

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



**Πτυχιακή διατριβή**

Εφαρμοσμένη Ρευστομηχανική (Μελέτη Αιολικού  
δυναμικού σε παραλιακές περιοχές της Κύπρου)

Γιάννης Καστάνας

Λεμεσός 2012

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

## **Πτυχιακή διατριβή**

Εφαρμοσμένη Ρευστομηχανική (Μελέτη Αιολικού  
δυναμικού σε παραλιακές περιοχές της Κύπρου)

Γιάννης Καστάνας

Επιβλέπων καθηγητής

Δρ. κος Ευάγγελος Ακύλας

Λεμεσός 2012



**«Αν φυσήξει Άνεμος. Ίππευσε τον!»**

**Αραβική Παροιμία**

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Γιάννης Καστάνας, 2012

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής διατριβής από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.



## **Ευχαριστίες:**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου Δρ. Ευάγγελο Ακύλα για την συνεχή στήριξη και καθοδήγηση του για την ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής εργασίας. Η συμβολή του ήταν συνεχής καθ' όλη την διάρκεια διεκπεραίωσης της πτυχιακής. Επίσης θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε τόσο στην επιλογή του θέματος της πτυχιακής εργασίας, αλλά και στην ανάθεση του θέματος.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες για πολύτιμες υποδείξεις, και κατευθύνσεις καθώς και για την παροχή στοιχείων θα ήθελα να δώσω στο Διευθυντή της Μετεωρολογίας κ. Στέλιο Πασιαρδή, χωρίς τη συνδρομή του οποίου δεν θα μπορούσε να ολοκληρωθεί αυτή η προσπάθεια. Είμαι ευγνώμων στον Ανδρέα Γεωργίου για την αμέριστη συμπαράσταση και την απλόχερη επιστημονική βοήθεια. Αναμφίβολα ήταν παρόν πάντα και όπου του ζητήθηκε.

Καταλήγοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την απaráμιλλη στήριξη τους σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου. Χωρίς την συμπαράσταση τους η πτυχιακή μου δεν θα είχε τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Επίσης, τους Φλώρο Παπαγεωργίου, Νικόλα Λοΐζου, Ελευθερία Τσούκκα και όλους τους φίλους μου.

**«Στον πατέρα μου οφείλω το ζην, στον δάσκαλο μου το ευ ζην»**

**Μέγας Αλέξανδρος**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική μελέτη επιχειρήθηκε μία πρώτη μελέτη του αιολικού δυναμικού σε δύο παραλιακούς σταθμούς - περιοχές της Κύπρου, τον σταθμό της Λεμεσού και το σταθμό της Πόλης Χρυσοχού. Εξετάστηκαν, στατιστικά στοιχεία του ανέμου που προέκυψαν από την επεξεργασία μετρήσεων της μετεωρολογικής υπηρεσίας για μία εφταετία. Η στατιστική περιγραφή έγινε σε τρίωρη βάση, για κάθε μήνα, έτσι ώστε να υπάρξει μία πιο ολοκληρωμένη περιγραφή της χρονικής κατανομής των ταχυτήτων και κατ' επέκταση της ισχύος του ανέμου σε ημερήσια και εποχική βάση. Από την ανάλυση διαφαίνεται ότι και οι δύο σταθμοί όντας παραλιακοί, επηρεάζονται από τοπικές ροές, τύπου αύρας που εξαρτώνται από την διαδοχή ξηράς θάλασσας. Οι μέσες τιμές και στους δύο σταθμούς προκύπτουν σχετικά μικρές της τάξεως των  $3 - 4\text{m/s}$ , όμως στην ευρύτερη περιοχή, από την εφαρμογή του μοντέλου ροής WAsP, προκύπτει ότι ενισχύονται σε σημαντικό βαθμό, φτάνοντας εύκολα τα  $10\text{m/s}$ , πάνω από περιοχές με έντονο ανάγλυφο. Η συγκεκριμένη εργασία, αποτελεί μια πρώτη προσέγγιση στη μελέτη του αιολικού δυναμικού και θα πρέπει να ενισχυθεί στο μέλλον περισσότερο, με την αξιοποίηση περισσότερων μετρήσεων, στις περιοχές ενδιαφέροντος και την επιτόπια ανάλυση των περιοχών όπου αυτό είναι δυνατό.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iv
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	ix
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	xiv
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ .....	xv
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	xvi
<b>ΘΕΜΑ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ.....</b>	<b>xviii</b>
<b>1. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ. ΠΡΟΤΡΟΠΗ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Συμβατικές – Μη ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....</b>	<b>1</b>
1.1.1.  Ενεργειακό Πρόβλημα .....	2
1.1.2.  Ατμοσφαιρικοί Ρύποι.....	4
1.1.3.  Φαινόμενο του Θερμοκηπίου.....	5
1.1.4.  Νομοθεσίες περί Ενέργειας.....	10
<b>1.2.  Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....</b>	<b>11</b>
<b>2.  ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....</b>	<b>17</b>
2.1.  Ιστορική Αναδρομή .....	17
2.2.  Η αιολική ενέργεια στην Κύπρο.....	18
2.3.  Άνεμος.....	19
2.3.1.  Παγκόσμια προέλευση του Αιολικού Δυναμικού .....	19
2.3.2.  Η Κίνηση του Ανέμου .....	20
2.3.3.  Γεωστροφικός Άνεμος .....	24
2.3.4.  Επιφανειακοί Άνεμοι.....	24
2.3.5.  Τοπικοί Άνεμοι.....	25
2.3.6.  Θαλάσσια και Απόγειος Αύρα .....	25
2.3.7.  Χαρακτηρισμοί του ανάγλυφου .....	26
2.3.8.  Χαρακτηριστικά του Ανέμου.....	27
2.3.8.1.  Ταχύτητα του Ανέμου .....	28
2.3.8.2.  Διεύθυνση του Ανέμου .....	28
2.3.8.3.  Τύρβη ή Ανατάραξη του Ανέμου (Turbulence).....	29
2.3.8.4.  Στροβιλισμός του Ανέμου .....	30
2.3.8.5.  Ριπή του Ανέμου (Gust) .....	30

2.3.8.6.	Κατατομή του Ανέμου (Profile) .....	32
2.3.8.7.	Εκθετική Συνάρτηση .....	33
2.3.8.8.	Λογαριθμική Συνάρτηση .....	34
2.4.	Κατανομή των συχνοτήτων των ταχυτήτων του ανέμου και αντιπροσώπευση τους με την κατανομή Rayleight και Weibull.....	35
2.5.	Διαθέσιμη Αιολική Ενέργεια .....	39
2.5.1.	Υπολογισμός της ισχύος του ανέμου από στιγμιαίες ταχύτητες του ανέμου .....	39
2.5.1.1.	Πυκνότητα του Αέρα.....	40
2.5.1.2.	Επιφάνεια Σάρωσης.....	41
2.5.1.3.	Ταχύτητα του Ανέμου .....	41
2.5.2.	Υπολογισμός της ισχύος του ανέμου από μέσες ταχύτητες .....	42
2.5.3.	Ετήσια διαθέσιμη Αιολική Ενέργεια .....	43
2.5.4.	Μέγιστη διαθέσιμη Αιολική Ενέργεια.....	44
3.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	45
3.1.	Εισαγωγή .....	45
3.2.	Περιοχές Μελέτης.....	48
3.3.	Χρήσεις γης και Χαρακτηριστικά των Περιοχών.....	49
3.4.	Προετοιμασία Χαρτών για την εισαγωγή τους στο Wasp .....	51
3.4.1.	Εύκολος Τρόπος.....	52
3.4.2.	Αξιόπιστος Τρόπος.....	52
3.5.	Λήψη μετρήσεων και Επεξεργασία δεδομένων .....	55
3.6.	Προεπεξεργασία Στατιστικών Δεδομένων – Κατανομή Weibull .....	57
3.7.	Εξαγωγή τελικών Αποτελεσμάτων με την χρήση του προγράμματος Wasp .....	59
3.7.1.	Προβλήματα – Περιορισμοί.....	64
3.8.	Οπτικοποίηση των Χαρτών του Αιολικού Δυναμικού των Περιοχών Μελέτης .....	65
4.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	67
4.1.	Εισαγωγή .....	67
4.2.	Στατιστικά αποτελέσματα Λεμεσού.....	67
4.3.	Στατιστικά αποτελέσματα Πόλης Χρυσοχού.....	69
4.4.	Μηνιαίες Διακυμάνσεις της Μέσης Ταχύτητας και της Ισχύς του Ανέμου .....	71
4.5.	Ωριαία Κατανομή της Μέσης Ταχύτητας την Ημέρα .....	73
4.6.	Ανάλυση Αποτελεσμάτων του Αιολικού Δυναμικού για τις περιοχές μελέτης.....	76
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	86
5.1.	Εισαγωγή .....	86

5.2. Συζήτηση Αποτελεσμάτων .....	86
5.3. Προτάσεις .....	89
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>91</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....</b>	<b>97</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Μέσες τιμές εκπομπών ρύπων ανά καύσιμο σε mg/MJ .....	4
Πίνακας 2 Τιμές του Συντελεστή Ριπής και Λόγου Ριπής σε Ύψος 10m .....	31
Πίνακας 3: Παράμετροι για τον υπολογισμό κατακόρυφου προφίλ ταχύτητας ανέμου .....	35
Πίνακας 4 Παραλλαγές των Παραμέτρων, με την Σχηματική Παράμετρο της Κατανομής Weibull. ....	39
Πίνακας 5 Ποσοστό (%) ελάττωσης της πυκνότητας του αέρα σε σχέσ με τη μέση τιμή στην επιφάνεια της θάλασσας .....	41
Πίνακας 6 Χαρακτηριστικά των Σταθμών Μελέτης .....	49
Πίνακας 7 Τιμές της Τραχύτητας του Εδάφους.....	50
Πίνακας 8: Τα παραχθείσα αέρια του θερμοκηπίου όπως προέρχονται από τις ανθρώπινες και φυσικές διεργασίες. Πηγή: (IPCC, 2002) .....	111

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1 Χρήση των Πηγών ενέργειας σε Παγκόσμιο Επίπεδο μέχρι το 2000. Εμφανής η κυρίως χρήση των συμβατικών μορφών ενέργειας .....	1
Εικόνα 2 Τα οικοπέδα φυσικού αερίου που υπάρχουν στο νησί, σύμφωνα με πρόσφατες αναφορές του διευθυντή ενέργειας κ. Σόλωνα Κασίνη (Συνέδριο Ινστιτούτου Νέων Επιστημόνων, Ιούλιος 2011, Πρωταράς – Κύπρος) .....	2
Εικόνα 3 Η παραγωγή αργού πετρελαίου στις Ηνωμένες Πολιτείες αναμενόταν στα 150 με 200 εκατομμύρια βαρέλια κατά το έτος 1960. Όμως εμφανές είναι η ραγδαία μείωση των αποθεμάτων στα επόμενα χρόνια. Πηγή (Hubbert, K, M, 1956) .....	3
Εικόνα 4 Η εκτιμώμενη μέση παγκόσμια θερμοκρασία κατά τα τελευταία 100000 χρόνια, που εκτείνονται από την τελευταία εποχή των παγετώνων και την σημερινή μεσοπαγετωνική περίοδο. Στον κάθετο άξονα παρατηρείται η μέση παγκόσμια θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου, ενώ στον οριζόντιο άξονα παρουσιάζονται τμηματικά τα έτη, με βήμα ανά 10000 χρόνια. Εμφανής είναι η παρούσα αύξηση της θερμοκρασίας. Πηγή (IPCC, 2002).....	6
Εικόνα 5 Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου όπως έχει εξελιχθεί σήμερα. Τα παραγόμενα αέρια από το άνθρωπο οδηγούν σε δημιουργία μεγαλύτερου στρώματος αερίων του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα των εγκλωβισμό περαιτέρω θερμότητας. Πηγή (IPCC, 2002)..	7
Εικόνα 6 Οι αλλαγές στις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα για τα τελευταία χίλια χρόνια, βασισμένη στην ανάλυση πυρήνα πάγου, καθώς και το γράφημα για τις χρονιαίες μετρήσεις των συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα από το 1958 μέχρι το 2000, στην Χαβάη. Εκφράζεται σε μέρη ανά εκατομμύριο όγκου (ppmv). Πηγή (IPCC, 2002) .....	8
Εικόνα 7 Οι μεταβολές των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου για τα τελευταία 1000 χρόνια. Το αποτέλεσμα της αύξησης των συγκεντρώσεων αποτελεί μείωση του μήκους κύματος που χάνεται στην ατμόσφαιρα, από την ανακλώμενη ακτινοβολία στην γη, το οποίο εκφράζεται σε Watt ανά m <sup>2</sup> (W/m <sup>2</sup> ). Πηγή (IPCC, 2002). .....	9
Εικόνα 8 Η προσπίπτουσα ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης. Πηγή (Institute of Marine and Coastal Science, 1998).....	12
Εικόνα 9 Η κυρίως χρήση της ηλιακής ενέργειας όπως της γνωρίζουμε μέχρι σήμερα. Πηγή (News, 2012). .....	13
Εικόνα 10 Απλοποιημένη επεξήγηση της κυκλοφορίας του ζεστού νερού μέσα στην γη και η εκμετάλλευσή της θερμότητας του. Πηγή (BGS, 2012). .....	14
Εικόνα 11 Αναπαράσταση των ανεμογεννητριών ως προς το μέγεθος τους, την διάμετρο του έλικα τους και την απόδοσή τους. Πηγή (IPCC, 2012). .....	17
Εικόνα 12 Οι υπερετήσιες μέσες ταχύτητες του ανέμου σε διάφορες περιοχές της Κύπρου, σύμφωνα με τον Δρ. Ιωάννη Γλέκα. Πηγή (IEK, 2000). .....	18
Εικόνα 13 Οι άνεμοι στην επιφάνεια της γης, που οφείλονται λόγω της περιστροφής της γης. Πηγή (Λειβαδά Η, 2000). .....	20
Εικόνα 14 Απεικόνιση του γεωγραφικού ανέμου. $F_p$ είναι η δύναμη πίεσης που ασκείται πάνω στον αέρα και $F_c$ η δύναμη Coriolis. Πηγή (Manwell, McGowan, & Rogers, 2009). .....	21
Εικόνα 15 Απεικόνιση της Ανεμοβαθμίδας $U_{gr}$ . R είναι η ακτίνα καμπυλότητας. Πηγή (Manwell, McGowan, & Rogers, 2009).....	21
Εικόνα 16 Ημερήσια κυκλοφορία του ανέμου σε κοιλάδες και βουνά. Πηγή (Rohatgi & Nelson, 1994). Αναδημοσίευση με άδεια από το Ινστιτούτο Εναλλακτικών Πηγών Ενέργειας (Alternative Energy Institute). .....	23

Εικόνα 17 Επιφανειακός Χάρτης Βόρειου Ημισφαιρίου. Εν αντιθέσει οι άνεμοι στο Νότιο ημισφαίριο πνέουν με αντίθετη φορά. Πηγή (Pidwirny, 2009).....	24
Εικόνα 18 Στην παρούσα εικόνα διαφαίνεται ο μηχανισμός δημιουργίας της θαλάσσιας αύρας. Η θέρμανση και η ανολίσθηση του θερμού αέρα, λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας ξεκινά την κυκλική ροή ανέμου από τις υψηλές προς τις χαμηλές πιέσεις.....	25
Εικόνα 19 Προσδιορισμός του επίπεδου ανάγλυφου. Πηγή (Wegley, Ramsdell, Orgill, & Drake, 1980).....	Error! Bookmark not defined.
Εικόνα 20 Προσδιορισμός της Τραχύτητας του Εδάφους σε σχέση με τις επικρατούσες διευθύνσεις του ανέμου. Πηγή (Λειβαδά Η, 2000). .....	29
Εικόνα 21 Τυπική κατατομή των στιγμιαίων ταχυτήτων του ανέμου με το ύψος. Πηγή (Λειβαδά Η, 2000). .....	33
Εικόνα 22 Παράσταση του κατακόρυφου προφίλ μεταβολής των ταχυτήτων του ανέμου κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Πηγή (Chiras, 2010).....	34
Εικόνα 23 Παράδειγμα της Κατανομής Rayleigh. Όπως φαίνεται στο σχήμα, η μεγαλύτερη τιμή της μέσης ταχύτητας του ανέμου δίνει μια μεγαλύτερη πιθανότητα στις υψηλότερες ταχύτητες του ανέμου. Πηγή (Manwell, McGowan, & Rogers, 2009). .....	36
Εικόνα 24 Παράδειγμα της Κατανομής Weibull για μέση ταχύτητα $\bar{v} = 8ms$ .....	37
Εικόνα 25 Δίκτυο Μετεωρολογικών Σταθμών Κύπρου. Κυκλωμένη με κόκκινο χρώμα, είναι η σταθμοί μελέτης (περιοχές μελέτης) που θα εστιαστούμε στην διατριβή αυτή. Πηγή (Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου, 2003).....	48
Εικόνα 26 Μετάβαση από πολυγωνικό επίθεμα σε γραμμικό. ....	50
Εικόνα 27 Ζώνες ανάλυσης ανά σταθμό. ....	53
Εικόνα 28 Για κάλυψη του αιολικού δυναμικού της Κύπρου, για τους 14 μετεωρολογικούς σταθμούς, με κέντρο το σταθμό πάρθηκαν κύκλοι ακτίνας 20km (buffer zones). Για τις δύο περιοχές μελέτης της παρούσας έρευνας (Πόλης Χρυσοχού και Λεμεσού), παραθέτονται τρεις χάρτες οι οποίοι θα εισαχθούν στο πρόγραμμα <i>WAsP</i> σε επόμενο στάδιο. Για κάλυψη της περιοχής της Πόλης Χρυσοχού δύναται να χρησιμοποιηθούν δύο χάρτες (κύκλοι) με αλληλοεπικάλυψη μεταξύ τους 5km. Στην παρούσα εικόνα διαφαίνεται το πρώτο μισό της Πόλης Χρυσοχού (Map0A) σε μορφή <i>*map</i> . ....	54
Εικόνα 29 Δεύτερο μισό της Πόλης Χρυσοχού (Map0B) σε μορφή <i>*map</i> . ....	54
Εικόνα 30 Στην παρούσα εικόνα διαφαίνεται ο χάρτης τη Λεμεσού (Map14) σε μορφή <i>*map</i> , όπως θα το εισάγουμε μετέπειτα στο <i>WAsP</i> για να υπολογίσουμε το αιολικό δυναμικό στην περιοχή. ....	54
Εικόνα 31 Στην παρούσα εικόνα διαφαίνονται οι ρουτίνες που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα <i>WAsP</i> για το υπολογισμό του αιολικού δυναμικού στην περιοχή Λεμεσού. ....	61
Εικόνα 32 Στην παρούσα εικόνα φαίνεται η ροή του ανέμου, πάνω από ένα ιδεατό λόφο, με το προφίλ του ανέμου να διαπερνά την ανάντη πλευρά αυτού. Οι δύο αποστάσεις χαρακτηρίζουν την κατά μήκος ροή του ανέμου, όπου: $L$ είναι το χαρακτηριστικό μήκος του λόφου, που είναι το μισό του πλάτους στην μέση του λόφου, και $l$ είναι το ύψος όπου εμφανίζεται η μέγιστη ταχύτητα του ανέμου, καθώς το προφίλ του ανέμου διαπερνά το λόφο. Πηγή (Troen & Petersen, 1989). .....	62
Εικόνα 33 Ο χάρτης του περιγράμματος του λόφου Blasheval, της Σκωτίας. Τα ύψη πάνω από το επίπεδο της θάλασσας φαίνονται, με ισοΰψεις ανά 10m. Πηγή (Troen & Petersen, 1989). ....	63
Εικόνα 34 Ένα ορογραφικό μοντέλο στο λόφο Blasheval, της Σκωτίας. Ο λόφος φαίνεται από τα νότια. Η κάθετη κλίμακα παρουσιάζεται με ένα συντελεστή 5. Πηγή (Troen & Petersen, 1989).	63



Εικόνα 35 Τροποποίηση της ταχύτητας του ανέμου κατά μήκος μιας οριζόντιας γραμμής στην κορυφή του λόφου Blasheval. Η γραμμή αυτή φαίνεται στην Εικόνα 64. Ο οριζόντιος άξονας δίνει την απόσταση σε μέτρα από την κορυφή. Ο κάθετος άξονας δίνει τον παράγοντα της σχετικής αύξησης της ταχύτητας του ανέμου και υπολογίζεται στα 8 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Το κάτω σκιασμένο γράφημα δείχνει το ύψος της διατομής του λόφου. ....63

Εικόνα 36 Στην παρούσα εικόνα παρατηρούμε της εναλλαγές της διευθύνσεις του ανέμου, καθώς και την κατανομή των ταχυτήτων με την θεωρητική κατανομή *Weibull* για το σταθμό της Λεμεσού για το μήνα Φεβρουάριο. Διαφαίνεται ότι στην Λεμεσό φυσάει τις ώρες τις μέρας. Να τονίσουμε ότι διπλασιασμός της ταχύτητας, εναποθέτει οκταπλασιασμό της ισχύς.....68

Εικόνα 37 Στην παρούσα εικόνα διαφαίνονται τα ροδογράμματα και τα ιστογράμματα των κατανομών *Weibull*, για τον μήνα Σεπτέμβριο, όπου διαφαίνεται ότι τις πρωινές ώρες ο άνεμος έρχεται από την θάλασσα προς την ξηρά δηλαδή από το Βορρά προς το Νότο «Θαλάσσια Αύρα». Ενώ, κατά το τέταρτο τρίωρο, ο άνεμος στρέφεται προς Νότιες διευθύνσεις «Απόγειος Αύρα». 70

Εικόνα 38 Στην παρούσα εικόνα διαφαίνονται με κόκκινο χρώμα οι μέσες μηνιαίες διακυμάνσεις των ταχυτήτων στο σταθμό της Πόλης Χρυσοχού και με μπλε χρώμα οι μέσες μηνιαίες τιμές της ταχύτητας για τον σταθμό της Λεμεσού. ....71

Εικόνα 39 Στην εικόνα του σχήματος παρατίθενται οι μηνιαίες διακυμάνσεις της ισχύος. Με κόκκινο χρώμα φαίνονται οι τιμές για το σταθμό της Πόλης Χρυσοχού, ενώ με μπλε χρώμα της Λεμεσού.....72

Εικόνα 40 Στην παρούσα εικόνα διαφαίνονται οι διακυμάνσεις της μέσης ταχύτητας την ημέρα. Παρατηρούμε ότι ο σταθμός της Πόλης Χρυσοχού εμφανίζει μια πιο ομοιόμορφη μαζεμένη κατανομή, με πιο μικρή μέση ταχύτητα. Ενώ, ο σταθμός της Λεμεσού παρουσιάζει μια κατανομή μεγαλύτερου εύρους με μεγαλύτερη μέση τιμή. Η μεγαλύτερη διακύμανση, άπλωμα της ωριαίας κατανομής την μέρα στην Λεμεσό, είναι αυτό που αιτιολογεί το γεγονός εμφάνισης ψηλότερων τιμών της ισχύος. ....74

Εικόνα 41 Στην Εικόνα διαφαίνονται οι τρίωρες διακυμάνσεις της μέσης ταχύτητας του ανέμου για τις μεσημβρινά τρίωρα του Μαρτίου από 09:00 – 11:00, 12:00 – 14:00, 15:00 -17:00 και 18:00 – 20:00. Σε αυτές τις περιοχές παρουσιάζονται έντονες επιταχύνσεις του ανέμου, καθώς ο άνεμος προέρχεται από νότιες διευθύνσεις, με θαλάσσια αύρα, όπου ενισχύονται καθώς διαπερνούν μέσα από το ανάγλυφο της περιοχής. Καθώς διαπερνά τους λόφους ο άνεμος, ενισχύει την ένταση του, αποδίδοντας έτσι τουλάχιστον διπλασιασμό της μέσης ταχύτητας και έως και δεκαεξαπλασιασμό της ισχύος. ....78

Εικόνα 42 Στην παρούσα εικόνα διαφαίνονται οι περιοχές όπου δεικνύουν αξιοσημείωτο υψηλό ποσοστό εκμεταλλεύσιμο αιολικού δυναμικού. Αξίζει να σημειωθεί, ότι παρατηρείται υψηλό εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό στις κορυφές των υψωμάτων στην περιοχή Παλώδιας, Γερμασόγειας και Άλασσας, αλλά και σε μεμονωμένες σημεία στις περιοχές Ζύγι, Μαρί, Παλώδια και Φασούλα, όπου ναι μεν το αιολικό μπορεί είναι χαμηλό αλλά εντούτοις θα μπορούσε να είναι εκμεταλλεύσιμο για οικιακούς σκοπούς.....78

Εικόνα 43 Στην Εικόνα διαφαίνονται οι τρίωρες διακυμάνσεις της μέσης ταχύτητας του ανέμου για τις πρωινές ώρες του Μαρτίου από 00:00 – 02:00, 03:00 -05:00, 06:00 – 08:00 και 09:00 – 11:00. Σε αυτές τις περιοχές παρουσιάζονται έντονες επιταχύνσεις του ανέμου, καθώς ο άνεμος προέρχεται από βόρειες διευθύνσεις, με θαλάσσια αύρα, όπου ενισχύονται καθώς περνούν μέσα από το ανάγλυφο της περιοχής. Ο άνεμος καθώς περνά τους λόφους και τις κοιλάδες της περιοχής, ενισχύεται, αυξάνοντας την ένταση του, αποδίδοντας έτσι τριπλασιασμό της μέσης ταχύτητας του ανέμου και έως και εικοσιοκταπλασιασμό της ισχύος. ....79

Εικόνα 44 Στην παρούσα εικόνα διαφαίνονται οι περιοχές όπου δεικνύουν αξιοσημείωτο υψηλό ποσοστό εκμεταλλεύσιμου αιολικού δυναμικού. Αξίζει να τονισθεί, ότι παρατηρείται υψηλό αιολικό δυναμικό βορειοανατολικά του μετεωρολογικού σταθμού στις κορυφές των υψωμάτων στις περιοχές Σταυρός της Ψώκας, του Γιαλιά, την οροσειρά δίπλα στο χωριό Γιόλου, αλλά και σε μεμονωμένα σημεία στην περιοχή του Πωμού, όπου αν και μεν το αιολικό δυναμικό μπορεί να είναι χαμηλό, αλλά εντούτοις θα μπορούσε να είναι εκμεταλλεύσιμο στην περιοχή για κάλυψη των τουριστικών αναγκών από πλευράς ενέργειας. ....	80
Εικόνα 45 Από την εικόνα, παρατηρούμε τις θέσεις – σημεία για την περιοχή της Πόλης Χρυσοχού, έντονου αιολικού δυναμικού. Ο χάρτης απευθύνεται για το τρίωρο από 09:00 -11:00 του Απριλίου. Στο παρόν χάρτη φαίνονται τα σημεία με έντονο αιολικό δυναμικό στην περιοχή του Σταυρού της Ψώκας, του Γιαλιά και της Οροσειράς δίπλα στο χωριό Γιόλου. Όπως, φαίνεται από την εικόνα, στα σημεία αυτά όπου το μοντέλο μας του <i>WAsP</i> εμφάνισε αυξημένες εντάσεις του ανέμου, αποτελούν οροσειρές και κορυφογραμμές λόφων με μεγάλο υψόμετρο. ....	81
Εικόνα 46 Από την εικόνα παρατηρούμε τα σημεία για την περιοχή της Λεμεσού, έντονου αιολικού δυναμικού για το τρίωρο από 15:00 -17:00 του Αυγούστου. Στο παρόν χάρτη φαίνονται τα σημεία με έντονο αιολικό δυναμικό ανατολικά και δυτικά του φράγματος Γερμασόγειας. Όπως φαίνεται στην εικόνα στα σημεία αυτά όπου το μοντέλο μας του <i>WAsP</i> εντόπισε αυξημένες εντάσεις του ανέμου, αποτελούν οροσειρές και κορυφογραμμές και κοιλάδες. ....	81
Εικόνα 47 Ανθρακίτης. Πηγή (Περιβαλλοντική, 2009).....	97
Εικόνα 48 Διαδικασία Ανθρακοποίησης της φυτικής ύλης σε μεγάλο χρονικό διάστημα κάτω από υψηλές θερμοκρασίες και πίεση. Πηγή (ΙΤΕΣΚ, 1999).....	98
Εικόνα 49 Αναλόγως του βαθμού ανθρακοποίησης της φυτικής ύλης κάτω από υψηλές θερμοκρασίες και πίεση διαμέσου των ετών προκύπτουν οι διάφοροι τύποι άνθρακα. Πηγή (Kentucky, 1997). ....	98
Εικόνα 50 Η παραγωγή άνθρακα ανά τον κόσμο, και αναπόφευκτη μείωση τους στο μέλλον λόγω εξάντλησης των αποθεμάτων. Πηγή (Drum, 2010).....	99
Εικόνα 51 Αγωγός Nabucco όπως ονομάζεται για την μεταφορά φυσικού αερίου. Πηγή (Opera Chic, 2007). ....	100
Εικόνα 52 Η διανομή Φυσικού Αερίου στην Ευρώπη από την Ρωσία κατά το έτος 2005. Πηγή (World Maps, 2010). ....	101
Εικόνα 53 Η ζήτηση Φυσικού αερίου παγκόσμια για τα έτη 2008 και 2009. Πηγή (IEA, 2010). ....	102
Εικόνα 54 Η Παγκόσμια βιομηχανική κατανάλωση φυσικού αερίου. Πηγή (IEA, 2010).....	102
Εικόνα 55 Χαρακτηριστική απεικόνιση του τρόπου δημιουργίας των υδρογονανθράκων. Πηγή (IEK, 2000).....	103
Εικόνα 56 Καθαρές Εισαγωγές Πετρελαίου προς ΑΕΠ. Πηγή (ΚΑΠΕΕ - Report Εισαγωγών Πετρελαίου, 1987).....	104
Εικόνα 57 Αποθέματα πετρελαίου κατά το έτος 2006. Πηγή (ΙΤΕΣΚ, 1999).....	105
Εικόνα 58 Οι μεγαλύτερες χώρες παραγωγοί από το 1973 έως το 2010, και η παραγωγή τους σε εκατομμύρια βαρέλια την μέρα. Πηγή (EIA, 2010). ....	105
Εικόνα 59 Πυρηνικά Εργοστάσια στην Ευρώπη. Πηγή (ENS, 2009).....	106
Εικόνα 60 Σχάση του πυρήνα από το νετρόνιο και παραγωγή δύο νετρονίων και ενέργειας. Πηγή (Nuclear fission, 1998).....	107
Εικόνα 61 Ο Κύκλος της Πυρηνικής Ενέργειας. Πηγή (The High School of Art & Design, 2008). ....	108

Εικόνα 62 Πυρηνικοί αντιδραστήρες σε Παγκόσμιο επίπεδο. Στο πιο πάνω διάγραμμα δεν συμπεριλαμβάνονται η Κίνα και η Ταϊβάν που έχουν σύνολο 6 πυρηνικούς αντιδραστήρες. Πηγή (IEA, 2007). .....	109
Εικόνα 63 Ένα παράδειγμα του οριζοντίου άξονα Περσικού ανεμόμυλου. Πηγή (Tasker, 2012). .....	115
Εικόνα 64 Διάγραμμα του ανεμόμυλου στο Meorham, Kent. Χτίστηκε από το James Killick το 1819 – 21. Ο ανεμόμυλος σχεδιάστηκε από τον Clem Rutter και Rochester Kent. Πηγή (Meorham & Kent, 2012). .....	116
Εικόνα 65 Παλιός ανεμόμυλος που χρησιμοποιείται στο χωριό Αυγόρου για άντληση νερού. Με την περιστροφή της φτερωτής του ανεμόμυλου, κινείται ένα κάθετο έμβολο όπου αντλούσε νερό από τα πηγάδια (λάκκους). .....	117
Εικόνα 66 Οι εργαστηριακές δοκιμές ανεμόμυλων κατά Smeaton. Πηγή (Manwell et al, 2009). .....	118
Εικόνα 67 Η Ηλεκτροτουρμπίνα κατά Jacobs. Πηγή (Power-Talk.Net, 2010). .....	119
Εικόνα 68 Σχηματική αναπαράσταση της ορμής του ανέμου. Πηγή (Hiester & Pennell, 1981). Αναδημοσίευση από το Ινστιτούτο Εναλλακτικής Ενέργειας. ....	121
Εικόνα 69 Ταχύτητα, δύναμη, και οι επιπτώσεις αναταραχής / τύρβης κατάντη ενός κτιρίου. Πηγή (Wegley, Ramsdell, Orgill, & Drake, 1980). .....	121
Εικόνα 70 Η επίδραση στην αλλαγή της τραχύτητας στην επιφάνεια της γης από λεία σε σκληρή. Πηγή (Wegley, Ramsdell, Orgill, & Drake, 1980). .....	122
Εικόνα 71 Αυξημένη ταχύτητα των ανέμων, λόγω της διοχέτευσης των επικρατέστερων ανέμων από τα βουνά. Πηγή (Rohatgi & Nelson, 1994). Αναδημοσίευση με την άδεια του Ινστιτούτου Εναλλακτικών Πηγών Ενέργειας. ....	123
Εικόνα 72 Οι Επιδράσεις του προσανατολισμού και σχήματος της κορυφογραμμής σχετικά με την καταλληλότητα του χώρου της ανεμογεννήτριας. Πηγή (Wegley, Ramsdell, Orgill, & Drake, 1980). .....	124
Εικόνα 73 Η περιφέρεια της υψηλής διαάτμησης του ανέμου πάνω από μια κορυφογραμμή με επίπεδο ανάγλυφο από πάνω. Πηγή (Wegley, Ramsdell, Orgill, & Drake, 1980). .....	124
Εικόνα 74 Η ιδεατή ροή του ανέμου διαμέσου της ανεμογεννήτριας .....	126
Εικόνα 75 Προεπεξεργασία δεδομένων – στατιστικά χαρακτηριστικά του σταθμού. Τοποθέτηση γεωγραφικών συντεταγμένων του σταθμού μελέτης. ....	129
Εικόνα 76 Καθορισμός της ακρίβειας ανάγνωσης των δεδομένων των ταχυτήτων και των διευθύνσεων του ανέμου από το OWC του WASP. Στην εικόνα παρατίθενται οι παράμετροι όπως τις καθορίσαμε στο πρόγραμμα. ....	130
Εικόνα 77 Καθορισμός των ορίων για την μέγιστη και ελάχιστη τιμή ανάγνωσης που θέλουμε να αναγνώθει το πρόγραμμα OWC του WASP. Στην εικόνα παρατίθενται οι παράμετροι όπως τις καθορίσαμε στο πρόγραμμα. ....	131
Εικόνα 78 Ροδόγραμμα ανέμου στη θέση εγκατάστασης του ιστού μετρήσεων και δίπλα το ραβδόγραμμα όπου διαφαίνεται η κατανομή Πυκνότητας Πιθανότητας Weibull για το σταθμό της Λεμεσού, για το μήνα Αύγουστο, για το τρίωρο από 14:00 έως 16:00, για την χρονοσειρά δεδομένων από το 2002 έως το 2008, για το μήνα Αύγουστο. ....	132
Εικόνα 79 Διαδικασία υπολογισμού του αιολικού δυναμικού από το WASP. Στην παρούσα εικόνα διαφαίνεται ο υπολογισμός του αιολικού δυναμικού για τον μήνα Μάρτιο, για το τρίωρο από 6 – 8 το πρωί. ....	134

## **ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ**

LNG: Liquefied Natural Gas

E.I.A: Energy Information Agency

N.G.P.L: Natural Gas Plant Liquids

Δ.Ο.Α.Ε: Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας

Α.Π.Ε: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

E.E: Ευρωπαϊκή Ένωση

U.S.S.R: Union of Soviet Republics

O.P.E.C: Organization of the Petroleum Countries

ppm: Parts per Million. Κυρίως αναφέρεται για ποσότητα, αδιάστατη, σε συγκέντρωση ποσότητας εκατομμυρίου. Χρησιμοποιείται για χαρακτηρισμό διαφόρων μεγεθών και κυρίως αερίων.

N.R.E.L: Natural Renewable Energy Laboratory.

## **ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ**

Liquefied Natural Gas: Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο

Union of Soviet Republics: Χώρες τις πρώην Σοβιετικής Ένωσης

Organization of the Petroleum Countries: Οργανισμός Χωρών Παραγωγών Πετρελαίου

mg: Χιλιόγραμμα

MJ: Mega Joule. Εκατομμύρια Joule. Ένα Joule αντιστοιχεί με 0,28 kWh.

kwh: Κιλοβατώρες.

Albedo: Νοείται ως λόγος της ανακλώμενης προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία και λαμβάνει τιμές από 0 μέχρι 1. Όσο η τιμή της πλησιάζει το 1 τόσο πιο ανακλαστική είναι η επιφάνεια που προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία (π.χ. πάγος: 0,90) και αντίστροφα (π.χ. νερό: 0,08).

SAO: Τα αποκαλούμενα χημικά αέρια, τα οποία βρίσκουν χρήση σε ψυκτικά συστήματα, κλιματιστικά και αποσμητικά σπρέι χώρου. Αποδυναμωτικά για το στρώμα του όζοντος, προτρέποντας περαιτέρω την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία να περνά από μέσα του.

TW: Τόνοι βατ. Μονάδα μέτρησης της ακτινοβολίας και ενέργειας.

kW: Χιλιάδες βατ. Μονάδα μέτρησης της ακτινοβολίας και ενέργειας.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάπτυξη βιωσιμότητας, καθώς και η χρήση τεχνολογιών στην εξέλιξη του ανθρώπου και της κοινωνίας, είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την κατανάλωση ενέργειας.

Ο άνθρωπος ανέκαθεν, σαν ον προς επιβίωση, αναζητούσε πάντα τρόπους σύλληψης της τροφής του, διαμόρφωσης της οικίας του και φροντίδας του εαυτού του. «Τροφосуλλέκτης» όπως μπορούμε να τον χαρακτηρίσουμε εφεύρε εργαλεία και μεθόδους για την εξεύρεση της τροφής του. Εργαλεία από πέτρα, ξύλο, οστά και σε μεταγενέστερο στάδιο τα μέταλλα. Χρησιμοποιούσε τα ζώα για όργωμα των χωραφιών, για μεταφορά νερού, τροφίμων αλλά και συγκομιδή καρπών.

Αργότερα, με το πέρας του χρόνου, ο άνθρωπος άρχισε να χρησιμοποιεί ανεπτυγμένες μορφές ενέργειας, όπως αιολική ενέργεια και ηλιακή. Τη μεν πρώτη για την άντληση νερού μέσω των ανεμόμυλων και την δε ηλιακή για άναμμα φωτιάς, είτε για μαγείρεμα, είτε για φωτισμό, είτε για θέρμανση.

Κατά τη δεκαετία του 80, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και την βιομηχανική επανάσταση, η κατανάλωση ενέργειας, οδήγησε στην στροφή του ανθρώπου στις συμβατικές – μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η κατά κόρον όμως, και αλόγιστη χρήση τους, οδήγησε στην σπατάλη τους με κίνδυνο την εξάλειψή τους, εν' αντιθέσει με την εξασφάλιση ενός πλήρως ανεπτυγμένου βιοτικού επιπέδου.

Η ραγδαία ενεργειακή ζήτηση του πετρελαίου, συνδυαζόμενη με την αύξηση της κατά κεφαλήν κατανάλωσης πόρων, έγκειται την διατήρηση υψηλών ρυθμών κατανάλωσης ενέργειας και τα επόμενα χρόνια. Επιπροσθέτως, η μη ορθολογική χρήση ενέργειας, τόσο στην παραγωγή, αλλά και μεταφορά, είτε από αδιαφορία, αλλά και έλλειψη ενημέρωσης των πολιτών για την εξάλειψη τους στο μέλλον, θα οδηγήσει αναπόφευκτα σε μια ενεργειακή κρίση σύμφωνα με επιστημονικές έρευνες, αφού τα αποθέματα αναμένεται να επαρκέσουν για ακόμα τρακόσια χρόνια υπό συνθήκες σταθερούς αυξητικής κατανάλωσης. Συγχρόνως, η διαδικασία παραγωγής ενέργειας με την χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας επιβαρύνει το περιβάλλον, προκαλώντας καταστροφικά φαινόμενα, όπως η όξινη βροχή, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, την υπερθέρμανση του πλανήτη και το λιώσιμο των πάγων, παραγωγή αποβλήτων, μόλυνση του εδάφους και αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος, αλλοίωση της ποιότητας του αέρα και καταστροφή της ποιότητας των υδάτων.

Καταλήγοντας, απάντηση τόσο στην εξάντληση των συμβατικών ορυκτών πλούτων, αλλά και στην καταστροφή του περιβάλλοντος, είναι η κατεύθυνση του ανθρώπου στην χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι οποίες να μην εξαντλούνται να είναι αειφόρες, καθώς να είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τις υπόλοιπες γενεές (Brundland, 1987). Τέτοια μορφή ενέργειας είναι η αιολική!

Η Κύπρος, βρίσκεται στα πρώτα της βήματα στην ανάπτυξη του αιολικού δυναμικού της. Παλαιότερες μελέτες και εκτιμήσεις δεν υποδεικνύουν ένα ιδιαίτερα πλούσιο δυναμικό. Σε κάθε περίπτωση όμως, η καταγραφή και μελέτη χωρική και χρονική κατανομή αυτού του φυσικού πόρου της Δημοκρατίας, είναι απαραίτητη. Η συγκεκριμένη εργασία, ως ελάχιστη συνεισφορά, στην παραπάνω κατεύθυνση, επιχειρεί μια πρώτη προσέγγιση στην εκτίμηση των χαρακτηριστικών του ανέμου και της διαθέσιμης αιολικής ισχύος σε δύο παράλιες περιοχές της Νήσου. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης εργασίας είναι ενδεικτικά, δίνουν όμως μία ενδιαφέρουσα προοπτική για τη συνέχιση και ολοκλήρωση της μελέτης (με παράλληλη πειραματική τεκμηρίωση) στο σύνολο της επικράτειας.

## ΘΕΜΑ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ

Σύμφωνα με τις αναφορές της εταιρείας πετρελαίων Shell, (BP, Shell international's exploring the energy: Scenarios to 2050, 2001) τα επόμενα 50 χρόνια, δεικνύεται ότι οι ενεργειακές ανάγκες σε παγκόσμιο επίπεδο θα αυξηθούν. Αυτό τονώνει έντονα το πρόβλημα της ενεργειακής κρίσης, καθώς η ζήτηση των υδρογονανθράκων θα αυξηθεί 2 – 3 φορές περισσότερο (BP, Statistical Review of World Energy, 2003).

Έτσι εύλογα προκύπτει το ερώτημα στο Πώς θα καλυφθούν οι ανάγκες αυτές! Ο κίνδυνος τόσο της εξάντλησης των ορυκτών πλούτων (Salameh, 2001), αλλά και τις ανάγκες ενέργειας στο μέλλον, καθιστά τη στροφή του ανθρώπου στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (John, 2001).

Η αιολική ενέργεια, όπως προέρχεται η ίδια μέσω του ανέμου, μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε εκμεταλλεύσιμη πηγή ενέργειας (Ηλεκτρισμό) και να χρησιμοποιηθεί τόσο για τις ανάγκες των ανθρώπων σε παγκόσμιο επίπεδο, αλλά και στις ανάγκες ενέργειας για το ίδιο το νησί.

Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στη μελέτη του αιολικού δυναμικού στις παραλιακές περιοχές της Κύπρου. Η ανάπτυξη ενός μοντέλου που να μπορεί να δώσει με απόλυτη σαφήνεια τη δυναμικότητα του ανέμου στη Κύπρο. Έτσι θα μπορούν να εξαχθούν ακριβή αποτελέσματα για τον άνεμο.

Η αυτή διατριβή αποτελεί προμελέτη στην εκτίμηση της δυναμικότητας του ανέμου. Έτσι σε μεταγενέστερο στάδιο με βάση τα εξαχθείσα αποτελέσματα, θα είναι εφικτή η εκτίμηση στο που θα μπορούσαν να τοποθετηθούν ανεμογεννήτριες.

Στόχος της πτυχιακής είναι η έρευνα και η ανάλυση του αιολικού δυναμικού σε παραλιακές πόλεις της Κύπρου, σε μία πρώτη προσέγγιση του θέματος στο νησί. Οι περιοχές που θα μελετηθούν είναι η Λεμεσός και η Πόλης Χρυσοχού. Προκειμένου να γίνει η έρευνα, καταγραφεί και η συλλογή των δεδομένων – μετρήσεων, έγιναν καταγραφές της ταχύτητας του ανέμου στις προαναφερθείσες περιοχές. Οι μετρήσεις καταγράφηκαν από ανεμόμετρα εγκατεστημένα από τη Μετεωρολογική Υπηρεσία για τα έτη από το 2002 έως το 2008. Αρχικά θα γίνει προεπεξεργασία και καθαρισμός των μετρήσεων προκειμένου να γίνουν οι κατάλληλες στατιστικές επεξεργασίες. Σε αυτό το στάδιο θα βγουν κάποια πρώτα συμπεράσματα για την κατανομή του ανέμου σε εποχική (μηνιαία) και ωριαία βάση. Εν συνεχεία θα γίνει προσαρμογή των πειραματικών συχνοτήτων σε θεωρητικές κατανομές



τύπου Weibull, οι οποίες ευρέως χρησιμοποιούνται στην αναπαράσταση του ανέμου. Τα τελικά αποτελέσματα θα τροφοδοτηθούν στο πρόγραμμα ροής Wasp, προκειμένου να εκτιμηθεί το αιολικό δυναμικό στην ευρύτερη περιοχή μελέτης γύρω από τους σταθμούς μέτρησης. Με χρήση των αυτών αποτελεσμάτων θα μπορούσε να δημιουργηθεί ένας χάρτης που να δεικνύει την διεύθυνση και δυναμικότητα του αέρα στις παραλιακές περιοχές της Κύπρου. Προκειμένου να γίνει αυτό χρειάζεται και προεπεξεργασία των τοπογραφικών χαρτών όσον αφορά στην παραγωγή ισοϋψών καμπυλών και στην οριοθέτηση των χρήσεων γης προκειμένου να υπολογισθούν τοπογραφικές επιδράσεις στα ανεμολογικά χαρακτηριστικά. Όλα τα παραπάνω αναπτύσσονται στα πέντε κεφάλαια αυτής της εργασίας.

Συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο θα αναλυθεί η υφιστάμενη ενεργειακή κατάσταση, τόσο στο κόσμο, αλλά και στο νησί. Επίσης θα γίνει ανάλυση του ενεργειακού προβλήματος, αλλά και στο κατά πόσο οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και ιδιαίτερα η αιολική ενέργεια μπορεί να δώσει λύση.

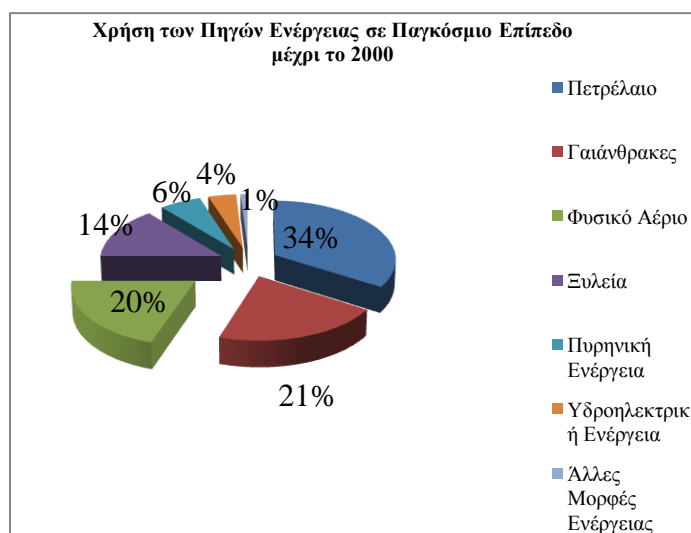
Στο δεύτερο κεφάλαιο θα γίνει αναθεώρηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, όσο αφορά την αιολική ενέργεια. Θα επεξηγηθούν όροι και μέθοδοι αντιπροσώπευσης του αιολικού δυναμικού. Στο τρίτο κεφάλαιο θα αναλυθεί η μεθοδολογία εξαγωγής των αποτελεσμάτων για την ανάλυση του αιολικού δυναμικού. Θα αναφερθούν και θα σχολιαστούν οι περιοχές μελέτης, ο τρόπος λήψης μετρήσεων και η εξαγωγή των στατιστικών δεδομένων, η προεπεξεργασία των στατιστικών δεδομένων μέσω της κατανομής Weibull και τέλος η εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων με την χρήση του προγράμματος Wasp. Θα ακολουθήσουν τα προβλήματα και οι περιορισμοί που ενδεχομένως να επηρέασαν τη μελέτη.

Στο τέταρτο κεφάλαιο θα αναφερθούν τα αποτελέσματα της μελέτης. Εκτενέστερα θα γίνει ανάλυση των αποτελεσμάτων καθώς και αναθεώρηση τους. Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο θα γίνει συζήτηση και θα εξαχθούν συμπεράσματα από την διαδικασία μελέτης. Επιπλέον θα αναφερθούν προτάσεις για περαιτέρω ανάπτυξη του θέματος και της μελέτης σε ευρύτερο επίπεδο.

# 1. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ. ΠΡΟΤΡΟΠΗ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 1.1. Συμβατικές – Μη ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει αναφορά ως προς τις συμβατικές – μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Συμβατικές μορφές ενέργειας καλούνται οι μορφές ενέργειας που προέρχονται από ορυκτά καύσιμα. Τα ορυκτά καύσιμα αποτελούν σήμερα το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας σε χρήση ανά τον κόσμο.



**Εικόνα 1** Χρήση των Πηγών ενέργειας σε Παγκόσμιο Επίπεδο μέχρι το 2000. Εμφανής η κυρίως χρήση των συμβατικών μορφών ενέργειας.

Όπως και ονομάζονται, είναι οι πηγές ενέργειας οι οποίες δεν αναπληρώνονται εύκολα ή αν αυτό συμβαίνει, δηλαδή να αναπληρώνονται, γίνεται με πάρα πολύ αργό ρυθμό, που θα μπορούσε να διαρκέσει και εκατομμύρια έτη για την αποκατάστασή τους, λόγω των ενεργών και συνεχών δραστηριοτήτων του ανθρώπου. Δηλαδή, αν αναλογισθούμε ότι η ανθρωπότητα καταναλώνει ημερησίως ποσότητα ορυκτών καυσίμων που απαιτεί χιλιάδες χρόνια για την αναδημιουργία της, τότε αντιλαμβανόμαστε την έννοια της ανανεωσιμότητας.

Στις συμβατικές μορφές ενέργειας συγκαταλέγονται κυρίως οι Γαιάνθρακες, το Φυσικό Αέριο, το Πετρέλαιο, η Πυρηνική Ενέργεια σαν δευτερογενής χρήση (IEA, 2007). Στο Παράρτημα I, αναλύονται εκτενέστερα οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Είναι εμφανές ότι οι απαιτήσεις του σύγχρονου μας κόσμου σε ενέργεια, ολοένα αυξάνονται. Οι ορυκτοί πλούτοι συνεχώς μειώνονται. Επίσης ορισμένες μορφές ενέργειας

είναι επιβλαβής για το περιβάλλον και προκαλούν κινδύνους για την υγεία των ανθρώπων. Μια τέτοια πηγή ενέργειας είναι η πυρηνική ενέργεια, η οποία δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ανεξάντλητη πηγή και ούτε καθαρή, ενώ ταυτόχρονα είναι πολύ επικίνδυνη πηγή ενέργειας και ακριβή (ΚΑΠΕΕ, 1987).

Η Κύπρος σαν χώρα εισαγωγέας ορυκτών καυσίμων, εφάρμοσε πολιτική για την εισαγωγή φυσικού αερίου στο νησί. Τα φυσικό αέριο, το οποίο αποτελεί ένα οικονομικό και πρωτίστως φιλικό προς το περιβάλλον καύσιμο, θα χρησιμοποιείται αρχικά ως καύσιμο στην παραγωγή ηλεκτρισμού. Θα εισάγεται στην Κύπρο σε υγροποιημένη μορφή (LNG) σε ειδικά διαμορφωμένα πλοία και ακολούθως θα αεριοποιείται και θα αποθηκεύεται στο τερματικό στο Βασιλικό. Σε πρώτη φάση θα χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και σε δεύτερη φάση για βιομηχανικούς και οικιακούς σκοπούς. Αναμένεται να αρχίσει τη λειτουργία του μεταξύ τα τέλη του 2013 και αρχές 2014. Παρ' όλα αυτά, με την εύρεση φυσικού αερίου στα παραλιακά του νησιού το ενεργειακό ισοζύγιο του νησιού αναμένεται ότι θα αλλάξει ( βλέπε Εικόνα 2), καθώς από εισαγωγέας η Κύπρος θα μετατραπεί σε εξαγωγέα. Οι βασικοί άξονες στους οποίους πρέπει να κινηθεί ο άνθρωπος τα επόμενα χρόνια, για μια αειφόρο ανάπτυξη, φαίνεται ότι είναι η στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Μια τέτοια πηγή είναι η αιολική, ανεξάντλητη και αειφόρα!

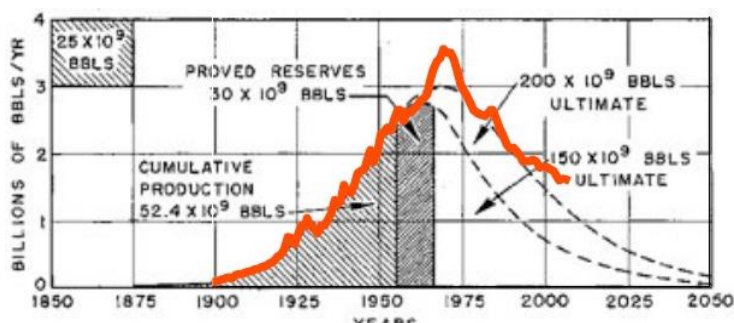


**Εικόνα 2 Τα οικόπεδα φυσικού αερίου που υπάρχουν στο νησί, σύμφωνα με πρόσφατες αναφορές του διευθυντή ενέργειας κ. Σόλωνα Κασίνη (Συνέδριο Ινστιτούτου Νέων Επιστημόνων, Ιούλιος 2011, Πρωταράς – Κύπρος).**

### **1.1.1. Ενεργειακό Πρόβλημα**

«Η Γη διαθέτει επαρκείς πόρους για να ικανοποιήσει τις ανάγκες όλων, αλλά όχι επαρκείς για την απληστία ορισμένων». Αυτή η δήλωση του Μαχάτμα Γκάντι αναδεικνύει την ουσία του προβλήματος και ταυτόχρονα είναι όσο ποτέ άλλοτε επίκαιρη.

Δυστυχώς, όμως, στο όνομα της ανάπτυξης κάθε λογική και υπευθυνότητα όσον αφορά στη χρήση των φυσικών πόρων, έχουν χαθεί (βλέπε Εικόνα 3). Όμως τα ορυκτά δεν ανανεώνονται (Αναδιάδου. Τ, Μ et al, 2009). Η ανεξέλεγκτη εκμετάλλευση τους στο βωμό του κέρδους, που θα οδηγήσει στην εξάντλησή τους, συνεπάγει νομοτελειακά ένα αβέβαιο μέλλον (IPCC, 2012).



**Εικόνα 3 Η παραγωγή αργού πετρελαίου στις Ηνωμένες Πολιτείες αναμενόταν στα 150 με 200 εκατομμύρια βαρέλια κατά το έτος 1960. Όμως εμφανές είναι η ραγδαία μείωση των αποθεμάτων στα επόμενα χρόνια. Πηγή (Hubbert. K, M, 1956).**

Στις αρχές της δεκαετίας του '70, το προσωρινό μποϊκοτάζ της παγκόσμιας αγοράς πετρελαίου από την Ο.Ρ.Ε.Κ προκάλεσε την τιμή του πετρελαίου να αυξάνεται δραματικά, καθώς το πετρέλαιο είναι η πιο κοινή πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται στην παραγωγή, τις εγκαταστάσεις εμπορίου, στις μεταφορές και στην οικοδομική δραστηριότητα. Η ικανότητα των σημαντικότερων παραγωγών χωρών να αρνηθούν την παροχή πετρελαίου προς τα έξω, αποκαλύπτει την σημασία της ενεργειακής εξάρτησης και της τιμής των καυσίμων.

Επιπλέον, πρόσφατα η υπερθέρμανση του πλανήτη έχει γίνει αναμφισβήτητο πλέον σημαντικό πρόβλημα, με την εκτεταμένη τήξη των πάγων, τις αξιοσημείωτες αλλαγές του κλίματος και την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Αυτό αναγνωρίζεται πλέον από όλους, όπως επίσης και το φαινόμενο του θερμοκηπίου, που προκαλείται κυρίως από το διοξείδιο του άνθρακα, που παράγεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων. Ενώ τα πυρηνικά εργοστάσια, που παρόλο που είναι μια μεγάλη πηγή ενέργειας, εντούτοις όμως, είναι εξίσου προβληματική και επικίνδυνη όσο τα αέρια που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σημειωτέο το γεγονός ότι υπάρχει μια παγκόσμια έλλειψη πυρηνικών πόρων.

Επιπροσθέτως, η παραγωγή αιθανόλης καταναλώνει σχεδόν την ίδια ποσότητα ενέργειας που παρέχει, καθώς η χρήση της δημιουργεί αέρια του θερμοκηπίου. Με μόνο 1%

βενζίνη που πλέον έχει αντικατασταθεί από την αιθανόλη, καλλιεργητές καλαμποκιού έγιναν πλούσιοι, όμως από την άλλη οι κτηνοτρόφοι βρίσκονται σε δεινή θέση λόγω της απρόβλεπτης αύξησης του καλαμποκιού (Shreiber, 2007).

Σύμφωνα με το κριτήριο αειφορίας, οι φυσικοί πόροι, επομένως και τα ορυκτά υλικά, πρέπει να χρησιμοποιούνται με σεβασμό στις ανάγκες των μελλοντικών γενεών (European Commission, 2011). Η αναζήτηση εναλλακτικών λύσεων, η στροφή στους ανανεώσιμους πόρους και κυρίως ο περιορισμός της σπατάλης, αποτελούν τις μόνες επιλογές που οδηγούν σε ένα αειφόρο μέλλον (Hodkinson et al, 2001).

### 1.1.2. Ατμοσφαιρικοί Ρύποι

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί σοβαρό πρόβλημα, καθώς ένα υψηλό ποσοστό του πληθυσμού εκτίθεται σημαντικά σε υψηλές συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων. Στις πλύστες των περιπτώσεων, τα επίπεδα συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων υπερβαίνουν τα αποδεκτά όρια, που θεσπίστηκαν από την Ε.Ε και έτσι αυξάνουν το κίνδυνο εμφάνισης προβλημάτων υγείας, καθώς και εμφάνιση αναπνευστικών παθήσεων (Peter & Brimblecombe, 1994).

Οι κυριότεροι ρύποι (βλέπε Πίνακα 1) που απαντώνται σε αστικές περιοχές είναι τα αιωρούμενα σωματίδια, το διοξείδιο του αζώτου, το όζον, το διοξείδιο του άνθρακα, οι υδρογονάνθρακες, το διοξείδιο του θείου, το μονοξείδιο του θείου, ο μόλυβδος και βαρέα μέταλλα (Oracle Education Foundation, 2011). Τα καυσαέρια των αυτοκινήτων παραμένουν ο βασικός παράγοντας που επιδρά επιβαρυντικά στη ποιότητα του αέρα όσο αφορά τα Κυπριακά δεδομένα.

**Πίνακας 1: Μέσες τιμές εκπομπών ρύπων ανά καύσιμο σε mg/MJ**

Καύσιμο	Σωματίδια	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>
Ξύλο	1268	116	17	500	-
Κάρβουνο (Ανθρακίτης)	1158	347	2259	14	98300
Πετρ. κωκ	1117	421	3786	14	100800
Λιγνίτης	965	335	808	12	101200
Λυματολόσπη	214	180	200	-	-
Μαζούτ	89	158	1364	15	83768
Ντίζελ	11	80	220	16	74100

<b>Βενζίνη</b>	5,3	30	60	16	69300
<b>Φυσικό Αέριο</b>	2,5	33	0,25	17	56100

**Πηγή: ( EPA, 1998).**

Η προσπάθεια για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης πρέπει να είναι συλλογική (Sheffield, 2002). Η συμμετοχή όλων στην προσπάθεια αυτή, με την εξοικονόμηση ενέργειας, τη χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς και την αύξηση της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, θα συμβάλουν ουσιαστικά στην μείωση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (National Geographic, 1996).

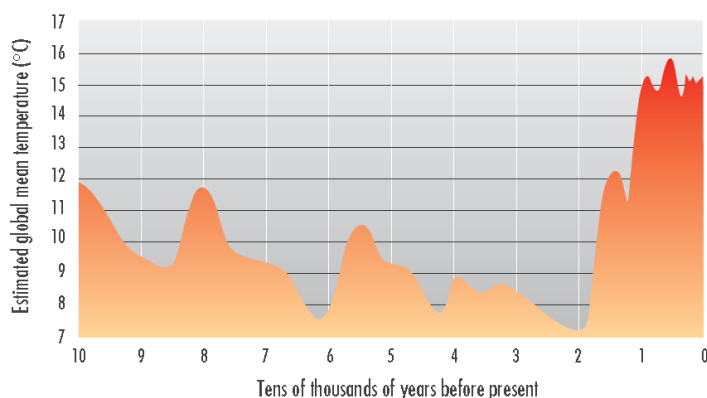
Σε ευρύτερη κλίμακα, οι κυβερνήσεις έλαβαν κάποια μέτρα άμβλυνσης για τον περιορισμό των εκπομπών των ατμοσφαιρικών ρύπων και κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα, που ενδεχομένως τονώνει το πρόβλημα σε μεγαλύτερα για το περιβάλλον προβλήματα, όπως είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Μέσω του πρωτοκόλλου του Κιότο, που ήταν μια συμφωνία μεταξύ των χωρών, ήταν η μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Μια άλλη μέθοδος των κυβερνήσεων, ήταν να τεθούν φόροι επί των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ή ακόμα και μεγαλύτερα τέλη στα καύσιμα, έτσι ώστε οι άνθρωποι και βιομηχανίες να ευαισθητοποιηθούν και να εξοικονομήσουν ενέργεια και να ρυπαίνουν λιγότερο.

Εντούτοις, όμως η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αποτελεί την καλύτερη λύση στα πρωτοφανή φαινόμενα για το πλανήτη. Η φιλικότητα τους καθώς και καθαρή προέλευση τους, αφού προέρχονται από μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε άλλες μορφές ενέργειας, τις καθιστά απαραίτητες, αναλλοίωτες και ανεξάντλητες.

### **1.1.3. Φαινόμενο του Θερμοκηπίου**

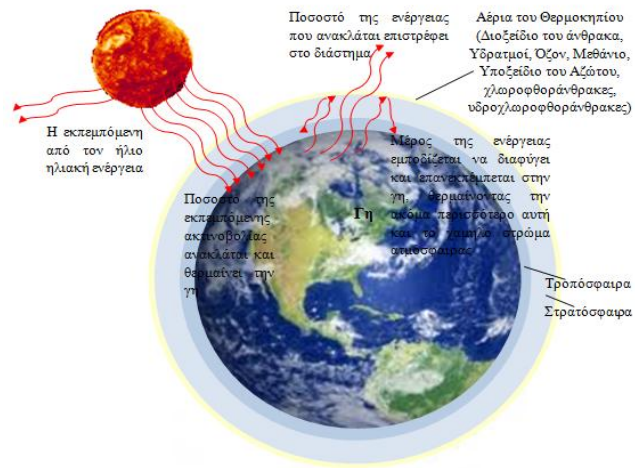
Κατά την διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα, η μέση παγκόσμια θερμοκρασία αυξήθηκε κατά περίπου 0,6 βαθμούς Κελσίου, δηλαδή κάτι παραπάνω από ένα βαθμό Φαρενάιτ. Οι επιστήμονες βασισμένη σε κλιματολογικά μοντέλα, εκτιμούν ότι μέχρι το 2100 η μέση θερμοκρασία θα αυξηθεί κατά 1,4 βαθμούς έως 5,8 βαθμούς Κελσίου. Δηλαδή, διαφορετικά αντιστοιχεί σε περίπου 2,5 έως 10,5 βαθμούς Φαρενάιτ. Είναι εμφανές ότι οι εκπομπές αερίων – ρύπων στην ατμόσφαιρα, οδήγησα στην εμφάνιση του φαινομένου της αύξησης της θερμοκρασίας, προκαλώντας έτσι ένα νέο φαινόμενο για την εποχή, το φαινόμενο του θερμοκηπίου (About.com, 1996).

Η πρώτη φορά που χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ο όρος φαινόμενο του θερμοκηπίου, ήταν από το Γάλλο φυσικό Fourier το 1824, για να χαρακτηρίσει το φαινόμενο με το οποίο η ατμόσφαιρα συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας της, παρέχοντας έτσι τις απαραίτητες συνθήκες για την ύπαρξη της ζωής. Εάν δεν υπήρχε, η μέση θερμοκρασία της γης, που σήμερα είναι περίπου 15°C, θα ήταν χαμηλότερη κατά 30 °C (βλέπε Εικόνα 4). Δηλαδή, εκτενέστερα, αποτελεί το σύνολο των φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών που αλληλεπιδρούν για να καθορίσουν το κλίμα της γης, ανά περιοχή. Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που αλλάζει το κλίμα της γης στην πορεία των εκατομμυρίων ετών, έτσι άλλαξαν και εμφανίστηκαν νέοι γεωολογικοί σχηματισμοί στην γη. Επίσης, η φιλοξενία του φαινομένου αυτού βοήθησε στην ευημερία και ανάπτυξη πολλών οργανισμών και μορφών ζωής, καθώς και του ίδιου του ανθρώπου.



**Εικόνα 4** Η εκτιμώμενη μέση παγκόσμια θερμοκρασία κατά τα τελευταία 100000 χρόνια, που εκτείνονται από την τελευταία εποχή των παγετώνων και την σημερινή μεσοπαγετωνική περίοδο. Στον κάθετο άξονα παρατηρείται η μέση παγκόσμια θερμοκρασία σε βαθμούς κελσίου, ενώ στον οριζόντιο άξονα παρουσιάζονται τμηματικά τα έτη, με βήμα ανά 10000 χρόνια. Εμφανής είναι η παρούσα αύξηση της θερμοκρασίας. Πηγή (IPCC, 2002).

Εν' αντιθέσει, όμως, δεν είναι όλες οι διεργασίες και αλλαγές στην ατμόσφαιρα, φυσικές (βλέπε Εικόνα 5). Οι ίδιοι οι άνθρωποι και οι δραστηριότητες του τόνωσαν και προκάλεσαν το φαινόμενο του θερμοκηπίου από ένα ευεργετικό φαινόμενο ανάπτυξης της ζωής, σε ένα φαινόμενο εξαφάνισης των οργανισμών και της βιοποικιλότητας (IPCC, 2012). Οι έντονες ανθρωπογενείς δραστηριότητες που συνέβαλαν στην αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου κατ' ονομάζονται ως οι δραστηριότητες που προέρχονται από πυρκαγιές και μείωση των δασικών εκτάσεων, την συνεχή και αλόγιστη χρήση του πετρελαίου και του άνθρακα σαν πρώτες ύλες, την αύξηση της χρήσης των λιπασμάτων και εκτενέστερα την παραγωγή καυσαερίων και ατμοσφαιρικών ρύπων από τα οχήματα και τις βιομηχανίες (Mason, 1995).



**Εικόνα 5 Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου όπως έχει εξελιχθεί σήμερα. Τα παραγόμενα αέρια από το άνθρωπο οδηγούν σε δημιουργία μεγαλύτερου στρώματος αερίων του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα των εγκλωβισμό περαιτέρω θερμότητας. Πηγή (IPCC, 2002).**

Αποτέλεσμα της ενίσχυσης των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου, είναι η περαιτέρω απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τον ήλιο. Έτσι το στρώμα των αερίων αυτών, αυξανόμενης συγκέντρωσης τώρα, λειτουργεί σαν ζώνη εγκλωβισμού περισσότερης θερμότητας προκαλώντας πρωτοφανή για την γη φαινόμενα. Φαινόμενα όπως την αλλαγή των κλιματικών συνθηκών, την ανύψωση της στάθμης της θάλασσας και το σταδιακό λιώσιμο των πάγων λόγω του υψηλού δείκτη Albedo που έχει το νερό, διαταράξεις και σημαντικές επιπτώσεις στον κύκλο του νερού, υποβάθμιση των οικοσυστημάτων και διαταράξεις της βιοποικιλότητας, και τέλος ανατρέψιμες καταστροφές της καλής ποιότητας των εδαφών λόγω διάβρωσης ή ερημοποίησης.

Σαν φυσικά αέρια του θερμοκηπίου συγκαταλέγονται οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα  $\text{CO}_2$ , μεθάνιο  $\text{CH}_4$ , υποξείδιο του αζώτου  $\text{N}_2\text{O}$  και το άζωτο. Εν αντιθέσει των αλογονομένων ουσιών που περιέχουν φθόριο, χλώριο και βρώμιο που είναι επίσης αέρια του θερμοκηπίου, που όμως προέρχονται από τις δραστηριότητες της βιομηχανίας. Οι χλωροφθοράνθρακες και υδροχλωροφθοράνθρακες, είναι αλογονοάνθρακες που περιέχουν χλώριο και συγκαταλέγονται στα αέρια του θερμοκηπίου, αλλά και στα καταστρεπτικά αέρια για την στοιβάδα του όζοντος (Kaufman & al, 2002).

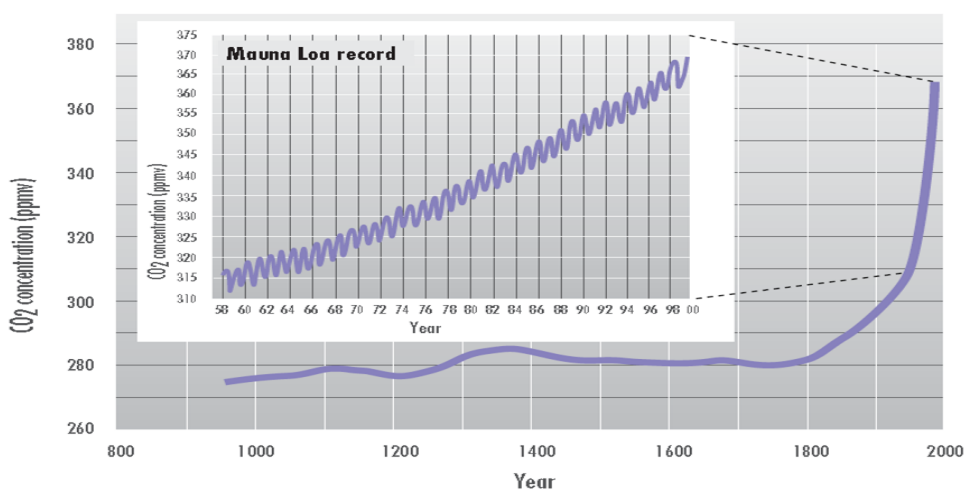
Από τα αέρια του θερμοκηπίου, οι υδρατμοί αποτελούν τα δύο τρίτα του φαινομένου του θερμοκηπίου. Ωστόσο οι ανθρώπινες δραστηριότητες δεν αυξάνουν το ποσοστό τους



στην ατμόσφαιρα. Παρόλα αυτά η αύξηση της θερμότητας του αέρα, ενδέχεται κατακράτηση πολύ περισσότερης υγρασίας και συνεπώς αυξάνει την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και οδηγεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου σε μια εντονότερη μορφή.

Η συνεισφορά του διοξειδίου του άνθρακα είναι καταλυτική, καθώς η έκλυση του ενισχύθηκε περαιτέρω λόγω των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Η διάρκεια ζωής του κυμαίνεται από 50 – 200 χρόνια αναλόγως του τρόπου ανακύκλωσής του στο έδαφος και στους ωκεανούς. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις των επιστημόνων (IPCC, 2007), εκτιμάται ότι τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα αυξάνονται κατά 0,4 έως 0,5% κάθε χρόνο. Αναμένεται ότι η συγκέντρωση του θα διπλασιαστεί το έτος 2030, νοουμένου ότι θα συνεχιστεί ο ίδιος αυξητικός ρυθμός χρήσης των συμβατικών καυσίμων (βλέπε Εικόνα 6).

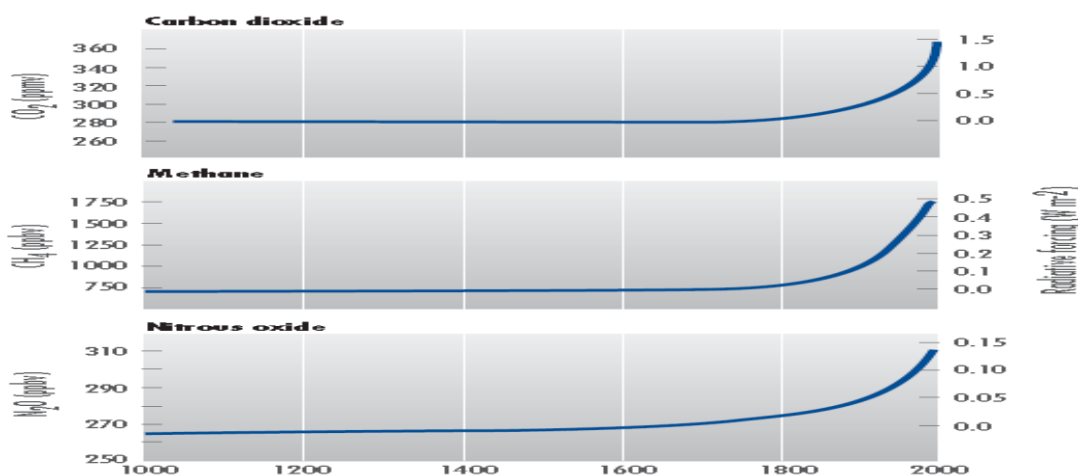
Το μεθάνιο αποτελεί το δεύτερο κατά σειρά αέριο που ευθύνεται για την ενίσχυση του φαινομένου (βλέπε Εικόνα 6). Προέρχεται από αποθέσεις απορριμμάτων, χωματερές και απορριμμάτων νεκρών ζώων από σφαγεία ή κτηνοτροφικές μονάδες. Δεσμεύει θερμότητα είκοσι τρεις φορές περισσότερο απ’ ότι το διοξείδιο του άνθρακα, αλλά ο χρόνος ζωής του στην ατμόσφαιρα είναι 10 χρόνια. Αποτελεί το 12 με 20% των αερίων του θερμοκηπίου. Κάθε χρόνο αυξάνεται κατά 1 έως 2%.



**Εικόνα 6** Οι αλλαγές στις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα για τα τελευταία χίλια χρόνια, βασισμένη στην ανάλυση πυρήνα πάγου, καθώς και το γράφημα για τις χρονιαίες μετρήσεις των συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα από το 1958 μέχρι το 2000, στην Χαβάη. Εκφράζεται σε μέρη ανά εκατομμύριο όγκου (ppmv). Πηγή (IPCC, 2002).

Το υποξείδιο του αζώτου ελευθερώνεται με φυσικό τρόπο από τα δάση και τους ωκεανούς, αλλά και από τη διάσπαση αζωτούχων λιπασμάτων, καθώς και την καύση ορυκτών υποπροϊόντων. Η παραμονή του στην ατμόσφαιρα είναι 170 χρόνια, καθώς συνεισφέρει περίπου στο 4 με 6% στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (βλέπε Εικόνα 7). Η αύξηση του κάθε χρόνο κυμαίνεται από 0,25 έως 0,4%.

Οι χλωροφθοράνθρακες και οι υδροχλωροφθοράνθρακες είναι τα αέρια του θερμοκηπίου που προκύπτουν από χημικές ενώσεις που χρησιμοποιούνταν μέχρι και σήμερα σε ψυκτικούς μηχανισμούς και συστήματα κλιματισμού, αλλά και σε διάφορα σπρέι. Η συγκέντρωσή τους αποτελεί το 15 με 25% του ποσοστού των αερίων του θερμοκηπίου, καθώς έχει αύξηση 6% ετησίως. Η διάρκεια ζωής του στην ατμόσφαιρα είναι εκατοντάδες χρόνια.



**Εικόνα 7** Οι μεταβολές των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου για τα τελευταία 1000 χρόνια. Το αποτέλεσμα της αύξησης των συγκεντρώσεων αποτελεί μείωση του μήκους κύματος που χάνεται στην ατμόσφαιρα, από την ανακλώμενη ακτινοβολία στην γη, το οποίο εκφράζεται σε Watt ανά m<sup>2</sup> (W/m<sup>2</sup>). Πηγή (IPCC, 2002).

Ο ενεργειακός τομέας, αναμφίβολα αποτελεί την βασική πηγή εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου. Η χρήση συμβατικών καυσίμων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και διακίνησης είναι ο νούμερο ένα καταλυτικός παράγοντας εμφάνισης των καταστροφικών φαινομένων στην γη. Επομένως η προστασία του περιβάλλοντος και της ζωής κρίνεται απαραίτητη καθώς απαιτείται η χρήση αειφόρων πόρων ενέργειας. Η αιολική ενέργεια αναμένεται να αποτελέσει καταλυτικά την αποτελεσματικότερη λύση στο πρόβλημα.

Τα διάφορα κλιματικά μοντέλα προμηνύουν μία αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης κατά 1,5 – 4,5°C περισσότερο από τα επίπεδα του 1990, για το τέλος του αιώνα που διανύουμε σύμφωνα με την IPCC. Σύμφωνα με την NOAA και τα δεδομένα της NASA, η μέση θερμοκρασία της γης αυξήθηκε κατά 0,6 °C, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Τα θερμότερα έτη που έχουν καταγραφεί από το 1850 είναι τα τελευταία 13 χρόνια που διανύουμε (EPA, 2011).

#### **1.1.4. Νομοθεσίες περί Ενέργειας**

Ο αναπροσανατολισμός της τεχνολογίας, καθώς και ο περιορισμός των κινδύνων που επιφέρουν, εμφανίζοντας πρωτοφανή φαινόμενα κλιματικών αλλαγών και ανάγκης διατήρησης των φυσικών πόρων και του περιβάλλοντος, τονώνοντας έτσι το ενδιαφέρον της διεθνής κοινότητας. Το 1987 με το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ υπογράφηκε η συνθήκη για την προστασία του στρώματος του όζοντος. Το πρωτόκολλο αυτό δέσμευε τις χώρες για μείωση έως το 2010 κατά 95% των προϊόντων που αποδυναμώνουν το στρώμα του όζοντος (UNEP, 2000). Σήμερα 183 χώρες δεσμεύτηκαν μέχρι το 2040 να αντικαταστήσουν σταδιακά την χρήση των SAO.

Ακολούθως, λόγω της αναποτελεσματικότητας και μη διεθνής συμμόρφωσης, συγκλήθηκε η « Σύνοδος Κορυφής της Γης» το 1992 στο Ρίο Ντε Τζανέιρο της Βραζιλίας, όπου τονίσθηκαν τα θέματα περιβάλλοντος, καθώς και τις απόλυτα κοινωνικές και οικονομικές σχέσεις αυτού. Ψηφίστηκε, έτσι η διακήρυξη του Ρίο στην οποία τονίζονται τα δικαιώματα και οι υποχρεώσεις προς το περιβάλλον. Επίσης ψηφίστηκε η Ατζέντα του 21 που περιλάμβανε την στροφή του 21<sup>ο</sup> αιώνα προς την αειφόρο ανάπτυξη (UN, 1997).

Εντούτοις, όμως, οι κλιματικές αλλαγές δεν άργησαν να εμφανιστούν. Έτσι σε μια προσπάθεια αντιμετώπισης των κλιματικών αλλαγών, η διεθνής κοινότητα υπέγραψε το Πρωτόκολλο του Κιότο στην Ιαπωνία το 1997. Το Πρωτόκολλο του Κιότο προέβλεπε μείωση της εκπομπής των αερίων του θερμοκηπίου κατά 5,2% με βάση τις εκπομπές του 1990 έως το έτος 2012. Ωστόσο, το πρωτόκολλο του Κιότο τέθηκε σε πραγματική ισχύ στις 16 Φεβρουαρίου του 2005. Έως το Ιούνιο του 2007, 172 χώρες και η Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν επικυρώσει το πρωτόκολλο. Δύο χώρες, οι οποίες είχαν αρχικά υπογράψει τη συνθήκη, δεν έχουν προχωρήσει σε επικύρωση. Οι Η.Π.Α έχουν απορρίψει το πρωτόκολλο, ενώ η Αυστραλία αποφάσισε να μην το επικυρώσει. Αυτό σημαίνει ότι 36 ανεπτυγμένες χώρες και η Ε.Ε. έχουν δεσμευθεί να πετύχουν τους στόχους του πρωτοκόλλου.

Επίσης, η αναγκαία και η απαραίτητη αναγνώριση του φαινομένου των κλιματικών αλλαγών του πλανήτη, αναγνωρίστηκε από την Ευρωπαϊκή επιτροπή, που υιοθέτησε το πρώτο πολιτικό έγγραφο προσαρμογής τον Ιούνιο του 2007, που ονομάστηκε Πράσινη Βίβλος. Η Πράσινη Βίβλος, δεικνύει την αμεσότητα της πρόκλησης που επέρχεται με τις μεγάλες περικοπές των αερίων του θερμοκηπίου, που και από την άλλη όμως, πρέπει να προσαρμοστούμε και να μετριάσουμε τις κλιματικές αλλαγές (Department of Climate Change, 2008). Με αφορμή το παρόν πλαίσιο, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έθεσε δεσμευτικούς στόχους μέχρι το 2020. Οι στόχοι αποσκοπούν στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των συστημάτων κατά 20% μέχρι το 2020. Επίσης, όσο αφορά την διεισδυτικότητα, των ανανεώσιμων πηγών ενέργεια στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στις μεταφορές και την παραγωγή ενέργειας για θέρμανση, αναμένεται να αποτελέσει το 20% της απαιτούμενης ενέργειας. Και τέλος, απαιτείται 10% αύξηση του ποσοστού χρήση των βιοκαυσίμων στις μεταφορές.

Συνεπώς, οι ευρωπαϊκές οδηγίες, καθιστούν μια μεγάλη πρόκληση, ωστόσο να επιτευχθεί ο στόχος της Κοινοτικής Οδηγίας, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Σύμφωνα με την νέα κοινοτική οδηγία, η Κύπρος καλείται να χρησιμοποιεί έως και 13% ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, στο τελικό ποσό ενέργειας που καταναλώνει. Σήμερα η πολιτική που ακολουθεί η Κύπρος, είναι στην επίτευξη μερικώς του απαιτούμενου στόχου στο 6% μέχρι το 2010, σύμφωνα με το πλαίσιο της ευρωπαϊκής οδηγίας 2001/77/ΕΚ «Οδηγία 2001/77/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 2001 για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας» όσο αφορά την ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ. Καθώς έχει ψηλό ηλιακό, μέτριο αιολικό, μικρό δυναμικό βιομάζας και καθόλου υδροδυναμικό, καθώς οι συνθήκες του νησιού δεν το επιτρέπουν.

