

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ
ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ – ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ –
ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ
ΠΑΚΕΤΟ**



ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ΒΑΛΑΒΑΝΗ ΑΝΝΑ – ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

ΠΑΤΡΑ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2023



ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία δημιουργήθηκε στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας, του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου.

“ Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Ανδρέα Βούρο του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών για την ανάθεση του θέματος και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, την βοήθεια και την υποστήριξη για την εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας.

Επίσης από αυτή την θέση θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την κατανόηση και την υποστήριξή τους στην ολοκλήρωση των σπουδών μου στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου.”

Βαλαβάνη Άννα - Παναγιώτα

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Φοιτητής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Η Φοιτήτρια
(Ονοματεπώνυμο)

Βαλαβάνη Άννα - Παναγιώτα

.....
(Υπογραφή)



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διπλωματική εργασία απαρτίζεται από εννέα κεφάλαια με την εξής δομή:

Στο 1^ο Κεφάλαιο δίνονται πληροφορίες για τον ορισμό της ενέργειας, την ιστορική αναδρομή από την πρώτη χρήση της ενέργειας μέχρι την σημερινή εποχή καθώς και τις μορφές της ενέργειας που υπάρχουν. Στην συνέχεια του ίδιου κεφαλαίου, βλέπουμε τον ορισμό των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, τις μορφές τους καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους.

Στο 2^ο Κεφάλαιο αναφέρεται η Αιολική Ενέργεια, η ιστορική της αναδρομή και η προέλευση της μέσα από την μυθολογία, ο ορισμό της καθώς και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που υπάρχουν.

Στο 3^ο Κεφάλαιο αναφέρεται η ιστορία των αιολικών μηχανών από τον πρώτο ανεμόμυλο μέχρι τις σύγχρονες ανεμογεννήτριες. Στη συνέχεια περιγράφονται οι τύποι των ανεμογεννητριών και δίνονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Στο τέλος του κεφαλαίου αναφέρονται και περιγράφονται τα βασικά τμήματα της ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα.

Στο 4^ο Κεφάλαιο περιγράφονται τα Αιολικά Πάρκα. Στην αρχή του κεφαλαίου δίνεται ο ορισμός των αιολικών και των θαλάσσιων αιολικών πάρκων καθώς και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Επιπλέον, περιγράφεται αναλυτικά και με μαθηματικούς τύπους η ενεργειακή παραγωγή του αιολικού πάρκου. Στο τέλος του κεφαλαίου αναφέρονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν από τις α/γ.

Στο 5^ο Κεφάλαιο αναφέρονται το αιολικό δυναμικό και ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η χωροθέτηση των α/γ σε ένα αιολικό πάρκο αλλά και τι παράγοντες επηρεάζουν την εγκατάσταση του πάρκου. Επίσης, στο τέλος του κεφαλαίου θα παρουσιαστεί η μορφολογία του εδάφους και πως γίνεται η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού.

Στο 6^ο Κεφάλαιο δίνονται οι θεωρίες υπολογισμού της ισχύος μιας α/γ καθώς και η θεωρία μονοδιάστατης ορμής – όριο Betz, το τμήμα των πτερυγίων – αεροτομών και οι αεροδυναμικοί συντελεστές.

Στο 7^ο Κεφάλαιο γίνεται μια πρώτη γνωριμία με το λογισμικό ανάλυσης έργων καθαρής ενέργειας RETScreen και στη συνέχεια δίνεται η τεχνοοικονομική ανάλυση του αιολικού πάρκου για δύο διαφορετικά σενάρια. Το πρώτο σενάριο αφορά την πόλη του Αράξου και το δεύτερο σενάριο την πόλη της Αλιάρτου. Και για τα δυο σενάρια δίνονται τα ανεμολογικά – κλιματικά δεδομένα καθώς και το ενεργειακό μοντέλο, η ανάλυση κόστους, η ανάλυση εκπομπών, η οικονομική ανάλυση όπως και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από το διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών μέσω του προγράμματος RETScreen.

