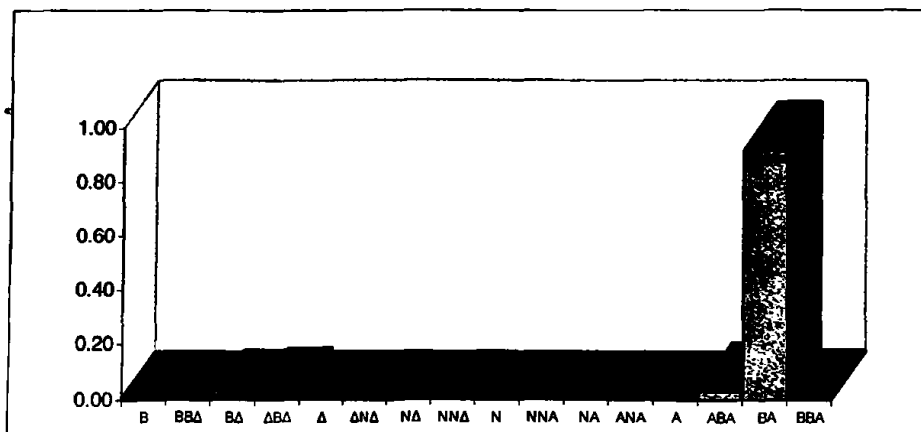
Σχήμα 3.5.12: Μέση ημερήσια μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου για την περιοχή (α) Κατσικά και (β) Ζίτσας τον Μάρτιο 1998.

Και στις δύο περιοχές οι μεγαλύτερες αριθμητικές μέσες ημερήσιες τιμές της ταχύτητας του ανέμου κατεγράφησαν στις 26/03/1998 που χαρακτηρίζεται ως η πλέον ανεμώδη ημέρα του μήνα. Υπάρχει όμως μια διαφορά όσον αφορά τις τιμές των μέγιστων ταχυτήτων. Στην περιοχή του Κατσικά, παρουσιάζονται δύο μέγιστα ταχύτητας ανέμου κατά τη διάρκεια του ανεμώδη μήνα. Το πρωτεύων μέγιστο εντοπίζεται την 26η Μαρτίου, ενώ το δευτερεύων την 16η Μαρτίου. Η περιοχή της Ζίτσας, παρουσιάζει και αυτή δύο μέγιστα, αλλά δεν συμφωνεί στις ημέρες. Το πρωτεύων μέγιστο εντοπίζεται την 25η Μαρτίου, ενώ το δευτερεύων την 9η Μαρτίου. Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα, φαίνεται ότι οι δύο περιοχές έχουν μια διαφορά φάσης στις εντάσεις των ανέμων. Αυτό το συμπέρασμα δεν προκύπτει μόνο απ' την θέση των μεγίστων, αλλά απ' τη συνολική εικόνα που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.5.12. Σ' αυτή την περίπτωση τονίζεται το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του αιολικού

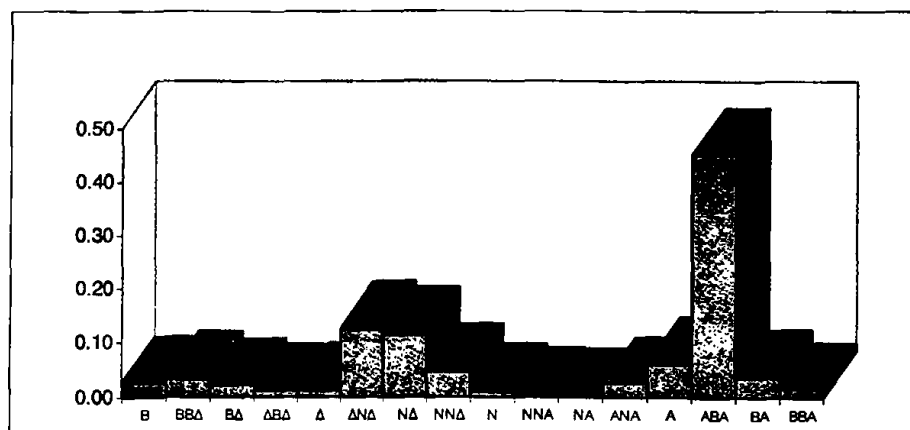


δυναμικού, που είναι η τοπικότητα. Οι δύο περιοχές απέχουν, σε ευθεία απόσταση, περίπου 25 Km και διαφέρουν σημαντικά όσον αφορά την τοπογραφία (Σχήματα 3.4.6 και 3.4.7).

Τα Σχήματα 3.5.13 και 3.5.14 παρουσιάζουν την κατανομή της συνολικής ενέργειας του ανέμου (όχι της ΑΓ) ανά διεύθυνση και ανά ταχύτητα, αντίστοιχα.



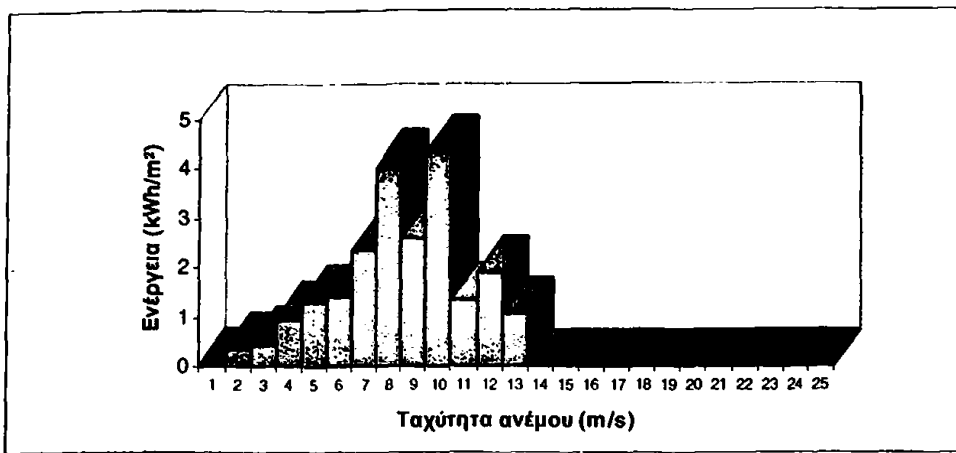
(α)



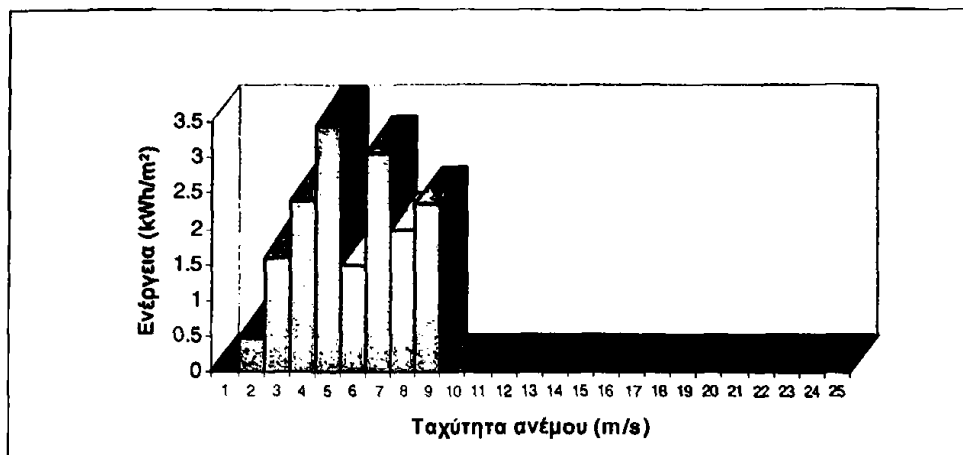
(β)

Σχήμα 3.5.13: Κατανομή της συνολικής ενέργειας του ανέμου ανά διεύθυνση για την περιοχή (α) Κατσικά και (β) Ζίτσας τον Μάρτιο 1998.





(α)

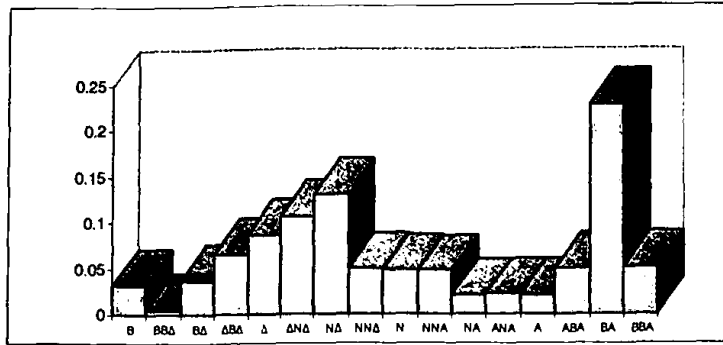


(β)

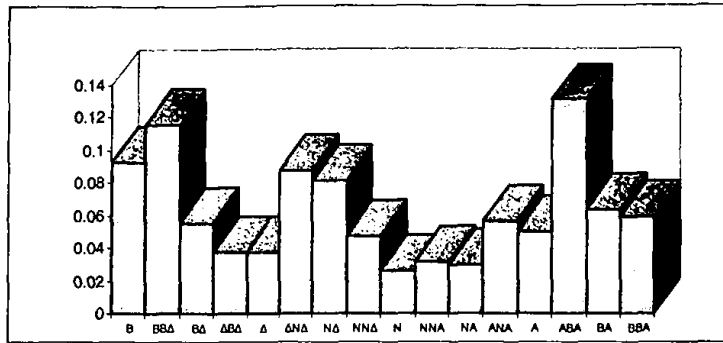
Σχήμα 3.5.14: Κατανομή της ενέργειας του ανέμου ανά βήμα ταχύτητας για την περιοχή (α) Κατσικά και (β) Ζίτσας τον Μάρτιο 1998.

Στον Κατσικά η διεύθυνση με την μεγαλύτερη τιμή ενέργειας είναι η ΒΑ και φαίνεται να διακρίνεται έναντι των υπόλοιπων διευθύνσεων. Αυτό δεν συμβαίνει στην περιοχή της Ζίτσας, όπου η ΑΒΑ διεύθυνση φαίνεται να επικρατεί, αλλά ακολουθούν οι ΔΝΔ, ΝΔ διευθύνσεις, που προσφέρουν σημαντικά ποσά ενέργειας. Στην περιοχή του Κατσικά, τα σημαντικότερα ποσά ενέργειας προέρχονται από μέτριους έως ισχυρούς ανέμους (5-6 Beaufort), ενώ στην περιοχή της Ζίτσας από μέτριους (4 Beaufort). Οι υψηλότερες τιμές ενέργειας ανέμου παρουσιάζονται στην περιοχή του Κατσικά (περίπου $4,5 \text{ kWh/m}^2$), αλλά μόνο σε μία διεύθυνση (ΒΑ). Ενώ, η περιοχή της Ζίτσας μπορεί να παρουσιάζει μεν, μικρότερα ποσά ενέργειας (μέγιστη τιμή $3,5 \text{ kWh/m}^2$) αλλά εντοπίζονται σε περισσότερες διευθύνσεις (Σχήμα 3.5.13).

Στα Σχήματα 3.5.15 και 3.5.16, παρουσιάζεται η χρονική κατανομή του ανέμου (συχνότητα εμφάνισης) ανά διεύθυνση και ταχύτητα.

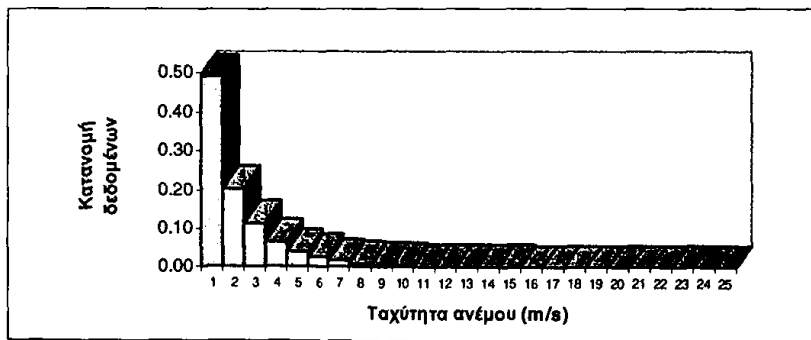


(α)

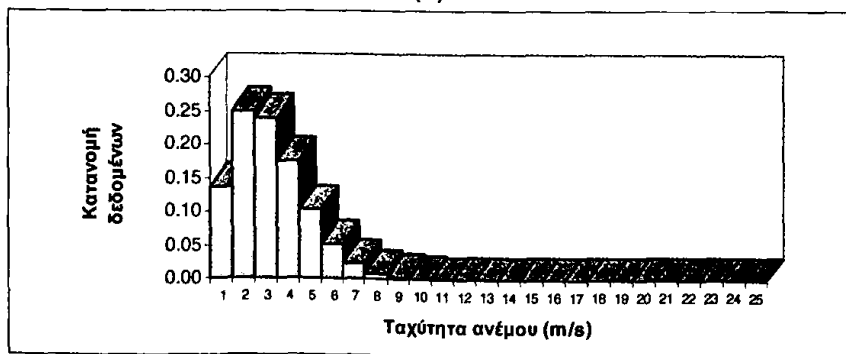


(β)

Σχήμα 3.5.15: Χρονική κατανομή του ανέμου ανά διεύθυνση για την περιοχή (α) Κατσικά και (β) Ζίτσας (Μάρτιος 1998).



(α)



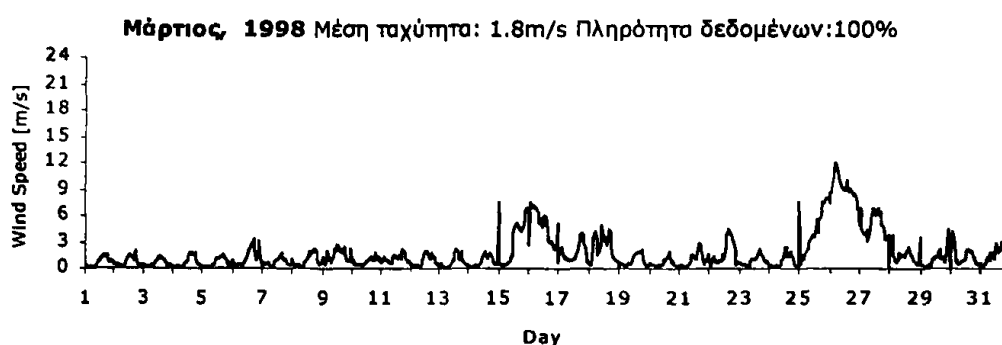
(β)

Σχήμα 3.5.16: Χρονική κατανομή του ανέμου ανά βήμα ταχύτητας για την περιοχή του (α) Κατσικά και (β) Ζίτσας τον Μάρτιο 1998.