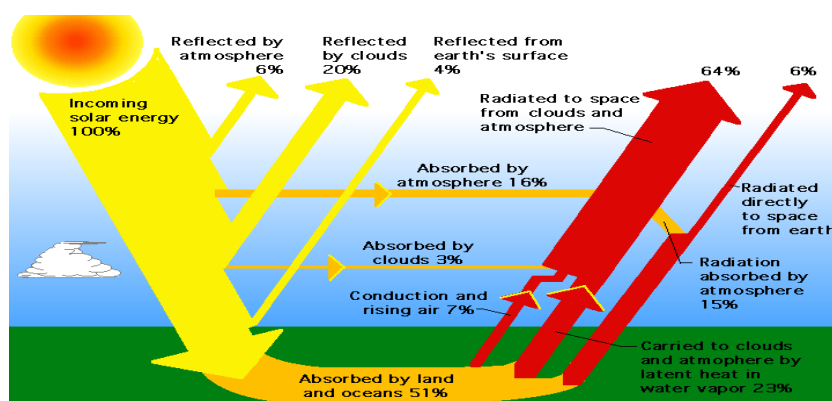
Έτσι, η Κύπρος υιοθέτησε και προώθησε νομοθεσίες που αφορούν την εφαρμογή, χρήση, χωροθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Εν συνεχεία, παρατίθενται οι περί ανανεώσιμων πηγών νόμοι (βλέπε Παράρτημα 2).

## **1.2. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας**

Ανανεώσιμες, μη ορυκτές πηγές ενέργειας ή αλλιώς όπως ορίζονται σαν συμβατικές πηγές ενέργειας, είναι η γενικά οι καθαρές και μη ανεξάντλητες πηγές ενέργειας, καθώς δεν εξαντλούνται με την χρήση τους από τον άνθρωπο. Ο παρόν αυτός ορισμός, εντούτοις είναι

αντικανονικός και υπερβολικός σαν ορισμός, καθώς μερικές από αυτές αναπληρώνονται σε αργό ρυθμό, που όμως και πάλιν γρηγορότερα από ότι τα συμβατικά καύσιμα.

Οι μη συμβατικές πηγές ενέργειας, με εξαίρεση την παλιρροιακή και τη γεωθερμική, οφείλουν την προέλευση τους στον ήλιο (βλέπε Εικόνα 8). Ο ήλιος ακτινοβολεί ετησίως στη γη ισχύ 178000 TW, που είναι ίση με 15000 φορές την παρούσα παγκόσμια ζήτηση. Από αυτήν το 30% αντανακλάται στο διάστημα αμέσως. Το 50% απορροφάται και μετατρέπεται σε θερμότητα που αντανακλάται προς το διάστημα, ενώ το υπόλοιπο 20% δημιουργεί τους ανέμους, δίνει την απαραίτητη ισχύ για τον κύκλο του νερού και ενεργοποιεί την φωτοσύνθεση (Κανελλόπουλος, 2008).

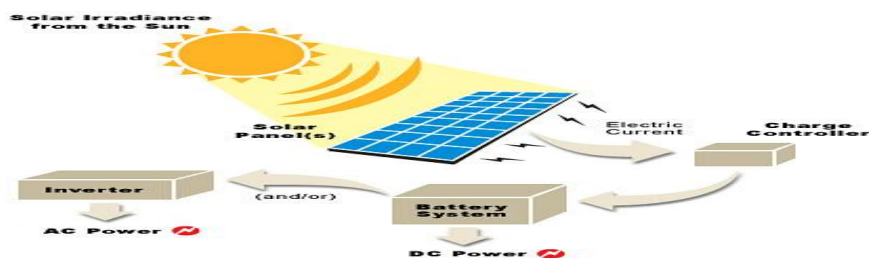


Εικόνα 8 Η προσπίπτουσα ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης. Πηγή (Instiude of Marine and Coastal Science, 1998).

Στην κατηγορία των μη ορυκτών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, σύμφωνα με τον ορισμό που αποδίδεται στην οδηγία ΕΚ 77/2001 στην οποία παραπέμπει το Κοινοτικό Πλαίσιο σχετικά με τις Κρατικές Ενισχύσεις για την Προστασία του Περιβάλλοντος, συγκαταλέγονται η αιολική, ηλιακή, η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια των κυμάτων, η παλιρροϊκή ενέργεια, η υδραυλική ενέργεια, η βιομάζα, αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής, από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέρια. Στην παρόν ενότητα θα τονισθούν οι ανανεώσιμες πηγές (Ηλιακή, Γεωθερμία, Βιομάζα, Υδροηλεκτρική Ενέργεια, Ενέργεια των Ωκεανών), πλην της αιολικής την οποία θα αναλύσουμε εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο.

Η **ηλιακή ενέργεια** επικρατεί σαν η βασικότερη πηγή ενέργειας, καθώς είναι η πρωτεύων πηγή για την δημιουργία των υπολοίπων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Είναι ανεξάντλητη αφότου προέρχεται από τον ήλιο, καθώς μπορεί να αξιοποιηθεί διαμέσου διαφόρων τεχνολογιών. Εκτενέστερα, εκμεταλλευόμενοι την ηλιακή ακτινοβολία

συλλέγοντας την διάμεσο διαφόρων τεχνολογιών, καθώς επίσης και την παραγόμενη θερμότητα του ήλιου για σκοπούς θέρμανσης (Βλέπε Εικόνα 9).



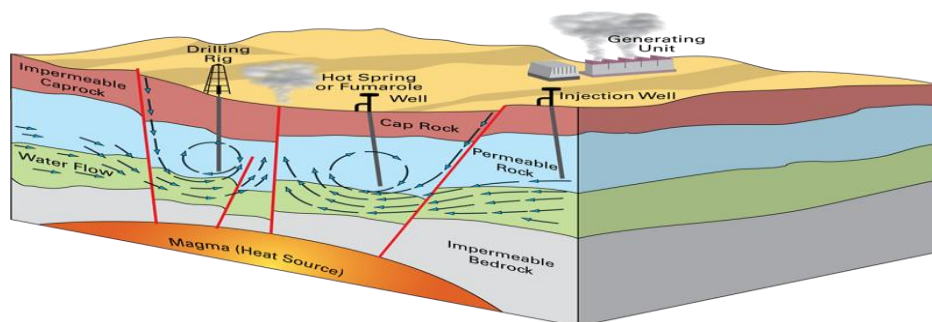
**Εικόνα 9** Η κυρίως χρήση της ηλιακής ενέργειας όπως της γνωρίζουμε μέχρι σήμερα. Πηγή (News, 2012).

Η ηλιακή ενέργεια σήμερα, έχει φτάσει στο απόγειο της χρήσης της καθώς είναι κατά 90% φθηνότερη έναντι των συμβατικών μέσων και ορυκτών, αφότου είναι σε αφθονία στο νησί. Εξίσου, είναι μια επένδυση εύκολης εκμετάλλευσης, καθώς είναι γρήγορα οικονομικά αποσβέσιμη. Εντούτοις, όμως, απαιτά μεγάλες εκμεταλλεύσιμες επιφάνειες, για μεγάλες αποδόσεις ηλεκτρικής ενεργειακής ισχύς, που την καθιστούν μειονεκτική, καθώς οι επιφάνειες κάλυψης, δεν θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για οποιεσδήποτε άλλες χρήσεις (Markvart, 2000).

Οι κατά κόρον εκμεταλλεύσιμες μέθοδοι αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας είναι κυρίως για σκοπούς θέρμανσης των κτιρίων, αλλά και του νερού που επιτυγχάνεται διαμέσου των ηλιακών ενεργειακών συστημάτων. Σε δεύτερη φάση, η ηλιακή αφθονία συλλέγεται διαμέσου των φωτοβολταϊκών και μετατρέπεται σε άλλη εκμεταλλεύσιμη μορφή για χρήση, που είναι ο ηλεκτρισμός. Και τέλος, επιτυγχάνεται εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας, παθητικά, για σκοπούς ψύξης, θέρμανσης και φυσικού φωτισμού, που βρίσκουν χώρο στα σημερινά βιοκλιματικά κτίρια.

Η **Γεωθερμία** αποτελεί την παραγόμενη θερμότητα που προέρχεται από τα έγκατα της γης. Αποτελεί μια καθαρή και βιώσιμη πηγή ενέργειας. Η γεωθερμική ενέργεια πηγάζει όταν από την επιφάνεια της γης το ζεστό νερό διαμέσου των ρηγμάτων περνά προς τα πάνω, με αποτέλεσμα να απαντώνται υδροφορείς ζεστού νερού ή ατμού υψηλής θερμοκρασίας, και από ζεστό νερό με μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας, που κυκλοφορά σε μεγάλα βάθη διαμέσου των πετρωμάτων, όπου από κάτω τους κυκλοφορά ζεστό μάγμα (Renewable Energy World, 2012).

Σχεδόν παντού, η θερμοκρασία σε μικρά βάθη όχι πέραν των 3,5m περίπου μέτρων από την επιφάνεια της γης, διατηρεί σχεδόν σταθερή θερμοκρασία μεταξύ 10 – 16°C . Οι γεωθερμικές αντλίες μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν για την ψύξη και θέρμανση κτιρίων, νοουμένου ότι προϋπάρχουν οι παραπάνω συνθήκες (βλέπε Εικόνα 10). Επιπλέον, ένα γεωθερμικό σύστημα αντλιών θερμότητας αποτελείται από μια αντλία θερμότητας, ένα σύστημα - αγωγό παροχής αέρα και ένα σύστημα σωληνώσεων για εναλλαγή θερμότητας κοντά στο κτίριο. Κατά τους χειμερινούς μήνες, η αντλία θερμότητας αφαιρεί θερμότητα από τον εναλλακτή θερμότητας και το αντλεί διαμέσου του εσωτερικού συστήματος παροχής αέρα. Εν' αντιθέσει, τους καλοκαιρινούς μήνες η διαδικασία αντιστρέφεται, καθώς η αντλία θερμότητας μεταφέρει θερμότητα από τον αέρα που βρίσκεται στους εσωτερικούς χώρους στον εναλλακτή θερμότητας.



**Εικόνα 10** Απλοποιημένη επεξήγηση της κυκλοφορίας του ζεστού νερού μέσα στην γη και η εκμετάλλευση της θερμότητας του. Πηγή (BGS, 2012).

Για εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας, έχουν αναπτυχθεί πληθώρας μέθοδοι για την εκμετάλλευση της θερμότητας της γης. Η N.R.E.L πραγματοποιεί έρευνα για την ανάπτυξη και προώθηση τεχνολογιών.

Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για θέρμανση και ψύξη των κτιρίων με παραγωγή θερμότητας και για σκοπούς παραγωγής θερμότητας από το ζεστό νερό για βιομηχανικούς σκοπούς. Παρόλα αυτά η γεωθερμική ενέργεια δεν βρίσκει εφαρμογή στα κυπριακά δρώμενα λόγω της ανυπαρξίας των ιδανικών προϋποθέσεων, καθώς επίσης μιας τέτοια πηγή ενέργειας απαιτά τεράστιες εκτάσεις κατά πολλές φορές περισσότερο από ότι το κτίριο, που θα δώσει χρήση.

Η **βιομάζα** αποτελεί μία από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και η οποία προέρχεται από την οργανική φυτική ύλη, τα υπολείμματα των καλλιεργειών, υπολείμματα ξυλείας και γεωργίας, κτηνοτροφικά και αστικά απορρίμματα. Η χρήση της ενέργειας από βιομάζα

αποτελεί αποκλειστικά την ενέργεια που είναι δεσμευμένη διαμέσου της φωτοσύνθεσης από τα φυτά. Με την καύση της βιομάζας μπορεί να παραχθεί ενέργεια όπως και τα συμβατικά καύσιμα για την παραγωγή θερμότητας, ενέργειας σε στερεά και υγρά καύσιμα και ηλεκτρικής ενέργειας.

Η βιομάζα, παράγει περίπου την ίδια ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα, όπως και τα ορυκτά καύσιμα, που όμως εντούτοις είναι καθαρή καθώς το παραγόμενο από αυτή διοξείδιο του άνθρακα δεσμεύεται και πάλιν πίσω από τα φυτά που παράγονται γι' αυτό και εξίσου τον σκοπό. Έτσι, οι ενεργειακές καλλιέργειες προέρχονται από δέντρα, ευκόλως καλλιεργήσιμα με γρήγορη ανάπτυξη φυτά (σόργο, ζαχαροκάλαμο, ευκάλυπτο και αγριαγκινάρα), τροφοδοτούνται για παραγωγή πρώτων υλών βιομάζας. Επίσης, η χρήση της βιομάζας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή πρώτων υλών – καυσίμων, που μπορεί να συμβάλει στην αύξηση των γεωργικών κερδών στο γεωργικό τομέα, εντούτοις απαιτά εξίσου μεγάλες ποσότητες φυτικής ύλης γι' αυτό και βρίσκει ανάπτυξη μόνο σε τοπικό επίπεδο (Λειβαδά Η, 2000).

Η βιομάζα βρίσκει χρήση σε τρεις κυρίως εφαρμογές, που είναι η παραγωγή βιοκαυσίμων σε υγρά καύσιμα για την χρήση στις μεταφορές, στην παραγωγή βιοενέργειας και άμεση καύση της για παραγωγή ηλεκτρισμού και τέλος στην παραγωγή βιοπροϊόντων από μετατροπή της βιομάζας σε χημικές ουσίες στις οποίες προηγουμένως είχε χρήση το πετρέλαιο.

Η **υδροηλεκτρική ενέργεια** παράγεται κυρίως για σκοπούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εκμεταλλευόμενη την δυναμικότητα του νερού λόγω θέσης – ύψους. Η δυναμική ενέργεια που δημιουργείται λόγω του αποθηκευμένου νερού μέσα στους ταμιευτήρες, αφότου βρίσκεται σε υψομετρική διαφορά, ελευθερώνεται πέφτοντας από ύψος πτωτικά, περιστρέφοντας έτσι ένα υδροστρόβιλο συνδεδεμένο με γεννήτρια. Έτσι η υδροϊσχύς του ύδατος μετατρέπεται σε εκμεταλλευόμενη μορφή ενέργειας από τον άνθρωπο για κάλυψη των αναγκών του.

Παρόλα που θεωρείται μια δυναμική πηγή καθαρής ενέργειας για κάλυψη τεραστίων απαιτήσεων ηλεκτρικής ενέργειας, εντούτοις μειονεκτεί στο γεγονός ότι απαιτά μεγάλη υψομετρική διαφορά, καθώς και τεραστίου όγκου αποθηκευτικού χώρου για αύξηση της υδροϊσχύος.



Η **ενέργεια των ωκεανών** μπορεί κυρίως να παράγει δύο τύπους ενέργειας: (i) την θερμική ενέργεια από την θερμότητα του ηλίου και (ii) την μηχανική ενέργεια από τις παλίρροιες και τα κύματα (REW, 2012).

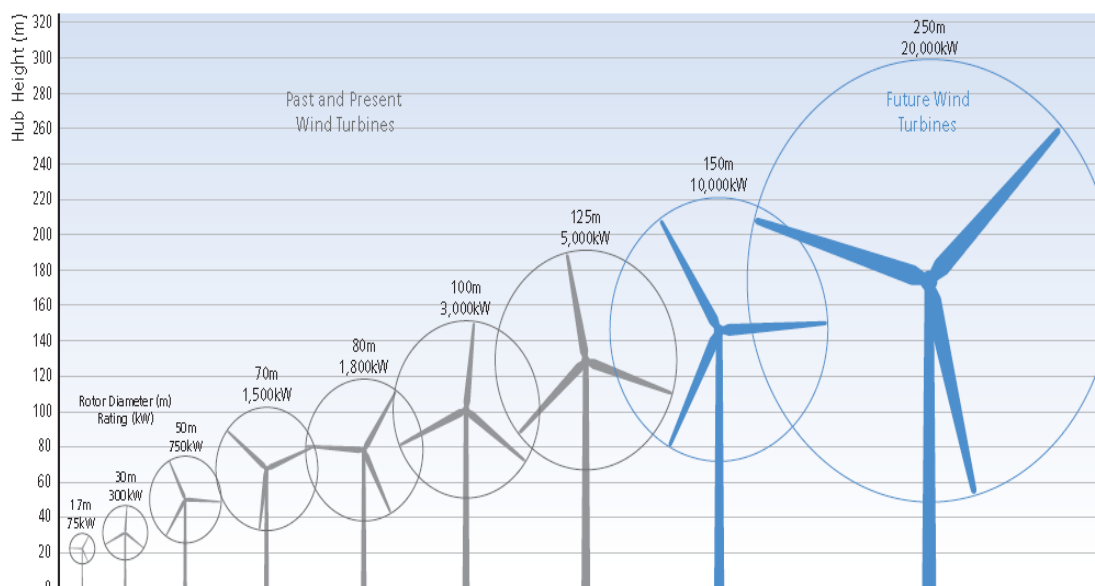
- i. Η ωκεάνια θερμική ενέργεια βρίσκει χρήση κυρίως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπου για να είναι εφικτή απαιτούνται διαφορές θερμοκρασίας 20 – 25°C. Υπάρχουν τρεις τύποι συστημάτων μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας που είναι τα κλειστού κύκλου, ανοικτού κύκλου και τα υβριδικά. Στην περίπτωση *κλειστού κύκλου* χρησιμοποιείται το ζεστό νερό από την επιφάνεια των ωκεανών για την εξάτμιση ενός υγρού, το οποίο έχει χαμηλότερο σημείο βρασμού από το θαλασσινό νερό, όπως για παράδειγμα την αμμωνία. Έτσι ο ατμός διαστέλλεται και περιστρέφει μια τουρμπίνα. Η τουρμπίνα στην συνέχεια ενεργοποιεί μια γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στο *ανοικτού κύκλου* σύστημα, απόλυτα, το σύστημα ζεσταίνει το θαλασσινό νερό με την λειτουργία σε χαμηλές πιέσεις, παράγοντας έτσι ατμό που περνά μέσω μίας τουρμπίνας – γεννήτριας. Και τα *υβριδικά συστήματα* συνδυάζουν τόσο τα συστήματα κλειστού τύπου και ανοικτού τύπου.
- ii. Η μηχανική ενέργεια από τα κύματα οφείλεται κατ' ανάγκη από την παλινδρομική κίνηση της επιφάνειας του ύδατος λόγω του κύματος. Η παλινδρομική κίνηση που δημιουργείται ενεργοποιεί έμβολα τα οποία κινούνται παράγοντας έτσι ηλεκτρική ενέργεια μέσω γεννήτριας. Επίσης, η εκμετάλλευση της ενέργειας των παλίρροιών αποτελεί διαλείπουσα πηγή ενέργειας όπως και τα κύματα. Αν σημειωθεί ότι στις παραθαλάσσιες περιοχές σε διάστημα λιγότερο των 24 ωρών γίνονται δύο άμπωτες και δύο πλημμυρίδες, τότε η υψομετρική διαφορά του ύδατος (τουλάχιστον 5m) μπορεί να εκμεταλλευτεί για σκοπούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, εκτενέστερα η μεγάλη πυκνότητα του νερού και συνεπώς η ενέργεια των κυμάτων, μπορεί να γίνει σημαντικά εκμεταλλεύσιμη, σε περιοχές που υπάρχει σημαντική κίνηση του ύδατος, λόγω πλημμυρίδας ή σε στενά μέρη όπου υπάρχει μεγάλη ταχύτητα του ύδατος και μικρή πίεση ή σε περιοχές που περνούν μεγάλα θαλάσσια κύματα (ΤΠΕΔΜ, 2012).

## 2. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

### 2.1. Ιστορική Αναδρομή

Από τα πανάρχαια χρόνια η χρήση του ανέμου είχε γίνει γνωστή καθώς έδωσε χρήση στις ανάγκες της τότε εποχής. Από τότε μέχρι σήμερα πολλά έχουν αλλάξει και πλέον η κινητική ενέργεια του ανέμου χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με τη χρήση ανεμογεννητριών. Η αρχή δηλαδή του αρχαίου ανεμόμυλου μαζί με ένα δυναμό!

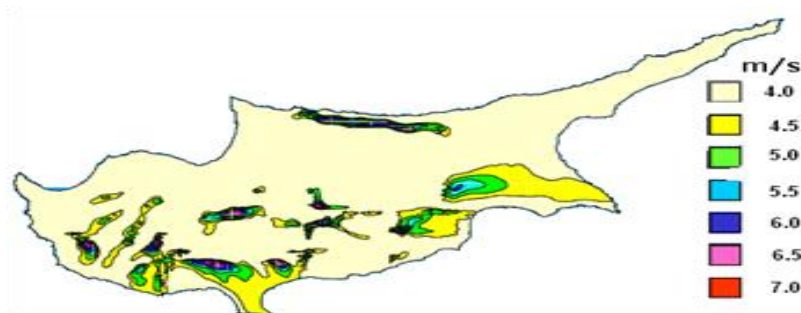
Κατά τα τελευταία 25 χρόνια, το μέγεθος από τις μεγαλύτερες εμπορικές ανεμογεννήτριες (βλέπε Εικόνα 11) έχει αυξηθεί από περίπου 50 kW έως 2MW, με μηχανές μέχρι και 20MW υπό σχεδίαση. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στον κόσμο κατά το έτος 2001, ήταν περίπου 20000MW, με την πλειοψηφία των εγκαταστάσεων, να βρίσκεται χώρα στην Ευρώπη. Τα υπεράκτια συστήματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας είναι επίσης σε αυξημένο επίπεδο ενεργής ανάπτυξης. Πρότυπα σχεδιασμού και διαδικασίες μηχανικής πιστοποίησης, έχουν καθιερωθεί, έτσι ώστε η αξιοπιστία και οι επιδόσεις να είναι πολύ ανώτερες από αυτές του 1970 και του 1980. Το κόστος της αιολικής ενέργειας έχει μειωθεί, σε σημείο, όπου σε ορισμένες περιοχές είναι σχεδόν ανταγωνιστικό με συμβατικές πηγές, ακόμη και χωρίς κίνητρα. Στις χώρες όπου τα κίνητρα είναι εφαρμόσιμα, ο ρυθμός ανάπτυξης είναι αρκετά ισχυρός! Μία πιο ολοκληρωμένη ιστορία της χρήσεως αιολικής ενέργειας από την ανθρωπότητα παρατίθεται στο Παράρτημα 3.



Εικόνα 11 Αναπαράσταση των ανεμογεννητριών ως προς το μέγεθος τους, την διάμετρο του έλικα τους και την απόδοσή τους. Πηγή (IPCC, 2012).

## 2.2. Η αιολική ενέργεια στην Κύπρο

Παρόλο, που δύναται το αιολικό δυναμικό στην Κύπρο να μην είναι και ιδιαίτερα υψηλό, εντούτοις ορισμένες περιοχές έχουν προσφερθεί και θα προσφερθούν ακόμα περισσότερες στο μέλλον για εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας. Εκτιμάται ότι με μία μέση ταχύτητα του ανέμου 5,4 – 5,8 m/s ένα αιολικό πάρκο μπορεί να είναι οικονομικά βιώσιμο (βλέπε Εικόνα 12). Στη χώρα μας σε μερικές περιοχές η μέση ταχύτητα ανέμου είναι 5 – 6 m/s και σε μεμονωμένες περιοχές φτάνει τα 6,5 – 7 m/s, βάση ωριαίων καταμετρήσεων της ταχύτητας του ανέμου στους μετεωρολογικούς σταθμούς. Εκτιμάται ότι η Κύπρος διαθέτει αιολικό δυναμικό περίπου 150 – 250MW.



**Εικόνα 12** Οι υπερετήσιες μέσες ταχύτητες του ανέμου σε διάφορες περιοχές της Κύπρου, σύμφωνα με τον Δρ. Ιωάννη Γλέκα. Πηγή (ΙΕΚ, 2000).

Για την εκμετάλλευση του διαθέσιμου δυναμικού αιολικής ενέργεια στην Κύπρο, είναι βέβαιο ότι τα μεγάλα αιολικά συστήματα θα συνεισφέρουν το μεγαλύτερο ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας από όλες τις άλλες τεχνολογίες ΑΠΕ. Ήδη σήμερα έχει επιτευχθεί η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου στην περιοχή Όρειτες της Πάφου καθώς και ένα δεύτερο στο Αλεξιγρό στη Λάρνακα, ισχύος 31,5MW, καθώς σύντομα αναμένονται νέες συμβάσεις επιδότησης περαιτέρω αιολικών πάρκων ισχύος περίπου 22,4MW.

Με την εγκατάσταση αιολικών πάρκων συνολικής ισχύος 165MW μέχρι το 2015, όπως έχει τεθεί σαν στόχος, αναμένεται να αυξηθεί η συνεισφορά των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή κατά περίπου 4,5%. Παρόλα αυτά σήμερα η Κύπρος διαθέτει ποσοστό της τάξεως των 6% παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ. Εντούτοις έχει θέσει σαν στόχο το ποσοστό του 9% μέχρι το 2013. Με την διάθεση νέων αιολικών πάρκων, είναι εμφανές ότι θα ξεπεράσει τις προσδοκίες και τους στόχους που έχουν τεθεί, καθώς αξίζει να σημειωθεί ότι με εγκατάσταση ισχύος 1MW, ανοίγονται 10 νέες θέσεις εργασίας (ΙΕΚ, 2000).

## 2.3. Άνεμος

Στα πλαίσια του εν λόγω κεφαλαίου, ενδέχεται να εξεταστούν θέματα, που αφορούν τα γενικά χαρακτηριστικά του αιολικού δυναμικού. Θα γίνει έμφαση στην παγκόσμια προέλευση του ανέμου, επίσης θα γίνει ανάλυση των χαρακτηριστικών του ανέμου, καθώς και της εκτίμησης της προοπτικής του αιολικού δυναμικού.

### 2.3.1. Παγκόσμια προέλευση του Αιολικού Δυναμικού

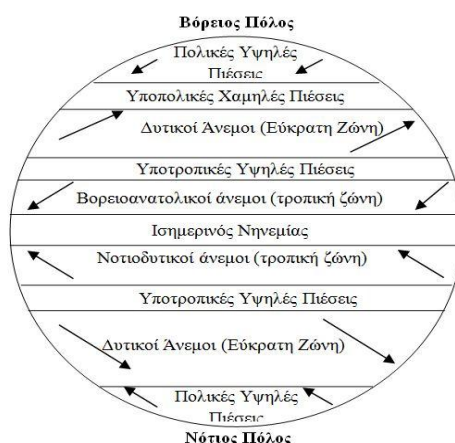
Το παγκόσμιο αιολικό δυναμικό δημιουργείται από τη διαφορική πίεση στην επιφάνεια της γης, λόγω της ανομοιομορφίας στην θέρμανση του πλανήτη από την ηλιακή ακτινοβολία. Δηλαδή, το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από την επιφάνεια της γης, η οποία είναι μεγαλύτερη στον ισημερινό, παρά από τον νότιο και βόρειο πόλο. Η διαφορά της εισερχόμενης ενέργειας δημιουργεί μεταδοτικότητα θερμότητας μέσω μεταγωγής στα χαμηλά στρώματα της ατμόσφαιρας «τροπόσφαιρα». Έτσι, σε ένα απλό μοντέλο ροής, ο αέρας ανεβαίνει – ανέρχεται προς τα πάνω στον ισημερινό, εν' αντιθέσει με τους πόλους όπου αέρας βυθίζεται χαμηλά. Η κυκλοφορία του αέρα στην ατμόσφαιρα, η οποία είναι αποτέλεσμα της διαφορικής θέρμανσης, επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το φαινόμενο της περιστροφής της γης (με ταχύτητα περίπου 600 km/hr στο ισημερινό και μειώνεται στο μηδέν στους πόλους). Επιπρόσθετα, οι εποχιακές διακυμάνσεις στην κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας, προδίδουν επιπλέον τροποποιήσεις και διαφορές όσο αφορά την κυκλοφορία του αέρα.

Η χωρική μεταβολή στην μεταφορά θερμότητας της ατμόσφαιρας της γης, δημιουργούν τροποποιήσεις στην ατμοσφαιρική πίεση, προκαλώντας το αέρα να μετακινείται από υψηλή πίεση σε χαμηλή πίεση. Η βαθμωτή μεταβολή της πίεσης στην κάθετη διεύθυνση συνήθως, ακυρώνεται από την καθοδική δύναμη της βαρύτητας. Έτσι, οι άνεμοι δημιουργούνται κατά κύριο λόγο στο οριζόντιο επίπεδο, αντιδρώντας έτσι στην βαθμωτή μεταβολή της πίεσης. Ταυτόχρονα, υπάρχουν δυνάμεις που επιδιώκουν να αναμείξουν τις διαφορετικές θερμοκρασίες και πιέσεις των αέριων μαζών, οι οποίες κατανέμονται σε όλη την επιφάνεια της γης. Επιπρόσθετα, με την βαθμωτή μεταβολή πίεσης και τις δυνάμεις βαρύτητας, η αδράνεια του αέρα, η περιστροφή της γης και η τριβή με την επιφάνεια της γης (τύρβη), επηρεάζουν τους ατμοσφαιρικούς ανέμους. Η επιρροή, της κάθε μιας από τις πιο πάνω δυνάμεις πάνω στα διάφορα ατμοσφαιρικά ανεμολογικά συστήματα, διαφέρει ανάλογα με την κινητικότητα της κάθε μίας παραμέτρου δύναμης.

Η παγκόσμια επανακυκλοφορία του ανέμου, προϋποθέτει μεγάλης κλίμακας αιολικές συνθήκες – μοτίβα, που επηρεάζουν οι άνεμοι κοντά στην επιφάνεια, οι καλύπτουν ολόκληρο το πλανήτη. Είναι αξιοσημείωτο, ότι αυτό τα πλάνο αποτελεί υπεραπλούστευση, διότι δεν αντικατοπτρίζει απόλυτα την επίδραση που έχει το ανάγλυφο της γης, σχετικά με την διανομή του ανέμου.

### 2.3.2. Η Κίνηση του Ανέμου

Σε ένα από τα απλούστερα μοντέλα για την κινητικότητα του ανέμου (βλέπε Εικόνα 13) στη ατμόσφαιρα, μπορούν να ληφθούν υπόψη τέσσερις βασικές δυνάμεις. Αυτές συμπεριλαμβάνουν: α) τη δύναμη βαροβαθμίδας, β) τη δύναμη Coriolis που προκαλείται από την περιστροφή της γης, γ) τη κυκλοστροφική δύναμη που προκύπτουν κυρίως σε κινήσεις με μεγάλη καμπυλότητα και δ) τη δύναμη τριβής στην επιφάνεια της γης.



Εικόνα 13 Οι άνεμοι στην επιφάνεια της γης, που οφείλονται λόγω της περιστροφής της γης. Πηγή (Λειβαδά Η, 2000).

Η δύναμη βαροβαθμίδας, που ασκείται στον αέρα (ανά μονάδα μάζας),  $F_p$  δίδεται από τον εξής τύπο:

$$F_p = \frac{-1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial n} \quad (1)$$

Όπου: ( $\rho$ ) είναι η πυκνότητα του αέρα και ( $n$ ) η διάσταση που ορίζεται σε κάθετη διεύθυνση ως προς τις ισοβαρείς.

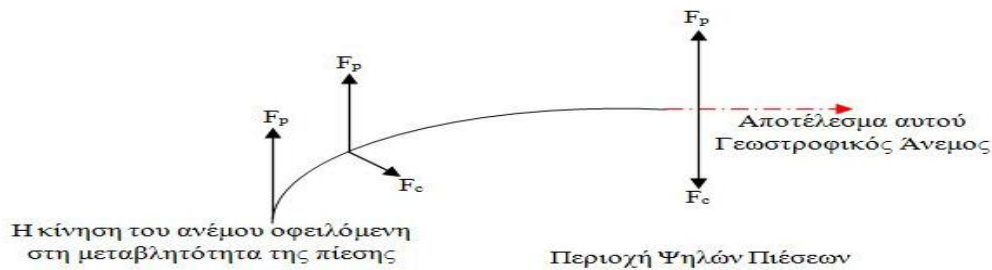
Η δύναμη Coriolis (ανά μονάδα μάζας),  $F_c$  είναι μια φαινόμενη δύναμη η οποία προκύπτει από την παρατήρηση ως προς ένα μη αδρανειακό, περιστρεφόμενο πλαίσιο αναφοράς ( $\gamma$ ) και εκφράζεται ως εξής:

$$F_c = fU \quad (2)$$

Οπού ( $U$ ) είναι η ταχύτητα του ανέμου, και  $f$  είναι η παράμετρος Coriolis και ισούται με:

$$f = 2\omega \sin(\varphi) \quad (3)$$

Έτσι, η δύναμη Coriolis εξαρτάτε από την ταχύτητα του ανέμου και το γεωγραφικό πλάτος (Manwell, McGowan, & Rogers, 2009). Η κατεύθυνση της δύναμης Coriolis είναι κάθετη προς την κατεύθυνση του αέρα και προς τα δεξιά της για το Βόρειο ημισφαίριο. Το αποτέλεσμα αυτών των δύο δυνάμεων, ονομάζεται γεωστροφικός άνεμος (βλέπε Εικόνα 14), ο οποίος τείνει να είναι παράλληλος με τις ισοβαρείς καμπύλες.

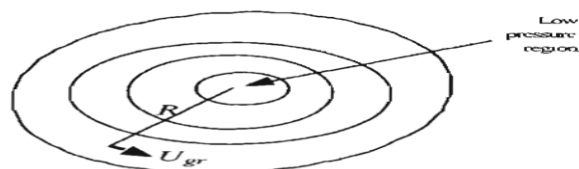


Εικόνα 14 Απεικόνιση του γεωγραφικού ανέμου.  $F_p$  είναι η δύναμη πίεσης που ασκείται πάνω στον αέρα και  $F_c$  η δύναμη Coriolis. Πηγή (Manwell, McGowan, & Rogers, 2009).

Η παράμετρος της εξίσωσης του γεωστροφικού ανέμου,  $U_g$ , είναι μια συνάρτηση της ισοροπίας των δυνάμεων και μας δίνεται από τον εξής τύπο:

$$U_g = \frac{-1}{f\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial n} \quad (4)$$

Αυτή είναι μια εξιδανικευμένη περίπτωση, δεδομένου ότι η παρουσία των περιοχών υψηλής και χαμηλής πίεσης προκαλούν κλίση στις ισοβαρείς καμπύλες. Αυτό επιβάλλει μια περαιτέρω δύναμη επάνω στον άνεμο, μια φυγόκεντρο δύναμη. Με αποτέλεσμα ο άνεμος που δημιουργείτε, να ονομάζεται **ανεμόβαθμιδα**,  $U_{gr}$  (βλέπε Εικόνα 15).



Εικόνα 15 Απεικόνιση της Ανεμοβαθμίδας  $U_{gr}$ .  $R$  είναι η ακτίνα καμπυλότητας. Πηγή (Manwell, McGowan, & Rogers, 2009).

$$\frac{U_{gr}^2}{R} = -fU_{gr} - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial n} \quad (5)$$

Όπου: R είναι η ακτίνα καμπυλότητας της κατανομής των μορίων του αέρα και:

$$U_{gr} = U_g - \frac{U_{gr}^2}{fR} \quad (6)$$

Η τελευταία και τέταρτη δύναμη που ασκείται στο άνεμο οφείλεται λόγω της τριβής στην επιφάνεια της γης. Δηλαδή, η επιφάνεια της γης ασκεί μία οριζόντια δύναμη επάνω στο κινούμενο αέρα, με αποτέλεσμα να καθυστερεί την ροή του. Αυτή η δύναμη μειώνεται καθώς το ύψος πάνω από το έδαφος αυξάνεται, καθιστώντας την αμελητέα πάνω από το οριακό στρώμα της ατμόσφαιρας. Το οριακό στρώμα «boundary layer» της ατμόσφαιρας ορίζεται ως η περιοχή κοντά στην γη, που ιξώδεις δυνάμεις θεωρούνται σημαντικές. Πάνω από το οριακό στρώμα ατμόσφαιρας, δημιουργείται ελαχίστη τριβή και σχεδόν λεία ισορροπία του ανέμου, και έτσι ο άνεμος ρέει με το διάνυσμα της ταχύτητας του ανέμου κάθετο μεταξύ των ισοβαρών καμπύλων. Η τριβή στην επιφάνεια του εδάφους επιβάλλει στον άνεμο μία απόκλιση προς την περιοχή χαμηλής πίεσης.

Το γενικό μοντέλο της κυκλοφορίας του ανέμου, που αναφέρθηκε προηγουμένως, αντιπροσωπεύει καλύτερα ένα μοντέλο ομαλής σφαιρικής επιφάνειας. Στην πράξη, η επιφάνεια της γης, δηλαδή το γεωειδές της γης, διαφέρει σημαντικά από το σφαιρικό σχήμα, λόγω των ωκεανών και των ανομοιομορφιών των επιφανειών του εδάφους. Αυτές οι επιφάνειες επηρεάζουν σημαντικά την ροή του αέρα λόγω των διακυμάνσεων στα πεδία πίεσης του, της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας και το ποσό της διαθέσιμης υγρασίας της ατμόσφαιρας.

Οι ωκεανοί ενεργούν ως μία μεγάλη δεξαμενή για την ενέργεια. Ως εκ τούτου, η κινητικότητα του αέρα είναι συνήθως συνδυασμένη με την κυκλοφορία των ωκεανών. Έτσι, όλες αυτές οι επιδράσεις, δρουν σε διαφορικές πιέσεις που επηρεάζουν τους παγκόσμιους ανέμους και τους συνεχείς τοπικούς ανέμους, όπως εμφανίζονται κατά την περίοδο των μουσώνων. Επιπλέον, η τοπική θέρμανση ή ψύξη μπορεί να προκαλέσει συνεχείς τοπικούς ανέμους που να εμφανιστούν σε εποχιακή ή ημερήσια βάση. Αυτό περιλαμβάνει τις θαλάσσιες αύρες και τους ορεινούς ανέμους.

Μικρότερης κλίμακας ατμοσφαιρική κυκλοφορία μπορεί να χωριστεί σε δευτερογενή και τριτογενή κυκλοφορία (Rohatgi & Nelson, 1994). Η δευτεροβάθμια κυκλοφορία,

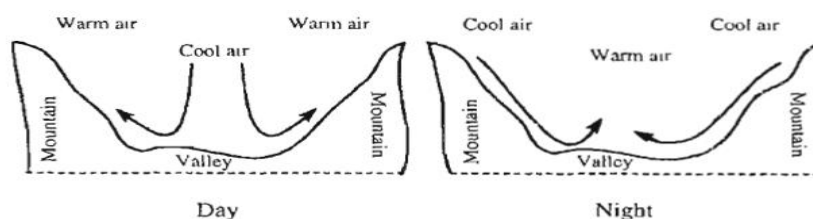
προκύπτει εάν τα κέντρα ψηλής ή χαμηλής πίεσης οφείλονται από τη ψύξη ή θέρμανση των κατώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας. Οι δευτεροβάθμιες κυκλοφορίες περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Τυφώνες.
- Κυκλοφορία του ανέμου κατά την περίοδο των μουσώνων.
- Τροπικούς κυκλώνες.

Η τριτοβάθμια κυκλοφορία είναι μικρής κλίμακας, με τοπικές κυκλοφορίες που χαρακτηρίζονται από τοπικούς ανέμους. Αυτές περιλαμβάνουν:

- Επιφανειακές και θαλάσσιες αύρες.
- Τους ανέμους σε κοιλάδες και βουνά (βλέπε Εικόνα 16).
- Παρομοίου τύπου με την ροή του ανέμου των Μουσώνων (π.χ. το πέρασμα της ροής του ανέμου στην Καλιφόρνια).
- Κάτωθεν ξηρή, υψηλής θερμοκρασίας, άνεμοι στην κατόντη πλευρά των οροσειρών των βουνών.
- Θύελλες και καταιγίδες - Ανεμοστρόβιλους.

Κατά την διάρκεια της ημέρας, ο θερμότερος αέρας που ανυψώνεται στην πλαγιά του βουνού και αντικαθιστά τον βαρύτερο κρύο αέρα που βρίσκεται από πάνω. Από την άλλη, κατά την περίοδο της νύχτας η κατεύθυνση αντιστρέφεται, καθώς ο κρύος αέρας κατεβαίνει τις πλαγιές και παραμένει κάτω στην κοιλάδα.



**Εικόνα 16 Ημερήσια κυκλοφορία του ανέμου σε κοιλάδες και βουνά. Πηγή (Rohatgi & Nelson, 1994). Αναδημοσίευση με άδεια από το Ινστιτούτο Εναλλακτικών Πηγών Ενέργειας (Alternative Energy Institute).**

Αντιλαμβανόμενοι αυτών των μορφών – μοτίβων του ανέμου, και των τοπικών επιδράσεων, που αναφέρθηκαν εκτενέστερα πάρα πάνω, καθίστανται σημαντικά για την αξιολόγηση των πιθανών τοποθεσιών ανάπτυξης του αιολικού δυναμικού.



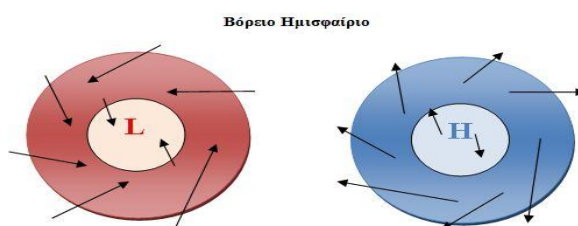
### 2.3.3. Γεωστροφικός Άνεμος

Όπως και έχει αναφερθεί σε προηγούμενο υποκεφάλαιο, δεδομένου ότι μία αέρια μάζα βρίσκεται σε αρχική φάση σε ηρεμία, τότε θα αρχίσει να κινείται από μια περιοχή υψηλής πίεσης, σε μια περιοχή χαμηλής πίεσης, λόγω της αναπτυσσόμενης δύναμης (Γεωργίου, 2008). Παρόλα αυτά, όμως με την έναρξη όμως της κίνησης αυτής, αρχίζει και η επενέργεια της δύναμης Coriolis και η συνεπαγόμενη απόκλιση προς τα δεξιά ή αριστερά ανάλογα με το ημισφαίριο. Καθώς η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται, μεγαλώνει και η απόκλιση. Τότε ο άνεμος κινείται παράλληλα με τις ισοβαρείς και ονομάζεται Γεωστροφικός Άνεμος (Επιστημονική Μετεωρολογία, 2012). Ο Γεωστροφικός Άνεμος εντοπίζεται σε υψόμετρα άνω των 1000m πάνω από την γήινη επιφάνεια (Μπαλτάς, 2006).

### 2.3.4. Επιφανειακοί Άνεμοι

Οι άνεμοι σε ένα επιφανειακό χάρτη καιρού, δεν πνέουν ακριβώς παράλληλα με τις ισοβαρείς αλλά τις τέμνουν με γωνιά  $30^\circ$ , κινούμενοι από την υψηλότερη πίεση προς την χαμηλότερη και αυτό οφείλεται στην τριβή η οποία κοντά στην επιφάνεια της Γης ελαττώνει την ταχύτητα του ανέμου και αντίστοιχα της δύναμης Coriolis (Γεωργίου, 2008).

Ως εκ τούτου, στο Βόρειο Ημισφαίριο οι επιφανειακοί άνεμοι πνέουν με φορά αντίθετη προς αυτή των δεικτών του ρολογιού μέσα σε ένα χαμηλό βαρομετρικό και προς την φορά των δεικτών του ρολογιού έξω από ένα υψηλό βαρομετρικό (βλέπε Εικόνα 17).



**Εικόνα 17** Επιφανειακός Χάρτης Βόρειου Ημισφαιρίου. Εν αντιθέσει οι άνεμοι στο Νότιο ημισφαίριο πνέουν με αντίθετη φορά. Πηγή (Pidwirny, 2009).

Αντίθετα, στο Νότιο Ημισφαίριο οι άνεμοι πνέουν προς τη φορά των δεικτών του ρολογιού και το εσωτερικό γύρω από τα επιφανειακά χαμηλά και προς την αντίθετη φορά των δεικτών και προς τα έξω, γύρω από επιφανειακά υψηλά βαρομετρικά (Pidwirny, 2009).

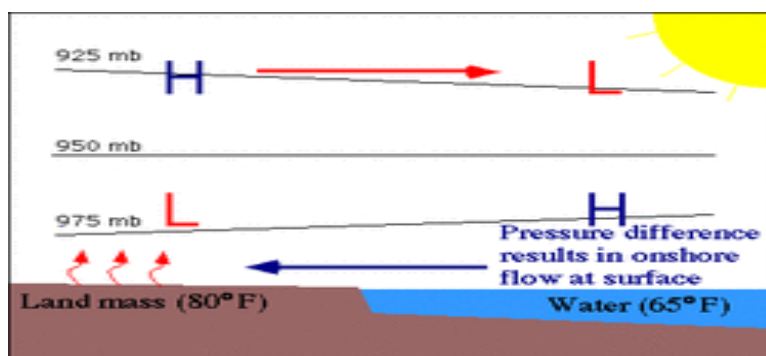
### 2.3.5. Τοπικοί Άνεμοι

Παρόλο που οι παγκόσμιοι άνεμοι, είναι σημαντικοί για να καθοριστεί η επικρατούσα διεύθυνση ανέμου σε μια περιοχή, οι τοπικές κλιματολογικές συνθήκες μπορεί να ασκούν κάποια επίδραση στις περισσότερες διευθύνσεις ανέμων (Γεωργίου, 2008). Οι τοπικοί άνεμοι είναι πάντοτε αποτυπωμένοι στα μεγαλύτερης κλίμακας άνεμοι είναι χαμηλής εντάσεως, οι τοπικοί άνεμοι μπορεί να κυριαρχούν στη περιοχή (Μπαλτάς, 2006).

### 2.3.6. Θαλάσσια και Απόγειος Αύρα

Αποτελούν τύπους συστημάτων θερμικής κυκλοφορίας, που αναπτύσσονται στο όριο στεριάς και θάλασσας. Η ανομοιόμορφη ψύξη και θέρμανση της στεριάς και της θάλασσας οδηγούν στην ανάπτυξη δύναμης βαροβαθμίδας που προκαλεί την κίνηση των αέριων μαζών.

Κατά τη διάρκεια της ημέρας, η στεριά θερμαίνεται πολύ γρηγορότερα από ότι η θάλασσα, λόγω της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο θερμότερος αέρας πάνω από τη ξηρά διαστέλλεται και ανυψώνεται, σχηματίζοντας ένα θερμικό χαμηλό (Γεωργίου, 2008). Την ίδια στιγμή, πάνω από τη θάλασσα σχηματίζονται υψηλότερες πιέσεις λόγω του αργότερου ρυθμού θέρμανσης του νερού, εξαιτίας της θερμοχωρητικότητας του. Μόλις η διαφορά θερμοκρασίας και πίεσης μεταξύ στεριάς και θάλασσας γίνει σημαντική, αρχίζει η ροή αέρα. Έτσι έχουμε το τοπικό σύστημα ροής αέρα που καλείται θαλάσσια αύρα (βλέπε Εικόνα 18). Η θαλάσσια αύρα ξεκινά συνήθως 2 – 3 ώρες μετά την ανατολή του ηλίου και φθάνει στην μέγιστη ένταση το απόγευμα όταν η διαφορά θερμοκρασίας και πίεσης μεταξύ στεριάς και θάλασσας φθάσει τη μέγιστη τιμή. Εξασθενεί τελείως κατά το ηλιοβασίλεμα λόγω της εξίσωσης θερμοκρασιών και πιέσεων (Μπαλτάς, 2006).



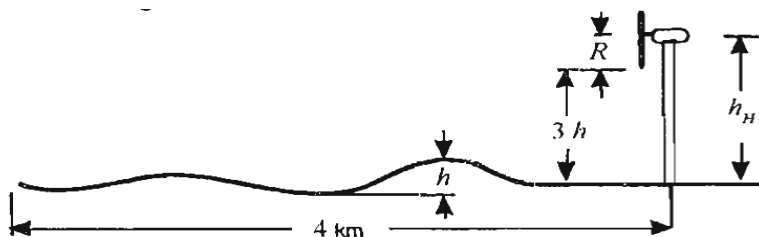
Εικόνα 18 Στην παρούσα εικόνα διαφαίνεται ο μηχανισμός δημιουργίας της θαλάσσιας αύρας. Η θέρμανση και η ανολίσθηση του θερμού αέρα, λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας ξεκινά την κυκλική ροή ανέμου από τις υψηλές προς τις χαμηλές πιέσεις.

Κατά το ηλιοβασίλεμα σταματά η λήψη ηλιακής ακτινοβολίας από τη στεριά και καθώς πέφτει η νύχτα, ο ρυθμός απωλειών θερμικής ενέργειας στη στεριά είναι πολύ μεγαλύτερος σε σύγκριση με εκείνο του θαλάσσιου νερού. Μετά από μερικές ώρες, αναπτύσσονται σημαντικές διαφορές θερμοκρασίας και πίεσης μεταξύ των δύο επιφανειών. Έτσι, η στεριά ως ψυχρότερη από το νερό, αποτελεί περιοχή υψηλών πιέσεων ενώ η θάλασσα χαμηλών. Οι αέριες μάζες κινούνται από τη στεριά προς τη θάλασσα και αυτό το τοπικό σύστημα ροής αέρα καλείται απόγειος αύρα.

### 2.3.7. Χαρακτηρισμοί του ανάγλυφου

Η πιο βασική ταξινόμηση ενός ανάγλυφου, χωρίζεται σε δυο κατηγορίες, την επίπεδη και μη επίπεδη. Αρκετοί συγγραφείς, ορίζουν την μη επίπεδη μορφολογία του εδάφους ως πολύπλοκα πεδία εδάφους. Δηλαδή, αυτό καθορίζεται ως μια περιοχή όπου οι επιδράσεις του εδάφους είναι σημαντικές επάνω στην ροή του ανέμου στην περιοχή της γης που εξετάζεται. Η επίπεδη μορφολογία του εδάφους, περιλαμβάνει την κάλυψη του εδάφους με μικρά εμπόδια όπως μικρές παρατυπίες, σαν δάσος, προστατευτική συστάδα δέντρων, κτλ (Wegley, Ramsdell, Orgill, & Drake, 1980). Η μη επίπεδη μορφολογία του εδάφους, έχει μεγάλης κλίμακας υψόμετρων και κοιλάτητες, όπως λόφοι, κορυφογραμμές, κοιλάδες, και φαράγγια. Για να είναι επιλέξιμο ως επίπεδο ανάγλυφο, οι ακόλουθες προϋποθέσεις πρέπει να προϋπάρχουν. Σημειώστε ότι ορισμένοι από τους κανόνες περιλαμβάνουν την γεωμετρία των ανεμογεννητριών:

- Η υψομετρικές διαφορές μεταξύ της τοποθεσίας της ανεμογεννήτριας και την περιβάλλουσα περιοχή δεν είναι μεγαλύτερες από 60m οπουδήποτε σε ένα κύκλο διαμέτρου 11,5 km γύρω από τοποθεσία της ανεμογεννήτριας.
- Ουδείς λόφος έχει αναλόγια διαστάσεων (ύψος προς πλάτος) μεγαλύτερη από 1/50 σε απόσταση 4 km της ανάντης και κατάντης πλευράς του λόφου όπου βρίσκεται η ανεμογεννήτρια.



Εικόνα 19 Προσδιορισμός του επίπεδου ανάγλυφου. Πηγή (Wegley, Ramsdell, Orgill, & Drake, 1980).

Η υψομετρική διαφορά μεταξύ του κάτω άκρου του ρότορα και το χαμηλότερο υψόμετρο του ανάγλυφου, είναι μεγαλύτερη από τρεις φορές τη μέγιστη υψομετρική διαφορά ( $h$ ) εντός 4 km ανάντη (Βλέπε Εικόνα 19).

Σύμφωνα με τους Hiester και Pennell (Hiester & Pennell, 1981), ένα μη επίπεδο ή πολύπλοκο ανάγλυφο, αποτελείται από μια μεγάλη πληθώρα χαρακτηριστικών, αλλά ποιο γενικά χρησιμοποιεί κανείς τις ακόλουθες υπό κατηγορίες: (1) μεμονωμένες ανυψώσεις ή καταστολές, και (2) ορεινά ανάγλυφα. Συνθήκες ροής ανέμου σε ορεινά ανάγλυφα είναι πολύπλοκες, επειδή οι αυξήσεις και οι καταθλίψεις συμβαίνουν κατά τυχαίο τρόπο. Έτσι, η ροή σε τέτοια ανάγλυφα χωρίζονται σε δυο τύπους: τις μικρές και μεγάλες κλίμακες. Η διάκριση μεταξύ των δύο, γίνεται με σύγκριση με την οριακή πλανητική στιβάδα η οποία θεωρείται να είναι 1km. Δηλαδή, ένας λόφος με ύψος που είναι ένα μικρό κλάσμα της πλανητικής οριακής στιβάδας (περίπου 10%) θεωρείται ότι έχει μικρής κλίμακας αναγλυφικά χαρακτηριστικά.

Ένα σημαντικό σημείο που πρέπει αναφερθεί, είναι ότι οι πληροφορίες σχετικά με την κατεύθυνση του ανέμου πρέπει να θεωρηθούν κατά τον καθορισμό της ταξινόμηση του ανάγλυφου. Για παράδειγμα, εάν ένας μεμονωμένος λόφος (με ύψος 200m και πλάτος 1000m) βρίσκονταν 1km νότια από μια προτεινόμενη τοποθεσία, η περιοχή θα μπορούσε να ταξινομηθεί ως μη επίπεδη. Αν, όμως, ο άνεμος φυσά μόνο 5% του χρόνου από αυτή την κατεύθυνση με μια χαμηλή ταχύτητα κατά μέσο όρο, για παράδειγμα 2 m/s, τότε αυτό το ανάγλυφο θα πρέπει να χαρακτηριστεί ως επίπεδο. Περαιτέρω, πληροφορίες σε σχέση με την ροή του ανέμου πάνω από επίπεδες και μη επίπεδες περιοχές και ανάγλυφα, παρατίθενται στο Παράρτημα 4 (βλέπε Παράρτημα 4).

### **2.3.8. Χαρακτηριστικά του Ανέμου**

Τα χαρακτηριστικά του ανέμου είναι απαραίτητα για την εκτίμηση της αιολικής ενέργειας. Ειδικά για την επιλογή της κατάλληλης θέσης εγκατάστασης Αιολικών Συστημάτων θα πρέπει να γνωρίζουμε:

1. Την Ταχύτητα του Ανέμου.
2. Την διεύθυνση του Ανέμου.
3. Την Επικρατούσα στην Περιοχή Ανατάραξη.
4. Τον Στροβιλισμό του Ανέμου.
5. Την Μεταβολή με το ύψος της Ταχύτητας του Ανέμου (Κατανομή του Ανέμου).

### 2.3.8.1. Ταχύτητα του Ανέμου

Η Ταχύτητα του ανέμου είναι ένα πολύ μεταβλητό μέγεθος. Μπορεί να εμφανίσει σημαντικές μεταβολές μέσα σε χρόνο που κυμαίνεται από κλάσμα του δευτερολέπτου μέχρι και μερικές ώρες. Οι διακυμάνσεις αυτές της ταχύτητας του ανέμου είναι τελείως τυχαίες. Έτσι η στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου  $V(t)$  μπορεί να θεωρηθεί σαν άθροισμα της μέσης ταχύτητας  $\bar{V}$  και μιας διακύμανσης της ταχύτητας  $V'(t)$ . Έτσι έχουμε:

$$V(t) = \bar{V} + V'(t) \quad (7)$$

Από την παραπάνω σχέση, ολοκληρώνοντας ως προς το χρόνο  $T$  βρίσκουμε τη μέση ταχύτητα του ανέμου:

$$\bar{V} = \frac{1}{T} \cdot \int_{t_0}^{t_0+T} V(t) dt \quad (8)$$

Συνήθως θεωρούμε  $T=10\text{min}$ , διάστημα για το οποίο υποθέτουμε ότι  $V'(t)=0$ . Καλό είναι να σημειωθεί, ότι για δεδομένες ατμοσφαιρικές συνθήκες η ταχύτητα του ανέμου σε μια θέση εξαρτάται και από τα χαρακτηριστικά του εδάφους της περιοχής (Λειβαδά Η, 2000).

### 2.3.8.2. Διεύθυνση του Ανέμου

Όταν λέμε διεύθυνση του ανέμου σε μια θέση εννοούμε το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος, σε σχέση με τη θέση μέτρησης του. Έτσι π.χ. ο άνεμος είναι δυτικός αν πνέει από τη δύση. Η διεύθυνση του ανέμου δεν είναι σταθερή, αλλά ταλαντεύεται συνεχώς γύρω από μια θέση (Hiester & Pennell, 1981).

Με βάση τις παρατηρήσεις της διεύθυνσης του ανέμου μπορούμε να χαράξουμε σε πολικό διάγραμμα τις συχνότητες (%), σε σχέση με το σύνολο των παρατηρήσεων που διαθέτουμε, ανάλογα με το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος.

Όσο αφορά την Κύρια διεύθυνση του Ανέμου στις μελέτες του Αιολικού Δυναμικού, λέγεται κάθε διεύθυνση του ανέμου που συνεισφέρει τουλάχιστον 10% στην συνολική διαθέσιμη Αιολική Ενέργεια. Οι Κύριες διευθύνσεις του Ανέμου είναι διαφορετικές στις διάφορες τοποθεσίες. Ο προσανατολισμός των λόφων, των βουνών, των κοιλάδων, καθώς και των άλλων χαρακτηριστικών του εδάφους (κτίρια, βλάστηση κλπ) επηρεάζουν τις κύριες διευθύνσεις του ανέμου (Manwell, McGowan, & Rogers, 2009).

Από την άλλη Επικρατούσα διεύθυνση του Ανέμου, θεωρείται η διεύθυνση που εμφανίζεται πιο συχνά στην περιοχή μελέτης, δηλαδή η συχνότητα εμφάνισης του ανέμου να βλέπει προς μιας συγκεκριμένη κατεύθυνση επί το πλείστο.

Εντούτοις, ο χώρος μεταξύ του σημείου που θέλουμε να εγκαταστήσουμε μια ανεμογεννήτρια και του σημείου του ορίζοντα από το οποίο φυσάει συνήθως ο άνεμος (επικρατούσα διεύθυνση), ορίζει την προσήνεμη περιοχή.

Σαν υπήνεμη περιοχή ορίζεται αυτή η οποία είναι προστατευμένη από τον άνεμο. Συχνά είναι η αντίθετη της προσήνεμης περιοχής, αλλά γενικότερα μπορούν να θεωρηθούν σαν υπήνεμες περιοχές αυτές που εκτίθενται σε άνεμους με ελάχιστη συχνότητα εμφάνισης (Λειβαδά Η, 2000). Για επιλογή θέσης για εγκατάσταση ανεμογεννητριών πρέπει να ακολουθηθούν συγκεκριμένες διαδικασίες, όπως διαφαίνονται παρακάτω και ακολούθως εκτίμηση του αιολικού δυναμικού (βλέπε Εικόνα 20).



**Εικόνα 19 Προσδιορισμός της Τραχύτητας του Εδάφους σε σχέση με τις επικρατούσες διευθύνσεις του ανέμου. Πηγή (Λειβαδά Η, 2000).**

### 2.3.8.3. Τύρβη ή Ανατάραξη του Ανέμου (Turbulence)

Η τύρβη, είναι συνεχώς μεταβαλλόμενες κινήσεις του αέρα και υπερτίθενται στη μέση του αέρα παράλληλα είναι και ασυντόνιστα. Προφανές είναι ότι οι τυχαίες αυτές διαταραχές μπορούν να εξεταστούν μόνο με στατιστικές τεχνίτες για την περιγραφή της μεταβλητότητας του ανέμου και όχι με αναλυτικές μεθόδους.

Η διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου γύρω από τη μέση ταχύτητα, δίνεται από τη σχέση:

$$V'^2(t) = \sigma_v^2 = \frac{1}{T} \cdot \int_0^{0+T} (V(t) - \bar{V})^2 dt, \quad T = 10min \quad (9)$$

Κατόπι αυτού ορίζουμε την ένταση της ανατάραξης ( $I$ ), από τη σχέση:

$$I = \frac{\sigma_v}{V} \quad (10)$$

Η ένταση της ανατάραξης είναι μέγεθος που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους της θεωρούμενης περιοχής (Λειβαδά Η, 2000). Είναι ανάλογη της τραχύτητας του εδάφους και αντιστρόφως ανάλογη του ύψους αναφοράς πάνω από το έδαφος. Ανάλογα με το μήκος τραχύτητας  $Z_o$ , η ένταση της ανατάραξης υπολογίζεται ως εξής:

$$Z_o \leq 0.20m \rightarrow I = \frac{1}{\ln \frac{z}{z_o}} \text{ και για } Z_o > 0.20m \rightarrow I = \frac{(-0.14 \ln Z_o + 0.78)}{\ln \frac{z}{z_o}} \quad (11)$$

Η ένταση της ανατάραξης είναι ένα από τα βασικά μεγέθη που πρέπει να γνωρίζουμε όταν πρόκειται να δημιουργήσουμε ένα αιολικό πάρκο, γιατί δεν επηρεάζεται μόνο η συλλεγόμενη αιολική ισχύ, αλλά και όλη η εγκατάσταση του συστήματος.

#### 2.3.8.4. Στροβιλισμός του Ανέμου

Οι αναταράξεις (στροβιλισμός) μπορούν να εκληφθούν ως απρόβλεπτες διακυμάνσεις της μέσης ταχύτητας του ανέμου. Αυτές οι διακυμάνσεις συμβαίνουν στις τρεις διαστάσεις, δηλαδή κατά μήκος (με την κατεύθυνση του ανέμου), κατά πλάτος (κάθετη προς την κατεύθυνση του ανέμου) και καθ' ύψος. Μερικοί στρόβιλοι είναι δυνατόν να επεκταθούν σε μεγάλη απόσταση πέραν από το κτήριο προς την υπήνεμη πλευρά του. Στα υπήνεμα, αυτοί μετασχηματίζονται συνήθως από στενοί στρόβιλοι με μεγάλη περιστροφική ταχύτητα, σε μεγάλους αργής περιστροφής στρόβιλους, για να ενσωματωθούν τελικά στην ατμοσφαιρική ανατάραξη. Οι οργανωμένοι στρόβιλοι επηρεάζουν τόσο την παραγόμενη ισχύ του ανέμου όσο και την όλη εγκατάσταση του συστήματος της αιολικής μηχανής. Γενικά πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στα κτίρια που βρίσκονται στα προσήνεμα μιας αιολικής μηχανής και μάλιστα στα χαμηλά κτίρια, λόγω των στρόβιλων που εκρέουν από αυτά.

#### 2.3.8.5. Ριπή του Ανέμου (Gust)

Οι ριπές του ανέμου, θεωρούνται ένα ιδιαίτερο στοιχείο, το οποίο συμβαίνει μέσα στο προφίλ του αναταραγμένου ανέμου. Η ριπή είναι μια παροδική, θετική ή αρνητική απόκλιση της ταχύτητας του ανέμου (ή της συνιστώσας της ταχύτητας του αέρα προς μια διεύθυνση) για ένα μικρό σχετικά χρονικό διάστημα από τη μέση τιμή της (ή τη μέση τιμή της συνιστώσας) για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και συμβολίζεται συνήθως σαν  $U_g$ . Το

αιολικό φορτίο που λαμβάνουν οι ανεμογεννήτριες οφείλεται κυρίως λόγω των ριπών και μπορεί να καθοριστεί ως συναρτήσει αυτών των τεσσάρων ιδιαιτεροτήτων που έχουν αναφερθεί. Για παράδειγμα, μπορούν να αναλυθούν τα ακραία φορτία που ενδέχεται να έχει στο χρόνο ζωής της η ανεμογεννήτρια, προσδιορίζοντας την μέγιστη ριπή του ανέμου.

Από μελέτες που έχουν τυπωθεί σε συνδυασμό με καταγραφές ταχυτήτων σε ύψος  $z$  φαίνεται ότι ισχύει η σχέση:

$$U_g(z) = U(z) + g(t) \cdot \sqrt{u^2} \quad (12)$$

Όπου:  $g(t)$  είναι ο συντελεστής ριπής ο οποίος εξαρτάται από την αδράνεια και τον τύπο του ανεμομέτρου, καθώς επίσης και από το χρόνο ( $t$ ) που λαμβάνεται η μέση τιμή της ριπής του ανέμου. Ο Wieringa που ήταν βασισμένος σε μετρήσεις μετεωρολογικού ιστού στην Ολλανδία, πρότεινε τη σχέση (Wieringa, 1973) :

$$g(t) = 0.42 \cdot \ln\left(\frac{3600}{t}\right) \quad (13)$$

$$\text{και } \frac{U_g(z)}{U(z)} = \gamma_g = 1 + I \cdot g(t)$$

Ο λόγος των δύο ταχυτήτων  $\gamma_g$  διατυπώνεται σαν λόγο της ριπής.  $I$  νοείται η ένταση της ανατάραξης του ανέμου. Για πεδινές περιοχές σε ύψος 10 m από την επιφάνεια του εδάφους, παρατίθενται οι ενδεικτικές τιμές του συντελεστή και του λόγου ριπής.

**Πίνακας 2 Τιμές του Συντελεστή Ριπής και Λόγου Ριπής σε Ύψος 10m**

Περίοδος (sec)	$g(t)$	$\gamma_g$
<b>1</b>	<b>3,44</b>	<b>1,59</b>
<b>3</b>	<b>2,98</b>	<b>1,51</b>
<b>5</b>	<b>2,76</b>	<b>1,48</b>
<b>10</b>	<b>2,47</b>	<b>1,43</b>
<b>20</b>	<b>2,18</b>	<b>1,38</b>
<b>30</b>	<b>2,01</b>	<b>1,35</b>
<b>60</b>	<b>1,72</b>	<b>1,3</b>
<b>600</b>	<b>0,75</b>	<b>1,13</b>
<b>3600</b>	<b>0</b>	<b>1</b>

**Πηγή: (Κανελλόπουλος, 2008).**

Σε περιοχές που έχουν έντονο ανάγλυφο, για παράδειγμα όπως είναι Κύπρος, συνιστάται να γίνονται μετρήσεις των συντελεστών ως αποτέλεσμα να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο ανώτερος πίνακας.



### 2.3.8.6. Κατατομή του Ανέμου (Profile)

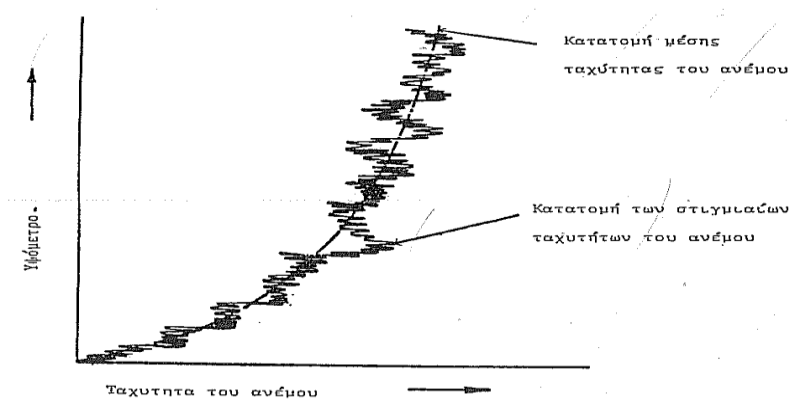
Η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος είναι υπεύθυνη για την μεταβολή με το ύψος της τοπικής δυναμικής αιολικής ισχύος. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην εγκατάσταση αιολικών μηχανών, όπως θα δούμε παρακάτω παρουσιάζει η κατανομή του ανέμου (wind profile), δηλαδή η με το ύψος πάνω από το έδαφος μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου στις πρώτες λίγες εκατοντάδες μέτρα πάνω από την επιφάνεια της γης. Το τμήμα αυτής της ατμόσφαιρας ορίζει το κατώτερο τμήμα του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος (Boundary layer).

Όπως είναι γνωστό, το πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος κυμαίνεται σε γενικές γραμμές μεταξύ 50m και 2km και εξαρτάται από την τοπική κατάσταση του εδάφους και τις συνθήκες ευστάθειας της ατμόσφαιρας. Εξ αιτίας της ανατάραξης που παρατηρείται μέσα στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα, η ταχύτητα του ανέμου τείνει στο μηδέν κοντά στο έδαφος (εξ αιτίας της τριβής με την επιφάνεια του εδάφους), ενώ στην ανώτερη επιφάνεια του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος, όπου πλέον η επίδραση της τριβής είναι αμελητέα, ο άνεμος έχει την ταχύτητα του συνοπτικού γεωστροφικού ανέμου.

Η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος πάνω από το έδαφος έχει σημαντική επίδραση στις μελέτες του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής διότι:

1. επιδρά στο ποσό της αιολικής ενέργειας που θα εξαχθεί από μια αιολική μηχανή.
2. επιδρά στην κόπωση του συστήματος της αιολικής μηχανής.
3. καθορίζει την αντοχή που πρέπει να έχει η βάση στήριξης της αιολικής μηχανής.

Στην Εικόνα 21, διαφαίνεται μια τυπική κατανομή των στιγμιαίων ταχυτήτων του ανέμου. Οι παρατηρούμενες εξάρσεις είναι αποτέλεσμα του ότι ο άνεμος μέσα στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα περιλαμβάνει ριπές και στροβίλους διαφόρων μεγεθών. Επειδή στις μελέτες προσδιορισμού της αιολικής ενέργειας αρκούν μέσες τιμές σε χρόνο 10min, χρησιμοποιούνται συνήθως οι εξομαλυμένες τιμές στο χρόνο αυτό, οπότε παίρνουμε την εξομαλυμένη καμπύλη της κατανομής του ανέμου που δίδεται παρακάτω. Η μορφή της καμπύλης αυτής εξαρτάται από το τοπικό περιβάλλον και την ευστάθεια της ατμόσφαιρας. Ως εκ τούτου ο προσδιορισμός ενός μαθηματικού μοντέλου για την περιγραφή της κατανομής του ανέμου πρέπει να λάβει υπόψη αυτούς τους δύο παράγοντες.



**Εικόνα 20** Τυπική κατατομή των στιγμιαίων ταχυτήτων του ανέμου με το ύψος. Πηγή (Λειβαδά Η, 2000).

Στην πιο απλή περίπτωση των ουδέτερων ατμοσφαιρικών συνθηκών, (όταν η μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος είναι αδιαβατική) το προφίλ του ανέμου είναι:

$$U(z) = \left(\frac{u_{*0}}{k}\right) \cdot \ln\left(\frac{z + z_0}{z_0}\right) \quad (14)$$

Λαμβάνοντας υπόψη τα παρακάτω ο λόγος των ταχυτήτων του ανέμου σε διάφορα ύψη υπολογίζεται εμπειρικά από τον εμπειρικό νόμο, όπως και θα δούμε εκτενέστερα.

### 2.3.8.7. Εκθετική Συνάρτηση

Ο εκθετικός νόμος είναι ένας εμπειρικά στατιστικός νόμος ο οποίος εφαρμόζεται περισσότερο σε μεγάλο πλήθος παρατηρήσεων και όχι αναγκαστικά σε μεμονωμένες περιπτώσεις. Ο εκθετικός νόμος δίδεται από την συνάρτηση:

$$V(z) = V_r \cdot \left(\frac{z}{z_r}\right)^a \quad (15)$$

Όπου:  $z$  είναι το ύψος από την επιφάνεια του εδάφους,  $V_r$  η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς  $z_r$  πάνω από την επιφάνεια του εδάφους,  $V(z)$  η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος  $z$ , και  $a$  είναι ένας εκθέτης που εξαρτάται από τη μορφολογία (ανάγλυφο) του εδάφους. Μια τυπική τιμή του  $a$  είναι συντηρητικά 0,1 (Walker & Jenkins, 2007).

Ο εν λόγω νόμος είναι απλός στην εφαρμογή του, καθώς δεν απαιτούνται γνώσεις της ευστάθειας της ατμόσφαιρας, η οποία ήδη περιλαμβάνεται στην πειραματική παράμετρο  $a$ . Η πειραματική εκθετική παράμετρος  $a$  δίδεται ως ακολούθως:

$$\alpha = 0.04 \cdot \ln z_0 + 0.003 \cdot (\ln z_0)^2 + 0.24 \quad (16)$$

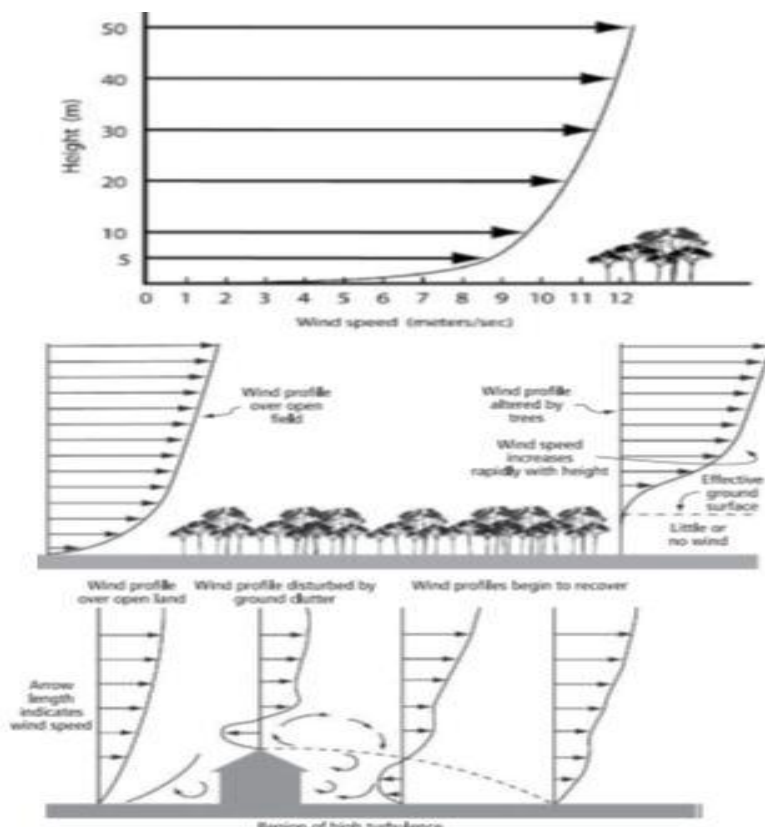
Καταλήγοντας, για περαιτέρω ακρίβεια, τα ύψη  $z$  και  $z_r$ , δύνανται καλύτερα να λαμβάνονται από τη στάθμη μηδενικής ταχύτητας, παρά από την επιφάνεια του εδάφους. Οι τιμές του  $z_0$  και του  $a$  ενδέχεται να ακολουθήσουν παρακάτω στο Πίνακα 3.

### 2.3.8.8. Λογαριθμική Συνάρτηση

Ο λογαριθμικός νόμος εμφανίζεται να παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια στην περίπτωση που έχουμε μετρήσεις της ταχύτητα του ανέμου σε ένα γνωστό υψόμετρο του σταθμού και θέλουμε να υπολογίσουμε τη ταχύτητα του ανέμου σε ένα υψόμετρο το οποίο απέχει από το αρχικό γνωστό πάνω από 30 – 50m υψομετρική διαφορά. Η Λογαριθμική Συνάρτηση δίδεται από τη σχέση:

$$\frac{V(z)}{V(10)} = \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{10}{z_0}\right)} \quad (17)$$

Όπου:  $V(10)$  είναι η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 10m από την επιφάνεια του εδάφους και  $z_0$  είναι το μήκος της ανωμαλίας του εδάφους.



**Εικόνα 21** Παράσταση του κατακόρυφου προφίλ μεταβολής των ταχυτήτων του ανέμου κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Πηγή (Chiras, 2010).

Στην Εικόνα 22 διαφαίνεται το πραγματικό προφίλ μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου κατά το ύψος.

**Πίνακας 3: Παράμετροι για τον υπολογισμό κατακόρυφου προφίλ ταχύτητας ανέμου**

Τύπος Εδάφους	Κατάταξη Ανωμαλίας του Εδάφους	Μήκος Τραχύτητας του Εδάφους, $Z_0$ (m)	Εκθέτης $\alpha$
Υδάτινες Περιοχές	0	0,001	0,01
Ανοιχτός χώρος, λίγα εμπόδια	1	0,12	0,12
Αγρ. Περιοχή	2	0,05	0,16
Χωριά, δάση	3	0,3	0,28

Πηγή: (Walker & Jenkins, 2007).

#### 2.4. Κατανομή των συχνοτήτων των ταχυτήτων του ανέμου και αντιπροσώπευση τους με την κατανομή Rayleigh και Weibull

Στις πλύστες των περιπτώσεων επειδή πολλές φορές έχουμε δεδομένα της ταχύτητας του ανέμου σε συγκεκριμένες θέσεις – σταθμούς, θέλουμε να κάνουμε γεωγραφική κάλυψη ευρύτερων περιοχών. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να ξεπεράσουμε το πρόβλημα των τοπικών αναταράξεων που εμποδίζουν την εφαρμογή της μεθόδου της γραμμικής παρεμβολής μεταξύ των θέσεων των μετρήσεων.

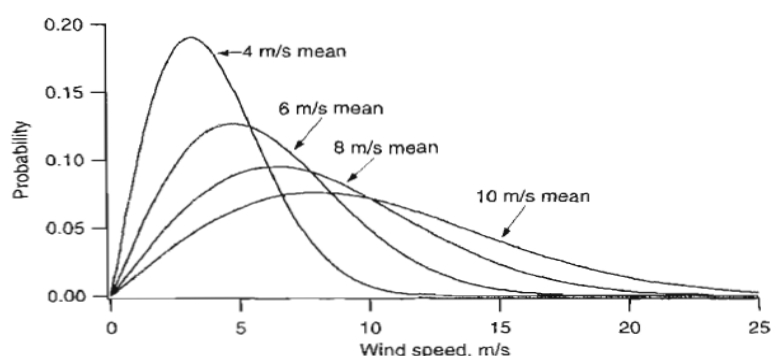
Για το λόγο αυτό αναζητήθηκε μια θεωρητική κατανομή στην οποία θα μπορούμε να προσαρμόσουμε τις πραγματικές κατανομές συχνοτήτων του ανέμου και η οποία επιτρέπει την γραμμική παρεμβολή (Manwell, McGowan, & Rogers, 2009). Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν δύο μέθοδοι αντιπροσώπευσης στην ανάλυση των δεδομένων του ανέμου: (1) Η Κατανομή Rayleigh και (2) Η Κατανομή Weibull. Η κατανομή Rayleigh χρησιμοποιεί, μια παράμετρο, η οποία είναι η μέση ταχύτητα του ανέμου. Η κατανομή Weibull βασίζεται σε δύο παραμέτρους και έτσι μπορεί καλύτερα να αντιπροσωπεύσει ένα ευρύτερο φάσμα συστημάτων του ανέμου. Τόσο όσο η Rayleigh και η Weibull κατανομές ορίζονται μόνο για τιμές που είναι μεγαλύτερες από το 0.

**Η Κατανομή Rayleigh:** Είναι η απλούστερη κατανομή πιθανοτήτων των ταχυτήτων, για να περιγράψει το αιολικό δυναμικό, δεδομένου ότι απαιτά μόνο την γνώση της μέσης ταχύτητας του ανέμου  $\bar{V}$ . Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας και η αθροιστική συνάρτηση κατανομής δίδονται παρακάτω:

$$P(V) = \frac{\pi}{2} \cdot \left( \frac{V}{\bar{V}} \right)^2 e^{\left[ -\frac{\pi}{4} \left( \frac{V}{\bar{V}} \right)^2 \right]} \quad (18)$$

$$F(V) = 1 - e^{\left[ -\frac{\pi}{4} \left( \frac{V}{\bar{V}} \right)^2 \right]} \quad (19)$$

Παρακάτω στην Εικόνα 29, παρατίθεται μια συνάρτηση πιθανότητας πυκνότητας για διάφορες τιμές της μέσης ταχύτητας.



**Εικόνα 22 Παράδειγμα της Κατανομής Rayleigh.** Όπως φαίνεται στο σχήμα, η μεγαλύτερη τιμή της μέσης ταχύτητας του ανέμου δίνει μια μεγαλύτερη πιθανότητα στις υψηλότερες ταχύτητες του ανέμου. Πηγή (Manwell, McGowan, & Rogers, 2009).

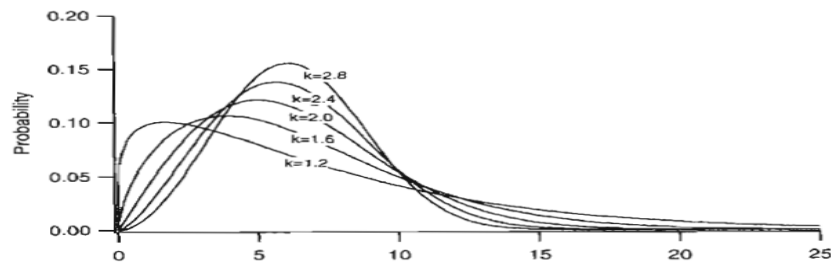
**Ο προσδιορισμός της συνάρτησης πιθανότητας Weibull** απαιτεί την γνώση δύο παραμέτρων. Την σχηματική παράμετρο  $k$  (αδιάστατη παράμετρος) και την βαθμωτή κλιμακωτή παράμετρο  $c$  (που έχει μονάδες ταχύτητας). Και οι δύο παράμετροι είναι συναρτήσεις της  $\bar{V}$  και της τυπικής απόκλισης  $\sigma_v$  (Troen & Petersen, 1989). Η συνάρτηση πιθανότητας πυκνότητας και η αθροιστική κατανομή κατά Weibull δίδονται παρακάτω:

$$P(V) = \left( \frac{k}{c} \right) \left( \frac{V}{c} \right)^{k-1} \cdot \exp \left[ - \left( \frac{V}{c} \right)^k \right] \quad (20)$$

$$F(V) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{V}{c} \right)^k \right] \quad (21)$$

Παρακάτω παρατίθενται διάφορες συναρτήσεις πιθανότητας πυκνότητας Weibull, για διάφορες τιμές του  $k$ , που αναφέρονται στην Εικόνα 30 (βλέπε Εικόνα 24). Όπως φαίνεται, καθώς η τιμή του  $k$  αυξάνεται, η καμπύλη εμφανίζει μεγαλύτερη αιχμή, δείχνοντας ότι

υπάρχει μικρότερη διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου (Jamil, 1994). Μέθοδοι προσδιορισμού των παραμέτρων  $k$  και  $c$  παρουσιάζονται παρακάτω.