Στο 8^ο και τελευταίο Κεφάλαιο γίνεται η μελέτη ευαισθησίας τριών πόλεων. Έχοντας ήδη τα κλιματικά δεδομένα των πόλεων Άραξος και Αλιάρτος επέλεξε μια τρίτη πόλη η οποία αποτελεί και αυτή μετεωρολογικό σταθμό, την Σικυώνα η οποία βρίσκεται στον νομό Κορινθίας. Τα κλιματικά δεδομένα και της τρίτης πόλης βρέθηκαν από το πρόγραμμα RETScreen. Με βάση τα κλιματικά δεδομένα των τριών πόλεων δημιουργήθηκαν με την βοήθεια του υπολογιστικού φύλλου Excel διαγράμματα από τα οποία προέκυψαν κάποια συμπεράσματα τα οποία αναφέρονται στο τέλος του κεφαλαίου.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
Κεφάλαιο 1: ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	8
1.1 Εισαγωγή.....	8
1.2 Ορισμός της Ενέργειας.....	8
1.3 Ιστορική Αναδρομή.....	8
1.4 Μορφές Ενέργειας.....	9
1.5 Ορισμός Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....	10
1.6 Μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....	10
1.7 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....	11
Κεφάλαιο 2: ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	13
2.1 Ιστορία Αιολικής Ενέργειας.....	13
2.2 Ορισμός Αιολικής Ενέργειας.....	13
2.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας.....	13
Κεφάλαιο 3: ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ	15
3.1 Ιστορική Αναδρομή Αιολικών Μηχανών.....	15
3.1.1 Πανεμόνιο.....	15
3.2 Τύποι Ανεμογεννητριών.....	16
3.2.1 Ανεμογεννήτριες Οριζόντιου Άξονα.....	17
3.2.2 Ανεμογεννήτριες Κατακόρυφου Άξονα.....	17
3.2.3 Ανεμογεννήτρια Savonius.....	19
3.2.4 Ανεμογεννήτρια Darrieus.....	19
3.2.5 Υβριδικές Ανεμογεννήτριες.....	20
3.3 Βασικά Τμήματα Ανεμογεννήτριας Οριζόντιου Άξονα.....	20
Κεφάλαιο 4: ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ	22
4.1 Ορισμός Αιολικού Πάρκου.....	22
4.2 Θαλάσσια Αιολικά Πάρκα.....	22
4.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Αιολικών Πάρκων.....	22
4.4 Ενεργειακή Παραγωγή Αιολικού Πάρκου.....	23
4.5 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις.....	25
Κεφάλαιο 5: ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΚΑΙ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ Α/Γ	27
5.1 Εισαγωγή.....	27
5.2 Μέτρηση Έντασης Ανέμου.....	27
5.3 Μέτρηση Διεύθυνσης Ανέμου.....	27
5.4 Κατανομή της Ταχύτητας του Ανέμου.....	29
5.4.1 Ταχύτητα και Ενέργεια του Ανέμου.....	29
5.4.2 Κατανομή Weibull.....	30
5.4.3 Χάρτες Αιολικού Δυναμικού.....	30
5.5 Χωροθέτηση Ανεμογεννητριών.....	31



5.6 Μορφολογία Εδάφους.....	32
5.6.1 Επίπεδη Επιφάνεια Εδάφους.....	33
5.6.2 Ανώμαλη επιφάνεια εδάφους.....	34
Κεφάλαιο 6: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΤΗΣ Α/Γ.....	37
6.1 Θεωρίες Υπολογισμού Ισχύος Α/Γ.....	37
6.2 Θεωρία Μονοδιάστατης Ορμής – Όριο Betz.....	37
6.3 Το Τμήμα των Πτερυγίων – Αεροτομών.....	47
6.4 Αεροδυναμικοί Συντελεστές.....	48
Κεφάλαιο 7: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΤΡΙΚΟΡΦΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ RETSCREEN.....	51
7.1 Εισαγωγή.....	51
7.2 Περιγραφή λογισμικού RETScreen.....	51
7.3 Περιγραφή Αιολικού Πάρκου.....	52
7.3.1 Χωροθέτηση Α/Π Τρίκορφα - Επιλογή Α/Γ.....	52
7.4 Ανεμολογικά – Κλιματικά Δεδομένα Α/Π Τρίκορφα (1ο Σενάριο).....	53
7.4.1 Εκκίνηση.....	56
7.4.2 Ενεργειακό Μοντέλο.....	57
7.4.3 Ανάλυση Κόστους.....	59
7.4.4 Ανάλυση Εκπομπών.....	62
7.4.5 Οικονομική Ανάλυση.....	63
7.4.6 Συμπεράσματα.....	66
7.5 Ανεμολογικά – Κλιματικά Δεδομένα Α/Π Τρίκορφα (2ο Σενάριο).....	67
7.5.1 Εκκίνηση.....	70
7.5.2 Ενεργειακό Μοντέλο.....	71
7.5.3 Ανάλυση Κόστους.....	73
7.5.4 Ανάλυση Εκπομπών.....	74
7.5.6 Οικονομική Ανάλυση.....	75
7.5.7 Συμπεράσματα.....	77
Κεφάλαιο 8: ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ.....	78
8.1 Εισαγωγή.....	78
8.2 Γραφήματα Κλιματολογικών Δεδομένων.....	78
8.3 Επιπλέον διαγράμματα θέσης κλιματολογικών δεδομένων.....	81
8.4 Συμπεράσματα.....	86
Βιβλιογραφία.....	87
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	
Πίνακας 1: Συντεταγμένες Εγκατάστασης Α/Γ κατά ΕΓΣΑ 87.....	52
Πίνακας 2: Τιμές Θερμοκρασίας Αέρα.....	78
Πίνακας 3: Τιμές Ταχύτητας Ανέμου.....	79
Πίνακας 4: Τιμές Ατμοσφαιρικής Πίεσης.....	80
Πίνακας 5: Τιμές Γεωγραφικού Πλάτους ανά Πόλη.....	82
Πίνακας 6: Τιμές Γεωγραφικού Μήκους ανά Πόλη.....	82
Πίνακας 7: Τιμές υψομέτρου ανά Πόλη.....	83
Πίνακας 8: Τιμές Θερμοκρασίας Θέρμανσης ανά Πόλη.....	84



