



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΑΞΟΝΑ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΕΚΠΟΝΗΣΗ: ΖΟΡΜΠΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
ΚΑΡΝΑΣ ΜΙΧΑΗΛ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΤΖΟΥΒΑΔΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιανουάριος 2014

Σύνοψη

Στις μέρες μας, με την παγκόσμια ενεργειακή και περιβαλλοντική κρίση να κλιμακώνεται, έχει καταστεί σαφές ότι η στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελεί μονόδρομο. Η αιολική ενέργεια είναι η πρώτη που χρησιμοποιήθηκε και είναι άμεσα συνδεδεμένη με την Ελλάδα ανά τους αιώνες. Το κλίμα της Ελλάδας δημιουργεί ζώνες με υψηλό αιολικό δυναμικό, η εκμετάλλευση του οποίου προσφέρει περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά πλεονεκτήματα. Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας θα μειώσει το βαθμό εξάρτησης της χώρας μας από τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία προκαλούν σημαντική περιβαλλοντική επιβάρυνση και η μελλοντική διαθεσιμότητά τους είναι αβέβαιη.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της αξιοποίησης του αιολικού δυναμικού με εφαρμογή ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα σε αστικό περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, αρχικά ορίστηκε μια αστική περιοχή μελέτης για την οποία αναλύθηκαν τα φαινόμενα που διέπουν τη ροή του ανέμου σε σχέση με την μορφολογία της. Για την περιοχή συλλέχθηκαν πραγματικά ανεμολογικά δεδομένα τα οποία ύστερα από επεξεργασία χρησιμοποιήθηκαν σε προσομοιώσεις με το πρόγραμμα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής Envi-met, με σκοπό τον υπολογισμό του αιολικού δυναμικού σε διαφορετικές θέσεις. Με βάση τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, εξήχθησαν συμπεράσματα για το μικροκλίμα τις περιοχής και αξιολογήθηκε, με οικονομοτεχνικά κριτήρια, η πιθανότητα εγκατάστασης ανεμογεννητριών.

Abstract

Nowadays, with the global energy and environmental crisis escalating, it has become transparent that the shift to renewable energy poses as an one-way. Wind power is the first one used and is directly linked to Greece throughout history. The climate of Greece creates zones with high wind potential, which exploitation offers environmental , social and economic benefits. The use of wind energy will reduce the dependence of our country on fossil fuels which cause significant environmental impact and their future availability is uncertain.

The purpose of this thesis is to investigate the use of wind power by applying vertical axis wind turbines in an urban environment. Specifically, an urban area was originally defined for study and the phenomena governing the flow of the wind were analyzed, in relation to its morphology. For the area, wind data was collected which were processed and, later, used in simulations with the computational fluid dynamics program Envi-met, in order to calculate the wind potential at different locations. Based on the results of simulations, conclusions were reached on the micro-climate of the area and the feasibility of wind turbines was investigated with techno-economic criteria.

Λέξεις κλειδιά

ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αιολική ενέργεια, μικρές ανεμογεννήτριες, ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, αστικό περιβάλλον, άνεμος σε δομημένο περιβάλλον, ηλεκτροπαραγωγή, μικροδίκτυο, νομικό πλαίσιο, προσομοίωση συμπεριφοράς ανέμου, πρόγραμμα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής, τεχνοοικονομική μελέτη.

Key Words

Renewable energy sources, wind energy, small wind turbines (SWTs), vertical axis wind turbines (VAWTs), urban environment, wind flow in built environment, electrical energy production, micro grid, legal boundaries, simulation of wind's behavior, computational fluid dynamics software (CFD), techno-economic analysis.

Περίληψη της εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με σκοπό να μελετηθεί η εφικτότητα τοποθέτησης ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα εντός του αστικού ιστού. Στο πλαίσιο της εργασίας επιλέχθηκε η περιοχή της Ν.Σμύρνης ως περιοχή μελέτης, αφού θεωρήθηκε αντιπροσωπευτική για τα δεδομένα της Αθήνας. Από την μοντελοποίηση της περιοχής και τη μετέπειτα προσομοίωση της ροής του ανέμου εντός αυτής, επιλέχθηκαν συγκεκριμένες θέσεις σε οροφές πολυκατοικιών, στις οποίες αξιολογήθηκε η δυνατότητα ηλεκτροπαραγωγής μέσω ανεμογεννήτριας. Για τις ανάγκες των προσομοιώσεων έγινε χρήση του λογισμικού υπολογιστικής ρευστοδυναμικής, Envi-met.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δεδομένα που διαμορφώνουν την υπάρχουσα παγκόσμια ενεργειακή κατάσταση. Ειδικότερα, διερευνάται η θέση της Ελλάδας στον παγκόσμιο ενεργειακό χάρτη και παράλληλα τονίζονται οι μεσοπρόθεσμοι ενεργειακοί στόχοι αλλά και οι δεσμεύσεις της χώρας μας. Στη συνέχεια, αφού τεκμηριωθεί η επιτακτική ανάγκη για άμεση στροφή στην αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, παρουσιάζονται συνοπτικά όλες οι μορφές Α.Π.Ε. δίνοντας έμφαση στα συγκριτικά τους πλεονεκτήματα.

Κατόπιν, στο δεύτερο κεφάλαιο, μελετήθηκε ο άνεμος ως φυσικό φαινόμενο αλλά και ως η γενεσιουργός αιτία της αιολικής ενέργειας. Εξετάστηκαν οι αρχές που διέπουν τη δημιουργία και την κίνησή του, ενώ παρουσιάστηκαν τα μεγέθη που προσδιορίζουν την ροή του καθώς και τρόποι μέτρησης αυτών. Επίσης, στο πλαίσιο του αντικειμένου της διπλωματικής έγινε μελέτη της μεταβολής της ροής του ανέμου καθ' ύψος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος, ειδικότερα εντός του αστικού ιστού.

Στο τρίτο κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε μια ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη των ανεμογεννητριών και αναλύθηκαν οι σύγχρονες τεχνολογίες που εφαρμόζονται στην υλοποίησή τους. Ιδιαίτερη αναφορά έγινε για τις μικρές ανεμογεννήτριες, και δη κατακόρυφου άξονα, και στη δυνατότητα χρήσης τους σε εφαρμογές αστικού περιβάλλοντος. Τέλος, εισήχθη η έννοια του μικροδικτύου και αναλύθηκαν οι διάφοροι τρόποι σύνδεσής τους.

Το τέταρτο κεφάλαιο καταπιάνεται με την παρουσίαση της ισχύουσας Ελληνικής νομοθεσίας αναφορικά με τη χρήση μικρών ανεμογεννητριών, ενώ αναλύονται τα απαραίτητα βήματα για την εξασφάλιση αδειοδότησης τοποθέτησης και λειτουργίας των τελευταίων. Επίσης, παρουσιάζεται η δυνατότητα επιδότησης αντίστοιχων επενδύσεων μέσω του προγράμματος «Εξοικονόμηση κατ' Οίκον».

Στη συνέχεια, στο πέμπτο κεφάλαιο, αφού παρουσιάστηκε το πρόγραμμα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής Envi-met και αναλύθηκαν τόσο οι λειτουργίες του όσο και η διαδικασία προσομοίωσης και εξαγωγής αποτελεσμάτων, πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις με σκοπό την επιλογή των θέσεων ενδιαφέροντος. Αφού επιλέχθηκαν οι θέσεις αυτές, πραγματοποιήθηκαν εκ νέου προσομοιώσεις με σκοπό τον υπολογισμό του αιολικού δυναμικού. Τέλος, από τις

προσομοιώσεις, με τη βοήθεια του υποπρογράμματος Leonardo, εξήχθησαν τα απαραίτητα ανεμολογικά μεγέθη για τον προσδιορισμό του αιολικού δυναμικού.

Στο έκτο κεφάλαιο, μετά από έρευνα, επιλέχθηκε η καταλληλότερη ανεμογεννήτρια για τις δεδομένες συνθήκες και εξετάστηκε η βιωσιμότητα της στις διάφορες θέσεις ενδιαφέροντος. Τέλος, παρουσιάστηκαν τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την πιθανή εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας στην περιοχή μελέτης αλλά και από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον τομέα Δομοστατικής υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ. Τζουβαδάκη τον οποίο θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά για την εμπιστοσύνη και το ενδιαφέρον που έδειξε κατά την ανάθεση και για τη συμπαράστασή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μας. Επίσης, πολλές ευχαριστίες οφείλουμε στο Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών για τα δεδομένα που μας παραχώρησε τα οποία συνέβαλαν καθοριστικά στην αρτιότητα της εργασίας. Επιπροσθέτως, ευχαριστούμε όλους τους καθηγητές του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου οι οποίοι μας ενέπνευσαν και μας καθοδήγησαν στην πορεία μας. Βέβαια, το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλουμε στους γονείς μας, που στηρίζουν τις προσπάθειες μας σε όλη τη διάρκεια των μαθητικών και ακαδημαϊκών σπουδών μας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	11
1.1. Το ενεργειακό ζήτημα.....	11
1.2. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.).....	12
1.2.1. Εισαγωγή.....	12
1.2.2. Μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....	15
1.2.3. Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα Α.Π.Ε.	28
1.3. Το δυναμικό των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ο ΑΝΕΜΟΣ.....	32
2.1. Γενικές πληροφορίες για τον άνεμο.....	32
2.2. Δημιουργία του ανέμου.....	32
2.2.1. Δύναμη βαροβαθμίδας.....	33
2.2.1.1. Η θαλάσσια αύρα (sea breeze).....	33
2.2.1.2. Η απόγεια αύρα (land breeze).....	34
2.2.1.3. Ο καταβατικός άνεμος (αύρα όρους).....	34
2.2.1.4. Ο αναβατικός άνεμος (αύρα κοιλάδας).....	35
2.2.2. Η δύναμη Coriolis.....	35
2.2.3. Η δύναμη τριβής.....	36
2.2.4. Η κυκλοστροφική δύναμη (φυγόκεντρος-κεντρομόλος).....	37
2.2.5. Η δύναμη βαρύτητας.....	37
2.3. Βασικά χαρακτηριστικά του ανέμου.....	38
2.3.1. Διεύθυνση ανέμου.....	38
2.3.1.1. Ανεμολόγια συχνότητας.....	39
2.3.2. Ένταση του ανέμου.....	40
2.3.2.1. Η κλίμακα Beaufort.....	40
2.3.2.2. Ριπές του ανέμου.....	42
2.4. Τύρβη ανέμου.....	42
2.5. Εμπόδια σε αστικό περιβάλλον.....	43
2.5.1. Κτίρια.....	43
2.5.2. Δέντρα.....	44
2.5.3. τραχύτητα της επιφάνειας.....	44
2.6. Εκθετικός νόμος κατανομής του ανέμου καθ' ύψος.....	45
2.7. Η κατανομή Weibull.....	46
2.8. Πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα.....	47
2.9. Το αιολικό δυναμικό.....	48
2.10. Μέτρηση του ανέμου – Το ανεμόμετρο.....	48
2.10.1. Ανεμόμετρα ταχύτητας.....	48
2.10.2. Ανεμόμετρα πίεσης.....	51
2.10.3. Η κατάλληλη τοποθέτηση των οργάνων.....	52
2.11. Μελέτη του ανέμου σε αστικούς χώρους.....	52
2.11.1. Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας.....	53
2.11.2. Το φαινόμενο της αστικής χαράδρας.....	54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ.....	57
3.1. Ιστορική αναδρομή.....	57
3.2. Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα.....	60
3.3. Αρχή λειτουργίας ανεμογεννητριών.....	62
3.4. Τύποι ανεμογεννητριών.....	63
3.4.1. Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα(HAWTs).....	64
3.4.2. Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα(VAWTs).....	67
3.4.2.1. Ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα τύπου Darrieus.....	69
3.4.2.2. Ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα τύπου Savonius.....	70
3.5. Τρόποι λειτουργίας ανεμογεννητριών.....	72
3.5.1. Σταθερής ταχύτητας ανεμογεννήτριες.....	72
3.5.2. Μεταβλητής ταχύτητας ανεμογεννήτριες.....	73
3.6. Οι συνηθέστεροι τύποι γεννητριών.....	74
3.6.1. Ασύγχρονες (επαγωγικές) γεννήτριες.....	74
3.6.2. Σύγχρονες γεννήτριες.....	74
3.7. Ο λόγος της ταχύτητας ακροπτερυγίου, λ.....	75
3.8. Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας.....	76
3.9. Αεροδυναμικός έλεγχος ισχύος ανεμογεννητριών.....	77
3.9.1. Έλεγχος βήματος πτερυγίων (pitch control).....	78
3.9.2. Έλεγχος παθητικής απώλειας στήριξης (passive stall control).....	78
3.9.3. Έλεγχος ενεργητικής απώλειας στήριξης (active stall control).....	78
3.10. Ετήσια αναμενόμενη ενεργειακή παραγωγή.....	79
3.11. Μικρές ανεμογεννήτριες.....	81
3.11.1. Μικρές ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα.....	83
3.11.2. Διάρκεια ζωής και συντήρηση μικρών ανεμογεννητριών.....	84
3.11.3. Μικρές ανεμογεννήτριες σε αστικό περιβάλλον.....	84
3.12. Αυτόνομα συστήματα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.....	86
3.13. Μικροδίκτυα και αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας.....	86
3.14. Συνδεσμολογία ανεμογεννητριών.....	88
3.14.1. Η AC σύνδεση.....	88
3.14.2. Λειτουργία μεγιστοποίησης αποδιδόμενης ισχύος (MPPT).....	89
3.14.3. Η DC σύνδεση.....	90
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΙ ΑΔΕΙΟΔΟΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	 93
4.1. Βασικές άδειες ενεργειακής νομοθεσίας.....	93
4.2. Περιβαλλοντική αδειοδότηση.....	93
4.3. Πολεοδομικά θέματα και θέματα χρήσεων γης.....	95
4.3.1. Βαθμοί όχλησης και αποστάσεις από οικισμούς.....	95
4.3.2. Όροι δόμησης.....	96
4.4. Σύνδεση στο δίκτυο.....	97
4.4.1. Προσφορά σύνδεσης.....	97
4.4.2. Σύμβαση σύνδεσης και παροχή εγγυήσεων για τη σύνδεση.....	98
4.4.3. Τιμολόγηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.....	98
4.5. Το πρόγραμμα «Εξοικονόμηση κατ'οίκον» και η προοπτική αξιοποίησής του.....	99
4.5.1. Σκοπιμότητα προγράμματος.....	99

4.5.2.	Οικιακές ανεμογεννήτριες και δυνατότητα επιδότησης της εν λόγω επένδυσης.....	100
4.5.3.	Γενικές Προϋποθέσεις Επιλεξιμότητας.....	101
4.5.4.	Ειδικές Προϋποθέσεις Επιλεξιμότητας για Πολυκατοικίες.....	101
4.5.5.	Ωφελούμενοι.....	101
4.5.6.	Επιλέξιμος Προϋπολογισμός - Κίνητρα - Δανειακή Σύμβαση.....	102
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ENVI-MET ΚΑΙ Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ.....		105
5.1.	Γενικά για το Envi- met.....	105
5.2.	Οι εξισώσεις για τον άνεμο που χρησιμοποιούνται στο Envi-me.....	106
5.2.1.	Εξισώσεις για την κύρια ροή του ανέμου.....	106
5.2.2.	Εξισώσεις για την ατμοσφαιρική τύρβη.....	106
5.3.	Η δομή του μοντέλου του Envi-met.....	108
5.4.	Αρχεία εισαγωγής (Inputfile).....	110
5.4.1.	Αρχείο Ρυθμίσεων (Configurationfile).....	110
5.4.2.	Αρχείο περιοχής του μοντέλου προσομοίωσης(Areainputfile).....	111
5.4.3.	Αρχεία εισαγωγής δεδομένων (Databasefile).....	114
5.4.3.1.	Βάση δεδομένων εδαφών (Soil Database).....	114
5.4.3.2.	Βάση δεδομένων προφίλ (ProfilesDatabase).....	115
5.4.3.3.	Βάση δεδομένων φυτών (PlantDatabase).....	116
5.4.3.4.	Βάση δεδομένων πηγών (SourcesDatabase).....	116
5.5.	Παραγόμενα Αρχεία (Output Files).....	117
5.5.1.	Γενικά.....	117
5.5.2.	Κύρια Αρχεία Δεδομένων .EDI/.EDT (Main Data Files).....	118
5.6.	Η χρήση του προγράμματος Envi-met.....	119
5.6.1.	Δημιουργία του area input file [.IN].....	119
5.6.1.1.	Εισαγωγή κτιρίων και βλάστησης.....	119
5.6.1.2.	Εισαγωγή εδάφους.....	120
5.6.2.	Δημιουργία του configurationfile.CF.....	122
5.6.3.	Εκτέλεση της προσομοίωσης.....	123
5.7.	Επεξεργασία και διαχείριση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.....	130
5.7.1.	Επεξεργασία αποτελεσμάτων με το Leo.....	130
5.8.	Επιλογή των σημείων μελέτης.....	133
5.8.1.	Η κύρια διεύθυνση του ανέμου.....	134
5.8.2.	Το υψόμετρο των σημείων.....	136
5.8.3.	Οι θέσεις εγκατάστασης των ανεμογεννητριών.....	141
5.9.	Υπολογισμός μέσων ταχυτήτων για κάθε θέση.....	148
5.9.1.	Υπολογισμός μέσων ταχυτήτων για την θέση.....	148
5.9.2.	Υπολογισμός μέσων ταχυτήτων για την θέση δύο.....	157
5.9.3.	Υπολογισμός μέσων ταχυτήτων για την θέση τρία.....	167
5.10.	Συμπεράσματα από τις προσομοιώσεις.....	177
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ		181

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1. Το ενεργειακό ζήτημα

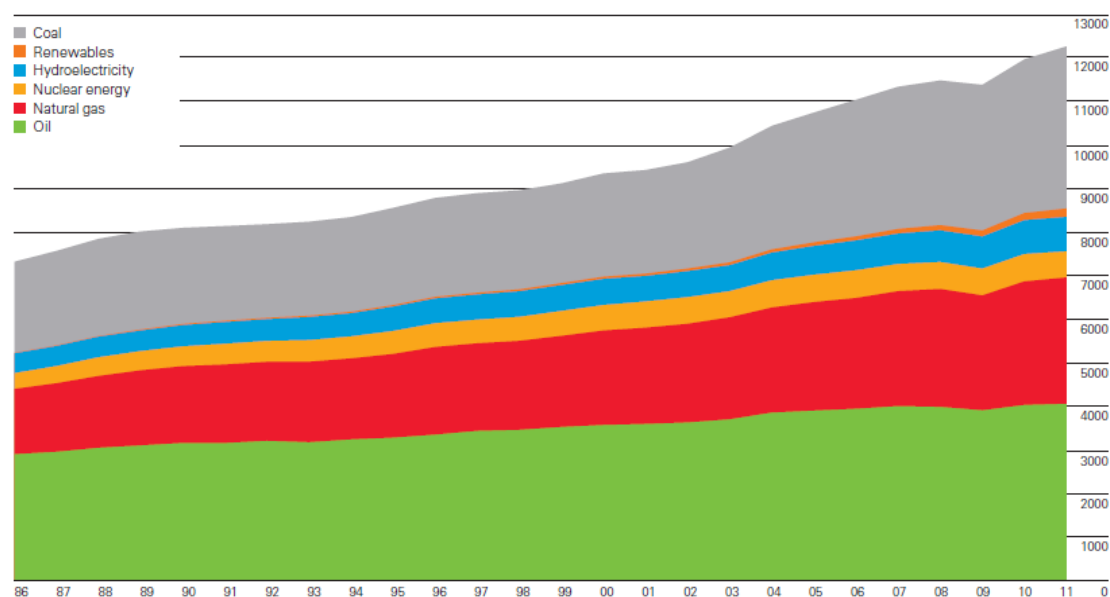
Ζωή και ενέργεια είναι δύο έννοιες άρρηκτα δεμένες. Όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί για να επιτελέσουν τις βασικές λειτουργίες τους απαιτούν ενέργεια, όπως επίσης ενέργεια δαπανάται σε όλες τις φυσικές και ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Κάθε προσπάθεια του ανθρώπου για βελτίωση των συνθηκών διαβίωσής του, για επίτευξη προόδου και ευημερίας προϋποθέτει την ανακάλυψη και χρήση ενεργειακών πόρων. Καθημερινά μπορούμε να αντιληφθούμε την επίδραση της ενέργειας σε εμάς και το περιβάλλον μας, και συνεπώς να κατανοήσουμε την σπουδαιότητά της για την ανθρωπότητα.

Στις σύγχρονες κοινωνίες καταναλώνονται τεράστιες ποσότητες ενέργειας στη θέρμανση χώρων, στα μέσα μεταφοράς, στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και στη λειτουργία των βιομηχανικών μονάδων. Το μεγαλύτερο ποσοστό της χρησιμοποιούμενης αυτής ενέργειας προέρχεται από συμβατικές πηγές ενέργειας, όπως είναι το πετρέλαιο, η βενζίνη και ο άνθρακας, οι οποίες δεν είναι ανεξάντλητες. Έτσι, αν και πριν από λίγα χρόνια τα ενεργειακά αποθέματα φάνταζαν πολλά, και η απεριόριστη χρήση και σπατάλη τους απασχολούσε ελάχιστους επιστήμονες, η σημερινή κατάσταση δείχνει ότι η οπτική μας σε αυτό το ζήτημα πρέπει να αλλάξει ριζικά. Ταυτόχρονα όμως με τα δυσμενή στοιχεία αύξησης της ενεργειακής ζήτησης και μείωσης των ενεργειακών πόρων, η κλιματική αλλαγή και τα προβλήματα με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου περιπλέκουν ακόμη περισσότερο το ζήτημα.

Η Ελλάδα σήμερα βρίσκεται 4^η στη λίστα με τις πλέον εξαρτημένες από το πετρέλαιο χώρες. Συγκεκριμένα, το 57% της ενέργειας που παράγεται στη χώρα μας προέρχεται από το πετρέλαιο, με την ετήσια κατανάλωση πετρελαίου να ανέρχεται σε 15 βαρέλια ανά κάτοικο (Ιταλία 11,8 βαρέλια, Γερμανία 11,7 βαρέλια και Βρετανία 10,9 βαρέλια). Δυστυχώς, η αξιοποίηση εναλλακτικών μορφών ενέργειας βρίσκεται ακόμη σε νηπιακό στάδιο καθώς ο βαθμός διείσδυσής τους στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας προσεγγίζει μόλις το 5%. Επίσης, ιδιαίτερα ανησυχητικό πρέπει να θεωρείται το γεγονός ότι το 50%-60% του παραγόμενου ηλεκτρισμού προέρχεται από τον λιγνίτη, ο οποίος έχει ιδιαίτερα ρυπογόνο δράση. Τέλος, εξαιρετικά χαμηλές είναι οι επιδόσεις μας και στον δείκτη ενεργειακής απόδοσης, ο οποίος μετρά την ορθή αξιοποίηση της ενέργειας σε σχέση με την ποσότητα η οποία καταναλώνεται στην τελική χρήση, και ανέρχεται στο 66,1% της ενέργειας που διατίθεται, ενώ ο αντίστοιχος ευρωπαϊκός μέσος όρος βρίσκεται στο 71,3% [1].

Επιτακτική λοιπόν φαντάζει η ανάγκη για στροφή στην συστηματική αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.), τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε εθνικό επίπεδο. Οι τελευταίες ανανεώνονται μέσω περιοδικών φυσικών φαινομένων και θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες. Ο ήλιος, ο άνεμος, τα ποτάμια και οι οργανικές ύλες είναι ήπιες πηγές ενέργειας των οποίων η διαθεσιμότητα δεν εξαντλείται ποτέ. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συνιστούν πηγές ενέργειας φιλικές προς το

περιβάλλον και αποτελούν βασικό πυλώνα του εγχειρήματος της αιεφόρου ανάπτυξης. Η ανάπτυξη τους αποτελεί βασική προτεραιότητα της ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής, με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος και την αποφυγή πιθανής ενεργειακής ασφυξίας. Μάλιστα, στο πλαίσιο της ανωτέρω πολιτικής καθορίζονται εθνικές δεσμεύσεις οι οποίες θέτουν ως στόχο, μέχρι το 2020, οι ΑΠΕ να συμμετέχουν κατά 18% (το αντίστοιχο ποσοστό για την ΕΕ-27 είναι 20%) στην τελική κατανάλωση ενέργειας [2].



Εικόνα 1.1. Μεταβολή της ετήσιας παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης ανά καύσιμο (ΜΤΟΕ)
[Πηγή: BP. Statistical Review of World Energy (2012)]

1.2. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.)

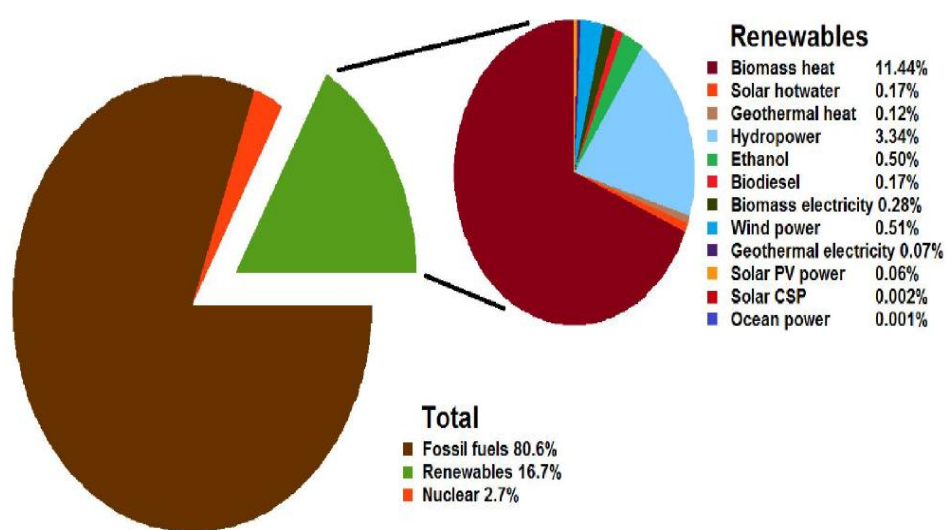
1.2.1. Εισαγωγή

Η διαφαινόμενη εξάντληση των ενεργειακών αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων του πλανήτη μας (άνθρακας, φυσικό αέριο, πετρέλαιο, σχάσιμα υλικά) σε συνδυασμό με την διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας, αλλά και την βαθμιαία επιδείνωση των περιβαλλοντικών προβλημάτων, οδήγησε τις σύγχρονες κοινωνίες να στραφούν αφενός σε τεχνικές εξοικονόμησης και ορθολογικής χρήσης της ενέργειας, αφετέρου στην αξιοποίηση των ήπιων ή Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ).

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ανανεώνονται μέσω του κύκλου της φύσης και θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες. Ο ήλιος, ο άνεμος, τα ποτάμια, οι οργανικές ύλες όπως το ξύλο ή ακόμη τα απορρίμματα οικιακής και γεωργικής προέλευσης, είναι πηγές ενέργειας των οποίων η προσφορά δεν εξαντλείται ποτέ. Υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον και είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας τις οποίες χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα, οπότε και στράφηκε στην εντατική χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων. Για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική

παρέμβαση όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, αρκεί απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στην φύση. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση), είτε μετατρέπομενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια). Υπολογίζεται ότι το δυνητικό εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό από τις Α.Π.Ε. είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας [3]. Η υψηλή όμως μέχρι πρόσφατα τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής, καθώς και οι πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες οι οποίες συνδέονται με την προσκόλληση σε παλαιότερα ενεργειακά μοντέλα, αποτέλεσαν τροχοπέδη στην εκμετάλλευση έστω και μέρους του προαναφερθέντος δυναμικού.

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των Α.Π.Ε., μέσω της ανάπτυξης αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών με σκοπό την εκμετάλλευση του δυναμικού τους, παρουσιάστηκε αρχικά το 1979 ως αποτέλεσμα, κυρίως, των απαντών πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής και παγιώθηκε την τελευταία δεκαετία, με τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων από την χρήση κλασικών πηγών ενέργειας. Ενώ στην αρχή οι Α.Π.Ε. είχαν αποκλειστικά πειραματική εφαρμογή, σήμερα αποτελούν για πολλές χώρες μία σημαντική εγχώρια πηγή ενέργειας, με μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Συνεισφέρουν σημαντικά στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό και εισαγόμενο πετρέλαιο, αλλά και στην ενίσχυση της εθνικής ασφάλειας μέσω της ενεργειακής αυτονομίας. Παράλληλα, συμβάλλουν στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς η αξιοποίησή τους δεν συνοδεύεται από παραγωγή ρύπων ή αερίων. Η συμβολή αυτή, μάλιστα, γίνεται άμεσα αντιληπτή αν αναλογιστεί κανείς ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο πρωταρχικός υπεύθυνος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος, καθώς σχεδόν το 95% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται στην παραγωγή, το μετασχηματισμό και τη χρήση των συμβατικών καυσίμων.



Εικόνα 1.2. Συνολική παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση (2010) ανά πηγή
 [Πηγή: Wikipedia, 2012]

Στην Ελλάδα, η χρήση των Α.Π.Ε. αυξήθηκε σημαντικά τα τελευταία 6- 7 χρόνια, κυρίως λόγω της σταδιακής εναρμόνισης της ελληνικής νομοθεσίας με τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Συγκεκριμένα, στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής η ΔΕΗ κατείχε το μονοπώλιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι το 1994 με εγκατεστημένη ισχύ προερχόμενη από Α.Π.Ε. περίπου στα 70 MW. Το ίδιο έτος, με το νόμο 2292/1994 οι ιδιώτες επενδυτές απέκτησαν τη δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. και πώλησής της με ευνοϊκές τιμολογιακές συνθήκες. Η ουσιαστική απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας έγινε το 1999 με τον νόμο 2773/99 και την ταυτόχρονη ίδρυση της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ) και του Διαχειριστή Εθνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ). Η ΡΑΕ είναι ένας ανεξάρτητος φορέας που γνωμοδοτεί στο υπουργείο Ανάπτυξης σχετικά με ζητήματα ενέργειας (άδειες παραγωγής, τιμολόγηση κλπ), ενώ ο ΔΕΣΜΗΕ εκτός από τη διαχείριση του δικτύου είναι και ο εμπορικός διαχειριστής των μονάδων Α.Π.Ε. του διασυνδεδεμένου συστήματος της χώρας. Ο νόμος 2773/99 τέθηκε ουσιαστικά σε εφαρμογή το 2001, οπότε και ξεκίνησε η γρήγορη ανάπτυξη των Α.Π.Ε. στην Ελλάδα. Ενδεικτικά η ονομαστική ισχύς των μονάδων Α.Π.Ε. στην Ελλάδα αυξήθηκε από 351 MW το 2001 σε 1040 MW το 2007. Το 2001, εναρμονιζόμενη με την κοινοτική οδηγία 2001/77/ΕΚ, η Ελλάδα έθεσε σαν στόχο την κατά 20,1% συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή της χώρας μέχρι το 2010. Κάτι τέτοιο θα αντιστοιχούσε σε περίπου 3000 MW εγκατεστημένης ισχύος αποτελούμενη κυρίως από εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας (περίπου 2500 MW). Δυστυχώς, ο στόχος αυτός δεν επετεύχθη καθώς το 2010 η ισχύς των μονάδων Α.Π.Ε. ήταν 1736MW ενώ η αντίστοιχη ονομαστική ισχύς των εγκατεστημένων αιολικών ήταν 1298MW [4].

Από το 2010, είναι σε εφαρμογή το εθνικό σχέδιο δράσης 20-20-20 στο πλαίσιο εφαρμογής της Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Πολιτικής σε σχέση με την διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, την Εξοικονόμηση Ενέργειας και τον περιορισμό των εκπομπών αερίων ρύπων του θερμοκηπίου. Ειδικότερα για το σύνολο των Κρατών-Μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μέχρι το 2020, προβλέπεται [5]:

- α) 20% μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 σύμφωνα με την Οδηγία 2009/29/ΕΚ,
- β) 20% διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/ΕΚ, και
- γ) 20% εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας.

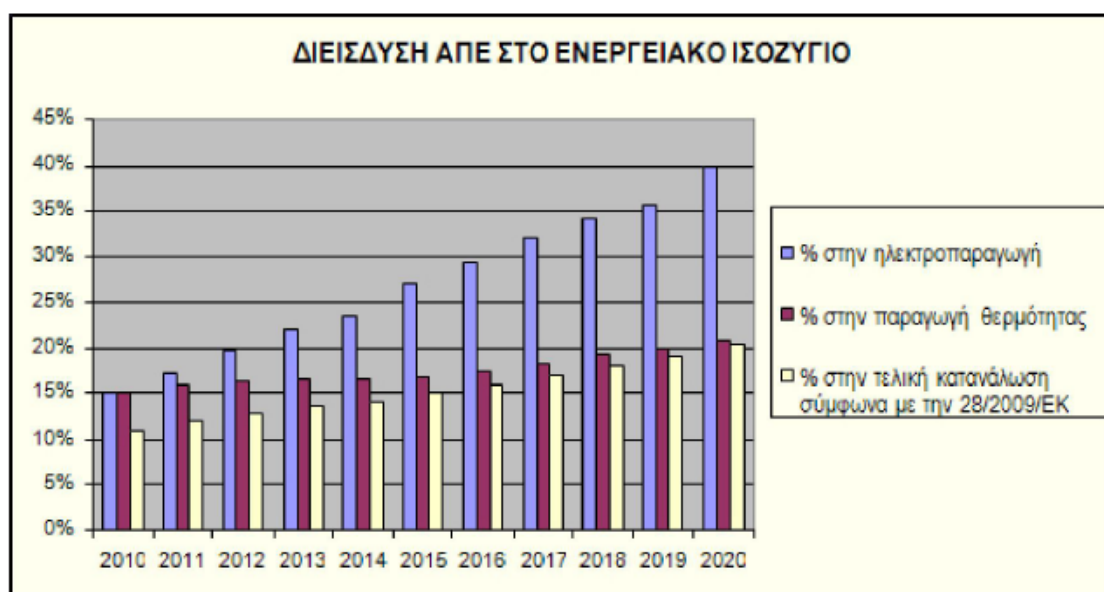
Ειδικά για την Ελλάδα, ο στόχος για τις εκπομπές αερίων ρύπων του θερμοκηπίου είναι μείωση κατά 4% στους τομείς εκτός εμπορίας σε σχέση με τα επίπεδα του 2005, και 18% διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση.

Η Ελληνική κυβέρνηση στο πλαίσιο υιοθέτησης συγκεκριμένων αναπτυξιακών και περιβαλλοντικών πολιτικών, με το Νόμο 3851/2010 προχώρησε στην αύξηση του εθνικού στόχου συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας στο 20%, ο οποίος και εξειδικεύεται σε 40 % συμμετοχή των Α.Π.Ε. στην ηλεκτροπαραγωγή, 20 % σε ανάγκες θέρμανσης-ψύξης και 10 % στις μεταφορές.

Επιπρόσθετα, σε σχέση με την εξοικονόμηση ενέργειας η Ελλάδα έχει ήδη καταρτίσει το 1^ο Σχέδιο Δράσης Ενεργειακής Αποδοτικότητας όπου προβλέπεται 9% εξοικονόμηση ενέργειας στην τελική κατανάλωση μέχρι το έτος 2016 σύμφωνα και με την Οδηγία 2006/32/ΕΚ, ενώ πρόσφατα και με τον Νόμο 3855/2010, ο οποίος

προστίθεται και στον πρόσφατο κανονισμό που αφορά την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων- ΚΕΝΑΚ, προχωρά στην ανάπτυξη μηχανισμών της αγοράς και εφαρμογής συγκεκριμένων μέτρων και πολιτικών που αποσκοπούν στην επίτευξη του συγκεκριμένου εθνικού στόχου για εξοικονόμηση ενέργειας [6].

Οι εθνικοί ενεργειακοί στόχοι για το 2020, όπως περιγράφονται από το παρόν σχέδιο δράσης, αλλά και όπως έχουν διαμορφωθεί από τις πρόσφατες νομοθετικές παρεμβάσεις και τα αντίστοιχα εθνικά προγράμματα στο πλαίσιο του ΕΣΠΑ, διαμορφώνουν ένα ισχυρά αναπτυξιακό επιχειρηματικό πλαίσιο μέσα στο οποίο η Ελλάδα καλείται να αξιοποιήσει τις δυνατότητες που της προσφέρει το φυσικό δυναμικό που διαθέτει σε τεχνολογίες ΑΠΕ & ΕΞΕ και να διαμορφώσει ένα νέο μοντέλο «πράσινης» ανάπτυξης. Παράλληλα, η επίτευξη αυτών των στόχων θα συνεισφέρει στην ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού, στη βέλτιστη αξιοποίηση των φυσικών πόρων και στην ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας βασικών κλάδων της Ελληνικής οικονομίας [5].



Εικόνα 1.3. Εκτίμηση διείσδυσης ΑΠΕ σύμφωνα με τους στόχους του Εθνικού Σχεδίου Δράσης 20-20-20.

[Πηγή: ιστοσελίδα Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2012]

1.2.2. Μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ορίζονται οι μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια, η ενέργεια κυμάτων, η παλιρροϊκή ενέργεια, η βιομάζα, τα αέρια που εκλύονται από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού, τα βιοαέρια, η γεωθερμική ενέργεια, η υδραυλική ενέργεια η οποία αξιοποιείται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Οι ήπιες μορφές ενέργειας βασίζονται κατ' ουσίαν στην ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση τη γεωθερμική ενέργεια η οποία είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό του φλοιού της γης, και την ενέργεια απ' τις παλίρροιες η οποία οφείλεται στη βαρύτητα. Οι βασιζόμενες στην ηλιακή ακτινοβολία ήπιες πηγές

ενέργειας είναι ανανεώσιμες, μιας και δεν πρόκειται να εξαντληθούν όσο υπάρχει ο ήλιος, δηλαδή για μερικά ακόμα δισεκατομμύρια χρόνια. Ουσιαστικά είναι ηλιακή ενέργεια "συσκευασμένη" κατά τον ένα ή τον άλλο τρόπο: η βιομάζα είναι ηλιακή ενέργεια δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών μέσω της φωτοσύνθεσης, η αιολική εκμεταλλεύεται τους ανέμους οι οποίοι προκαλούνται από τη θέρμανση του αέρα, ενώ αυτές που βασίζονται στο νερό εκμεταλλεύονται τον κύκλο εξάτμισης-συμπύκνωσης του νερού και την κυκλοφορία του. Η γεωθερμική ενέργεια δεν είναι ανανεώσιμη, καθώς τα γεωθερμικά πεδία κάποια στιγμή εξαντλούνται.

Ηλιακή ενέργεια

Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των μορφών ενέργειας οι οποίες προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας. Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της. Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα ή Ηλιοθερμικά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα η οποία εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.



Εικόνα 1.4. Εφαρμογές αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας
[Πηγή: Wikipedia, 2013]

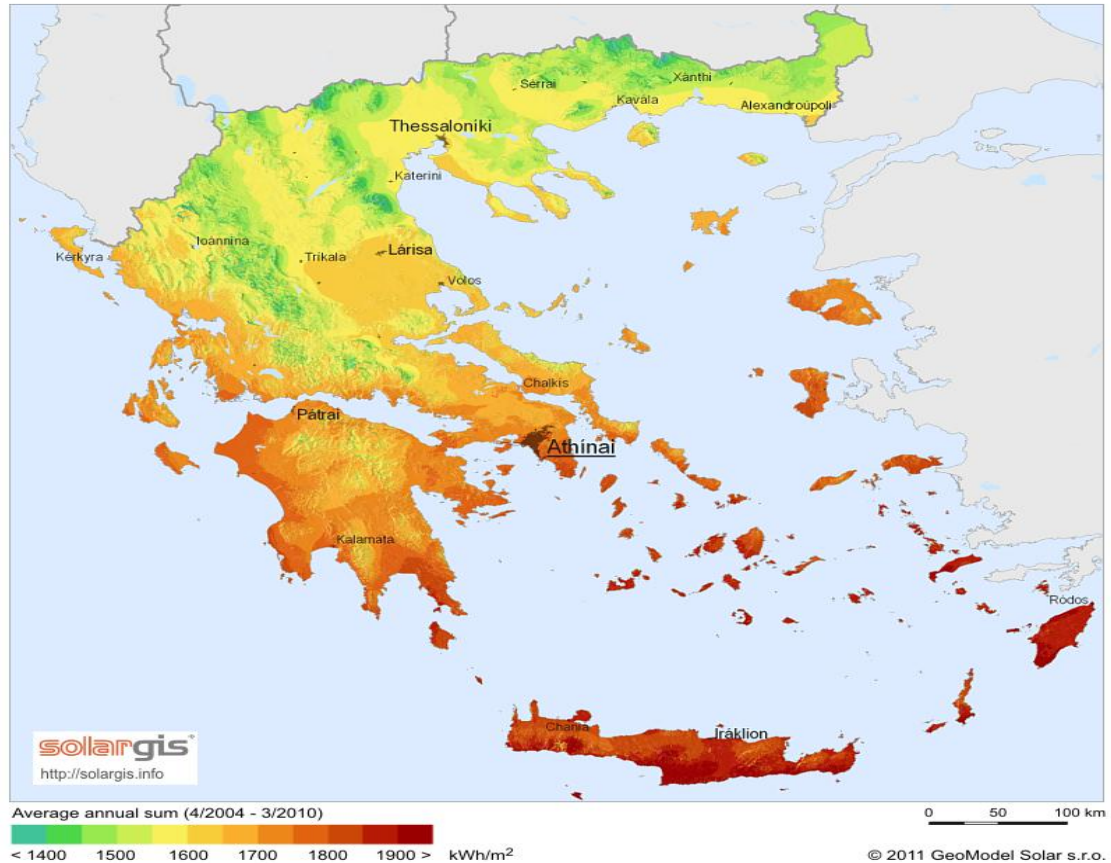
Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι δομικά στοιχεία του κτιρίου, που, αξιοποιώντας τους νόμους μεταφοράς θερμότητας, συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν σε μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο. Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ειδικότερα, στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου. Τα παθητικά

ηλιακά συστήματα συνδυάζονται και με τεχνικές φυσικού φωτισμού καθώς και παθητικά συστήματα και τεχνικές για το φυσικό δροσισμό των κτιρίων το καλοκαίρι. Μπορούν δε να εφαρμοστούν τόσο σε καινούργια, όσο και σε ήδη υπάρχοντα κτίρια.

Τα ενεργητικά ή θερμικά ηλιακά συστήματα αποτελούν μηχανολογικά συστήματα που συλλέγουν, την ηλιακή ενέργεια, τη μετατρέπουν σε θερμότητα, την αποθηκεύουν και τη διανέμουν, χρησιμοποιώντας είτε κάποιο υγρό είτε αέρα ως ρευστό μεταφοράς της θερμότητας. Χρησιμοποιούνται για θέρμανση νερού οικιακής χρήσης, για τη θέρμανση και ψύξη χώρων, για βιομηχανικές διεργασίες, για αφαλάτωση, για διάφορες αγροτικές εφαρμογές, για θέρμανση του νερού σε πισίνες κ.λ.π. Η πιο απλή και διαδεδομένη μορφή των θερμικών ηλιακών συστημάτων είναι οι γνωστοί σε όλους μας ηλιακοί θερμοσίφωνες.

Μια πολλά υποσχόμενη και συνεχώς αναπτυσσόμενη τεχνολογία είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, αντλώντας, όπως και τα ηλιοθερμικά συστήματα, ενέργεια από τον ήλιο. Οι ηλιακές κυψέλες, κοινώς τα φωτοβολταϊκά στοιχεία (ημιαγωγοί), είναι “συσκευές” οι οποίες μετατρέπουν άμεσα την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Η λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων βασίζεται στο γεγονός ότι η ηλιακή ακτινοβολία είναι δυνατό να αλλάξει τις ιδιότητες ορισμένων υλικών (ημιαγωγών) παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του “φωτοβολταϊκού φαινομένου”. Κατά το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, το ηλιακό φως που προσπίπτει σε έναν ημιαγωγό δύο στρωμάτων δημιουργεί ηλεκτρικό δυναμικό μεταξύ τους. Η τάση αυτή μπορεί να ενεργοποιήσει μια, ανάλογης τάσης και ισχύος, συσκευή ή να διανεμηθεί στο ηλεκτρικό σύστημα. Το σύνολο των φωτοβολταϊκών στοιχείων που συνδέονται ηλεκτρονικά μεταξύ τους ονομάζεται φωτοβολταϊκή γεννήτρια και το σύνολο των συνδεδεμένων φωτοβολταϊκών γεννητριών ονομάζεται φωτοβολταϊκή συστοιχία. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία αποτελεί το βασικότερο μέρος του φωτοβολταϊκού συστήματος και συνοδεύεται από κατάλληλα ηλεκτρονικά κυκλώματα για έλεγχο και διαχείριση της παραγόμενης ενέργειας, καθώς και από σύστημα αποθήκευσης (μπαταρίες). Το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα είναι συνεχούς τάσης και ανάλογα με την εφαρμογή μπορεί να μετατραπεί σε εναλλασσόμενο με τη βοήθεια ενός αντιστροφέα τάσης.

Η απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων αυξάνεται με τη χρήση συστημάτων περιστροφής των πλαισίων τα οποία ακολουθούν την κίνηση του ήλιου, ωστόσο η εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων δυνατό να αυξήσει σημαντικά το κόστος της επένδυσης. Οι συνεχείς τεχνολογικές εξελίξεις στο τομέα αποσκοπούν στη μεγιστοποίηση της απόδοσης των συστημάτων αυτών και στην ταυτόχρονη μείωση του κόστους της παραγόμενης κιλοβατώρας με στόχο να καταστήσουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα μια από τις σημαντικότερες τεχνολογίες εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας στο άμεσο μέλλον. Στην Ελλάδα, η προοπτική ανάπτυξης και εφαρμογής των Φ/Β συστημάτων είναι τεράστια, λόγω του ιδιαίτερα υψηλού δυναμικού ηλιακής ενέργειας.



Εικόνα 1.5. Μέση ετήσια ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην Ελλάδα (kWh/m²)
[Πηγή: Wikipedia, 2013]

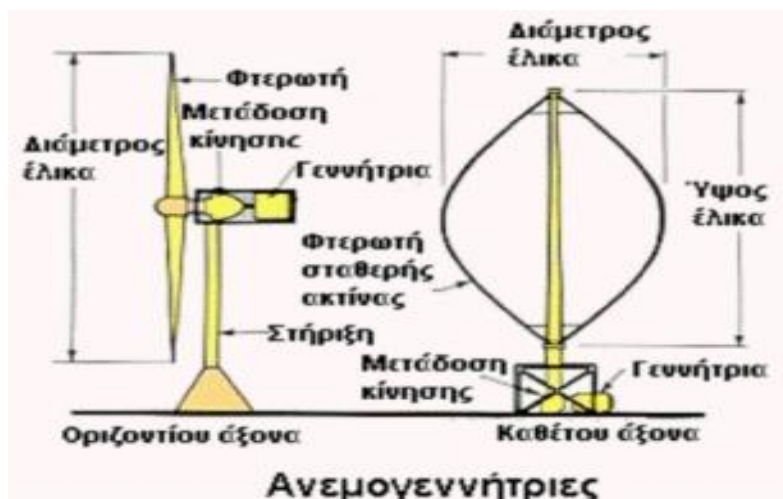
Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, καθώς η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων αέριων μαζών από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας έτσι τους ανέμους. Αν υπήρχε η τεχνολογική δυνατότητα να καταστεί εκμεταλλεύσιμο το συνολικό αιολικό δυναμικό της γης, εκτιμάται ότι η παραγόμενη σε ένα χρόνο ηλεκτρική ενέργεια θα ήταν υπερδιπλάσια από τις ανάγκες της ανθρωπότητας στο ίδιο χρονικό διάστημα. Υπολογίζεται ότι στο 25% της επιφάνειας της γης και σε ύψος 10 m πάνω από το έδαφος επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας που ξεπερνά τα 5.1 m/sec. Σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα, όταν η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου ξεπερνά αυτήν την τιμή το αιολικό δυναμικό ενός τόπου θεωρείται ενεργειακά εκμεταλλεύσιμο και οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες. Άλλωστε, το κόστος κατασκευής των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί σημαντικά και μπορεί να θεωρηθεί ότι η αιολική ενέργεια διανύει την πρώτη περίοδο ωριμότητάς την, καθώς είναι πλέον ανταγωνιστική των συμβατικών μορφών ενέργειας (ΚΑΠΕ, 1998).

Οι ανεμογεννήτριες είναι μηχανές οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μέσω της πτερωτής, έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του

ανέμου σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της πτερωτής και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνουμε την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

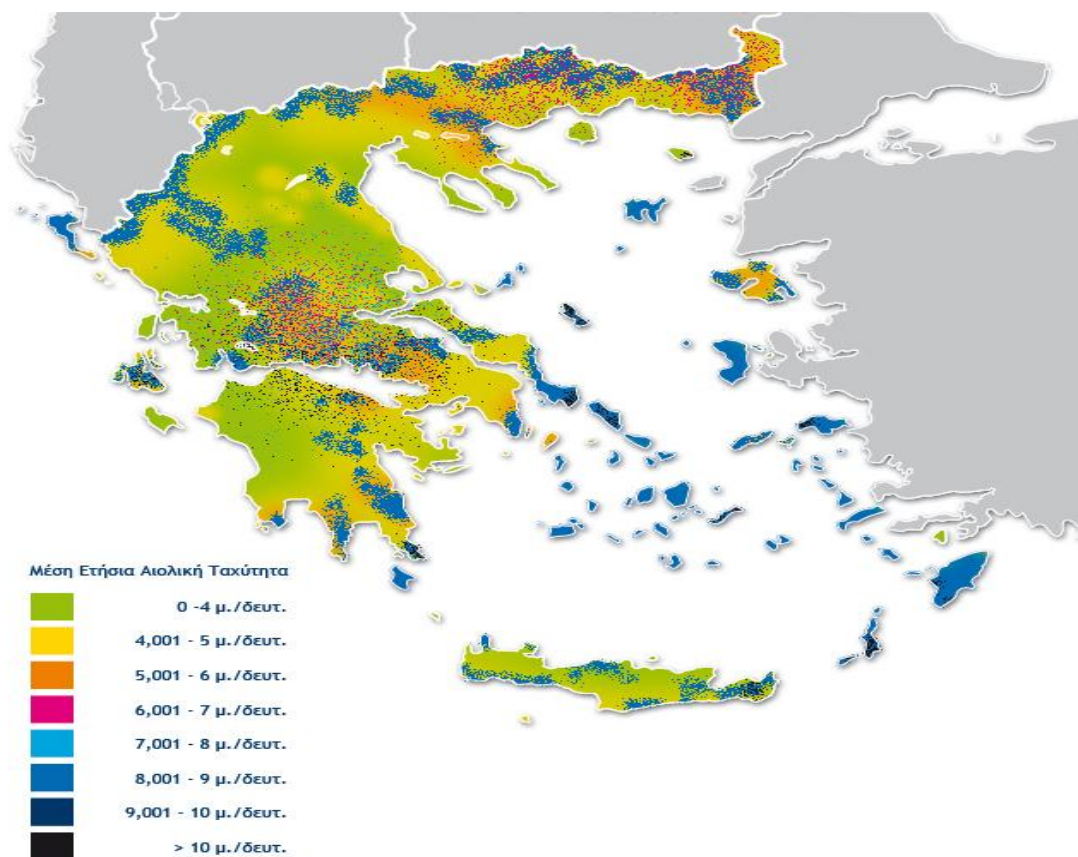
Οι Α/Γ χρησιμοποιούνται για την πλήρη κάλυψη ή και τη συμπλήρωση των ενεργειακών αναγκών. Το παραγόμενο από τις ανεμογεννήτριες ηλεκτρικό ρεύμα είτε καταναλώνεται επιτόπου, είτε εγχέεται και διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο για να καταναλωθεί αλλού. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις Α/Γ, όταν η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση, συχνά αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί αργότερα, όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή. Η αποθήκευση σήμερα γίνεται με δύο οικονομικά βιώσιμους τρόπους, ανάλογα με το μέγεθος της παραγόμενης ενέργειας. Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες) είναι η πλέον γνωστή και διαδεδομένη μέθοδος αποθήκευσης Η/Ε, η οποία χρησιμοποιείται για μικρής κλίμακας παραγωγικές μη διασυνδεδεμένες στο κεντρικό δίκτυο μονάδες. Η άντληση ύδατος με χρήση Η/Ε παραγόμενης από Α/Γ και η ταμίευσή του σε τεχνητές λίμνες κατασκευασμένες σε υψόμετρο το οποίο είναι ικανό να τροφοδοτήσει υδροηλεκτρικό σταθμό, είναι η μέθοδος αποθήκευσης που χρησιμοποιείται όταν η παραγόμενη Η/Ε είναι μεγάλη.



Εικόνα 1.6.Μορφολογία και χαρακτηριστικά μέρη ανεμογεννητριών οριζοντίου και καθέτου άξονα
[Πηγή: <http://kpe-kastor.kas.sch.gr/energy1/alternative/technologia.htm>]

Η Ελλάδα διαθέτει εξαιρετικά πλούσιο αιολικό δυναμικό και η αξιοποίησή του μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην αιεφόρο ανάπτυξή της. Το πρώτο αιολικό πάρκο εγκαταστάθηκε από τη ΔΕΗ το 1982 στην Κύθνο. Μέχρι σήμερα έχουν κατασκευασθεί στην Άνδρο, στην Εύβοια, στη Λήμνο, Λέσβο, Χίο, Σάμο και στην Κρήτη εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής πάνω από 30 MW. Ως ιδιαίτερα σημαντικό θεωρείται το αυξημένο ενδιαφέρον του ιδιωτικού τομέα στην εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, ειδικά σε περιοχές υψηλού αιολικού δυναμικού (Νησιά Αιγαίου, Νότια Εύβοια, Ανατολική Πελοπόννησος, Θράκη). Με την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας δεκάδες αιτήσεις για μονάδες παραγωγής από ιδιώτες έχουν υποβληθεί στη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, με συνέπεια η συνολική εγκατεστημένη δυναμικότητα των αιολικών πάρκων να εκτιμάται σε πάνω από 1200 MW έως το τέλος του 2007 (ΥΠΑΝ, 2005). Σημαντικό

εμπόδιο στην ακόμη μεγαλύτερη ανάπτυξη αποτελεί η ανεπάρκεια της υποδομής του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο κατασκευάστηκε πολύ πριν αναδυθεί η ανανεώσιμη ενέργεια ως βιώσιμη εναλλακτική λύση. Έτσι, στις ηπειρωτικές περιοχές υψηλού φυσικού δυναμικού, οι δυνατότητες επενδύσεων αιολικής ενέργειας έχουν περιοριστεί από τις δυνατότητες διείσδυσης στο ηλεκτρικό δίκτυο και παρόμοιοι περιορισμοί υφίστανται και στα νησιά εμποδίζοντας την περαιτέρω διείσδυση της συγκεκριμένης ΑΠΕ.



Εικόνα 1.7. Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου στην Ελλάδα (m/s)
[Πηγή: ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας)]

Γεωθερμική ενέργεια

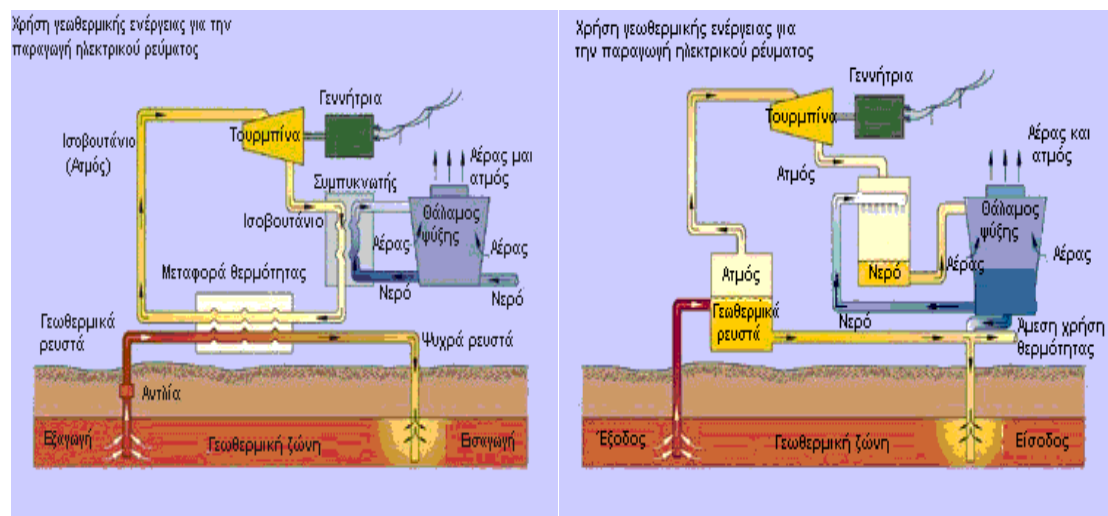
Γεωθερμία ή Γεωθερμική ενέργεια ονομάζουμε τη φυσική θερμική ενέργεια της Γης η οποία διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια. Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται με δύο τρόπους: α) Με αγωγή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια με ρυθμό $0,04 - 0,06 \text{ W/m}^2$, β) Με ρεύματα μεταφοράς, τα οποία όμως περιορίζονται στις ζώνες κοντά στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων. Το γεωθερμικό δυναμικό μιας περιοχής σχετίζεται με τις γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες της. Η Γεωθερμία αποτελεί ήπια και σχετικά ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή ενώ σε συνδυασμό με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα μπορεί να καλύψει σημαντικές ενεργειακές ανάγκες.

Η κύρια κατάταξη των γεωθερμικών πεδίων γίνεται με βάση τη θερμοκρασία τους. Πεδία χαμηλής ή μέσης θερμοκρασίας (50 - 150°C) αξιοποιούνται στη μεταφορά θερμότητας σε οικισμούς, θερμοκήπια, αλλά και μικρές βιομηχανικές μονάδες. Πεδία υψηλής θερμοκρασίας (άνω των 150°C) είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή ηλεκτρισμού. Οι γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος είναι ιδιαίτερα οικονομικές και η λειτουργία τους έχει μικρή περιβαλλοντική επίδραση. Παράγουν μόνο το 1/6 της ποσότητας του CO₂ την οποία θα παρήγαγε μια μονάδα ίσης δυναμικότητας με λειτουργία βασισμένη στο φυσικό αέριο, ενώ το κόστος της παραγόμενης ενέργειας κυμαίνεται περίπου μεταξύ \$0.015/kW και \$0.35/kW. Σε παγκόσμια κλίμακα η συνολική δυναμικότητα των γεωθερμικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής ξεπερνά τα 8000 MWe και η αντίστοιχη θερμική τα 4000 Mwtη[7].

Σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία, κάθε ρευστό που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και έχει θερμοκρασία πάνω από 25°C χαρακτηρίζεται ως "γεωθερμικό ρευστό". Εφόσον σε μία περιοχή αναβλύζει θερμό νερό ή ατμός, πρέπει να υπάρχει κάποιος υπόγειος ταμιευτήρας του οποίου το νερό έχει διεισδύσει σε βαθύτερα στρώματα του φλοιού της γης και θερμαινόμενο ανέρχεται στην επιφάνεια δημιουργώντας το "γεωθερμικό κοίτασμα". Τα γεωθερμικά ρευστά είτε συλλέγονται καθώς εξέρχονται με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια της γης είτε αντλούνται με γεώτρηση από γεωθερμικά κοιτάσματα τα οποία βρίσκονται σε βάθος από μερικές εκατοντάδες μέχρι 3000 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης. Μετά την ενεργειακή αξιοποίηση μέρους της αισθητής θερμότητάς τους, πρέπει να επανεγχύονται στο υπέδαφος μέσω γεώτρησης. Με τον τρόπο αυτό ενισχύεται η μακροβιότητα του ταμιευτήρα και αποφεύγεται η θερμική ρύπανση του περιβάλλοντος (Δρής, 1996).

Υπάρχουν δύο κύριοι τρόποι εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας.

Ο πρώτος τρόπος συνίσταται στη χρήση της θερμότητας των γεωθερμικών ρευστών για την παραγωγή ηλεκτρισμού και τη θέρμανση νερού και χώρων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται διεργασίες τόσο ανοικτού όσο και κλειστού κυκλώματος.



Εικόνα 1.8. Εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και τη θέρμανση νερού και χώρων, μέσω διεργασιών κλειστού(αριστερά) ή ανοικτού(δεξιά) κυκλώματος.

Στη διάταξη ανοικτού κυκλώματος το γεωθερμικό ρευστό εκτονώνεται σε δοχείο διαχωρισμού ατμού-υγρού και ο παραγόμενος ατμός οδηγείται σε στρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρισμού, ενώ το θερμό υγρό καταλήγει σε εναλλάκτη θερμότητας. Στην περίπτωση της διεργασίας κλειστού κυκλώματος το γεωθερμικό ρευστό οδηγείται σε εναλλάκτη θερμότητας προσδίδοντας θερμική ενέργεια σε κατάλληλο ρευστό το οποίο ατμοποιείται και οδηγείται στον στρόβιλο. Την απαιτούμενη παραγόμενη θερμότητα του κυκλώματος την αποδίδει σε συμπυκνωτή προτού διέλθει εκ νέου από τον εναλλάκτη του γεωθερμικού ρευστού.

Ο δεύτερος τρόπος βασίζεται στην εκμετάλλευση των θερμών μαζών του υπεδάφους ή υπόγειων υδάτων με σκοπό την κίνηση αντλιών θερμότητας (γεωθερμικές αντλίες) για εφαρμογές θέρμανσης και ψύξης. Οι γεωθερμικές αντλίες θεωρούνται από τις πλέον αποδοτικές ενεργητικές τεχνολογίες για τη θέρμανση και την ψύξη χώρων. Χρησιμοποιούν τη φυσική θερμοκρασία του υπεδάφους εκμεταλλευόμενες το γεγονός ότι η τελευταία δεν ποικίλλει σημαντικά στη διάρκεια ενός έτους. Κατά τη χειμερινή περίοδο λαμβάνει χώρα μεταφορά θερμότητας από τη γη στο κτίριο μέσω κλειστού κυκλώματος νερού, ενώ κατά τη θερινή περίοδο αντιστρέφεται η διαδικασία. Θεωρούνται πιο αποτελεσματικές από τα κοινά κλιματιστικά καθώς απλώς μεταφέρουν τη θερμότητα αντί να καταναλώνουν ενέργεια για να τη δημιουργήσουν.

Ο Ελλαδικός χώρος διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τριών κατηγοριών (υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας) σε οικονομικά βάθη (100-1500 μ). Η αυξημένη ροή θερμότητας, λόγω της έντονης τεκτονικής και μαγματικής δραστηριότητας, δημιούργησε εκτεταμένες θερμικές ανωμαλίες, με μέγιστες τιμές γεωθερμικής βαθμίδας οι οποίες πολλές φορές ξεπερνούν του 100° C/km. Σε κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες, η ενέργεια αυτή θερμαίνει «ρηχούς» υπόγειους ταμειυτήρες ρευστών σε θερμοκρασίες μέχρι 100 °C. Η έρευνα για την αναζήτηση γεωθερμικής ενέργειας άρχισε ουσιαστικά το 1971 με βασικό φορέα το ΙΓΜΕ και αρχικά αφορούσε μόνο τις περιοχές υψηλής ενθαλπίας. Από το 1971 ερευνήθηκαν οι εξής περιοχές: Μήλος, Νίσυρος, Λέσβος, Μέθανα, Σουσακι Κορινθίας, Καμένα Βούρλα, Θερμοπύλες, Υπάτη, Αιδηψός, Κίμωλος, Πολύαιγος, Σαντορίνη, Κως, Νότια Θεσσαλία, Αλμωπία, περιοχή Στρυμόνα, περιοχή Ξάνθης, Σαμοθράκη και άλλες.

Σήμερα οι άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας στην Ελλάδα επικεντρώνονται κυρίως στην θέρμανση των θερμοκηπίων, στην ιχθυοτροφία, στην καλλιέργεια σπιρουλίνας καθώς και στην αποξήρανση λαχανικών και φρούτων. Οι αντλίες θερμότητας από υπόγεια ύδατα έχουν αναπτυχθεί ιδιαίτερα το τελευταίο διάστημα αλλά το ποσοστό που καταλαμβάνουν στην αγορά είναι ελάχιστο σε σχέση με άλλα κράτη της κεντρικής ή Βόρειας Ευρώπης. Προς το παρόν δεν παράγεται στην Ελλάδα ηλεκτρική ενέργεια παρά την ύπαρξη πολλών γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας στο ηφαιστειακά ενεργό τόξο του Αιγαίου πελάγους.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι το δυναμικό για άμεση χρήση της γεωθερμίας στην Ελλάδα ξεπερνάει τα 1000 MWth, ενώ για την παραγωγή ηλεκτρισμού υπολογίζεται περί τα 25 MW κυρίως στα νησιά της Μήλου και της Νισύρου [8].



Εικόνα 1.9.Γεωθερμικές περιοχές της Ελλάδας
[Πηγή: Φυτίκας-Ανδρίτσος, 2004]

Βιομάζα

Η βιομάζα αποτελεί μία ήπια και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας η οποία βρίσκεται αποθηκευμένη στο οργανικό και βιολογικό υλικό των ζώντων οργανισμών (φυτικών και ζωικών). Τα φυτά δεσμεύουν την ηλιακή ακτινοβολία μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης και την αποθηκεύουν ενώ αναπτύσσονται με τη βοήθεια του νερού και μεταλλικών στοιχείων. Η αποθηκευμένη αυτή μορφή ενέργειας μπορεί στην συνέχεια να μετατραπεί σε διάφορες μορφές ωφέλιμης ενέργειας, όπως είναι η θερμότητα και ο ηλεκτρισμός. Η ενέργεια που προκύπτει από τη βιομάζα είναι γνωστή και ως «βιοενέργεια».

Υπάρχουν διάφορες μορφές βιομάζας, όπως υπολείμματα καρπών (π.χ. τσόφλια αμυγδάλων και καρυδιών, ελαιοπυρηνόξυλο), ξυλουργικά και δασικά υπολείμματα και παραπροϊόντα (π.χ. πριονίδι, ροκανίδι, τρίμματα και αποκόμματα πριστής ξυλείας), κλαδέματα δεντροκαλλιεργειών, στελέχη αγροτικών καλλιεργειών (π.χ. άχυρο, σανό, ρυζοφλοιοί, βαμβακιές, αμπελόκλαδα, στελέχη αραβοσίτου), ενεργειακές καλλιέργειες (π.χ. αγριαγκινάρα, μίσχανθος, σακχαρούχος σόργος, ευκάλυπτος, καλάμι, ιτιά) ή ακόμη οργανικά απορρίμματα ζωικών οργανισμών. Όλα τα υλικά αυτά μπορούν να μετατραπούν σε βιοενέργεια μέσω διαφορετικών

διαδικασιών. Οι διαδικασίες αυτές μπορεί να είναι είτε θερμοχημικές (π.χ. καύση, πυρόλυση, αεριοποίηση) είτε βιοχημικές (π.χ. αλκοολική ζύμωση, αερόβια χώνευση, αναερόβια χώνευση). Τα προϊόντα αυτών των διαδικασιών μπορεί να είναι στερεά καύσιμα (γνωστά ως «βιοκαύσιμα») για ανάγκες θέρμανσης και ηλεκτρισμού, αέρια καύσιμα (π.χ. μεθανόλη) πάλι για τις ανάγκες θέρμανσης ή ηλεκτρισμού, υγρά καύσιμα (π.χ. βιοαιθανόλη ή βιοντήζελ) για χρήση στις μεταφορές ή ακόμη και εδαφοβελτιωτικά προϊόντα (π.χ. κομπόστ ή χούμους).

Σύμφωνα με εκτιμήσεις του ΚΑΠΕ, η βιομάζα η οποία παράγεται παγκοσμίως σε ετήσια βάση υπολογίζεται ότι περιέχει δεκαπλάσια ενέργεια σε σχέση με τις ενεργειακές απαιτήσεις της ανθρωπότητας στο ίδιο διάστημα. Από την τεράστια αυτή ενεργειακή δεξαμενή αξιοποιείται σήμερα μία πολύ μικρή ποσότητα η οποία καλύπτει μόλις το 1/7 της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Για την Ελλάδα εκτιμάται ότι το σύνολο των γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων ανέρχεται σε 10 εκατομμύρια τόνους υλικού, ποσότητα που αντιστοιχεί ενεργειακά περίπου στο 30% της ετήσιας καταναλισκόμενης ποσότητας πετρελαίου. Παράλληλα, με την ανάπτυξη των ενεργειακών καλλιεργειών, εκτιμάται ότι μπορεί να παραχθεί ενέργεια ισοδύναμη με 5 εκατομμύρια ΤΙΠ (τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου), δηλ. το 50% της ετήσιας κατανάλωσης πετρελαίου στη χώρα μας. Επομένως, γίνεται σαφές ότι, ακόμη και αν αξιοποιηθούν εν μέρει μόνο οι δυνατότητες συλλογής πρωτογενούς βιομάζας σε συνδυασμό με την σταδιακή ανάπτυξη των ενεργειακών φυτών, μπορεί να προκύψει σημαντικότερο όφελος από την εξοικονόμηση εισαγόμενου πετρελαίου για τη χώρα μας.



Εικόνα 1.10.Μια μορφή βιομάζας: pellets (συσσωματώματα) τα οποία προκύπτουν από τη μηχανική συμπίεση πριονιδιού, χωρίς την προσθήκη χημικών ή συγκολλητικών ουσιών

[Πηγή: Wikipedia, 2013]

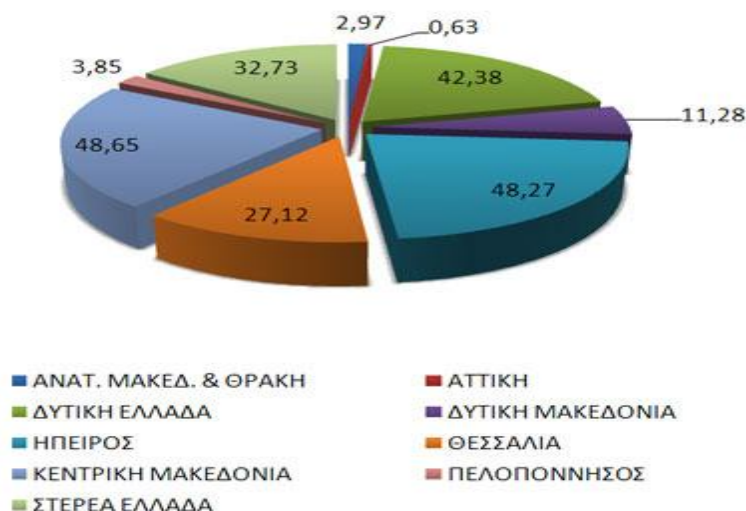
Υδραυλική ενέργεια – Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα(ΜΥΗΕ)

Υδραυλική, και εν μέρει υδροηλεκτρική ενέργεια, είναι η ενέργεια η οποία αποταμιεύεται ως δυναμική κατά τη συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων νερού σε

υψομετρική διαφορά από τη συνέχιση της ροής του ελεύθερου νερού, και αποδίδεται ως κινητική μέσω της υδατόπτωσης. Η κινητική ενέργεια, στη συνέχεια, μπορεί είτε να χρησιμοποιείται αυτούσια επιτόπου (π.χ. νερόμυλοι), είτε να μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Η εκμετάλλευση της ενέργειας αυτής γίνεται με τη χρήση υδροηλεκτρικών έργων.

Η λειτουργία των υδροηλεκτρικών έργων (υδροταμιευτήρας, φράγμα, κλειστός αγωγός πτώσεως, υδροστρόβιλος, ηλεκτρογεννήτρια, διώρυγα φυγής) βασίζεται στην κίνηση του νερού λόγω της διαφοράς μανομετρικού ύψους μεταξύ των σημείων εισόδου και εξόδου. Η απαιτούμενη ποσότητα νερού συγκρατείται στον δημιουργούμενο ταμιευτήρα με τη δημιουργία ενός φράγματος, ενώ κατά τη διέλευσή της από τον αγωγό πτώσεως κινεί έναν στρόβιλο ο οποίος θέτει σε λειτουργία τη γεννήτρια. Η ποσότητα της παραγόμενης ενέργειας καθορίζεται από τον όγκο του νερού που ρέει, τη διαφορά μανομετρικού ύψους μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας του ταμιευτήρα και του στροβίλου, κ.α. Συνεπώς, ο παραγόμενος ηλεκτρισμός εξαρτάται από την ποσότητα του νερού του ταμιευτήρα. Με τον όρο Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο (ΜΥΗΕ), σύμφωνα με την Ελληνική Νομοθεσία, εννοούμε ένα υδροηλεκτρικό έργο εγκατεστημένης ισχύος μέχρι 15ΜWp. Τα ΜΥΗΕ εγκαθίστανται δίπλα σε ποτάμια ή κανάλια και η λειτουργία τους παρουσιάζει πολύ μικρή περιβαλλοντική όχληση. Κατά τη λειτουργία τους, μέρος της ροής ενός ποταμού οδηγείται σε στρόβιλο για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας και συνακόλουθα ηλεκτρικής μέσω της γεννήτριας. Η χρησιμοποιούμενη ποσότητα νερού κατόπιν επιστρέφει στο φυσικό ταμιευτήρα ακολουθώντας τη φυσική της ροή.

Η συμβολή της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του ανθρώπου είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς αντιπροσωπεύει περίπου το 20% της πλανητικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικότερα, σε αρκετές χώρες η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί τη βασική πηγή ηλεκτροπαραγωγής. Στη χώρα μας η υδροηλεκτρική ενέργεια αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό ποσοστό της εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος (~25%) στο διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό σύστημα, ωστόσο η ποσοστιαία συμμετοχή της στην κάλυψη των εγχώριων ενεργειακών αναγκών περιορίζεται σε μονοψήφια μεγέθη.

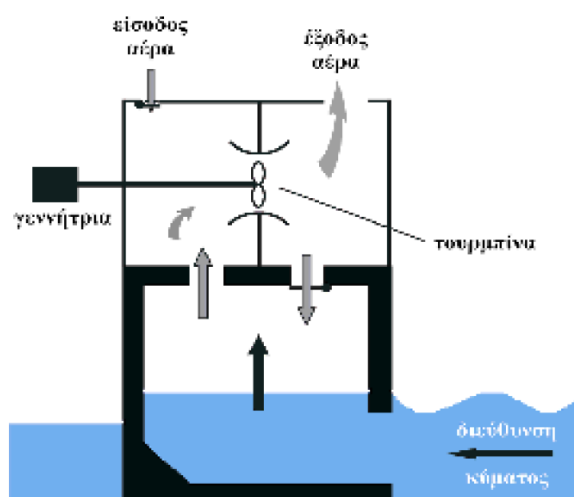


Εικόνα 1.11. Μικρά Υδροηλεκτρικά, γεωγραφική κατανομή εγκατεστημένης ισχύος (MW)
[Πηγή: Πληροφοριακό Δελτίο ΛΑΓΗΕ, Αύγουστος 2013]

Ωκεάνια ενέργεια

Η θάλασσα μπορεί να θεωρηθεί ένα κολοσσιαίο, «παγκόσμιο» ενεργειακό ρεζερβουάρ καθώς αποτελεί το 75% της επιφάνειας της Γης, γεγονός που την καθιστά τον μεγαλύτερο ηλιακό συλλέκτη παγκοσμίως. Οι ωκεανοί, ως φυσικοί αποταμιευτήρες, μπορούν να μας προσφέρουν τεράστια ποσά ενέργειας. Η ενέργεια της θάλασσας μπορεί να προέρχεται από:

α) Τα κύματα. Η κινητική ενέργεια των κυμάτων μπορεί να περιστρέψει την τουρμπίνα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η ανυψωτική κίνηση του κύματος πιέζει τον αέρα προς τα πάνω, μέσα στο θάλαμο, και θέτει σε περιστροφική κίνηση την τουρμπίνα έτσι ώστε η γεννήτρια να παράγει ρεύμα. Αυτός είναι ένας μόνο τύπος εκμετάλλευσης της ενέργειας των κυμάτων. Η παραγόμενη ενέργεια είναι σε θέση να καλύψει τις ανάγκες μιας οικίας, ενός φάρου, κ.λ.π.



Εικόνα 1.12. Σχηματική διάταξη παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από τον κυματισμό της θάλασσας.
[Πηγή: <http://kpe-kastor.kas.sch.gr/energy1/alternative/oceans.htm>]

β) Τις παλίρροιες (μικρές και μεγάλες). Σε αντίθεση με τα κύματα, τα οποία δημιουργούνται κυρίως από τους ανέμους, οι παλίρροιες οφείλονται στη βαρυτική έλξη της Σελήνης και συνεπώς αποτελούν αδιάλειπτες πηγές ενέργειας. Ο τρόπος αξιοποίησής τους είναι απλός: Κατά την πλημμυρίδα, τα εισερχόμενα νερά της παλίρροιας στην ακτή παγιδεύονται σε φράγματα, ενώ κατά την άμπωτη ελευθερώνονται κινώντας τον υδροστρόβιλο, όπως στα υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Τα πλέον κατάλληλα μέρη για την κατασκευή σταθμών ηλεκτροπαραγωγής είναι οι στενές εκβολές ποταμών. Η διαφορά μεταξύ της στάθμης του νερού κατά την άμπωτη και την πλημμυρίδα πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 μέτρα. Σήμερα οι μικροί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το θαλασσινό νερό βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο. Η ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί είναι ικανή να καλύψει τις ανάγκες μιας πόλης μέχρι και 240 χιλιάδων κατοίκων. Ο πρώτος παλιρροϊκός σταθμός κατασκευάστηκε στον ποταμό La Rance στις ακτές της Βορειοδυτικής Γαλλίας το 1962 και οι υδροστρόβιλοί του μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια κατά την παλινδρομική κίνηση του νερού. Άλλοι τέτοιοι σταθμοί

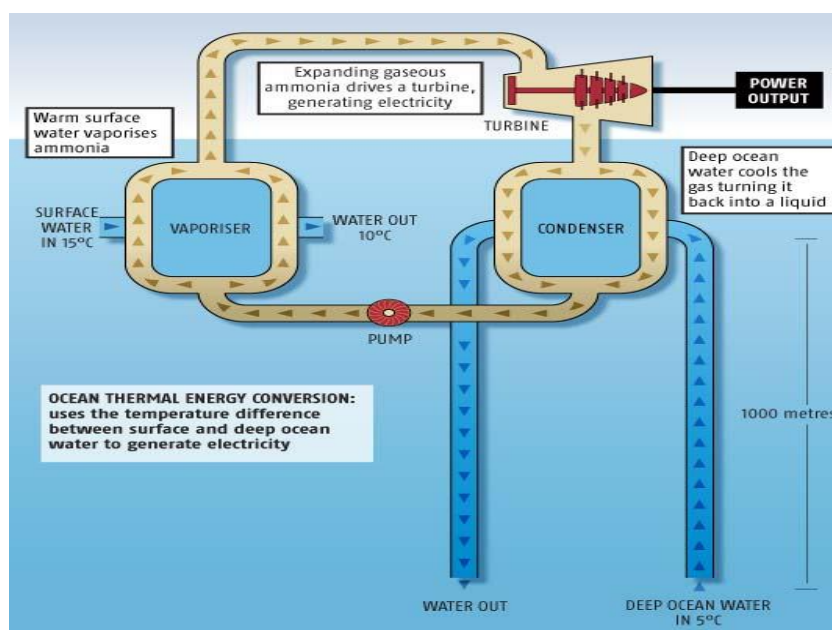
λειτουργούν στη Ρωσία, στη θάλασσα Barents και στον κόλπο Fuhdy της Νέας Σκωτίας [9].



Εικόνα 1.13. Το παλιρροϊκό εργοστάσιο Lake Shihwa στη Σεούλ, με παραγωγική δυνατότητα ισχύος 254 MW.

[Πηγή: <http://www.advancedtechnologykorea.com/9333/>]

γ) Τις θερμοκρασιακές διαφορές του νερού. Η παραγόμενη ενέργεια προκύπτει αξιοποιώντας την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του θερμότερου επιφανειακού νερού και του ψυχρότερου νερού του πυθμένα. Η διαφορά αυτή πρέπει να είναι τουλάχιστον 3,5 °C.



Εικόνα 1.14. Κλειστό κύκλωμα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος μέσω της αξιοποίησης της θερμοκρασιακής διαφοράς του νερού.

[Πηγή: <http://www.energybandgap.com/power-generation/harvesting-energy-from-the-ocean/>]

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση της ενέργειας των ωκεανών, εκτός από το ότι αποτελεί μια ήπια μορφή ενέργειας, είναι το σχετικά μικρό κόστος κατασκευής των απαιτούμενων εγκαταστάσεων, η μεγάλη απόδοση (40-70 KW ανά μέτρο μετώπων κύματος) και η δυνατότητα παραγωγής υδρογόνου με την ηλεκτρόλυση του άφθονου θαλασσινού νερού. Στα μειονεκτήματα αναφέρεται το κόστος μεταφοράς της ενέργειας στη στεριά.

Η παραγωγή ενέργειας από τη θάλασσα ενδιαφέρει άμεσα την Ελλάδα, με τον μεγάλο αριθμό νησιών, αλλά και την τεράστια ακτογραμμή (13.700 km), η οποία είναι η μεγαλύτερη σε μήκος στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Το Αιγαίο Πέλαγος διαθέτει αξιοποιήσιμο θαλάσσιο ενεργειακό δυναμικό, το υψηλότερο της Μεσογείου, με την εκμετάλλευση του οποίου θα μπορούσε να καλυφθεί σημαντικό ποσοστό των ενεργειακών αναγκών της χώρας.

1.2.3. Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα των Α.Π.Ε.

Πλεονεκτήματα

- Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
- Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
- Συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς, μη ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους
- Βοηθούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, εξαιτίας της γεωγραφικής τους διασποράς, με αποτέλεσμα τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο και τη συνεπακόλουθη ανακούφιση των συστημάτων υποδομής και τον περιορισμό των απωλειών κατά τη μεταφορά ενέργειας.
- Έχουν χαμηλό λειτουργικό κόστος το οποίο δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα από τις τιμές των συμβατικών καυσίμων.
- Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.

Μειονεκτήματα

- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής όπου εγκαθίστανται.
- Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης

(π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.

- Για τα υδροηλεκτρικά έργα υποστηρίζεται ότι οφείλονται για την έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω απ' το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

1.3. Το δυναμικό των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Από τη θεωρητική σκοπιά, το δυναμικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι πολύ μεγαλύτερο από την παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση.

Η ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται η Γη είναι σχεδόν 7.000 φορές περισσότερη από την τρέχουσα παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας. Θεωρητικά, η τρέχουσα παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας θα μπορούσε να καλυφθεί με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε περιοχή συνολικής επιφάνειας 700χλμ. x 700χλμ. Ωστόσο, το εν τέλει αξιοποιήσιμο δυναμικό δεν ταυτίζεται με τοπραγματικά διαθέσιμο δυναμικό από τη στιγμή που θα ληφθούν υπόψη οικονομικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες. Επίσης, η απόκλιση αυτή οφείλεται στην απαίτηση χρόνου για να αναπτυχθούν οι κατάλληλες υποδομές και να αποκτηθεί η αντίστοιχη τεχνογνωσία.

Παράλληλα, το παγκόσμιο δυναμικό αιολικής ενέργειας είναι τεράστιο. Για παράδειγμα, το θεωρητικό δυναμικό σε τοποθεσίες με μέση ταχύτητα ανέμου τουλάχιστον 5 m/s σε ύψος 10 μέτρων, ανέρχεται σε σύνολο τουλάχιστον 500.000TWh ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος. Αυτό ισοδυναμεί με 35 φορές περισσότερη ενέργεια συγκριτικά με την παγκόσμια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα.

Επίσης, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο εκτιμάται σε τουλάχιστον 50 Gwe, ενώ η αντίστοιχη τιμή για τις άμεσες χρήσεις σε 1 TWth. Πρέπει ακόμη να συνεκτιμηθεί το γεγονός ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι πιο "διαθέσιμη", καθώς σε αντίθεση με τους συμβατικούς σταθμούς οι οποίοι παράγουν ηλεκτρική ενέργεια κατά το 65-75% του έτους, οι σταθμοί παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας λειτουργούν το 90% του έτους [10].

Παγκοσμίως, η υδροηλεκτρική ενέργεια συμβάλλει σε ποσοστό 19% στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στις ΗΠΑ το 16% περίπου της ηλεκτρικής ισχύος που καταναλώνεται προέρχεται από υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Στην Ελλάδα η υδροηλεκτρική ενέργεια ικανοποιεί περίπου το 9% των ενεργειακών μας αναγκών σε ηλεκτρισμό [11], [12].

Σημαντικό είναι επίσης το δυναμικό παραγωγής ενέργειας από βιομάζα. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η βιομάζα θα μπορούσε να αποδώσει το 9% της παγκόσμιας πρωτογενούς ενέργειας και το 24% των ενεργειακών αναγκών μέχρι το 2020. Μελέτες έχουν δείξει ότι η χρήση της βιομάζας σε συνδυασμένα συστήματα παραγωγής θερμότητας και ενέργειας είναι η πλέον αποδοτική λύση.

Από τα παραπάνω παρατηρούμε ότι η εξάπλωση των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας θα συντελέσει στον δραστικό περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με τη συμβατική ενεργειακή αλυσίδα και παράλληλα θα μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, τα οποία αποτελούν την κύρια αιτία της αλλαγής του κλίματος. Η κλιματική αλλαγή συνιστά καίρια απειλή για το φυσικό περιβάλλον με πολλαπλές επιπτώσεις, όπως η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, οι υψηλότερες ακραίες θερμοκρασίες, οι ξηρασίες και οι πιο ραγδαίες και συχνές καταιγίδες. Ταυτόχρονα τη στιγμή που οι περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες εξαρτώνται σήμερα από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα, οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας αποτελούν μια ευκαιρία για αποκεντρωμένη προμήθεια ενέργειας. Τέτοιου τύπου αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας δημιουργεί περισσότερες θέσεις εργασίας τοπικά, και είναι πολύ λιγότερο ευάλωτη στις ενεργειακές κρίσεις. Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας δεν ανοίγουν μόνο προοπτικές για την περιβαλλοντικά συμβατή αναδιάρθρωση της ενεργειακής αλυσίδας. Συμβάλλουν επίσης στην εκτόνωση εντάσεων στην παγκόσμια αγορά ενέργειας, και κατ' επέκταση οδηγούν σε πολιτική και οικονομική ασφάλεια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ ΠΡΩΤΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [1] European Environment Agency, <<Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2007>>
- [2] Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης - Οδηγία 2009/28/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, 2009
- [3] Αρχές Οικολογίας και Περιβαλλοντικής Χημείας, <<Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας>>, Νίκος Μαμάσης - Αθήνα 2009
- [4] ΥΠΕΚΑ, 5^η Εθνική Έκθεση Για το Επίπεδο Διείσδυσης της Ανανεώσιμης Ενέργειας το έτος 2010
- [5] ΥΠΕΚΑ, Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
- [6] Οδηγία 2006/32/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την ενεργειακή απόδοση κατά την τελική χρήση και τις ενεργειακές υπηρεσίες και για τηνκατάργηση της οδηγίας 93/76/ΕΟΚ του Συμβουλίου, 2006
- [7] Ανδρίτσος Ν, Φύτικας Μ. Γεωθερμία
- [8] Υπουργείο Ανάπτυξης, <<Εκτίμηση του εθνικού δυναμικού της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας στην Ελλάδα>>, 2008
- [9] <<Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Περιφερειακή Ανάπτυξη. Συσχέτιση Πολιτικών, Χρηματοδοτικών, Εκπαιδευτικών, Τεχνολογικών Παραμέτρων>>, Διδακτορική διατριβή - Ανδρέας Δ. Στοϊμενίδης, 2009
- [10] ΤΕΕ/ΤΚΜ, <<Υπάρχουσες τεχνολογίες και τελικές χρήσεις του "καυσίμου του μέλλοντος" - Η2>>, 2010
- [11] Εισήγηση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής στο Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, <<Προκλήσεις και πολιτική στον τομέα της ενέργειας>>, 2013
- [12] http://el.wikipedia.org/wiki/Υδραυλική_ενέργεια

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Ο ΑΝΕΜΟΣ

2.1. Γενικές πληροφορίες για τον άνεμο

Άνεμος ονομάζεται κάθε ρεύμα αέρα το οποίο κινείται σχετικά με το έδαφος. Ειδικότερα, όταν οι αέριες μάζες κινούνται παράλληλα προς την επιφάνεια της γης λέγονται άνεμοι, ενώ σε κάθε άλλη περίπτωση ονομάζονται ρεύματα αέρα. Ο άνεμος μετριέται σε m/sec και ως σημείο αναφοράς για το χαρακτηρισμό της διεύθυνσής του, λαμβάνεται το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος. Πρωταρχική γενεσιουργός αιτία του ανέμου είναι διαφορά πιέσεων μεταξύ γειτονικών περιοχών, η οποία προκαλεί την μετακίνηση των μορίων του αέρα προς την περιοχή της χαμηλότερης πίεσης με ταχύτητα ανάλογη με τη διαφορά πιέσεων. Συγκεκριμένα, όταν μια μάζα αέρα θερμαίνεται, γίνεται πιο αραιή και πιο ελαφριά από τις άλλες αέριες μάζες που βρίσκονται γύρω της και τείνει να ανέβει ψηλότερα από εκείνες (ανοδική κίνηση). Επομένως, άλλες, πιο ψυχρές και βαριές μάζες θα κινηθούν και θα πάρουν την θέση της. Αντίθετα όταν μια μάζα αέρα ψύχεται γίνεται πιο πυκνή και πιο βαριά και τότε τείνει να κατέβει (καθοδική κίνηση). Για να το πετύχει «σπρώχνει» τις άλλες, τις πιο θερμές και πιο αραιές μάζες του αέρα και παίρνει τη θέση τους.