**Εικόνα 23 Παράδειγμα της Κατανομής Weibull για μέση ταχύτητα  $\bar{V} = 8\text{m/s}$ .**

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση συνάρτησης πιθανότητας πυκνότητας (Εξίσωση 20), για την κατανομή Weibull, είναι δυνατό να προσδιοριστεί η μέση ταχύτητα, όπως διαφαίνεται:

$$\bar{V} = c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (22)$$

Όπου:  $\Gamma(x)$ =Συνάρτηση  $\Gamma$  «gamma function» προσεγγίστηκε από το Jamil (Jamil, 1994):

$$\Gamma(x) = (\sqrt{2\pi x})(x^{x-1})(e^{-x})\left(1 + \frac{1}{12x} + \frac{1}{288x^2} - \frac{139}{51480x^3} + \dots\right) \quad (23)$$

Επίσης δίδεται η συνάρτηση για την κατανομή Weibull του:

$$\sigma_V^2 = (\bar{V})^2 \left[ \frac{\Gamma(1 + 2/k)}{\Gamma^2(1 + 1/k)} - 1 \right] \quad (24)$$

Παρόλα αυτά, όμως, δεν είναι μια απλή διαδικασία, για να μπορέσει κανείς να υπολογίσει τις παραμέτρους  $k$  και  $c$  από τις εξισώσεις των  $\bar{V}$  και  $\sigma_V$ . Ωστόσο, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, όπως και παρατίθενται:

#### 1. Αναλυτική μέθοδος:

Είναι αποδεκτή για τιμές του  $1 \leq k < 10$  και ακολουθεί την σχέση:

$$k = \left(\frac{\sigma_V}{\bar{V}}\right)^{-1.086} \quad (25)$$

Η εξίσωση 22 της Μέσης Ταχύτητας κατά Weibull αποδίδεται ως εξής:

$$c = \frac{\bar{V}}{\Gamma(1 + 1/k)} \quad (26)$$

Παρόλα, αυτά, όμως, η μέθοδος αυτή απαιτά την χρήση της εξίσωσης του  $\Gamma$ .

## 2. Εμπειρική μέθοδος:

Χρησιμοποιώντας της Εξίσωση 26 της Σχηματικής Παραμέτρου  $k$ , σύμφωνα με την Αναλυτική Μέθοδο για να υπολογίσουμε την παράμετρο  $k$ , μετά μπορούμε να υπολογίσουμε το  $c$ , από τη παρακάτω σχέση:

$$\frac{c}{\bar{V}} = (0.568 + 0.433/k)^{-\frac{1}{k}} \quad (27)$$

## 3. Γραφική Μέθοδος:

Χρησιμοποιώντας αυτή την μέθοδο, μια ευθεία γραμμή, μπορεί να σχεδιαστεί σε λογαριθμικό χαρτί, με οριζόντιο άξονα την ταχύτητα του ανέμου  $V$  και στο κάθετο άξονα η αθροιστική συνάρτηση κατανομής  $F(V)$ . Από τη κλίση της ευθείας δίδεται η παράμετρος  $k$ . Έπειτα, η τομή της ευθείας με τον οριζόντιο άξονα, με  $F(V)=0.632$  δίνει μία εκτίμηση της παραμέτρου  $c$  (Nelson, 2004).

Βασίζόμενοι στην κατανομή Weibull (αυτό προϋποθέτει ότι το  $c$  και το  $k$  είναι γνωστά), μπορούν να υπολογισθούν οι ακόλουθοι παράμετροι:

### A. Τυπική Απόκλιση της Ταχύτητας του Ανέμου:

$$\sigma_V^2 = c^2[\Gamma(1 + 2/k) - \Gamma^2(1 + 1/k)] = \bar{V}^2 \left[ \frac{\Gamma(1 + 2/k)}{\Gamma^2(1 + 1/k)} - 1 \right] \quad (28)$$

### B. Αναμενόμενες τιμές του κύβου της ταχύτητας (ταχύτητα στην τρίτη δύναμη), $\bar{V}^3$ :

$$\bar{V}^3 = \int_0^\infty V^3 P(V) dV = c^3 \Gamma(1 + 3/k) \quad (29)$$

Πρέπει να σημειωθεί, ότι αυτές η κανικοποιημένες παραλλαγές των δύο παραπάνω παραμέτρων, εξαρτώνται αποκλειστικά από την σχηματική παράμετρο  $k$ . Για παράδειγμα, ο παράγοντας  $k_c$  (ορίζεται ως το συνολικό ποσό της διαθέσιμης ισχύς του ανέμου, που διαιρείται από την ταχύτητα του ανέμου στην τρίτη, όπως υπολογίστηκε παραπάνω στην εξίσωση 29, και δίδεται:

$$k_c = \frac{\overline{V^3}}{(\overline{V})^3} = \frac{\Gamma(1 + 3/k)}{\Gamma^3(1 + 1/k)} \quad (30)$$

Τυπικές τιμές των παραμέτρων που αναλύθηκαν παραπάνω, διαφαίνονται στον Πίνακα 4.

Καταλήγοντας, πρέπει να σημειωθεί, ότι η κατανομή Weibull για την οποία το  $k=2$ , είναι μια ειδική περίπτωση της κατανομής Weibull. Ισοδυναμεί με την κατανομή Rayleigh, καθώς ισχύει  $\Gamma^2(1 + 1/2) = \pi/4$ . Τέλος,  $\sigma_V/\overline{V} = 0.523$  για την κατανομή Rayleigh.

**Πίνακας 4 Παραλλαγές των Παραμέτρων, με την Σχηματική Παράμετρο της Κατανομής Weibull.**

$k$	$\sigma_V/\overline{V}$	$k_c$
1.2	0.837	3.99
2	0.523	1.91
3	0.363	1.40
5.0	0.229	1.15

Πηγή (Manwell, McGowan, & Rogers, 2009).

## 2.5. Διαθέσιμη Αιολική Ενέργεια

Η διαθέσιμη Αιολική Ενέργεια, δύναται να υπολογιστεί για δύο περιπτώσεις:

- Όταν διατίθενται οι στιγμιαίες ταχύτητες του ανέμου.
- Όταν διατίθενται οι μέσες ταχύτητες του ανέμου.

Επίσης, σχετικά με την αποδοτικότητα των ανεμογεννητριών, όσο αφορά το όριο του Bertz και το συντελεστή απόδοσης των ανεμογεννητριών, παρατίθενται εκτενείς πληροφορίες στο Παράρτημα 5.

### 2.5.1. Υπολογισμός της ισχύος του ανέμου από στιγμιαίες ταχύτητες του ανέμου

Ο άνεμος λόγω της κινητικότητας, περικλείει κινητική ενέργεια, η οποία είναι ικανή να παράγει έργο. Έτσι, η ενέργεια του ανέμου, είναι συναρτήσεως της ταχύτητας και της μάζας του. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του ανέμου, τόσο περισσότερη είναι η διαθέσιμη ενέργεια του.

Η συσχέτιση μεταξύ μιας μάζας  $m$  αέρα, της στιγμιαίας ταχύτητας  $V=V(t)$  και της κινητικής ενέργειας  $E_k$  δίδεται στην εν λόγω εξίσωση:

$$E_k = 0.5mV^2 \quad (31)$$



Η μάζα του αέρα μπορεί να υπολογισθεί από την πυκνότητα του  $\rho$  και τον όγκο του  $U$ , όπως διαφαίνεται:

$$\rho = mU \Rightarrow m = \rho U = \rho AS = \rho AVt \quad (32)$$

Θεωρώντας ότι ο αέρας διαπερνά κάθετα την επιφάνεια  $A$  με στιγμιαία ταχύτητα  $V = S \cdot t$ . Έτσι η εξίσωση της κινητικής ενέργειας γίνεται:

$$E_k = 0.5\rho AVtV^2 = 0.5\rho AV^3t \quad (33)$$

Αλλά η ισχύς του ανέμου  $P$  είναι η κινητική ενέργεια αυτού στο χρόνο  $t$ , επομένως:

$$P = 0.5\rho AV^3 \quad (34)$$

Καταλήγοντας, παρατηρούμε ότι η ισχύς του ανέμου είναι ανάλογη της πυκνότητας του αέρα  $\rho$ , της επιφάνειας την οποία διασχίζει κάθετα η αέρια μάζα με ταχύτητα  $V$  και του κύβου της ταχύτητας  $V$ .

#### 2.5.1.1. Πυκνότητα του Αέρα

Η πυκνότητα του αέρα, που έχει μονάδες μέτρησης  $\text{Kg/m}^3$  μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση:

$$\rho = 1.225 \cdot \frac{288.15}{\theta} \cdot \frac{P}{1013.3} \quad (35)$$

Όπου:  $P$  είναι ατμοσφαιρική σε mb και  $\theta$  η θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin.

Σε μέση ετήσια βάση, οι μεταβολές της θερμοκρασίας στα μέσα γεωγραφικά πλάτη επηρεάζουν ελάχιστα την πυκνότητα του αέρα. Η μεταβολή της πυκνότητας του αέρα μεταξύ χειμώνα και καλοκαιριού είναι της τάξης του 10% περίπου. Έτσι συνήθως θεωρούμε την πυκνότητα του αέρα σταθερή, ίση με  $1.225 \text{ Kg/m}^3$ .

Αντίθετα η αύξηση του υψόμετρου επηρεάζει την πυκνότητα του αέρα. Αυτή είναι μεγαλύτερη σε μια παράκτια θέση από μια ορεινή. Επειδή για τους υπολογισμούς μας θεωρούμε συνήθως συνθήκες επιφάνειας της θάλασσας, όταν μελετάμε θέσεις με υψόμετρο μεγαλύτερο των 1000m πρέπει να γίνεται διόρθωση της τιμής της πυκνότητας του αέρα με τη βοήθεια του Πίνακα 5 (βλέπε Πίνακα 5).

**Πίνακας 5 Ποσοστό (%) ελάττωσης της πυκνότητας του αέρα σε σχέσ με τη μέση τιμή ατην επιφάνεια της θάλασσας**

Υψόμετρο (ft) 1ft=0.3048	Ποσοστό (%). Σε σχέση με την επιφάνεια της θάλασσας	Υψόμετρο (ft) 1ft=0.3048	Ποσοστό (%). Σε σχέση με την επιφάνεια της θάλασσας
500	99	6000	83
1000	97	7000	80
2000	94	8000	77
3000	91	9000	74
4000	88	10000	70
5000	86		

Πηγή (Λειβαδά Η, 2000).

### 2.5.1.2. Επιφάνεια Σάρωσης

Θεωρητικά, διπλασιάζοντας την επιφάνεια που διαπερνά κάθετα η οριζόντια συνιστώσα του ανέμου έχουμε διπλασιασμό της διαθέσιμης αιολικής ισχύος (Λειβαδά Η, 2000). Έτσι αν θεωρήσουμε μια συμβατική αιολική μηχανή οριζοντίου άξονα περιστροφής, η επιφάνεια  $A$  που σαρώνει η πτερωτή της μηχανής είναι:

$$A = \pi \cdot R^2 \quad (36)$$

Όπου  $R$  η ακτίνα της πτερωτής, δηλαδή η επιφάνεια σάρωσης είναι ανάλογη του τετραγώνου της ακτίνας της πτερωτής, πράγμα που σημαίνει ότι μια μικρή αύξηση του μήκους των πτερυγίων της αιολικής μηχανής προκαλεί σημαντική αύξηση στην επιφάνεια σάρωσης, π.χ. αν διπλασιάσουμε την ακτίνα της πτερωτής αυξάνει η επιφάνεια σάρωσης κατά τέσσερεις φορές, δηλαδή:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{\pi \cdot R^2}{\pi \cdot (2R)^2} = \frac{R^2}{4R^2} \Rightarrow 4A_1 = A_2 \quad (37)$$

### 2.5.1.3. Ταχύτητα του Ανέμου

Η ισχύς του ανέμου είναι συνάρτηση του κύβου της ταχύτητας του ανέμου, ως εκ τούτου οι μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου επηρεάζουν περισσότερο την ισχύ του από ότι η πυκνότητα του αέρα και η επιφάνεια σάρωσης (Λειβαδά Η, 2000).

Έτσι, αν σε μια θέση η ταχύτητα του ανέμου είναι 10m/s και σε μια άλλη 11m/s και η επιφάνεια που διαπερνά ο άνεμος και η πυκνότητα του αέρα είναι ίδιες θα έχουμε:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{0.5 \cdot \rho \cdot A \cdot (11)^3}{0.5 \cdot \rho \cdot A \cdot (10)^3} = 1.33 \quad (38)$$

Καταλήγοντας, αυτού, συμπεραίνουμε, ότι μια αύξηση της ταχύτητας του ανέμου κατά 10% έχει σαν συνέπεια την αύξηση της διαθέσιμης αιολικής ισχύος κατά 33%. Γι' αυτό το λόγο έχει τόση σημασία η σωστή επιλογή της θέσης εγκατάστασης μιας αιολικής μηχανής. Συνοψίζοντας, η σχέση μεταξύ της αιολικής ισχύος – πυκνότητας του αέρα – επιφάνειας σάρωσης και ταχύτητας του ανέμου έχουμε:

1. Η ισχύς στα μέσα γεωγραφικά πλάτη δεν επηρεάζεται σημαντικά από την πυκνότητα του αέρα, παρά μόνο στις περιπτώσεις που βρισκόμαστε σε υψόμετρο μεγαλύτερο από 1000m.
2. Η ισχύς είναι συνάρτηση της επιφάνειας που διαπερνά ο άνεμος.
3. Η ισχύς είναι συνάρτηση του κύβου της ταχύτητας του ανέμου. Αν επομένως διπλασιαστεί η ταχύτητα του ανέμου, η αντίστοιχη ισχύς θα αυξηθεί κατά 8 φορές.

### 2.5.2. Υπολογισμός της ισχύος του ανέμου από μέσες ταχύτητες

Συνήθως, οι μετρήσεις του ανέμου αναφέρονται σε μέσες ταχύτητες υπολογισμένες σε διαστήματα  $T=10min$  (Λειβαδά Η, 2000). Οι μέσες αυτές τιμές, και αναφέραμε προηγουμένως, υπολογίζονται από την σχέση:

$$\bar{V} = \frac{1}{T} \cdot \int_{t_0}^{t_0+T} V(t) dt \quad (39)$$

Και η στιγμιαία ταχύτητα αποδίδεται ως:

$$V(t) = \bar{V} + V'(t) = \bar{V} + \sigma_V \quad (40)$$

Επομένως, η μέση αιολική ισχύς σε χρόνο  $T=10min$  θα ισούται με:

$$P_T = 0.5 \cdot A \cdot \rho \cdot V^3 \text{ ή}$$

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

$$P_T = \frac{0.5 \cdot A \cdot \rho}{T} \cdot \int_0^T [\bar{V} + \sigma_V]^3 dt \text{ ή}$$

$$\begin{aligned}
P_T &= \frac{0.5 \cdot A \cdot \rho}{T} \cdot \left[ \int_0^T \bar{V}^3 dt + \int_0^T \sigma_V^3 dt + 3 \int_0^T \bar{V}^2 \cdot \sigma_V dt + 3 \int_0^T \bar{V} \cdot \sigma_V^2 dt \right] \\
&= 0.5 \cdot A \cdot \rho \cdot \left[ \bar{V}^3 + \overline{\sigma_V^3} + 3\bar{V}^2 \cdot \overline{\sigma_V} + 3\bar{V} \cdot \overline{\sigma_V^2} \right] \\
&= 0.5 \cdot A \cdot \rho \cdot \bar{V}^3 \cdot \left[ 1 + \frac{\overline{\sigma_V^3}}{\bar{V}^3} + \frac{3\overline{\sigma_V}}{\bar{V}} + \frac{3\overline{\sigma_V^2}}{\bar{V}^2} \right] \quad (41)
\end{aligned}$$

Αλλά,  $\overline{\sigma_V} = 0$ , εξ' ορισμού, την ένταση ανατάραξης  $I = \frac{\sigma_V}{\bar{V}}$  και  $\frac{\overline{\sigma_V^3}}{\bar{V}^3} \cong 0$  οπότε:

$$P_T = 0.5 \cdot A \cdot \rho \cdot \bar{V}^3 \cdot [1 + 3 \cdot I^2] \quad (42)$$

Εάν, όμως, θεωρήσουμε ένα σύνολο μέσων τιμών ταχυτήτων του ανέμου που καλύπτει ένα ορισμένο διάστημα αυτό μπορεί να υπολογισθεί με βάση την κατανομή συχνοτήτων αυτών των ταχυτήτων του ανέμου από τη σχέση:

$$P_T = 0.5 \cdot A \cdot \rho \cdot \bar{V}^3 \cdot [1 + 3 \cdot I^2] \cdot \int_0^{V_{max}} f(\bar{V}_i) \cdot \bar{V}_i^3 d\bar{V} \quad (43)$$

Όπου  $V_{max}$  ορίζει τη μέγιστη ταχύτητα του συνόλου των δεδομένων που διαθέτουμε και  $f(V_i)$  είναι η συχνότητα εμφάνισης κάθε ταχύτητας  $V_i$ . Στην πράξη το ολοκλήρωμα μπορεί να αντικατασταθεί από το άθροισμα οπότε έχουμε:

$$P_T = 0.5 \cdot A \cdot \rho \cdot \bar{V}^3 \cdot [1 + 3 \cdot I^2] \cdot \sum_i f(\bar{V}_i) \cdot \bar{V}_i^3 \quad (44)$$

### 2.5.3. Ετήσια διαθέσιμη Αιολική Ενέργεια

Θεωρώντας, ότι σε ημερήσια βάση γίνονται 24 καταγραφές της ταχύτητας του ανέμου, τότε σε ένα χρόνο θα έχουμε  $T_E = 24 \cdot 365$  μετρήσεις (Λειβαδά Η, 2000). Η διαθέσιμη αιολική ενέργεια θα ισούται κατά συνέπεια με:

$$\begin{aligned}
\bar{E}_E &= T_E \cdot \bar{P}_T = 365 \cdot 24 \cdot 0.5 \cdot A \cdot \rho \cdot [1 + 3 \cdot I^2] \cdot \sum_i f(\bar{V}_i) \cdot \bar{V}_i^3 \\
&= 4.38 \cdot A \cdot \rho \cdot [1 + 3 \cdot I^2] \cdot \sum_i f(\bar{V}_i) \cdot \bar{V}_i^3 \quad (\text{σε kWh/έτος}) \quad (45)
\end{aligned}$$

Μπορούμε θεωρώντας την πυκνότητα του αέρα σταθερή ( $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$ ), η ανά μονάδα επιφάνειας σάρωσης ( $A = 1 \text{ m}^2$ ) διαθέσιμη ετήσια αιολική ενέργεια ισούται με:

$$\bar{E}_E = 5.366 \cdot [1 + 3 \cdot I^2] \cdot \sum_i f(\bar{V}_i) \cdot \bar{V}_i^3 \quad (\text{σε kWh/m}^2 \cdot \text{έτος}) \quad (46)$$

#### 2.5.4. Μέγιστη διαθέσιμη Αιολική Ενέργεια

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, η ετήσια διαθέσιμη αιολική ενέργεια εξαρτάται κυρίως από την κατανομή συχνοτήτων των ταχυτήτων του ανέμου. Η διαθέσιμη αιολική ενέργεια είναι αυτή που φθάνει στην πτερωτή μιας αιολικής μηχανής. Στην πραγματικότητα όμως, η αιολική μηχανή δεν μπορεί να απορροφήσει όλη τη διαθέσιμη ενέργεια του ανέμου γιατί όπως έχουμε αναφερθεί:

1. Ο αέρας που διαπερνά την πτερωτή της μηχανής εξακολουθεί και μετά την απομάκρυνσή του να έχει κάποια ταχύτητα, πράγμα που σημαίνει ότι η αιολική μηχανή δεν δεσμεύει όλη την κινητική ενέργεια του ανέμου.
2. Αποδεικνύεται ότι η μάζα του αέρα που διαπερνά στη μονάδα του χρόνου την πτερωτή της αιολικής μηχανής είναι στην πραγματικότητα μικρότερη από αυτή που θεωρούμε ότι την διαπερνά, γιατί η ίδια η πτερωτή προκαλεί εκτροπή μέρους του αέρα που την προσεγγίζει.

Έτσι η μέγιστη διαθέσιμη αιολική ενέργεια που δεσμεύει μια ιδανική αιολική μηχανή είναι μέρος μόνο της κινητικής ενέργειας του ανέμου (το μέγιστο συντελεστή απόδοσης  $C_p \approx 59\%$ ).

Επομένως έχουμε σε ετήσια βάση:

$$\bar{E}_{max} = 3.17 \cdot (1 + 3I^2) \cdot \sum_i f(V_i) \cdot V_i^3 \quad (KWh/m^2 \cdot Έτος) \quad (47)$$

### 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

#### 3.1. Εισαγωγή

Στην ανάλυση που θα ακολουθηθεί, γίνεται μια περιγραφή της μεθοδολογίας στην οποία διεξάχθηκε στην παρούσα μελέτη και αποτελεί το σχέδιο και τον τρόπο που ακολουθήθηκε για να επιτευχθούν τα επιθυμητά συμπεράσματα. Μια τέτοια μεθοδολογία οφείλει να μπορεί να καλύψει περαιτέρω ανάγκες μελέτης και ανάλυσης, τόσο του αιολικού δυναμικού της Κύπρου, αλλά και άλλων περιπτώσεων.

Η παρούσα εφαρμογή της μεθοδολογίας, ξεκινά με την περιγραφή των περιοχών μελέτης (Πόλης Χρυσού και της Λεμεσού) και των χαρακτηριστικών τους. Επίσης θα γίνει μια περιληπτική περιγραφή της εξαγωγής των χαρτών που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του μοντέλου μελέτης του αιολικού δυναμικού. Έπειτα, ακολουθεί, ο τρόπος συλλογής των δεδομένων των χρονοσειρών των μέσων ωριαίων ταχυτήτων από την καταγραφή τους στο πεδίο έως την συλλογή τους σε μορφή Excel. Εκτενέστερα, θα επεξηγηθεί ο τρόπος προεπεξεργασίας των στατιστικών δεδομένων έτσι ώστε να περιγραφούν από τη θεωρητική κατανομή Weibull. Τέλος, εκτιμάται η χωρική και χρονική κατανομή του αιολικού δυναμικού στο *WAsP* λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές συνθήκες των σταθμών μελέτης, και ανάγοντας τες σε ευρύτερο πεδίο στις ζώνες ενδιαφέροντος.

Όσο, αφορά την μελέτη του αιολικού δυναμικού σε Ευρωπαϊκό Επίπεδο έχει διεξαχθεί πληθώρα μελετών. Σύμφωνα με το άρθρο «*A Statistical Approach to Estimate the Wind Speed Distribution: The Case of Gelibolu Region*», διαφαίνεται ότι η πιο σημαντική παράμετρος – μεταβλητή για την μελέτη του αιολικού δυναμικού, είναι η ταχύτητα του ανέμου (Yilmaz & Celik, 2008). Παρόλα αυτά όμως, επειδή η ταχύτητα του ανέμου μερικές φορές είναι απρόβλεπτη, χρησιμοποιούνται στατιστικές μέθοδοι κατανομής πιθανοτήτων για αντιπροσώπευση της. Εφόσον, εντοπιστούν οι πιθανότητες, μπορεί εύκολα κάποιος να αξιολογήσει μια περιοχή, ως προς την δυναμικότητα του αιολικού της δυναμικού, καθώς να δώσει απαντήσεις στο πόσο εύκολο και επικερδές είναι να εγκατασταθούν ανεμογεννήτριες εκεί. Συγκεκριμένα, στο παρόν άρθρο αναφέρεται, ότι, έγιναν προσπάθειες για την διαπίστωση της πιο κατάλληλης περιγραφής της πυκνότητας πιθανότητας του ανέμου με δέκα διαφορετικές εξισώσεις. Με βάση τρεις ελέγχους, έχει παρατηρηθεί ότι η στατιστική κατανομή πυκνότητας πιθανότητας Weibull, είναι η μόνη μέθοδος που μπόρεσε να αντιπροσωπεύσει άριστα τους ελέγχους, και συνεπώς και τα πραγματικά δεδομένα – μετρήσεις του ανέμου σε μια περιοχή.

Σύμφωνα με το άρθρο «Determination of Weibull Parameters for Wind Energy Analysis of Izmir, Turkey», αναφέρονται οι δύο παράμετροι της κατανομής Weibull που αφορούν την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου, που είναι η σχηματική παράμετρος  $k$  (αδιάστατη παράμετρος) και η κλιμακωτή βαθμωτή παράμετρος  $c$  (σε μονάδες m/s), οι οποίες έχουν υπολογιστεί από τα δεδομένα των ταχυτήτων στην Σμύρνη της Μικράς Ασίας (Ulgen & Hepbasli, 2002). Τα δεδομένα του ανέμου, αναφέρονται σε ωριαίες καταμετρήσεις στις ταχύτητες του ανέμου για περίοδο πάνω από πέντε χρόνια (από το 1995 – 1999), όπως έχουν καταμετρηθεί από το μετεωρολογικό σταθμό του Ηλιακού Ενεργειακού Ινστιτούτου του Πανεπιστημίου Ηtz. Βασισμένο στα πειραματικά δεδομένα, έχουν βρεθεί τιμές και για τις δύο παραμέτρους της κατανομής Weibull ( $k$  και  $c$ ) για την Σμύρνη, μεταβαλλόμενες σε μια σταθερής κλίμακας τιμές, όπως μπορούμε να πούμε. Οι χρονιαίες τιμές του  $k$  κυμαίνονται από 1.378 – 1.634 με μέση τιμή αυτών το 1.552. Η παράμετρος  $c$  κυμαίνεται από 2.956 – 3.444 με μέση τιμή 3.222.

Η κατανομή της ταχύτητας του ανέμου παραστάθηκε από την κατανομή Weibull και την Rayleigh (κατανομή Weibull όπου η παράμετρος  $k=2$ ). Σαν αποτέλεσμα αυτού, διαπιστώθηκε μέσω του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE) και με τις δύο μεθόδους σε σχέση με τις πραγματικές καταμετρήσεις των ταχυτήτων του ανέμου, ότι η Weibull είναι η ακριβέστερη στατιστική μέθοδος. Συγκεκριμένα βρέθηκε να είναι κατάλληλη στο να παρουσιάσει τα δεδομένα των ταχυτήτων του ανέμου στην Σμύρνη για ετήσιες μέσες αιολικές ταχύτητες πάνω από 3m/s.

Επίσης, όσο αφορά το άρθρο «Fitting the Weibull Distribution on Wind Speed time Series» (Akyilas, Zavrros, Skarlatos, & Fyrillas, 2011), αναφέρεται ότι η κατανομή Weibull, είναι μια συνάρτηση δύο παραμέτρων που χρησιμοποιείται στην κατανομή των συχνοτήτων των ταχυτήτων του ανέμου, καθώς, αυτή η οικογένεια καμπυλών, εφαρμόζει καλά στα δεδομένα μέτρησης του ανέμου. Συγκεκριμένα, για μετεωρολογικές εφαρμογές, οι παράμετροι της Weibull ( $k$  και  $c$ ) υπολογίζονται με τη χρήση μιας εφαρμογής μη – γραμμικής παλινδρόμησης (log – linear regression) στην αθροιστική κατανομή της ταχύτητας του ανέμου. Επίσης, αναφέρεται, ότι παρόλο που η κατανομή Weibull δέχτηκε πολλές κριτικές, εντούτοις χρησιμοποιείται ευρέως, καθώς αντιπροσωπεύει τον άνεμο πάρα πολύ καλά.

Στην παραπάνω έρευνα, χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι: (α) Μέθοδος των Ροπών (Moment Method), (β) Πυκνότητας Πιθανότητας (Power Density), (γ) συνδυασμός των δύο

παραπάνω μεθόδων εξισώνοντας την συνάρτηση των ταχυτήτων και της πυκνότητας πιθανότητας. Οι παραπάνω μέθοδοι συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της μεθόδου Μέγιστης Πιθανότητας (Maximum Likelihood Method). Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι ένα μεγάλο δείγμα από 72 ωριαίες μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου στους παράκτιους μετεωρολογικούς σταθμούς της Πόλης Χρυσοχού (Βορειοδυτικά) και Παραλίμνι (Νοτιοανατολικά), της Κύπρου. Και οι δύο σταθμοί βρίσκονται σε περιοχές με σχετικά υψηλές θαλάσσιες αύρες. Εξετάζοντας τις δύο μεθόδους ως προς τρεις δοκιμές – ελέγχους που είναι η Kolmogorov – Smirnov, Anderson – Darling και Chi – square, παρατηρήθηκε ότι όλες οι μέθοδοι καθίστανται στατικά ισοδύναμες εν σχέση με τα αποτελέσματά τους, σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Ωστόσο, οι τρεις πρώτες μέθοδοι είναι σημαντικά απλούστερες και παράγουν ένα πιο ρεαλιστικό μοτίβο της αιολικής ενέργειας.

Επιπρόσθετα, σύμφωνα με το άρθρο «Analysis of Wind Speed Variations and Estimation of Weibull Parameters for Wind Power Generation in Malaysia», εξετάστηκαν οι παράμετροι  $k$  και  $c$  χρησιμοποιώντας τρεις μεθόδους (Shamshad, Hussin, Bawardi, & Sanussi). Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι η κατανομή Weibull μέγιστης πιθανότητας, η κατανομή Weibull τροποποιημένης μέγιστης πιθανότητας και η γραφική κατανομή Weibull. Στο παρόν άρθρο, διατυπώθηκε ιδιαίτερος η σημαντικότητα της κατανομής Weibull, για να μπορέσει να παρθεί απόφαση στο που θα μπου ανεμογεννήτριες, γνωρίζοντας εκ των προτέρων την αποδοτικότητα τους. Έτσι από τις τρεις μεθόδους που αναφέρθηκαν εξάχθηκε το συμπέρασμα ότι η μέθοδος κατανομής Weibull μέγιστης πιθανότητας (Maximum likelihood method) είναι η καλύτερη και η πιο αντιπροσωπευτική.

Από την άλλη το άρθρο «Weibull parameters distribution fitting in the surface Wind Layer», εξετάστηκαν κατά πόσο είναι εφικτό να αντιπροσωπευθεί μια μαθηματική σχέση μεταξύ των πραγματικών μετρήσεων του ανέμου, μεταξύ των παραμέτρων της Weibull σε διάφορα στρώματα και ύψη της ατμόσφαιρας (Caballero, Bragulat, & Sala, 2006). Δηλαδή, εκτενέστερα, έγινε προσπάθεια στο να χαμηλώσει τις τιμές του κόστους έρευνας για εγκατάσταση αιολικού πάρκου, βελτιώνοντας τις επιλογές εγκαταστάσεις ανεμογεννητριών, διαμέσου των στατιστικών κατανομών Weibull. Συγκεκριμένα, από την έρευνα αυτή διαπιστώθηκε ότι η λογαριθμική μέθοδος Weibull (Logarithmic one) είναι η καλύτερη για να αντιπροσωπεύσει σωστά την σχηματική παράμετρο  $k$  (αδιάστατη παράμετρος) και η μέθοδος Weibull πυκνότητας πιθανότητας (Power density method) αντιπροσωπεύει καλύτερα την κλιμακωτή βαθμωτή παράμετρο  $c$ .

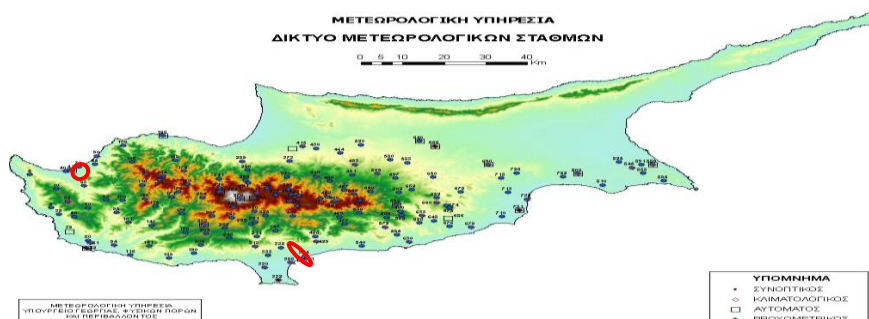


Καταλήγοντας, στο άρθρο «A new method to estimate Weibull Parameters for Wind Energy applications», αναφέρεται στην σύγκριση των γνωστών κατανομών πιθανοτήτων Weibull, που είναι η μέθοδος μέγιστης πιθανότητας (maximum likelihood method), η γραφική μέθοδος (graphic method) και την μέθοδο των ροπών (moment method), με την νέα μέθοδο κατανομής Weibull πυκνότητας πιθανότητας (Power density method). Από την παρούσα έρευνα, εξάχθηκε το αποτέλεσμα, ότι η μέθοδος πυκνότητας πιθανότητας είναι πολύ καλή μέθοδος και ακριβής (Seyit & Dinler, 2009). Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι το παρόν άρθρο αναφέρει, ότι είναι σημαντικό σε κάθε γεωγραφική θέση (τοποθεσία), πρέπει να γίνεται έλεγχος των κατανομών Weibull, για να εντοπίζεται η καλύτερη και η πιο αξιόπιστη.

Συμπερασματικά, συμπεραίνουμε ότι η θεωρητική στατιστική κατανομή Weibull είναι η πιο αξιόπιστη για να μπορέσει να αναπαραστήσει την κατανομή του ανέμου σε μια περιοχή μελέτης. Με βάση τα παραπάνω, για να μπορέσουμε στο πειραματικό μας στάδιο που θα αναφέρουμε παρακάτω, να αντιπροσωπεύσουμε σωστά τα στατιστικά χαρακτηριστικά του ανέμου στις περιοχές μελέτης, χρησιμοποιήσαμε την στατιστική κατανομή Weibull. Στα επόμενα υποκεφάλαια, θα αναλυθεί πλήρως η διαδικασία εκπόνησης της έρευνας.

### 3.2. Περιοχές Μελέτης

Η Κύπρος γεωγραφικά βρίσκεται στο βορειοανατολικό μέρος της Μεσογείου, στον 33° ανατολικά από το Γκρήνουιτς και στον 35° βόρεια του Ισημερινού. Έχοντας εμβαδόν 9251 km<sup>2</sup>, καθώς αποτελεί το τρίτο μεγαλύτερο σε μέγεθος νησί της Μεσογείου. Γεωγραφικά, ανήκει στην νοτιοδυτική Ασία, με απόσταση 100km νότια της Τουρκίας και 120km δυτικά της Συρίας. Ωστόσο, επειδή ιστορικά, πολιτιστικά και οικονομικά η Κύπρος έχει διαχρονικούς δεσμούς με την Ευρώπη και ιδιαίτερα με την Ελλάδα, μπορεί να θεωρηθεί μέρος της Δύσης και της Ευρώπης.



Εικόνα 24 Δίκτυο Μετεωρολογικών Σταθμών Κύπρου. Κυκλωμένη με κόκκινο χρώμα, είναι οι σταθμοί μελέτης (περιοχές μελέτης) που θα εστιαστούμε στην διατριβή αυτή. Πηγή (Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου, 2003).

Κλιματολογικά η Κύπρος αποτελείται από 156 μετεωρολογικούς σταθμούς, όσο αφορά τις καταμετρήσεις βροχομετρικών, κλιματολογικών και συνοπτικών δεδομένων (βλέπε Εικόνα 25). Παρόλα αυτά, όμως για τις καταμετρήσεις των διευθύνσεων και των ταχυτήτων του ανέμου, υπάρχουν μόνο 14 μετεωρολογικοί σταθμοί. Στα πλαίσια του διπλωματικού επιπέδου, εργαστήκαμε συγκεκριμένα για του μετεωρολογικούς σταθμούς Πόλης Χρυσοχού (Σταθμός πλησίον του Τμήματος Υδάτων) και Λεμεσού (Σταθμός πλησίον του Παλαιού Λιμανιού Λεμεσού). Οι συγκεκριμένοι σταθμοί αποτελούν κύριες κατηγορίες εδάφους και γεωγραφικής θέσης στο νησί, με πανομοιότυπες συνθήκες στο ανάγλυφο του εδάφους, καθώς είναι και οι δύο παραλιακοί σταθμοί. Στον Πίνακα 7 παρατίθενται τα χαρακτηριστικά των σταθμών μελέτης.

**Πηγή (Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου, 2003).**

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ						
Α/Α	ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΥΨΟΣ	Γ.Π	Γ.Μ	ΕΙΔΟΣ ΣΤΑΘΜΟΥ
1	ΠΟΛΗΣ ΧΡΥΣΟΧΟΥ	041	15	35 <sup>0</sup> 02'	32 <sup>0</sup> 26'	ΚΛΙΜΑΤΟΛ. ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ
2	ΛΕΜΕΣΟΣ (ΠΑΛΑΙΟ ΛΙΜΑΝΙ)	391	5	33 <sup>0</sup> 40'19''	33 <sup>0</sup> 03'24''	ΚΛΙΜΑΤΟΛ. ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ

### Πίνακας 6 Χαρακτηριστικά των Σταθμών Μελέτης

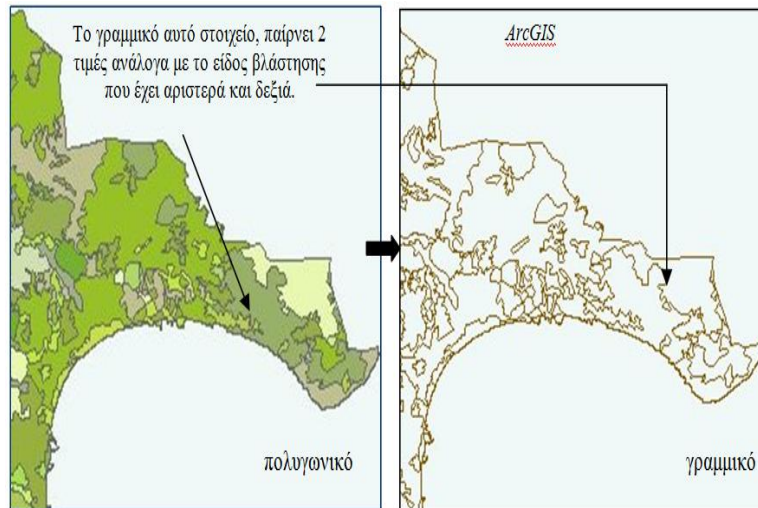
Παρόλα αυτά, για την μελέτη του Αιολικού Δυναμικού, όπως θα δούμε παρακάτω, έχει γίνει η χρήση του λογισμικού *WAsP*, όπου συνυπολογίζοντας διάφορους παραμέτρους (μεταξύ των οποίων η τραχύτητα του εδάφους και το υψόμετρο) και με την χρήση μετρήσεων από μετεωρολογικούς σταθμούς, εκτιμείται ο τελικός χάρτης ταχυτήτων ανέμου.

### 3.3. Χρήσεις γης και Χαρακτηριστικά των Περιοχών

Ένας σημαντικός παράγοντας για να υπολογισθεί με ακρίβεια το αιολικό δυναμικό, είναι η τραχύτητα του εδάφους και συνεπώς η ετησία των χαρτών των περιοχών μελέτης (Πόλης Χρυσοχού και Λεμεσού) τους οποίους προμηθευτήκαμε.

Σε αυτή την περίπτωση, υπολογίζονται τα επιφανειακά εμπόδια της περιοχής ανάλογα με το είδος βλάστησης, τους παρακείμενους οικισμούς ή αν υπάρχουν υδάτινες μάζες (θάλασσες, λίμνες), τα οποία λαμβάνονται σαν πληροφορία από το επίθεμα *Corine Land Cover*.

Αρχικά, το πιο σημαντικό κομμάτι είναι η μετατροπή μέσω του *ArcGIS<sup>TM</sup>* του πολυγωνικού επιθέματος *Corine Land Cover* σε γραμμικό. Ο σκοπός είναι να δοθούν τιμές δεξιά και αριστερά των γραμμικών στοιχείων που αφορούν το είδος της βλάστησης σε κάθε περίπτωση (βλέπε Εικόνα 26). Είναι μια απαραίτητη διαδικασία για την συνέχεια, αφού πρέπει να ορισθούν τιμές τραχύτητας με βάση το είδος βλάστησης.



**Εικόνα 25 Μετάβαση από πολυγωνικό επίθεμα σε γραμμικό.**

Ακολούθως οι τιμές που δόθηκαν όσο αφορά την βλάστηση από το αρχείο *Corine Land Cover*, πρέπει να μετατραπούν ανάλογα με την χρήση γης στον αντίστοιχο κωδικό τραχύτητας όπως ορίζει το εγχειρίδιο του *WASP*.

Έτσι, στον Πίνακα 7, που ακολουθεί, ομαδοποιούνται οι τιμές τραχύτητας εδάφους και αντιστοιχούνται οι κωδικοί χρήσεως γης. Στην συνέχεια, αφού γίνει η ομαδοποίηση των κωδικών, πρέπει να αντιστοιχηθούν οι τιμές της τραχύτητας με τον αντίστοιχο κωδικό. Έτσι, στο γραμμικό αρχείο χρήσεων γης που έχει δημιουργηθεί νωρίτερα δημιουργούνται 2 νέα πεδία με την ακριβή ονομασία: **ROUGH\_L** και **ROUGH\_R**. Η συγκεκριμένη ονομασία είναι απαραίτητη για την μετέπειτα ανάλυση που θα ακολουθήσει.

Για να γίνει η αντιστοίχιση των κωδικών με τις τιμές τραχύτητας, έχει δημιουργηθεί ένα αρχείο *Excel* όπου έχει χρησιμοποιηθεί μέσω του λογισμικού *ArcView* (εντολή *Join*).

**Πίνακας 7 Τιμές της Τραχύτητας του Εδάφους**

Z <sub>0</sub> (m)	Terrain Surface Characteristics	Χαρακτηριστικά Επιφάνειας Εδάφους	Κωδικός από το Corine Land Cover
1.00	City	Πόλη	111-112/ 121/ 141
0.80	Forest	Δάσος	311-313

0.50	Suburbs	Προάστια	122-123/ 131-133/ 142
0.30	Shelter Belts	Ζώνες προφύλαξης	
0.20	Many trees and/ or bushes	Πολλά δέντρα και/ ή θάμνοι	323-324
0.10	Farmland with closed appearance	καλλιεργήσιμο έδαφος με κλειστή εμφάνιση	221-223
0.05	Farmland with open appearance	καλλιεργήσιμο έδαφος με την ανοικτή εμφάνιση	211-213/ 333
0.03	Farmland with very few buildings/ trees	καλλιεργήσιμο έδαφος με πολύ λίγα κτήρια/ δέντρα	242-244
0.02	Airport areas with buildings and trees	περιοχές αερολιμένων με κτήρια και δέντρα	124
0.01	Airport runway areas	Περιοχές αεροδρομίων αερολιμένων	
0.008	Mown grass	Κομμένη χλόη	231, 241, 321
0.005	Bare soil (smooth)	Γυμνό χώμα (ομαλό)	322, 332, 334
0.001	Snow surfaces (smooth)	Επιφάνειες Χιονιού (ομαλές)	335
0.0003	Sand surfaces (smooth)	Επιφάνειες άμμου (ομαλές)	331
0.0001	Water areas (lakes, fjords, open sea)	περιοχές ύδατος (λίμνες, φιόρδ, ανοικτή θάλασσα)	411-412/ 421-423/ 511-512/ 521-523

Πηγή (Corine land cover 2000 (CLC2000) seamless vector database, 2012).

### 3.4. Προετοιμασία Χαρτών για την εισαγωγή τους στο Wasp

Αφότου είχαν προσδιοριστεί και ληφθεί υπόψη οι χρήσεις γης και τα χαρακτηριστικά των περιοχών, τα αρχεία θα πρέπει να μετατραπούν στην κατάλληλη μορφή ώστε να αναγνωρίζονται από το λογισμικό και πιο συγκεκριμένα από το **WAsP Map Editor** και το **WAsP 8**. Η διαδικασία αυτή, επιτυγχάνεται με δύο τρόπους, που να θα αναλυθούν παρακάτω, εντούτοις όμως, ο δεύτερος τρόπος είναι πιο αντιπροσωπευτικός, καθώς επίσης αντικατοπτρίζει την όλη διαδικασία που ακολουθήθηκε για την παρούσα μελέτη. Παρόλα αυτά για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής, όπου ο στόχος μας είναι η μελέτη του αερολιμενικού δυναμικού των αναφερόμενων παραλιακών περιοχών, προμηθευτήκαμε τους χάρτες σε μορφή **map** έτοιμους για να τους χρησιμοποιήσουμε στο **WAsP**, για να μελετήσουμε το αερολιμενικό δυναμικό λαμβάνοντας υπόψη όχι μόνο τα στατιστικά χαρακτηριστικά του ανέμου (δύναται να αναλυθούν παρακάτω η μέθοδος εξαγωγής των στατιστικών δεδομένων), αλλά και την τραχύτητα και το ανάγλυφο του εδάφους.

### 3.4.1. Εύκολος Τρόπος

Χρησιμοποιώντας αρχικά το *ArcView* ως υποστηρικτικό λογισμικό, προστίθενται τα ακόλουθα απαραίτητα αρχεία: το *Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο (DEM)* της Κύπρου, οι *Ισοϋψείς Καμπύλες* του νησιού καθώς και το γραμμικό αρχείο *Corine Land Cover* που έχει δημιουργηθεί νωρίτερα.

Για την εξαγωγή του τελικού αρχείου από αυτά τα δεδομένα, χρειάζεται η ενεργοποίηση της επιπρόσθετης εντολής *WAsP Exporter* στην γραμμή εργαλείων. Για να γίνει αυτό, από τον φάκελο εγκατάστασης του λογισμικού αντιγράφεται το αρχείο *waspmapexp.anx* και επικολλείται στον φάκελο εγκατάστασης του *ArcView*, με την ακόλουθη διαδρομή:

- **c:\esri\arcview\av\_gis30\ext32.** Στην συνέχεια, από την γραμμή εργαλείων του *ArcView* (→*Program* → *Extensions*) ενεργοποιείται τη επιπρόσθετη εντολή *WAsP Exporter*.
- Με την εντολή αυτή επιλέγεται το αρχείο που περιλαμβάνει την υψομετρική πληροφορία και το αρχείο που περιλαμβάνει τις τιμές βλάστησης δεξιά και αριστερά του γραμμικού στοιχείου και εξάγεται σε μορφή *\*map*.
- Ουσιαστικά, τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν είναι τα ακόλουθα και με την συγκεκριμένη σειρά:
  1. Υψομετρικό Μοντέλο Εδάφους (DEM).
  2. Ισοϋψείς καμπύλες (Επιλέγεται το πεδίο που περιέχει τις υψομετρικές τιμές).
  3. Γραμμικό Αρχείο τραχύτητας (Επιλέγονται τα πεδία που περιλαμβάνουν τις τιμές τραχύτητας δεξιά και αριστερά).

### 3.4.2. Αξιόπιστος Τρόπος

Ο δεύτερος τρόπος είναι και ο πιο αξιόπιστος και πιο γρήγορος τρόπος για την εξαγωγή αρχείων μορφής *WAsP*.

Με την χρήση του λογισμικού *Global Mapper V.12* και με απαραίτητα δεδομένα εισόδου τις Ισοϋψείς και το Γραμμικό επίθεμα των Χρήσεων Γης (με τα πεδία *ROUGH\_L* και *ROUGH\_R*), γίνεται η εξαγωγή του *\*map* αρχείου με τρόπο ευέλικτο και γρήγορο.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

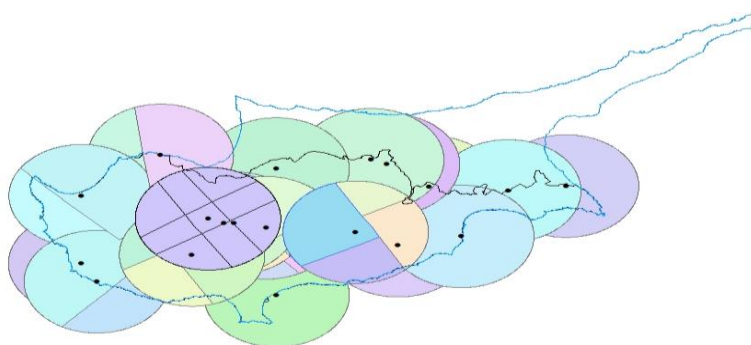
1. Φόρτωση αρχείων (*Contours & Roughness*).
2. *File Export* → *Vector Format*.
3. Στο παράθυρο που αναδύεται επιλέγεται το *WASP Map*.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, ότι, το υπολογιστικό πρόγραμμα *WASP* υστερεί σε δυο σημαντικά σημεία:

- Για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού **δεν** επιτρέπει την χρήση **περισσότερο του ενός μετεωρολογικού σταθμού**.
- Επίσης, έχει την αδυναμία να δεχθεί για ανάλυση θεματικού χάρτη όπου τα στοιχεία που το αποτελούν ξεπερνάνε τα **1.000.000 points**.

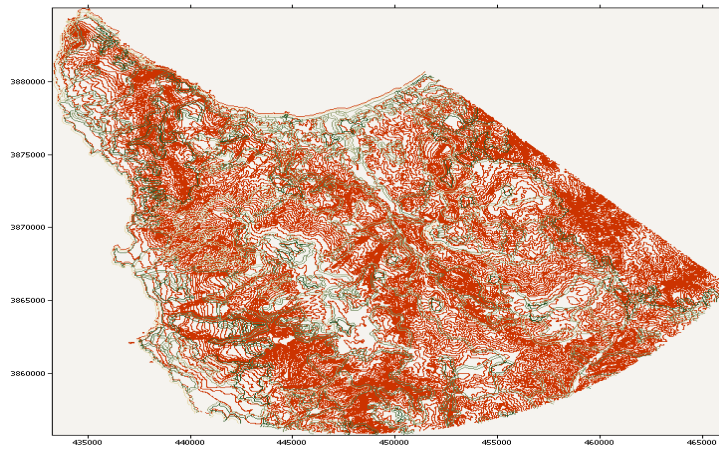
Έτσι, για την αντιμετώπιση αυτών των θεμάτων έχουν δημιουργηθεί ζώνες μελέτης (*buffer zones*) γύρω από τον εκάστοτε σταθμό (19 στο σύνολο). Οι ζώνες αυτές είναι αλληλεπικαλυπτόμενες και καταλαμβάνουν όλη την περιοχή μελέτης της ελεύθερης Κύπρου. Με την αλληλοεπικάλυψη των ζωνών θα ελαχιστοποιηθούν τα σφάλματα στην εκτίμηση και θα αποφευχθούν τα «κενά» σημεία. Επίσης, κρίθηκε αναγκαίο σε μερικές ζώνες να δημιουργηθούν επί μέρους ζώνες λόγω του όγκου των δεδομένων (βλέπε Εικόνα 27)

Ακόμη, για την αντιμετώπιση των πολλών σημείων στον τελικό θεματικό χάρτη, έχει επεξεργαστεί το αρχείο των ισοϋψών. Έτσι από το υψόμετρο 0 – 520m η ισοδιάσταση τους είναι 20m, από 540 – 1000 είναι 40m και από τα 1000 – 1900 ανά 50m. Έτσι μειώθηκε ο όγκος, χωρίς όμως να γίνεται σοβαρή αλλοίωση της πληροφορίας, κυρίως επειδή ο τελικός χάρτης αιολικού δυναμικού επίπεδο χώρας (η παρούσα μελέτη αποτελεί μέρος της μελέτης του αιολικού δυναμικού της Κύπρου) θα έχει μεγαλύτερη δυνατή ανάλυση τα 100m και την μικρότερη ανά 1km αφού μελετείται το φαινόμενο σε επίπεδο χώρας.

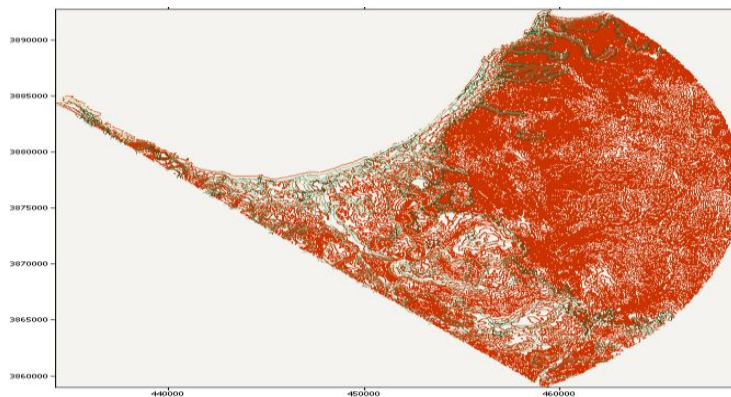


**Εικόνα 26 Ζώνες ανάλυσης ανά σταθμό.**

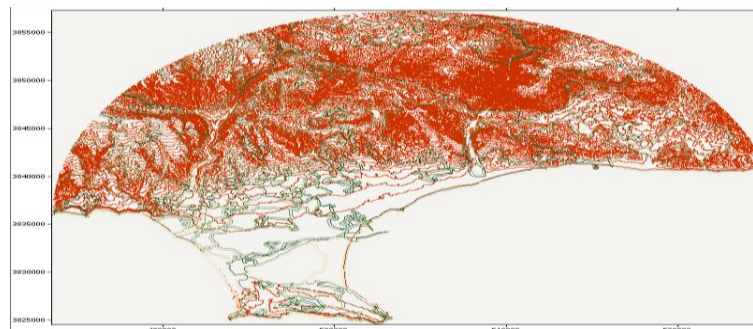




**Εικόνα 27** Για κάλυψη του αιολικού δυναμικού της Κύπρου, για τους 14 μετεωρολογικούς σταθμούς, με κέντρο το σταθμό πάρθηκαν κύκλοι ακτίνας 20km (buffer zones). Για τις δύο περιοχές μελέτης της παρούσας έρευνας (Πόλης Χρυσοχού και Λεμεσού), παραθέτονται τρεις χάρτες οι οποίοι θα εισαχθούν στο πρόγραμμα *WASP* σε επόμενο στάδιο. Για κάλυψη της περιοχής της Πόλης Χρυσοχού δύναται να χρησιμοποιηθούν δύο χάρτες (κύκλοι) με αλληλοεπικάλυψη μεταξύ τους 5km. Στην παρούσα εικόνα διαφαίνεται το πρώτο μισό της Πόλης Χρυσοχού (Map0A) σε μορφή *\*map*.



**Εικόνα 28** Δεύτερο μισό της Πόλης Χρυσοχού (Map0B) σε μορφή *\*map*.



**Εικόνα 29** Στην παρούσα εικόνα διαφαίνεται ο χάρτης τη Λεμεσού (Map14) σε μορφή *\*map*, όπως θα το εισάγουμε μετέπειτα στο *WASP* για να υπολογίσουμε το αιολικό δυναμικό στην περιοχή.

### 3.5. Λήψη μετρήσεων και Επεξεργασία δεδομένων

Για την καταμέτρηση των ταχυτήτων του ανέμου από την μετεωρολογική υπηρεσία στις περιοχές μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν κυπελλοφόρα ανεμόμετρα, τα οποία καταμετρούν αυτόματα τις ωριαίες ταχύτητες του ανέμου.

Στην παρούσα μελέτη, προμηθευτήκαμε τις καταμετρήσεις των ωριαίων χρονοσειρών των ταχυτήτων του ανέμου για τους σταθμούς μελέτης της Πόλης Χρυσοχού και Λεμεσού, για χρονική περίοδο από το 2002 – 2008, σε αρχεία *Excel*. Στα παρούσα αρχεία παρατίθενται οι καταμετρήσεις των ελαχίστων, μεγίστων και μέσων ταχυτήτων, της τυπικής απόκλισης και της διεύθυνσης του ανέμου σε υψόμετρο 2m από το υψόμετρο του εδάφους, και καταμετρήσεις των ελαχίστων, μεγίστων και μέσων ταχυτήτων, της τυπικής απόκλισης και της διεύθυνσης του ανέμου σε υψόμετρο 10m από το υψόμετρο του εδάφους.

Για τους σκοπούς της άσκησης χρησιμοποιήσαμε μόνο τα δεδομένα των μέσων ταχυτήτων και της διεύθυνσης του ανέμου στα 10m, όπου και θα αναπτύξουμε το μοντέλο του αιολικού δυναμικού στις περιοχές μελέτης.

Παρόλα, αυτά, όμως, τα στοιχεία που προμηθευτήκαμε από την μετεωρολογική υπηρεσία παρουσίαζαν αρκετά προβλήματα και κυρίως κενά που οφείλονται είτε σε ελλείψεις μετρήσεων, είτε σε λανθασμένη λειτουργία των οργάνων κατά την λήψη των μετρήσεων. Τα νέφη αυτών των λανθασμένων μετρήσεων, έτειναν να υποεκτιμήσουν την δυναμικότητα του αιολικού δυναμικού στις περιοχές μελέτης, γι' αυτό και έπρεπε να αφαιρεθούν και να διορθωθούν όπου απαιτείτο.

Από μέρους μας, έγινε καθαρισμός και ενοποίηση των χρονοσειρών της ταχύτητας του ανέμου σε κάθε σταθμό ξεχωριστά. Συγκεκριμένα, δημιουργήσαμε αλγόριθμο, με τον οποίο διορθώσαμε τις τιμές στα 10m με κατάλληλη μεθοδολογία και σύγκριση των ακραίων τιμών ταχυτήτων, ελαχίστων και μεγίστων. Με σύγκριση στα 2m εντοπίστηκαν λανθασμένες εκτιμήσεις, οι οποίες είτε διορθώθηκαν με την στατιστική μέθοδο της *γραμμικής παλινδρόμησης*, είτε διαγράφηκαν από τις χρονοσειρές των καταγραφών (Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2012).

Κυρίως, όμως, οι προβληματικές καταγραφές του οργάνου μέτρησης (κυπελλοφόρου ανεμόμετρου) εντοπίστηκαν στις μετρήσεις της ταχύτητας των 10m, εξαιτίας της αστοχίας του οργάνου σε μικρότερες ταχύτητες από 1m/s. Στην εν λόγω περίπτωση, αφότου, μετά από



διαπίστωση μας παρατηρήσαμε ότι οι καταγραφές του ανεμομέτρου στα 2m, ανταποκρίνονταν άριστα σε μικρές ταχύτητες, τότε έγινε προσπάθεια διόρθωσης των μετρούμενων τιμών για τα 10m. Η διαδικασία διόρθωσης, βασίστηκε σε μια αποδεκτή μέθοδο διόρθωσης με βάση τις μετρημένες ταχύτητες στα 2m.

Επιπλέον, σε μεμονωμένες περιπτώσεις, όπου οι δοθείσες καταγραφές του ανεμομέτρου στα 10m, έδιναν μικρότερες τιμές από τις τιμές της ταχύτητας του ανέμου στα 2m, όταν αυτές ήταν κάτω από 1m/s, τότε κάναμε διόρθωση των τιμών της ταχύτητας του ανέμου στα 2m/s, όταν αυτές ήταν κάτω από 1m/s. Ενώ, σε περιπτώσεις όπου και στα 10m και στα 2m, οι τιμές ήταν προβληματικές, τότε η πληροφορία αυτή θεωρείτο μη αποδεκτή και δεν την περιλαμβάνουμε, για την εξαγωγή των στατιστικών χαρακτηριστικών του ανέμου στο επόμενο στάδιο. Καταλήγοντας, αφότου τα αρχεία με τις μετρήσεις, ήταν ενοποιημένα και απαλλαγμένα από εσφαλμένες μετρήσεις, προχωρήσαμε στην επεξεργασία τους, που αποτελεί το πρωταρχικό στάδιο, για να μπορέσουμε να εξάγουμε τα στατιστικά χαρακτηριστικά του ανέμου.

Εν συνεχεία, ανάγαμε τα δεδομένα σε χρονική βάση (*year*) στο αρχείο του κάθε σταθμού (*Excel file*), αρχίζοντας από το παλαιότερο έτος αναφοράς (2002) μέχρι το νεότερο έτος αναφοράς (2008). Έπειτα, ταξινομήσαμε τις καταμετρήσεις σε ημερήσια ταξινόμηση (*year to daily*). Ακολούθως, ανάγαμε σε μηνιαίες βάσεις τα δεδομένα (*monthly*), όπου δημιουργήσαμε, 12 νέα αρχεία *Excel* με τις μηνιαίες καταγραφές για τον κάθε σταθμό. Σε μετέπειτα στάδιο, χωρίσαμε τα αρχεία των μηνών και μετά τα ανάγαμε ως προς την μέρα (*daily*) και χωρίσαμε τις ημερήσιες καταγραφές του κάθε μήνα σε *τρίωρα*. Δηλαδή, το αρχείο του κάθε μήνα το χωρίσαμε σε τρίωρα. Με άλλα λόγια για κάθε μήνα πλέον έχουμε 8 νέα αρχεία *Excel*, δηλαδή για κάθε σταθμό έχουμε 96 νέα αρχεία.

Ο διαχωρισμός των αρχικών χρονοσειρών των καταγραφών της ταχύτητας και της διεύθυνσης σε απόσταση 10m από το υψόμετρο του σταθμού, χωρίστηκε σε τρίωρα, ούτως ώστε να μπορέσουμε να ελέγξουμε την συμπεριφορά του ανέμου, όχι μόνο σε ωριαία βάση το πώς μεταβάλλεται ο άνεμος, αλλά σε μηνιαία βάση και εποχιακή βάση. Με τον τρόπο αυτό θα έχουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα στο τι γενέσθαι, για να μπορέσουμε να αποδώσουμε τα αποτελέσματα του αιολικού δυναμικού στις περιοχές μελέτης. Τέλος, τα **96 αρχεία** του κάθε σταθμού αποθηκεύτηκαν σε μορφή *\*prn (Formatted Text: Space Delimited)*. Ακολούθως, ανοίξαμε κάθε αρχείο *\*prn* και αλλάξαμε την διαστολή από κόμμα (,) σε τελεία (.), καθώς το *Observed Wind Climate Wizard του WAsP* που θα χρησιμοποιήσουμε παρακάτω στο

επόμενο υποκεφάλαιο, υποστηρίζει αυτή την διαδικασία. Ο λόγος που χρησιμοποιήσαμε *\*prn* αρχεία, είναι καθαρά για αποφυγή τυχόν λαθών σε μετέπειτα στάδιο, αφού στην προεπεξεργασία των δεδομένων από το *Observed Wind Climate Wizard του WAsP* για εξαγωγή των στατιστικών χαρακτηριστικών (θεωρητική κατανομή Weibull και το ιστόγραμμα) το πρόγραμμα αναγνωρίζει την τελευταία τιμή της μέσης ταχύτητας του ανέμου στα 10m και την διεύθυνση.

### 3.6. Προεπεξεργασία Στατιστικών Δεδομένων – Κατανομή Weibull

Η προεπεξεργασία των στατιστικών δεδομένων επιτυγχάνεται με την εισαγωγή των *\*prn files* στο *Observed Wind Climate Wizard του WAsP*. Το *Observed Wind Climate Wizard του WAsP* χρησιμοποιεί μια νέα μέθοδο όπως θα δούμε παρακάτω. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται από το *Observed Wind Climate Wizard του WAsP (OWC)* είναι η θεωρητική κατανομή *Πιθανότητα Πυκνότητας (Power Density Method)*. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί την μέθοδο αυτή, καθώς διαθέτει μια κλίμακα εκτίμησης και σχηματικές παραμέτρους, παρέχοντας μια απλούστερη σύνθεση, ευκολότερη εφαρμογή, αφότου απαιτά λιγότερο εύρος υπολογιστικών διαδικασιών ( Risø DTU, 2010).

Η *Μέθοδος Πιθανότητας Πυκνότητας (Power Density Method)* σύμφωνα με την κατανομή Weibull εκφράζεται ως εξής:

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \int_0^{\infty} V^3 f(V) dV \quad (48)$$

Όπου το:  $\rho$  είναι η πυκνότητα του αέρα της περιοχής.

Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις 48 και 49 γίνεται:

$$c = \frac{\bar{V}}{\Gamma(1 + 1/k)} \quad (49)$$

$$\frac{\bar{V}^3}{(\bar{V})^3} = \frac{\Gamma(1 + 3/k)}{\Gamma(1 + 1/k)^3} \quad (50)$$

Όπου:  $\bar{V}^3$  είναι η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου στο κύβο και  $\bar{V}^3/(\bar{V})^3$  είναι γνωστή ως ο *Συντελεστής του μοτίβου της Ενέργειας (Energy Pattern Factor) (E<sub>pf</sub>)* και σύμφωνα με βιβλιογραφικές και εμπειρικές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν, προέκυψε ότι ο συντελεστής (*E<sub>pf</sub>*) κυμαίνεται από 1.45 μέχρι 4.4 για τις περισσότερες κατανομές του ανέμου σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι παράμετροι Weibull υπολογίζονται με την επίλυση του *Συντελεστή*

του **μοτίβου της Ενέργειας (Energy Pattern Factor)** (βλέπε Εξίσωση 60) ή προσεγγιστικά με την χρήση της εξίσωσης 51:

$$k = 1 + \frac{3.69}{(E_{pf})^2} \quad (51)$$

Επίσης, η **κλιμακωτή - βαθμωτή παράμετρος (Scale Parameter) (c)** υπολογίζεται, επιλύοντας την εξίσωση 52, ως προς την παράμετρο  $c$ :

$$\bar{V} = c \cdot \Gamma \cdot \left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (52)$$

Συγκεκριμένα, η **Μέθοδος Πιθανότητας Πυκνότητας (Power Density Method)** απαιτά τις μέσες ταχύτητες στην τρίτη του ανέμου ( $\bar{V}^3$ ) και τις μέσες ταχύτητες του ανέμου. Στην περίπτωση μας όμως, όπου διατίθενται οι χρονοσειρές των μέσων ταχυτήτων του ανέμου (όπως αναφέραμε στο υποκεφάλαιο λήψη μετρήσεων και επεξεργασία δεδομένων) και συνεπώς και της ισχύος (προκύπτει από την ταχύτητα του ανέμου στο κύβο επί 0.5, επί την πυκνότητα του αέρα, επί την κάθετη επιφάνεια προς την διεύθυνση του ανέμου), τότε η εξίσωση της **Μεθόδου Πιθανότητας Πυκνότητας (Power Density Method)** ακολουθείται ως εξής:

$$Pd_{ts} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \bar{V}^3 \quad (53)$$

Εν συνεχεία, χρησιμοποιείται ο **Συντελεστής του μοτίβου της Ενέργειας** ( $\bar{V}^3 / (\bar{V})^3 = E_{pf}$ ). Οι παράμετροι Weibull ( $k$  και  $c$ ) μπορούν να ληφθούν ακόμη και χωρίς την παρουσία ολόκληρων των χρονοσειρών της ταχύτητας του ανέμου. Επιπρόσθετα, ο **Συντελεστής του Μοτίβου της Ενέργειας** για τις χρονοσειρές των δεδομένων του ανέμου, μπορεί να υπολογιστούν εύκολα χρησιμοποιώντας τις 54 και 55.

$$\bar{V} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n V_i \quad (54)$$

$$\bar{V}^3 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^n V_i^3 \quad (55)$$

Όπου:  $n$  το πλήθος των τιμών της χρονοσειράς της ταχύτητας του ανέμου.

Η σπουδαιότητα της μεθόδου, όπου και χρησιμοποιείται από το υπόβαθρο του προγράμματος *Observed Wind Climate Wizard του WAsP (OWC)*, είναι ότι η μέθοδος Πιθανότητας Πυκνότητας (Power Density Method):

Καταλήγοντας, όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο για την στατιστική θεωρητική κατανομή Weibull, η παράμετρος ( $k$ ) λαμβάνει τιμές από 1.20 μέχρι 2.75 για τις πλύστες συνθήκες ανέμου παγκοσμίως, σύμφωνα με έρευνες που έγιναν. Εκτενέστερα, η μέθοδος Πιθανότητας Πυκνότητας, εκτιμά τους παραμέτρους ( $k$  και  $c$ ) της Weibull πάρα πολύ καλά σε αυτό διάστημα. Στο παρακάτω θα δούμε αναλυτικά τον τρόπο εξαγωγής των στατιστικών δεδομένων του σταθμού μελέτης, τα οποία είναι σε μορφή *\*tab* και θα τα χρησιμοποιήσουμε στο *WAsP* για εκτίμηση του αιολικού δυναμικού ανά τρίωρο του κάθε μήνα για κάθε χάρτη των περιοχών μελέτης, λαμβάνοντας υπόψη την τραχύτητα του εδάφους και το ανάγλυφο (όπως αναφέραμε σε προηγούμενα υποκεφάλαια: «Χρήσεις γης και Χαρακτηριστικά Περιοχών» και Προετοιμασία Χαρτών για Εισαγωγή τους στο *WAsP*) (Seyit & Dinler, 2009).

Τα βήματα δημιουργίας των στατιστικών δεδομένων του κάθε σταθμού μέσω του *Observed Wind Climate Wizard του WAsP (OWC)* διαφαίνονται στο Παράρτημα 6, καθώς και όλες οι διεργασίες για να παραχθούν τα στατιστικά στοιχεία στην μορφή που πρέπει για να είναι εκμεταλλεύσιμα από το *WAsP*.

### 3.7. Εξαγωγή τελικών Αποτελεσμάτων με την χρήση του προγράμματος *Wasp*

Αφότου, λήφθηκαν υπόψη οι απαραίτητες διαδικασίες, τότε η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού, μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια του λογισμικού ανάπτυξης αιολικού άτλαντα *WAsP* του Εθνικού Εργαστηρίου της Δανίας (Risø).

Το *WAsP* αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για το υπολογισμό των εξής:

1. Ανάλυση και επεξεργασία γεωγραφικών χαρτών μέσω του *WAsP Map Editor*.
2. Δημιουργία των στατιστικών δεδομένων για εισαγωγή τους στο *WAsP* για δημιουργία των αιολικών χαρτών, μέσω του *OWC Wizard*.
3. Εκτίμηση του κλίματος του ανέμου στην περιοχή μελέτης, χρησιμοποιώντας τα στατιστικά δεδομένα και το χάρτη με το ανάγλυφο της περιοχής, διαμέσου του *WAsP*.

4. Εκτίμηση των δυνατοτήτων παραγωγής αιολικής ενέργειας, από ανεμογεννήτριες. Το ολικό ενεργειακό εκμεταλλεύσιμο δυναμικό του ανέμου, υπολογίζεται από το **WAsP**. Επιπρόσθετα, δίδοντας στο πρόγραμμα την καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας που θα χρησιμοποιηθεί, αυτό μπορεί να δώσει μια εκτίμηση της μέσης ετήσιας παραγωγής ενέργειας.

Στην παρούσα φάση της διπλωματικής, όπου θα παρατηρήσουμε το αιολικό δυναμικό στις περιοχές Πόλης Χρυσού και Λεμεσού, εργαστήκαμε με την δημιουργία των γεωγραφικών χαρτών σε μορφή *\*map*, όπως και αναφέραμε προηγουμένως. Ακολούθως δημιουργήσαμε τα στατιστικά δεδομένα και καταλήγοντας εκτιμήσαμε το κλίμα του ανέμου, χρησιμοποιώντας τα στατιστικά δεδομένα και το χάρτη με το ανάγλυφο της περιοχής.

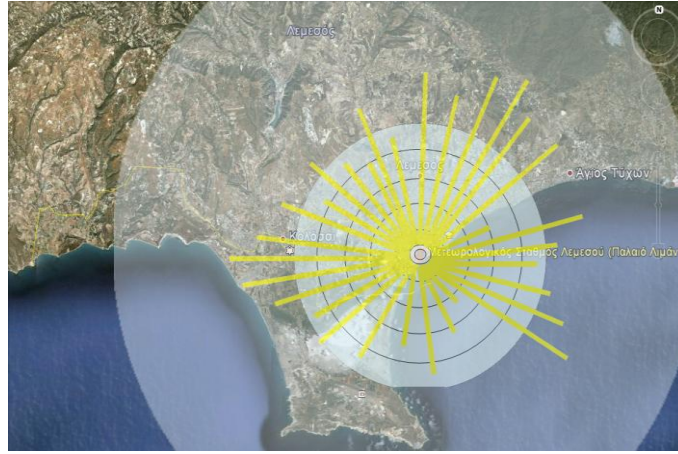
Το λογισμικό **WAsP** για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού χρησιμοποιεί τα στατιστικά δεδομένα των σταθμών, όπως προάχθηκαν από τα ανεμολογικά δεδομένα και την ορογραφία του εδάφους σε ψηφιοποιημένη μορφή *\*map*.

Ακολούθως χρησιμοποιώντας λογαριθμικά προφίλ για το άνεμο «όπως αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο Λογαριθμική Συνάρτηση», τα οποία διορθώνει από τοπογραφικές επιδράσεις και από την τραχύτητα του εδάφους. Από τα μετεωρολογικά δεδομένα εισόδου καθορίζει, ένα ενιαίο άνεμο για την περιοχή εφαρμογής «Γεωστροφικός Άνεμος». Στην συνέχεια επαναπροσδιορίζει το τι φυσάει σε οποιαδήποτε σημείο εντός της περιοχής εφαρμογής, ξανά διορθώνοντας τοπικά για την επίδραση της τοπογραφίας και της τραχύτητας (βλέπε Εικόνα 31).

Εκτενέστερα, στην κορυφή ενός λόφου, ο άνεμος είναι ισχυρότερος από το γύρω έδαφος. Ως εκ τούτου, η κορυφή ενός λόφου μπορεί να είναι χρήσιμη για την τοποθέτηση ανεμογεννητριών.

Για μια απλή περίπτωση κορυφογραμμής – οροσειράς που βρίσκεται κάθετα με τον άνεμο, η αύξηση της ταχύτητας  $\Delta S$  και το ύψος στην περιοχή όπου εμφανίζεται η μέγιστη ταχύτητα  $L$ , μπορούν εύκολα να υπολογιστούν, ως ακολούθως:

$$\Delta S \approx 2 \cdot \frac{h}{L} \quad (56)$$



**Εικόνα 30** Στην παρούσα εικόνα διαφαίνονται οι ρουτίνες που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα *WASP* για το υπολογισμό του αιολικού δυναμικού στην περιοχή Λεμεσού.

$$l \simeq 0.3 \cdot z_0 \cdot \left(\frac{L}{z_0}\right)^{0.67} \quad (57)$$

Εάν το κεντρικό σημείο με ύψος  $H$ , δεν είναι ίσο με το ύψος  $l$ , τότε η αύξηση της ταχύτητας  $\Delta S$  βρίσκεται για το ύψος  $H$ , ως εξής:

$$\Delta S_H = \begin{cases} \Delta S_l & \text{για } H \leq l \\ \Delta S_t \cdot \frac{\ln(H/2L)}{\ln(l/2L)} & \text{για } l < H \leq 2L \\ 0 & \text{για } 2L < H \end{cases} \quad (58)$$

Όπου το  $l$  είναι το πλάτος του λόφου (βλέπε Εικόνα 32). Η τοποθέτηση μιας ανεμογεννήτριας στην κορυφή ενός λόφου, στη συνέχεια λαμβάνεται υπόψη κατά τον προσδιορισμό των παραμέτρων *Weibull* με την αύξηση της παραμέτρου  $c$  «Η αλλιώς όπως συμβολίζεται μερικές φορές σαν  $a$ , η κλιμακωτή – βαθμωτή παράμετρος» για τους τομείς όπου ο άνεμος επιταχύνεται σε ένα λόφο:

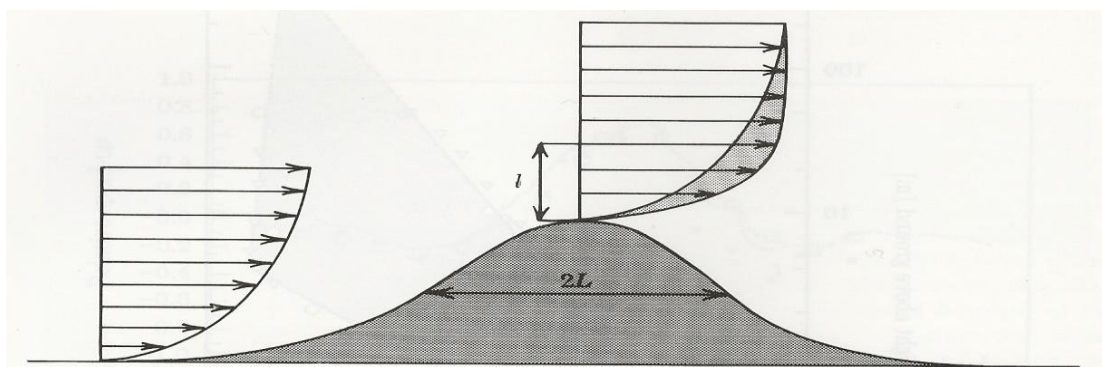
$$A_{cor} = A(1 + \Delta S) \quad (59)$$

Η σχηματική αδιάστατη παράμετρος *Weibull*  $k$  δεν διορθώνεται.

Πρέπει, να σημειωθεί, ότι η διαδικασία αυτή ισχύει μόνο σε τοποθεσίες στην κορυφή μιας απομονωμένης κορυφογραμμής και ότι οι κλίσεις δεν πρέπει να υπερβαίνουν το  $\sim 0.3$ .

Επιπροσθέτως, η αύξηση της ταχύτητας σε ένα ομαλό και μεμονωμένο λόφο, παρατίθενται στις Εικόνες 32, 33 και 34, στις οποίες απεικονίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του ορογραφικού μοντέλου, στο λόφο Blasheval στη Σκωτία. Οι διαταραχές οι οποίες προκλήθηκαν από αυτό το λόφο ήταν το θέμα μιας μελέτης που

περίγραψαν οι Mason και King το 1985 (Troen & Petersen, 1989). Η διαμόρφωση του περιγράμματος του λόφου φαίνεται στην Εικόνα 32 και ένα μοντέλο του ανάγλυφου του λόφου φαίνεται στην Εικόνα 33.

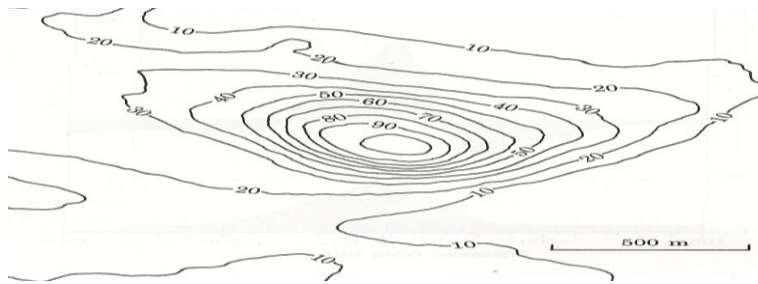


**Εικόνα 31** Στην παρούσα εικόνα φαίνεται η ροή του ανέμου, πάνω από ένα ιδεατό λόφο, με το προφίλ του ανέμου να διαπερνά την ανάντη πλευρά αυτού. Οι δύο αποστάσεις χαρακτηρίζουν την κατά μήκος ροή του ανέμου, όπου:  $L$  είναι το χαρακτηριστικό μήκος του λόφου, που είναι το μισό του πλάτους στην μέση του λόφου, και  $l$  είναι το ύψος όπου εμφανίζεται η μέγιστη ταχύτητα του ανέμου, καθώς το προφίλ του ανέμου διαπερνά το λόφο. Πηγή (Troen & Petersen, 1989).

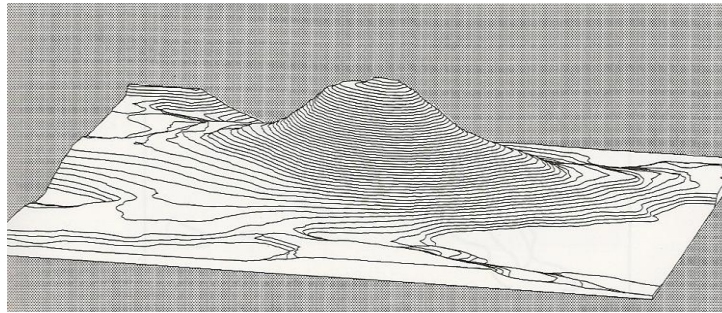
Στην Εικόνα 35, η σχετική ταχύτητα στα 8m πάνω από το έδαφος για ανέμους από την κατεύθυνση  $210^\circ$ , φαίνεται για θέσεις κατά μήκος της γραμμής που διασχίζει την κορυφή. Η γραμμή αυτή φαίνεται στην Εικόνα 34. Η υπερβολική ταχύτητα που προβλέπεται στην κορυφή είναι κοντά στο 70% που επίσης είναι και η παρατηρούμενη τιμή. Ομοίως, είναι δυνατόν να εκτιμηθεί η αύξηση της ταχύτητας χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$\frac{h}{z_0} \left( \ln \frac{h}{z_0} - 1 \right) = 0.9 \cdot \frac{x}{z_0} \quad \text{όπου } z_0 = \max(z_{01}, z_{02}) \quad (60)$$

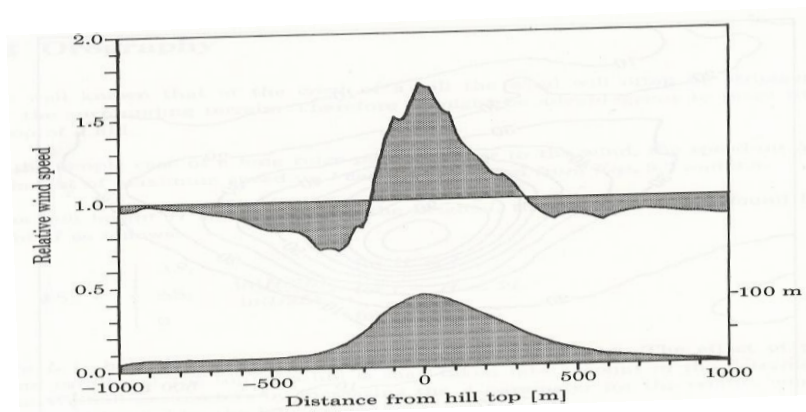
Όπου, η τραχύτητα της επιφάνειας είναι 0.01m και από την εξίσωση 68, μπορεί να υπολογιστεί το ύψος  $l$ , όπου η αύξηση της ταχύτητας είναι μέγιστη, στα 2.5m. Όταν προστίθενται οι τιμές αυτές, η εξίσωση 71, προβλέπει μια επιτάχυνση του 68%. Παρόλα αυτά, η εξίσωση 71, μπορεί να εφαρμοστεί στην περίπτωση ενός μεμονωμένου λόφου, για την εκτίμηση της αύξησης της ταχύτητας του ανέμου στην κορυφή.



Εικόνα 32 Ο χάρτης του περιγράμματος του λόφου Blasheval, της Σκωτίας. Τα ύψη πάνω από το επίπεδο της θάλασσας φαίνονται, με ισοϋψείς ανά 10m. Πηγή (Troen & Petersen, 1989).



Εικόνα 33 Ένα ορογραφικό μοντέλο στο λόφο Blasheval, της Σκωτίας. Ο λόφος φαίνεται από τα νότια. Η κάθετη κλίμακα παρουσιάζεται με ένα συντελεστή 5. Πηγή (Troen & Petersen, 1989).