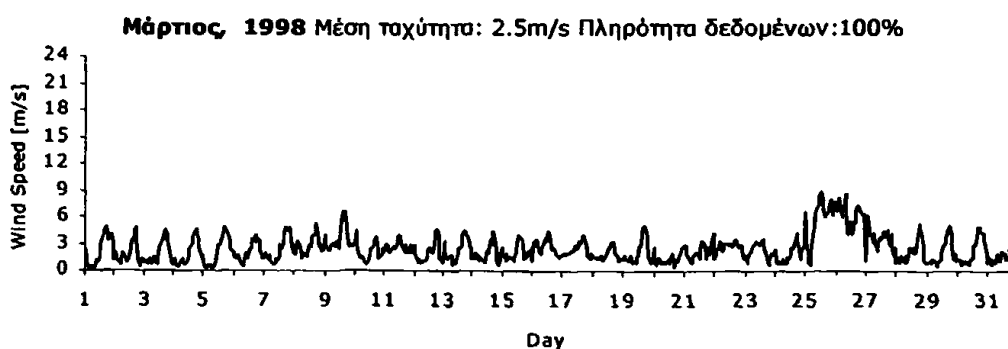


Όπως διακρίνεται στα Σχήματα 3.5.16α, β, ο άνεμος για την περιοχή του Κατσικά κατά τη διάρκεια του εξεταζόμενου μήνα, επί το πλείστον ήταν υποπνέων (1 Beaufort) και με συχνότερη διεύθυνση την ΒΑ, ενώ στην περιοχή της Ζίτσας ήταν ασθενής (2 Beaufort), μεταβλητών διευθύνσεων (κυρίως ΑΒΑ και ΒΒΔ διευθύνσεων).

Η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου ανά ώρα, για όλες τις ημέρες του μήνα, παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.5.17, το οποίο διαφέρει από το Σχήμα 3.5.12, αφού εδώ υπεισέρχεται κι ο παράγοντας της ωριαίας τιμής. Δεν εμφανίζεται καμιά ουσιαστική μεταβολή σε σχέση με το Σχήμα 3.5.12, απλώς στο κοινό μέγιστο που παρουσιάζεται την 26η Μαρτίου για τις δύο περιοχές, η περιοχή του Κατσικά λαμβάνει μια ωριαία τιμή 12 m/s (ισχυρός άνεμος, 6 Beaufort), που είναι σαφώς μικρότερη από την ωριαία τιμή της περιοχή της Ζίτσας, που είναι 9 m/s (μέτριος άνεμος, 5 Beaufort).



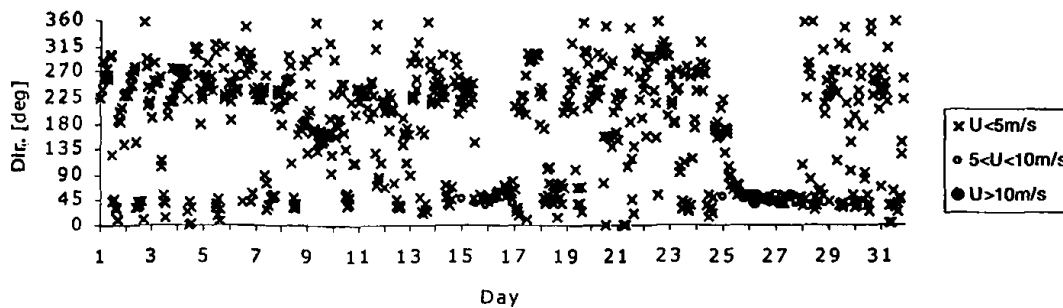
(α)



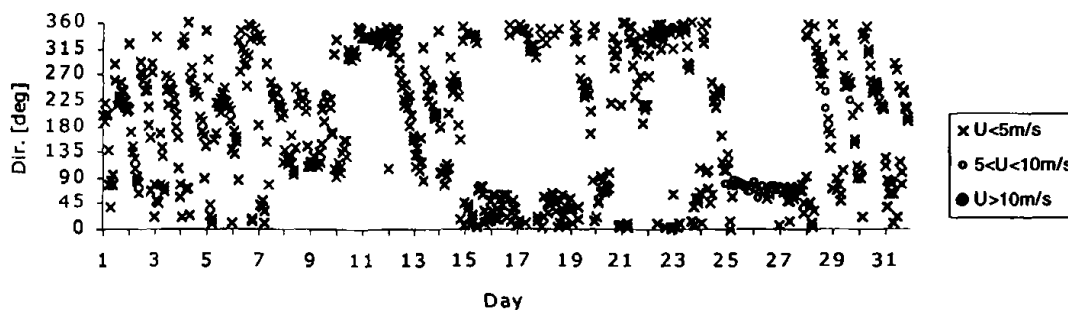
(β)

Σχήμα 3.5.17: Μεταβολή της μέσης ωριαίας ταχύτητας του ανέμου κατά τη διάρκεια του ανεμώδη μήνα για την περιοχή Κατσικά (πάνω) και Ζίτσας (κάτω) (Μάρτιος 1998).

Στο Σχήμα 3.5.18, παρουσιάζεται η μέση ωριαία διεύθυνση του ανέμου για τον μήνα Μάρτιο 1998. Η ταχύτητα του ανέμου χωρίζεται σε τρία διαστήματα (0-5, 5-10, >10 m/s) κι η απεικόνιση των τάξεων γίνεται με τρία διαφορετικά σύμβολα (Σχήμα 3.5.18).



(α)



(β)

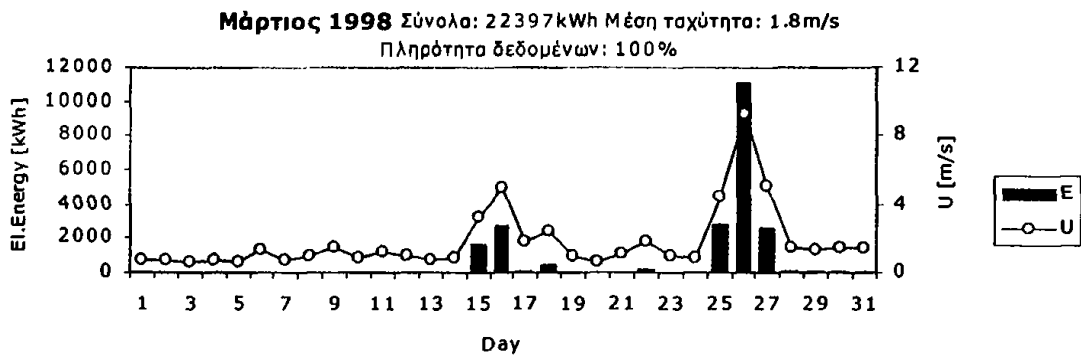
Σχήμα 3.5.18: Μεταβολή της μέσης ωριαίας διεύθυνσης κατά τη διάρκεια του πλέον ανεμώδους μήνα (Μάρτιος 1998) για τρία διαστήματα της ταχύτητας του ανέμου στην περιοχή (α) Κατσικά και (β) Ζίτσας.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το Σχήμα 3.5.18 είναι χρήσιμα, καθότι περιέχουν τις σημαντικότερες ανεμολογικές πληροφορίες: της μέσης ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου. Διακρίνεται η διασπορά των ανεμολογικών παραμέτρων για τις δύο περιοχές. Ιδιαίτερα για τις 26/03/1998, όπου εντοπίστηκαν και οι μέγιστες τιμές ταχύτητας του ανέμου στην περιοχή του Κατσικά, οι ισχυρότεροι άνεμοι είναι ΒΑ διευθύνσεων, ενώ στη Ζίτσα ΑΒΑ. Στην αλλαγή της διεύθυνσης σημαντικό ρόλο παίζει η τοπογραφία κάθε περιοχής. Τις υπόλοιπες ημέρες του μήνα, οι άνεμοι είναι ποικίλων διευθύνσεων, με τις ταχύτητες του ανέμου να ανήκουν κυρίως στο πρώτο διάστημα ($u < 5$ m/s).

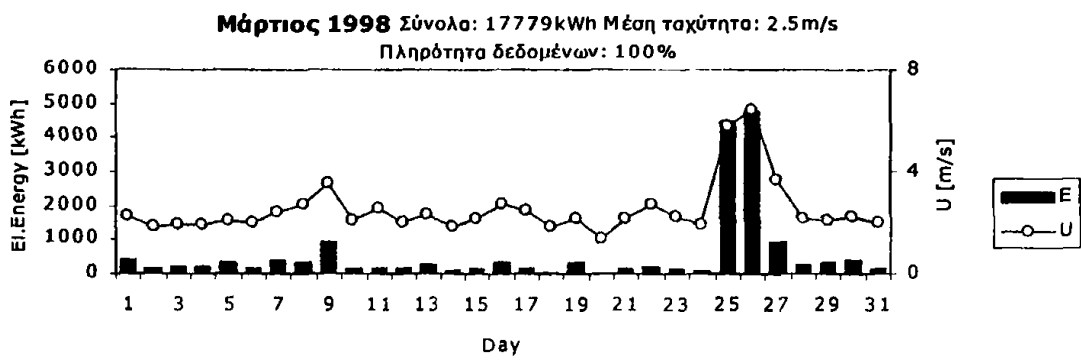


Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η ωριαία αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας της Α/Γ που έχει επιλεγεί, για όλες τις ημέρες του μήνα (Σχήμα 3.5.19). Η Α/Γ που επιλέχθηκε είναι η NEG-Micon 600/48, 600 kW, η οποία αντιπροσωπεύει τις Α/Γ της τωρινής αιολικής τεχνολογίας (Πηγή: Danish Wind Turbine Manufacturers Association).

Στο ίδιο Σχήμα εμφανίζεται κι η μεταβολή της ημερήσιας μέσης ταχύτητας του ανέμου. Παρόλο που η περιοχή της Ζίτσας παρουσιάζει αυξημένη μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου ($u = 2,5 \text{ m/s}$) κατά τη διάρκεια του ανεμώδη μήνα, η παραγωγή ενέργειας από την Α/Γ (~ 18 kWh) είναι χαμηλότερη σε σχέση με την περιοχή του Κατσικά (~ 22 kWh). Η διαφορά αυτή οφείλεται στην ανεμώδη ημέρα του μήνα (26/03/1998). Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.5.19, στην περιοχή του Κατσικά οι άνεμοι εκείνη την ημέρα ήταν ισχυρότεροι, με αποτέλεσμα να αποδώσουν και μεγαλύτερη ενέργεια στην Α/Γ. Συγκεκριμένα την ανεμώδη ημέρα (26/03/98), η Α/Γ στην περιοχή του Κατσικά δεσμεύει 11.212 kWh, δηλαδή σχεδόν την μισή ενέργεια ολόκληρου του μήνα (22.397 kWh), ενώ στην περιοχή της Ζίτσας δεσμεύονται 4.804 kWh, όταν η συνολική ενέργεια του μηνός είναι 17.779 kWh. Επίσης, στην περιοχή της Ζίτσας, η Α/Γ αποδίδει ενέργεια σε καθημερινή σχεδόν βάση, σε αντίθεση με την περιοχή του Κατσικά που αποδίδει ενέργεια ορισμένες ημέρες του μήνα.

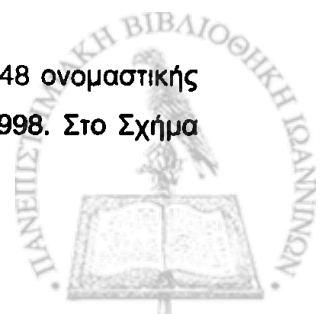


(α)

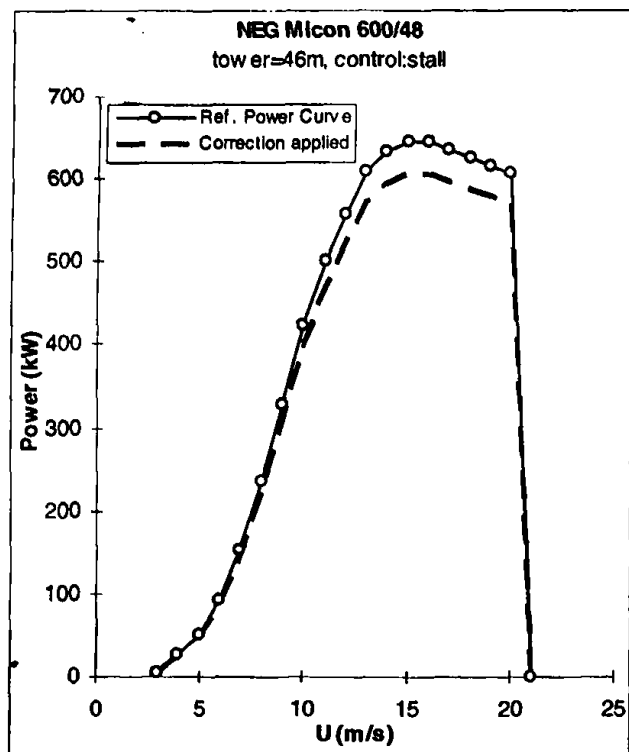


(β)

Σχήμα 3.5.19: Η παραγόμενη ωριαία ενέργεια της ανεμογεννήτριας NEG-Micon 600/48 ονομαστικής ισχύος 600 kW, ανά ημέρα για την περιοχή (α) Κατσικά και (β) Ζίτσας τον Μάρτιο 1998. Στο Σχήμα απεικονίζεται και η χρονοσειρά της ταχύτητας του ανέμου.



Η καμπύλη ισχύος της Α/Γ NEG-Micon 600/48 (600 kW) που χρησιμοποιήθηκε για τους παραπάνω υπολογισμούς, παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.5.20. Το πρόγραμμα «Windrose» υπολογίζει επιπλέον και την καμπύλη ισχύος της Α/Γ, λαμβάνοντας υπ' όψη τη μεταβολή της πυκνότητας του αέρα λόγω του υψομέτρου που βρίσκεται ο σταθμός (διακεκομμένη γραμμή στο Σχήμα 3.5.20). Όπως φαίνεται και από το Σχήμα, η μέγιστη ισχύς της Α/Γ υποβιβάζεται (περίπου κατά 45 kW) εξαιτίας της μείωσης της πυκνότητας του αέρα.



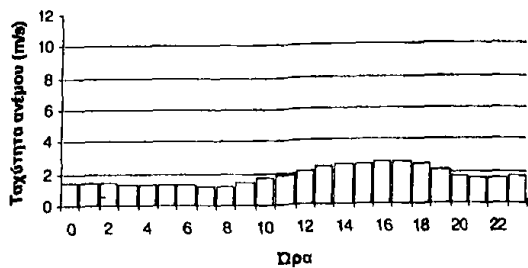
(α)

NEG Micon 600/48	
tower (m):	46
diameter(m):	48
control:	stall
U (m/s)	Power (kW)
3	5
4	26
5	52
6	93
7	153
8	235
9	329
10	424
11	500
12	557
13	607
14	631
15	645
16	645
17	635
18	625
19	615
20	605
21	0

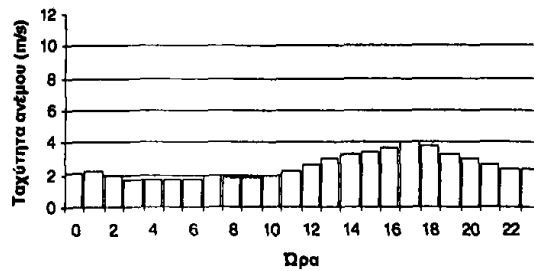
(β)

Σχήμα 3.5.20: (α) Καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας NEG-Micon 600/48 (600 kW), με την ανηγμένη καμπύλη ισχύος λόγω μεταβολής της πυκνότητας του αέρα και (β) ο αντίστοιχος πίνακας.