Ο άνεμος είναι ιδιαίτερα χρήσιμος. Για χιλιάδες χρόνια, η ανθρωπότητα χρησιμοποιεί τον άνεμο για να πλεύσει στους ωκεανούς, να αλέσει το σιτάρι σε ανεμόμυλους ή να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Αεροσκάφη χρησιμοποιούν τον άνεμο στις μύτες τους για σύντομες απογειώσεις και προσγειώσεις. Ο άνεμος διαδίδει τους σπόρους των φυτών και τη γύρη, αποτελώντας ένα μηχανισμό μείζονος σημασίας για τη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη μας.

Όμως, ο ισχυρός άνεμος εγκυμονεί και κινδύνους. Προκαλεί σημαντικές καταστροφές βυθίζοντας πλοία, συντρίβοντας αεροσκάφη και κατεδαφίζοντας κτίρια. Ένας ανεμοστρόβιλος χρειάζεται μόνο λίγα λεπτά για να ισοπεδώσει ένα σπίτι, οι κυκλώνες απειλούν τις ακτογραμμές, ενώ οι καταιγίδες του χειμώνα παραλύουν τις συγκοινωνίες.

2.2. Δημιουργία του ανέμου

Οι δυνάμεις οι οποίες καθορίζουν την κίνηση μιας αέριας μάζας στην ατμόσφαιρα διακρίνονται σε δυνάμεις όγκου και σε δυνάμεις επιφάνειας. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τις δυνάμεις που ενεργούν σε μια αέρια μάζα ανεξάρτητα από την ύπαρξη άλλων αερίων μαζών σε γεινίαση με αυτή. Στις δυνάμεις αυτές περιλαμβάνονται η δύναμη της βαρύτητας και οι δυνάμεις αδράνειας (στην προκείμενη περίπτωση, η δύναμη coriolis και η φυγόκεντρος). Οι δυνάμεις επιφάνειας οφείλονται στην αλληλεπίδραση μιας ορισμένης αέριας μάζας με το περιβάλλον της και ενεργούν στην επιφάνεια που περιβάλλει την εν λόγω αέρια μάζα. Σ'αυτές τις δυνάμεις ανήκουν η δύναμη βαροβαθμίδας και οι δυνάμεις τριβής. Παρακάτω, περιγράφεται συνοπτικά η φύση των ατμοσφαιρικών δυνάμεων.

2.2.1. Δύναμη βαροβαθμίδας

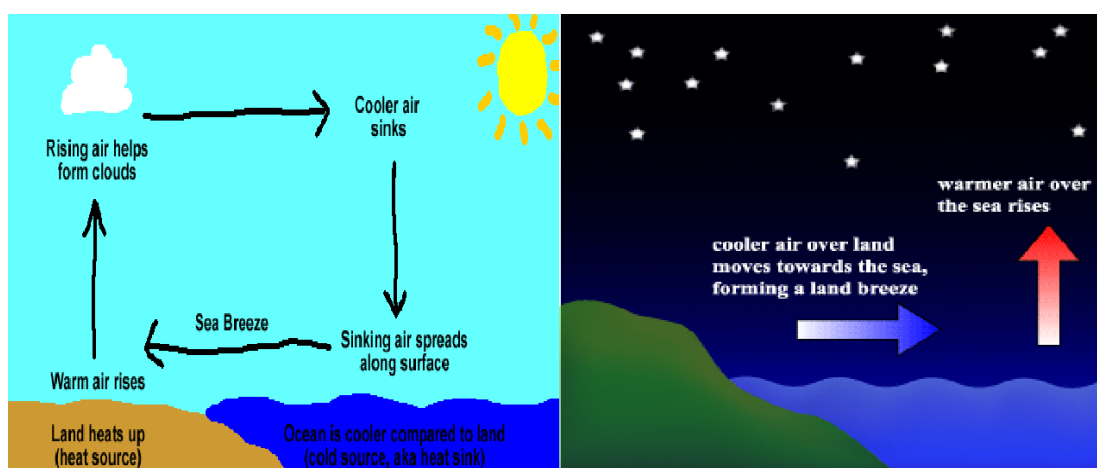
Δύναμη βαροβαθμίδας καλείται η δύναμη η οποία ασκείται σε μια αέρια μάζα εξαιτίας των διαφορετικών πιέσεων που υπάρχουν σ' αυτήν. Η δύναμη αυτή ωθεί την αέρια μάζα από τις ψηλές πιέσεις προς τις χαμηλές. Ένα απλό παράδειγμα το οποίο περιγράφει τη διαδικασία δημιουργίας ανέμου σε αστικό περιβάλλον, είναι το ακόλουθο: Ας πάμε στο χώρο στάθμευσης ενός σούπερ μάρκετ την ημέρα, ένα καυτό καλοκαίρι. Ο ήλιος θερμαίνει την άσφαλο και τα σταθμευμένα αυτοκίνητα. Ακολούθως, η καυτή επιφάνεια και τα οχήματα μεταδίδουν θερμότητα στον αέρα που βρίσκεται ακριβώς πάνω από αυτά. Ο ζεστός αέρας κοντά στην επιφάνεια του χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων είναι πλέον λιγότερο πυκνός. Ως εκ τούτου, είναι και πιο ελαφρύς από τον ελαφρώς ψυχρότερο υπερκείμενο αέρα, με αποτέλεσμα να κινείται ανοδικά. Όμως, ο αέρας που ανυψώνεται αφήνει ένα "κενό" το οποίο πρέπει να καλυφθεί. Συμπτωματικά, υπάρχει μια κοντινή παιδική χαρά όπου το τοπικό συμβούλιο έχει δαπανήσει ένα σημαντικό ποσό χρημάτων για να φυτέψει γρασίδι και πολλά φυλλώδη δέντρα. Ο αέρας εκεί είναι πολύ πιο δροσερός σε σχέση με το χώρο στάθμευσης των αυτοκινήτων, με αποτέλεσμα να κινείται πλαγίως ώστε να συμπληρώσει το κενό αέρος που προκλήθηκε πάνω από το χώρο στάθμευσης αυτοκινήτων. Με τη μετακίνηση όμως του αέρα προς το χώρο στάθμευσης αυτοκινήτων δημιουργείται ένα έλλειμμα αέρα, αυτή τη φορά πάνω από την παιδική χαρά. Το κενό αυτό έρχεται να καλύψει η αέρια μάζα που κινήθηκε προγενέστερα στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, και η οποία έχοντας ήδη ψυχθεί, επιστρέφει σε ένα καθοδικό ρεύμα ώστε να ανανεώσει τον αέρα στην παιδική χαρά. Με άλλα λόγια, ο θερμός αέρας ανεβαίνει μέσω ενός ανοδικού ρεύματος μέχρι μια οριακή θέση και κατόπιν, έχοντας μειωθεί η θερμοκρασία του, κινείται καθοδικά. Μόλις φθάσει στην επιφάνεια του εδάφους, ρέει επιφανειακά προς τον χώρο αφετηρίας των ανοδικών ρευμάτων. Αυτές οι μετακινήσεις αέριων μαζών χαρακτηρίζονται ως άνεμος, ενώ ο παραπάνω βρόχος αποτελεί ένα φυσικό φαινόμενο, γνωστό ως η κυκλοφορία του αέρα. Παρακάτω περιγράφονται οι κυριότεροι ημερήσιοι άνεμοι οι οποίοι προκαλούνται λόγω της διαφοράς πυκνότητας μεταξύ των αέριων μαζών.

2.2.1.1. Η θαλάσσια αύρα (sea breeze)

Η αύρα της θάλασσας είναι άλλο ένα παράδειγμα αυτής της διαδικασίας. Ως θαλάσσια αύρα ονομάζουμε τον τοπικής κλίμακας άνεμο που έχει κατεύθυνση από τη θάλασσα προς την ξηρά. Παρατηρείται κατά τις θερμές κυρίως ώρες της ημέρας και μπορεί να φτάσει ακόμα και τα 5 Μποφόρ. Κυρίως, το ρεύμα αυτό δημιουργείται όταν υπάρχει ηλιοφάνεια και δεν πνέουν ισχυροί άνεμοι σε μία παράκτια περιοχή. Ο αέρας πάνω από την ξηρά ζεσταίνεται πιο πολύ από τον αέρα πάνω από τη θάλασσα, λόγω διαφορετικής θερμοχωρητικότητας. Έτσι ο αέρας πάνω από τη ξηρά καθώς ζεσταίνεται, αφού βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος, γίνεται ελαφρύτερος και αρχίζει να ανεβαίνει προς τα πάνω. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργείται στην επιφάνεια ένα το οποίο έρχεται να καλύψει αέρας, ο οποίος προέρχεται από τη θάλασσα. Όσο πιο έντονες είναι οι ανοδικές κινήσεις του αέρα πάνω από την ξηρά τόσο πιο μεγάλης έντασης είναι η θαλάσσια αύρα.

2.2.1.2. Η απόγεια αύρα (land breeze)

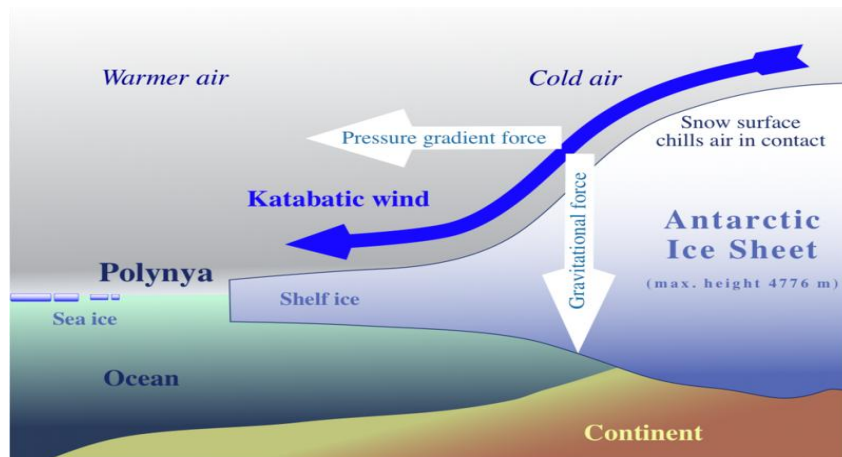
Κατά τη διάρκεια της νύχτας η ξηρά ψύχεται γρηγορότερα από τη θάλασσα με αποτέλεσμα η πίεση πάνω από την ξηρά να είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι πάνω από τη θάλασσα, δημιουργώντας έτσι μια ροή αέρα από την ξηρά προς τη θάλασσα. Ο άνεμος αυτός λέγεται απόγεια αύρα και πνέει περίπου μέχρι την ανατολή του ηλίου. Η ένταση και το ύψος της απόγειας αύρας είναι πολύ μικρότερα από την ένταση και το ύψος της θαλάσσιας αύρας. Αυτό συμβαίνει γιατί η θερμοκρασιακή διαφορά ξηράς-θάλασσας είναι μεγαλύτερη την ημέρα παρά τη νύχτα.



Εικόνα 2.1. Το φαινόμενο της θαλάσσιας αύρας.
[Πηγή: <http://www.studyblue.com>]

2.2.1.3. Ο καταβατικός άνεμος (αύρα όρους)

Ο λεγόμενος καταβατικός άνεμος ή καταβάτης, ανήκει στη κατηγορία των περιοδικών ανέμων. Ο καταβάτης άνεμος είναι εκείνος που πνέει προς τα κάτω από κορυφές βουνών ή υψηλές ακτές. Αντίθετος άνεμος είναι ο αναβατικός άνεμος. Η δημιουργία του οφείλεται στη διαφορά πυκνότητας του αέρα που βρίσκεται στις πλαγιές των βουνών ή τις ακτές, με εκείνο των παρακείμενων περιοχών. Η διαφορά αυτή μπορεί να οφείλεται στη ψύξη λόγω νυκτερινής ακτινοβολίας ή και σε άλλα αίτια όπως για παράδειγμα στο χιονοσκεπές των κορυφών ή των ακτών. Σε πολλές περιπτώσεις, ο καταβατικός άνεμος λαμβάνει μεγάλη ένταση η οποία και μπορεί να δημιουργήσει σοβαρή θαλασσοταραχή κοντά σε ακτές, καταστρώνοντας τον επικίνδυνο για μικρά σκάφη αναψυχής, λέμβους και εκπαιδευτικά ιστιοπλοϊκά. Οι πιο επικίνδυνοι καταβατικοί άνεμοι που παρατηρούνται στον Ελληνικό χώρο είναι στο Ακρωτήριο του Άθω και στο Ακρωτήριο Μαλέας. Μικρότερης έντασης είναι οι καταβατικοί άνεμοι που παρατηρούνται σε μυχούς κόλπων όπως στο Σαρωνικό, το Θερμαϊκό, τον Παγασητικό και το Λακωνικό κόλπο. Να επισημάνουμε τέλος, πως από τέτοιο άνεμο πιθανολογείται και η καταστροφή του περσικού στόλου στο Άθω, το 493 π.Χ.



Εικόνα 2.2. Σχεδιάγραμμα καταβατικού ανέμου
[Πηγή: Wikipedia, 2013]

2.2.1.4. Ο αναβατικός άνεμος (αύρα κοιλάδας)

Το φαινόμενο αυτό προκαλείται από τη θέρμανση του αέρα πάνω από το έδαφος που αποτελεί την πλαγιά. Την ημέρα, το έδαφος θερμαίνει τον αέρα πάνω απ' αυτό, ο οποίος όντας παγιδευμένος από τον υπερκείμενο βαρύτερο αέρα, ανεβαίνει κατά μήκος της πλαγιάς. Αυτό το φαινόμενο που οφείλεται στην εγκάρσια προς την πλαγιά διαφορά πυκνότητας του αέρα είναι ο αναβατικός άνεμος (anabatic wind), ο οποίος ανήκει στην κατηγορία των περιοδικών ανέμων. Ο αναβατικός άνεμος δεν αποτελεί απειλή για τους ναυτικούς.

2.2.2. Η δύναμη Coriolis

Η περιστροφή της γης είναι από τους ισχυρότερους παράγοντες που επηρεάζουν την διεύθυνση του αέρα. Ο Gaspard Coriolis (1792-1843), ένας Γάλλος μαθηματικός, περιέγραψε μια δύναμη που δρα λόγω της περιστροφής της γης και η οποία μετέπειτα ονομάστηκε, προς τιμήν του, δύναμη Coriolis ή αλλιώς εκτρεπτική. Η δύναμη Coriolis (Coriolis force) είναι φαινόμενη δύναμη η οποία εμφανίζεται σε μη αδρανειακά συστήματα αναφοράς.

Ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα σε ένα σύστημα αναφοράς του οποίου οι άξονες περιστρέφονται με γωνιακή ταχύτητα $\vec{\omega}$ γράφεται (για σταθερή μάζα) ως: [1]

$$m \left(\frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} \right)_R = m \left(\frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} \right)_I - 2m \vec{\omega} \times \frac{d\vec{r}}{dt} - m \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$$

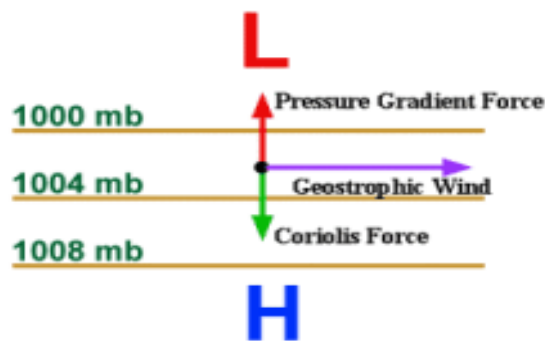
Ο δείκτης 'I' υποδηλώνει το αδρανειακό σύστημα αναφοράς (άρα $m \left(\frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} \right)_I$ είναι η πραγματική δύναμη η οποία δέχεται το σώμα) και ο δείκτης 'R' υποδηλώνει το περιστρεφόμενο σύστημα αναφοράς. Ως εκ τούτου, η επιτάχυνση του σώματος στο περιστρεφόμενο σύστημα αναφοράς είναι αποτέλεσμα της συνισταμένης της πραγματικής δύναμης που του ασκείται και δύο επιπλέον "φανταστικών" δυνάμεων, οι οποίες δεν έχουν κάποιο φυσικό αίτιο και δεν εμφανίζονται στο

αδρανειακό σύστημα αναφοράς. Ο όρος $-2m\vec{\omega} \times \frac{d\vec{r}}{dt}$ αποτελεί τη δύναμη Coriolis, η οποία είναι πάντα κάθετη στην ταχύτητα του σώματος.

Η δύναμη Coriolis ασκείται σε κάθε σώμα που κινείται πάνω στη γη. Η δύναμη αυτή είναι ανάλογη της γωνιακής ταχύτητας της γης, της ταχύτητας του σώματος (δηλαδή, της αέριας μάζας, στην περίπτωση του ανέμου) και επίσης είναι ανάλογη του ημιτόνου του γεωγραφικού πλάτους του τόπου στον οποίο λαμβάνει χώρα η κίνηση. Είναι δηλαδή πιο μεγάλη στους πόλους (γεωγραφικό πλάτος 90°) και μηδέν στον ισημερινό, όπου το γεωγραφικό πλάτος είναι μηδέν. Στο Βόρειο Ημισφαίριο, εξαιτίας της δύναμης αυτής, τα σώματα αποκλίνουν δεξιά από την κίνησή τους, ενώ στο Νότιο Ημισφαίριο αποκλίνουν αριστερά.

2.2.3. Η δύναμη τριβής

Σύμφωνα με τα παραπάνω ο γεωστροφικός άνεμος θα έπρεπε να έχει διεύθυνση παράλληλη προς τις ισοβαρείς, καθώς η δύναμη Coriolis και η δύναμη λόγω της διαφοράς πίεσης φθάνουν σε ένα σημείο ισορροπίας.

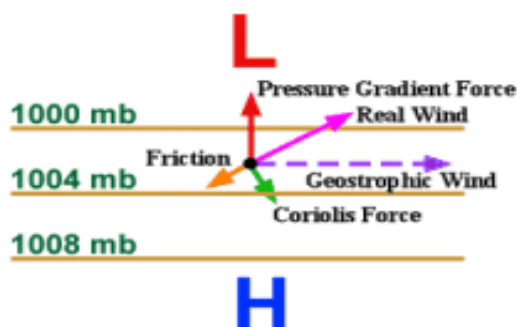


Εικόνα 2.3. Η θεωρητική διεύθυνση του ανέμου σε περίπτωση που δεν ασκείται πάνω του η δύναμη της τριβής.

[Πηγή: <http://ww2010.atmos.uiuc.edu>]

Ωστόσο, ο πραγματικός άνεμος δεν είναι πάντα γεωστροφικός, ειδικά κοντά στην επιφάνεια. Η επιφάνεια της Γης ασκεί δυνάμεις τριβής στην αέρια μάζα που κινείται πάνω στην επιφάνειά της, αλλάζοντας την διεύθυνση του ανέμου και μειώνοντας την ταχύτητά του. Ειδικότερα, στα κατώτερα τμήματα της Τροπόςφαιρας όπου ο άνεμος δεν είναι γεωστροφικός, η επιβράδυνση του ανέμου οδηγεί σε μείωση της δύναμης Coriolis ενώ η δύναμη λόγω της κλίσης της πίεσης γίνεται όλο και σημαντικότερη. Ως συνέπεια αυτού, ο άνεμος εκτρέπεται ελαφρά προς την διεύθυνση της χαμηλότερης πίεσης. Το μέγεθος της εκτροπής του ανέμου εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους. Για παράδειγμα, η επιφάνεια των ωκεανών όντας αρκετά ομαλή, εμφανίζει σχετικά μικρή αντίσταση τριβής και κατά συνέπεια δεν μεταβάλλει σημαντικά τη διεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου. Αντίθετα, οι λόφοι και τα δάση ασκούν σημαντική επίδραση χαρακτηριστικά του ανέμου. Καθώς κινούμαστε υψηλότερα, η τραχύτητα της επιφάνειας επηρεάζει τον άνεμο όλο και λιγότερο, μέχρι ένα οριακό υψόμετρο όπου οι άνεμοι γίνονται πράγματι Γεωστροφικοί. Το υψόμετρο αυτό ποικίλει ανάλογα με τον τύπο του εδάφους, τον άνεμο και το κατακόρυφο προφίλ της θερμοκρασίας. Η ώρα της

ημέρας και η εποχή του έτους μπορεί επίσης να επηρεάσουν το ύψος του οριακού αυτού στρώματος. Ωστόσο, συνήθως το οριακό στρώμα περιορίζεται σε περίπου 1-2km πάνω από την επιφάνεια.



Εικόνα 2.4. Η πραγματική διεύθυνση ανέμου υπό την επίδραση της δυνάμεως λόγω διαφοράς πιέσεως ανάμεσα στις ισοβαρείς, της δύναμης τριβής και της ‘φανταστικής’ δύναμης Coriolis.
[Πηγή: <http://www.meted.ucar.edu>]

2.2.4. Η κυκλοστροφική Δύναμη (φυγόκεντρος-κεντρομόλος)

Τα μόρια του αέρα επειδή ακολουθούν την περιστροφική κίνηση της Γης, συμμετέχουν σε μια κυκλική κίνηση. Όμως, κάθε σώμα το οποίο κινείται σε κυκλική τροχιά δέχεται μια φαινόμενη δύναμη η οποία μοιάζει να το “σπρώχνει” ώστε να φύγει έξω από την κυκλική του τροχιά. Επομένως στα μόρια του ανέμου επενεργεί μια δύναμη η οποία ονομάζεται φυγόκεντρος και είναι ανάλογη της κεντρομόλου επιτάχυνσης και της ακτίνας καμπυλότητας της τροχιάς. Γενικά, πάντως, η φυγόκεντρος δύναμη είναι στην ουσία το αποτέλεσμα της αδράνειας στην κίνηση των σωμάτων και όχι δύναμη.

Σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση της φυγόκεντρος δύναμης παίζει η κεντρομόλος δύναμη. Η κεντρομόλος είναι πραγματική δύναμη η οποία ασκείται στο σώμα αναγκάζοντάς το να κινείται σε κυκλική τροχιά. Έχει κατεύθυνση προς το κέντρο του κύκλου τον οποίο διαγράφει η τροχιά, σε αντίθεση με την φυγόκεντρο που εμφανίζεται να έχει την αντίθετη κατεύθυνση, από το κέντρο της κυκλικής τροχιάς προς τα έξω. Η κεντρομόλος δύναμη προέρχεται από τη βαρυτική έλξη της Γης και είναι σε μέτρο ίση ακριβώς με την φυγόκεντρο δύναμη.

2.2.5. Η δύναμη βαρύτητας

Στη φυσική, βαρύτητα ονομάζεται η ιδιότητα των υλικών σωμάτων να έλκουν άλλα υλικά σώματα. Τα ελκόμενα σώματα κινούνται με επιταχυνόμενη κίνηση προς το έλκον σώμα, μέσω αμοιβαίων έλξεων. Η δύναμη έλξης, που ονομάζεται βάρος, είναι μεγαλύτερη όταν τα σώματα είναι πλησιέστερα ή όταν έχουν μεγαλύτερη μάζα. Κατ’ αυτό τον τρόπο η Γη έλκει τα υλικά σώματα, επομένως και τις αέριες μάζες, και προκαλεί την καθοδική τους πορεία προς την επιφάνειά της, όταν αυτά αφεθούν ελεύθερα. Η βαρύτητα είναι επίσης υπεύθυνη για την τροχιά της Γης και των υπόλοιπων πλανητών γύρω από τον ήλιο, την τροχιά της σελήνης γύρω από τη Γη, τον σχηματισμό παλιρροιών και άλλα φυσικά φαινόμενα που παρατηρούμε.

2.3. Βασικά χαρακτηριστικά του ανέμου

Ο άνεμος προσδιορίζεται από δύο στοιχεία, τη διεύθυνση (direction) και την ένταση (speed), δηλαδή την ταχύτητα με την οποία κινείται η αέρια μάζα. Η διεύθυνση του ανέμου μετράται με όργανα που λέγονται ανεμοδείκτες, ενώ η έντασή του προσδιορίζεται με βάση τις ανεμομετρικές κλίμακες. Η μέση ταχύτητα, μετράται με όργανα που λέγονται ανεμόμετρα ή ανεμογράφοι.

2.3.1. Διεύθυνση ανέμου

Η διεύθυνση του ανέμου χαρακτηρίζεται από το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει (έρχεται) ο άνεμος και όχι από εκείνο στο οποίο κατευθύνεται. Για παράδειγμα, ένα βόρειος άνεμος φυσάει από το βορρά προς το νότο. Εκφράζεται δε είτε σε μοίρες (αρχής γενομένης από τον γήινο μαγνητικό Βορρά και με ωρολογιακή φορά μέτρησης), είτε με σύμβολα ανεμολογίου, είτε ονομαστικά. Για παράδειγμα, η διεύθυνση ενός ανέμου που έρχεται από το νότο είναι 180 μοίρες ενώ από τα ανατολικά 90 μοίρες. Υπάρχει μια ποικιλία μέσων που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της διεύθυνσης του ανέμου, όπως το ανεμούριο και ο ανεμοδείκτης. Και τα δύο αυτά όργανα λειτουργούν με ένα μηχανισμό που μετακινείται ώστε να ελαχιστοποιεί την αντίσταση του αέρα. Η διεύθυνση που ένας ανεμοδείκτης δείχνει, είναι η διεύθυνση από την οποία ο άνεμος φυσάει. Το μεγαλύτερο άνοιγμα του ανεμούριου στρέφεται προς τη διεύθυνση απ' όπου προέρχεται ο άνεμος ενώ η ουρά του, με το μικρότερο άνοιγμα, προς την διεύθυνση στην οποία κατευθύνεται.

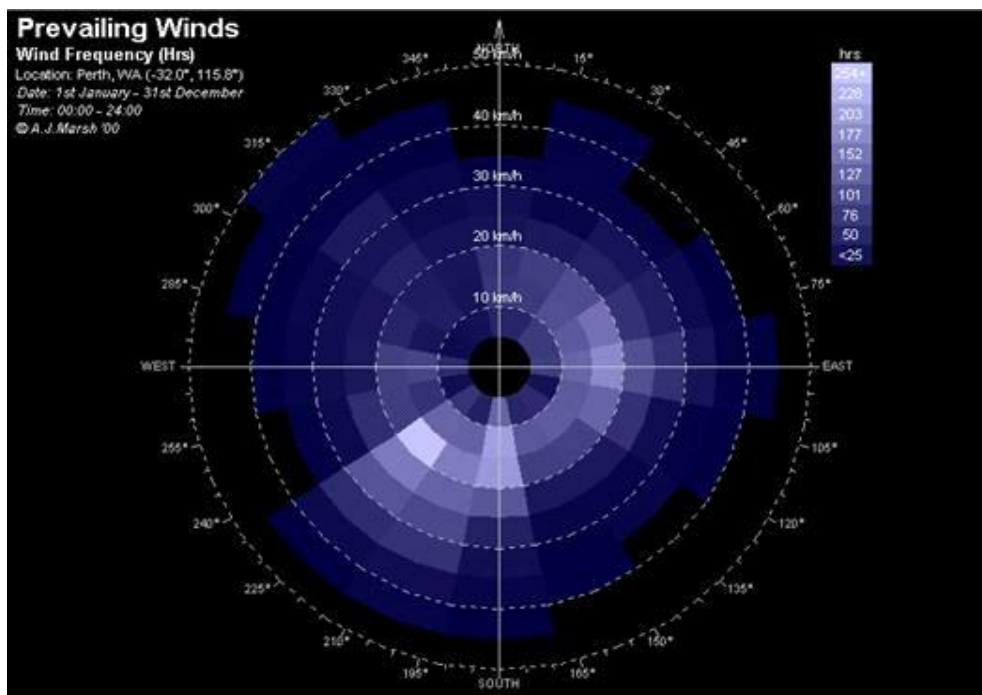
<u>Συντομογραφία</u>	<u>Διεύθυνση Ανέμου</u>	<u>Μοίρες</u>
N	Βόρειος (Τραμουντάνα)	0°
NNE	Βόρειο-Βόρειο-Ανατολικός	22.5°
NE	Βόρειο-Ανατολικός (Γρέγος)	45°
ENE	Ανατολικός-Βόρειο-Ανατολικός	67.5°
E	Ανατολικός (Λεβάντες)	90°
ESE	Ανατολικός-Νότιο-Ανατολικός	112.5°
SE	Νότιο-Ανατολικός (Σορόκος)	135°
SSE	Νότιο-Νότιο-Ανατολικός	157.5°
S	Νότιος (Όστρια)	180°
SSW	Νότιο-Νότιο-Δυτικός	202.5°
SW	Νότιο-Δυτικός (Γαρμπής)	225°
WSW	Δυτικός-Νότιο-Δυτικός	247.5°
W	Δυτικός (Πουνέντες)	270°
WNW	Δυτικός-Βόρειο-Δυτικός	292.5°
NW	Βόρειο-Δυτικός (Μαΐστρος)	315°
NNW	Βόρειο-Βόρειο-Δυτικός	337.5°

Εικόνα 2.5. Οι 16 κύριες διευθύνσεις του ανέμου

2.3.1.1. Ανεμολογία συχνότητας

Μία σημαντική πληροφορία η οποία συμπληρώνει τα ανεμολογικά δεδομένα της υπό μελέτη περιοχής είναι η συχνότητα εμφάνισης της κάθε διεύθυνσης του ανέμου. Η συχνότητα αυτή σε συνδυασμό με τα κύρια χαρακτηριστικά του ανέμου, δηλαδή την ένταση και τη διεύθυνσή του, αποτυπώνονται με κατάλληλη κλίμακα σε ανεμολογία τα οποία προσδιορίζουν τους πνέοντες ανέμους της εκάστοτε περιοχής. Η απεικόνιση μπορεί να αφορά είτε στιγμιαίες καταγραφές των στοιχείων είτε καταγραφές μιας ορισμένης χρονικής περιόδου. Βάσει των στιγμιαίων καταγραφών, συντάσσονται στιγμιαία μετεωρολογικά διαγράμματα και χάρτες. Η σαφέστερη εικόνα όμως των ανεμολογικών δεδομένων μιας περιοχής, προκύπτει από την αποτύπωση των μέσων τιμών των στοιχείων για μια ικανοποιητικά μεγάλη χρονική περίοδο. Αν η αποτύπωση αφορά την καταγραφή των διευθύνσεων του ανέμου και των αντίστοιχων συχνοτήτων τους, τότε η απεικόνιση που προκύπτει λέγεται ανεμολογίο συχνότητας (ροδόγραμμα) και το αντίστοιχο διάγραμμα, διάγραμμα επικρατούντων ανέμων της περιοχής. Το μήκος του κάθε "ρόδου" γύρω από τον κύκλο σχετίζεται με τη συχνότητα που φυσάει ο άνεμος από μια συγκεκριμένη κατεύθυνση ανά μονάδα χρόνου. Κάθε ομόκεντρος κύκλος αντιπροσωπεύει μια διαφορετική συχνότητα, ξεκινώντας από τη μηδενική στο κέντρο και καθώς η ακτίνα των κύκλων αυξάνεται, αυξάνεται και η συχνότητα. Το πολικό διάγραμμα ανέμου συνήθως χρησιμοποιεί 16 βασικές κατευθύνσεις, όπως η βόρεια (N), ΒΒΑ, ΒΑ, κ.λπ. Μπορεί να υποδιαιρεθεί μέχρι 32 κατευθύνσεις. Όσον αφορά την μέτρηση γωνίας σε μοίρες, στα Βόρεια αντιστοιχεί σε 0° / 360°, η Ανατολή έως 90°, τα Νότια έως 180° και η Δύση έως 270°.

Οι διευθύνσεις που εμφανίζουν, στην περιοχή που μελετάμε, την μεγαλύτερη συχνότητα ονομάζονται επικρατούσες διευθύνσεις του ανέμου. Η επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου αλλάζει συχνά με την εποχή.



Εικόνα 2.6. Παράδειγμα ανεμολογίου συχνότητας (wind frequency rose)

2.3.2. Ένταση του ανέμου

Η ένταση του ανέμου εκφράζεται είτε με την πίεση την οποία ασκεί στην επιφάνεια των διαφόρων σωμάτων στα οποία προσκρούει, είτε με την ταχύτητα με την οποία αυτός κινείται. Στην Μετεωρολογία η ένταση του ανέμου εκφράζεται συνήθως με την ταχύτητά του, οπότε δίδεται σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο ή σε χιλιόμετρα (ή μίλια) ανά ώρα ή σε κόμβους. Η ανεμομετρική κλίμακα Μποφόρ είναι ένας εμπειρικός τρόπος μέτρησης της έντασης των ανέμων, που βασίζεται στην παρατήρηση των αποτελεσμάτων του ανέμου στη στεριά ή τη θάλασσα.

2.3.2.1. Η κλίμακα Beaufort

Η κλίμακα Beaufort, επινοήθηκε το 1805 από τον διοικητή (και αργότερα Ναύαρχο και Γενικό Διοικητή του Bath) Francis Beaufort του Βρετανικού Ναυτικού για την παρατήρηση και ταξινόμηση της εντάσεως του ανέμου στη θάλασσα. Η κλίμακα Beaufort όπως σχεδιάστηκε αρχικά δεν περιελάμβανε καμία αναφορά στην ταχύτητα του ανέμου, και μόλις το 20^ο αιώνα έγιναν οι πρώτες προσπάθειες για να συσχετιστούν τα δύο μεγέθη. Η προσπάθεια που έγινε το 1912 από τη Διεθνή Επιτροπή 'Weather Telegraphers' διακόπηκε από τον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο. Το 1921 ο GC Simpson κλήθηκε να διατυπώσει ισοδύναμες ταχύτητες ανέμου για την κλίμακα Beaufort, οι οποίες έγιναν δεκτές το 1926 από την επιτροπή. Τον Ιούνιο του 1939 η Διεθνής Μετεωρολογική Επιτροπή υιοθέτησε έναν πίνακα τιμών που αναφέρονται σε ένα ανεμόμετρο σε ύψος 6 μέτρα (20 πόδια). Αυτός όμως δεν υιοθετήθηκε αμέσως από τις επίσημες μετεωρολογικές υπηρεσίες των Ηνωμένων Πολιτειών και της Μεγάλης Βρετανίας, καθώς αυτές χρησιμοποιούσαν μια προγενέστερη κλίμακα η οποία αναφερόταν σε ένα ανεμόμετρο σε υψόμετρο 11 μέτρων (36 πόδια). Η κλίμακα Beaufort επεκτάθηκε το 1946, όταν οι εντάσεις 13 έως 17 προστέθηκαν. Εντούτοις, οι δυνάμεις 13 έως 17 είχαν ως στόχο να εφαρμόζονται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, όπως τροπικούς κυκλώνες. Σήμερα, η εκτεταμένη κλίμακα χρησιμοποιείται μόνο στην Ταϊβάν και την ηπειρωτική Κίνα, οι οποίες συχνά πλήττονται από τυφώνες. Διεθνώς, στο 'WMO Manual on Marine Meteorological Services' ορίζεται η κλίμακα Beaufort μόνο μέχρι την ένταση 12 και δεν υπάρχει σύσταση για τη χρήση της εκτεταμένης κλίμακας.

Σύμφωνα με την Αγγλική Μετεωρολογική Υπηρεσία, όταν ο άνεμος κυμαίνεται από 0 μέχρι 12 βαθμούς της κλίμακας Beaufort, η μέση ταχύτητά του για την αντίστοιχη βαθμίδα της κλίμακας Μποφόρ βασίζεται στην εμπειρική σχέση:

$$v = 0,836 B^{3/2} \text{ m / s [2]}$$

Όπου,

v: η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 10 μέτρων πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας (m/s)

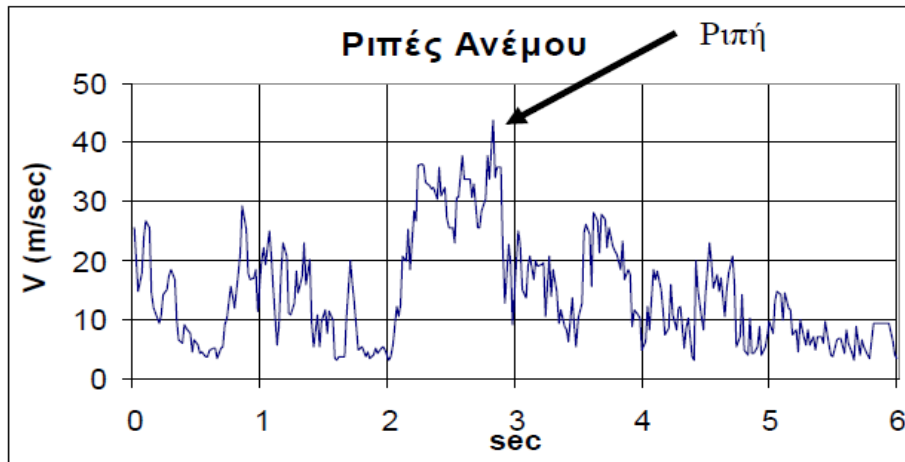
B: η βαθμίδα της κλίμακας Beaufort.

Βαθμίδες κλίμακας	Χαρακτηρισμός Ανέμου	Ταχύτητα σε κόμβους	Μέση ταχύτητα σε κόμβους	Ταχύτητα σε m/sec	Ταχύτητα σε Km/h	Εμφάνιση της θάλασσας στο ανοικτό πέλαγος	Πιθανό ύψος κύματος στο ανοικτό πέλαγος σε m (Μέγιστο)
0	Άπνοια	00	00	0 - 0,2	01	Θάλασσα σαν καθρέπτης.	
1	Σχεδόν άπνοια	01 - 03	02	0,3 - 1,5	01 - 05	Σχηματίζονται ρυτίδες που έχουν τη μορφή λεπιών χωρίς κορυφές με αφρό.	0,1 (0,1)
2	Πολύ ασθενής	04 - 06	05	1,6 - 3,3	06 - 11	Μικρά κυματίδια χαμηλά αλλά αρκετά σχηματισμένα. Οι κορυφές τους είναι λείες και δεν σπάζουν.	0,2 (0,3)
3	Ασθενής	07 - 10	09	3,4 - 5,4	12 - 19	Μεγάλα κυματίδια. Οι κορυφές τους αρχίζουν να σπάζουν. Πιθανός λευκός αφρός αραιά.	0,6 (1)
4	Σχεδόν μέτριος	11 - 16	13	5,5 - 7,9	20 - 28	Μικρά κύματα που γίνονται μακρύτερα. Μάλλον συχνό αφρό με όψη λευκών προβάτων.	1 (1,5)
5	Μέτριος	17 - 21	19	8,0 - 10,7	29 - 38	Μέτρια κύματα με σαφή επιμήκη μορφή. Όψη πολυαριθμών λευκών προβάτων. Ενδεχομένως δημιουργία πτύλου (spray).	2 (2,5)
6	Ισχυρός	22 - 27	24	10,8 - 13,8	39 - 49	Αρχίζουν να σχηματίζονται μεγάλα κύματα. Οι κορυφές με λευκό αφρό εξαπλώνονται παντού. Πιθανοί πτύλοι (spray).	3 (4)
7	Σχεδόν θυελλώδης	28 - 33	30	13,9 - 17,1	50 - 61	Η θάλασσα φουσκώνει και λευκός αφρός από κύματα που σπάζουν αρχίζει να παρασύρεται και να σχηματίζονται ραβδώσεις κατά τη διεύθυνση του ανέμου.	4 (5,5)
8	Θυελλώδης	34 - 40	37	17,2 - 20,7	62 - 74	Μετρίως υψηλά κύματα περισσότερο επιμήκη. Τα άκρα των κορυφών των κυμάτων θραύονται και γίνονται πτύλος. Ο αφρός παρασύρεται και σχηματίζει καλά σχηματισμένες ραβδώσεις κατά τη διεύθυνση του ανέμου.	5,5 (7,5)
9	Πολύ θυελλώδης	41 - 47	44	20,8 - 24,4	75 - 88	Υψηλά κύματα. Πυκνές ραβδώσεις αφρού κατά τη διεύθυνση του ανέμου. Οι κορυφές των κυμάτων αρχίζουν να γέρνουν, να πέφτουν και να κυλιούνται. Ο πτύλος μπορεί να επηρεάζει την ορατότητα.	7 (10)
10	Θύελλα	48 - 55	52	24,5 - 28,4	89 - 102	Πολύ υψηλά κύματα με μακρές λοφώδεις ράχες. Ο αφρός που είναι περισσότερος παρασύρεται σε πυκνές λευκές ραβδώσεις κατά τη διεύθυνση του ανέμου. Η επιφάνεια της θάλασσας στο σύνολό της γίνεται λευκή. Το σπάσιμο και κύλισμα των κορυφών των κυμάτων γίνεται έντονο και βίαιο. Η ορατότητα επηρεάζεται.	9 (12,5)
11	Ισχυρή θύελλα	56 - 63	60	28,5 - 32,6	103 - 117	Εξαιρετικά υψηλά κύματα. Η θέα πλοίων μικρής και μεσαίας χωρητικότητας ίσως για λίγη ώρα να χάνεται πίσω από τα κύματα. Η θάλασσα καλύπτεται τελείως από λευκούς αφρούς που επιμηκύνονται κατά τη διεύθυνση του ανέμου. Παντού τα άκρα των κορυφών των κυμάτων βρίσκονται σε αφρώδη κατάσταση. Η ορατότητα επηρεάζεται.	11,5 (16)
12	Τυφώνας	64 και περισσότερο		32,7 και περισσότερο	118 και περισσότερο	Ο αέρας είναι γεμάτος με αφρό και πτύλο. Η θάλασσα είναι εντελώς λευκή. Η ορατότητα επηρεάζεται σημαντικά.	14 (-)

Εικόνα 2.7. Η κλίμακα Beaufort και η αντίστοιχη ταχύτητα ανέμου όπως ορίστηκε για κάθε βαθμίδα.
[Πηγή: <http://www.unc.edu/>]

2.3.2.2. Ριπές του ανέμου

Η ριπή του ανέμου ορίζεται ως η ξαφνική και μικρής διάρκειας (~20sec) αύξηση της ταχύτητας του ανέμου. Η ταχύτητα του ανέμου μετά το πέρας της ριπής επανέρχεται στα προηγούμενα επίπεδα. Ισχύει ο εμπειρικός κανόνας: Η ριπή συνήθως ξεπερνά τα 9 m/sec και διαφέρει από τα συνήθη επίπεδα περίπου κατά 4-5 m/sec. Καθορίζει την κόπωση της πτερωτής της ανεμογεννήτριας, ενώ αν οι ριπές διαρκέσουν περισσότερο από 30sec θα πρέπει να υπάρχει πρόβλεψη η αιολική μηχανή να τεθεί εκτός λειτουργίας.



Εικόνα 2.8. Ριπή του ανέμου

2.4. Τύρβη ανέμου

Στη μηχανική των ρευστών, τυρβώδης στροβιλώδης ροή ονομάζεται το συγκεκριμένο είδος ροής των ρευστών που χαρακτηρίζεται από χαώδεις ή τυχαίες μεταβολές του πεδίου ροής αυτών. Δηλαδή οι μεταβλητές του πεδίου ροής ενός ρευστού, πίεση και ταχύτητα, μεταβάλλονται απότομα και τυχαία για κάθε σημείο του χώρου που καταλαμβάνει το πεδίο ροής αλλά και κατά τη χρονική εξέλιξη του φαινομένου. Μια διακοπή ή παρακώλυση της ροής της υγρής ή αέριας μάζας μπορεί να συμβάλλει στο σχηματισμό της τυρβώδους ροής. Οι μηχανισμοί δημιουργίας της τύρβης συνδέονται με την τριβή που προκαλείται σε σχέση με την επιφάνεια της γης και με θερμικά φαινόμενα που διαμορφώνουν κάθετες μετακινήσεις αέριων μαζών. Η ένταση της τύρβης εξαρτάται από την τραχύτητα της επιφάνειας του εδάφους και από το υψόμετρο. Προφανώς, τοπικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά διαμορφώνουν την εξέλιξη του φαινομένου μέσα στο χρόνο. Εμπόδια, όπως δέντρα, πυκνοί θάμνοι, κτίρια και ψηλοί φράκτες, επηρεάζουν την ένταση της τύρβης και πρέπει να εξετάζονται λεπτομερώς κατά την επιλογή τοποθεσίας για την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας. Θεωρητικά μοντέλα τύρβης στην ατμόσφαιρα αναπτύχθηκαν στα μέσα του 20ου αιώνα, ιδίως από τον Tatarski, βασισμένα σε κάποιες προηγούμενες μελέτες της τυρβώδους ροής του Kolmogorov. Ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει μαθηματικά την τύρβη λέγεται ένταση ή διασπορά τύρβης κι εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους,

ενώ παίρνει τιμές 5-20%. Για το σχεδιασμό των ανεμογεννητριών οι συνήθεις τιμές που λαμβάνονται είναι 16-18%. Η ένταση της τύρβης δίνεται από τον τύπο:

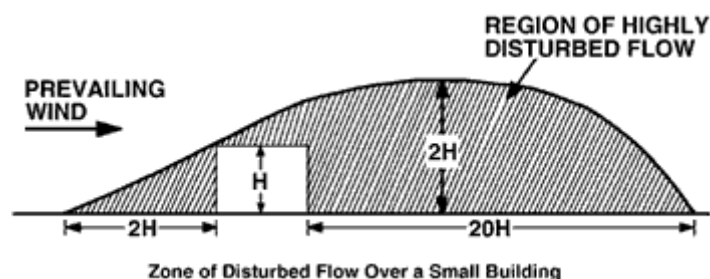
$I = \frac{1}{\ln \frac{z}{z_0}}$	Για $z_0 \leq 0.20 \text{ m}$
$I = \frac{-0.14 \ln z_0 + 0.78}{\ln \frac{z}{z_0}}$	Για $z_0 > 0.20 \text{ m}$

Όπου, z_0 : το αεροδυναμικό μήκος τραχύτητας της επιφάνειας του εδάφους [3]

2.5. Εμπόδια σε αστικό περιβάλλον

2.5.1. Κτίρια

Αεροδυναμικά φαινόμενα που προκαλούνται από την πρόσκρουση του ανέμου σε κτίρια και άλλες μεγάλες κατασκευές θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπ' όψιν κατά την μέτρηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής. Η επίδραση τους είναι σημαντική, όχι μόνο στην περιοχή των ίδιων των δομών, αλλά και σε μεγάλες αποστάσεις κατάντη. Διαδικασίες για την εκτίμηση αυτών των αεροδυναμικών φαινομένων έχουν αναπτυχθεί με βάση την παρατήρησή τους σε σήραγγες αέρα. Εναλλακτικά, αισθητήρες ανέμου τοποθετούνται σε δώματα κτιρίων. Το ύψος της περιοχής διατάραξης του ανέμου, κατάντη του εμποδίου, μπορεί να καθοριστεί από επιτόπιες μετρήσεις (π.χ. με την απελευθέρωση καπνού) ή την μελέτη της αεροδυναμικής σε σήραγγες αέρα. Γενικώς, θα πρέπει να αποφεύγεται η εγκατάσταση, ιδιαίτερα μικρών Α/Γ, σε απόσταση μικρότερη των 20 μέτρων από ένα σημαντικό ύψους εμπόδιο. Παράλληλα, συνίσταται το ύψος του χαμηλότερου σημείου της φτερωτής να απέχει από το έδαφος απόσταση ίση με το τριπλάσιο του ύψους του κτιρίου.



Εικόνα 2.9. Διατάραξη της ροής του ανέμου από κτίριο
[Πηγή: <http://www.autonopedia.org/>]

2.5.2. Δέντρα

Εκτός από τους γενικούς κανόνες που προαναφέρθηκαν σχετικά με τα εμπόδια, πρόσθετες παρατηρήσεις είναι σημαντικές αναφορικά με τα χαρακτηριστικά της βλάστησης (π.χ. για το ποσοστό ανάπτυξης των δέντρων). Οι εποχικές επιπτώσεις

θα πρέπει επίσης να εξεταστούν για περιοχές με φυλλοβόλα δέντρα. Για πυκνά, ή συνεχή δάση, όπου δεν υπάρχει ανοιχτή περιοχή για τις μετρήσεις, αυτές θα πρέπει να λαμβάνονται 10m πάνω από το ύψος του επιπέδου των κορυφών των δέντρων.

2.5.3. Η τραχύτητα της επιφάνειας

Η τραχύτητα της επιφάνειας μιας δεδομένης περιοχής αντανακλά τα τεχνητά και φυσικά εμπόδια της εν λόγω επιφάνειας καθώς και τα γενικά χαρακτηριστικά της. Η δεδομένη τραχύτητα μιας περιοχής επηρεάζει τις οριζόντιες και κάθετες συνιστώσες του ανέμου. Τα μεγέθη που εκφράζουν την τραχύτητα του εδάφους είναι το μήκος τραχύτητας z_0 και η κλάση (κατηγορία) τραχύτητας. Το μήκος τραχύτητας μπορεί μεταβάλλεται ανάλογα με τις εποχές, ενώ ορίζεται για επιφάνειες με ομοιόμορφη κατανομή στοιχείων τραχύτητας και επηρεάζεται από την πυκνότητα των εδαφικών χαρακτηριστικών.

Για επίπεδη περιοχή με τα στοιχεία τραχύτητας να καταλαμβάνουν 10-20% της επιφάνειάς της, το z_0 συνδέεται με το μέσο ύψος (h) των στοιχείων τραχύτητας με την σχέση: [4]

$$z_0 = 0.15h$$

- Αν $z_0 \leq 0.03$,
--> κατηγορία τραχύτητας: $\alpha = 1.699823015 + \ln(z_0) / \ln(150)$
- Αν $z_0 > 0.03$,
--> Κατηγορία τραχύτητας: $\alpha = 3.912489289 + \ln(z_0) / \ln(3.3333333)$

Κατηγορία Τραχύτητας	Τύπος εδάφους	z_0 (m)
0	Πηλώδες έδαφος, Πάγος	10^{-5} - 3×10^{-5}
0	Ήρεμη θάλασσα	2×10^{-4} - 3×10^{-4}
0	Αμώδες έδαφος	10^{-4} - 10^{-3}
0	Χιονοκαλυμμένο επίπεδο έδαφος	4.9×10^{-3}
1	Χέρσο έδαφος	10^{-3} - 10^{-2}
1	Χλοερό έδαφος	0.017
1	Επίπεδο ακαλλιέργητο έδαφος	0.021
2	Χαμηλή βλάστηση, Στέππα	0.032
2	Υψηλά χόρτα	0.039
2	Σιτοβολώνες	0.045
2	Καλλιέργειες	0.064
2	Θαμνώδες έδαφος	0.1-0.3
2	Δάση με χαμηλά δέντρα	0.05-0.1
3	Δάση με υψηλά δέντρα	0.2-0.9
3	Προαστιακές περιοχές	1-2
3	Πόλεις	1-4

Εικόνα 2.10. Χαρακτηριστικές τιμές της παραμέτρου τραχύτητας επιφάνειας z_0 συναρτήσεως του τύπου εδάφους.

[Πηγή: <<Αιολική ενέργεια>>, Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης]

- **Κατηγορία τραχύτητας 1:** Ανοικτές περιοχές χωρίς εμπόδια. Το έδαφος είναι επίπεδο ή με πολύ ελαφριές κλίσεις. Μπορεί να υπάρχουν μεμονωμένες αγροικίες και χαμηλοί θάμνοι.
- **Κατηγορία τραχύτητας 2:** Καλλιεργημένη περιοχή με ορισμένα εμπόδια σε απόσταση μεγαλύτερη των 1000m μεταξύ τους και μερικά σπίτια. Το έδαφος είναι επίπεδο ή κυματώδες με δέντρα και σπίτια.
- **Κατηγορία τραχύτητας 3:** Συνδυασμός δάσους και καλλιεργημένης περιοχής με πολλά εμπόδια στα περίχωρα της πόλης. Τα εμπόδια είναι κοντά μεταξύ τους σε αποστάσεις μικρότερες από μερικές εκατοντάδες μέτρα.

2.6. Εκθετικός νόμος κατανομής του ανέμου καθ' ύψος

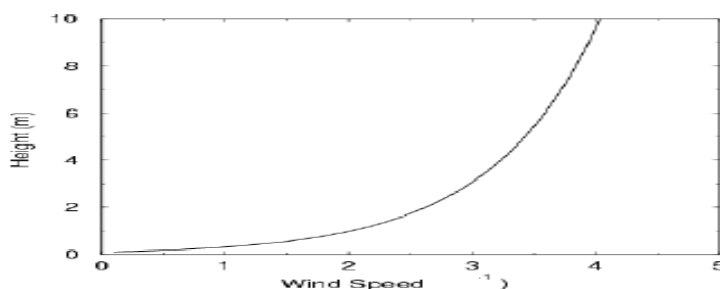
Η κατανομή του ανέμου (wind profile), που μας αφορά στο πλαίσιο της αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας, αναφέρεται στην μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου καθ' ύψος, κατά τις πρώτες λίγες εκατοντάδες μέτρων πάνω από το έδαφος. Η κατανομή του ανέμου επηρεάζει την αιολική ενέργεια που απορροφά η αιολική μηχανή, την κόπωση της αιολικής μηχανής και την αντοχή του πύργου στήριξης.

Η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται όσο απομακρυνόμαστε από το έδαφος λόγω της ταχείας ελάττωσης των τριβών με την επιφάνεια του εδάφους. Η μεταβολή αυτή της ταχύτητας εξαρτάται τόσο από το τοπικό περιβάλλον όσο και από την ευστάθεια της ατμόσφαιρας, και δίδεται από την ακόλουθη σχέση:

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

Η σχέση αυτή εφαρμόζεται σε μεγάλο πλήθος μετρήσεων και όχι σε ατομικές μετρήσεις, ενώ εμφανίζει καλή ακρίβεια σε περιπτώσεις που η διαφορά ύψους είναι περισσότερο από 30-50 m. Η ακρίβεια όμως ελαττώνεται πολύ για μεγάλες διαφορές υψών. Δεν χρειάζονται γνώσεις ευστάθειας της ατμόσφαιρας. Το η δίνεται από την παρακάτω σχέση, όταν το ύψος αναφοράς (z_2) είναι διαφορετικό από τα 10m (z_0 : μήκος τραχύτητας):

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



Εικόνα 2.11. Καμπύλη μεταβολής του ανέμου καθ' ύψος.
[Πηγή: <<Ηπιες μορφές ενέργειας>>, Τ.Ε.Ι. Κρήτης]

2.7. Η κατανομή Weibull

Η ταχύτητα του ανέμου δεν παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Έτσι, προκειμένου να υπολογιστεί η μέση ισχύς που παράγεται από μία ανεμογεννήτρια, σύμφωνα με την καμπύλη ισχύος της, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου. Ο υπολογισμός της πραγματοποιείται μέσω κατάλληλων γενικευμένων εκφράσεων. Μια έκφραση που δίνει μια καλή εκτίμηση για δεδομένα ανέμου είναι η κατανομή Weibull. Η έκφραση της κατανομής Weibull είναι η εξής: [5]

$$p\left(\frac{u}{U}\right) = k\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)\left\{\frac{u}{U}\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)\right\}^{k-1} e^{-\left\{\frac{u}{U}\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)\right\}^k}$$

όπου:

u η τυχαία στιγμιαία ταχύτητα,

U η μέση ταχύτητα του ανέμου,

$p\left(\frac{u}{U}\right)$ η τιμή της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας,

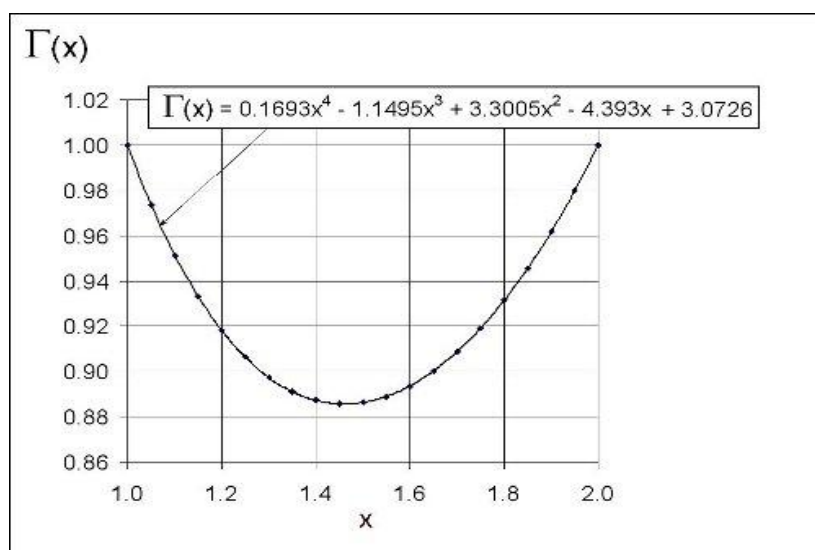
ko παράγοντας από τον οποίο εξαρτάται η μορφή της καμπύλης,

$\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$ η τιμή της συνάρτησης γάμμα $\Gamma(x)$ για $x = \left(1 + \frac{1}{k}\right)$

Ο παράγοντας k υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$k = \left(\frac{0,9874}{\frac{\sigma}{U}}\right)^{1,0983}$$

Αφού υπολογιστεί ο παράγοντας k , είναι δυνατό να υπολογίσουμε την τιμή της συνάρτησης Γάμμα για $\left(1 + \frac{1}{k}\right)$, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην εύρεση της τιμής της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας.



Εικόνα 2.12. Η συνάρτηση Γάμμα προσαρμοσμένη σε πολυωνυμική μορφή.
[Πηγή: The WindPower and UK Wind Speed Database programs]

2.8. Πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα

Η πυκνότητα του αέρα υπεισέρχεται στον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας. Από το νόμο των τελείων αερίων μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η πίεση και η θερμοκρασία είναι οι παράγοντες που καθορίζουν την πυκνότητα ενός αερίου γενικά, και ειδικότερα του ατμοσφαιρικού αέρα. Στην ατμόσφαιρα η πυκνότητα του αέρα μειώνεται με το ύψος, παρά την παράλληλη μείωση της θερμοκρασίας, σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση: [6]

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

Όπου,

ρ : πυκνότητα αέρα (kg/m^3)

T : θερμοκρασία (K)

P : ατμοσφαιρική πίεση (mb)

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα είναι η ύπαρξη υδρατμών. Η πυκνότητα των υδρατμών είναι ίση με τα 5/8 της πυκνότητας του ξηρού αέρα. Όσο λοιπόν πιο “υγρός” είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας, όσο δηλαδή περισσότερους υδρατμούς περιέχει, τόσο πιο αραιός είναι.

Η πυκνότητα του αέρα στην επιφάνεια της θάλασσας και για κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας (20°) και ατμοσφαιρικής πίεσης (101,6 kPa) είναι: [7]

$$\rho_0 = 1.225 \text{ kg}/\text{m}^3$$

2.9. Το αιολικό δυναμικό

Το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής καθορίζει κατά πόσο αυτή είναι κατάλληλη για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών και αποτελεί βασικό κριτήριο για την εκτίμηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Προκειμένου να διερευνηθεί η καταλληλότητα της εκάστοτε περιοχής απαιτούνται μετρήσεις που περιλαμβάνουν:

1. Την τιμή της ταχύτητας του ανέμου ανά τακτά χρονικά διαστήματα ώστε να υπολογιστούν:
 - Η μέση ετήσια τιμή της ταχύτητας του ανέμου.
 - Το ποσοστό του χρόνου που η ταχύτητα του ανέμου ξεπερνάει το όριο λειτουργίας της επιλεγείσας ανεμογεννήτριας.
 - Η τυπική απόκλιση των τιμών της ταχύτητας του ανέμου ώστε να επιλεγθεί η κατάλληλη μορφή καμπύλης (Weibull) για τον υπολογισμό της παραγόμενης ισχύς.
2. Την πυκνότητα του αέρα στην περιοχή μελέτης.
3. Την τραχύτητα του εδάφους καθώς και την καταγραφή των εμποδίων για τον συνυπολογισμό της τυρβώδους ροής στην χωροθέτηση των ανεμογεννητριών.
4. Η διεύθυνση του ανέμου για τη χωροθέτηση των ανεμογεννητριών.

2.10. Μέτρηση του ανέμου – Το ανεμόμετρο

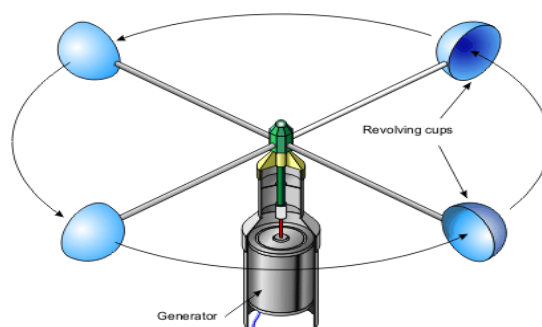
Το ανεμόμετρο είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου και αποτελεί απαραίτητο βασικό εργαλείο για κάθε μετεωρολογικό σταθμό. Η λειτουργία του είναι ιδιαίτερα απλή. Ο άνεμος εξαναγκάζει το σύστημα σε περιστροφή και από την ταχύτητα περιστροφής του ανεμομέτρου, υπολογίζουμε την ταχύτητα του ανέμου. Η πρώτη γνωστή περιγραφή του ανεμομέτρου δόθηκε από τον Leon Battista Alberti γύρω στο 1450. Στις μέρες μας τα ανεμόμετρα, ενσωματώνοντας την σύγχρονη τεχνολογία, μπορούν να υπολογίσουν την πραγματική ταχύτητα του πνέοντος ανέμου και την πραγματική διεύθυνσή του, ακόμη και εν κινήσει!

Τα ανεμόμετρα μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: εκείνα που μετρούν την ταχύτητα του ανέμου και εκείνα που μετρούν την πίεση του ανέμου. Όμως, καθώς υπάρχει μια στενή σχέση μεταξύ της πίεσης και της ταχύτητας, ένα ανεμόμετρο που έχει σχεδιαστεί για να μετράει την ταχύτητα θα δώσει πληροφορίες και για την πίεση, και αντιστρόφως.

2.10.1. Ανεμόμετρα ταχύτητας

Ανεμόμετρο κυπέλλου

Ένας απλός τύπος ανεμομέτρου εφευρέθηκε το 1846 από τον Dr John Thomas Romney Robinson. Αποτελούνταν από τέσσερα ημισφαιρικά κύπελλα, τοποθετημένα στα άκρα τεσσάρων οριζοντίων βραχιόνων, οι οποίοι με τη σειρά τους βρίσκονταν σε κάθετη θέση μεταξύ τους αλλά και ως προς ένα κατακόρυφο άξονα. Η ροή του αέρα ερχόμενη σε επαφή με τα κύπελλα, από οποιαδήποτε οριζόντια κατεύθυνση, γυρίζει τον κατακόρυφο άξονα με γωνική ταχύτητα ανάλογη προς την ταχύτητα του ανέμου. Ως εκ τούτου, μετρώντας τις στροφές του άξονα σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα υπολογίζεται η μέση ταχύτητα του ανέμου. Σε ένα ανεμόμετρο τεσσάρων κυπέλλων είναι προφανές ότι όταν ο άνεμος πνέει προς το κοίλο μέρος του ενός κυπέλλου, πνέει επίσης και προς το κυρτό μέρος του αντιδιαμετρικού του κυπέλλου. Συχνά συναντάμε και ανεμόμετρα με 3 κύπελλα τα οποία σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία 120° . Ο λόγος της ταχύτητας του ανέμου προς τη μετακίνηση των κυπέλλων στη μονάδα του χρόνου εξαρτάται από τις διαστάσεις των κυπέλλων και των βραχιόνων και μπορεί να πάρει τιμές από δύο εως και λίγο πάνω από τρία.



Εικόνα 2.13. Ανεμόμετρο κυπέλλου.

[Πηγή: http://www.ehow.com/how-does_5006456_an-anemometer-work.html]

Ανεμόμετρο τύπου ανεμόμυλου

Μια άλλη μορφή ανεμομέτρου ταχύτητας είναι το ανεμόμετρο τύπου ανεμόμυλου ή αλλιώς τύπου έλικα. Στο ανεμόμετρο αυτό, το οποίο σχεδιάστηκε από τον Robinson, ο άξονα περιστροφής του είναι παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και ως εκ τούτου είναι οριζόντιος. Επιπλέον, δεδομένου ότι ο άνεμος αλλάζει συνεχώς κατεύθυνση και ο άξονας πρέπει να ακολουθεί τις αλλαγές του, ένας ανεμοδείκτης ή κάποιο άλλο τέχνασμα χρησιμοποιείται για τον προσανατολισμό του ανεμομέτρου.



Εικόνα 2.14. Ανεμόμετρο τύπου ανεμόμυλου (αριστερά) και ανεμόμετρο τεχνολογίας υπερήχων για μέτρηση στο τρισδιάστατο πεδίο ροής ταχυτήτων (δεξιά).

[Πηγή: <http://en.wikipedia.org/wiki/Anemometer>]

Ανεμόμετρο τεχνολογίας υπερήχων

Το ανεμόμετρο τεχνολογίας υπερήχων αναπτύχθηκε για πρώτη φορά στη δεκαετία του 1950 και βασίζεται στη χρήση υπερηχητικών κυμάτων. Συγκεκριμένα η μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου πραγματοποιείται με βάση τον χρόνο που απαιτείται ώστε ηχητικοί παλμοί να ταξιδεύσουν μεταξύ ενός ζεύγους μετατροπέων ενέργειας. Στη συνέχεια μετρήσεις από διάφορα ζεύγη μετατροπέων μπορούν να συνδυαστούν ώστε να δώσουν μια μέτρηση της ταχύτητας στο τρισδιάστατο πεδίο ροής. Η έλλειψη κινούμενων μερών καθιστά το ανεμόμετρο τεχνολογίας υπερήχων κατάλληλο για μακροχρόνια χρήση σε εκτεθειμένους αυτόματους σταθμούς, όπου η ακρίβεια και η αξιοπιστία των παραδοσιακών ανεμομέτρων (κυπέλλου και με πτερύγια) επηρεάζεται αρνητικά τόσο από το θαλασσινό αέρα όσο και από τις μεγάλες ποσότητες σκόνης. Το κυριότερο μειονέκτημά τους είναι η στρέβλωση της ροής, γεγονός το οποίο απαιτεί διόρθωση βάσει μετρήσεων αεροδυναμικής σήραγγας με σκοπό την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων. Επιπλέον, οι σταγόνες της βροχής είναι πιθανό να επηρεάσουν την ακρίβειά τους, καθώς προκαλούν διαφοροποίηση στην ταχύτητα του ήχου. Δεδομένου ότι η ταχύτητα του ήχου μεταβάλλεται με την θερμοκρασία, και είναι ουσιαστικά σταθερή με αλλαγή της πίεσης, τα ανεμόμετρα τεχνολογίας υπερήχων χρησιμοποιούνται επίσης ως θερμόμετρα.

Ανεμόμετρο τεχνολογίας αισθητήρων

Οι αισθητήρες ανέμου είναι μια πιο πρόσφατη παραλλαγή του ανεμομέτρου τεχνολογίας υπερήχων. Σε αντίθεση με τα ανεμόμετρα τεχνολογίας υπερήχων τα οποία κατά την μέτρηση του ανέμου αξιοποιούν το χρονικό διάστημα που απαιτείται ώστε ηχητικοί παλμοί να ταξιδεύσουν μεταξύ ενός ζεύγους μετατροπέων ενέργειας, οι αισθητήρες ήχου βασίζονται στην αντανάκλαση υπερηχητικών κυμάτων εντός μιας μικρής κοιλότητας. Η κοιλότητα αυτή περικλείει μια σειρά από μορφοτροπείς υπερήχων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία στάσιμων κυμάτων σε υπερηχητικές συχνότητες. Καθώς ο άνεμος περνά μέσα από την κοιλότητα, προκαλείται μια αλλαγή στη φάση του κύματος. Με τη μέτρηση του βαθμού αλλαγής της φάσης στα λαμβανόμενα σήματα από τον κάθε μετατροπέα, και στη συνέχεια με μαθηματική επεξεργασία των δεδομένων, ο αισθητήρας είναι σε θέση να παρέχει μια ακριβή μέτρηση της οριζόντιας ταχύτητας του ανέμου καθώς και την διεύθυνσή του.



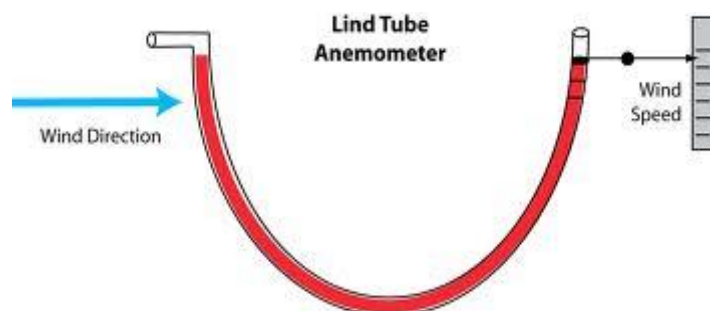
Εικόνα 2.15. Ανεμόμετρο τεχνολογίας αισθητήρων
[Πηγή: <http://en.wikipedia.org/wiki/Anemometer>]

2.10.2. Ανεμόμετρα πίεσης

Ανεμόμετρο με πιεζομετρικό σωλήνα

Το ανεμόμετρο με πιεζομετρικό σωλήνα εφευρέθηκε από τον James Lind το 1775. Αποτελείται από ένα γυάλινο σωλήνα σχήματος “U” ο οποίος περιέχει κάποιο μανομετρικό υγρό. Το ένα άκρο του είναι λυγισμένο ώστε να βρίσκεται σε οριζόντια θέση, παράλληλα προς τη διεύθυνση του ανέμου, ενώ το έτερο άκρο του είναι κατακόρυφο. Καθώς ο άνεμος εισέρχεται στο οριζόντιο στόμιο του σωλήνα προκαλεί αύξηση της πίεσης στη συγκεκριμένη πλευρά του μανόμετρου. Παράλληλα, ο αέρας στο ανοιχτό κατακόρυφο άκρο του σωλήνα προκαλεί αντίστοιχα μια μικρή μεταβολή στην πίεση στην άλλη πλευρά του μανόμετρου. Η προκύπτουσα μεταβολή της στάθμης του υγρού στο σωλήνα αποτελεί ένδειξη της ταχύτητας του ανέμου. Το ανεμόμετρο, όμως, αυτού του τύπου μειονεκτεί καθώς τυχόν μικρές αποκλίσεις στον προσανατολισμό του σωλήνα ως προς την πραγματική κατεύθυνση του ανέμου, προκαλούν μεγάλο σφάλμα κατά την μέτρηση. Αντίθετα, το μεγάλο πλεονέκτημα της διάταξης αυτής έγκειται στο

γεγονός ότι το εκτεθειμένο στο περιβάλλον τμήμα της μπορεί να τοποθετηθεί μόνιμα σε ένα υψηλό πόλο, καθώς δεν απαιτεί συντήρηση ή παρακολούθησή του για χρόνια. Παρόλα αυτά, για την αξιοπιστία των μετρήσεων, απαιτούνται δύο μετρήσεις, μια στο χώρο μέτρησης και μια στο χώρο καταγραφής ώστε να συνυπολογιστεί η διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο αυτών σημείων. Η παράβλεψη της αρχικής πίεσης μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικό σφάλμα.



Εικόνα 2.16. Η λειτουργία του ανεμομέτρου με πιεζομετρικό σωλήνα

2.10.3. Η κατάλληλη τοποθέτηση των οργάνων

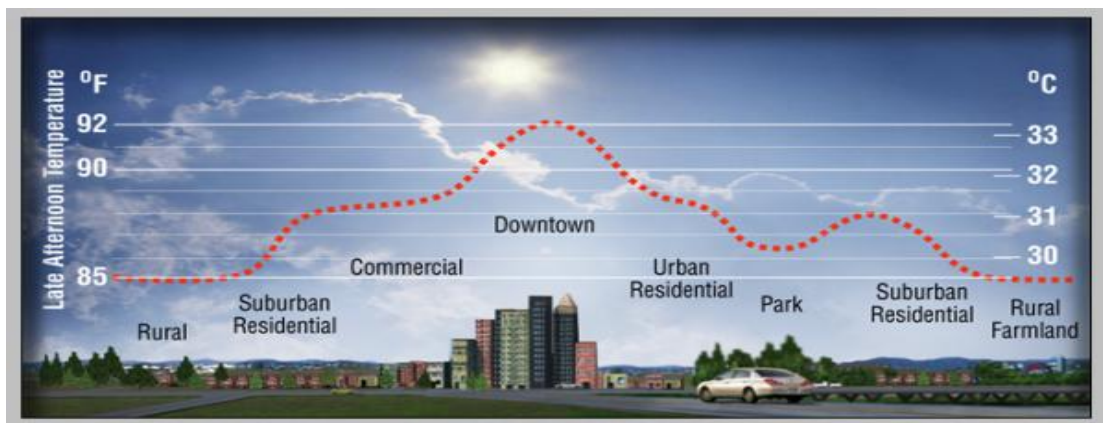
Η μεθοδολογία λήψης των μετρήσεων ανέμου θα πρέπει να είναι συγκεκριμένη και να συμφωνεί με το διεθνές πρότυπο ISO 17025. Το συνιστώμενο ύψος τοποθέτησης των οργάνων, για τη μέτρηση του ανέμου σε ανοικτή περιοχή, είναι 10m πάνω από το έδαφος. Ως ανοικτή περιοχή ορίζεται μια περιοχή όπου η απόσταση μεταξύ του οργάνου και του εμποδίου είναι τουλάχιστον δεκαπλάσια από το ύψος του εν λόγω εμποδίου. Η κλίση του εδάφους στην περιοχή μελέτης θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν κατά τον προσδιορισμό του σχετικού ύψους του εμποδίου. Το εμπόδιο μπορεί να είναι τεχνητό (όπως για παράδειγμα ένα κτίριο) ή φυσικό (όπως για παράδειγμα ένας λόφος ή ένα δέντρο). Το ύψος του οργάνου, το ύψος και το είδος των κοντινών εμποδίων καθώς και η διαφορά ύψους ανάμεσα στο όργανο και τα εμπόδια θα πρέπει να καταγράφονται. Στην περίπτωση κατά την οποία το ανεμόμετρο επηρεάζεται από τα εμπόδια, θα πρέπει να τοποθετείται σε ύψος μεγαλύτερο των 10m ώστε να παραμένει ανεπηρέαστο και να αντιπροσωπεύει κατά προσέγγιση τις τιμές ανέμου που θα είχαν μετρηθεί αν βρισκόταν σε ύψος 10m με απουσία εμποδίων. Αυτό το ύψος, το οποίο εξαρτάται από την έκταση της περιοχής, το ύψος των εμποδίων και την απόσταση από αυτά, θα πρέπει να καθορίζεται για κάθε περίπτωση ξεχωριστά. Εν γένει όμως το σημείο μελέτης δε θα πρέπει να ξεπερνά το ύψος των 100m, καθώς σε μεγαλύτερα υψόμετρα τα δεδομένα του ανέμου θα πρέπει να καθορίζονται από άλλα μέσα, όπως για παράδειγμα με τηλεπισκόπηση. Επιπλέον, η ένταση του ανέμου μπορεί να εκτιμηθεί έμμεσα αξιοποιώντας μια λογαριθμική σχέση η οποία χρησιμοποιεί ως δεδομένα, μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε χαμηλότερο υψόμετρο. Για το σκοπό αυτό, μετρήσεις θα πρέπει να πραγματοποιούνται σε διάφορα ύψη (τουλάχιστον τρία) έτσι ώστε να είναι δυνατή η εφαρμογή της παραπάνω μεθοδολογίας. Τέλος, το καταγραφικό θα πρέπει να εγκαθίσταται σε χαμηλό ύψος σε προσβάσιμη θέση από τον άνθρωπο, μέσα σε σφραγισμένο κουτί, κατάλληλο για όλες τις καιρικές συνθήκες.

2.11. Μελέτη του ανέμου σε αστικούς χώρους

Ο αέρας πάνω από τις πόλεις υποδιαιρείται σε δύο επίπεδα: Την "αστική επικάλυψη του αέρα" (urban air canopy) που οριοθετείται από τα κτίρια της αστικής περιοχής και εκτείνεται ως το υψηλότερο σημείο τους, και τον "αστικό θόλο" (urban air dome) ο οποίος εκτείνεται πάνω από το ύψος των κτιρίων. Τα χαρακτηριστικά του αστικού θόλου επηρεάζονται και διαμορφώνονται από την παρουσία αστικής περιοχής στο κατώτερο επίπεδο, ενώ τα χαρακτηριστικά της αστικής επικάλυψης επηρεάζονται κυρίως από την γεωμετρία της πόλης, τα υλικά που χρησιμοποιούνται και τις ιδιότητές τους.

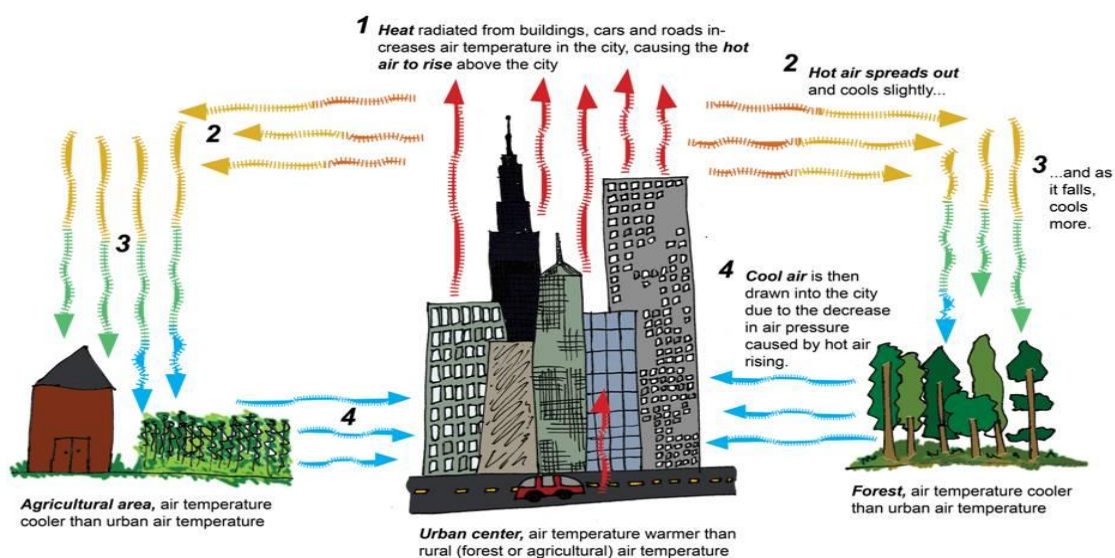
2.11.1. Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας

Με τον όρο αστική θερμική νησίδα ορίζεται η τάση των κέντρων των πόλεων να παρουσιάζουν υψηλότερες θερμοκρασίες αέρα σε σχέση με την ύπαιθρο που τις περιβάλλει. Συνήθως το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται εντονότερα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, τις νυχτερινές κυρίως ώρες, και η διαφορά της θερμοκρασίας μπορεί να φτάσει ακόμα και τους 15°C. Τα κυριότερα αίτια του φαινομένου είναι η αποθήκευση θερμότητας στις αστικές επιφάνειες, όπως είναι τα κτίρια και οι δρόμοι, καθώς και η έκλυση θερμότητας από τα στοιχεία του αστικού περιβάλλοντος. Οι συνθήκες περιορισμένου ανέμου ή άπνοιας ευνοούν επίσης τη δημιουργία της θερμικής αστικής νησίδας. Όσο πιο πυκνοδομημένη είναι μια περιοχή, τόσο περισσότερο τα κτίρια παγιδεύουν τη θερμότητα εμποδίζοντας τη γρήγορη ανανέωση του αέρα. Σημαντικός παράγοντας για την επιδείνωση του φαινομένου είναι τα σκούρα και θερμά δομικά υλικά των αστικών επιφανειών, τα οποία λόγω χαμηλής αντανακλαστικότητας (χαμηλό albedo), παρακρατούν τη θερμότητα την ημέρα και την αποδίδουν τη νύχτα. Έτσι, η μεγάλη θερμική αγωγιμότητα και θερμοχωρητικότητα υλικών όπως το τσιμέντο και η άσφαλτος δεν επιτρέπουν την γρήγορη ψύξη του αστικού περιβάλλοντος. Επιπλέον, η έλλειψη πρασίνου στα κέντρα των μεγάλων πόλεων, η έντονη κυκλοφορία οχημάτων και οι εκπομπές ρύπων αποτελούν επίσης βασικά αίτια του φαινομένου. Σε μεγάλες ελληνικές πόλεις όπως η Αθήνα, η Θεσσαλονίκη, η Πάτρα, ο Βόλος και το Ηράκλειο έχει καταγραφεί στο παρελθόν, από το Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών, η ύπαρξη σε σημαντικό βαθμό του φαινομένου της θερμικής αστικής νησίδας.[8]



Εικόνα 2.17. Το προφίλ της θερμοκρασίας μια δεδομένη χρονική στιγμή, για διάφορες χρήσεις γης.
[Πηγή: <http://heatisland.lbl.gov/coolscience>]

Στα πλαίσια του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας, και συγκεκριμένα λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της πόλης και της υπαίθρου, αναπτύσσονται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους άνεμοι με κατεύθυνση από και προς την αστική περιοχή. Δημιουργείται έτσι, κυρίως σε περιόδους άπνοιας, μια κλειστή κυκλοφορία του ανέμου μεταξύ των δύο περιοχών. Αρχικώς, οι αέριες μάζες που βρίσκονται πάνω από την πόλη, αφού θερμανθούν και αποκτήσουν μικρότερη πυκνότητα, κινούνται ανοδικά μέχρι το στρώμα αναστροφής και στη συνέχεια κατευθύνονται έξω από τα αστικά όρια. Εκεί, καθώς ο αέρας της υπαίθρου είναι πιο ψυχρός, ψύχονται με αποτέλεσμα να κατέρχονται πάλι στις παρυφές της πόλης, κλείνοντας έτσι ένα δακτύλιο κυκλοφορίας. Η κυκλοφορία αυτή παρέχει ευεργετικά αποτελέσματα στο κλίμα της περιοχής καθώς απομακρύνει τους αέριους ρύπους, μεταφέροντας παράλληλα καθαρό αέρα από την ύπαιθρο. Αν όμως το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας συνδυαστεί με την ύπαρξη ρυπογόνων βιομηχανιών στις παρυφές της πόλης, και δεδομένης της κλειστής τοπογραφίας της ευρύτερης περιοχής, τότε συντελείται έντονη ρύπανση της πόλης μέσω της μεταφοράς ρύπων από την περιφέρεια. [9], [10], [11], [12]



Εικόνα 2.18. Η κλειστή κυκλοφορία των αέριων μαζών μεταξύ πόλης και υπαίθρου, στα πλαίσια του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας.

[Πηγή: http://bloomington.in.gov/documents/viewDocument.php?document_id=7061]

2.11.2. Το φαινόμενο της αστικής χαράδρας

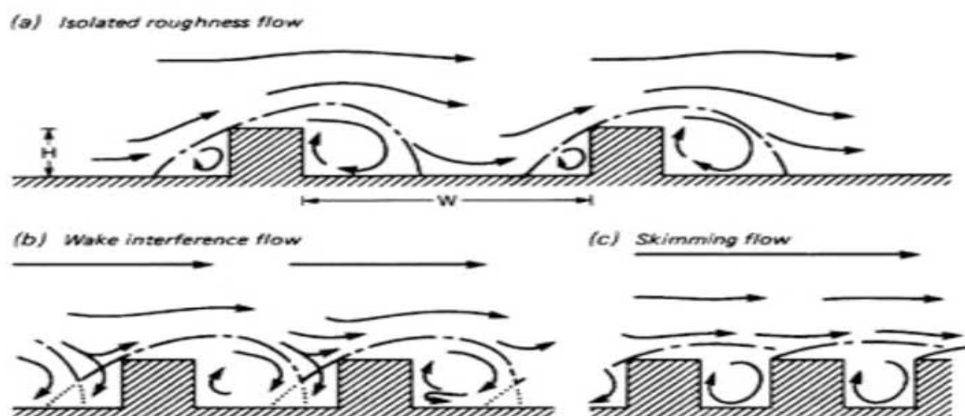
Μελέτες έδειξαν ότι η ροή του ανέμου διαφοροποιείται έντονα όταν εισέρχεται σε πυκνοδομημένες περιοχές. Το αποτέλεσμα είναι να μεταβάλλεται η αρχική ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου και να δημιουργούνται πολλές φορές στροβιλισμοί. Αυτό το φαινόμενο αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως το φαινόμενο της αστικής χαράδρας. Με τον όρο αυτό περιγράφονται τα τεχνητά “τούνελ” (φαράγγια) που δημιουργούνται στα κέντρα των περισσότερων πόλεων εξαιτίας του συνεχούς τρόπου δόμησής τους, κατά τον οποίο τα κτίρια εφάπτονται μεταξύ τους και αναπτύσσονται εκατέρωθεν των αστικών οδικών αξόνων. Ανάλογα με το ύψος

των κτιρίων και το πλάτος του φαραγγιού, δηλαδή της απόστασης μεταξύ των απέναντι κτιρίων, αλλά και ανάλογα με τον προσανατολισμό του φαραγγιού και την γωνία πρόσπτωσης του αέρα σε σχέση με τον άξονα του, παρουσιάζονται διάφορα φαινόμενα στροβιλισμού και ροής του ανέμου. Η ροή του ανέμου μπορεί επίσης να επηρεαστεί και συνεπώς να μεταβληθεί και από την ύπαρξη κάποιου διασταυρούμενου φαραγγιού, δηλαδή σε διασταυρώσεις οδών και οικοδομικών πολυγώνων. Η ένταση του ανέμου σε μεγάλους οδικούς άξονες είναι ισχυρή, ενώ ταυτόχρονα οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται οι κατακόρυφες όψεις των κτιρίων, μεταβάλλουν την στρωμάτωση της θερμοκρασίας στους δρόμους που περιβάλλουν, διαφοροποιώντας τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής. Ανάλογα με τη γεωμετρία του αστικού ιστού παρατηρούνται οι παρακάτω τρεις μορφές ροής του ανέμου: [13], [14]

α) Όταν η δόμηση είναι αραιή η ροή του ανέμου διαταράσσεται και μπορεί να διακριθεί σε τρεις ζώνες (Εικόνα 2.19.a: *isolated roughness flow*). Στην κατά μέτωπο προς τον άνεμο ζώνη όπου εμφανίζεται δίνη στροβίλου εξαιτίας της προς τα κάτω ροής στην προσήνεμη όψη, στην ενδιάμεση ζώνη μεταξύ των κτιρίων δημιουργείται μια κοιλότητα χαμηλής πίεσης με στροβιλισμό λόγω του διαχωρισμού των ρευμάτων ροής από τις ακμές της οροφής και των πλευρών του κτιρίου, και τέλος στην τρίτη ζώνη που βρίσκεται στην υπήνεμη πλευρά και χαρακτηρίζεται από αυξημένη αναταραχή και χαμηλότερες οριζόντιες ταχύτητες.

β) Όταν το ύψος των κτιρίων, η πυκνότητά τους και το πλάτος των δρόμων είναι τέτοια που δημιουργούν πιο στενά διαστήματα μεταξύ τους, παρατηρείται ανάμειξη των ρευμάτων ροής (Εικόνα 2.19.b: *wake interference flow*). Στην περίπτωση αυτή δημιουργούνται δευτεροβάθμιες ροές ανάμεσα στα κτίρια και η ροή στην προσήνεμη όψη του δεύτερου κτιρίου ενισχύεται από την ανακλώμενη ροή αέρα της πίσω κοιλότητας του πρώτου κτιρίου.