Εικόνα 34 Τροποποίηση της ταχύτητας του ανέμου κατά μήκος μιας οριζόντιας γραμμής στην κορυφή του λόφου Blasheval. Η γραμμή αυτή φαίνεται στην Εικόνα 64. Ο οριζόντιος άξονας δίνει την απόσταση σε μέτρα από την κορυφή. Ο κάθετος άξονας δίνει τον παράγοντα της σχετικής αύξησης της ταχύτητας του ανέμου και υπολογίζεται στα 8 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Το κάτω σκιασμένο γράφημα δείχνει το ύψος της διατομής του λόφου.

Παρόλα αυτά, όμως, το *WAsP* χρησιμοποιεί ρουτίνες, όπου διορθώνει τα ανεμολογικά δεδομένα που έχουν μετρηθεί σε ένα συγκεκριμένο σημείο και να τα μετατρέψει σε ένα σύνολο που να περιγράφει το ανεμολογικό κλίμα μιας περιοχής «Αιολικό Δυναμικό», τον αποκαλούμενο Αιολικό Άτλαντα. Ωστόσο, επιπρόσθετα, χρησιμοποιεί αυτά τα σύνολα δεδομένων ώστε να εκτιμήσει τις ανεμολογικές συνθήκες σε οποιοδήποτε συγκεκριμένο σημείο και ύψος στην περιοχή, χρησιμοποιώντας κυρίως τις ίδιες ρουτίνες και μοντέλα



(Τριανταφυλλίδης, 2009). Δηλαδή, όπως αναφέραμε προηγουμένως, αφότου το πρόγραμμα λαμβάνοντας τα στατιστικά δεδομένα του σταθμού, υπολογίζει με λογαριθμικά προφίλ το άνεμο σε ένα ενιαίο επίπεδο «Γεωστροφικός Άνεμος». Ακολούθως, με τα ίδια μοντέλα και ρουτίνες λαμβάνει το γίνεται ο άνεμος στο ενιαίο επίπεδο αναφοράς και ακολούθως βάση αυτού, της τραχύτητας του εδάφους και την τοπογραφία – ορογραφία της περιοχής μελέτης, υπολογίζει το άνεμο σε κάθε θέση, της περιοχής έρευνας μας.

Όμως, πρέπει να σημειωθεί, ότι η αξιοπιστία των εξαχθεισών αποτελεσμάτων από την ανάλυση του αιολικού δυναμικού από το πρόγραμμα **WAsP**, είναι ανάλογη της αξιοπιστίας των δεδομένων που χρησιμοποιούνται. Δηλαδή, αν έχουμε έντονη ορογραφία ή μη ελεγμένες μετρήσεις, η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του προγράμματος μειώνεται! Επομένως, τα αποτελέσματα μας δεν θα είναι αντιπροσωπευτικά.

### **3.7.1. Προβλήματα – Περιορισμοί**

Παρόλο που το **WAsP** αποτελεί ένα βασικό εργαλείο για την μελέτη του αιολικού δυναμικού, εντούτοις δίνετε να υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη, τόσο κατά την προετοιμασία των δεδομένων και χαρτών προτού εισαχθούν στο πρόγραμμα, αλλά επίσης και στα εξαχθείσα αποτελέσματα που πρέπει να είναι αποδεκτά (Βελγάκη & Βασιλειάδης, 2005).

Οι περιορισμοί που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι οι εξής:

1. Τα ανεμολογικά δεδομένα, πρέπει να είναι ορθά. Οι μετρήσεις του ανεμογράφου πρέπει να ελεγχτούν, εάν είναι ορθές. Σε περίπτωση που απαιτούν διόρθωση πρέπει να γίνεται με τις μεθόδους της παλινδρόμησης ή της αναγωγής τους από μικρότερες ταχύτητες σε μεγαλύτερες και το αντίθετο, όπως αναφέραμε στο υποκεφάλαιο «Λήψη μετρήσεων και Επεξεργασία Δεδομένων».
2. Την χρονική διάρκεια των μετρήσεων. Μια αναλογία ετήσιων χρονοσειρών, σε ωριαίες καταγραφές της ταχύτητας για πάνω από 5 χρόνια, μπορεί να θεωρηθεί αρκετή, για να εξαχθούν αντιπροσωπευτικά στατιστικά χαρακτηριστικά στην περιοχή μελέτης.
3. Η απόσταση του σημείου του σταθμού από την περιοχή. Το πρόγραμμα **WAsP** υποστηρίζει χάρτες σε μορφή **\*map** με ακτίνα επικάλυψης 5 – 10km (buffer Zone). Στην παρούσα φάση εμείς, λάβαμε υπόψη μας χάρτες

ακτίνας 20km για να μπορέσει σε μελλοντικό στάδιο να καλυφθεί όλο το αιολικό δυναμικού του νησιού, καθώς όπως αναφέραμε η παρούσα διατριβή, αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της όλης μελέτης του αιολικού δυναμικού της Κύπρου.

4. Ορθή τοποθέτηση του ανεμογράφου στον ψηφιακό χάρτη πριν την έναρξη των υπολογισμών από το πρόγραμμα. Οι συντεταγμένες του ανεμογράφου πρέπει να τοποθετούνται ορθά, όπως λήφθηκαν από την μετεωρολογική υπηρεσία. Τυχόν, παράληψη από μέρους μας, ή λανθασμένη τοποθέτηση άλλων συντεταγμένων του σταθμού, εναποθέτει λανθασμένους υπολογισμούς και συνεπώς αποτελέσματα.
5. Πρέπει να ληφθεί υπόψη η σωστή εκτίμηση των χαρακτηριστικών του εδάφους και συνεπώς της τραχύτητας αυτού.
6. Το ανάγλυφο του εδάφους της περιοχής μελέτης, στην οποία γίνονται οι υπολογισμοί. Νοείται, ότι όσο πιο έντονη είναι η μορφολογία του εδάφους της περιοχής μελέτης, τότε το ποσοστό σφάλματος είναι μεγαλύτερο.

Στο παράρτημα 7 παρατίθενται τα βήματα εξαγωγής των χαρτών του αιολικού δυναμικού για τις περιοχές μελέτης.

### **3.8. Οπτικοποίηση των Χαρτών του Αιολικού Δυναμικού των Περιοχών Μελέτης**

Αφότου έγιναν τα τρεξίματα στο πρόγραμμα *WAsP* και αποθηκεύσαμε την επιφάνεια εργασίας *Workspace*, ακολούθως πρέπει να γίνει ενοποίηση των χαρτών – αποτελεσμάτων που εξάχθηκαν από το πρόγραμμα *WAsP* και οπτικοποίηση.

Αρχικά , για τους χάρτες των μέσων ταχυτήτων και τους χάρτες της ισχύς , έπρεπε τα δεδομένα από το πρόγραμμα *WAsP* να εξέλθουν *export* σε μορφή *Surfer grid*. Η μορφή *Surfer grid* αποτελεί την μονή μορφή ψηφιδωτού αρχείου που αναγνωρίζει το πρόγραμμα *WAsP*. Χρησιμοποιώντας το *surfer grid*, δύναται να εξέλθουν σε επόμενο στάδιο, ένα ψηφιδωτό αρχείο «*raster*» με όλη την πληροφορία που απαιτείται.

Στη συνέχεια ακολουθείτε, εισαγωγή του *Surfer grid* στο πρόγραμμα *ERDAS Imagine* για μπορέσουμε να το κάνουμε εξαγωγή «*export*» σε μορφή *ESRI Grid*, που είναι μορφή στην οποία αναγνωρίζεται από το πρόγραμμα *ArcMap*, δηλαδή με άλλα λόγια μορφή *raster*.

Έπειτα, το *raster* αρχείο «*ESRI Grid*» το εισάγουμε στο πρόγραμμα *ArcMap*, εφαρμόζοντας μάσκα «*masking*» στην περιοχή ενδιαφέροντος. Με άλλα λόγια αφαιρούμε τις περιττές πληροφορίες και κρατάμε τις τιμές (για τους χάρτες της μέσης ταχύτητας και για τους χάρτες της ισχύς) που μας ενδιαφέρουν στην περιοχή που μελετάμε (Λεμεσός ή Πόλης Χρυσοχού). Δηλαδή, αφαιρούμαι τις τιμές της θάλασσας και αφήνουμε μόνο τις τιμές από την ακτογραμμή και μέσα, στο πεδίο της περιοχής μελέτης .

Τέλος, κάνουμε οπτικοποίηση τους χάρτες στους οποίους εφαρμόσαμε μάσκα με εστίαση στη περιοχή ενδιαφέροντος, παίρνοντας έτσι οι χάρτες την τελικοί τους μορφή με όλα τα απαραίτητα αποτελέσματα και στοιχειά που χρειάζεται.

Στην παρούσα, διπλωματική λόγω έλλειψης χρόνου, αλλά και διάφορων προβλημάτων που προέκυψαν κατά τους υπολογισμούς από το πρόγραμμα αλλά και την δημιουργία των χαρτών σε μορφή *\*map* για εισαγωγή τους στο *WAsP*, η μάσκα των χαρτών μέσω του *ArcMap* και η οπτικοποίηση των χαρτών μέσω του *ArcGIS*, δεν έγινε. Παρόλα, αυτά παρατίθεται στο επόμενο υποκεφάλαιο η όλη η διαδικασία, καθώς, κάναμε δημιουργήσαμε ένα αιολικό χάρτη για κάθε σταθμό μελέτης για ένα συγκεκριμένο τρίωρο κάποιου μήνα.

## **4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

### **4.1. Εισαγωγή**

Στο παρόν κεφάλαιο, δύναται να περιγραφεί ο τρόπος με τον οποίο η μεθοδολογία και οι πειραματικές διεργασίες, εφαρμόστηκαν. Τα αποτελέσματα αυτά στη συνέχεια παρουσιάζονται και αναλύονται με τη σύγκριση τους με προηγούμενες και παρόμοιες μελέτες, στην Κύπρο και διεθνή χώρο. Τέλος, η ακρίβεια και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων αυτών αξιολογείται από τον εντοπισμό τυχόν περιορισμών.

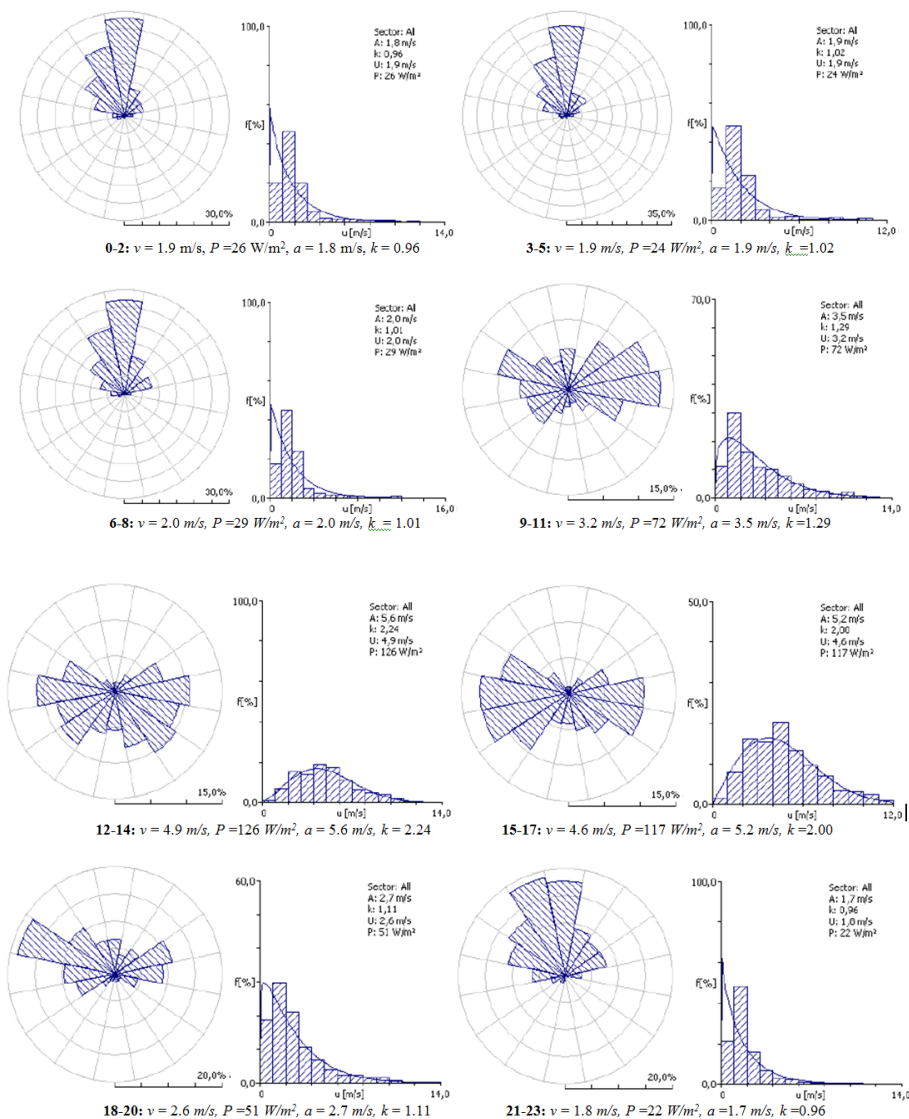
### **4.2. Στατιστικά αποτελέσματα Λεμεσού**

Όσο, αφορά την στατιστική περιγραφή των σταθμών, αυτό που παρατηρούμε είναι ότι, στην περιοχή της Λεμεσού έχουμε ανέμους που κατανέμονται ως ακολούθως, σε όλους του μήνες, που αυτό το καθιστά αρκετά εντυπωσιακό (βλέπε Παράρτημα 8).

Το βράδυ, ο άνεμος έρχεται από Βόρειες διευθύνσεις, ενώ τις πρώτες πρωινές ώρες επικρατεί μια σταδιακή στροφή του ανέμου προς Νότιες διευθύνσεις, με επικρατούσες κυρίως τις Νοτιοδυτικές διευθύνσεις, δηλαδή από την περιοχή της θάλασσας, με ταυτόχρονη ανύψωση του ανέμου. Ενδεικτικές ταχύτητες για τις βραδινές ώρες, είναι ταχύτητες κάτω των 2m/s, ενώ κατά την διάρκεια των ωρών της ημέρας «Απόγευμα», οι ταχύτητες αυτές, φτάνουν στο σταθμό Λεμεσού και στα 5m/s ή και λίγο περισσότερο. Η συγκεκριμένη εικόνα, είναι συμβατή με την ροή του ανέμου από την ξηρά προς την θάλασσα και την ανάπτυξη τοπικών προβλημάτων, κυρίως αυρών, οι οποίες κατά την διάρκεια της νύχτας έχουν πολύ ασθενέστερη ένταση ταχύτητας και διευθύνσεις από την ξηρά «Borrá» προς την θάλασσα «Nóto» και νοούνται σαν απόγειες αύρες, που αποτελεί ένα ασθενικό φαινόμενο χαμηλών εντάσεων. Παρόλα αυτά, όμως, κατά την διάρκεια της μέρας, έχουν ανυψωθεί οι ταχύτητες, στην μέγιστη τους τιμή, αφού η ροή του ανέμου έρχεται από την θάλασσα «Nóto» προς την ξηρά «Borrá». Η αύρα, σε αυτή την περίπτωση, νοείται ως η γνωστή θαλάσσια αύρα.

Η συγκεκριμένη πληροφορία είναι πολύ χρήσιμη, διότι από την μια οδηγεί σε συμπέρασμα ότι το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό κατά την διάρκεια της νύχτας είναι ενδεχομένως μικρό. Υπάρχει όμως, σημαντικό αιολικό δυναμικό κατά την διάρκεια της μέρας, όπου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ή να γίνει εκμετάλλευση του σε σχεδιασμό, όσο αφορά την ευρύτερη περιοχή (βλέπε Παράρτημα 8).

Δηλαδή, σε γενικές γραμμές, είναι εμφανές ότι στην Λεμεσό ο άνεμος όταν αρχίζει να ξημερώσει, γυρνάει ο άνεμος, ενισχύει την ένταση του, αρχίζει να έρχεται από το Νότο, δηλαδή την θάλασσα και είναι πιο μεγάλος. Εκτενέστερα, στην Λεμεσό φυσάει την μέρα! Και φυσάει σε γενικές γραμμές την μέρα γύρω στα 5m/s από την θάλασσα προς την ξηρά και την νύχτα φυσάει 2m/s από την ξηρά προς την θάλασσα (βλέπε Εικόνα 36).



**Εικόνα 35** Στην παρούσα εικόνα παρατηρούμε της εναλλαγές της διευθύνσεις του ανέμου, καθώς και την κατανομή των ταχυτήτων με την θεωρητική κατανομή *Weibull* για το σταθμό της Λεμεσού για το μήνα Φεβρουάριο. Διαφάνεται ότι στην Λεμεσό φυσάει τις ώρες τις μέρας. Να τονίσουμε ότι διπλασιασμός της ταχύτητας, εναποθέτει οκταπλασιασμό της ισχύς.

Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα των ταχυτήτων των χρονοσειρών, για τον σταθμό της Λεμεσού υπολογίστηκε η ισχύς για κάθε τρίωρο του μήνα (βλέπε Παράρτημα 8). Και έτσι βλέπουμε στο σταθμό ισχύς που μπορούν να φτάσουν εύκολα σε μεγάλες τιμές,

καθώς τα βράδια είναι ανεκμετάλλευτες, εντούτοις, στην διάρκεια της μέρας μπορούν να φτάσουν εύκολα τα  $100W/m^2$  έως και τα  $200W/m^2$ . Δεν διαφαίνονται στην παρούσα φάση, αλλά εύκολα μπορεί να λάβουμε  $100W/m^2 - 150W/m^2$ , το οποίο δεν είναι εκμεταλλεύσιμο βεβαίως στην περιοχή του κέντρου της Λεμεσού, αλλά σίγουρα σε γειτονικά υψώματα, που θα αναλύσουμε μετέπειτα από τους χάρτες του αιολικού δυναμικού, στα οποία λόγω τοπογραφικών φαινομένων ενισχύεται ο άνεμος, θα μπορούσαμε να περιμένουμε διπλασιασμό της ταχύτητας του ανέμου. Δηλαδή, από  $5m/s$  σε  $10m/s$ , εύκολα και επειδή η ισχύς εξαρτάται από το κύβο της ταχύτητας  $V^3$ , άρα αναμένουμε **οκταπλασιασμό της ισχύος**. Δηλαδή, συνεπάγεται, ότι, τα  $100W/m^2 - 200W/m^2$ , εύκολα θα μπορούν να γίνουν  $800W/m^2 - 1000W/m^2$ , τα οποία είναι εκμεταλλεύσιμα και μπορούν να αποδώσουν ένα σεβαστό ποσοστό ενέργειας για το νησί. Όμως, από ότι αναφέραμε αυτό το φαινόμενο εμφανίζεται την μέρα και όχι την νύχτα!

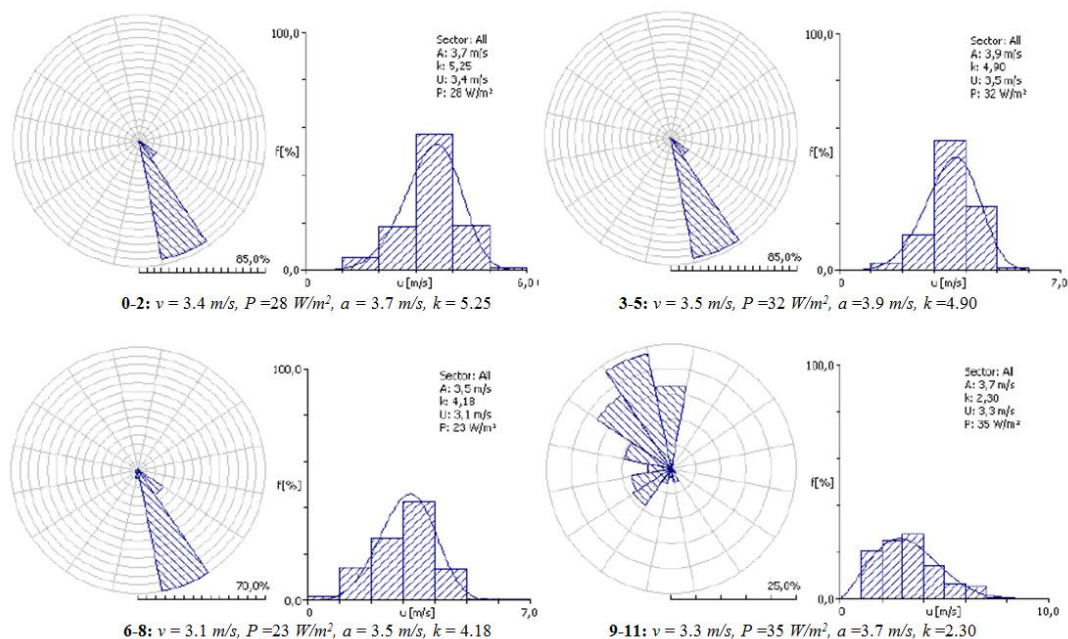
#### 4.3. Στατιστικά αποτελέσματα Πόλης Χρυσοχού

Στην Πόλη Χρυσοχού, τα πράγματα ως προς την διεύθυνση του ανέμου είναι πολύ πιο σαφή. Βεβαίως, ακολουθούν περίπου ένα παρόμοιο μοτίβο. Πάλιν, κατά την διάρκεια της νύχτας, οι άνεμοι (βλέπε Παράρτημα 8) είναι από νότιες διευθύνσεις, δηλαδή από την ξηρά στην θάλασσα, πολύ πιο εντοπισμένα μάλιστα. Την διάρκεια της μέρας, όμως, παρατηρούμε, ότι γυρνάει ο άνεμος, γίνονται Βόρειες διευθύνσεις, από την θάλασσα «Θαλάσσιες Αύρες» προς την ξηρά, ανάποδα από την Λεμεσό. Ο λόγος αυτού, είναι ότι η Πόλη Χρυσοχού έχει άλλη γεωγραφία, καθώς επίσης, η θάλασσα βρίσκεται από πάνω, δηλαδή Βόρεια.

Επίσης, στις μεταβατικές ώρες, δηλαδή όταν αρχίζει και απογευματιάζει βλέπουμε ότι, δεν είναι πια και τόσο σαφές (βλέπε Παράρτημα 8). Ενώ, όταν ξημερώνει, μπαίνουν και οι άλλες ταχύτητες στο παρασκήνιο του ανέμου. Παρόμοια, διαδικασία, γίνεται σε όλους τους μήνες κατά τις ώρες τις μέρας (βλέπε Εικόνα 37).

Παρόλα, αυτά οφείλουμε να ομολογήσουμε, όμως, ότι στην Πόλη Χρυσοχού, ενώ είναι πολύ σαφές η εικόνα της αλλαγής της διεύθυνσης που συνάδει με ροή του ανέμου που έρχεται από την ξηρά «Νότο» προς την θάλασσα «Βορρά» το βράδυ. Από την άλλη, την μέρα που ο άνεμος ρέει από την θάλασσα «Βορρά» προς την ξηρά «Νότο», δεν παρατηρούμε, μια αντίστοιχη ανομοιομορφία του ανέμου όπως στην Λεμεσό. Ενώ στην Λεμεσό, έχουμε κυρίως  $2m/s$ , με περίπου έως και  $5m/s$  μέση ταχύτητα, στην Πόλη Χρυσοχού φυσάει, λίγο πολύ

ομοιόμορφα. Βεβαίως, πάντα με μία αύξηση των ταχυτήτων τις μεσημβρινές ώρες. Εντούτοις, όμως, δίνει μεγάλες ταχύτητες και τις βραδινές ώρες.



**Εικόνα 36** Στην παρούσα εικόνα διαφαίνονται τα ροδογράμματα και τα ιστογράμματα των κατανομών Weibull, για τον μήνα Σεπτέμβριο, όπου διαφαίνεται ότι τις πρωινές ώρες ο άνεμος έρχεται από την θάλασσα προς την ξηρά δηλαδή από το Βορρά προς το Νότο «Θαλάσσια Αύρα». Ενώ, κατά το τέταρτο τρίωρο, ο άνεμος στρέφεται προς Νότιες διευθύνσεις «Απόγειος Αύρα».

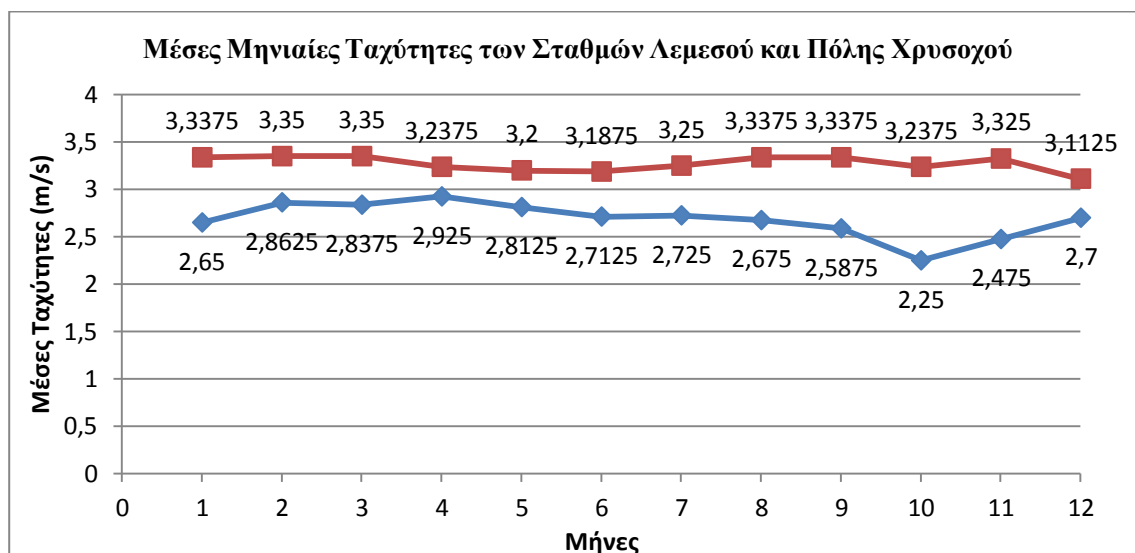
Αυτό οφείλεται, ενδεχομένως στην συγκεκριμένη περιοχή, εξαιτίας της τοπογραφίας της Πόλης Χρυσοχού, η οποία έχει διάφορα ορεινά συστήματα, βουνά από πίσω της, και μετά αμέσως την θάλασσα. Ενδέχεται, εκεί να προκύπτουν καταβατικοί άνεμοι πάνω από τα βουνά, δηλαδή έχουμε ενίσχυση της απόγειας αύρας, με αύρα κοιλάδος «Valley Effects» ή ενδεχόμενο καναλισμό «Tunnels Effects» και γι' αυτό εμφανίζεται ακόμα και νυχτερινή ροή, σχετικά μεγάλη.

Το γεγονός αυτό, ενισχύει την δυνατότητα πιθανώς και το βράδυ, στην ευρύτερη περιοχή γύρω από το σταθμό, στην περιοχή μελέτης, να βρούμε περιοχές που και το βράδυ να υπάρχει εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό. Να αναφέρουμε και πάλι ενδεικτικά, ότι απλός διπλασιασμός της ταχύτητας του ανέμου, μπορεί να οδηγήσει σε οκταπλασιασμό, της διαθέσιμης ισχύος!

#### 4.4. Μηνιαίες Διακυμάνσεις της Μέσης Ταχύτητας και της Ισχύς του Ανέμου

Από την άλλη παρατηρώντας τις μηνιαίες διακυμάνσεις της ταχύτητας στον μετεωρολογικό σταθμό της Λεμεσού, οφείλουμε να ομολογήσουμε ότι παρατηρούμε μέσες μηνιαίες ταχύτητες γύρω στα 2,65 έως 2,8 m/s. Ενώ, στο σταθμό της Πόλης Χρυσοχού παρατηρούμε μια διακύμανση από 3,2 έως 3,35m/s.

Το γεγονός αυτό δεν μπορεί να δείξει και τόσα πολλά, όσο αφορά στις διακυμάνσεις της ταχύτητας του ανέμου στους σταθμούς και τα μεμονωμένα φαινόμενα πνοής του ανέμου ή άπνοιας. Το φαινόμενο αυτό καθιστά με βάση τα γραφήματα (βλέπε Εικόνα 38) το μετεωρολογικό σταθμό της Πόλης Χρυσοχού, να δεικνύει μεγαλύτερες μέσες μηνιαίες ταχύτητες, από ότι ο σταθμός της Λεμεσού.



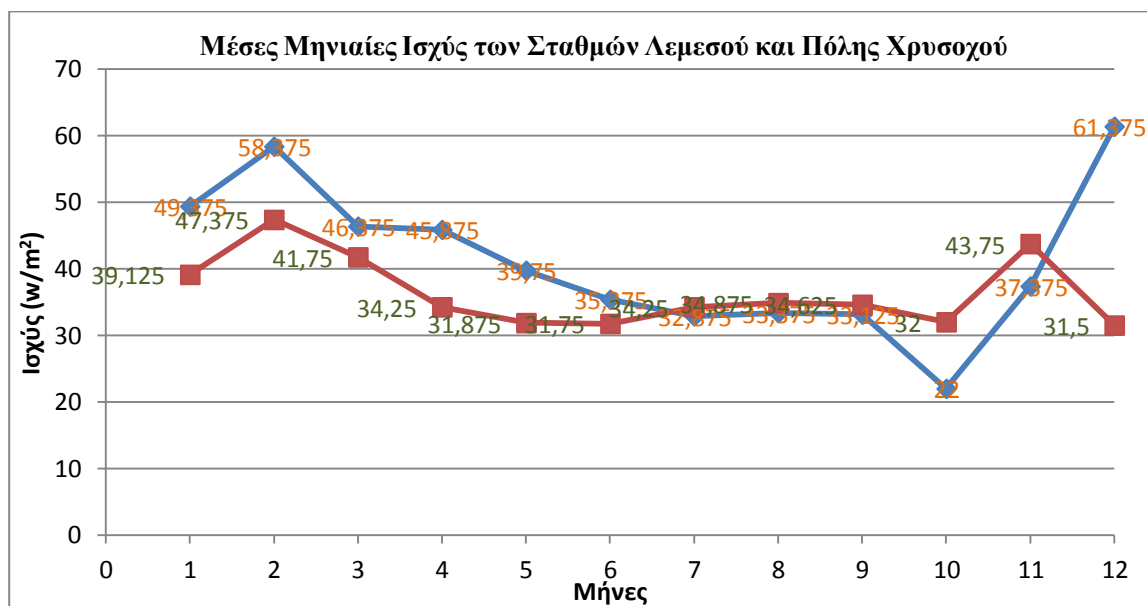
**Εικόνα 37** Στην παρούσα εικόνα διαφαίνονται με κόκκινο χρώμα οι μέσες μηνιαίες διακυμάνσεις των ταχυτήτων στο σταθμό της Πόλης Χρυσοχού και με μπλε χρώμα οι μέσες μηνιαίες τιμές της ταχύτητας για τον σταθμό της Λεμεσού.

Επίσης, στο σταθμό της Λεμεσού, παρατηρούμε ότι οι μέσες μηνιαίες διακυμάνσεις της ισχύος κυμαίνονται από 32,875 έως 61,375 W/m<sup>2</sup>. Οι μήνες που εμφανίζουν τις μέγιστες μέσες μηνιαίες τιμές της ισχύος, είναι κυρίως οι μήνες Γενάρης, Φεβρουάριος, Μάρτιος και Δεκέμβριος. Ο Δεκέμβρης εμφανίζει μια μέγιστη τιμή της ισχύς στα 61,375 (βλέπε Εικόνα 39).

Από την άλλη στο σταθμό της Πόλης Χρυσοχού, παρατηρούμε λίγο πολύ, μια ομοιόμορφη κατανομή της μηνιαίας ισχύς από 34,25 W/m<sup>2</sup> μέχρι τα 47,375 W/m<sup>2</sup>. Οι μήνες



που εμφανίζουν τις μέγιστες μηνιαίες τιμές της ταχύτητας είναι οι μήνες Φεβρουάριος, Μάρτιος και Νοέμβριος. Με το Φεβρουάριο να αποτελεί το σημαντικότερο μήνα.



**Εικόνα 38** Στην εικόνα του σχήματος παρατίθενται οι μηνιαίες διακυμάνσεις της ισχύος. Με κόκκινο χρώμα φαίνονται οι τιμές για το σταθμό της Πόλης Χρυσοχού, ενώ με μπλε χρώμα της Λεμεσού.

Έτσι, από τις παρατηρήσεις των μηνιαίων διακυμάνσεων των ταχυτήτων και της ισχύος, είναι εμφανές ότι ο σταθμός της Λεμεσού παρόλο που οι μέσες τιμές των μηνιαίων ταχυτήτων είναι λίγο μικρότερες από την Πόλη Χρυσοχού, εντούτοις οι μηνιαίες ισχύς που υπολογίστηκαν, είναι μεγαλύτερες κατά τους μήνες από το Γενάρη μέχρι το Μάρτη και το Δεκέμβριο, εν σχέση με τις τιμές της ισχύς στο σταθμό της Πόλης Χρυσοχού.

Η εξήγηση του φαινομενικού παράδοξου είναι ότι οι μέσες μηνιαίες διακυμάνσεις της ταχύτητας του ανέμου στο σταθμό της Λεμεσού και της πόλης Χρυσοχού, δεν μπορούν να μας δώσουν μία πλήρη εικόνα, όσο αφορά την κατανομή των ταχυτήτων και τις συμπεριφορές των ταχυτήτων ανά ώρα, και επίσης οι μηνιαίες μέσες τιμές έχουν παρθεί από το μέσο όρο των τιμών των τριώρων του κάθε μήνα. Δηλαδή, για παράδειγμα στο πρώτο τρίωρο για το μήνα Γενάρη, παρατηρούμε ότι ο άνεμος δίδει μια ταχύτητα 3,6m/s για το σταθμό της Πόλης, ενώ κατά το μεσημέρι μας βγάζει πάλι γύρω στα 3.2m/s. Λαμβάνοντας υπόψη το μέσο όρο των τιμών αυτών, διαφαίνεται ότι η Πόλης Χρυσοχού έχει μια ομοιόμορφη κατανομή των ταχυτήτων και αυτό το παρατηρήσαμε από τα προηγούμενα στατιστικά στοιχεία (βλέπε Παράρτημα 8).

Από την άλλη, από τα στατιστικά στοιχεία των ταχυτήτων για το σταθμό της Λεμεσού, παρατηρήσαμε ότι κυρίως οι μέγιστες τιμές λαμβάνονται τις ώρες της μέρας. Οπότε, λαμβάνοντας υπόψη τον μέσο όρο των τριώρων του κάθε μήνα, υπολογίζονται οι μηνιαίες διακυμάνσεις. Εντούτοις, όμως, δεν μπορούμε να διακρίνουμε τις ωριαίες διακυμάνσεις της ταχύτητας σε αυτές.

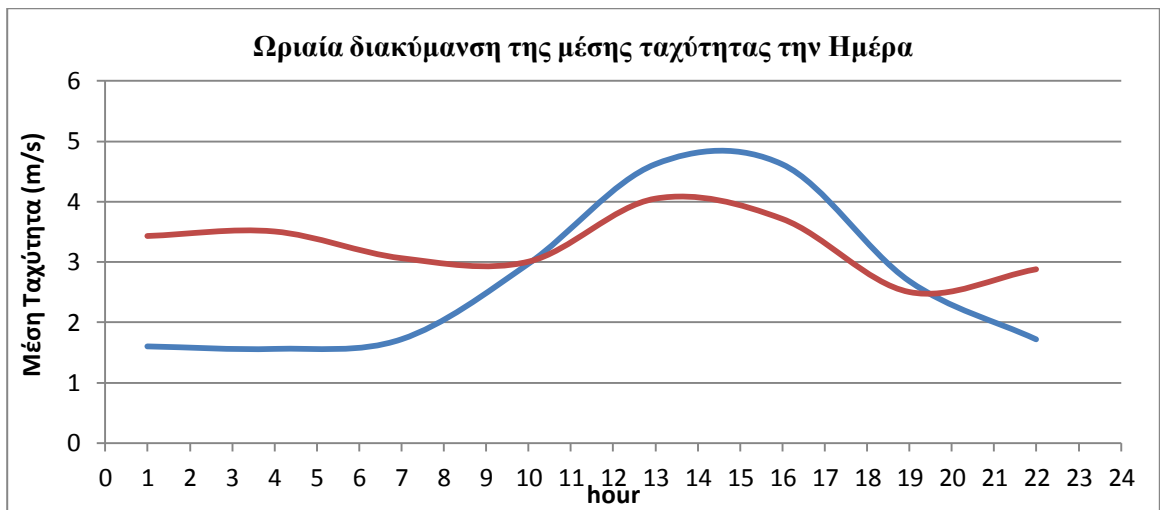
Δηλαδή, αν για παράδειγμα, τις ώρες της μέρας έχουμε μια ταχύτητα 5m/s, ενώ κατά τις πρωινές ώρες, η ταχύτητα στο σταθμό είναι 2m/s που είναι χαμηλή, τότε λαμβάνοντας υπόψη το μέσο όρο για να υπολογίσουμε τις μέσες μηνιαίες ταχύτητες, παρατηρούμε ότι η μέση μηνιαία ταχύτητα είναι στα 2,5m/s. Αυτό οφείλεται, στο ότι κατά την διάρκεια των ωρών της μέρας στο σταθμό της Λεμεσού, η ταχύτητα φτάνει και στα 5m/s, όσο αφορά τα στατιστικά στοιχεία που αναφέρθηκαν προηγουμένως, ενώ τις υπόλοιπες ώρες ο άνεμος εμφανίζει μια πιο ασθενέστερη μορφή. Γι' αυτό το λόγο λαμβάνοντας υπόψη τις μηνιαίες διακυμάνσεις δεν μπορούμε να χαρακτηρίσουμε σωστά το τι γίνεσθαι! Καθώς, επίσης, δεν διαφαίνονται οι εναλλαγές της ροής του ανέμου και της ταχύτητας.

Έτσι για μια πιο ξεκάθαρη ένδειξη της συμπεριφοράς του ανέμου, στις περιοχές μελέτης, των σταθμών της Λεμεσού και της Πόλης Χρυσοχού, θα ήταν καλύτερα να εξεταστούν και οι ωριαίες διακυμάνσεις της ταχύτητας του ανέμου στο έτος.

#### **4.5. Ωριαία Κατανομή της Μέσης Ταχύτητας την Ημέρα**

Στο παρακάτω διάγραμμα (βλέπε Εικόνα 40), παρατηρούμε την κατανομή και εξέλιξη της μέσης ωριαίας ταχύτητας σε κάθε σταθμό κατά την διάρκεια του 24ώρου. Είναι εμφανές, ότι η διακύμανση της ταχύτητας σε ωριαία βάση είναι πολύ μεγαλύτερη στο σταθμό της Λεμεσού, που εμφανίζει πολύ μικρές ταχύτητες της τάξης του 1,5m/s κατά τις βραδινές ώρες και κορυφώνεται με ταχύτητες γύρω στα 5m/s, ή και περισσότερο κατά τις μεσημεριανές ώρες.

Αντίθετα, στην περιοχή της Πόλης Χρυσοχού η ταχύτητα παρουσιάζει μια πολύ ομοιόμορφη κατανομή, με μια περίπου σταθερή τιμή. Παρουσιάζει πολύ μικρότερο εύρος ημερήσιας διακύμανσης και σχεδόν σταθερή συμπεριφορά γύρω στα 3,5 – 4m/s. Αυτή η διαφορετική συμπεριφορά, που προφανώς οδηγεί σε περίπου ίδιες μέσες τιμές, ή ακόμα και λίγο μικρότερες μέσες τιμές στην συνολική ταχύτητα για το σταθμό της Λεμεσού, παρουσιάζει όμως πολύ μεγαλύτερη διακύμανση της ταχύτητας, μεταξύ μικρών και μεγάλων τιμών, για την περιοχή της Λεμεσού, που αυτό δικαιολογεί τις μεγαλύτερες τιμές της ισχύος.



**Εικόνα 39** Στην παρούσα εικόνα διαφαίνονται οι διακυμάνσεις της μέσης ταχύτητας την ημέρα. Παρατηρούμε ότι ο σταθμός της Πόλης Χρυσόχου εμφανίζει μια πιο ομοιόμορφη μαζεμένη κατανομή, με πιο μικρή μέση ταχύτητα. Ενώ, ο σταθμός της Λεμεσού παρουσιάζει μια κατανομή μεγαλύτερου εύρους με μεγαλύτερη μέση τιμή. Η μεγαλύτερη διακύμανση, άπλωμα της ωριαίας κατανομής την μέρα στην Λεμεσό, είναι αυτό που αιτιολογεί το γεγονός εμφάνισης ψηλότερων τιμών της ισχύος.

Να μην ξεχνάμε ότι η ισχύς, εξαρτάται από το κύβο της ταχύτητας και έτσι ακόμα και μικρό χρονικό διάστημα, παρατηρούμε τις μεγαλύτερες ταχύτητες που εμφανίζονται στο σταθμό της Λεμεσού, να εκτοξεύουν την υπολογιζόμενη διαθέσιμη ισχύ του ανέμου, σε μεγαλύτερες συνολικά τιμές, από ότι στο σταθμό της Πόλης Χρυσόχου.

Η έντονη ημερήσια διακύμανση στο σταθμό της Λεμεσού δικαιολογείται κυρίως, εξαιτίας της επίδρασης από θαλάσσια αύρα. Είναι σαφές ότι ακολουθεί το μοτίβο της πτώσης του ανέμου κατά την διάρκεια της νύχτας και της αύξησης της ταχύτητας του ανέμου κατά την διάρκεια της μέρας και αυτό ενισχύεται και από τα στατιστικά στοιχεία που εμφανίζονται στο Παράρτημα 8 (βλέπε Παράρτημα 8).

Παρατηρούμε, ότι σε όλους τους μήνες κατά την διάρκεια της νύχτας πνέει από Βόρειες διευθύνσεις στην Λεμεσό, δηλαδή από την ξηρά προς την θάλασσα, ενώ κατά τις πρώτες πρωινές ώρες στρίβει και έρχεται από νότιες, νοτιοδυτικές διευθύνσεις, δηλαδή από την πλευρά της θάλασσας.

Στην Πόλη Χρυσόχου, επίσης τηρείται το μοτίβο της αντιστροφής της διεύθυνσης, το οποίο υποδεικνύει και εκεί την επίδραση από θαλάσσια αύρα, η οποία ωστόσο εμφανίζεται ασθενέστερη, είτε λόγω επίδρασης από την τοπική τοπογραφία ή λόγω μικρότερης διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ ξηράς και θάλασσας. Ας μην ξεχνάμε ότι στα Βόρεια μέρη της

Κύπρου, γενικά, οι θερμοκρασίες είναι λίγο μικρότερες κατά την διάρκεια της μέρας. Επίσης, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που θα μπορούσαν να εξασθενίσουν την αύρα, γι' αυτό και δεν φτάνει σε τόσο υψηλές τιμές. Παράλληλα, όμως, παρατηρούμε ενισχυμένες τιμές ανέμου και την περίοδο της νύχτας, που μπορούμε να υποθέσουμε ότι οφείλονται σε φαινόμενο απογείου αύρας, η οποία ενισχύεται από τοπογραφικά χαρακτηριστικά, ενδεχομένως καναλισμούς και γι' αυτό εμφανίζει σχετικά μεγάλες τιμές.

Στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής δεν μπορούμε να πούμε γιατί η θαλάσσια αύρα εμφανίζει στην περιοχή μεγαλύτερες ταχύτητες και συνεπώς μεγάλες τιμές της ισχύος. Ενδεχομένως, η τραχύτητα του εδάφους να είναι τέτοια ώστε να βρίσκει μεγαλύτερη δίοδο η θαλάσσια αύρα στην περιοχή, επίσης η θάλασσα είναι πιο εκτενής στην Λεμεσό, εμφανίζονται πιο φαρδιοί κόλποι, μεγάλη ξηρά, δεν υπάρχουν στενοί κόλποι ή βουνά μπροστά την ακτογραμμή ή περίεργη τοπογραφία. Επιπρόσθετα, η Λεμεσός είναι αστικοποιημένη κοντά προς την ακτή, που αυτό το φαινόμενο ενισχύει την διαφορά θερμοκρασίας ξηράς – θάλασσας και ενδεχομένως, να μπορεί να αναπτυχθεί μεγαλύτερη θαλάσσια αύρα. Επιπλέον, επειδή συνήθως οι επικρατέστεροι άνεμοι στην Κύπρο είναι Νοτίων διευθύνσεων, πιθανόν το γεγονός αυτό να συμβάλει στην αύξηση του φαινομένου στην Λεμεσό, σε αντίθεση με την Πόλη Χρυσοχού, που δεν είναι τόσο ενισχυμένος ο άνεμος.

Στην Πόλη Χρυσοχού, όμως υπάρχει κάτι πιο σημαντικό. Υπάρχει απόγειος αύρα που φτάνει τα 3,5m/s. Καθώς, το σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι το βράδυ φυσάει. Ενώ στην Λεμεσό το βράδυ δεν φυσάει, λόγω του ότι η απόγειος αύρα είναι ασθενής της τάξης του 1 – 1,5m/s. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι η Πόλη Χρυσοχού, παρουσιάζει ένα ανάγλυφο κοιλάδας και γύρω – γύρω βουνά που κατηφορίζουν προς το μέρος της θάλασσας και ενδεχομένως να συμβαίνουν φαινόμενα καναλισμού και καταβατικών ανέμων από τα γύρω βουνά. Όλα αυτά ενισχύουν το φαινόμενο, γι' αυτό και εμφανίζονται και μεγαλύτερες τιμές της ταχύτητας του ανέμου και το βράδυ, από ότι στην Λεμεσό. Παρόλα αυτά η μέγιστες τιμές δεν είναι και τόσο μεγάλες, δηλαδή στα 5m/s, όπως τις μεσημεριανές ώρες στην Λεμεσό, αλλά είναι μεγαλύτερη από ότι τις βραδινές παρατηρήσεις της Λεμεσού που κυμαίνονται στα 1,7 – 3,5m/s, ώστε να ανεβάζεται η τιμή της ισχύς περισσότερο (βλέπε Παράρτημα 8).

Έτσι, από την όλη εικόνα των σταθμών και των στατιστικών τους χαρακτηριστικών, στην Λεμεσό κατά την ώρα του 24ώρου, αναμένουμε ότι την ενέργεια θα την λάβουμε τις μεσημεριανές ώρες. Άρα θα μπορούσε ενδεχομένως στην Λεμεσό να υπάρξουν περιοχές με πολύ σημαντικό αιολικό δυναμικό, για να μπορούν στο μέλλον να τοποθετηθούν

ανεμογεννήτριες, λαμβάνοντας την ενέργεια που προέρχεται τις μεσημεριανές ώρες ή ακόμα να παράγουν οι ανεμογεννήτριες ενέργεια επί 24ώρου βάσεως.

Στην Πόλη Χρυσοχού, εντούτοις, λόγω του ότι η ισχύς είναι μικρότερες και η εικόνα του ανέμου είναι διαφορετική. Δεν θα περιμέναμε να εμφανιστεί μεγάλη ισχύς στην περιοχή γύρω του σταθμού. Αλλά, ενδεχομένως, πιθανόν να μπορούσαν να βρεθούν ανεμογεννήτριες, που να δουλεύουν όχι σε μεγάλες ταχύτητες, αλλά να δουλεύουν σταθερά στα 2 – 4m/s, μικρές κυρίως για οικιακή χρήση. Παρόλα αυτά, όμως, ενδέχεται στα ψηλά υψώματα να υπάρχουν περιοχές για ανάπτυξη αιολικών πάρκων στο μέλλον. Αλλά το πιο πιθανόν στην Πόλη Χρυσοχού, υπάρχει πιο συνεχή παροχή ισχύος, σίγουρα με μικρότερη πυκνότητα, με πιο χαμηλές τιμές ισχύος, δηλαδή, εκτενέστερα, σε ανεμογεννήτριες μικρού τύπου.

#### **4.6. Ανάλυση Αποτελεσμάτων του Αιολικού Δυναμικού για τις περιοχές μελέτης**

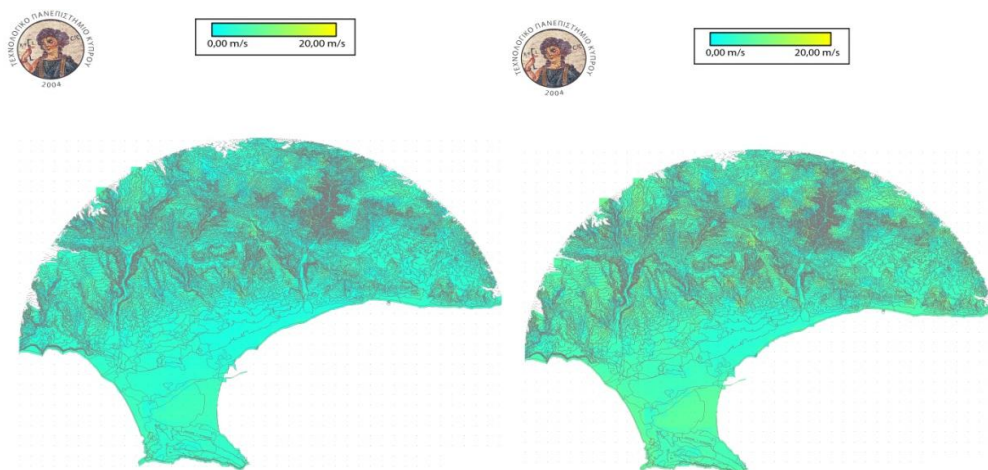
Η πληροφορία που κωδικοποιήθηκε σε προσαρμοσμένες κατανομές Weibull ανά τρίωρο για κάθε μήνα τροφοδοτήθηκε στο μοντέλο **WAsP** (Όπως περιγράφηκε στο υποκεφάλαιο 3.5) με στόχο να εκτιμηθεί η διαφοροποίηση του ανέμου λόγω τοπογραφικών χαρακτηριστικών και αλλαγών τραχύτητας σε περιοχή ακτίνας 20km γύρω από κάθε σταθμό. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζονται οι τροποποιημένες κατανομές Weibull σε όλη την περιοχή ενδιαφέροντος.

Εξάγοντας αυτές τις πληροφορίες σε μορφές χαρτών, που καλύπτουν τις περιοχές Λεμεσού και Πόλης Χρυσοχού, σε ακτίνα 20km, μπορούμε εύκολα να καταλάβουμε πιθανές επιδράσεις του ανάγλυφου στην ενίσχυση του ανέμου, που ενδεχομένως να μπορούμε να το εκμεταλλευτούμε, έτσι ώστε να έχουμε διαθέσιμο περισσότερο αιολικό δυναμικό. Είναι σαφές, ότι λοιπόν στα σημεία τα οποία ο άνεμος καθώς έρχεται ανάντη, συναντά κατάλληλη τοπογραφία, φαίνεται ότι εύκολα, μπορεί η ταχύτητα του ανέμου, όπως τουλάχιστον προσεγγίζεται από το μοντέλο μας, να ενισχυθεί δύο και τρεις φορές. Αυτό συνεπάγεται μια αύξηση της ισχύος, έως και εύκολα οκτώ φορές. Ας θυμηθούμε και πάλι, ότι η ισχύς είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας του ανέμου (βλέπε Παράρτημα 9).

Στην συγκεκριμένη ενότητα, παρείχθησαν 96 χάρτες για κάθε μία από τις περιοχές μελέτης που δείχνουν τη χωρική διακύμανση των μέσων ταχυτήτων, της μέσης ισχύος, αλλά και των συντελεστών των κατανομών Weibull ανά τρίωρο σε μηνιαία βάση. Περιέχουν δηλαδή όλη τη στατιστική πληροφορία που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο για τους σταθμούς, ανοιγμένη στην ευρύτερη περιοχή. Εξαιτίας του τεράστιου όγκου της

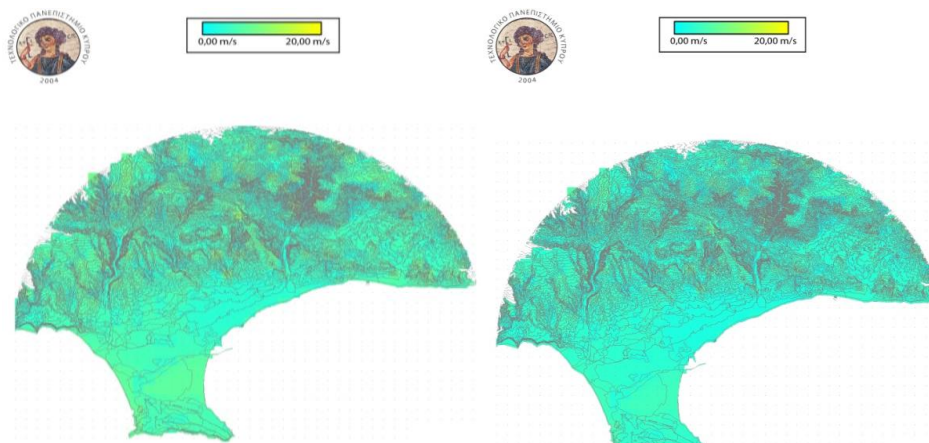
πληροφορίας, θα παρουσιάσουμε ενδεικτικά αποτελέσματα. Ενώ το σύνολο των χαρτών παραδίδεται ηλεκτρονικά με την παρούσα εργασία.

Είναι σαφές, ότι στην περιοχή της Λεμεσού παρουσιάζονται περιοχές που εμφανίζουν, έντονες επιταχύνσεις του ανέμου, κυρίως τις μεσημεριανές ώρες. Σύμφωνα με τις Εικόνες 41 και 42, ο άνεμος γυρνάει κατά τις μεσημεριανές ώρες με κυρίως νοτιοδυτικές διευθύνσεις στις μεταβατικές ώρες από 09:00 – 11:00, αυξάνει την ένταση του και ακολούθως διπλασιάζεται η ταχύτητα το επόμενο τρίωρο από 12:00 – 14:00, όπου ακολούθως το επόμενο τρίωρο από 15:00-17:00 ενισχύεται και γίνεται μέγιστος (βλέπε Παράρτημα 9), ενώ, εν συνεχεία, εξασθενεί. Αξίζει να σημειωθεί, ότι ενώ αρχικά με βάση τα στατιστικά στοιχεία (βλέπε Παράρτημα 8), με μία μέση ταχύτητα μόλις 5m/s στο σταθμό, λάβαμε ισχύ  $112\text{W/m}^2$ , από τους παρακάτω χάρτες του αιολικού δυναμικού της ταχύτητας του ανέμου, παρατηρούμε ότι καθώς η μέση ταχύτητα διπλασιάζεται, η μέση ισχύς σχεδόν δεκαεξαπλασιάζεται, λόγω αύξησης της τυπικής απόκλισης της ταχύτητας που οι μέγιστες τιμές της (που είναι και πολύ περισσότερο ενεργειακά αποδοτικές) αυξάνονται πολύ σημαντικά.

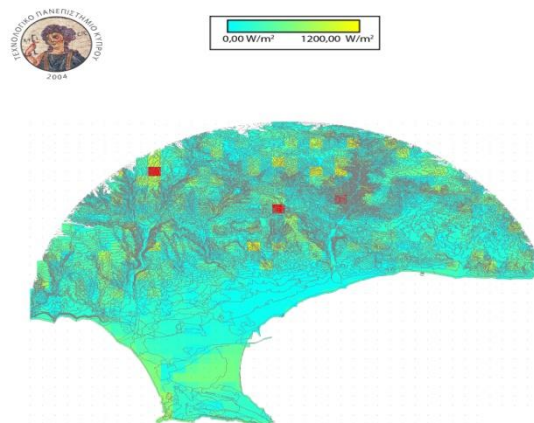


Αντίστοιχα, στην Πόλη Χρυσοχού, καθώς οι άνεμοι το βράδυ έρχονται από την ξηρά προς την θάλασσα και την μέρα από την θάλασσα προς την ξηρά, παρουσιάζονται έντονες κυρίως επιταχύνσεις του ανέμου από θαλάσσιες αύρες, κυρίως τις πρωινές ώρες της ημέρας, που ενισχύονται από την τοπική τοπογραφία της περιοχής. Επίσης, τις μεσημεριανές ώρες, όπου ο άνεμος γυρνάει, με εναλλαγή στην διεύθυνση του, από την ξηρά «Νότο» προς την θάλασσα «Βορρά», διαφαίνεται αύξηση και πάλιν της επιτάχυνσης του ανέμου, που αυτό οφείλεται στην τοπογραφία της περιοχής. Καθώς η απόγειος αύρας διαπερνά ανάντη των

λόφων και αυξάνει την ένταση της, στην συνέχεια περνά διαμέσου των κοιλάδων και ενισχύεται μέσω του καναλισμού.



**Εικόνα 40** Στην Εικόνα διαφαίνονται οι τριώρες διακυμάνσεις της μέσης ταχύτητας του ανέμου για τις μεσημβρινά τριώρα του Μαρτίου από 09:00 – 11:00, 12:00 – 14:00, 15:00 -17:00 και 18:00 – 20:00. Σε αυτές τις περιοχές παρουσιάζονται έντονες επιταχύνσεις του ανέμου, καθώς ο άνεμος προέρχεται από νότιες διευθύνσεις, με θαλάσσια αύρα, όπου ενισχύονται καθώς διαπερνούν μέσα από το ανάγλυφο της περιοχής. Καθώς διαπερνά τους λόφους ο άνεμος, ενισχύει την ένταση του, αποδίδοντας έτσι τουλάχιστον διπλασιασμό της μέσης ταχύτητας και έως και δεκαεξαπλασιασμό της ισχύος.

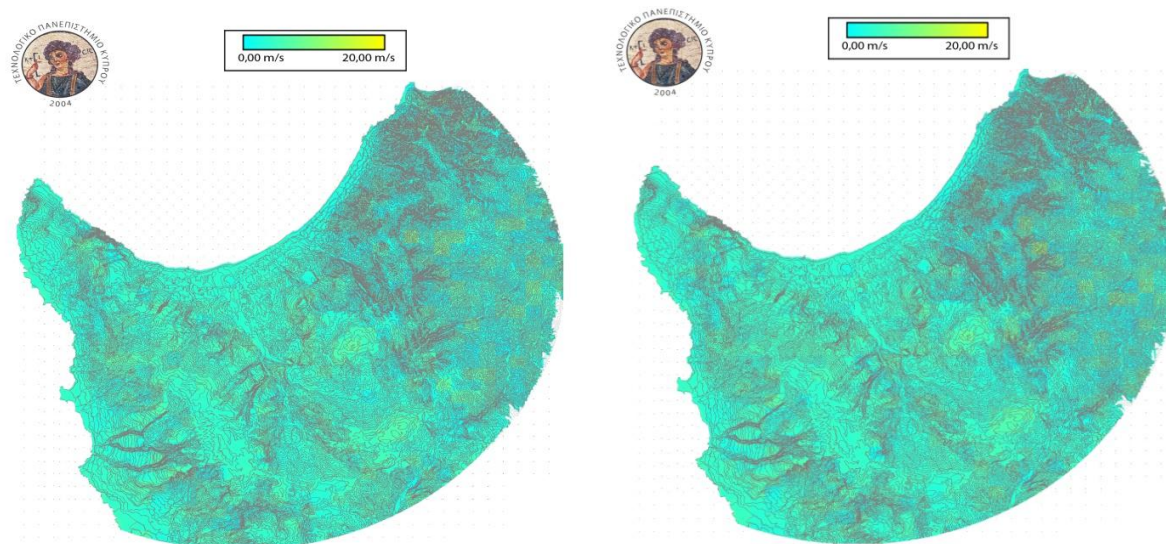


**Εικόνα 41** Στην παρούσα εικόνα διαφαίνονται οι περιοχές όπου δεικνύουν αξιοσημείωτο υψηλό ποσοστό εκμεταλλεύσιμο αιολικού δυναμικού. Αξίζει να σημειωθεί, ότι παρατηρείται υψηλό εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό στις κορυφές των υψωμάτων στην περιοχή Παλώδιας, Γερμασόγειας και Αλασσας, αλλά και σε μεμονωμένες σημεία στις περιοχές Ζύγι, Μαρί, Παλώδια και Φασούλα, όπου ναι μεν το αιολικό μπορεί είναι χαμηλό αλλά εντούτοις θα μπορούσε να είναι εκμεταλλεύσιμο για οικιακούς σκοπούς.

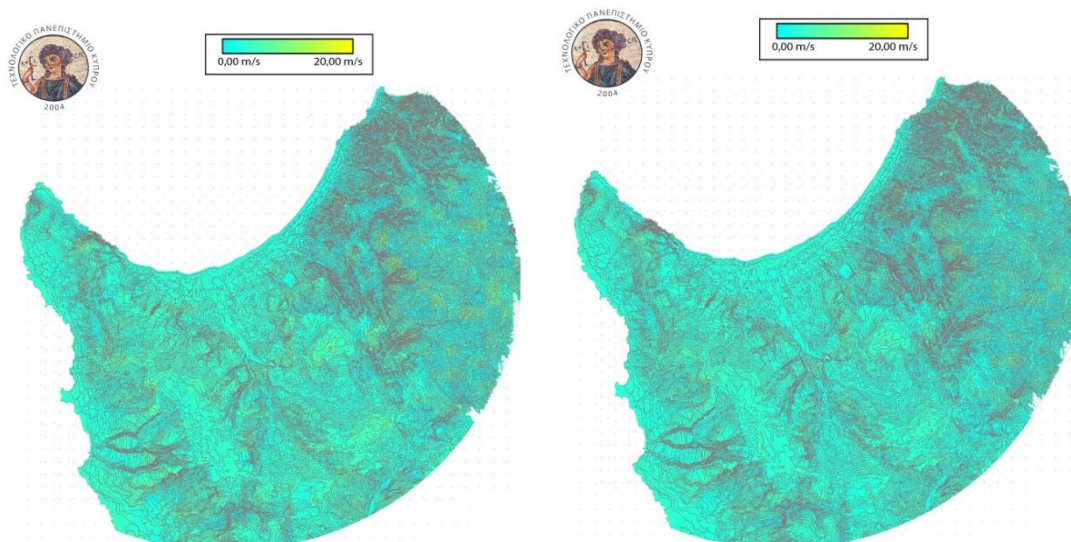
Σύμφωνα με τη Εικόνα 43, ο άνεμος γυρνάει κυρίως τις απογευματινές ώρες, ανακατανέμεται και ακολούθως αυξάνεται τις βραδινές με πρωινές ώρες από τις 00:00 - 02:00 που παρουσιάζει μια στροφή προς Νότιες διευθύνσεις καθώς επικρατεί θαλάσσια αύρα



που έρχεται από το Βορρά προς τον Νότο και ακολούθως το επόμενο τρίωρο από 03:00 – 05:00 παρουσιάζει την μέγιστη ταχύτητα του, όπου στην συνέχεια το επόμενο τρίωρο από 06:00 – 08:00 μειώνεται καθώς πάει αλλάζει την διεύθυνση του και τέλος το τρίωρο 09:00 - 11:00 που γυρνάει την διεύθυνση του αυξάνοντας πάλιν την ένταση του.



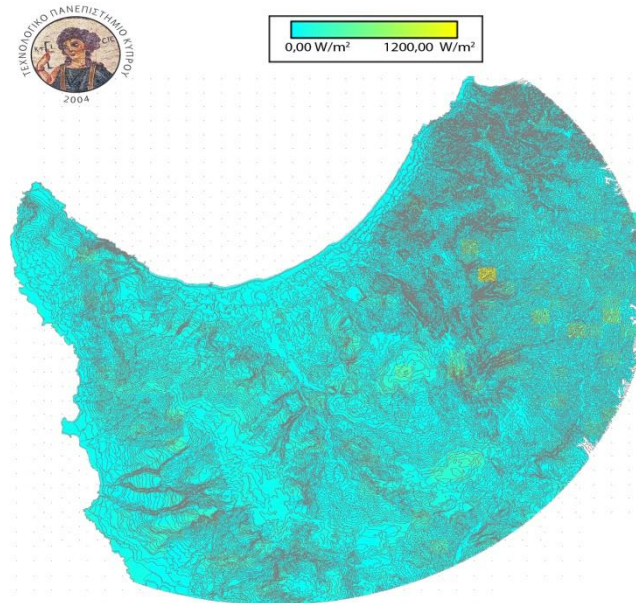
Αξίζει να σημειωθεί, ότι ενώ αρχικά με βάση τα στατιστικά στοιχεία (βλέπε Παράρτημα 8), με μία μέση ταχύτητα του ανέμου μόλις στα 3,5m/s στο σταθμό της Πόλης Χρυσόχου, λάβαμε ισχύ μόλις 37W/m<sup>2</sup>, ενώ από τους παρακάτω χάρτες του αιολικού δυναμικού της ταχύτητας του ανέμου, παρατηρούμε ότι καθώς η μέση ταχύτητα τριπλασιάζεται, η μέση ισχύς σχεδόν εικοσιοκταπλασιάζεται (βλέπε Εικόνα 44).



**Εικόνα 42** Στην Εικόνα διαφαίνονται οι τριώρες διακυμάνσεις της μέσης ταχύτητας του ανέμου για τις πρωινές ώρες του Μαρτίου από 00:00 – 02:00, 03:00 -05:00, 06:00 – 08:00 και 09:00 – 11:00. Σε αυτές τις περιοχές παρουσιάζονται έντονες επιταχύνσεις του ανέμου, καθώς ο άνεμος

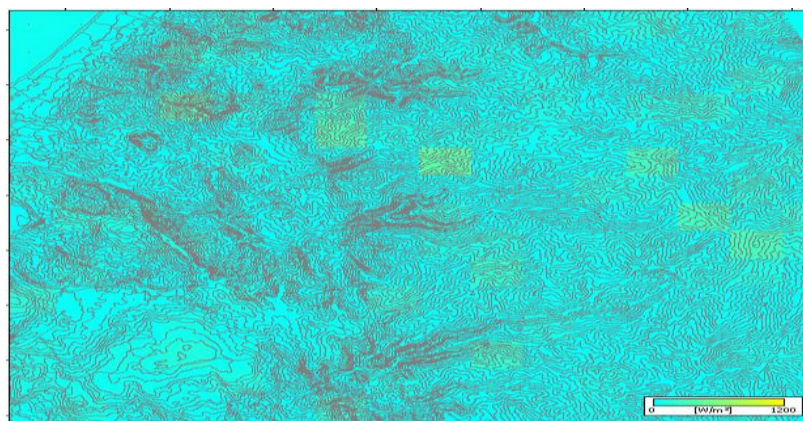


προέρχεται από βόρειες διευθύνσεις, με θαλάσσια αύρα, όπου ενισχύονται καθώς περνούν μέσα από το ανάγλυφο της περιοχής. Ο άνεμος καθώς περνά τους λόφους και τις κοιλάδες της περιοχής, ενισχύεται, αυξάνοντας την ένταση του, αποδίδοντας έτσι τριπλασιασμό της μέσης ταχύτητας του ανέμου και έως και εικοσιοκταπλασιασμό της ισχύος.

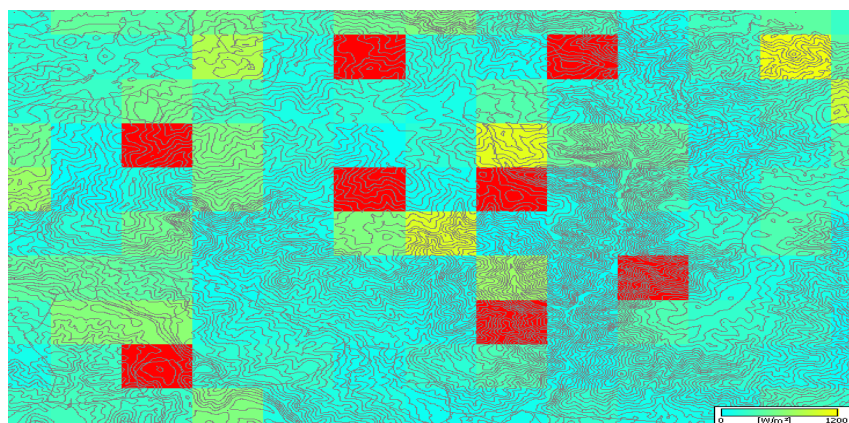


**Εικόνα 43** Στην παρούσα εικόνα διαφαίνονται οι περιοχές όπου δεικνύουν αξιοσημείωτο υψηλό ποσοστό εκμεταλλεύσιμο αιολικού δυναμικού. Αξίζει να τονισθεί, ότι παρατηρείται υψηλό αιολικό δυναμικό βορειοανατολικά του μετεωρολογικού σταθμού στις κορυφές των υψωμάτων στις περιοχές Σταυρός της Ψόκας, του Γιαλιά, την οροσειρά δίπλα στο χωρίο Γιόλου, αλλά και σε μεμονωμένα σημεία στην περιοχή του Πωμού, όπου αν και μεν το αιολικό δυναμικό μπορεί να είναι χαμηλό, αλλά εντούτοις θα μπορούσε να είναι εκμεταλλεύσιμο στην περιοχή για κάλυψη των τουριστικών αναγκών από πλευράς ενέργειας.

Αυτά τα αποτελέσματα με μία πρώτη ανάγνωση φαίνονται ενθαρρυντικά, καθώς επίσης φαίνονται και λογικά με βάση την μορφολογία του εδάφους σε αυτές τις περιοχές. Θα πρέπει όμως, να τονίσουμε, ότι δεν είναι σε καμία περίπτωση τελικά. Προκειμένου να αξιολογηθούν, θα πρέπει να ενισχυθούν και από επιτόπιες παρατηρήσεις, μετρήσεις, έτσι ώστε να διαπιστωθούν τα συγκεκριμένα φαινόμενα κατά πόσο και αν υφίστανται. Σε γενικές γραμμές, όμως, είναι ενθαρρυντικά γιατί δείχνουν ότι υπάρχει εύκολα αύξηση της μέσης ταχύτητας και ισχύος εξαιτίας της ανώμαλης τοπογραφίας στις περιοχές μελέτης (βλέπε Εικόνες 45 και 46).



**Εικόνα 44** Από την εικόνα, παρατηρούμε τις θέσεις – σημεία για την περιοχή της Πόλης Χρυσόχου, έντονου αιολικού δυναμικού. Ο χάρτης απευθύνεται για το τρίωρο από 09:00 -11:00 του Απριλίου. Στο παρόν χάρτη φαίνονται τα σημεία με έντονο αιολικό δυναμικό στην περιοχή του Σταυρού της Ψώκας, του Γιαλιά και της Οροσειράς δίπλα στο χωριό Γιόλου. Όπως, φαίνεται από την εικόνα, στα σημεία αυτά όπου το μοντέλο μας του *WAsP* εμφάνισε αυξημένες εντάσεις του ανέμου, αποτελούν οροσειρές και κορυφογραμμές λόφων με μεγάλο υψόμετρο.



**Εικόνα 45** Από την εικόνα παρατηρούμε τα σημεία για την περιοχή της Λεμεσού, έντονου αιολικού δυναμικού για το τρίωρο από 15:00 -17:00 του Αυγούστου. Στο παρόν χάρτη φαίνονται τα σημεία με έντονο αιολικό δυναμικό ανατολικά και δυτικά του φράγματος Γερμασόγειας. Όπως φαίνεται στην εικόνα στα σημεία αυτά όπου το μοντέλο μας του *WAsP* εντόπισε αυξημένες εντάσεις του ανέμου, αποτελούν οροσειρές και κορυφογραμμές και κοιλάδες.

Θα ήταν καλό τα σημεία των περιοχών τα οποία εντοπίστηκαν, να εξεταστούν είτε με επιτόπιες μετρήσεις στο πεδίο των σημείων που εντοπίστηκαν από τη μελέτη του αιολικού δυναμικού που εκτελέσαμε. Επίσης, για την περιοχή της Λεμεσού, αν τα μέρη όπου παρατηρήσαμε ότι φυσάει, είναι κοντά σε κάποιο αιολικό πάρκο ή σε προτεινόμενη θέση αιολικού πάρκου που σχεδιάζεται να κατασκευαστεί, τότε θα ήταν καλό να ελεγχτούν περαιτέρω οι περιοχές αυτές του μοντέλου μας. Καθώς, εάν υπάρχει πρόταση δημιουργίας αιολικού πάρκου στην περιοχή, τότε το γεγονός αυτό δίνει ενθαρρυντικά αποτελέσματα, ότι τα συγκεκριμένα μέρη, αποτελούν σημεία εκμεταλλεύσιμης ενέργειας. Βεβαίως, για να είναι

ολοκληρωμένη αυτή η δουλειά θα πρέπει να έχουμε και δεδομένα από τους γύρω σταθμούς, δηλαδή της Λάρνακας και συγκεκριμένα από το σταθμό της Μενόγειας, όπου σε μελλοντικό στάδιο θα μπορούσε να δώσει μια πιο ακριβέστερη εικόνα.

Σε κάθε περίπτωση, να τονίσουμε την έντονη διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων της Λεμεσού από της Πόλης Χρυσοχού. Όπου στην Λεμεσό είναι αρκετά πιο έντονη η ημερήσια διακύμανση, με το σαφές μέγιστο των ταχυτήτων, κατά τις ώρες της ημέρας, κυρίως προς τις μεσημεριανές ώρες, με σαφή επίδραση από ροή από τη θάλασσα. Υπάρχει πολύ μεγαλύτερη διασπορά των ταχυτήτων. Δηλαδή, ενώ οι μέσες τιμές είναι συγκρίσιμες στο σταθμό, αλλά και στην γύρω περιοχή. Συγκρίσιμες με τις αντίστοιχες στην περιοχή Πόλης Χρυσοχού, επειδή ακριβώς η διασπορά τους είναι μεγαλύτερη οδηγούν σε μεγαλύτερη υπολογιζόμενη αιολική ισχύ (βλέπε Παράρτημα 9).

Η ερμηνεία αυτού του φαινομένου είναι η εξής. Είναι ότι ναι μεν στην Λεμεσό, υπάρχουν πολύ μεγαλύτερα φαινόμενα νηνεμίας – άπνοιας, δηλαδή διαστήματα τα οποία η ταχύτητα του ανέμου, πρακτικά είναι ανεκμετάλλευτη, δεν φυσάει. Αλλά υπάρχουν και διαστήματα στα οποία φυσάει πολύ περισσότερο. Και τότε ακριβώς είναι που μπορούν να αποδώσουν οι ανεμογεννήτριες (βλέπε ηλεκτρονικά τους Χάρτες Αιολικού Δυναμικού για Μέσες Ταχύτητες και Μέσες Ισχύς για την Λεμεσό).

Στην περιοχή της Πόλης Χρυσοχού, αντίθετα φαίνεται ότι φυσάει ομαλότερα, χωρίς μια πολύ μεγάλη διακύμανση. Δεν υπάρχουν ούτε δηλαδή αρκετά μεγάλες διαφοροποιήσεις ανάμεσα σε σαφή διαστήματα με πολλές νηνεμίες και πολύ μεγάλα διαστήματα στα οποία να φυσάει αρκετά, καθώς οι τριώρες μέσες τιμές των ταχυτήτων είναι σχετικά κοντά (βλέπε Παράρτημα 8).

Συνολικά η ισχύς είναι μικρότερη στην Πόλη Χρυσοχού (βλέπε Παράρτημα 9). Παρόλα αυτά, ακόμα και στην Πόλη Χρυσοχού διαφαίνονται σημεία στους χάρτες της μελέτης του Αιολικού Δυναμικού, που πιθανώς υπάρχει ενίσχυση του ανέμου και ενδεχομένως να μπορούν να είναι αξιοποιήσιμα για εγκατάσταση ανεμογεννητριών όπως και δείξαμε. Όπως διαφαίνονται στα χαρακτηριστικά σημεία των χαρτών (βλέπε Εικόνα 44 και 42), τα οποία όμως και αυτά απαιτούν περαιτέρω έρευνα από γύρω μετεωρολογικούς σταθμούς και επιτόπιες μετρήσεις με ανεμόμετρο στις περιοχές που εντοπίστηκαν από το μοντέλο μας.

Σίγουρα, οι μέσες ισχύς όταν ξεπερνούν τα  $1000\text{W}/\text{m}^2$ , ιδικά στην περιοχή της Λεμεσού είναι πολύ ενθαρρυντικές και μπορούν να στηρίξουν, ενδεχομένως και να στοιχειοθετήσουν πιθανή εγκατάσταση αιολικών πάρκων. Όμως και σε μεμονωμένες τοποθεσίες με χαμηλότερο αιολικό δυναμικό θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από τους κατοίκους στις περιοχές αυτές για κάλυψη των αναγκών τους σε ενέργεια ή ακόμα και προς πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στην ΑΗΚ. Για παράδειγμα οι περιοχές Παλώδια, Γερμασόγεια, Άλασσα αποτελούν θέσεις – σημεία με υψηλό αιολικό δυναμικό της τάξεως των  $1500 - 2000\text{W}/\text{m}^2$  και οι οποίες θα μπορούσαν να αποτελέσουν θέσεις εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων, αφότου όμως γίνει πρώτα μια επιτόπια έρευνα στις θέσεις αυτές. Επίσης, οι περιοχές Ζύγι, Μαρί, Φασούλα και στην κατοικημένη περιοχή της Παλώδιας, αποτελούν θέσεις με χαμηλότερο αιολικό δυναμικό, εντούτοις θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για οικιακή χρήση από τα νοικοκυριά για σκοπούς εξοικονόμησης ενέργειας αλλά ακόμα και για πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στην ΑΗΚ.

Επίσης, σε συγκεκριμένες θέσεις τις Πόλης Χρυσοχού παρατηρούμε μια συνεχή εμφάνιση υψηλού δυναμικού, που παρόλο που πολλές φορές δεν ξεπερνά τα  $1000\text{W}/\text{m}^2$ , εντούτοις όμως, με μια τιμή των  $600 - 800\text{W}/\text{m}^2$  θα μπορούσε να αποδώσει ακόμα περαιτέρω ενέργεια για την Νήσο. Εξίσου, όμως, αξίζει να τονισθεί ότι υπάρχουν μεμονωμένες περιοχές, που παρόλο του χαμηλού τους αιολικού δυναμικού, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από τους κατοίκους της περιοχής. Για παράδειγμα, όπως αναφέραμε και προηγουμένως, θέσεις – σημεία με υψηλό αιολικό δυναμικό είναι ο Σταυρός της Ψώκας, του Γιαλιά και η οροσειρά δίπλα στο χωριό Γιόλου, που παρουσιάζουν υψηλό αιολικό δυναμικό της τάξεως των  $600 - 1000\text{W}/\text{m}^2$ , που θα μπορούσε να είναι εκμεταλλεύσιμη με την εγκατάσταση αιολικών πάρκων. Όμως, πρέπει να σημειωθεί και πάλιν ότι η παρούσα πτυχιακή, αποτελεί μια πρώτη προσέγγιση και εντοπισμό των πιθανών θέσεων που εμφανίζεται αυξημένο αιολικό δυναμικό. Απαιτείται περαιτέρω επιτόπια έρευνα, στις θέσεις – σημεία για να εντοπιστούν τα κατάλληλα σημεία για εγκατάσταση ανεμογεννητριών. Επίσης, στην περιοχή του Πωμού, παρουσιάζεται χαμηλότερης τάξεως αιολικό δυναμικό, που όμως δεν θα μπορούσε να μας αφήσει αδιάφορους. Το αιολικό δυναμικό στην συγκεκριμένη θέση θα μπορούσε να αποτελέσει μια ελάφρυνση από πλευράς ενέργειας για τις τουριστικές μονάδες της περιοχής, ακόμα και αυτονομία τους ή ακόμα η ενέργεια που θα παράγεται θα μπορούσε να πωληθεί στην ΑΗΚ.

Και πάλιν, όμως τα αποτελέσματα είναι ενδεικτικά, καθώς είναι μία πρώτη προσέγγιση και χρειάζονται επαλήθευση η οποία μόνο με επιτόπιες μετρήσεις μπορεί να γίνει. Δηλαδή, αυτή η διαδικασία είναι κατά κάποιο τρόπο διαγνωστική και δείχνει πιθανές περιοχές ενδιαφέροντος, χωρίς σε αυτή την φάση της να μπορεί να θεωρηθεί ολοκληρωμένη ή να μπορεί να δώσει απαντήσεις στο που θα βάλω ανεμογεννήτρια. Μπορεί, όμως να πει που ενδεχομένως θα μπορούσαμε να βάλουμε ανεμογεννήτρια και μάλλον δεν θα μπορούσα να βάλω ανεμογεννήτρια.

Η περιοχή της Λεμεσού σαφώς και πρέπει να ελεγχθεί, φαίνεται όμως να συμφωνεί και με την έρευνα των (Pashardes & Christofides, 1995), όπου είχαν ασχοληθεί μόνο με την ετήσια κατανομή του ανέμου πάνω από την Κύπρο. Τα αποτελέσματα της έρευνας, έδειξαν ότι η Κύπρος, δεν χαρακτηρίζεται από ανέμους υψηλής έντασης, με μεγάλες προοπτικές. Παρόλα αυτά, όμως, αρκετές περιοχές χαρακτηρίζονται από μέσες ταχύτητες του ανέμου στα 5m/s σε υψόμετρο 10m από το έδαφος. Αυτές οι περιοχές είναι πολύ υποσχόμενες για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών, που το γεγονός αυτό ενθαρρύνει το γεγονός της έρευνας μας ότι υπάρχουν περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό στην περιοχή της Λεμεσού, καθώς όπως αναφέρεται στο άρθρο, αυτές οι περιοχές βρίσκονται στις νότιες παραλιακές περιοχές του νησιού και σε κορυφές λόφων.

Επίσης, αναφέρεται ότι αυτές οι περιοχές είναι πολύ υποσχόμενες για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών. Από την άλλη όμως, η καταλληλότητα και διαθεσιμότητα αυτών των εγκαταστάσεων εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως τεχνοοικονομικούς, την απόσταση από το ηλεκτρικό δίκτυο, την ιδιοκτησία γης και το οδικό δίκτυο.

Από το παρόν άρθρο διαπιστώθηκε, σε πλήρη συμφωνία με τις διαπιστώσεις μας, ότι τους καλοκαιρινούς μήνες, στις παραλιακές περιοχές, οι ψηλότεροι άνεμοι καταγράφηκαν απόγευμα και οι χαμηλότεροι 5 με 6 το πρωί. Από την άλλη στις ορεινές περιοχές πάνω από το Φράγμα του Κούρρη, οι ψηλότερες εντάσεις καταγράφηκαν γύρω στις 2 το μεσημέρι, ενώ οι χαμηλότερες μετρήσεις, καταγράφηκαν σε δύο ξεχωριστά χρονικές περιόδους. Η πρώτη 7 με 8 το πρωί και η δεύτερη το απόγευμα και χαμηλό 5 με 6 το πρωί. Στις ορεινές περιοχές είναι ψηλή το μεσημέρι η ένταση του ανέμου και είναι χαμηλή 7 με 8 το πρωί και το απόγευμα.