Στο Σχήμα 3.5.21, παρουσιάζεται η ωριαία μεταβολή της ταχύτητας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Για τη δημιουργία των ραβδογραμμάτων του σχήματος, λαμβάνονται υπ' όψη όλα τα δεδομένα, ανεξαρτήτως διεύθυνσεως ανέμου.



(α)



(β)

Σχήμα 3.5.21: Μεταβολή της μέσης ταχύτητας ανά ώρα κατά τη διάρκεια της ημέρας, για την περιοχή (α) Κατσικά και (β) Ζίτσας τον Μάρτιο 1998.

Κι οι δύο περιοχές, παρουσιάζουν μέγιστη ένταση ανέμου τις απογευματινές ώρες και συγκεκριμένα την 17:00 τοπική ώρα. Οι παρατηρήσεις αυτές βρίσκονται σε πλήρη συμφωνία με το Σχήμα 3.3.6. Η περιοχή της Ζίτσας, παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές της ταχύτητας του ανέμου σε σχέση με την περιοχή του Κατσικά. Αυτό οφείλεται στην τοπογραφία της περιοχής που ευνοεί τέτοιες ταχύτητες του ανέμου την συγκεκριμένη ώρα της ημέρας.

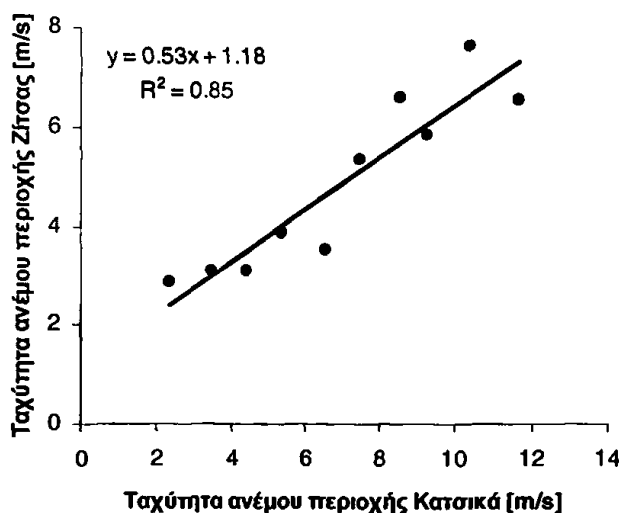
Μία από τις εφαρμογές του προγράμματος «Windrose» είναι και ο υπολογισμός των παραμέτρων συσχέτισης. Σύμφωνα με το πρόγραμμα, η περιοχή με το μεγαλύτερο πλήθος μετρήσεων, χαρακτηρίζεται ως περιοχή αναφοράς. Στην περίπτωση των περιοχών Ζίτσας και Κατσικά, το πλήθος των δεδομένων είναι το ίδιο. Για αυτό το λόγο, οι παράμετροι συσχέτισης υπολογίστηκαν δύο φορές: την πρώτη έχοντας ως περιοχή αναφοράς την περιοχή του Κατσικά και τη δεύτερη την περιοχή της Ζίτσας.

Έχοντας ως περιοχή αναφοράς τον Κατσικά, υπολογίζεται για κάθε διάστημα ταχύτητας ο συντελεστής συσχέτισης (correlation coef.), ο συντελεστής παλινδρόμησης (regression coef.: R^2) κι οι συντελεστές γραμμικής παρεμβολής (slope, offset). Τιμές του συντελεστή συσχέτισης κοντά στη μονάδα δείχνουν μεταβολές σε φάση, ενώ τιμές κοντά στο μηδέν δείχνουν ασυσχέτιστες μεταβολές. Επίσης, τιμές του συντελεστή παλινδρόμησης κοντά στη μονάδα, δείχνουν ότι το «νέφος» των μετρήσεων προσομοιάζεται καλά από την ευθεία της γραμμικής παρεμβολής. Τα αποτελέσματα, παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5.2.

Πίνακας 3.5.2: Πίνακας συσχέτισης ταυτόχρονων μετρήσεων με περιοχή αναφοράς τον Κατσικά.

Διάστημα ταχύτητας Περιοχής Κατσικά [m/s]	Αριθμός ωριαίων μετρήσεων	Μέση τιμή Περιοχής Κατσικά [m/s]	Μέση τιμή Περιοχής Ζίτσας [m/s]	Συντελεστής Συσχέτισης	Πολλαπλής	Σταθερός όρος [m/s]	R2
0 - 1	342	0.47	1.68	0.36	1.62	0.91	0.13
1 - 2	213	1.37	2.79	0.24	1.05	1.35	0.06
2 - 3	58	2.34	2.88	0.04	0.18	2.46	0.00
3 - 4	39	3.45	3.10	0.12	0.79	0.38	0.01
4 - 5	25	4.41	3.09	0.07	0.42	1.23	0.00
5 - 6	15	5.42	3.85	0.25	1.37	-3.60	0.06
6 - 7	14	6.55	3.52	0.23	0.76	-1.45	0.05
7 - 8	16	7.49	5.33	0.51	3.43	-20.37	0.26
8 - 9	7	8.54	6.56	-0.25	-1.30	17.62	0.06
9 - 10	9	9.28	5.83	-0.13	-0.50	10.43	0.02
10 - 11	2	10.40	7.60	-1.00	-3.33	42.27	1.00
11 - 12	2	11.65	6.55	-1.00	-2.60	36.84	1.00

Σύμφωνα με τις τιμές του Πίνακα 3.5.2, ο μεγαλύτερος συντελεστής συσχέτισης παρατηρείται στο διάστημα ταχυτήτων ανέμου 7-8 m/s και είναι 0,51. Αυτή η τιμή αντιπροσωπεύει μια ενδιάμεση κατάσταση στις ταυτόχρονες μεταβολές. Στις υψηλές ταχύτητες του ανέμου (10-12 m/s), οι μεταβολές για τις δύο περιοχές φαίνεται να είναι πλήρως ασυσχέτιστες. Βέβαια, στο συμπέρασμα αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ο μικρός αριθμός των ωριαίων μετρήσεων (μόλις δύο). Σύμφωνα με τις τιμές των συντελεστών γραμμικής παρεμβολής (πολλαπλασιαστής a, σταθερός όρος b της γραμμικής εξίσωσης) του Πίνακα 3.5.2, σχεδιάζεται το Σχήμα 3.5.22, για όλες τις διευθύνσεις.



Σχήμα 3.5.22: Αντιστοιχία των ταχυτήτων των δύο περιοχών για όλες τις διευθύνσεις με περιοχή αναφοράς τον Κατσικά (Μάρτιος 1998).



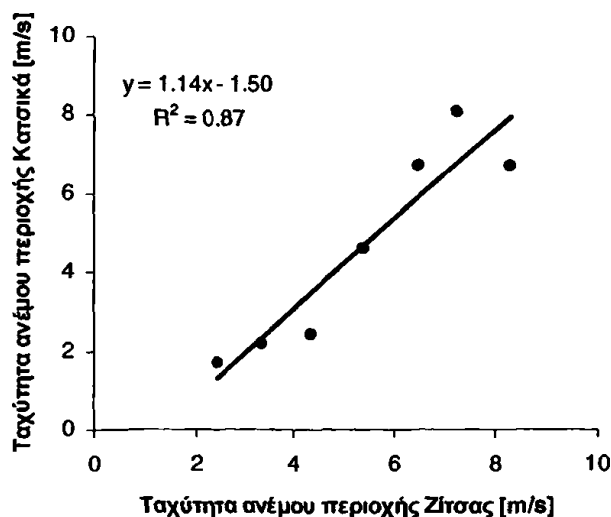
Όπως διακρίνεται στο Σχήμα 3.5.22, ο συντελεστής παλινδρόμησης για όλες τις διευθύνσεις λαμβάνει την τιμή $R^2 = 0,85$. Αυτή η τιμή είναι κοντά στην μονάδα, πράγμα που σημαίνει ότι το «νέφος» των μετρήσεων προσομοιάζεται ικανοποιητικά από την ευθεία της γραμμικής παρεμβολής, με κλίση $a = 0,53$ και τεταγμένη επί την αρχή $b = 1,18$ m/s.

Η ίδια διαδικασία εφαρμόστηκε θεωρώντας ως περιοχή αναφοράς την περιοχή της Ζίτσας (Πίνακας 3.5.3).

Πίνακας 3.5.3: Πίνακας συσχέτισης ταυτόχρονων μετρήσεων με περιοχή αναφοράς την Ζίτσα.

Διάστημα ταχύτητας Περιοχής Ζίτσας [m/s]	Αριθμός ωριαίων μετρήσεων	Μέση τιμή Περιοχής Ζίτσας [m/s]	Μέση τιμή Περιοχής Κατσικά [m/s]	Συντελεστής Συσχέτισης	Πολλαπλός	Σταθερός όρος [m/s]	R2
0 - 1	81	0.68	0.52	0.19	0.55	0.15	0.04
1 - 2	254	1.43	1.01	0.19	0.70	0.00	0.03
2 - 3	178	2.46	1.70	0.00	0.02	1.65	0.00
3 - 4	108	3.34	2.16	0.19	1.24	-1.99	0.03
4 - 5	71	4.36	2.41	-0.15	-1.13	7.35	0.02
5 - 6	16	5.42	4.58	0.59	7.26	-34.76	0.35
6 - 7	19	6.50	6.71	-0.06	-0.58	10.45	0.00
7 - 8	9	7.23	8.08	0.03	0.35	5.53	0.00
8 - 9	7	8.30	6.73	-0.31	-2.43	26.92	0.10

Ο συντελεστής συσχέτισης λαμβάνει πολύ μικρές τιμές, εκτός από το διάστημα των ταχυτήτων 5-6 m/s, όπου η τιμή του συντελεστή συσχέτισης είναι 0,59. Το ίδιο συμβαίνει και με τον συντελεστή παλινδρόμησης που λαμβάνει την τιμή 0,35. Σύμφωνα με τις τιμές των συντελεστών γραμμικής παρεμβολής (πολλαπλασιαστής a και σταθερός όρος b), σχεδιάστηκε το Σχήμα 3.5.23.



Σχήμα 3.5.23: Αντιστοιχία των ταχυτήτων των δύο περιοχών για όλες τις διευθύνσεις με περιοχή αναφοράς τη Ζίτσα (Μάρτιος 1998).

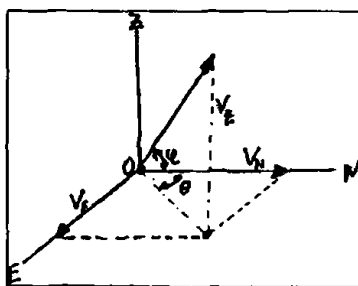


Ο συντελεστής παλινδρόμησης για όλες τις διευθύνσεις λαμβάνει την τιμή $R^2 = 0,87$. Αυτή η τιμή είναι κοντά στην μονάδα, πράγμα που σημαίνει ότι το «νέφος» των μετρήσεων προσομοιάζεται ικανοποιητικά από την ευθεία της γραμμικής παρεμβολής, με κλίση $a = 1,14$ και τεταγμένη επί την αρχή $b = - 1,50$ m/s. Ο συντελεστής παλινδρόμησης λαμβάνει μεγαλύτερη τιμή, από την περίπτωση που θεωρήθηκε ως περιοχή αναφοράς η περιοχή του Κατσικά.

Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από τη συσχέτιση των δύο περιοχών, είναι ότι επιλέγοντας ως περιοχή αναφοράς τον Κατσικά, ο συντελεστής συσχέτισης λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές. Αυτό στην ουσία σημαίνει ότι, η περιοχή της Ζίτσας ακολουθεί στις μεταβολές του ανέμου την περιοχή του Κατσικά, μόνο όμως για την περίπτωση του ανεμώδη μήνα (Μάρτιος 1998), όπου ελήφθησαν τα δεδομένα. Επιπλέον, όταν η περιοχή της Ζίτσας χαρακτηριστεί ως περιοχή αναφοράς, παρουσιάζει ένα μικρό πλεονέκτημα, στο να χαρακτηρίζεται ικανοποιητικότερα από την γραμμική παρεμβολή. Κι αυτό γιατί ο συντελεστής παλινδρόμησης έχει ελαφρώς μεγαλύτερη τιμή.

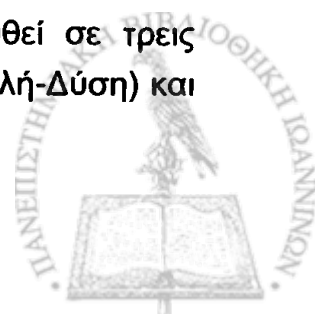
3.5.2 Υπολογισμός της σταθερότητας του ανέμου

Σε αντίθεση με τα άλλα βαθμωτά μετεωρολογικά μεγέθη (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία κ.λπ.), ο άνεμος είναι ανυσματικό μέγεθος (μέτρο και διεύθυνση). Το άνυσμα της ταχύτητας του ανέμου αναλύεται σε τρεις επιμέρους συνιστώσες (u , v και w). Οι οριζόντιοι άξονες του τρισσορθογωνίου συστήματος ταυτίζονται με την διεύθυνση Βορρά-Νότου και Ανατολής-Δύσης, ενώ ο τρίτος άξονας είναι η κατακόρυφος του τόπου (Σχήμα 3.5.24).



Σχήμα 3.5.24: Διανυσματική ανάλυση της ταχύτητας του ανέμου.

Επομένως κάθε περίπτωση ροής του ανέμου, μπορεί να αναλυθεί σε τρεις συνιστώσες, κατά μήκος των αξόνων N-S (Βορράς-Νότος), E-W (Ανατολή-Δύση) και Z (κατακόρυφος του τόπου):



$$V_N = V \cos \phi \cdot \cos \theta, \quad V_E = V \cos \phi \cdot \sin \theta \quad \text{και} \quad V_Z = V \sin \phi \quad (3.5.1)$$

όπου V η ταχύτητα του ανέμου, ϕ η γωνία που σχηματίζει με την κατακόρυφο του τόπου και θ η διεύθυνση του οριζοντα απ' όπου πνέει ο άνεμος (Μπλούτσος 1984).

Αρκετά συχνά ενδιαφερόμαστε για τον οριζόντιο άνεμο (συνιστώσες στο επίπεδο ΝΟΕ), οπότε οι παραπάνω σχέσεις γίνονται:

$$V_N = V \cos \theta \quad \text{και} \quad V_E = V \sin \theta \quad (3.5.2)$$

Σαν μέση ταχύτητα του ανέμου, σε δύο διαστάσεις, θεωρείται η τιμή της παράστασης:

$$\bar{V}_R = \frac{1}{N} \left\{ \left(\sum_{i=1}^N V_{N,i} \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^N V_{E,i} \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (3.5.3)$$

με γωνία διεύθυνσης, από τον βορρά, την

$$\alpha = \text{τοξεφ} \left(\sum V_E / \sum V_N \right) \quad (3.5.4)$$

Στην περίπτωση του ανέμου σε 3 διαστάσεις, το μέτρο της μέσης ταχύτητας είναι:

$$V_R = \frac{1}{N} \left\{ \left(\sum V_{N,i} \right)^2 + \left(\sum V_{E,i} \right)^2 + \left(\sum V_{Z,i} \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (3.5.5)$$

με γωνία διεύθυνσης από τον βορρά την α (3.5.4) και ως προς την κατακόρυφο την γωνία β , που δίνεται από την σχέση:

$$\beta = \text{τοξεφ} \left(\left(\sum V_{Z,i} \right) / \sqrt{\left(\sum V_{N,i} \right)^2 + \left(\sum V_{E,i} \right)^2} \right) \quad (3.5.6)$$

Κατ' αντιστοιχία, η τυπική διανυσματική απόκλιση, σ_r δίνεται από την σχέση:

$$\sigma_r = \left\{ \frac{\sum V_i^2}{N} - (\bar{V}_R)^2 \right\}^{1/2} \quad (3.5.7)$$

Εκτός όμως των διανυσματικών μεγεθών V_R και σ_r , ορίζονται και τα αντίστοιχα αριθμητικά \bar{V} και σ , που βρίσκονται θεωρώντας μόνο την ταχύτητα του ανέμου.