γ) Όταν το ύψος των κτιρίων είναι αρκετά μεγάλο και το πλάτος των δρόμων μικρό, σύνθηδες φαινόμενο των αστικών τοπίων, ο αέρας ρέει κυρίως υπεράνω των κτιρίων, δημιουργώντας μία δευτερογενή σπειροειδή ροή χαμηλής ταχύτητας μεταξύ των κτιρίων (Εικόνα 2.19.c: *skimming flow*). [15], [16]



Εικόνα 2.19. Οι τρεις περιπτώσεις ροής αέρα ανάλογα με τη γεωμετρία του αστικού ιστού.
[Πηγή: «Street Design and Urban Canopy Layer Climate», T. Oke, 1988]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [1] http://el.wikipedia.org/wiki/Δύναμη_Κοριόλις
- [2] << Measuring the Natural Environment>>, Ian Strangeways, 2000
- [3] <<Ναυτική και θαλάσσια τεχνολογία και επιστήμη>>, Γ. Σ. ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ, Καθηγητής Ε.Μ.Π
- [4] «Turbulence close to a rough urban surface. Part I: Reynolds stress», M. Rotach, 1993
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Weibull_distribution
- [6] Αρχές μετεωρολογίας-κλιματολογίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Πέτρος Κατσαφάδος – Ηλίας Μαυροματίδης, 2010
- [7] «Στοιχεία Μετεωρολογίας», Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2011
- [8] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Και Εξοικονόμησης Ενέργειας(ΚΑΠΕ), <<Πρόγραμμα Βιοκλιματικών Αναβαθμίσεων Δημόσιων Ανοικτών Χώρων>>, 2011
- [9] <<Αστική μορφολογία και μικροκλίμα στις πόλεις>>, Καρακούνος Ιωάννης - Σταθάκης Δημήτριος
- [10] <<Βελτίωση του αστικού μικροκλίματος στην περιοχή του Ψυρρή>>, Μ.Σανταμούρης-Ν. Γαϊτάνη-Α. Τσολάκη
- [11] United States Environmental Protection Agency, <<Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies>>
- [12] Oke, T.R. 1982. The Energetic Basis of the Urban Heat Island. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society
- [13] <<Μελέτη του φαινομένου της αστικής χαράδρας με τρισδιάστατο μοντέλο προσομοίωσης αστικού πολεοδομικού ιστού>>, Πάνος ΚοσμόπουλοςΑν. Καθηγητής, ΔιευθυντήςΕργαστηρίου Περιβαλλοντικού καιΕνεργειακού Σχεδιασμού Δ.Π.Θ. - Αθηνά Καντζιούρα, Μηχανικός Περιβάλλοντος Δ.Π.Θ.Υποψήφια Διδάκτωρ - Λεωνίδα Μπουρίκας, Μηχανικός Περιβάλλοντος Δ.Π.Θ.Υποψήφιος Διδάκτωρ
- [14] Prof. B. Givoni (UCLA), Climate, microclimate, the Urban scale, Proceedings of the International symposium “Solar energy and buildings”, 1993.
- [15] «Concentrations and flow distributions in urban street canyons: wind tunnel and computational data», C. Chang, R. Meroney, 2003
- [16] «Influence of building areal density and roof shape on the wind characteristics above a town», S. Rafailidis. 1997

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

3.1. Ιστορική αναδρομή

Η εξέλιξη της ανθρωπότητας είναι στενά συνδεδεμένη με τη χρήση ενέργειας. Μία από τις πρώτες μορφές ενέργειας που αξιοποίησε ο άνθρωπος για την παραγωγή μηχανικού έργου, αντικαθιστώντας την μυϊκή δύναμη των ζώων ως πηγή ενέργειας, είναι η αιολική ενέργεια.

Η σημασία της ενέργειας του ανέμου αποτυπώνεται στην Ελληνική μυθολογία όπου ο Αίολος διορίζεται από τους Θεούς του Ολύμπου ως “Ταμίας των ανέμων”. Ο άνθρωπος πρωτοχρησιμοποίησε την αιολική ενέργεια στα ιστιοφόρα πλοία, γεγονός που συνέβαλε αποφασιστικά στην ανάπτυξη της ναυτιλίας. Μια άλλη μορφή αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας αποτέλεσαν οι ανεμόμυλοι, οι οποίοι μαζί με τους νερόμυλους συγκαταλέγονται στους πρώτους κινητήρες. Διαδόθηκαν πλατιά στην Ευρώπη επί 650 χρόνια, από τον 12^ο μέχρι τις αρχές του 19^{ου} αιώνα, οπότε άρχισε σταδιακά να περιορίζεται η χρήση τους, λόγω κυρίως της ατμομηχανής. Η οριστική τους εκτόπιση άρχισε μετά τον Α΄ Παγκόσμιο πόλεμο, παράλληλα με την ανάπτυξη του κινητήρα εσωτερικής καύσεως και την διάδοση του ηλεκτρισμού. Στις μέρες μας, λόγω της ενεργειακής κρίσης αλλά και της αναπτυσσόμενης οικολογικής συνείδησης το ενδιαφέρον για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας έχει εστιαστεί στις ανεμογεννήτριες.

Οι ανεμογεννήτριες αποτελούν εξέλιξη των ανεμόμυλων. Ο ανεμόμυλος είναι μια διάταξη που χρησιμοποιεί ως κινητήρια δύναμη την κινητική ενέργεια του ανέμου (αιολική ενέργεια). Χρησιμοποιείται για την άλεση σιτηρών, την άντληση νερού και σε άλλες εργασίες.

Φαίνεται ότι οι αρχαίοι λαοί της Ανατολής χρησιμοποίησαν πρώτοι τους ανεμόμυλους. Συγκεκριμένα, οι αναφορές Αράβων ιστορικών περιγράφουν ένα περσικό συγκρότημα ανεμόμυλων του 644 μ.Χ. Αυτό το συγκρότημα των ανεμόμυλων βρισκόταν στο Σειστάν, στα σύνορα της Περσίας και Αφγανιστάν και ήταν “οριζόντιου τύπου” δηλαδή με ιστία τοποθετημένα ακτινικά σε έναν “κατακόρυφο άξονα”. Ο άξονας αυτός στηριζόταν σε ένα μόνιμο κτίσμα με ανοίγματα σε αντιδιαμετρικά σημεία για την είσοδο και την έξοδο του αέρα. Κάθε μύλος έδινε απευθείας κίνηση σε ένα μόνο ζεύγος μυλόπετρες. Οι πρώτοι μύλοι είχαν τα ιστία κάτω από τις μυλόπετρες, όπως δηλαδή συμβαίνει και στους οριζόντιους νερόμυλους από τους οποίους φαίνεται ότι προέρχονταν. Εντούτοις, σε μερικούς από τους μύλους που σώζονται μέχρι σήμερα τα ιστία τοποθετούνται πάνω από τις μυλόπετρες. Τον 13^ο αιώνα οι μύλοι αυτού του τύπου ήταν γνωστοί στην Βόρεια Κίνα, όπου μέχρι και τον 16^ο αιώνα τους χρησιμοποιούσαν για την εξάτμιση του θαλασσινού νερού στην παραγωγή αλατιού. Τον τύπο αυτό του μύλου χρησιμοποιούσαν επίσης στην Κριμαία, στις περισσότερες χώρες της Δυτικής Ευρώπης και στις ΗΠΑ, μόνο που λίγοι από αυτούς διασώζονται σήμερα. Ο πιο αντιπροσωπευτικός όμως από όλους τους τύπους των ανεμόμυλων είναι ο τύπος

μετο “στροφείο σχήματος S” (S-Sibari) (εφευρέτης ο Φιλανδός S.J.Savinious) που ακόμη και σήμερα χρησιμοποιείται σε φτωχές ή απομονωμένες περιοχές λόγω της φθηνής και εύκολης κατασκευής του.

Στην Ευρώπη, ο ανεμόμυλος έφτασε από τους Άραβες και χρησιμοποιήθηκε με την μορφή του κατακόρυφου ρωμαϊκού υδραυλικού τροχού, με τη διαφορά ότι ο συγκεκριμένος ανεμόμυλος είχε στην θέση του τροχού κατακόρυφα φτερά που μετέδιδαν την κίνηση στις μύλοπετρες με ένα ζεύγος οδοντωτών τροχών. Οι πρώτοι τέτοιοι περιστρεφόμενοι μύλοι εμφανίστηκαν στη Γαλλία το 1180, στην Αγγλία το 1191 και στη Συρία την εποχή των Σταυροφοριών (1190). Στις αρχές του 14ου αιώνα αναπτύχθηκε στη Γαλλία ο ανεμόμυλος σε σχήμα πύργου. Σε αυτόν τον τύπο ανεμόμυλου οι μύλοπετρες και οι οδοντωτοί τροχοί ήταν τοποθετημένοι σε ένα σταθερό πύργο με κινητή οροφή ή “κάλυμμα”, στην οποία στηρίζονταν τα ιστία και η οποία μπορούσε να στραφεί επάνω σε ειδική τροχιά, στην κορυφή του πύργου. Ο “περιστρεφόμενος ανεμόμυλος με κοίλο εσωτερικά άξονα” επινοήθηκε στις Κάτω Χώρες στις αρχές του 15^{ου} αιώνα. Το 1500 μ.Χ. κάνουν την εμφάνιση τους στην Ολλανδία, ενώ το 1860 η Δανία στρέφει το ενδιαφέρον της προς τον άνεμο, αρχίζοντας μάλιστα ένα ειδικό πρόγραμμα για την κατασκευή ανεμοκινητήρων που θα παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Η διάταξη αυτή διέθετε έναν κατακόρυφο άξονα με γρανάζια στα δύο του άκρα ο οποίος περνούσε μέσα από τον κοίλο άξονα και κινούσε ένα τροχό με περιφερειακά διαταγμένα σκαφίδια μεταφέροντας το νερό σε υψηλότερη στάθμη. [1]



Εικόνα 3.1. Παραδοσιακός ανεμόμυλος(αριστερά), σύγχρονη ανεμογεννήτρια υψηλής ισχύος(δεξιά)
[Πηγή: http://www.zeroenergybuildings.org/2012/03/blog-post_17.html, <http://balkon3.com/>]

Ο ανεμόμυλος χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ως ανεμογεννήτρια το 1890 όταν εγκαταστάθηκε πάνω σε χαλύβδινο πύργο ο ανεμόμυλος του Π. Λα Κούρα στη Δανία, με ισχία με σχισμές και διπλά πτερύγια αυτόματης μετάπτωσης προς τη διεύθυνση του ανέμου. Μετά τον Α΄ Παγκόσμιο πόλεμο, έγιναν πειράματα με ανεμόμυλους που είχαν ισχία αεροτομής, δηλαδή όμοια με πτερύγια αεροπορικής έλικας. Το 1931 μια τέτοια ανεμογεννήτρια εγκαταστάθηκε στην Κριμαία και η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς διοχετευόταν στο τμήμα χαμηλής τάσης του τοπικού δικτύου. Πραγματικές ανεμογεννήτριες με δύο πτερύγια λειτούργησαν στις ΗΠΑ κατά τη δεκαετία του 1940, στην Αγγλία στη δεκαετία του 1950 καθώς και στη Γαλλία. Η πιο πετυχημένη ανεμογεννήτρια αναπτύχθηκε στη Δανία αποτελούμενη από τρία πτερύγια αλληλοσυνδεόμενα μεταξύ τους και με έναν πρόβολο στο μπροστινό μέρος του άξονα περιστροφής. Στην Ολλανδία εκτελέστηκαν πειράματα από τον F.G. Sibari με αντικείμενο τη μετασκευή των παλαιών ανεμόμυλων άλεσης δημητριακών, έτσι ώστε η πλεονάζουσα ενέργεια να χρησιμοποιείται για ηλεκτροπαραγωγή. Χρησιμοποιήθηκε ένας ασύγχρονος ηλεκτροκινητήρας που κινούσε τον ανεμόμυλο (σε περίπτωση άπνοιας) ή λειτουργούσε ως γεννήτρια, όταν φυσούσε. Ο μηχανισμός μετάδοσης κίνησης περιλάμβανε ένα συμπλέκτη παράκαμψης με σκοπό ο ηλεκτροκινητήρας να μην κινεί τα ιστία παρά μόνο να εκτελεί χρήσιμο έργο. Η οροφή στρεφόταν με τη βοήθεια αεροκινητήρα που ελεγχόταν από έναν ανεμοδείκτη. [2]

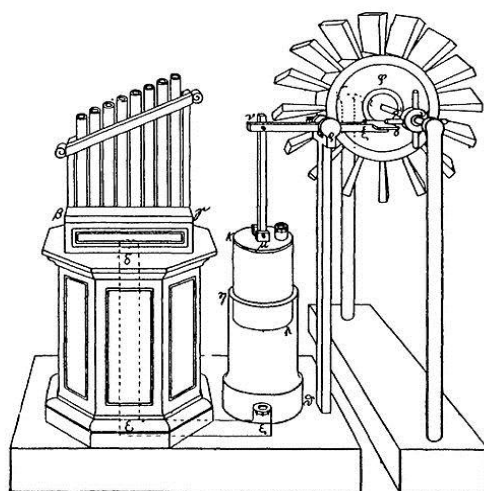
Μετά τον Β΄ Παγκόσμιο πόλεμο πολλοί περίμεναν ότι η αιολική ενέργεια θα συνέβαλλε σημαντικά στην παραγωγή ηλεκτρισμού, αλλά οι προσπάθειες ανάπτυξης ανεμογεννητριών ατόνησαν μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1970. Οι προσπάθειες αυτές ξανάρχισαν πιο έντονες μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση (1973) και στηρίχθηκαν κατά μεγάλο μέρος στην σύγχρονη αεροδιαστημική τεχνολογία. Έτσι, στις αρχές της δεκαετίας του 1980 η παγκόσμια παραγόμενη ισχύς από αιολικά συστήματα ήταν 15 MW (Μεγαβάτ). Το 1992, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και την προώθηση των προγραμμάτων αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας, η ισχύς αυτή, παραγόμενη από περισσότερες από 25.000 ανεμογεννήτριες, έφτασε τα 2.652 MW. Στα τέλη του 2011, η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας ανερχόταν στα 238 GW περίπου, σημειώνοντας μια άνοδο κατά 18 GW από το 2000. Περίπου 41 GW προστέθηκαν το 2011 μόνο. Κατά τα τελευταία δύο χρόνια, παρατηρείται σημαντική μετατόπιση της καινοτομίας από την Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική προς την Ασία, η οποία έχει αναδειχθεί πλέον ο παγκόσμιος ηγέτης όσον αφορά την εγκατάσταση νέου δυναμικού αιολικής ενέργειας. Το 2011 η Κίνα εγκατέστησε 18 GW αιολικής ενέργειας, απογειώνοντας το σύνολο εγκατεστημένης ισχύος στα 63 GW, νούμερο το οποίο αντιπροσωπεύει το 26,4% της παγκόσμιας αιολικής ενέργειας. Την ίδια περίοδο οι ΗΠΑ εγκατέστησαν 6,8 GW αιολικής ενέργειας, ανεβάζοντας το συνολικό δυναμικό στα 47 GW που αντιπροσωπεύει το 19,7% της παγκόσμιας αγοράς. Η Ινδία έρχεται τρίτη σε νέες εγκαταστάσεις, με 3 GW, αλλά κατατάσσεται πέμπτη με 16 GW συνολικής ισχύος (6,7% της παγκόσμιας αιολικής ενέργειας). Η ΕΕ στο σύνολό της εγκατέστησε 9,6 GW αιολικής ενέργειας το 2011, ανεβάζοντας τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ σε 94 GW. Αυτό είναι λίγο πάνω από το 6% του δυναμικού ηλεκτροπαραγωγής της ΕΕ. Αν και η ΕΕ παραμένει ακόμη η μεγαλύτερη αγορά

αιολικής ενέργειας, οι έντονοι ρυθμοί ανάπτυξης της Κίνας αναμένεται να την καταστήσουν πολύ σύντομα ηγέτη σε αυτή τη μορφή ενέργειας. Η κινεζική κυβέρνηση έχει θέσει ετήσιο στόχο εγκατάστασης τα 15GW αιολικής ενέργειας, με σκοπό το 2020 το συνολικό δυναμικό της χώρας να ανέρχεται στα 200 GW, ικανά να παράγουν 400TWh ηλεκτρικής ενέργειας. [3]

3.2. Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα

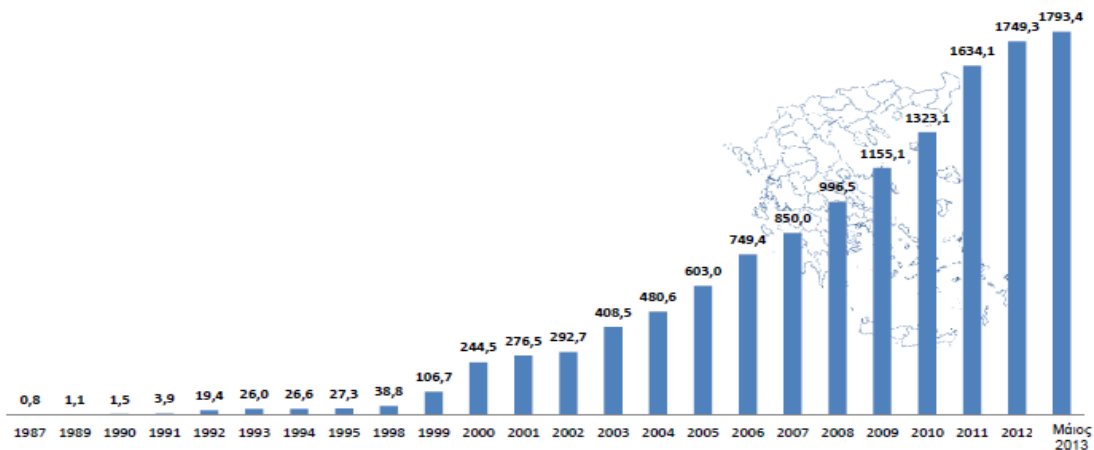
Η Ελλάδα είναι μια χώρα με μεγάλη ακτογραμμή και τεράστιο πλήθος νησιών. Ως εκ τούτου, οι ισχυροί άνεμοι που πνέουν κυρίως στις νησιωτικές και παράλιες περιοχές της προσδίδουν ένα πλούσιο αιολικό δυναμικό.

Αν και ο πρώτος ελληνικός ανεμόμυλος σχεδιάστηκε από τον Ήρωνα τον 1ο μετά Χριστό αιώνα (ήταν οριζοντίου άξονα περιστροφής και είχε τέσσερα πτερύγια), η χρήση των ανεμόμυλων στην Ελλάδα καθιερώθηκε κατά τη Βυζαντινή περίοδο, γνωρίζοντας ακόμα μεγαλύτερη διάδοση κατά την περίοδο της Φραγκοκρατίας, κυρίως στο ανατολικό Αιγαίο αλλά και στην ενδοχώρα. Κατά κανόνα στεγάζονταν σε κυλινδρικά, πέτρινα, διώροφα κτίρια. Στον επάνω όροφο βρισκόταν ο άξονας και το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, ενώ στον κάτω όροφο γινόταν η άλεση και αποθήκευση των σιτηρών. Τα πτερύγια τους ήταν πάνινα, 5-15 μέτρα σε μήκος και πλάτος το 1/5 του μήκους τους. Ένας ανεμόμυλος μπορούσε να αλέσει 20-70 κιλά σιτηρών την ώρα, ανάλογα με την ένταση και τη φορά του ανέμου. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν για την άντληση νερού (χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής το οροπέδιο του Λασιθίου στην Κρήτη), την παρασκευή φάβας στη Σαντορίνη και το τρίψιμο φλούδας πεύκου, βελανιδιών και σπόρων σχοίνου για τα βυρσοδεψεία κυρίως στη Χίο και τη Σύρο. Τέλος βρέθηκε ένας που άλεθε θειάφι στα ορυχεία της Μήλου. Σήμερα οι περισσότεροι ανεμόμυλοι έχουν ερειπωθεί και διατηρούνται ελάχιστα, κυρίως για τουριστικούς λόγους. Από τους 6.000 που υπολογίζεται ότι υπήρχαν στις αρχές του 20ου αιώνα, σήμερα λειτουργούν περίπου οι χίλιοι. Πολλοί από αυτούς διαθέτουν τέσσερα πτερύγια.

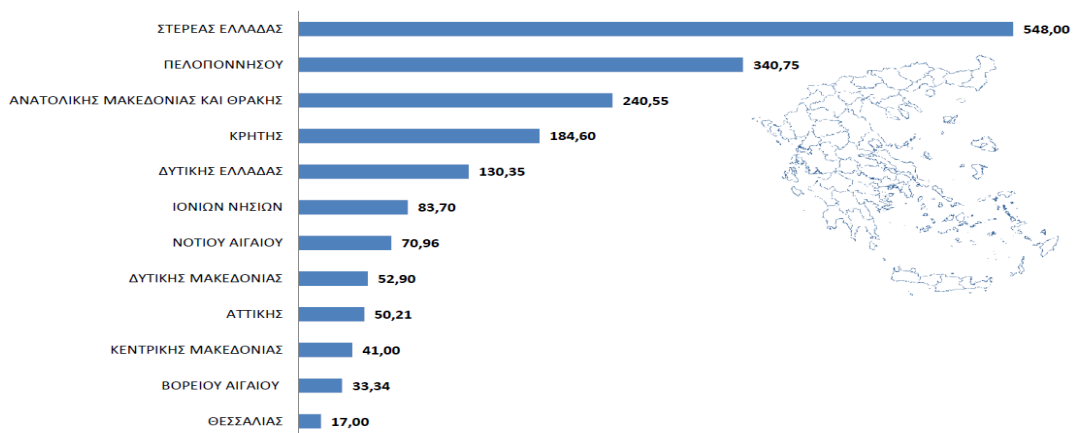


Εικόνα 3.2. Ο ανεμόμυλος του Ήρωνα. Σχηματική αναπαράσταση.
[Πηγή: <http://el.wikipedia.org/wiki/Ανεμόμυλος>]

Οι πρώτες έρευνες και προσπάθειες για την αξιοποίηση της τεχνολογίας των ανεμογεννητριών σε συνδυασμό με τοπλούσιο αιολικό δυναμικό της χώρας, με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρισμού, άρχισαν στο τέλος της δεκαετίας του 1970. Αφού μετρήθηκε το αιολικό δυναμικό των πιο ευνοϊκών περιοχών του Αιγαίου συντάχθηκε η μελέτη ΑΙΟΛΟΣ με τη συνεργασία της Διεύθυνσης Εναλλακτικών Μορφών Ενέργειας, της ΔΕΗ και πανεπιστημίων της χώρας. Από το 1982 έως το 1994 εγκαταστάθηκαν ανεμογεννήτριες στην Άνδρο, τα Ψαρά, τη Σάμο, τη Χίο, την Κρήτη, την Εύβοια, τη Σαμοθράκη, την Ικαρία, την Κάρπαθο, τη Λήμνο, την Κύθνο και τη Σκύρο, οι οποίες παράγουν συνολικά ισχύ 27 MW. Το πρώτο αιολικό πάρκο κατασκευάστηκε στην Κύθνο και άρχισε να λειτουργεί το 1982 περιλαμβάνοντας 5 ανεμογεννήτριες, συνολικής ισχύος αρχικά 20 KW και αργότερα 33 KW. Μέχρι το 1994 είχαν εγκατασταθεί συνολικά 13 αιολικά πάρκα σε νησιά του Αιγαίου, ενώ το αιολικό πάρκο της Εύβοιας, που τέθηκε σε λειτουργία το 1993 με 17 ανεμογεννήτριες, και το δίδυμό του στη Σητεία Κρήτης είναι τα δύο μεγαλύτερα αιολικά πάρκα της Μεσογείου. Το Μάιο του 2013, σύμφωνα με την Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ), το σύνολο της αιολικής ισχύος που βρισκόταν σε εμπορική ή δοκιμαστική λειτουργία στην Ελλάδα ήταν 1793,4MW. [4]



Εικόνα 3.3. Συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς (MW) ανά έτος.
[Πηγή: HWEA Wind Statistics 2011]

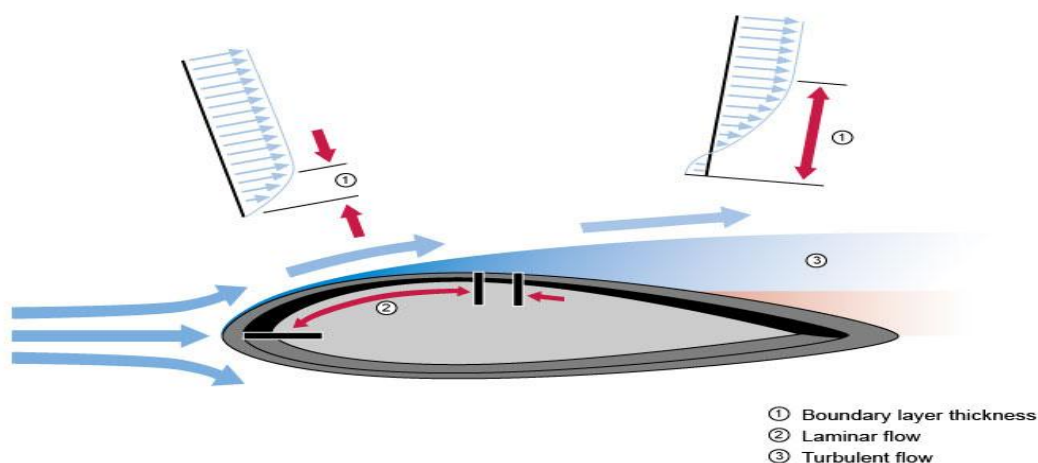


Εικόνα 3.4. Εγκατεστημένη ισχύς (MW) ανά Περιφέρεια.
[Πηγή: HWEA Wind Statistics 2011]

3.3. Αρχή λειτουργίας ανεμογεννητριών

Η ποικιλία των ανεμογεννητριών που επινοήθηκαν και προτάθηκαν για να δεσμεύσουν την αιολική ενέργεια είναι σημαντική και περιλαμβάνει πρωτότυπες επινοήσεις. Διάφορα είδη μηχανών οριζοντίου και κατακόρυφου άξονα έχουν προταθεί κατά καιρούς. Η κοινή αρχή λειτουργίας τους όμως βασίζεται σαφώς στην αεροδυναμική. Τα πτερύγια τους είναι κατάλληλα σχεδιασμένα και κατασκευασμένα, έτσι ώστε να εκμεταλλεύονται την αιολική ενέργεια. Αντίθετα με τη λογική του ανεμόμυλου, του οποίου τα πτερύγια έχουν μεγάλη επιφάνεια σάρωσης και κινούνται είτε λόγω της αντίστασής τους στον άνεμο είτε εκμεταλλεύοντας την άνωση που ασκείται πάνω τους, στις σύγχρονες ανεμογεννήτριες η κίνηση οφείλεται αποκλειστικά στην άνωση. Η διαφορά της ταχύτητας του ανέμου στις πλευρές του πτερυγίου προκαλεί χαμηλότερη πίεση στο κατώτερο τμήμα του, με αποτέλεσμα την εμφάνιση μιας συνισταμένης δύναμης σε κάθε πτερύγιο η οποία προκαλεί ροπή και τελικά περιστροφή. Ο σχεδιασμός των πτερυγίων γίνεται με κριτήριο αεροδυναμικής απόδοσης, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, η αθόρυβη λειτουργία, η αντοχή στο χρόνο αλλά και στους δυνατούς ανέμους και τέλος η αισθητική εικόνα.

Τα πτερύγια, επίσης, συμβάλλουν στο φρενάρισμα της Α/Γ. Αρκετοί κατασκευαστές υλοποιούν πτερύγια που αποτελούνται από κινητά μέρη. Σε περίπτωση πολύ ισχυρών ανέμων τα πτερύγια αλλάζουν κλίση «κόντρα» στον άνεμο ή τα ακροπτερύγια καθετοποιούνται έναντι των ρευμάτων αέρα με αποτέλεσμα να μειώνεται η ταχύτητα περιστροφής. Από τα αισθητήρια της ατράκτου δίνεται η εντολή στην άτρακτο να περιστραφεί σταδιακά, έτσι ώστε να αποφύγει την άμεση καταπόνηση από τον άνεμο.



Εικόνα 3.5. Ροή ανέμου στην επιφάνεια πτερυγίου ανεμογεννήτριας.

[Πηγή: <http://www.plasmatreat.com/industrial-applications/new-energies/wind-power/friction-reduction.html>]

Κάθε κατασκευαστής παρέχει τη χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος κάθε μοντέλου Α/Γ. Βάσει αυτής μπορεί να υπολογιστεί η αποδιδόμενη ενέργεια. Σε ιδανική περίπτωση η παραγωγή ενέργειας ξεκινά από τις χαμηλότερες δυνατές στροφές και φτάνει στη μέγιστη ισχύ την οποία διατηρεί για μεγάλο εύρος στροφών. Πέρα

από ένα σημείο ταχύτητας ανέμου, η Α/Γ μπαίνει σε διαδικασία πέδησης, οπότε και φυσικά δεν παράγει τη μέγιστη δυνατή ενέργεια.

Σημαντικός παράγοντας για τη βέλτιστη λειτουργία της Α/Γ αποτελεί η σωστή και αναλυτική εκτίμηση του αιολικού δυναμικού της περιοχής. Αυτό γίνεται πριν την εγκατάσταση της Α/Γ με μετρήσεις με τη βοήθεια ειδικών ιστών. Οι ιστοί έχουν ύψος από 10 μέτρα και άνω (όσο πιο ψηλά, τόσο πιο καλή εκτίμηση του αιολικού δυναμικού) και οι μετρήσεις ενδείκνυται να γίνουν για διάρκεια 6 μηνών με 95% διαθεσιμότητα (αυτό σημαίνει να υπάρχουν δεδομένα για το 95% του χρόνου) ή 12 μηνών με 85% διαθεσιμότητα.

3.4. Τύποι ανεμογεννητριών

Οι ανεμογεννήτριες ταξινομούνται σε κατηγορίες ανάλογα με τον αριθμό των πτερυγίων τους και τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με τη ροή του ανέμου. Με βάση το πρώτο κριτήριο χωρίζονται σε τρίπτερες και δίπτερες ενώ με βάση το δεύτερο διακρίνονται σε ανεμογεννήτριες οριζοντίου και καθέτου άξονα. Κατατάσσονται επίσης σε ταχύστροφες και αργόστροφες, ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής τους ή με βάση την τιμή της παραμέτρου περιστροφής λ. Η ταχύτητα περιστροφής μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται εκτός από τις αεροδυναμικές παραμέτρους και από το μέγεθος των πτερυγίων της μηχανής, δεδομένου ότι πρέπει να ληφθούν υπόψη λόγοι στατικής αντοχής, φαινόμενα δυναμικών καταπονήσεων και ταλαντώσεων, φυγόκεντρες δυνάμεις κ.λ.π.

Μια πρόσθετη παράμετρος που χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό και την ταξινόμηση των ανεμοκινητήρων ως προς την ταχύτητα περιστροφής τους είναι η παράμετρος στιβαρότητας σ της κατασκευής, η οποία δίνει το λόγο του εμβαδού όλων των πτερυγίων προς το εμβαδόν της επιφάνειας που διαγράφουν τα πτερύγια κατά την περιστροφή τους. Για μηχανές οριζόντιου άξονα ορίζεται σαν: [5]

$$\sigma = \frac{z \cdot c \cdot R}{\pi \cdot R^2}$$

ενώ για μηχανές κατακόρυφου άξονα ορίζεται σαν:

$$\sigma = \frac{z \cdot c}{R}$$

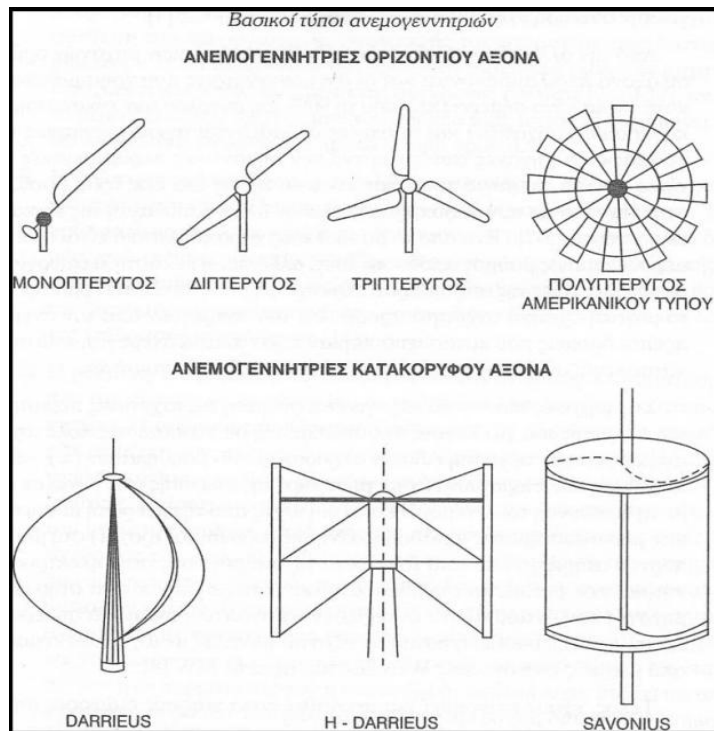
όπου:

z ο αριθμός των πτερυγίων της πτερωτής,

R η ακτίνα της πτερωτής και

c η χορδή (πλάτος) των πτερυγίων της πτερωτής.

Κατά κανόνα οι ανεμογεννήτριες μεγάλης στιβαρότητας είναι μηχανές αργόστροφες, αποδίδοντας τη μέγιστη ισχύ τους σε χαμηλές τιμές της παραμέτρου περιστροφής λ, έχουν σχετικά μικρό βαθμό απόδοσης, ενώ είναι ανθεκτικές με ελάχιστες ανάγκες συντήρησης. Αντίθετα, οι ανεμογεννήτριες μικρής στιβαρότητας είναι μηχανές πολύστροφες, αποδίδουν τη μέγιστη ισχύ τους σε μεγάλες τιμές της παραμέτρου λ, διαθέτουν σχετικά μεγάλο βαθμό απόδοσης, είναι πιο ευπαθείς από τις μηχανές μεγάλης στιβαρότητας και χαρακτηρίζονται από σχετικά μικρές δυνάμεις στα πτερύγια και περιορισμένη ροπή στον άξονά τους.



Εικόνα 3.6. Βασικοί τύποι ανεμογεννητριών.
[Πηγή: ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ, Τμήμα φυσικών πόρων και περιβάλλοντος]

3.4.1. Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα (HAWT - Horizontal Axis Wind Turbines) έχουν τον άξονά τους παράλληλο προς την επιφάνεια της γης και συνήθως παράλληλο και με τη διεύθυνση του ανέμου (head on), αν και κάποτε η διεύθυνσή τους είναι κάθετη προς την διεύθυνση του ανέμου (cross-wind). Είναι πιθανό να έχουν ένα, δυο, τρία ή ακόμα και πενήντα πτερύγια ενώ η πτερωτή τους μπορεί να τοποθετηθεί είτε σε προσήνεμη διάταξη (upwind), δηλαδή μπροστά από τον πύργο στήριξης, είτε σε υπήνεμη διάταξη (downwind), δηλαδή πίσω από τον πύργο στήριξης σε σχέση με τη διεύθυνση του ανέμου.

Στις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα συγκαταλέγονται οι κλασικοί παραδοσιακοί ανεμόμυλοι, καθώς και οι αργές μηχανές πολλών πτερυγίων “αμερικανικού τύπου”, οι οποίες λόγω των περιορισμένων διαστάσεών τους και της χαμηλής περιφερειακής τους ταχύτητας έχουν εγκαταλειφθεί σήμερα. Στην κατηγορία των αιολικών μηχανών οριζόντιου άξονα περιλαμβάνονται και οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σήμερα και οι οποίες ονομάζονται ανεμογεννήτριες τύπου “έλικας”. Οι μηχανές αυτές εμφανίζουν σημαντικές περιφερειακές ταχύτητες, ενώ τα πτερύγια τους, που είναι συνήθως ένα έως τρία, βασίζονται στην τεχνολογία των αεροπορικών ελίκων αλλά και σ’ αυτή της έλικας των ελικοπτέρων. Τέλος, έχουν επινοηθεί και προταθεί κατά καιρούς διάφορες μηχανές τύπου “crosswind”, οι οποίες όμως δεν είναι περισσότερο αποτελεσματικές σε σύγκριση με τους άλλους τύπους. Αντίθετα, οι συγκεκριμένοι ανεμοκινητήρες παρουσιάζουν μειονεκτήματα, όσον αφορά τη συλλογή της παραγόμενης ενέργειας, καθώς και στη ρύθμιση της διεύθυνσης της πτερωτής σε περιπτώσεις έντονων μεταβολών της διεύθυνσης του ανέμου. [6]

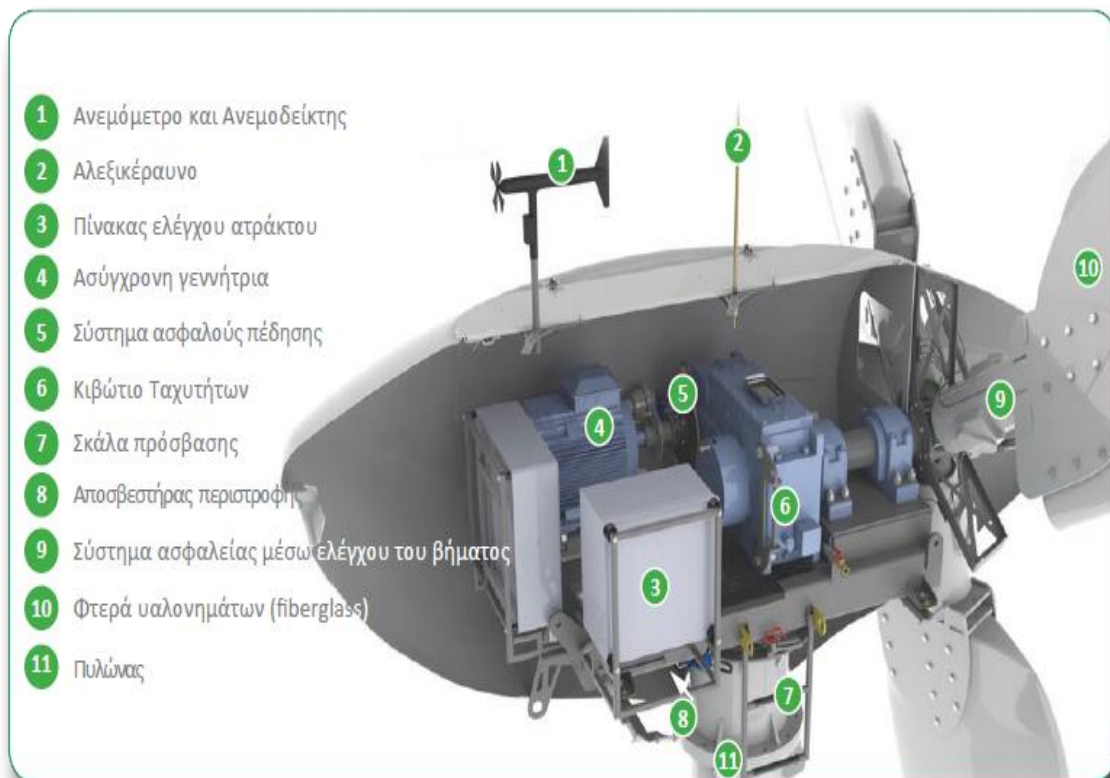


Εικόνα 3.7. Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα.
 [Πηγή: WindMachines 2ndEdition», F. R. Eldridge, 1980]

Μία τυπική ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα αποτελείται από (βλ. Εικόνα 8): [7]

- Τον δρομέα (στρεφόμενο μέρος της μηχανής), το άκρο του οποίου είναι τύπου έλικας και μπορεί να φέρει μία (μονόπτερος) δύο ή τρεις πτέρυγες. Η περιστροφή των πτερυγίων ενός δρομέα οριζοντίου άξονα οφείλεται στη συνδυασμένη δύναμη της άνωσης και της πίεσης που ασκείται, όταν οι μάζες του αέρα προσπίπτουν στα πτερύγια. Για τη μέγιστη αξιοποίηση αυτής της δύναμης απαιτείται κατάλληλος σχεδιασμός, στη μορφή των πτερυγίων, στη στρέψη τους ως προς τον άξονα στήριξης τους (κλίση) και στην ελικοειδή διάταξη τους (βήμα). Τα πτερύγια συνήθως κατασκευάζονται από ενισχυμένο πολυεστέρα.
- Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, αποτελούμενο από τον κύριο άξονα, τα έδρανά του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής (ταχύτητα με συγκεκριμένο αριθμό στροφών) της ανεμογεννήτριας. Με το σύστημα μετάδοσης δίνεται η κίνηση από το δρομέα (χαμηλές στροφές), στην ηλεκτρογεννήτρια (υψηλές στροφές).
- Την ηλεκτρογεννήτρια που είναι ένας σύγχρονος εναλλακτήρας, δηλαδή μηχανή εναλλασσόμενου ρεύματος με συνήθως 4 ή 6 πόλους. Συνδέεται με την έξοδο του κιβωτίου πολλαπλασιασμού των στροφών (κιβώτιο ταχυτήτων) μέσω ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου. Η ηλεκτρογεννήτρια μπορεί να είναι και μηχανή συνεχούς ρεύματος (DC). Μικρής ισχύος ανεμογεννήτριες παράγουν συνεχή τάση τροφοδοσίας και χρησιμοποιούνται για ηλεκτροδότηση σκαφών και μικρών κατοικιών. Σε μεγάλες ανεμογεννήτριες, που η παραγόμενη από αυτές τάση πρόκειται να παραλληλιστεί με το δίκτυο, η ηλεκτρογεννήτρια είναι μηχανή εναλλασσομένου ρεύματος (AC).

- Το δισκόφρενο, το οποίο τοποθετείται στον κύριο άξονα και αποτελεί το κύριο σύστημα πέδησης της ανεμογεννήτριας. Παρ'όλα αυτά, η ακινητοποίηση του δρομέα επιτυγχάνεται, επίσης, είτε μέσω της μεταβολής του βήματος του πτερυγίου ή του ακροπτερυγίου είτε με στροφή του ίδιου του δρομέα ώστε να στραφεί σε διαφορετική κατεύθυνση από αυτήν του ανέμου. Ακόμη, η επιβράδυνση του δρομέα είναι δυνατή μέσω της αύξησης της αεροδυναμικής αντίστασης του πτερυγίου με την ενεργοποίηση αεροπέδης.
- Το σύστημα προσανατολισμού (μικρές ανεμογεννήτριες), το οποίο αναγκάζει τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται συνεχώς παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου. Το σύστημα προσανατολισμού βρίσκεται τοποθετημένο μεταξύ της ατράκτου και του πύργου στερέωσης. Οι μεγάλες μηχανές έχουν συνήθως έναν σερβοκινητήρα ο οποίος ελέγχεται από τον ανεμοδείκτη του ανεμογράφου και τις προσανατολίζει στην κατεύθυνση της μέγιστης αιολικής δύναμης.
- Τον πύργο, μέσα στον οποίο στερεώνεται η ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Ο πύργος είναι συνήθως μεταλλικός, σωληνωτός ή δικτυωτός και σπανίως από οπλισμένο σκυρόδεμα (μπετόν), ενώ το ύψος του είναι τέτοιο, ώστε ο αέρας που προσπίπτει στα πτερύγια της ανεμογεννήτριας να έχει ομαλή ροή και όχι τυρβώδη. Έτσι, μειώνεται ο θόρυβος στο ελάχιστο.
- Τον ηλεκτρικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη βάση του πύργου. Ο πίνακας ελέγχου ρυθμίζει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη λειτουργία της.



Εικόνα 3.8. Τα μηχανικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα.
 [Πηγή: http://www.less-co2.co.uk/endurance_wind_turbine_e-3120_50kw.asp]

Τα σημεία στα οποία επικεντρώνεται η έρευνα της βιομηχανίας κατασκευής ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα, και κυρίως μηχανών τύπου έλικα, είναι:

- Ο βέλτιστος σχεδιασμός του δρομέα, με σκοπό τη βελτίωση των χαρακτηριστικών λειτουργίας της μηχανής.
- Η συμπεριφορά του δρομέα σε ειδικές καταστάσεις, όπως η εκκίνηση, η επιτάχυνση, η επιβράδυνση, καθώς και άλλα δυναμικά φαινόμενα.
- Η ρύθμιση του βήματος των πτερυγίων και οι αντίστοιχοι αυτοματισμοί, που σχετίζονται με την έναρξη και την παύση λειτουργίας του ανεμοκινητήρα.
- Προσανεμισμός του άξονα του δρομέα προς την κατεύθυνση του ανέμου, ο οποίος επιτυγχάνεται είτε με τη χρήση καθοδηγητικού πτερυγίου, είτε με κατάλληλα αισθητήρια που καταγράφουν τη στιγμιαία διεύθυνση του ανέμου και προσανατολίζουν ηλεκτρονικά με τη χρήση σερβομηχανισμού την πτερωτή στη διεύθυνση του ανέμου.
- Προβλήματα αντοχής των υλικών που αφορούν την κατασκευή και την έδραση των πτερυγίων.
- Καθορισμός του ύψους του δρομέα επάνω από το έδαφος.
- Κατασκευή του πύργου στήριξης και θεμελίωσή του. Ο πύργος στήριξης πρέπει να συνδυάζει το κατάλληλο αεροδυναμικό σχήμα με τη σταθερότητα και την αντοχή σε χρονικά μεταβαλλόμενες καταπονήσεις.
- Μελέτη του πεδίου ροής πίσω από την πτερωτή και η επίδραση του ομόρου στο περιβάλλον καθώς και σε πιθανές επόμενες ανεμογεννήτριες.

Μέγεθος Α/Γ	Ισχύς εξόδου (kW)	Ύψος πύργου (m)	Διάμετρος ρότορα (m)	Επιφάνεια σάρωσης (m ²)
micro	Μικρότερη από 1	-	Μικρότερη από 1	Μικρότερη από 1
Μικρό	1 με 50	5 με 30	1 με 16	1 με 200
Μεσαίο	50 με 1000	30 με 70	16 με 55	200 με 2400
Μεγάλο	Πάνω από 1000	Πάνω από 50	Πάνω από 55	Πάνω από 2400

Εικόνα 3.9. Ταξινόμηση μεγεθών ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα
[Πηγή: ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ, <<Ανεμογεννήτριες>>, Γ.Κατσιγιάννης]

3.4.2. Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα

Τα μηχανικά μέρη των ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα (VAWT – Vertical Axis Wind Turbines) συμπίπτουν με αυτά των ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα. Η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι ο δρομέας των πρώτων παραμένει σταθερός και είναι κάθετος στην επιφάνεια του εδάφους. [8]

Τα πλεονεκτήματα των ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα είναι τα εξής:

- Δέχονται, σε αντίθεση με τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, τον άνεμο από οποιαδήποτε κατεύθυνση.
- Χρησιμοποιούνται σε οικιακές εφαρμογές όπου δεν είναι δυνατή η εγκατάσταση ψηλού πύργου (π.χ. ταράτσες) και σε περιοχές χαμηλότερου αιολικού δυναμικού ή και σε αστικές περιοχές.

- Είναι λιγότερο επιρρεπείς στις αναταραχές (turbulence), ειδικά αυτές που δημιουργούνται από εμπόδια του εδάφους (ground obstructions). Γι' αυτό είναι πιο κατάλληλες για αστικές εφαρμογές.
- Σχέδια χωρίς μηχανισμούς εκτροπής είναι πιθανά, για την περίπτωση δρομέα σταθερού βήματος (fixed pitch).
- Έχουν χαμηλότερες αρχικές ταχύτητες ανέμου, συγκριτικά με αυτές του οριζοντίου άξονα. Τυπικά, ξεκινούν να παράγουν ηλεκτρισμό στα 6 m.p.h. (10 km/h=2,78 m/sec).
- Μπορούν να τοποθετηθούν σε τοποθεσίες, όπου ψηλότερες δομές απαγορεύονται.
- Προκαλούν λιγότερο θόρυβο από αυτές του οριζοντίου άξονα.
- Έχουν συγκρίσιμο κόστος παραγωγής, μεταφοράς και εγκατάστασης σε σχέση με τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.

Τα μειονεκτήματα των VAWT είναι τα ακόλουθα:

- Εξαιτίας των αλλαγών στη διεύθυνση του ανέμου, μεταβάλλεται η φορά περιστροφής. Αυτή η ανατροπή προκαλεί μεταβολές στη ροπή στρέψης και επομένως αυξάνει την πιθανότητα αστοχίας λόγω κόπωσης.
- Παρουσιάζουν δυσκολία προσομοίωσης λόγω της παραμόρφωσης που προκαλείται στην ροή γύρω από το στροφέιο.
- Δεν έχουν αναπτυχθεί τόσο, εξαιτίας της εμφανούς χαμηλής αποδοτικότητας.
- Δεν είναι οικονομικά ανταγωνιστικές, έναντι των ανεμογεννητριών οριζοντίου άξονα, για εφαρμογές ανοιχτού πεδίου (open space).
- Δεν μπορούν να περιστραφούν μόνες τους (αντίθετα με ότι συμβαίνει με τους κινητήρες οριζοντίου άξονα) και, για να αρχίσουν να περιστρέφονται, πρέπει να υποστηρίζονται από κατάλληλο ηλεκτρικό κινητήρα.

Οι πλέον γνωστοί τύποι ανεμοκινητήρων κατακόρυφου άξονα είναι οι μηχανές τύπου "Darrieus" και οι μηχανές τύπου "Savonius".



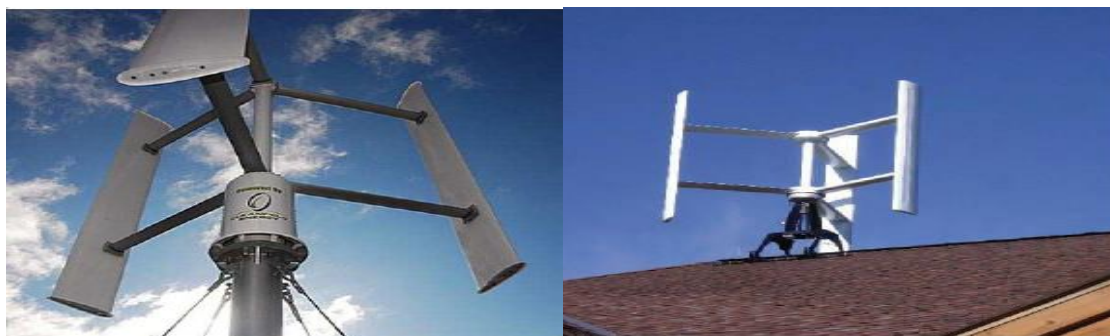
Εικόνα 3.10. Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, τύπου Darrieus (αριστερά) και τύπου Savonius (δεξιά). [Πηγές: <http://de.wikipedia.org/wiki/Darrieus-Rotor>, <http://www.helixwind.com>]

3.4.2.1. Ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα τύπου Darrieus

Ο σχεδιασμός της ανεμογεννήτριας καθέτου άξονα Darrieus έγινε από τον Γάλλο αεροναυπηγό George Jean Marie Darrieus, το 1931. Οι ανεμογεννήτριες τύπου Darrieus αποτελούνται από καμπτόμενα πτερύγια σχήματος Σ και λειτουργούν με τη χρήση των δυνάμεων άντωσης που ασκούνται πάνω σε αυτά. Η απόδοσή τους κρίνεται ως καλή σε σχετικά υψηλές ταχύτητες ανέμου. Τα πτερύγια τους μπορεί να είναι δύο, τρία ή και περισσότερα. Το γεγονός ότι στις πλείστες περιπτώσεις τα πτερύγια έχουν σχηνοειδή μορφή οφείλεται στην προσπάθεια ελαχιστοποίησης των μεγάλων καμπτικών τάσεων που δημιουργούνται λόγω των φυγοκεντρικών δυνάμεων κατά την περιστροφή. Αυτό συμβαίνει σε μεγάλες ανεμογεννήτριες. Σε μικρότερες, όπου οι φυγοκεντρικές δυνάμεις δεν είναι τόσο μεγάλες, τα πτερύγια είναι κατακόρυφα ή έχουν διάφορες μορφές ανάλογα με τις παραλλαγές του δρομέα. Τα πτερύγια τοποθετούνται σε διάταξη 180 ή 120 μοιρών. Η επιλογή του πλήθους των πτερυγίων πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή δεδομένου ότι ο διπτέρυγος δρομέας παρουσιάζει έντονη μεταβολή της ροπής με έντονες αποκλίσεις από τη μέση τιμή, ενώ αντίθετα η αεροδυναμική του τριπτέρυγου δρομέα είναι σχετικά σταθερή σε ολόκληρη την περιοχή λειτουργίας του. Επίσης η αεροδυναμική απόδοση του τριπτέρυγου δρομέα είναι κατά κανόνα καλύτερη από αυτής του διπτέρυγου. Βέβαια είναι προφανές ότι ο διπτέρυγος είναι πιο οικονομικός.

Η μηχανή αυτού του τύπου, κατά την εκκίνηση, δεν αναπτύσσει ικανοποιητική ροπή με αποτέλεσμα να μην εκκινεί χωρίς “βοήθεια”. Ένας τρόπος επίλυσης του προβλήματος αυτού είναι η εξωτερική διέγερση, δηλαδή η γεννήτρια να χρησιμοποιείται σαν κινητήρας περιστροφής του δρομέα. Μόλις ο δρομέας αποκτήσει την κατάλληλη ταχύτητα περιστροφής ώστε να αρχίσει να αποδίδει ενέργεια η γεννήτρια επαναφέρεται στην αρχική της κατάσταση. Εναλλακτικός τρόπος είναι η τοποθέτηση στον άξονα περιστροφής ενός μικρού δρομέα Savonius που χάρη στη μεγάλη ροπή εκκίνησης εξασφαλίζει εκκίνηση χωρίς προβλήματα.

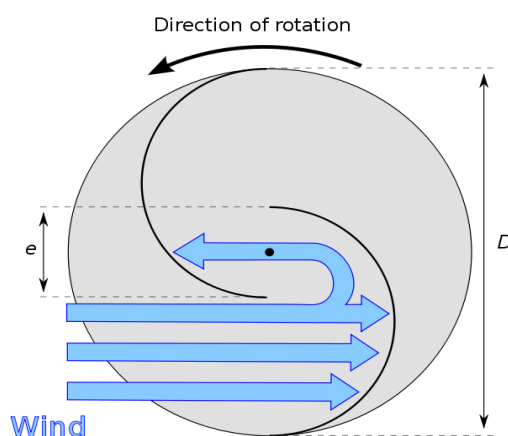
Παραλλαγή της ανεμογεννήτρια Darrieus είναι η Darrieus-H (βλ. Εικόνα 10), που έχει πάρει το όνομα της από το σχήμα της που θυμίζει το γράμμα Η. Η διαφορά της με την κλασική Darrieus είναι τα πτερύγια, τα οποία είναι κάθετα σε αυτήν την περίπτωση. Λόγω των κάθετων πτερυγίων η ταχύτητα περιστροφής μπορεί να είναι μεγαλύτερη και επομένως η απόδοση καλύτερη. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα του σχηματισμού αυτού είναι ότι με την σωστή επιλογή πτερυγίων, μπορεί να επιτευχτεί εκκίνηση χωρίς εξωτερική πηγή ενέργειας ή τη χρήση βοηθητικής Savonius.[9] , [10]



Εικόνα 3.11. Ανεμογεννήτριες Darrieus τύπου Η. [Πηγή: <http://www.greenenergyreporter.com>]

3.4.1.2. Ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα τύπου Savonius

Η ανεμογεννήτρια τύπου Savonius εφευρέθηκε από τον Φινλανδό μηχανικό Sigurd Johannes Savonius, το 1922. Είναι κατασκευή σχήματος 'S' (σε κάτοψη), η οποία εκμεταλλεύεται κυρίως την δύναμη της ιξώδους αντίστασης, ενώ στην παραγόμενη ισχύ συνεισφέρουν και κάποιες δυνάμεις άνωσης. Η περιστροφή του αεροκινητήρα Savonius οφείλεται στη διαφορά πίεσης που ασκείται μεταξύ της κοίλης και της κυρτής επιφάνειας των 2 πτερυγίων, καθώς και στο γεγονός ότι ανάμεσα στα 2 πτερύγια υπάρχει διάκενο (e) το οποίο επιτρέπει στον αέρα να εισχωρεί σε αυτό, αυξάνοντας έτσι την πίεση στο πίσω μέρος του κυρτού πτερυγίου και κατά συνέπεια την ροπή που αναπτύσσεται γύρω από τον άξονα της μηχανής.



Εικόνα 3.12. Λειτουργία ανεμογεννήτριας Savonius.

[Πηγή: <<DESIGN AND FABRICATION OF SAVONIUS VERTICAL AXIS WIND TURBINE>>, GOKARAJU RANGARAJU INSTITUTE OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY

Αρχικά αυτού του τύπου οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιήθηκαν για μετρήσεις των καιρικών συνθηκών και για άντληση νερού. Έχουν το πλεονέκτημα της εύκολης κατασκευής και του μικρού οικονομικού κόστους. Επίσης, σε σύγκριση με τις μηχανές Darrieus, πλεονεκτούν στο γεγονός ότι δεν χρειάζονται υποβοήθηση για να ξεκινήσουν καθώς έχουν μεγάλη ροπή εκκίνησης. Τα προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την χρήση τους είναι η μικρή σχετικά τους απόδοση, η μικρή αντοχή που έχουν σε μεγάλες ταχύτητες του ανέμου και το γεγονός ότι η στιβαρότητά τους πλησιάζει την μονάδα, πράγμα που σημαίνει ότι είναι βαριές κατασκευές σε σύγκριση με την ισχύ που παράγουν. Η απόδοσή τους στις περισσότερες περιπτώσεις δεν ξεπερνάει το 0.18, αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις όπου ο συντελεστής απόδοσής τους μετρήθηκε κοντά στο 0.3. Η ισχύς που παράγουν είναι κάτω των 100W γι' αυτό και η χρήση τους προωθείται κυρίως για οικιακούς σκοπούς και για παραγωγή ενέργειας σε υποανάπτυκτες χώρες και απομακρυσμένες περιοχές.

Η μέγιστη ισχύς της μηχανής αυτής δίνεται από τη σχέση: [9]

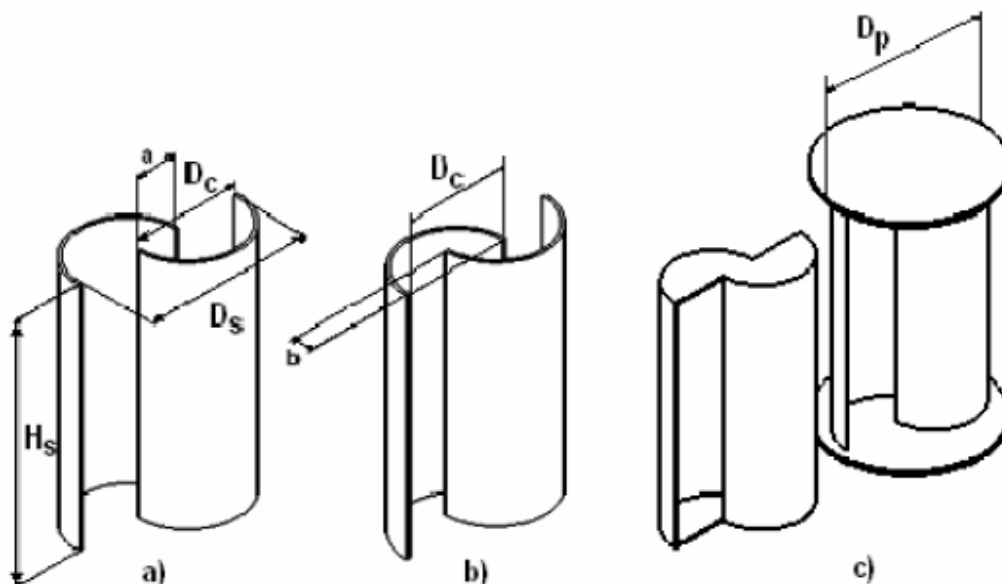
$$P_{\max} = 0.36 \text{ kg m}^{-3} \cdot h \cdot r \cdot v^3$$
, όπου h και r είναι το ύψος και η ακτίνα του στροφείου, αντίστοιχα, και v η ταχύτητα του ανέμου.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (Εικόνα 3.13) όπως το χάσμα διαχωρισμού των πτερυγίων (separation gap), ο λόγος επικάλυψης (overlap ratio) και η αναλογία προσανατολισμού (aspect ratio) είναι καθοριστικής σημασίας για την επίτευξη της βέλτιστης απόδοσης του ρότορα. Οι παράμετροι αυτοί καθορίζονται μέσω των ακόλουθων σχέσεων: [8] , [9]

$$\text{Λόγος Όψης (AspectRatio - AR): AR} = \frac{H_S}{D_S}$$

$$\text{Λόγος Επικάλυψης (OverlapRatio - OR): OR} = \frac{a}{D_C}$$

$$\text{Διαφορά Διαχωρισμού (SeparationGap - SG): SG} = -\frac{b}{D_C}$$



Εικόνα 3.13. Βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας Savonius.

[Πηγή: «Wind Turbine Design—With Emphasis on Darrieus Concept», I. Paraschivoiu, 2002]

Ο λόγος επικάλυψης OR όταν είναι θετικά προσημασμένος υποδηλώνει ότι υπάρχει επικάλυψη στα περιγράμματα των πτερυγίων. Αντίστοιχα, για θετικές τιμές της διαφοράς διαχωρισμού SG, το περίγραμμα της επιφάνειας ενός πτερυγίου δεν διεισδύει στην διάμετρο του απέναντι ημικυκλικού πτερυγίου. Επομένως, ο ρότορας που παρουσιάζεται στην Εικόνα 12α χαρακτηρίζεται από θετική επικάλυψη και μηδενική διαφορά, ενώ αυτός της Εικόνας 5.6.b παρουσιάζει αρνητική διαφορά. Πολυάριθμα πειράματα έδειξαν ότι η βέλτιστη απόδοση όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση επιτυγχάνεται για $AR \approx 4$, $OL = 20 \div 25\%$, $SG = 0 \div (-5)\%$

3.5. Τρόποι λειτουργίας ανεμογεννητριών

Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι λειτουργίας των συστημάτων μετατροπής της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική : η μέθοδος λειτουργίας σταθερής ταχύτητας (fixed speed) και η μέθοδος λειτουργίας μεταβλητής ταχύτητας (variable speed).

3.5.1. Σταθερής ταχύτητας ανεμογεννήτριες

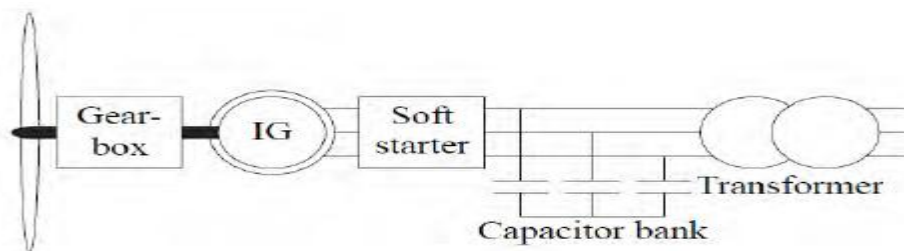
Οι ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας είναι εξοπλισμένες με μία επαγωγική γεννήτρια, είτε βραχυκυκλωμένου κλωβού (squirrel cage) είτε δακτυλιοφόρου δρομέα (wound rotor), η οποία συνδέεται απευθείας με το ηλεκτρικό δίκτυο μέσω μιας διάταξης ομαλής εκκίνησης (soft starter) και μιας συστοιχίας πυκνωτών (capacitor bank) για τη μείωση της κατανάλωσης αέργου ισχύος (Εικόνα 13). Ανεξάρτητα από την ταχύτητα του ανέμου, η ταχύτητα του δρομέα είναι σταθερή και καθορίζεται από τη συχνότητα του δικτύου παροχής, την αναλογία του κιβωτίου ταχυτήτων (gear ratio) και το σχεδιασμό της γεννήτριας. Οι ανεμογεννήτριες αυτές σχεδιάζονται έτσι ώστε να παρουσιάζουν μέγιστη αεροδυναμική απόδοση σε μια συγκεκριμένη ταχύτητα του ανέμου. Προκειμένου να αυξηθεί η παραγωγή ισχύος, η γεννήτρια ορισμένων ανεμογεννητριών σταθερής ταχύτητας έχει διπλά τυλίγματα στάτη. Το ένα χρησιμοποιείται σε χαμηλές αιολικές ταχύτητες (τυπικά, 8 πόλοι) και το άλλο σε μεσαίες και υψηλές αιολικές ταχύτητες (τυπικά, 4-6 πόλοι).

Οι ανεμογεννήτριες αυτού του τύπου είναι απλές κατασκευαστικά, στιβαρές, αξιόπιστες και το κόστος των ηλεκτρικών τους μερών είναι χαμηλό αφού για τη σύνδεση τους με το δίκτυο δεν απαιτούνται και δεν παρεμβάλλονται ηλεκτρονικοί μετατροπείς κι αντιστροφείς. Παρ' όλα αυτά παρουσιάζουν μεταβατικά φαινόμενα κατά τις διαδικασίες εκκίνησης και ζεύξης - απόζευξης, μηχανική καταπόνηση των μερών τους και αυξημένη μεταβλητότητα της ισχύος εξόδου. Στις αρχές της δεκαετίας '90 οι εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες λειτουργούσαν υπό σταθερή ταχύτητα.

Η ταχύτητα του δρομέα, η οποία παραμένει σταθερή και πρακτικά ίση με τη σύγχρονη, δίδεται από την παρακάτω σχέση. [11]

$$N_s = \frac{120 \cdot f_s}{p} \quad , \quad \text{όπου:}$$

- N_s , η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα (rpm)
- f_s , η συχνότητα στο στάτη, η οποία ισούται με τη συχνότητα του δικτύου ($f_s=50Hz$)
- p , ο αριθμός των πόλων της γεννήτριας (πάντα ζυγός) [7]



Εικόνα 3.14. Αναπαράσταση ανεμογεννήτριας σταθερής ταχύτητας με επαγωγική γεννήτρια.

3.5.2. Μεταβλητής ταχύτητας ανεμογεννήτριες

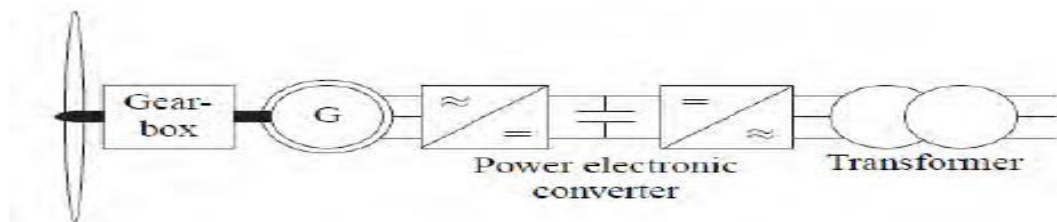
Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, η ανεμογεννήτρια μεταβλητής ταχύτητας έχει γίνει ο κυρίαρχος τύπος μεταξύ των εγκατεστημένων ανεμογεννητριών. Οι ανεμογεννήτριες αυτού του τύπου είναι κατάλληλα σχεδιασμένες ώστε να προσεγγίζουν την μέγιστη αεροδυναμική απόδοση σε ένα ευρύ φάσμα αιολικών ταχυτήτων. Με τη λειτουργία μεταβλητής ταχύτητας έχει καταστεί δυνατή η συνεχής προσαρμογή (επιτάχυνση ή επιβράδυνση) της ταχύτητας περιστροφής ω της ανεμογεννήτριας με την αιολική ταχύτητα u . Κατ' αυτό τον τρόπο, ο λόγος ταχύτητας ακροπερυγίου λ διατηρείται σταθερός σε μία προκαθορισμένη τιμή, η οποία αντιστοιχεί στο μέγιστο συντελεστή ισχύος C_p . Σε αντίθεση με ένα σύστημα σταθερής ταχύτητας, ένα σύστημα μεταβλητής ταχύτητας διατηρεί τη ροπή της γεννήτριας σχεδόν σταθερή και οι διακυμάνσεις του ανέμου απορροφώνται από τις αλλαγές στην ταχύτητα της γεννήτριας. Το ηλεκτρικό σύστημα μίας ανεμογεννήτριας μεταβλητής ταχύτητας είναι πιο πολύπλοκο από εκείνο μίας ανεμογεννήτριας σταθερής ταχύτητας. Είναι συνήθως εξοπλισμένη με μία επαγωγική ή σύγχρονη γεννήτρια και συνδέεται με το δίκτυο μέσω ενός μετατροπέα ισχύος και ειδικών φίλτρων τα οποία εμποδίζουν τη διοχέτευση αρμονικών παραμορφώσεων σε αυτό (Εικόνα 14). Ο μετατροπέας ισχύος (inverter) ελέγχει την ταχύτητα του δρομέα, αποδεσμεύοντας την ανεμογεννήτρια από τη συχνότητα του δικτύου επιτρέποντάς της έτσι να κυμαίνεται σε μεγάλα διαστήματα συχνοτήτων με σκοπό τη βέλτιστη λειτουργία. Επιπροσθέτως, ο inverter επιτυγχάνει την ομαλή σύνδεση στο δίκτυο με την προσαρμογή της ισχύος εξόδου στην ονομαστική συχνότητα του δικτύου.

Τα πλεονεκτήματα των ανεμογεννητριών μεταβλητής ταχύτητας είναι η αυξημένη δέσμευση ενέργειας, η βελτιωμένη ποιότητα ισχύος και η μειωμένη μηχανική καταπόνηση της ανεμογεννήτριας. Αντίθετα, μειονεκτούν λόγω των απωλειών στα ηλεκτρονικά ισχύος, της χρήσης περισσότερων εξαρτημάτων, καθώς και του αυξημένου κόστους του εξοπλισμού εξαιτίας των ηλεκτρονικών ισχύος.

Στις ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας η συχνότητα f_s του στάτη μεταβάλλεται κι ελέγχεται από τον αντιστροφέα, ο οποίος μεταβάλλει τις στροφές της ανεμογεννήτριας σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση. [11]

$$N_s = \frac{60 \cdot v_w \cdot \lambda}{2\pi \cdot R} \quad , \quad \text{όπου:}$$

- v_w , η ταχύτητα του ανέμου
- λ , ο λόγος ταχυτήτων ακροπερυγίου (tip speed ratio)
- R , η ακτίνα των πτερυγίων



Εικόνα 3.15. Αναπαράσταση ανεμογεννήτριας μεταβλητής ταχύτητας με σύγχρονη ή επαγωγική γεννήτρια.

3.6. Οι συνηθέστεροι τύποι γεννητριών

Οι περισσότεροι και μεγαλύτεροι παραγωγοί ανεμογεννητριών στον κόσμο κατασκευάζουν μεταβλητής ταχύτητας ανεμογεννήτριες, με έλεγχο γωνίας βήματος πτερυγίων. Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος τύπος γεννήτριας είναι οι επαγωγικές γεννήτριες, ενώ σε πολύ μικρό ποσοστό, που όμως τελευταία παρουσιάζει κάποιες αυξητικές τάσεις, χρησιμοποιούνται σύγχρονες γεννήτριες με μόνιμο μαγνήτη. Σήμερα, στη διεθνή αγορά των ανεμογεννητριών, κυρίαρχος τύπος ανεμογεννήτριας (σε ποσοστό μεγαλύτερο του 70%) είναι αυτός με διπλά τροφοδοτούμενη επαγωγική μηχανή (DFIG), με μεταβλητή ταχύτητα και μεταβλητό έλεγχο γωνίας κλίσης των πτερυγίων. Γενικά, για ισχύς της τάξης των MW, μία ανεμογεννήτρια μπορεί να εξοπλιστεί με οποιονδήποτε τύπο τριφασικής γεννήτριας.

3.6.1. Ασύγχρονες (επαγωγικές) γεννήτριες

Πρόκειται για τον πιο γνωστό τύπο γεννήτριας που χρησιμοποιείται αυτή τη στιγμή σε ανεμογεννήτριες. Κυρίαρχο γνώρισμα του κινητήρα αυτού αποτελεί η αξιοπιστία του σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος παραγωγής του. Στα πλεονεκτήματά του συγκαταλέγονται, επίσης, η αυξημένη δυνατότητα ολίσθησης, η ικανότητα υπερφόρτωσης και η απλότητα στο μηχανικό κομμάτι. Το κύριο μειονέκτημά της έγκειται στο γεγονός ότι ο στάτης χρειάζεται ένα άεργο ρεύμα μαγνήτισης δεδομένου ότι μία ασύγχρονη γεννήτρια δεν περιέχει μόνιμους μαγνήτες και επομένως δεν διεγείρεται χωριστά. Γι' αυτό το λόγο, λαμβάνει το ρεύμα διέγερσης από άλλη πηγή καταναλώνοντας έτσι άεργη ισχύ. Η ισχύς αυτή μπορεί να παρέχεται είτε από το δίκτυο είτε από ένα κατάλληλο σύστημα ηλεκτρονικών ισχύος. Το μαγνητικό πεδίο της γεννήτριας εγκαθίσταται, μόνο εφόσον αυτή είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο.

Στην περίπτωση της AC διέγερσης, το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στρέφεται με μία ταχύτητα που εξαρτάται από τον αριθμό των πόλων στο τύλιγμα και τη συχνότητα του ρεύματος, δηλαδή τη σύγχρονη ταχύτητα. Έτσι, εάν ο δρομέας περιστρέφεται με μία ταχύτητα που ξεπερνά τη σύγχρονη ταχύτητα, επάγεται ένα ηλεκτρικό πεδίο ανάμεσα στον δρομέα και το στρεφόμενο πεδίο του στάτη από μία σχετική κίνηση (ολίσθηση), γεγονός που προκαλεί ένα ρεύμα στα τυλίγματα του δρομέα. Η αλληλεπίδραση μεταξύ του μαγνητικού πεδίου του δρομέα και του πεδίου του στάτη έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ροπής στον δρομέα. Ο δρομέας μίας επαγωγικής γεννήτριας μπορεί να είναι βραχυκυκλωμένος κλωβός ή δακτυλιοφόρος δρομέας.

3.6.2. Σύγχρονες γεννήτριες

Η γεννήτρια αυτή είναι πολύ πιο ακριβή και μηχανολογικά πιο πολύπλοκη από μία επαγωγική γεννήτρια αντίστοιχου μεγέθους. Παρ' όλα αυτά, έχει ένα ξεκάθαρο πλεονέκτημα σε σχέση με την επαγωγική γεννήτρια, ότι δηλαδή δεν χρειάζεται άεργο ρεύμα μαγνήτισης.

Το μαγνητικό πεδίο στη σύγχρονη γεννήτρια μπορεί να δημιουργηθεί με τη χρήση μόνιμων μαγνητών ή με ένα συμβατικό τύλιγμα πεδίου. Εάν η σύγχρονη γεννήτρια

έχει ένα κατάλληλο αριθμό πόλων (πολυπολική σύγχρονη γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα ή μονίμου μαγνήτη), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές απευθείας οδήγησης χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων.

Είναι η καταλληλότερη για έλεγχο πλήρους ισχύος, μιας και συνδέεται στο δίκτυο, συνεπικουρικά με τη χρήση ενός ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος. Ο μετατροπέας έχει δύο πρωταρχικούς στόχους :

A) να λειτουργεί ως ένας ρυθμιστής ενέργειας για τις διακυμάνσεις ισχύος, που προκαλούνται από μία εγγενή αιολική ενέργεια ριπών, καθώς και για τα μεταβατικά φαινόμενα που προέρχονται από την πλευρά του δικτύου.

B) να ελέγχει την μαγνήτιση και να αποφεύγει προβλήματα, παραμένοντας σύγχρονος με τη συχνότητα του δικτύου. Μία τέτοια γεννήτρια επιτρέπει την λειτουργία των ανεμογεννητριών σε μεταβλητή ταχύτητα.

Δύο κλασικοί τύποι σύγχρονων γεννητριών που χρησιμοποιούνται συχνά στην βιομηχανία των ανεμογεννητριών, είναι η σύγχρονη γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα (WRSG) και η σύγχρονη γεννήτρια μονίμου μαγνήτη (PMSG).

3.7. Ο λόγος της ταχύτητας ακροπτερυγίου, λ

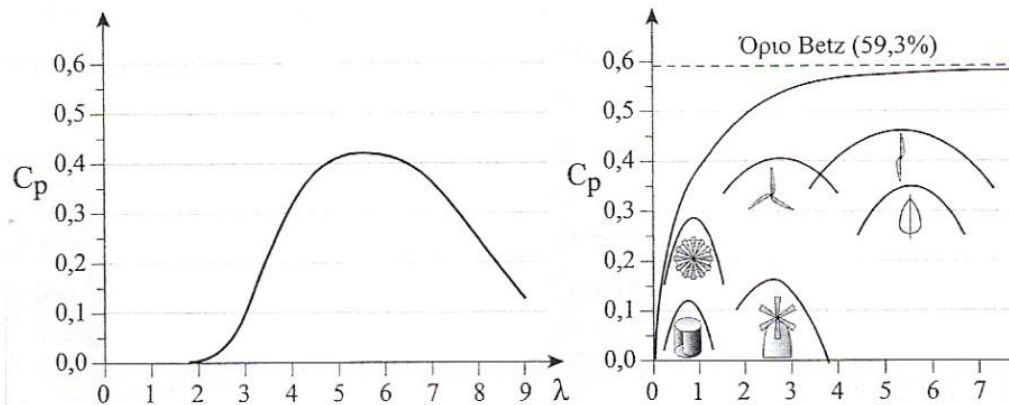
Το πλήθος των πτερυγίων και η συχνότητα περιστροφής τους αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για την αποδιδόμενη μηχανική ισχύ από την πτερωτή. Πυκνή διάταξη των πτερυγίων σε συνδυασμό με μεγάλη συχνότητα περιστροφής ή αραιά διατεταγμένα πτερύγια σε συνδυασμό με χαμηλή συχνότητα περιστροφής, οδηγούν σε μείωση του συντελεστή μηχανικής απόδοσης της αιολικής μηχανής. Για τη μελέτη της απόδοσης της ορίζεται μια παράμετρος λ , ως το πηλίκο της γραμμικής ταχύτητας περιστροφής του άκρου του πτερυγίου $u_{\alpha\kappa\rho} = \omega \cdot R$, προς την ταχύτητα του ανέμου u , στο σημείο εκείνο, αν δεν υπήρχε η διατάραξη ροής που προκαλείται από την πτερωτή. Δηλαδή:[12]

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{u}$$

Η απόδοση της αιολικής μηχανής, δηλαδή, εξαρτάται από την παράμετρο λ και την γωνία προσβολής του πτερυγίου από τον άνεμο. Μάλιστα, ο συντελεστής, ως συνάρτηση του λ , εμφανίζει μέγιστο εξαρτώμενο από το πλήθος των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας. Με απλούς συλλογισμούς αποδεικνύεται ότι:

$$\lambda = \frac{4 \cdot \pi}{n}$$

Η μέγιστη τιμή λ_0 , εξαρτάται, κατά κύριο λόγο, από το πλήθος n των πτερυγίων της πτερωτής. Ο λόγος ταχύτητας ακροπτερυγίων λ αποτελεί σημαντικότερη παράμετρο για τη μελέτη και το σχεδιασμό της πτερωτής μιας ανεμογεννήτριας. Εξαρτάται από την ακτίνα του κύκλου των πτερυγίων, την ταχύτητα του ανέμου και τη συχνότητα περιστροφής του κινητήρα της ανεμογεννήτριας. Η παρακάτω εικόνα δίνει την τυπική μορφή της εξάρτησης του από τις τιμές του λ όπως επίσης δίνονται οι γραφικές παραστάσεις της εξάρτησης της μηχανικής απόδοσης της αιολικής μηχανής, ανάλογα με τον τύπο, το πλήθος και τη διαμόρφωση των πτερυγίων της .



Εικόνα 3.16.(α) Τυπική μορφή του συντελεστή απόδοσης πτέρυγας για δίπτερες ανεμογεννήτριες, (β) γραφική παράσταση του σε διάφορες περιπτώσεις πτερυγίων (Δίπτερη, τρίπτερη, πολύπτερη, κατακόρυφου άξονα και πτερυγίων ανεμόμυλου). Η περιοχή γύρω από το μέγιστο διαφέρει σε κάθε περίπτωση.[Πηγή: «Ανεμοκινητήρες», Γ. Μπεργελές, 2005]

3.8. Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας

Η καμπύλη ισχύος – ταχύτητας (power curve) είναι η συνεχής συνάρτηση η οποία προσδιορίζει την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από την ανεμογεννήτρια συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου. Η καμπύλη αυτή εξαρτάται από διάφορες ιδιότητες της ανεμογεννήτριας όπως η επιφάνεια σάρωσης της φτερωτής, η αεροδυναμική καθώς και από τις αποδόσεις των κιβωτίων ταχυτήτων και της μηχανής. Συνήθως η καμπύλη αυτή δίνεται από τους κατασκευαστές.

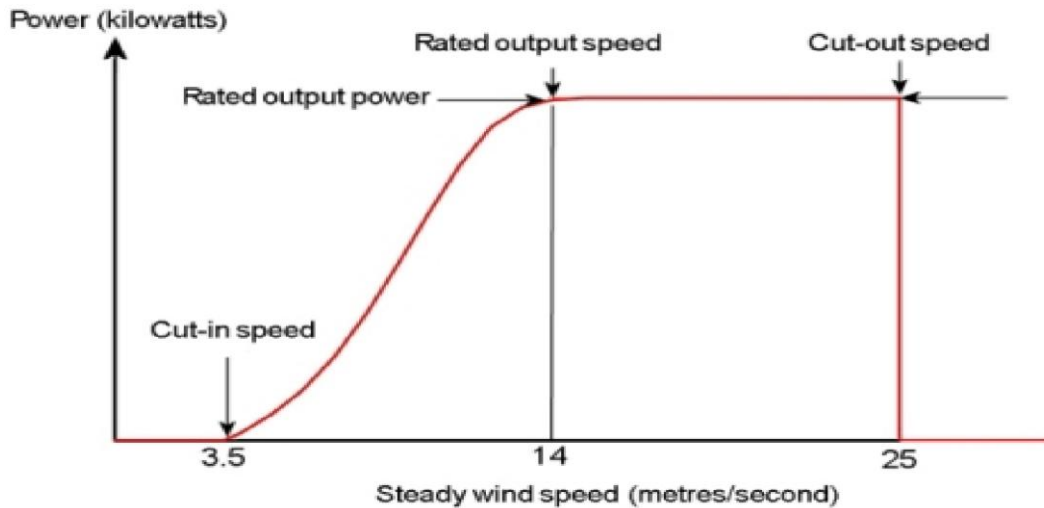
Η καμπύλη ισχύος αποτελεί το σημαντικότερο γνώρισμα κάθε ανεμογεννήτριας και λειτουργεί ως μέσο σύγκρισης διαφορετικών ανεμογεννητριών. Αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στην διαδικασία επιλογής της καταλληλότερης ανεμογεννήτριας συγκεκριμένης τεχνολογίας για μία συγκεκριμένη τοποθεσία, αφού διαφορετικές κατανομές ανέμου προκαλούν διαφορετικές συμπεριφορές από τις ανεμογεννήτριες, άρα και διαφορετική παραγωγή ενέργειας.

Στην πραγματικότητα η ανεμογεννήτρια εκμεταλλεύεται ένα ποσοστό από την ισχύ του ανέμου. Το ποσοστό αυτό καθορίζεται από τον συντελεστή ισχύος C_p ο οποίος εκφράζει τον αεροδυναμικό βαθμό της πτερωτής και εξαρτάται από το λόγο ταχύτητας ακροπτερυγίου λ και από τη γωνία κλίσης (pitch) των πτερυγίων, εάν υπάρχει. Ακόμα και για μια ιδανική πτερωτή, ο συντελεστής ισχύος δεν μπορεί να υπερβεί το όριο του Betz (59,3%), καθώς επηρεάζεται μειωτικά από παράγοντες όπως η αναπόφευκτη καθυστέρηση λόγω του γαω του δρομέα, η μεταβολή της ποιότητας της επιφάνειας των πτερυγίων και λόγω του φαινομένου της σκίασης του πύργου (tower shadow).

Η ισχύς P που αποδίδει η ανεμογεννήτρια προκύπτει τελικά από τη σχέση: [13]

$$P = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot \eta_{H/M}$$

όπου $\eta_{H/M}$ είναι ο ηλεκτρικός και μηχανικός βαθμός απόδοσης της ανεμογεννήτριας, ρ η πυκνότητα του ανέμου, A η επιφάνεια σάρωσης και V η ταχύτητα του ανέμου.



Εικόνα 3.17. Τυπική ισχύς εξόδου ανεμογεννήτριας για σταθερή ταχύτητα ανέμου.
[Πηγή: <http://www.wind-power-program.com/popups/powercurve.htm>]

Εκτός από τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, υπάρχουν πρόσθετοι περιορισμοί που μειώνουν σημαντικά το πραγματικά αξιοποιήσιμο αιολικό δυναμικό μιας περιοχής από μία ανεμογεννήτρια:

- Για μικρές ταχύτητες ανέμου η ανεμογεννήτρια δεν περιστρέφεται διότι οι απώλειες κενού φορτίου (τριβές στον άξονα, μειωτήρα, κλπ) είναι μεγαλύτερες από την παραγόμενη ισχύ της μηχανής. Η ταχύτητα στην οποία αρχίζει η λειτουργία της ανεμογεννήτριας ονομάζεται ταχύτητα έναρξηςλειτουργίας V_{in} ($V_{in} = 2\div 5$ m/sec)
- Από μια τιμή της ταχύτητας του ανέμου και μετά η ωφέλιμη ισχύς της ανεμογεννήτριας παραμένει για λειτουργικούς λόγους περίπου σταθερή, με αποτέλεσμα να χάνεται ένα σημαντικό μέρος της ενέργειας του ανέμου, ιδιαίτερα σε υψηλές ταχύτητες. Η μικρότερη ταχύτητα του ανέμου η οποία αντιστοιχεί στην ονομαστική ισχύ της μηχανής ονομάζεται ονομαστικήταχύτητα λειτουργίας V_r (συνήθως $V_r = 10\div 15$ m/sec)
- Για λόγους ασφαλείας της εγκατάστασης και αποφυγής μεγάλων καταπονήσεων των υδραυλικών μερών της ανεμογεννήτριας, κυρίως των πτερυγίων, επιβάλλεται η διακοπή λειτουργίας της μηχανής σε πολύ υψηλές ταχύτητες ανέμου. Η ταχύτητα διακοπήςλειτουργίας V_{out} κυμαίνεται μεταξύ 20 m/sec και 25 m/sec

3.9. Αεροδυναμικός έλεγχος ισχύος ανεμογεννητριών

Όλες οι ανεμογεννήτριες περιλαμβάνουν κάποιο είδος ελέγχου της παραγόμενης ισχύος. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ελέγχου οι οποίοι αποσκοπούν στον περιορισμό της επίδρασης των αεροδυναμικών δράσεων πάνω στον δρομέα της μηχανής. Κοινός στόχος τους αποτελεί ο περιορισμός της παρεχόμενης ισχύος κατά την διάρκεια ισχυρών ανέμων, προκειμένου να αποφευχθούν τυχόν βλάβες στην ανεμογεννήτρια. Διακρίνονται τρεις βασικοί τρόποι ελέγχου των πτερυγίων οι οποίοι αναλύονται παρακάτω.[7] , [14]

3.9.1 Έλεγχος βήματος πτερυγίων (pitch control)

Ο έλεγχος βήματος (ενεργός έλεγχος) είναι ο πιο συνηθισμένος τρόπος ελέγχου της αεροδυναμικής ισχύος που παράγεται από το δρομέα της ανεμογεννήτριας. Βασίζεται στην δυνατότητα περιστροφής των πτερυγίων κατά τον διαμήκη άξονά τους, ώστε να είναι δυνατός ο έλεγχος της γωνίας πρόσπτωσης του ανέμου και κατά προέκταση της απορριφθείσας αεροδυναμικής ισχύος από το δρομέα. Σε αυτού του τύπου πτερύγια ο αεροδυναμικός συντελεστής ισχύος C_p αποτελεί συνάρτηση εκτός του λ και της γωνίας pitch. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του ελέγχου αυτού αποτελεί το γεγονός ότι σε υψηλές ταχύτητες ανέμου η μέση τιμή (mean value) της ισχύος εξόδου διατηρείται κοντά στην ονομαστική ισχύ της γεννήτριας. Άλλα συγκριτικά πλεονεκτήματα είναι η δυνατότητα υποβοήθησης κατά την εκκίνηση (με κατάλληλη στροφή των πτερυγίων προς τον άνεμο), η καλύτερη απόδοση σε χαμηλής ταχύτητας ανέμους και η γενικότερη μείωση των φορτίων κόπωσης στο σύστημα της ανεμογεννήτριας. Στον αντίποδα, στα μειονεκτήματα συγκαταλέγονται η πολυπλοκότητα της κατασκευής η οποία προκύπτει από τον μηχανισμό των στρεφόμενων πτερυγίων και οι υψηλές διακυμάνσεις της ισχύος σε υψηλές ταχύτητες ανέμου. Η στιγμιαία ισχύς θα κυμαίνεται γύρω από την ονομαστική μέση τιμή της ισχύος, εξαιτίας των ριπών (σφοδρών ανέμων) και της περιορισμένης ταχύτητας του μηχανισμού περιστροφής των πτερυγίων.

3.9.2. Έλεγχος παθητικής απώλειας στήριξης (passive stall control)

Αποτελεί την απλούστερη, πιο αξιόπιστη και φθηνότερη μέθοδο ελέγχου. Οι ανεμογεννήτριες, με αεροδυναμικό έλεγχο (*stall control*) της ροής και της ισχύος, διαθέτουν πτερύγια τα οποία είναι βιδωμένα πάνω στην πλήμνη (στον άξονα, δηλαδή, της ανεμογεννήτριας) υπό σταθερή γωνία. Ο αεροδυναμικός σχεδιασμός του δρομέα είναι τέτοιος ώστε να προκαλεί την απώλεια στήριξης στο δρομέα (απώλεια ισχύος), όταν η ταχύτητα του ανέμου υπερβεί ένα ορισμένο επίπεδο. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η αναπτυσσόμενη ροπή κι άρα η παραγόμενη ισχύς. Τύπος παθητικού stall αποτελεί και το furling, το οποίο απαντάται συχνά στις μικρές ανεμογεννήτριες. Σε αυτή την περίπτωση ο περιορισμός της ισχύος επιτυγχάνεται με την αλλαγή της γωνίας πρόσπτωσης της κύριας κατεύθυνσης ανέμου στη φτερωτή, μέσω της ουράς που διαθέτουν αυτού του τύπου οι ανεμογεννήτριες. Στα θετικά αυτών των πτερυγίων περιλαμβάνονται, επίσης, η ελάχιστη ανάγκη συντήρησής τους και οι λιγότερες διακυμάνσεις στην ισχύ σε σύγκριση με μία ρύθμιση ισχύος με γρήγορη μεταβολή της γωνίας των πτερυγίων. Τα κύρια μειονεκτήματα τους είναι τα υψηλότερα δυναμικά φορτία που δέχεται ο δρομέας κι η αδυναμία ελέγχου και ρύθμισης της ισχύος εξόδου. Επιπλέον, υπάρχει ελλιπής κατανόηση του δυναμικού φαινομένου *stall* κι είναι δυνατόν να εμφανιστούν μεταβολές της καμπύλης ισχύος με την πάροδο του χρόνου.