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

Πίνακας9: Τιμές Θερμοκρασίας Ψύξης ανά Πόλη.....	85
Πίνακας10: Τιμές Διακύμανσης Θερμοκρασίας Εδάφους ανά Πόλη.....	85

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Θερμοκρασία Αέρα συναρτήσεσι Μηνών Έτους.....	79
Διάγραμμα 2: Ταχύτητα Ανέμου συναρτήσεσι Μηνών Έτους.....	80
Διάγραμμα 3: Ατμοσφαιρική Πίεση συναρτήσεσι Μηνών Έτους.....	81
Διάγραμμα 4: Γεωγραφικό Πλάτος συναρτήσεσι Πόλης.....	82
Διάγραμμα 5: Γεωγραφικό Μήκος συναρτήσεσι Πόλης.....	83
Διάγραμμα 6: Υψόμετρο συναρτήσεσι Πόλης.....	83
Διάγραμμα 7: Θερμοκρασία Θέρμανσης συναρτήσεσι Πόλης.....	84
Διάγραμμα 8: Θερμοκρασία Ψύξης συναρτήσεσι Πόλης.....	85
Διάγραμμα 9: Διακύμανση Θερμοκρασίας Εδάφους συναρτήσεσι Πόλης.....	86

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Ενέργεια.....	10
Εικόνα 2: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	11
Εικόνα 3: Πέτρινος Ανεμόμυλος.....	15
Εικόνα 4: Πανεμόνιο.....	16
Εικόνα 5: Ταξινόμηση α/γ με βάση την φορά του άξονα περιστροφής.....	18
Εικόνα 6: Αύξηση Ισχύος Ανέμου με το Υψόμετρο.....	18
Εικόνα 7: Ανεμογεννήτρια Savonius και Ανεμογεννήτρια Darrieus.....	19
Εικόνα 8: Υβριδικές Ανεμογεννήτριες.....	20
Εικόνα 9: Βασικά Μέρη Ανεμογεννήτριας.....	21
Εικόνα 10: Θαλάσσιο Αιολικό Πάρκο London Array.....	23
Εικόνα 11: Γραφική Αναπαράσταση του Ομόρου και της Εξασθένησης του με την Απόσταση.....	24
Εικόνα 12: Γραφική Αναπαράσταση της Μερικής Κάλυψης από τον Ομόρου μιας Ανεμογεννήτριας.....	25
Εικόνα 13: Συμφιλιώνοντας τα Πουλιά με τις Ανεμογεννήτριες.....	26
Εικόνα 14: Ανεμολόγιο - Ονοματολογία Ανέμων.....	28
Εικόνα 15: Πολικό Διάγραμμα.....	28
Εικόνα 16: Χάρτης Αιολικού Δυναμικού Ελλάδας.....	31
Εικόνα 17 Χωροθέτηση Ανεμογεννητριών.....	32
Εικόνα 18: Επίπεδο έδαφος με δέντρα για εμπόδια.....	33
Εικόνα 19: Επίπεδο έδαφος με κτίριο για εμπόδιο.....	33
Εικόνα 20: Απεικόνιση ροής αέρα σε επίπεδο εδάφους με κτίριο και δέντρα για εμπόδια.....	34
Εικόνα 21: Κατανομή ταχύτητας πάνω από λόφο.....	35
Εικόνα 22: Κατανομή ταχύτητας πάνω από υψίπεδο.....	35
Εικόνα 23: Περιοχή μέγιστης ταχύτητας σε διάσελο.....	36
Εικόνα 24: Μοντέλο δίσκου ενεργοποίησης.....	38
Εικόνα 25: Θέσεις ενδιαφέροντος ανάλυσης δίσκου ενεργοποίησης.....	39
Εικόνα 26: Κατανομές πίεσης και ταχύτητας γύρω από το δίσκο ενεργοποίησης.....	40