Το εκατονταπλάσιο του λόγου της μέσης διανυσματικής ταχύτητας, V_R ως προς την μέση αριθμητική V ορίζει ένα νέο μέγεθος, Q , που ονομάζεται σταθερότητα του ανέμου.



Στην υποθετική περίπτωση, όπου η πνοή του ανέμου είναι πάντα από την ίδια διεύθυνση, τότε $\bar{V}_R = \bar{V}$ και $Q = 100$, ενώ στην υποθετική, πάντα, περίπτωση κατά την οποία πνοή ανέμου μέτρου V και διεύθυνσης θ , ακολουθεί πνοή ανέμου ίσης ταχύτητας αλλά αντιθέτου διεύθυνσης, τότε $V_R = 0$ και $Q = 0$. Έτσι, λοιπόν:

$$Q = 100 \cdot \frac{V_R}{V} \quad (3.5.8)$$

Σύμφωνα με τις παραπάνω εξισώσεις, υπολογίστηκαν οι παράμετροι για τον προσδιορισμό της σταθερότητας του ανέμου μόνο για τον ανεμώδη μήνα Μάρτιο του 1998, για τις δύο περιοχές. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών, παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5.4.

Πίνακας 3.5.4: Χαρακτηριστικές παράμετροι της σταθερότητας του ανέμου, τον μήνα Μάρτιο 1998, στις περιοχές Κατσικά και Ζίτσας.

Παράμετροι	Περιοχή	
	Κατσικά	Ζίτσα
V_N	0,7	0,2
V_E	0,6	0,0
σ_N	1,7	1,8
σ_E	1,9	2,4
V_R	0,9	0,3
α	42	10
σ_r	2,59	2,94
V_{mean}	1,8	2,5
σ	2,10	1,56
Q (%)	52	10

Στην περιοχή του Κατσικά κατά τη διάρκεια του ανεμώδη μήνα (Μάρτιος 1998), οι άνεμοι πνέουν από περίπου ΒΑ διεύθυνση (42°) με μέση διανυσματική ταχύτητα 0,9 m/s, έχοντας ένα ποσοστό σταθερότητας 52%. Ενώ, για την περιοχή της Ζίτσας, οι άνεμοι πνέουν ως επί το πλείστον από περίπου Β διεύθυνση (10°), με μέση διανυσματική ταχύτητα 0,3 m/s κι έχουν ένα ποσοστό σταθερότητας 10%. Στην περιοχή του Κατσικά, το υψηλό ποσοστό σταθερότητας οφείλεται στο γεγονός ότι οι άνεμοι ΒΑ διεύθυνσης τον ανεμώδη μήνα, λαμβάνουν έναν ποσοστό εμφάνισης 22,8% ως προς τη συχνότητα εμφάνισης και 91,8% ως προς την ενέργεια (Σχήμα 3.5.4). Ενώ, στην περιοχή της Ζίτσας, τα ποσοστά της συχνότητας εμφάνισης ανά τομέα διεύθυνσης περίπου ισοκατανέμονται, με αποτέλεσμα η σταθερότητα του ανέμου σε μία διεύθυνση να εμφανίζεται με χαμηλότερο ποσοστό.



3.6 Οικονομική μελέτη

Ο χρόνος λειτουργίας μιας εγκατεστημένης στην ξηρά ανεμογεννήτριας, είναι περίπου είκοσι χρόνια και μπορεί να αυξηθεί αρκετά με μερική αντικατάσταση κάποιων βασικών εξαρτημάτων (π.χ. αντικατάσταση της έλικας ή της γεννήτριας με επιπλέον κόστος περίπου 20%-25% της Α/Γ). Οι εγκατεστημένες στην ακτή Α/Γ, παρά την επικάθιση αλάτων έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής: η επίπεδη επιφάνεια της θάλασσας περιορίζει τους στροβιλισμούς κι έτσι οι καταπονήσεις από τον άνεμο στην Α/Γ είναι μικρότερες. Το μέγεθος των πιο συνηθισμένων Α/Γ που πωλούνται τα τελευταία χρόνια παγκοσμίως, είναι της τάξης των 600-750 kW, με τάση για πιο μεγάλες Α/Γ.

Το κόστος μιας Α/Γ περιλαμβάνει το αρχικό κόστος απόκτησης, την εγκατάσταση, την λειτουργία και την συντήρηση. Τα έξοδα από την λειτουργία της επένδυσης διαχωρίζονται σε σταθερά και μεταβλητά κόστη. Τα σταθερά κόστη μπορεί να προέρχονται από: λειτουργικές δαπάνες, διοικητικά έξοδα, ενοίκιο οικοπέδου, φωτισμός ασφαλείας, συστήματα προστασίας και σήμανσης, συστήματα ελέγχου της Α/Γ, εκκίνηση της Α/Γ. Τα μεταβλητά κόστη οφείλονται κυρίως σε: ανταποδοτικά τέλη προς την τοπική αυτοδιοίκηση και τμήμα του κόστους συντήρησης (Καλδέλλης 1999). Επίσης, για την εγκατάσταση μιας Α/Γ ίσως χρειάζονται κάποια έργα υποδομής, όπως: δημιουργία κατάλληλου χώρου για την εγκατάσταση της Α/Γ, κανάλια όδευσης καλωδίων, πιθανή οδοποιία πρόσβασης στην Α/Γ και μετασχηματιστές μέσης τάσης, για τη σύνδεση της Α/Γ στο δίκτυο ενέργειας της Δ.Ε.Η..

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, εκπονήθηκε οικονομική μελέτη για τις δύο περιοχές όπου ελήφθησαν τα ανεμολογικά δεδομένα (Κατσικά και Ζίτσα), αλλά και για την περιοχή κοντά στην κορυφή του όρους Μιτσικέλι ($\varphi = 39^\circ 42' 54''$ N, $\lambda = 20^\circ 54' 24''$ E, $z = 1.600$ m), όπου εντοπίστηκε η μεγαλύτερη μέση ταχύτητα ανέμου της ευρύτερης περιοχής του λεκανοπεδίου των Ιωαννίνων, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προγράμματος «WASP». Αρχικά, έγιναν υπολογισμοί του αρχικού κόστους εγκατάστασης της Α/Γ, υπολογίσθηκε το κόστος της επιλεγόμενης Α/Γ ανά kW και βάσει αυτών, προσδιορίσθηκε η απαιτούμενη χρηματοδότηση για την εκκίνηση του έργου εγκατάστασης της Α/Γ σε κάθε περιοχή.

Για την περιοχή του Κατσικά, σύμφωνα με το πρόγραμμα «WASP», οι τρεις επιλεγόμενες Α/Γ: Nordex N29, NEG-Micon 600-48 και Vestas V63 υπολογίσθηκε ότι παράγουν ετησίως ενέργεια ίση με: 23.815 kWh, 62.295 kWh και 92.647 kWh, αντίστοιχα. Σύμφωνα με την καμπύλη ισχύος κάθε Α/Γ (Σχήμα 3.4.22), η μέγιστη ισχύς τους είναι: 271 kW, 645 kW και 1500 kW, αντίστοιχα. Με δεδομένο ότι η ετήσια διαθεσιμότητα της Α/Γ από μηχανικής πλευράς είναι 95% και επιπλέον το ποσοστό απορρόφησης από τη ΔΕΗ είναι γύρω στο 93% (90% ο συντελεστής διείσδυσης και



3% οι απώλειες μεταφοράς), η καθαρή παραγόμενη ενέργεια από κάθε Α/Γ ελαττώνεται σε σχέση με την αρχικά υπολογιζόμενη (Τζουβελέκας και Δολαφάκη 2005). Οι υπολογισμοί για την παραγόμενη ενέργεια ανά Α/Γ παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.6.1.

Πίνακας 3.6.1: Ετήσια ποσά ενέργειας για κάθε επιλεγόμενη Α/Γ στην περιοχή Κατσικά.

	Nordex N29	NEG-Micon 600-48	Vestas V63
Παραγόμενη ετήσια ενέργεια (kWh)	23.815	62.295	92.647
Ισχύς Α/Γ (kW)	271	645	1500
Καθαρή παραγόμενη ετήσια ενέργεια (kWh)	21.041	55.038	81.854

Στη συνέχεια υπολογίζεται το αρχικό κόστος για την εγκατάσταση κάθε Α/Γ. Τα αρχικά κόστη είναι: η αγορά της Α/Γ, των πυλώνων, η μεταφορά της με γερανό ή φορτηγό στην περιοχή εγκατάστασης, τα ασφάλιστρα, ο γενικός και ειδικός ηλεκτρολογικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός, τα έργα του πολιτικού μηχανικού, τα οικοδομικά έργα, η σύνδεση με το δίκτυο της Δ.Ε.Η. (υπολογίζεται ότι για τη σύνδεση, απαιτείται το ποσό των 40 € ανά μέτρο), μελέτες για την αποτύπωση του αιολικού δυναμικού, μελέτες για την τοπογραφία κ.α. και έξοδα λόγω απρόβλεπτων καταστάσεων. Για την περιοχή του Κατσικά η απόσταση της θέσης εγκατάστασης από το δίκτυο της Δ.Ε.Η. υπολογίστηκε γύρω στα 100 m. Αφού εκτιμηθούν τα παραπάνω ποσά, υπολογίζεται το ειδικό κόστος κάθε Α/Γ ανά kW. Το ειδικό κόστος, είναι ο λόγος του αρχικού κόστους κάθε Α/Γ προς τη μέγιστη ισχύ της. Αυτό το ποσό, ουσιαστικά δείχνει το μέγεθος για την αρχική οικονομική επένδυση εγκατάστασης μιας Α/Γ. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τις τρεις Α/Γ παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.6.2.

Πίνακας 3.6.2: Αρχικό κόστος (σε €) για κάθε Α/Γ στην περιοχή Κατσικά.

	Nordex N29	NEG-Micon 600-48	Vestas V63
Αγορά Α/Γ, πυλώνων κ.λπ.	193.207	459.847	1.069.412
Μεταφορά και ασφάλιστρα που συμπεριλαμβάνονται στην αγορά	6.500	9.000	20.000
Γενικός και Ειδικός Ηλεκτρολ. & Ηλεκτρονικός Εξοπλισμός	200.000	200.000	200.000
Έργα Πολιτικού Μηχανικού - Οικοδομικά έργα	190.000	190.000	190.000
Σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ (100 m)	4.000	4.000	4.000
Μελέτες	75.000	75.000	75.000
Απρόβλεπτα	5.000	5.000	5.000
Σύνολο (€)	673.707	942.847	1.563.412
Ειδικό κόστος/kW (€/kW)	2.486	1.462	1.042



Σύμφωνα με τις τιμές του Πίνακα 3.6.2, η αγορά μιας Α/Γ 250 kW (Nordex N29) θα στοιχίσει 2.486 €/kW, ενώ για Α/Γ μεγαλύτερης ισχύος το ειδικό κόστος μειώνεται. Συγκεκριμένα, για την Α/Γ των 1.500 kW (Vestas V63) το ειδικό κόστος εκτιμάται περίπου στα 1.042 €/kW. Το αρχικό κόστος κάθε Α/Γ αυξάνεται ανάλογα με το μέγεθος της Α/Γ, αφού αυξάνονται τα έξοδα για την αγορά της και την μεταφορά της, επειδή τα μέρη της είναι μεγαλύτερα. Η αρχική επένδυση λοιπόν για την εγκατάσταση της Α/Γ στην περιοχή Κατσικά, κυμαίνεται από 637.707 € έως 1.563.412 €, ανάλογα με την ονομαστική ισχύ της επιλεγόμενης Α/Γ.

Όμοια διαδικασία ακολουθείται και για την περιοχή της Ζίτσας, όπου έχουν επιλεγεί οι ίδιες Α/Γ. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την παραγόμενη ενέργεια ανά Α/Γ παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.6.3.

Πίνακας 3.6.3: Ετήσια ποσά ενέργειας για κάθε επιλεγόμενη Α/Γ στην περιοχή Ζίτσας.

	Nordex N29	NEG-Micon 600-48	Vestas V63
Παραγόμενη ετήσια ενέργεια (kWh)	102.174	262.809	399.092
Ισχύς Α/Γ (kW)	271	645	1500
Καθαρή παραγόμενη ετήσια ενέργεια (kWh)	90.271	232.192	352.598

Στη συνέχεια, στον Πίνακα 3.6.4, παρουσιάζονται τα αρχικά κόστη για την εγκατάσταση της Α/Γ.

Πίνακας 3.6.4: Αρχικό κόστος (σε €) για κάθε Α/Γ στην περιοχή Ζίτσας.

	Nordex N29	NEG-Micon 600-48	Vestas V63
Αγορά Α/Γ, πυλώνων κ.τ.λ.	193.207	459.847	1.069.412
Μεταφορά και ασφάλιστρα που συμπεριλαμβάνονται στην αγορά	6.500	9.000	20.000
Γενικός και Ειδικός Ηλεκτρολ. & Ηλεκτρονικός Εξοπλισμός	200.000	200.000	200.000
Έργα Πολιτικού Μηχανικού - Οικοδομικά έργα	190.000	190.000	190.000
Σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ (200 m)	8.000	8.000	8.000
Μελέτες	75.000	75.000	75.000
Απρόβλεπτα	5.000	5.000	5.000
Σύνολο (€)	677.707	946.847	1.567.412
Ειδικό κόστος/kW (€/kW)	2.501	1.468	1.045



Σύμφωνα με τις τιμές του Πίνακα 3.6.4, η αγορά μιας Α/Γ 250 kW (Nordex N29) θα στοιχίσει 2.501 €/kW, ενώ σε μεγαλύτερες Α/Γ το ειδικό κόστος μειώνεται. Για παράδειγμα, η Α/Γ των 1.500 kW (Vestas V63) κοστίζει περίπου 1.045 €/kW. Η αρχική επένδυση για την εγκατάσταση της Α/Γ στην περιοχή της Ζίτσας, κυμαίνεται από 677.707 € έως 1.567.412 €, ανάλογα με την ονομαστική ισχύ της επιλεγόμενης Α/Γ.

Συγκρίνοντας τους Πίνακες 3.6.1 και 3.6.3, παρατηρείται πως η περιοχή της Ζίτσας αποδίδει μεγαλύτερα ποσά ενέργειας σε σχέση με την περιοχή του Κατσικά, σε όλες τις επιλεγόμενες Α/Γ. Τα αναμενόμενα ποσά ενέργειας μπορούν να καλύψουν ενεργειακές ανάγκες ενός αριθμού κατοίκων, για παράδειγμα μιας μικρής κοινότητας, σε διάφορες μορφές χρήσης της παραγόμενης ενέργειας όπως οικιακή, βιομηχανική, φωτισμό οδοποιίας πόλεων (Φ.Ο.Π.), κ.α..