Επίσης, αναφέρεται, ότι το χειμώνα, οι ανώτατες μετρήσεις παρατηρούνται νωρίς το απόγευμα μεταξύ 2 με 3. Ενώ οι κατώτατες μετρήσεις των ταχυτήτων εμφανίζονται αργά την

νύχτα ή τις πρωινές ώρες. Ο λόγος που παρουσιάζονται υψηλές μετρήσεις είναι το ανάγλυφο και η τοπογραφία του εδάφους. Εκτός, από την μορφολογία, όπως αναφέρεται, το εύρος της ταχύτητας στις ορεινές περιοχές είναι πολύ χαμηλότερο από το αντίστοιχο των παραλιακών.

Καταλήγοντας, το επόμενο στάδιο αυτής της πτυχιακής, θα μπορέσει να αποτελέσει μια εκτενής έρευνα με επιτόπιες μετρήσεις, για την εξακρίβωση των θέσεων στις περιοχές ενδιαφέροντος που εξάχθηκαν. Μια σωστή, έρευνα θα μπορούσε να δώσει απαντήσεις και τεκμηριώσεις, στα όλα ζητήματα που αφορούν το αιολικό δυναμικό στις περιοχές Πόλης Χρυσοχού και Λεμεσού, δίνοντας έτσι εξακρίβωση των πιθανών θέσεων για εγκατάσταση ανεμογεννητριών. Η εγκατάσταση ανεμογεννητριών, θα μπορέσει να αποτελέσει ένα σημαντικό ποσοστό καθαρής ενέργειας για όλη τη Νήσο Κύπρο και θα δώσει λύση στο ενεργειακό πρόβλημα που υπάρχει στην συγκεκριμένη φάση στο νησί.

## **5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**

### **5.1. Εισαγωγή**

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα συνοψίσουμε, τα κυριότερα στάδια αυτής της εργασίας και θα επικεντρωθούμε στα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν όσο αφορά τα χαρακτηριστικά του ανέμου και στο αιολικό δυναμικό στις υπό μελέτη περιοχές. Υπογραμμίζουμε ότι η συγκεκριμένη μελέτη δεν είναι αυτοδύναμη, αλλά είναι μία πρώτη προσπάθεια ανάλυσης του αιολικού δυναμικού σε επιλεγμένες περιοχές, και ευελπιστούμε ότι μελλοντικά θα ενισχυθεί και με την συλλογή περισσότερων πειραματικών στοιχείων, που είναι απαραίτητα προκειμένου να ελεγχθούν τα συμπεράσματα μας, ενώ θα πρέπει να γενικευθεί η συγκεκριμένη εργασία σε όλη την περιοχή της Κύπρου, με την συνδρομή μετρήσεων από και άλλους σταθμούς, προκειμένου να μπορέσουμε να έχουμε, μία περισσότερο αντιπροσωπευτική εικόνα. Στο τέλος του κεφαλαίου θα προχωρήσουμε και σε πιθανές προτάσεις για την εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού στις εν λόγω περιοχές.

### **5.2. Συζήτηση Αποτελεσμάτων**

Το πλεονέκτημα της παρούσας εργασίας, είναι ότι δεν αντιμετωπίζει την ταχύτητα του ανέμου συνολικά, σε μια μέση τιμή και μία μέση εικόνα ταχυτήτων και διευθύνσεων σε όλο το έτος, αλλά έχουμε εστιαστεί σε μηνιαία καταγραφή και μάλιστα ανά τρίωρο, έτσι ώστε να δείξουμε και την ημερήσια, αλλά και την μηνιαία εποχιακή διακύμανση των ταχυτήτων και των διευθύνσεων του ανέμου.

Όσο αφορά την στατιστική περιγραφή των σταθμών, αυτό που παρατηρήσαμε είναι ότι, στην περιοχή της Λεμεσού έχουμε ανέμους που κατανέμονται ως εξής, σε όλους τους μήνες και αυτό είναι αρκετό εντυπωσιακό. Το βράδυ ο άνεμος έρχεται από Βόρειες διευθύνσεις, ενώ τις πρώτες πρωινές ώρες επικρατεί μια σταδιακή στροφή του ανέμου προς νότιες διευθύνσεις, με επικρατούσες κυρίως τις νοτιοδυτικές διευθύνσεις, δηλαδή από την περιοχή της θάλασσας, με ταυτόχρονη ανύψωση του ανέμου. Οι ενδεικτικές ταχύτητες για τις βραδινές ώρες, κυμαίνονται κάτω των 2m/s, ενώ κατά την διάρκεια των ωρών της μέρας «μεσημέρι προς απόγευμα», οι ταχύτητες αυτές, φτάνουνε στο σταθμό της Λεμεσού και στα 5m/s ή και περισσότερο. Η συγκεκριμένη εικόνα, είναι συμβατή με την εναλλαγή ξηράς - θάλασσας και την ανάπτυξη τοπικών κυκλοφοριών, κυρίως αυρών, οι οποίες κατά την διάρκεια της νύχτας έχουν πολύ ασθενέστερη ένταση ταχύτητας, και διευθύνσεις από την ξηρά «Βορρά» προς την θάλασσα «Νότος». Ο συγκεκριμένος τύπος κυκλοφορίας

προσομοιάζει με απόγειο αύρα, που αποτελεί ένα ασθενικό φαινόμενο. Αντίθετα, κατά την διάρκεια της μέρας, οι ταχύτητες αυξάνονται σημαντικά, σε τύπους κυκλοφορίας με ροή από την θάλασσα προς την ξηρά, την κανονική όπως την ξέρουμε «θαλάσσια αύρα».

Η συγκεκριμένη πληροφορία είναι πολύ χρήσιμη, διότι από την μια οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό κατά την διάρκεια της νύχτας είναι ενδεχομένως μικρό, υπάρχει όμως σημαντικό αιολικό δυναμικό κατά την διάρκεια της μέρας, που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ή να γίνει εκμετάλλευση του σε σχεδιασμό, όσον αφορά στην ευρύτερη περιοχή.

Στην Πόλη Χρυσοχού, όμως, η κατάσταση ως προς την διεύθυνση του ανέμου ακολουθεί ένα παρόμοιο μοτίβο. Πάλιν, κατά την διάρκεια της νύχτας, οι άνεμοι, όπως είδαμε, είναι από νότιες διευθύνσεις, δηλαδή από την ξηρά προς τη θάλασσα, (πολύ πιο εντοπισμένοι μάλιστα), την διάρκεια της μέρας όμως, παρατηρούμε ότι πάλι στρέφονται σε βόρειες διευθύνσεις από την θάλασσα «Θαλάσσιες αύρες». Οι διάταξη των διευθύνσεων είναι αντίθετη από την Λεμεσό, εφόσον η Πόλης Χρυσοχού έχει διαφορετική γεωγραφία και η θάλασσα βρίσκεται βόρεια της περιοχής.

Πάντως, ενώ στην Πόλη Χρυσοχού, επικρατεί πολύ σαφής εικόνα της αλλαγής της διεύθυνσης σε ημερήσια βάση, (που συνάδει με αντιστροφή της ροής του αέρα που έρχεται από την ξηρά «Νότο» προς την θάλασσα «Βορράς» το βράδυ και από τη θάλασσα «Βορρά» προς την ξηρά «Νότο», κυρίως το πρωί), δεν παρατηρούμε, μια έντονη αύξηση όπως στην Λεμεσό αλλά περισσότερη ομοιομορφία της ταχύτητας του ανέμου. Ενώ, στην Λεμεσό παρατηρήσαμε, κυρίως 2 – 5m/s μέση ταχύτητα, στην Πόλη Χρυσοχού φυσάει λίγο πολύ ομοιόμορφα. Βεβαίως, πάντα με μια αύξηση των ταχυτήτων τις μεσημβρινές ώρες. Δηλαδή, δίνει μεγάλες ταχύτητες και τις βραδινές ώρες. Αυτό οφείλεται ενδεχομένως σε τοπογραφικά χαρακτηριστικά στην συγκεκριμένη περιοχή. Συγκεκριμένα, εξαιτίας της τοπογραφίας της Πόλης Χρυσοχού, η οποία παρουσιάζει διάφορα ορεινά συστήματα, (βουνά στα νότια της) και μετά αμέσως την θάλασσα. Εκεί προκύπτουν καταβατικοί άνεμοι πάνω από τα βουνά, δηλαδή έχουμε ενίσχυση της απόγειου αύρας, με αύρα κοιλάδος και καναλισμό και γι' αυτό εμφανίζεται ακόμα και νυχτερινή ροή σχετικά έντονη. Αυτό ενισχύει την δυνατότητα εμφάνισης υψηλότερων εντάσεων και κατά τις βραδινές ώρες.

Στην Λεμεσό, κατά τις μεσημβρινές ώρες όπου επικρατεί αυξημένη ένταση της ροής του ανέμου, η κατανομή **Weibull** είναι πιο αντιπροσωπευτική. Επίσης, η κατανομή των



ωριαίων ταχυτήτων την ημέρα παραθέτει μια πιο ξεκάθαρη εξήγηση του φαινομένου, καθώς το εύρος διακύμανσης είναι πιο μεγάλο, με μεγαλύτερη επίσης μέση τιμή.

Στην Πόλη Χρυσοχού, οι κατανομές *Weibull* σχεδόν πάντοτε παντού είναι ακριβείς και αντιπροσωπευτικές, αφού στην Πόλη Χρυσοχού γενικά απουσιάζουν μεγάλα διαστήματα άπνοιας. Επιπλέον, από την ωριαία κατανομή παρατηρήσαμε, ότι η Πόλη Χρυσοχού παραθέτει μια ομοιόμορφη κατανομή μικρότερου εύρους βέβαια από την Λεμεσό και με μικρότερη ταχύτητα. Το γεγονός αυτό, ενισχύει το γεγονός στο ότι στην Πόλη Χρυσοχού εμφανίστηκε μικρότερη μέση ισχύς.

Σίγουρα, οι μέσες ισχύς όταν ξεπερνιούνται τα  $1000\text{W}/\text{m}^2$ , ειδικά στην περιοχή της Λεμεσού είναι πολύ ενθαρρυντικές και μπορούν να στηρίξουν, ενδεχομένως και να στοιχειοθετήσουν πιθανή εγκατάσταση αιολικών πάρκων. Όμως και σε μεμονωμένες τοποθεσίες με χαμηλότερο αιολικό δυναμικό θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από τους κατοίκους στις περιοχές αυτές για κάλυψη των αναγκών τους σε ενέργεια ή ακόμα και προς πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στην ΑΗΚ. Για παράδειγμα οι περιοχές Παλώδια, Γερμασόγεια, Άλασσα αποτελούν θέσεις – σημεία με υψηλό αιολικό δυναμικό της τάξεως των  $1500 - 2000\text{W}/\text{m}^2$  και οι οποίες θα μπορούσαν να αποτελέσουν θέσεις εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων, αφότου όμως γίνει πρώτα μια επιτόπια έρευνα στις θέσεις αυτές. Επίσης, οι περιοχές Ζύγι, Μαρί, Φασούλα και στην κατοικημένη περιοχή της Παλώδιας, αποτελούν θέσεις με χαμηλότερο αιολικό δυναμικό, εντούτοις θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για οικιακή χρήση από τα νοικοκυριά για σκοπούς εξοικονόμησης ενέργειας αλλά ακόμα και για πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στην ΑΗΚ.

Επίσης, σε συγκεκριμένες θέσεις τις Πόλης Χρυσοχού παρατηρούμε μια συνεχή εμφάνιση υψηλού δυναμικού, που παρόλο που πολλές φορές δεν ξεπερνά τα  $1000\text{W}/\text{m}^2$ , εντούτοις όμως, με μια τιμή των  $600 - 800\text{W}/\text{m}^2$  θα μπορούσε να αποδώσει ακόμα περαιτέρω ενέργεια για την Νήσο. Εξίσου, όμως, αξίζει να τονισθεί ότι υπάρχουν μεμονωμένες περιοχές, που παρόλο του χαμηλού τους αιολικού δυναμικού, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από τους κατοίκους της περιοχής. Για παράδειγμα, όπως αναφέραμε και προηγουμένως, θέσεις – σημεία με υψηλό αιολικό δυναμικό είναι ο Σταυρός της Ψώκας, του Γιαλιά και η οροσειρά δίπλα στο χωριό Γιόλου, που παρουσιάζουν υψηλό αιολικό δυναμικό της τάξεως των  $600 - 1000\text{W}/\text{m}^2$ , που θα μπορούσε να είναι εκμεταλλεύσιμη με την εγκατάσταση αιολικών πάρκων. Όμως, πρέπει να σημειωθεί και πάλιν ότι η παρούσα πτυχιακή, αποτελεί μια πρώτη προσέγγιση και εντοπισμό των πιθανών θέσεων που

εμφανίζεται αυξημένο αιολικό δυναμικό. Απαιτείται περαιτέρω επιτόπια έρευνα, στις θέσεις – σημεία για να εντοπιστούν τα κατάλληλα σημεία για εγκατάσταση ανεμογεννητριών. Επίσης, στην περιοχή του Πωμού, παρουσιάζεται χαμηλότερης τάξεως αιολικό δυναμικό, που όμως δεν θα μπορούσε να μας αφήσει αδιάφορους. Το αιολικό δυναμικό στην συγκεκριμένη θέση θα μπορούσε να αποτελέσει μια ελάφρυνση από πλευράς ενέργειας για τις τουριστικές μονάδες της περιοχής, ακόμα και αυτονομία τους ή ακόμα η ενέργεια που θα παράγεται θα μπορούσε να πωληθεί στην ΑΗΚ.

Και πάλιν, όμως τα αποτελέσματα μας είναι ενδεικτικά, καθώς είναι μία πρώτη προσέγγιση και χρειάζονται επαλήθευση η οποία μόνο με επιτόπιες μετρήσεις μπορεί να γίνει. Δηλαδή, αυτή η διαδικασία είναι κατά κάποιο τρόπο διαγνωστική και δείχνει πιθανές περιοχές ενδιαφέροντος, χωρίς σε αυτή την φάση της να μπορεί να θεωρηθεί ολοκληρωμένη ή να μπορεί να δώσει απαντήσεις στο που θα βάλω ανεμογεννήτρια. Μπορεί, όμως να δείξει πού ενδεχομένως θα μπορούσαμε να βάλουμε ανεμογεννήτρια και μάλλον δεν θα μπορούσα να βάλω ανεμογεννήτρια.

Στην Λεμεσό προτείνουμε την εκμετάλλευση του υψηλού Αιολικού Δυναμικού κυρίως κατά την διάρκεια της μέρας, που ενδεχομένως έχουμε συνεχή παροχή Αιολικής Ενέργειας (βλέπε Παράρτημα 9 και Χάρτες Αιολικού Δυναμικού ηλεκτρονικά). Επομένως, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τροφοδοσία ηλεκτρικής ενέργειας σε μονάδες αφαλάτωσης. Επίσης, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στις πολύ ανεπτυγμένες τουριστικές μονάδες για εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και σε απευθείας σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο της ΑΗΚ για να τροφοδοτεί απευθείας το νησί τις ώρες αυτές της μέρας που υπάρχει έντονη κατανάλωση ενέργειας.

Αλλά και στην Πόλη Χρυσοχού, δεν είναι αμελητέο το γεγονός, καθώς φαίνεται από την μελέτη μας, ότι υπάρχουν σημεία – θέσεις, από την εκτίμηση του μοντέλου του **WAsP**, στα σημεία της ευρύτερης περιοχής, ότι ενδεχομένως υπάρχουν σημεία που έχουν πλούσιο αιολικό δυναμικό ή εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό πρωί και βράδυ, καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας και του έτους.

### **5.3. Προτάσεις**

Από την όλη εικόνα των περιοχών μελέτης μας, στην περιοχή της Λεμεσού, την ενέργεια αναμένουμε ότι θα την λάβουμε τις μεσημεριανές ώρες. Άρα θα μπορούσε ενδεχομένως στην Λεμεσό να υπάρξουν περιοχές με πολύ σημαντικό αιολικό δυναμικό, για

να τοποθετηθούν ανεμογεννήτριες, λαμβάνοντας την ενέργεια που προέρχεται τις μεσημεριανές ώρες ή ακόμα να παράγουν οι ανεμογεννήτριες ενέργεια επί 24ώρου βάσεως. Δεδομένης της έντονης τουριστικής ανάπτυξης στην Λεμεσό, η συγκεκριμένη πληροφορία είναι χρήσιμη σε στρατηγικές ανάπτυξης και σε επενδυτικά σχέδια ξενοδοχειακών μονάδων, που θα μπορούσαν να εκμεταλλευτούν το αιολικό δυναμικό, προς όφελος τους.

Στην Πόλη Χρυσοχού, όμως, λόγω του ότι η ισχύς είναι μικρότερες και η εικόνα του ανέμου είναι διαφορετική, δεν θα περιμέναμε ποτέ να πάρει μεγάλη ισχύ. Αλλά ενδεχομένως, να μπορεί να πάρει μικρότερη ισχύ, αλλά σε πιο συνεχή βάση. Δηλαδή, θα μπορούσαν να βρεθούν ανεμογεννήτριες, που να δουλεύουν όχι σε μεγάλες ταχύτητες, αλλά να δουλεύουν σταθερά στα 2 – 4m/s και κυρίως για οικιακή χρήση. Παρόλα αυτά, όμως, ενδέχεται στα γύρω υψώματα να υπάρχουν περιοχές για ανάπτυξη αιολικών πάρκων στο μέλλον. Συμπερασματικά, στην Πόλη Χρυσοχού, υπάρχει πιο συνεχής παροχή ισχύος, σίγουρα με μικρότερη πυκνότητα, με χαμηλότερες τιμές, που όμως θα μπορούσαν να εκμεταλλευτούν από τους Κύπριους καταναλωτές, για οικιακούς σκοπούς και τουριστικούς.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- EPA. (1998). *Compilation of air pollutants factors AP/42*. U.S. Environmental Protection Agency.
- Risø DTU. (2010, November 1). *WASP*. (S. Munck, Επιμελητής, T. U. Denmark, Παραγωγός, & Risø) Ανάκτηση April 15, 2012, από WASP – the Wind Atlas Analysis and Application Program: <http://www.wasp.dk/>
- About.com. (1996). *Global warming and greenhouse effects*. (A part of The New York Times Company ) Ανάκτηση January 5, 2012, από About com: Environmental Issues: <http://environment.about.com/>
- Akylas, Zavros, Skarlatos, & Fyrrillas. (2011). Fitting the Weibull Distribution on Wind Speed Time Series. *Fitting the Weibull Distribution on Wind Speed Time Series* .
- Association, W. C. (2011). *Coal and Coal mining*. Ανάκτηση January 28, 2011, από World Coal Association: <http://www.worldcoal.org/>
- Association, W. C. (2009, May 1). *Document of The Coal Resource: A Comprehensive Overview of Coal*. Ανάκτηση January 28, 2011, από World Coal Association: [www.worldcoal.org/bin/pdf/original\\_pdf\\_file/what\\_is\\_coal\(01\\_06\\_2009\)](http://www.worldcoal.org/bin/pdf/original_pdf_file/what_is_coal(01_06_2009))
- BGS. (2012). *British Geological Survey: Geothermal Energy*. (D. J. Busby, Επιμελητής) Ανάκτηση February 24, 2012, από Natural Environment Research Council: [http://www.bgs.ac.uk/research/energy/energy\\_geothermal.html](http://www.bgs.ac.uk/research/energy/energy_geothermal.html)
- BP. (2001). *Shell international's exploring the energy: Scenarios ro 2050*. BP Statistical Review of World Energy.
- BP. (2003). *Statistical Review of World Energy*. BP.
- Brundland, H. (1987). *Το κοινό μας Μέλλον*. (Ο.Η.Ε, Επιμ.) Παγκόσμια Επιτροπή για το Περιβάλλον.
- Caballero, Bragulat, & Sala. (2006). Weibull parameters distribution fitting in the surface wind layer. *IAMG'06* .
- Carson. (1962). *Silent Spring*. New York: Houghton Mifflin.
- Chiras. (2010). *Wind Power Basics: A green Energy Guide*. Canada: New Society Publishers.
- Corine land cover 2000 (CLC2000) seamless vector database. (2012). *Code for Corine land cover*. (EEA Web Team) Ανάκτηση Απρίλιος 6, 2012, από European Environment Agency: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2000-clc2000-seamless-vector-database>
- Department of Climate Change. (2008, July). *CEC Green paper on Adapting to Climate Change in Europe - Options for EU Action*. (C. a. Relations, Επιμ.) Ανάκτηση February 22, 2012, από European Commission: <http://www.climatechange.gov.au/~media/publications/green-paper/greenpaper.ashx>
- Drum, T. o. (2010, April 18). *The formation of Coal and its forms*. Ανάκτηση December 27, 2011, από The Oil Drum: Discussions about Energy and our Future: <http://www.theoil drum.com/>

EIA. (2010, August). *Independent Statistics & Analysis*. Ανάκτηση December 30, 2011, από U.S. Energy Information Administration: <http://www.eia.gov/>

EIA. (1978). *Nuclear Explained*. Ανάκτηση December 30, 2011, από U.S. Energy Information Administration - Independent Statistics & Analysis: [http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=nuclear\\_home](http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=nuclear_home)

ENS. (2009, January). Ανάκτηση December 30, 2011, από European Nuclear Society: <http://www.euronuclear.com>

EPA. (2011, November 29). *Climate Change - Science*. Ανάκτηση February 5, 2012, από U.S. Environmental Protection Agency: <http://www.epa.gov/climatechange/science/>

European Commission. (2011). *Europe 2020 - Strategy*. European Commission.

Gipe. (1995). *Wind Energy Comes of Age*. New York: Willey & Sons.

Hiester, & Pennell. (1981). *The Meteorological Aspects of Siting Large Wind Turbines*. (NTIS, Επιμ.) Pacific Northwest Laboratories Report.

Hills. (1994). *Power from Wind*. Cambridge University Press .

Hodkinson et al. (2001). *Climate Change, Ecology and Systematics*. U.K: Cambridge.

Hubbert. K, M. (1956). *Nuclear Energy and the Fossil Fuels*. American Petroleum Institute.

Hyde, E. K. (1964). *The nuclear properties of the heavy elements*. New York: Englewood Cliffs Prentice - Hall.

IEA. (2011). *Natural Gas Information 2011 with 2010 data - Report*. International Energy Agency Statistics Publication.

IEA. (2010). *Report: Medium-Term Oil & Gas Markets 2010*. Ανάκτηση January 28, 2011, από International Energy Agency: <http://www.iea.org/papers/2011/mtogm2010.pdf>

Institute of Marine and Coastal Science. (1998, April 23). *Institute of Marine and Coastal Science - Earth Radiation Budget*. (S. ο. Science, Επιμελητής, & NASA, Παραγωγός) Ανάκτηση February 22, 2012, από Rutgers: School of Environmental and Biological Science: <http://marine.rutgers.edu/mrs/education/class/yuri/srb.gif>

IPCC. (2007, April). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (5 Volumes)*. Ανάκτηση February 5, 2012, από Task force on National Greenhouse Gas Inventories: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/index.html>

IPCC. (2012). *Special Report of Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Ανάκτηση December 31, 2011, από Intergovernmental Panel on Climate Change : [http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC\\_SRREN\\_Full\\_Report.pdf](http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_Full_Report.pdf)

IPCC. (2002). *The greenhouse effect and climate change*. Intergovernmental Panel on Climate Change.

- Jamil. (1994). *Wind Power Statistics and Evaluation of Wind Energy Density* (Τόμ. 18). Wind Enginnering.
- John, E. D. (2001). *Twenty First Century: Transition from Fossil Fuels to Renewable, non-Polluting Energy Sources*. Washington: US Energy Policy.
- Kaufman, Y., & al, e. (2002). *A satellite view of aerosols in the climate system*.
- Kentucky, U. o. (1997). *Classification and Rank of Coal*. Ανάκτηση January 27, 2011, από Kentucky Geological Survey: <http://www.uky.edu/KGS/>
- Manwell, McGowan, & Rogers. (2009). *Wind Energy Explained - Theory, Design and Application*. Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd.
- Markvart, T. (2000). *Solar Electricity* (Second εκδ.). England: John Wiley & Sons.
- Mason, J. (1995). *Predictions of climate changes caused by man-made emissions of greenhouse gases: A critical assessment*.
- Meadows, Randers, & Behrens. (1972). *The Limits to Growth*. New York: Universe Books.
- Meopham, & Kent. (2012). *Wind mills: Turning in the Wind - Meopham Green, Kent 1820*. Ανάκτηση από Weather and Life: <http://www.islandnet.com/~see/weather/graphics/photos0910/meophamgreen.jpg>
- National Geographic. (1996). *Air pollution*. Ανάκτηση January 3, 2011, από National Geographic: Environment: <http://environment.nationalgeographic.com/environment/global-warming/pollution-overview/>
- Natural Gas. (2004). *Overview of Natural Gas*. Ανάκτηση January 28, 2011, από Natural Gas: <http://www.naturalgas.org>
- Nelson. (2004). *Applied Life Data Analysis*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons: Interscience Series in Probability and Statistics.
- News, A. E. (2012). *News and Information about Solar Energy Technologies*. Ανάκτηση February 24, 2012, από Alternative Energy News and Information Resources About Renewable Energy Technologies: <http://www.alternative-energy-news.info/technology/solar-power/>
- Nuclear fission. (1998). *Atomic Archive*. Ανάκτηση December 30, 2011, από Nuclear fission: <http://www.atomicarchive.com/Fission/Images/fission.jpg>
- Opera Chic. (2007, May 8). *Nabucco*. Ανάκτηση January 28, 2011, από Opera Chic Milano: [http://operachic.typepad.com/opera\\_chic/2007/05/nabucco\\_is\\_a\\_ga.html](http://operachic.typepad.com/opera_chic/2007/05/nabucco_is_a_ga.html)
- Oracle Education Foundation. (2011). *Air Pollution*. (O. E. Foundation, Επιμελητής, & O. E. Foundation, Παραγωγός) Ανάκτηση January 3, 2012, από The Enviroment: A Global Challenge: [http://library.thinkquest.org/26026/Environmental\\_Problems/air\\_pollution.html](http://library.thinkquest.org/26026/Environmental_Problems/air_pollution.html)

- Pashardes, & Christofides. (1995). Statistical Analysis of Wind Speed and Direction in Cyprus. (S. Energy, Επιμ.) S. Pashardes and C. Christofides , 55 (5).
- Peter, & Brimblecombe. (1994). *Environmental Encyclopedia : Air Pollution*. Gale Research International Limited.
- Pidwirny. (2009, Γενάρης). *Understanding Physical Geography: Part 3: Chapter 7: Atmospheric Pressure and Wind*. Ανάκτηση Απρίλιος 1, 2012, από Physical Geography.net:  
<http://www.physicalgeography.net/>
- Power-Talk.Net. (2010). *Jacobs Wind Turbine By WTIC*. Ανάκτηση Μάρτιος 28, 2012, από Power Talk-Net: <http://www.power-talk.net/images/jacobs-wind-turbine-features-2.jpg>
- Renewable Energy World. (2012). *Types of Renewable Energy: Geothermal Energy*. Ανάκτηση February 24, 2012, από Renewable Energy World:  
<http://www.renewableenergyworld.com/rea/tech/home>
- REW. (2012). *Renewable Energy World: Types of Renewable Energy - Ocean Energy*. (Renewable Energy World) Ανάκτηση February 28, 2012, από Renewable Energy World:  
<http://www.renewableenergyworld.com/rea/tech/hydropower>
- Rohatgi, & Nelson. (1994). *Wind Characteristics: An Analysis for the Generation of Wind Power* (TX εκδ.). Canyon: Alternative Energy Institute.
- Salameh, M. G. (2001). Anatomy of an Impending Third Oil Crisis. *IAEE* (σσ. 25-27). Houston: International Conference.
- Seyit, & Dinler. (2009). A new method to estimate Weibull parameters for Wind Energy Applications. *Energy Conversion and Management* (50), 1761-1766.
- Shamshad, Hussin, Bawardi, & Sanussi. (n.d.). Analysis of Wind Speed Variations and Estimation of Weibull Parameters for Wind Power Generation in Malaysia. (S. o. Campus, Επιμ.) *Analysis of Wind Speed Variations and Estimation of Weibull Parameters* .
- Sheffield, J. (2002). Future World Energy Needs and Resources. Στο J. Sheffield, & B. e.t.c (Επιμ.), *Energy: Science, Policy, and the Pursuit of Sustainability*. Island Press.
- Shreiber, W. (2007, May). *MIT Faculty Newsletter*. Ανάκτηση December 31, 2011, από Massachusetts Institute of Technology: <http://web.mit.edu/fnl/volume/196/schreiber.html>
- Tasker. (2012). *History - Early Vertical Shaft Persian Windmill*. ( Western Power's World of Energy) Ανάκτηση Μάρτιος 28, 2012, από Wind Power:  
<http://people.bath.ac.uk/ft212/Website/persian%20windmill.gif>
- The High School of Art & Design. (2008). *Nuclear Energy: Benefits and Risks*. Art & Design. The High School of Art & Design.
- Troen, & Petersen. (1989). *European Wind Atlas*. Brussels, Belgium: Commission of the European Communities Directorate-General for Science, Research and Development Brussels, Belgium.

Ulgen, & Hepbasli. (2002). Determination of Weibull parameters for Wind Energy Analysis of Izmir. *K.Ulgen and A.Hepbasli* (26), 495-506.

UN. (1997, May 23). *Earth Summit - UN Conference on Environment and Development*. (UN, Επιμελητής, & UNCED secretariat) Ανάκτηση February 13, 2012, από United Nations: <http://www.un.org/geninfo/bp/enviro.html>

UNEP. (2000). *The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*. Ανάκτηση February 13, 2012, από United Nations Environment Programme: <http://www.unep.org/ozone/pdf/Montreal-Protocol2000.pdf>

Vowles. (1932). *Early Evolution of Power Engineering*.

Walker, & Jenkins. (2007). *Αιολική Ενέργεια και Ανεμογεννήτριες*. (Βελαώρας, Επιμ., & Μακρής, Μεταφρ.) Manchester, UK: Εκδόσεις ΙΩΝ.

Wegley, Ramsdell, Orgill, & Drake. (1980). *A Siting Handbook for Small Wind Energy Conversion Systems* (Τόμ. Rev 1). NTIS: Battelle Pacific Northwest Lab.

Wieringa. (1973). *Gust factors over open water and build up country: Boundary Layer Meteorology* (Τόμ. 3).

woodcroft. (1851). *Translation from the Greek of The Pneumatics of Hero of Alexandria*. London: Taylor Walton and Maberly.

World Maps. (2010). *World Map:Natural Gas Map*. Ανάκτηση January 28, 2011, από Maps: [http://mapas.owje.com/maps/7163\\_natural-gas-pipelines-to-europe-from-russia-2005.html](http://mapas.owje.com/maps/7163_natural-gas-pipelines-to-europe-from-russia-2005.html)

Yilmaz, & Celik. (2008). A Statistical Approach to Estimate the Wind Speed Distribution: The Case of Gelibolu Region. (E. O. University, Επιμ.) *A Statistical Approach to Estimate the Wind Speed Distribution*, 122-132.

Αναδιάδου. Τ, Μ et al. (2009). *Κλιματική Αλλαγή, βιώσιμη ανάπτυξη και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*. Θεσσαλονίκη, Ελλάδα: Ζήτη.

Βεργάκη, & Βασιλειάδης. (2005). *Τεχνοοικονομική Μελέτη Θαλάσσιου Αιολικού Πάρκου 20MW στην Θέση Μοχλός Δήμου Σητείας Νομού Λασιθίου*. Τ.Ε.Ι Κρήτης, Τμήμα Π.Σ.Ε - Ενεργειακή και Περιβαλλοντική Τεχνολογία. Ηράκλειο - Κρήτης: Τ.Ε.Ι Κρήτης.

Γεωργίου. (2008). *Πτυχιακή Εργασία: Χωροθέτηση Αιολικού Πάρκου στην Επαρχία Λάρνακας της Κύπρου, με την χρήση Σ.Γ.Π.* Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος. Μυτιλήνη: Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Δίας Χαραλαμπίδης.

Γούτσος, Α. (2007). Η πυρηνική Ενέργεια στον 21ο αιώνα. *Energy Point*.

ΕΚΠΚ. (2011). *Μορφές Ενέργειας*. Ανάκτηση December 29, 2011, από Ενεργειακό Κέντρο Περιφέρειας Κρήτης: <http://www.crete-region.gr/greek/energy/feedu/reac7.html>



Επιστημονική Μετεωρολογία. (2012). *Επιστημονική Μετεωρολογία*. Ανάκτηση από Meteoalex: <http://meteoalex.weebly.com/>

Εργαστήριο Ενέργειας. (2006). *Βασικά Στοιχεία Ενέργειας*. Ανάκτηση December 29, 2011, από Εργαστήριο Ενέργειας: <http://www.energolab.gr>

IEA. (2007, April 16). *iea*. Ανάκτηση January 27, 2011, από International Energy Agency Web Site: <http://www.iea.org/>

IEK. (2000). *Ίδρυμα Ενέργειας Κύπρου*. Ανάκτηση January 28, 2011, από Υπουργείο Εμπορίου Βιομηχανίας και Τουρισμού, Υπηρεσία Ενέργειας: <http://www.cie.org.cy/>

ΙΤΕΣΚ. (1999). *Περιβάλλον & Διαχείριση Ενέργειας*. (ΙΤΕΣΚ, Επιμελητής) Ανάκτηση Δεκέμβριος 27, 2011, από Ινστιτούτο Τεχνολογίας & Εφαρμογών Στερεών Καυσίμων - Εθνικό Κέντρο Έρευνας & Τεχνολογικής Ανάπτυξης: <http://www.allaboutenergy.gr/>

Κανελλόπουλος, Δ. Β. (2008). *Αιολική Ενέργεια: Σχεδιάζοντας στις Αυλές των Ανέμων*. Αθήνα: ΙΟΝ.

ΚΑΠΕΕ - Report Εισαγωγών Πετρελαίου. (1987). *Καθαρές Εισαγωγές Πετρελαίου ως προς το ΑΕΠ*. Ανάκτηση December 29, 2011, από Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας: <http://www.cres.gr/kape/pdf/datainfo/indicators1.pdf>

ΚΑΠΕΕ. (1987). *Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας*. Ανάκτηση December 29, 2011, από CRES: <http://www.cres.gr/>

Λειβαδά Η, Λ. (2000). *Ήπιες Πηγές Ενέργειας*. Αθήνα: Πανεπιστήμιο Αθηνών - Τμήμα Φυσικών Επιστημών.

Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου. (2003, Οκτώμβριος). *Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου: Τομέας Υποστήριξης και Μηχανογράφησης - Δίκτυο Σταθμών*. Ανάκτηση Απρίλιος 5, 2012, από Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος: [www.moa.gov.cy/ms](http://www.moa.gov.cy/ms)

Μπαλτάς. (2006). *Εφαρμοσμένη Μετεωρολογία*. Αθήνα: Εκδόσεις Ζήτη.

Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. (2012). *Εφαρμογές Στατιστικής στην Excel*. Ανάκτηση Απρίλιος 8, 2012, από Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών: <http://www.aueb.gr/users/tsionas/excel.pdf>

Περιβαλλοντική. (2009). *Περιβαλλοντική*. Ανάκτηση January 27, 2011, από Περιβαλλοντική WordPress: <http://periballontikh.wordpress.com/>

ΤΠΕΔΜ. (2012). *Technology Watch - Τεχνολογίες: Ενέργεια Ωκεανών*. (Τ. Π. Μακεδονίας, Επιμελητής) Ανάκτηση Φεβρουάριος 28, 2012, από Τεχνολογικό Παρατηρητήριο Ενέργειας Δυτικής Μακεδονίας: <http://tw.innopolos-wm.eu/>

Τριανταφυλλίδης. (2009). *Τεχνοοικονομική Μελέτη Αιολικού Πάρκου*. Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Ηλεκτρολογίας. Χαλκίδα: Α.Τ.Ε.Ι.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

### 1. Μη Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

#### Γαιάνθρακες:

Η αναζήτηση αποθεμάτων για αποκατάσταση του ενεργειακού προβλήματος, οδήγησε σε παρότρυνση χρήσης οργανικών ορυκτών πλούτων, μη βασισμένα στο πετρέλαιο. Έτσι σαν κυρίαρχο καύσιμο του μέλλοντος, θεωρείται ο γαιάνθρακας, σαν προσωρινός αντικαταστάτης σε κάποιο βαθμό του πετρελαίου, μέχρι την εύρεση άλλων μορφών για πλήρη αντικατάσταση του.

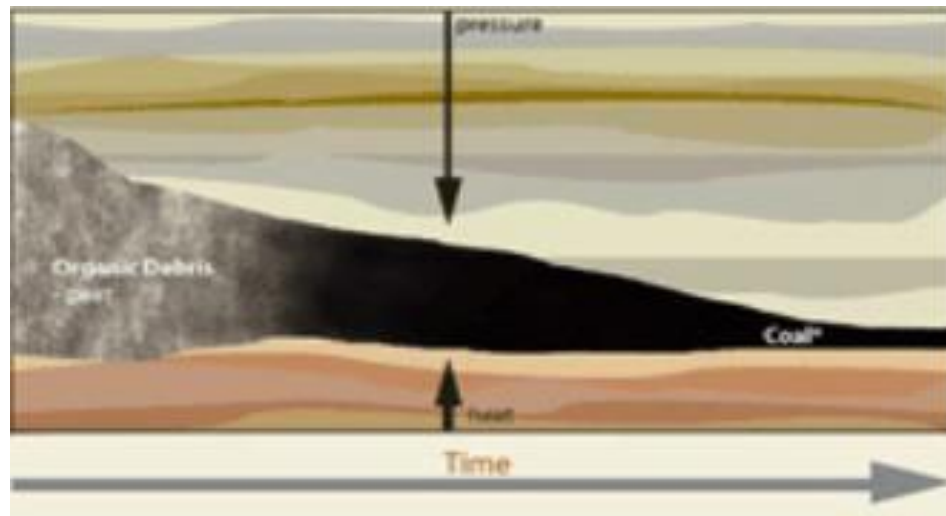


**Εικόνα 46 Ανθρακίτης. Πηγή (Περιβαλλοντική, 2009)**

Οι γαιάνθρακες (Association, Document of The Coal Resource: A Comprehensive Overview of Coal, 2009), όπως ονομάζονται (γαία = γη και άνθρακας = κάρβουνο) είναι οι ορυκτοί άνθρακες που βρίσκονται στο υπέδαφος (βλέπε Εικόνα 47). Αποτελούν τα οργανικά ιζήματα που προήλθαν από φυτικά υπολείμματα μέσω μιας σειράς διεργασιών ενανθράκωσης (σεισμούς, διάχυση μάγματος, καθιζήσεις, κατακρημνίσεις και καθιζήσεις εδαφών). Η μετατροπή των φυτικών κατακαθίσεων σε πρωταρχικό στάδιο σε τύρφη και σε τελικό στάδιο στον ανθρακίτη, αποτελεί μια ταυτόχρονη χρονοβόρα διαδικασία υψηλών θερμοκρασιών και μεγάλων πιέσεων (Association, Coal and Coal mining, 2011).

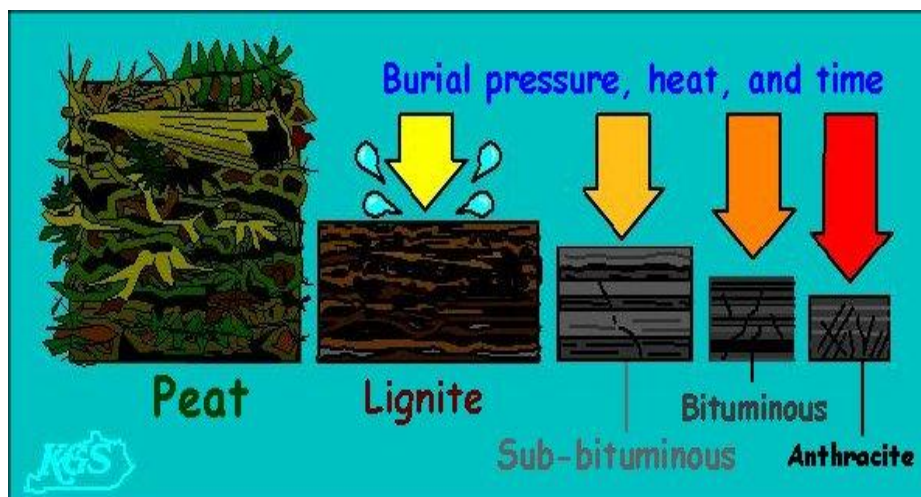
Αρχικά, η διαδικασία μετατροπής των φυτικών υπολειμμάτων σε γαιάνθρακα ξεκίνησε πριν από 400 χρόνια (βλέπε Εικόνα 48) και συνεχίζεται μέχρι σήμερα (IEA, 2007).

Σύμφωνα με την εκτίμηση των ειδικών επιστημόνων (ΙΤΕΣΚ, 1999) απαιτείται στρώμα 2,5 m φυτικής ύλης για τη δημιουργία άνθρακα στρώματος 30cm.



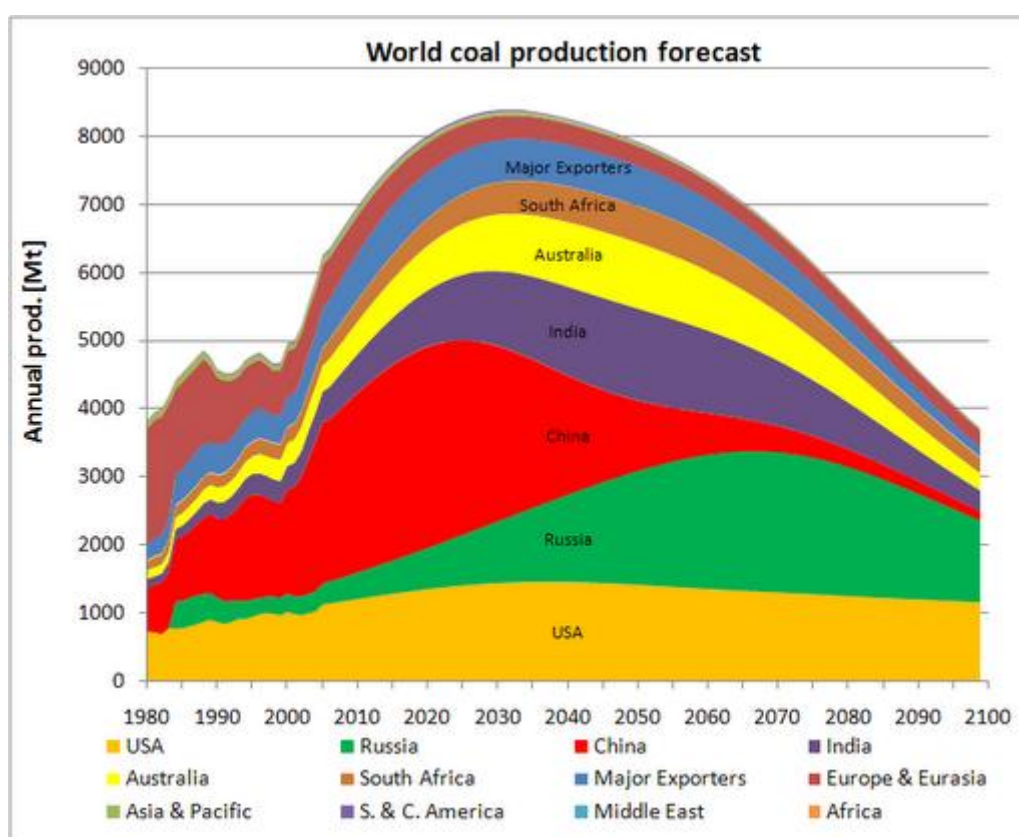
**Εικόνα 47 Διαδικασία Ανθρακοποίησης της φυτικής ύλης σε μεγάλο χρονικό διάστημα κάτω από υψηλές θερμοκρασίες και πίεση. Πηγή (ΙΤΕΣΚ, 1999).**

Οι γαιάνθρακες αναλόγως της πίεσεως και της θερμότητας που τους εξασκήθηκε στην πάροδο των χρόνων, αλλά και την χημική ανάλυση της οργανικής ύλης, ποικίλουν. Διαφοροποιούνται μεταξύ τους στην υφή τους, και διακρίνονται ως προς τον βαθμό ανθρακοποίησης τους σε τύρφη, λιγνίτη, υποπυρσούχους άνθρακες ή μαλακό κάρβουνο, και τέλος τον ανθρακίτη (βλέπε Εικόνα 49).



**Εικόνα 48 Αναλόγως του βαθμού ανθρακοποίησης της φυτικής ύλης κάτω από υψηλές θερμοκρασίες και πίεση διαμέσου των ετών προκύπτουν οι διάφοροι τύποι άνθρακα. Πηγή (Kentucky, 1997).**

Όμως, η χρήση μιας τέτοιας μορφής ενέργειας η οποία είναι σχετικά φθηνή αλλά όχι ανεξάντλητη, αποτελεί σοβαρό πρόβλημα (βλέπε Εικόνα 50) τόσο στην συνεχή παραγωγή στερεών αποβλήτων που μπορεί να είναι και ραδιενεργά εάν το κοίτασμα περιέχει ραδιενεργά ιχνοστοιχεία, αλλά κυρίως ελευθερώνουν τεράστιες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα κατά την καύση τους που τονώνουν περισσότερο το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αφού ευθύνονται για το 25% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Περιβαλλοντική, 2009). Επίσης τα οξείδια του θείου και του αζώτου συμβάλουν στην δημιουργία της όξινης βροχής, με αποτέλεσμα η όξινη βροχή με την σειρά της να καταστρέφει την βιοποικιλότητα. Έτσι, όλα τα παραπάνω προβλήματα καθιστούν την χρήση των γαιανθράκων μη φιλική προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο.



Εικόνα 49 Η παραγωγή άνθρακα ανά τον κόσμο, και αναπόφευκτη μείωση τους στο μέλλον λόγω εξάντλησης των αποθεμάτων. Πηγή (Drum, 2010)

### Φυσικό Αέριο:

Το φυσικό αέριο αποτελεί μείγμα υδρογονανθράκων. Αποτελείται κατά 85 – 98% από μεθάνιο και σε μικρότερο βαθμό από αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο και πεντάνιο. Καθοριστικός παράγοντας για την σύστασή του, είναι η προέλευσή του. Δηλαδή, εάν

προέρχεται καθαρά από κοιτάσματα φυσικού αερίου ή προκύπτει από κοιτάσματα πετρελαίου.

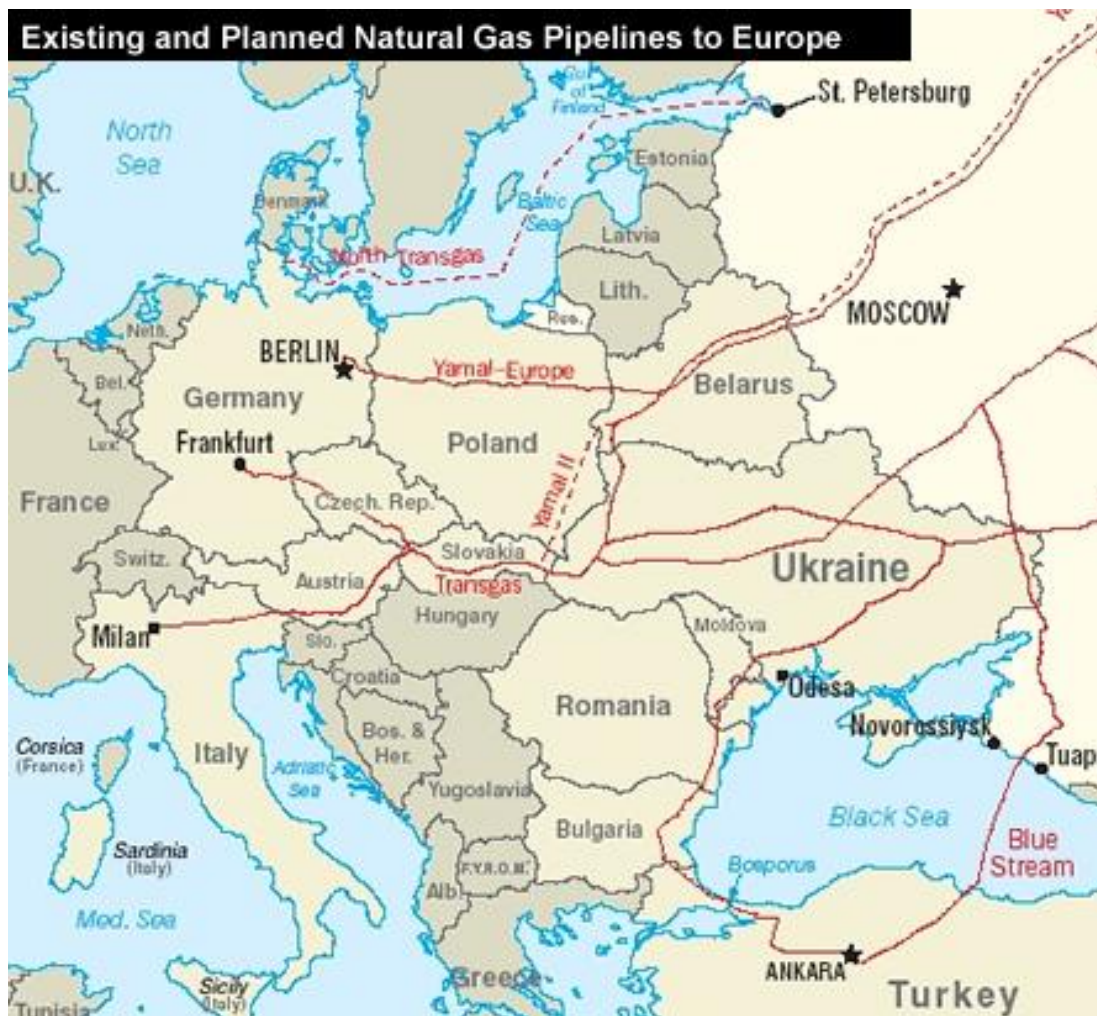
Καθοριστικός παράγοντας για την σύσταση του, είναι η προέλευσή του. Δηλαδή εάν προέρχεται καθαρά από κοιτάσματα φυσικού αερίου ή αν προκύπτει από κοιτάσματα πετρελαίου, όπου το φυσικό αέριο βρίσκεται πάνω από αυτό (ΙΕΚ, 2000).



**Εικόνα 50** Αγωγός Nabucco όπως ονομάζεται για την μεταφορά φυσικού αερίου. Πηγή (Opera Chic, 2007).

Η δημιουργία του προέρχεται από νεκρούς οργανισμούς ή φυτική ύλη, συμπιεσμένα κάτω από το υπέδαφος, σε υπόγειες κοιλότητες. Το φυσικό αέριο συλλέγεται και στέλνεται προς επεξεργασία και καθαρισμό (IEA, 2011). Ακολούθως, αποθηκεύεται σε ειδικές κρυογενείς εγκαταστάσεις (ψύξη στους  $-159^{\circ}\text{C}$ ) με σκοπό να διατηρείται υγροποιημένο και να καταλαμβάνει 600 φορές λιγότερο όγκο, από την αέρια του μορφή. Η μεταφορά του φυσικού αερίου είναι ανάλογη της κατάστασης του. Σε αέρια κατάσταση μεταφέρεται με αγωγούς υπό υψηλή πίεση (βλέπε Εικόνα 51), ενώ σε υγρή κατάσταση μεταφέρεται με ειδικά διαμορφωμένα δεξαμενόπλοια. Τα πλεονεκτήματα όμως των μεγάλων αγωγών υψηλής πίεσης καθιστά δυνατή την μεταφορά του αερίου εύκολα σε πάρα πολλές χώρες (IEA, 2010) (βλέπε Εικόνα 52).





**Εικόνα 51 Η διανομή Φυσικού Αερίου στην Ευρώπη από την Ρωσία κατά το έτος 2005. Πηγή (World Maps, 2010).**

Εν σχέση, με τα άλλα συμβατικά καύσιμα, το φυσικό αέριο πλεονεκτεί, καθώς προκαλεί μικρότερη ρύπανση στο περιβάλλον και καλύτερη αποδοτικότητα. Επίσης, έχει εύκολη χρήση, αλλά κυρίως είναι οικονομικότερο έναντι των άλλων μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Έτσι, το γεγονός αυτό, καθιστά το φυσικό αέριο μια περισσότερο καθαρή και αποδοτική πηγή ενέργειας, σε σχέση με το πετρέλαιο. Όμως, αυτό, δεν το καθιστά και καθαρό – ακίνδυνο, αλλά και ούτε ανεξάντλητο, καθώς η διάρκεια εκμετάλλευσης του φυσικού αερίου είναι τουλάχιστον 50 – 60 χρόνια (ΙΤΕΣΚ, 1999).

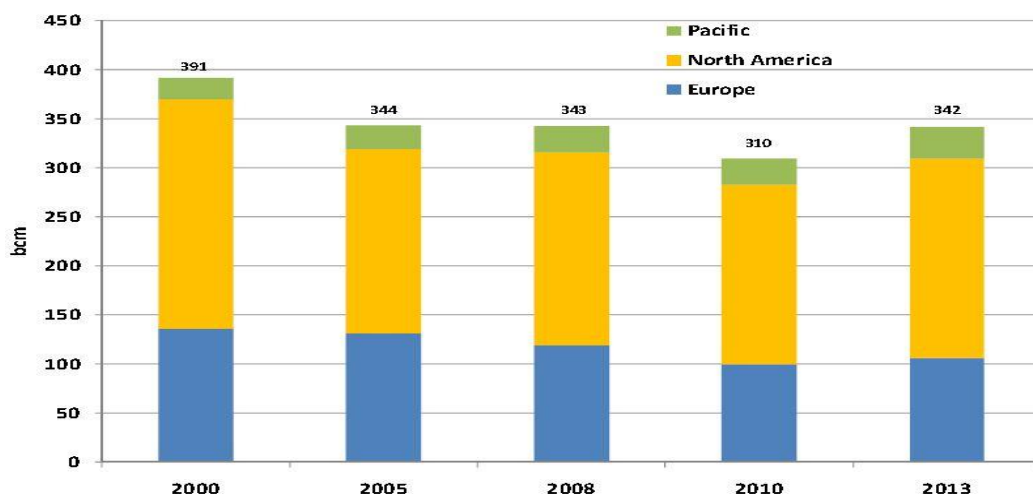
Οι χρήσεις του φυσικού αερίου αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου (βλέπε Εικόνα 53 και 54). Όπως χαρακτηρίζεται, είναι το καύσιμο του 21<sup>ου</sup> αιώνα, καθώς αποτελεί βασική πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και παραγωγής υδρογόνου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε οχήματα. Καθώς επίσης χρησιμοποιείται κατά κόρον στην Ευρώπη για οικιακή χρήση, κυρίως για μαγείρεμα και θέρμανση. Επιπλέον, άλλες χρήσεις

του το βρίσκουν σαν αναγκαίο καύσιμο για την παραγωγή γυαλιού, υφασμάτων, χάλυβα, πλαστικών, ειδών χρωματισμού και άλλων προϊόντων (Περιβαλλοντική, 2009).

	2008	2009		2008	2009
Australia	31.8	31.0	Korea	35.8	34.0
Austria	8.7	8.8	Luxembourg	1.3	1.3
Belgium	17.5	17.2	Mexico	60.3	60.9
Canada	95.1	92.7	Netherlands	48.5	48.8
Czech Republic	8.7	8.2	New Zealand	4.2	4.2
Denmark	4.6	4.4	Norway	5.8	6.0
Finland	4.7	4.3	Poland	16.3	16.4
France	46.1	44.5	Portugal	4.7	4.8
Germany	98.0	92.6	Slovakia	6.3	6.1
Greece	4.2	3.5	Spain	38.2	33.9
Hungary	13.1	11.3	Sweden	0.9	1.2
Iceland	0	0	Switzerland	3.4	3.3
Ireland	5.2	5.0	Turkey	36.6	35.1
Italy	84.9	78.1	United Kingdom	99.0	90.8
Japan	103.5	100.1	United States	657.8	646.6

**Εικόνα 52 Η ζήτηση Φυσικού αερίου παγκόσμια για τα έτη 2008 και 2009. Πηγή (IEA, 2010).**

Πάρα πολλές χώρες έχουν φυσικό αέριο και ποικίλουν, όσο αφορά την διάθεση του φυσικού αερίου στην αγορά. Περίπου 60% των αποθεμάτων του παγκόσμιου συνολικού φυσικού αερίου βρίσκονται στην Ρωσία, το Ιράν και το Κατάρ. Το 2006, η Ρωσία ήταν ο παγκοσμίως μεγαλύτερος παραγωγός φυσικού αερίου με ποσοστό 21%. Οι Ηνωμένες Πολιτείες αποτελούν την δεύτερη μεγαλύτερη χώρα παραγωγό, που όμως καταναλώνει το μεγαλύτερο ποσοστό αυτού. Ο Καναδάς αποτελεί το 6% της συνολικής παραγωγής (Natural Gas, 2004).

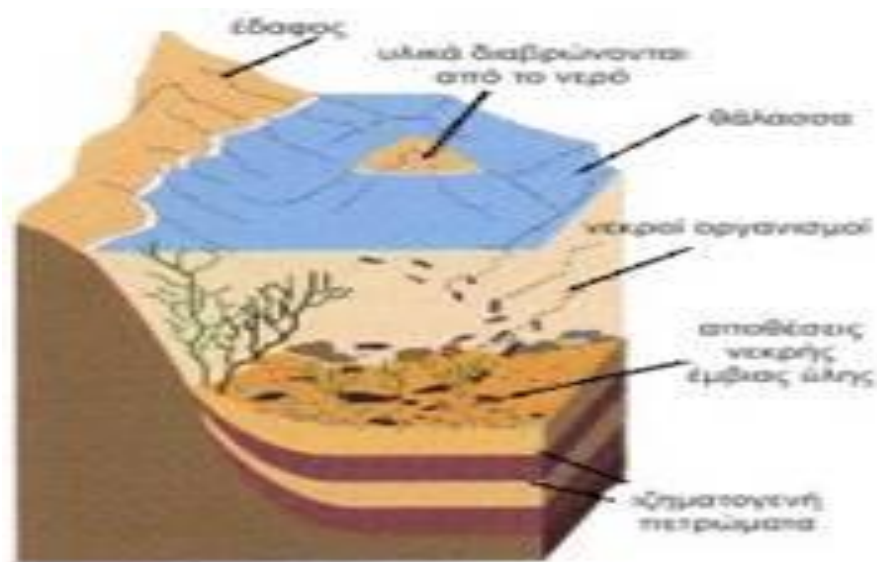


**Εικόνα 53 Η Παγκόσμια βιομηχανική κατανάλωση φυσικού αερίου. Πηγή (IEA, 2010).**

## Πετρέλαιο:

Ο σημαντικότερος πόρος ενέργειας που επικρατεί σήμερα τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο, αλλά και για την Κύπρο, είναι το πετρέλαιο. Το πετρέλαιο αποτελεί πρωτογενή πηγή ενέργειας, αλλά και την πρώτη ύλη για την παραγωγή τεράστιου αριθμού προϊόντων (πλαστικά, φάρμακα, καλλυντικά, απορρυπαντικά, μαγνητοταινίες, εκρηκτικά και ασφαλτικά υλικά) (ΙΤΕΣΚ, 1999).

Βρίσκονται στο υπέδαφος σε υγρή μορφή, μέσα σε κοιλότητες (ΕΚΠΚ, 2011). Σχηματίστηκε μέσα από διάρκεια εκατομμυρίων ετών, από υπολείμματα φυτικών και ζωικών οργανισμών, τα οποία κατακάθονταν στον πυθμένα των θαλασσών (βλέπε Εικόνα 55). Έτσι δημιουργήθηκαν πολυάριθμοι υδρογονάνθρακες, που περιέχουν χημικές ενώσεις οξυγονούχων, αζωτούχων και θειούχων προϊόντων.

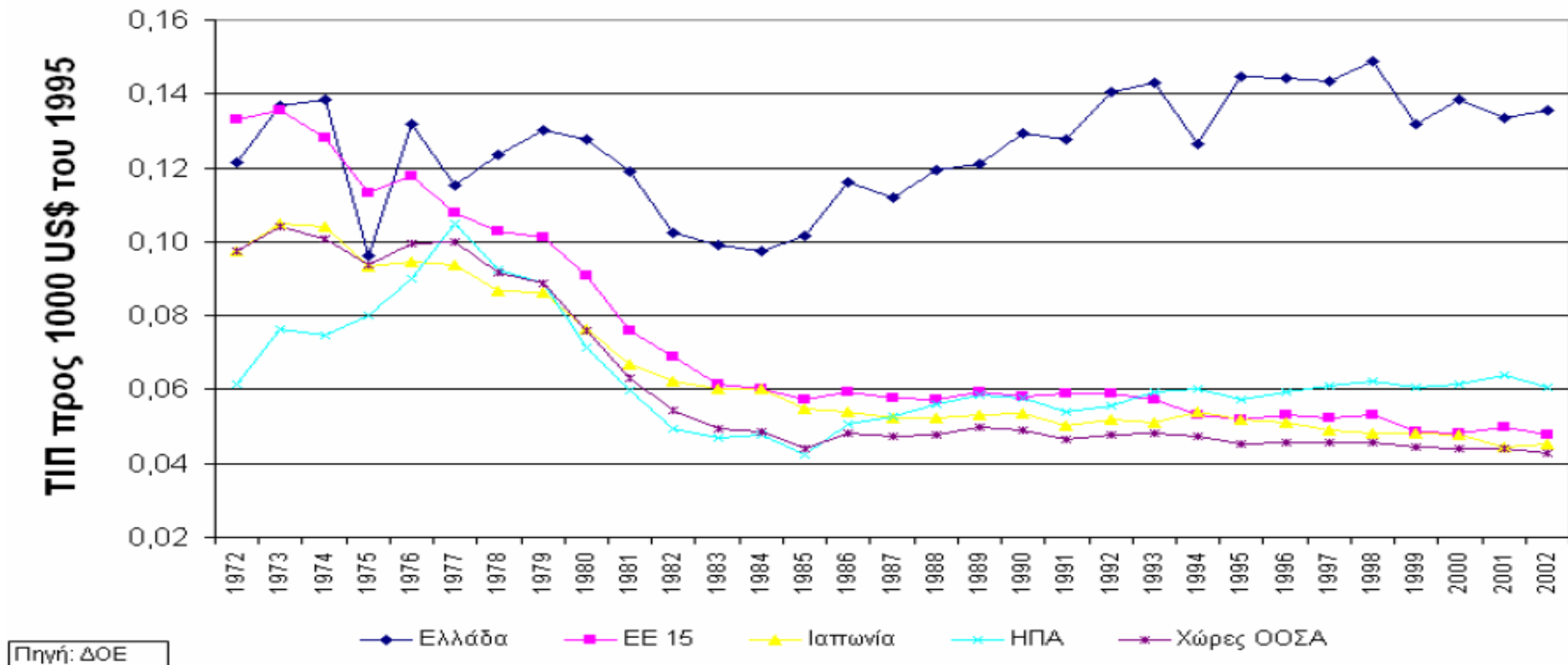


**Εικόνα 54** Χαρακτηριστική απεικόνιση του τρόπου δημιουργίας των υδρογονανθράκων. Πηγή (ΙΕΚ, 2000).

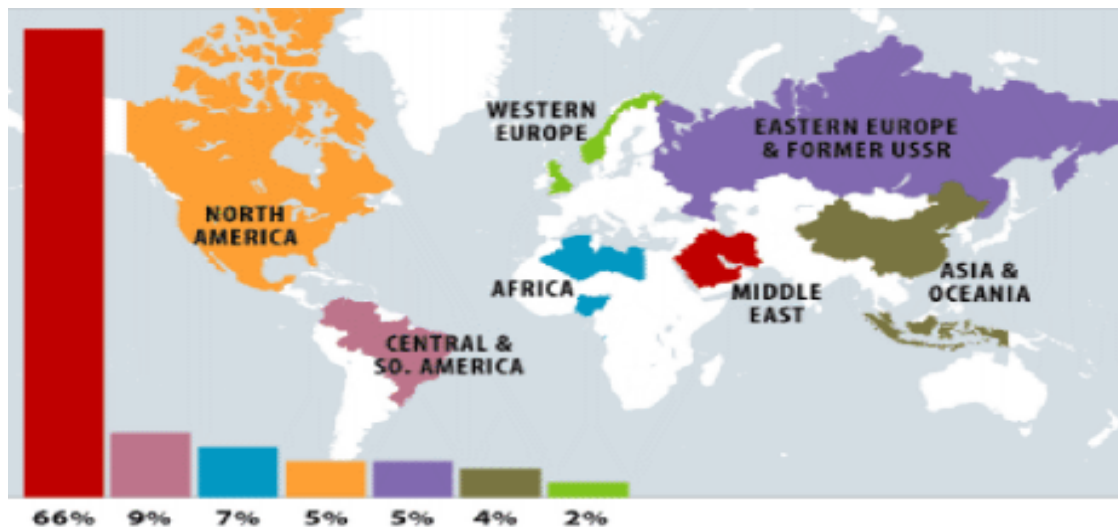
Όπως και τα άλλα συμβατικά καύσιμα, όταν καίγεται το πετρέλαιο ελευθερώνει τόσο μεγάλη ποσότητα θερμότητας (ΚΑΠΕΕ, 1987). Εντούτοις, όμως, κατά την καύση, εκπέμπονται και βλαβερά αέρια για το περιβάλλον, όπως είναι η αιθάλη, το διοξείδιο του άνθρακα και άλλα οξείδια (Εργαστήριο Ενέργειας, 2006). Εντούτοις όμως παραμένει στο παρασκήνιο των καταναλώσιμων πηγών ενέργειας εδώ και πολλά χρόνια. Σήμερα σχεδόν το 80% της ενέργειας προέρχεται από το πετρέλαιο (ΙΕΚ, 2000) (βλέπε Εικόνα 56).



## Καθαρές Εισαγωγές Πετρελαίου προς ΑΕΠ

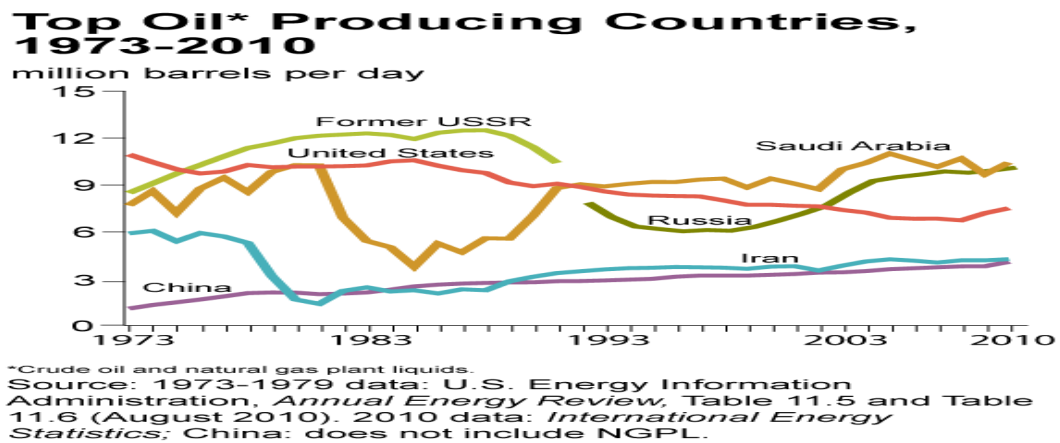


Εικόνα 55 Καθαρές Εισαγωγές Πετρελαίου προς ΑΕΠ. Πηγή (ΚΑΠΕΕ - Report Εισαγωγών Πετρελαίου, 1987)



Εικόνα 56 Αποθέματα πετρελαίου κατά το έτος 2006. Πηγή (ΙΤΕΣΚ, 1999).

Η ζήτηση του πετρελαίου αναμένεται να αυξηθεί τα επόμενα χρόνια (βλέπε Εικόνα 57). Η μέγιστη παραγωγή πετρελαίου που έχει καταγραφεί στον πλανήτη, έλαβε χώρα το 2006 όταν αντλήθηκαν κατά μέσο όρο 86,13 εκατομμύρια βαρέλια ανά μέρα. Το Ιούνιο του 2007 το αντίστοιχο νούμερο ήταν 84,28 εκατομμύρια. Εντούτοις, οι ειδικοί εκτιμούν ότι η παραγωγή μέχρι το 2013, θα παραμείνει σταθερή. Μετά όμως θα αρχίσει σταδιακά να μειώνεται (IEA, 2007).



Εικόνα 57 Οι μεγαλύτερες χώρες παραγωγί από το 1973 έως το 2010, και η παραγωγή τους σε εκατομμύρια βαρέλια την μέρα. Πηγή (ΕΙΑ, 2010).

Καταληκτικά, αναμένεται ότι τα επόμενα χρόνια θα υπάρξει λιγότερο πετρέλαιο (βλέπε Εικόνα 58), όπου αυτό θα καθιστά όλο και κάθε χρόνο ενεργειακά πιο κρίσιμο από το προηγούμενο. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκτιμά ότι ως το 2030 τα 27 κράτη της Ε.Ε θα πρέπει να εισάγουν το 93% του πετρελαίου που χρειάζονται. Επιπρόσθετα, φαίνεται ότι οι

υπάρχοντες πόροι πετρελαιοειδών, δεν μπορούν να καλύψουν τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες σε ενέργεια (IEA, 2007).

### Πυρηνική Ενέργεια:

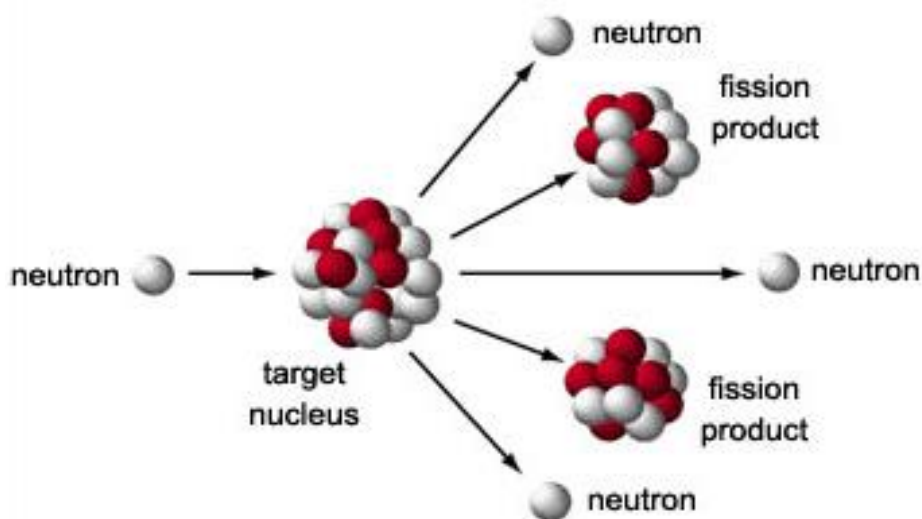
Οι συνεχείς αυξημένες ενεργειακές ανάγκες σε παγκόσμιο επίπεδο, αλλά συνάμα και ο κίνδυνος εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων και η ρύπανση που προκαλείται από την εξόρυξη, την επεξεργασία και την καύση τους, και τέλος η συνεχής άνοδος των τιμών του πετρελαίου είχαν ως συνέπεια την αναθέρμανση του ενδιαφέροντος για την πυρηνική ενέργεια (Γούτσος, Α, 2007) (βλέπε Εικόνα 59).



Εικόνα 58 Πυρηνικά Εργοστάσια στην Ευρώπη. Πηγή (ENS, 2009).

Η πυρηνική ενέργεια είναι η ενέργεια που ελευθερώνεται από την σχάση ή και την σύντηξη των πυρήνων των ατόμων. Η ενέργεια αυτή ελευθερώνεται υπό την μορφή θερμότητας και ακτινοβολίας, όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών (IEK, 2000).

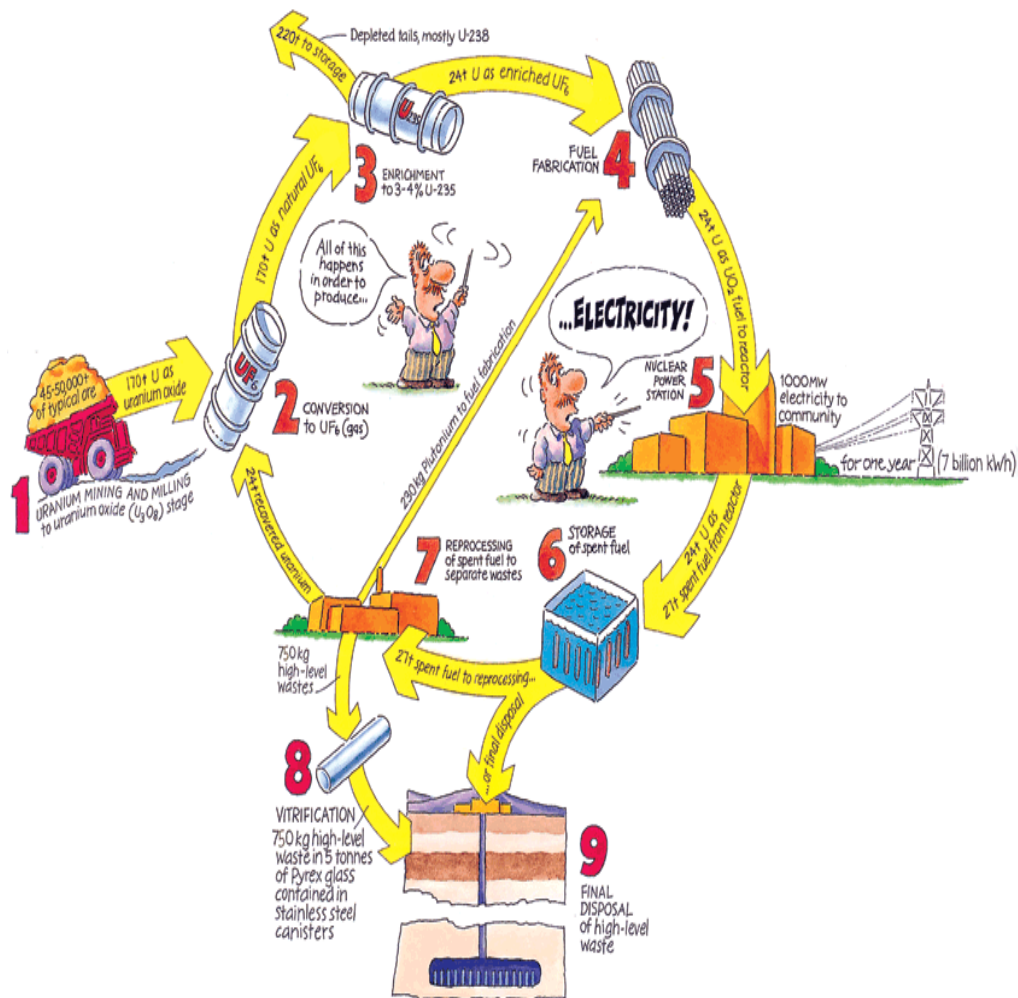
Εάν η πυρηνική ενέργεια προέρχεται από την σχάση των πυρήνων των ατόμων (Hyde, 1964), σημαίνει ότι με χρήση τεχνητού τρόπου ένα νετρόνιο βομβαρδίζει το πυρήνα του ατόμου, ελευθερώνοντας έτσι ενέργεια και δύο νετρόνια που προκαλούν την σχάση δύο πρόσθετων πυρήνων ουρανίου (Εργαστήριο Ενέργειας, 2006) (βλέπε Εικόνα 60).



**Εικόνα 59 Σχάση του πυρήνα από το νετρόνιο και παραγωγή δύο νετρονίων και ενέργειας. Πηγή (Nuclear fission, 1998).**

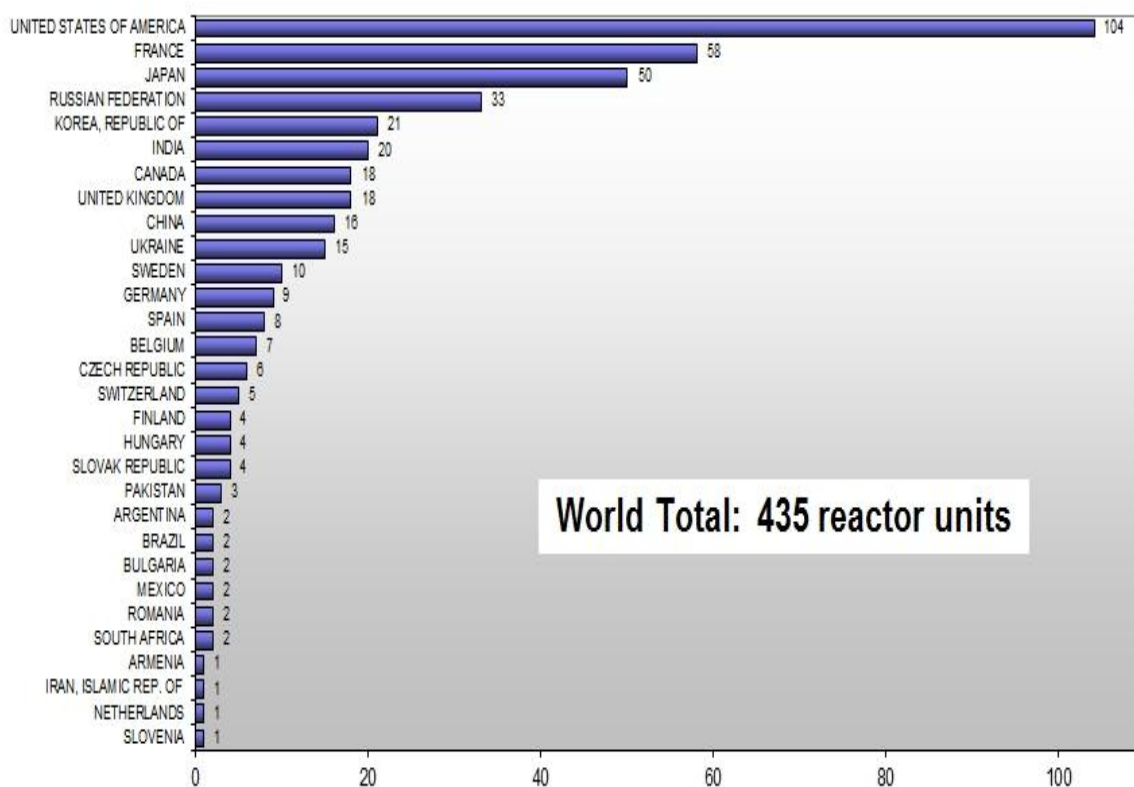
Αντιθέτως, εάν η πυρηνική ενέργεια προέρχεται από σύντηξη των πυρήνων, τότε ακολουθείται η αντίστροφη διαδικασία (βλέπε Εικόνα 61). Σύντηξη πυρήνων γίνεται και από τον ήλιο, όταν οι πυρήνες υδρογόνου σχηματίζουν το αέριο ήλιο, απελευθερώνοντας τεράστια ποσά ενέργειας που έρχονται στην γη υπό μορφή ηλιακής ακτινοβολίας (IEK, 2000).

Η σύντηξη πυρήνων υδρογόνου βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο, καθώς η μελλοντική επίτευξη της μεθόδου αυτής, ενδέχεται να παράγει τεράστιες ποσότητες ενέργειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ηλεκτροπαραγωγή, χρησιμοποιώντας απλά ένα προϊόν το νερό (EIA, 1978).



**Εικόνα 60 Ο Κύκλος της Πυρηνικής Ενέργειας. Πηγή (The High School of Art & Design, 2008).**

Κατά το έτος 2007, η πυρηνική ενέργεια αποτελούσε περίπου το 16% της παγκόσμιας συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας. Στην Ε.Ε, υπήρχαν 152 πυρηνικοί αντιδραστήρες, κυρίως στην Γαλλία, Ρωσία, Βρετανία, Γερμανία και Ουκρανία (βλέπε Εικόνα 62). Περισσότερο από το 30% της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη προερχόταν από την πυρηνική ενέργεια. Περίπου 70 χώρες είχαν ζητήσει από το Δ.Ο.Α.Ε τεχνική υποστήριξη για την έναρξη ή επέκταση προγράμματος πυρηνικής τεχνολογίας. Σε αυτές περιλαμβάνονται οι χώρες Αλβανία, Βουλγαρία, Τουρκία, Αίγυπτος και Λιβύη.



**Εικόνα 61** Πυρηνικοί αντιδραστήρες σε Παγκόσμιο επίπεδο. Στο πιο πάνω διάγραμμα δεν συμπεριλαμβάνονται η Κίνα και η Ταϊβάν που έχουν σύνολο 6 πυρηνικούς αντιδραστήρες. Πηγή (IEA, 2007).

Στις Ηνωμένες Πολιτείες η πυρηνική ενέργεια αποτελεί το 20% της συνολικής καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για την ηλεκτροδότηση της Καλιφόρνιας, του Τέξας και της Νέας Υόρκης. Το 2010 υπήρχαν 65 εργοστάσια πυρηνικής ενέργειας σε όλες τις Ηνωμένες Πολιτείες, όπου τα πλείστα βρίσκονται ανατολικά του Μισισσιπή (EIA, 1978).