Πτυχιική Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

Εικόνα 27: Χαρακτηριστικά μεγέθη - παράμετροι δίσκου ενεργοποίησης (ταχύτητες ανέμου, συντελεστής ισχύος CP, συντελεστής ώσηςCT).....	43
Εικόνα 28: Απόδοση δρομέα ως προς το λόγο ταχυστροφίας TSR.....	45
Εικόνα 29: Καμπύλες απόδοσης – συντελεστή ισχύος για διάφορους τύπους Α/Γ και αριθμούς πτερυγίων, ως προς το λόγο ταχύτητας ακροπτερυγίου TSR.....	45
Εικόνα 30: Τυπικό διάγραμμα C _{pr} ως προς το συντελεστή ταχυστροφίας λ, για Α/Γ οριζοντίου άξονα με τα πτερύγια σε συγκεκριμένη γωνία κλίσης (pitch).....	46
Εικόνα 31: Βασικά Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Αεροτομής.....	47
Εικόνα 32: Ορισμός γωνίας προσβολής πτερυγίου.....	47
Εικόνα 33: Ανάλυση δύναμης αντίδρασης.....	48
Εικόνα 34: Πεδίο πίεσης γύρω από πτέρυγα.....	50
Εικόνα 35: Αιολικό Πάρκο Τρίκορφα.....	52
Εικόνα 36: Χάρτης με την τοποθεσία του Α/Π.....	53
Εικόνα 37: Ετήσια θερμοκρασιακή κατανομή στον Άραξο.....	53
Εικόνα 38: Ετήσιες καιρικές συνθήκες στην περιοχή του Άραξο.....	54
Εικόνα 39: Κατανομή μέγιστων θερμοκρασιών περιοχής Άραξο.....	54
Εικόνα 40: Ετήσια κατανομή ταχύτητας ανέμων στην περιοχή του Άραξο.....	55
Εικόνα 41: Ροδόγραμμα περιοχής Άραξο.....	55
Εικόνα 42: Φύλλο Εκκίνησης 1ου Σεναρίου.....	56
Εικόνα 43: Κλιματικά δεδομένα περιοχής Αράξο 1ου Σεναρίου.....	56
Εικόνα 44: Ενεργειακό Μοντέλο 1ου Σεναρίου.....	58
Εικόνα 45: Δεδομένα και Καμπύλες 1ου Σεναρίου.....	58
Εικόνα 46: Ενεργειακό Μοντέλο 1ου Σεναρίου.....	59
Εικόνα 47: Υπολογισμός Κόστους(1) 1ου Σεναρίου.....	61
Εικόνα 48: Υπολογισμός Κόστους(2) 1ου Σεναρίου.....	62
Εικόνα 49: Ανάλυση Εκπομπών(1) 1ου Σεναρίου.....	63
Εικόνα 50: Ανάλυση Εκπομπών(2) 1ου Σεναρίου.....	63
Εικόνα 51: Οικονομική Ανάλυση(1) 1ου Σεναρίου.....	65
Εικόνα 52: Οικονομική Ανάλυση(2) 1ου Σεναρίου.....	66
Εικόνα 53: Διάγραμμα Χρηματοροών 1ου Σεναρίου.....	66
Εικόνα 54: Ετήσια θερμοκρασιακή κατανομή στον Αλιάρτο.....	67
Εικόνα 55: Ετήσιες καιρικές συνθήκες στην περιοχή της Αλιάρτου.....	68
Εικόνα 56: Κατανομή μέγιστων θερμοκρασιών περιοχής Αλιάρτου.....	68
Εικόνα 57: Ετήσια κατανομή ταχύτητας ανέμων στην περιοχή της Αλιάρτου.....	69
Εικόνα 58: Ροδόγραμμα περιοχής Αλιάρτου.....	69
Εικόνα 59: Φύλλο Εκκίνησης 2ου Σεναρίου.....	70
Εικόνα 60: Κλιματικά δεδομένα περιοχής Αλιάρτου 2ου Σεναρίου.....	70
Εικόνα 61: Ενεργειακό Μοντέλο 2ου Σεναρίου.....	72
Εικόνα 62: Δεδομένα και Καμπύλες 2ου Σεναρίου.....	72
Εικόνα 63: Ενεργειακό Μοντέλο 2ου Σεναρίου.....	73
Εικόνα 64: Υπολογισμός Κόστους(1) 2ου Σεναρίου.....	73
Εικόνα 65: Υπολογισμός Κόστους(2) 2ου Σεναρίου.....	74
Εικόνα 66: Ανάλυση Εκπομπών(1) 2ου Σεναρίου.....	74
Εικόνα 67: Ανάλυση Εκπομπών(2) 2ου Σεναρίου.....	75
Εικόνα 68: Οικονομική Ανάλυση(1) 2ου Σεναρίου.....	76
Εικόνα 69: Οικονομική Ανάλυση(2) 2ου Σεναρίου.....	76
Εικόνα 70: Διάγραμμα Χρηματοροών 2ου Σεναρίου.....	77