Η κατανάλωση ενέργειας ανά κάτοικο και κατά χρήση για το Νομό Ιωαννίνων, για τη χρονική περίοδο 1997-2002, παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.6.5.

Πίνακας 3.6.5: Μέση κατανάλωση ενέργειας (σε kWh) στη χαμηλή τάση ανά πελάτη και κατά χρήση, για τη χρονική περίοδο 1997-2002, στο Νομό Ιωαννίνων (Πηγή: Στατιστικά Στοιχεία Δ.Ε.Η.).

Οικιακή	Βιομηχ/κή	Εμπορική	Γεωργική	Φ.Ο.Π.	Δημόσια	Σύνολο Χαμηλής Τάσης
1997						
1.873	9.100	3.678	19.147	6.853	5.456	2.617
1998						
2.015	9.418	4.819	21.074	12.431	7.487	3.064
1999						
2.114	11.182	5.308	8.997	12.527	9.793	3.205
2000						
2.141	10.771	5.900	6.171	6.592	11.316	3.169
2001						
2.159	11.000	6.121	6.245	6.789	11.454	3.228
2002						
2.269	11.386	6.322	6.626	7.093	11.456	3.366

Για την περιοχή της Ζίτσας, η ενέργεια που αποδίδεται από μια Α/Γ πρόσφατης τεχνολογίας 600 kW (NEG-Micon 600/48, ενέργεια περίπου 232.192 kWh το έτος), το έτος 2002 θα μπορούσε να καλύψει τις οικιακές ενεργειακές ανάγκες μιας κοινότητας περίπου 100 ατόμων, το μερικό φωτισμό της οδοποιίας της κοινότητας, καθώς επίσης την εξασφάλιση των ενεργειακών αναγκών περίπου 35 αγροτών, σε μια περιοχή όπου η κατανάλωση της ενέργειας για γεωργικές ανάγκες είναι σημαντική (π.χ. καλλιέργειες σε αμπελώνες).

Αντίθετα η περιοχή του Κατσικά, αποδίδει ελάχιστα ποσά ενέργειας. Αξιοσημείωτο είναι πως η ίδια Α/Γ (600 kW) αποδίδει 55.038 kWh το έτος, δηλαδή σχεδόν



υποτετραπλάσια ενέργεια σε σχέση με την περιοχή της Ζίτσας. Η ενεργειακή κάλυψη με τέτοια ποσά ενέργειας είναι ελάχιστη έως ασήμαντη.

Για την περιοχή της Ζίτσας, όπου οι τιμές του αιολικού δυναμικού επιτρέπουν τη δυνατότητα κάλυψης μικρών ενεργειακών αναγκών, εξετάστηκε κι η περίπτωση εγκατάστασης μιας Α/Γ μικρής ονομαστικής ισχύος και συγκεκριμένα της Whisper 175 (3 kW). Το αρχικό κόστος για την εγκατάσταση της συγκεκριμένης Α/Γ, είναι ελάχιστο συγκριτικά με τα οικονομικά μεγέθη του Πίνακα 3.6.4 και περιορίζεται μόνο στην αγορά της, δεδομένου ότι δεν απαιτεί έξοδα για τη μεταφορά της (έχει μάζα μόλις 70 kg), μηδενικά έξοδα για μελέτες και έργα πολιτικού μηχανικού, μπορεί δε να τοποθετηθεί σε τaráτσες σπιτιών και να συνδεθεί απευθείας στη χαμηλή τάση του δικτύου της Δ.Ε.Η.. Η τιμή της Whisper 175 (3 kW) είναι 11.421 € (Πηγή: «Ανεμολόγια»).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προγράμματος «WAsP», προκύπτει ότι η συγκεκριμένη Α/Γ τοποθετημένη σε ύψος 10 m από την επιφάνεια του εδάφους στη θέση του αγρομετεωρολογικού σταθμού της Ζίτσας, παράγει ετησίως 1.151 kWh, ενώ τοποθετημένη σε ύψος 50 m, παράγει περίπου 2.423 kWh. Σύμφωνα με τις τιμές του Πίνακα 3.6.5, τα παραγόμενα ποσά ενέργειας από τη Whisper 175 θα μπορούσαν να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες ενός νοικοκυριού (2.269 kWh το έτος 2002) και ένα ποσοστό των γεωργικών ενεργειακών αναγκών, αποφεύγοντας την οικονομική επιβάρυνση από την αγορά Α/Γ μεγαλύτερης ονομαστικής ισχύος (Πίνακας 3.6.6).

Πίνακας 3.6.6: Ετήσια ποσά ενέργειας και κόστος αγοράς της Whisper 175 (3 kW) για την περιοχή της Ζίτσας (Πηγή: Bitterrootsolar).

Whisper 175	Ύψος πλήμνης δρομέα 10 m	Ύψος πλήμνης δρομέα 50 m
Κόστος αγοράς (σε €)	11.421	
Ισχύς Α/Γ (σε kW)	3,3	3,3
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (σε kWh)	1.151	2.423

Εκτός όμως από τα ποσά ενέργειας που αποδίδουν οι Α/Γ και τα ποσοστά κάλυψης των ενεργειακών αναγκών, θα πρέπει να εξεταστεί εάν συμφέρει η εγκατάσταση των Α/Γ (με ονομαστική ισχύ: 250 kW, 600 kW και 1.500 kW) από οικονομικής απόψεως. Συγκρίνοντας τις τιμές του Πίνακα 3.6.4, με αυτές του Πίνακα 3.6.2, συμπεραίνεται ότι τα αρχικά κόστη είναι περίπου τα ίδια, με μόνη διαφορά 4.000 € που αφορά την σύνδεση της Α/Γ με το δίκτυο της Δ.Ε.Η.. Όπως παρατηρήθηκε από επίσκεψη στις υπό μελέτη περιοχές, η απόσταση της θέσης



εγκατάστασης της Α/Γ με το δίκτυο, είναι μεγαλύτερη στην περιοχή της Ζίτσας σε σχέση με την περιοχή του Κατσικά κατά 100 m περίπου.

Αφού τα αρχικά κόστη και στις δύο περιοχές παρουσιάζουν μικρή διαφορά, το επόμενο βήμα είναι να υπολογιστούν τα κέρδη που θα αποφέρει σε κάθε περιοχή η πώληση της παραγόμενης ενέργειας στη Δ.Ε.Η.. Η τιμή πώλησης μη εγγυημένης μονάδας ενέργειας, ανέρχεται σε 0,075 €/kWh (Τζουβελέκας και Δολαψάκη 2005). Με βάση αυτή την τιμή πώλησης, τα ετήσια έσοδα για τις δύο περιοχές υπολογίζονται από το γινόμενο της καθαρής παραγόμενης ενέργειας επί την τιμή πώλησης της μονάδας ενέργειας. Λαμβάνοντας υπό όψη ότι η Α/Γ θα λειτουργήσει για περίπου 20 χρόνια, υπολογίζεται και το συνολικό κέρδος στα χρόνια λειτουργίας της. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.6.7.

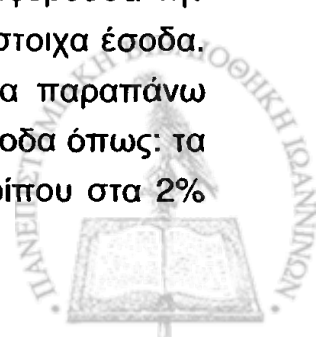
Πίνακας 3.6.7: Έσοδα (σε €) από την πώληση της παραγόμενης ενέργειας κάθε Α/Γ στη Δ.Ε.Η., για τις περιοχές Κατσικά και Ζίτσας.

<i>Περιοχή Κατσικά</i>			
	Nordex N29	NEG-Micon 600-48	Vestas V63
Ετήσια κέρδη (€)	1.578,04	4.127,82	6.139,02
Συνολικά κέρδη (€)	31.560,80	82.556,40	122.780,40
<i>Περιοχή Ζίτσας</i>			
	Nordex N29	NEG-Micon 600-48	Vestas V63
Ετήσια κέρδη (€)	6.770,30	17.414,38	26.444,83
Συνολικά κέρδη (€)	135.406,00	348.287,60	528.896,60

Σύμφωνα με τα ποσά του Πίνακα 3.6.7, η περιοχή της Ζίτσας αναμένεται να αποφέρει περισσότερα έσοδα από την τιμή πώλησης της παραγόμενης ενέργειας και μάλιστα με μεγάλη διαφορά (τετραπλάσια έσοδα). Η διαφορά οφείλεται στη μεγαλύτερη καθαρή παραγόμενη ενέργεια από τη λειτουργία Α/Γ στην περιοχή της Ζίτσας, σε σχέση με εκείνη της περιοχής του Κατσικά.

Η τελική διαδικασία είναι ο υπολογισμός των ετησίων εξόδων για την εγκατάσταση της Α/Γ στις δύο περιοχές. Τα ετήσια έξοδα υπολογίζονται γύρω στα 2,5-3,5% του αρχικού κόστους εγκατάστασης (Καρβούνης 1993). Επομένως για την περιοχή του Κατσικά, τα ετήσια έξοδα κυμαίνονται από 20.211 έως 46.902 € και για την περιοχή της Ζίτσας από 20.331 έως 47.022 €, αναλόγως του μεγέθους της επιλεγόμενης Α/Γ.

Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι, τα ποσά της ενέργειας που παράγονται από τις Α/Γ στις υπό μελέτη περιοχές, δεν καθιστούν οικονομικά συμφέρουσα την εγκατάσταση Α/Γ, αφού τα ετήσια έξοδα ξεπερνούν κατά πολύ τα αντίστοιχα έσοδα. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί, πως τα ετήσια έξοδα υπερβαίνουν τα παραπάνω ποσά, αφού στους παραπάνω υπολογισμούς δεν έχουν υπολογιστεί έξοδα όπως: τα ανταποδοτικά τέλη προς την τοπική αυτοδιοίκηση (υπολογίζονται περίπου στα 2%



των ακαθάριστων εσόδων), οι αποσβέσεις, οι φόροι κι η ετήσια δόση δανείου που λαμβάνεται για την επένδυση (Καλδέλλης 1999).

Η παραγόμενη ενέργεια από τις Α/Γ καθώς επίσης και η καθαρή παραγόμενη ενέργεια στην περιοχή κοντά στην κορυφή του όρους Μιτσικέλι ($\varphi = 39^\circ 42' 54''$ N, $\lambda = 20^\circ 54' 24''$ E, $z = 1.600$ m), όπου παρατηρήθηκε η μέγιστη μέση ταχύτητα του ανέμου ($\bar{u} = 3,23$ m/s στα 10 m, από την επιφάνεια του εδάφους) της ευρύτερης περιοχής των Ιωαννίνων, παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.6.8.

Πίνακας 3.6.8: Ετήσια ποσά ενέργειας για κάθε επιλεγόμενη Α/Γ στην περιοχή πλησίον της κορυφής του όρους Μιτσικέλι.

	Nordex N29	NEG-Micon 600-48	Vestas V63
Παραγόμενη ετήσια ενέργεια (kWh)	207.388	526.744	979.367
Ισχύς Α/Γ (kW)	271	645	1500
Καθαρή παραγόμενη ετήσια ενέργεια (kWh)	183.227	465.378	865.271

Η συγκεκριμένη περιοχή αποδίδει μεγάλα ποσά ενέργειας σε σχέση με τις δύο άλλες περιοχές (Κατσικά και Ζίτσα). Όμως, το αρχικό κόστος επένδυσης για την ενδεχόμενη εγκατάσταση Α/Γ, παρουσιάζει υψηλές τιμές, αφενός λόγω των πολλών εξόδων για τη χάραξη δρόμων (εκεί όπου το επιτρέπει η τοπογραφία της περιοχής), εξόδων μεταφοράς, σύνδεσης με το δίκτυο της Δ.Ε.Η. και αφετέρου λόγω των εξόδων συντήρησης της Α/Γ, σε τέτοιο υψόμετρο. Τα έσοδα που θα μπορούσαν να υπάρξουν, παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.6.9.

Πίνακας 3.6.9: Έσοδα (σε €) από την πώληση της παραγόμενης ενέργειας κάθε Α/Γ για την περιοχή κοντά στην κορυφή του όρους Μιτσικέλι του Νομού Ιωαννίνων.

<i>Περιοχή πλησίον της κορυφής του όρους Μιτσικέλι</i>			
	Nordex N29	NEG-Micon 600-48	Vestas V63
Ετήσια κέρδη (€)	13.742,05	34.903,37	64.895,31
Συνολικά κέρδη (€)	274.840,95	698.067,49	1.297.906,12

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την οικονομική μελέτη, είναι πως η περιοχή του Κατσικά δεν αποδίδει σημαντικά ποσά ενέργειας, με συνέπεια να μην καλύπτει ούτε τις ελάχιστες ενεργειακές ανάγκες. Η περιοχή της Ζίτσας, αποδίδει μεγαλύτερα ποσά ενέργειας, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περιορισμένες χρήσεις που απαιτούν μικρή κατανάλωση ενέργειας, όπως γεωργικές εφαρμογές και οικιακές χρήσεις, χρησιμοποιώντας Α/Γ μικρότερης ονομαστικής ισχύος (Whisper 175, 3 kW), που το οικονομικό μέγεθος των εξόδων είναι πολύ μικρότερο από αυτό των υπολοίπων Α/Γ μεγαλύτερης ονομαστικής ισχύος (250, 600



και 1.500 kW). Και στις δύο περιοχές, η εγκατάσταση των Α/Γ ονομαστικής ισχύος 250, 600 και 1.500 kW, καθίσταται ασύμφορη από οικονομικής απόψεως αφού τα έσοδα από την πώληση της ενέργειας, είναι κατά τάξεις μεγέθους μικρότερα από τα ετήσια έξοδα. Τέλος, για την περιοχή κοντά στην κορυφή του όρους Μιτσικέλι, η ενέργεια που μπορούν να αποδώσουν οι επιλεγόμενες Α/Γ είναι μεγαλύτερη από τις άλλες δύο υπό μελέτη περιοχές, αλλά η εκμετάλλευσή της καθίσταται δύσκολη, εξαιτίας του μεγάλου κόστους επένδυσης (χάραξη δρόμων, σύνδεση με το δίκτυο της Δ.Ε.Η.) συγκριτικά με το ενδεχόμενο κέρδος που προκύπτει από την εκμετάλλευση του τοπικού αιολικού δυναμικού.



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

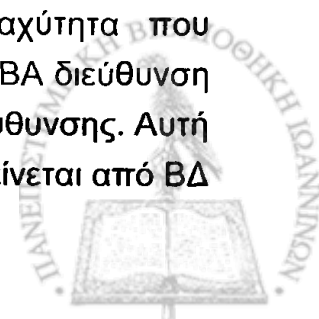


ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, επεξεργαστήκαμε τα ωριαία ανεμολογικά δεδομένα της χρονικής περιόδου 1998-2002 από δύο αυτόματους μετεωρολογικούς σταθμούς, στις περιοχές του Κατσικά και της Ζίτσας και τα τρίωρα ανεμολογικά δεδομένα της χρονικής περιόδου 1999-2001 από τους συνοπτικούς μετεωρολογικούς σταθμούς της Ε.Μ.Υ. στο αεροδρόμιο των Ιωαννίνων και την πόλη της Κόνιτσας. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία αυτή και στις τέσσερις περιοχές είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για την περιγραφή της κλιματολογίας του ανέμου σε περιοχές του Νομού Ιωαννίνων.