3.9.3. Έλεγχος ενεργητικής απώλειας στήριξης (active stall control)

Ο έλεγχος *activeshall*, ο οποίος αποτελεί συνδυασμό των δύο παραπάνω ελέγχων, βασίζεται στην ίδια αρχή με αυτή του pitch δηλαδή στον έλεγχο της γωνίας βήματος των πτερυγίων. Η διαφορά του έγκειται στην αξιοποίηση της απώλειας της

αεροδυναμικής στήριξης (*stall*) των πτερυγίων με σκοπό να αποφεύγονται τα μεγάλα δυναμικά φορτία και οι διακυμάνσεις της ισχύος, απόρροιες του κλασσικού ελέγχου βήματος των πτερυγίων.

Σε χαμηλές αιολικές ταχύτητες τα πτερύγια στρέφονται με τον ίδιο τρόπο όπως σε μία ανεμογεννήτρια με έλεγχο γωνίας βήματος, προκειμένου να επιτευχθεί μέγιστη απόδοση. Σε μεγάλες ταχύτητες ανέμου, όμως, τα πτερύγια στρέφονται ελάχιστα σε κατεύθυνση αντίθετη από αυτή μίας ανεμογεννήτριας με έλεγχο γωνίας βήματος, μειώνοντας κατά αυτόν τον τρόπο το πλεόνασμα της αεροδυναμικής ισχύος που απορροφάται από την έλικα. Η ανεμογεννήτρια με ενεργό έλεγχο απώλειας στήριξης επιτυγχάνει γενικά μεγαλύτερη παραγωγή ισχύος από τον παθητικό έλεγχο, αφού η γωνιά των πτερυγίων βελτιστοποιείται σύμφωνα με τον πνέοντα άνεμο. Επιπλέον, η ικανότητα των πτερυγίων να αλλάζουν μέχρι και 90 μοίρες τη γωνία τους (*feathering*) μειώνει την ύπαρξη χαρακτηριστικά μεγάλων φορτίων κόπωσης, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής τους. Με τη ρύθμιση της γωνίας των πτερυγίων πραγματοποιείται ομαλότερα η έγχυση ισχύος στο δίκτυο κατά την ταχύτητα ένταξης αλλά και η διακοπή παροχής ισχύος κατά το "κλείσιμο" της ανεμογεννήτριας στην ταχύτητα αποκοπής (*cut-off speed*), έχοντας ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μικρότερου θορύβου στο δίκτυο σε αυτές τις δύο ακραίες περιπτώσεις. Ο έλεγχος αυτός χρησιμοποιείται κυρίως σε μεγάλης ονομαστικής ισχύος ανεμογεννήτριες της τάξεως των MW.

3.10. Ετήσια αναμενόμενη ενεργειακή παραγωγή

Πριν την εγκατάσταση μίας ανεμογεννήτριας, είναι δυνατό να υπολογιστεί η αναμενόμενη ετήσια ενεργειακή της παραγωγή, δηλαδή το δυνητικό ποσό ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο θα παραχθεί στη διάρκεια ενός έτους, με βάση τα ανεμολογικά δεδομένα μιας περιοχής και την καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας. Επιπροσθέτως, ο υπολογισμός αυτός μπορεί να πραγματοποιηθεί, με μεγαλύτερη μάλιστα ακρίβεια, και μετά την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας μέσω της μέτρησης της πραγματικής καμπύλης ισχύος της τελευταίας. Αναφέρεται ο όρος πραγματική καμπύλη ισχύος, διότι συχνά οι κατασκευαστικές καμπύλες ισχύος, οι οποίες συνοδεύουν μία ανεμογεννήτρια, είναι πλασματικές κι εξιδανικευμένες σε σχέση με την πραγματική συμπεριφορά της. Συνήθως, ο υπολογισμός αυτός πραγματοποιείται για τη διάρκεια ενός έτους και για αυτό έχει καθιερωθεί ο όρος ετήσια αναμενόμενη ενεργειακή παραγωγή (Ετήσια ΑΕΠ), η οποία δίδεται από την παρακάτω σχέση.[13]

$$E = \frac{8760}{100} \cdot \sum_{V_{cut-in}}^{V_{cut-out}} P_{el}(v_w) \cdot H(v_w)$$

Όπου,

- E , η ετήσια αναμενόμενη ενεργειακή παραγωγή (kWh)
- $h = 8760$, οι ώρες ενός έτους
- P_{el} , η ηλεκτρική ισχύς εξόδου της Α/Γ (kW)
- H , η διακριτή και συνεχής κατανομή του ανέμου σε ποσοστά % (όταν δεν είναι γνωστά αρκετά στοιχεία, λαμβάνεται ως Rayleigh)

Πέραν της ετήσιας ΑΕΠ, υπάρχουν κι άλλοι δείκτες σχετικοί με την απόδοση μίας ανεμογεννήτριας ή ενός αιολικού πάρκου. Αρχικά, αναφέρουμε τον συντελεστή χρησιμοποίησης (capacity factor) ο οποίος ουσιαστικά εκφράζει το ποσοστό του έτους κατά το οποίο μία ανεμογεννήτρια παράγει την ονομαστική ισχύ. Η αξιοποίηση του συντελεστή χρησιμοποίησης κρίνεται αναγκαία για τη μελέτη της βιωσιμότητας μίας ενεργειακής επένδυσης. Λαμβάνει τιμές από 25 - 35 %, δίχως να αποκλείονται χαμηλότερες τιμές. Είναι προφανές, ότι εάν προκύπτουν τιμές χαμηλότερες αυτού του διαστήματος, τότε η επένδυση δεν αποδίδει και το αρχικό κεφάλαιο επένδυσης παραμένει αναπόσβεστο. Τιμές μεγαλύτερες από το προαναφερθέν διάστημα λαμβάνουν χώρα σε περιοχές με μεγάλη ετήσια ταχύτητα ανέμου. Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται επίσης από τη μορφή της καμπύλης ισχύος της ανεμογεννήτριας και από τη διαθεσιμότητα της. [13]

$$CF = \frac{E}{8760 \cdot P_n} = \frac{\bar{P}}{P_n}$$

Όπου,

- CF , ο συντελεστής χρησιμοποίησης
- E , η ετήσια αναμενόμενη ενεργειακή παραγωγή (kWh)
- P_n , η ονομαστική ηλεκτρική ισχύς της ανεμογεννήτριας (kW)
- \bar{P} , η μέση τιμή της παραγόμενης ισχύος (kW)

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό μέγεθος είναι οι Συμβατικές Ανηγμένες Ώρες Λειτουργίας (ΣΑΩΛ). Αποτελεί αντιπροσωπευτικό δείκτη ενός συστήματος και ορίζεται ως το πηλίκο της μέγιστης δυνατής ετήσιας παραγωγής του προς την ονομαστική του ισχύ. Ουσιαστικά εκφράζει τον απαιτούμενο χρόνο λειτουργίας του συστήματος, υπό πλήρη ισχύ, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή παραγωγή. Συνήθως, χρησιμοποιείται παράλληλα με τους συντελεστές διαθεσιμότητας και τους περιορισμούς διεύθυνσης ενός συστήματος, όπως συμβαίνει άλλωστε και με όλα τα προαναφερθέντα μεγέθη. [13]

$$\Sigma\Lambda\Omega\Lambda = \frac{E}{P_n} = 8760 \cdot CF$$

Συνοψίζοντας, αναφέρονται επιγραμματικά τα στοιχεία τα οποία επιδρούν καταλυτικά στον προσδιορισμό της πραγματικής καμπύλης ισχύος και της αναμενόμενης ενεργειακής παραγωγής:

- Αιολικό δυναμικό τοποθεσίας (μέση ταχύτητα ανέμου, στατιστική κατανομή του ανέμου, wind shear)
- Πυκνότητα του αέρα (διαφορά ανάλογα με το υψόμετρο και τη θερμοκρασία). Απαιτούνται διορθώσεις στην κατασκευαστική καμπύλη ισχύος ανάλογα με την επικρατούσα πυκνότητα ανέμου
- Τύρβη και τραχύτητα εδάφους (χαμηλότερη απόδοση της ανεμογεννήτριας και καταπόνηση των αντοχών της)
- Διάμετρος της φτερωτής (αύξηση της ισχύος ανάλογα με την καλυπτόμενη περιοχή του δρομέα (sweptarea))
- Αεροδυναμικός συντελεστής C_p (εξαρτάται από την αεροδυναμική κι από τον

αριθμό των πτερυγίων)

- Ταχύτητα περιστροφής του δρομέα (μεταβλητών ή σταθερών στροφών)
- Σύστημα ελέγχου της ανεμογεννήτριας (pitch ή stall control)
- Εγκατεστημένη ισχύς της γεννήτριας
- Ύψος της πλήμνης του δρομέα (εξαρτάται από το wind shear και την τάξη τραχύτητας που παρουσιάζει μία περιοχή)
- Λειτουργικό φάσμα των ταχυτήτων (όσο μεγαλύτερο, τόσο καλύτερο)

3.11. Μικρές ανεμογεννήτριες

Με τον όρο μικρές, χαρακτηρίζονται οι ανεμογεννήτριες οι οποίες έχουν ονομαστική ισχύ μέχρι 50 kW. Η κατηγορία αυτή αποτελείται από δύο υποκατηγορίες. Περιλαμβάνει τις πολύ μικρές, κατηγορίας XS (extrasmall), των οποίων η παραγόμενη ισχύς φτάνει μέχρι το 1 kW και έχουν εμβαδό φτερωτής ή αλλιώς εκμεταλλεύσιμη - καλυπτόμενη περιοχή του ανέμου (swept area) έως 1 m^2 . Η άλλη υποκατηγορία είναι η κατηγορία S (Small), η οποία αφορά ανεμογεννήτριες με ονομαστική ισχύ που κυμαίνεται από 1 μέχρι 50 kW, με αντίστοιχο διάστημα επιφάνειας φτερωτών μεταξύ 1 και 200 τετραγωνικών μέτρων.

Αυτό το είδος ανεμογεννητριών, σε αντίθεση με τις μεγάλες, παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία και διαφορετικότητα σε πολλούς τομείς όπως στο σχεδιασμό και στην τεχνολογία (διαφορετικός τρόπος λειτουργίας), στις χρήσεις και στις περιοχές εγκατάστασης, στα υλικά κατασκευής, στον αριθμό και το σχέδιο των πτερυγίων, στο σύστημα ελέγχου καθώς και σε άλλα δευτερεύοντα ζητήματα. Αυτή τη στιγμή υπάρχουν περίπου 560 διαφορετικά μοντέλα μικρών ανεμογεννητριών εργοστασιακής παραγωγής, τα οποία παρασκευάζονται από περίπου 200 κατασκευαστές από 30 χώρες, με τις οποίες βρίσκεται κι η Ελλάδα. Η διάρκεια ζωής τους κυμαίνεται από 15 έως 20 χρόνια και είναι συνάρτηση της ποιότητας κατασκευής τους αλλά και των πραγματοποιηθέντων εργασιών συντήρησής τους. Τέλος, θεωρούνται πολύ πιο φιλικές προς το περιβάλλον σε σχέση με τις μεγαλύτερες, καθώς η εγκατάστασή τους συνοδεύεται από ελάχιστη ή μηδαμινή καταστροφή του φυσικού τοπίου και αμελητέα ενόχληση προς τη πανίδα της περιοχής τοποθέτησής τους.

Οι χρήσεις των μικρών ανεμογεννητριών ποικίλλουν και βρίσκουν εφαρμογή σε πολλούς τομείς. Μπορούν, λοιπόν, να εγκατασταθούν σε μη διασυνδεδεμένες με το ηλεκτρικό δίκτυο περιοχές σε εφαρμογές όπως είναι οι μετεωρολογικοί και οι τηλεπικοινωνιακοί σταθμοί που βρίσκονται σε κορυφές βουνών αλλά και σε συστήματα φωτισμού εθνικών οδών οι οποίες διασχίζουν ακατοίκητες περιοχές. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μικροδίκτυα (απομακρυσμένα χωριά), παράλληλα με συμβατικές πηγές ενέργειας (ντιζελογεννήτριες) κι άλλες μορφές ΑΠΕ (φωτοβολταϊκά και μικρά υδροηλεκτρικά), με αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας σε συστήματα μπαταριών. Επιπλέον, μπορούν να εγκατασταθούν σε offshore εφαρμογές, όπως σε συστήματα αφαλάτωσης νερού σε μικρά νησιά, με την τοποθέτησή τους σε πλωτές βάσεις, τομέας στον οποίο πρωτοστάτησε η Ελλάδα με την εγκατάσταση του πρώτου αυτόνομου σταθμού αφαλάτωσης, την "Υδριάδα" στη νήσο Ηρακλεία. Ακόμα μία offshore χρήση συναντάται σε πλατφόρμες άντλησης πετρελαίου, σε τηλεπικοινωνιακούς σταθμούς οι οποίοι βρίσκονται χιλιόμετρα μακριά από κάποια κοντινή ακτή, αλλά και σε πλωτούς φάρους. Επιπροσθέτως,

μικρές ανεμογεννήτριες της τάξεως των 500 Watt, τοποθετούνται πλέον και σε ιστιοπλοϊκά για την κάλυψη των μικρών φορτίων που διαθέτουν (φωτισμός, ψυγεία, τηλεοράσεις, κτλ) παρέχοντας μάλιστα μεγάλη ενεργειακή παραγωγή, αφού οι φτερωτές τους δέχονται μεγαλύτερη ταχύτητα ανέμου από αυτή που επικρατεί στην πραγματικότητα, λόγω της ταυτόχρονης κίνησης του ιστιοπλοϊκού.



Εικόνα 3.18. Αιολικό και ηλιακό(υβριδικό) σύστημα παραγωγής ενέργειας για την αφαλάτωση νερού.
[Πηγή: <http://hyenergy.en.made-in-china.com/custom/EnxEJEmDQQbE/Projects-Gallery-1.html>]



Εικόνα 3.19. Αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας

Εικόνα 3.20. Κάμερα κυκλοφορίας αυτοκινητοδρόμων, τροφοδοτούμενη ενεργειακά μέσω μικρής ανεμογεννήτριας.

[Πηγή: <http://hyenergy.en.made-in-china.com/custom/EnxEJEmDQQbE/Projects-Gallery-1.html>]



δρόμου, τροφοδοτούμενη ενεργειακά μέσω

Εξίσου αποδοτική είναι η χρήση των μικρών ανεμογεννητριών στο διασυνδεδεμένο σύστημα. Τα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από μία τέτοια επένδυση είναι σημαντικά, αφού η τιμή πώλησης της αιολικής κιλοβατώρας στις δημόσιες εταιρείες ηλεκτρισμού είναι μεγαλύτερη από την τιμή αγοράς του ρεύματος από αυτές. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι η απόσβεση της επένδυσης να επιτυγχάνεται σε διάστημα μικρότερο των 10 ετών ανάλογα, βεβαίως, με την επικρατούσα κατανομή του ανέμου και την ονομαστική ισχύ της ανεμογεννήτριας.

Επομένως, μετά το πέρας του διαστήματος απόσβεσης, μια μικρή ανεμογεννήτρια μπορεί να καταστεί πηγή εσόδων για κάποιον ιδιώτη.

Η εγκατάσταση τους μπορεί να γίνει στον προαύλιο χώρο μικρών βιομηχανιών, κτηνοτροφικών μονάδων, κλινικών, σχολείων κτλ ή ακόμα στους κήπους εξοχικών κατοικιών ή μονοκατοικιών σε ημιαστικές περιοχές και προάστια πόλεων. Εναλλακτικά είναι δυνατή η τοποθέτησή τους στις οροφές σπιτιών και κτιρίων, υπό την αυστηρή τήρηση νομοθετικών διατάξεων και εγκεκριμένων προδιαγραφών όσον αφορά τους κανόνες ασφαλείας που απαιτείται να πληρούν. Τέλος, είναι δυνατόν να ενσωματωθούν και στην αρχιτεκτονική ενός κτιρίου. [15] , [16]

3.11.1. Μικρές ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής δίνεται έμφαση στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των μικρών ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα. Η ικανότητά τους να αξιοποιούν ανέμους διαφορετικών κατευθύνσεων, σε συνδυασμό με τη δυνατότητα εκκίνησης σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου, οριοθετεί νέους οριζόντες στην εφαρμογή και εκμετάλλευση των αιολικών συστημάτων κυρίως στο αστικό περιβάλλον.

Κάποια από τα πλεονεκτήματα τα οποία χαρακτηρίζουν τις μικρές ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, σε σχέση με τις αντίστοιχες οριζοντίου άξονα, συνοψίζονται παρακάτω: [15]

- Έχουν αξιόπιστη λειτουργία και μεγάλη διάρκεια ζωής
- Δεν επηρεάζονται σημαντικά από τις αυξημένες διαταραχές του ανέμου (τύρβη)
- Παράγουν σχετικά χαμηλότερο θόρυβο
- Δεν απαιτείται προσανεμισμός του δρομέα
- Είναι κατάλληλες για εφαρμογές σε αστικό περιβάλλον και γενικότερα σε περιοχές χαμηλότερου αιολικού δυναμικού
- Δεν απαιτείται εγκατάσταση ψηλού πύργου – ευκολία τοποθέτησης
- Είναι σχετικά πιο οικονομικές κατασκευές
- Είναι κατά κανόνα απλούστερες κατασκευές



Εικόνα 3.21. Τρόποι στερέωσης οικιακών ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα. Απ' ευθείας στερέωση (αριστερά), στερέωση σε βάση (δεξιά).

3.11.2. Διάρκεια ζωής και συντήρηση μικρών ανεμογεννητριών

Οι μικρές ανεμογεννήτριες θεωρούνται με βάση τη διεθνή και την εγχώρια επιστημονική βιβλιογραφία ιδιαίτερα μεγάλης αντοχής (έχουν, για παράδειγμα, υπερδιπλάσια διάρκεια ζωής από τις συνηθισμένες μηχανές αυτοκινήτων). Είναι σχεδιασμένες για διάρκεια ζωής έως 25 περίπου χρόνια εφόσον αυτή συνοδεύεται από συστηματικές διαδικασίες συντήρησης. Ένα ετήσιο κόστος συντήρησης της τάξεως του 3% επί του αρχικού κόστους επένδυσης είναι επαρκές ώστε να εξασφαλίσει σχεδόν σταθερή απόδοση στο σύστημα κατά το πέρασμα των ετών. Ωστόσο η πραγματική διάρκεια ζωής της ανεμογεννήτριας εξαρτάται, επίσης, τόσο από την ποιότητα κατασκευής όσο και από τις κλιματικές συνθήκες στις οποίες θα εκτεθεί η ανεμογεννήτρια.

Ένας συνήθης έλεγχος του συστήματος, με σκοπό την εύρυθμη λειτουργία του, περιλαμβάνει τις ακόλουθες επιμέρους εργασίες:

- Κατά τη διάρκεια των πρώτων τριών μηνών μετά την εγκατάσταση, και μετά από πολύ ισχυρούς ανέμους, πρέπει να ελέγχεται πάντα η ένταση των αντηρίδων.
- Δύο τουλάχιστον φορές το χρόνο απαιτείται έλεγχος και σφίξιμο στα παξιμάδια και τις βίδες που συγκρατούν τα πτερύγια, την ουρά και τους συνδέσμους του ιστού.
- Έλεγχος σε όλες τις ηλεκτρικές συνδέσεις για να διασφαλιστεί ότι είναι καλά συνδεδεμένες και χωρίς σκουριά.
- Συντήρηση της συστοιχίας των μπαταριών σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή των μπαταριών.

3.11.3. Μικρές ανεμογεννήτριες σε αστικό περιβάλλον

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής αποτελεί η διερεύνηση της δυνατότητας ένταξης μικρών ανεμογεννητριών στο αστικό περιβάλλον. Συγκεκριμένα, εξετάζεται η προοπτική τοποθέτησης ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα σε κτίρια, και δη στις οροφές αυτών.

Το αστικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται από υψηλό μήκος τραχύτητας, άνω των 0,8m, με επακόλουθο σε χαμηλά ύψη από το έδαφος να εμφανίζονται σπάνια εκμεταλλεύσιμες ταχύτητες ανέμου. Επιπλέον, σε μια τέτοια περιοχή εμφανίζονται πολλά "εμπόδια", είτε λόγω της πυκνής δόμησης είτε λόγω της υπάρχουσας βλάστησης. Ως συνέπεια αυτών, διαμορφώνεται ένα τοπικό αέρινο ρεύμα χαρακτηριζόμενο από έντονη τύρβη και μεγάλης κλίμακας ριπές ανέμου. Για την αξιοποίηση επομένως του αιολικού δυναμικού αστικών περιοχών, σε συνδυασμό με τις ανωτέρω επικρατούσες ανεμολογικές συνθήκες, προκρίνεται ως αποδοτικότερη η χρήση μικρών ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα, λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών λειτουργίας των τελευταίων.

Γενικώς, για την τοποθέτηση ανεμογεννητριών πρέπει να επιλέγονται σημεία τα οποία παρουσιάζουν μέση τιμή ταχύτητας ανέμου άνω των 5,5 m/s. Σε πυκνοκατοικημένες περιοχές όμως, η μέση αυτή ταχύτητα μεταβάλλεται τοπικά είτε λόγω των διάφορων εμποδίων είτε λόγω της χωροταξικής διάταξης, με συνέπεια να παρουσιάζονται μεγάλες αποκλίσεις στην αναμενόμενη ενεργειακή

παραγωγή ακόμη και σε αποστάσεις λίγων μέτρων. Σημαντικός παράγοντας ο οποίος καθορίζει το ποσό της παραγόμενης ισχύος είναι το ύψος του δρομέα, καθώς όσο πιο ψηλά τοποθετείται τόσο περισσότερο αποφεύγονται τα φαινόμενα τύρβης και παράλληλα ενισχύεται ο άνεμος. Ένα ακόμα αξιοσημείωτο στοιχείο το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας αποτελεί ο εντοπισμός της κύριας κατεύθυνσης του ανέμου, η οποία διαφέρει ανά περιοχή, και η εξασφάλιση της ανεμπόδιστης ροής της προς την ανεμογεννήτρια. Πρέπει επίσης να μελετηθεί η επίδραση της τύρβης η οποία δημιουργείται από το ίδιο το κτίριο. Μάλιστα από μετρήσεις έχει προκύψει ότι ο δυνατότερος και πιο σταθερός άνεμος εντοπίζεται στο κέντρο της οροφής και σε ύψος άνω του 30% του συνολικού ύψους του κτιρίου. Τέλος, ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην τήρηση των κανόνων ασφαλείας αλλά και των απαιτούμενων προδιαγραφών, οι οποίες διέπουν την εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.

Ακολουθως συνοψίζονται τα κριτήρια και οι προϋποθέσεις για την αποτελεσματική τοποθέτηση μιας μικρής ανεμογεννήτριας σε αστικό περιβάλλον: [16] , [17] , [18]

- Η μέση ταχύτητα ανέμου στην περιοχή θα πρέπει να φτάνει τουλάχιστον τα 5,5 m/s. Στην περίπτωση ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα γίνονται αποδεκτές και μικρότερες τιμές.
- Η κορυφή του ιστού (για τις περιπτώσεις εγκατάστασης στο έδαφος) ή η οροφή του κτιρίου (για τις περιπτώσεις εγκατάστασης σε στέγη κτίσματος) θα πρέπει να βρίσκεται τουλάχιστον 50% πιο ψηλά από το ύψος γειτονικών εμποδίων ή κτισμάτων.
- Οι ανεμογεννήτριες θα πρέπει να τοποθετούνται κοντά στο κέντρο της οροφής, με προσανατολισμό προς την πλευρά της επικρατέστερης κατεύθυνσης του ανέμου.
- Το χαμηλότερο σημείο του δρομέα από την οροφή θα πρέπει να απέχει σε ύψος τουλάχιστον 30% του ύψους του κτιρίου.
- Εάν είναι δυνατό, ο προσανατολισμός του κτιρίου θα πρέπει να είναι προς την κύρια διεύθυνση του ανέμου.
- Απαιτείται η οροφή να αντέχει τις δυνάμεις οι οποίες αναπτύσσονται στο δρομέα.
- Τοποθέτηση περισσότερων ανεμογεννητριών στην ίδια περιοχή ή στο ίδιο κτίσμα εάν είναι δυνατόν, ώστε να αυξηθεί η ενεργειακή παραγωγή.
- Εξασφάλιση ότι η ποσότητα της παραγόμενης ενέργειας είναι σε αντιστοιχία με τις ενεργειακές ανάγκες της εκάστοτε περιοχής ή κτιρίου.
- Τοποθέτηση αποθηκευτικών μέσων (συσσωρευτών) πριν την εγκατάσταση
- Λήψη μέτρων σχετικά με το flicker, το θόρυβο και τις δονήσεις
- Κατά προτίμηση να τοποθετούνται σε οροφές ψηλών κτιρίων με όσο το δυνατόν πιο επίπεδες και μεγάλες επιφάνειες.
- Πραγματοποίηση έρευνας σχετικά με το ποιος τύπος - μοντέλο ανεμογεννήτριας είναι η βέλτιστη επιλογή για το συγκεκριμένο κτίριο ή περιοχή.
- Έρευνα σχετικά με το αν το κτίριο και τα γειτονικά του κτίσματα είναι κατάλληλα για υλοποίηση ενός τέτοιου σχεδίου.
- Βεβαίωση για την ενσωμάτωση ανεμογεννητριών στη χωροταξική ανάπτυξη μίας περιοχής

- Μεγάλη προσοχή στο αισθητικό μέρος. Οι ανεμογεννήτριες θα πρέπει να ενσωματώνονται ομαλά με την όψη του κτιρίου αλλά και της περιοχής.
- Τήρηση απόστασης από γειτονικά κτίρια, ώστε να αποφευχθούν παράπονα για το θόρυβο ο οποίος ενδεχομένως να προκληθεί από την περιστροφή των πτερυγίων.

3.12. Αυτόνομα συστήματα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας

Αυτόνομα συστήματα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζονται τα συστήματα τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από τον ήλιο, τον άνεμο ή το νερό χωρίς να συνδέονται με το κεντρικό δίκτυο (ΔΕΗ). Τα αυτόνομα συστήματα περιλαμβάνουν ως πηγή είτε μόνο φωτοβολταϊκά είτε μόνο ανεμογεννήτριες, αλλά είναι δυνατή η συνδυαστική χρήση και των δύο (υβριδικά συστήματα).

Τα αυτόνομα συστήματα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας εξάγουν συνεχή ή εναλλασσόμενη τάση και διακρίνονται ανάλογα με την ύπαρξη δυνατότητας αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας. Στα συστήματα χωρίς αποθήκευση η παραγόμενη ενέργεια αποδίδεται στην κατανάλωση χωρίς να αποθηκεύεται σε συσσωρευτές (μπαταρίες), με αποτέλεσμα το πλεόνασμα ενέργειας να χάνεται. Αντίθετα, στα συστήματα με συσσωρευτές η περίσσεια ενέργειας αποθηκεύεται ώστε να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της νύχτας ή συννεφιάς ή άπνοιας. Ένα αυτόνομο σύστημα με αποθήκευση περιλαμβάνει, εκτός από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και τις ανεμογεννήτριες, τους συσσωρευτές, έναν ελεγκτή φόρτισης ο οποίος διέπει τους κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης των μπαταριών ανάλογα με τη ζήτηση των καταναλώσεων και τις συνθήκες ηλιοφάνειας- ανέμου και έναν αντιστροφέα ο οποίος μετατρέπει την τάση από συνεχή σε εναλλασσόμενη.

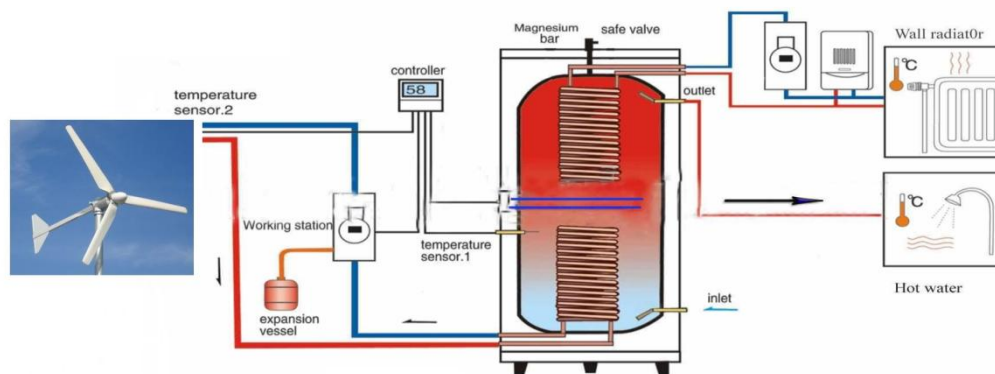
Τα αυτόνομα συστήματα αποτελούν ιδανική επιλογή για εξοχικές κατοικίες, για σπίτια τα οποία δεν μπορούν να συνδεθούν με το δημόσιο δίκτυο της ΔΕΗ (είτε γιατί δεν υπάρχει άδεια, είτε γιατί είναι απομακρυσμένα από το κεντρικό δίκτυο, κλπ.) και για απομακρυσμένες τουριστικές επιχειρήσεις. Επίσης αποτελούν βέλτιστη λύση back-up για ένα νοικοκυριό ή μία επιχείρηση προσφέροντας σε περίπτωση διακοπής της παροχής ηλεκτρικού ρεύματος (απεργίες ΔΕΗ, διακοπή ρεύματος κλπ.) αυτονομία σε κάποια βασικά φορτία (ψυγείο, φωτισμό, τηλεόραση, internet, συναγερμό, κλπ.).

Κατά το σχεδιασμό ενός αυτόνομου αιολικού συστήματος, εκτός από τη διαστασιολόγηση της ανεμογεννήτριας πρέπει να ληφθεί υπόψη η χωρητικότητα των μπαταριών, η απαιτούμενη αυτονομία από το χρήστη, τα φορτία τα οποία πρέπει να τροφοδοτηθούν και μία σειρά ακόμη από παραμέτρους. [19]

3.13. Μικροδίκτυα και αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας

Η παραγωγή ενέργειας από μικρής κλίμακας αιολικά συστήματα τα οποία, εν προκειμένω, βρίσκονται τοποθετημένα πάνω ή περιμετρικά των κτιρίων ορίζεται ως μικροπαραγωγή. Με τον όρο αυτό αναφερόμαστε στη σύνδεση μικρών ανεμογεννητριών σε μικροδίκτυα, σχεδιασμένα ανεξάρτητα από το κεντρικό δίκτυο, για την παραγωγή ενέργειας – θερμότητας ή ηλεκτρισμού – τόσο από μεμονωμένα κτίρια όσο και από μικρές ομάδες κτιρίων. Στην μικροπαραγωγή εντάσσονται επίσης η μικρής κλίμακας συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ισχύος (CHP), τα

ηλιοθερμικά και φωτοβολταϊκά συστήματα, οι κυψέλες καυσίμων, οι γεννήτριες Diesel και τα μικροδρροηλεκτρικά συστήματα. Σε αντίθεση με την παραδοσιακή συγκεντρωτική παροχή ενέργειας, οι τεχνολογίες μικροπαραγωγής μεταφέρουν την παραγωγή ηλεκτρισμού πλησιέστερα στους καταναλωτές αποσκοπώντας στην ενεργειακή υποστήριξη των κτιρίων. Εκτιμάται ότι η χρήση αυτής της τεχνολογίας θα προσφέρει τεράστια οφέλη όχι μόνο ικανοποιώντας τη ζήτηση παρέχοντας παράλληλα αποκεντρωμένη παραγωγή, αλλά και με τη συμβολή της στην αντιμετώπιση της έλλειψης καυσίμων και της εκπομπής βλαβερών αερίων.



Εικόνα 3.22. Σύστημα θέρμανσης από τον άνεμο με την εμφάνιση θερμαντικών ράβδων σε υπάρχοντα λέβητα.

[Πηγή: <http://www.cccme.org.cn/shop/tzeastyle/index.aspx>]

Εν συντομία παρουσιάζονται τα σημαντικότερα οφέλη ενός μικροδικτύου: [20], [21]

- Συνέχιση της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας εντός του μικροδικτύου σε περιπτώσεις κατάρρευσης ή ασταθούς λειτουργίας του κεντρικού δικτύου παροχής.
- Αποδοτικότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ελαχιστοποίηση των απωλειών και βελτίωση της ποιότητας ισχύος με την ενσωμάτωση μονάδων συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (CHP), καθώς και με την εγκατάσταση αυτών κοντά στους καταναλωτές. Η τοπική κάλυψη του φορτίου συνεπάγεται ότι δεν παρεμβάλλονται ούτε μεγάλα μήκη γραμμών ούτε πολλοί ενδιάμεσοι καταναλωτές που αλλοιώνουν με τη χωρητική (ή επαγωγική αν πρόκειται για φορτία) συμπεριφορά τους τον συντελεστή ισχύος.
- Μειωμένη περιβαλλοντική επιβάρυνση μέσω της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και γενικότερα νέων τεχνολογιών, φιλικότερων προς το περιβάλλον.
- Μείωση του κόστους κάλυψης των ενεργειακών αναγκών των καταναλωτών, όταν το μικροδίκτυο συμμετέχει σε πλήρως απελευθερωμένη αγορά ενέργειας.
- Ενεργή διαχείριση των φορτίων (απόρριψη φορτίων), διαδικασία η οποία είναι σε θέση να βοηθά σημαντικά στην ευστάθεια του δικτύου αλλά και στην οικονομική λειτουργία του συστήματος.

Το μικροδίκτυο σχεδιάζεται για λειτουργία τόσο σε διασύνδεση με το κεντρικό δίκτυο όσο και σε απομονωμένη κατάσταση, σε έκτακτες περιπτώσεις (interconnected or emergency mode). Η δυνατότητα διασύνδεσης με το

κεντρικόδίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας σε παραλληλισμένη λειτουργία, καθιστά δυνατή την ανταλλαγή ενέργειας. Συγκεκριμένα, παρέχεται στο κεντρικό δίκτυο η πλεονάζουσα ενέργεια ή αντιστρόφως απορροφάται ενέργεια από αυτό όταν οι μονάδες του μικροδικτύου δεν επαρκούν για να καλύψουν τη ζήτηση. Ακόμα, σε περίπτωση μόνιμα διασυνδεδεμένης λειτουργίας, σε ενδεχόμενη κατάρρευση του κεντρικού δικτύου, είναι δυνατή η αξιόπιστη τροφοδότηση του μικροδικτύου από τις δικές του μονάδες λόγω της δυνατότητας λειτουργίας σε απομονωμένη κατάσταση. Σε περιπτώσεις παραλληλισμένης λειτουργίας με το κεντρικό δίκτυο, αυτό που πρωτίστως επιδιώκεται είναι να μην προκαλεί το μικροδίκτυο προβλήματα. Αυτό σημαίνει ότι η ποιότητα της τάσης πρέπει να ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές του δικτύου και η απορροφώμενη ενέργεια να μην ξεπερνά τις απαιτήσεις ενός τυπικού καταναλωτή. Επιπλέον, το μικροδίκτυο αναλαμβάνει να παίζει υποστηρικτικό ρόλο ως προς το δίκτυο. Έτσι, απορροφά ή παρέχει ενεργή ή άεργη ισχύ αναλόγως με τις ανάγκες του κεντρικού δικτύου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση απαιτείται η συντονισμένη λειτουργία και επικοινωνία μεταξύ των μονάδων ελέγχου του μικροδικτύου και του κεντρικού συστήματος.

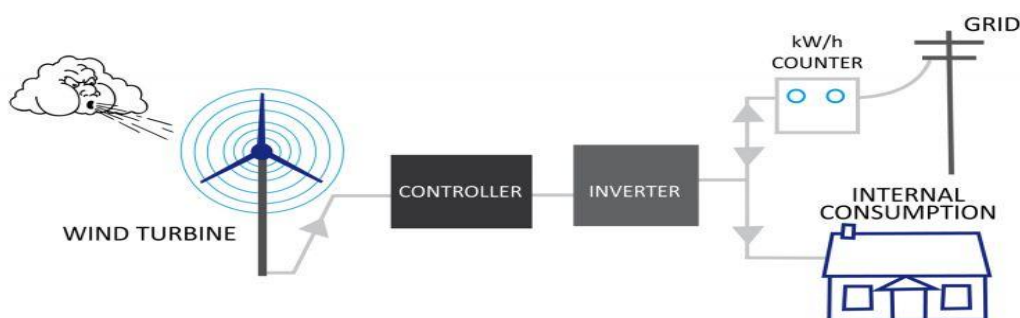
3.14. Συνδεσμολογία ανεμογεννητριών

Η σύνδεση των ανεμογεννητριών μπορεί να γίνει είτε σε ζυγό AC του μικροδικτύου ή του δικτύου χαμηλής τάσης είτε σε DC ζυγό με την παράλληλη χρήση συσσωρευτών. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε σύνδεσης περιγράφονται και αναλύονται παρακάτω.

3.14.1. Η AC σύνδεση

Η σύνδεση στον AC ζυγό ενός μικροδικτύου γίνεται μέσω ενός αντιστροφέα. Το βασικό πλεονέκτημα της σύνδεσης αυτής είναι ότι στον ίδιο ζυγό μπορούν να συνδεθούν πολλές διαφορετικές πηγές οι οποίες μπορούν να βρίσκονται και σε απομακρυσμένες περιοχές. Αυτό σημαίνει ότι η σύνδεση αυτή είναι κατάλληλη για ένα μεγάλο μικροδίκτυο (οικισμός) και όχι για μια μεμονωμένη οικία. Η σύνδεση στον AC ζυγό πραγματοποιείται γενικά μέσω ηλεκτρονικών ισχύος. Έτσι, αν και αυξάνεται το κόστος λόγω της χρήσης των τελευταίων, γίνεται εφικτή η μέγιστη απόδοση ισχύος από την ανεμογεννήτρια.

SCHEMATIC POWER GRID OPERATION



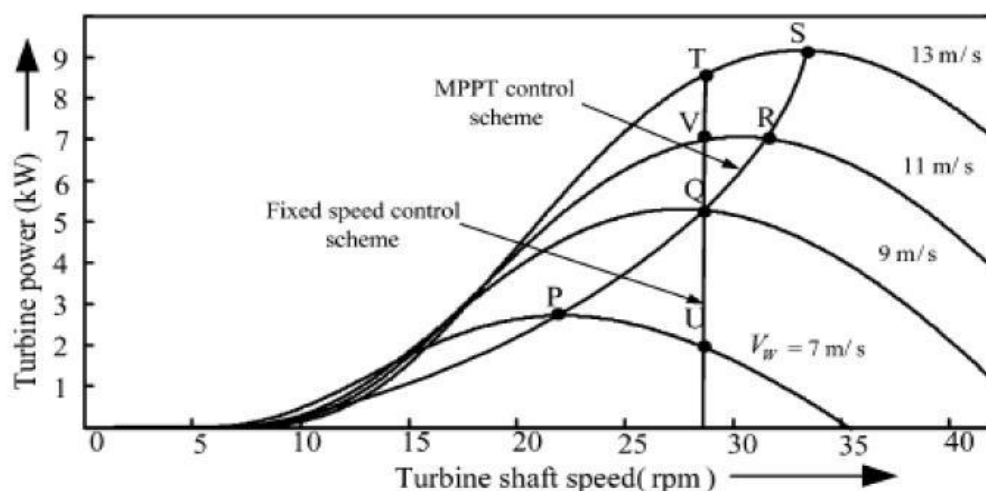
Εικόνα 3.23. Η γενική δομή μιας AC σύνδεσης.
[Πηγή: <http://www.kleinwind.at/Windrad-SW08>]

Η έξοδος της γεννήτριας, η οποία είναι σύγχρονη τριφασική, αρχικά ανορθώνεται μέσω μιας μη ελεγχόμενης ανόρθωσης ενώ στη συνέχεια διέρχεται από ένα μονοφασικό αντιστροφέα όπου εκεί εκτελείται η λειτουργία MPPT η οποία αναλύεται παρακάτω. Τέλος αφού η έξοδος γίνει πάλι AC, όλο το σύστημα ξανασυνδέεται στο δίκτυο.

Ο ανορθωτής είναι απαραίτητο να συνοδεύεται από προστασία έναντι υπέρτασης ώστε να διασφαλίζεται η λειτουργία του και ταυτόχρονα να αποφεύγεται η ανάπτυξη μεγάλων επιταχύνσεων στη φτερωτή. Καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου, αυξάνεται και η τάση την οποία βλέπει ο ανορθωτής. Έτσι σε μεγάλες ταχύτητες ανέμου και πριν προλάβει να επενεργήσει το σύστημα Furling, η γεννήτρια θα δώσει ισχύ στην προστασία υπέρτασης, η οποία πλέον λειτουργεί σαν απορριπτικό φορτίο. Κατ' αυτό τον τρόπο θα περάσουν μεγαλύτερα ρεύματα από το τύλιγμα της με αποτέλεσμα να επιβραδυνθεί και να αυξηθεί η ηλεκτρομαγνητική ροπή. Ουσιαστικά πρόκειται για σταδιακή βραχυκύκλωση της γεννήτριας με σταδιακή αφαίρεση αντιστάσεων, η οποία ειδικά στις μικρές γεννήτριες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το φρενάρισμα τους. Αυτό έχει ως συνέπεια όμως την έντονη φθορά τους. Τέλος, αν για κάποιο λόγο χαθεί το δίκτυο που τροφοδοτεί η γεννήτρια τότε όλη η ισχύς παρέχεται στο απορριπτικό φορτίο. [22]

3.14.2. Λειτουργία μεγιστοποίησης αποδιδόμενης ισχύος (MPPT)

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα ο αεροδυναμικός συντελεστής C_p μεγιστοποιείται για συγκεκριμένες τιμές του λ . Συνεπώς για τις τιμές αυτές θα έχουμε και μέγιστη παραγόμενη ισχύ από την γεννήτρια. Αν λοιπόν σχεδιάσουμε το διάγραμμα ισχύος και στροφών, θα ήταν επιθυμητό η γεννήτρια να λειτουργεί στα σημεία εκείνα όπου μεγιστοποιείται η παραγόμενη ισχύς. Αυτό επιτυγχάνεται αν ακολουθεί την καμπύλη που ενώνει όλες τις κορυφές, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Έτσι τόσο το λ όσο και το C_p παραμένουν στις μέγιστες τιμές τους και επομένως έχουμε μέγιστη ενέργεια και ισχύ.



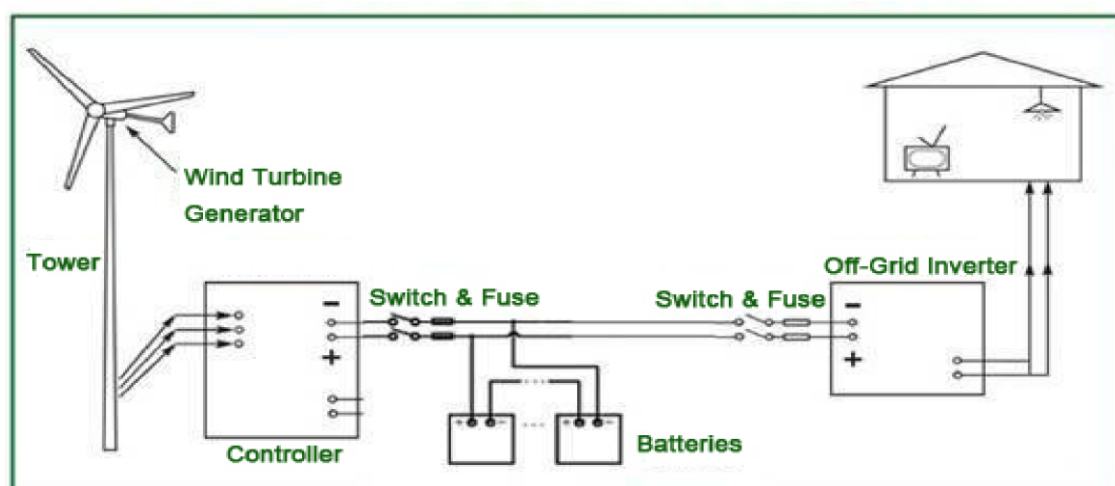
Εικόνα 3.24. Οι καμπύλες ανέμου και η καμπύλη MPPT.

[Πηγή: [Πηγή: «Maximum Power Point Tracking methods for small scale Wind Turbines», G. Moor, J. Beukes]

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται και η καμπύλη που θα ακολουθούσε μία γεννήτρια σταθερώνστροφών. Απο τη μορφή της καμπύλης είναι κατανοητό ότι μια τέτοιου είδους γεννήτρια δε λειτουργεί πάντα στο σημείο μέγιστης ισχύος καθώς δε μπορεί να μεταβάλλει τις στροφές της. Αυτός είναι και ένας από τους λόγους που γεννήτριες σταθερών στροφών χρησιμοποιούνται πιο σπάνια.

3.14.3. Η DC σύνδεση

Στην περίπτωση μιας κατοικίας ή γενικά μίας αυτόνομης εγκατάστασης, προτιμάται η DC σύνδεση καθώς αποφεύγονται οι, τουλάχιστον δύο, αντιστροφείς της AC σύνδεσης και συνεπώς το κόστος μειώνεται αισθητά. Συνήθως μία τέτοιου είδους εγκατάσταση περιλαμβάνει φωτοβολταϊκά και μικρές ανεμογεννήτριες και είναι αρκετά εύκολο να υλοποιηθεί ακόμα και σε αμιγώς αστικά τοπία. Παρακάτω απεικονίζεται η τυπική μορφή της DC σύνδεσης.

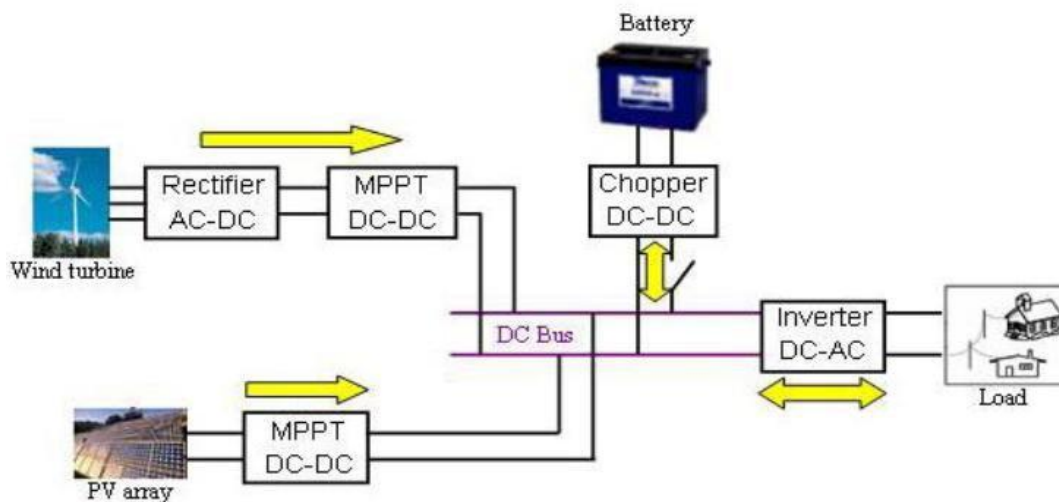


Εικόνα 3.25. Σύνδεση ανεμογεννήτριας σε σύστημα DC με συσσωρευτές.
[Πηγή: <http://www.energor.com/Windpowersystem.html>]

Όλες οι πηγές συνδέονται άμεσα στον DC ζυγό συσσωρευτών, η τάση των οποίων αντιστρέφεται και λαμβάνει την κατάλληλη τιμή (τάση – συχνότητα) μέσω ενός αντιστροφέα πηγής τάσης. Εν συνεχεία ο αντιστροφέας αυτός τροφοδοτεί τα φορτία. Η έξοδος της γεννήτριας ανορθώνεται με τη βοήθεια ενός τριφασικού ανορθωτή γέφυρας, έτσι ώστε να είναι δυνατή η σύνδεση με τις μπαταρίες. Ένας διπολικός διακόπτης παρεμβάλλεται μεταξύ γεννήτριας και ανορθωτή και στόχο έχει τη βραχυκύκλωση της γεννήτριας ώστε αυτή να μη περιστρέφεται σε περιπτώσεις εργασιών συντήρησης. Για να ελέγχεται το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών συνδέεται επίσης στο σύστημα ένας ρυθμιστής φόρτισης, δουλειά του οποίου είναι να ελέγχει τόσο τον τρόπο φόρτισης και εκφόρτισης, καθ' ότι αυτοί πρέπει να ακολουθούν συγκεκριμένους αλγόριθμους, όσο και τον τρόπο εισαγωγής και εξαγωγής του απορριπτικού φορτίου από το σύστημα.

Η σύνδεση απευθείας σε συσσωρευτές έχει το χαρακτηριστικό ότι η τάση της γεννήτριας παραμένει σταθερή και ίση περίπου με αυτή των συσσωρευτών. Επομένως δε μπορεί να ρυθμίζεται διαρκώς με σκοπό να έχουμε τη μέγιστη παραγόμενη ισχύ και συνεπώς δεν απαιτείται η ύπαρξη ενός συστήματος MPPT.

Για να επιλυθεί το παραπάνω πρόβλημα χρησιμοποιείται ένας DC/DC μετατροπέας ο οποίος συνδέεται μεταξύ ανορθωτή και συσσωρευτών. Ο μετατροπέας αυτός ενώ διατηρεί την τάση στην έξοδο του σταθερή και ίση με αυτή των συσσωρευτών, έχει τη δυνατότητα να ελέγχει την τάση στην είσοδο του ώστε η ανεμογεννήτρια να λειτουργεί πάντα σε βέλτιστες τιμές C_p και λ . Μία τέτοια υλοποίηση φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. [22]



Εικόνα 3.26. Σύστημα ανεμογεννήτριας και φωτοβολταϊκού σε DC σύνδεση με δυνατότητα MPPT.
[Πηγή: «Maximum Power Point Tracking methods for small scale Wind Turbines», G. Moor, J. Beukes]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ ΤΡΙΤΟΥΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [1] Hills, Richard L. Power from Wind: A History of Windmill Technology. Cambridge University Press, 1994.
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine
- [3] <<Wind Energy Handbook>>, Tony Burton, Nick Jenkins, David Sharpe, Ervin Bossanyi, 2011
- [4] Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας (<http://www.eletaen.gr/>)
- [5] <<Aerodynamics of Wind Turbines>>, Martin O.L. Hansen, 2008
- [6] <<Wind Turbine Technology and Design>>, David A. Rivkin, Kathleen Toomey, Laurel Silk, 2011
- [7] <<Wind turbine control systems: principles, modelling & gain scheduling design (Advances in industrial control)>>, BIANCHI Fernando D., 2006
- [8] <<A Retrospective of VAWT Technology>> H. J. Sutherland, D. E. Berg, and Th. D. Ashwill, 2012
- [9] <<Wind Turbine Design – With Emphasis on Darrieus Concept>>, I. Paraschivoiu, 2002

- [10] International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), <<Performance Prediction of H Type Darrieus Turbine by Single Stream Tube Model for Hydro Dynamic Application>>, 2013
- [11] <<Power Conversion and Control of Wind Energy Systems>> , Yongqiang Lang, Navid Zargari, Samir Kouro , 2011
- [12] <<Ανεμοκινητήρες>>, Γ. Μπεργελές, 2005
- [13] <<Μέτρηση της καμπύλης ισχύος μικρών ανεμογεννητριών και βελτιστοποίηση του κόστους παραγωγής ενέργειας για εφαρμογές χαμηλού κόστους>>, Α.Γκράβας, Μάρτιος 2011
- [14] <<Influence of Control on the Pitch Damping of a Floating Wind Turbine>>, Jason Jonkman, National Renewable Energy Laboratory, 2008
- [15] <<Small Wind Turbines: Analysis, Design, and Application>>, David Wood , 2011
- [16] <<Small Wind: Planning and Building Successful Installations>>, Nolan Clark, 2013
- [17] <<Οδηγός Μικρών Ανεμογεννητριών>>, ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΝΩΣΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, 2012 (www.eletaen.gr)
- [18] <<Μικρές Ανεμογεννήτριες-Τεχνολογία - Αγορά - Εφαρμογές- Νομοθεσία>>, Ε. Τζέν, Τμήμα Αιολικής Ενέργειας, ΚΑΠΕ, ENERTECH 2011
- [19] <<Off the Grid: Modern Homes + Alternative Energy>>, Lori Ryker, 2005
- [20] <<Microgrids and Active Distribution Networkd>>, Chowdhury S., Chowdhury S.P., Crossley P., IET Renewable Energy Series 6, Institution of Engineering and Technology, 2009
- [21] <<Microgrids: High-Impact Strategies - What You Need to Know:: Definitions, Adoptions, Impact, Benefits, Maturity, Vendors>>, Kevin Roebuck, 2011
- [22] <<Μελέτη ,προσομοίωση της λειτουργίας μικρής ανεμογεννήτριας αξονικής ροής>>, Π.Κοτσαμπόπουλος ΕΜΠ ,2010

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΙ ΑΔΕΙΟΔΟΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

4.1. Βασικές άδειες ενεργειακής νομοθεσίας

Οι α/γ ισχύος έως 100kW (και γενικά αιολικές εγκαταστάσεις συνολικής ισχύος έως 100kW) απαλλάσσονται από την υποχρέωση έκδοσης:

- άδειας παραγωγής (άρθρο 4, παράγραφος 4δ του ν.3468/2006, όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 2, παράγραφος 12 του ν.3851/2010), και
- αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας (άρθρο 8, παράγραφος 8 του ν.3468/2006, όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 8, παράγραφος 13 του ν.3851/2010).

Αυτό σημαίνει ότι δεν απαιτείται η πλήρωση των κριτηρίων αξιολόγησης για τη χορήγηση άδειας παραγωγής (π.χ. δεν απαιτείται η προσκόμιση ανεμολογικών μετρήσεων από διαπιστευμένο κατά IEC-17025 φορέα). Σημειώνεται ότι στις ανωτέρω περιπτώσεις δεν εκδίδεται καμία διοικητική πράξη, όπως για παράδειγμα ήταν κατά το παρελθόν η Απόφαση Εξαιρέσης από τη Ρ.Α.Ε., δεδομένου ότι αυτό ρητά καθορίζεται στη νέα διατύπωση που εισήγαγε ο ν.3851/2010.

4.2. Περιβαλλοντική αδειοδότηση

Με βάση το άρθρο 8, παράγραφος 13 του ν.3468/2006, όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 3, παράγραφος 2 του ν.3851/2010, οι μικρές α/γ απαλλάσσονται από την υποχρέωση περιβαλλοντικής αδειοδότησης (έκδοσης Απόφασης Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων Ε.Π.Ο. ή λήψης Πρότυπων Περιβαλλοντικών Δεσμεύσεων Π.Π.Δ.) όταν εγκαθίστανται σε γήπεδα, εφόσον η συνολική τους ισχύς δεν υπερβαίνει τα 20kW. Στην περίπτωση αυτή, απαιτείται η χορήγηση βεβαίωσης απαλλαγής από Ε.Π.Ο. εντός αποκλειστικής προθεσμίας 20 ημερών από την αρμόδια περιβαλλοντική αρχή της οικείας αιρετής Περιφέρειας (Εγκύκλιος 17 ΥΠΕΚΑ, 18.11.2011). Επιπλέον, ανεμογεννήτριες που εγκαθίστανται σε κτίρια ή εντός οργανωμένων βιομηχανικών υποδοχών, ανεξαρτήτως ισχύος, απαλλάσσονται τόσο από την υποχρέωση έκδοσης Απόφασης Ε.Π.Ο. όσο και βεβαίωσης απαλλαγής από Ε.Π.Ο.

Ωστόσο, σε διαδικασία περιβαλλοντικής αδειοδότησης υπόκεινται οι μικρές α/γ με εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη ή ίση με το ως άνω όριο των 20 kW εφόσον εγκαθίστανται:

- σε γήπεδα που βρίσκονται σε οριοθετημένες περιοχές του δικτύου Natura 2000 ή σε παράκτιες ζώνες που απέχουν λιγότερο από 100 μέτρα από την οριογραμμή του αιγιαλού (εκτός βραχονησίδων),
- σε απόσταση μικρότερη των 150 μέτρων από γήπεδο εγκατάστασης όπου χωροθετείται άλλος αιολικός σταθμός για τον οποίο έχει εκδοθεί άδεια παραγωγής ή απόφαση Ε.Π.Ο. ή προσφορά σύνδεσης και εφόσον η ισχύς του συνόλου των

εγκατεστημένων ανεμογεννητριών υπερβαίνει (αθροιστικά) το προαναφερθέν καθοριζόμενο όριο των 20kW, με βάση δημοσιοποιημένα στοιχεία ή ίδια προφανή γνώση του επενδυτή.

Η διαδικασία περιβαλλοντικής αδειοδότησης και οι απαιτούμενες μελέτες καθορίζονται από τις Υ.Α. 104247/2006 και 104248/2006 (ΦΕΚ Β' 663)2. Ωστόσο, ο νόμος 3851/2010 και ο νόμος 4014/2011 έχουν επιφέρει σημαντικές αλλαγές στη διαδικασία περιβαλλοντικής αδειοδότησης (ενδεικτικά έχει καταργηθεί το στάδιο της προκαταρκτικής περιβαλλοντικής επίπτωσης και αξιολόγησης) αλλά οι ανωτέρω υπουργικές αποφάσεις δεν έχουν ακόμα τροποποιηθεί. Σύμφωνα με την απόφαση του ΥΠΕΚΑ 1958/13.1.2012 (ΑΔΑ: ΒΟΝΝΟ-ΜΒΟ) για την κατάταξη των έργων σε κατηγορίες περιβαλλοντικής αδειοδότησης, οι μικρές α/γ κατατάσσονται στην κατηγορία Β (όπως ισχύει πλέον μετά την ισχύ του νέου περιβαλλοντικού νόμου 4014/2011). Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι οι μικρές α/γ δεν υπόκεινται σε διαδικασία Ε.Π.Ο., αλλά θα λαμβάνουν τις λεγόμενες Πρότυπες Περιβαλλοντικές Δεσμεύσεις (Π.Π.Δ.) με απλή αίτησή τους στη Διεύθυνση Περιβάλλοντος της οικείας Περιφέρειας. Για την πλήρη εφαρμογή αυτής της διαδικασίας θα πρέπει να εκδοθεί η υπουργική απόφαση που θα καθορίζει το περιεχόμενο των Π.Π.Δ. Μέχρι τότε, οι μικρές α/γ αδειοδοτούνται περιβαλλοντικά σύμφωνα με την παλιά κατηγορία Β4 και λαμβάνουν Ε.Π.Ο. από την αιρετή Περιφέρεια κατ'εφαρμογή της παρ. 3 του αρ. 30 του ν.4014/2011.

Μετά την έκδοση της απόφασης για το περιεχόμενο των Π.Π.Δ., οι ενδιαφερόμενοι θα πρέπει να απευθύνονται στις Δ/σεις Περιβάλλοντος των οικείων αιρετών Περιφερειών ώστε να λάβουν Π.Π.Δ. Μέχρι τότε όμως, οι ενδιαφερόμενοι θα πρέπει να απευθύνονται κατά περίπτωση ως ακολούθως:

- Προκειμένου για μικρές α/γ που απαλλάσσονται από Ε.Π.Ο. (δηλ. για μικρές α/γ σε κτίρια ή εντός οργανωμένων βιομηχανικών υποδοχέων ή ισχύος μικρότερης των 20kW πλην της περίπτωσης 4.2) στις Δ/σεις Περιβάλλοντος των οικείων αιρετών Περιφερειών, προκειμένου να λάβουν βεβαίωση απαλλαγής από Ε.Π.Ο.. Ειδικά σε αυτήν την αίτηση θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα από τον αιτούντα για παραλαβή του αριθμού πρωτοκόλλου της υπηρεσίας –αν είναι δυνατό πάνω σε αντίγραφο της αίτησης– ώστε να τεκμαίρεται με ασφάλεια η παρέλευση του 20ημέρου που προβλέπεται στο άρθρο 8 του ν.3468/2006, όπως ισχύει, και μετά την παρέλευση του οποίου η εν λόγω βεβαίωση θεωρείται χορηγηθείσα.
- Προκειμένου για μικρές α/γ που υποχρεούνται να λάβουν Ε.Π.Ο. (δηλ. για μικρές α/γ ισχύος μεγαλύτερης των 20kW ή ισχύος μικρότερης των 20 kW που εμπίπτουν στην περίπτωση 4.2), οι ενδιαφερόμενοι θα πρέπει και πάλι να απευθύνονται στις Δ/σεις Περιβάλλοντος των οικείων αιρετών Περιφερειών προκειμένου να λάβουν Ε.Π.Ο. ως έργα κατηγορίας Β4, σύμφωνα με την παρ. 3 του αρ. 30 του ν.4014/2011. Η αίτηση θα συνοδεύεται από Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.

Αν και δεν υπάρχει κάποια ειδική υπουργική απόφαση ή εγκύκλιος που να ρυθμίζει το περιεχόμενο της αίτησης για τις μικρές α/γ, με βάση την εμπειρία άλλων τεχνολογιών και τις διατάξεις του νόμου, εκτιμάται ότι η αίτηση θα πρέπει να περιλαμβάνει κατ'ελάχιστο τα ακόλουθα:

- Τοπογραφικό διάγραμμα του γηπέδου με σημειωμένο το κτίριο ή τη θέση, όπου πρόκειται να εγκατασταθεί η μικρή α/γ σε συντεταγμένες ΕΓΣΑ87.
- Απόσπασμα χάρτη ΓΥΣ κλίμακας 1:50.000.
- Φωτογραφίες του χώρου εγκατάστασης.
- Τομή της α/γ και διαστάσεις.
- Στοιχεία του φορέα εγκατάστασης.
- Στοιχεία του εξοπλισμού με βασικές πληροφορίες από τα τεχνικά φυλλάδια (π.χ. φωτογραφία του εξοπλισμού, ταχύτητα περιστροφής κ.λπ.) που επιτρέπουν σε μη τεχνικούς να αποκτήσουν άποψη της σκοπούμενης εγκατάστασης. Αν και οι μικρές α/γ, όπως και όλες οι α/γ, δεν δημιουργούν ηχητική όχληση σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 200-300 μ., θα πρέπει να επιδιώκεται να προσκομίζονται στοιχεία για την προκαλούμενη στάθμη θορύβου, ώστε να προληφθούν σχετικά ερωτήματα από τις αδειοδοτούσες υπηρεσίες.
- Στοιχεία των απαιτούμενων εγκαταστάσεων υποδομής (τρόπος στήριξης/θεμελίωσης, τρόπος ανέγερσης κ.λπ.).

Τέλος, προκειμένου μετά το πέρας της αδειοδοτικής διαδικασίας να αποφευχθούν προβλήματα με άλλες υπηρεσίες, η αρμοδιότητα των οποίων υφίσταται πιθανά ανάλογα με το είδος και τον χαρακτήρα του χώρου εγκατάστασης με βάση άλλες νομοθεσίες (δασική, αρχαιολογική κ.λπ.), συνιστάται οι ενδιαφερόμενοι να απευθύνονται εγκαίρως με σχετικό αίτημά τους και στις ακόλουθες αρχές: Εφορεία Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων, Εφορεία Βυζαντινών Αρχαιοτήτων, Εφορεία Νεωτέρων Μνημείων, Δασαρχείο, Δ/νση Αγροτικής Ανάπτυξης, Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας, ΓΕΕΘΑ, ΓΕΑ.

4.3. Πολεοδομικά θέματα και θέματα χρήσεων γης

Ταυτόχρονα με την αίτηση για την περιβαλλοντική αδειοδότηση, ο ενδιαφερόμενος πρέπει να υποβάλει αίτηση στην αρμόδια πολεοδομική αρχή. Δυστυχώς για τις μικρές α/γ δεν έχουν θεσπιστεί ειδικές διατάξεις σχετικά με τους όρους δόμησης στον χώρο, σε κτίρια ή άλλες δομικές κατασκευές. Με βάση το γενικό πλαίσιο και τις ειδικές αναφορές που αυτό περιλαμβάνει σε μερικές περιπτώσεις, ισχύουν τα ακόλουθα.

4.3.1. Βαθμοί όχλησης και αποστάσεις από οικισμούς

Με βάση την υπουργική απόφαση 13727/724/24.7.2003 (ΦΕΚ Β' 1087/5.8.2003), όπως τροποποιήθηκε και συμπληρώθηκε με την Δ6/Φ1/οικ.19500/4.11.2004 (ΦΕΚ Β' 1671/11.11.2004), σχετικά με την αντιστοίχιση δραστηριοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τους βαθμούς όχλησης που αναφέρονται στην πολεοδομική νομοθεσία, οι ανεμογεννήτριες κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες βαθμών όχλησης (άρθρο 1):

Ονομαστική ισχύς	$P \leq 20 \text{ kW}$	$20 \text{ kW} < P \leq 700 \text{ kW}$	$P > 700 \text{ kW}$
Βαθμός όχλησης	μη οχλούσα	χαμηλής όχλησης	μέσης όχλησης

Πίνακας 1: Βαθμοί όχλησης μικρών ανεμογεννητριών.
[Πηγή: Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας]

Με βάση την ίδια Υπουργική Απόφαση, ισχύουν οι ακόλουθοι περιορισμοί:

- δεν επιτρέπεται (άρθρο 2 παρ.1) η χωροθέτηση μικρών α/γ σε παραδοσιακούς οικισμούς, περιοχές ιστορικών τμημάτων πόλεων και περιοχές RAMSAR,
- επιτρέπεται (άρθρο 2 παρ.3) η εγκατάσταση σταθμών μηδενικής όχλησης, δηλαδή μικρών α/γ ισχύος μικρότερης ή ίσης από 20 kW, σε περιοχές:
 - εντός σχεδίου,
 - εντός ορίων οικισμών με πληθυσμό μικρότερο από 2.000 κατοίκους,
 - εντός ορίων οικισμών προϋφιστάμενων του 1923 και
 - εκτός σχεδίου

Με βάση το από 24.4.1985 προεδρικό διάταγμα (ΦΕΚ Δ' 181), και συγκεκριμένα το άρθρο 7 παρ.3 αυτού, όπως τροποποιήθηκε με το από 16.5.1989 (ΦΕΚ Δ' 293), η ελάχιστη απόσταση από οικισμούς για εγκαταστάσεις μέσης όχλησης ορίζεται σε 500μ.

Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε η προκαλούμενη ηχητική όχληση να μην ξεπερνά το όριο των 45db από κατοικίες.

4.3.2. Όροι δόμησης

Με βάση το ν.2244/1994 άρθρο 3 παρ.4, εδάφιο τρίτο, όπως προστέθηκε με τον ν.2941/2001 άρθρο 2 παρ.7, αντικαταστάθηκε με τον ν.3734/2009 άρθρο 27Α παρ.9 και τροποποιήθηκε με τον ν.3851/2010 άρθρο 9 παρ.8:

- Για την εγκατάσταση μικρών α/γ δεν απαιτείται άδεια δόμησης, αλλά έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την αρμόδια Διεύθυνση Πολεοδομίας.
- Ειδικά για την τοποθέτηση μικρών α/γ σε κτίρια και στέγαστρα, μπορεί, με απόφαση του Υπουργού Π.Ε.Κ.Α. να προβλέπεται μόνο γνωστοποίηση των εργασιών αυτών στον οριζόμενο, κατά περίπτωση, αρμόδιο φορέα. Τέτοια απόφαση δεν έχει ακόμα εκδοθεί.
- Δεν απαλλάσσονται από την υποχρέωση έκδοσης οικοδομικής άδειας δομικές κατασκευές, όπως τα θεμέλια των πύργων ανεμογεννητριών, οικήματα στέγασης εξοπλισμού ελέγχου και μετασχηματιστών.
- Για την έκδοση οικοδομικής άδειας ανέγερσης δεν απαιτείται έγκριση της αρμόδιας Επιτροπής Πολεοδομικού και Αρχιτεκτονικού Ελέγχου (Ε.Π.Α.Ε.), εκτός εάν η εγκατάσταση προβλέπεται να γίνει σε παραδοσιακούς οικισμούς ή περιοχές ιδιαίτερου φυσικού κάλλους, που προστατεύονται ως προς την πολεοδομική ανάπτυξη από ειδικά διατάγματα.
- Η εγκατάσταση μικρών α/γ υπάγεται στις περί βιομηχανικών εν γένει εγκαταστάσεων διατάξεις του άρθρου 4 του από 24.5.1985 προεδρικού διατάγματος (ΦΕΚ Δ' 270) για την εκτός σχεδίων πόλεων δόμηση, καθώς και σε κάθε άλλη ειδική διάταξη του ίδιου προεδρικού διατάγματος, που αφορά σε έργα της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού Α.Ε., ανεξάρτητα από το φορέα υλοποίησής τους.

Σε υπουργική απόφαση μπορεί να καθορίζονται ειδικοί όροι και περιορισμοί δόμησης για την ανέγερση εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης Α.Π.Ε. κατά παρέκκλιση των διατάξεων των άρθρων 1, 4 και 7 του από 24.5.1985 προεδρικού διατάγματος, που δημοσιεύθηκε στις 31.5.1985 (ΦΕΚ Δ' 270), καθώς και ειδικές αποστάσεις από τα όρια οικισμών, κατά παρέκκλιση των διατάξεων του άρθρου 4 του ίδιου

προεδρικού διατάγματος και των διατάξεων του άρθρου 7 του από 24.4.1985 προεδρικού διατάγματος που δημοσιεύθηκε στις 3.5.1985 (ΦΕΚ Δ' 181).

Το από 24.5.1985 προεδρικό διάταγμα (ΦΕΚ Δ' 270), καθορίζει τα ακόλουθα:

- άρθρο 1 παρ.1: αρτιότητα, οικοδομησιμότητα, περίφραξη
- άρθρο 4: αποστάσεις εγκαταστάσεων μέσης όχλησης από οικισμούς, αποστάσεις από όρια γηπέδου, ποσοστό κάλυψης, ύψος, συντελεστής δόμησης, παρεκκλίσεις
- άρθρο 7: όροι δόμησης για υποσταθμούς και κτίρια που στεγάζουν ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό

4.4. Σύνδεση στο δίκτυο

Η υποβολή αίτησης σύνδεσης της μικρής ανεμογεννήτριας προς τον αρμόδιο Διαχειριστή, που μέχρι σήμερα είναι η ΔΕΗ Α.Ε., είναι ένα από τα απαραίτητα βήματα το οποίο πρέπει να γίνει ταυτόχρονα με την αίτηση για την περιβαλλοντική αδειοδότηση(εφόσον απαιτείται) και την αίτηση στην αρμόδια πολεοδομική αρχή.

4.4.1. Προσφορά σύνδεσης

Αιτήσεις σύνδεσης για μικρές α/γ, όπως και γενικά για σταθμούς Α.Π.Ε. & Σ.Η.Θ.Υ.Α., πλην φωτοβολταϊκών, υποβάλλονται στη Διεύθυνση Διαχείρισης Δικτύου, Πατησίων 27, 10432 Αθήνα, 8ος όροφος) με το έντυπο του παραρτήματος της Υ.Α. 13310/2007, που βρίσκεται αναρτημένο στον δικτυακό τόπο της ΔΕΗ. Σύμφωνα με τη διαδικασία που έχει καθορίσει η ΔΕΗ, κατά την αίτηση προσκομίζονται τα ακόλουθα δικαιολογητικά:

- Τοπογραφικό 1:5.000 ΓΥΣ της θέσης εγκατάστασης του σταθμού.
- Τίτλος κυριότητας ή νόμιμης κατοχής του χώρου εγκατάστασης.
- Τεχνικά χαρακτηριστικά και πιστοποιήσεις του εξοπλισμού.
- Στοιχεία Μ/Σ ανύψωσης, όταν πρόκειται για σύνδεση στη μέση τάση.
- Μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο σύνδεσης του σταθμού, όπου θα παρουσιάζεται λεπτομερώς ο σημαντικός εξοπλισμός της εγκατάστασης, οι μονάδες παραγωγής με διακριτή αρίθμηση, οι Μ/Σ ανύψωσης τάσης, οι διατάξεις αντιστάθμισης και τα μέσα απόζευξης και προστασίας.
- Σύντομη τεχνική περιγραφή.

Όλα τα παραπάνω έγγραφα πρέπει να υποβάλλονται σε τρία αντίτυπα. Τα στοιχεία της αίτησης στη ΔΕΗ θα πρέπει να συμπληρωθούν:

- με αντίγραφο της έγκρισης από την Πολεοδομία (δόμηση μικρής κλίμακας), όταν αυτή εκδοθεί
- με αντίγραφο της απαλλαγής από Ε.Π.Ο. ή αποδεικτικό παρέλευσης του 20ημέρου από την υποβολή της αίτησης στην Δ/νση Περιβάλλοντος της αιρετής Περιφέρειας ή απόφαση Ε.Π.Ο ή Π.Π.Δ. κατά περίπτωση.

Με βάση τα ανωτέρω στοιχεία η ΔΕΗ, ως Διαχειριστής του Δικτύου, θα εκδώσει την Προσφορά Σύνδεσης, που θα είναι εξαρχής δεσμευτική σε κάθε περίπτωση, πλην των περιπτώσεων εκείνων κατά τις οποίες το έργο δεν απαλλάσσεται από έκδοση Ε.Π.Ο. Στην τελευταία περίπτωση, η Προσφορά Σύνδεσης καθίσταται δεσμευτική με

την προσκόμιση της Ε.Π.Ο. ή των Π.Π.Δ. κατά περίπτωση. Σημειώνεται ότι, κατά τον νόμο, ο τίτλος κυριότητας και η έγκριση της Πολεοδομίας, δεν απαιτούνται για την έκδοση της προσφοράς σύνδεσης από τη ΔΕΗ, αλλά απαιτούνται για την υπογραφή της Σύμβασης Σύνδεσης η οποία έπεται αυτών, με βάση σχετικές οδηγίες και την πρακτική της ΔΕΗ.

4.4.2. Σύμβαση σύνδεσης και παροχή εγγυήσεων για τη σύνδεση

Μετά την έκδοση από τη ΔΕΗ της δεσμευτικής προσφοράς σύνδεσης, την υποβολή του τίτλου κυριότητας και την έγκριση της Πολεοδομίας, ο φορέας υποβάλλει στη ΔΕΗ αίτηση για την υπογραφή της Σύμβασης Σύνδεσης. Με την υπογραφή της Σύμβασης αυτής, ο φορέας καταβάλλει στη ΔΕΗ όλο το κόστος σύνδεσης που έχει καθορισθεί στη δεσμευτική προσφορά.

Ένα σημείο που είναι αδιευκρίνιστο σχετίζεται με την υποχρέωση να έχει εκδοθεί η έγκριση από την Πολεοδομία προκειμένου να υπογραφεί η σύμβαση σύνδεσης. Η ακολουθούμενη όμως πρακτική από τη ΔΕΗ όπως διαφαίνεται στην περίπτωση των μικρών φωτοβολταϊκών, στα οποία απαιτείται έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας όταν δεν συνοδεύονται από κάποια δομική κατασκευή (π.χ. μη προκατασκευασμένος οικίσκος), επιβάλλει την προσκόμιση της έγκρισης αυτής.

Στην περίπτωση των μεγάλων α/γ για τις οποίες απαιτείται άδεια δόμησης για το θεμέλιο (διαδικασία σαφώς πιο χρονοβόρα από αυτή της έγκρισης εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας) δεν είναι αναγκαία η προσκόμισή της για την υπογραφή της σύμβασης σύνδεσης. Είναι ασαφές πώς θα αντιμετωπισθούν οι μικρές α/γ που απαλλάσσονται από την άδεια εγκατάστασης και θεμελιώνονται σε γήπεδο.

Ένα επίσης βασικό σημείο στη διαδικασία, που θα πρέπει να είναι εκ των προτέρων γνωστό, είναι η υποχρέωση παροχής εγγυήσεων. Στις συμβάσεις σύνδεσης που συνάπτει ο Διαχειριστής με τους φορείς σταθμών ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. οι οποίοι εξαιρούνται από την υποχρέωση για λήψη άδειας παραγωγής (εν προκειμένω για μικρές α/γ έως 100kW), καθορίζεται (σύμφωνα με το άρθρο 8, παρ. 15 του ν.3468/2006, όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 3 παρ.2 ν.3851/2010), προθεσμία σύνδεσης στο Σύστημα ή το Δίκτυο, η οποία είναι αποκλειστική, και ορίζεται εγγύηση ή ποινική ρήτρα (150€/kW εγκατεστημένης ισχύος), που καταπίπτει αν ο φορέας δεν υλοποιήσει τη σύνδεση εντός της καθορισθείσας προθεσμίας. Από την παροχή εγγυήσεων, σύμφωνα με την ίδια παράγραφο και το άρθρο του ν.3851/2010 εξαιρούνται:

- α/γ που εγκαθίστανται σε κτίρια,
- α/γ για τις οποίες έχει υπογραφεί σύμβαση σύνδεσης πριν τη θέση σε ισχύ του ν.3851/2010.

4.4.3. Τιμολόγηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας

Η τιμολόγηση της ενέργειας που παράγεται από μικρές α/γ διαμορφώνεται σύμφωνα με το άρθρο 13, παράγραφος 1 του ν.3468/2006, όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 5, παράγραφος 2 του ν.3851/2010.

Συγκεκριμένα, για αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με εγκαταστάσεις ισχύος μικρότερης ή ίσης των 50kW, η τιμή ισούται με 250 €/MWh (τιμή ίδια για Διασυνδεδεμένο Δίκτυο και Σύστημα και για μη Διασυνδεδεμένα Νησιά).

Ο τρόπος αναπροσαρμογής των τιμών αυτών και λοιπές λεπτομέρειες μπορούν να αναζητηθούν στη σχετική διάταξη του νόμου, η οποία γενικά προβλέπει ως δείκτη αναπροσαρμογής τη μεσοσταθμική αναπροσαρμογή των τιμολογίων λιανικής της ΔΕΗ. Ο δείκτης αυτός εφαρμόζεται για όσο χρόνο τα τιμολόγια της ΔΕΗ καθορίζονται με υπουργική απόφαση. Όταν αυτό παύσει και η ΔΕΗ θα καθορίζει τα τιμολόγια της ελεύθερα, για την αναπροσαρμογή της τιμής πώλησης της ενέργειας από μικρές α/γ (όπως και για τις λοιπές Α.Π.Ε. πλην φωτοβολταϊκών) θα εφαρμόζεται το 80% του πληθωρισμού.

4.5. Το πρόγραμμα «Εξοικονόμηση κατ'οίκον» και η προοπτική αξιοποίησής του

4.5.1. Σκοπιμότητα προγράμματος

Ο τομέας των κτηρίων και ο τομέας των μεταφορών αποτελούν τους μεγαλύτερους καταναλωτές ενέργειας στη χώρα. Τα κτήρια στην Ελλάδα ευθύνονται για το 36 % της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης ενώ, κατά την περίοδο 2000–2005, αύξησαν την ενεργειακή τους κατανάλωση κατά 24% φθάνοντας τα 8,54 Mtoe, που αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες αυξήσεις ενεργειακής κατανάλωσης κτηρίων στην Ευρώπη (Μελέτη Πανεπιστημίου Αθηνών Τμήμα Φυσικής για το τ. Υπ. Ανάπτυξης, «Σχέδιο Δράσης σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας στον κτηριακό τομέα», Δεκέμβριος 2008). Η ηλεκτρική κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό τομέα συμμετέχει κατά 27% στο σύνολο της τελικής κατανάλωσης του Μ.Ο. της πενταετίας 2001-2005 του οικιακού τομέα, ενώ το υπόλοιπο 73% δαπανάται για τις θερμικές ανάγκες, κυρίως για θέρμανση χώρων και ζεστό νερό χρήσης (Σ_ΕΑ - δημοσιευμένα ενεργειακά στοιχεία της EUROSTAT Statistical Office of the European Communities - Energystatistics4 Αύγουστος 2007 Παράρτημα Α).

Η εικόνα αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο στην παλαιότητα των κτηρίων, καθώς και στην ενεργειακή «συμπεριφορά» των ενοίκων. Επιπλέον, σύμφωνα με το βασικό σενάριο αναφοράς για την εξέλιξη της ζήτησης του Σχεδίου Δράσης Ενεργειακής Απόδοσης (ΣΔΕΑ), η κατανάλωση στα κτήρια του οικιακού τομέα αυξάνεται ετησίως με ρυθμό 2% περίπου. Υφίσταται, επομένως, ιδιαιτέρως σημαντικό περιθώριο εξοικονόμησης ενέργειας στον οικιακό κτηριακό τομέα.

Η ελλιπής, από ενεργειακής πλευράς, προστασία των υπαρχόντων κτηρίων από το εξωτερικό περιβάλλον, ο συνήθως μη ορθολογικός σχεδιασμός τους ως συνέπεια μίας περιβαλλοντικά αποκομμένης αρχιτεκτονικής αντίληψης που αγνοεί τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες, καθώς και η μέχρι σήμερα έλλειψη νομοθεσίας που να αφορά στην ενεργειακή και περιβαλλοντική προστασία των κτηρίων έχουν ως αποτέλεσμα:

- τη διόγκωση του ενεργειακού ισοζυγίου,
- την οικονομική συμπίεση των ασθενέστερων εισοδηματικών κοινωνικών ομάδων,
- την αύξηση του ενεργειακού ελλείμματος,

ενώ παράλληλα τίθενται σε κίνδυνο οι δεσμεύσεις της χώρας για την προστασία του περιβάλλοντος, όπως αυτές προκύπτουν από τη συμφωνία του Κυότο και τις

υποχρεώσεις που απορρέουν από την εφαρμογή της Οδηγίας 2002/91/ΕΚ (EPBD, 2003) του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2002 για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτηρίων ("EnergyPerformanceofBuildingsDirective", EPBD).

Με γνώμονα την ολοκληρωμένη παρέμβαση εξοικονόμησης ενέργειας στον οικιακό κτηριακό τομέα και με κύριο στόχο τη μείωση των ενεργειακών αναγκών των κτηρίων, των εκπομπών ρύπων που συμβάλλουν στην επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου και την επίτευξη καθαρότερου περιβάλλοντος, σχεδιάστηκε το Πρόγραμμα «Εξοικονόμηση κατ' Οίκον».

Συγκεκριμένα, με την απόφαση 31654/ΕΥΘΥ1415/20.07.2010, ΦΕΚ Β' 1262 το επενδυτικό πρόγραμμα «Εξοικονόμηση κατ'οίκον» παρέχει την δυνατότητα χορήγησης χαμηλότοκων δανείων σε συνδυασμό με επιδότηση επιτοκίου, επιχορήγηση κεφαλαίου και κάλυψη του κόστους των ενεργειακών επιθεωρήσεων σε ιδιοκτήτες κατοικιών, με πόρους από το ταμείο Χαρτοφυλακίου «Ταμείο Εξοικονομώ κατ' οίκον» και το «Πρόγραμμα Άμεσης Ενίσχυσης» των νοικοκυριών.

4.5.2. Οικιακές ανεμογεννήτριες και δυνατότητα επιδότησης της εν λόγω επένδυσης

Στο πλαίσιο της ανάγκης για οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης σε οικιακές ανεμογεννήτριες και δεδομένης της δυνατότητας παράλληλης χρήσης των α/γ για παραγωγή ηλεκτρισμού αλλά και θερμότητας, προτείνεται η ένταξη στο πρόγραμμα επιδότησης "Εξοικονομώ κατ'οίκον" του ΥΠΕΚΑ στην κατηγορία δαπάνης 3.Δ.:Συστήματα θέρμανσης με κύρια χρήση Α.Π.Ε. και ποσό δαπάνης έως 15.000 €.

Συγκεκριμένα, στην κατηγορία αυτή είναι επιλέξιμες:

- Η εγκατάσταση νέου ή αντικατάσταση συστήματος καυστήρα ή/και λέβητα με καινούριο σύστημα πετρελαίου ή φυσικού αερίου (κεντρικό ή ατομικό) ή σύστημα που λειτουργεί κυρίως με την αξιοποίηση ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, Α.Π.Ε., (π.χ. καυστήρας βιομάζας, αντλίες θερμότητας, ηλιοθερμικά συστήματα, κλπ.) ή σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης (ΣΗΘΥΑ). Η εγκατάσταση / αντικατάσταση αφορά στον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό του λεβητοστασίου στο σύνολό του και του δικτύου διανομής (αυτοματισμοί, κυκλοφορητές, καμινάδα, αντικατάσταση ή μόνωση σωληνώσεων, κλπ.). Δεν είναι επιλέξιμες οι δαπάνες για δεξαμενή πετρελαίου και τερματικές μονάδες απόδοσης θερμότητας (σώματα καλοριφέρ, ενδοδαπέδιο σύστημα, κλπ).
- Η τοποθέτηση διατάξεων αυτομάτου ελέγχου της λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης, όπως χρονοδιακόπτες, αυτοματισμούς αντιστάθμισης ή/και υδραυλικής ισορροπίας για τη ρύθμιση των μερικών φορτίων (τρίοδη ή τετράοδη ηλεκτροβάννα, ρυθμιστές στροφών κυκλοφορητών, κλπ), θερμοστάτες χώρων, θερμοστατικές κεφαλές θερμαντικών σωμάτων, κλπ., συμπεριλαμβανομένων συστημάτων θερμιδομέτρησης για την κατανομή δαπανών θέρμανσης.
- Η τοποθέτηση ηλιακών συστημάτων για την παροχή ζεστού νερού χρήσης (συλλέκτης, δοχείο αποθήκευσης νερού, βάση στήριξης, σωληνώσεις, κλπ).

4.5.3. Γενικές Προϋποθέσεις Επιλεξιμότητας

Μία κατοικία, προκειμένου να κριθεί επιλέξιμη, πρέπει να πληροί τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Βρίσκεται σε περιοχές με τιμή ζώνης χαμηλότερη ή ίση των 2.100 €/τ.μ., όπως αυτή είχε διαμορφωθεί μέχρι τις 31.12.2009.
- Φέρει οικοδομική άδεια. Στην περίπτωση που ο ιδιοκτήτης του κτηρίου δε διαθέτει οικοδομική άδεια, θα πρέπει να προσκομισθεί σχετικό νομιμοποιητικό έγγραφο, από το οποίο να προκύπτει ότι το κτήριο υφίσταται νόμιμα. Για τις περιπτώσεις που η οικοδομική άδεια απωλέσθη ή τα σχετικά αρχεία βάσει των οποίων μπορεί να εκδοθεί το ως άνω νομιμοποιητικό έγγραφο δεν είναι άμεσα διαθέσιμα, η εν λόγω άδεια και το νομιμοποιητικό έγγραφο δύνανται να προσκομιστούν στο χρηματοπιστωτικό οργανισμό πριν την υπογραφή της δανειακής σύμβασης.
- Έχει καταταχθεί βάσει του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) σε κατηγορία χαμηλότερη ή ίση της Δ.
- Δεν έχει κριθεί κατεδαφιστέα.

4.5.4. Ειδικές Προϋποθέσεις Επιλεξιμότητας για Πολυκατοικίες

Για να χαρακτηριστεί μία πολυκατοικία επιλέξιμη κατοικία θα πρέπει να πληρούνται τα ακόλουθα:

- Τουλάχιστον το 50% των ιδιοκτησιών (διαμερίσματα και μη) να χρησιμοποιείται ως κατοικία. Δεν χαρακτηρίζονται όμως ως επιλέξιμες οι ιδιοκτησίες που δεν χρησιμοποιούνται για κατοικία (π.χ. κατάστημα στο ισόγειο κτηρίου).
- Μετά από απόφαση γενικής συνέλευσης, υποβάλλεται σχετική αίτηση από εκπρόσωπο του συνόλου των ιδιοκτητών των διαμερισμάτων με στοιχεία σχετικά με την ικανοποίηση των κριτηρίων επιλεξιμότητας του κτηρίου, καθώς και επιμέρους αιτήσεις από καθένα από τους ιδιοκτήτες διαμερισμάτων που επιθυμούν να ενταχθούν στο Πρόγραμμα.
- Υποβάλλεται Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης που αφορά συνολικά στο μέρος του κτηρίου που χρησιμοποιείται ως κατοικία.

4.5.5. Ωφελούμενοι

Δικαίωμα συμμετοχής στο Πρόγραμμα έχουν μόνο φυσικά πρόσωπα που:

α. έχουν δικαίωμα κυριότητας (πλήρους ή ψιλής) ή επικαρπίας σε επιλέξιμη κατοικία.

β. πληρούν τα εισοδηματικά κριτήρια των παρακάτω κατηγοριών Α1 ή Α2 ή Β .

Σε περίπτωση ύπαρξης δικαιωμάτων συγκυριότητας σε επιλέξιμη κατοικία η αίτηση υποβάλλεται από έναν εκ των συγκυρίων μετά από συμφωνία των υπολοίπων, οι οποίοι δηλώνουν την συγκατάθεσή τους μέσω Υπεύθυνης Δήλωσης.

Τα ανωτέρω φυσικά πρόσωπα καλούνται Ωφελούμενοι του Προγράμματος.

- Ωφελούμενοι κατηγορίας Α1: οι Ωφελούμενοι των οποίων το ατομικό δηλωθέν εισόδημα δεν ξεπερνά τις 12.000 € ή το οικογενειακό δηλωθέν εισόδημα δεν ξεπερνά τις 20.000 €.

- Ωφελούμενοι κατηγορίας A2: οι Ωφελούμενοι των οποίων το ατομικό δηλωθέν εισόδημα είναι μεγαλύτερο των 12.000 € και δεν ξεπερνά τις 40.000 € ή το οικογενειακό δηλωθέν εισόδημα είναι μεγαλύτερο των 20.000 € και δεν ξεπερνά τις 60.000 €.
- Ωφελούμενοι κατηγορίας B: οι Ωφελούμενοι των οποίων το ατομικό δηλωθέν εισόδημα είναι μεγαλύτερο των 40.000 € και δεν ξεπερνά τις 60.000 € ή το οικογενειακό δηλωθέν εισόδημα είναι μεγαλύτερο των 60.000 € και δεν ξεπερνά τις 80.000 €.