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αιολική ενέργεια είναι μια μορφή ενέργειας που χρησιμοποιείται από αρχαιοτάτων χρόνων. Το όνομά της προήλθε από τον «ταμία» των ανέμων, τον Αρχαίο Αίολο. Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, γιατί η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό τους ανέμους. Είναι μια ήπια μορφή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον, πρακτικά ανεξάντλητη. Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας με συστηματικό τρόπο άρχισε παγκοσμίως στις αρχές της δεκαετίας του '80 και αυξήθηκε πολύ τα τελευταία χρόνια. Είναι πλέον πολύ διαδεδομένη στις ημέρες μας. Η χώρα μας, με μεγάλη παράδοση στην εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, προσφέρεται ιδιαίτερα για την αξιοποίηση αυτής της ανανεώσιμης και καθαρής πηγής αφού διαθέτει ισχυρούς ανέμους, βουνοκορφές και απομονωμένα νησιά. Έτσι, σε όλη την επικράτεια της Ελλάδας υπάρχουν αιολικά πάρκα που μετατρέπουν τη δύναμη του αέρα σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα αιολικά πάρκα αποτελούνται από έναν αριθμό ανεμογεννητριών και κατασκευάζονται σε περιοχές που μετά από μελέτες διαπιστώνεται ότι τοπικά πνέουν κατάλληλοι άνεμοι. Όταν οι άνεμοι πνέουν με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή την τιμή, τότε το αιολικό δυναμικό του τόπου θεωρείται εκμεταλλεύσιμο και οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες, σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα.

Η ανεμογεννήτρια είναι αιολική μηχανή που μετατρέπει τον άνεμο από κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Η κατασκευή της αποτελείται από μία στήλη κάθετη προς το έδαφος και από μία τουρμπίνα στην κορυφή της. Ο άνεμος περιστρέφει τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας, τα οποία είναι συνδεδεμένα με ένα περιστρεφόμενο άξονα. Ο άξονας περνάει μέσα σε ένα κιβώτιο μετάδοσης της κίνησης όπου αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής. Το κιβώτιο συνδέεται με έναν άξονα μεγάλης ταχύτητας περιστροφής ο οποίος κινεί μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Αν η ένταση του ανέμου ενισχυθεί πάρα πολύ, η τουρμπίνα έχει ένα φρένο που περιορίζει την υπερβολική αύξηση περιστροφής των πτερυγίων για να περιοριστεί η φθορά της και να αποφευχθεί η καταστροφή της.

Ωστόσο, η εγκατάσταση ανεμογεννητριών εγείρει ακόμα μεγάλο θέμα συζήτησης στις τοπικές κοινότητες σε Ελλάδα και εξωτερικό, με γνωστότερο το κίνημα με σύνθημα "Not in my backyard" στην Αγγλία το 2007.