Από την ανά έτος επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων, διαπιστώθηκε πως το έτος με την υψηλότερη μέση τιμή ταχύτητας ανέμου για την περιοχή του Κατσικά ήταν το 1998, ενώ για την περιοχή της Ζίτσας το 2001. Οι υψηλότερες ταχύτητες που κατεγράφησαν ήταν: 12,10 m/s και 11,60 m/s, αντίστοιχα. Η περιοχή της Ζίτσας, κατά την περίοδο 1998-2002, εμφανίζει τις μεγαλύτερες μέσες τιμές ταχύτητας του ανέμου, σε σχέση με την περιοχή του Κατσικά. Για την περιοχή του Κατσικά, το μεγαλύτερο ποσοστό ανέμων προέρχεται από ΒΒΑ, ΒΑ διευθύνσεις, όπου εντοπίζονται και οι μεγαλύτερες μέσες τιμές ταχύτητας ανά διεύθυνση και ακολουθούν οι ΝΔ, όπου πνέουν ασθενείς άνεμοι. Το ποσοστό των νηνεμιών (ταχύτητες μικρότερες από το κατώφλι λειτουργίας του ανεμομέτρου $u = 0,2 \text{ m/s}$) για το ανεμώδες έτος 1998 πλησιάζει το 20%. Στην περιοχή της Ζίτσας, το μεγαλύτερο ποσοστό ανέμων προέρχεται κυρίως από ΝΔ διευθύνσεις και ακολουθούν οι Α και ΑΒΑ. Οι μεγαλύτερες μέσες τιμές ταχυτήτων είναι ΝΔ, ΔΝΔ διευθύνσεων, ενώ το ποσοστό νηνεμίας είναι μικρότερο συγκριτικά με την περιοχή του Κατσικά. Για την περιοχή του αεροδρομίου Ιωαννίνων, οι ισχυρότεροι άνεμοι πνέουν από ΒΒΑ έως ΒΑ διευθύνσεις (συχνότητα εμφάνισης 2%), ενώ οι άνεμοι με το μεγαλύτερο ποσοστό εμφάνισης είναι Δ διευθύνσεως, με σχετικά μικρότερη ένταση. Στην περιοχή της Κόνιτσας οι άνεμοι Δ διευθύνσεως εμφανίζονται συχνότερα, ενώ η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι σχεδόν η ίδια για όλες τις διευθύνσεις, με ελαφρώς αυξημένη ένταση στους ανέμους του πρώτου και δευτέρου τομέα (ΑΒΑ, Α και ΑΝΑ).

Συμπερασματικά, οι τιμές των μέσων ταχυτήτων του ανέμου και στις τέσσερις εξεταζόμενες περιοχές, είναι μικρές κατά μέσο όρο (μικρότερες από 2,5 m/s). Οι διευθύνσεις των επικρατούντων ανέμων στις περιοχές του λεκανοπεδίου των Ιωαννίνων (Κατσικά και αεροδρόμιο) όπου πνέουν και οι ισχυρότεροι άνεμοι είναι από ΒΒΑ έως ΒΑ διευθύνσεις. Συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη ταχύτητα που καταγράφηκε στον Κατσικά ήταν 12,10 m/s (6 Beaufort) και άνηκε στη ΒΑ διεύθυνση και στην περιοχή του αεροδρομίου 15,50 m/s (7 Beaufort) της ίδιας διεύθυνσης. Αυτή η διεύθυνση συναντά κάθετα το όρος Μιτσικέλι (1.810 m), το οποίο εκτείνεται από ΒΔ

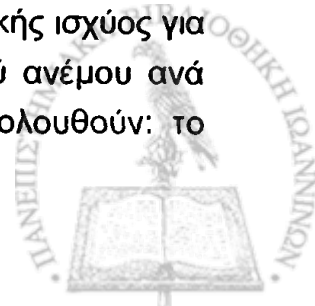


προς ΝΑ. Έτσι, οι άνεμοι ΒΒΑ, ΒΑ διεύθυνσης είναι καταβάτες άνεμοι και εμφανίζουν, συγκριτικά με τις άλλες διευθύνσεις, μεγαλύτερη ταχύτητα.

Στη συνέχεια, έγινε επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων ανά μήνα. Διαπιστώθηκε πως ο μήνας με τη μεγαλύτερη μέση μηνιαία ταχύτητα του ανέμου, για την περίοδο 1998-2002 στις περιοχές της Ζίτσας και του Κατσικά, είναι ο Μάρτιος. Η συγκριτικά, με τους άλλους μήνες, μεγαλύτερη μέση μηνιαία ταχύτητα του ανέμου ($u = 1,3 \text{ m/s}$ στην περιοχή του Κατσικά και $u = 2,4 \text{ m/s}$ στην περιοχή της Ζίτσας) οφείλεται στην παρουσία του ανέμου Σιρόκο, ανέμου ΝΑ έως ΝΔ διευθύνσεων, που πνέει κατά την περίοδο της άνοιξης στην περιοχή της Ηπείρου. Στην περιοχή του αεροδρομίου των Ιωαννίνων, η μεγαλύτερη μέση μηνιαία ταχύτητα ($u = 1,9 \text{ m/s}$) παρατηρείται τον Ιούλιο και πιθανώς οφείλεται στην παρουσία της χερσαίας αύρας, που δημιουργείται λόγω της διαφοράς της θερμοκρασίας, κυρίως το καλοκαίρι, μεταξύ των στρωμάτων του αέρα πάνω από τις πλαγιές των βουνών και της ελεύθερης ατμόσφαιρας στο ίδιο υψόμετρο. Για την περιοχή της Κόνιτσας, δεν εξάγονται ασφαλή συμπεράσματα και φαίνεται να επηρεάζεται από όλα τα είδη των ανέμων, που πνέουν στην ευρύτερη περιοχή της Ηπείρου.

Εξετάστηκε επίσης και η ημερήσια δομή του ανέμου, για την ίδια χρονική περίοδο (1998-2002). Διαπιστώθηκε ότι και στις τέσσερις περιοχές το μέγιστο, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, εντοπίζεται τις μεσημεριανές ώρες και συγκεκριμένα από την 14^η έως την 17^η τοπική ώρα, ενώ για την περίοδο Οκτώβριο–Ιανουάριο το μέγιστο εντοπίζεται μεταξύ 12^{ης} και 14^{ης} τοπικής ώρας και αντιστοιχεί σε μικρότερες ταχύτητες ανέμου. Το ημερήσιο εύρος της μέσης ταχύτητας του ανέμου είναι μεγαλύτερο τη θερινή περίοδο, όταν επικρατούν οι Μαΐστροι και οι αύρες και όχι την ψυχρή εποχή, που οι άνεμοι είναι αποτέλεσμα ατμοσφαιρικών διαταραχών. Στην περιοχή της Ζίτσας, κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, εμφανίζεται ένα μεγάλο ημερήσιο εύρος της εντάσεως των ανέμων (Δu), περίπου $\Delta u = 3 \text{ m/s}$, ενώ για τον Κατσικά το εύρος δεν είναι τόσο μεγάλο, περίπου $\Delta u = 1,5 \text{ m/s}$, λόγω της πιο σύνθετης τοπογραφίας συγκριτικά με τη Ζίτσα, με συνέπεια την αυξημένη συγκριτικά ταχύτητα ανέμου κατά τη διάρκεια της νύκτας. Οι μικρότερες τιμές για όλες τις περιοχές εμφανίζονται κατά τις νυχτερινές ώρες από την 23^η έως την 8^η πρωινή.

Για τις υπό μελέτη περιοχές, υπολογίστηκαν οι παράμετροι της κατανομής Weibull και σχεδιάστηκε το διάγραμμα της πιθανότητας κατανομής σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου. Σύμφωνα με τις υπολογιζόμενες τιμές των παραμέτρων Weibull, οι περιοχές του Κατσικά και της Ζίτσας έχουν $k = 1,5$, $c = 1,2 \text{ m/s}$ και $k = 2,1$, $c = 2,3 \text{ m/s}$, αντίστοιχα. Στη συνέχεια, έγιναν οι υπολογισμοί της διαθέσιμης αιολικής ισχύος για κάθε περιοχή και διαπιστώθηκε ότι η περιοχή με την μεγαλύτερη ισχύ ανέμου ανά μονάδα επιφάνειας, φαίνεται να είναι η Ζίτσα ($\sim 285 \text{ kW/m}^2$) κι ακολουθούν: το



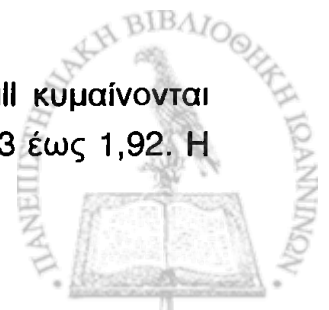
αεροδρόμιο των Ιωαννίνων (~ 123 kW/m²), ο Κατσικάς (~ 76 kW/m²) και τέλος η περιοχή της Κόνιτσας (~ 59 kW/m²).

Για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού στις περιοχές του Κατσικά και της Ζίτσας, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα «WASP» της Risø National Laboratory. Υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα οι παράμετροι της κατανομής Weibull στη θέση των σταθμών και στο ύψος του ανεμομέτρου. Για την περιοχή του Κατσικά: $k = 0,92$, $c = 0,9$ m/s και για την περιοχή της Ζίτσας: $k = 1,56$, $c = 2,4$ m/s. Τα αποτελέσματα του προγράμματος έδειξαν ότι οι μεγαλύτερες τιμές της μέσης ταχύτητας του ανέμου, παρατηρούνται στους λόφους και στα βουνά της ευρύτερης περιοχής, με τη μέγιστη τιμή 3,23 m/s στα 10 m και 3,40 m/s στα 50 m, να εντοπίζεται σε μια περιοχή κοντά στην κορυφή του όρους Μιτσικέλι (γεωγραφικές συντεταγμένες: $\varphi = 39^\circ 42' 54''$ N, $\lambda = 20^\circ 54' 24''$ E και $z = 1.600$ m). Για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας, επιλέχθηκαν τρεις Α/Γ: Nordex N-29 (250 kW), NEG Micon 600-48 (600 kW) και Vestas V63 (1.500 kW), οι οποίες είναι αντιπροσωπευτικές της τεχνολογικής εξέλιξης των Α/Γ.

Για την περιοχή του Κατσικά, για το ύψος πλήμνης του δρομέα κάθε Α/Γ, οι παράμετροι της κατανομής Weibull κυμαίνονται: από 1,69 έως 1,90 m/s (τιμές c), ενώ και από 1,13 έως 1,16 (τιμές k). Η μέση ταχύτητα του ανέμου στο ύψος πλήμνης του δρομέα των Α/Γ είναι: 1,62 m/s, 1,67 m/s και 1,81 m/s, αντίστοιχα. Στις Α/Γ των 250 και 600 kW, η ενέργεια του ανέμου, είναι σχεδόν η ίδια, λαμβάνοντας τιμές 11,67 και 12,61 W/m², ενώ η Α/Γ των 1.500 kW λαμβάνει την τιμή 15,39 W/m². Σύμφωνα με το ροδόγραμμα εμφάνισης, η περισσότερο «ενεργειακή» διεύθυνση είναι η ΒΑ, όπου εντοπίζονται οι μεγαλύτερες ταχύτητες του ανέμου. Η ετήσια ενέργεια που μπορεί να δεσμευτεί στην περιοχή του Κατσικά, με την εγκατάσταση των παραπάνω Α/Γ είναι: 23,815 MWh, 62,295 MWh και 92,647 MWh, αντίστοιχα.

Για την περιοχή κοντά στην κορυφή του όρους Μιτσικέλι, η μέση ταχύτητα, η ενέργεια του ανέμου καθώς και η αναμενόμενη ετήσια παραγωγή ισχύος από τις Α/Γ αυξάνονται σημαντικά. Η μέση ταχύτητα σχεδόν διπλασιάζεται φτάνοντας περίπου τα 3,4 m/s, ενώ η αναμενόμενη ετήσια παραγωγή ενέργειας σχεδόν δεκαπλασιάζεται, συγκριτικά με τα αντίστοιχα μεγέθη στη θέση του σταθμού (περιοχή Κατσικά). Η διεύθυνση όπου παρουσιάζονται οι μέγιστες τιμές των παραπάνω παραμέτρων, είναι η ΒΑ. Οι τιμές της ετήσιας αναμενόμενης παραγωγής ενέργειας, κυμαίνονται από 207,388 MWh για την Α/Γ των 250 kW, έως τα 979,367 MWh για την Α/Γ των 1.500 kW, παρουσιάζοντας τις μεγαλύτερες τιμές που μπορούν να εμφανιστούν στην ευρύτερη περιοχή.

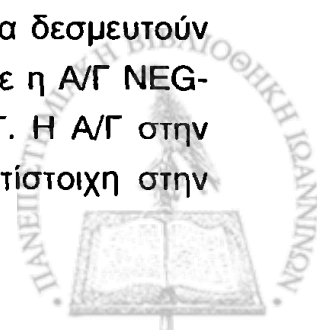
Για την περιοχή της Ζίτσας, οι παράμετροι της κατανομής Weibull κυμαίνονται από 3,64 έως 3,94 m/s (παράμετρος c), ενώ η παράμετρος k από 1,83 έως 1,92. Η



μέση ταχύτητα του ανέμου στο ύψος πλήμνης του δρομέα κάθε Α/Γ κυμαίνεται από 3,23 m/s, για την Α/Γ 250 kW, έως 3,50 m/s, για την Α/Γ 1.500 kW. Επίσης, οι ενέργειες του ανέμου είναι 43,32 W/m², 45,63 W/m² και 52,14 W/m², για τις Α/Γ των 250, 600 και 1.500 kW, αντίστοιχα. Ως επικρατέστερες διευθύνσεις, σύμφωνα με το ροδόγραμμα που δημιουργεί το πρόγραμμα, ξεχωρίζουν ελαφρώς οι ΝΔ, ΔΝΔ, με ποσοστό εμφάνισης 8%, όπου εμφανίζονται κι οι μεγαλύτερες ταχύτητες του ανέμου και ακολουθεί η ΑΝΑ διεύθυνση, με το ίδιο ποσοστό εμφάνισης. Η ετήσια αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας είναι: 102,174 MWh, 262,809 MWh και 399,092 MWh, αντίστοιχα. Η διεύθυνση με τη μεγαλύτερη ενέργεια ανέμου είναι η ΔΝΔ. Για την περιοχή της Ζίτσας χρησιμοποιήθηκε και η Whisper 175 (3 kW), Α/Γ μικρότερης ονομαστικής ισχύος. Οι παράμετροι της κατανομής Weibull κυμαίνονται από 2,77 έως 3,78 m/s (παράμετρος c) και η παράμετρος k από 1,64 έως 1,68, σύμφωνα με το ύψος πλήμνης του δρομέα της συγκεκριμένης Α/Γ που επιλέχθηκε στα 10 και 50 m αντίστοιχα, από την επιφάνεια του εδάφους. Η αιολική ενέργεια είναι 22,50 W/m² στα 10 m και 47,15 W/m² στα 50 m. Τα αποτελέσματα της ετήσιας αναμενόμενης παραγωγής ενέργειας κυμαίνονται από 1,151 MWh έως 2,423 MWh και μπορούν να καλύψουν μικρές ενεργειακές ανάγκες (κυρίως οικιακές και γεωργικές).