Ως δηλωθέν εισόδημα λαμβάνεται το «συνολικό δηλωθέν εισόδημα» του τμήματος Γ «Εκκαθάριση Φ.Ε.» του εκκαθαριστικού σημειώματος φορολογίας εισοδήματος.

Στην περίπτωση αίτησης πολυκατοικίας ως σύνολο κτηρίου, ισχύουν επιπλέον τα εξής:

- εφόσον πληρούνται τα εισοδηματικά κριτήρια της κατηγορίας A1 ή A2 τουλάχιστον από το 50% των ιδιοκτητών κατοικίας, οι ιδιοκτήτες διαμερισμάτων που βάσει των εισοδημάτων τους εμπίπτουν στην κατηγορία B εντάσσονται στην κατηγορία A2, και οι ιδιοκτήτες με εισοδήματα υψηλότερα αυτών της κατηγορίας B, εντάσσονται στην κατηγορία B. Σε διαφορετική περίπτωση, ο κάθε ιδιοκτήτης εντάσσεται στην κατηγορία που αντιστοιχεί στο εισόδημά του.
- Οι ιδιοκτήτες που δεν εντάσσονται στο πρόγραμμα συμμετέχουν στην υλοποίηση των δηλωθέντων παρεμβάσεων με ίδια κεφάλαια.

4.5.6.Επιλέξιμος Προϋπολογισμός - Κίνητρα - Δανειακή Σύμβαση

Ο επιλέξιμος προϋπολογισμός ανά αίτηση Ωφελούμενου δεν μπορεί να υπερβαίνει τις 15.000 € συμπεριλαμβανομένου του Φ.Π.Α. (επιλέξιμος προϋπολογισμός παρεμβάσεων). Ο τελικός επιλέξιμος προϋπολογισμός καθορίζεται βάσει των προσκομισθέντων παραστατικών δαπανών και δεν μπορεί να υπερβαίνει τον επιλέξιμο προϋπολογισμό της απόφασης υπαγωγής καθώς και τα ανώτατα όρια επιλέξιμων δαπανών ανά κατηγορία δαπάνης του προγράμματος.

Οι Ωφελούμενοι των κατηγοριών A1, A2 και B της παραγράφου 2.2 εντάσσονται κατ' αντιστοιχία στις ακόλουθες κατηγορίες κινήτρων:

- Κατηγορία κινήτρων A1: Επί του τελικού επιλέξιμου προϋπολογισμού, δάνειο ύψους 30% με επιδότηση επιτοκίου 100% και επιχορήγηση ύψους 70%.

Συνάπτεται δανειακή σύμβαση στο ύψος του 30% του προϋπολογισμού του έργου. Μετά τη διενέργεια της δεύτερης ενεργειακής επιθεώρησης και την προσκόμιση των παραστατικών δαπανών επί πιστώσει, βάσει του τελικού επιλέξιμου προϋπολογισμού εκταμιεύεται το σύνολο ή το υπόλοιπο (σε περίπτωση προκαταβολής) του δανείου και χορηγείται επιχορήγηση 70%, με απευθείας πληρωμή των αναδόχων/ προμηθευτών σε τραπεζικό λογαριασμό τους από τον χρηματοπιστωτικό οργανισμό. Επιπλέον, επιδοτείται το επιτόκιο της δανειακής σύμβασης κατά 100%.

- Κατηγορία κινήτρων A2: Επί του τελικού επιλέξιμου προϋπολογισμού, δάνειο ύψους 65% με επιδότηση επιτοκίου 100% και επιχορήγηση ύψους 35%.

Συνάπτεται δανειακή σύμβαση στο ύψος του 65% του προϋπολογισμού του έργου. Μετά τη διενέργεια της δεύτερης ενεργειακής επιθεώρησης και την

προσκόμιση των παραστατικών δαπανών επί πιστώσει, βάσει του τελικού επιλέξιμου προϋπολογισμού εκταμιεύεται το σύνολο ή το υπόλοιπο (σε περίπτωση προκαταβολής) του δανείου και χορηγείται επιχορήγηση 35%, με απευθείας πληρωμή των αναδόχων/ προμηθευτών σε τραπεζικό λογαριασμό τους από τον χρηματοπιστωτικό οργανισμό. Επιπλέον, επιδοτείται το επιτόκιο της δανειακής σύμβασης κατά 100%.

- Κατηγορία κινήτρων Β: Επί του τελικού επιλέξιμου προϋπολογισμού, δάνειο ύψους 85% με επιδότηση επιτοκίου 100% και επιχορήγηση ύψους 15%.

Συνάπτεται δανειακή σύμβαση στο ύψος του 85% του προϋπολογισμού του έργου. Μετά τη διενέργεια της δεύτερης ενεργειακής επιθεώρησης και την προσκόμιση των παραστατικών δαπανών επί πιστώσει, βάσει του τελικού επιλέξιμου προϋπολογισμού εκταμιεύεται το σύνολο ή το υπόλοιπο (σε περίπτωση προκαταβολής) του δανείου και χορηγείται επιχορήγηση 15%, με απευθείας πληρωμή των αναδόχων/ προμηθευτών σε τραπεζικό λογαριασμό τους από τον χρηματοπιστωτικό οργανισμό.

Το επιτόκιο της δανειακής σύμβασης ανέρχεται σε 4,93 %. Επιπλέον, η εισφορά του Ν.128/22-28.8.1975 (ΦΕΚ Α' 178) ανέρχεται σε 0,12% και επιβαρύνει τον Ωφελούμενο. Ο χρηματοπιστωτικός οργανισμός δεν επιβαρύνει τους ενδιαφερόμενους με κόστος διαχείρισης φακέλου αιτήματος.

Επιπλέον, οι όροι της δανειακής σύμβασης έχουν ως εξής:

1. Υφίσταται μηδενικό διαχειριστικό κόστος, ανά φάκελο δανείου.
2. Δεν απαιτούνται από τον χρηματοπιστωτικό οργανισμό εξασφαλίσεις για την παροχή του δανείου. Επιτρέπεται, κατ' εξαίρεση, η δυνατότητα να τεθεί εγγυητής κατά την υποβολή της αίτησης για υπαγωγή στο Πρόγραμμα, σε όσες περιπτώσεις το επιθυμούν οι πολίτες προκειμένου να βελτιώσουν την πιστοληπτική τους ικανότητα και ιδίως στις περιπτώσεις ηλικιωμένων, ανηλίκων, καθώς και πολιτών που στερούνται επαρκούς ατομικού εισοδήματος, όπως ενδεικτικά οικοκυρές και άνεργοι.
3. Η διάρκεια του δανείου είναι τέσσερα (4), πέντε (5) ή έξι (6) έτη, με καταληκτική ημερομηνία επιλεξιμότητας τόκων την 31.12.2015 σύμφωνα με το άρθρο 56 παρ. 1 του κανονισμού 1083/2006, όπως κάθε φορά ισχύει.
4. Παρέχεται η δυνατότητα επιμήκυνσης του χρόνου αποπληρωμής του δανείου, έως ένα (1) έτος με το ίδιο επιτόκιο, αποκλειστικά υπό τον όρο ότι οι εκ του λόγου αυτού επιπλέον τόκοι επιβαρύνουν τον Ωφελούμενο.
5. Η τοκοχρεωλυτική απόσβεση του δανείου γίνεται με μηνιαία συχνότητα πληρωμής δόσεων και σταθερό επιτόκιο καθ' όλη τη διάρκεια του δανείου.
6. Παρέχεται η δυνατότητα για πρόωρη μερική ή ολική εξόφληση του δανείου χωρίς επιβάρυνση του δανειολήπτη.
7. Υφίσταται δυνατότητα περιόδου χάριτος ενός (1) έτους.
8. Ο Δικαιούχος καταβάλλει τους τόκους στον χρηματοπιστωτικό οργανισμό μετά την καταβολή της αντίστοιχης δόσης κεφαλαίου από τον Ωφελούμενο. Σε περίπτωση αδυναμίας πληρωμής δόσης κεφαλαίου από τον Ωφελούμενο, ο Δικαιούχος δύναται να καταβάλλει τους τόκους στον χρηματοπιστωτικό οργανισμό για χρονικό διάστημα έως τρεις (3) μήνες από την ημερομηνία της πρώτης καθυστέρησης.

ΧΡΗΣΙΜΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΓΙΑ ΑΝΤΛΗΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

- [1] Η Υπηρεσία Α.Π.Ε. του ΥΠΕΚΑ (www.ypeka.gr), όπου υπάρχει ενημερωμένη λίστα του εκδιδόμενου θεσμικού πλαισίου μετά τον ν.3851/2010.
- [2] Η ιστοσελίδα της ΔΕΗ (www.dei.gr) .
- [3] Η ιστοσελίδα του Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. για τα απαιτούμενα δικαιολογητικά (www.desmie.gr).
- [4] Η σελίδα της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας, όπου υπάρχει η βασική νομοθεσία περί Α.Π.Ε. (www.rae.gr).
- [5] Η ιστοσελίδα του Κ.Α.Π.Ε. (www.cres.gr), όπου υπάρχει οδηγός για μικρά συστήματα ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε.
- [6] Η ιστοσελίδα της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Αιολικής Ενέργειας(www.eletaen.gr),όπου υπάρχει οδηγός για μικρές ανεμογεννήτριες.
- [7] Η ιστοσελίδα του ΥΠΕΚΑ (www.ypeka.gr), για ενημέρωση σχετικά με το πρόγραμμα Πρόγραμμα «Εξοικονόμηση κατ' Οίκον».

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Το πρόγραμμα προσομοίωσης Envi-met και η εφαρμογή του

5.1. Γενικά για το Envi-met

Από τις αρχές του 21ου αιώνα, μέχρι και σήμερα, η παγκόσμια τάση της αστικοποίησης συνεχίζεται με περίπου το 60% του παγκόσμιου πληθυσμού να ζει σε πόλεις μεγαλύτερες των 5.000 κατοίκων. Ο περιορισμένος διαθέσιμος χώρος, δεν οδηγεί μόνο σε όλο και πιο πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές, αλλά και στην εξάπλωση των πόλεων σε περιοχές που κανονικά δεν προορίζονταν για ανθρώπινη εγκατάσταση, όπως οικισμοί σε ερήμους ή μεγαλουπόλεις σε τροπικές ζώνες. Η ανέγερση κτιρίων και η επικάλυψη της επιφάνειας των πόλεων με τεχνητά υλικά αλλάζει τις συνθήκες του περιβάλλοντος στις αστικές περιοχές, τονίζοντας το ερώτημα: πώς το αστικό περιβάλλον θα μπορούσε να σχεδιαστεί για να προσφέρει τις καλύτερες δυνατές κλιματικές συνθήκες για τους πολίτες.

Το ENVI-met είναι ένα πρόγραμμα τρισδιάστατης μοντελοποίησης μικροκλίματος και έχει σχεδιαστεί για την προσομοίωση και τον υπολογισμό μεγεθών που συσχετίζονται με την επιφάνεια του εδάφους, την βλάστηση και τον άνεμο καθώς αυτά αλληλεπιδρούν σε ένα αστικό περιβάλλον. Το Envi-met υποστηρίζει μια τυπική ανάλυση από 0,5 έως 10m στο τρισδιάστατο χώρο και 10 δευτερόλεπτα στο χρόνο. Τυπικές περιοχές εφαρμογής του προγράμματος είναι η αστική κλιματολογία, η αρχιτεκτονική, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων κ.α. Η λειτουργία του βασίζεται στην τρισδιάστατη απεικόνιση του εκάστοτε μελετώμενου χώρου, λαμβάνοντας υπ' όψιν ταυτόχρονα την επίδραση του χρόνου και τα μεγέθη των παραγόντων που αυτός επηρεάζει (πχ η θερμοκρασία μιας συγκεκριμένης χρονιάς, ημέρας και ώρας του μελετώμενου χώρου). Ακόμη, το μοντέλο βασίζεται στη φυσική και τους υδροδυναμικούς και θερμοδυναμικούς νόμους της. Έτσι αναπαράγει τις φυσικές διαδικασίες της ατμόσφαιρας που επηρεάζουν το μικροκλίμα της περιοχής.

Το ENVI-met είναι ένα δωρεάν πρόγραμμα που βασίζεται σε διαφορετικά επιστημονικά ερευνητικά προγράμματα και, επομένως, υπό συνεχή εξέλιξη, όμως το ENVI-met δεν είναι Open Source.

Το ENVI-met έχει τη δυνατότητα να προσομοιώνει σε μοντελοποιημένους χώρους:

- Τη ροή ανέμου γύρω και μεταξύ των κτιρίων
- Τη διαδικασία ανταλλαγής θερμότητας και υδρατμών ανάμεσα στην επιφάνεια του εδάφους, τους τείχους και το περιβάλλον
- Τύρβη ανέμου
- Διαδικασίες διαφοροποίησης παραμέτρων της βλάστησης
- Βιοκλιματολογία
- Διασπορά σωματιδίων και χημεία για την ρύπανση

Το ENVI-met έρχεται μαζί με μια σειρά από επιπλέον λογισμικό που κυμαίνεται από εργαλεία σύνταξης έως εργαλεία οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του μοντέλου.

5.2. Οι εξισώσεις για τον άνεμο που χρησιμοποιούνται στο Envi-met

5.2.1. Εξισώσεις για την κύρια ροή του ανέμου

Οι εξισώσεις Navier-Stokes για το τρισδιάστατο χώρο χρησιμοποιούνται για την προσέγγιση Boussinesq, σύμφωνα με την οποία γίνεται η παραδοχή ότι σε περίπτωση μη ομογενούς ρευστού η χωρική διαφοροποίηση της πυκνότητας λαμβάνεται υπόψη. Στη συνέχεια δίνονται οι εξισώσεις Navier-Stokes που αναφέρονται σε μη υδροστατικό και ασυμπίεστο ρευστό.

$$\frac{\theta u}{\theta t} + u_i \frac{\theta u}{\theta x_i} = -\frac{\theta p}{\theta x} + K_m \left(\frac{\theta^2 u}{\theta x_i^2} \right) + f(v - v_g) - S_u$$

$$\frac{\theta v}{\theta t} + u_i \frac{\theta v}{\theta x_i} = -\frac{\theta p}{\theta y} + K_m \left(\frac{\theta^2 v}{\theta x_i^2} \right) + f(u - u_g) - S_v$$

$$\frac{\theta w}{\theta t} + u_i \frac{\theta w}{\theta x_i} = -\frac{\theta p}{\theta z} + K_m \left(\frac{\theta^2 w}{\theta x_i^2} \right) + g \frac{\theta(z)}{\theta ref(z)} - S_w$$

$$\frac{\theta u}{\theta x} + \frac{\theta v}{\theta y} + \frac{\theta w}{\theta z} = 0$$

Όπου:

f , είναι η παράμετρος Coriolis και λαμβάνεται $f=104sec^{-1}$ με $f=2\Omega\eta\mu\phi$, όπου Ω : η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της γης

p , είναι η πίεση λόγω υδροστατικής κατανομής

Η διατάραξη της πίεσης δεν συνυπολογίζεται στις εξισώσεις ενώ ένα βοηθητικό πεδίο ταχύτητας υπολογίζεται το οποίο προσεγγίζει μια ικανοποιητική εκτίμηση με μια επαναληπτική λύση της εξίσωσης Poisson και τη διόρθωση του στα όρια εκροής. Η κύρια ροή του ανέμου ενημερώνεται σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα ενώ το ENVI-met υποστηρίζει τον υπολογισμό της ροής σε πραγματικό χρόνο το οποίο σημαίνει ότι το πεδίο ροής αντιμετωπίζεται ως μία κανονική μεταβλητή πρόγνωσης. Όμως λόγω των πολύ μικρών βημάτων χρόνου που απαιτούνται, αυτός ο τρόπος υπολογισμού απαιτεί τεράστια υπολογιστική ισχύ.

5.2.2. Εξισώσεις για την ατμοσφαιρική τύρβη

Το Envi-met χρησιμοποιεί το μοντέλο 'K-epsilon' για τον υπολογισμό της ατμοσφαιρικής τύρβης. Το μοντέλο χρησιμοποιεί δύο προγνωστικές εξισώσεις, μία για

την εκτίμηση της διοχετευόμενης ενέργειας στην τυρβώδη ροή και μία για την διάχυση της που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση της διανομής της τυρβώδους ενέργειας.

Η εξίσωση που περιγράφει την εισαγωγή της κινητικής 'k':

$$\frac{\theta}{\theta t}(\rho k) + \frac{\theta}{\theta x_i}(\rho k u_i) = \frac{\theta}{\theta x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\theta k}{\theta x_j} \right] + P_k + P_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k$$

Η εξίσωση που περιγράφει την διάχυση της κινητικής ενέργειας 'ε':

$$\frac{\theta}{\theta t}(\rho \varepsilon) + \frac{\theta}{\theta x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\theta}{\theta x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\theta \varepsilon}{\theta x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (P_k + C_{3\varepsilon} P_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon$$

Δηλαδή ο ρυθμός της διάχυσης της κινητικής ενέργειας 'ε' είναι ίσος με την δυναμική συνεκτικότητα ή ιξώδες πολλαπλασιασμένο με τον κυμαινόμενο στροβιλισμό ο οποίος ισούται με: $\omega(r,t) = \nabla \times u(r,t)$

Η δυναμική συνεκτικότητα σε τυρβώδη ροή υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

Οι συντελεστές ανταλλαγής για τον αέρα υπολογίζονται σύμφωνα με την σχέση Prandtl-Kolmogorov ενώ η επίδραση της άνωσης περιγράφεται από την εξίσωση:

$$P = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\theta T}{\theta x_i}$$

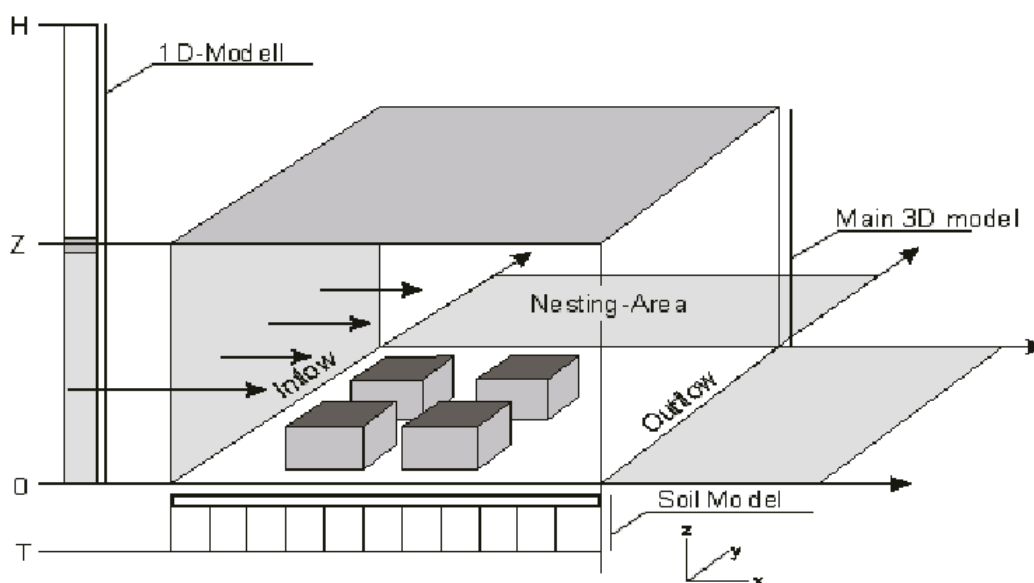
όπου Pr_t είναι ο αριθμός Prandtl για τυρβώδη ροή την ενέργεια και g_i είναι η συνιστώσα της βαρύτητας του φορέα στην i-κατεύθυνση. Για τα πρότυπα μοντέλα, η συνήθης τιμή του αριθμού Prandtl είναι 0,85.

Ο συντελεστής θερμικής διαστολής β ορίζεται ως:

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\theta \rho}{\theta T} \right)_p$$

Στην περίπτωση που η ένταση ανέμου στην περιοχή μελέτης είναι χαμηλή το Envi-met χρησιμοποιεί το μοντέλο 'first order mixing length' αντί του μοντέλου K-έψιλον (το οποίο παρουσιάζει σημαντικό σφάλμα για άνεμο χαμηλής εντάσεως).

5.3. Η δομή του μοντέλου του Envi-met



Εικόνα 5.1. Σχηματική αναπαράσταση της διάταξης του μοντέλου.
[Πηγή: BruseMichael 1997, www.envi-met.com]

Στην εικόνα 5.1. φαίνεται η βασική δομή ενός μικροκλιματικού μοντέλου όπως του ENVI-met. Η δομή αυτή δεν αφορά μόνο το εν λόγω μοντέλο αλλά χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλα τα τρισδιάστατα αριθμητικά μοντέλα. Είναι σχεδιασμένο στις 3 διαστάσεις του χώρου με τις δύο οριζόντιες (x και y) και τη μία κατακόρυφη (z). Στο εσωτερικό του μπορούν να τοποθετηθούν τα τυπικά στοιχεία που αντιπροσωπεύουν την περιοχή ενδιαφέροντος όπως κτήρια, βλάστηση και διάφορα είδη επιφανειών χρησιμοποιώντας το αρχείο εισαγωγής περιοχής (Area Input File .IN). Για να γίνει χρήση ενός αριθμητικού μοντέλου, η περιοχή ενδιαφέροντος θα πρέπει να αναχθεί σε μια εσχάρα κελιών (grid cells). Όσο μικρότερο είναι το μέγεθος των κελιών, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Απ' την άλλη, κάνοντας τα κελιά μικρά, συνεπάγεται ότι απαιτούνται περισσότερα από αυτά για να καλύψουν την εκάστοτε περιοχή. Σε κάθε προσομοίωση απαιτείται ένας συμβιβασμός μεταξύ της ακρίβειας και της ανάλυσης του μοντέλου, στοιχεία που επηρεάζονται άμεσα από τον αριθμό των κελιών.

Όσον αφορά την εφαρμογή του υπολογιστικού μοντέλου, το ENVI-met απαιτεί την πραγματοποίηση δύο συγκεκριμένων βημάτων, προτού ξεκινήσει η διαδικασία προσομοίωσης.

Το πρώτο βήμα περιλαμβάνει την διαμόρφωση της περιοχής που θα εξεταστεί καθώς επίσης και τα χαρακτηριστικά αυτής. Το κυρίως μοντέλο, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, είναι τρισδιάστατο σχεδιασμένο κατά δύο οριζόντιες κατευθύνσεις (x και y) και μια κατακόρυφη κατεύθυνση (z). Επομένως, απαιτούνται οι οριζόντιες και κατακόρυφες διαστάσεις των κτηρίων της περιοχής καθώς και χαρακτηριστικά σχεδιασμού όπως η φορά του ανέμου, τα υλικά των επιφανειών στην οριζόντια διάσταση, η βλάστηση και το μέγεθος αυτής και άλλα.

Το δεύτερο βήμα είναι η κατασκευή του λεγόμενου αρχείου configuration file, στο οποίο αποτυπώνονται όλες οι πληροφορίες για τις συνθήκες στην τοποθεσία, όπως θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα ανέμου, PMV, παράμετροι εδάφους και βλάστησης.

Ακολουθεί η εκτέλεση της προσομοίωσης, όπου χρησιμοποιούνται και τα δύο αρχεία και παράγονται αποτελέσματα στο σχετικό output (.EDI/.EDT). Τα αποτελέσματα αυτά θα πρέπει να επεξεργαστούν μέσω του υπό-προγράμματος Leonardo 3.0. Κάθε αρχείο των εξαγόμενων αποτελεσμάτων έχει μια πληθώρα καταχωρημένων μετρήσεων, οι οποίες θα πρέπει να μεταφραστούν σύμφωνα με τα διαθέσιμα 'layers' (datalayer, speciallayer, vectorlayer).

Τα αρχεία που χρειάζεται να συνταχθούν στο ENVI-met και παράγονται από αυτό, μπορούν να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες. Καταρχήν, υπάρχουν τα αρχεία εισαγωγής δεδομένων (inputfiles) τα οποία ορίζουν μια συγκεκριμένη προσομοίωση. Στη συνέχεια, τα αρχεία βάσης δεδομένων (databasefiles) συλλέγουν πληροφορίες για όλες τις προσομοιώσεις και τις επεξεργάζονται ενώ τέλος, τα αρχεία εξαγωγής συμπερασμάτων (outputfiles) δημιουργούνται από το ENVI-met και περιέχουν το σύνολο των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης

Παρακάτω παρουσιάζονται τα υπο-αρχεία που απαρτίζουν την κάθε μία από τις προαναφερθείσες κατηγορίες:

➤ Input files

1. The configuration file.CF
2. Area Input file.IN
3. Batch file.EBF

➤ Database files

1. Soils Database
2. Profiles Database
3. Plant Database
4. Sources Database

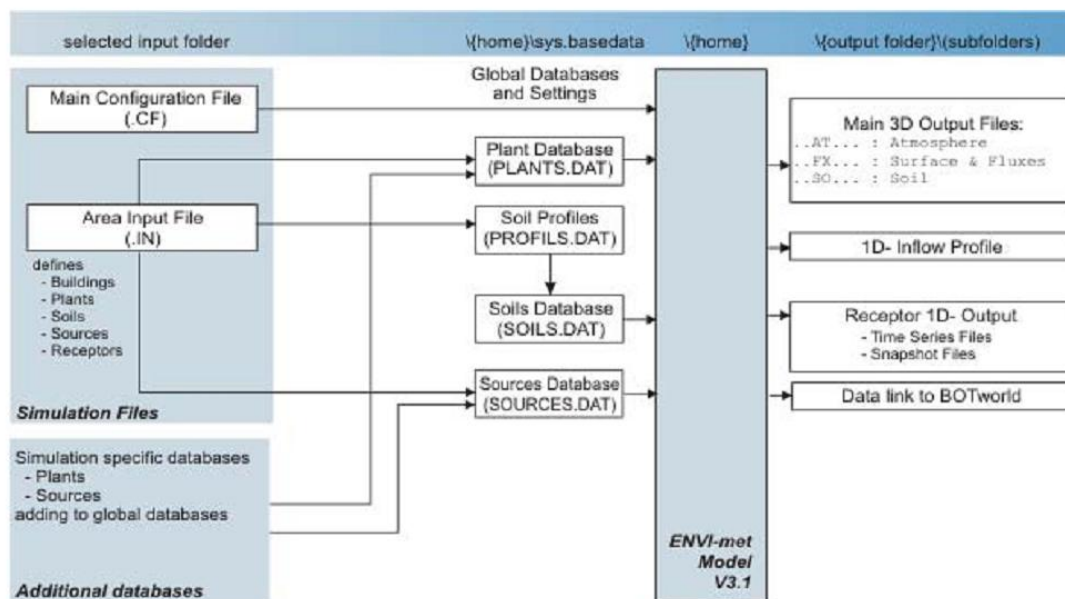
➤ Output files

1. Main Data files
2. Receptor files

3. 1D-Model files

4. BOTworld files.

Λαμβάνοντας τώρα υπόψη τα είδη των αρχείων και τον ρόλο τους, μπορούμε να κατανοήσουμε τη γενική ροή των δεδομένων, η οποία απεικονίζεται σχηματικά στην παρακάτω εικόνα:



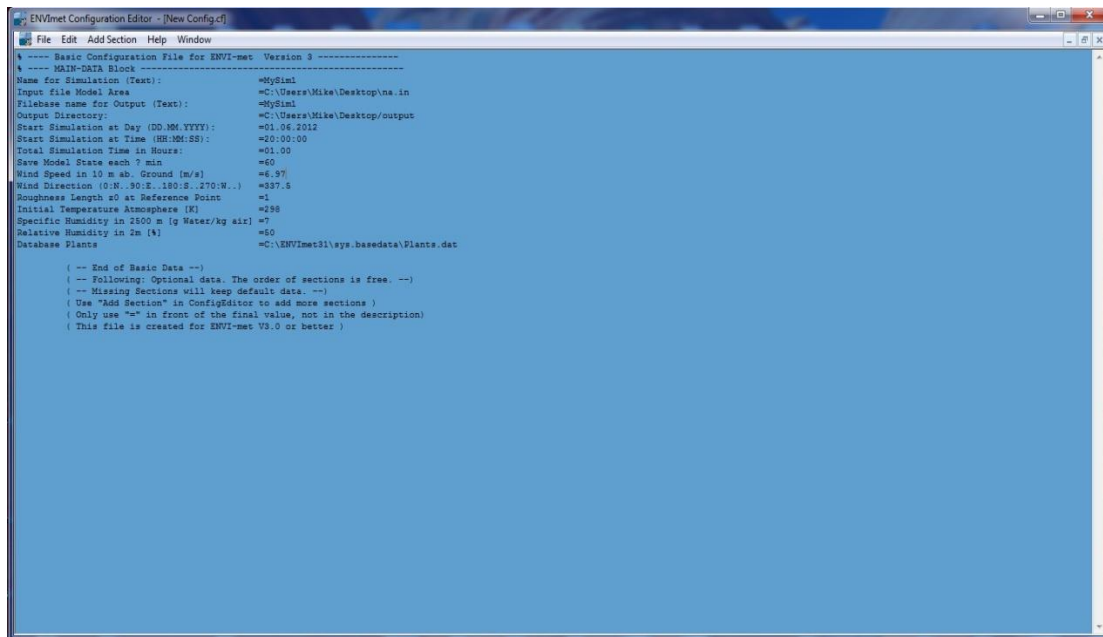
Εικόνα 5.2. Γενική Ροή Δεδομένων στο ENVI-met.
[Πηγή: Bruse Michael 1997, www.envi-met.com]

5.4. Αρχεία εισαγωγής (Input file)

5.4.1. Αρχείο Ρυθμίσεων (Configuration file)

Στο .CF (Configuration File) ορίζονται οι ρυθμίσεις για την εκάστοτε προσομοίωση, για παράδειγμα, το όνομα του .IN (Area Input File), το όνομα των παραγόμενων αρχείων (Output Files) ή οι μετεωρολογικές ρυθμίσεις. Κάθε προσομοίωση καθορίζεται από το δικό της .CF. Είναι δυνατή η χρήση του ίδιου .IN για δύο διαφορετικές αναλύσεις όμως κάθε μια χρειάζεται το δικό της .CF.

Καθένας από τους φακέλους αυτούς, ξεκινάει με μια συγκεκριμένη δομή, δηλαδή απαρτίζεται από ένα συγκεκριμένο σύνολο στοιχειωδών πληροφοριών, το οποίο είναι απαραίτητο για την προσομοίωση. Στην Εικόνα 5.3. παρουσιάζεται η μορφή του αρχείου και ουσιαστικά γίνεται αντιληπτό ποια στοιχεία χρειάζεται να είναι γνωστά ώστε να ξεκινήσει η προσομοίωση:



Εικόνα 5.3.Απεικόνιση Configuration File για την κύρια διεύθυνση ανέμου.

5.4.2. Αρχείο περιοχής του μοντέλου προσομείωσης (Areainputfile)

Το αρχείο αυτό είναι το σημαντικότερο για την χρήση του ENVI-met. Μέσω της κατάρτισής του, ορίζεται η γεωμετρία του εξεταζόμενου περιβάλλοντος στο μοντέλο, δηλαδή τα κτήρια, τα φυτά και το έδαφος. Συγκεκριμένα, οι πληροφορίες που συμπεριλαμβάνονται σε ένα αρχείο.IN είναι:

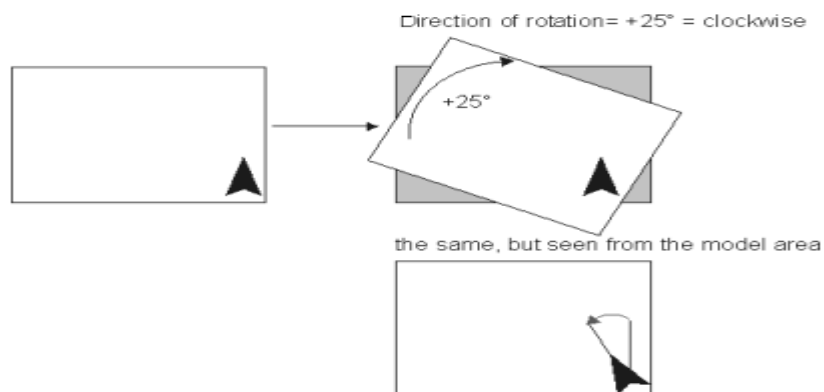
- η θέση και το ύψος των κτηρίων
- η θέση των φυτών
- η κατανομή των υλικών των επιφανειών και οι τύποι του εδάφους
- η θέση των πηγών (sources)
- η θέση των υποδοχέων (receptors)
- η γεωγραφική θέση και ο προσανατολισμός της περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει τα οικοδομικά τετράγωνα που περικλείονται από τις οδούς Αρτάκης, Βαπορίδου, Βοσπόρου, Φρυγείας, Πισιδίας, Ελλησπόντου και Στενημάχου.

Η περιοχή του μοντέλου αποτελείται από ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο το οποίο εκτείνεται κατά x, y και z. Κατά την διαμόρφωση του .IN δεν φαίνεται η διάσταση z, όμως αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι του μοντέλου. Όσον αφορά τα δευτερεύοντα κελιά (nesting grids), όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, αποτελούν μια ζώνη που περιβάλλει τον πυρήνα του μοντέλου μας. Όσο αυξάνεται το εύρος της ζώνης αυτής, τόσο μειώνεται η πιθανότητα να υπάρξουν αριθμητικά προβλήματα. Το ENVI-met ειδοποιεί τον χρήστη μετά την πάροδο χρονικού διαστήματος 10 δευτερολέπτων, σε περίπτωση που το πεδίο ροής είναι ασταθές, προτείνοντας την αύξηση του πλήθους των δευτερευόντων κελιών.

Σχετικά με τις πληροφορίες για το έδαφος στα δευτερεύοντα κελιά, καθώς αυτά δημιουργούνται αποκλειστικά στην εσωτερική μνήμη του προγράμματος, δεν είναι δυνατόν να τοποθετηθούν εκεί κτήρια ή να τροποποιηθεί το εδαφικό προφίλ. Για να καταστεί δυνατός ο καθορισμός ενός εδαφικού προφίλ στην δευτερεύουσα περιοχή (nesting area) το ENVI-met δημιουργεί ένα μοτίβο σκακιέρας (διάταξη ζατρικίου) με δύο εδαφικά προφίλ, A και B. Αυτά μπορεί να αποτελούνται από το ίδιο είδος εδάφους ή από διαφορετικό. Για παράδειγμα, αν η περιοχή που περιβάλλει το μοντέλο αποτελείται από έναν συνδυασμό «φραγμένων» (δρόμοι) και ελεύθερων (π.χ. αργιλικών) επιφανειών, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια «φραγμένη» επιφάνεια για το εδαφικό προφίλ A και μια ελεύθερη επιφάνεια για το B.

Τέλος ένα άλλο ζητούμενο ως προς τη δευτερεύουσα περιοχή είναι η συμπεριφορά της ακτινοβολίας εκεί. Όταν δεν παρεμβάλλονται κτήρια, η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους χωρίς καμία απομείωση με αποτέλεσμα μια μη ρεαλιστική υπερεκτίμηση της επιφανειακής θερμοκρασίας, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται μόνο «φραγμένες» επιφάνειες ως εδαφικό προφίλ. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος το ENVI-met μπορεί να χρησιμοποιήσει μέσες τιμές ακτινοβολίας από την περιοχή του «πυρήνα» του μοντέλου αντί των κανονικών ροών ακτινοβολίας στη δευτερεύουσα περιοχή. Η ενεργοποίηση αυτής της λειτουργίας γίνεται στο section [NESTINGAREA] του .CF όπως περιγράφηκε και παραπάνω. Στις περισσότερες περιπτώσεις, διευκολύνει ένας διαφορετικός προσανατολισμός του μοντέλου από τον προκαθορισμένο (ο Y άξονας να δείχνει προς το Βορρά). Για παράδειγμα, αν μελετάται μια «αστική χαράδρα» (την οποία δημιουργεί ένας δρόμος μέσα στον ιστό της πόλης) με διαφορετικό προσανατολισμό, είναι ασύμφορο να «στρίψουμε σε βήματα» τα κτήρια που βρίσκονται κατά μήκος της. Αντ' αυτού, θα στραφεί ολόκληρη η περιοχή του μοντέλου, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 5.6. Περιστροφή του μοντέλου.

Η θετική φορά περιστροφής του μοντέλου είναι η ωρολογιακή. Η περιοχή του μοντέλου στο παράδειγμα (λευκό ορθογώνιο) έχει περιστραφεί ωρολογιακά κατά 25° σε σχέση με την αρχική θέση (γκρι ορθογώνιο). Η διεύθυνση σχετίζεται πάντα με την περιοχή του μοντέλου και όχι με το γενικότερο χάρτη, οπότε στην περίπτωση που θελήσει κανείς να τοποθετήσει τον τελευταίο στο μοντέλο, θα πρέπει να τον περιστρέψει ακριβώς αντίθετα, εν προκειμένω κατά 25° αντιωρολογιακά. Επίσης, αν σχεδιάσουμε στην περιοχή του μοντέλου ένα βέλος που δείχνει στο Βορρά, μια στροφή ωρολογιακής φοράς θα έχει ως αποτέλεσμα μια αντιωρολογιακής φοράς στροφή για το εν λόγω βέλος. Για τη ρύθμιση του προσανατολισμού του μοντέλου χρησιμοποιείται ο ENVI-metEditor. Σημειώνεται, τέλος, ότι όλα τα εισαγόμενα και όλα τα εξαγόμενα δεδομένα αναφέρονται στο κανονικό σύστημα συντεταγμένων. Στην παρούσα εργασία η περιοχή μελέτης έχει στραφεί κατά 45° ωρολογιακά για την διευκόλυνση της διαμόρφωσης του inputfile.

5.4.3. Αρχεία εισαγωγής δεδομένων (Databasefile)

Πέραν των δύο βασικών αρχείων που είναι απαραίτητα για κάθε προσομοίωση (το Αρχείο Εισαγωγής Περιοχής .IN και το Κύριο Αρχείο Διαμόρφωσης .CF), το πρόγραμμα ENVI-met χρειάζεται πολλές επιπλέον πληροφορίες σχετικές με τις επιφάνειες, τη βλάστηση και τις πηγές εκπομπής αερίων/μικροσωματιδίων στην περιοχή του μοντέλου. Για όλα αυτά τα δεδομένα η φιλοσοφία του προγράμματος είναι η ίδια, δηλαδή κάθε εισαγωγή δεδομένου καθορίζεται από 2 αλφαριθμητικά σύμβολα, για παράδειγμα, «a0» που αποτελούν την ταυτότητα/κωδικό του δεδομένου. Έτσι, εάν ένα φυτό έχει ορισθεί ως «a0» στη βάση δεδομένων των φυτών (PlantDatabase [PLANTS.DAT]) μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα στο .IN βάζοντας τον κωδικό «a0» στην επιθυμητή θέση του κανάβου.

Γενικά, τα αρχεία βάσης δεδομένων προορίζονται να λειτουργούν ως καθολικά αρχεία (global files) τα οποία αποθηκεύονται στον φάκελο \sys.basedata του Envi-met και χρησιμοποιούνται σε κάθε προσομοίωση. Επομένως το φυτό «a0» θα είναι το ίδιο σε δύο διαφορετικές προσομοιώσεις εκτός αν γίνει αλλαγή στη βάση δεδομένων μεταξύ των δύο αυτών προσομοιώσεων. Αυτό, επίσης, σημαίνει πως εάν χρειαστεί να γίνει κάποια προσομοίωση με διαφορετικά φυτά (ή πηγές, εδάφη ,προφίλ), θα πρέπει να εμπλουτιστεί αυτή η καθολική βάση δεδομένων. Αντ' αυτού, είναι προτιμότερο να ορισθούν τοπικές βάσεις δεδομένων (localdatabases). Αυτές μπορούν να αποθηκευθούν οπουδήποτε και, σε περίπτωση που αυτό είναι επιθυμητό, μπορούν να προστεθούν στα καθολικά αρχεία. Τέλος, σημειώνεται ότι όλες οι βάσεις δεδομένων αποτελούνται από αρχεία τύπου ASCII, όπως άλλωστε και τα αρχεία .INκαι .CF, με αποτέλεσμα να μην χρειάζεται κάποιο ειδικό σύστημα για την επεξεργασία και τη χρήση των αρχείων αυτών. Συνεπώς, ο χρήστης πρέπει να ακολουθεί προσεκτικά τους κανόνες μορφοποίησης για τα παραπάνω αρχεία.

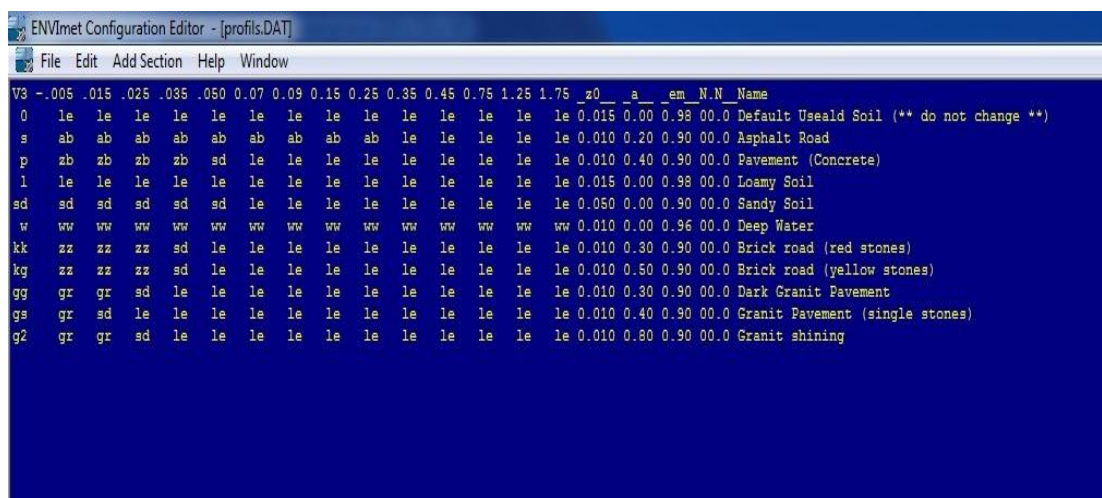
5.4.3.1. Βάση δεδομένων εδαφών (Soil Database)

Σε αυτό το αρχείο βρίσκονται όλες οι πληροφορίες που αφορούν στα διάφορα φυσικά εδάφη και υλικά επίστρωσης επιφανειών. Κάθε υλικό έχει το δικό του κωδικό, αποτελούμενο από δύο γράμματα της αλφαβήτου, ο οποίος στη συνέχεια χρησιμοποιείται στο PROFILES.DAT (βάση δεδομένων προφίλ) για να οριστούν

5.4.3.3. Βάση δεδομένων φυτών (PlantDatabase)

Το πρόγραμμα ENVI-met δεν αντιμετωπίζει τη βλάστηση απλά, ως μια πορώδη ασπίδα για τον άνεμο. Το μοντέλο επιτρέπει στο χρήστη να ορίσει κάθε είδους φυτό, από κοντό χορτάρι έως πανύψηλα δέντρα, χρησιμοποιώντας το ίδιο σύστημα καταγραφής στη βάση δεδομένων. Είναι προγραμματισμένο, οι πληροφορίες για τα φυτά να αποθηκεύονται στο αρχείο PLANTS.DAT. Παρ' όλα αυτά, μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει ένα διαφορετικό όνομα αρχείου ή μια άλλη θέση για τη βάση δεδομένων των φυτών όπως, για παράδειγμα, στην περίπτωση που θα θέλει να δημιουργήσει δύο ξεχωριστά αρχεία για τη χειμερινή και τη θερινή βλάστηση.

Η έκδοση 3.1 επιτρέπει τη χρήση τοπικών βάσεων δεδομένων, οι οποίες μπορούν να περιέχουν περισσότερους ορισμούς φυτών. Η χρήση των τελευταίων ενδείκνυται για τον ορισμό φυτών, τα οποία απευθύνονται μόνο σε μία, συγκεκριμένη προσομοίωση και δε θα πρέπει να αποθηκεύονται στην καθολική βάση δεδομένων. Αν σε μια προσομοίωση χρειάζονται κάποια επιπλέον είδη βλάστησης, αυτά θα πρέπει να μπουν σε μια τοπική βάση δεδομένων. Σε περίπτωση που ο φάκελος της προσομοίωσης αυτής μεταφερθεί σε διαφορετικό ηλεκτρονικό υπολογιστή, θα πρέπει να μεταφερθεί μαζί με αυτόν και η τοπική του βάση δεδομένων. Στη συνέχεια φαίνεται η βάση δεδομένων φυτών που χρησιμοποιήθηκε από το envi-met για τις προσομοιώσεις.



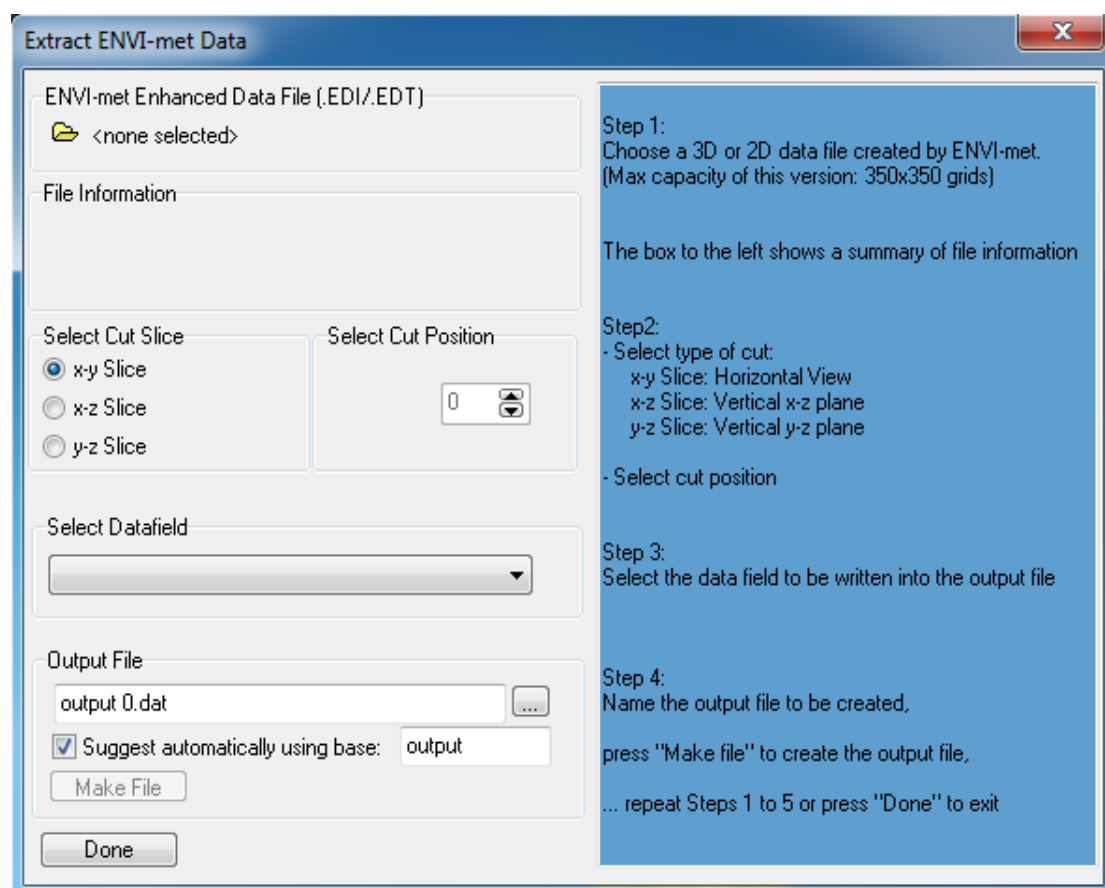
Εικόνα 5.9. Βάση δεδομένων φυτών. [Πηγή Envi-met]

5.4.3.4. Βάση δεδομένων πηγών (SourcesDatabase)

Το πρόγραμμα ENVI-met έχει τη δυνατότητα να προσομοιώνει την απελευθέρωση και τη διασπορά αερίων και σωματιδίων. Για να συμβεί αυτό, θα πρέπει να επιλεγούν οι πηγές (sources) στο αρχείο εισαγωγής περιοχής (.IN). Στην έκδοση 3.1 θα πρέπει όλες οι πηγές να είναι του ίδιου τύπου, για παράδειγμα, θα πρέπει να είναι όλες πηγές διοξειδίου του θείου (SO₂) και δεν είναι εφικτό να έχουμε, ταυτόχρονα, στο μοντέλο μια πηγή SO₂ και μια μονοξειδίου (NO) ή διοξειδίου (NO₂) του αζώτου.

βοηθητικά προγράμματα. Μερικά από τα παραγόμενα αρχεία είναι τύπου ASCII και μπορούν να διαβαστούν με συνηθισμένα προγράμματα (WordPad κ.λπ.), ενώ άλλα και, κυρίως, τα κύρια παραγόμενα αρχεία (main output files) είναι δυαδικά αρχεία (binary files) που πρέπει να διαβαστούν με το πρόγραμμα XTract (παράγει αρχεία τύπου ASCII) ή το πρόγραμμα LEONARDO (παράγει γραφήματα).

Το πρόγραμμα XTract (Εικόνα 5.11.) είναι ένα απλό εργαλείο με το οποίο μπορούμε να εξάγουμε δεδομένα από τα παραγόμενα binary αρχεία και να τα γράφουμε σε αρχεία ASCII. Περιέχεται ως υποπρόγραμμα εντός του ENVI-met.



Εικόνα 5.11. Πρόγραμμα Xtract. [Πηγή: Envi-met]

Στο πρόγραμμα LEONARDO χρησιμοποιείται ένα περιβάλλον γραφικών απεικονίσεων για την έκθεση και ανάλυση αριθμητικών δεδομένων (όχι προερχόμενων αποκλειστικά από το ENVI-met). Τα αρχεία που προκύπτουν από τις προσομοιώσεις με το πρόγραμμα ENVI-met μπορούν να διακριθούν σε τέσσερις κατηγορίες οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

5.5.2. Κύρια Αρχεία Δεδομένων .EDI/.EDT (Main Data Files)

Στα αρχεία αυτά περιέχονται δεδομένα για την πλήρη κατάσταση του τρισδιάστατου μοντέλου, συμπεριλαμβανομένων της ατμόσφαιρας, των επιφανειών και του εδάφους. Τα αρχεία αυτά μπορεί να έχουν πολύ μεγάλο μέγεθος και αποθηκεύονται σε δυαδική μορφή (binary format). Χρησιμοποιούν την

επέκταση .EDI/.EDT και επειδή είναι δυαδικού τύπου «διαβάζονται» με το πρόγραμμα XTract. Το αρχείο .EDI περιέχει πληροφορίες για το αντίστοιχο .EDT αρχείο, το οποίο περιέχει τα δεδομένα. Απαιτούνται και τα δύο ώστε να εξαχθούν επιτυχώς τα δεδομένα. Κατά την αποθήκευση των αποτελεσμάτων μιας προσομοίωσης δημιουργούνται τρία διαφορετικά αρχεία .EDI/.EDT. Καθένα από αυτά ξεκινά με ένα όνομα το οποίο ορίστηκε στο αρχείο διαμόρφωσης .CF ως βασικό όνομα αρχείων. Αν, για παράδειγμα, σε μια προσομοίωση έχει οριστεί ως βασικό όνομα αρχείων το “MySim”, τότε όλα τα αρχεία που θα παραχθούν κατά τη διάρκειά της θα έχουν όνομα το οποίο θα ξεκινά με το “MySim”. Τα παραγόμενα αρχεία καταχωρούνται σε διαφορετικούς υποφακέλους του κύριου παραγόμενου φακέλου, έτσι ώστε να υπάρχει καλύτερη εποπτεία.

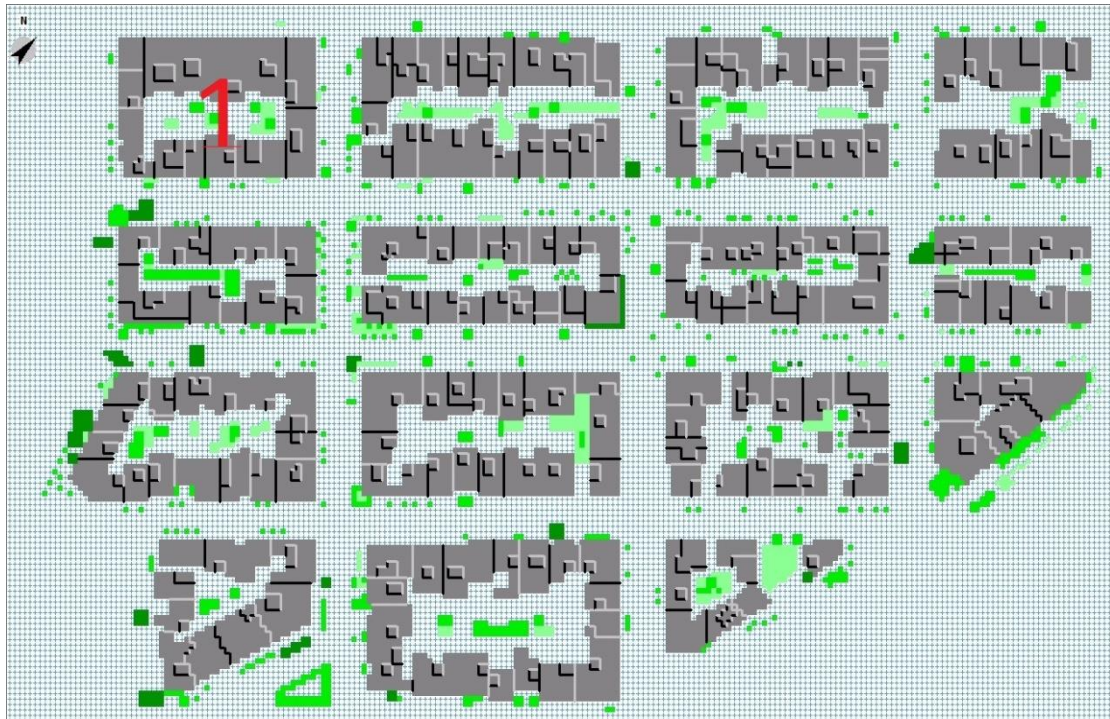
5.6. Η χρήση του προγράμματος Envi-met

5.6.1. Δημιουργία του area input file [.IN]

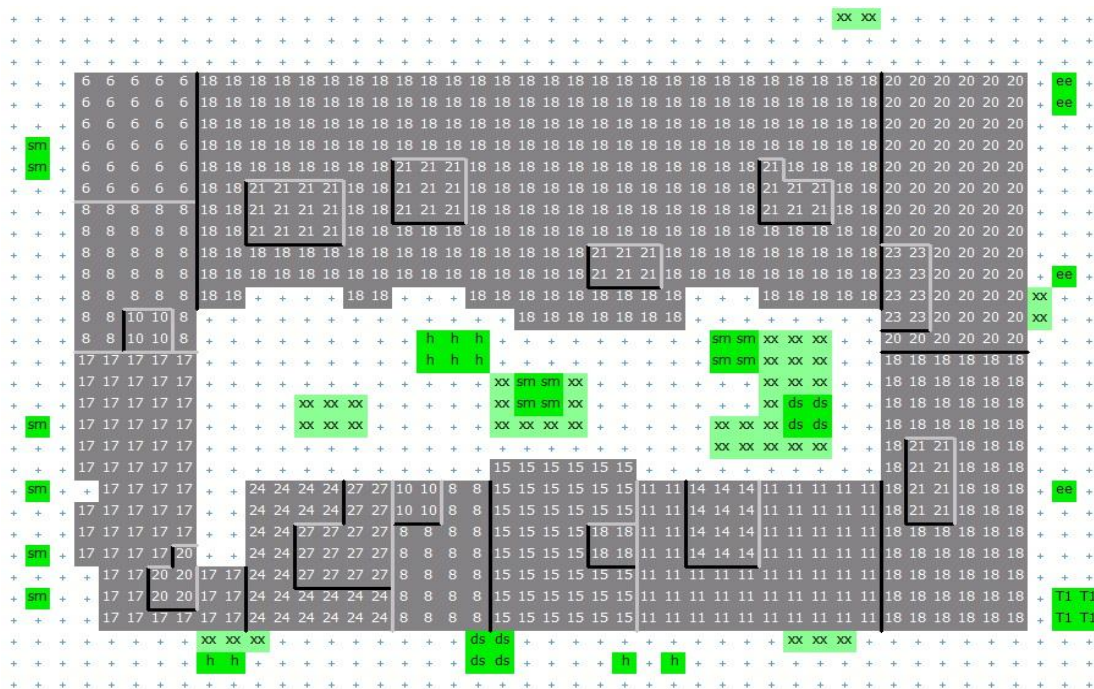
5.6.1.1. Εισαγωγή κτηρίων και βλάστησης

Στο παράθυρο του editor, αριστερά, υπάρχει μια μπλε περιοχή η οποία χωρίζεται σε κατηγορίες. Για να τοποθετήσουμε στοιχεία κτηρίων και βλάστησης στον κানাβό μας, πρέπει να «τσεκάρουμε» την επιλογή “Edit Building/Vegetation”. Στο “Left Mouse” συμπληρώνουμε το ύψος της των κτηρίων σε m οπότε από κει και πέρα χρησιμοποιώντας το “αριστερό κλικ” τοποθετούμε στον κানাβο στοιχεία κτηρίου με το ύψος που έχουμε δώσει. Στο “Right Mouse” τοποθετούμε το ύψος του κάτω μέρους των κτηρίων (αν υπάρχει π.χ pilotis) και σχεδιάζουμε αντίστοιχα χρησιμοποιώντας το “δεξί κλικ”. Να σημειωθεί πως οι διαστάσεις του κάθε στοιχείου στην κάτοψη είναι ίσες με dx και dy. Επίσης εάν θελήσουμε να αφαιρέσουμε κάποιο στοιχείο κτηρίου, το μόνο που έχουμε να κάνουμε είναι να τοποθετήσουμε ύψος 0 και με “αριστερό κλικ” να επιλέξουμε το συγκεκριμένο στοιχείο.

Τώρα για την εισαγωγή στοιχείων βλάστησης, πατάμε στο εικονίδιο με το βελάκι που βρίσκεται κάτω απ’ την ένδειξη “Left mouse+Shift”, οπότε μας εμφανίζεται μια λίστα από είδη δέντρων, θάμνους, γρασίδι κ.ά. Αφού γίνει η επιθυμητή επιλογή, πηγαίνουμε στον κানাβο και χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα «αριστερό κλικ» και το πλήκτρο Shift, σχεδιάζουμε τη βλάστηση σε κάτοψη. Τα φυτά που εμφανίζονται στη λίστα είναι αυτά που περιέχονται στη βάση δεδομένων PLANTS.DAT. Αυτή η βάση δεδομένων μπορεί να εμπλουτιστεί με νέα είδη φυτών και δέντρων τα οποία θα έχουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά (ύψος, είδος και πυκνότητα φυλλώματος κ.λπ.). Για να αφαιρέσουμε βλάστηση επιλέγουμε “remove” απ’ την παραπάνω λίστα και με «αριστερό κλικ» και το πλήκτρο Shift πατημένο επιλέγουμε τα κελιά που θέλουμε.



Εικόνα 5.12. Εισαγωγή κτηρίων και βλάστησης. [Πηγή Envi-met]

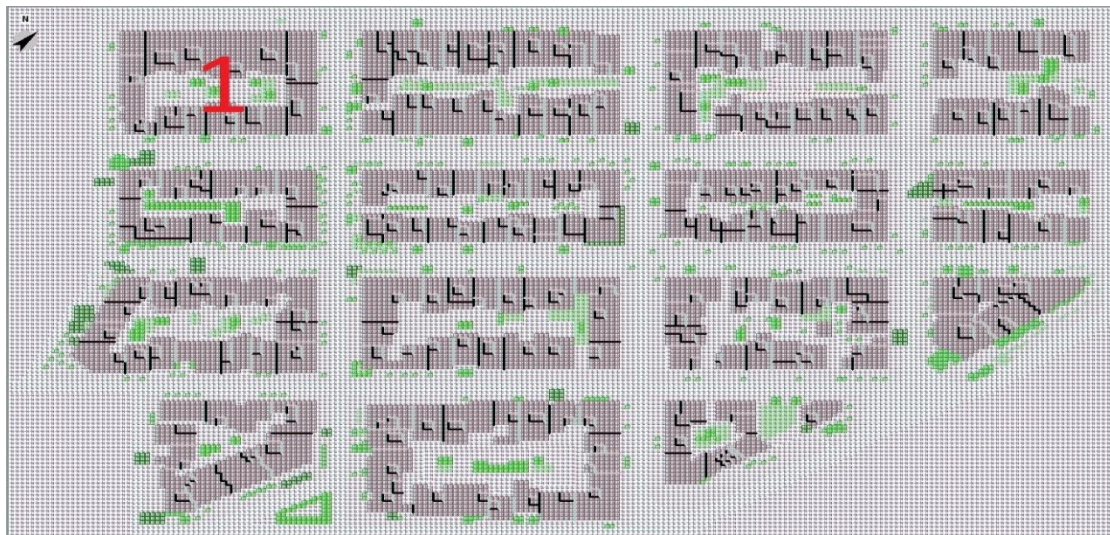


Εικόνα 5.13. Εισαγωγή κτηρίων και βλάστησης στο οικοδομικό τετράγωνο 1. [Πηγή Envi-met]

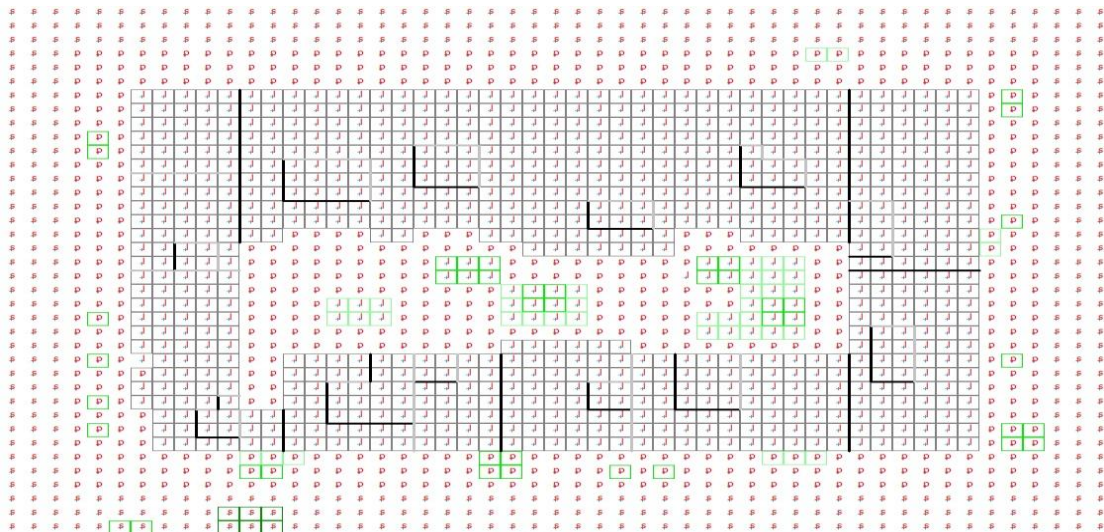
5.6.1.2. Εισαγωγή εδάφους

Όπως και με την περίπτωση των κτηρίων και της βλάστησης έτσι και για να εισάγουμε δεδομένα για το είδος του εδάφους, πρέπει να «τσεκάρουμε» την αντίστοιχη κατηγορία δηλαδή το “Edit Soils”. Απευθείας θα παρατηρήσουμε μια

αλλαγή στην κάτοψη, δηλαδή τα κελιά του κανάβου παρουσιάζονται με κάποιο σύμβολο πάνω τους. Αυτό είναι το προεπιλεγμένο είδος εδάφους. Στο πεδίο “Left mouse”, πατώντας το εικονίδιο με το βέλος εμφανίζεται μία λίστα με τους διαθέσιμους τύπους εδάφους. Αφού επιλέξουμε το επιθυμητό έδαφος, χρησιμοποιώντας «αριστερό κλικ» σχεδιάζουμε σε κάτοψη στον κανάβο, την περιοχή που καλύπτεται από το συγκεκριμένο τύπο εδάφους (π.χ. σχεδιάζουμε ένα δρόμο καλυμμένο με άσφαλτο επιλέγοντας “Asphalt Road”, ή μία πλατεία καλυμμένη με πλάκες πεζοδρομίου, επιλέγοντας “Pavement (concrete)”). Τα εδάφη της λίστας πηγάζουν από το αρχείο PROFILS.DAT το οποίο βέβαια μπορούμε να εμπλουτίσουμε με νέα υλικά. Αν θέλουμε παντού να έχουμε τον ίδιο τύπο εδάφους, δεν έχουμε παρά να πατήσουμε την επιλογή “Apply to all grids”. Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, υπάρχει προεπιλεγμένο (default) έδαφος για όλα τα κελιά (συγκεκριμένα είναι το “loamy soil”), το οποίο, με το που σχεδιάζουμε από πάνω κάποιο άλλο έδαφος, αντικαθίσταται αυτόματα.



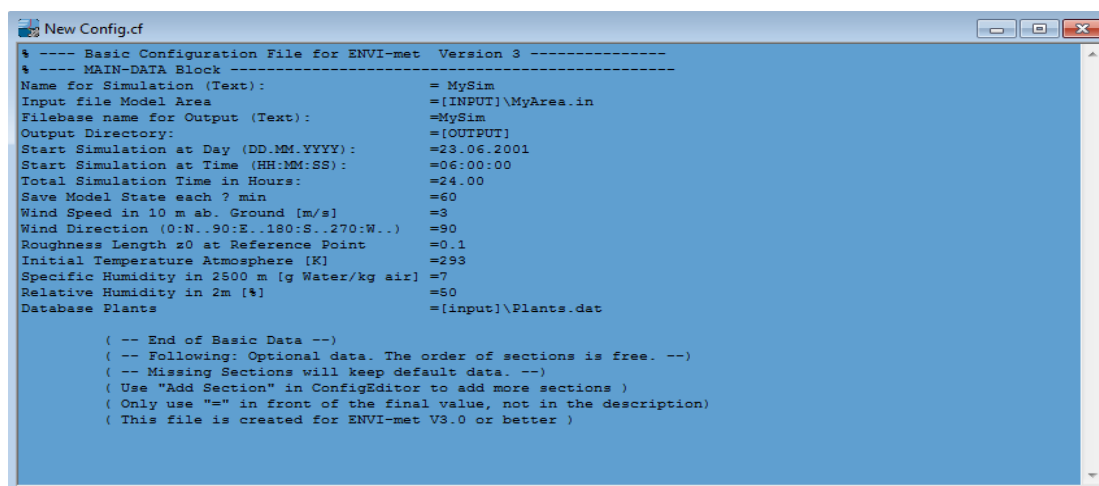
Εικόνα 5.14. Εισαγωγή εδαφών στην περιοχή μελέτης. [Πηγή: Envi-met]



Εικόνα 5.15. Εισαγωγή εδαφών στο οικοδομικό τετράγωνο 1. [Πηγή: Envi-met]

5.6.2. Δημιουργία του configuration file .CF

Εάν από το αρχικό παράθυρο επιλογών επιλέξουμε το 2^ο εικονίδιο, ανοίγει ο Envi-met configuration editor. Για να δημιουργήσουμε ένα νέο configuration file, στο παράθυρο που ανοίγει, πηγαίνουμε File→New Configuration και μας ανοίγει το εξής παράθυρο:



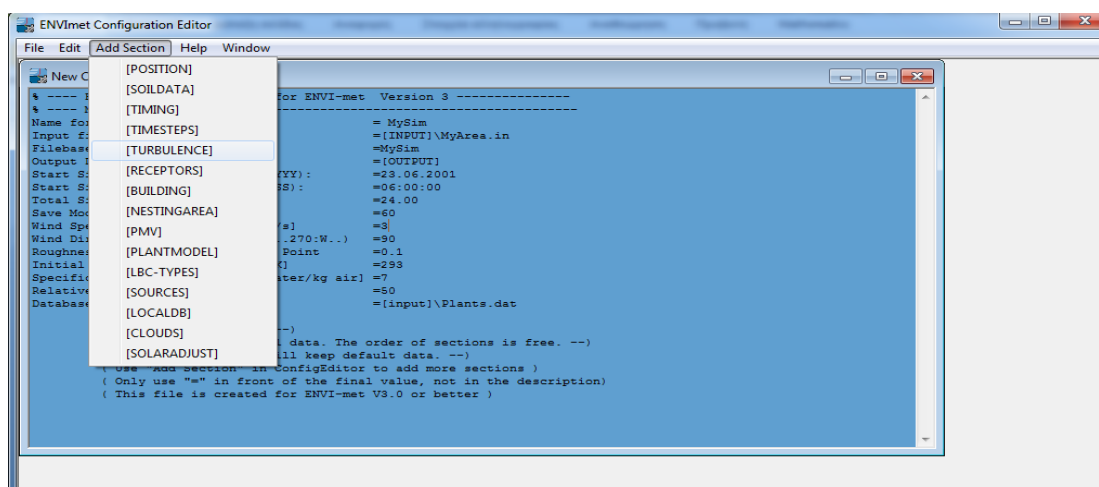
```
----- Basic Configuration File for ENVI-met Version 3 -----
----- MAIN-DATA Block -----
Name for Simulation (Text):                = MySim
Input file Model Area                     = [INPUT]\MyArea.in
Filebase name for Output (Text):          = MySim
Output Directory:                         = [OUTPUT]
Start Simulation at Day (DD.MM.YYYY):     = 23.06.2001
Start Simulation at Time (HH:MM:SS):      = 06:00:00
Total Simulation Time in Hours:           = 24.00
Save Model State each ? min              = 60
Wind Speed in 10 m ab. Ground [m/s]:     = 3
Wind Direction (0:N..90:E..180:S..270:W..)= 90
Roughness Length z0 at Reference Point   = 0.1
Initial Temperature Atmosphere [K]:      = 293
Specific Humidity in 2500 m [g Water/kg air] = 7
Relative Humidity in 2m [%]:              = 50
Database Plants                           = [input]\Plants.dat

( -- End of Basic Data -- )
( -- Following: Optional data. The order of sections is free. -- )
( -- Missing Sections will keep default data. -- )
( Use "Add Section" in ConfigEditor to add more sections )
( Only use "=" in front of the final value, not in the description )
( This file is created for ENVI-met V3.0 or better )
```

Εικόνα 5.16. Δημιουργία νέου αρχείου .CF και βασικές ρυθμίσεις. [Πηγή: Envi-met]

Το αρχείο είναι τύπου .txt, οπότε είναι πολύ απλή η επέμβασή μας και η τροποποίηση των δεδομένων. Στις διάφορες ρυθμίσεις έχουν τοποθετηθεί default τιμές, τις οποίες μπορούμε να τις αλλάξουμε πολύ απλά, με διαγραφή και αντικατάσταση. Είναι πάντως πολύ σημαντικό να προσέξουμε τον τρόπο γραφής και οι μονάδες μέτρησης των διάφορων μεγεθών, διότι πρέπει να ακολουθείται πολύ αυστηρά το πρότυπο του αρχείου.

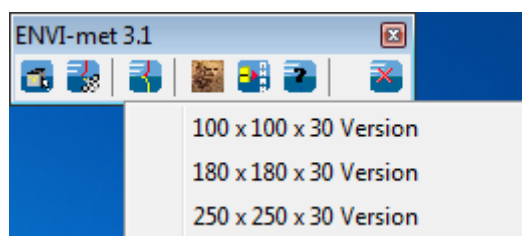
Οι πληροφορίες που εμφανίζονται στο αρχείο τη στιγμή που το ανοίγουμε, είναι οι απολύτως απαραίτητες για την έναρξη της προσομοίωσης και για να εισάγουμε περαιτέρω στοιχεία, δεν έχουμε παρά να επιλέξουμε την καρτέλα “add section” όπου μας εμφανίζονται διάφορες κατηγορίες επιπλέον δεδομένων ([POSITION], [SOILDATA], [TIMING] κτλ.) που μπορούμε να προσθέσουμε.



Εικόνα 5.17. Προσθήκη επιπλέον ρυθμίσεων από το μενού “Add Section”. [Πηγή: Envi-met]

5.6.3. Εκτέλεση της προσομοίωσης

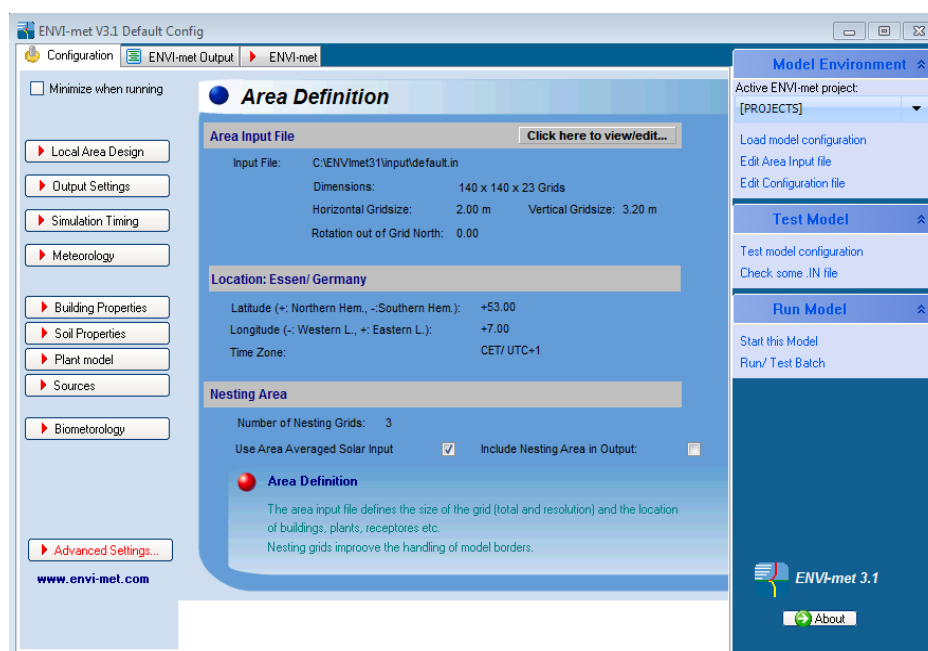
Μετά την ολοκλήρωση της διαμόρφωσης των area input file και configuration file, είμαστε έτοιμοι να τρέξουμε το πρόγραμμα. Αυτό θα γίνει επιλέγοντας το 3^ο εικονίδιο του αρχικού παραθύρου επιλογών. Αμέσως εμφανίζονται 3 επιλογές (versions) που έχουν να κάνουν με το μέγεθος του μοντέλου, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα:



Εικόνα 5.18. Επιλογή version που εμφανίζεται με το πάτημα του 3ου εικονιδίου. [Πηγή: Envi-met]

Η επιλογή αναφέρεται στον αριθμό των κελιών από τον οποίον αποτελείται το μοντέλο στο αρχείο .IN. Σε αυτόν θα πρέπει να προστεθεί και το πλήθος των δευτερευόντων κελιών (nesting grids). Επομένως, η "version" που θα επιλέξουμε θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη, ώστε τα παραπάνω κελιά να χωρούν σε αυτήν (και στο οριζόντιο επίπεδο και κατακορύφως). Γίνεται βέβαια σαφές πως οι μέχρι τώρα 3 επιλογές αυτές μας περιορίζουν ως προς την έκταση του μοντέλου (π.χ τα 30 κελιά κατά z που είναι το μέγιστο δυνατό πλήθος, με ένα τυπικό dz=1.80m (30x1.80=54m) μας δίνουν μέγιστο ύψος κτηρίων ίσο με 27m δεδομένου ότι το μέγιστο ύψος των κτηρίων πρέπει να είναι το μισό του συνολικού ύψους του μοντέλου).

Επιλέγοντας την version της προσομοίωσης, ανοίγει το παρακάτω παράθυρο (Configuration Panel) το οποίο περιέχει συνοπτικά όλες τις πληροφορίες της προσομοίωσης που πρόκειται να εκτελέσουμε:



Εικόνα5.19.Παράθυρο Configuration Panel. [Πηγή: Envi-met]

Οι βασικές ρυθμίσεις θα γίνουν στην καρτέλα “Configuration” που βρίσκεται πάνω αριστερά στο παράθυρο. Το βασικότερο είναι να δώσουμε στο πρόγραμμα τα αρχεία .IN και .CF από τα οποία θα φορτώσει τα δεδομένα της προσομοίωσης. Από εκεί και πέρα, οι περισσότερες ρυθμίσεις καλό θα είναι να μην υποστούν αλλαγές δεδομένου ότι απευθύνονται σε χρήστες με προχωρημένες γνώσεις, οπότε ενδεχόμενη επέμβαση από εμάς κατά πάσα πιθανότητα θα προκαλέσει βλάβες.

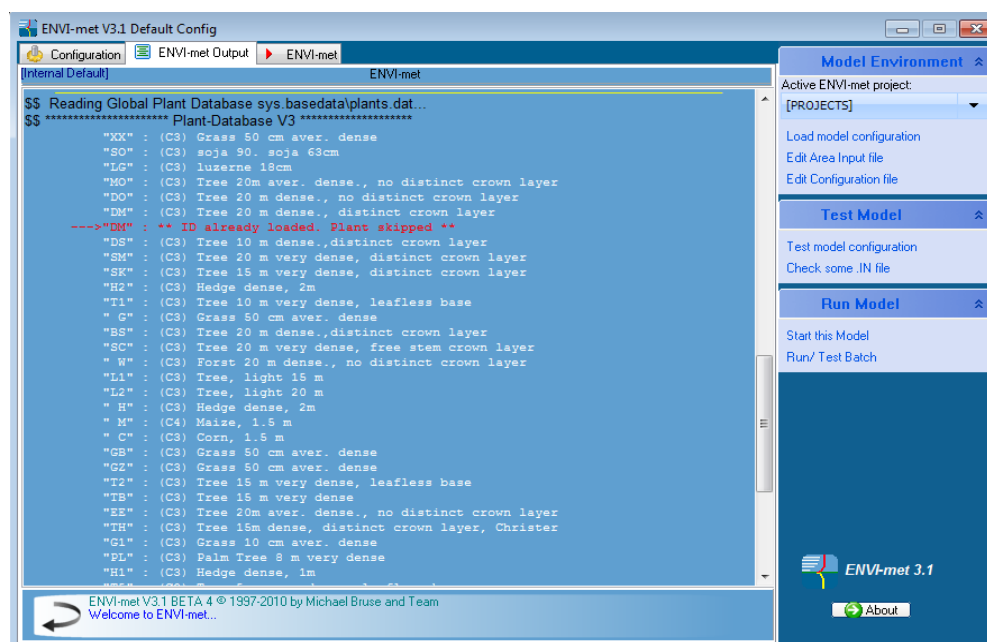
Ακολουθεί μία συνοπτική ανάλυση των βασικών ρυθμίσεων:

❖ Load model configuration

Το επιλέγουμε για να “φορτώσουμε” το αρχείο .CF (configurationfile) που αφορά την προσομοίωση που μας ενδιαφέρει. Ανοίγει ένα παράθυρο αναζήτησης των Windows, μέσω του οποίου εντοπίζουμε το αρχείο αυτό, και το επιλέγουμε πατώντας διπλό αριστερό κλικ. Το πρόγραμμα φορτώνει αυτόματα το .CF όπως επίσης και το αντίστοιχο .IN. Εδώ πρέπει να σημειώσουμε πως εμείς μπορεί να έχουμε αποθηκεύσει οπουδήποτε στο σύστημά μας το .CF, όμως για να βρεθεί αυτόματα το αντίστοιχο .IN θα πρέπει αυτό να βρίσκεται στον φάκελο που του έχουμε καθορίσει κατά τη διαμόρφωση του .CF, διαφορετικά θα ειδοποιηθούμε με μήνυμα σφάλματος! (π.χ αν κατά τη διαμόρφωση του .CF, έχουμε ρυθμίσει “Input file Model Area =[INPUT]\MyArea.in” θα πρέπει το MyArea.in να το έχουμε αποθηκευμένο στον φάκελο INPUT).

❖ Test model configuration

Εδώ ελέγχονται οι ρυθμίσεις και οι πληροφορίες που έχουμε εισαγάγει στο αρχείο .CF. Τα αποτελέσματα του ελέγχου εμφανίζονται στην καρτέλα “ENVI-met Output”, η οποία βρίσκεται στο επάνω αριστερά μέρος του παραθύρου. Πιο αναλυτικά αποτελέσματα αποθηκεύονται στο φάκελο “Output”, τον οποίο είχαμε ορίσει στο αρχείο .CF.



Εικόνα 5.20. Έλεγχος του αρχείου .CF μέσω του “Test model configuration”. [Πηγή: Envi-met]

❖ StartthisModel

Με το πάτημα της επιλογής αυτής η προσομοίωση ξεκινά και η πορεία της με τα αντίστοιχα μηνύματα εμφανίζεται σε πραγματικό χρόνο στην καρτέλα “ENVI-met Output”.

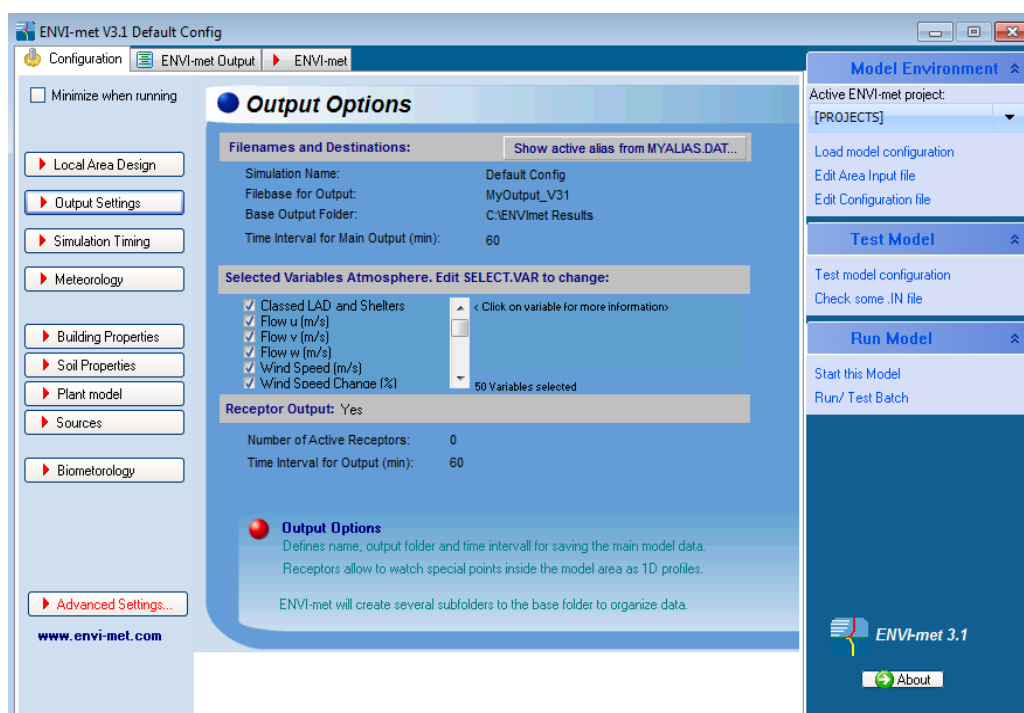
Εκτός των παραπάνω επιλογών, στο αριστερά τμήμα της καρτέλας “Configuration” του ConfigurationPanel, υπάρχει μια στήλη με διάφορες κατηγορίες πληροφοριών που μπορούμε να δούμε συγκεντρωτικά για το μοντέλο μας. Αυτές παρουσιάζονται παρακάτω:

❖ Local Area Design

Εμφανίζει πληροφορίες για το αρχείο εισαγωγής περιοχής .IN. Πατώντας “Click here to view/edit...”, ανοίγει το συγκεκριμένο αρχείο για περαιτέρω επεξεργασία.

❖ Output Settings

Παρατίθενται συνοπτικά οι πληροφορίες για τα εξαγόμενα δεδομένα της προσομοίωσης. Συγκεκριμένα, αναφέρονται το όνομα της προσομοίωσης, οι καθορισμένοι φάκελοι αποθήκευσης των αποτελεσμάτων, ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα στην εξαγωγή διαδοχικών δεδομένων, οι μεταβλητές που έχουν επιλεγεί και στοιχεία για τους υποδοχείς (receptors).

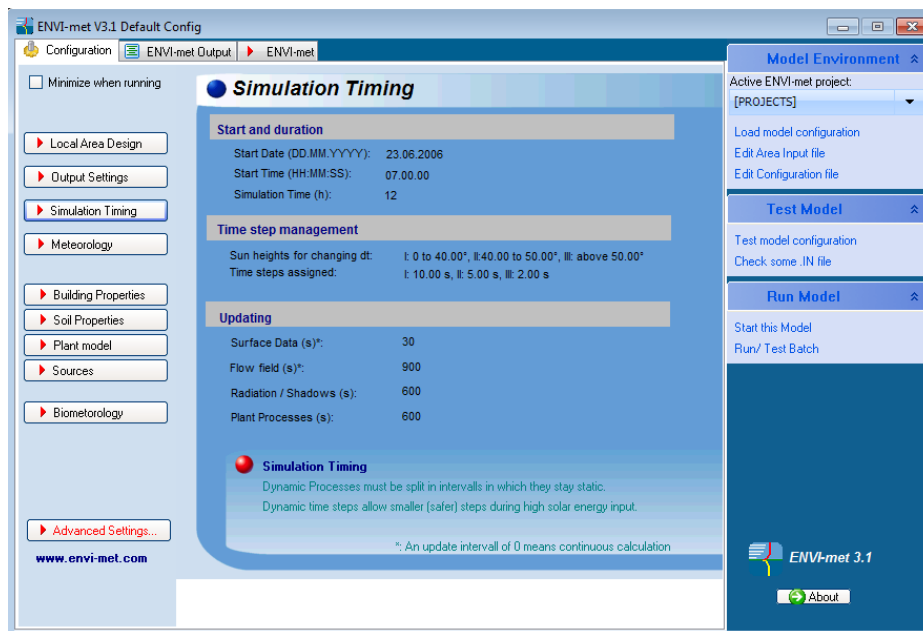


Εικόνα 5.21. Output Settings. [Πηγή: Envi-met]

❖ SimulationTiming

Παρουσιάζονται πληροφορίες σχετικές με το χρόνο έναρξης της προσομοίωσης (ημερομηνία και ώρα) και τη διάρκειά της, όπως επίσης και τα χρονικά βήματα για

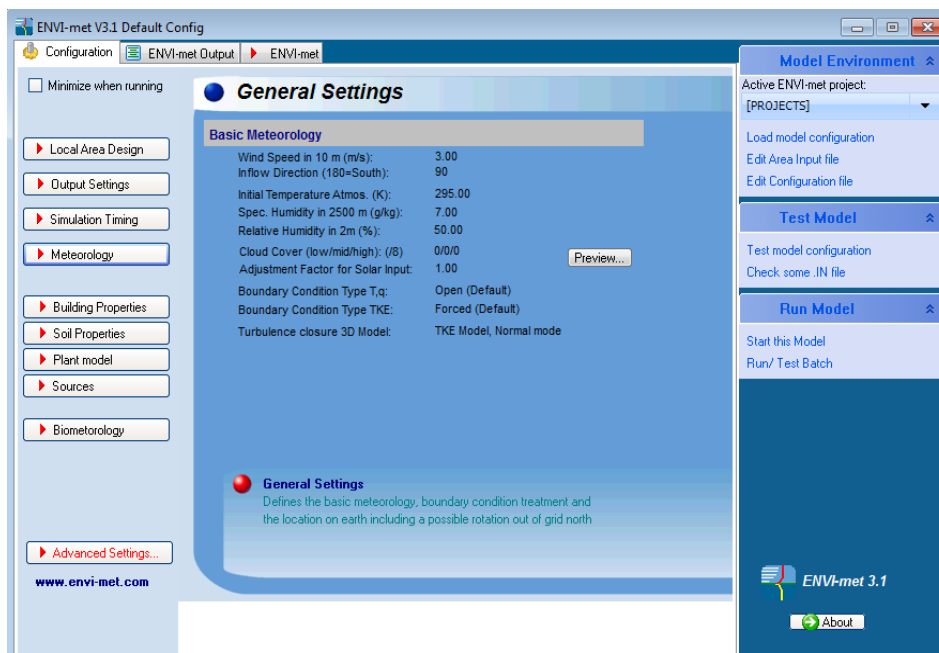
τους εσωτερικούς υπολογισμούς, δηλαδή κάθε πότε θα ανανεώνεται το πεδίο ροής του ανέμου, τα δεδομένα σχετικά με τις επιφάνειες, τα φυτά, την ακτινοβολία κ.τ.λ



Εικόνα 5.22.Simulation Timing.[Πηγή: Envi-met]

❖ Meteorology

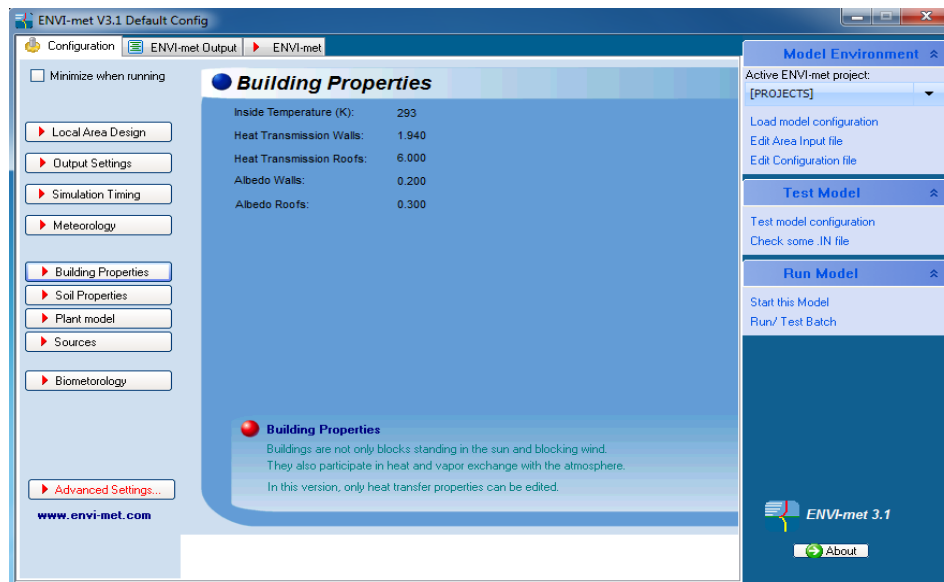
Δίνονται πληροφορίες που αφορούν τις κλιματικές συνθήκες (αρχική θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου κ.τ.λ.), καθώς επίσης και ο τύπος οριακών συνθηκών που έχουμε επιλέξει για το μοντέλο.