Ακόμα όμως η φωνή αρκετών περιβαλλοντολόγων τονίζει την αξία της πράσινης ενέργειας, αφού οι εναλλακτικές πηγές εξασφαλίζουν τις ενεργειακές μας ανάγκες με καθαρό περιβαλλοντικό αποτύπωμα και χωρίς να εξαντλούνται οι φυσικοί πόροι.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 Εισαγωγή

Η ενέργεια αποτελεί αγαθό πρώτης ανάγκης καθώς ο άνθρωπος όσο αναπτύσσει τον πολιτισμό του, την χρειάζεται συνεχώς και σε μεγαλύτερες ποσότητες προκειμένου να κάνει την ζωή του πιο ποιοτική και πιο εύκολη. Για τον άνθρωπο η ενέργεια έχει τεράστια σημασία γιατί καθιερώνει την σημερινή “τεχνολογική εποχή”. Με την ενέργεια που έχει ο άνθρωπος στην διάθεση του, μαγειρεύει, ζεσταίνει και φωτίζει τον χώρο του, κινεί μηχανές, στέλνει μηνύματα σε μεγάλες αποστάσεις. Επειδή, όμως στην φύση δεν υπάρχει αφθονία ενέργειας συνήθως χρειάζεται ορισμένη επεξεργασία για να μετατραπεί στην απαιτούμενη από τις διάφορες χρήσης μορφή. Για λόγους γεωπολιτικούς και προστασίας του περιβάλλοντος, έχει ήδη αρχίσει και θα συνεχίσει να εξελίσσεται, τόσο διεθνώς όσο και στην χώρα μας, η διεύρυνση της χρήσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) σε συνδυασμό με την Ορθολογική Χρήση & την Εξοικονόμηση Ενέργειας.

1.2 Ορισμός της Ενέργειας

Η ενέργεια είναι μια σχετικά απροσδιόριστη έννοια, την οποία όμως μπορούμε να την αντιληφθούμε. Για παράδειγμα, μπορούμε να αντιληφθούμε την δυνατότητα μεταφοράς θερμότητας. Από φυσική άποψη, με τον όρο ενέργεια νοείται η ικανότητα ενός συστήματος να παράγει έργο σε ένα άλλο σύστημα ή να μετατρέπεται από μια μορφή σε μία άλλη. Βέβαια η λέξη έργο είναι και αυτή ένας γενικός όρος και ο ορισμός του είναι το γινόμενο μιας δύναμης επί την απόσταση στην οποία δρα η δύναμη.

1.3 Ιστορική Αναδρομή

Η λέξη ενέργεια αναφέρεται για πρώτη φορά το 1599 (σε μη ελληνικά κείμενα), αλλά η ακριβής σημασία της στη φυσική δεν είναι ξεκάθαρη μέχρι το 1850. Η έννοια της ενέργειας αναπτύχθηκε από το αρχαϊκό «πυρ», ένα από τα τέσσερα βασικά «στοιχεία» της φύσης σύμφωνα με τον Εμπεδοκλή κατά τον 5ο αιώνα π.Χ. (τα άλλα τρία ήταν η γη, το νερό και ο αέρας), έννοια που έμεινε ακλόνητη σχεδόν για 2000 χρόνια, στη «ζώσα δύναμη» (vis viva) του 18ου αιώνα

Η πρώτη ασφαλώς φάση της χρήσης ενέργειας από τον άνθρωπο συνδέεται με τη χρήση της μυϊκής του δύναμης. Μπορεί να υποτεθεί ότι η μέση χρήση της μυϊκής δύναμης ανερχόταν τότε στα 25 W (Sorensen, 2004). Όταν γενικεύτηκε η χρήση της φωτιάς, θα πρέπει να πραγματοποιούνταν μια σειρά από δραστηριότητες που βασίζονταν στην καύση της ξυλείας και των υποπροϊόντων της (θέρμανση, παρασκευή τροφίμων, επεξεργασία εργαλείων κτλ.). Η παλαιότερη ένδειξη φωτιάς σε κατοικίες βρέθηκε στην Ουγγαρία και χρονολογείται 400.000-350.000 χρόνια πριν από σήμερα.

Η επόμενη φάση στη χρήση της ενέργειας θα πρέπει να συνδέεται με την εξημέρωση ορισμένων άγριων ζώων και με την εισαγωγή των αγροτικών καλλιεργειών. Αυτές οι δραστηριότητες χρονολογούνται περίπου πριν από 10.000 χρόνια και αναπτύχθηκαν κυρίως στην Εγγύς Ανατολή και σε ορισμένα μεμονωμένα



μέρη (Ταϊλάνδη, Ινδός ποταμός, Περού). Η εποχή αυτή συμπίπτει με το λιώσιμο των πάγων που κάλυπταν μεγάλο μέρος της Ευρώπης και άλλων ηπείρων.