## Κύριες Εκπομπές Αερίων του Θερμοκηπίου

Αέρια του Θερμοκηπίου	Κύρια πηγή εκπομπής (Ανθρωπογενή εκπομπές)	Φυσικές διεργασίες εκπομπής	Χρόνος ζωής στην ατμόσφαιρα κατά το έτος 1998	Συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα	Ετήσιο ποσοστό αύξησης κατά το έτος 1998	Αντίστοιχη συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου
<b>Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)</b>	Καύση ορυκτών καυσίμων, αποψίλωση δασών, καύση βιομάζας, καύση φυσικού αερίου, την παραγωγή τσιμέντου	Ωκεάνιες επιφάνειες και φωτοσύνθεση	5-200 χρόνια	365 ppmv	0,4%	60%
<b>Μεθάνιο (CH<sub>4</sub>)</b>	Φυσικοί υγρότοποι, φυτείες ρυζιού, μηρυκαστικά ζώα, γεωτρήσεις φυσικού αερίου, μέσα εξαερισμού και επανακυκλοφορίας του αέρα, καύσεις βιομάζας, εξόρυξη άνθρακα	Αντίδραση με το τροποσφαιρικό υδροξύλιο (OH), απομάκρυνση εδαφών	12 χρόνια	1745 ppbv	0,4%	20%

<p><b>Αλογονάθρακες (συμπεριλαμβανομένων των χλωροφθορανθράκων, των υδροχλωροφθορανθράκων, των υδροχλωροφθορανθράκων, των χλωροφθορανθράκων και υπερφθορανθράκων)</b></p>	<p>Βιομηχανική παραγωγή και παραγωγή καταναλωτικών αγαθών (π.χ. προωθητικά αερολυμάτων, ψυκτικά μέσα, διογκωτικός αφρός μόνωσης, διαλύτες και επιβραδυντικά μέσα φωτιάς)</p>	<p>Ποικίλουν (π.χ. CFCs, HCFCs: αφαιρούνται μέσω της τροποσφαιρικής φωτόλυσης)</p>	<p>2-50000 χρόνια (π.χ. CFC-11: 45 χρόνια, HFC-23: 260 χρόνια, CF<sub>4</sub>: &gt;50000 χρόνια)</p>	<p>Ποικίλουν (π.χ. CFC-11: 268 pptv, HFC-23: 14 pptv, CF<sub>4</sub>: 80pptv)</p>	<p>Ποικίλουν (CFCs μειώνονται ή σταθερά, HFCs και υπερφοράνθρακες αυξάνουν)</p>	<p>14%</p>
<p><b>Υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O)</b></p>	<p>Ωκεανούς και εδάφη, καύσεις, βιομάζα, λιπάσματα</p>	<p>Στρατ. Φωτόλυση</p>	<p>114 χρόνια</p>	<p>314 ppbv</p>	<p>0,25%</p>	<p>6%</p>

**Πίνακας 8: Τα παραχθείσα αέρια του θερμοκηπίου όπως προέρχονται από τις ανθρώπινες και φυσικές διεργασίες. Πηγή: (IPCC, 2002)**



## 2. Νομολογία

- **Νόμος 33 (I) / 2003:**

Στον παρόν νόμο, νοείται η προώθηση και ενθάρρυνση της χρήσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και γενικά της εξοικονόμησης ενέργειας. Επιπλέον, αναφέρεται στην δημιουργία ειδικού ταμείου επιδότησης ή χρηματοδότησης τους, καθώς επίσης και άλλα συναφή θέματα. Επιπρόσθετα, ο νόμος αυτός έχει υποστεί τροποποιήσεις όπου από αυτές εκδόθηκαν ο νόμος υπ' αριθμόν 234 Α(Ι) του 2004, ο Νόμος υπ' αριθμόν 139 (Ι) του 2005, ο νόμος υπ' αριθμόν 162 (Ι) του 2006 «Στον παρόν νόμο έγιναν προσωποποιήσεις με τα άρθρα 2 και 5 της πράξης της Ευρωπαϊκής Κοινότητας οδηγία του 2001 / 77/ ΕΚ» και ο ρυθμιστικός νόμος του 2/2010 για τους νόμους από το 2003 – 2010 εν δυνάμει του άρθρου 21 περί προώθησης και ενθάρρυνσης της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της εξοικονόμησης.

- **Νόμος 140 (I)/2005:**

Στο παρόν νόμο τίγονται τα θέματα περί Εκτίμησης των Επιπτώσεων στο Περιβάλλον από ορισμένα Έργα. Αναφέρεται στην υποχρεωτική εκτίμηση των επιπτώσεων που ενδέχεται να επιφέρει η εκτέλεση ή λειτουργία ορισμένων έργων, που καθιερώνει τις διαδικασίες εκτίμησης των επιπτώσεων και που ορίζει τις αρμόδιες για την εκτίμηση αρχές. Επίσης, ο παρόν νόμος προτρέπει τους τρόπους με τους οποίους οι ενδιαφερόμενοι πρέπει να δείξουν διαδικασίες εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, καθώς απαγορεύει την χορήγηση πολεοδομικής άδειας ή την έγκριση εκτέλεσης έργου χωρίς να ληφθούν σοβαρά υπόψη οι απόψεις της αρχής, που είναι αρμόδια για την προστασία του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με το Πρώτο Παράρτημα του άρθρου 9, οι ανεμογεννήτριες με ισχύ πάνω από 1 MW υπόκεινται στα έργα για τα οποία ετοιμάζεται μελέτη εκτίμησης επιπτώσεων στο περιβάλλον.

- **Νόμος 152 (I)/2003:**

Ο νόμος αναφέρεται για την Προστασία και Διαχείριση Άγριων Πτηνών και Θηραμάτων. Στο άρθρο 7 του αναφερθέντος νόμου, αναφέρονται οι ζώνες ειδικής προστασίας για τα είδη άγριων πτηνών τα οποία περιλαμβάνονται στο Παράρτημα Δ, του παρόν νόμου.

- **Νόμος 29 (Ι)/2005:**

Τροποποιήσεις του αρχικού νόμου «Περί Πολεοδομίας και Χωροταξίας Νόμος 90/1972» ο οποίος τροποποιήθηκε από τους νόμους 56/1982, 7/1990, 28/1991, 91(Ι)/1992, 55(Ι)/1993, 72(Ι)/1998, 59(Ι)/1999, 142(Ι)/1999, 241(Ι)/2002 και τον παρόν νόμο 29(Ι)/2005.

Σύμφωνα με την οδηγία 2001/77/ΕΚ για αξιοποίηση και προώθηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, έχει καταστεί απαραίτητος η χωροθέτηση αιολικών πάρκων και ανεμογεννητριών. Με το Άρθρο 6 του νόμου 29(Ι)/2005, η εντολή υπ' αριθμό 2 του 2006 των πολεοδομικών αρχών, απαντά στα κριτήρια που απαιτούνται, αλλά και την διαδικασία πολεοδομικού ελέγχου όσο αφορά τις αιτήσεις για χωροθέτηση Μονάδων Παραγωγής Ενέργειας από ΑΠΕ.

Ο νόμος, τονίζει ότι κάθε αιολικό πάρκο δύναται να χωροθετηθεί, με προϋπόθεση ότι κάθε ανεμογεννήτρια του πάρκου απέχει τουλάχιστον την απόσταση που καθορίζεται από τις ακόλουθες περιοχές:

1. Δύναται απόσταση μεγαλύτερη των 850 m από ήδη καθορισμένο Όριο Ανάπτυξης και μεγαλύτερη των 350 m από νόμιμα υφιστάμενη μεμονωμένη κατοικία που βρίσκεται εκτός Ορίου Ανάπτυξης.
2. Απαιτείται μεγαλύτερη των 300 m από το όριο Ακτής και Περιοχής Προστασίας της Φύσης, Γεωμορφώματος, Προστατευόμενου Τοπίου, Περιοχής Προστασίας του Δικτύου NATURA 2000, περιοχή της Σύμβασης RAMSAR, πολιτιστικού τοπίου ή άλλης καθορισμένης περιοχής προστασίας της φύσης.
3. Χρειάζεται απόσταση μεγαλύτερη του 150% και του 100% του μέγιστου ύψους της ανεμογεννήτριας, από το όριο αυτοκινητόδρομου και το όριο οποιουδήποτε άλλου εγγεγραμμένου δημόσιου δρόμου (δεν περιλαμβάνεται δρόμος που οδηγεί κυρίως σε ανεμογεννήτρια του αιολικού πάρκου).
4. Ενδέχεται απόσταση μεγαλύτερη των 350 m από οποιοδήποτε σημείο αεροδιαδρόμου ή κώνου πτήσεων και διακίνησης πτητικών μέσων ή άλλη απόσταση που θα καθορισθεί από το Τμήμα Πολιτικής Αεροπορίας ή το Υπουργείο Άμυνας, ανάλογα με τις ιδιομορφίες της κάθε περιοχής.

**5.** Απόσταση μεγαλύτερη του 150% και του 100% του μέγιστου ύψους ανεμογεννήτριας, από εναέριες γραμμές υψηλής τάσης (66kV ή περισσότερα) ή άλλων χαμηλότερων τάσεων, αντίστοιχα. Και στις δύο περιπτώσεις, είναι δυνατό να χορηγηθεί άδεια και για μικρότερη απόσταση, αφού εξασφαλισθεί η έγκριση της ΑΗΚ.

**6.** Απόσταση μεγαλύτερη των 500 m από αρχαιολογικό χώρο, η οποία θα καθορίζεται από την Πολεοδομική Αρχή, αφού ληφθούν υπόψη οι σχετικές απόψεις του Τμήματος Αρχαιοτήτων και της Υπηρεσίας Περιβάλλοντος.

**7.** Απαιτείται απόσταση πιο μεγάλη των 200 m από το όριο κρατικού δάσους με πυκνή βλάστηση. Σε κρατικό δάσος με αραιή ή χαμηλή θαμνώδη βλάστηση είναι δυνατή η χωροθέτηση αιολικού πάρκου, νοουμένου ότι δεν επηρεάζεται αντιτυρική λωρίδα, αφού προηγουμένως εξασφαλισθούν οι απόψεις του Τμήματος Δασών.

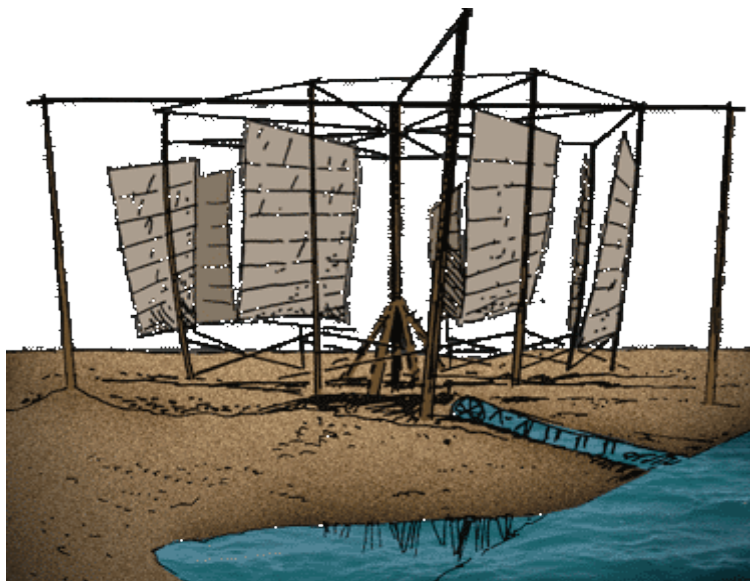
**8.** Απόσταση μεγαλύτερη των 500 m απαιτείται από διάδρομο και πέρασμα διέλευσης αποδημητικών πτηνών και από το όριο καθορισμένης Ζώνης Ειδικής Προστασίας άγριων πτηνών και βιοτόπων. Σε περίπτωση χωροθέτησης αιολικού πάρκου ή ανεμογεννήτριας αιολικού πάρκου σε απόσταση 500 – 1000 m από τις περιοχές αυτές, θα εξασφαλίζονται οι απόψεις του Ταμείου Θύρας.

**9.** Ενδέχεται απόσταση μεγαλύτερη των 100 m από διάδρομο μετάδοσης ραδιοκυμάτων και των 600 m από διάδρομο μετάδοσης νόμιμα κεραιών τηλεπικοινωνιών. Κάθε σχετική αίτηση θα αξιολογείται από το Τμήμα Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών και οι αποστάσεις αυτές είναι δυνατό να τροποποιούνται με βάση γνωμοδότησης, αναφορικά με την πιθανότητα επηρεασμού εγκατάστασης ραδιοεπικοινωνίας.

Οι αναλυτικότερες πρόνοιες του Νόμου, περί χωροθέτησης ανεμογεννητριών και αιολικών πάρκων, αναφέρονται στο Παράρτημα Δ του παρόντος νόμου.

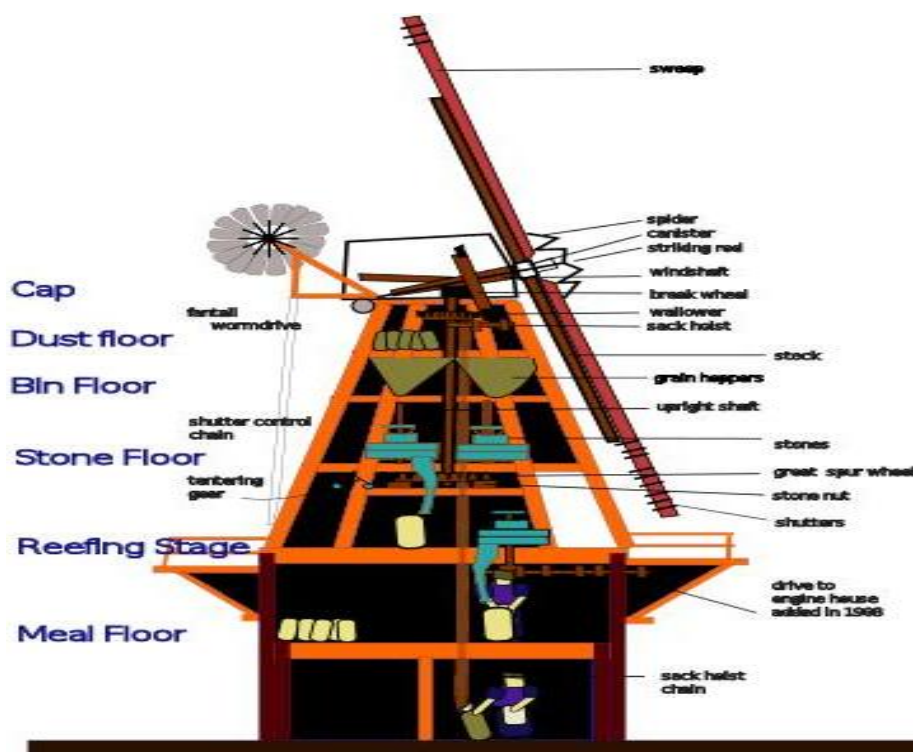
### 3. Ιστορική Αναδρομή – Χρήσεις Αιολικής Ενέργειας

Οι πρώτοι ανεμόμυλοι που δημιουργήθηκαν από τον άνθρωπο, ήταν από τους Πέρσες κατά το 900 μΧ περίπου (βλέπε Εικόνα 63). Παρόλα αυτά δεν μπορεί να γίνει διακριτό αν εκείνη την εποχή, οι ανεμόμυλοι είχαν οριζόντιο άξονα και στο εάν οι συσκευές ήταν τύπου ελκυστήρα «Drag Type». Ως εκ τούτου ήταν εγγενώς ανεπαρκείς, και ιδιαίτερα ευπαθείς σε ισχυρούς ανέμους (Gipe, 1995). Παρόλα αυτά, όμως, ιστορικά, διαφαίνεται ότι οι ανεμόμυλοι βρήκαν χρήση στο Σεισταν «το σημερινό Ιράν» (woodcroft, 1851), κατά το 644 μ.Χ, δηλαδή την εποχή του Μέγα Αλέξανδρου, όπου βρήκαν χρήση για πρώτη φορά οι ανεμόμυλοι οριζόντιου άξονα (Vowles, 1932).



**Εικόνα 62 Ένα παράδειγμα του οριζοντίου άξονα Περσικού ανεμόμυλου. Πηγή (Tasker, 2012).**

Η αιολική ενέργεια έκανε για πρώτη φορά την εμφάνιση της στην Ευρώπη κατά τον μεσαίωνα, όπου οι ανεμόμυλοι είχαν οριζόντιους άξονες. Χρησιμοποιούνταν για σχεδόν κάθε μηχανικό έργο, συμπεριλαμβάνοντας την άντληση νερού, άλεση σιτηρών, πριόνισμα ξύλου, και την τροφοδοσία εργαλείων. Οι πρότυποι αυτοί ανεμόμυλοι, ήταν χτισμένοι σε στύλους «posts», ώστε ολόκληρος μύλος να μπορεί να στραφεί προς τον άνεμο και να εκτρέπεται όταν η κατεύθυνση του άλλαζε «yaw is movement from side to side» (Hills, 1994). Οι ανεμόμυλοι αυτοί συνήθως είχαν τέσσερις έλικες. Οι αριθμοί και το μέγεθος των λεπίδων ήταν πιθανών βασιζόμενοι στην ευκολία της κατασκευής καθώς και στην εμπειρικά – αναλυτικά καθορισμένη αποτελεσματική σταθεροποίηση «μια αναλογία της εμβαδού της λεπίδας προς την εμβαδό του χώρου σάρωσης» (βλέπε Εικόνα 64).



**Εικόνα 63** Διάγραμμα του ανεμόμυλου στο Meopham, Kent. Χτίστηκε από το James Killick το 1819 – 21. Ο ανεμόμυλος σχεδιάστηκε από τον Clem Rutter και Rochester Kent. Πηγή (Meopham & Kent, 2012).

Ο άνεμος συνέχισε να είναι μια κύρια πηγή ενέργειας προς χρήση στην Ευρώπη πριν την βιομηχανική επανάσταση. Ωστόσο η βιομηχανοποίηση του Ευρωπαϊκού χώρου μείωσε την σημαντικότητα της αιολικής ενέργειας. Ο κύριος λόγος όπου η αιολική ενέργεια άρχισε να εξαφανίζεται γενικά, ήταν κυρίως της μειωμένης αποδοτικότητας της σαν ενέργεια, που να απέδιδε παντός καιρού. Εν αντιθέσει, όμως, ο άνθρακας είχε πολύ περισσότερα πλεονεκτήματα, τα οποία ο άνεμος δεν κάτεχε. Ο άνθρακας μπορούσε να μετακινηθεί και να χρησιμοποιηθεί παντού, οπουδήποτε κρινόταν αυτό αναγκαίο και απαραίτητο. Έτσι μπορούσε να τροφοδοτεί τις ατμομηχανές με ανάλογες ποσότητες άνθρακα, αναλόγως της χρήσης και του φορτίου που καλούσαν να μεταφέρουν. Η δυναμικότητα του νερού, η οποία είχε κάποιες ομοιότητες με την αιολική ενέργεια που είχε επισκιαστεί δραματικά. Δεν είναι τυχαίο, διότι το νερό μπορούσε να μεταφερθεί μέσω καναλιών και να αποθηκευτεί σε δεξαμενές, όπου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί αργότερα. Δηλαδή, μέσω της δυναμικότητας της ελεύθερης πτώσης του ύδατος θα μπορούσε να παραχθεί άφθονη ενέργεια συνεχώς.

Καθώς οι ευρωπαϊκοί ανεμόμυλοι, έφταναν στο τέλος της εποχής τους, ένας εναλλακτικού τύπου ανεμόμυλος έκανε την εμφάνιση του με ευρεία χρήση στις ΗΠΑ. Αυτός

ο τύπος ανεμόμυλου χρησιμοποιείται για την άντληση νερού, ιδίως στην Δύση, αλλά και στην Κύπρο για τους ίδιους σκοπούς (βλέπε Εικόνα 65). Στην Κύπρο ο συγκεκριμένου τύπου ανεμόμυλος, βρήκε χρήση στην περιοχή της επαρχίας Αμμοχώστου, με ελάχιστη χρήση στην Μεσαορία, αλλά κυρίως στην περιοχή των Κοκκινοχωρίων, όπου η βροχόπτωση ήταν μηδαμινή για γεωργικούς σκοπούς. Οι ίδιοι ανεμόμυλοι, στις ΗΠΑ βρήκαν ευρεία χρήση, κυρίως για σκοπούς κτηνοτροφίας και παροχής νερού για τις ατμομηχανές των τρενών. Αυτοί οι μύλοι είχαν κάποιες ιδιαιτερότητες καθώς, περιείχαν πολλούς έλικες – φτερωτές. Εξίσου και χαρακτηρισμός τους ήταν «Fan Mills». Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά τους ήταν ένα απλό, αλλά αποτελεσματικό σύστημα ρύθμισης. Αυτό επέτρεπε στις τουρμπίνες να λειτουργούν, χωρίς επίβλεψη, για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Αυτά τα συστήματα ρύθμισης προανάγγειλαν τα αυτόματα συστήματα ελέγχου, τα οποία αποτελούν πλέον, ένα αναπόσπαστο κομμάτι της σύγχρονης ανεμογεννήτριας.

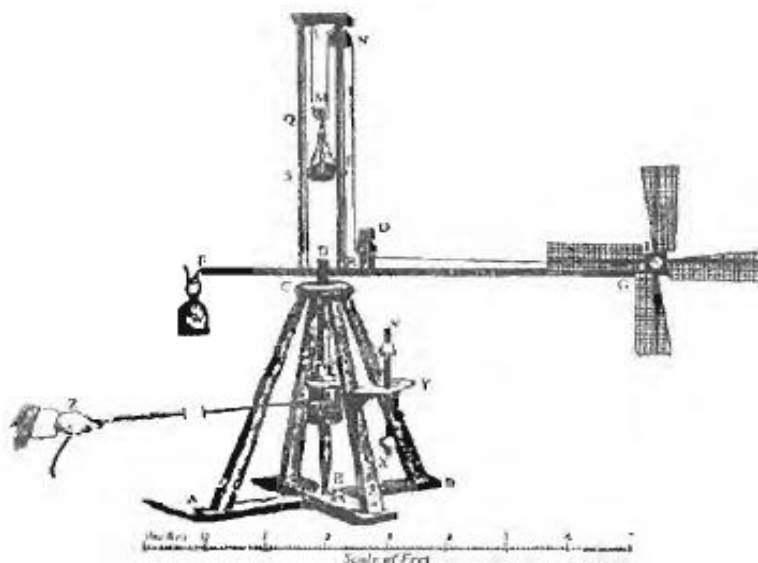


**Εικόνα 64 Παλιός ανεμόμυλος που χρησιμοποιείται στο χωριό Αυγόρου για άντληση νερού. Με την περιστροφή της φτερωτής του ανεμόμυλου, κινείται ένα κάθετο έμβολο όπου αντλούσε νερό από τα πηγάδια (λάκκους).**

Αργότερα, μια σημαντική εξέλιξη κατά τον 18ο αιώνα, έφτασε στο φως. Ήταν η εισαγωγή των επιστημονικών δοκιμών και η αξιολόγηση των ανεμόμυλων. Ο Άγγλος John Smeaton, (βλέπε Εικόνα 66) *ανακάλυψε τους τρεις κανόνες που ισχύουν μέχρι και σήμερα*, που είναι:

- Η ταχύτητα των άκρων των πτερυγίων απόλυτα ανάλογη με την ταχύτητα του ανέμου.
- Η μέγιστη ροπή είναι ανάλογη με την ταχύτητα του ανέμου στο τετράγωνο.

- Η μέγιστη ισχύς είναι ανάλογη με τον κύβο της ταχύτητας του ανέμου.



**Εικόνα 65** Οι εργαστηριακές δοκιμές ανεμόμυλων κατά Smeaton. Πηγή (Manwell et al, 2009).

Κατά συνέπεια, με την ανακάλυψη αυτή, οι ευρωπαϊκοί ανεμόμυλοι παρουσίασαν μεγάλη άνοδο, από την μια προσέγγιση ως προς την χρήση του ανέμου και από την άλλη, για σκοπούς μηχανικής ενέργειας και συμπεριλάμβαναν μια σειρά από χαρακτηριστικά, τα οποία ήταν αργότερα ενσωματωμένα στις πρώιμες ανεμογεννήτριες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η αρχική χρήση του ανέμου για αναπαραγωγή και δημιουργία ηλεκτρικής ενέργειας, σε αντίθεση με το πλεονέκτημα της μηχανική ενέργειας, προέθεσε την επιτυχή εμπορική ανάπτυξη των μικρών ανεμογεννητριών και τις έρευνες – πειράματα χρησιμοποιώντας μεγάλες ανεμογεννήτριες.

Όταν οι ηλεκτρικές ανεμογεννήτριες εμφανίστηκαν προς το τέλος του 19ου αιώνα, ήταν εμφανές το ότι οι άνθρωποι θα εξεύρισκαν τρόπους όπου θα μπορούσαν να τις κατευθύνουν ανάλογα με την διεύθυνση του ανέμου, χρησιμοποιώντας ένα ρότορα ανεμόμυλου. Στις ΗΠΑ, το πρώιμο παράδειγμα τέτοιου τύπου χτίστηκε από τον Charles Brush στο Κλήβελαντ του Οχάιο το 1888. Η τουρμπίνα του Brush δεν οδήγησε σε καμία τάση, αλλά στα ακόλουθα χρόνια, οι μικρές ηλεκτρικές γεννήτριες έγιναν ευρέως διαδεδομένες. Αυτές οι μικρές ανεμογεννήτριες, με πρωτοπόρο τον Marcellus Jacobs ήταν



κατά κάποιους τρόπους η πιο λογικοί διάδοχοι των ανεμόμυλων «Fan Mill» για άντληση νερού (βλέπε Εικόνα 67). Ήταν επίσης σημαντικό ότι αυτοί οι ρότορες είχαν τρεις έλικες, σχήματος φτερωτής «airfoil» για να δίνουν ανύψωση του έλικα, και συνεπώς περιστροφή. Όπου άρχισαν να μοιάζουν με τις σημερινές ανεμογεννήτριες.

Ένα άλλο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της ανεμογεννήτριας κατά Jacobs, ήταν το ολοκληρωμένου τύπου μέσω παραγωγής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της αποθήκευσης σε μπαταρία «residential-scale power system». Επίσης, οι ανεμογεννήτριες αυτές θεωρούνται απόλυτα πρόδρομοι των σύγχρονων μικρών ανεμογεννητριών, γνωστές ως μηχανές αιολικής ενέργειας Bergey και Southwest. Η επέκταση του κεντρικού δικτύου ηλεκτρισμού για τις αγροτικές περιοχές, υπό την αιγίδα της Διοίκησης Ηλεκτροδότησης, κατά τη δεκαετία του 1930, σηματοδότησε την έναρξη του τέλους της ευρείας χρήσης των μικρών ηλεκτροανεμογεννητριών, τουλάχιστον για εκείνη την περίοδο.



**Εικόνα 66 Η Ηλεκτροτουρμπίνα κατά Jacobs. Πηγή (Power-Talk.Net, 2010).**

Εντούτοις, παρόλη, την ανάπτυξη της τεχνολογίας, η βιομηχανική επανάσταση και τα συμβατικά καύσιμα, άφησαν στην άκρη την αιολική ενέργεια, για κάποια περίοδο. Η επανεμφάνιση της αιολικής ενέργειας μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει αρχίσει στα τέλη της δεκαετίας του 1960. Σύμφωνα με το βιβλίο *Silent Spring* του Carson (Carson, 1962), ο οποίος τόνισε τις περιβαλλοντικές συνέπειες λόγω της έντονης βιομηχανικής ανάπτυξης, καθώς επίσης ο Meadows (Meadows, Randers, & Behrens, 1972) έθιξε με το ίδιο πνεύμα, υποστηρίζοντας ότι η απρόσκοπτη ανάπτυξη ενδέχεται ότι θα οδηγήσει σε αναπόφευκτη καταστροφή, ή στην αλλαγή. Αναμεταξύ των αναγνωρισμένων αιτιών του προβλήματος, ήταν τα ορυκτά καύσιμα. Επίσης, οι πιθανοί κίνδυνοι της πυρηνικής ενέργειας έγιναν εμφανές σε παγκόσμιο επίπεδο, κατά εκείνη την περίοδο. Συζητήσεις αυτών των θεμάτων



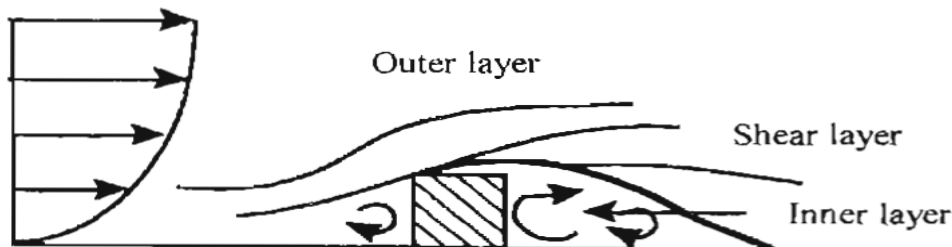
σχημάτισαν την προϋπόθεση ανάγκης της δημιουργίας ενός οικολογικού κινήματος, που είχε αρχίσει να υποστηρίζει καθαρότερες πηγές ενέργειας.

Στις ΗΠΑ, παρά την αυξανόμενη ανησυχία για τα περιβαλλοντικά προβλήματα, δεν συνέβησαν και πολύ μεγάλες αλλαγές στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας, μέχρι την πετρελαϊκή κρίση στα μέσα της δεκαετίας του 1970. Υπό την διοίκηση Carter Administration, μια νέα προσπάθεια ξεκίνησε για την ανάπτυξη εναλλακτικών πηγών ενέργειας, μία εκ των οποίων ήταν η αιολική ενέργεια. Το Αμερικάνικο Υπουργείο Ενέργειας (DOE The U.S department of Energy) χρηματοδότησε ένα αριθμό έργων για την προώθηση της ανάπτυξης της τεχνολογίας. Οι περισσότεροι από τους πόρους που διατέθηκαν σε μεγάλα μηχανήματα, με ανάμεικτα αποτελέσματα. Τα μηχανήματα αυτά κυμαίνονταν από 100kW (38 m διαμέτρου), σύμφωνα με τα μοντέλα NASA MOD – 0 έως την 3,2MW Boeing MOD – 5B (98 m διαμέτρου). Πολλά ενδιαφέροντα αποτελέσματα δημιουργήθηκαν, αλλά καμία από τις μεγάλες ανεμογεννήτριες, δεν οδήγησε στην εμπορικοποίηση. Το Υπουργείο Ενέργειας της Αμερικής, εξίσου υποστήριξε την ανάπτυξη ορισμένων μικρών ανεμογεννητριών και έκτισε μία εγκατάσταση δοκιμών για τις μικρές μηχανές στο Rocky Flats στο Κολοράντο. Ένας αριθμός μικρών κατασκευαστών ανεμογεννητριών, άρχισαν να εμφανίζονται, αλλά δεν υπήρξε αρκετή δραστηριοποίηση μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1970.

#### 4. Χαρακτηριστικά της ροής του ανέμου σε σχέση με το ανάγλυφο

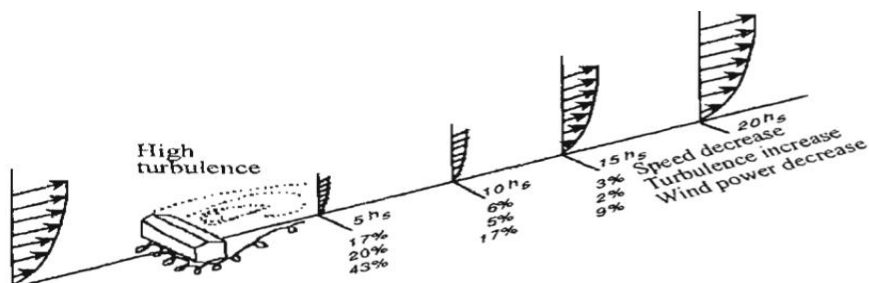
##### Ροή του ανέμου πάνω από επίπεδο έδαφος με εμπόδια:

Η ροή του ανέμου πάνω από επίπεδο ανάγλυφο, κυρίως με τεχνητά και φυσικά εμπόδια, έχει μελετηθεί ευρέως. Τα τεχνητά εμπόδια ορίζονται ως κτίρια, σιλό/αποθήκες κτλ. Τα φυσικά εμπόδια, περιλαμβάνουν δενδροστοιχίες, προστατευτική συστάδα δέντρων/ανεμοφράκτες, κτλ. Για τεχνητά εμπόδια, η κοινή προσέγγιση, είναι να θεωρηθεί το εμπόδιο ως ένας ορθογώνιο φραγμός, καθώς η ροή του ανέμου θεωρείται δυο διαστάσεων. Αυτό το είδος ροής, όπως φαίνεται στην (βλέπε Εικόνα 68), παράγεται ορμή, και όπως φαίνεται στην εικόνα, μια ελεύθερη διάτμηση χωρίζεται από το μπροστινό άκρο και επαναφέρεται κατάντη, σχηματίζοντας ένα όριο αναμεταξύ μιας περιοχής εσωτερικής επανακυκλοφορίας της ροής του ανέμου και της εξωτερικής περιοχής του ανέμου.



Εικόνα 67 Σχηματική αναπαράσταση της ορμής του ανέμου. Πηγή (Hiester & Pennell, 1981). Αναδημοσίευση από το Ινστιτούτο Εναλλακτικής Ενέργειας.

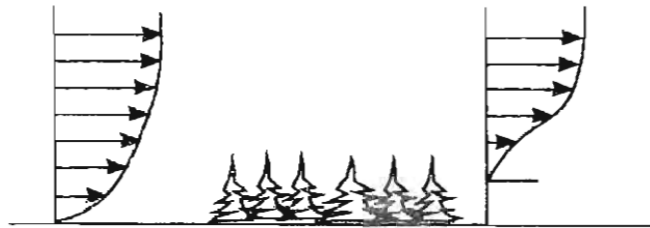
Τα αποτελέσματα μιας προσπάθειας για την ποσοτικοποίηση των δεδομένων από τεχνητά εμπόδια παρουσιάζονται στην Εικόνα 69 (βλέπε Εικόνα 69), όπου η αλλαγή της διαθέσιμης ισχύς και αναταραχής, φαίνονται στον απόηχο του κτηρίου με επικλινή οροφή. Σημειώστε ότι οι εκτιμήσεις στην εικόνα ισχύουν σε επίπεδο ίσο με το ύψος ενός κτιρίου,  $h_s$ , πάνω από το έδαφος, και ότι οι απώλειες στην ισχύ γίνονται μικρές κατάντη του κτιρίου μετά ίσα με  $15 h_s$ .



Εικόνα 68 Ταχύτητα, δύναμη, και οι επιπτώσεις αναταραχής / τύρβης κατάντη ενός κτιρίου. Πηγή (Wegley, Ramsdell, Orgill, & Drake, 1980).

### **Ροή σε επίπεδα ανάγλυφα με μια αλλαγή στην τραχύτητα της επιφάνειας:**

Στα περισσότερα φυσικά ανάγλυφα, η επιφάνεια της γης δεν είναι ομοιόμορφη και μεταβάλλονται αισθητικά από περιοχή σε περιοχή. Αυτό επηρεάζει το τοπικό προφίλ του ανέμου. Για παράδειγμα, στην Εικόνα 70 (βλέπε Εικόνα 70) μας δείχνει ότι το προφίλ της κατάντη φοράς του ανέμου αλλάζει σημαντικά όταν μεταβείτε από την λεία επιφάνεια της γης στην σκληρή.



**Εικόνα 69 Η επίδραση στην αλλαγή της τραχύτητας στην επιφάνεια της γης από λεία σε σκληρή. Πηγή (Wegley, Ramsdell, Orgill, & Drake, 1980).**

### **Χαρακτηριστικά των μη επίπεδων ανάγλυφων:**

Οι ερευνητές (Hiester & Pennell, 1981) έχουν χωρίσει τα μη επίπεδα ανάγλυφα σε απομονωμένα και ορεινά, όπου τα απομονωμένα αναφέρονται σε εδάφη με μικρής κλίμακας χαρακτηριστικά και τα ορεινά με μεγάλης κλίμακας χαρακτηριστικά.

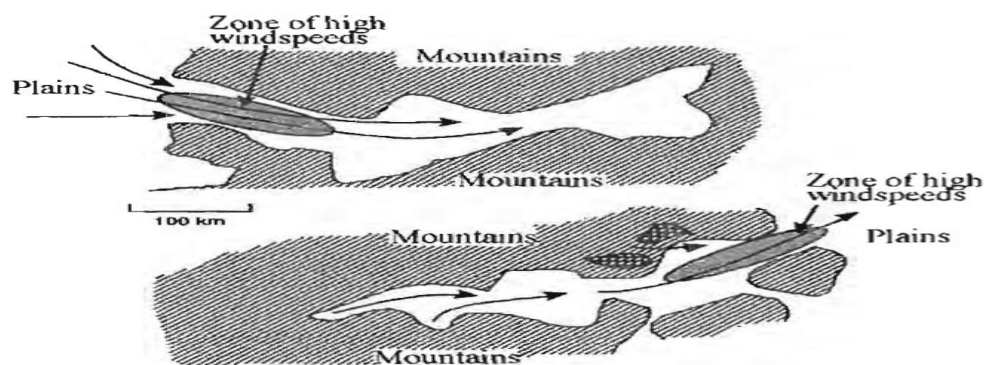
Τα χαρακτηριστικά μεγάλης κλίμακας είναι εκείνα όπου, η κάθετη διάσταση είναι συσχετιζόμενη με το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα. Περιλαμβάνουν βουνά, κορυφογραμμές, υψηλά περάσματα, μεγάλους γκρεμούς, βαθιές κοιλάδες και φαράγγια.

Η ροή του ανέμου πάνω από τέτοιες τοπογραφικές ανωμαλίες είναι η πιο περίπλοκη, και η οι προβλέψεις της ροής του ανέμου για αυτή την κατηγορία ταξινόμησης ανάγλυφων είναι λιγότερα ποσοτικές. Οι ακόλουθοι τύποι των μεγάλων κοιλοτήτων έχουν μελετηθεί/εξεταστεί κάτω από αυτή την ταξινόμηση ανάγλυφων:

- Κοιλάδες και φαράγγια
- Άνεμοι κλίσεων
- Επικρατέστεροι άνεμοι σε ευθυγράμμιση
- Επικρατέστεροι άνεμοι σε μη ευθυγράμμιση

- Κενά και φαράγγια
- Περάσματα και Πλαγιές
- Μεγάλες λεκάνες

Ένα παράδειγμα μιας μεγάλης κοιλάτητας με επικρατέστερους άνεμους σε ευθυγράμμιση απεικονίζεται στην Εικόνα 71 (βλέπε Εικόνα 71). Αυτό το φαινόμενο συμβαίνει όταν μέτριοι έως ισχυροί επικρατέστεροι άνεμοι είναι παράλληλοι ή σε ευθυγράμμιση (με γωνία περίπου  $35^\circ$ ) με την κοιλάδα ή το φαράγγι. Σε αυτό σημείο τα βουνά μπορούν να διοχετεύουν αποτελεσματικά και επιταχύνουν την ροή του άνεμου.



**Εικόνα 70** Αυξημένη ταχύτητα των ανέμων, λόγω της διοχέτευσης των επικρατέστερων ανέμων από τα βουνά. Πηγή (Rohatgi & Nelson, 1994). Αναδημοσίευση με την άδεια του Ινστιτούτου Εναλλακτικών Πηγών Ενέργειας.

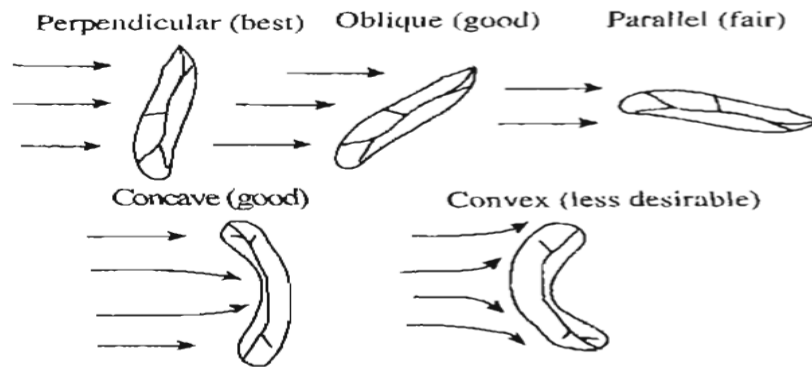
Για μικρής κλίμακας ροής του άνεμου, η ταξινόμηση διακρίνεται περαιτέρω όσο αφορά τα υψόμετρα και τις κοιλάτες. Μια περίληψη της καθεμίας ακόλουθη πιο κάτω.

### **Χαρακτηρισμός του ανέμου σε περιοχές μεγάλο υψόμετρο:**

Τα χαρακτηριστικά της ροής του άνεμου σε υψηλού υψόμετρου περιοχές μοιάζουν σαν την ροή του άνεμου γύρω από εμπόδια. Έχουν διεξαχθεί μελέτες χαρακτηρισμού αυτού του τύπου ροής στο νερό και αεροσήραγγες, ειδικά για κορυφογραμμές και μικρά βράχια. Παραδείγματα των κορυφογραμμών ακολουθούν στα παρακάτω αποτελέσματα.

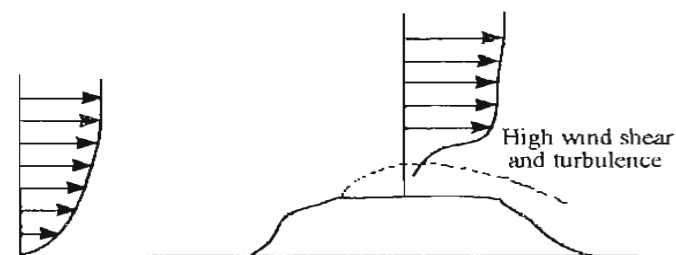
Οι κορυφογραμμές είναι επιμήκεις λόφοι οι οποίοι είναι μικρότερη ή ίση με 600m (2000ft) πάνω από τα γύρω ανάγλυφα και έχουν μικρή ή καμία επίπεδη επιφάνεια στην κορυφή. Η αναλογία του μήκους προς ύψος πρέπει να είναι τουλάχιστον 10. Στην Εικόνα 72 παρατίθενται για τη χωροθέτηση μιας ανεμογεννήτριας, η ιδανική θέση της κατεύθυνσης του επικρατέστερου άνεμου πρέπει να είναι κάθετη προς τον άξονα της κορυφογραμμής.

Όταν ο επικρατέστερος άνεμος δεν είναι κάθετος, τότε η κορυφογραμμή δεν είναι ο κατάλληλος χώρος για την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας. Η εικόνα επίσης μας δείχνει ότι η κοιλότητα προς την κατεύθυνση του προσήνεμου ενισχύει την επιτάχυνση, και η κυρτότητα μειώνει την επιτάχυνση με την εκτροπή της ροής του άνεμου γύρω από την κορυφογραμμή.



**Εικόνα 71** Οι Επιδράσεις του προσανατολισμού και σχήματος της κορυφογραμμής σχετικά με την καταλληλότητα του χώρου της ανεμογεννήτριας. Πηγή (Wegley, Ramsdell, Orgill, & Drake, 1980).

Η κλίση της κορυφογραμμής, είναι επίσης μια πολύ σημαντική παράμετρος. Η πιο απότομες κλίσεις προκαλούν ισχυρότερες ροές του άνεμου, αλλά από τις υπήνεμες πλευρές των κορυφογραμμών, οι απότομες κλίσεις προκαλούν μεγάλη αναταραχή. Περαιτέρω, όπως βλέπετε στην Εικόνα 73, μια κορυφογραμμή με επίπεδη οροφή δημιουργεί περιοχή με υψηλή διάτμηση του άνεμου λόγω της διαχωρίσεις της ροής του άνεμου.



**Εικόνα 72** Η περιφέρεια της υψηλής διάτμησης του ανέμου πάνω από μια κορυφογραμμή με επίπεδο ανάγλυφο από πάνω. Πηγή (Wegley, Ramsdell, Orgill, & Drake, 1980).

### **Κοιλότητες:**

Οι κοιλότητες διακρίνονται από ένα χαρακτηριστικό των ανάγλυφων, είναι χαμηλότερες από το γύρο περιβάλλον. Η επιτάχυνση του ανέμου αυξάνεται σημαντικά εάν οι κοιλότητες μπορούν να διοχετεύσουν τον άνεμο αποτελεσματικά. Η ταξινόμηση αυτή

περιλαμβάνει χαρακτηριστικά όπως κοιλάδες, φαράγγια, λεκάνες, και περάσματα. Εκτός από τις ημερήσιες διακυμάνσεις της ροής του ανέμου σε ορισμένες κοιλότητες, υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν τη ροή του ανέμου στις κοιλότητες. Αυτές περιλαμβάνουν τον προσανατολισμό του ανέμου σε σχέση με την κοιλότητα, την σταθερότητα της ατμόσφαιρας, το πλάτος, το μήκος, την κλίση, και την τραχύτητα της κοιλότητας, και την ομαλότητα του τμήματος της κοιλάδας ή του φαραγγιού.

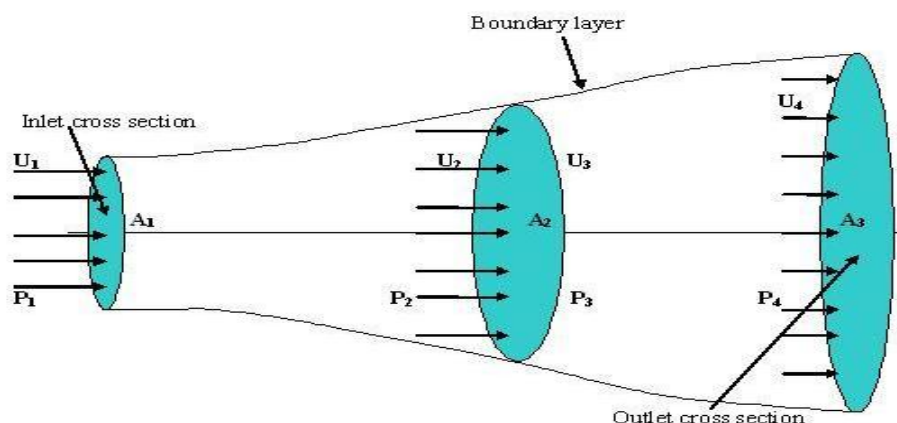
Μικρές κοιλάδες και φαράγγια (<50m) θεωρούνται μικρής κλίμακας κοιλότητες, και άλλα χαρακτηριστικά, όπως λεκάνες, τα κενά κτλ. Θεωρούνται ως μεγάλης κλίμακας κοιλότητες. Ο μεγάλος αριθμός παραμέτρων που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του ανέμου σε μια κοιλάδα, μαζί με την μεταβλητότητα/διακύμανση αυτών των παραμέτρων από κοιλάδα σε κοιλάδα, καθιστούν σχεδόν αδύνατο να εξαχθούν συγκεκριμένα συμπεράσματα που ισχύουν για το χαρακτηρισμό της ροής του ανέμου.

## 5. Το Όριο του Bertz

Τις περισσότερες των περιπτώσεων δε χρειάζεται να προσδιορίσουμε μαθηματικά το όριο Bertz αλλά ας έχουμε υπόψη μας ότι η προκύπτουσα μέγιστη τιμή του συντελεστή απόδοσης  $C_p$  είναι **59%**.

Μόνο ένα μέρος της συνολικής ισχύος  $W$  του αέριου ρεύματος μπορεί να μετατραπεί σε χρήσιμη ενέργεια από μια ανεμογεννήτρια. Η διαθέσιμη ισχύς για μια ανεμογεννήτρια ισούται με την αλλαγή της κινητικής ενέργειας του αέρα που περνά μέσα από το κινητό πλαίσιο (δρομέας με πτερύγια), της ανεμογεννήτριας. Σύμφωνα με την Εικόνα 74 φαίνεται ένας νοητός θάλαμος ατράκτου που σχηματίζουν οι ρευματογραμμές του αέρα εντός της οποίας υπάρχει ένα κινητό πλαίσιο, του στροβίλου (φτερωτή), γνωστή και ως δρομέας.

Υποθέτουμε εδώ ότι μάζα του αέρα, που περνά μέσα από το θάλαμο αυτής της ατράκτου, δε συμπιέζεται, οπότε η πυκνότητα του αέρα αυτού δεν αλλάζει και ότι οι ταχύτητες των μορίων του αέρα αυτού είναι μικρές.



Εικόνα 73 Η ιδεατή ροή του ανέμου διαμέσου της ανεμογεννήτριας

Οι ρευματογραμμές (δηλαδή οι γραμμές που σχηματίζονται από τα ρεύματα των μορίων του αέρα), αποκλίνουν καθώς περνούν διαμέσου του δρομέα ενώ η ταχύτητα του ρεύματος του αέρα ελαττώνεται, και κατά την απλή θεωρία της ορμής που εξετάζουμε εδώ, η πίεση του αέρα λίγο πριν περάσει το δρομέα και λίγο μετά το δρομέα, δεν αλλάζει (είναι δηλαδή σταθερή). Υποθέτουμε έτσι ότι τα δύο ή τρία πτερύγια του δρομέα (που υπάρχουν συνήθως στις περισσότερες σύγχρονες ανεμογεννήτριες), έχουν αντικατασταθεί με άπειρα σε αριθμό μικρά πτερύγια, που ασκούν την ίδια δύναμη αντίστασης, στο επερχόμενο ρεύμα του αέρα, που είναι ίδια με τη μέση δύναμη αντίστασης  $F$  ενός πραγματικού συστήματος δρομέα.

Η ροή μάζας ανά μονάδα χρόνου  $m$ , είναι σταθερή στο απώτερο άνω ρεύμα (0), στο δρομέα (1) και στο απώτερο κάτω ρεύμα (2).

$$m = \rho \cdot A_0 \cdot V_0 = \rho \cdot A_0 \cdot V_1 = \rho \cdot A_2 \cdot V_2 \quad (61)$$

Η δύναμη  $F$  που ασκείται από το ρεύμα του αέρα πάνω στο δρομέα ισούται με τη διαφορά της ορμής ανά μονάδα χρόνου.

$$F = m(V_0 - V_2) \quad (62)$$

Η ισχύς  $W$  που παίρνει ο δρομέας από το ρεύμα του αέρα ισούται με τη διαφορά κινητικής ενέργειας του ρεύματος του αέρα.

$$W = m \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot V_0^2 - \frac{1}{2} \cdot V_2^2 \right) \quad (63)$$

Η δύναμη  $F$  που ασκείται πάνω στο δρομέα έχει ταχύτητα  $V_1$ , έτσι:

$$W = F \cdot V_1 \quad (64)$$

Έτσι, από τις εξισώσεις 46 και 48, προκύπτει:

$$V_1 = \frac{1}{2}(V_0 + V_2) \quad (65)$$

Ο συντελεστής ταχύτητας κάτω ρεύματος (ή καθοδικού ρεύματος)  $b$ , δηλαδή ο λόγος των ταχυτήτων άνω ρεύματος (ή ανοδικού ρεύματος) προς κάτω ρεύμα είναι:

$$b = \frac{V_2}{V_0} \quad (66)$$

Από τις εξισώσεις 50, 49 και 47 προκύπτει:

$$\frac{F}{A_1} = 1/2\rho V_0^2(1 - b^2) \quad (67)$$

Επίσης, από τις εξισώσεις 50 και 51, έχουμε:

$$\frac{W}{A_1} = 1/2\rho A_1 V_0^3 \cdot (1 - b^2) \cdot (1 + b) \quad (68)$$

Ο συντελεστής απόδοσης  $C_p$  ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος  $W$  που αποδίδεται στο δρομέα από το ρεύμα του αέρα, προς την ισχύ  $W_I$  του ρεύματος του αέρα εάν δεν περνούσε διαμέσου του θαλάμου της ατράκτου, δηλαδή:



$$C_p = \frac{W}{W_1} \quad (69)$$

Και επειδή:

$$W_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_1 \cdot V_0^3 \quad (70)$$

Τότε:

$$C_p = \frac{1}{2} \cdot (1 - b^2) \cdot (1 + b) \quad (71)$$

Εάν διαφοροποιήσουμε το  $C_p$  ως προς το  $b$ , θα λάβουμε το μέγιστο της συνάρτησης όταν ο συντελεστής  $b$  πάρει τιμή  $1/3$ , οπότε προκύπτει:

$$C_p = \frac{16}{27} \text{ ή περίπου } 59\% \text{ ή } 0,59$$

Αντιλαμβανόμαστε ότι υπάρχει μια αλλαγή στην ταχύτητα του ρεύματος του αέρα, που διαπερνά το θάλαμο της ατράκτου, για την οποία θα έχουμε τη μέγιστη απόδοση μετατροπής. Εάν δεν υπάρξει αυτή η αλλαγή ο δρομέας δε θα πάρει ενέργεια και η ισχύς του ανεμοκινήτηρα θα είναι μηδενική. Εάν η ταχύτητα εξόδου του κάτω ρεύματος του αέρα θα έχει αποδοθεί στον ανεμοκινήτηρα. Όμως τέτοιου είδους ανεμοκινήτηρας δεν υπάρχει, οπότε μόνο ένα μέρος της κινητικής ενέργειας του αέρα μετατρέπεται σε χρήσιμη ενέργεια από τον ανεμοκινήτηρα. Έτσι η μέγιστη απόδοση του ανεμοκινήτηρα είναι ανάλογη της μέγιστης διαφοράς της ταχύτητας του αέρα που προσπίπτει στο δρομέα του ανεμοκινήτηρα, από την ταχύτητα εξόδου του αέρα από το θάλαμο και φυσικά αυτή η ταχύτητα δεν είναι μηδενική. Όταν λέμε ανεμοκινήτηρας εννοούμε το συγκρότημα του έλικα από το οποίο παίρνουμε περιστροφική κίνηση. Όταν η κίνηση αυτή χρησιμοποιηθεί για να κινηθεί μία γεννήτρια έχουμε μία ανεμογεννήτρια. Η κίνηση όμως αυτή μπορεί, αντί να δοθεί σε μία γεννήτρια, να δοθεί σε μία αντλία νερού.

Οι σύγχρονοι ανεμοκινήτηρες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας «ανεμογεννήτριες» έχουν συντελεστή  $C_p=0,40$ . Οι μεγαλύτερες απώλειες απόδοσης σε μια ανεμογεννήτρια οφείλονται στην τριβή των μορίων του αέρα με τα πτερύγια του δρομέα, στον στροβιλισμό του αέρα που προξενείτε στο ρεύμα του αέρα από το δρομέα, στις απώλειες ισχύος στο μηχανικό σύστημα μετάδοσης κίνησης καθώς και στο ηλεκτρικό σύστημα (Walker & Jenkins, 2007).

## 6. Βήματα δημιουργίας στατιστικών δεδομένων του σταθμού μέσω του *Observed Wind Climate Wizard του WAsP (OWC)*

Η προεπεξεργασία των στατιστικών δεδομένων αρχίζει με την εισαγωγή των *\*prn files* στο *Observed Wind Climate Wizard* του *WAsP*. Αρχικά, ανοίγουμε το πρόγραμμα τοποθετώντας το υψόμετρο του ανεμομέτρου (στην περίπτωση μας το ανεμόμετρο βρίσκεται 10m πάνω από το έδαφος), το γεωγραφικό μήκος (για το σταθμό της Λεμεσού είναι 33° 2'38'' το οποίο αντιστοιχεί με 33.04389° «33.04389 μοίρες», για το σταθμό της Πόλης Χρυσοχού είναι 35° 02' το οποίο αντιστοιχεί με 32.43333° «32.43333 μοίρες»), το γεωγραφικό πλάτος (για το σταθμό της Λεμεσού είναι 34° 40'17'' το οποίο αντιστοιχεί με 34.67139° «34.67139 μοίρες» και για το σταθμό της Πόλης Χρυσοχού είναι 32° 26' το οποίο αντιστοιχεί με 32.43333° «32.43333 μοίρες») και την περιγραφή της περιοχής μελέτης (βλέπε Εικόνα 75).

OWC Wizard - Provide data collection site details

Some basic information about the data collection site is required.

Anemometer height [m]	10	<input checked="" type="checkbox"/>
Site longitude [°] (decimal)	35,0333	<input checked="" type="checkbox"/>
Site latitude [°] (decimal)	32,4333	<input checked="" type="checkbox"/>

You can (optionally) provide a short text description of the site in the box below.

Site description: Marine

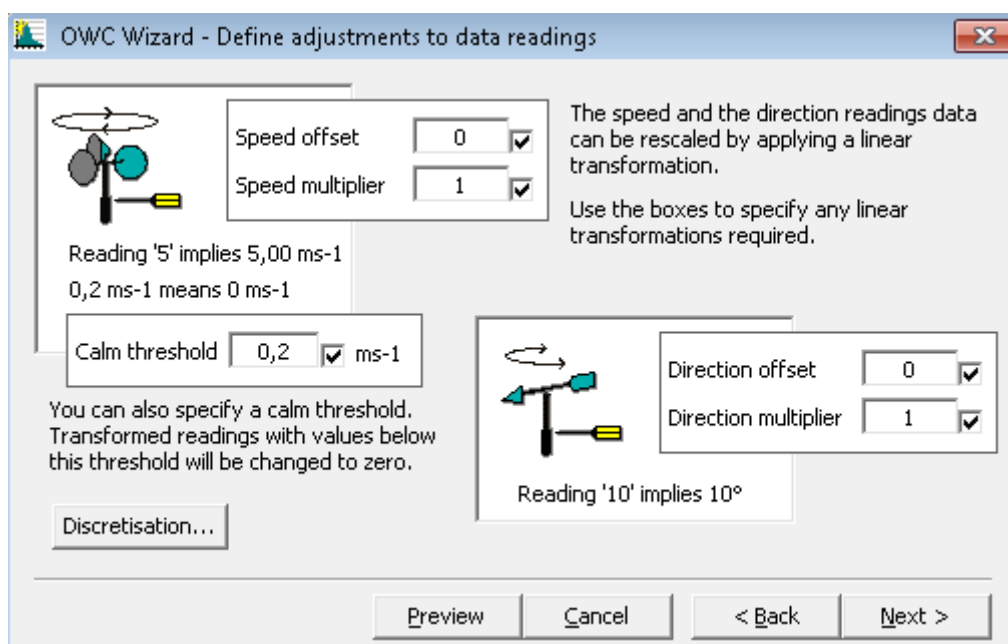
Buttons: Cancel, < Back, Next >

Εικόνα 74 Προεπεξεργασία δεδομένων – στατιστικά χαρακτηριστικά του σταθμού. Τοποθέτηση γεωγραφικών συντεταγμένων του σταθμού μελέτης.

Ακολούθως, προχωρούμε στο επόμενο στάδιο όπου καταχωρούμε τα δεδομένα των μέσων ταχυτήτων και των διευθύνσεων, όπως τα αποθηκεύσαμε σε μορφή *\*prn*. Έπειτα, συγκεκριμενοποιούμε στο πρόγραμμα τι να αναγνώθει, δηλαδή την γραμμή επικεφαλίδων (*Header rows in file*), τις στήλες που παρατίθενται σε κάθε γραμμή (*Data elements per row*), την στήλη των διευθύνσεων του ανέμου (*Direction Column*) και την στήλη των ταχυτήτων (*Speed Column*).

Έπειτα, προχωρούμε στο επόμενο στάδιο, όπου καθορίζουμε στο πρόγραμμα την πρώτη τιμή (*First reading*) και την τελευταία τιμή ανάγνωσης «γραμμή ανάγνωσης» (*Last reading*).

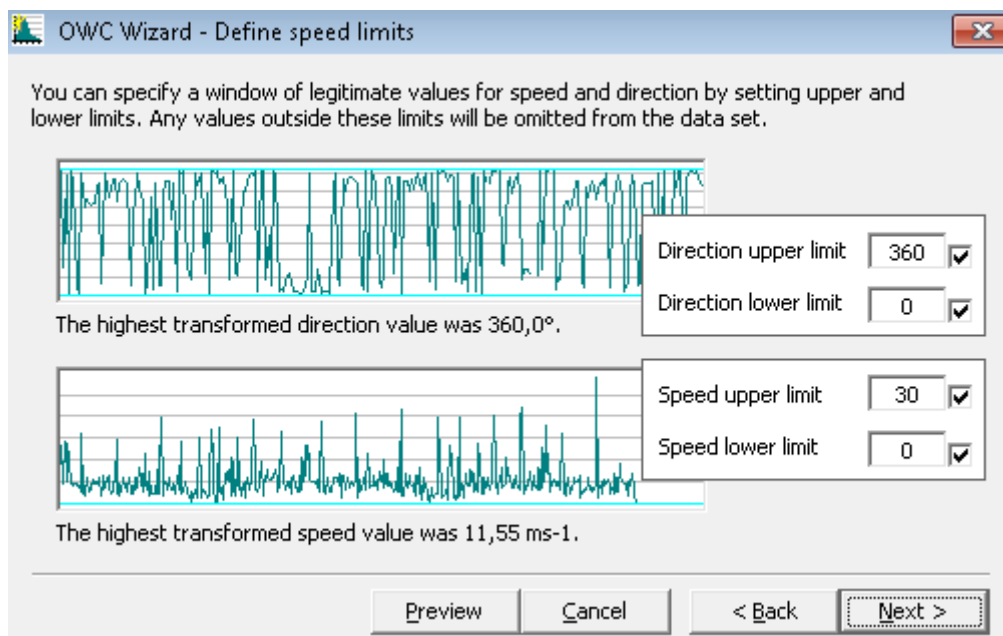
Εν συνεχεία, καθορίζουμε στο επόμενο στάδιο τα χαρακτηριστικά που θέλουμε να λαμβάνει υπόψη του η ρουτίνα του προγράμματος. Δηλαδή, από ποια ελάχιστη τιμή της ταχύτητας και της διεύθυνσης να αναγνώθει, καθώς και το βήμα που θέλουμε να αναγνώθει. Επίσης, στο κουμπί *Discretisation* μπορούμε να καθορίσουμε την ακρίβεια των τιμών που θα λαμβάνει το πρόγραμμα από το *\*prn file*, με το πόσα δεκαδικά θέλουμε ακρίβεια από τα δεδομένα των ταχυτήτων και των διευθύνσεων (βλέπε Εικόνα 76).



**Εικόνα 75** Καθορισμός της ακρίβειας ανάγνωσης των δεδομένων των ταχυτήτων και των διευθύνσεων του ανέμου από το OWC του WAsP. Στην εικόνα παρατίθενται οι παράμετροι όπως τις καθορίσαμε στο πρόγραμμα.

Επιπλέον, στο επόμενο στάδιο καθορίζουμε τα όρια της μέγιστης και ελαχίστης τιμής που θέλουμε για την ταχύτητα και την διεύθυνση, καθώς το πρόγραμμα εντοπίζει την μέγιστη τιμή τόσο της ταχύτητας, αλλά και των διευθύνσεων από τα δεδομένα που του εισάγαμε σε *\*prn file*. Έτσι παρέχεται και ένας γρήγορος έλεγχος ακόμα, αν οι τιμές μας εξακολουθούν να είναι εσφαλμένες. Για παράδειγμα, δεν νοείται να έχουμε ταχύτητα του ανέμου πάνω από 20m/s ή ακόμα και πάνω από 30m/s όπως το θέσαμε σαν όριο για τις ταχύτητες (βλέπε Εικόνα 77).

Ακολούθως, στο επόμενο στάδιο, τοποθετούμε αν θέλουμε επιπλέον αρχείο *\*prn* με επιπλέον μετρήσεις για το σταθμό. Για την παρούσα πτυχιακή, τα δεδομένα εισάχθηκαν στο πρόγραμμα μόνο σε ένα *\*prn*, αφού δεν απαιτείτο να τα σπάσουμε σε περαιτέρω αρχεία *\*prn*, γιατί δεν ήταν περισσότερα από 22500 χιλιάδες οι γραμμές με τις τιμές αναγνώσεις για την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου.

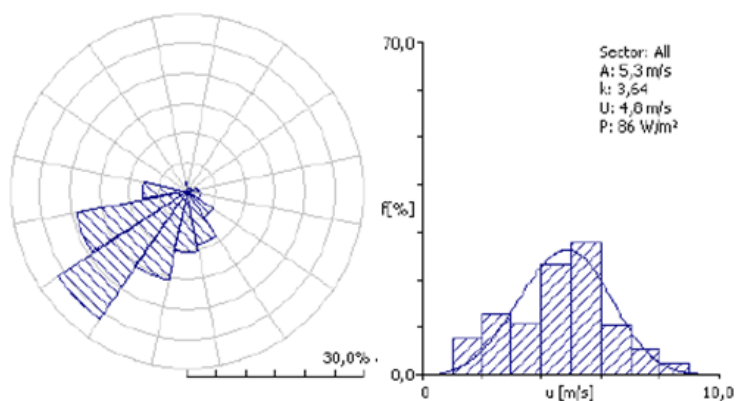


**Εικόνα 76 Καθορισμός των ορίων για την μέγιστη και ελάχιστη τιμή ανάγνωσης που θέλουμε να αναγνώθει το πρόγραμμα OWC του WAsP. Στην εικόνα παρατίθενται οι παράμετροι όπως τις καθορίσαμε στο πρόγραμμα.**

Στο επόμενο στάδιο, γίνεται καθορισμός σε πόσους τομείς να χωρίζεται και να παρουσιάζεται η διεύθυνση του ανέμου, στο ιστόγραμμα, για μια σωστή οπτική και αναπαράσταση της συμπεριφοράς του ανέμου στο σταθμό μελέτης. Το πρόγραμμα, παραθέτει ως ελάχιστο διαχωρισμό σε 6 τομείς τουλάχιστον την διεύθυνση του ανέμου «6 τομείς αντιστοιχούν με  $\frac{360^{\circ}}{6} = 60^{\circ}$  ο κάθε τομέας». Στην παρούσα διπλωματική για περαιτέρω ακρίβεια και απεικόνιση της κατεύθυνσης του ανέμου, έγινε διαχωρισμός της διεύθυνσης του ανέμου σε 16 τομείς, όπως παρατίθενται έπειτα στα αποτελέσματά μας, στο επόμενο κεφάλαιο.

Καταλήγοντας, αποθηκεύουμε την τελική μορφή των στατιστικών χαρακτηριστικών του ανέμου σε μορφή *\*tab*, που είναι μια αποδεκτή μορφή για να τα εισάγουμε ακολούθως στο WAsP. Έτσι, τώρα, έχοντας, τα στατιστικά χαρακτηριστικά του σταθμού μελέτης (βλέπε Εικόνα 78), τον χάρτη με το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης και λαμβάνοντας και την

τραχύτητα του εδάφους, μπορούμε να υπολογίσουμε το αιολικό δυναμικό στις περιοχές μελέτης (Για τους δύο χάρτες της Πόλης Χρυσοχού και της Λεμεσού).



12-14:  $v = 4.8 \text{ m/s}$ ,  $P = 86 \text{ W/m}^2$ ,  $a = 5.3 \text{ m/s}$ ,  $k = 3.64$

**Εικόνα 77** Ροδόγραμμα ανέμου στη θέση εγκατάστασης του ιστού μετρήσεων και δίπλα το ραβδόγραμμα όπου διαφαίνεται η κατανομή Πυκνότητας Πιθανότητας Weibull για το σταθμό της Λεμεσού, για το μήνα Αύγουστο, για το τρίωρο από 14:00 έως 16:00, για την χρονοσειρά δεδομένων από το 2002 έως το 2008, για το μήνα Αύγουστο.

## 7. Βήματα εξαγωγής Αιολικών Χαρτών του Αιολικού Δυναμικού μέσω του προγράμματος WAsP

Για την δημιουργία των χαρτών του αιολικού δυναμικού για τις περιοχές μελέτης, τόσο για τους δύο χάρτες της Πόλης Χρυσοχού, αλλά και στο χάρτη της Λεμεσού, ακολουθήθηκε, η παρούσα διαδικασία που θα αναλύσουμε παρακάτω.

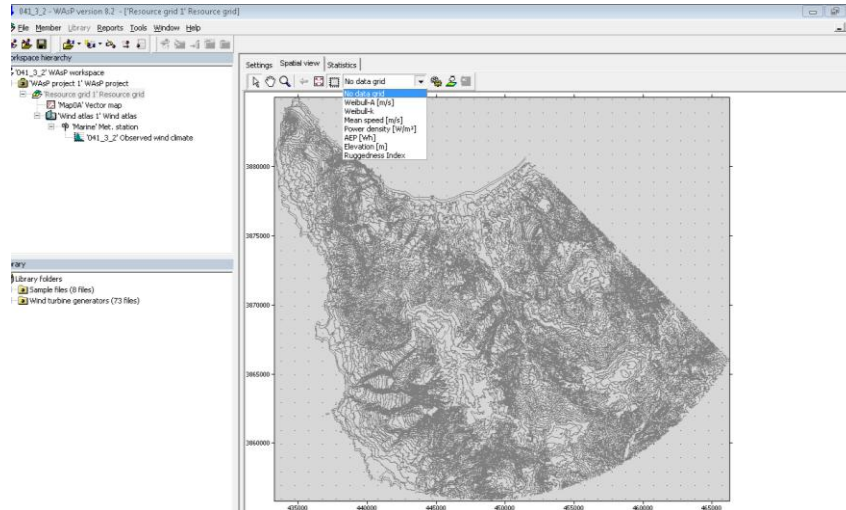
Αρχικά, ανοίγουμε το πρόγραμμα. Για την δημιουργία νέας επιφάνειας εργασίας, πληκτρολογούμε **File** και μετά **New Workspace**. Ακολούθως, με το ποντίκι πατάμε δεξί κλικ στο **WAsP project** και επιλέγουμε **Insert New** και μετά επιλέγουμε **Resource grid** και επιλέγουμε όλες τις επιλογές, λαμβάνοντας υπόψη μας και την επιλογή **Calculate Ruggedness Index**, που νοεί ότι να λάβει υπόψη του το πρόγραμμα την τραχύτητα του εδάφους.

Έπειτα, πατάμε δεξί κλικ στο **Resource grid** μετά **Insert From file** και επιλέγουμε **Vector Map** για να εισάγουμε το χάρτη της περιοχής μελέτης που είναι σε μορφή **\*map**. Εν συνεχεία, πάλιν δεξί κλικ στο **Resource grid**, **Insert New** και επιλέγουμε **Wind Atlas** για να μπορέσουμε να εισάγουμε τα ανεμολογικά και στατιστικά δεδομένα του σταθμού. Στην συνέχεια, πατάμε δεξί κλικ στο **Met Station**, δηλαδή στο μετεωρολογικό σταθμό και επιλέγουμε **Insert From file**, **Observed Wind Climate** για να εισάγουμε τα στατιστικά χαρακτηριστικά του σταθμού σε μορφή **\*tab**.

Μετάπειτα, πατάμε δεξί κλικ στο όνομα του σταθμού. Στην περίπτωση μας πατάμε δεξί κλικ στο **Marine Met. Station**, γιατί όπως περιγράψαμε στο πρόγραμμα **Observed Wind Climate Wizard** του WAsP στο **Site Description** για την περιγραφή των περιοχών μελέτης, αναφέραμε ότι, εξετάζουμε για παραλιακές περιοχές «**Marine**», και επιλέγουμε **Show Marine**. Ακολούθως, εισάγουμε τις συντεταγμένες του σταθμού όπου βρίσκεται το ανεμόμετρο. Έπειτα πατάμε δεξί κλικ στο **Wind Atlas** και επιλέγουμε **Calculated Wind Atlas** «**Wind Atlas 1**» from «**Marine**» μετά πατάμε δεξί κλικ στο **Marine Met. Station**.

Τέλος, πατάμε δεξί κλικ στο **Resource grid** και επιλέγουμε **Show 'Resource Grid 1'** για να επιλέξουμε την ανάλυση – κλίμακα που θέλουμε να εξάγουμε τους χάρτες του αιολικού δυναμικού για κάθε τρίωρο του μήνα, για κάθε χάρτη, και επιλέγουμε **Edit Grid** για να καθορίσουμε τις παραμέτρους. Επιλέγουμε, **Resolution 1000** και αλλάζουμε αναλόγως τα **Column** και **Row** μέχρι να εστιάσουμε όλο το χάρτη της περιοχής μελέτης και πατάμε **OK**. Ακολούθως, πατάμε **Calculate** και μετά αποθηκεύουμε το αρχείο μας σε μορφή **Workspace**

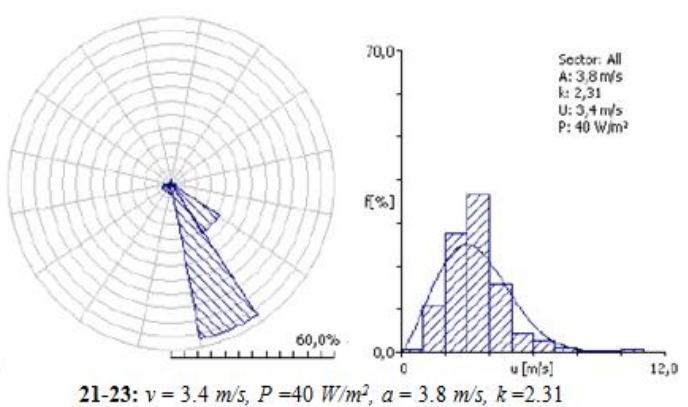
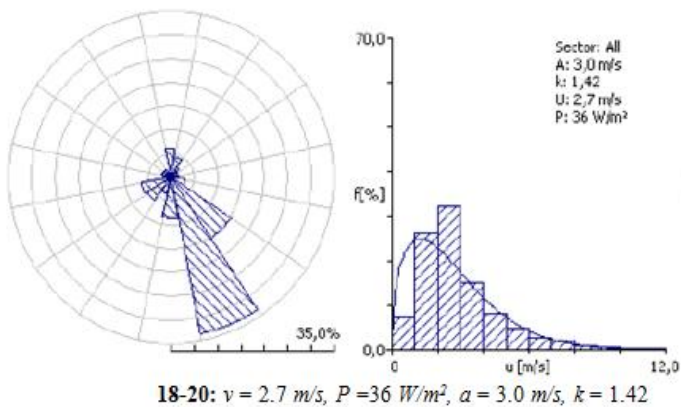
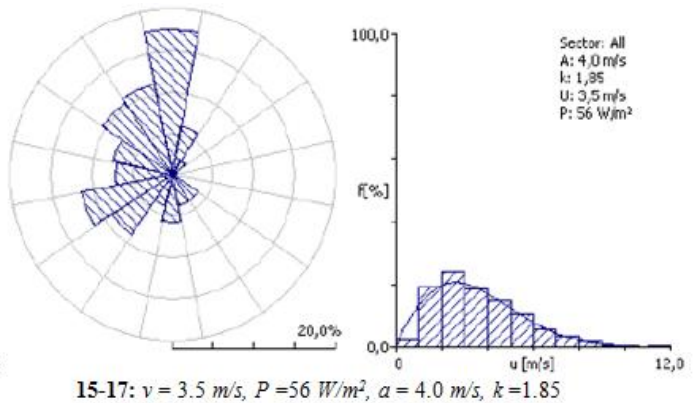
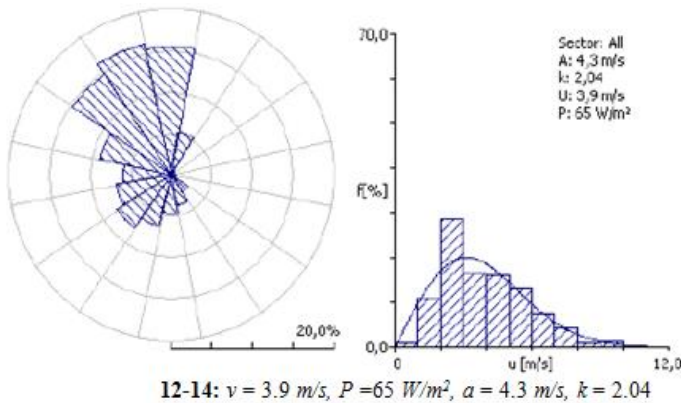
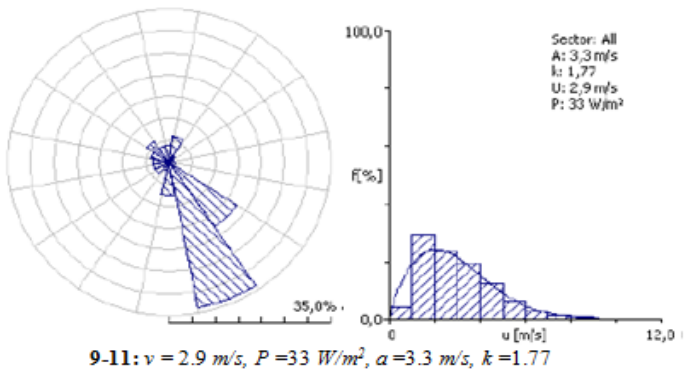
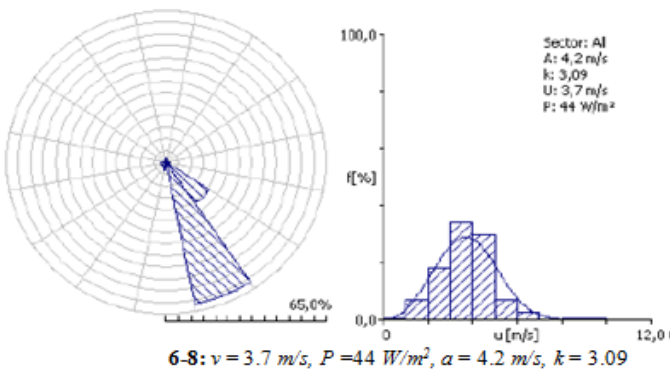
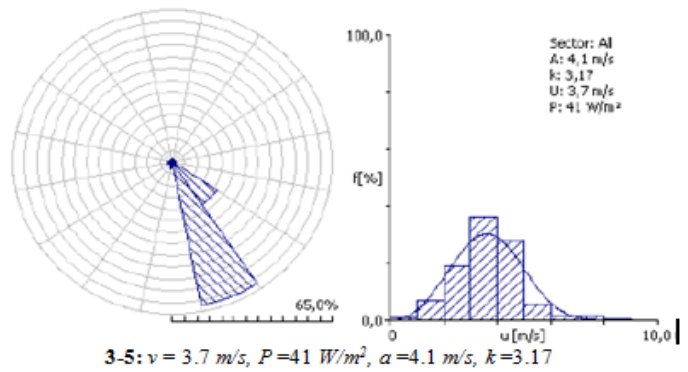
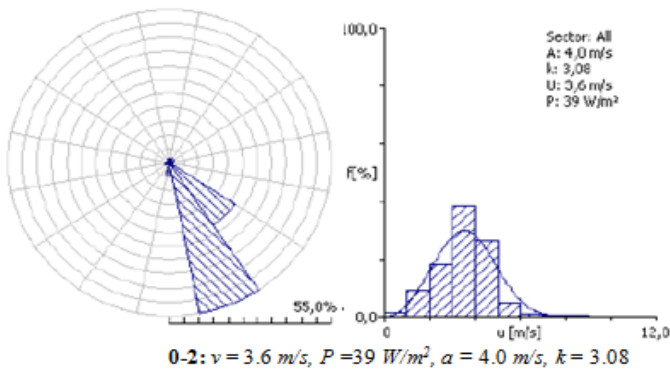
(βλέπε Εικόνα 79). Τέλος, πατάμε στο **Toolbar** για να μας εμφάνιση το αιολικό χάρτη της περιοχής με τις μέσες ταχύτητες του ανέμου σε κάθε θέση και κάνουμε **Export** σε **Surfer Grid** για να μπορέσουμε μέσω του **ArgGIS** στην συνέχεια να οπτικοποιήσουμε τους χάρτες και να πάρουν μια τελική μορφή. Ομοίως, πατάμε στο **Toolbar** για να μας εμφάνιση το αιολικό χάρτη της περιοχής με τις μέσες ταχύτητες του ανέμου σε κάθε θέση και κάνουμε **Export** σε **Surfer Grid**.



**Εικόνα 78 Διαδικασία υπολογισμού του αιολικού δυναμικού από το WAsP. Στην παρούσα εικόνα διαφαίνεται ο υπολογισμός του αιολικού δυναμικού για τον μήνα Μάρτιο, για το τρίωρο από 6 – 8 το πρωί.**

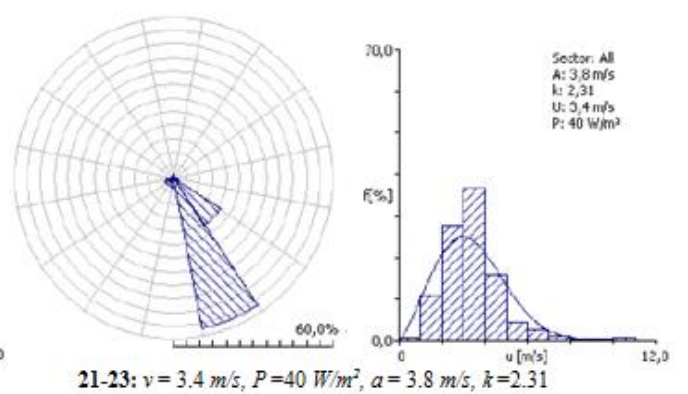
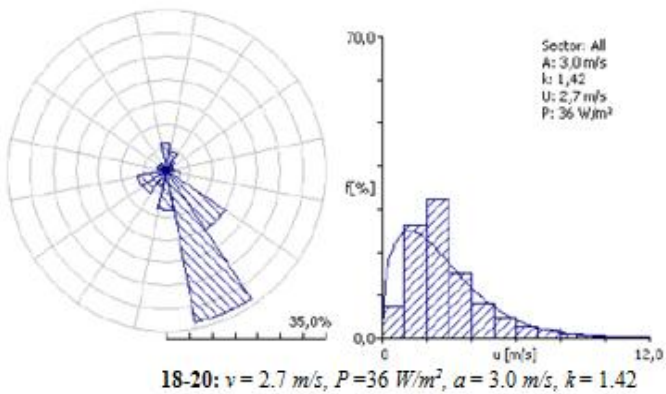
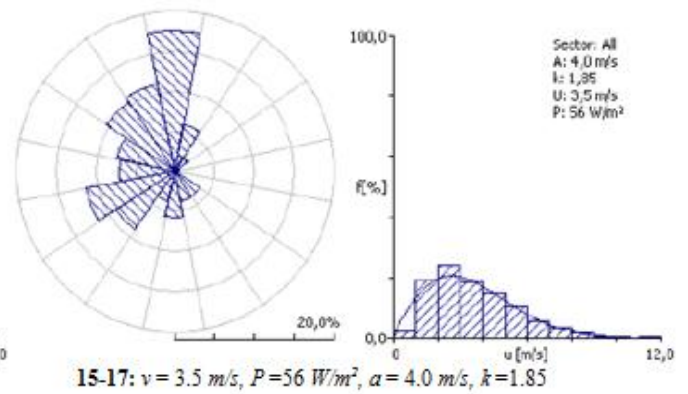
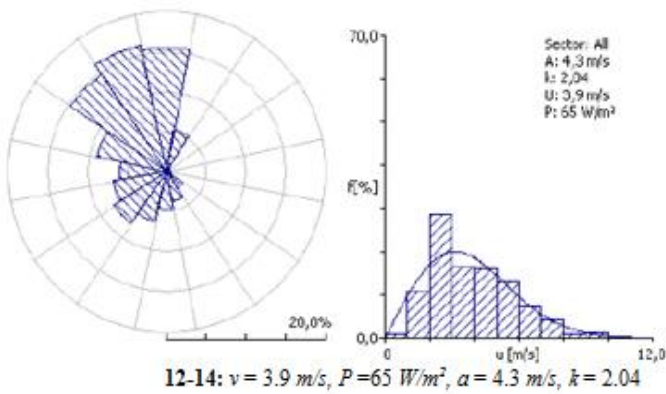
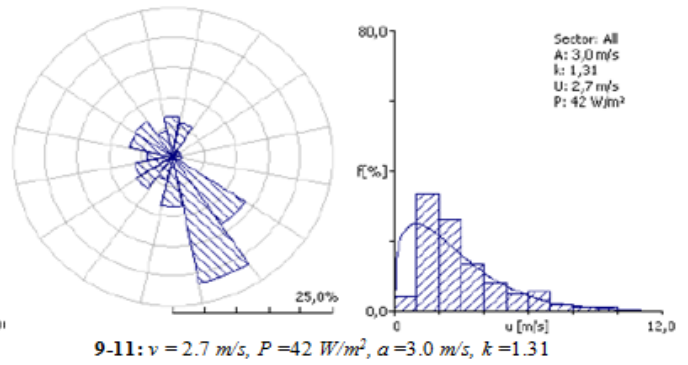
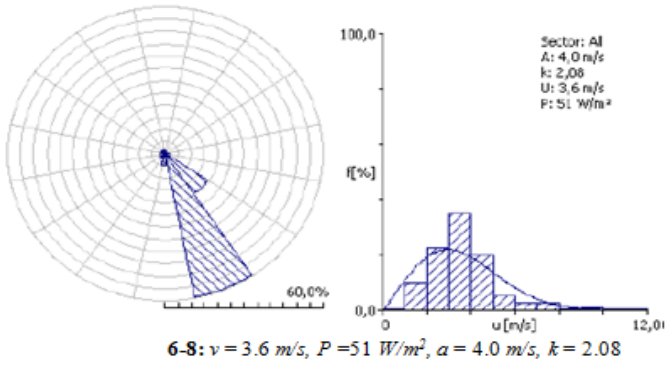
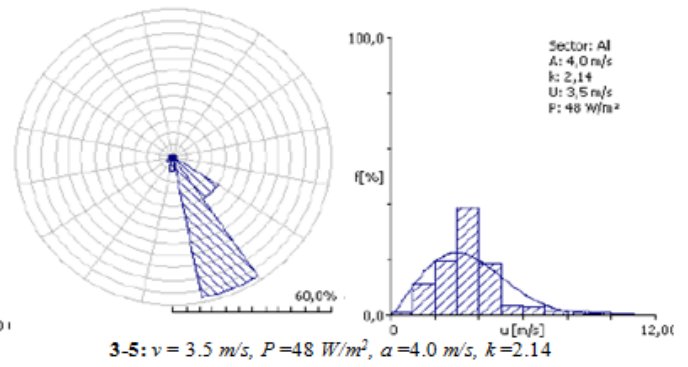
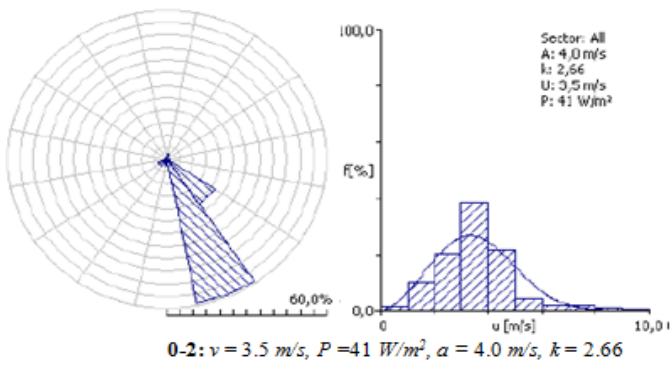
## 8. Στατιστικά Στοιχεία των Σταθμών Λεμεσού και Πόλης Χρυσογού

Πόλης Χρυσογού (041), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διευθύνσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, κατά την περίοδο 2002-2008, για το μήνα Ιανουάριο.