Εικόνα 5.23.Meteorology [Πηγή: Envi-met]

❖ BuildingProperties

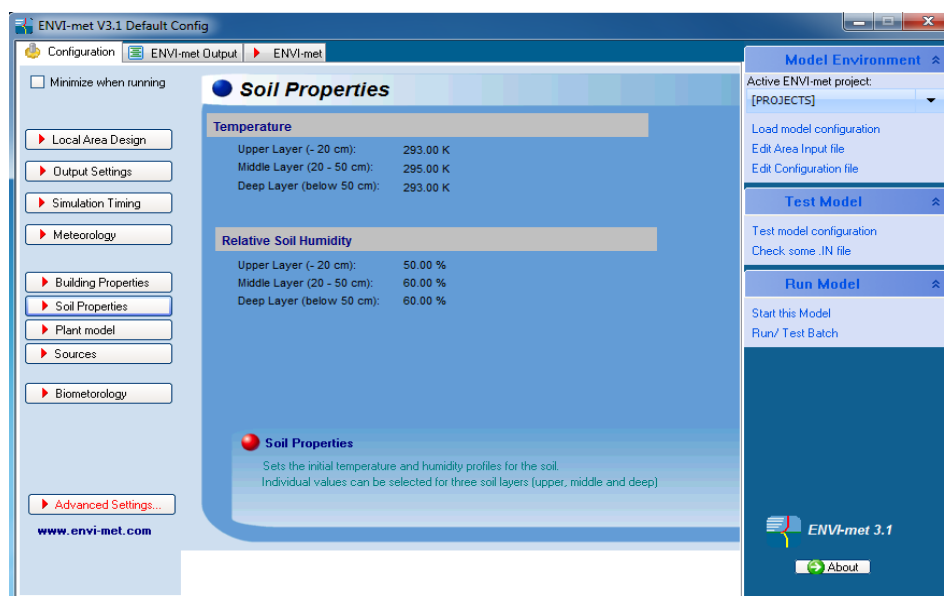
Εδώ συνοψίζονται οι ρυθμίσεις για τις ιδιότητες των κτηρίων και συγκεκριμένα η εσωτερική θερμοκρασία, η εκπομπή θερμότητας και η ανακλαστικότητα των οροφών και των τοίχων.



Εικόνα 5.24. Building Properties. [Πηγή: Envi-met]

❖ SoilProperties

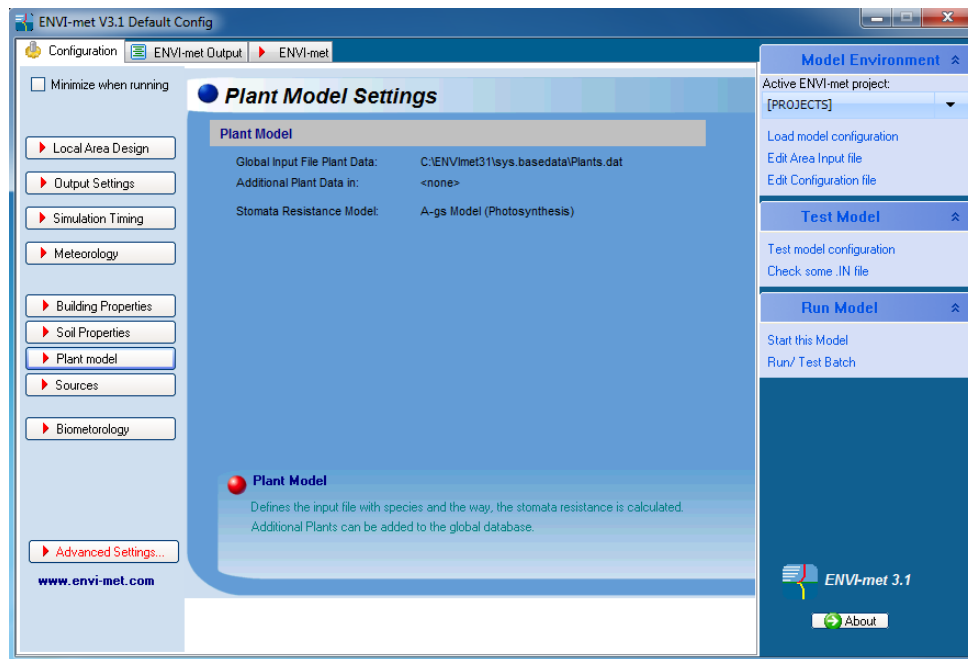
Στην καρτέλα αυτή παρουσιάζονται στοιχεία που αφορούν τις ιδιότητες του εδαφικού προφίλ, δηλαδή οι τιμές της αρχικής θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας των τριών στρώσεων του εδάφους (από την επιφάνεια έως βάθος 20 cm, από τα 20 cm έως τα 50 cm και βαθύτερα των 50 cm).



Εικόνα 5.25. Soil Properties. [Πηγή: Envi-met]

❖ Plantmodel

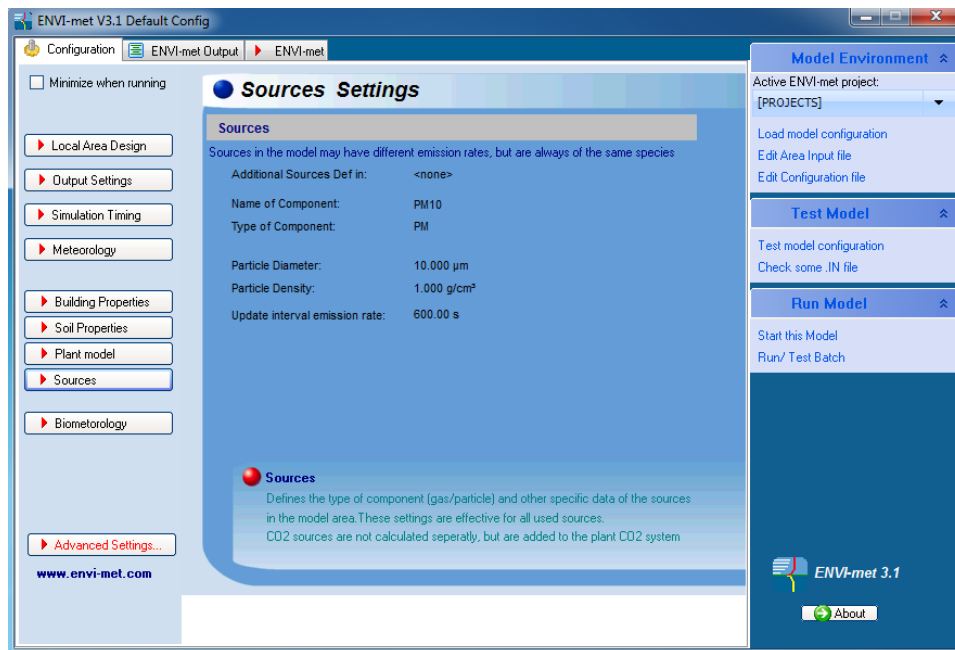
Εδώ φαίνεται η θέση της καθολικής βάσης δεδομένων των φυτών και το μοντέλο για την αντίσταση πόρων των φύλλων.



Εικόνα 5.26.Plant model settings [Πηγή: Envi-met]

❖ Sources

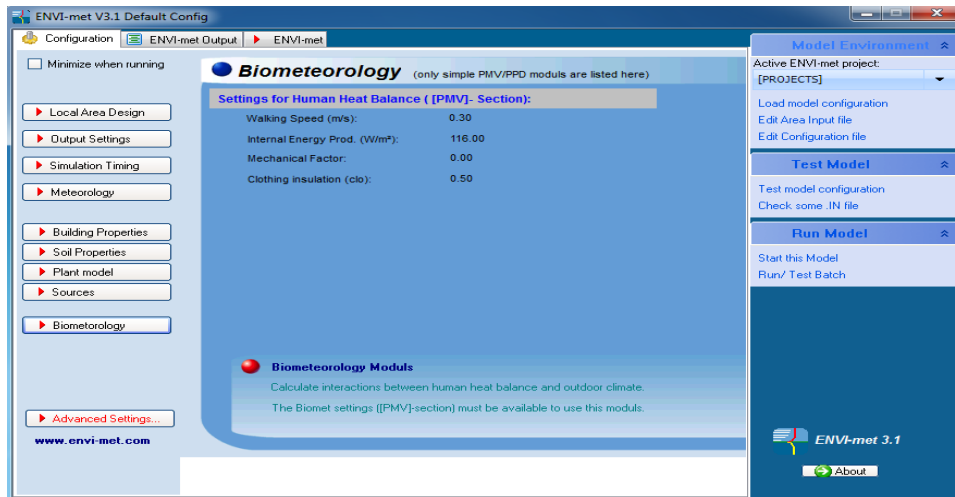
Παρέχονται πληροφορίες για τις πηγές εκπομπής αερίων/σωματιδίων. Συγκεκριμένα, αναγράφεται το όνομα και ο τύπος του σωματιδίου, η πυκνότητά του, η διάμετρος του κ.τ.λ.



Εικόνα 5.27.Sources settings [Πηγή: Envi-met]

❖ **Biometeorology**

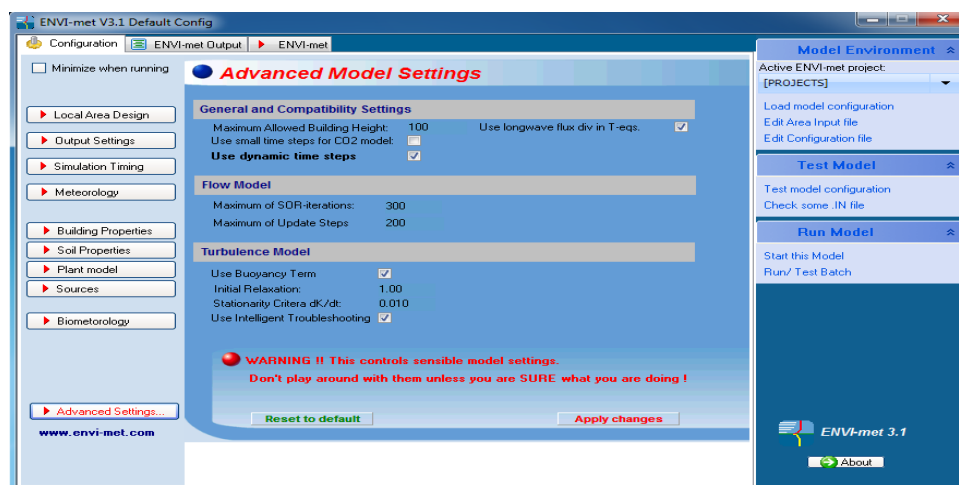
Εδώ παρατίθενται πληροφορίες που αφορούν ανθρωπολογικές παραμέτρους για τον υπολογισμό του δείκτη θερμικής άνεσης P.M.V. Συγκεκριμένα, φαίνεται η ταχύτητα βάδισης, η εσωτερική παραγωγή ενέργειας, ο μηχανικός συντελεστής και η θερμική μόνωση λόγω ρουχισμού.



Εικόνα 5.28. Biometeorology [Πηγή: Envi-met]

❖ **AdvancedSettings**

Στη θέση αυτή υπάρχουν ρυθμίσεις οι οποίες δεν συναντώνται αλλού. Αυτές αφορούν κυρίως τα διάφορα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιεί το ENVI-met. Συγκεκριμένα, ορίζεται το μέγιστο επιτρεπτό ύψος κτηρίου, το χρονικό βήμα για τον υπολογισμό του CO₂ και τα μοντέλα που αφορούν τη μεγάλη μήκος κύματος ακτινοβολία, τις διάφορες ροές, στην τύρβη, στην αρχική χαλαρότητα (relaxation) κ.λπ. Καλό είναι να μη γίνονται επεμβάσεις στις ρυθμίσεις αυτές εάν δεν υπάρχει μεγάλη εμπειρία στη χρήση του προγράμματος και γνώση σε θέματα ρευστομηχανικής και σε αντίστοιχα προγράμματα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (C.F.D.).



Εικόνα 5.28. Ρυθμίσεις για προχωρημένους [Πηγή: Envi-met]

5.7. Επεξεργασία και διαχείριση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης

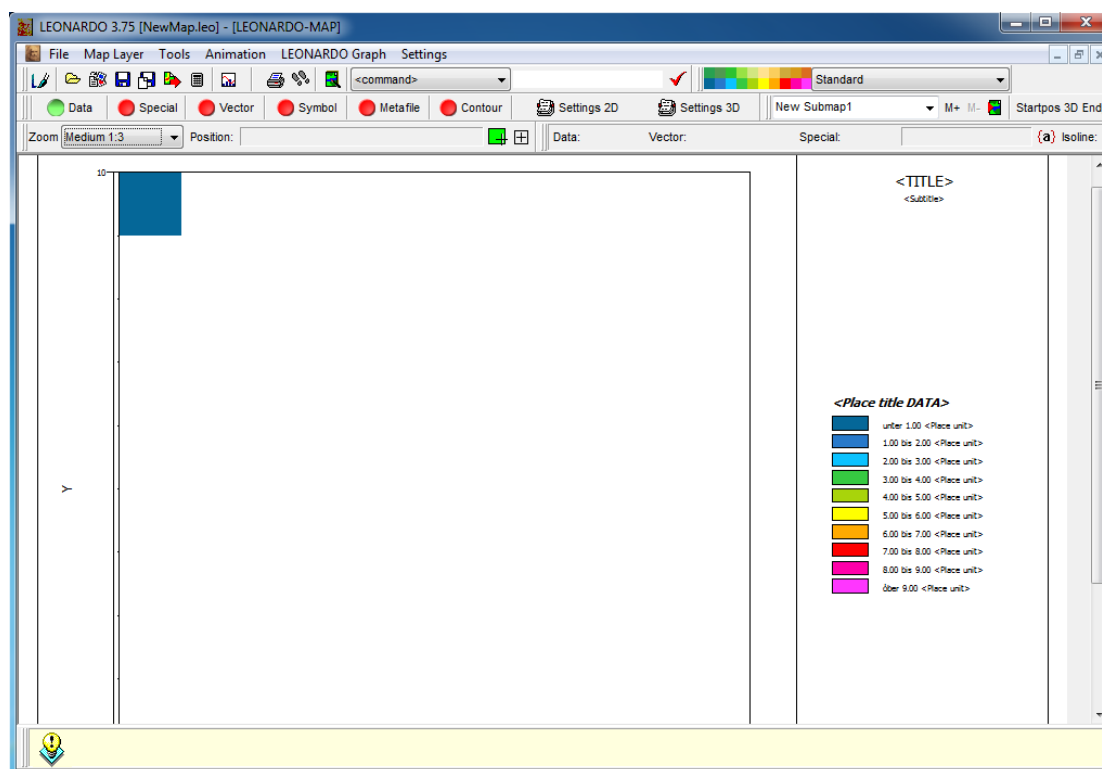
Από την προσομοίωση του μοντέλου μας, παράγεται ένας μεγάλος όγκος δεδομένων, τα οποία αποθηκεύονται σε διάφορους υποφακέλους, όπως αναφέρθηκε αναλυτικά στις σελίδες 110-112, υπό την μορφή 2 τύπων αρχείων, των "EDT." και "EDI."

Τα δεδομένα αυτά μπορούν να απεικονιστούν με πολλούς τρόπους. Μπορούν να δημιουργηθούν εικόνες και διαγράμματα ή, ακόμη, απομονώνοντας τις τιμές ενός συγκεκριμένου μεγέθους, να τις διαχειριστούμε και να δημιουργήσουμε μέσους όρους και άλλες αντιπροσωπευτικές τιμές, οι οποίες θα αφορούν στο σύνολο της περιοχής του μοντέλου ή σε τμήματα αυτής.

Τα παραπάνω μπορούν να γίνουν με τη χρήση των δύο υποπρογραμμάτων που περιέχονται στο ENVI-met, δηλαδή του Leonardo και του Xtract, σε συνεργασία με άλλα προγράμματα όπως π.χ το Excel. Εδώ θα παρουσιαστεί το πρόγραμμα Leonardo, αφού αφ' ενός αυτό χρησιμοποιήθηκε για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, ενώ αφ' ετέρου είναι πιο σύγχρονο και διαδεδομένο από το Xtract.

5.7.1. Επεξεργασία αποτελεσμάτων με το Leonardo

Κατ' αρχάς για να εκκινήσουμε το εν λόγω υποπρόγραμμα, πηγαίνουμε ξανά στο αρχικό παράθυρο επιλογών και επιλέγουμε το 4^ο εικονίδιο. Μας ανοίγει το αρχικό παράθυρο του Leonardo το οποίο φαίνεται στην επόμενη εικόνα:



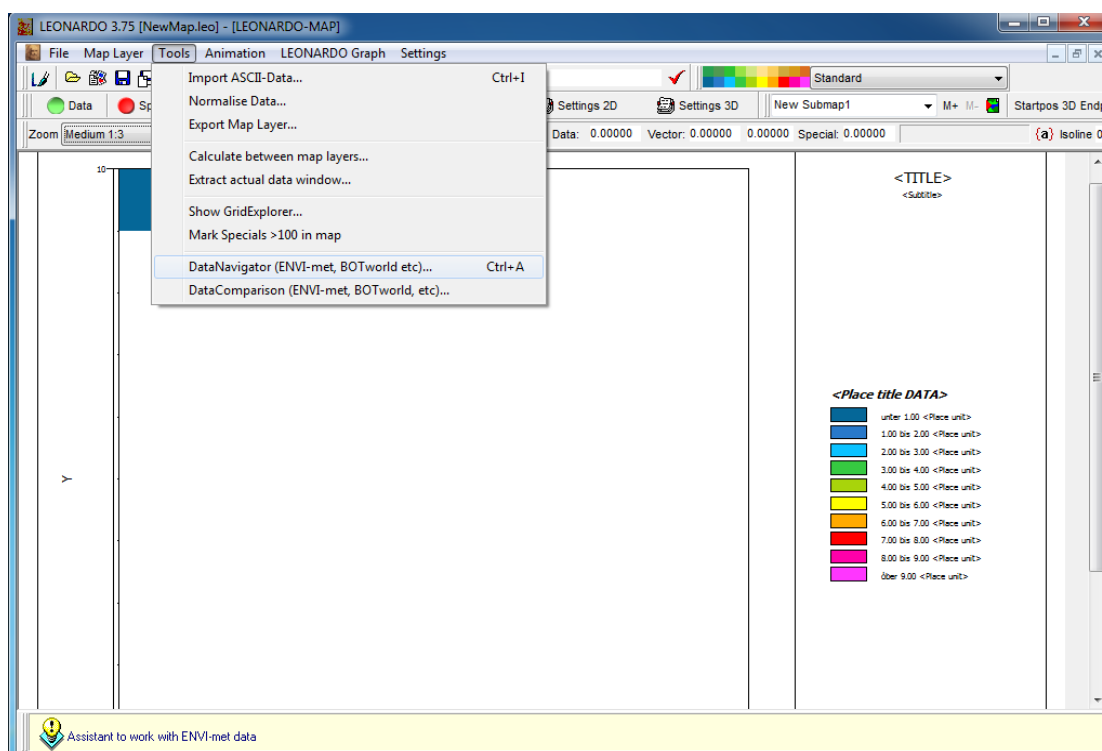
Εικόνα 5.29. Αρχικό παράθυρο του προγράμματος Leonardo. [Πηγή: Leonardo]

Η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται με τη μορφή ενός χάρτη της περιοχής προσομοίωσης, στον οποίο φαίνονται οι τιμές του επιλεγμένου κάθε φορά μεγέθους, με τη βοήθεια χρωμάτων, ισοϋψών καμπυλών, διανυσμάτων κ.λπ. Η εφαρμογή διαθέτει 6 φίλτρα (layers), καθένα από τα οποία προορίζεται για την απεικόνιση διαφορετικού είδους δεδομένων. Τα πιο σημαντικά είναι:

- **Layer data:** Το φίλτρο αυτό χρησιμοποιείται για την απεικόνιση βαθμωτών μεγεθών, όπως η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία.
- **Layer vector:** Το φίλτρο αυτό χρησιμοποιείται για την οπτικοποίηση διανυσματικών μεγεθών, όπως η ταχύτητα ανέμου.
- **Layer contour:** Το συγκεκριμένο φίλτρο εφαρμόζεται για τη δημιουργία καμπυλών τύπου ισοϋψών (για μεγέθη που μπορούν να απεικονιστούν με τον τρόπο αυτό).

Μπορούμε να έχουμε ενεργοποιημένα περισσότερα από ένα φίλτρα ταυτοχρόνως. Όταν είναι ενεργοποιημένα έχουν πράσινη σήμανση ενώ, σε αντίθετη περίπτωση, κόκκινη. Στην συνέχεια δίνεται ένα παράδειγμα της πορείας που ακολουθείται για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων μιας προσομοίωσης.

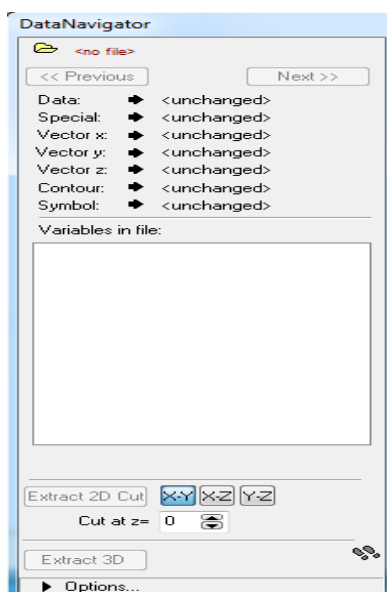
1^ο βήμα: Στο αρχικό παράθυρο του Leonardo, πηγαίνουμε στο “Tools” και στη συνέχεια επιλέγουμε “Data Navigator”.



Εικόνα 5.30.1^ο βήμα για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων.[Πηγή: Leonardo]

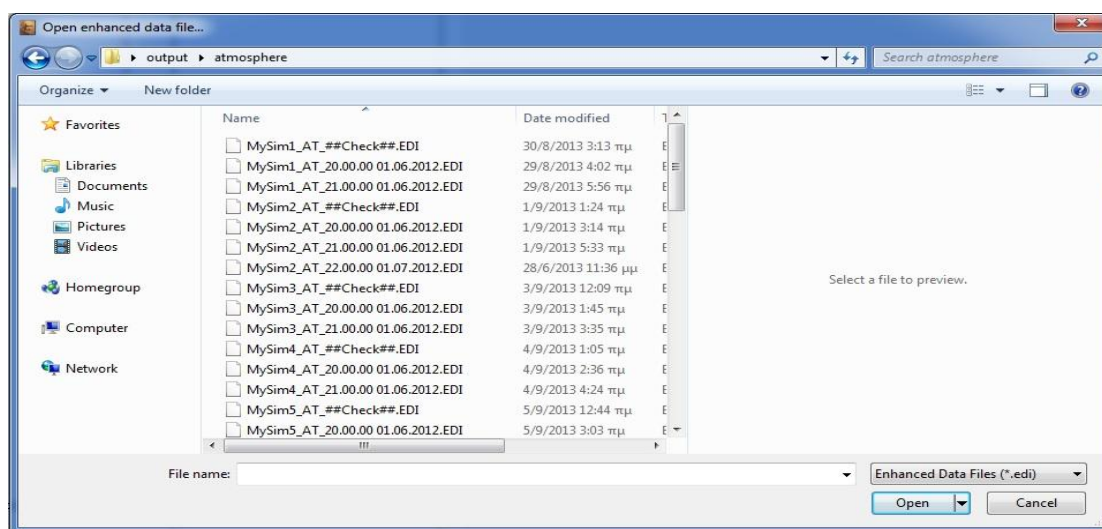
2^ο βήμα: Αμέσως, εμφανίζεται το παράθυρο “DataNavigator”, μέσω του οποίου μπορούμε να εισάγουμε τα αποτελέσματα που επιθυμούμε στο Leonardo. Χρησιμοποιώντας το εικονίδιο του κίτρινου φακέλου (στην επάνω αριστερή πλευρά του ίδιου παραθύρου), ενεργοποιούμε το παράθυρο αναζήτησης των Windows για την εύρεση του αρχείου EDI. που επιθυμούμε. Με διπλό «κλικ» στο αρχείο, το

Leonardo «διαβάζει» τις πληροφορίες και εμφανίζει μία λίστα με τις διαθέσιμες μεταβλητές.

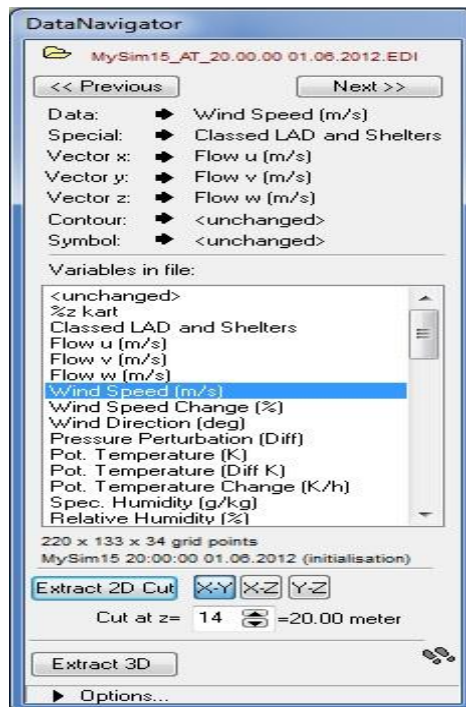


Εικόνα 5.31. Παράθυρο “DataNavigator”. [Πηγή: Leonardo]

3^ο βήμα: Ρύθμιση παραμέτρων οπτικοποίησης. Για παράδειγμα, έστω ότι θέλουμε να οπτικοποιήσουμε τη ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 20m από το έδαφος. Αφού επιλέξουμε το σωστό αρχείο EDI, στο παράθυρο του Data Navigator, επιλέγουμε από τη λίστα με τις διαθέσιμες μεταβλητές αυτήν με την ονομασία windspeed(m/s). Για την οπτικοποίηση αυτών των δεδομένων, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, πρέπει να επιλέξουμε το κατάλληλο φίλτρο, δηλαδή το Data. Έτσι, στη συνέχεια πατάμε το βέλος που στην αριστερή του πλευρά αναγράφεται η λέξη Data. Στη συνέχεια, στο πεδίο “Cut at z =” επιλέγουμε το ύψος στο οποίο «κόβουμε», ώστε να λάβουμε τις αντίστοιχες τιμές. Τέλος, για διδιάστατη απεικόνιση επιλέγουμε “Extract 2D Cut”, καθώς επίσης και το επίπεδο στο οποίο θέλουμε να πραγματοποιηθεί η τομή (X-Y, X-Z ή Y-Z). Οι παραπάνω επιλογές φαίνονται παρακάτω:



Εικόνα 5.32. 2^ο Βήμα:Επιλογή του αρχείου EDI. [Πηγή: Leonardo]



Εικόνα 5.33. 3^ο βήμα: Επιλογές για την οπτικοποίηση της ταχύτητας του ανέμου, σε ύψος 1.92m από το έδαφος. [Πηγή: Leonardo]

Ακόμη, υπάρχει η δυνατότητα πολλών διαφορετικών ρυθμίσεων, όσον αφορά τα χρώματα, τα μεγέθη των διανυσμάτων, τις ισοϋψείς καμπύλες κ.λπ. Αυτές εμφανίζονται χρησιμοποιώντας την επιλογή "Settings 2D". Τέλος, αναφέρουμε εκ νέου ότι το Leonardo διαθέτει πολλές ακόμη δυνατότητες που ξεφεύγουν από το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής.

5.8. Επιλογή των σημείων μελέτης

Στη συνέχεια ακολουθεί η επιλογή τριών θέσεων οι οποίες θα μελετηθούν ώστε να διερευνηθεί η βιωσιμότητα εγκατάστασης ανεμογεννητριών μικρής ισχύος στην περιοχή μελέτης. Οι θέσεις αυτές επιλέχθηκαν με τα εξής κριτήρια:

- Την κύρια διεύθυνση του ανέμου
- Το υψόμετρο εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας

Έτσι επιλέχθηκαν τρία σημεία με διαφορετικό αιολικό δυναμικό:

- Το πρώτο στη βέλτιστη θέση
- Το δεύτερο σε μία πολύ καλή θέση
- Το τρίτο σε μία καλή θέση

Σκοπός της επιλογής αυτής είναι να διερευνηθεί η βιωσιμότητα της επένδυσης στο σύνολο της περιοχής μελέτης. Επιπλέον, καθώς το πρόγραμμα envi-met δεν παρέχει τη δυνατότητα εισαγωγής μεγαλύτερης περιοχής ως input file δεχόμαστε ότι η επίδραση των οικοδομικών τετραγώνων της εξωτερικής στοιβάδας είναι ισοδύναμη με την επίδραση της αστικής περιοχής που περιβάλλει την περιοχή μελέτης. Έτσι, τα

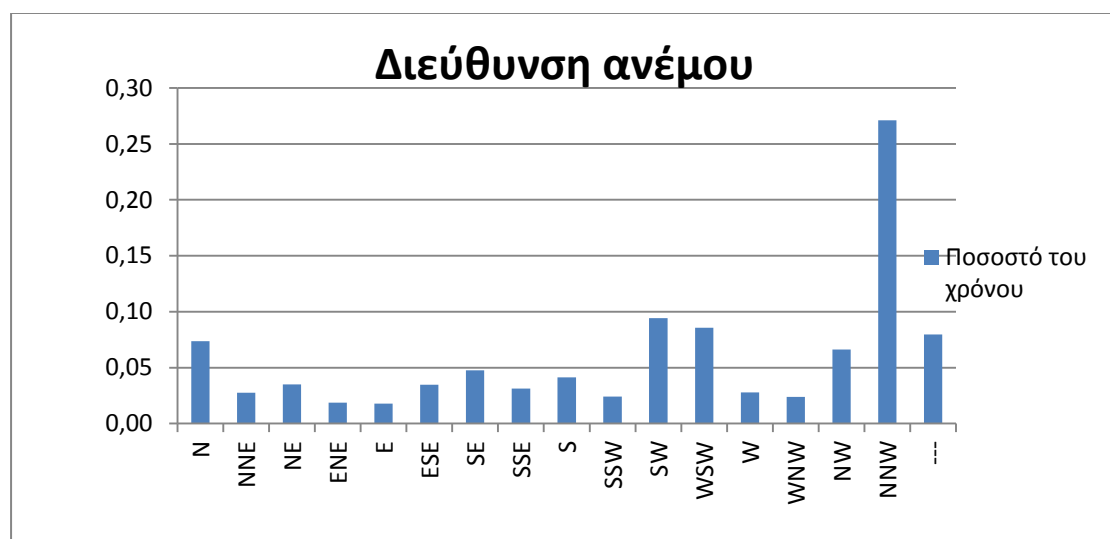
δεδομένα κοντά στο εξωτερικό όριο είναι αναξιόπιστα και η επιλογή των σημείων θα γίνει από τα τέσσερα εσωτερικά τετράγωνα τα οποία περιβάλλονται από τις οδούς Αμισού, Αδριανουπόλεως, Βοσπόρου και Πατριάρχου Γρηγορίου Ε.



Εικόνα 5.34. Περιορισμός της περιοχής μελέτης με σκοπό την λήψη ασφαλέστερων αποτελεσμάτων.

5.8.1. Η κύρια διεύθυνση του ανέμου

Πρώτο κριτήριο για την επιλογή των θέσεων είναι η κύρια διεύθυνση του ανέμου. Ως κύρια διεύθυνση ορίζεται η διεύθυνση που εμφανίζεται συχνότερα και έχει μέση ταχύτητα του ανέμου, συχνά, μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες διευθύνσεις. Με βάση τα ετήσια δεδομένα από μετρήσεις σε ύψος 10 μέτρων, από το αστεροσκοπείο Αθηνών για τον σταθμό της Νέας Σμύρνης ο οποίος βρίσκεται σε υψόμετρο 51 μέτρων, έχουμε τα παρακάτω στοιχεία:



Εικόνα 5.35. Η συχνότητα εμφάνισης της κάθε διεύθυνσης του ανέμου στην περιοχή μελέτης.

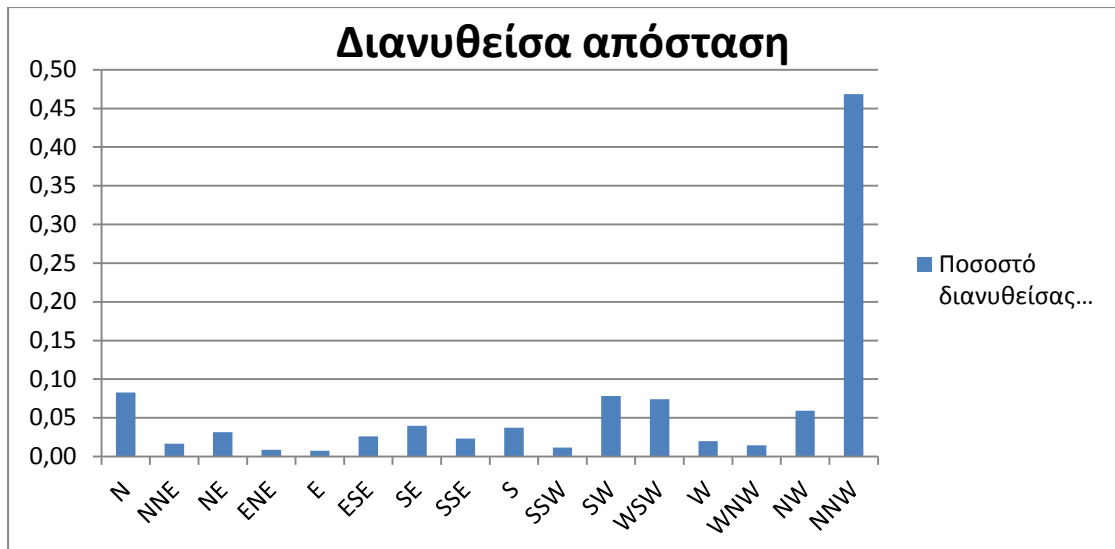
Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι η Βορειοβορειοδυτική διεύθυνση αποτελεί την δεσπόζουσα διεύθυνση με ποσοστό εμφάνισης κατά τη διάρκεια του χρόνου ίσο με 27%.

Παρακάτω δίνεται η μέση ταχύτητα του ανέμου ανά διεύθυνση, όπου φαίνεται ότι η μέση ταχύτητα του ανέμου στην Βορειοβορειοδυτική διεύθυνση είναι η υψηλότερη με τιμή 6.97 m/s.



Εικόνα 5.36. Η μέση ταχύτητα του ανέμου ανά διεύθυνση στην περιοχή μελέτης.

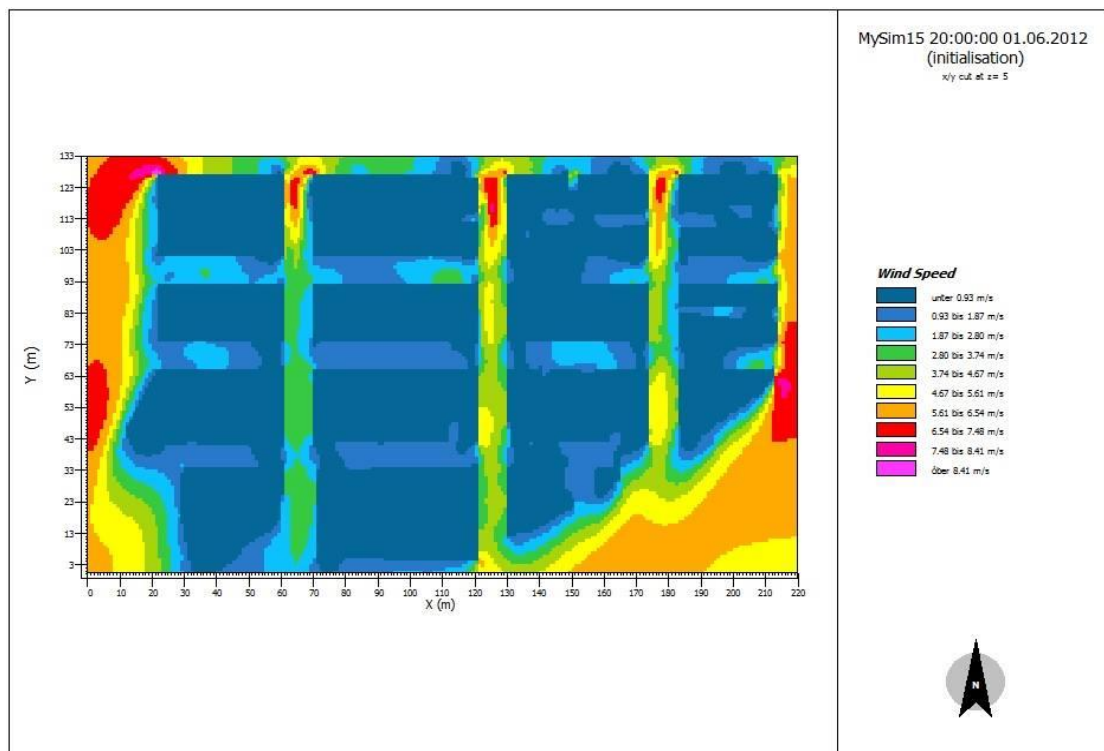
Τέλος, παρουσιάζεται η διανυθείσα απόσταση του ανέμου σε κάθε διεύθυνση. Η διανυθείσα απόσταση ανά διεύθυνση, η οποία ορίζεται ως το γινόμενο της μέσης ταχύτητας (m/s) του ανέμου επί του αντίστοιχου χρόνου πνοής του (s), αποτελεί το πλέον χαρακτηριστικό μέγεθος καθώς δίνει μια πιο ακριβή εικόνα για την σημαντικότητα της κάθε διεύθυνσης. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ότι ο άνεμος "προχωράει" το 47% της συνολικής διανυθείσας απόστασης στην Βορειοβορειοδυτική διεύθυνση.



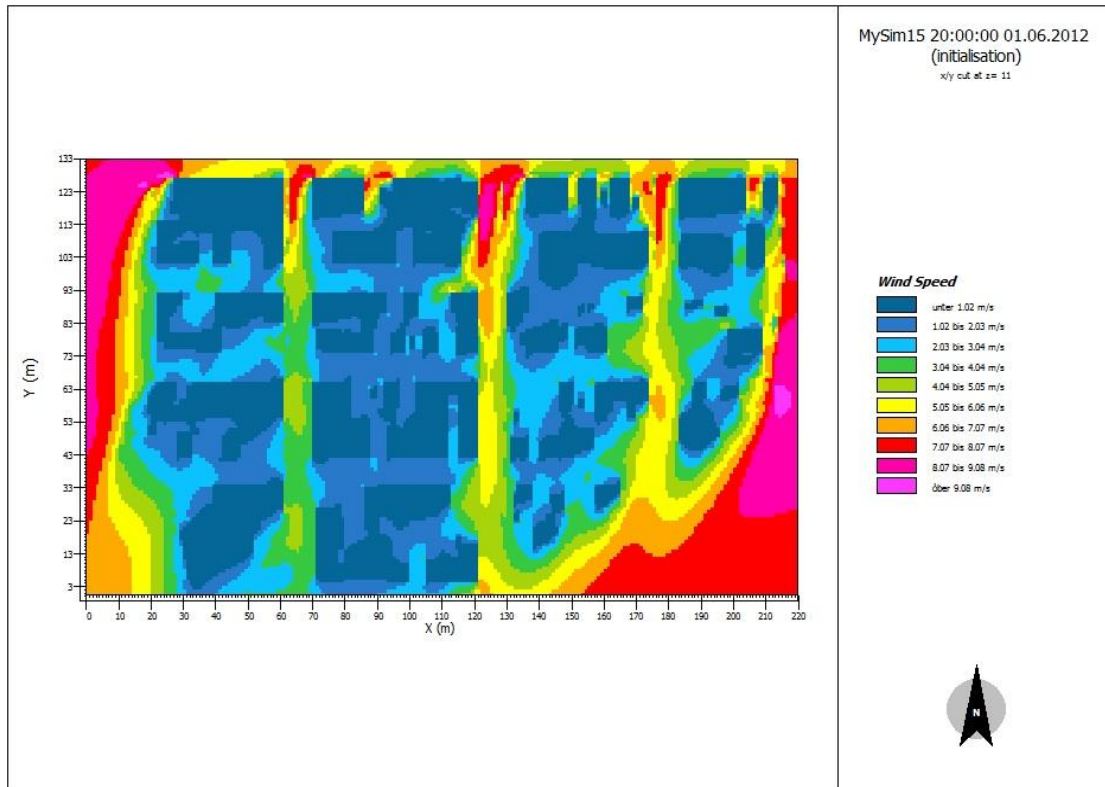
Εικόνα 5.37. Η διανυθείσα αποστάση του ανέμου σε κάθε διεύθυνση στην περιοχή μελέτης.

5.8.2. Το υψόμετρο των σημείων

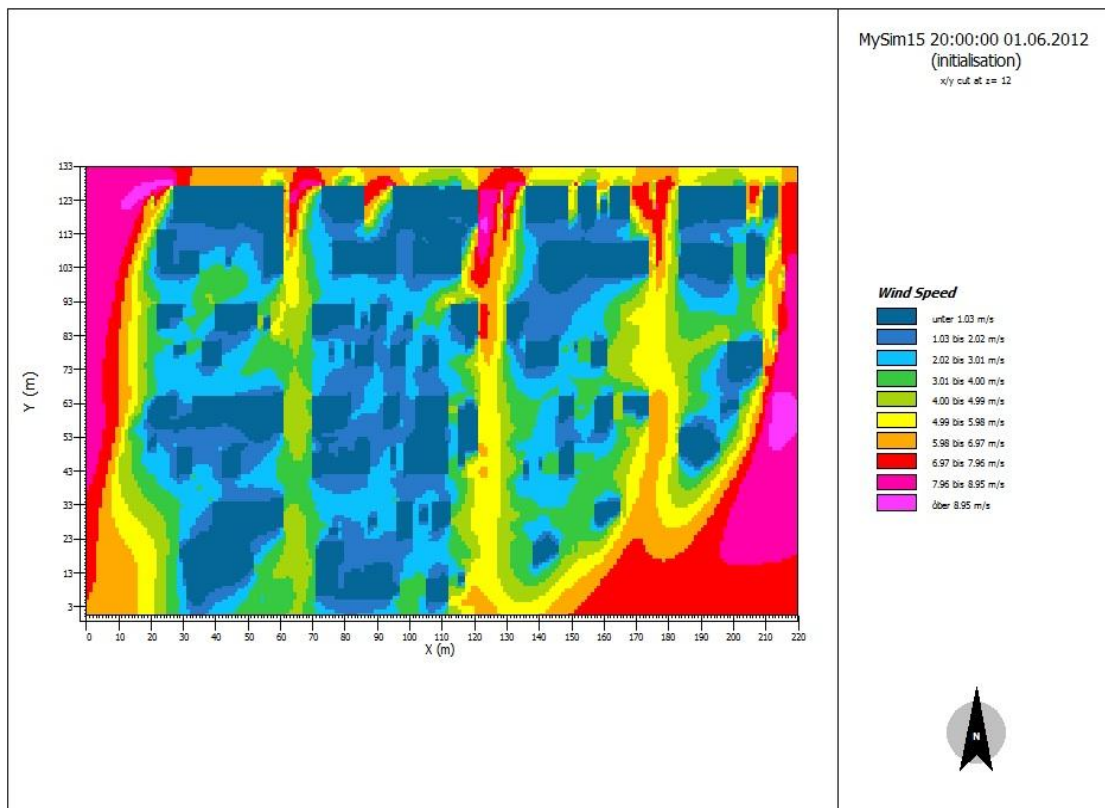
Ένα άλλο κριτήριο είναι το υψόμετρο λειτουργίας της ανεμογενήτριας. Το πεδίο ροής του ανέμου και η τύρβη διαφοροποιείται με το υψόμετρο έτσι επιλέχθηκαν σημεία διαφορετικού υψομέτρου. Εάν θεωρήσουμε άνεμο με Βορειοβορειοδυτική διεύθυνση και ένταση 6.97 m/s (όσο την μέση ταχύτητα για την Βορειοβορειοδυτική διεύθυνση), για μία τυπική μερα, 'προκύπτει ο χάρτης της ταχύτητας του ανέμου για την περιοχή μελέτης. Στη συνέχεια ακολουθούν οι χάρτες ταχυτήτων του ανέμου για διάφορα υψόμετρα.



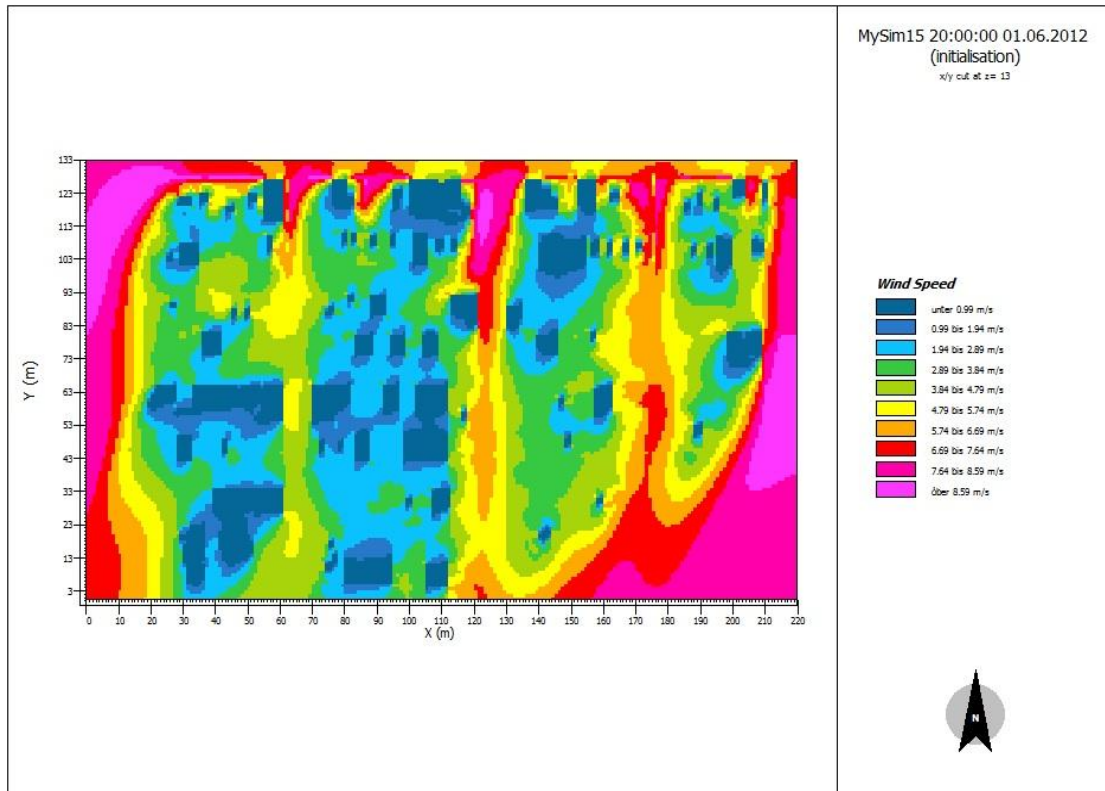
Χάρτης εντάσεως του ανέμου για τομή x-y στο υψόμετρο των 2m. [Πηγή: Envi-met]



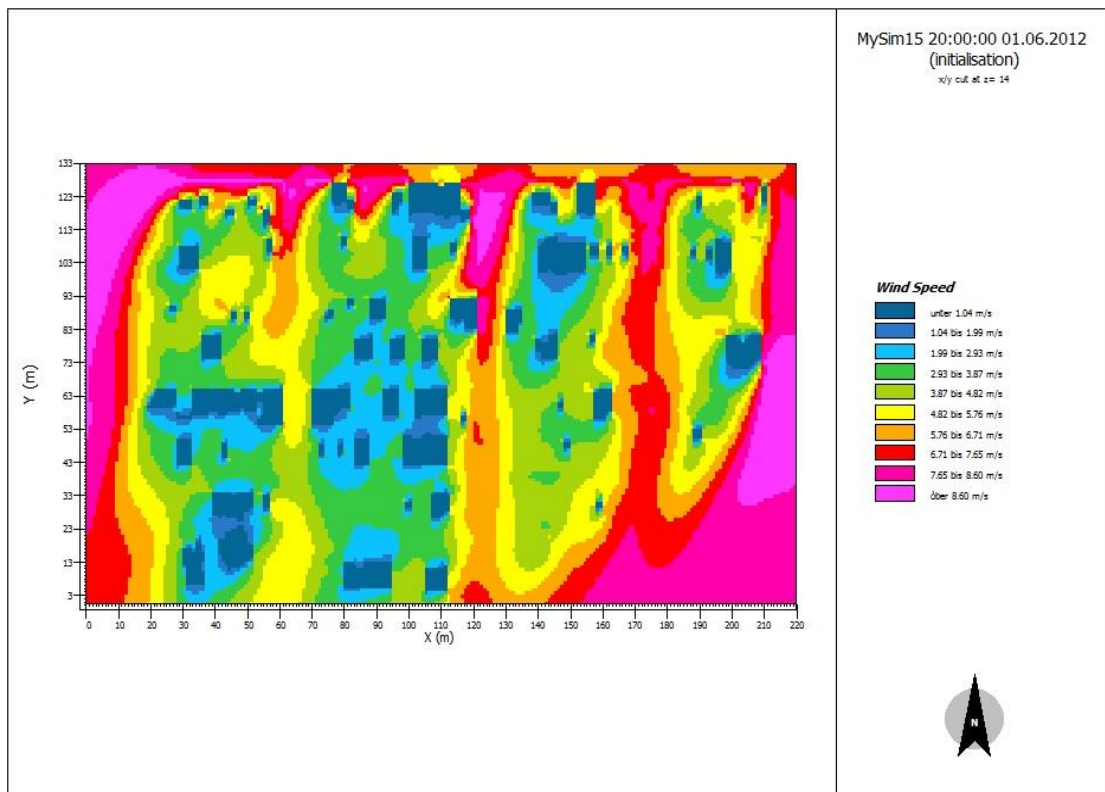
Εικόνα 5.38.Χάρτης εντάσεως του ανέμου για τομή x-y στο υψόμετρο των 14m. [Πηγή: Envi-met]



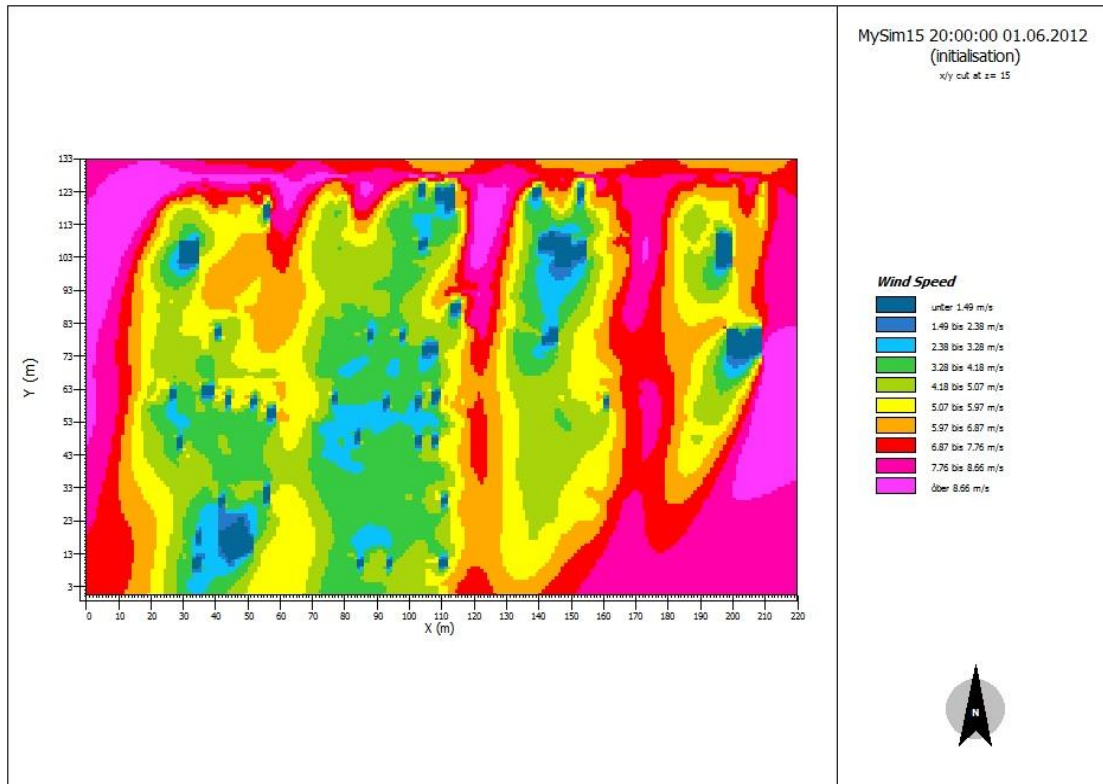
Εικόνα 5.39.Χάρτης εντάσεως του ανέμου για τομή x-y στο υψόμετρο των 16m. [Πηγή: Envi-met]



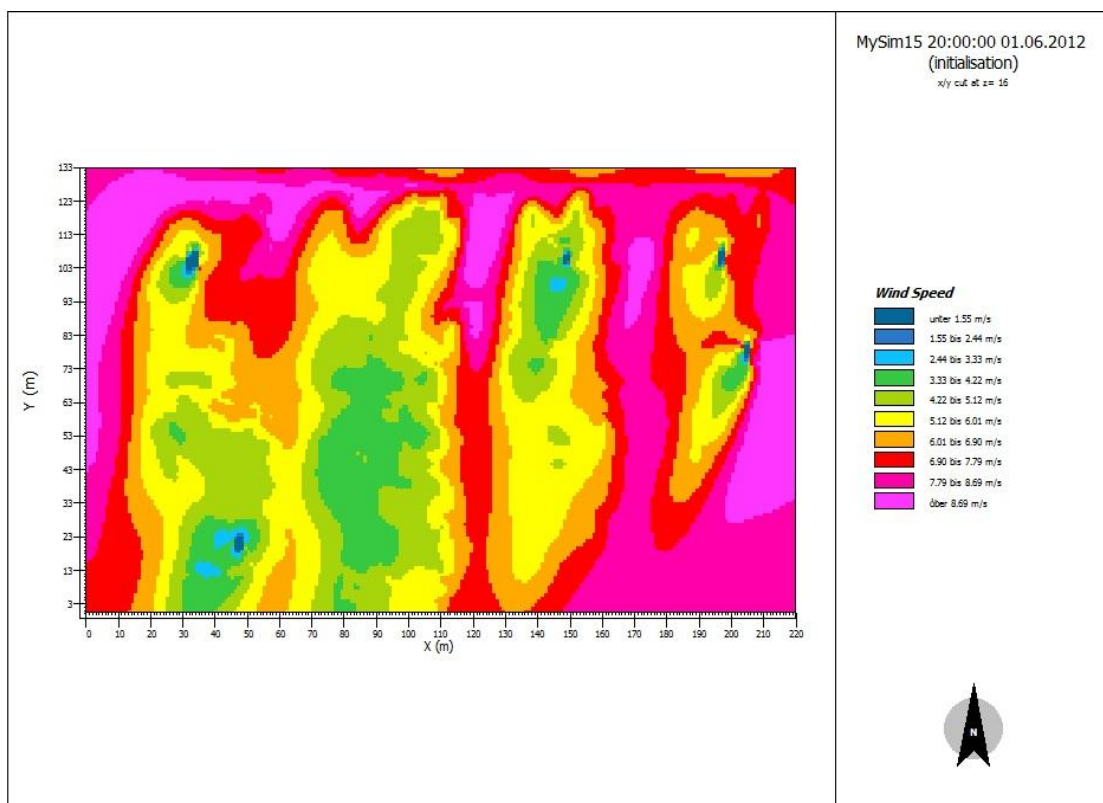
Εικόνα 5.40.Χάρτης εντάσεως του ανέμου για τομή x-y στο υψόμετρο των 18m. [Πηγή: Envi-met]



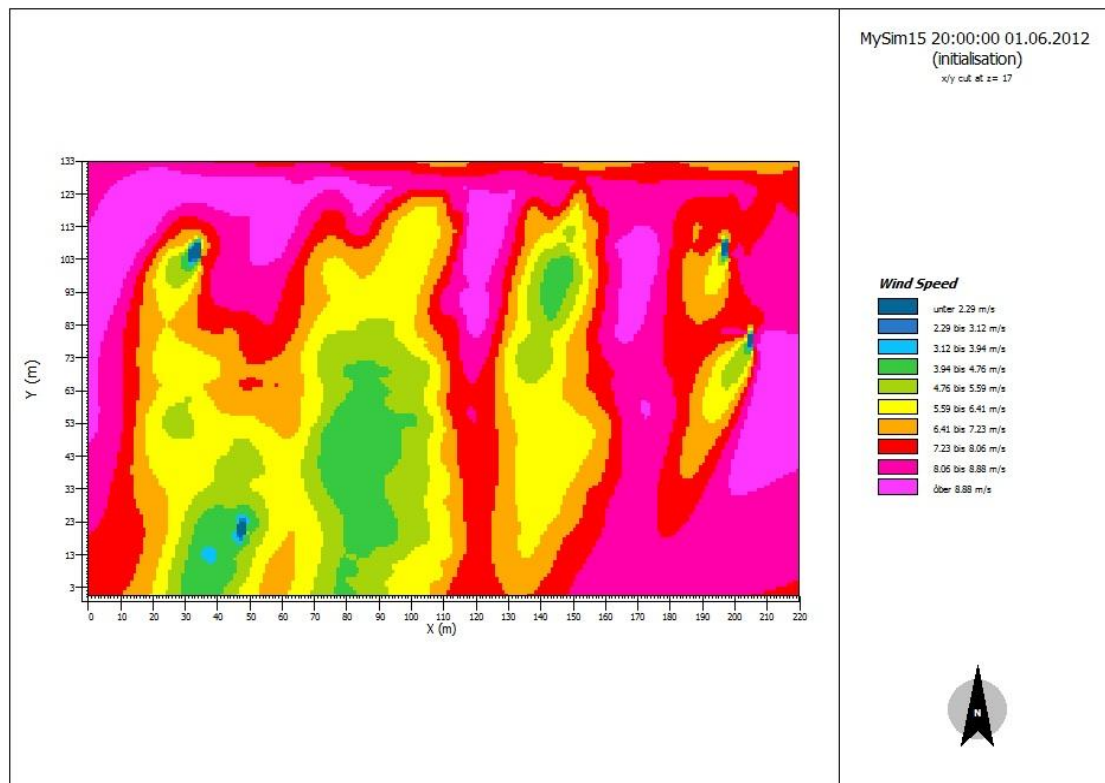
Εικόνα 5.41.Χάρτης εντάσεως του ανέμου για τομή x-y στο υψόμετρο των 20m. [Πηγή: Envi-met]



Εικόνα 5.42.Χάρτης εντάσεως του ανέμου για τομή x-y στο υψόμετρο των 22m. [Πηγή: Envi-met]



Εικόνα 5.43.Χάρτης εντάσεως του ανέμου για τομή x-y στο υψόμετρο των 24m. [Πηγή: Envi-met]



Εικόνα 5.44.Χάρτης εντάσεως του ανέμου για τομή x-y στο υψόμετρο των 26m. [Πηγή: Envi-met]

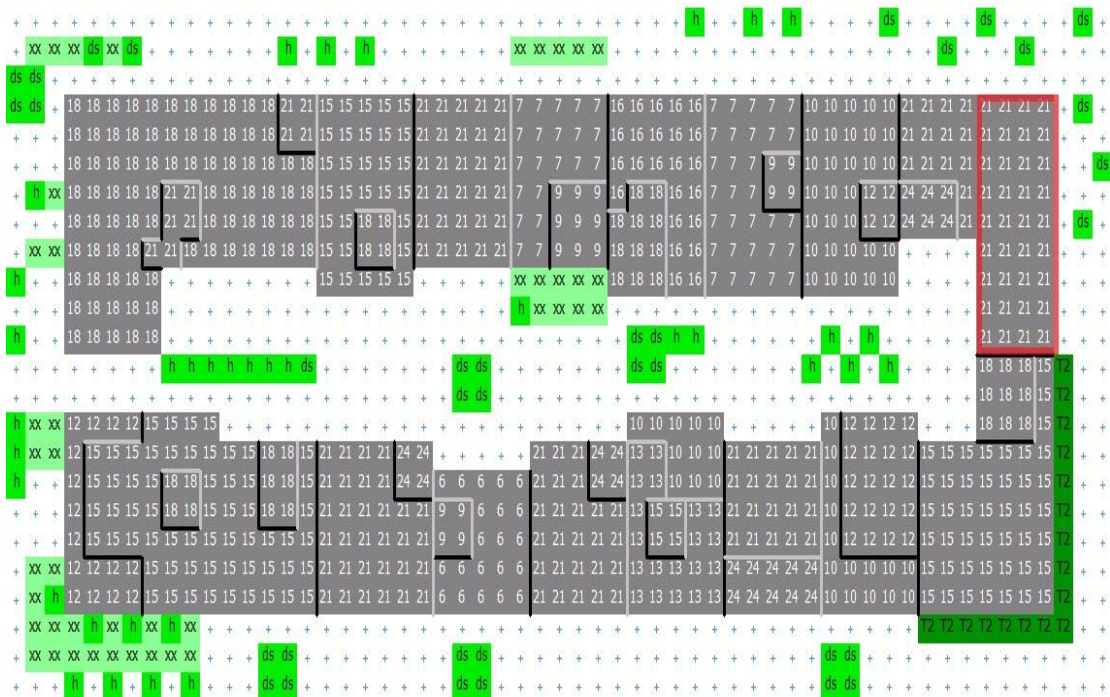
Με βάση τις παραπάνω εικόνες παρατηρούμε ότι η γωνία ανάμεσα στην κύρια διεύθυνση του ανέμου και τη διεύθυνση που είναι προσανατολισμένα τα "κενά" ανάμεσα στις πολυκατοικίες είναι μικρή. Έτσι ο άνεμος κινείται με μεγάλη ταχύτητα ανάμεσα στις πολυκατοικίες, με αποτέλεσμα οι πολυκατοικίες που βρίσκονται κοντά στο "κενό" να έχουν πλεονεκτική θέση.

5.8.3. Οι θέσεις εγκατάστασης των ανεμογεννητριών

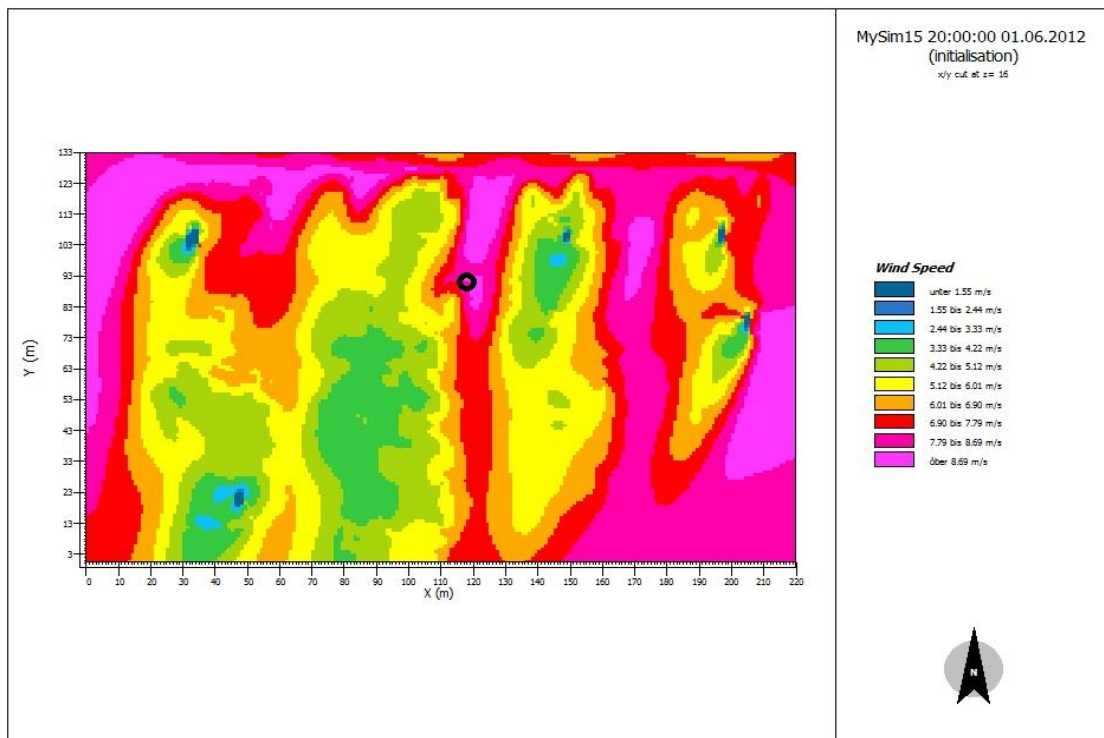
Με βάση τα παραπάνω και συνυπολογίζοντας ότι η θέση λειτουργίας της ανεμογεννήτριας θα είναι 3,3m πάνω από την επιφάνεια του δώματος της πολυκατοικίας επιλέγονται οι ακόλουθες θέσεις.

1. Η θέση ένα (Βέλτιστη θέση)

Η ανεμογεννήτρια θα τοποθετηθεί στα $21\text{m} + 3,3\text{m} = 24,3\text{m}$. Όμως, καθώς το Envi-met δε δίνει την δυνατότητα εξαγωγής τιμών για την ένταση του ανέμου σε αυτό το υψόμετρο, θα χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματα για το υψόμετρο των 24m.



Εικόνα 5.47. Η θέση ένα, επισημασμένη με κόκκινο, στο οικοδομικό τετράγωνο.
[Πηγή: Envi-met]

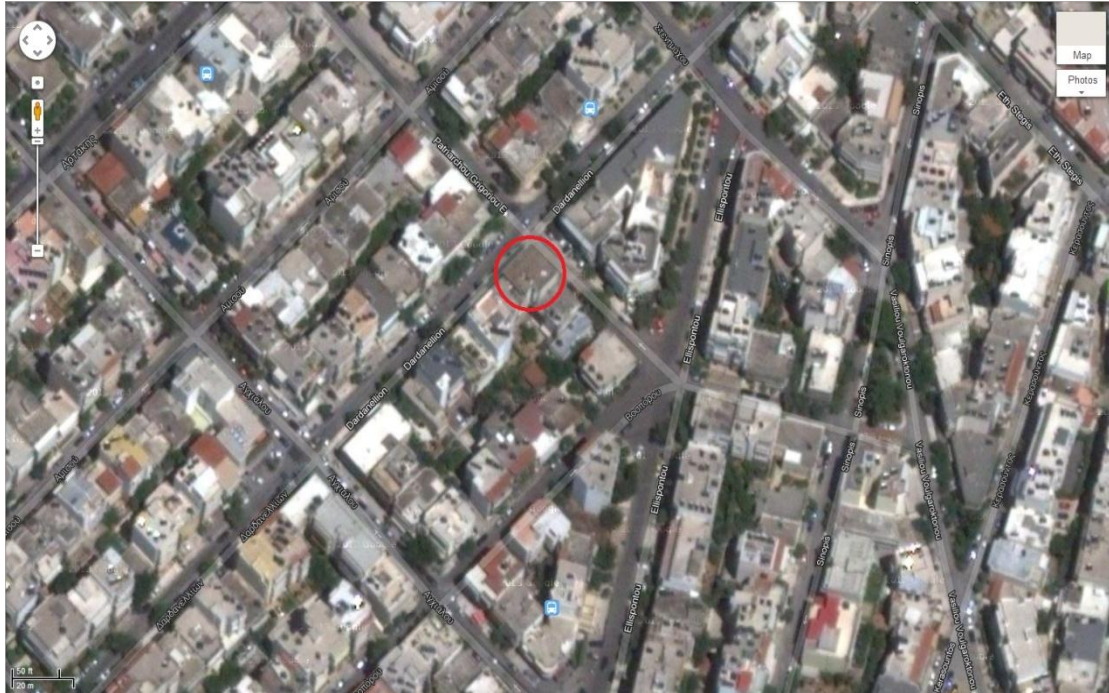


Εικόνα 5.48. Η ένταση του ανέμου για την κύρια διεύθυνση ανέμου στη θέση 1 για τομή σε υψόμετρο z=24m. [Πηγή:Leonardo]

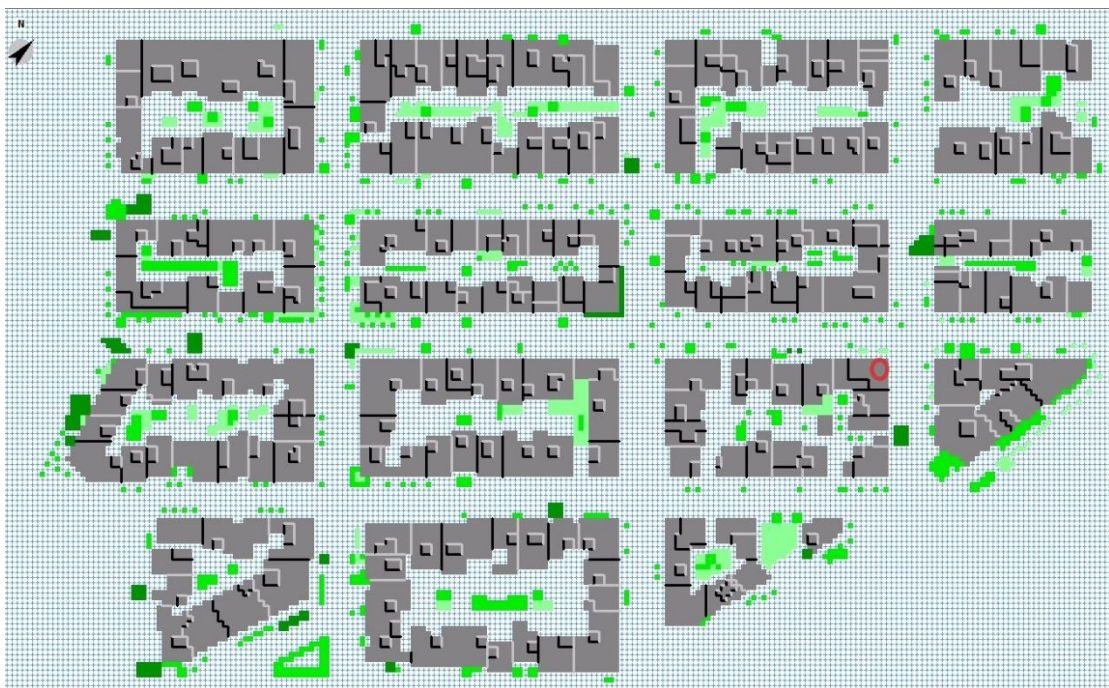
Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 8,6m/s.

2. Η θέση δύο (Πολύ καλή θέση)

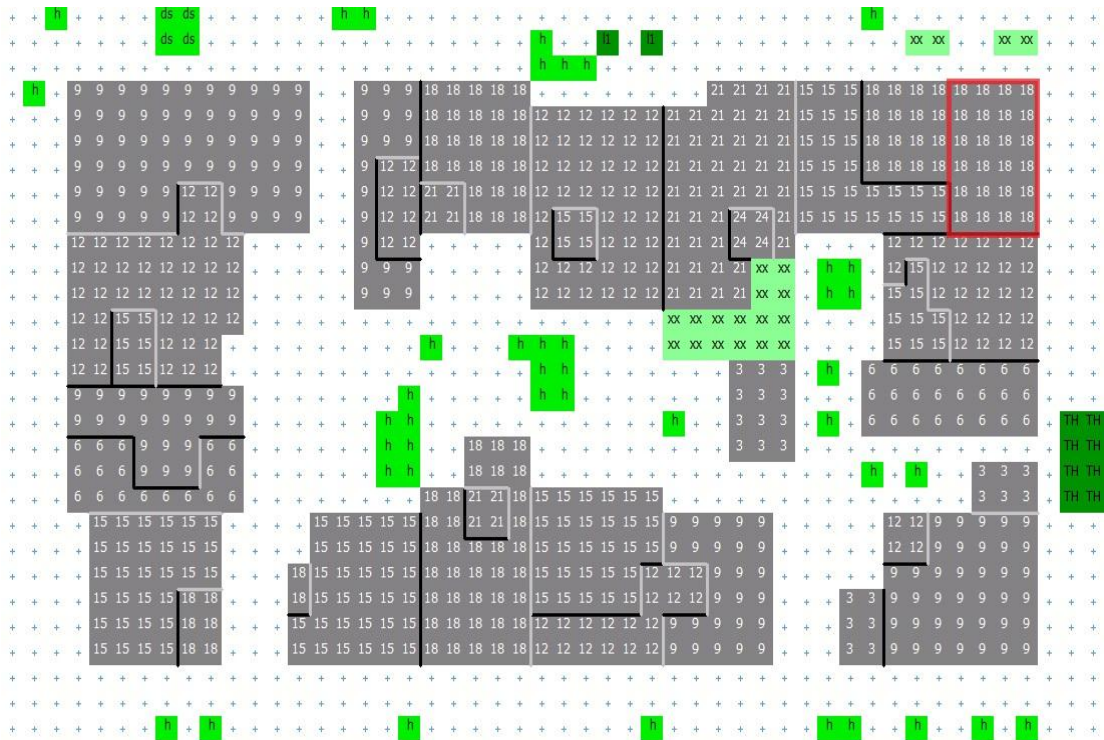
Η ανεμογεννήτρια θα τοποθετηθεί στα $18\text{m} + 3,3\text{m} = 21,3\text{m}$. Όμως καθώς το Envi-met δε δίνει την δυνατότητα εξαγωγής τιμών για την ένταση του ανέμου σε αυτό το υψόμετρο, θα χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματα για το υψόμετρο των 22m .



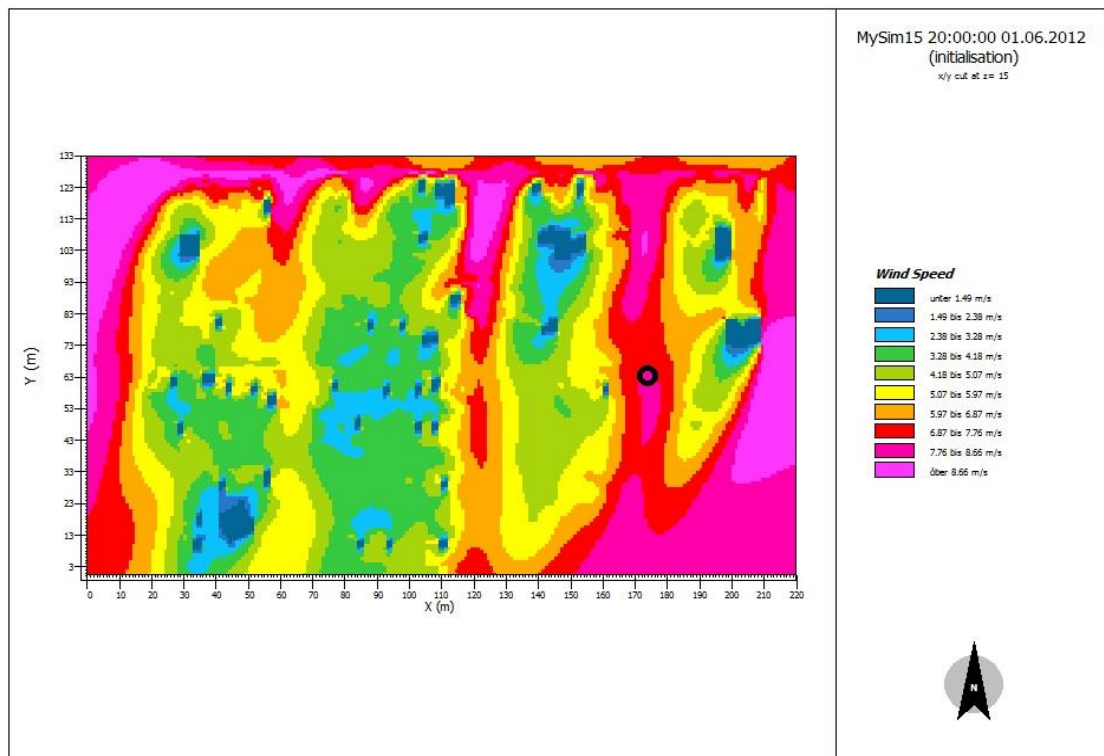
Εικόνα 5.49. Η πολυκατοικία στη θέση δύο όπως φαίνεται από το δορυφόρο. [Πηγή:Google-maps]



Εικόνα 5.50. Η θέση δύο, επισημασμένη με κόκκινο, στην περιοχή μελέτης. [Πηγή:Envi-met]

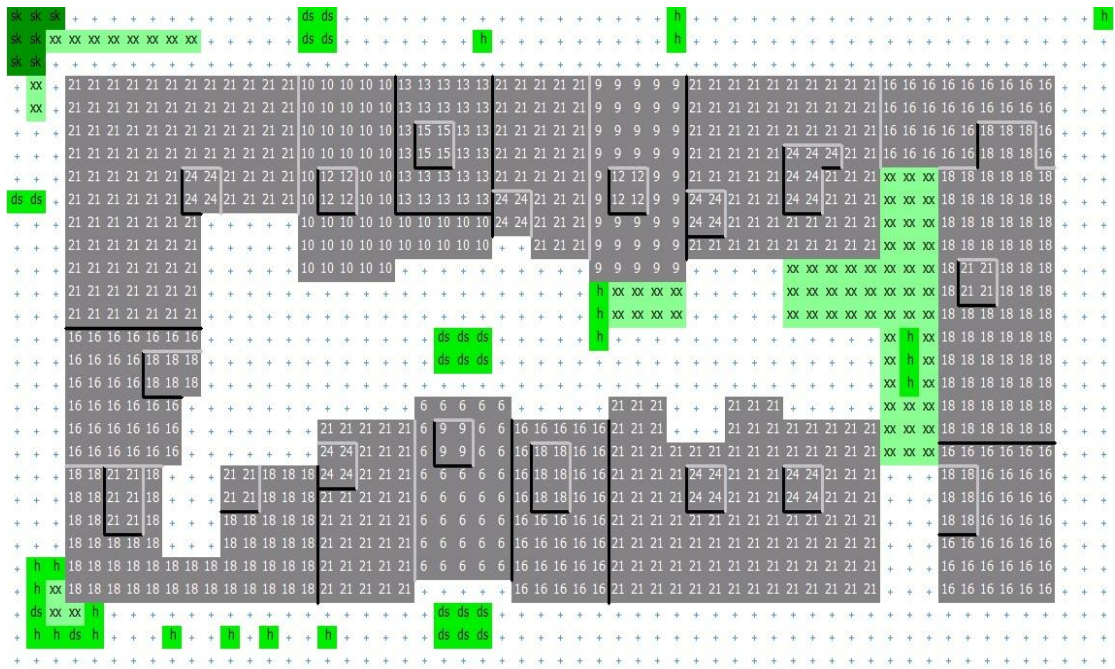


Εικόνα 5.51. Η θέση δύο, επισημασμένη με κόκκινο, στο οικοδομικό τετράγωνο.
[Πηγή:Envi-met]

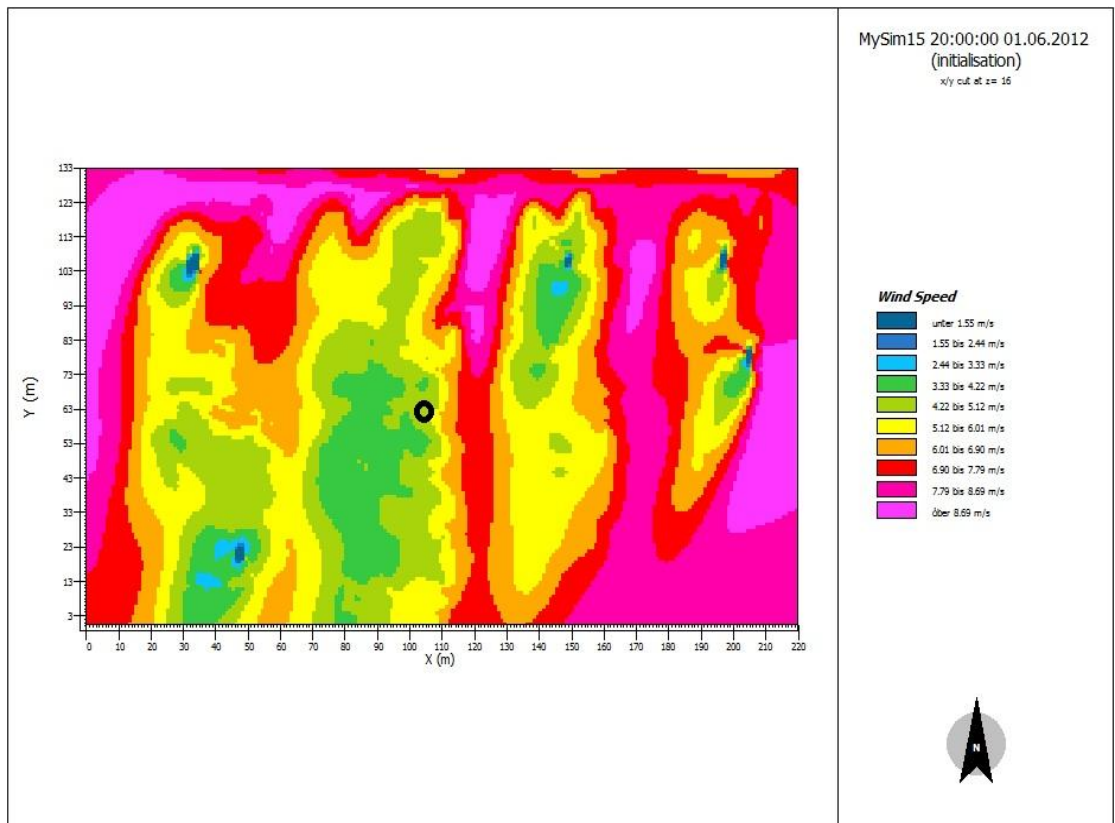


Εικόνα 5.52. Η ένταση του ανέμου για την κύρια διεύθυνση ανέμου στη θέση δύο για τομή σε υψόμετρο z=22m.[Πηγή:Leondardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 7,8m/s.



Εικόνα 5.55. Η θέση τρία, επισημασμένη με κόκκινο, στο οικοδομικό τετράγωνο.
[Πηγή: Envi-met]



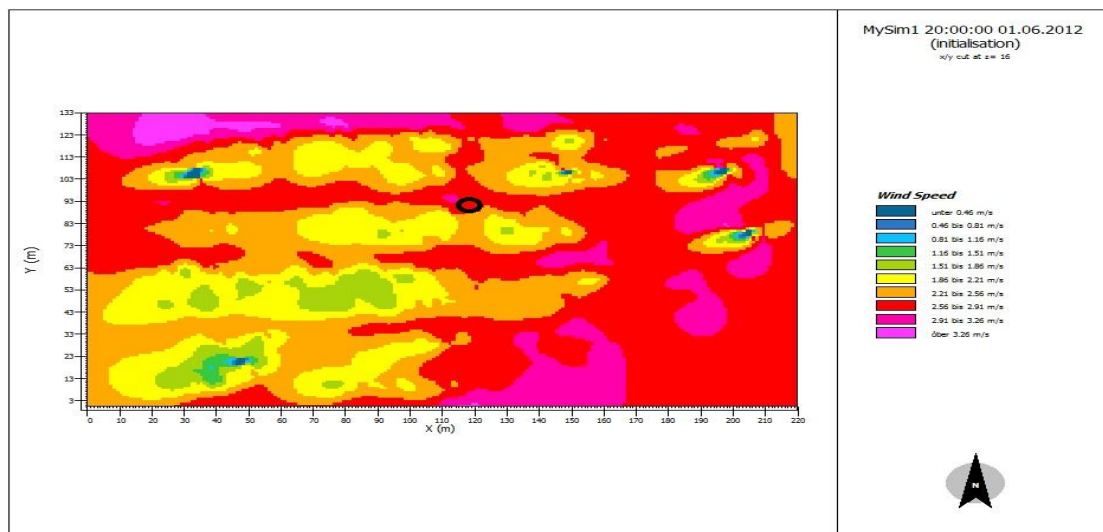
Εικόνα 5.56. Η ένταση του ανέμου για την κύρια διεύθυνση ανέμου στη θέση δύο για τομή σε υψόμετρο $z=24\text{m}$. [Πηγή Leondardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου $4,9\text{m/s}$.

5.9. Υπολογισμός μέσων ταχυτήτων για κάθε θέση

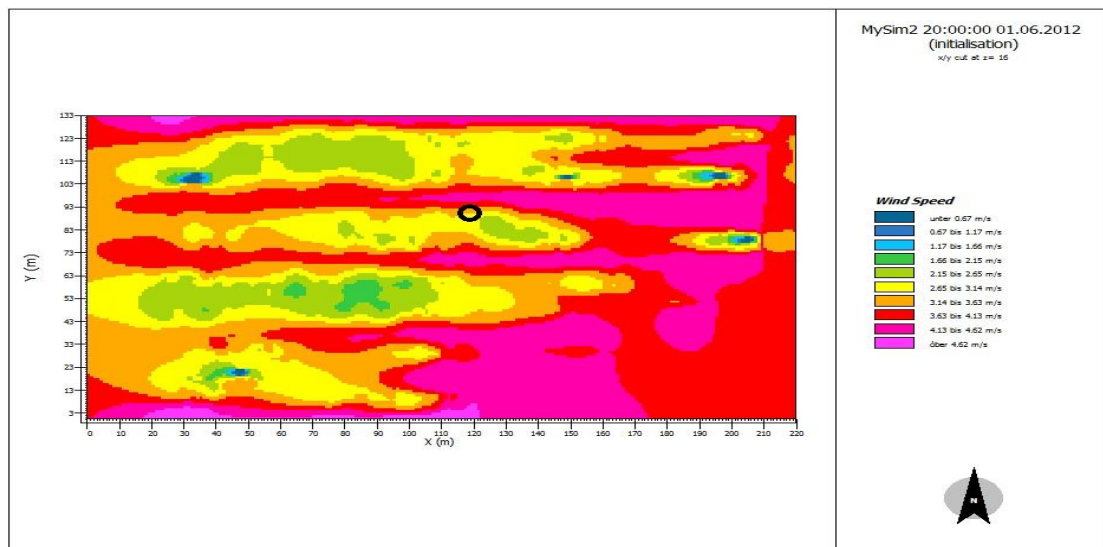
Αφού το ανεμολόγιο χωρίστηκε σε δεκαέξι μέρη και συνεπώς σε δεκαέξι διευθύνσεις, η μέση τιμή του ανέμου για κάθε διεύθυνση χρησιμοποιήθηκε στις προσομιώσεις για να ληφθεί ο χάρτης εντάσεως του ανέμου στην περιοχή μελέτης. Με βάση τους χάρτες αυτούς βρίσκουμε την ένταση του ανέμου στις θέσεις που μελετάμε όταν ο άνεμος πνέει στη συγκεκριμένη διεύθυνση και με ταχύτητα την μέση ετήσια ταχύτητα.

5.9.1. Υπολογισμός μέσων ταχυτήτων για την θέση ένα



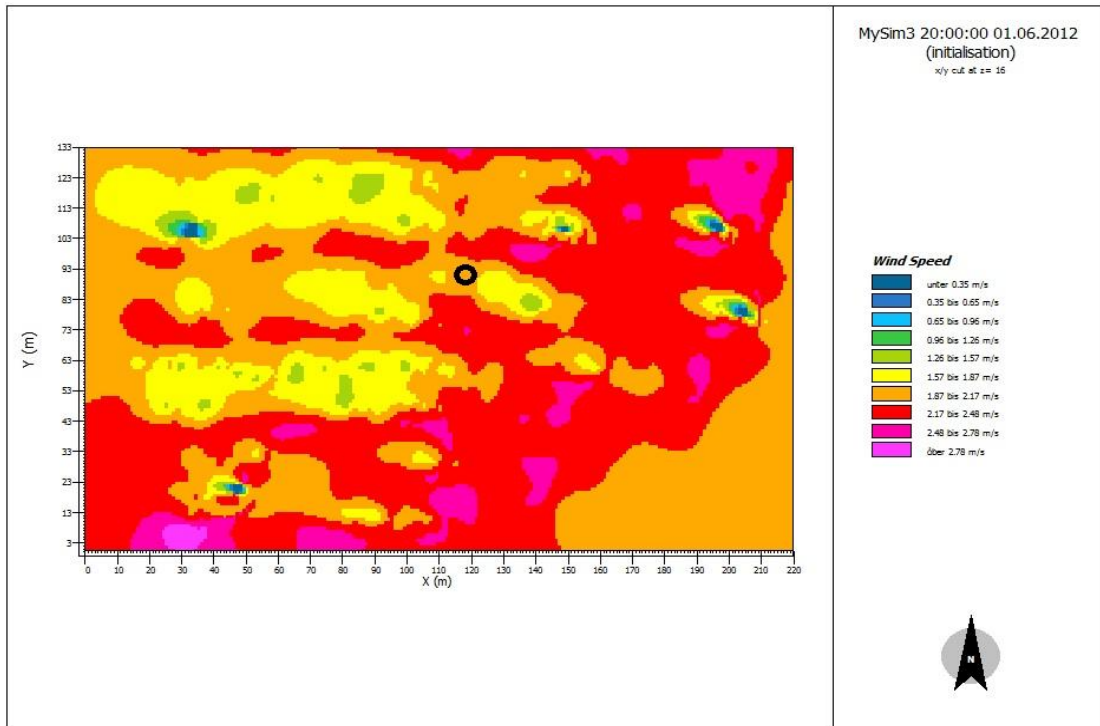
Εικόνα 5.57. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Βορειοβορειοανατολική διεύθυνση. [Πηγή Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 2.7m/s.