Η επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων, ανέδειξε πως ο κοινός ανεμώδης μήνας για τις δύο περιοχές είναι ο Μάρτιος του 1998. Συγκεκριμένα οι μεγαλύτερες τιμές ταχύτητας του ανέμου τον συγκεκριμένο μήνα καταγράφηκαν την 25η και 26η Μαρτίου 1998 και ήταν 12,1 m/s (6 Beaufort) για την περιοχή του Κατσικά και 8,9 m/s (5 Beaufort) για την περιοχή της Ζίτσας. Οι μεγάλες ταχύτητες του ανέμου κατά τη διάρκεια αυτού του διημέρου, οφείλονται στο συνδυασμό των χαμηλών πιέσεων, λόγω της παρουσίας ύφεσης στα νοτιοδυτικά της χώρας και των υψηλών πιέσεων λόγω της παρουσίας αντικυκλώνα στα βόρεια Βαλκάνια. Κατά τη διάρκεια του ανεμώδους μήνα για την περιοχή του Κατσικά, οι διευθύνσεις που αποδίδουν τη μεγαλύτερη ενέργεια ανέμου είναι οι ΒΑ, ΑΒΑ και η διεύθυνση με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης η ΝΔ, ενώ για την περιοχή της Ζίτσας οι ενεργειακές διευθύνσεις είναι οι ΑΒΑ, ΔΝΔ, με συχνότερη διεύθυνση τη ΒΒΔ. Οι ισχυρότεροι άνεμοι πνέουν κυρίως από ΒΑ διεύθυνση για την περιοχή του Κατσικά, ενώ για τη Ζίτσα, από ΑΒΑ και ΝΔ διεύθυνση. Οι δύο περιοχές έχουν μια διαφορά φάσης, όσον αφορά τη χρονική στιγμή όπου καταγράφονται οι εντάσεις των ανέμων, φαινόμενο που τονίζει το ιδιαίτερα σημαντικό χαρακτηριστικό του αιολικού δυναμικού, την τοπικότητα.

Τέλος, όσον αφορά τα ποσά ενέργειας τα οποία θα μπορούσαν να δεσμευτούν κατά την διάρκεια του Μαρτίου 1998, για τις δύο περιοχές, επιλέχθηκε η Α/Γ NEG-Micon 600/48, που ανήκει στην σύγχρονη τεχνολογική γενιά των Α/Γ. Η Α/Γ στην περιοχή του Κατσικά αποδίδει μηνιαία ενέργεια 22 kWh, ενώ η αντίστοιχη στην



περιοχή της Ζίτσας, 18 kWh. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι, κατά την ανεμώδη ημέρα του μήνα (26/03/1998) στην περιοχή του Κατσικά οι άνεμοι ήταν ισχυρότεροι με συνέπεια να αποδώσουν και μεγαλύτερη ενέργεια στην Α/Γ. Ιδιαίτερα την συγκεκριμένη ανεμώδη ημέρα η Α/Γ στην περιοχή του Κατσικά, αποδίδει 11.212 kWh, δηλαδή σχεδόν την μισή ενέργεια ολόκληρου του μήνα (22.397 kWh), ενώ στην περιοχή της Ζίτσας 4.804 kWh, όταν η συνολική μηνιαία ενέργεια είναι 17.779 kWh. Επίσης, στην περιοχή της Ζίτσας, η Α/Γ αποδίδει ενέργεια σε καθημερινή σχεδόν βάση, σε αντίθεση με την περιοχή του Κατσικά, όπου αποδίδει ενέργεια συγκεκριμένες ημέρες του μήνα.

Για τις δύο περιοχές υπολογίστηκαν: ο συντελεστής συσχέτισης, ο συντελεστής παλινδρόμησης κι οι συντελεστές γραμμικής παρεμβολής. Οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης κοντά στη μονάδα, δείχνουν μεταβολές σε φάση, ενώ τιμές κοντά στο μηδέν δείχνουν ασυσχέτιστες μεταβολές. Επίσης, οι τιμές του συντελεστή παλινδρόμησης κοντά στην μονάδα δείχνουν ότι το «νέφος» των μετρήσεων προσομοιάζεται καλά από την ευθεία της γραμμικής παρεμβολής. Αρχικά επιλέγοντας ως περιοχή αναφοράς τον Κατσικά, ο μεγαλύτερος συντελεστής συσχέτισης εντοπίζεται στο διάστημα ταχυτήτων ανέμου 7-8 m/s και είναι 0,51. Αυτή η τιμή αντιπροσωπεύει μια ενδιάμεση κατάσταση στις ταυτόχρονες μεταβολές. Ο συντελεστής παλινδρόμησης για όλες τις διευθύνσεις, λαμβάνει την τιμή $R^2 = 0,85$. Αυτή η τιμή είναι κοντά στην μονάδα, πράγμα που σημαίνει ότι το «νέφος» των μετρήσεων προσομοιάζεται ικανοποιητικά από την ευθεία της γραμμικής παρεμβολής, με κλίση $a = 0,53$ και τεταγμένη επί την αρχή $b = 1,18$ m/s. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν οι ίδιοι υπολογισμοί, έχοντας όμως ως περιοχή αναφοράς την Ζίτσα. Γενικά, ο συντελεστής συσχέτισης λαμβάνει πολύ μικρές τιμές, εκτός από το διάστημα των ταχυτήτων 5-6 m/s, όπου η τιμή του συντελεστή συσχέτισης είναι 0,59. Το ίδιο συμβαίνει και με τον συντελεστή παλινδρόμησης, που λαμβάνει την τιμή 0,35. Ο συντελεστής παλινδρόμησης για όλες τις διευθύνσεις, λαμβάνει την τιμή $R^2 = 0,87$. Αυτή η τιμή είναι κοντά στην μονάδα, πράγμα που σημαίνει ότι το «νέφος» των μετρήσεων προσομοιάζεται ικανοποιητικά από την ευθεία της γραμμικής παρεμβολής, με κλίση $a = 1,14$ και τεταγμένη επί την αρχή $b = -1,50$ m/s.

Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από τη συσχέτιση των δύο περιοχών, είναι ότι επιλέγοντας ως περιοχή αναφοράς τον Κατσικά, ο συντελεστής συσχέτισης λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές. Αυτό στην ουσία σημαίνει ότι, η περιοχή της Ζίτσας ακολουθεί στις μεταβολές του ανέμου την περιοχή του Κατσικά, μόνο όμως για την περίπτωση του ανεμώδη μήνα (Μάρτιος 1998). Επιπλέον, όταν η περιοχή της Ζίτσας χαρακτηριστεί ως περιοχή αναφοράς, παρουσιάζει ένα μικρό πλεονέκτημα, στο να



χαρακτηρίζεται ικανοποιητικότερα από την γραμμική παρεμβολή. Κι αυτό γιατί ο συντελεστής παλινδρόμησης, έχει μια ελαφρώς μεγαλύτερη τιμή.

Για τον ανεμώδη μήνα (Μάρτιος 1998) υπολογίστηκε η παράμετρος της σταθερότητας του ανέμου. Σταθερότητα του ανέμου, καλείται το εκατονταπλάσιο του λόγου της μέσης διανυσματικής ταχύτητας, V_R ως προς την μέση αριθμητική V . Η σημασία του υπολογισμού αυτής της παραμέτρου, είναι η πληροφορία που δίνεται για το ποσοστό εμφάνισης και την τιμή της ταχύτητας του ανέμου στην επικρατούσα διεύθυνση, κατά την διάρκεια του ανεμώδους μήνα. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών έδειξαν ότι, στην περιοχή του Κατσικά, οι άνεμοι πνέουν από περίπου ΒΑ διεύθυνση (42°) με μέση διανυσματική ταχύτητα $0,9 \text{ m/s}$, έχοντας ένα ποσοστό σταθερότητας 52% . Ενώ, για την περιοχή της Ζίτσας, οι άνεμοι πνέουν ως επί το πλείστον από περίπου Β διεύθυνση (10°), με μέση διανυσματική ταχύτητα $0,3 \text{ m/s}$ κι έχουν ένα ποσοστό σταθερότητας 10% . Στην περιοχή του Κατσικά, το υψηλό ποσοστό σταθερότητας οφείλεται στο γεγονός ότι οι άνεμοι ΒΑ διεύθυνσης, για τον ανεμώδη μήνα, λαμβάνουν έναν υψηλό ποσοστό εμφάνισης της τάξεως του $22,8\%$, ενώ στην περιοχή της Ζίτσας, τα ποσοστά της συχνότητας εμφάνισης ανά τομέα διεύθυνσης περίπου ισοκατανέμονται, με αποτέλεσμα η σταθερότητα του ανέμου σε μία συγκεκριμένη διεύθυνση να παρουσιάζει χαμηλό ποσοστό.

Τέλος, εκπονήθηκε οικονομική μελέτη σκοπιμότητας για την εγκατάσταση Α/Γ στις περιοχές Κατσικά και Ζίτσας. Τα καθαρά παραγόμενα ετήσια ποσά ενέργειας, για τις δύο περιοχές είναι 21.041 έως 81.854 kWh (περιοχή Κατσικά) και από 90.271 έως 352.598 kWh (περιοχή Ζίτσας) ανάλογα με την επιλογή της Α/Γ. Επίσης, υπολογίστηκε και το καθαρό ποσό ενέργειας για την περιοχή κοντά στην κορυφή του όρους Μιτσικέλι, που κυμαίνεται από 183.227 έως 865.271 kWh . Η περιοχή της Ζίτσας διαθέτει υψηλότερα ποσά ενέργειας, συγκριτικά με την περιοχή του Κατσικά, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη διαφόρων ενεργειακών εφαρμογών, όπως: οι οικιακές ανάγκες και οι γεωργικές εφαρμογές. Από τους οικονομικούς υπολογισμούς, εξάγεται το συμπέρασμα πως η εγκατάσταση Α/Γ στις υπό μελέτη περιοχές καθίσταται οικονομικά ασύμφορη. Ο λόγος είναι ότι τα έξοδα του αρχικού κόστους και τα ετήσια, υπερβαίνουν κατά μεγάλο ποσοστό τα υποθετικά έσοδα, από την πώληση της ενέργειας. Συγκεκριμένα για την περιοχή του Κατσικά, το αρχικό κόστος επένδυσης κυμαίνεται από 673.707 έως $1.563.412 \text{ €}$ και τα ετήσια έξοδα υπολογίζονται στα 20.211 έως 46.902 € (περίπου 3% του αρχικού κόστους επένδυσης), αναλόγως του μεγέθους της επιλεγόμενης Α/Γ. Τα ετήσια έσοδα κυμαίνονται από 1.578 έως 6.139 € . Για την περιοχή της Ζίτσας το αρχικό κόστος επένδυσης ξεκινά στα 677.707 και πλησιάζει τα $1.567.412 \text{ €}$, ενώ τα ετήσια έξοδα από 20.331 έως 47.022 € , ανάλογα με την Α/Γ. Τα συνολικά έσοδα (κέρδη) παρουσιάζουν, συγκριτικά με την περιοχή του Κατσικά, μεγαλύτερες τιμές και



κυμαίνονται από 135.406 έως 528.897 €. Τέλος, για την περιοχή της Ζίτσας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν Α/Γ μικρότερης ονομαστικής ισχύος, όπου τα έξοδα είναι πολύ μικρότερα σε σχέση με την εγκατάσταση Α/Γ με μεγάλη ονομαστική ισχύ (250, 600 και 1.500 kW).



ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Θα μπορούσε να χαρακτηριστεί, επιεικώς, υπερβολικός ο ισχυρισμός σύμφωνα με τον οποίο με την παρούσα διπλωματική εργασία, καλύψαμε ολοκληρωτικά το ερευνητικό αντικείμενο που αναφέρεται στην αποτύπωση του αιολικού δυναμικού στο Νομό Ιωαννίνων. Αντίθετα, η έρευνα μπορεί να συνεχιστεί και στο μέλλον γιατί:

Πρώτον, η αιολική ενέργεια ήταν, είναι και θα εξακολουθήσει να είναι δυναμικό στοιχείο, αφού οι μέθοδοι και οι τεχνικές διαρκώς ανανεώνονται και βελτιώνονται. Εξάλλου αποτελεί για εμάς τους Μετεωρολόγους υποχρέωση, να βελτιώνουμε την ποιότητα και να αυξάνουμε την ποσότητα των προς επεξεργασία ανεμολογικών χρονοσειρών.

Δεύτερον, όπως διαπιστώθηκε στην παρούσα διπλωματική, η τοπικότητα είναι καθοριστικός παράγοντας στη μελέτη των θεμάτων που σχετίζονται με την αιολική ενέργεια.

Τρίτον, οι συχνά επαναλαμβανόμενες πετρελαϊκές κρίσεις μας υποχρεώνουν, όχι ευκαιριακά, να αντικαθιστούμε την ενέργεια που παράγεται από τα συμβατικά καύσιμα με εκείνη που θα προσφέρουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Τέταρτον, θα πρέπει πάντοτε να έχουμε κατά νου την επιτακτική ανάγκη για την προστασία του περιβάλλοντος «σκέψου παγκόσμια, δράσε τοπικά».



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ



Ελληνική Βιβλιογραφία

Ανεμολόγια: Περιοδικό της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Αιολικής Ενέργειας.

Ζαμπάκας Ι.Δ., 1981: «Γενική Κλιματολογία».

Ζιακόπουλος Δημήτριος, 2003: Σημειώσεις Σεμιναρίου προς τους μεταπτυχιακούς φοιτητές της Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας και Φυσικής του Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος, του τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Καλδέλλης Κλ. Ιωάννης, 1999: «Διαχείριση Αιολικής Ενέργειας», Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα.

ΚΑΠΕ: Αποτελέσματα έργου ΕΠΕ 3.4.3.

ΚΑΠΕ: Αποτελέσματα έργου ΕΠΕ 3.4.4.

Καρβούνης Σ., 1993: «Μεθοδολογία Εκπόνησης Οικονομοτεχνικών Μελετών», Εκδόσεις Σταμούλης, Πειραιάς.

Κατσούλης Β., 1987: Αποτύπωση Αιολικού Δυναμικού της Ελλάδας: Περιοχή Δυτική Πίνδος, Πρώτη Έκθεση.

Κατσούλης Β., 1988: Έρευνα-Μελέτη, Αποτύπωση του Αιολικού Δυναμικού της Ελλάδας: Περιοχή Δυτική Πίνδος, Τελική Έκθεση.

Κωλέτσης, Ι. Γ. και Πνευματικός, Ι. Δ., 2004: Το αιολικό δυναμικό σε περιοχές του Νομού Ιωαννίνων, 6ο Πανελλήνιο Περιβάλλοντος της Ένωσης Ελλήνων Φυσικών, 9-12 Δεκεμβρίου 2004, Θεσσαλονίκη.