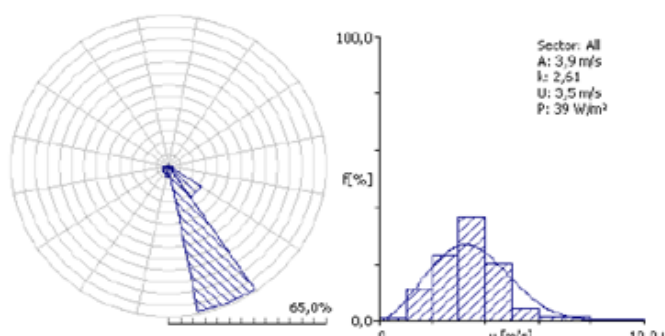




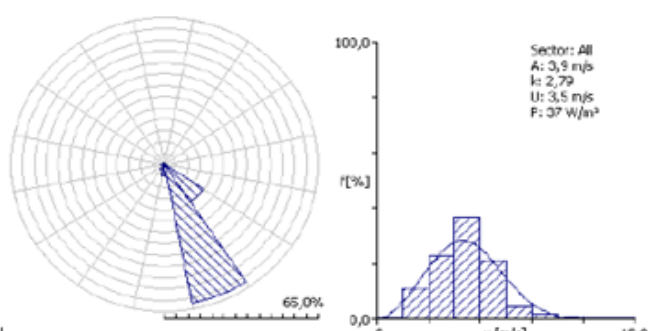
**Πόλης Χρυσσογούς (041), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διευθύνσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, κατά την περίοδο 2002-2008, για το μήνα Φεβρουάριο.**



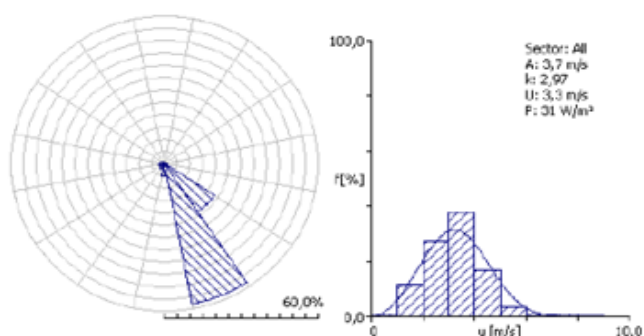
**Πόλης Χρυσοχούς (041), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διευθύνσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, κατά την περίοδο 2002-2008, για το μήνα Μάρτιο.**



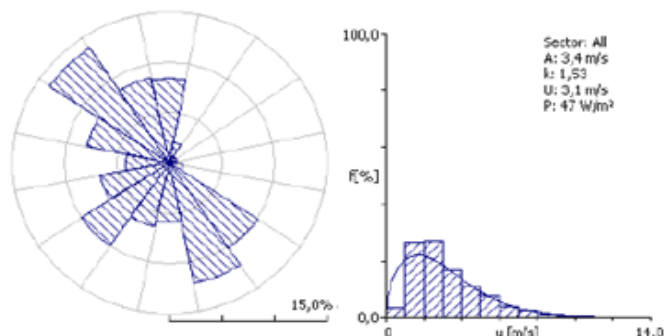
**0-2:  $v = 3.5 \text{ m/s}$ ,  $P = 39 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 3.9 \text{ m/s}$ ,  $k = 2.61$**



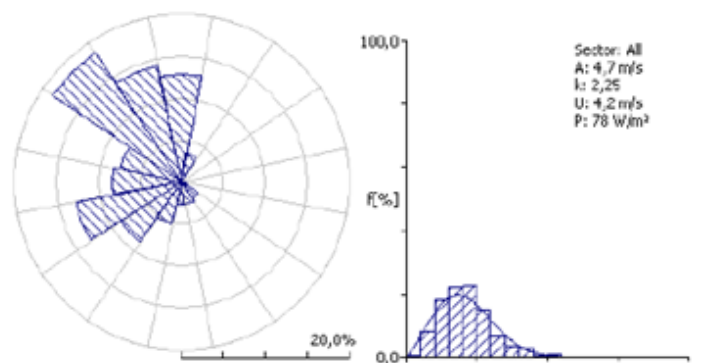
**3-5:  $v = 3.5 \text{ m/s}$ ,  $P = 37 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 3.9 \text{ m/s}$ ,  $k = 2.79$**



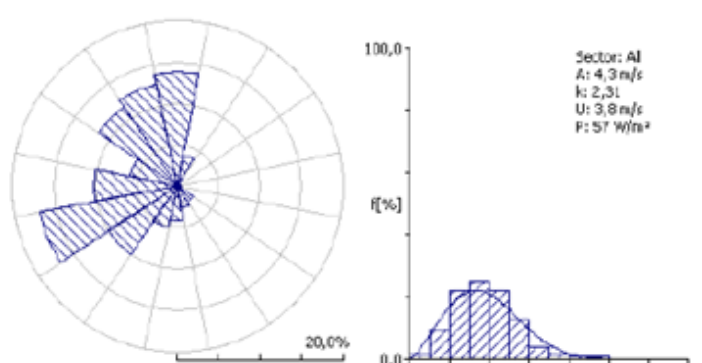
**6-8:  $v = 3.3 \text{ m/s}$ ,  $P = 31 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 3.7 \text{ m/s}$ ,  $k = 2.97$**



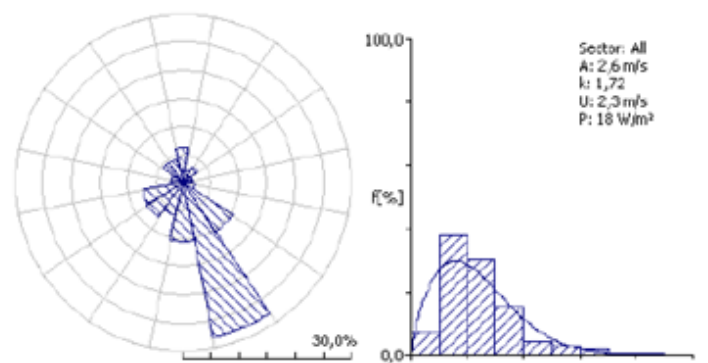
**9-11:  $v = 3.1 \text{ m/s}$ ,  $P = 47 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 3.4 \text{ m/s}$ ,  $k = 1.53$**



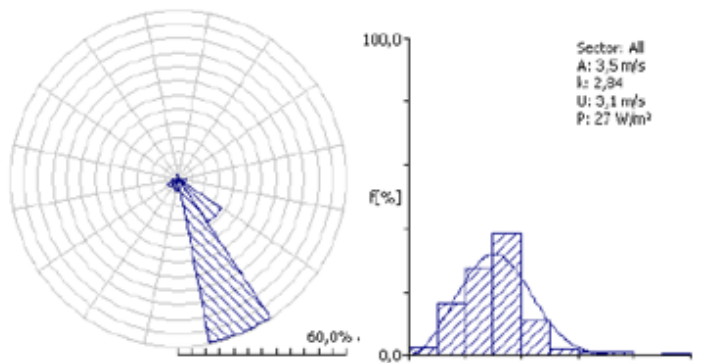
**12-14:  $v = 4.2 \text{ m/s}$ ,  $P = 78 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 4.7 \text{ m/s}$ ,  $k = 2.25$**



**15-17:  $v = 3.8 \text{ m/s}$ ,  $P = 57 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 4.3 \text{ m/s}$ ,  $k = 2.31$**

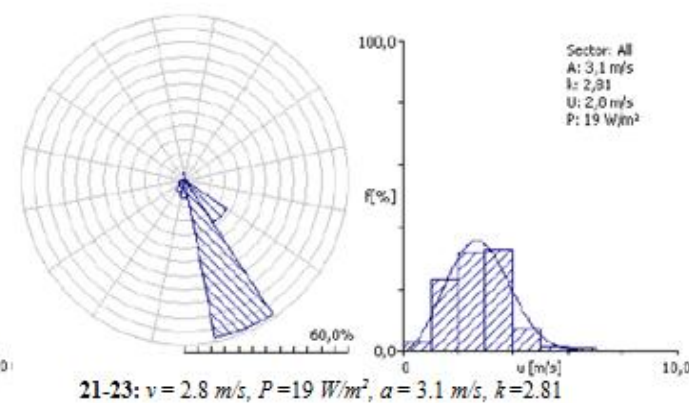
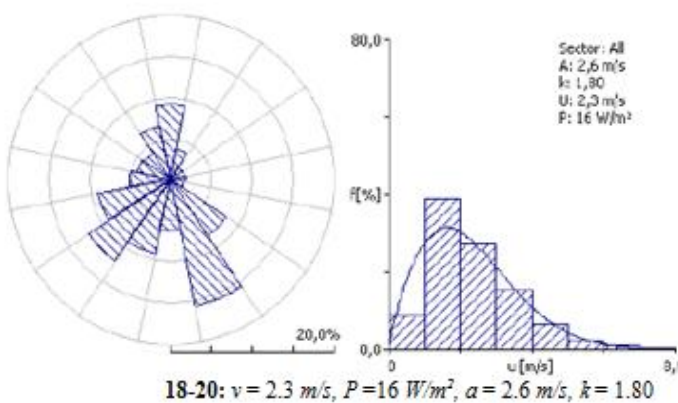
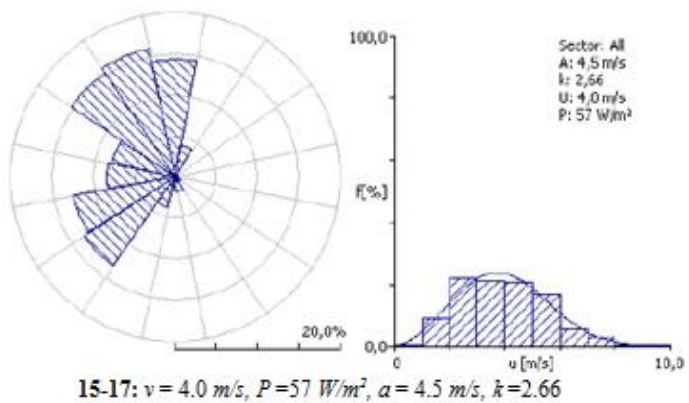
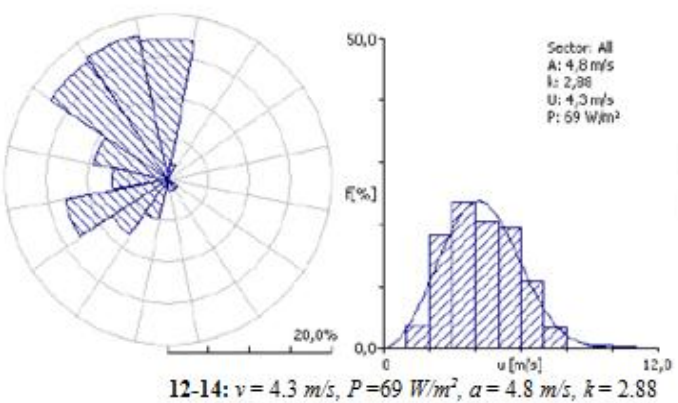
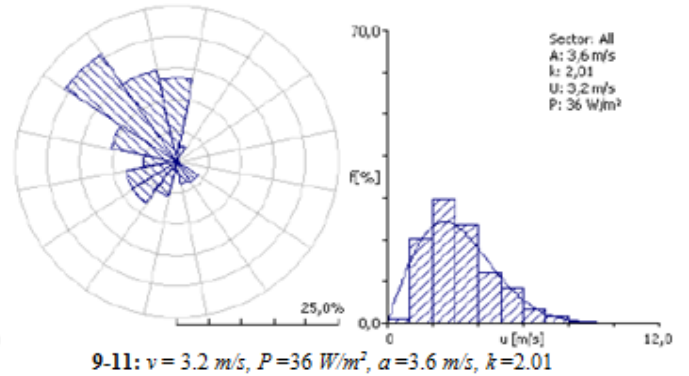
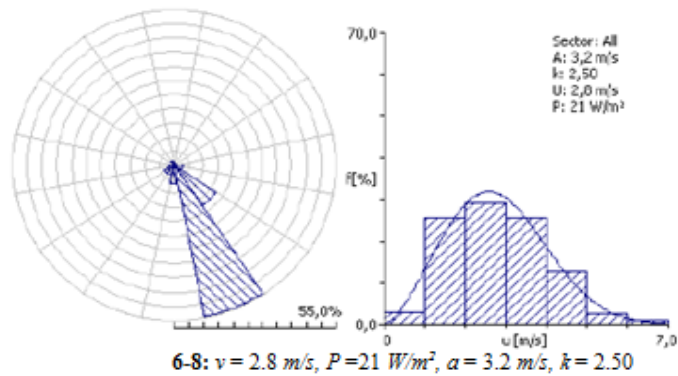
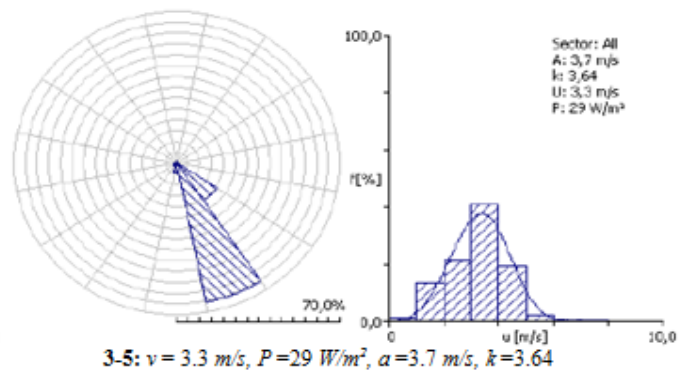
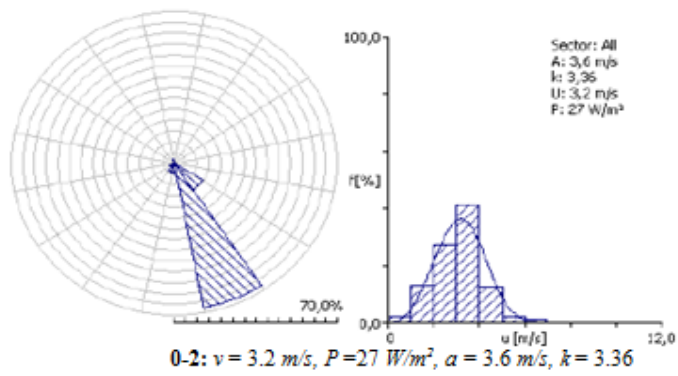


**18-20:  $v = 2.3 \text{ m/s}$ ,  $P = 18 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 2.6 \text{ m/s}$ ,  $k = 1.72$**



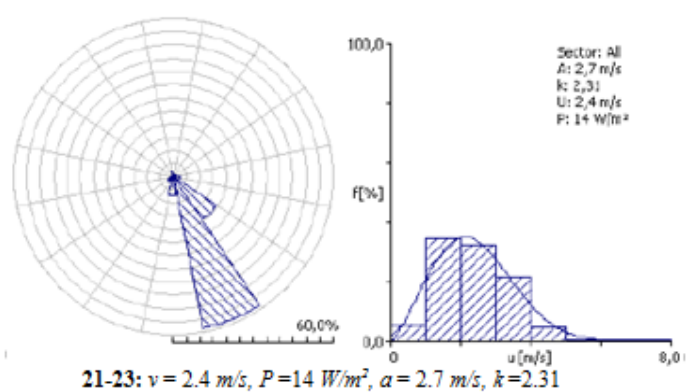
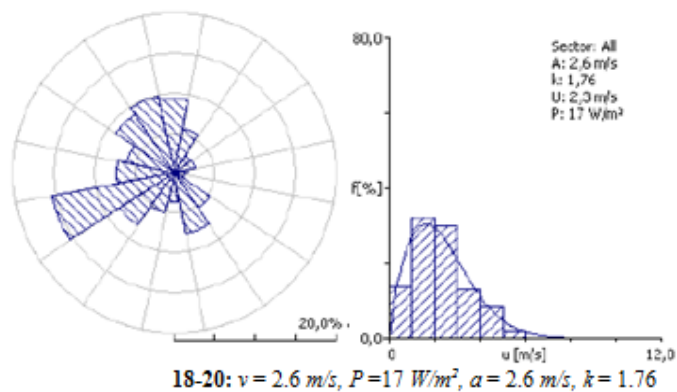
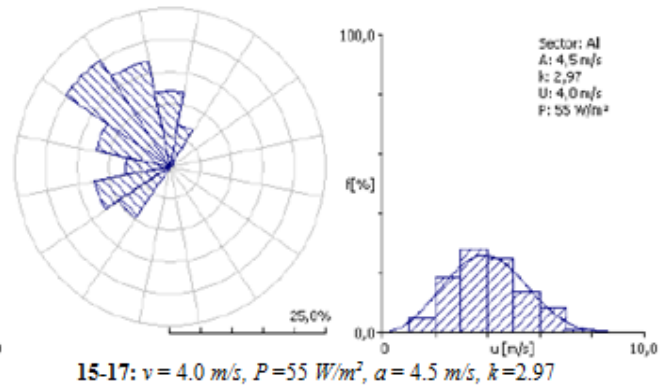
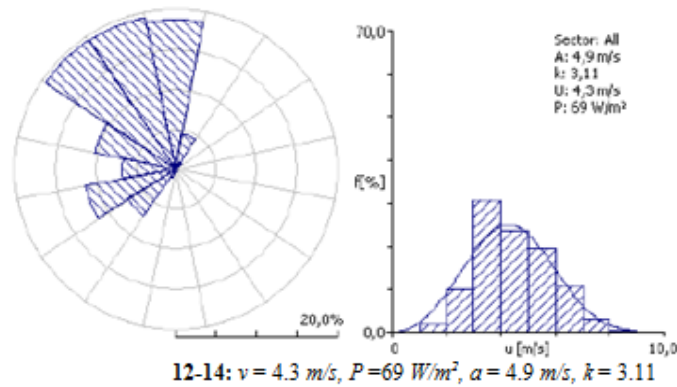
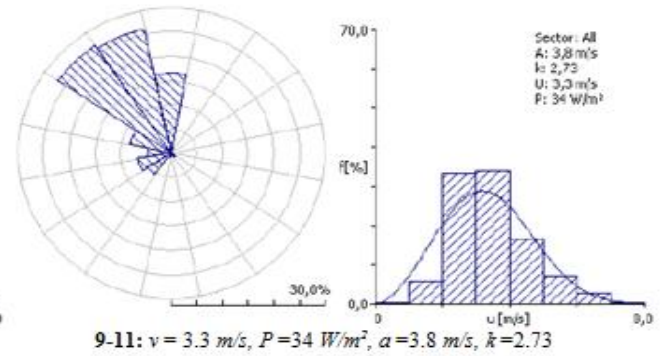
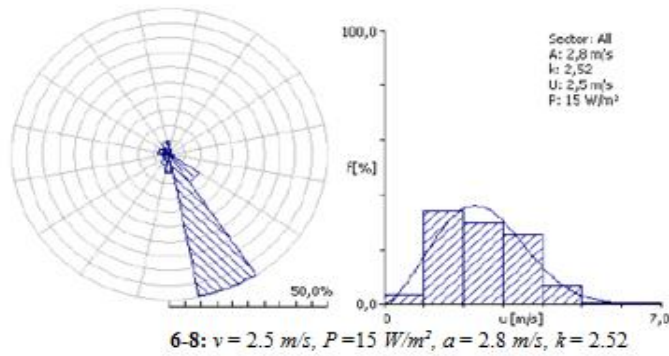
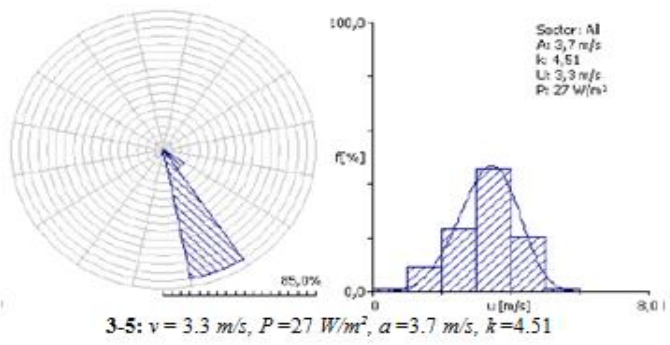
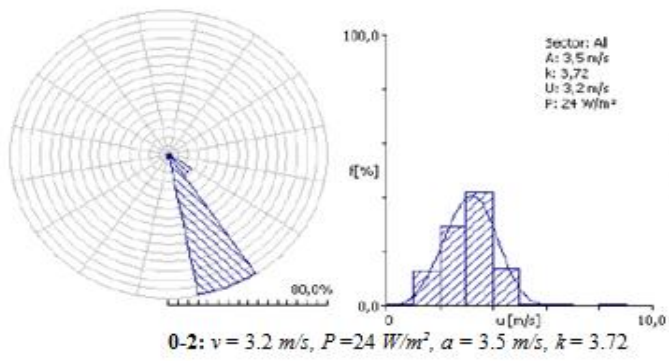
**21-23:  $v = 3.1 \text{ m/s}$ ,  $P = 27 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 3.5 \text{ m/s}$ ,  $k = 2.84$**

**Πόλης Χρυσοχούς (041), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διευθύνσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, κατά την περίοδο 2002-2008, για το μήνα **Απρίλιο**.**

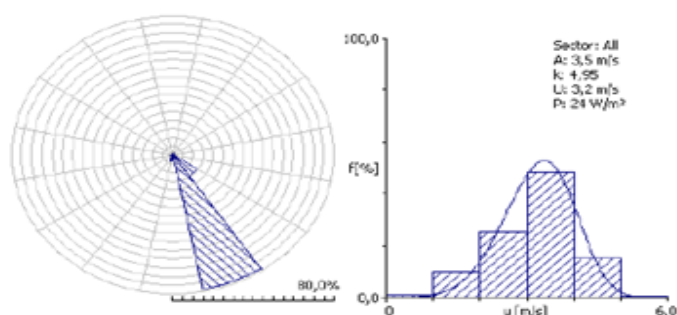




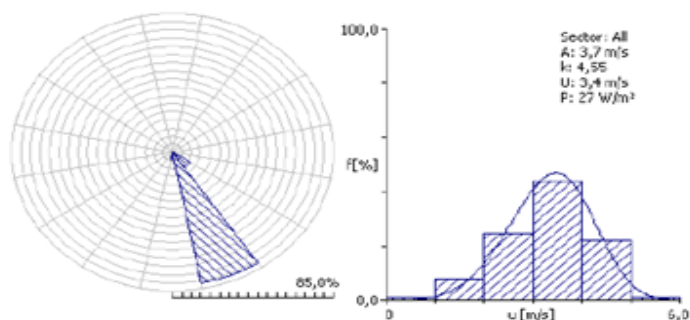
**Πόλης Χρυσογούς (041), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διευθύνσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, κατά την περίοδο 2002-2008, για το μήνα Μάιο.**



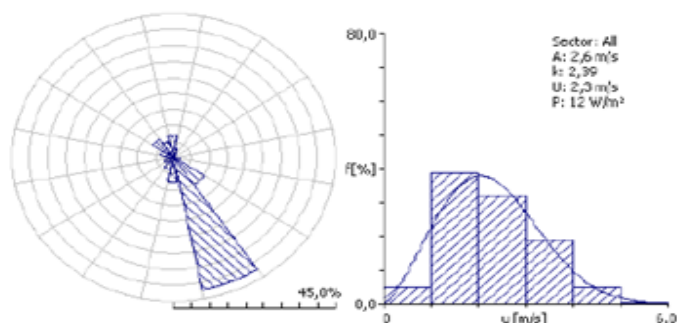
**Πόλης Χρυσοχούς (041), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διευθύνσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, την περίοδο 2002-2008, για το μήνα Ιούνιο.**



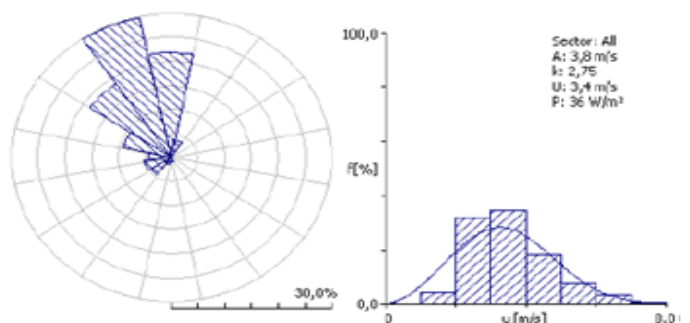
**0-2:  $v = 3.2 \text{ m/s}$ ,  $P = 24 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 3.5 \text{ m/s}$ ,  $k = 4.95$**



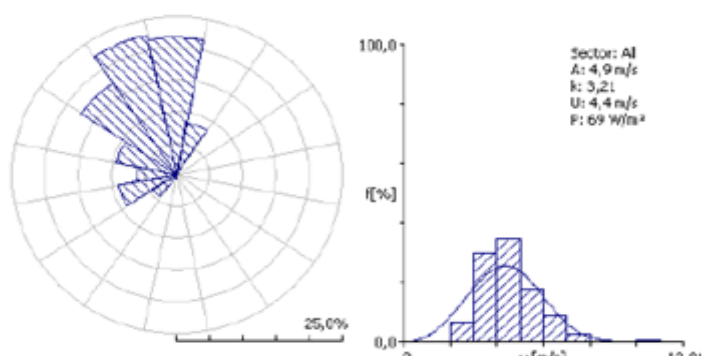
**3-5:  $v = 3.4 \text{ m/s}$ ,  $P = 27 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 3.7 \text{ m/s}$ ,  $k = 4.55$**



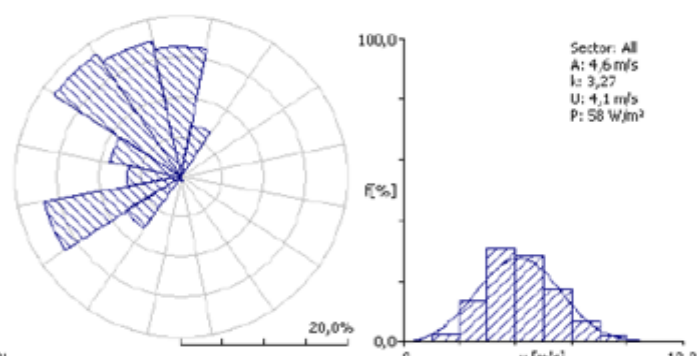
**6-8:  $v = 2.3 \text{ m/s}$ ,  $P = 12 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 2.6 \text{ m/s}$ ,  $k = 2.39$**



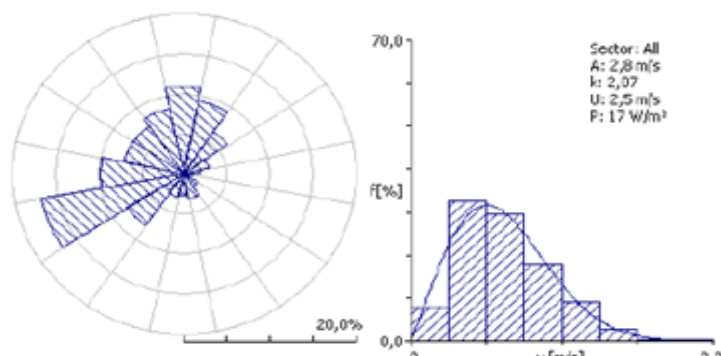
**9-11:  $v = 3.4 \text{ m/s}$ ,  $P = 36 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 3.8 \text{ m/s}$ ,  $k = 2.75$**



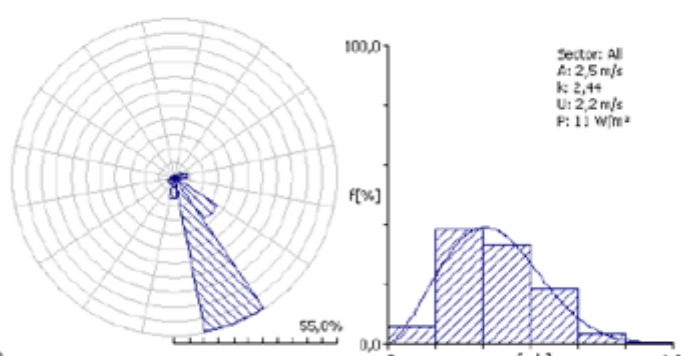
**12-14:  $v = 4.4 \text{ m/s}$ ,  $P = 69 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 4.9 \text{ m/s}$ ,  $k = 3.21$**



**15-17:  $v = 4.1 \text{ m/s}$ ,  $P = 58 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 4.6 \text{ m/s}$ ,  $k = 3.27$**

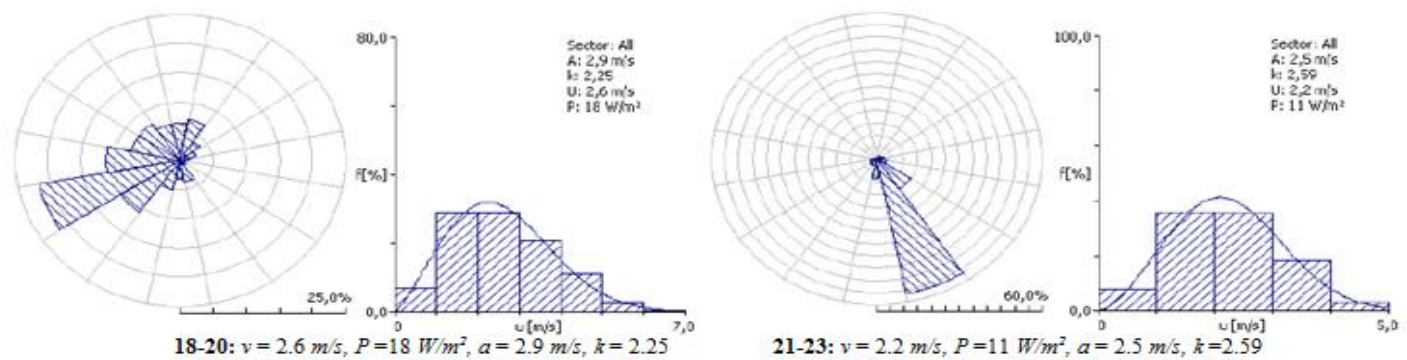
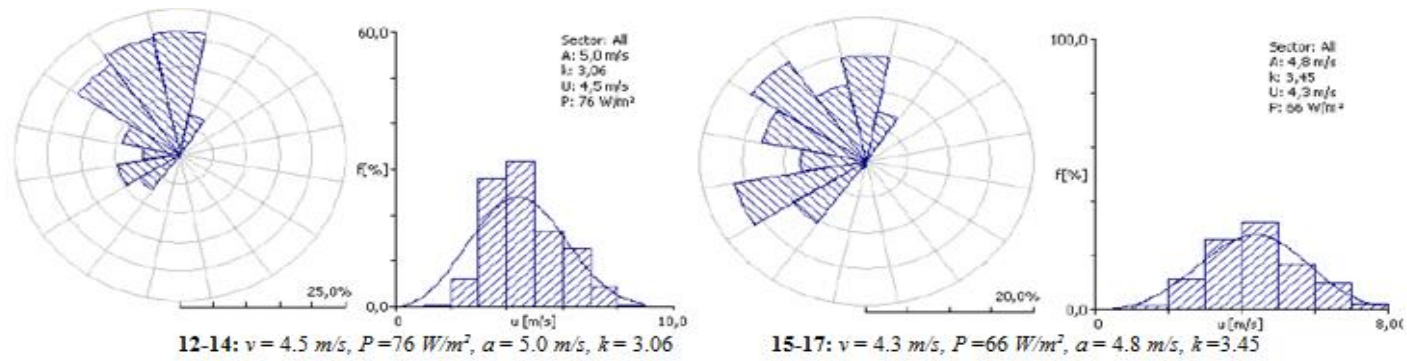
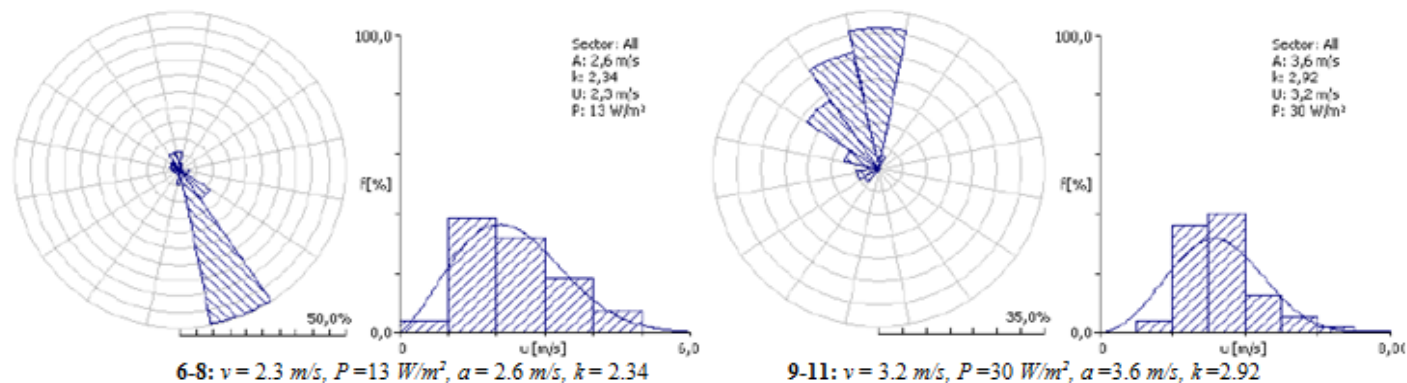
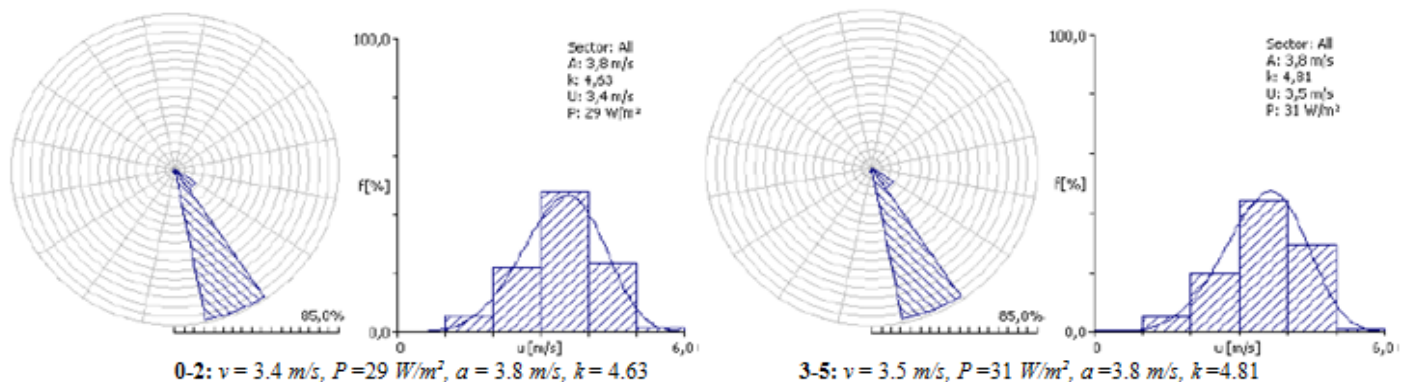


**18-20:  $v = 2.5 \text{ m/s}$ ,  $P = 17 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 2.8 \text{ m/s}$ ,  $k = 2.07$**



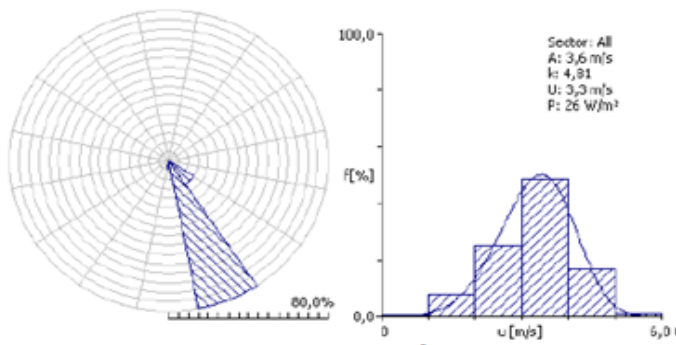
**21-23:  $v = 2.2 \text{ m/s}$ ,  $P = 11 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 2.5 \text{ m/s}$ ,  $k = 2.44$**

**Πόλης Χρυσοχούς (041), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διευθύνσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, κατά την περίοδο 2002-2008, για το μήνα Ιούλιο.**

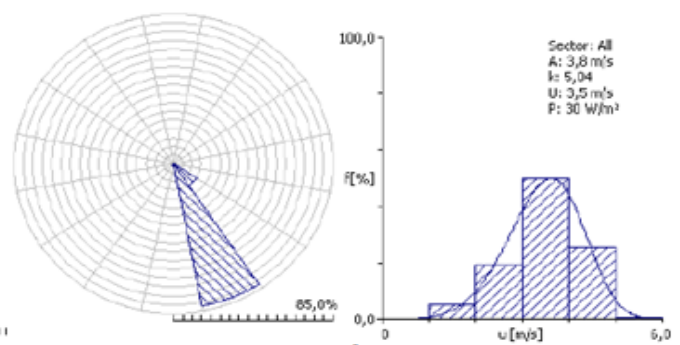




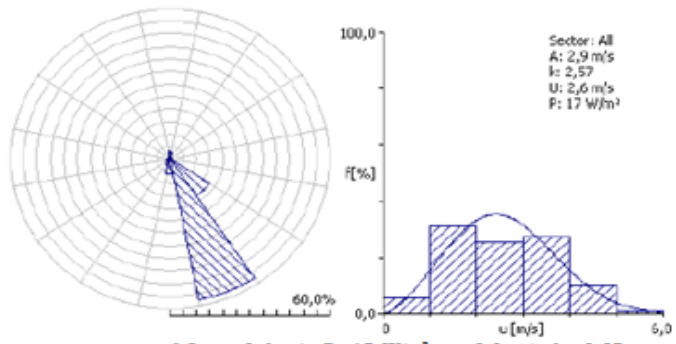
**Πόλης Χρυσογούς (041), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διευθύνσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, κατά την περίοδο 2002-2008, για το μήνα **Αύγουστο**.**



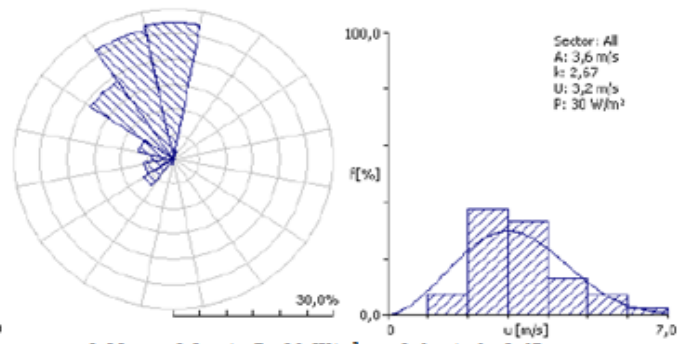
**0-2:**  $v = 3.6 \text{ m/s}$ ,  $P = 26 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 3.6 \text{ m/s}$ ,  $k = 4.81$



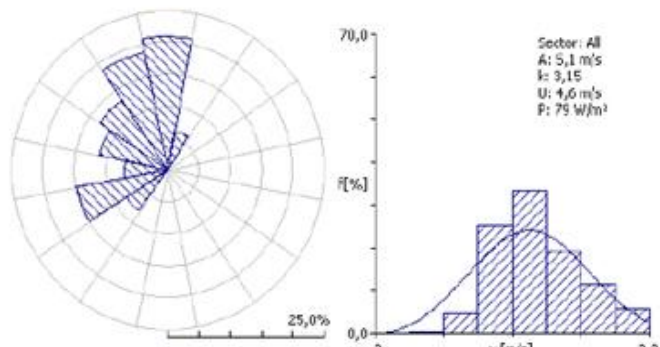
**3-5:**  $v = 3.5 \text{ m/s}$ ,  $P = 30 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 3.8 \text{ m/s}$ ,  $k = 5.04$



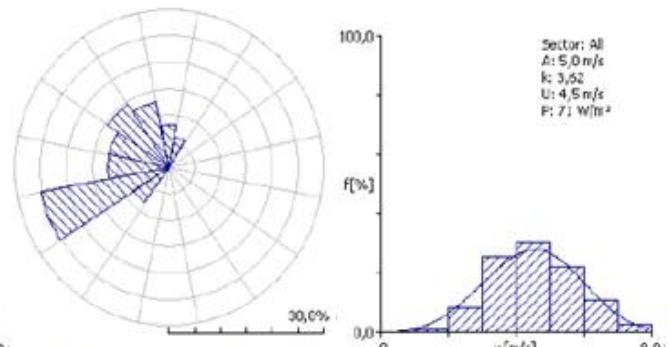
**6-8:**  $v = 2.6 \text{ m/s}$ ,  $P = 17 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 2.9 \text{ m/s}$ ,  $k = 2.57$



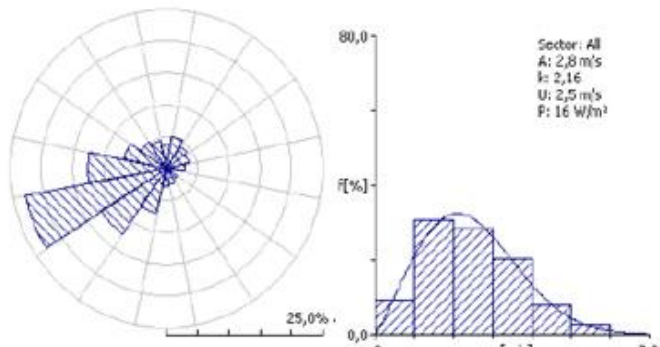
**9-11:**  $v = 3.2 \text{ m/s}$ ,  $P = 30 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 3.6 \text{ m/s}$ ,  $k = 2.67$



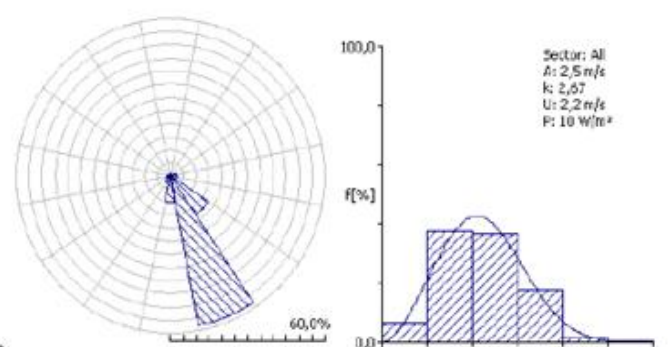
**12-14:**  $v = 4.6 \text{ m/s}$ ,  $P = 79 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 5.1 \text{ m/s}$ ,  $k = 3.15$



**15-17:**  $v = 4.5 \text{ m/s}$ ,  $P = 71 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 5.0 \text{ m/s}$ ,  $k = 3.62$

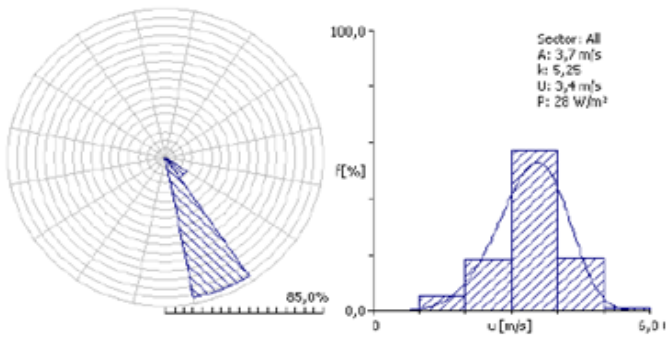


**18-20:**  $v = 2.5 \text{ m/s}$ ,  $P = 16 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 2.8 \text{ m/s}$ ,  $k = 2.16$

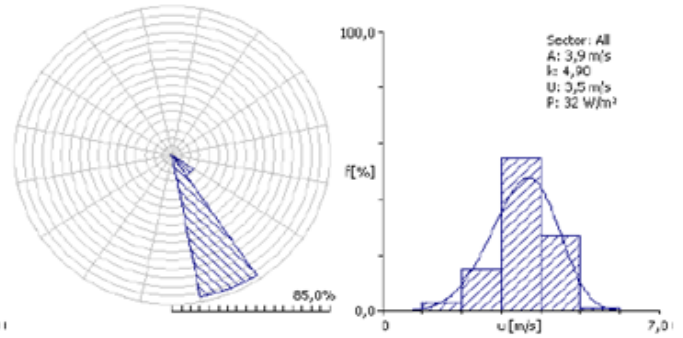


**21-23:**  $v = 2.2 \text{ m/s}$ ,  $P = 10 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 2.5 \text{ m/s}$ ,  $k = 2.67$

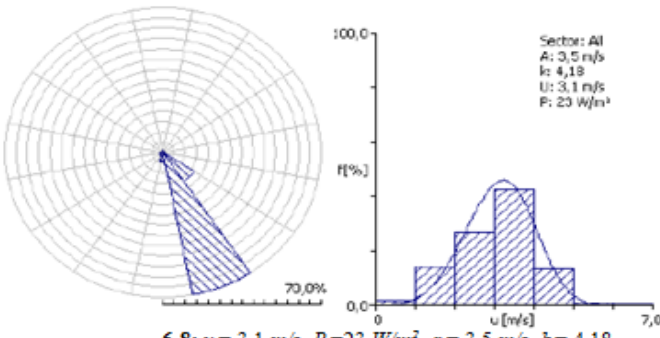
**Πόλη Χρυσογούς (041), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διευθύνσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, κατά την περίοδο 2002-2008, για το μήνα Σεπτέμβριο.**



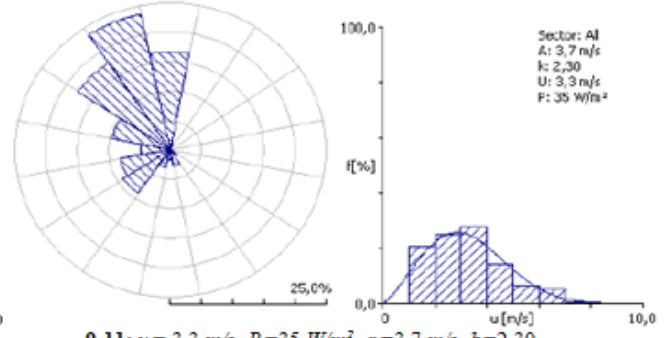
**0-2:**  $v = 3.4 \text{ m/s}$ ,  $P = 28 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 3.7 \text{ m/s}$ ,  $k = 5.25$



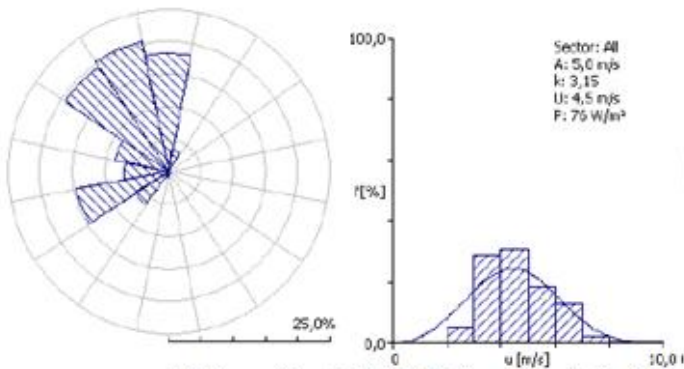
**3-5:**  $v = 3.5 \text{ m/s}$ ,  $P = 32 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 3.9 \text{ m/s}$ ,  $k = 4.90$



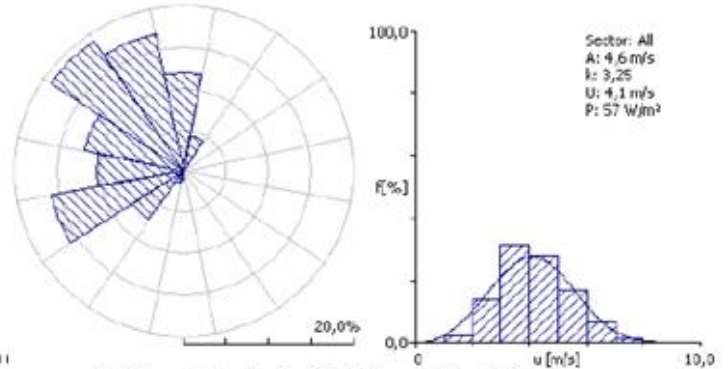
**6-8:**  $v = 3.1 \text{ m/s}$ ,  $P = 23 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 3.5 \text{ m/s}$ ,  $k = 4.18$



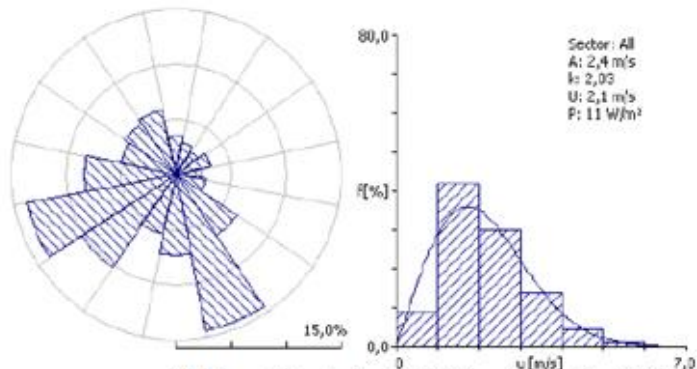
**9-11:**  $v = 3.3 \text{ m/s}$ ,  $P = 35 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 3.7 \text{ m/s}$ ,  $k = 2.30$



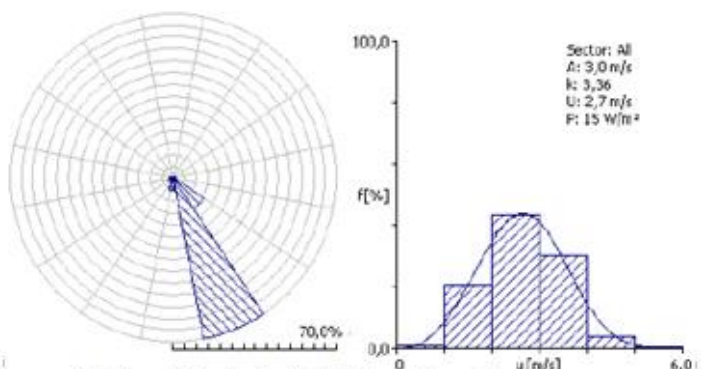
**12-14:**  $v = 4.5 \text{ m/s}$ ,  $P = 76 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 5.0 \text{ m/s}$ ,  $k = 3.15$



**15-17:**  $v = 4.1 \text{ m/s}$ ,  $P = 57 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 4.6 \text{ m/s}$ ,  $k = 3.25$



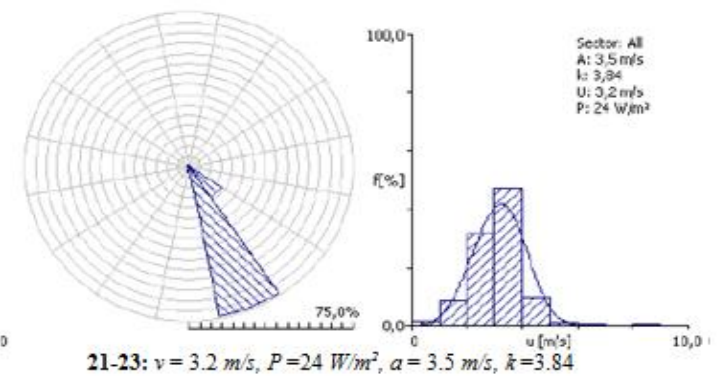
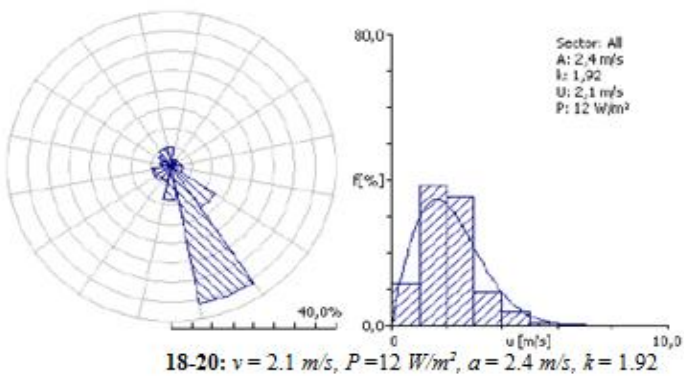
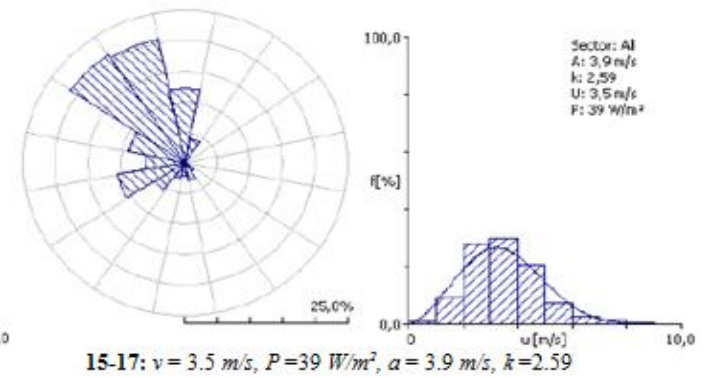
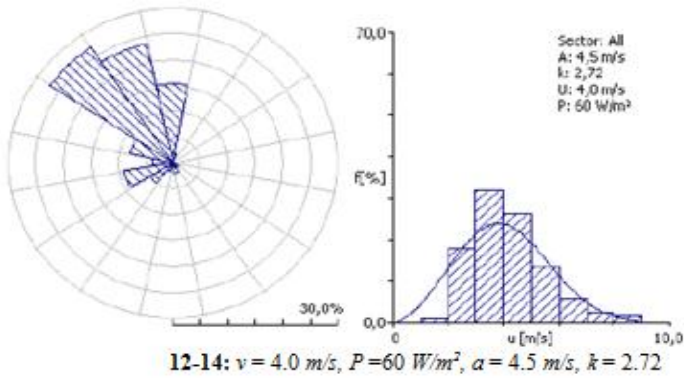
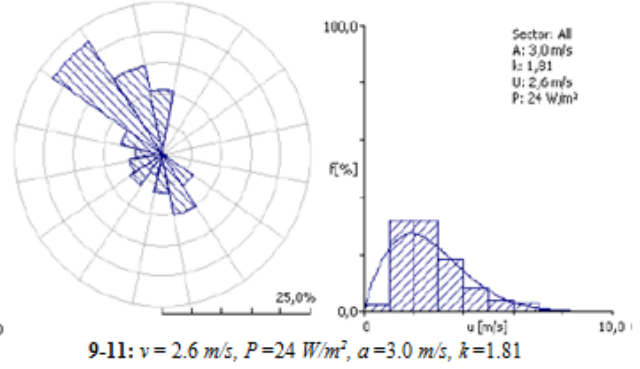
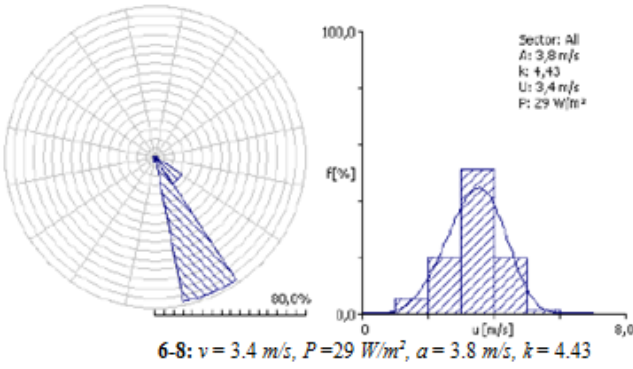
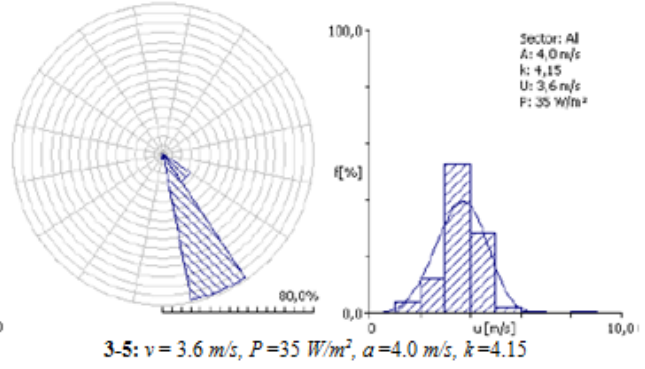
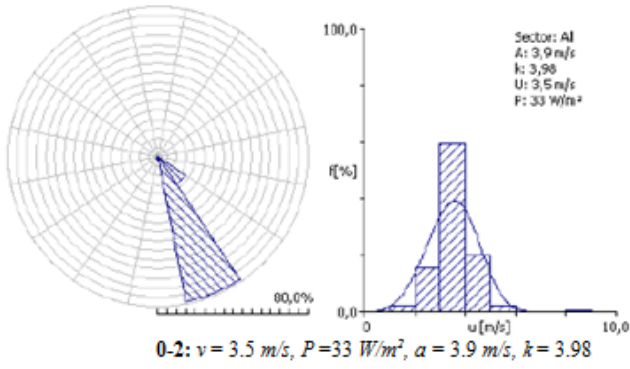
**18-20:**  $v = 2.1 \text{ m/s}$ ,  $P = 11 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 2.4 \text{ m/s}$ ,  $k = 2.03$



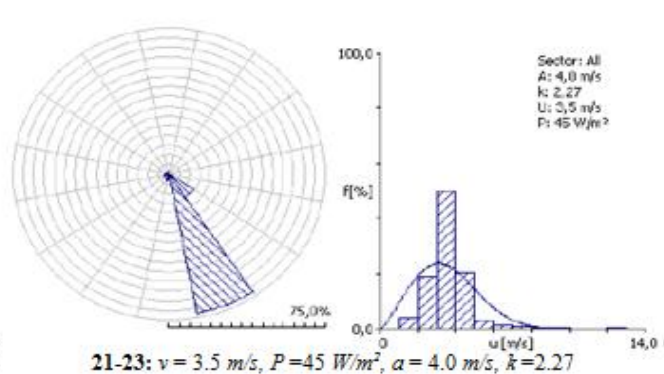
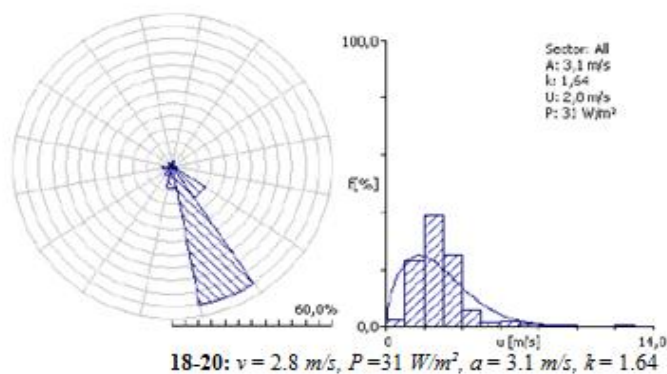
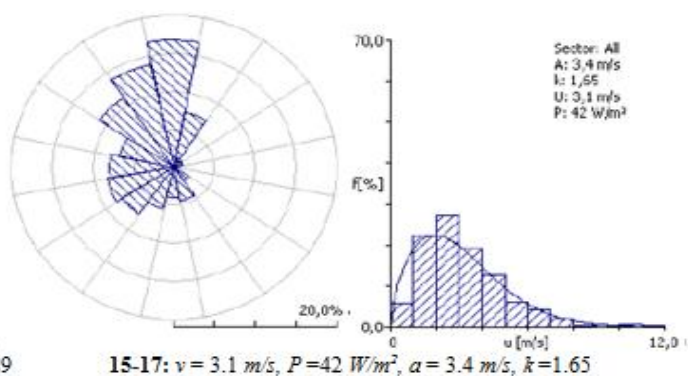
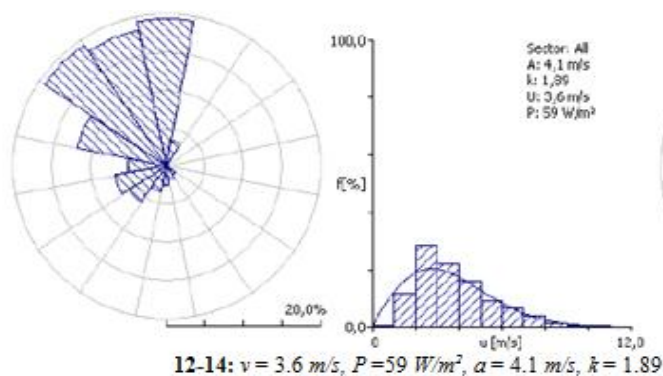
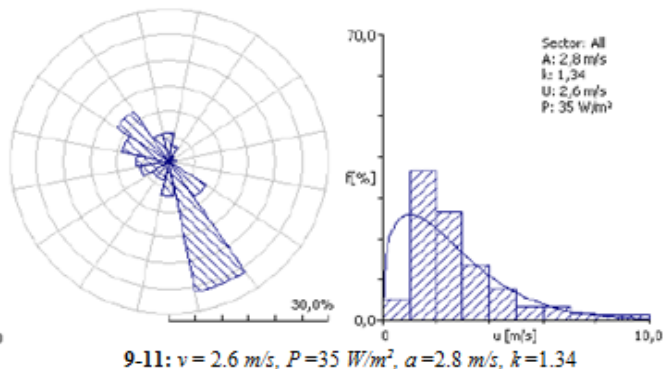
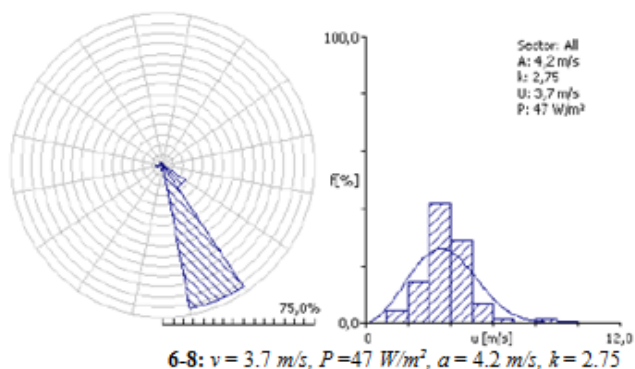
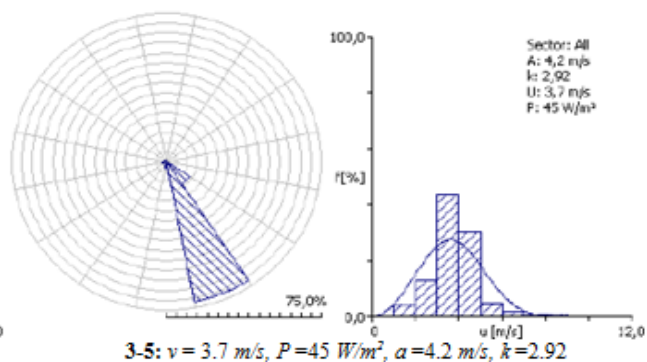
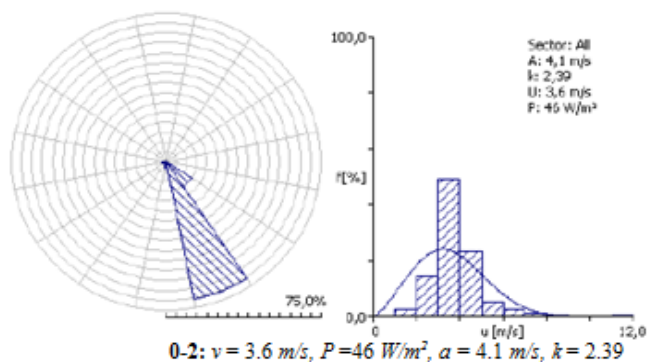
**21-23:**  $v = 2.7 \text{ m/s}$ ,  $P = 15 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 3.0 \text{ m/s}$ ,  $k = 3.36$



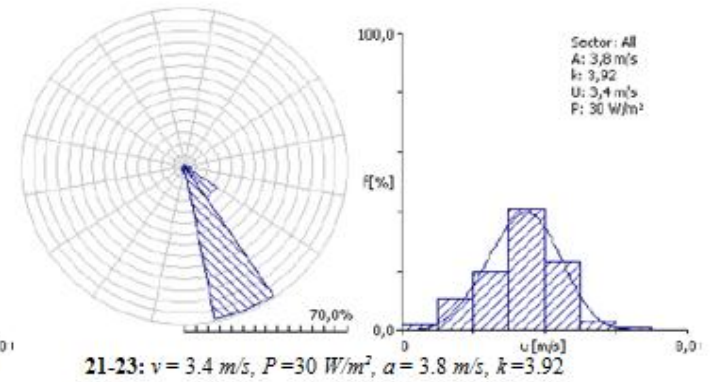
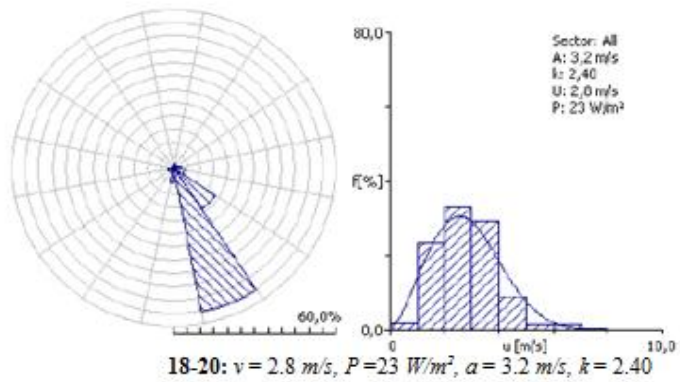
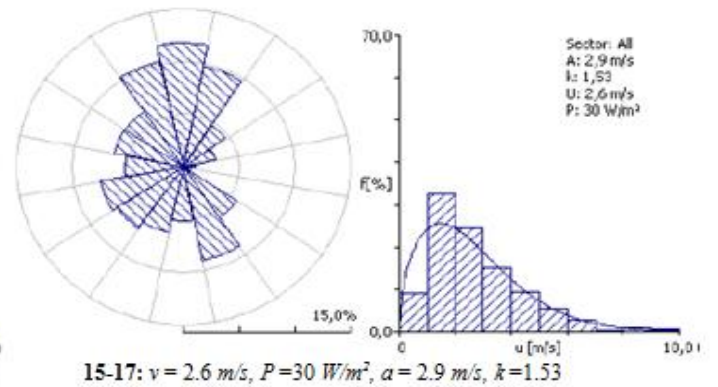
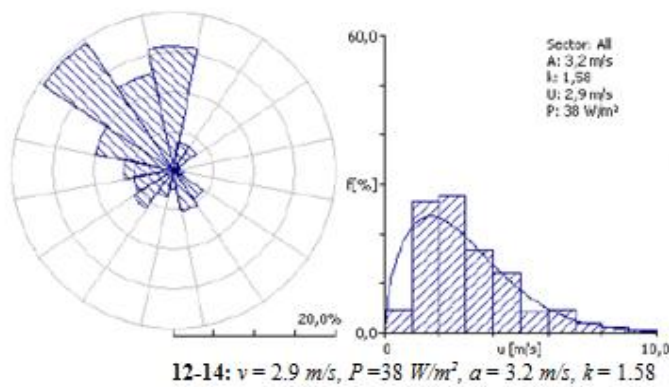
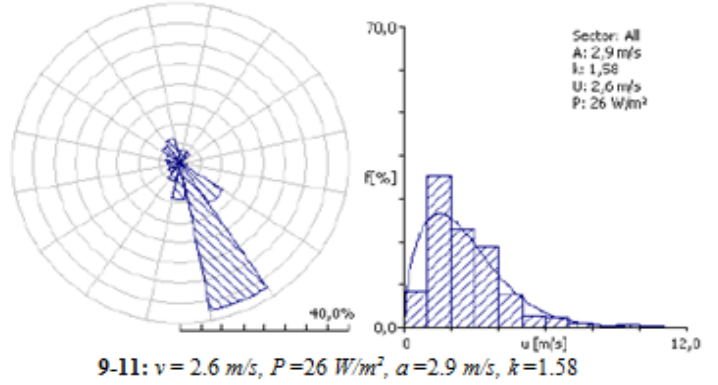
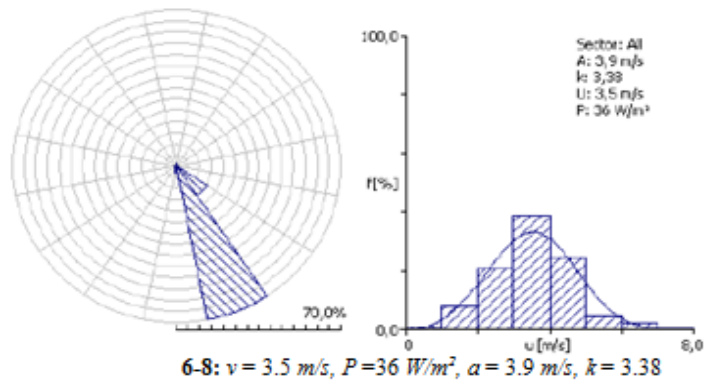
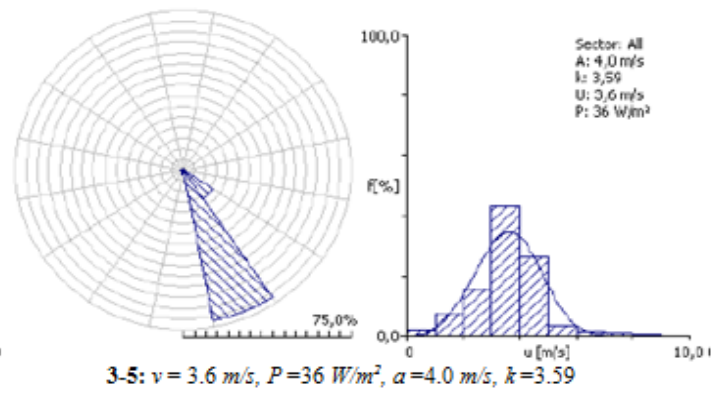
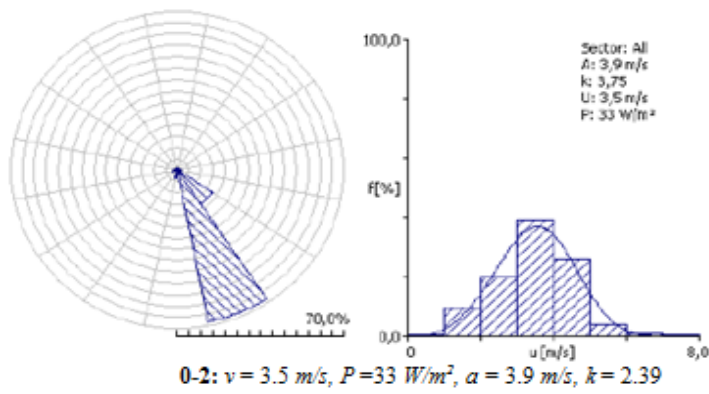
**Πόλης Χρυσοχούς (041), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διευθύνσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, κατά την περίοδο 2002-2008, για το μήνα **Οκτώβριο**.**



**Πόλης Χρυσοχούς (041), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διευθύνσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, κατά την περίοδο 2002-2008, για το μήνα **Νοέμβριο**.**

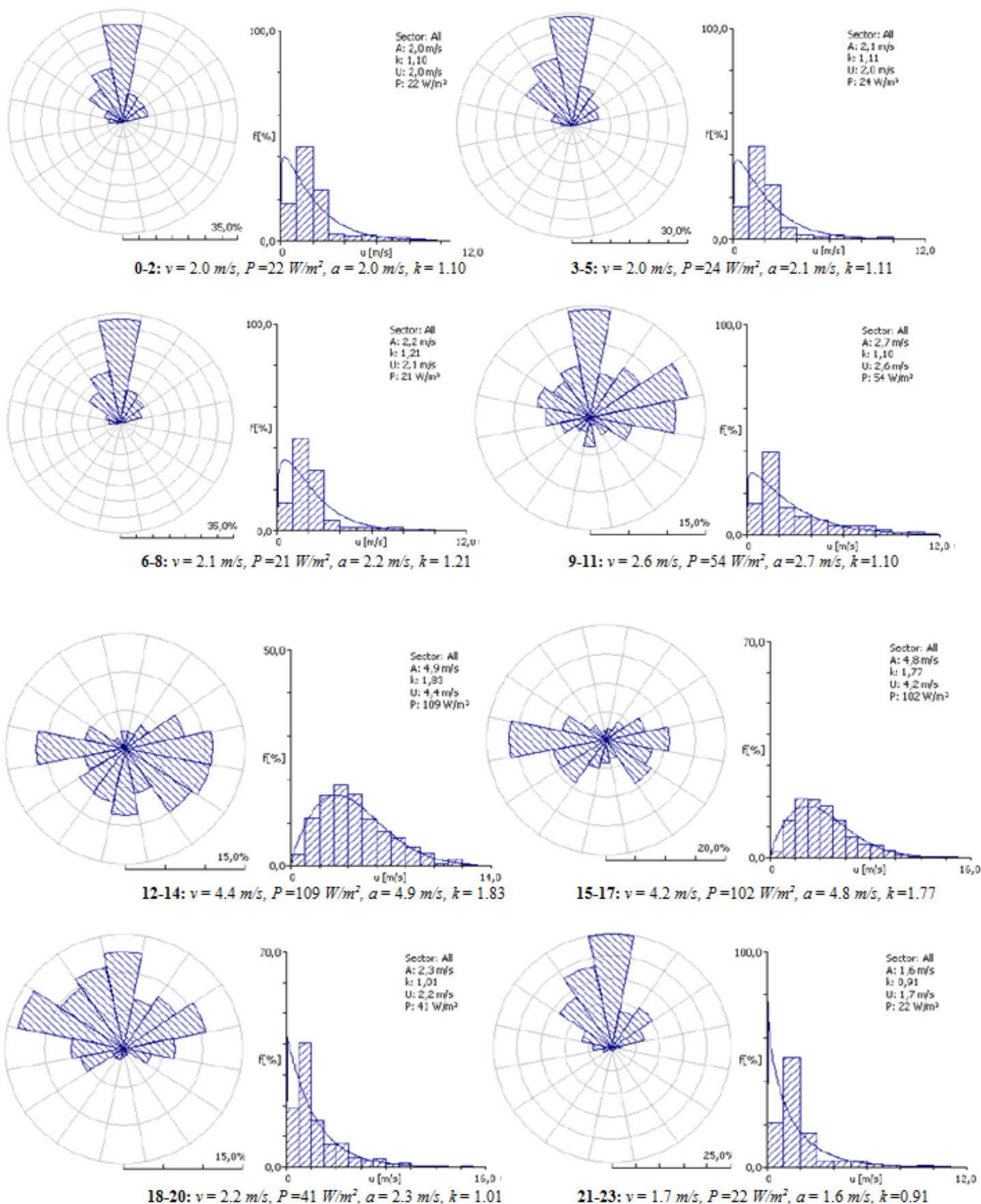


**Πόλης Χρυσογούς (041), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διευθύνσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, κατ  
την περίοδο 2002-2008, για το μήνα Δεκέμβριο.**

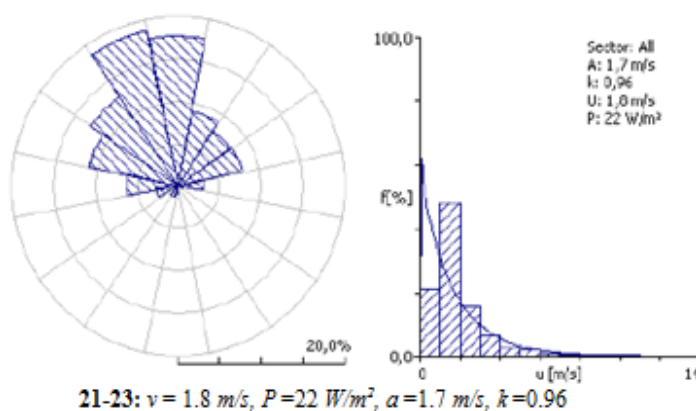
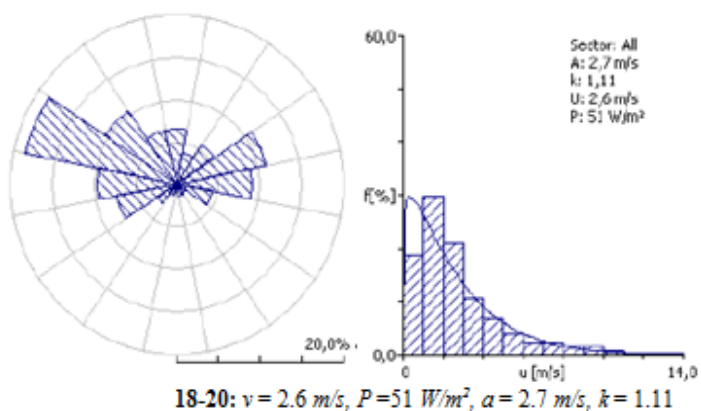
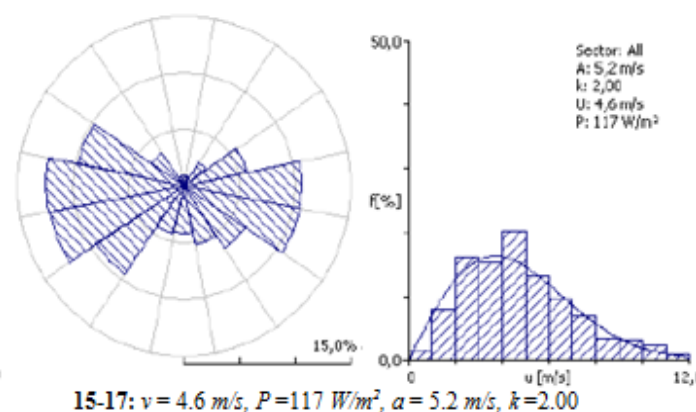
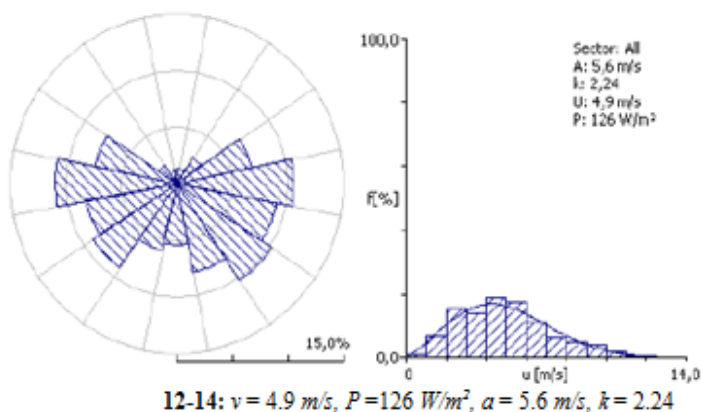
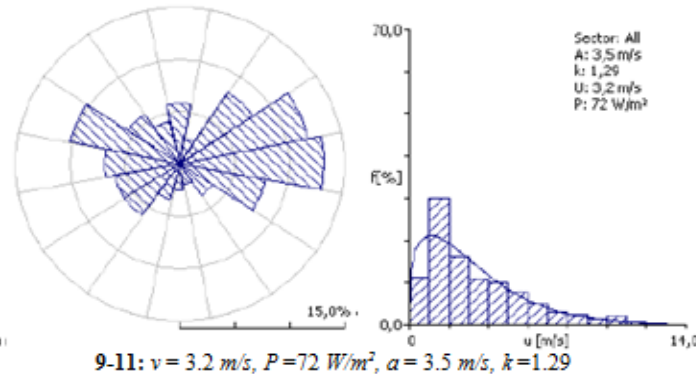
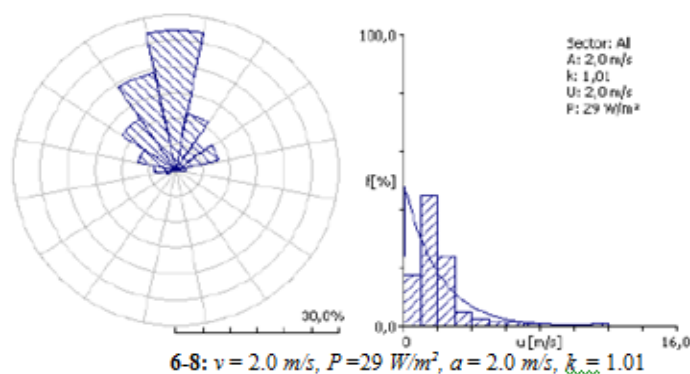
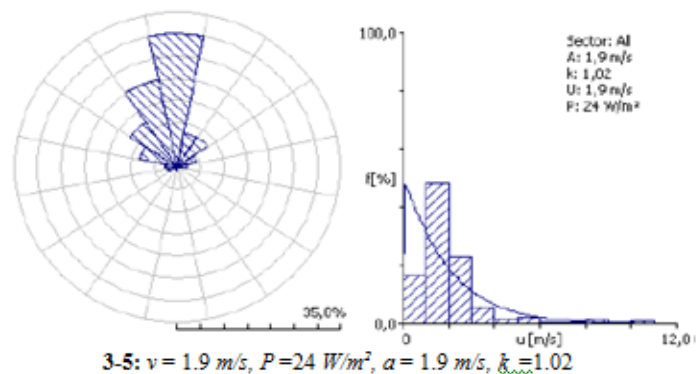
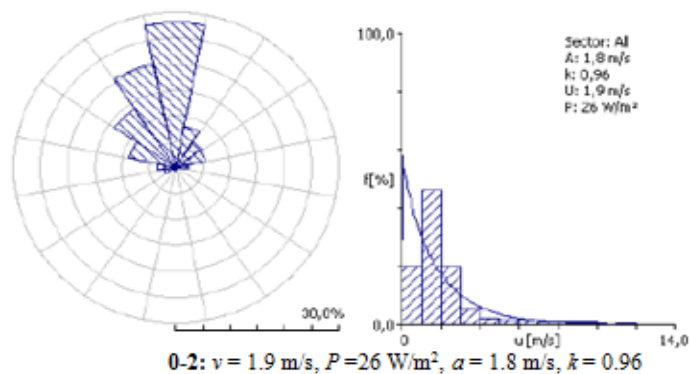




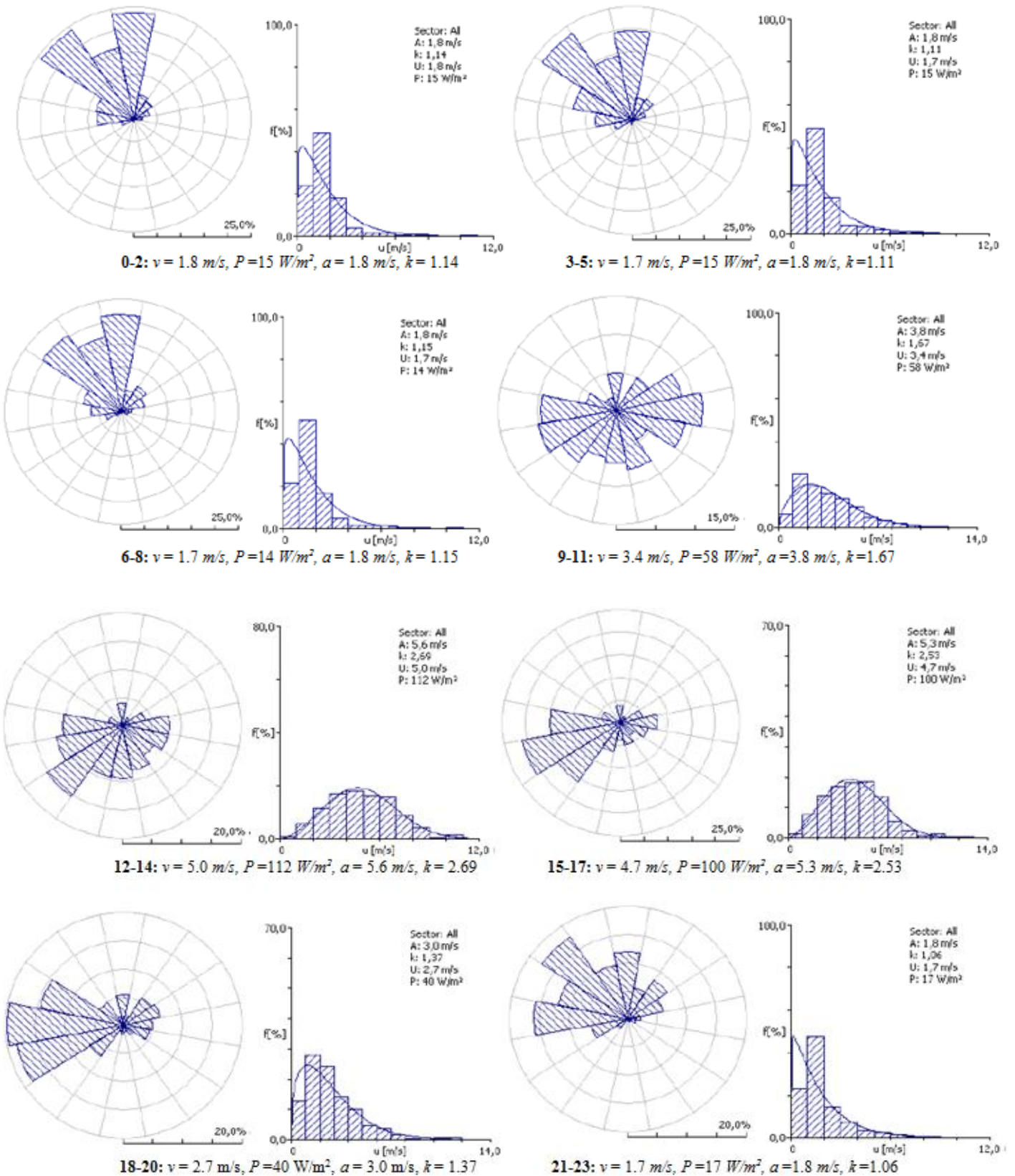
Λεμεσός (391), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διεθνήσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, κατά τη περίοδο 2002-2008, για το μήνα Ιανουάριο.