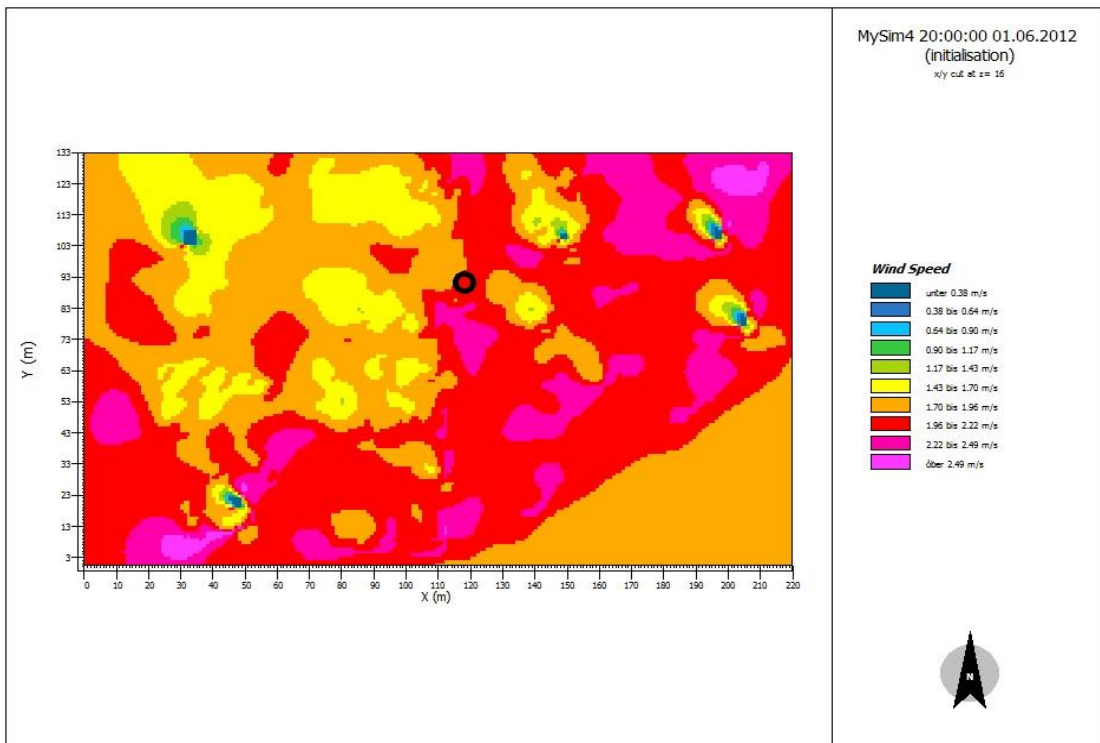
Εικόνα 5.58. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Βορειοανατολική διεύθυνση. [Πηγή Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 3,15m/s.



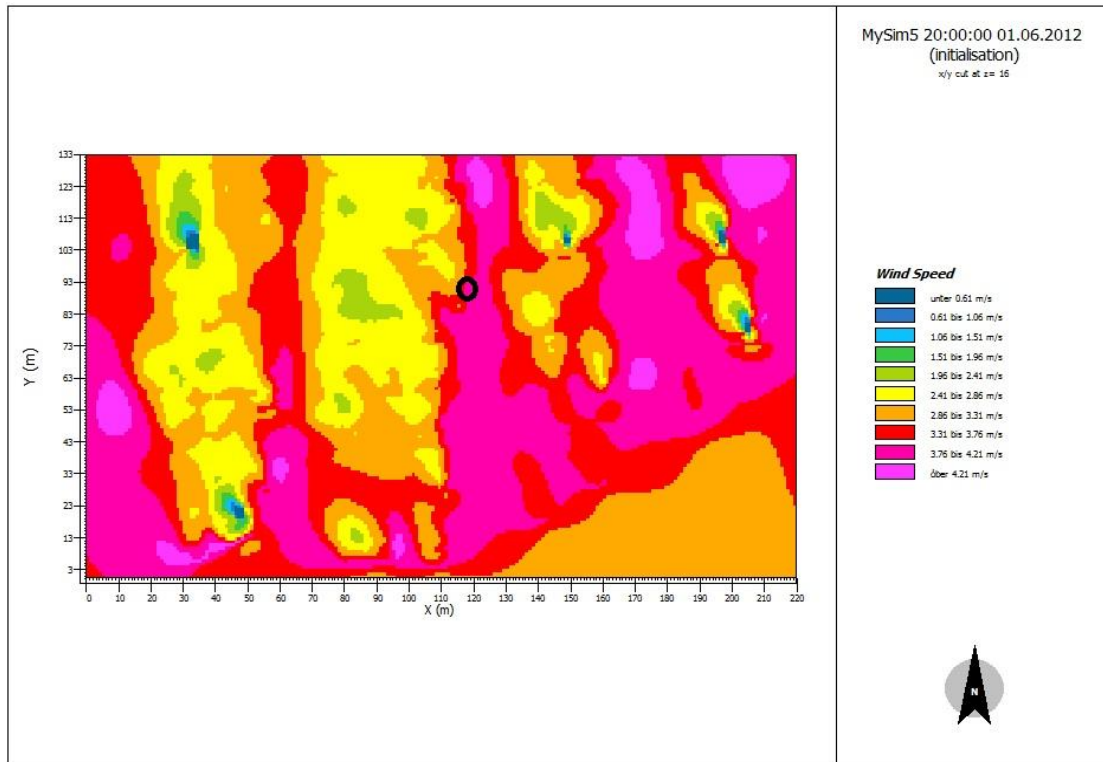
Εικόνα 5.58. Χάρτης εντάσεως ανέμου για την Ανατολικήβορειοανατολική διεύθυνση. [Πηγή Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 2,0m/s.



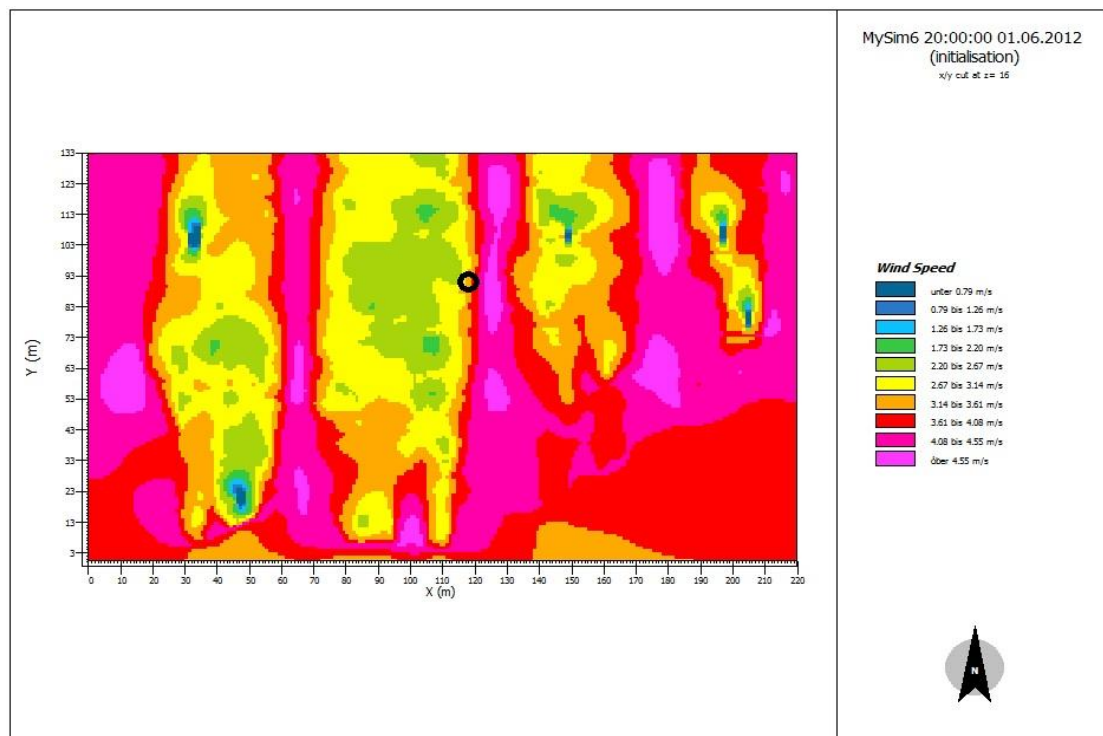
Εικόνα 5.59. Χάρτης εντάσεως ανέμου για την Ανατολική διεύθυνση. [Πηγή Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 2,1m/s.



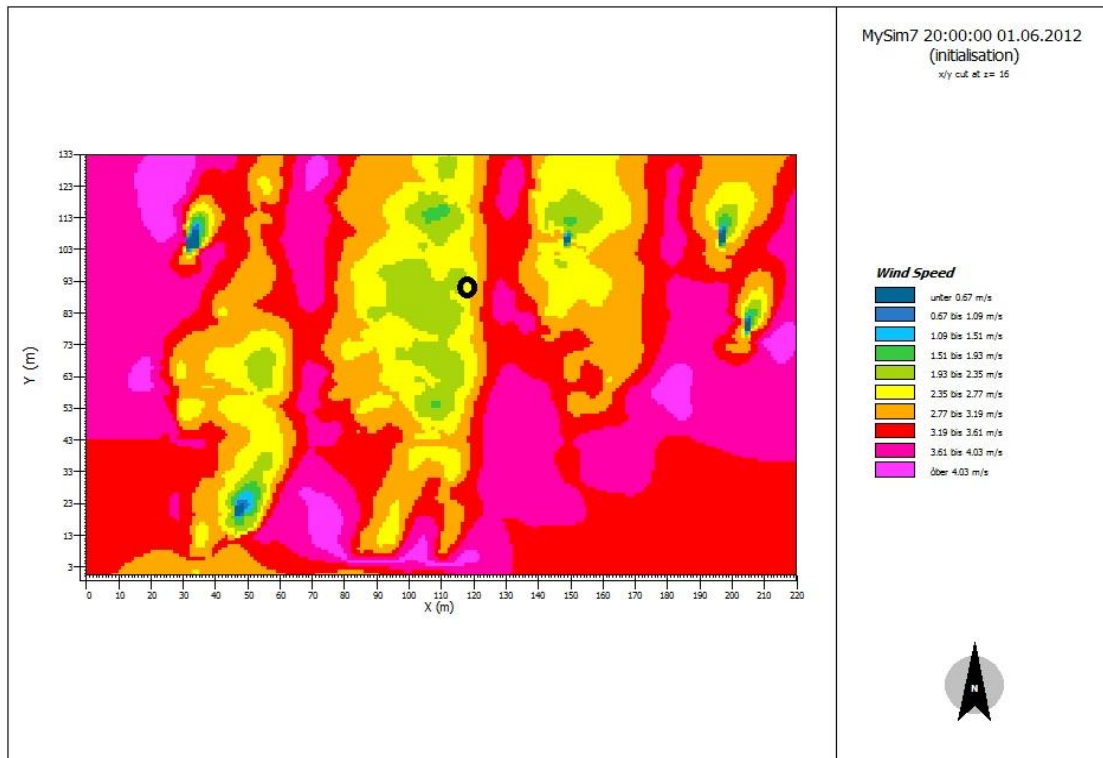
Εικόνα 5.60.Χάρτης εντάσεως ανέμου για την ΑνατολικοΝοτιοανατολική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 3,7m/s.



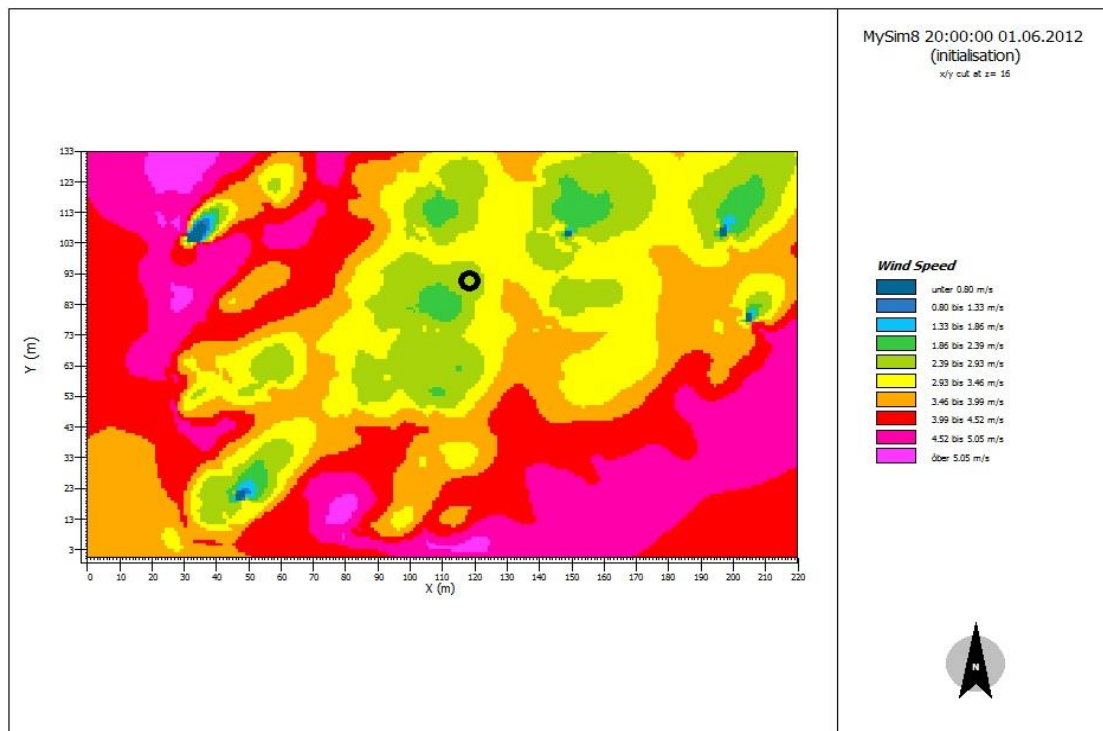
Εικόνα 5.61. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Νοτιοανατολική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 3,5m/s.



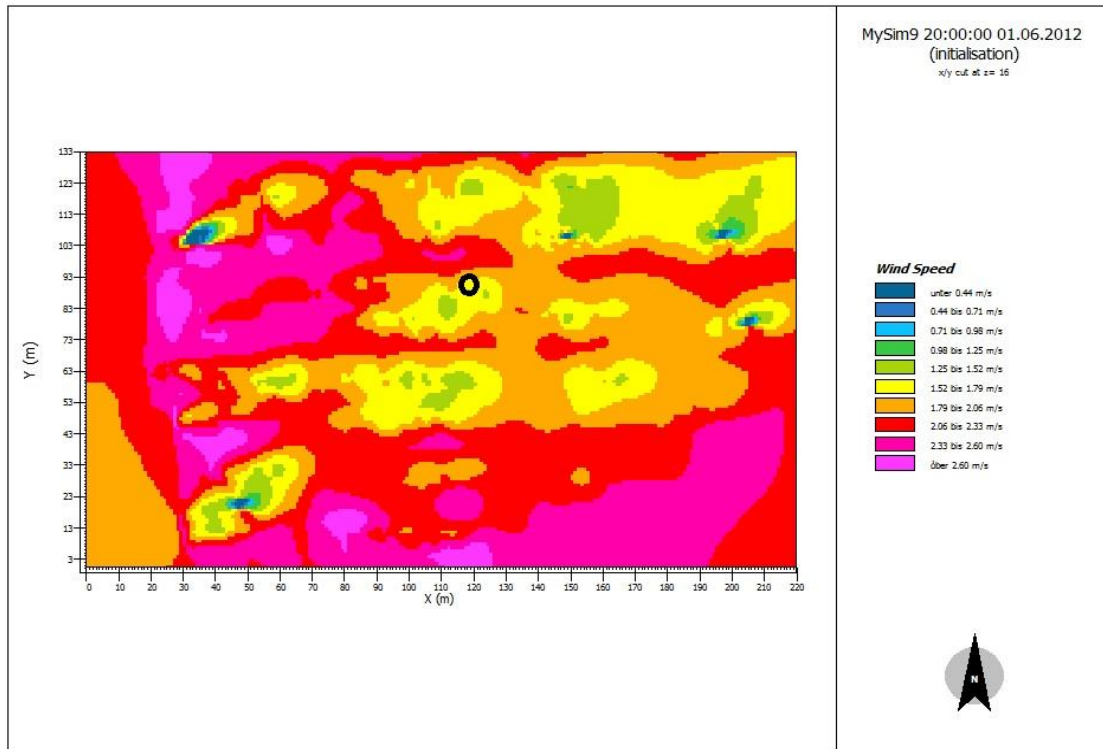
Εικόνα 5.62. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Νοτιονοτιοανατολική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 2,5m/s.



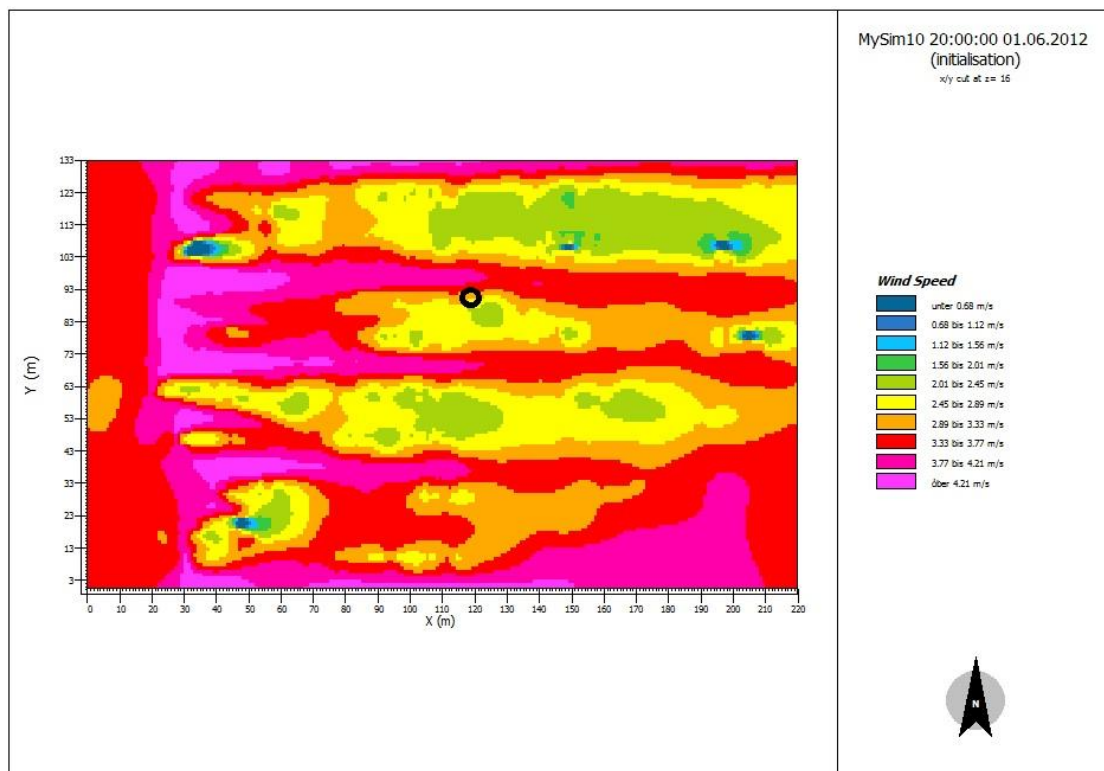
Εικόνα 5.63. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Νότια διεύθυνση. [Πηγή: Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 2,6m/s.



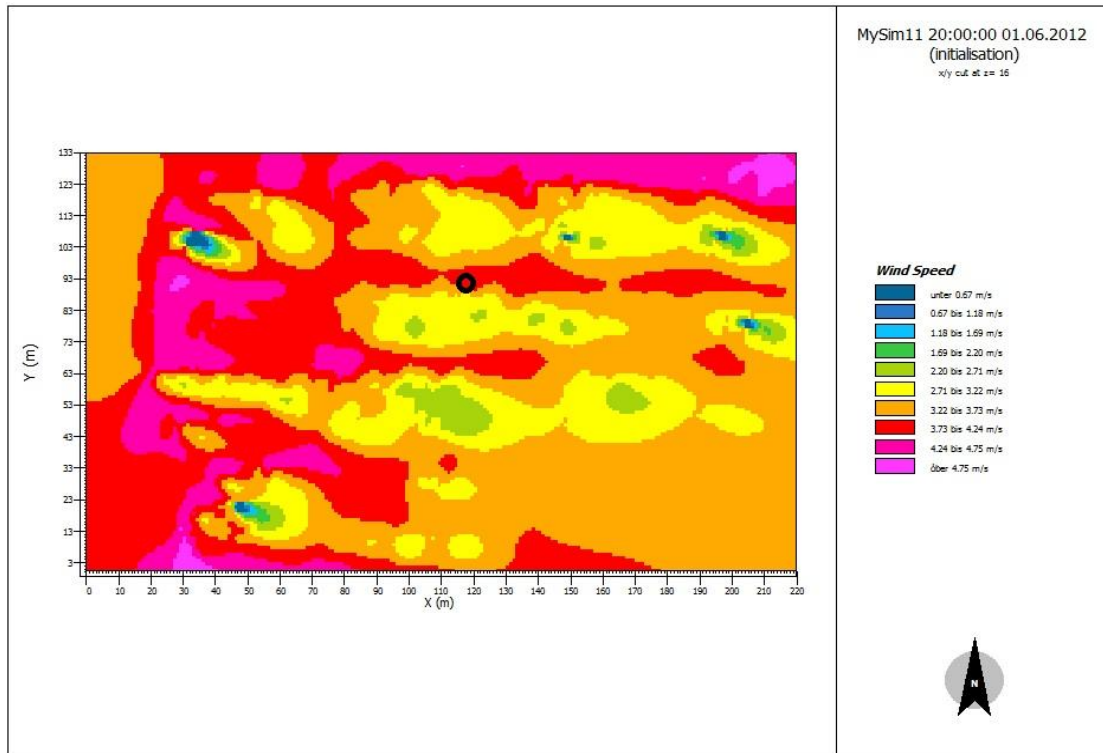
Εικόνα 5.64. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Νότιονοτιοδυτική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 1,6m/s.



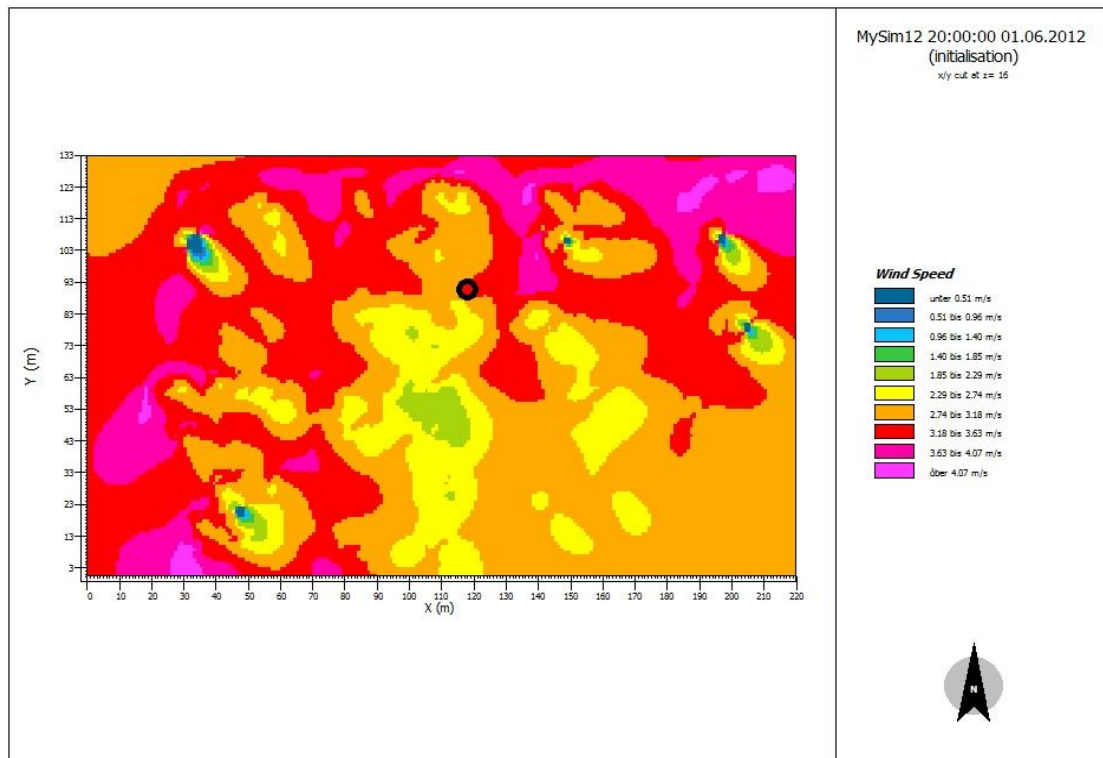
Εικόνα 5.65. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Νοτιοδυτική διεύθυνση. [Πηγή: Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 2,9m/s.



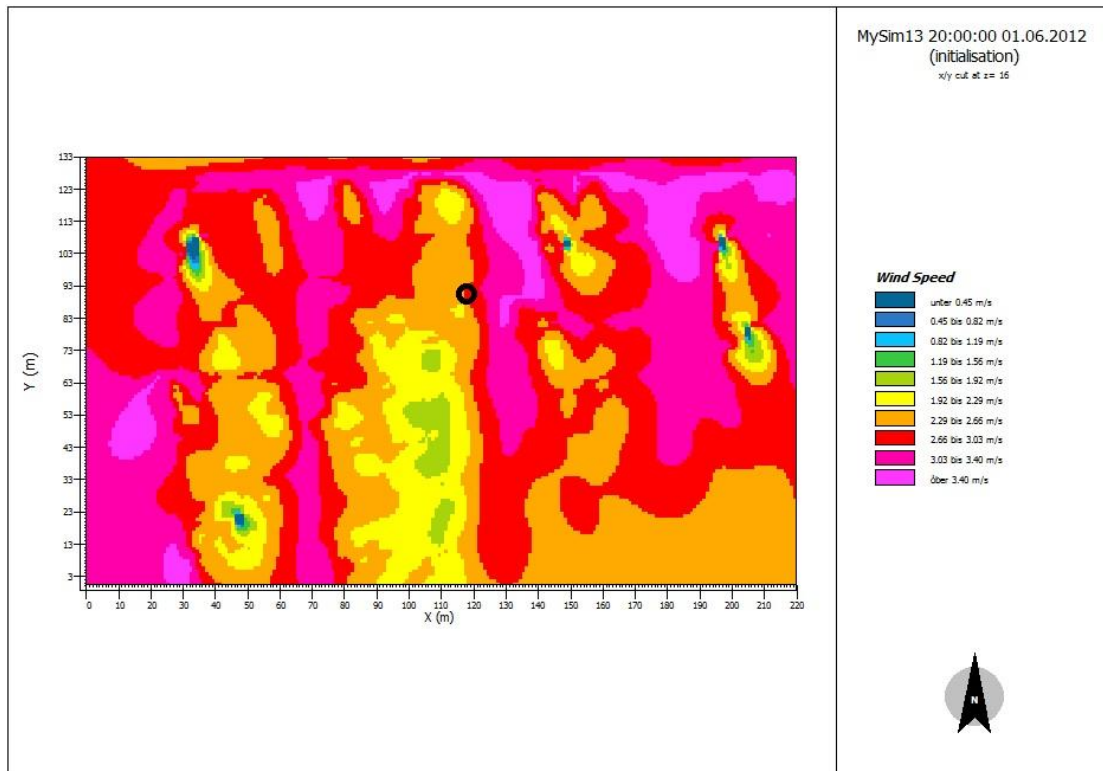
Εικόνα 5.66.Χάρτης εντάσεως ανέμου για την Δυτικονοτιοδυτική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 4,0m/s.



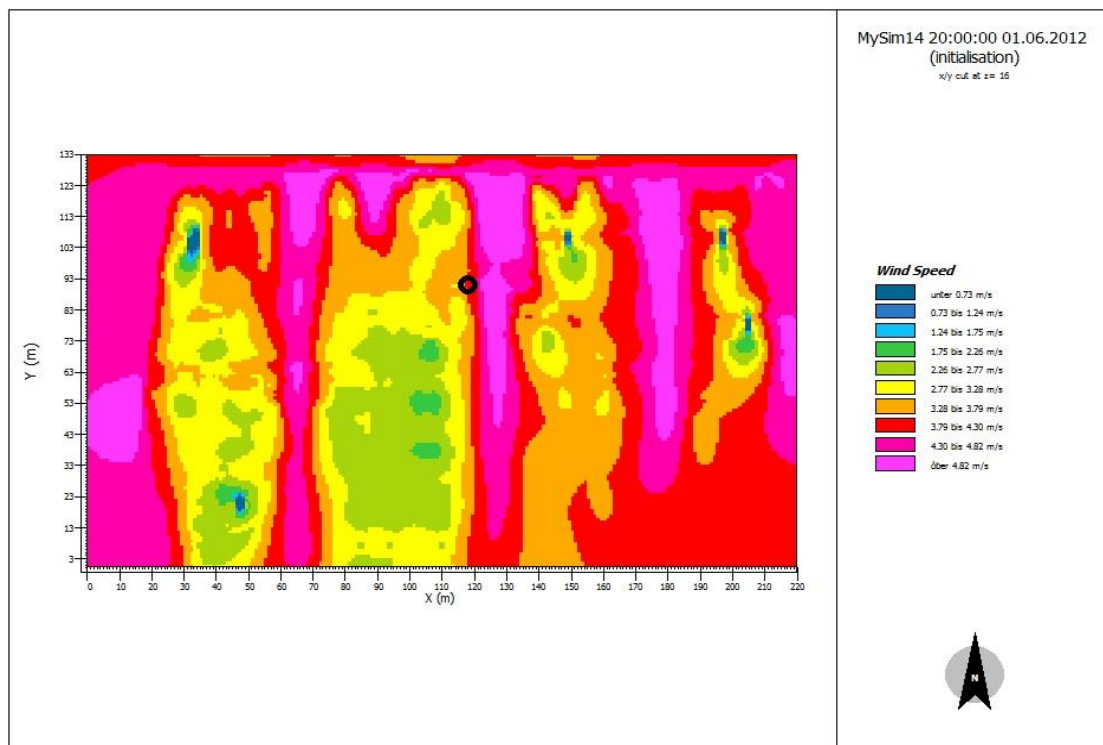
Εικόνα 5.67.Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Δυτική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 3,3m/s.



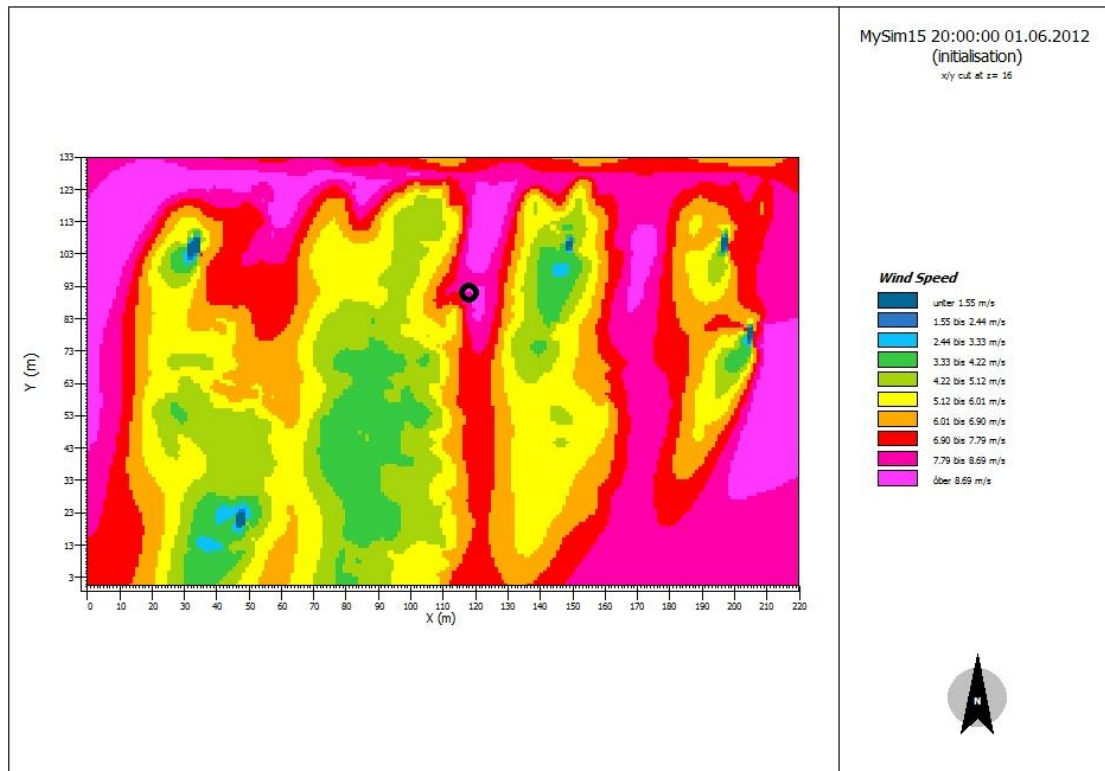
Εικόνα 5.68. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Δυτικοβορειοδυτική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 2,6m/s.



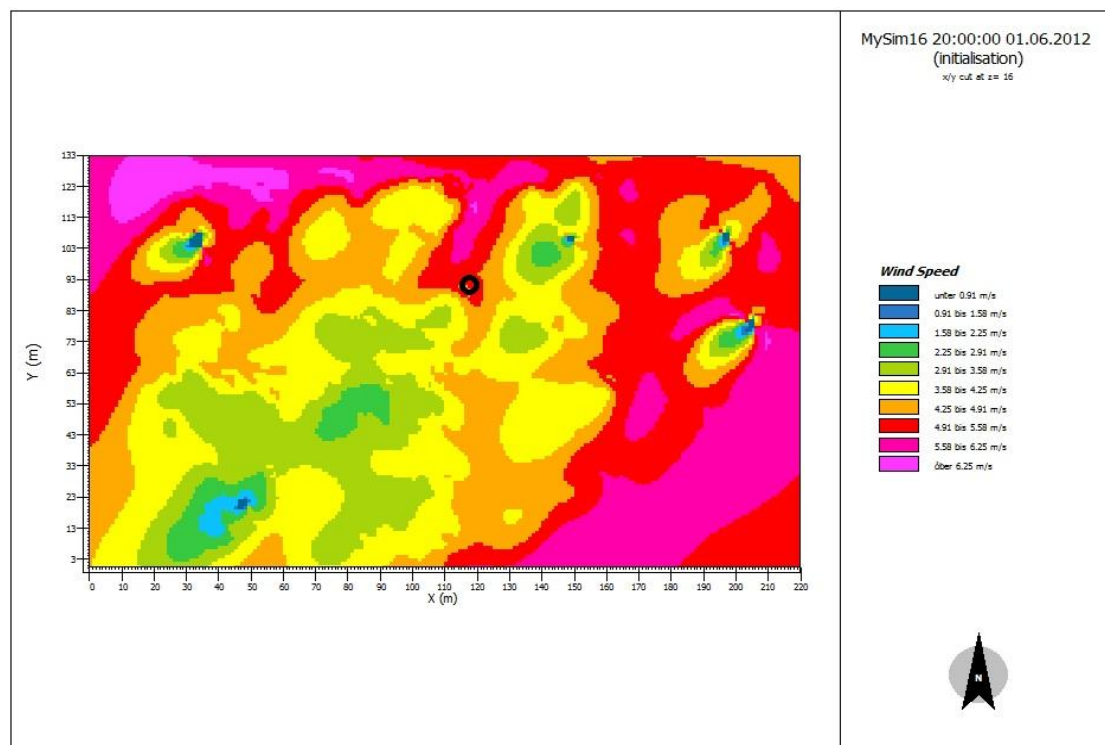
Εικόνα 5.69. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Βορειοδυτική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 3,8m/s.



Εικόνα 5.70. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Βορειοβορειοδυτική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 8,6m/s.

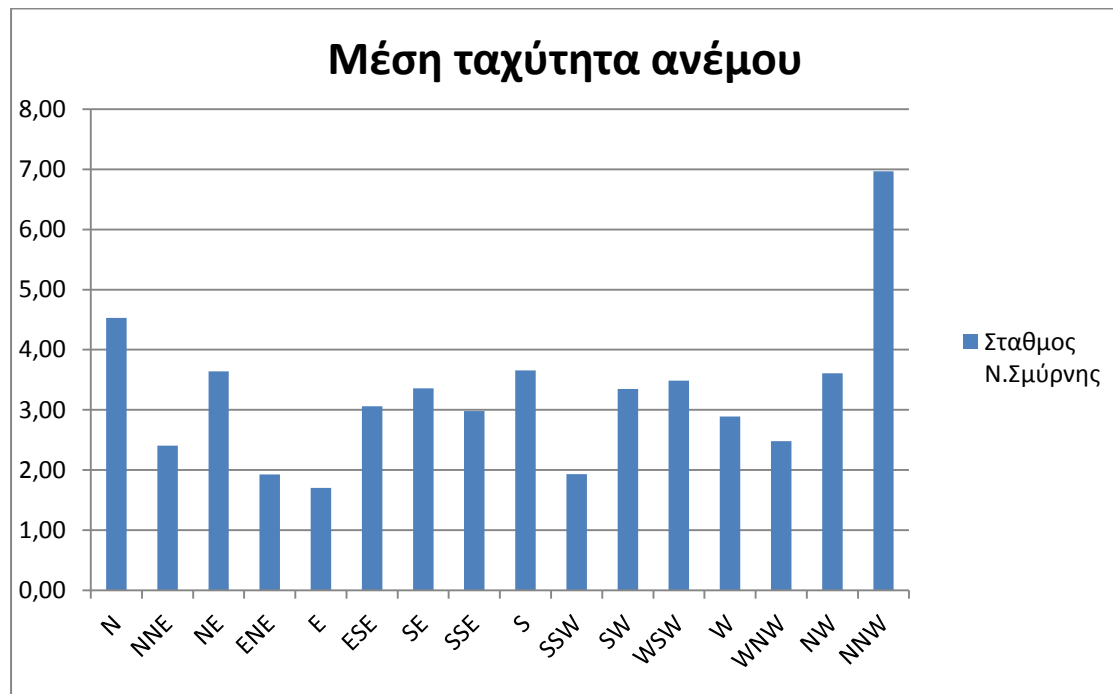


Εικόνα 5.71.Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Βόρεια διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

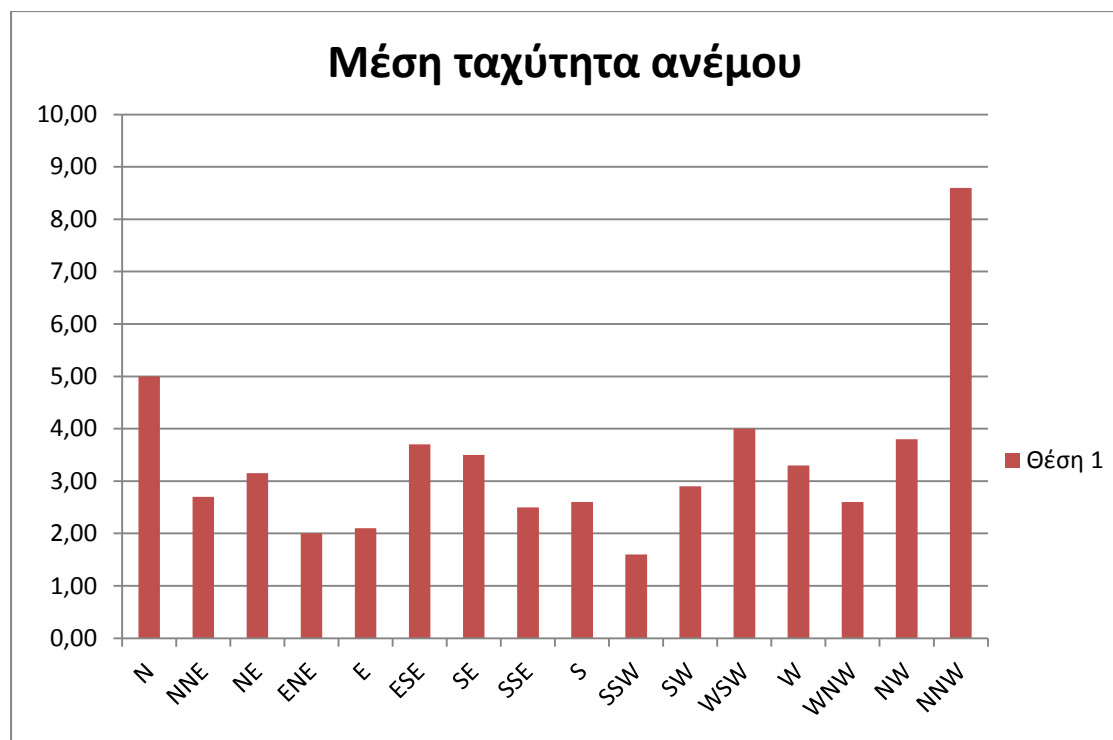
Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 5,0m/s.

Παρακάτω παρατίθενται τα εξής διαγράμματα:

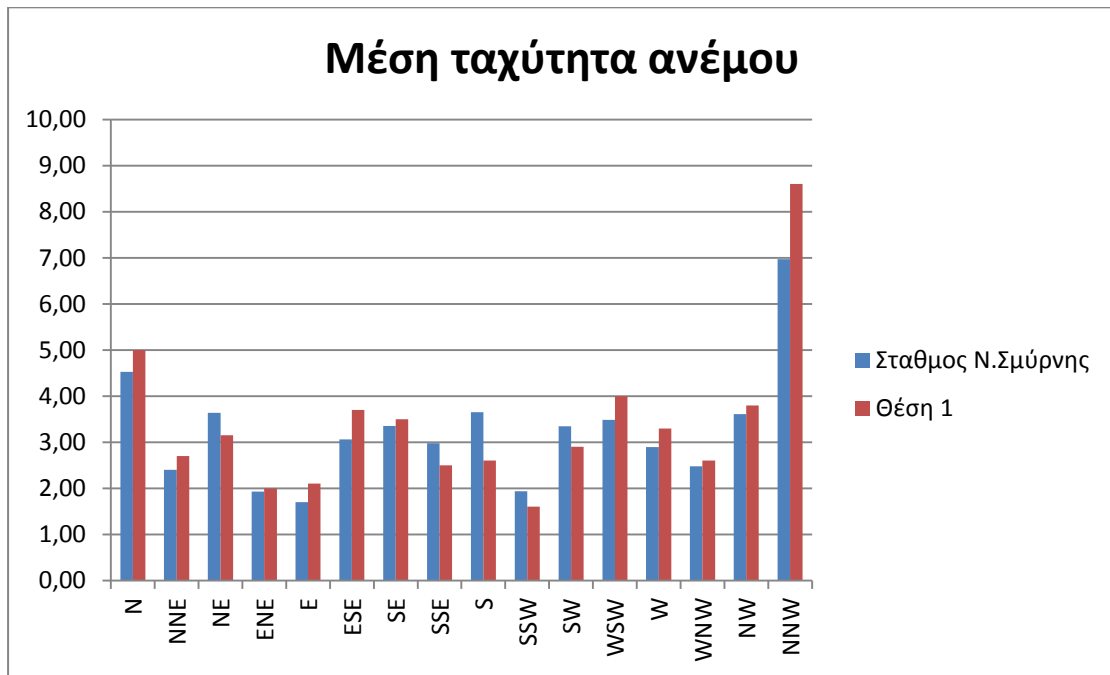
1) Η μέση ταχύτητα του ανέμου ανά διεύθυνση όπως μετρήθηκε από το σταθμό της Ν.Σμύρνης, σε ύψος μετρήσεως 10m. (Εικόνα 5.72.)



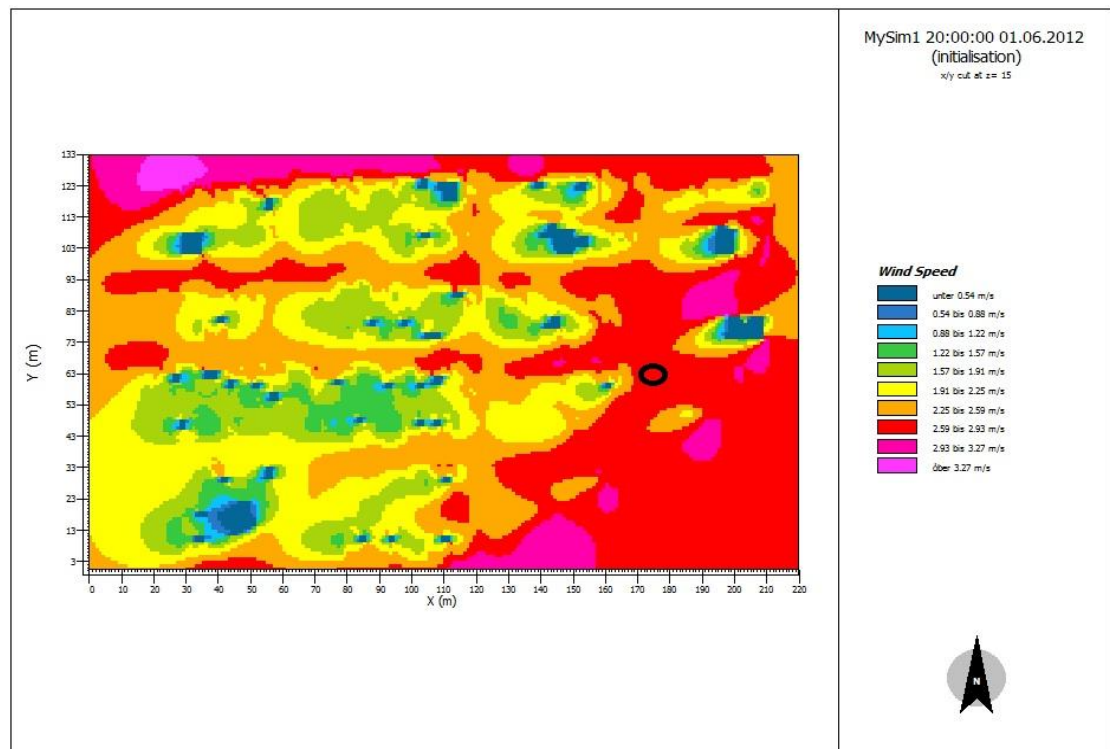
2) Η μέση ταχύτητα του ανέμου ανά διεύθυνση όπως υπολογίστηκε από τις προσομιώσεις για τη θέση 1. (Εικόνα 5.73.)



3) Παράλληλη παράθεση των παραπάνω αποτελεσμάτων με σκοπό τη σύγκρισή τους. (Εικόνα 5.74.)

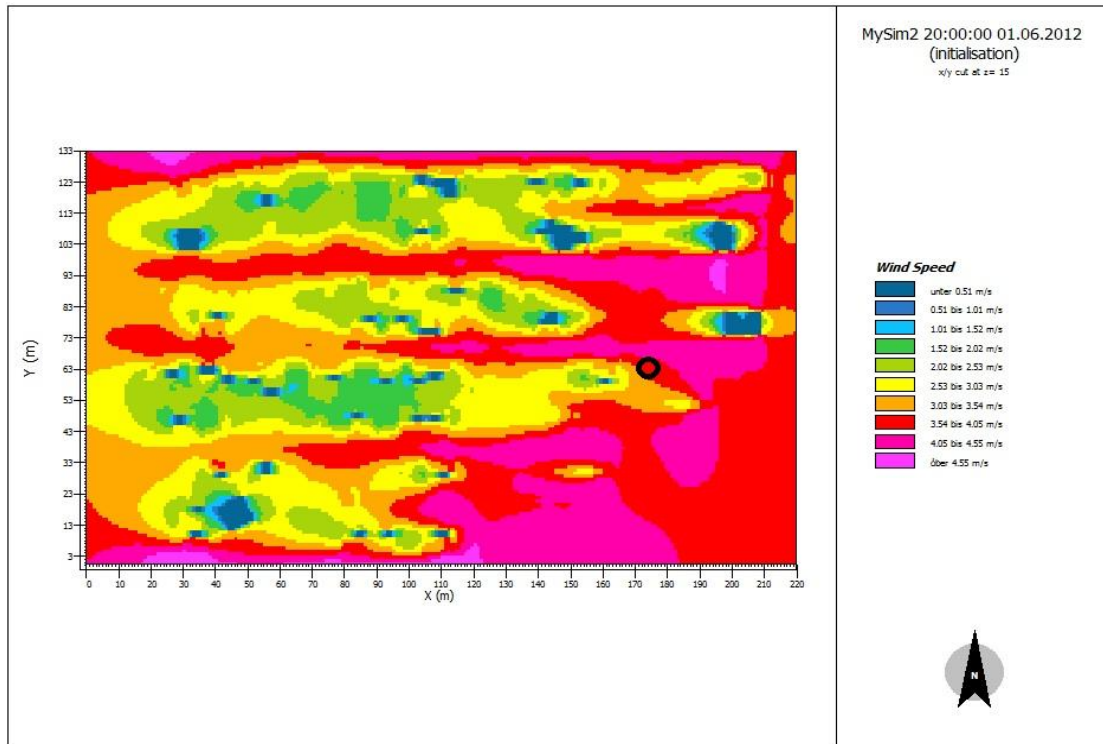


5.9.2. Υπολογισμός των μέσων ταχυτήτων για τη θέση δύο



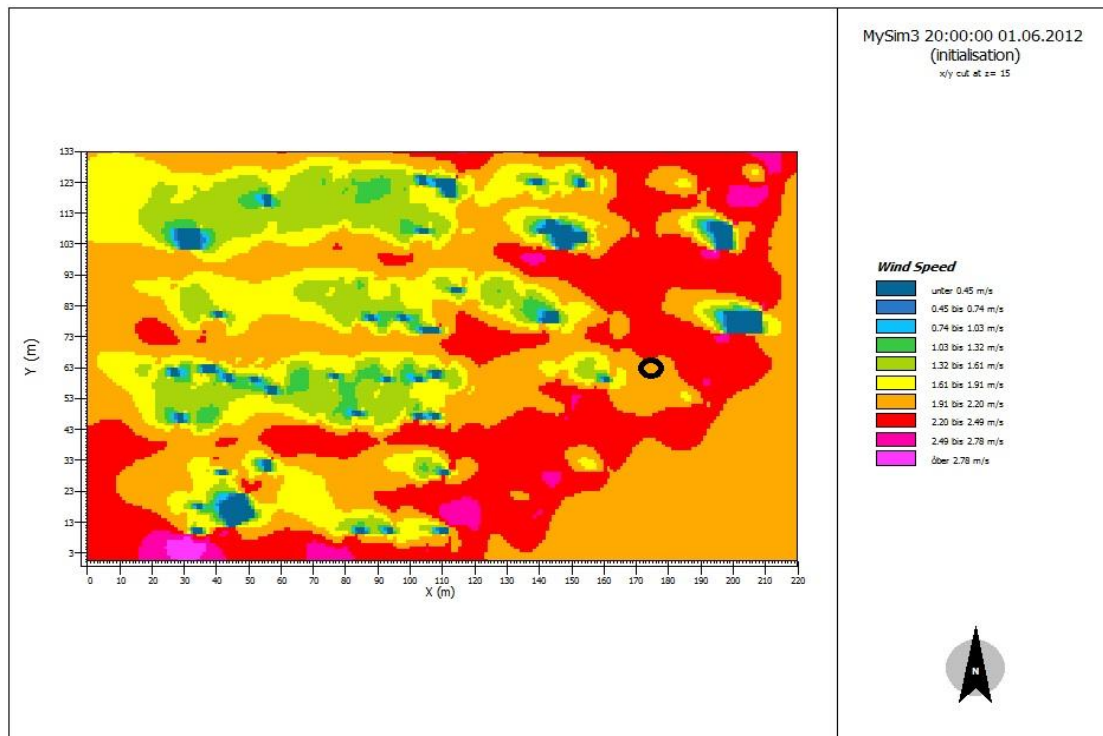
Εικόνα 5.75.Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Βορειοβόρειοανατολική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 2,7m/s.



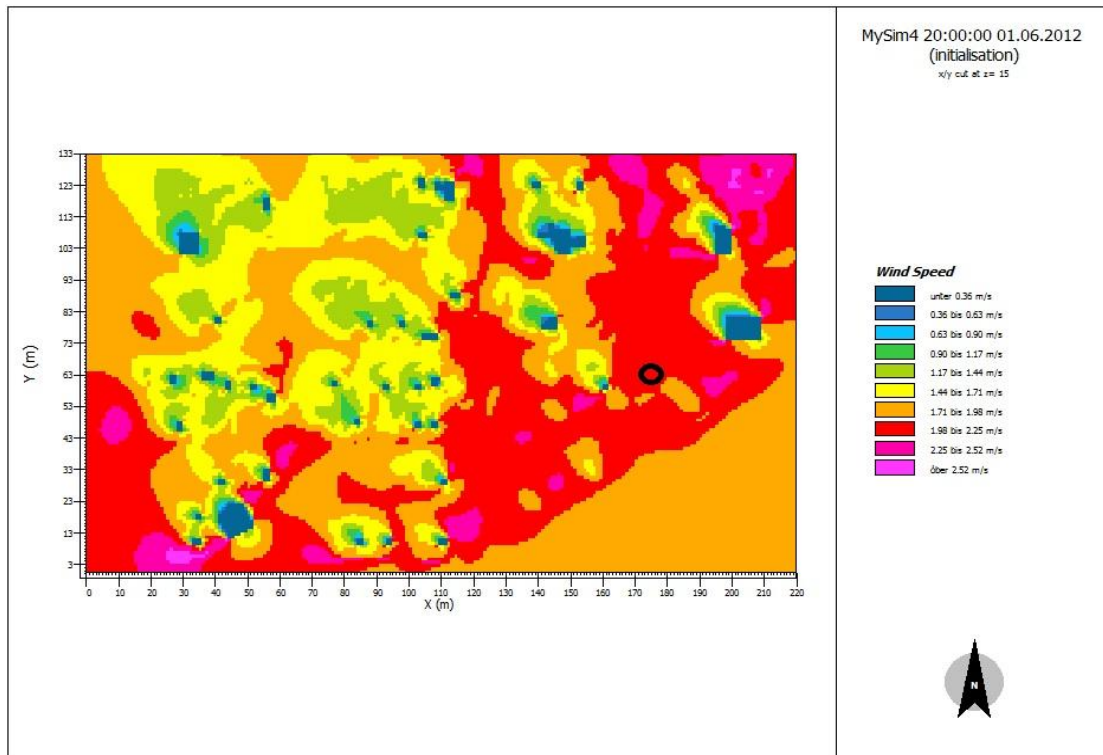
Εικόνα 5.76. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Βορειοανατολική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 3,7m/s.



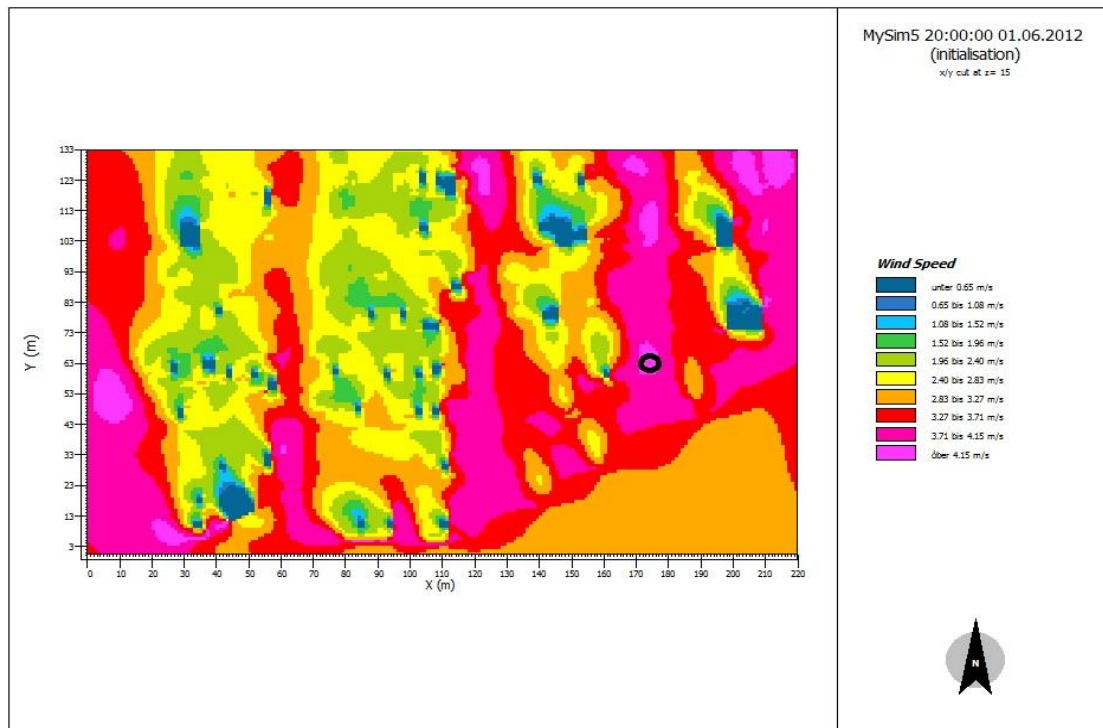
Εικόνα 5.77. Χάρτης εντάσεως ανέμου για την Ανατολικοβορειοανατολική διεύθυνση [Πηγή: Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 2,1m/s.



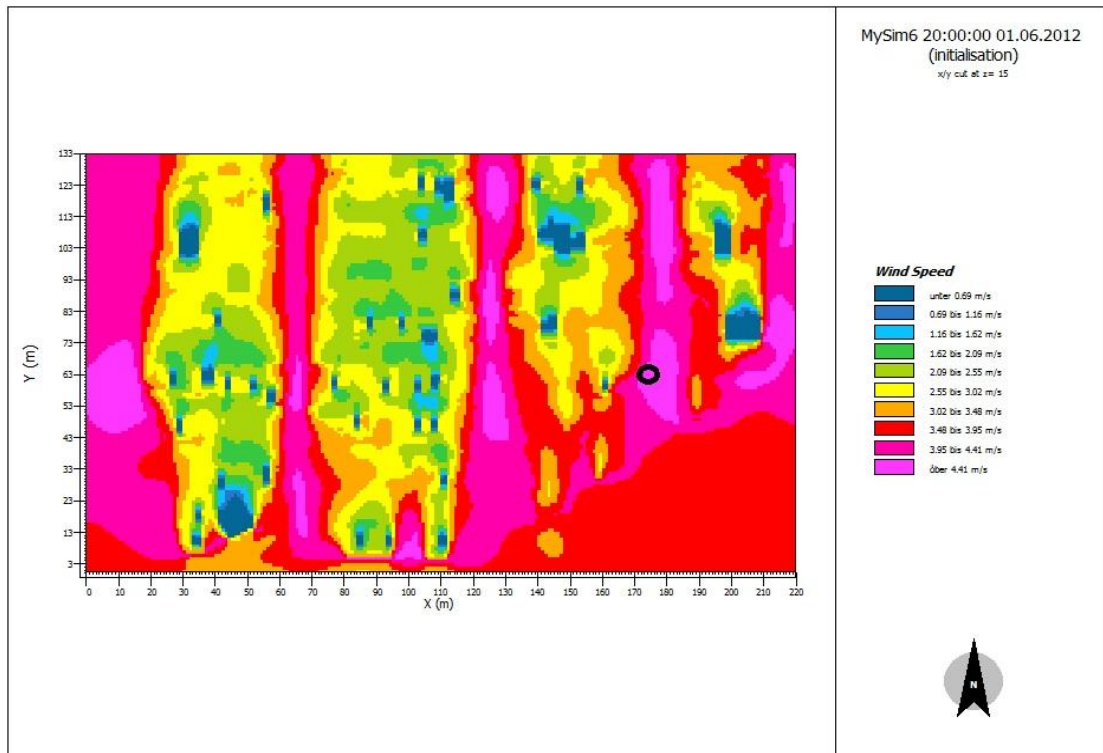
Εικόνα 5.78.Χάρτης εντάσεως ανέμου για την Ανατολική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 2,1m/s.



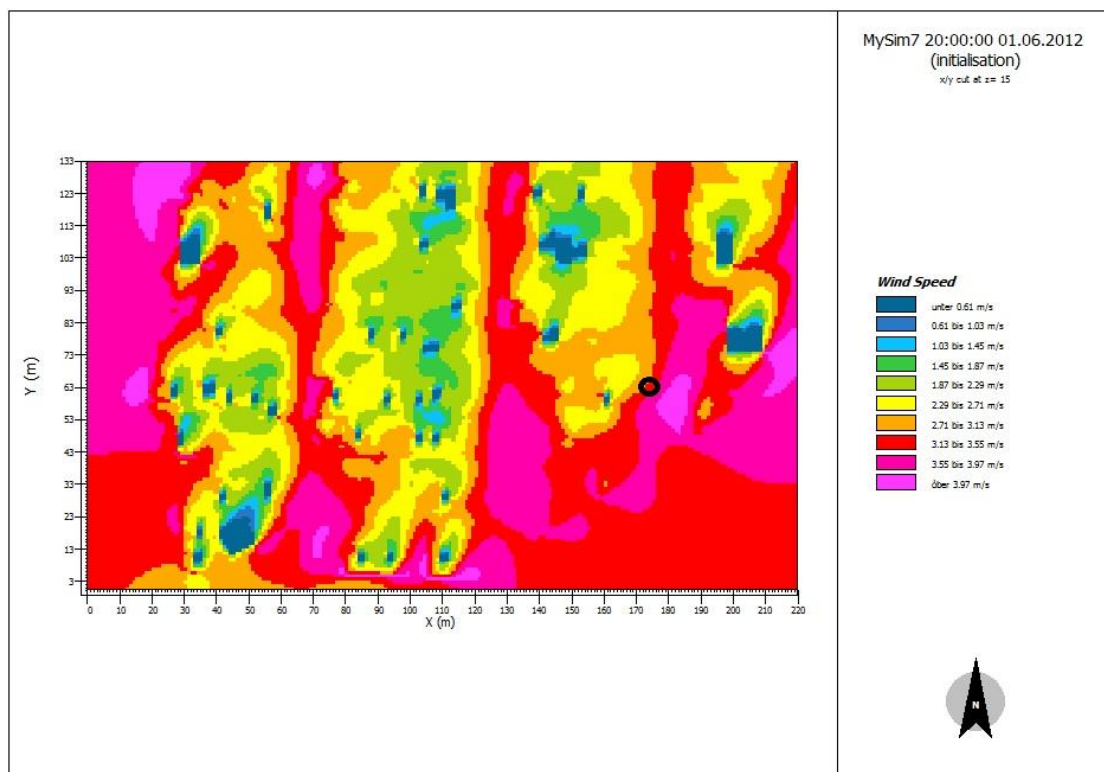
Εικόνα 5.79.Χάρτης εντάσεως ανέμου για την Ανατολικοβορρεια διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 4,2m/s.



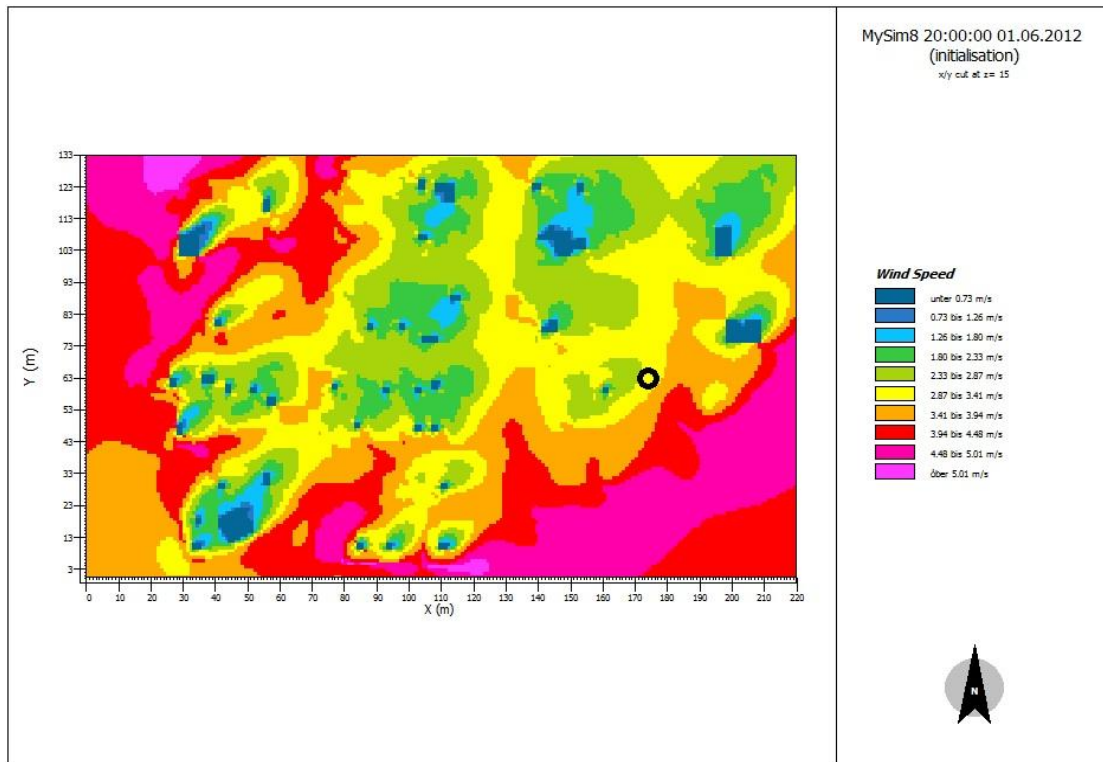
Εικόνα 5.80. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Νοτιοανατολική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 4,5m/s.



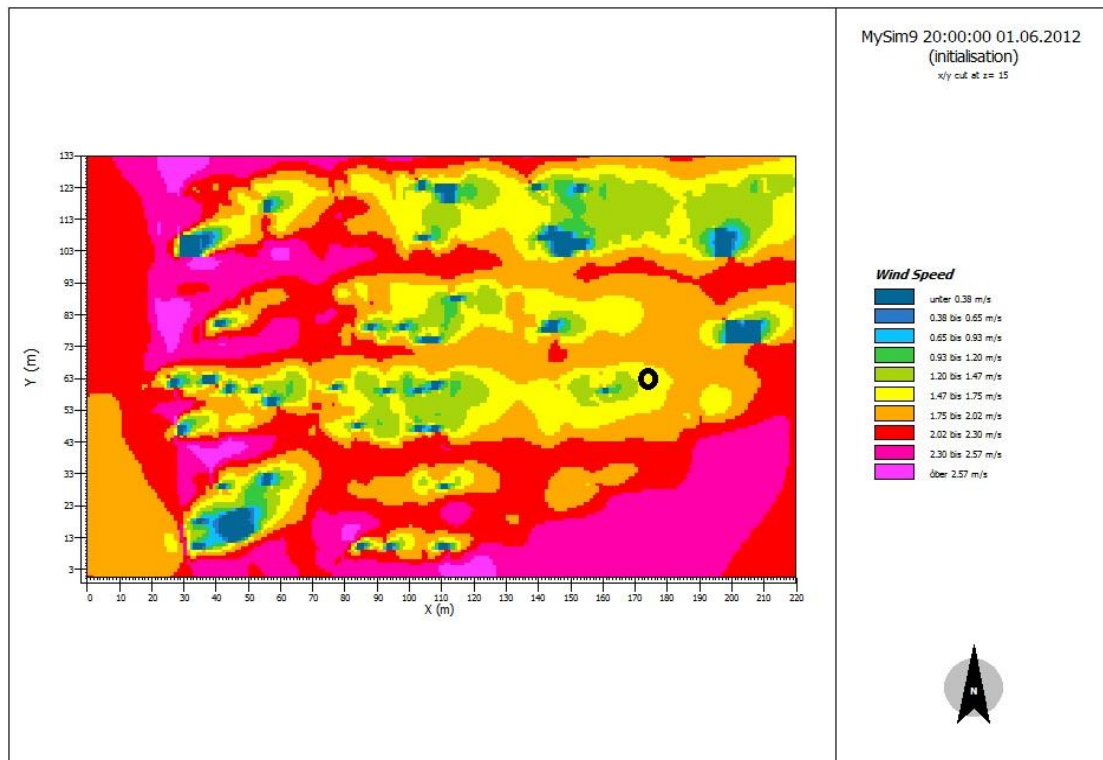
Εικόνα 5.81. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Νοτιοανατολική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 3,2m/s.



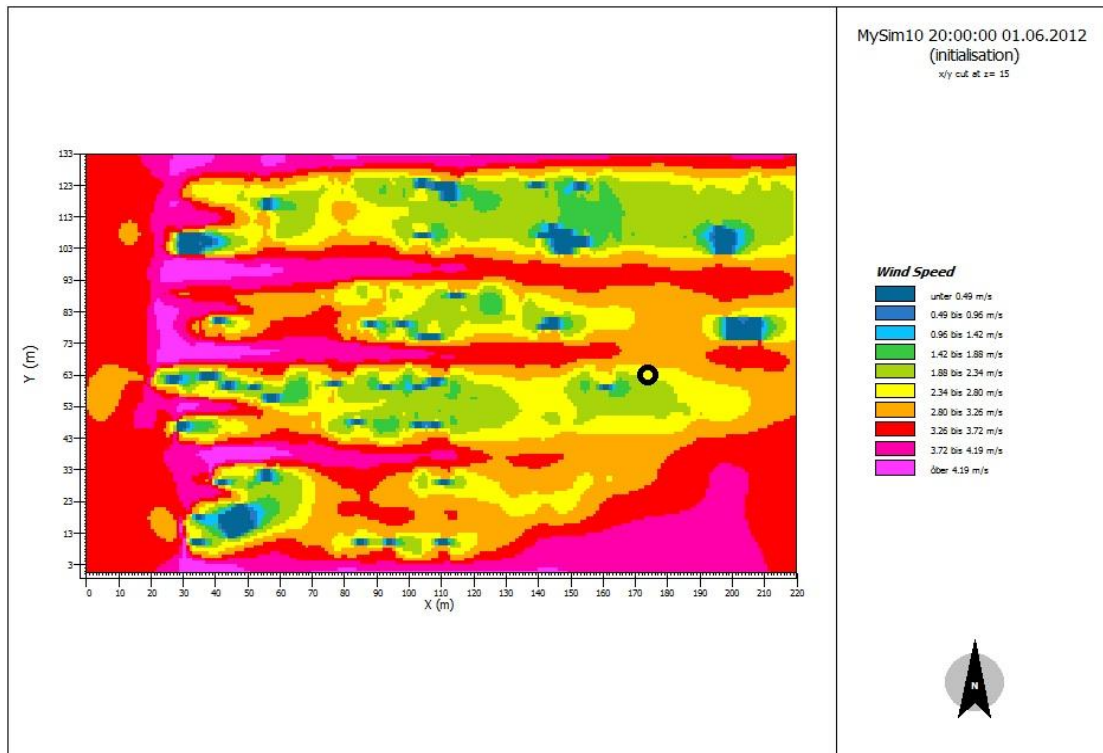
Εικόνα 5.82. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Νότια διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 3,0m/s.



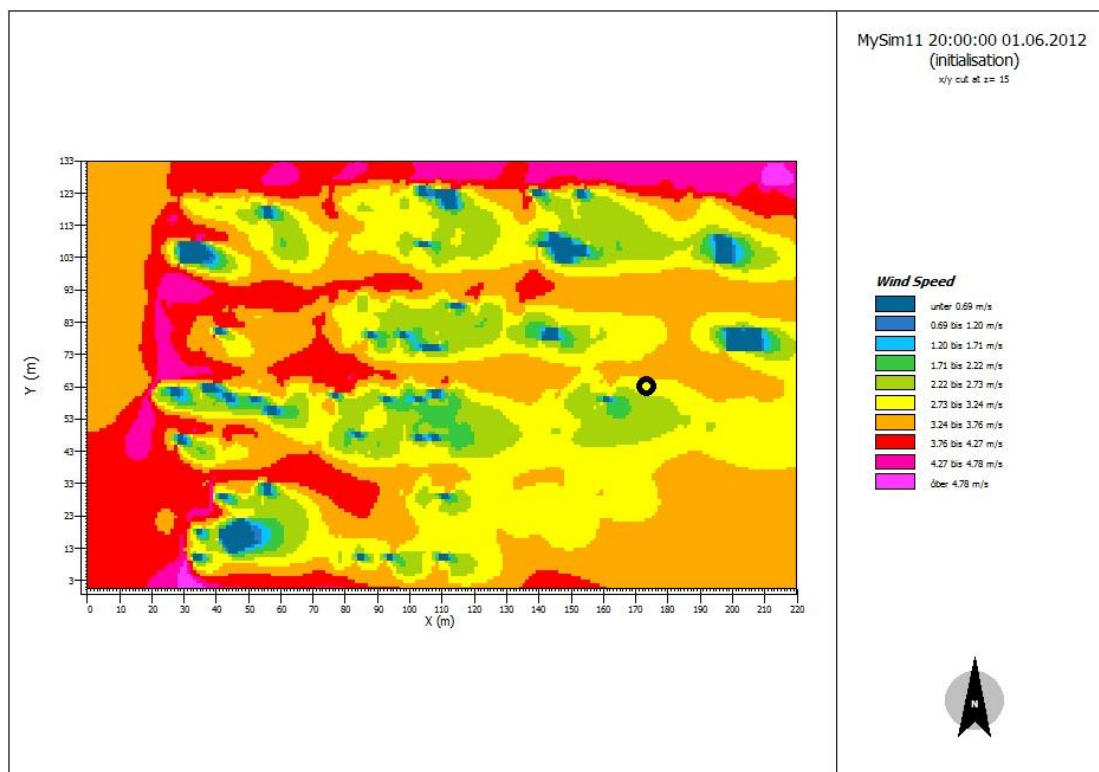
Εικόνα 5.83. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Νοτιονοτιοδυτική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 1,5m/s.



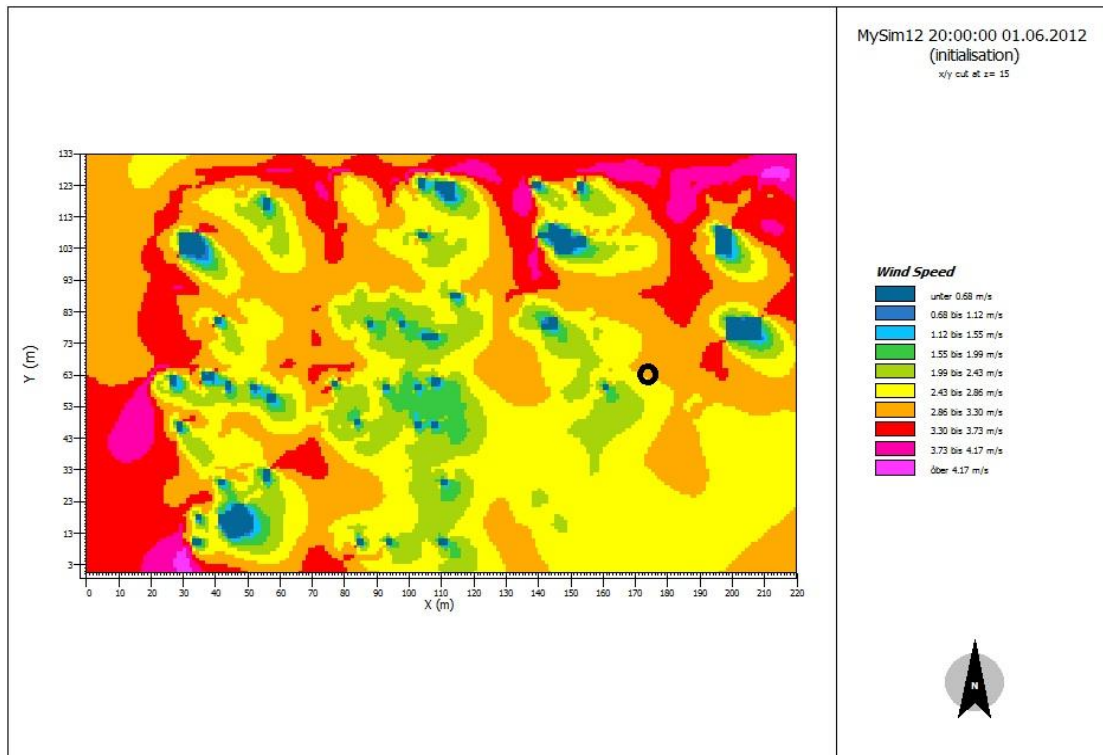
Εικόνα 5.84. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Νοτιοδυτική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 2,4m/s.



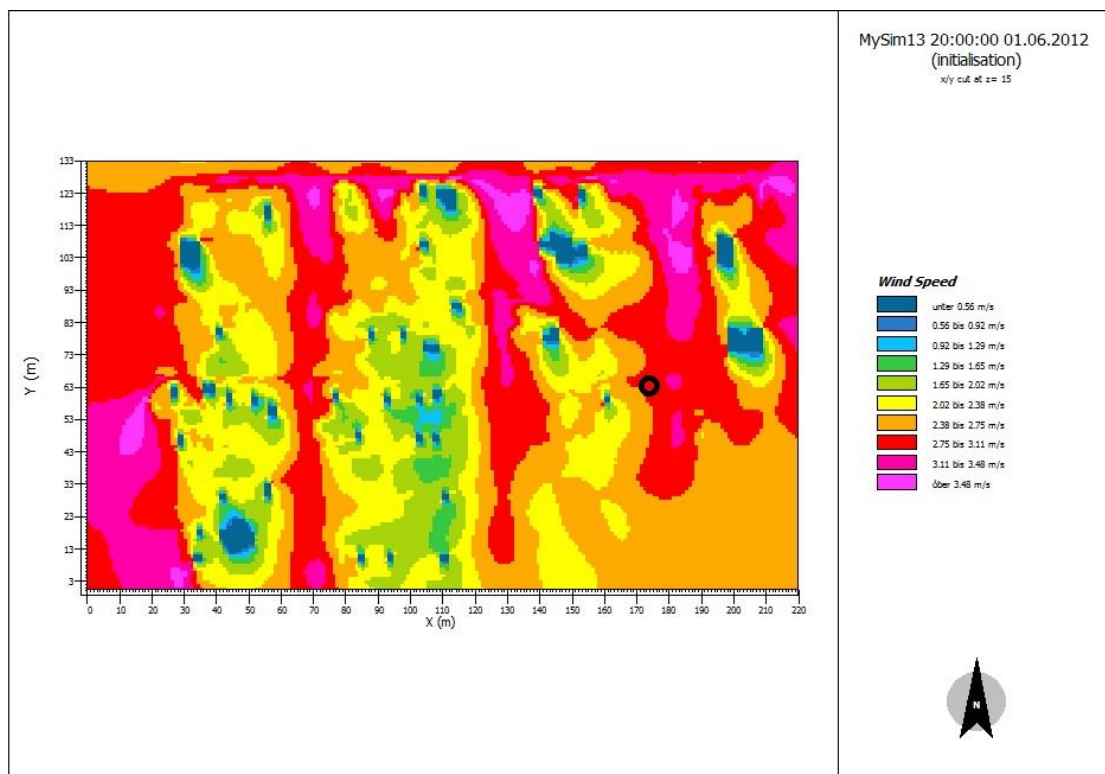
Εικόνα 5.85. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Δυτικοβορειοδυτική διεύθυνση. [Πηγή Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 2,9m/s.



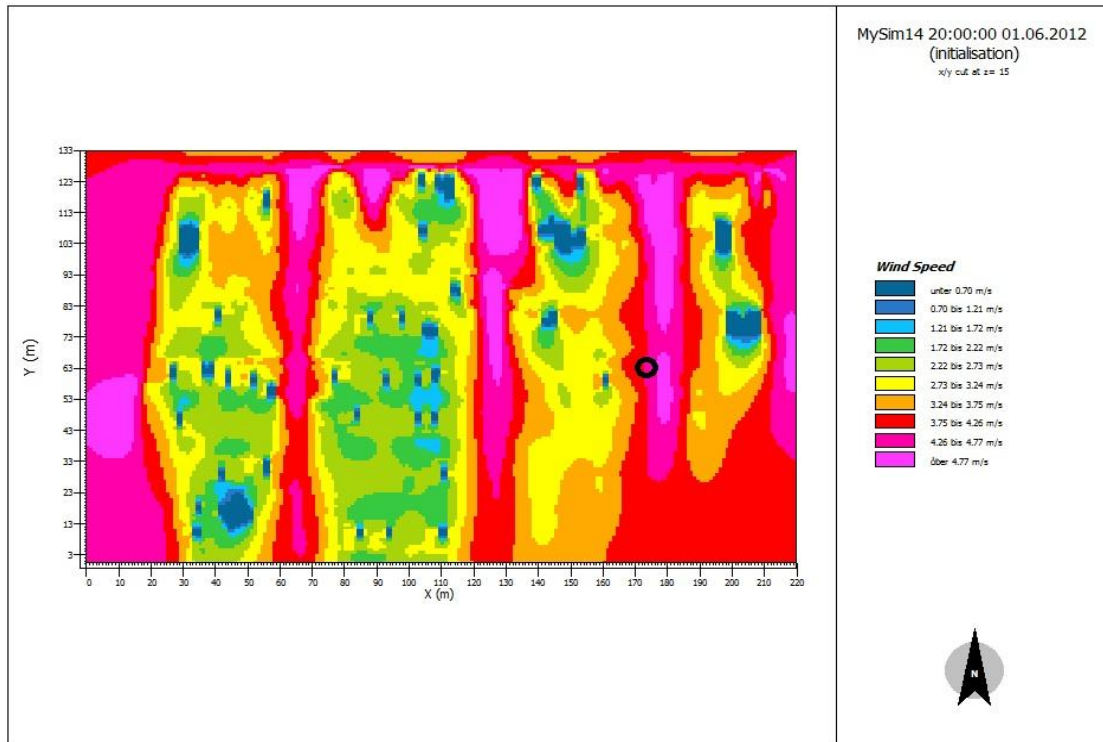
Εικόνα 5.86. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Δυτική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 3,0m/s.



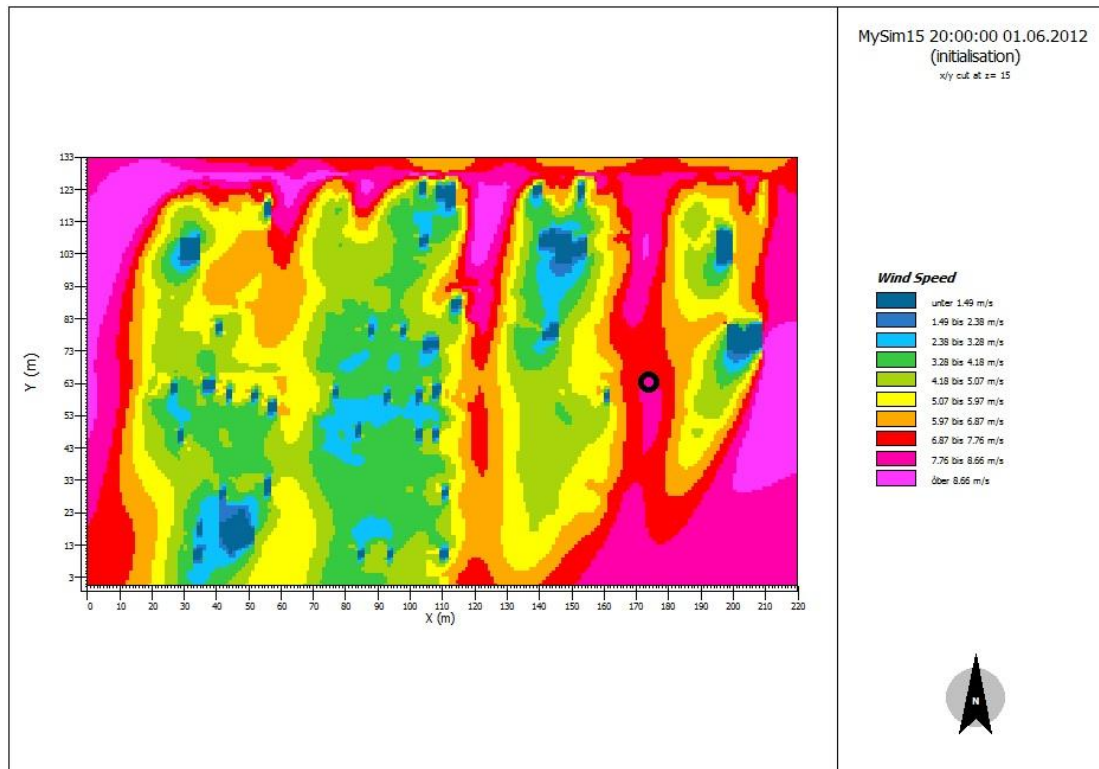
Εικόνα 5.87. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Δυτικοβορειοδυτική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 2,9m/s.



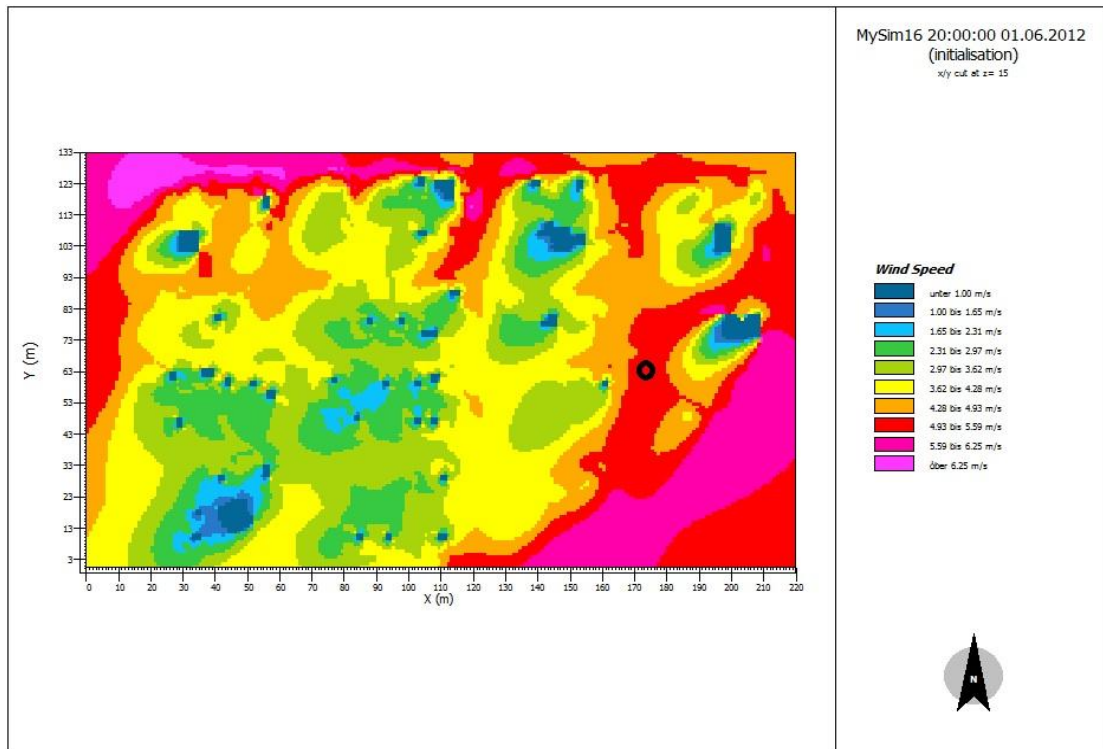
Εικόνα 5.88. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Βορειοδυτική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 4,3m/s.



Εικόνα 5.89. Χάρτης εντάσεως ανέμου για την Βορειοβορειοδυτική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 7,8m/s.