Λάλας Δ., 1984: Αξιολόγηση θέσεων εγκατάστασης Ανεμογεννητριών στην Άνδρο, Τεχνική Έκθεση ΔΕΗ / ΔΕΜΕ.

Λάλας Δ., 1985: Αξιολόγηση Αιολικού Δυναμικού του Ελληνικού χώρου: ΧΙΟΣ, Τεχν. Έκθεση ΔΕΗ / ΔΕΜΕ.

Μπλούτσος Αρ. Α., 1984: «Μέθοδοι Κλιματικής Ανάλυσης», Θεσσαλονίκη.

Νομίδης Δημήτριος, 1999: Αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας στα νησιά του νοτίου Αιγαίου, Δελτίο Π.Σ.Δ.Μ.- Νοέμβριος 1999, 62-63, 72, 74, 76 και Δεκέμβριος 1999 σελ. 42-53.

Παντής, Γ., 2004: «Πηγές Ενέργειας», Ιωάννινα.

Πνευματικός, Ι. Δ., 1992α: Υπολογισμός του δείκτη τραχύτητας εδάφους από μετρήσεις των κατακόρυφων βαθμίδων ταχύτητας ανέμου και θερμοκρασίας σε αγροτική περιοχή του Ελλαδικού χώρου, Τεχνικά Χρονικά, Τόμος 12, Τεύχος 3, 7-17.

Πνευματικός, Ι. Δ., 1992β: Ανάπτυξη του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος κατά τις πρωινές ώρες στην περιοχή των Ιωαννίνων, Πρακτικά 1ου Πανελληνίου Συνεδρίου Μετεωρολογίας - Κλιματολογίας - Φυσικής της Ατμόσφαιρας, 309-314, Θεσσαλονίκη, 21-23 Μαΐου.

Πνευματικός, Ι. Δ., 1994: Αριθμητικό μοντέλο για τη διόρθωση ανεμολογικών δεδομένων από την επίδραση του ανάγλυφου του εδάφους, Πρακτικά 2ου Πανελληνίου



Συνεδρίου Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας – Φυσικής της Ατμόσφαιρας, 525-534, Θεσσαλονίκη.

Πνευματικός Ι. Δ., 1998: Σύγχρονοι μετεωρολογικοί σταθμοί.

Πνευματικός, Ι. Δ., 2000: Μεθοδολογία για την καταγραφή του αιολικού δυναμικού από χρονοσειρές ανεμολογικών δεδομένων. Πρακτικά Συνεδρίου «Τεχνολογίες Ήπιων Μορφών Ενέργειας και Περιβάλλοντος», σελ. 219-228.

Πνευματικός, Ι. Δ., 2002: Σημειώσεις του μαθήματος «Μικρομετεωρολογίας και Μικροκλιματολογίας» του Μεταπτυχιακού Προγράμματος «Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας και Φυσικής του Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος», Ιωάννινα.

Πνευματικός, Ι. Δ., 2005: Σημειώσεις του μαθήματος «Φυσικές Πηγές Ενέργειας, Φυσικοί Πόροι και επιπτώσεις στο Περιβάλλον», Ιωάννινα.

Σούλης Ν., 1994: «Το κλίμα της Ηπείρου», Ιωάννινα.

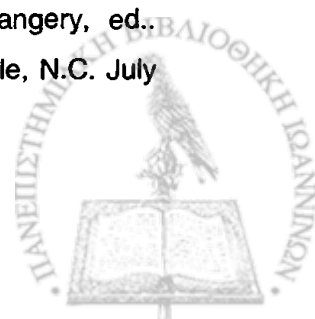
Συγγρός, Ι. Κ., 2002: Μετασχηματισμός Συντεταγμένων από και προς όλα τα γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς του Ελληνικού χώρου, Έκδοση 1.6.0.

Τζουβελέκας Σταμάτης, Δολαψάκη Αικατερίνη, 2005: Πτυχιακή Εργασία με θέμα «Μελέτη και αδειοδότηση αιολικού πάρκου», Ηράκλειο.

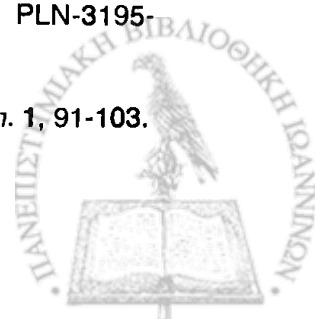


Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Barnes, C. G., 1974:** The statistics of strong winds for engineering applications. Report No. BLWT-4-1974. London: University of Western Ontario.
- Betz Albert, 1926:** Wind-Energie und ihre Ausnutzung durch Windmuhlen, Bandenhoeck & Ruprect, Gottingen. Facsimile edition by Okobuch Verlag, Staufen, 1994. ISBN 3-922964-11-7.
- Blackadar, A. K., 1957:** Boundary layer wind maxima and their significance for the growth of nocturnal inversions. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **38**, 283-290.
- Charnock H., 1955:** 'Wind stress on a water surface', *Q. J. R. Meteorol. Sac*, **81**, 639-640.
- Cherry, N. J., 1980:** Wind energy resource methodology, *J. Indust. Aero.* **5**, 247-280.
- Coty, U. A., 1976:** *Wind energy mission analysis*. ERDA Report SAN/1075-1/2.
- Court, A., 1974:** Wind shear extremes. In M. J. Changery, ed., *Proceedings of the Initial Wind Energy Data Assessment Study*, Asheville, N.C., July 29-31. NSF-RA-N-74-020, 1974. Asheville, N.C.:Department of Energy.
- Crawford, K. C, and Hudson, H. R., 1970:** *Behavior of winds in the lower 1500 ft. in central Oklahoma, June 1966-May 1967*. NOAA Technical Memo NSSL-TM-58. Norman, Okla.: National Severe Storms Laboratory/NOAA.
- Crutcher, H. L., and Baer, L., 1962:** Computations from ellipsoidal wind distribution statistics. *J.Appl. Meteor.* **14**, 1512-1520.
- Davenport, A. G., 1963:** The relationship of wind structure to wind loading, Proceedings of the Conference on Wind Effects on Structures, London.
- Elliott D. L., C. G. Holladay, W. R. Barchet, H. P. Foote and W. F. Sandusky, 1986:** *Wind Energy Resource Atlas of the United States*, Solar Energy Research Institute, Golden, Colorado.
- Frost, W., and Nowak, D. K., 1977:** *Handbook for WTG siting relative to small scale terrain features*. ERDA Report on Contract E(45-1)-2443. Washington, D.C: Energy Research and Development Administration.
- Garate, J. A., 1977:** *Wind energy mission analysis*. ERDA Report COO/2578-1/1. Washington, D.C: Energy Research and Development Administration.
- Hennessey, J. P., 1977:** Some aspects of wind power statistics. *J. Appl. Meteor.* **16**, 119-128.
- Hiester T. R. and W. T. Pennell, 1981:** *The Siting Handbook for Large Wind Energy Systems*, Windbooks, New York.
- Justus, C. G., 1975:** Wind data collection and assessment. In M. J. Changery, ed., *Proceedings of the Initial Wind Energy Data Assessment Study*, Asheville, N.C. July 29-31, 1974. NSF-RA-75-O2O. Asheville, N.C: Department of Energy.



- Justus, C. G., and Mikhail, A. S., 1976:** Height variation of wind speed and wind distribution statistics. *Geophys. Res. Letters* **3**, 261-264.
- Justus, C. G., Hargraves, W. R.; and Mikhail, A., 1976a:** *Reference wind speed distribution and height profiles for wind turbine design and performance evaluation applications.* ORO/5108-76/4, Oak Ridge, Tenn.: Department of Energy.
- Justus, C. G., Hargraves, W. R., and Valcin, A., 1976b:** Nationwide assessment of potential output from wind powered generators. *J. Appl. Meteor.* **15**, 673-678.
- Justus, C. G., 1978:** *Winds and wind system performance.* Philadelphia: Franklin Institute Press.
- Justus, C. G., and Mikhail, A. S., 1979a:** *Computer model for large arrays of wind turbines.* DOE-ET-20355-79/4. Washington, D.C: U.S. Department of Energy.
- Justus, C. G., Mari, K., and Mikhail, A., 1979b:** Interannual and month-to-month variations of wind speed. *J. Appl. Meteor.* **18**, 913-920.
- Katsoulis, B. D., 1992:** A Survey on the Assessment of Wind Energy Potential in Greece, *Theor. Appl. Climatol.* **47**, 51-63.
- Katsoulis, B. D. and Metaxas, D. A., 1992:** The Wind Energy Potential of Western Greece, *Solar Energy* Vol. **49**, No. 6, pp. 463-476, U.S.A..
- Khan, M. J. and Iqbal, M. T., 2004:** Wind Energy resource map, *Renewable Energy* **29**, 1211-1221.
- Lalas, D., 1985:** Wind Energy Estimation and Siting in Complex Terrain, *Int. J. Solar Energy*, **4**, 1-29.
- Lamb, H. H., 1972:** *Climate: Present, Past and Future, Vol. 1: Fundamentals and Climate Now*, Methuen & Co Ltd, London.
- Lettau, H., 1969:** Note on aerodynamic roughness-parameter estimation on the basis of roughness-element distribution, *J. Appl. Met.* **8**, 828-832.
- Mahrt, L., and Heald, R. C., 1979:** *Analysis of strong nocturnal shears for wind machine design.* DOE-ET-23116-79/1. Washington, D.C: U.S. Department of Energy.
- Mikhail, A. S., 1981:** *Wind power for developing nations*, SERI/TR-762-966, Golden, Colo.: Solar Energy Research Institute.
- Monin, A. S., and Obukhov, M. A., 1954:** *Dimensionless characteristics of turbulence in the surface layer.* Akad. Nauk. USSR, Geofiz. Inst. Tr. No. 24, pp. 163-187.
- Mortensen, N. G., L. Landberg, I. Troen and E. L. Petersen, 1993:** *Wind Atlas Analysis and Application Program (WA⁵P). Vol. 2: User's Guide*, Ris0-I-666(v.2) (EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.
- Pacific Northwest Laboratory, 1981:** *Wind energy resource atlas*, **12** vols., PLN-3195-WERA-(1-12), Richland, Wash.: Pacific Northwest Laboratories.
- Panofsky, H. A., 1977:** Wind structures in strong winds below 150 m. *Wind Engin.* **1**, 91-103.



- Panofsky, H. and Dutton J. A., 1984:** Atmospheric Turbulence: Models and Methods for Engineering Applications, Wiley.
- Perera, M. D., 1981:** Shelter behind two-dimensional solid and porous fences, *J. Wind Engin. and industrial Aerodyn.* **8**, 93-104.
- Petersen E. L., I. Troen, S. Frandsen and K. Hedegaard, 1981:** *Windatlas for Denmark. A rational method for wind energy siting*, Risø-R-428, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark, 229 pp. Risø-R-428, 229 pp.
- Phillips, G.T., 1979:** A preliminary user's guide for the NOABL objective analysis code, SAI R. No. SAI-78-769-LJ and RLO/2, 440-77/10.
- Pnevmatikos, J., 1991a:** Wind Energy potential in NW Peloponnese-Greece, *Renewable Energy*, Vol 1, No 1, 137-139.
- Pnevmatikos, J. D., 1991b:** An experimental test of the empirical formula commonly used to represent wind speed profiles near the ground. *Renewable Energy*, Vol. 1, No 5/6, pp. 623-628.
- Putnam, P. C., 1948:** *Power from the wind*. New York: Van Nostrand-Reinhold.
- Sanborn, V. A., 1977:** *Placement of wind power systems*. EY-76-S-06-2438. Fort Collins: Colorado State University.
- Sherlock, R. H., 1951:** Analyzing winds for frequency and duration, *Meteor. Mon.* **4**, 72-79.
- Smith, O. E., 1971:** *An application of distribution derived from the bivariate normal density function*. Proceedings of the International Symposium on Probability and Statistics in the Atmospheric Sciences, Honolulu, pp. 162-168.
- Smith, O. E., 1976:** *Vector wind and vector shear models 0 to 27 km altitude for Cape Kennedy, Florida and Vandenberg AFB, California*. NASA TM-X-73319. Washington, D.C.: NASA.
- Spera D. A., and Richards, T. R., 1979:** Modified power law equations for vertical wind profiles, *Proceedings of the Conference and Workshop on Wind Energy Characteristics and Wind Energy Siting*, pp 47.
- Stull, R. B., 1988:** An Introduction to Boundary Layer Meteorology, Kluwer Academic.
- Taylor P. A. and R. J. Lee, 1984:** 'Simple Guide Lines for Estimating Wind Speed Variations due to Small Scale Topographic Features', *Climatol. Bull*, **18(2)**, 3-32.
- Traci M., G. T. Phillips, P. C. Patnaik and B. E. Freeman, 1977:** *Development of a Wind Energy Methodology*, U.S. Dept. Energy Rep. RLO/2440-11.
- Traci, R., 1980:** Wind energy siting methodology windfield model verification program: II: Nevada test site data set, SAI R. RLO/2-440-80/2 UC-60.
- Troen I. and E. L. Petersen, 1989:** *European Wind Atlas*, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.
- Troen I., 1990:** A high resolution spectral model for flow in complex terrain. Ninth Symposium on Turbulence and Diffusion, Roskilde, April 30 – May 3, 1990, 417-420.



- Tukey, J. W., 1977:** *Exploratory Data Analysis*, Reading, MA Addison-Wesley.
- Vermeulen P., A. Curvers, B. van den Haspel, J. Leene, D. van der Velden, J. Wieringa and A. van Wijk, 1986:** 'Further Development of a Dutch handbook for Wind Energy Production Estimates' *Proceedings of the European Wind Energy Assoc. Conf. and Exhibition*, Rome, Italy, 1, pp. 219-223.
- Wentink, T., Jr., 1976:** *Wind power potential of Alaska: Part III. Wind duration curve fits and output power estimates for typical windmills*. ERDA Report RLO/2229/T12-76/1. Washington, D.C.: Energy Research and Development Administration.
- Wilson R. E., and Lissaman, P. B. S., 1974:** *Applied aerodynamics of wind power machines*, NSF PB-238-595.
- WMO, 1981:** *Meteorological aspects of the utilization of wind as an energy source*, Technical Note, No. 175, C. Aspliden et al., eds, Geneva: World Meteorological Organization.



Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

Bitterrootsolar: Clean Efficient Reliable-Solar Wind Hydro, Complete Wind Power Systems from Whisper Wind Generators and Southwest WindPower:

www.bitterrootsolar.com

Danish Wind Energy Association: www.windpower.org

Danish Wind Turbine Manufacturers Association: www.windpower.dk

Environmental Technologies - Federation of Canada: www.on.ec.gc.ca/pollution/fpd

Gipe: www.atlantasolar.com

NCEP/NCAR: www.cdc.noaa.gov

PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide:

www.mmm.ucar.edu/mm5/documents/tutorial-v3-notes.html

Risø National Laboratory, Denmark – Wind Energy and Atmospheric Physics

Department: www.windatlas.dk

The British Wind Energy Association: www.bwea.com/edu/calcs.htm

World Wind Energy Association: www.wwindea.org

Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.), Στατιστικά Στοιχεία: www.dei.gr

Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ): www.cres.gr

Περιφερειακό Ενεργειακό Κέντρο Ηπείρου: www.roe.gr/region