Η ανάπτυξη πληθυσμών σε σημαντικό μέγεθος με παράλληλη αύξηση του πολιτιστικού επιπέδου γύρω στα 5000 χρόνια πριν αποτελεί ασφαλώς αναμφισβήτητο μάρτυρα της αυξημένης χρήσης ενέργειας για όργωμα, άλεση, άρδευση και μεταφορά τροφίμων και για κατασκευή υλικών, κτηρίων και μνημείων.

Η κατασκευή σπιτιών σε πολλές περιπτώσεις (Αρχαία Ελλάδα, Ρώμη) πραγματοποιούνταν με τη χρήση της ηλιακής ενέργειας (παθητικά ηλιακά συστήματα). Ήδη από τον 5ο αιώνα π.Χ. ο Σωκράτης συνιστούσε τη χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων. Στις περιοχές με σχετικά ψυχρό κλίμα, χρησιμοποιήθηκαν μια σειρά από μονωτικά υλικά (π.χ. στέγες από άχυρο) για να μειωθούν οι απώλειες θερμότητας. Οι νερόμυλοι και οι ανεμόμυλοι έπαιξαν κάποιο, μικρό σχετικά, ρόλο στη χρήση ενέργειας.

1.4 Μορφές Ενέργειας

Οι μορφές ενέργειας εμφανίζονται μόνο κατά την μεταφορά τους από σώμα σε σώμα (ή από σύστημα σε σύστημα). Κατά την ανταλλαγή μεταξύ των διαφόρων συστημάτων η ενέργεια εμφανίζεται σε διάφορες μορφές όπως:

- ♦ **Κινητική Ενέργεια:** Η ενέργεια που επιτελείται από την κίνηση της ύλης.
- ♦ **Δυναμική Ενέργεια:** Η ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη ή σε ηρεμία σε μία ύλη.
- ♦ **Χημική Ενέργεια:** Προέρχεται από την αλλαγή της χημικής δομής των ουσιών, όπως συμβαίνει κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων. Άλλες μορφές χημικής ενέργειας είναι το υδρογόνο, ή τροφή στο στομάχι μας και οι μπαταρίες.
- ♦ **Ηλεκτρική Ενέργεια:** Σχετίζεται με τη θέση ενός ηλεκτρικού φορτίου σε ένα ηλεκτρικό πεδίο. Επίσης μπορεί να βρίσκεται αποθηκευμένη σε ένα συσσωρευτή ή σε μία κυψελίδα καυσίμων.
- ♦ **Μηχανική Ενέργεια:** Προέρχεται από δύναμη που εφαρμόζεται ή πρόκειται να εφαρμοστεί σε κάποιο υλικό μέσο (στερεό, υγρό ή αέριο).
- ♦ **Θερμική Ενέργεια:** Απορρέει από τη θερμότητα που δίνεται ή λαμβάνεται από ένα υλικό. Συνδέεται με τις τυχαίες μοριακές κινήσεις μέσα σε ένα μέσο.
- ♦ **Ηλεκτρομαγνητική Ενέργεια:** Η ενέργεια που μεταφέρεται μέσω ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως είναι η ηλιακή ενέργεια.
- ♦ **Πυρηνική Ενέργεια:** αφορά την πυρηνική σχάση (nuclearfission), η οποία προέρχεται από τη σχάση του πυρήνα ενός ατόμου σε δύο ή περισσότερα σωματίδια από την πρόσκρουση με νετρόνια, με επακόλουθο την απελευθέρωση της δύναμης με την οποία είναι συνδεδεμένα τα πρωτόνια και τα νετρόνια του πυρήνα.



Εικόνα 1: Ενέργεια
Πηγή: <https://www.philenews.com>

1.5 Ορισμός Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ή ήπιες μορφές ενέργειας είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, ο ήλιος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Ως ανανεώσιμες πηγές θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας. Ο χαρακτηρισμός “ανανεώσιμες” είναι κάπως καταχρηστικός, αφού ορισμένες από αυτές δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών. Σε κάθε περίπτωση οι ΑΠΕ έχουν μελετηθεί ως λύση στο πρόβλημα της ανανεωμένης εξάντλησης των (μη ανανεώσιμων) αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων.