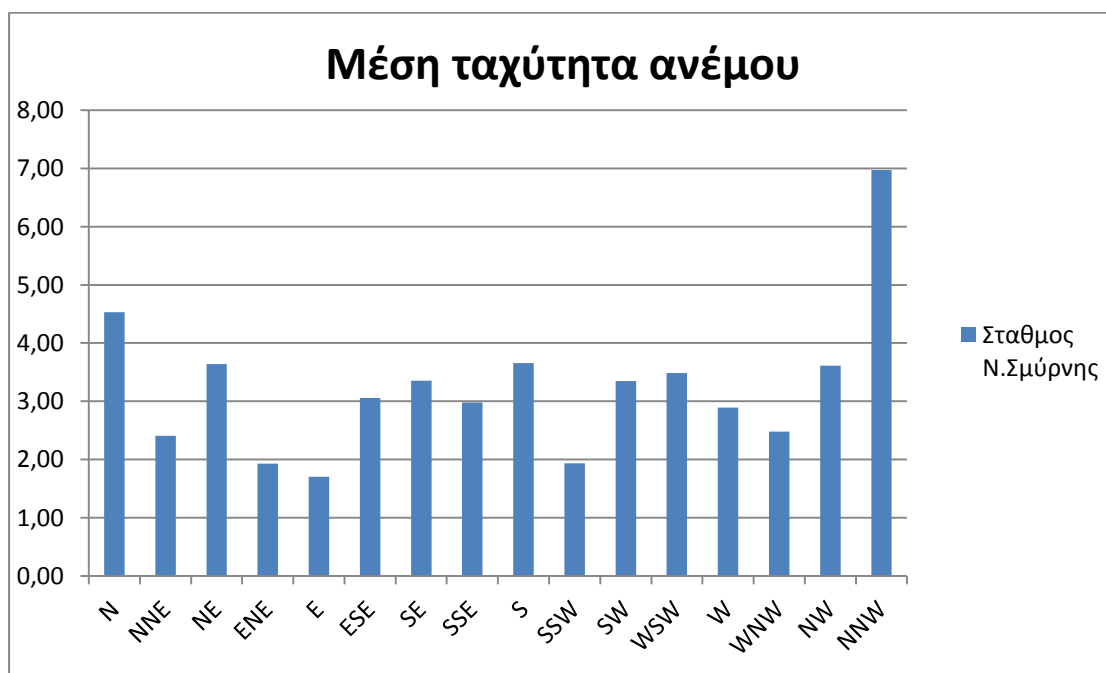


Εικόνα 5.90. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Βόρεια διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

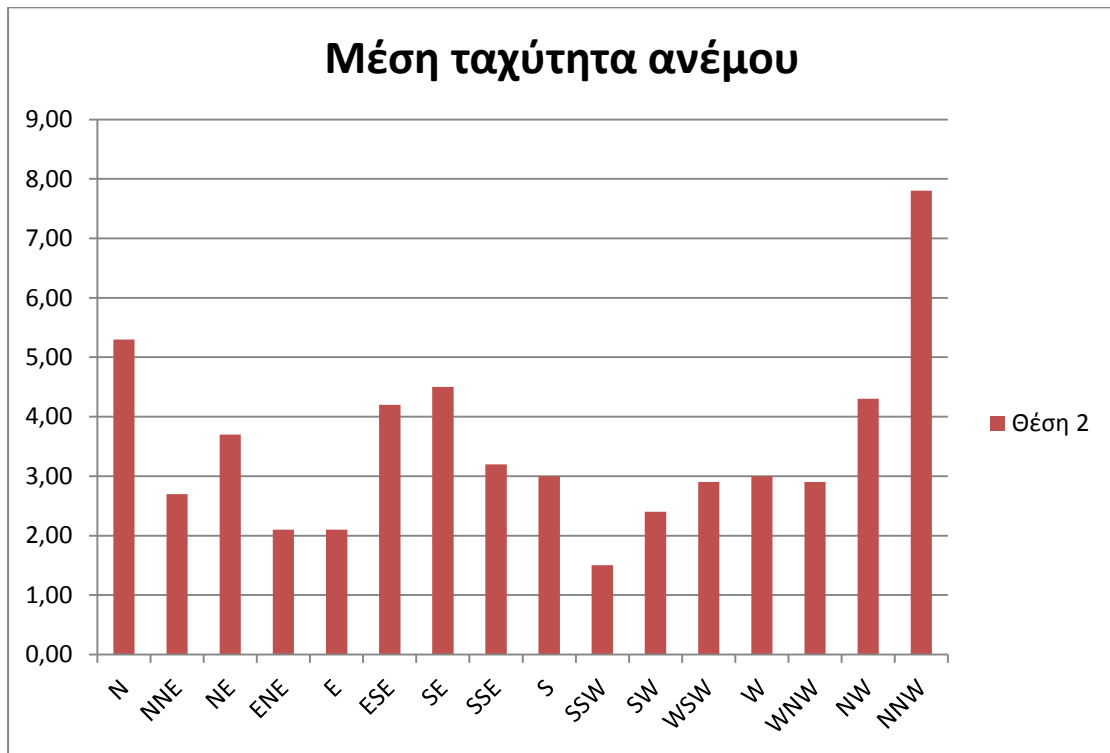
Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 5,3m/s.

Παρακάτω παρατίθενται τα εξής διαγράμματα:

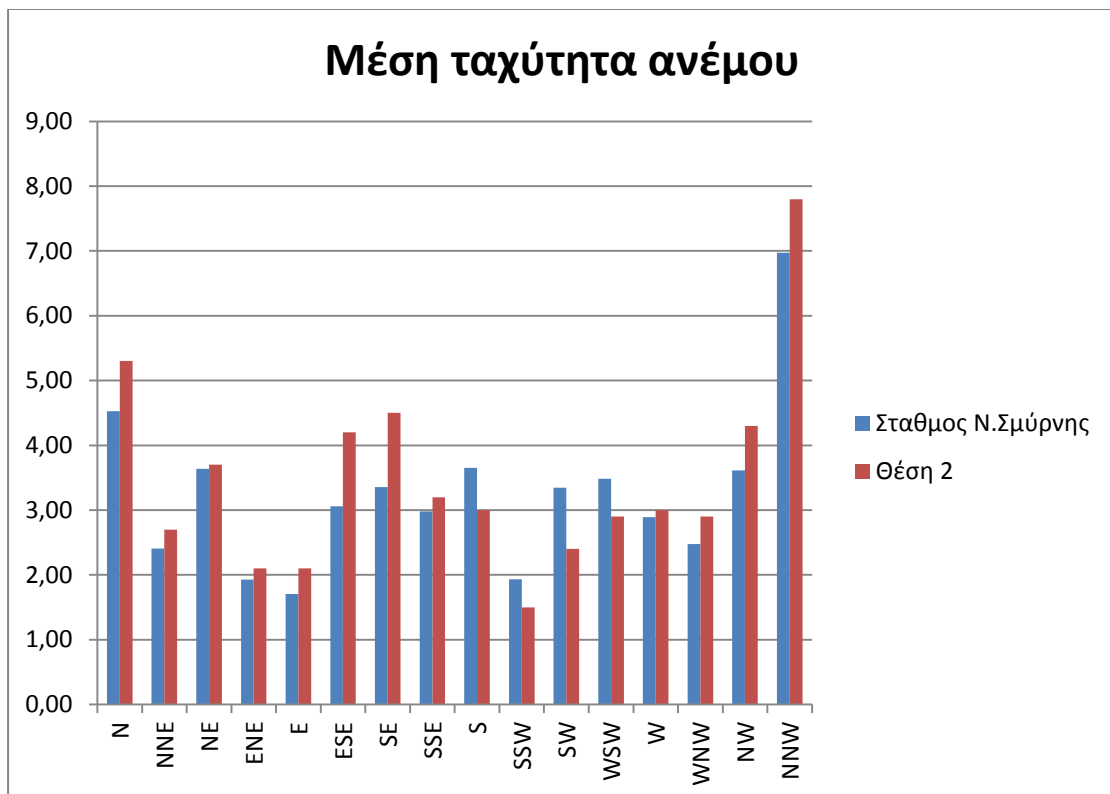
1) Η μέση ταχύτητα του ανέμου ανά διεύθυνση όπως μετρήθηκε από το σταθμό της Ν.Σμύρνης, σε ύψος μετρήσεως 10m. (Εικόνα 5.91.)



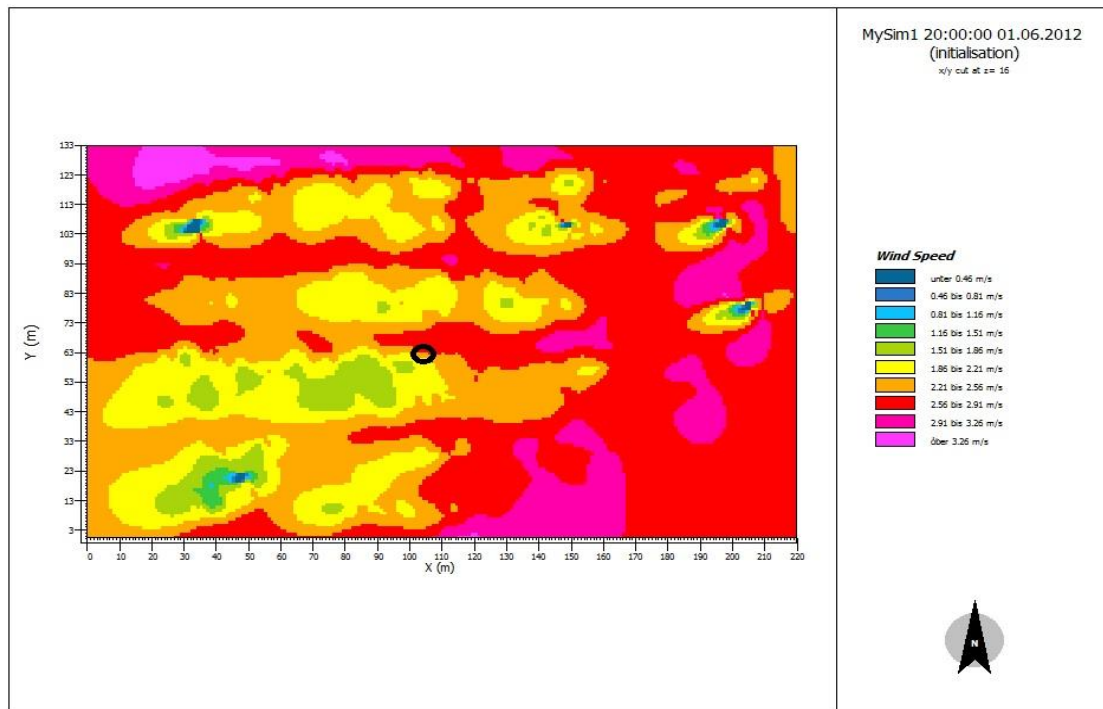
2) Η μέση ταχύτητα του ανέμου ανά διεύθυνση όπως υπολογίστηκε από τις προσομοιώσεις για τη θέση 2. (Εικόνα 5.92.)



3) Παράλληλη παράθεση των παραπάνω αποτελεσμάτων με σκοπό τη σύγκρισή τους. (Εικόνα 5.93.)

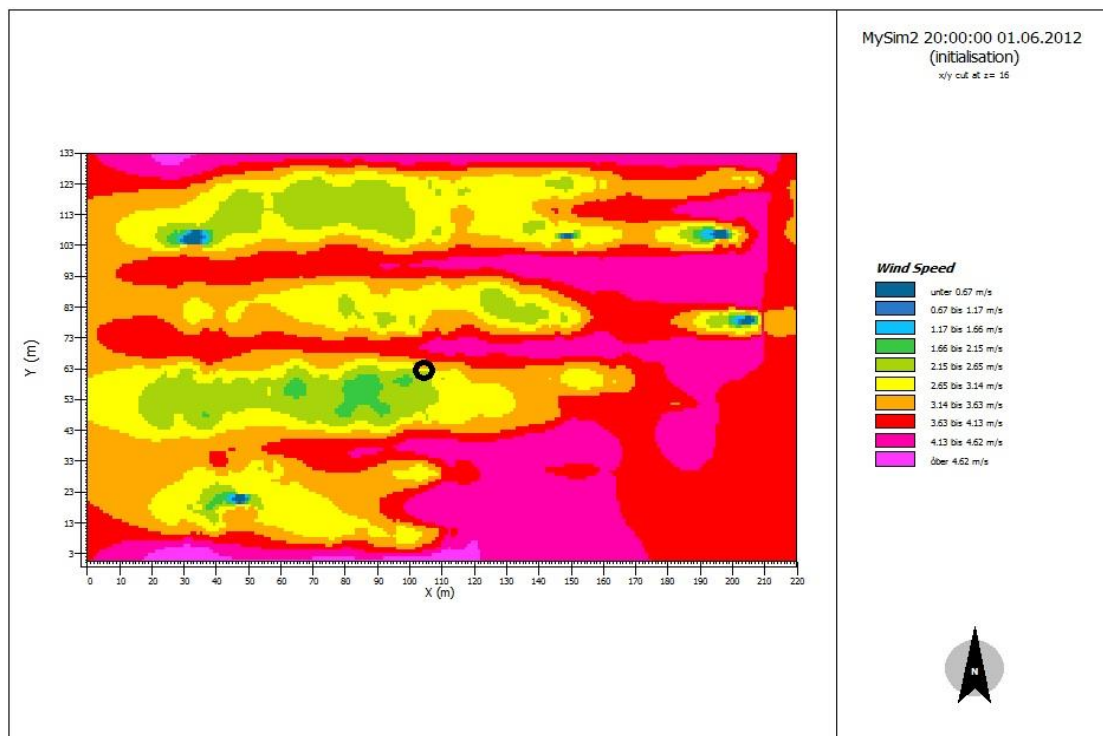


5.9.3. Υπολογισμός μέσω ταχυτήτων για την θέση τρία



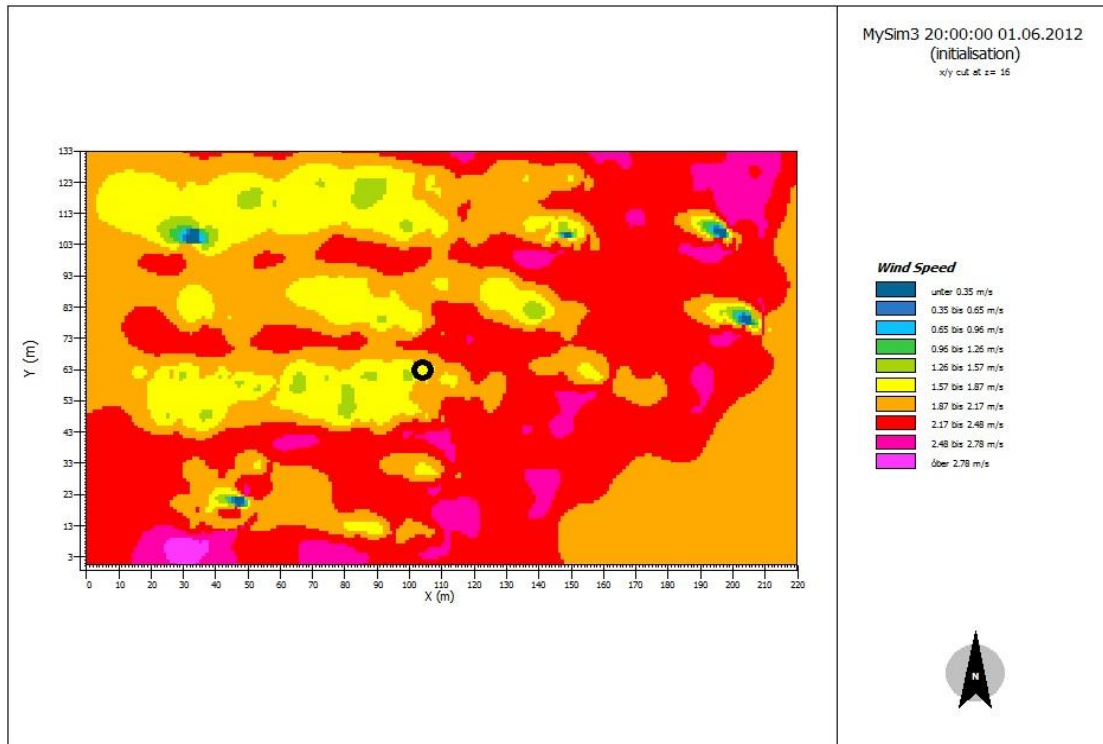
Εικόνα 5.94. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Βορειοβορειοανατολική διεύθυνση. [Πηγή: Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 2,3m/s.



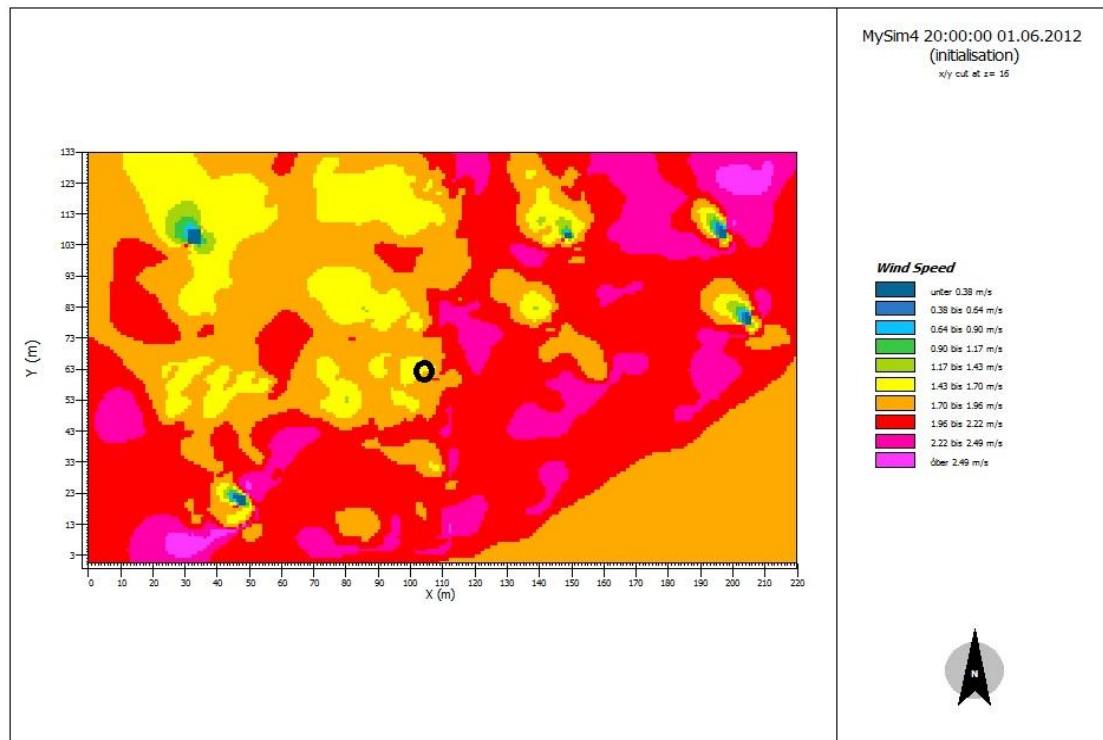
Εικόνα 5.95. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Βορειοανατολική διεύθυνση. [Πηγή: Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 2,6m/s.



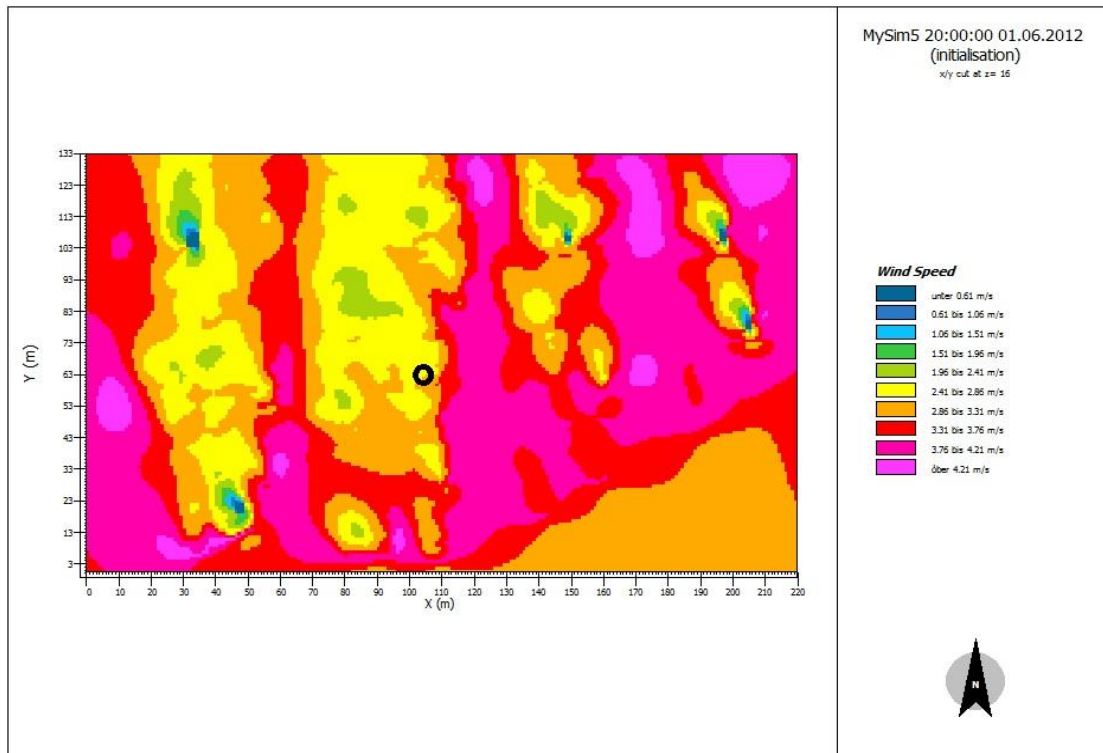
Εικόνα 5.96.Χάρτης εντάσεως ανέμου για την Ανατολικοβορειοανατολική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 1,7m/s.



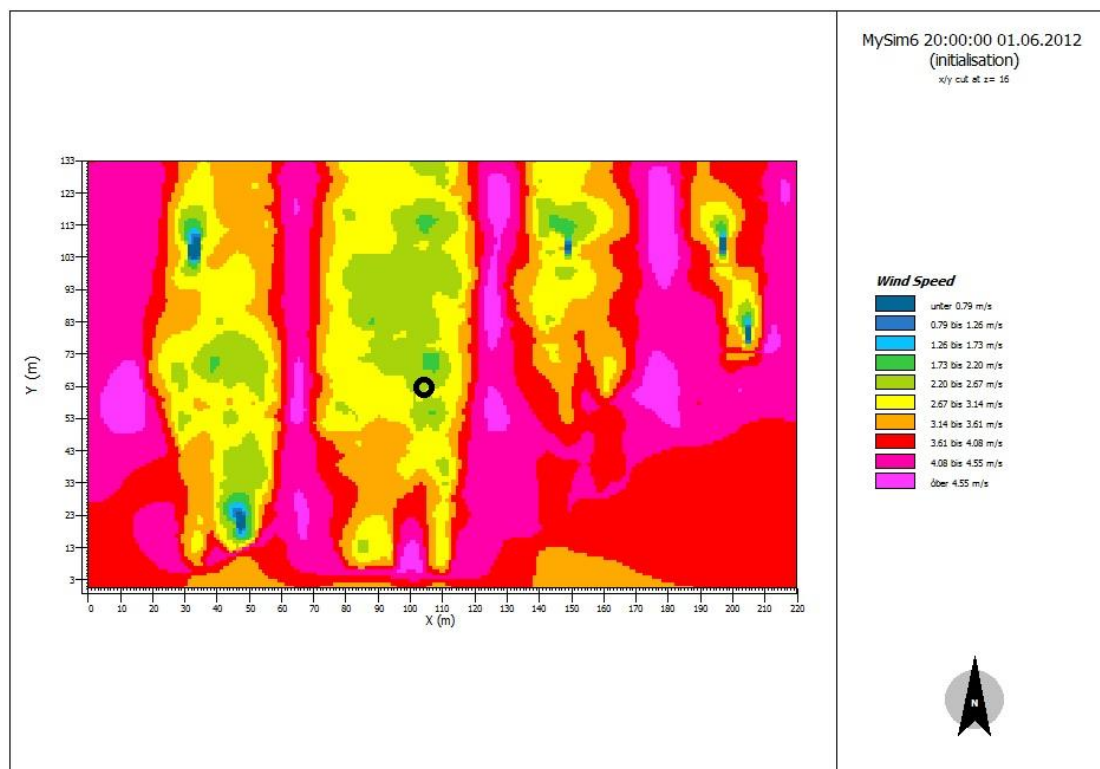
Εικόνα 5.97.Χάρτης εντάσεως ανέμου για την Ανατολική διεύθυνση. [Πηγή: Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 1,7m/s.



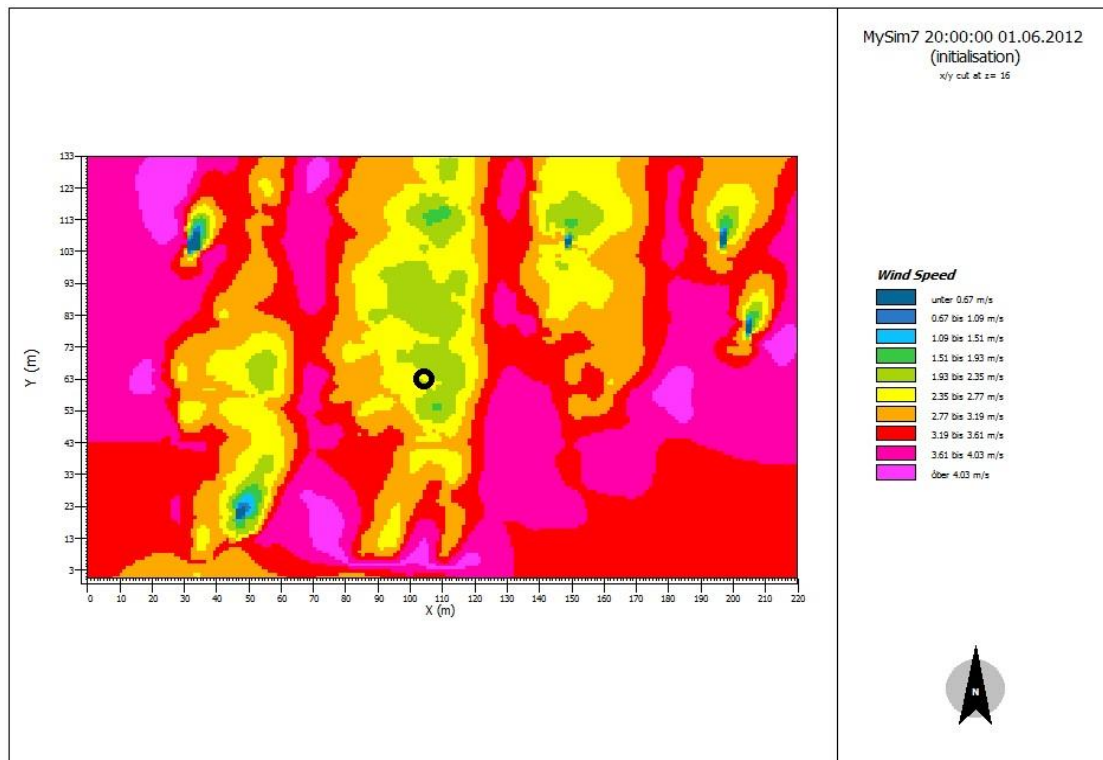
Εικόνα 5.98. Χάρτης εντάσεως ανέμου για την Ανατολικονοτιοανατολή διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 2,8m/s.



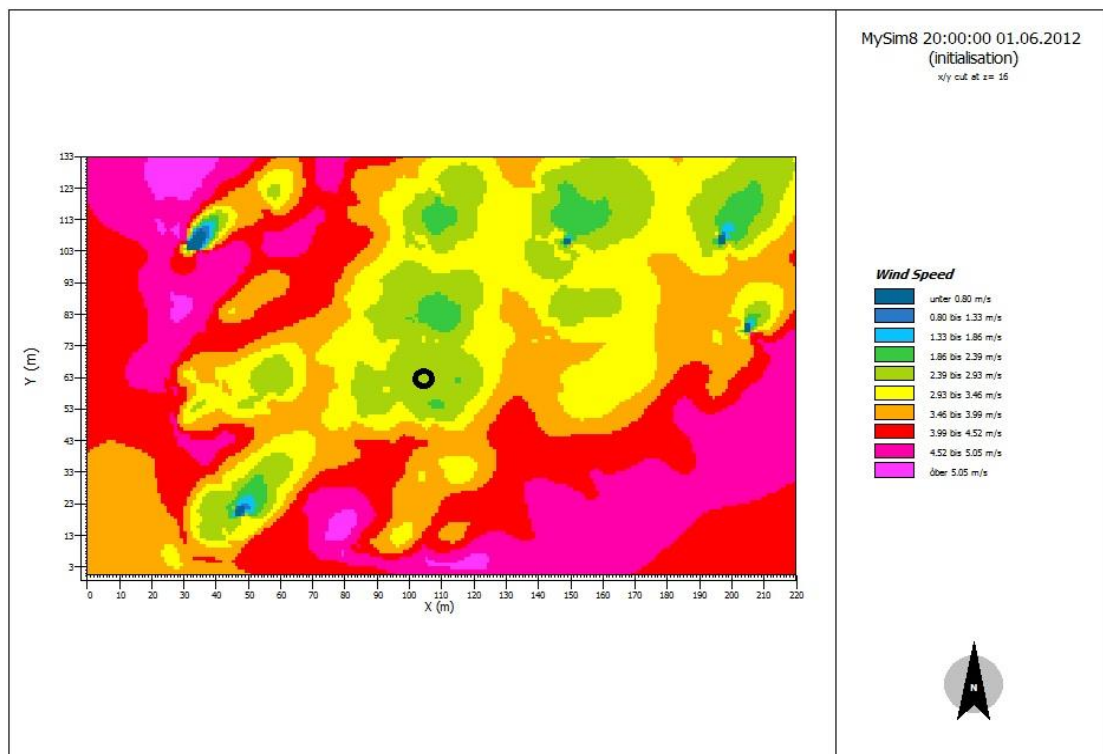
Εικόνα 5.99. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Νοτιοανατολική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 2,5m/s.



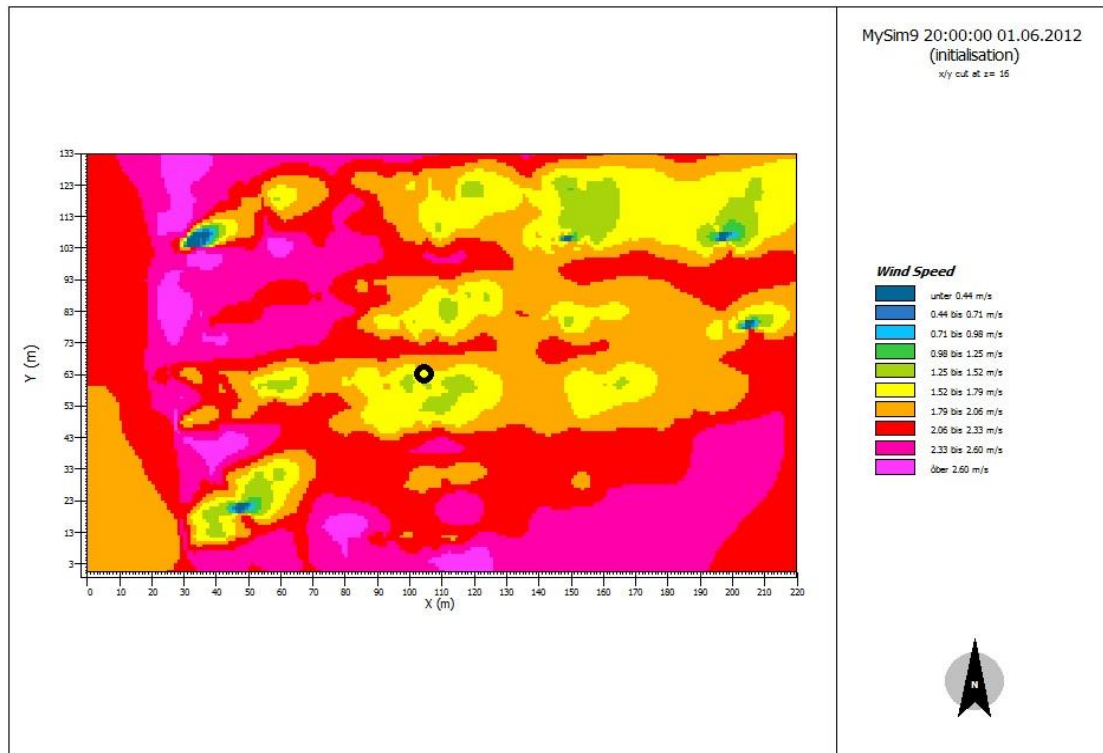
Εικόνα 5.100. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Νοτιονοτιοανατολική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 2,7m/s.



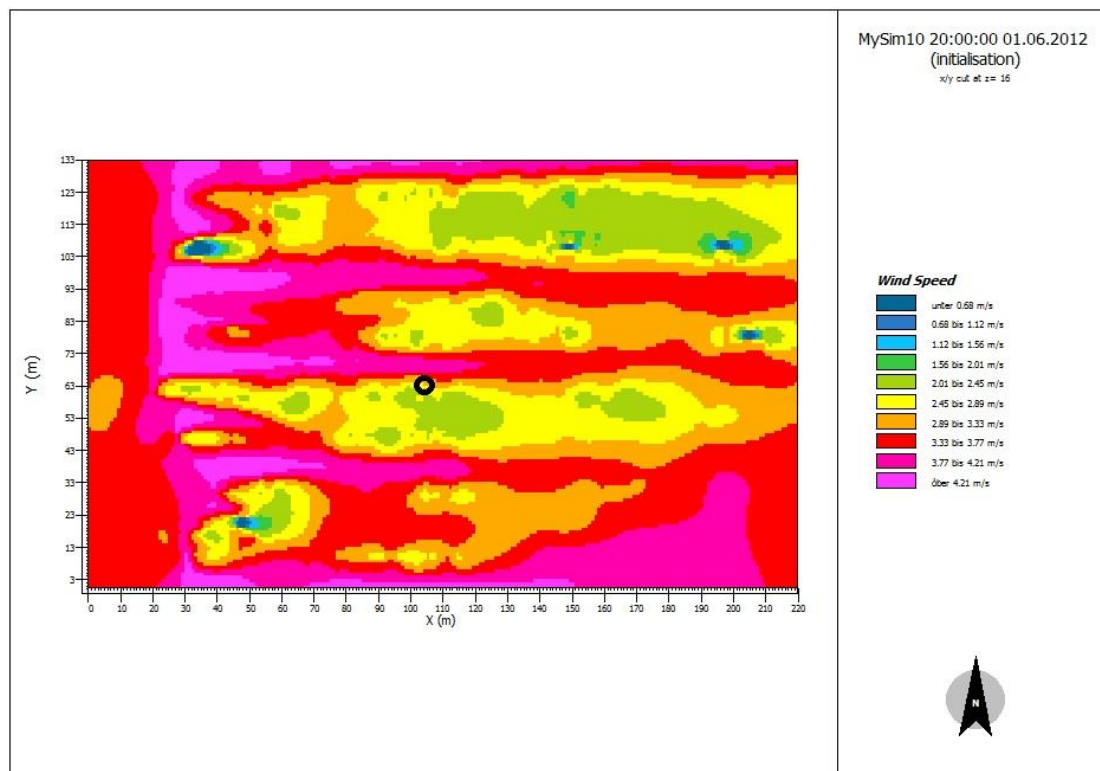
Εικόνα 5.101. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Νότια διεύθυνση [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 2,6m/s.



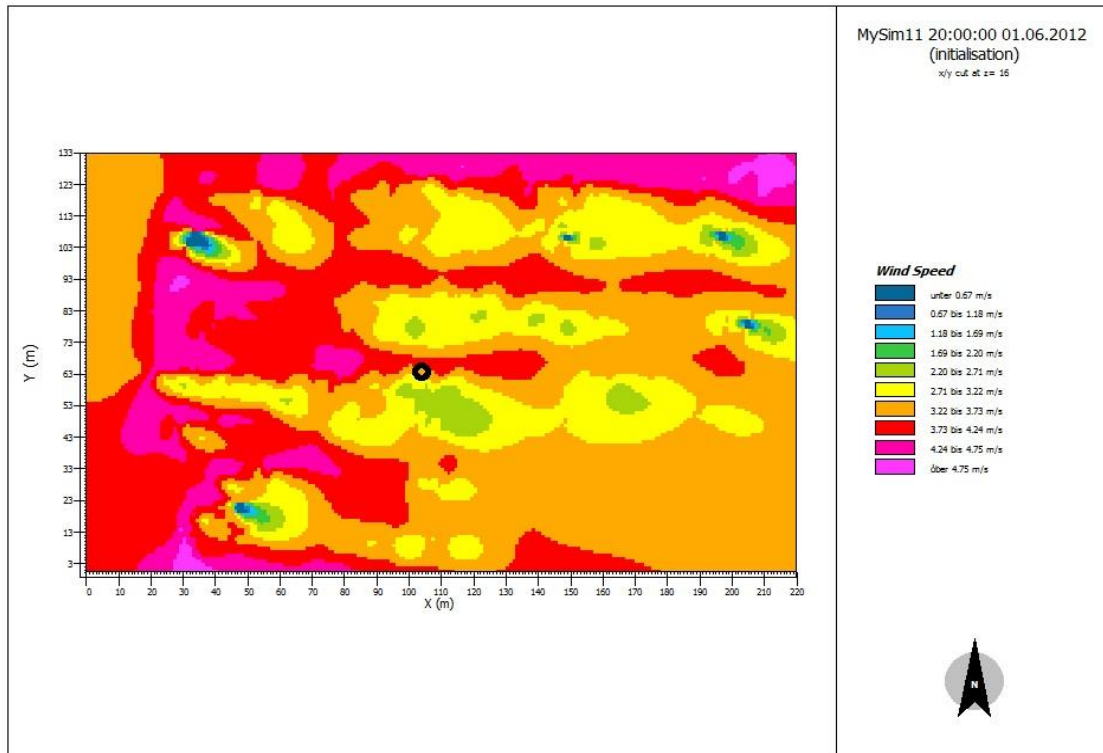
Εικόνα 5.102.Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Νοτιονοτιοδυτική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 1,7m/s.



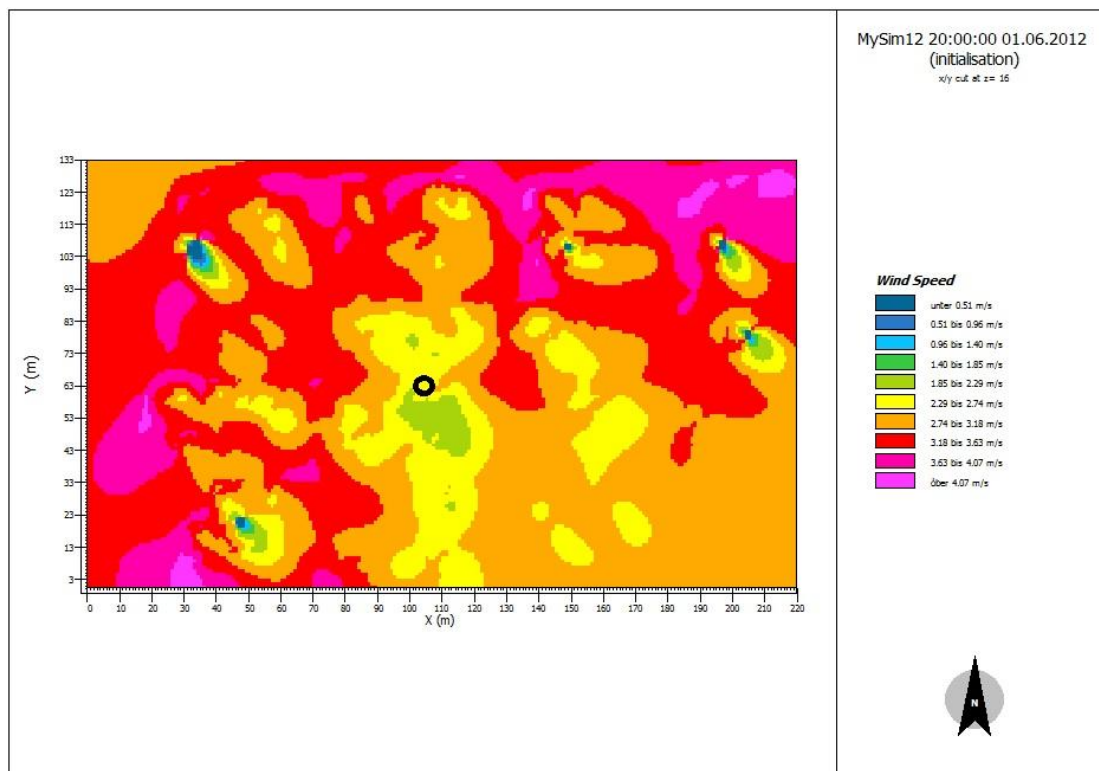
Εικόνα 5.103. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Νοτιοδυτική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 2,9m/s.



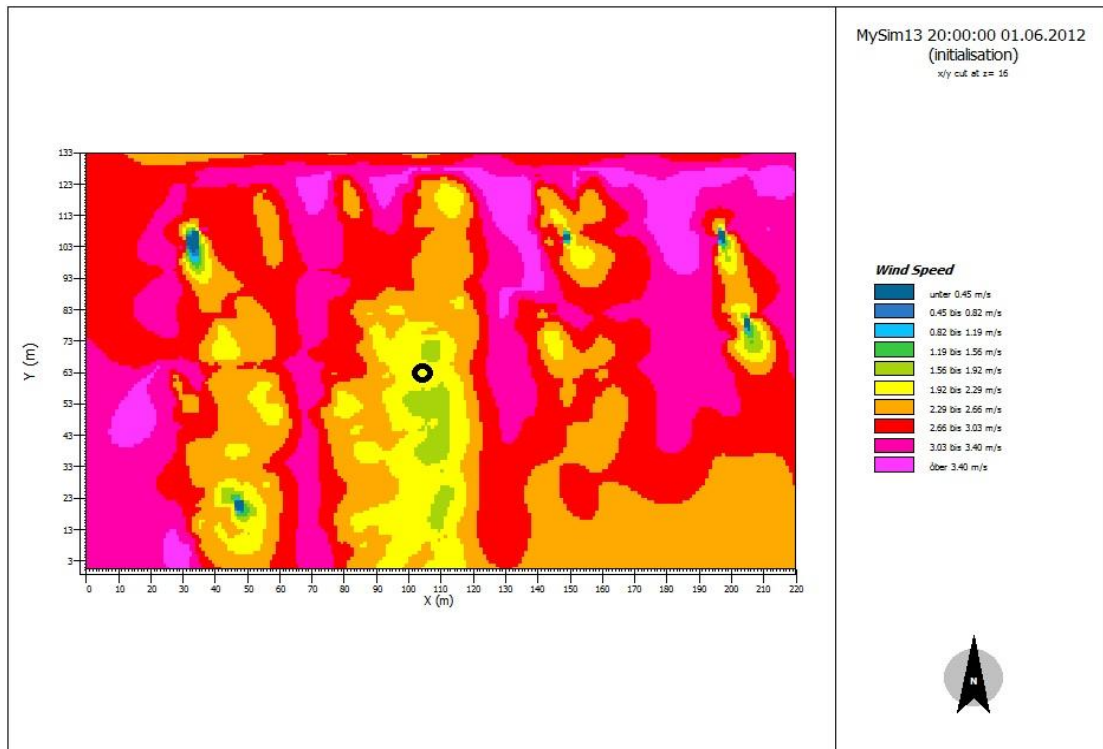
Εικόνα 5.104. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Δυτικοβορειοδυτική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 3,5m/s.



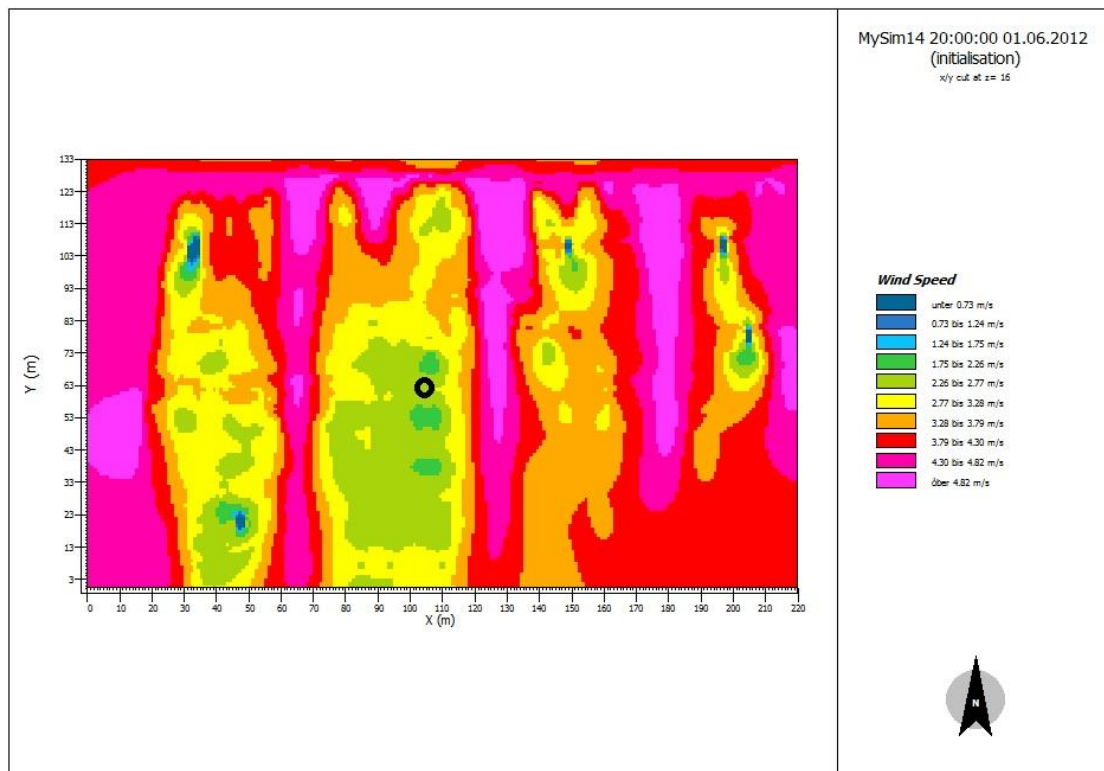
Εικόνα 5.105. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Δυτική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 2,5m/s.



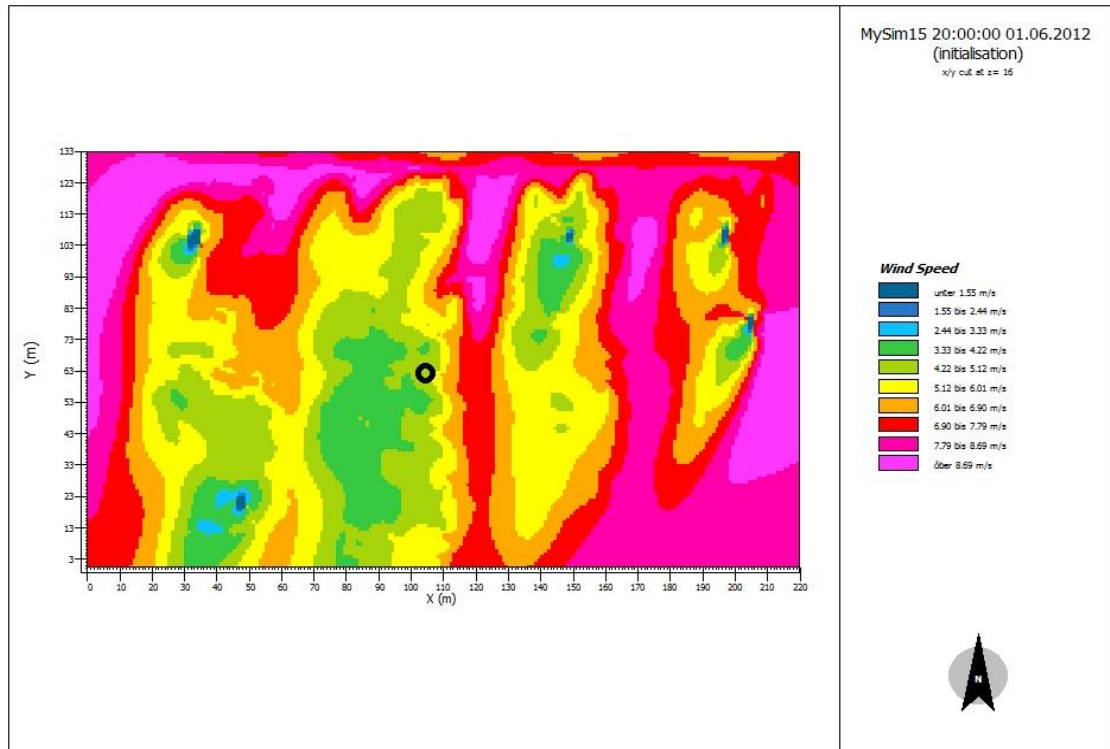
Εικόνα 5.106. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Δυτικοβορειοδυτική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 2,1m/s.



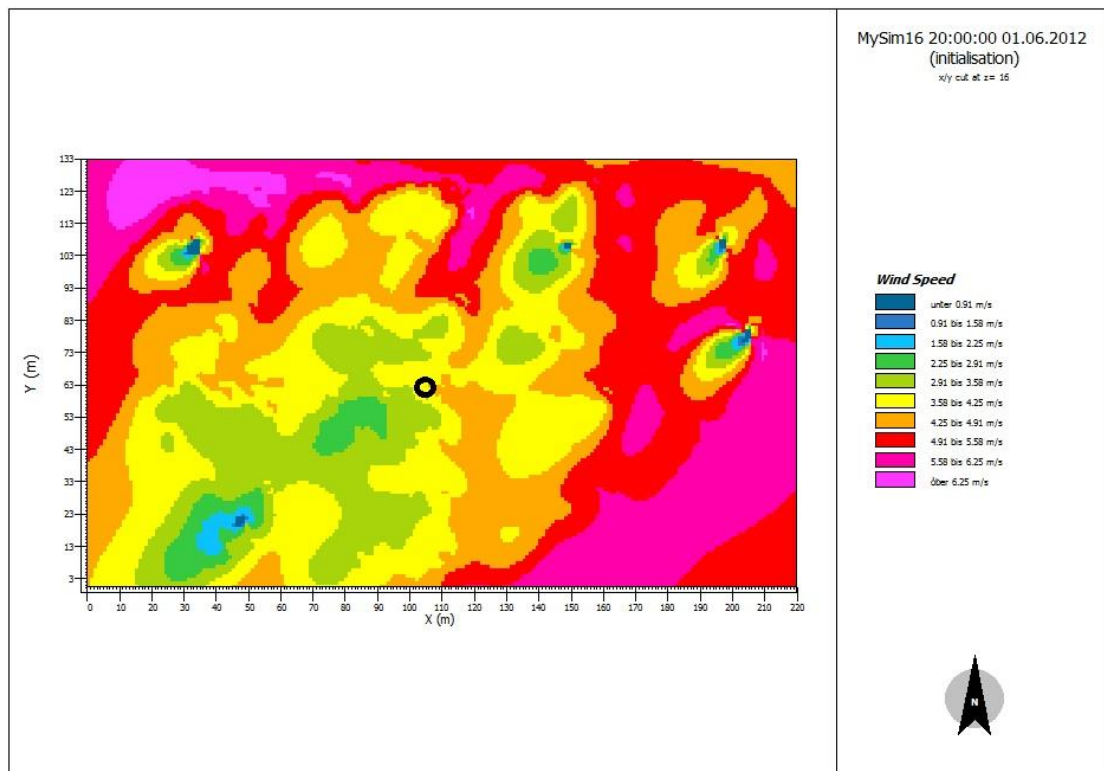
Εικόνα 5.107. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Βορειοδυτική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 2,5m/s.



Εικόνα 5.108. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Βορειοβωρειοδυτική διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 4,9m/s.

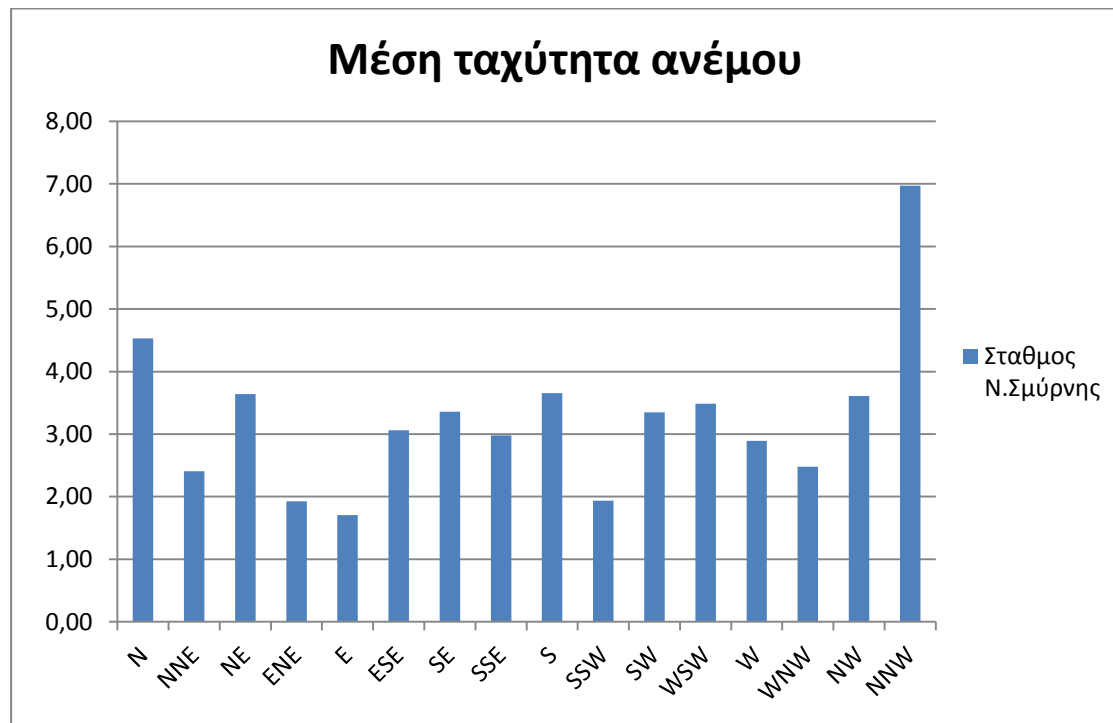


Εικόνα 5.109. Χάρτης εντάσεως ανέμου για τη Βόρεια διεύθυνση. [Πηγή:Leonardo]

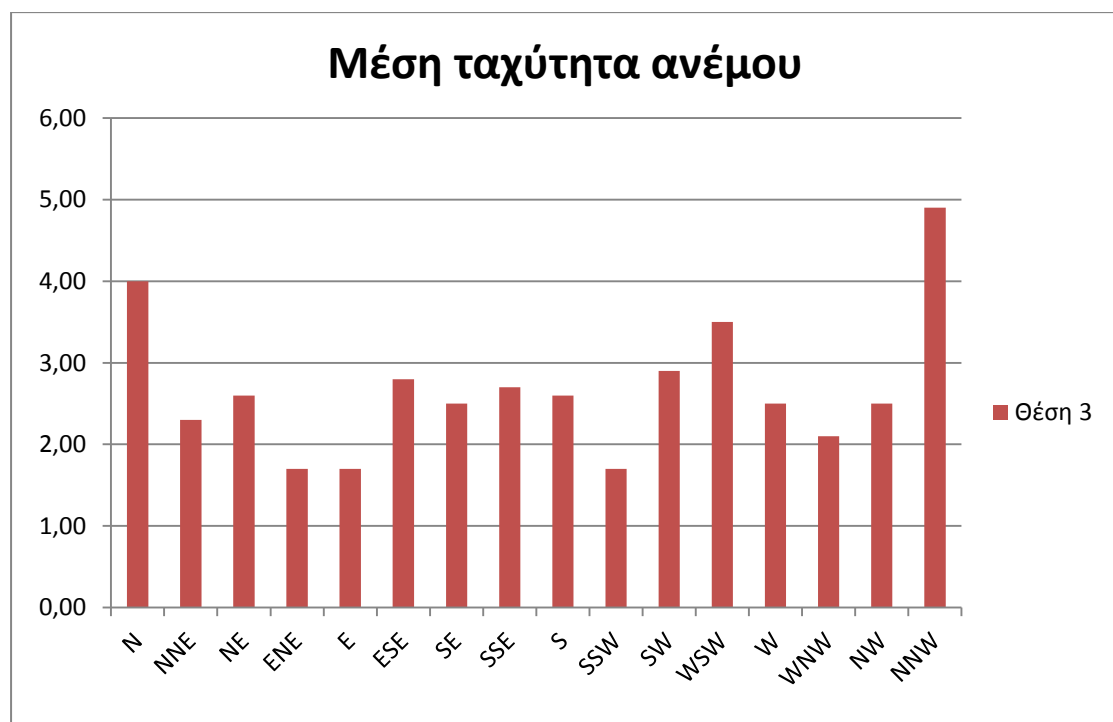
Η ένταση του ανέμου υπολογίζεται περίπου 4,0m/s.

Παρακάτω παρατίθενται τα εξής διαγράμματα.

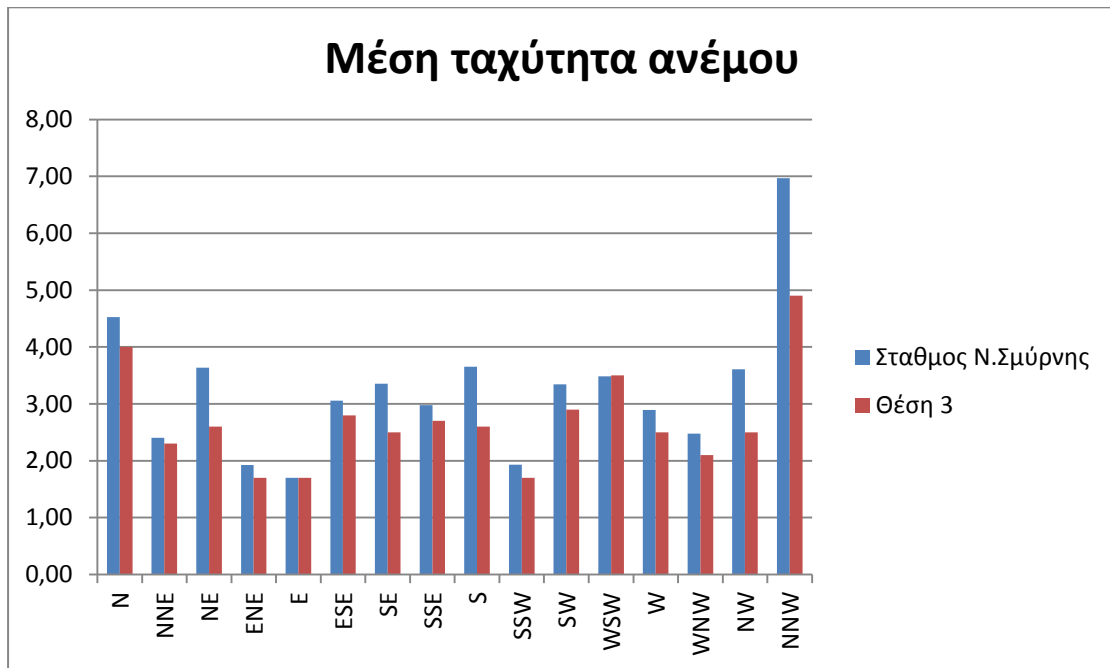
1) Η μέση ταχύτητα του ανέμου ανά διεύθυνση όπως μετρήθηκε από το σταθμό της Ν.Σμύρνης, σε ύψος μετρήσεως 10m. (Εικόνα 5.110.)



2) Η μέση ταχύτητα του ανέμου ανά διεύθυνση όπως υπολογίστηκε από τις προσομοιώσεις για τη θέση 3. (Εικόνα 5.111.)

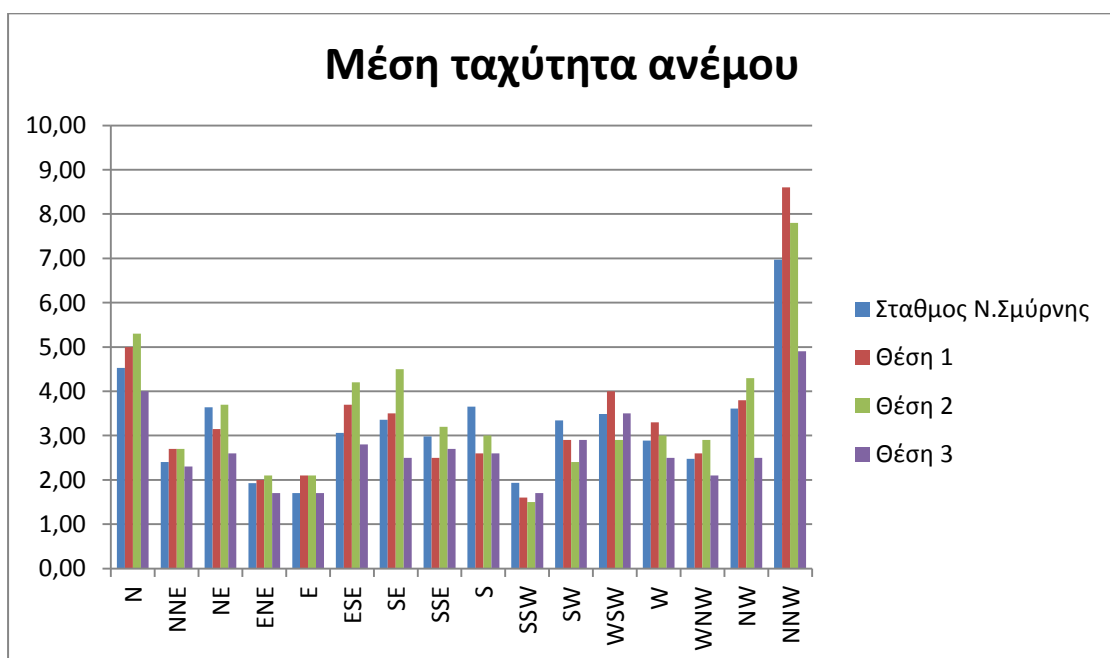


3) Παράλληλη παράθεση των παραπάνω αποτελεσμάτων με σκοπό τη σύγκρισή τους. (Εικόνα 5.112.)

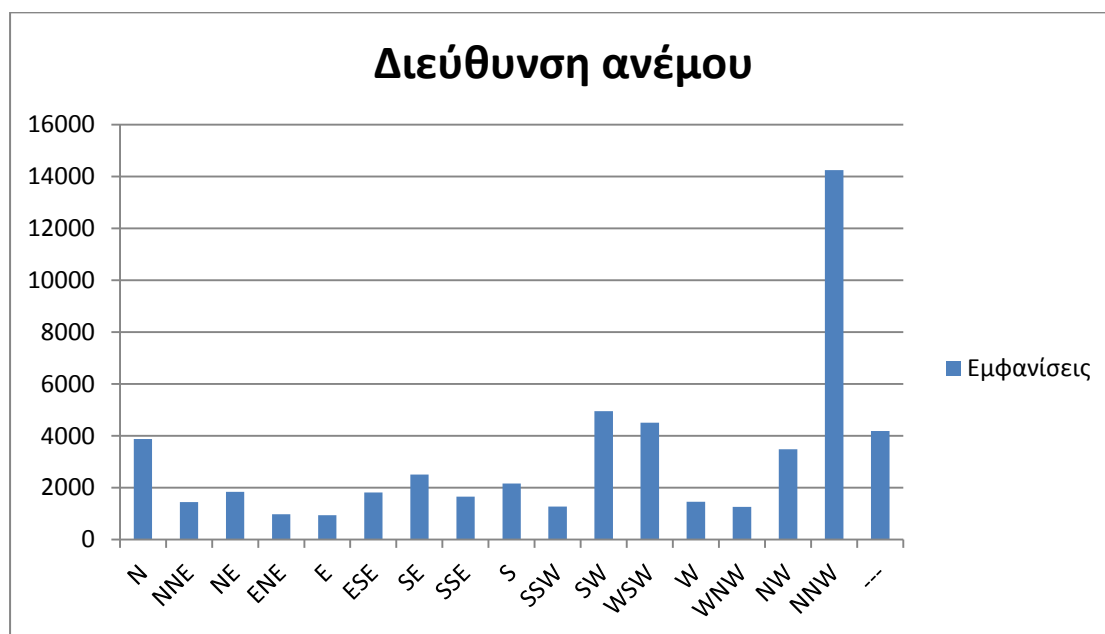


5.10. Συμπεράσματα από τις προσομοιώσεις

Σε αυτό το υποκεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα από τις μετρήσεις και τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν. Αρχικώς παρατίθεται το διάγραμμα που εμπεριέχει τις μέσες ετήσιες ταχύτητες του ανέμου ανά διεύθυνση, και για τις τρεις θέσεις που μελετήθηκαν, όπως αυτές μετρήθηκαν από το σταθμό της Ν.Σμύρνης. (Εικόνα 5.113.)



Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται ο αριθμός εμφάνισης της κάθε διεύθυνσης του ανέμου με βάση τις ετήσιες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με βήμα δεκαλέπτου (52553 μετρήσεις συνολικά). (Εικόνα 5.114.)



Σύμφωνα με τα παραπάνω υπολογίζεται ο σταθμισμένος μέσος όρος των ταχυτήτων:

- Θέση 1: 4,50m/s
- Θέση 2: 4,10 m/s
- Θέση 3: 3,17 m/s

Στη συνέχεια θα εξεταστεί αν η επιλογή των θέσεων με βάση την κύρια διεύθυνση του ανέμου ήταν αντικειμενική. Οι μέσες ταχύτητες στην κύρια διεύθυνση (Βορειοβορειοδυτική διεύθυνση), με βάση την οποία έγινε η επιλογή των θέσεων, είναι:

- Θέση 1: 8,60 m/s
- Θέση 2: 7,80 m/s
- Θέση 3: 4,90m/s

Αν το πηλίκο της διαίρεσης μεταξύ των σταθμισμένων μέσων όρων δύο θέσεων δεν έχει μεγάλη απόκλιση από το πηλίκο της διαίρεσης μεταξύ των ταχυτήτων των δύο θέσεων στη κύρια διεύθυνση τότε η επιλογή των θέσεων ήταν αντικειμενική.

Έχουμε:

Για τους σταθμισμένους μέσους όρους των θέσεων 3 και 1: $3,17/4,50=0,71$ και αντίστοιχα για τις ταχύτητες των θέσεων στην κύρια διεύθυνση: $4,90/8,60=0,57$

Για τους σταθμισμένους μέσους όρους των θέσεων 2 και 1: $4,10/4,50=0,91$ και αντίστοιχα για τις ταχύτητες των θέσεων στην κύρια διεύθυνση: $7,80/8,60=0,91$

Για τους σταθμισμένους μέσους όρους των θέσεων 3 και 2: $3,17/4,10=0,77$ και αντίστοιχα για τις ταχύτητες των θέσεων στην κύρια διεύθυνση: $4,90/7,80=0,63$

Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις και η κατανομή των σταθμισμένων μέσων όρων ακολουθεί την κατανομή των ταχυτήτων στην κύρια διεύθυνση. Επιπλέον, παρατηρούμε ότι η απόκλιση που υπάρχει οφείλεται στο γεγονός ότι ο σταθμισμένος μέσος όρος στη θέση 3 είναι μεγαλύτερος από τον αναμενόμενο με βάση την κύρια διεύθυνση. Στη συνέχεια θα εξεταστούν οι παράμετροι που ευθύνονται για το γεγονός αυτό.



Εικόνα 5.115. Η θέση τρία και η Βορειοβορειοδυτική κατεύθυνση του ανέμου. [Πηγή: Envi-met]

Στην παραπάνω εικόνα με κόκκινο σημειώνεται η Βορειοβορειοδυτική κατεύθυνση του ανέμου. Παρατηρούμε ότι υπάρχουν αρκετά ψηλά κτίρια στη συγκεκριμένη διεύθυνση. Επίσης παρατηρούμε ότι η θέση 3 περιβάλλεται γενικότερα από ψηλά κτίρια. Έτσι, θα περιμέναμε ο σταθμισμένος μέσος όρος να είναι χαμηλότερος. Όμως η ταχύτητα στην Βορειοβορειοδυτική διεύθυνση είναι υψηλότερη από την ταχύτητα στις άλλες διευθύνσεις με αποτέλεσμα να επηρεάζεται εντονότερα από τα περιβάλλοντα κτίρια.



Εικόνα 5.116. Η θέση ένα και η βορειο-βορειοδυτική κατεύθυνση του ανέμου. [Πηγή: Envi-met]

Αντίθετα παρατηρούμε ότι στη θέση ένα, κατά την κύρια διεύθυνση, δεν υπάρχουν ψηλά κτίρια με αποτέλεσμα η μέση ταχύτητα να είναι αυξημένη. Επιπλέον, διαπιστώνουμε ότι δεν υπάρχουν πολλά ψηλά κτίρια κοντά στη θέση ένα με αποτέλεσμα ο σταθμισμένος μέσος όρος των ταχυτήτων να είναι ο υψηλότερος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ ΠΕΜΠΤΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [1] <http://www.envi-met.com/htmlhelp/helpindex.htm>
- [2] Επίσημη ιστοσελίδα μετεωρολογικού σταθμού Ν.Συνύρνης(<http://penteli.meteo.gr/stations/neasmynni/>)
- [3] <http://www.windrose.gr/>
- [4] <<Further development and application of the 3D microclimate simulation ENVI-met>>, Sebastian Huttner, 2012
- [5] <<Architecture & Sustainable Development>>, Magali Bodart, Arnaud Evrard, 2011

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η επιλογή της κατάλληλης ανεμογεννήτριας είναι, ίσως, η σημαντικότερη διαδικασία καθώς κάθε περίπτωση απαιτεί ανεμογεννήτριες διαφορετικού τύπου. Παρακάτω παρατίθενται κάποιες ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα οι οποίες αναπτύχθηκαν πρόσφατα και θεωρούνται κατάλληλες για εφαρμογές σε αστικό περιβάλλον.



Συνοπτικές λεπτομέρειες:

Τύπος: Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα με 7 λεπίδες

Μάρκα: QMPower

Μοντέλο: QM-VAWT-2.0KW/50RPM

Τεχνικές προδιαγραφές:

Επίδοση:

Ονομαστική ισχύς: 2000W

Μέγιστη ισχύς: 2500W

Ταχύτητα του ανέμου που ξεκινάει να λειτουργεί: 2,5m / s

Ταχύτητα ανέμου για την οποία παράγει ηλεκτρισμό: 3-25m / s

Ταχύτητα ανέμου επιβίωσης: 40m / s

Ρότορας:

Διάμετρος ρότορα: 2500 χιλιοστά

Μήκος λεπίδας: 1650 χιλιοστά

Πλάτος λεπίδας: 410 χιλιοστά

Υλικό κελύφους: αλουμίνιο ανθεκτικό στη διάβρωση

Βαθμονόμηση: 50 στροφές το λεπτό

Ταχύτητα ανέμου κατά την βαθμονόμηση: 10 m/s

Βάρος: 252kg

Άλλα:

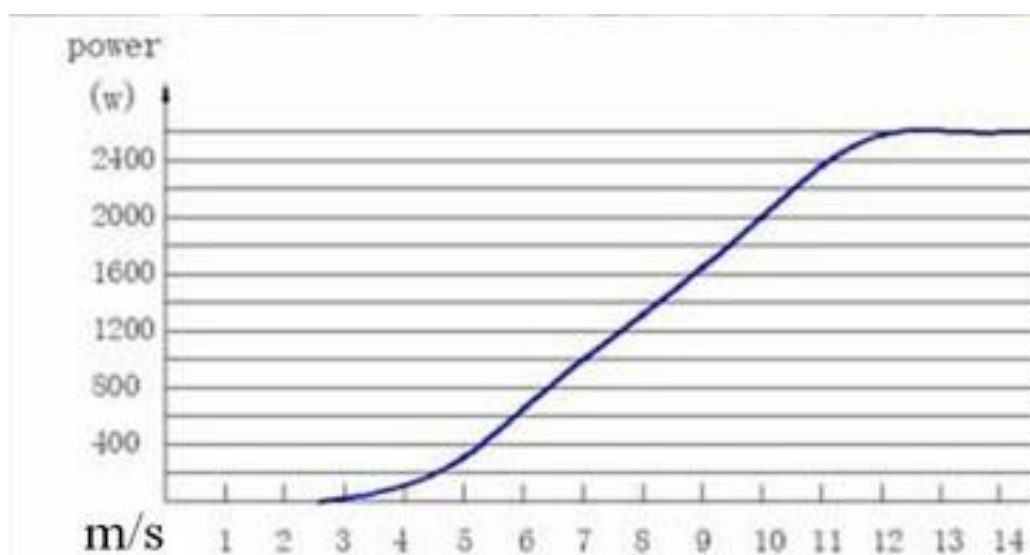
Τύπος γεννήτριας: τριφασικό AC PM, χωρίς μειωτήρα

Προτεινόμενη χωρητικότητα της μπαταρίας: 4τμχ 150AH/12VDC

Εύρος τάσης για διασύνδεση: DC 48V - 96V - 120V - 220V

Προτεινόμενος πύργος: 8m

Διάρκεια ζωής: 15-20 χρόνια

Καμπύλη παραγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος:

Κόστος: 6600 Ευρώ



Συνοπτικές λεπτομέρειες:

Τύπος: Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα με 5 λεπίδες

Μάρκα: SAIAM

Τόπος καταγωγής: Fujian Κίνα (Ηπειρωτική)

Αριθμός μοντέλου: SAV-2KW

Τεχνικές προδιαγραφές:

Επίδοση:

Ονομαστική ισχύς: 2000W για 8m / s

Μέγιστη ισχύς: 2200W

Ταχύτητα του ανέμου που ξεκινάει να λειτουργεί: 2m / s

Ταχύτητα ανέμου για την οποία παράγει ηλεκτρισμό: 3-25m / s

Ταχύτητα ανέμου επιβίωσης: 35m / s

Θόρυβος: $\leq 40\text{dB}$

Ρότορας:

Διάμετρος ρότορα: 1.600 χιλιοστά

Περιοχή σάρωσης: 4.2m²
Λεπίδα: 5pcs ενισχυμένο fiber glass
Μήκος λεπίδας: 2.600 χιλιοστά
Υλικό κελύφους: αλουμίνιο ανθεκτικό στη διάβρωση
Βαθμονόμηση: 150 στροφές το λεπτό
Βάρος: 220kg

Άλλα:

Τύπος γεννήτριας: τριφασικό AC PM, χωρίς μειωτήρα
Ρύθμιση για την προστασία από υψηλές ταχύτητες: ηλεκτρομαγνητικό φρένο
Ονομαστική τάση του Controller: DC 48V
Προτεινόμενη χωρητικότητα της μπαταρίας: 4τμχ 200AH/12VDC
Εύρος τάσης για διασύνδεση: DC 110 ~ 500V
Προτεινόμενος πύργος: 6m πύργος καλωδίων
Θερμοκρασία λειτουργίας: -30-50 ° C

Κόστος: 1540 Ευρώ



Συνοπτικές λεπτομέρειες:

Τύπος: Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα

Μάρκα: HelixWind

Αριθμός μοντέλου: S322-2KW

Τεχνικές προδιαγραφές:

Επίδοση:

Ονομαστική ισχύς: 2000W

Μέγιστη ισχύς: 2000W

Ταχύτητα του ανέμου που ξεκινάει να λειτουργεί: 3m / s

Ταχύτητα ανέμου για την οποία παράγει ηλεκτρισμό: 5-25m / s

Βέλτιστη ταχύτητα ανέμου: 7m/s ή μεγαλύτερη

Ρότορας:

Διαστάσεις ρότορα: 1,21mX 2,65m

Περιοχή σάρωσης: 3,19m²

Υλικό κελύφους: αλουμίνιο ανθεκτικό στη διάβρωση

Βάρος: 135kg

Άλλα:

Ύψος: 3,3 m

Τύπος γεννήτριας: τριφασικό AC PM, χωρίς μειωτήρα

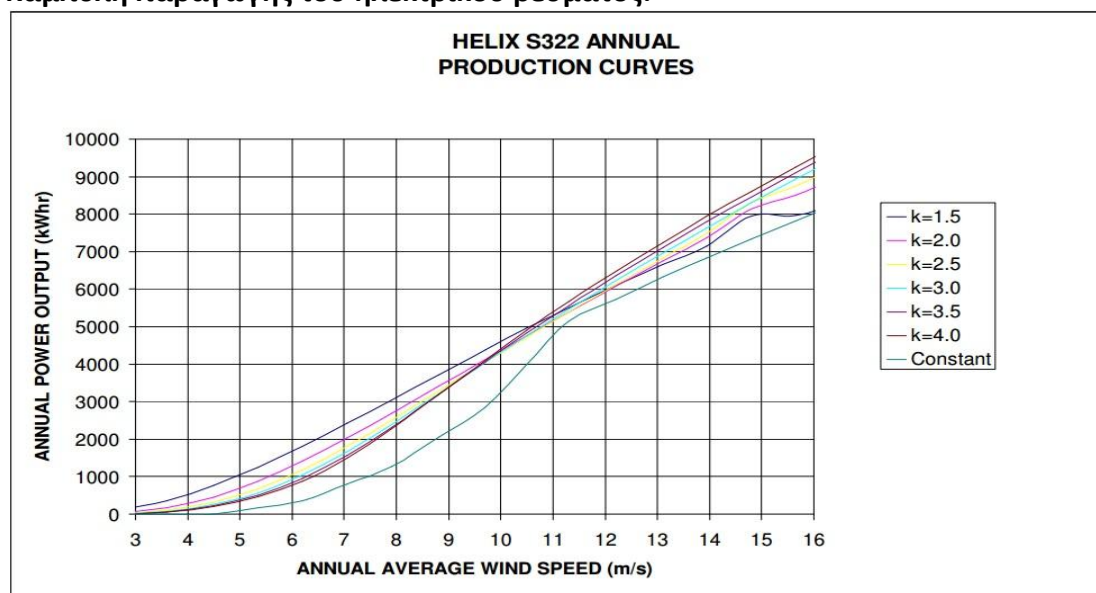
Εύρος τάσης για διασύνδεση: DC 110 ~ 240V

Εύρος συχνότητας: 50-60hz

Προτεινόμενος πύργος: 4,5m - 6m

Διάρκεια ζωής: 30 χρόνια

Καμπύλη παραγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος:



Κόστος: 7700 Ευρώ



Συνοπτικές λεπτομέρειες:

Τύπος: Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα

Μάρκα: HelixWind

Αριθμός μοντέλου: S594-4,5KW

Τεχνικές προδιαγραφές:

Επίδοση:

Ονομαστική ισχύς: 4500W

Μέγιστη ισχύς: 4500W

Ταχύτητα του ανέμου που ξεκινάει να λειτουργεί: 3m / s

Ταχύτητα ανέμου για την οποία παράγει ηλεκτρισμό: 5-25m / s

Βέλτιστη ταχύτητα ανέμου: 7m/s ή μεγαλύτερη

Ρότορας:

Τύπος: Έλικας Savoniusκατακόρυφου άξονα

Διαστάσεις ρότορα: 1,21mX4,87m

Περιοχή σάρωσης: 5,88m²

Υλικό κελύφους: αλουμίνιο ανθεκτικό στη διάβρωση

Βάρος: 605kg

Άλλα:

Ύψος: 6m

Τύπος γεννήτριας: τριφασικό AC PM, χωρίς μειωτήρα

Εύρος τάσης για διασύνδεση: DC 110 ~ 240V

Εύρος συχνότητας: 50-60hz

Προτεινόμενος πύργος: 4,5μ -6m

Διάρκεια ζωής: 30 χρόνια

Καμπύλη παραγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος:



Κόστος: 12900 Ευρώ

Από τις ανεμογεννήτριες που εξετάστηκαν οι περισσότερες αποδίδουν πολύ χαμηλή ισχύ για τις επικρατούσες ταχύτητες ανέμου στην περιοχή μελέτης. Επιπλέον, ενώ η ταχύτητα που ξεκινάει να περιστρέφεται ο ρότορας ανέρχεται στα 2-3 m/s για τις περισσότερες ανεμογεννήτριες, η ταχύτητα που η ανεμογεννήτρια αρχίζει να παράγει εκμεταλλεύσιμη ενέργεια κυμαίνεται στα 3-5 m/s, καθιστώντας πολλές ανεμογεννήτριες ακατάλληλες για την εν λόγω περιοχή. Στη συνέχεια παρατίθεται η ανεμογεννήτρια που επιλέχθηκε καθώς και τα τεchnο-οικονομικά της χαρακτηριστικά.



Συνοπτικές λεπτομέρειες:

Τύπος: Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα με 7 λεπίδες

Μάρκα: QMPower

Μοντέλο: QM-VAWT-2.0KW/50RPM

Τεχνικές προδιαγραφές:

Επίδοση:

Ονομαστική ισχύς: 2000W

Μέγιστη ισχύς: 2500W

Ταχύτητα του ανέμου που ξεκινάει να λειτουργεί: 2,5m / s

Ταχύτητα ανέμου για την οποία παράγει ηλεκτρισμό: 3-25m / s

Ταχύτητα ανέμου επιβίωσης: 40m / s

Ρότορας:

Διάμετρος ρότορα: 2500 χιλιοστά

Μήκος λεπίδας: 1650 χιλιοστά

Πλάτος λεπίδας: 410 χιλιοστά

Υλικό κελύφους: αλουμίνιο ανθεκτικό στη διάβρωση

Βαθμονόμηση: 50 στροφές το λεπτό

Ταχύτητα ανέμου κατά την βαθμονόμηση: 10 m/s

Βάρος: 252kg

Άλλα:

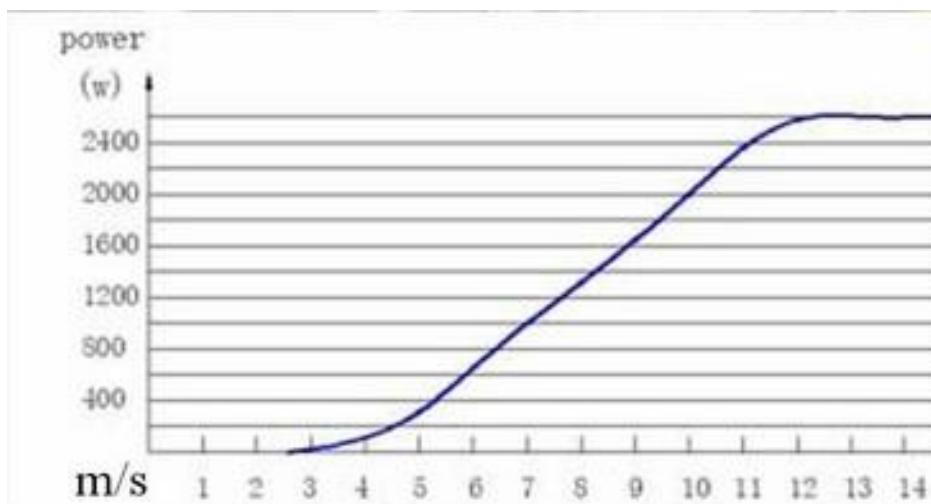
Τύπος γεννήτριας: τριφασικό AC PM, χωρίς μειωτήρα

Προτεινόμενη χωρητικότητα της μπαταρίας: 4τμχ 150AH/12VDC

Εύρος τάσης για διασύνδεση: DC 48V - 96V - 120V - 220V

Προτεινόμενος πύργος: 8m
 Διάρκεια ζωής: 15-20 χρόνια

Καμπύλη παραγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος:



Κόστος: 6600 Ευρώ

Αρχική τιμή	6600	Ευρώ
Κόστος συντήρησης ανα Kwh	0,02	Ευρώ/Kwh
Κόστος συντήρησης	2978	Ευρώ
Κόστος Inverter	200	Ευρώ
Διασύνδεση	400	Ευρώ
Μεταφορά και εγκατάσταση	250	Ευρώ
Συνολικό κόστος	10428	Ευρώ

QM-VAWT-2.0KW/50RPM

Διάρκεια ζωής	17	έτη
Ώρες λειτουργίας ανα έτος	8760	ώρες
Συνολικός χρόνος λειτουργίας	148920	ώρες
Προσαύξηση λόγου συντελεστή k	25	%
Ισχύς στη θέση 1	0,25	kw
Ισχύς στη θέση 2	0,15	kw
Ισχύς στη θέση 3	-	
Παραγόμενη ενέργεια στη θέση 1	37230	kwh
Παραγόμενη ενέργεια στη θέση 2	22338	kwh
Παραγόμενη ενέργεια στη θέση 3	-	
Τιμή kwh	0,25	Ευρώ
Συνολικά έσοδα στη θέση 1	9308	
Συνολικά έσοδα στη θέση 2	5585	
Συνολικά έσοδα στη θέση 3	-	
Χρόνος απόσβεσης στη θέση 1	19	έτη

Χρόνος απόσβεσης στη θέση 2
Χρόνος απόσβεσης στη θέση 3

32 έτη

-

Παρατηρούμε ότι για την περίπτωση διασυνδεδεμένης ανεμογεννήτριας, η οποία είναι κατά πολύ οικονομικά βιωσιμότερη από την περίπτωση την ανεμογεννήτριας με μπαταρία, τα έσοδα στην θέση 1 είναι χαμηλότερα του κόστους κατά 1120 Ευρώ ενώ στη θέση 2 κατά 4843 ευρώ. Στη θέση 3 η τιμή της μέσης ταχύτητας του ανέμου (3,17 m/s) είναι οριακά μεγαλύτερη από τη μέση ταχύτητα που η ανεμογεννήτρια αρχίζει να παράγει εκμεταλλεύσιμη ενέργεια (3 m/s) και περαιτέρω διερεύνηση καθίσταται περιττή. Η ανεμογεννήτρια έχει προσδοκώμενο χρόνο ζωής 15-20 χρόνια, έτσι έγινε η εύλογη υπόθεση των 17 χρόνων ζωής. Ο χρόνος λειτουργίας για κάθε έτος είναι 8760 ώρες.

Από το διάγραμμα,

Για την θέση 1 έχουμε ισχύ: 0,2 Kw

Για την θέση 2 έχουμε ισχύ: 0,12 Kw

Στη συνέχεια, επειδή το διάγραμμα θεωρεί συντελεστή Weibullk=2 ενώ στην περιοχή μελέτης έχουμε συντελεστή k=1,05 υπολογίστηκε ότι απαιτείται προσαύξηση 25% στην αποδιδόμενη ισχύ της ανεμογεννήτριας, έτσι έχουμε

Ισχύ στη θέση 1: 0,25 Kw

Ισχύ στη θέση 2: 0,15 Kw

Η ετήσια παραγωγή ενέργειας είναι

Στη θέση 1: 2190 Kwh

Στη θέση 2: 1314 Kwh

Τα ετήσια έσοδα από την ανεμογεννήτρια είναι

Στη θέση 1: 547 Ευρώ

Στη θέση 2: 328 Ευρώ

Έτσι, υπολογίζεται ότι ο χρόνος απόσβεσης είναι

Για την θέση 1: 19 έτη

Για την θέση 2: 32 έτη

Με βάση τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι το αιολικό δυναμικό στην περιοχή μελέτης δεν επαρκεί για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών, καθώς μόνο στη βέλτιστη θέση (θέση 1) υπάρχει πιθανότητα οριακής απόσβεσης.

Γενικώς, οι περισσότερες ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα αρχίζουν να παράγουν τη μέγιστη δυνατή ισχύ τους για ταχύτητες ανέμου 8 - 14 m/s, τιμές που υφίστανται μόνο σε νησιωτικές ή ορεινές περιοχές. Επιπλέον, αν και παρατηρήθηκε ότι ακόμα και στο ίδιο οικοδομικό τετράγωνο υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση στις ταχύτητες ανάμεσα σε διαφορετικά σημεία, εντούτοις στην πλειονότητά τους οι ταχύτητες αυτές είναι πολύ χαμηλές και δεν επαρκούν για την παραγωγή εκμεταλλεύσιμης ηλεκτρικής ενέργειας. Επιβεβαιώθηκε, επίσης, η αρχική υπόθεση ότι οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα ενδείκνυνται για αστικό περιβάλλον

καθώς οι αντίστοιχες οριζοντίου άξονα ξεκινούν να παράγουν εκμεταλλεύσιμη ενέργεια σε ταχύτητες 4,5m/s - 6m/s. Επιπλέον, οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα προκαλούν χαμηλότερα επίπεδα θορύβου ενώ δεν επηρεάζονται τόσο έντονα από την τύρβη, η οποία είναι έντονη στο αστικό περιβάλλον, τόσο λόγω των κτιρίων ως 'εμποδίων' αλλά και λόγω κάποιων φαινομένων που αναπτύσσονται λόγω τις ιδιομορφίας των πόλεων όπως το φαινόμενο τις αστικής χαράδρας.

Παρ'όλα αυτά συνειδητοποιούμε ότι η εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε αστικό περιβάλλον έχει τη δυνατότητα να εξελιχθεί σε μια επικερδής επένδυση καθώς τα 19 έτη που απαιτούνται για την απόσβεση της ανεμογεννήτριας δεν απέχουν πολύ από το επιθυμητό αποτέλεσμα. Η επιλογή μια άλλη περιοχής (παραλιακής, νησιωτικής ή κάποιας ορεινής πόλης) όπου το αιολικό δυναμικό είναι καλύτερο θα μπορούσε να οδηγήσει σε ένα επιτυχημένο αποτέλεσμα. Επιπλέον, ακόμα και εντός της πόλης υπάρχουν ψηλά κτίρια τα οποία είναι πολύ πιθανό να ικανοποιούν τις απαραίτητες προϋποθέσεις για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών όπως για παράδειγμα εμπορικά συγκροτήματα, συγκροτήματα γραφείων, εταιρικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Σύμφωνα με τις προσομοιώσεις, τα υψηλότερα κτίρια των οικοδομικών τετραγώνων δείχνουν να πλεονεκτούν καθώς όσο απομακρυνόμαστε από το έδαφος τόσο η ένταση του ανέμου αυξάνει. Επιπλέον, καθώς οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα έχουν τη δυνατότητα να λαμβάνουν τον άνεμο από όλες τις διευθύνσεις, τα επιλεχθέντα κτίρια θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν περιμετρικά ελεύθερα. Θα πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι τα γωνιακά κτίρια, γενικώς, εμφανίζουν υψηλές μέσες ταχύτητες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο άνεμος κινείται ελεύθερα ανάμεσα στα οικοδομικά τετράγωνα, ωφελώντας τα κτίρια που βρίσκονται αμφίπλευρα. Επιπλέον, δεν πρέπει να περάσει απαρατήρητο το γεγονός ότι η ετήσια παραγωγή στη θέση 1 ανήλθε στις 2190kwh, που αντιστοιχεί στο 27% περίπου της ετήσιας κατανάλωσης μιας τυπικής οικίας. Τέλος, θα πρέπει να διερευνηθεί παιρεταιίρω η αξιοπιστία του προγράμματος Envi-met για ανεμολογικές προσομοιώσεις και ιδιαίτερα η συσχέτιση του σφάλματος σε σχέση με τα διάφορα 'αρχεία εισαγωγής'.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ ΕΚΤΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

[1] www.helixwind.com/en/S322.php

[2] www.helixwind.com/en/S594.php

[3] http://www.alibaba.com/product-gs/1465030096/SAV_2KW_VERTICAL_WIND_TURBINE_LOW.html

[4] <http://qmmagnets.en.made-in-china.com/product/sqQxgYrbhkhN/China-Vertical-Axis-Wind-Turbine-Generator-2KW-50RPM.html>