Λεμεσός (391), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διευθύνσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, κατά την περίοδο 2002-2008, για το μήνα **Φεβρουάριο**.

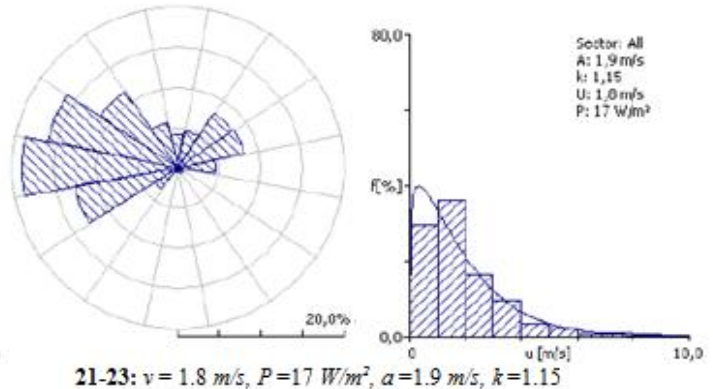
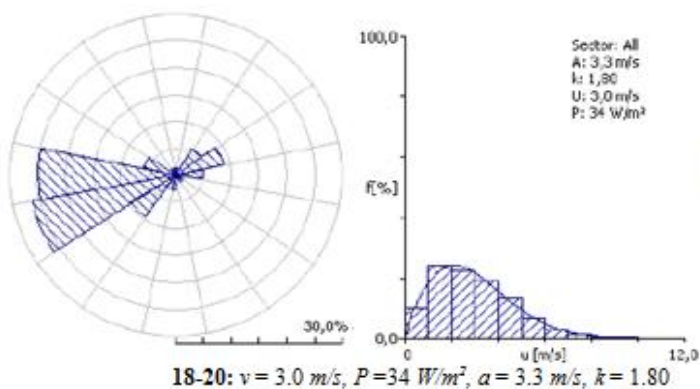
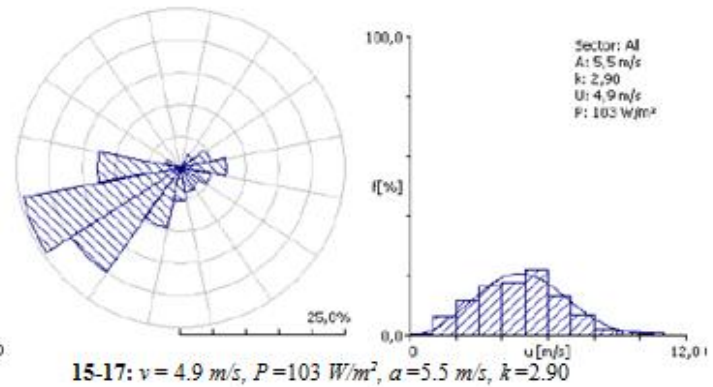
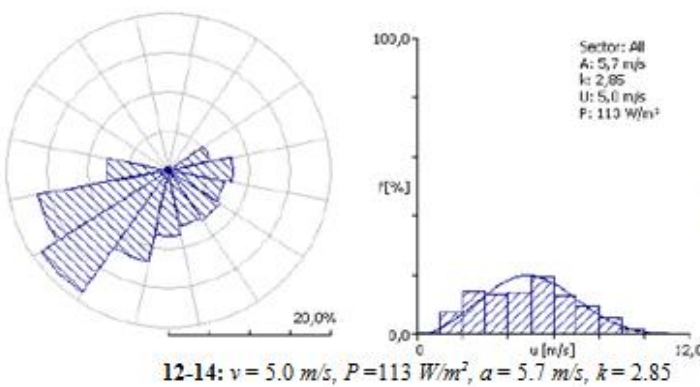
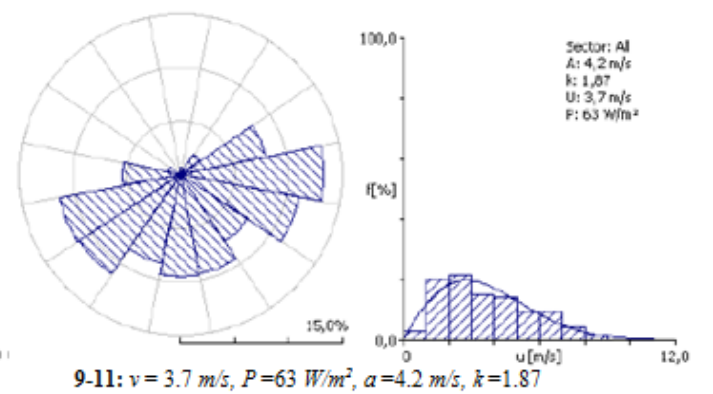
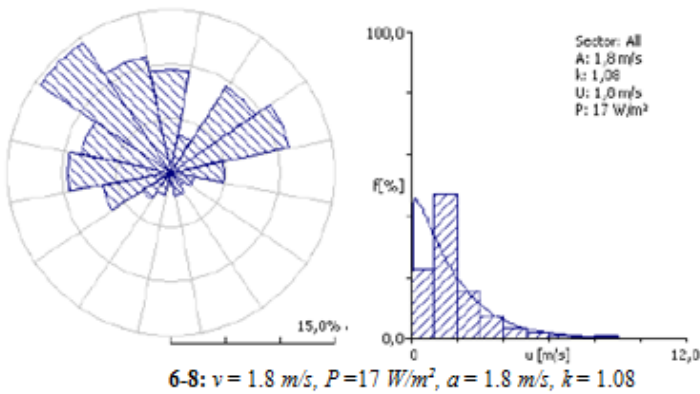
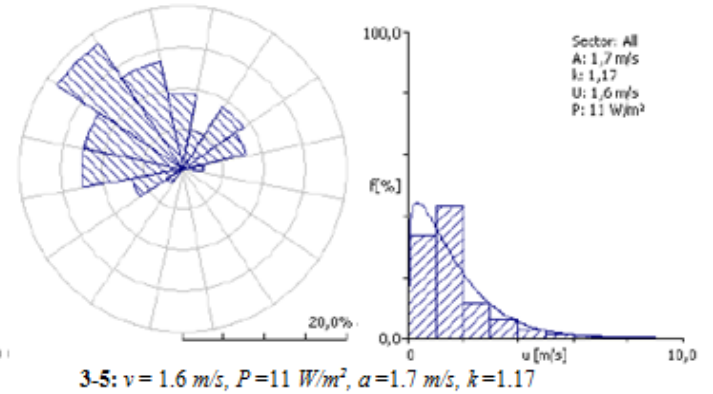
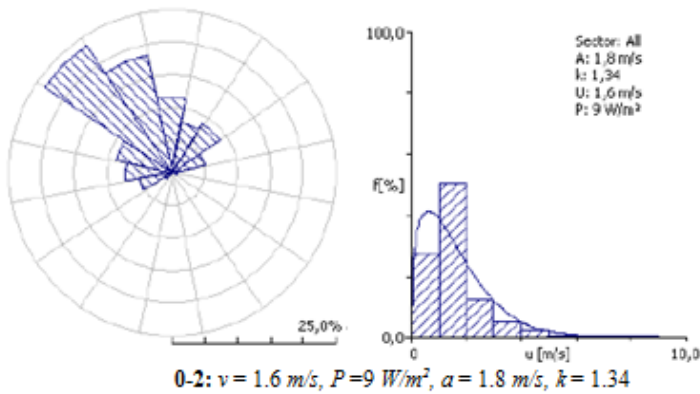


**Λεμεσός (391), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διευθύνσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, κατά την περίοδο 2002-2008, για το μήνα Μάρτιο.**

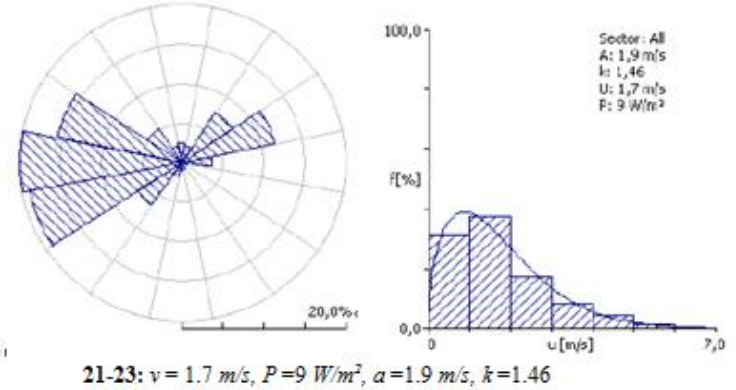
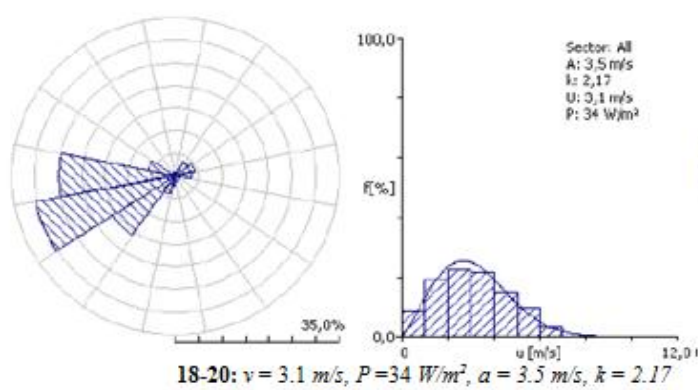
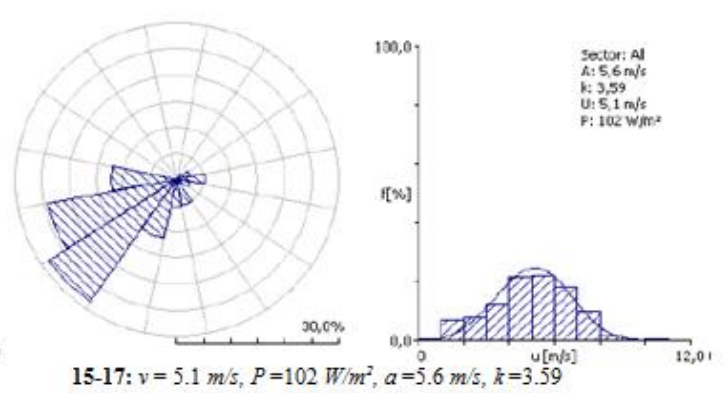
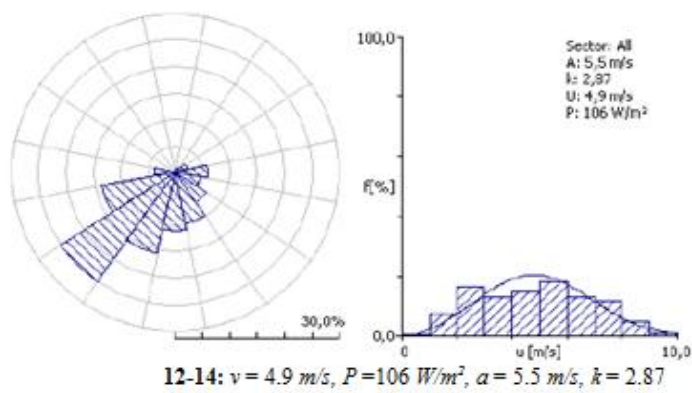
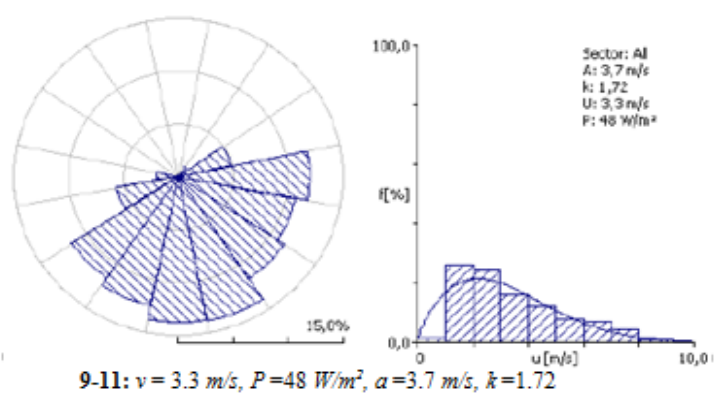
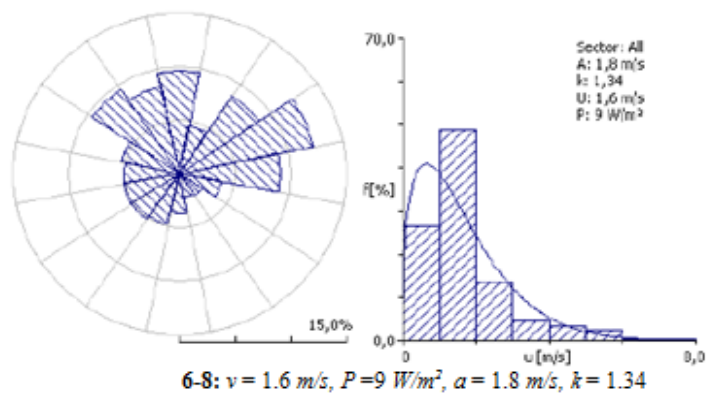
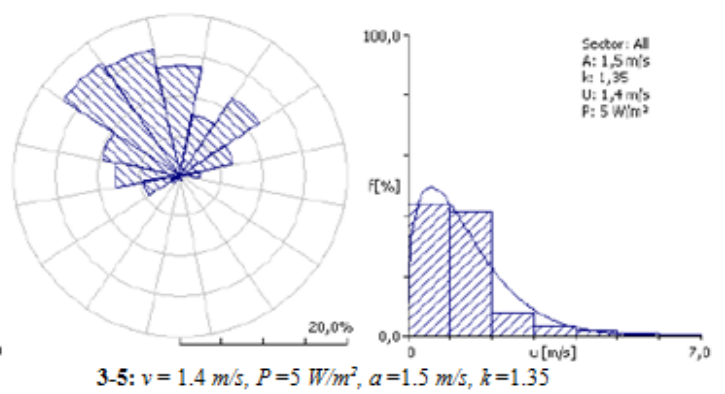
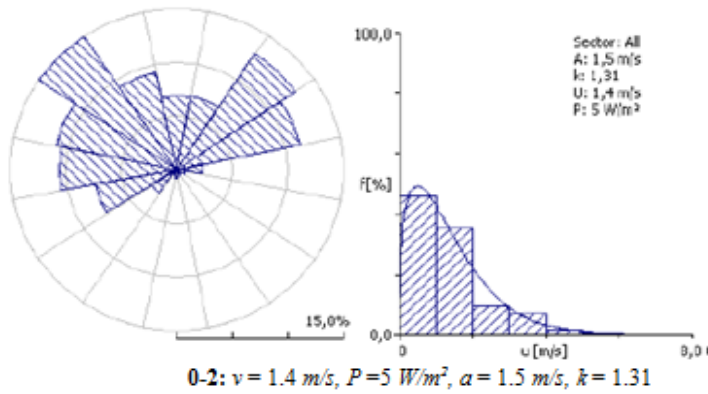




**Λεμεσός (391), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διευθύνσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, κατά την περίοδο 2002-2008, για το μήνα **Απρίλιο**.**

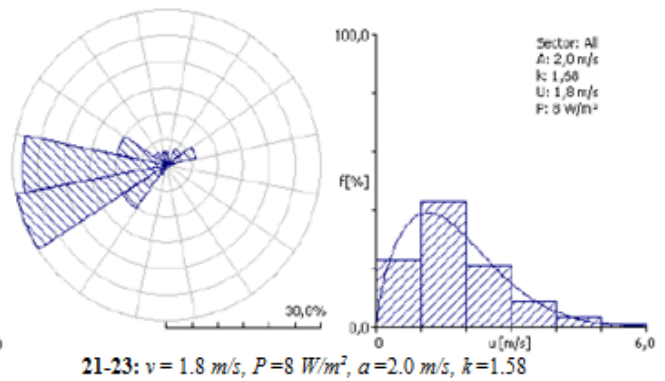
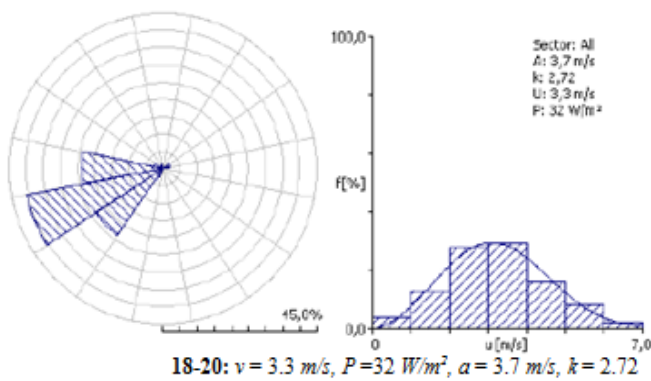
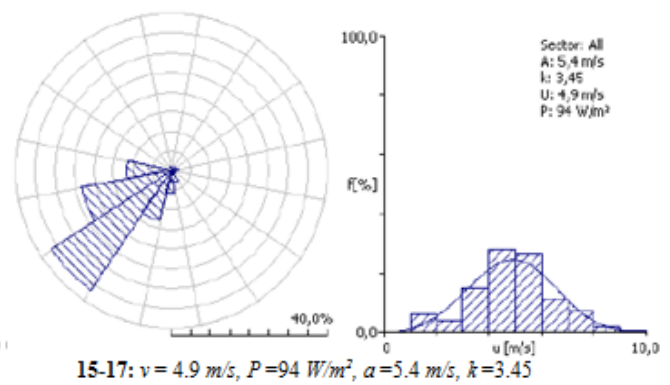
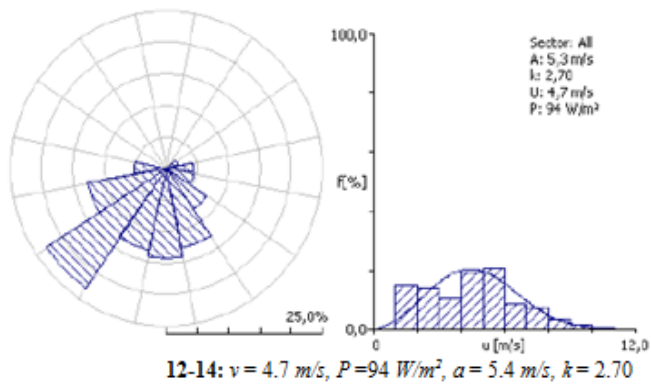
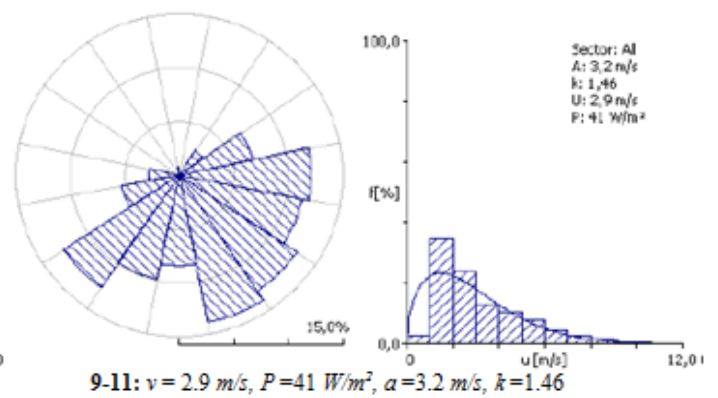
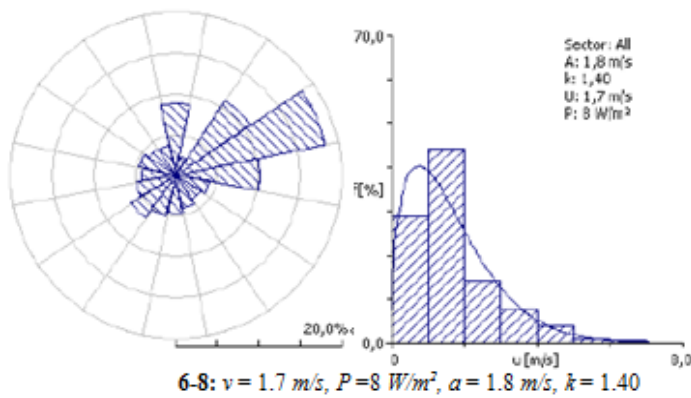
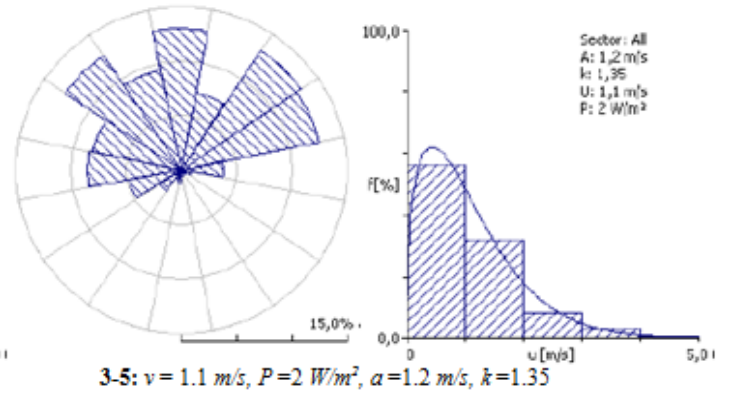
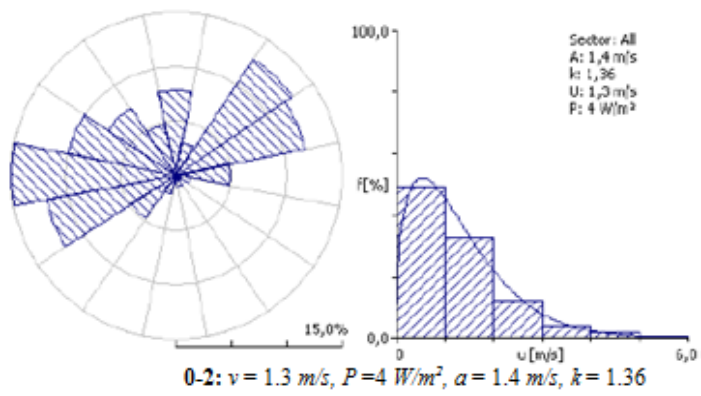


**Λεμεσός (391), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διεθνήσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, κατά την περίοδο 2002-2008, για το μήνα Μάιο.**

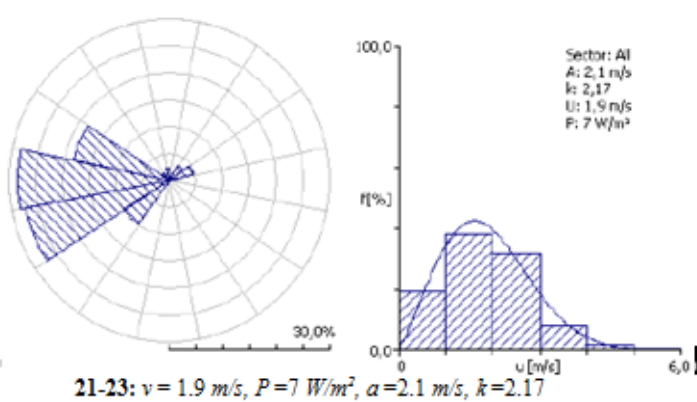
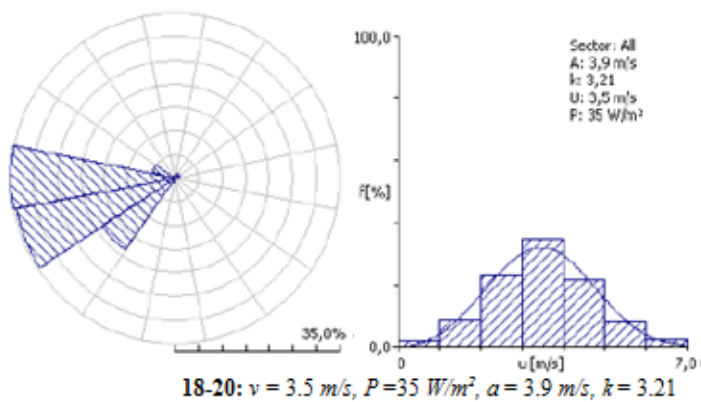
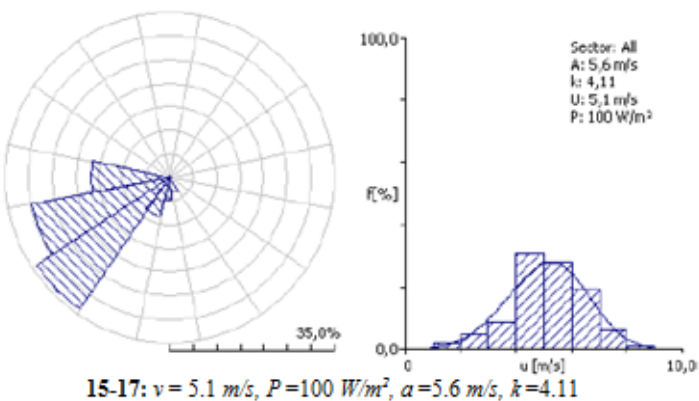
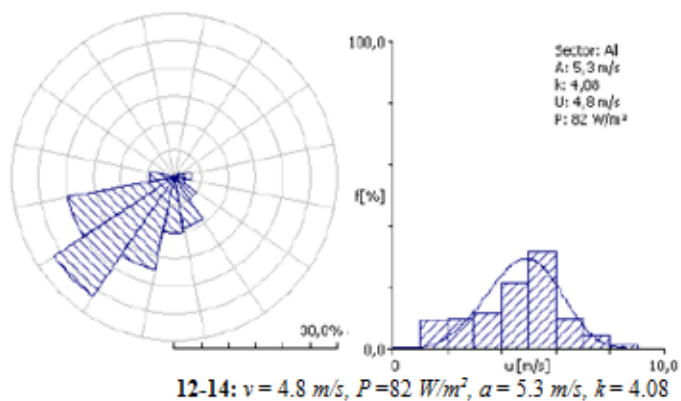
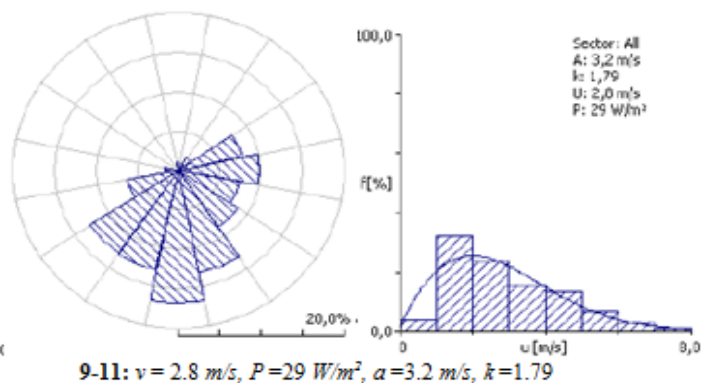
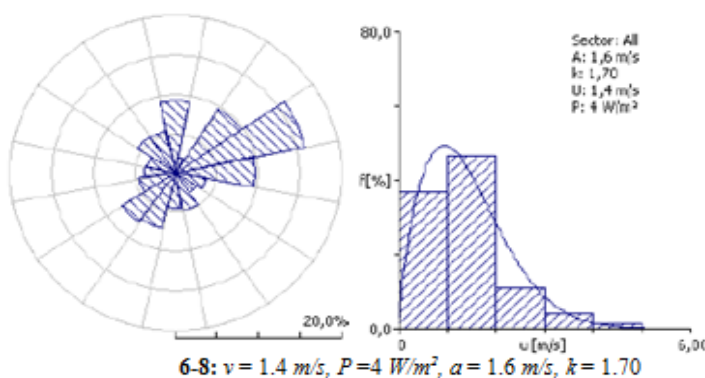
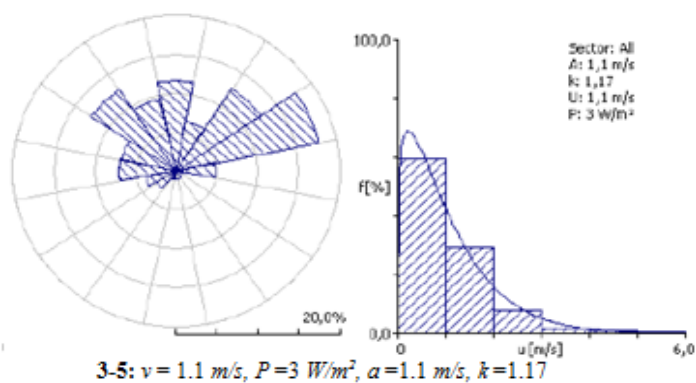
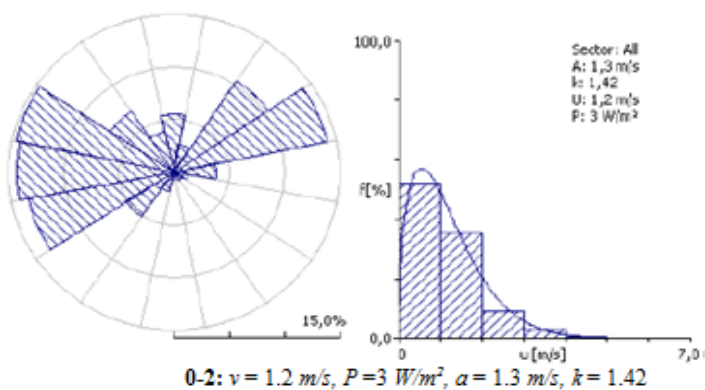




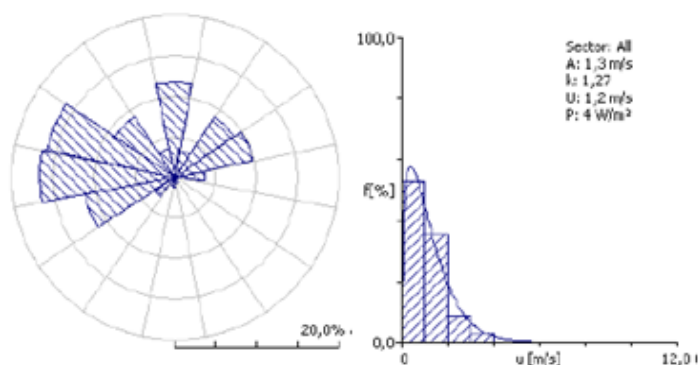
**Λεμεσός (391), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διευθύνσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, κατά την περίοδο 2002-2008, για το μήνα Ιούνιο.**



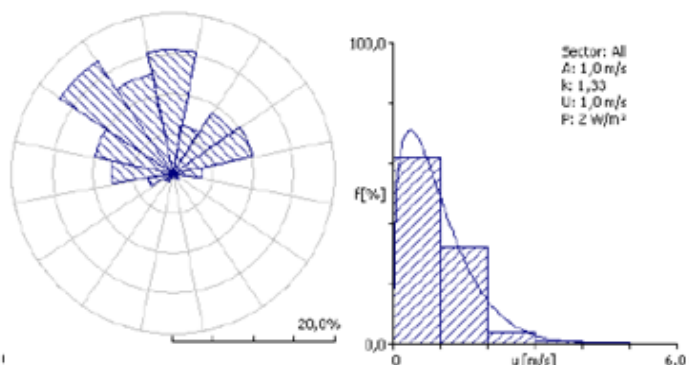
**Λεμεσός (391), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διευθύνσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, κατά την περίοδο 2002-2008, για το μήνα Ιούλιο.**



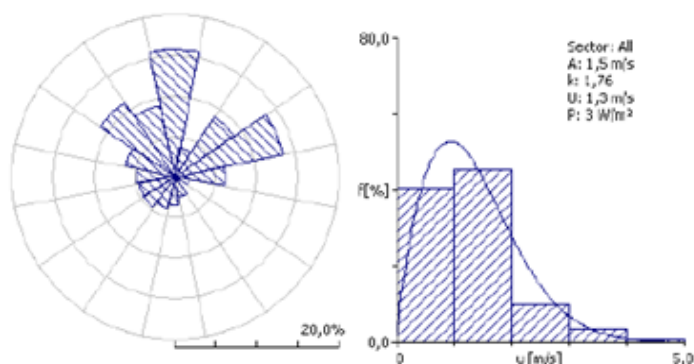
**Λεμεσός (391), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διευθύνσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, κατά την περίοδο 2002-2008, για το μήνα **Αύγουστο**.**



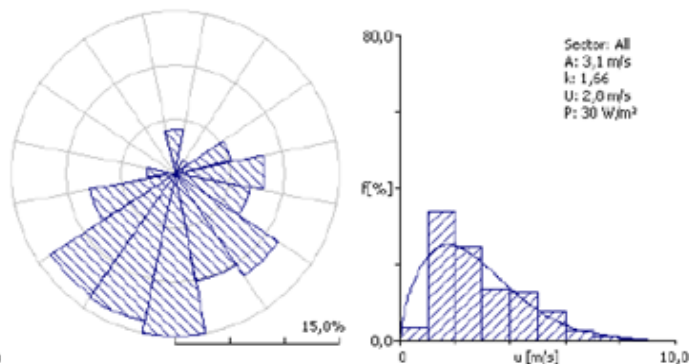
**0-2:  $v = 1.2 \text{ m/s}$ ,  $P = 4 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 1.3 \text{ m/s}$ ,  $k = 1.27$**



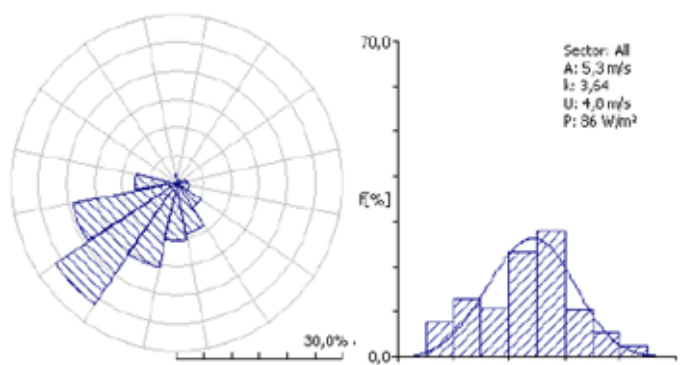
**3-5:  $v = 1.0 \text{ m/s}$ ,  $P = 2 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 1.0 \text{ m/s}$ ,  $k = 1.33$**



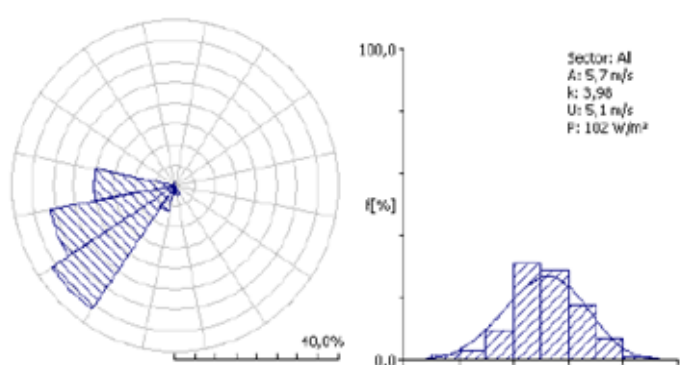
**6-8:  $v = 1.3 \text{ m/s}$ ,  $P = 3 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 1.5 \text{ m/s}$ ,  $k = 1.76$**



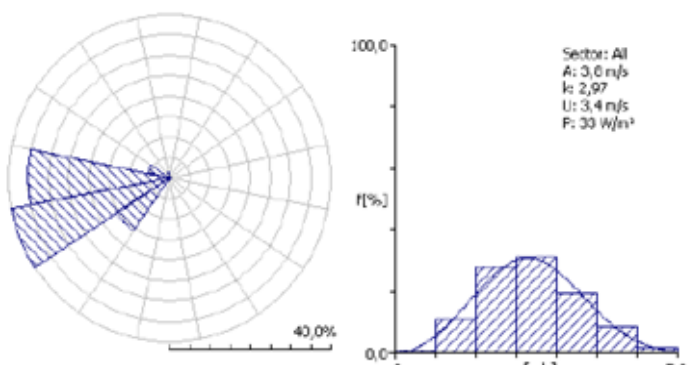
**9-11:  $v = 2.8 \text{ m/s}$ ,  $P = 30 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 3.1 \text{ m/s}$ ,  $k = 1.66$**



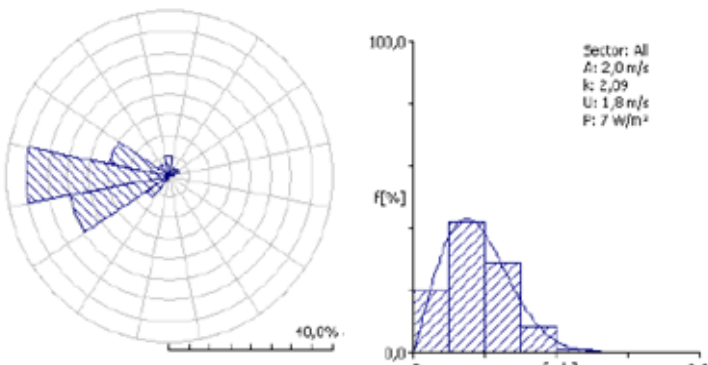
**12-14:  $v = 4.8 \text{ m/s}$ ,  $P = 86 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 5.3 \text{ m/s}$ ,  $k = 3.64$**



**15-17:  $v = 5.1 \text{ m/s}$ ,  $P = 102 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 5.7 \text{ m/s}$ ,  $k = 3.98$**



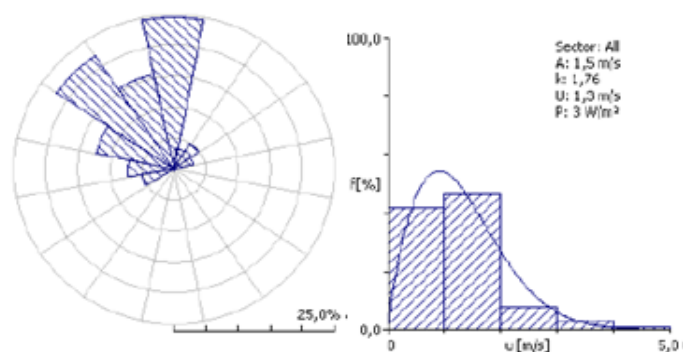
**18-20:  $v = 3.4 \text{ m/s}$ ,  $P = 33 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 3.8 \text{ m/s}$ ,  $k = 2.97$**



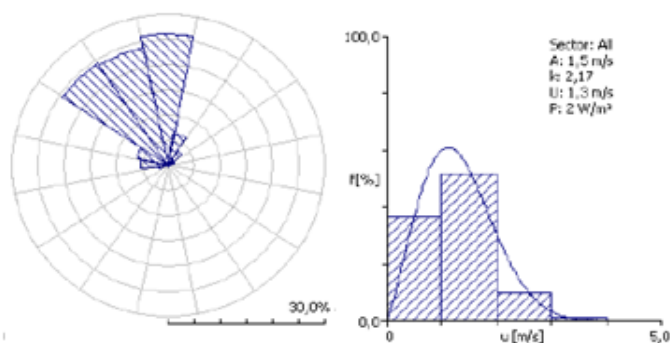
**21-23:  $v = 1.8 \text{ m/s}$ ,  $P = 7 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 2.0 \text{ m/s}$ ,  $k = 2.09$**



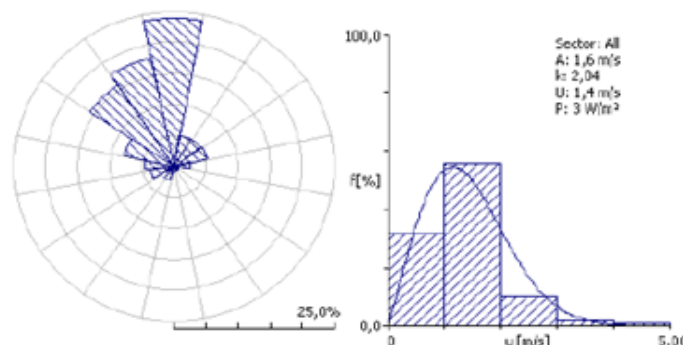
**Λεμεσός (391), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διεθύνσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, κατά την περίοδο 2002-2008, για το μήνα Σεπτέμβριο.**



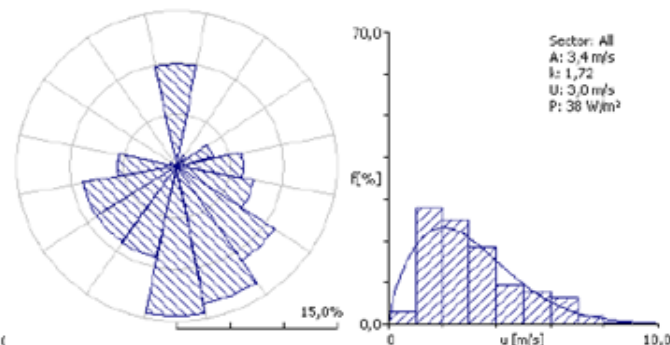
**0-2:  $v = 1.3 \text{ m/s}$ ,  $P = 3 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 1.5 \text{ m/s}$ ,  $k = 1.76$**



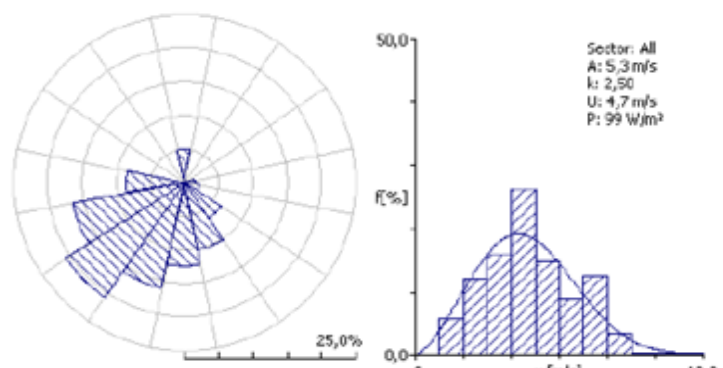
**3-5:  $v = 1.3 \text{ m/s}$ ,  $P = 2 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 1.5 \text{ m/s}$ ,  $k = 2.17$**



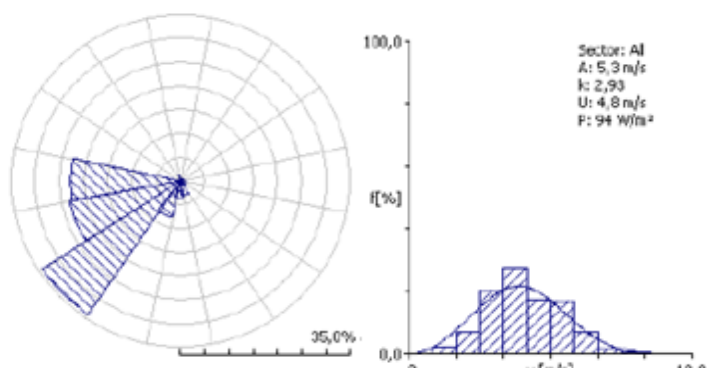
**6-8:  $v = 1.4 \text{ m/s}$ ,  $P = 3 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 1.6 \text{ m/s}$ ,  $k = 2.04$**



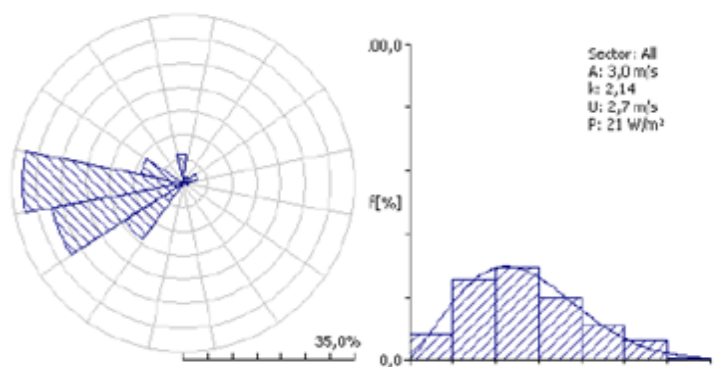
**9-11:  $v = 3.0 \text{ m/s}$ ,  $P = 38 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 3.4 \text{ m/s}$ ,  $k = 1.72$**



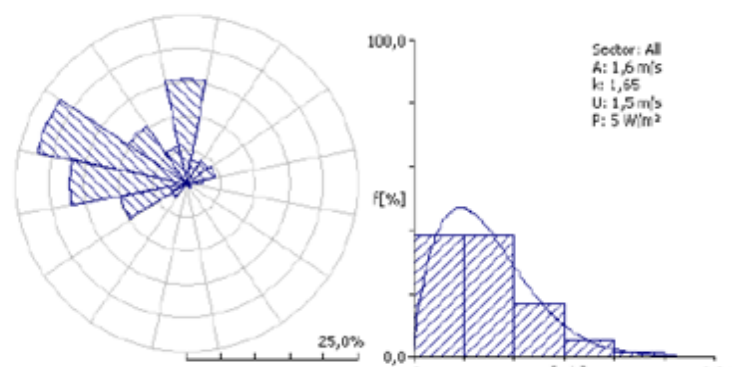
**12-14:  $v = 4.7 \text{ m/s}$ ,  $P = 99 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 5.3 \text{ m/s}$ ,  $k = 2.50$**



**15-17:  $v = 4.8 \text{ m/s}$ ,  $P = 94 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 5.3 \text{ m/s}$ ,  $k = 2.93$**

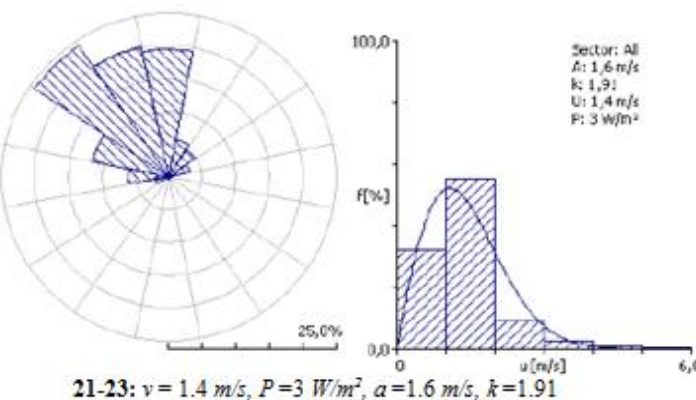
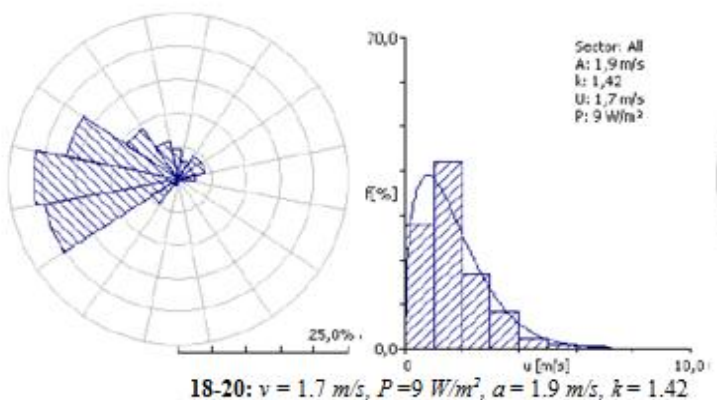
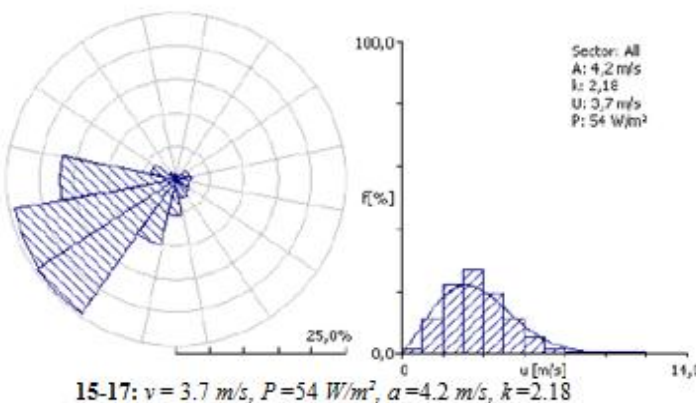
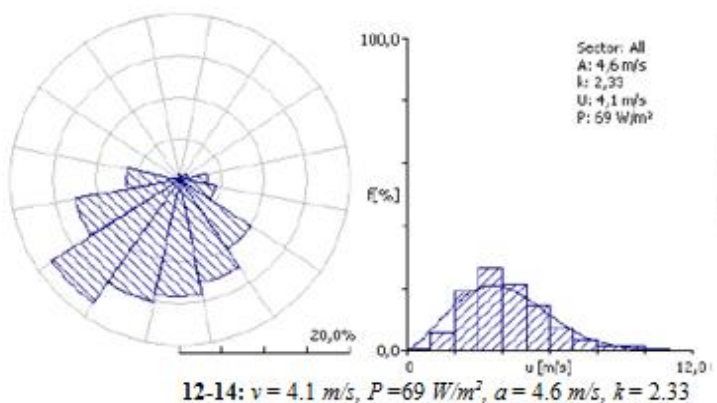
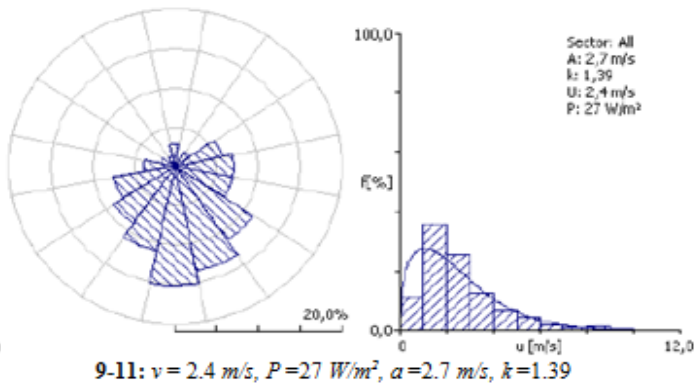
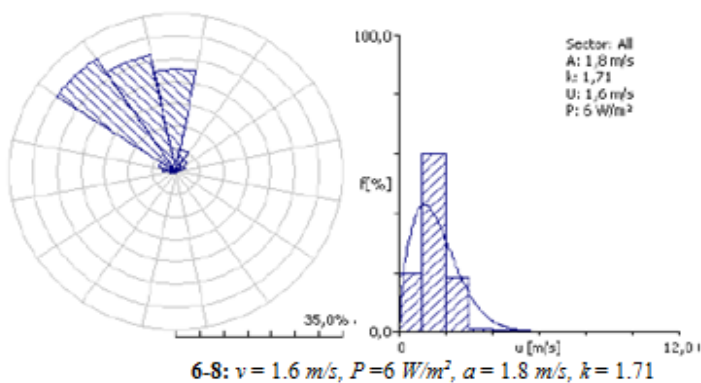
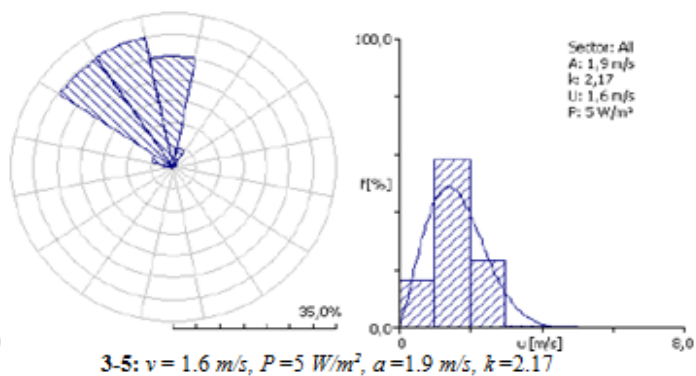
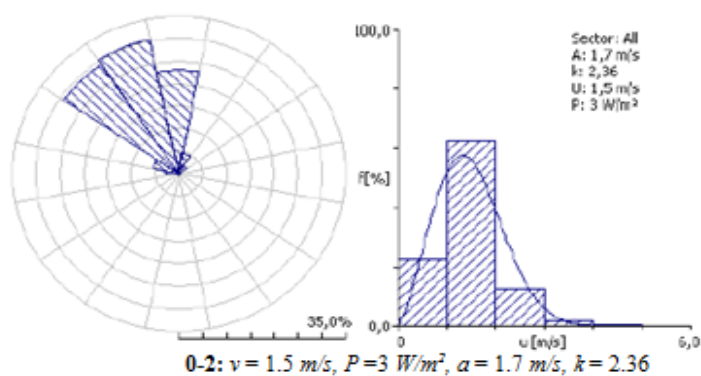


**18-20:  $v = 2.7 \text{ m/s}$ ,  $P = 21 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 3.0 \text{ m/s}$ ,  $k = 2.14$**

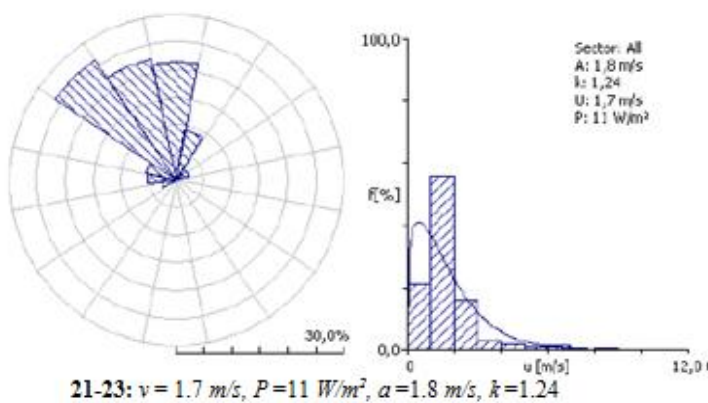
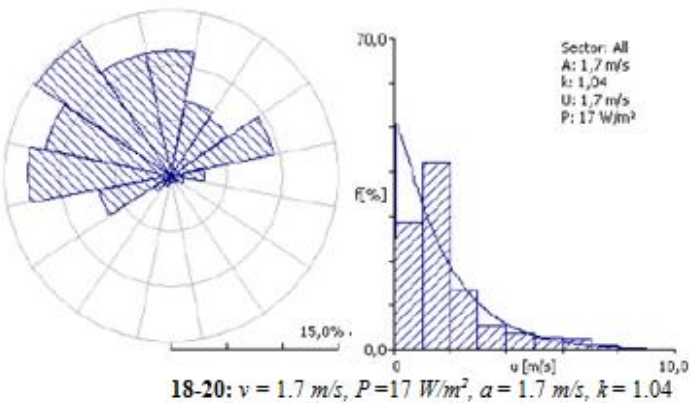
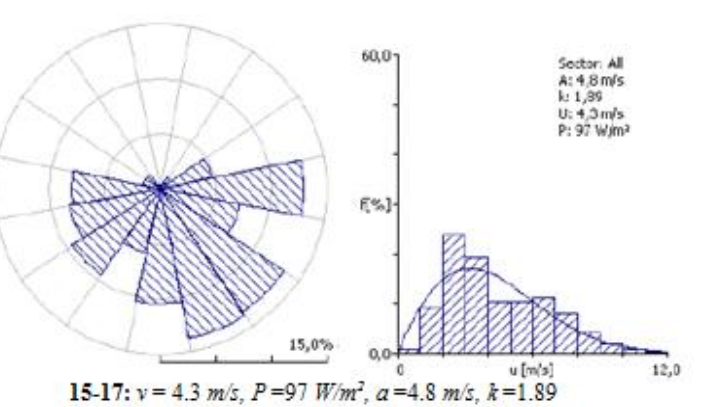
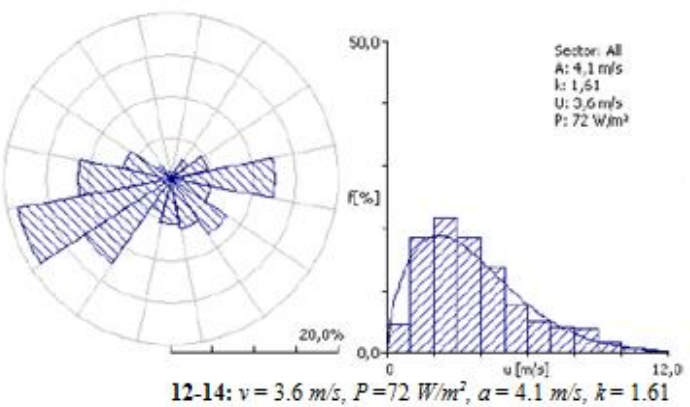
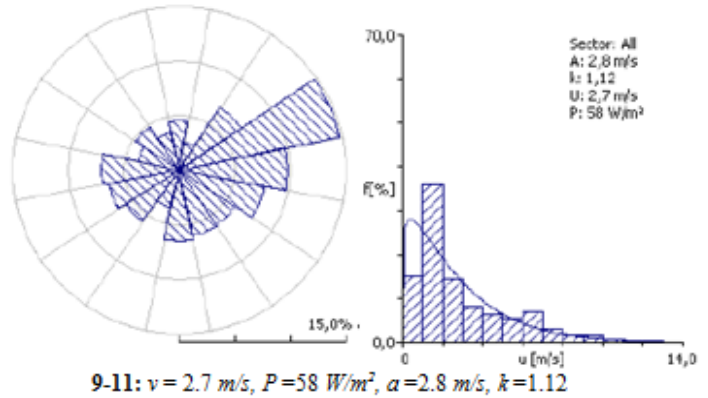
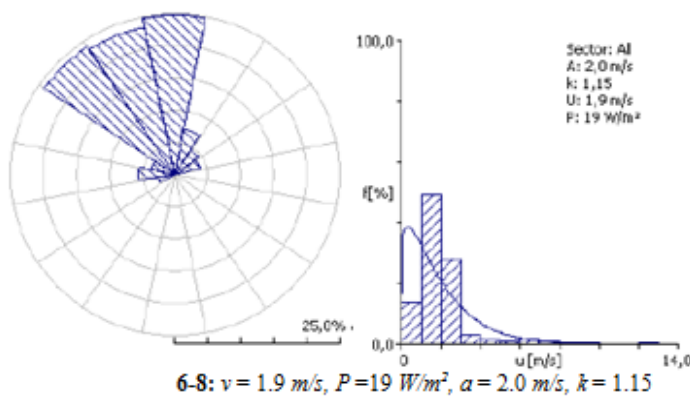
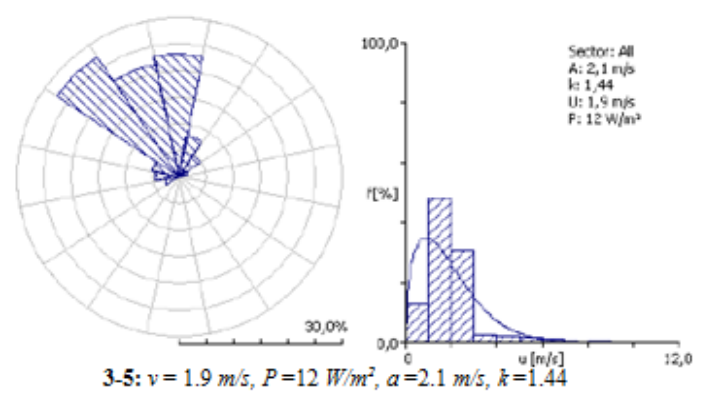
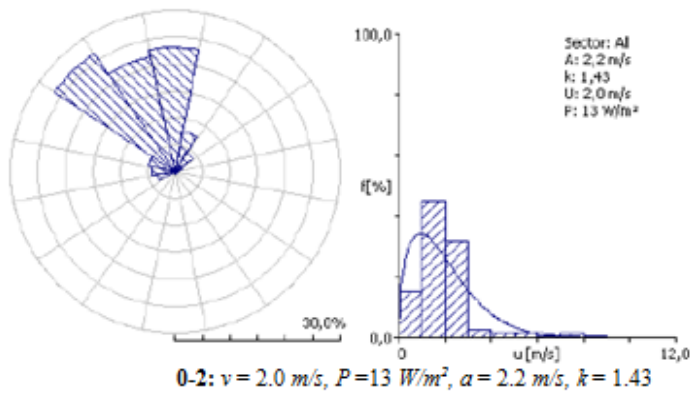


**21-23:  $v = 1.5 \text{ m/s}$ ,  $P = 5 \text{ W/m}^2$ ,  $\alpha = 1.6 \text{ m/s}$ ,  $k = 1.65$**

**Λεμεσός (391), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διευθύνσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, κατά τη περίοδο 2002-2008, για το μήνα Οκτώβριο.**

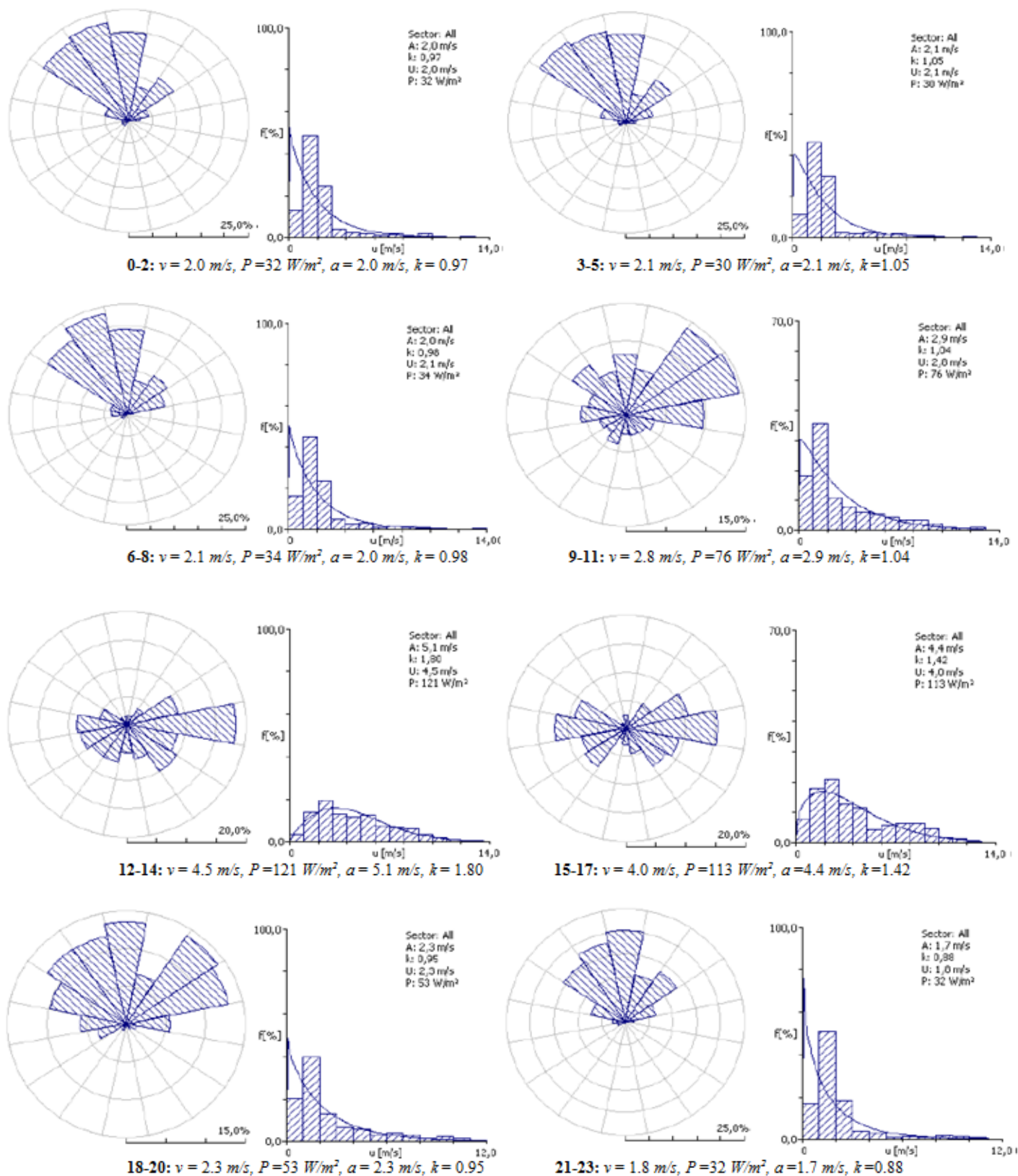


**Δεμεσός (391), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διεθύνσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, κατά τη περίοδο 2002-2008, για το μήνα **Νοέμβριο**.**





**Λεμεσός (391), στατιστικά στοιχεία ανέμου (κατανομή διευθύνσεων και ταχύτητας) και ισχύος, ανά τρίωρο, κατά την περίοδο 2002-2008, για το μήνα Δεκέμβριο.**



**9. Αποτελέσματα από το Μοντέλο ανάλυσης του WAsP για τις περιοχές μελέτης της Λεμεσού και Πόλης Χρυσοχού**

**Μέγιστες Μέσες τιμές της ταχύτητας και μέγιστες μέσες τιμές της Ισχύος για το σταθμό της Λεμεσού:**

Μήνας	Τρίωρο	Ώρες	Μέγιστη Μέση Ταχύτητα (m/s)	Μέγιστη Μέση Ισχύς (W/m <sup>2</sup> )	Περιγραφή
<b>Γενάρης</b>	1	00:00-02:00	4,88	253	
	2	03:00-05:00	5,05	289	
	3	06:00-08:00	5,03	276	
	4	09:00-11:00	5,74	490	Ξυπνάει ο άνεμος
	5	12:00-14:00	7,45	932	Αυξάνεται
	6	15:00-17:00	8,22	952	Αυξάνεται
	7	18:00-20:00	5,17	348	Μειώνεται, γυρνάει
	8	21:00-23:00	4,49	243	
<b>Φεβρουάριος</b>	1	00:00-02:00	4,82	223	
	2	03:00-05:00	4,78	252	
	3	06:00-08:00	4,81	316	
	4	09:00-11:00	6,59	752	Γυρνάει/ Δυναμώνει
	5	12:00-14:00	8,02	1081	μεγαλώνει η ισχύς
	6	15:00-17:00	9,44	1229	Μέγιστη
	7	18:00-20:00	5,73	475	Χαμηλώνει
	8	21:00-23:00	4,53	251	
<b>Μάρτιος</b>	1	00:00-02:00	4,81	316	
	2	03:00-05:00	4,39	176	
	3	06:00-08:00	4,32	149	
	4	09:00-11:00	6,63	660	Γυρνάει / Αυξάνεται
	5	12:00-14:00	9,58	1558	Δυναμώνει
	6	15:00-17:00	10,01	1603	Μέγιστη
	7	18:00-20:00	6,75	592	Μειώνεται
	8	21:00-23:00	4,92	262	Εξασθενεί



<b>Απρίλιος</b>	1	00:00-02:00	4,27	176	
	2	03:00-05:00	4,16	147	
	3	06:00-08:00	4,40	189	
	4	09:00-11:00	6,61	673	Γυρνάει / Αυξάνεται
	5	12:00-14:00	9,56	1580	Δυναμώνει
	6	15:00-17:00	10,38	1739	Μέγιστη
	7	18:00-20:00	7,45	638	Μειώνεται
	8	21:00-23:00	4,90	250	Εξασθενεί
<b>Μάιος</b>	1	00:00-02:00	3,46	105	
	2	03:00-05:00	3,34	84	
	3	06:00-08:00	3,56	113	
	4	09:00-11:00	5,06	481	Γυρνάει / Δυναμώνει
	5	12:00-14:00	8,73	1427	Δυναμώνει
	6	15:00-17:00	11,42	2001	Μέγιστη
	7	18:00-20:00	8,25	818	Μειώνεται
	8	21:00-23:00	4,47	185	Εξασθενεί
<b>Ιούνιος</b>	1	00:00-02:00	3,28	105	
	2	03:00-05:00	3,32	107	
	3	06:00-08:00	3,37	111	
	4	09:00-11:00	4,88	506	Γυρνάει / Δυναμώνει
	5	12:00-14:00	8,09	1461	Αυξάνει
	6	15:00-17:00	11,02	1919	Μέγιστη
	7	18:00-20:00	8,93	840	Μειώνεται
	8	21:00-23:00	4,95	227	Εξασθενεί
<b>Ιούλης</b>	1	00:00-02:00	3,00	65	
	2	03:00-05:00	2,54	44	
	3	06:00-08:00	2,77	56	
	4	09:00-11:00	4,35	302	Γυρνάει
	5	12:00-14:00	8,61	1201	Δυναμώνει
	6	15:00-17:00	12,23	2203	Μέγιστη
	7	18:00-20:00	9,65	1001	Μειώνεται
	8	21:00-23:00	5,35	218	Εξασθενεί
<b>Αύγουστος</b>	1	00:00-02:00	3,08	71	
	2	03:00-05:00	2,41	29	
	3	06:00-08:00	2,90	54	
	4	09:00-11:00	4,83	451	Γυρνάει
	5	12:00-14:00	9,22	1581	Δυναμώνει
	6	15:00-17:00	12,69	2469	<b>Μέγιστη</b>

					<b>Ισχύς</b>
	7	18:00-20:00	9,72	976	Μειώνεται / Δυνατός
	8	21:00-23:00	5,26	207	Εξασθενεί
<b>Σεπτέμβριος</b>	1	00:00-02:00	3,32	74	
	2	03:00-05:00	3,27	51	
	3	06:00-08:00	3,37	62	
	4	09:00-11:00	5,54	608	Γυρνάει
	5	12:00-14:00	9,20	1758	Δυναμώνει
	6	15:00-17:00	11,72	2202	Μέγιστη
	7	18:00-20:00	7,64	587	Μειώνεται / Δυνατός
	8	21:00-23:00	4,06	118	Εξασθενεί
<b>Οκτώβριος</b>	1	00:00-02:00	3,61	58	
	2	03:00-05:00	3,82	72	
	3	06:00-08:00	3,73	66	
	4	09:00-11:00	4,06	274	Γυρνάει
	5	12:00-14:00	7,28	876	Δυναμώνει
	6	15:00-17:00	8,61	938	Μέγιστη
	7	18:00-20:00	4,61	190	Μειώνεται
	8	21:00-23:00	3,48	69	
<b>Νοέμβριος</b>	1	00:00-02:00	4,81	214	
	2	03:00-05:00	4,89	247	
	3	06:00-08:00	4,89	264	
	4	09:00-11:00	5,64	655	Γυρνάει / Δυναμώνει
	5	12:00-14:00	7,56	927	Μέγιστη
	6	15:00-17:00	7,44	665	Μειώνεται
	7	18:00-20:00	4,46	181	Εξασθενεί
	8	21:00-23:00	4,23	160	
<b>Δεκέμβριος</b>	1	00:00-02:00	4,98	300	
	2	03:00-05:00	5,10	267	
	3	06:00-08:00	4,92	247	
	4	09:00-11:00	5,65	465	Γυρνάει / Δυναμώνει
	5	12:00-14:00	7,82	856	Μέγιστη
	6	15:00-17:00	7,78	836	Μειώνεται
	7	18:00-20:00	5,66	490	Εξασθενεί
	8	21:00-23:00	4,67	274	

**Μέγιστες Μέσες τιμές της ταχύτητας και μέγιστες μέσες τιμές της Ισχύος για το σταθμό της Πόλης Χρυσογού:**

Μήνας	Τρίωρο	Ώρες	Μέγιστη Μέση Ταχύτητα (m/s)	Μέγιστη Μέση Ισχύς (W/m <sup>2</sup> )	Περιγραφή
Γενάρης	1	00:00-02:00	8,00	687	Δυνατός
	2	03:00-05:00	8,35	673	Μειώνεται
	3	06:00-08:00	8,30	573	Εξασθενεί
	4	09:00-11:00	6,42	411	
	5	12:00-14:00	5,34	314	Γυρνάει
	6	15:00-17:00	6,83	584	Δυναμώνει
	7	18:00-20:00	6,52	410	Μειώνεται / Γυρνάει
	8	21:00-23:00	9,69	857	Μέγιστη / Από Βορρά
Φεβρουάριος	1	00:00-02:00	8,77	723	Δυνατός
	2	03:00-05:00	8,57	703	Μειώνεται
	3	06:00-08:00	8,06	593	Εξασθενεί
	4	09:00-11:00	6,00	467	
	5	12:00-14:00	6,34	460	
	6	15:00-17:00	5,83	403	
	7	18:00-20:00	6,83	542	Γυρνάει
	8	21:00-23:00	8,03	583	Αυξάνει
Μάρτιος	1	00:00-02:00	8,50	683	Δυναμώνει
	2	03:00-05:00	10,08	1062	Μέγιστη
	3	06:00-08:00	8,03	526	Μειώνεται
	4	09:00-11:00	6,52	804	Γυρνάει / Αυξάνει
	5	12:00-14:00	7,46	758	Δυνατός
	6	15:00-17:00	6,11	379	
	7	18:00-20:00	4,84	204	
	8	21:00-23:00	7,37	452	
Απρίλιος	1	00:00-02:00	7,71	485	
	2	03:00-05:00	9,26	802	Αυξάνει / Δυναμώνει
	3	06:00-08:00	7,56	570	Μειώνεται
	4	09:00-11:00	6,62	1500	Γυρνάει / <b>Μέγιστη</b>
	5	12:00-14:00	9,10	952	Δυνατός / Από Νότο
	6	15:00-17:00	8,68	757	Μειώνεται / Γυρνάει
	7	18:00-20:00	5,08	245	
	8	21:00-23:00	7,60	494	
Μάιος	1	00:00-02:00	8,91	699	Αυξάνει
	2	03:00-05:00	9,32	800	Δυναμώνει

	3	06:00-08:00	6,66	388	Μειώνεται
	4	09:00-11:00	6,83	413	Γυρνάει / Από Νότο
	5	12:00-14:00	7,20	600	Αυξάνει
	6	15:00-17:00	8,00	699	Δυνατός
	7	18:00-20:00	5,27	300	
	8	21:00-23:00	7,60	494	
<b>Ιούνιος</b>	1	00:00-02:00	8,81	637	Αυξάνει
	2	03:00-05:00	9,30	800	Μέγιστη
	3	06:00-08:00	5,96	301	Εξασθενεί
	4	09:00-11:00	6,63	429	
	5	12:00-14:00	7,15	595	Αυξάνει / Από Νότο
	6	15:00-17:00	8,68	755	Δυναμώνει
	7	18:00-20:00	5,56	201	
	8	21:00-23:00	6,47	330	
<b>Ιούλιος</b>	1	00:00-02:00	10,11	831	Αυξάνει / Δυνατός
	2	03:00-05:00	9,27	798	Δυνατός
	3	06:00-08:00	6,47	370	
	4	09:00-11:00	6,48	331	Γυρνάει / Από Νότο
	5	12:00-14:00	9,63	906	Μέγιστη
	6	15:00-17:00	8,68	756	Μειώνεται
	7	18:00-20:00	6,10	259	Γυρνάει
	8	21:00-23:00	6,34	327	
<b>Αύγουστος</b>	1	00:00-02:00	9,30	746	Δυναμώνει
	2	03:00-05:00	10,28	858	Μέγιστη
	3	06:00-08:00	7,63	469	
	4	09:00-11:00	6,48	331	Γυρνάει
	5	12:00-14:00	9,62	900	Μέγιστη
	6	15:00-17:00	6,11	379	
	7	18:00-20:00	5,94	258	
	8	21:00-23:00	6,38	321	
<b>Σεπτέμβριος</b>	1	00:00-02:00	9,69	773	Αυξάνει
	2	03:00-05:00	9,77	877	Δυναμώνει
	3	06:00-08:00	8,79	636	Μειώνεται
	4	09:00-11:00	7,01	445	Γυρνάει / Από Νότο
	5	12:00-14:00	9,06	1012	Μέγιστη
	6	15:00-17:00	8,69	794	Μειώνεται / Δυνατός
	7	18:00-20:00	5,06	152	
	8	21:00-23:00	7,80	438	Γύρισε
<b>Οκτώβριος</b>	1	00:00-02:00	10,20	874	Μέγιστη
	2	03:00-05:00	8,34	668	Μειώνεται
	3	06:00-08:00	9,90	840	Αυξάνει
	4	09:00-11:00	5,80	336	

	5	12:00-14:00	7,73	525	Αυξάνει
	6	15:00-17:00	7,15	419	
	7	18:00-20:00	5,36	269	
	8	21:00-23:00	9,11	686	Γύρισε
<b>Νοέμβριος</b>	1	00:00-02:00	8,00	680	Αυξάνει
	2	03:00-05:00	8,51	681	Δυναμώνει
	3	06:00-08:00	10,64	1043	Μέγιστη
	4	09:00-11:00	6,14	553	Γυρνάει
	5	12:00-14:00	7,66	638	Δυναμώνει
	6	15:00-17:00	5,74	442	
	7	18:00-20:00	7,87	612	Γυρνάει / Αυξάνει
	8	21:00-23:00	10,05	987	Δυναμώνει
<b>Δεκέμβριος</b>	1	00:00-02:00	9,83	895	Δυνατός
	2	03:00-05:00	10,27	955	Αυξάνει
	3	06:00-08:00	10,06	912	Μειώνεται
	4	09:00-11:00	6,66	485	
	5	12:00-14:00	5,97	451	
	6	15:00-17:00	5,84	341	
	7	18:00-20:00	8,00	530	Γύρισε / Αυξάνει
	8	21:00-23:00	9,70	830	Δυναμώνει