Τελευταία, από την Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και από πολλά άλλα κράτη, υιοθετούνται νέες πολιτικές για την χρήση των ΑΠΕ που τις καθιστούν μοντέλο οικονομικής ανάπτυξης της πράσινης οικονομίας σημείο εστίασης των οικολογικών οικονομικών.

1.6 Μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

- ♦ **Αιολική ενέργεια:** Χρησιμοποιήθηκε παλιότερα για την άντληση νερού από πηγάδια, καθώς και για μηχανικές εφαρμογές (π.χ. την άλεση στους ανεμόμυλους). Έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται ευρέως για ηλεκτροπαραγωγή.
- ♦ **Ηλιακή ενέργεια:** Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές, ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, με την βοήθεια της πολιτικής προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας από το ελληνικό κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση.
- ♦ **Υδραυλική Ενέργεια:** Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί, έχουν την ικανότητα να μετατρέπουν την δυναμική ενέργεια που έχει το τρεχούμενο νερό σε ηλεκτρική ενέργεια.
- ♦ **Βιομάζα:** Χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας ξύλου, τροφίμων και ζωοτροφών και της βιομηχανίας ζάχαρης), με σκοπό την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε από το



φυτό με τη φωτοσύνθεση. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αστικά απόβλητα και απορρίμματα.

- ♦ **Γεωθερμική Ενέργεια:** Προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται από τη ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της Γης. Είναι εκμεταλλεύσιμη εκεί όπου η θερμότητα αυτή ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια, π.χ. στους θερμοπίδακες ή στις πηγές ζεστού νερού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για θερμικές εφαρμογές, είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού.
- ♦ **Ενέργεια από την θάλασσα:** Προέρχεται από τρεις διαφορετικές ενέργειες. Η πρώτη είναι η ενέργεια από τις παλίρροιες, η δεύτερη είναι η ενέργεια από τα κύματα και η τρίτη είναι η ενέργεια από τους ωκεανούς.
- ♦ **Ωσμωτική Ενέργεια:** Η ανάμειξη γλυκού και θαλασσινού νερού απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες ενέργειας, όπως συμβαίνει όταν ένα ποτάμι εκβάλλει στον ωκεανό.



Εικόνα 2: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
Πηγή: <https://www.reporter.gr/>

1.7 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Τα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ είναι πολλά και σημαντικά. Το σημαντικότερο είναι τα εξής:

- ♦ Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, καθώς δε μολύνουν την ατμόσφαιρα, αφού έχουν μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα. Για την άντλησή τους δεν απαιτείται παρέμβαση σ' αυτό.
- ♦ Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, καθώς χρησιμοποιούν φυσικά φαινόμενα τα οποία παρέχουν απεριόριστη ενέργεια που θα μπορεί να αξιοποιηθεί για δισεκατομμύρια χρόνια.
- ♦ Ο εξοπλισμός τους είναι απλός στην κατασκευή και την συντήρηση και έχει πολύ μεγάλο χρόνο ζωής.



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

- ◆ Συμβάλλουν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, αφού υπάρχουν σε πολλά γεωγραφικά σημεία και καλύπτουν ενεργειακές ανάγκες σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο.
- ◆ Μειώνουν τις απώλειες κατά τη μεταφορά ενέργειας.
- ◆ Είναι ευέλικτες εφαρμογές, που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του τοπικού πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις
- ◆ Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.

Εκτός όμως από τα πλεονεκτήματα υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα με κυριότερα τα εξής:

- ◆ Έχουν μικρό συντελεστή απόδοσης, περίπου 30% ή και χαμηλότερο, άρα απαιτείται μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια της γης, γι' αυτό μέχρι σήμερα χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας. Γι' αυτόν τον λόγο λοιπόν δεν μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες μεγάλων αστικών κέντρων.
- ◆ 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 στην οποία εγκαθίστανται.
- ◆ Για τις αιολικές μηχανές υπάρχουν αντιρρήσεις που αφορούν την αισθητική και τον θόρυβο που προκαλούν, γι' αυτό και δεν τοποθετούνται κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Για τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια λένε ότι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου με την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω από το νερό.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

2.1 Ιστορία Αιολικής Ενέργειας

Η αιολική ενέργεια που πήρε το όνομά της από τον Αίολο της μυθολογίας μας, τον κλειδοκράτορα των ανέμων και χρησιμοποιήθηκε αρχικά στη ναυσιπλοΐα, αλλά η μεταφορά της επί ξηράς δεν άργησε: η πρώτη χρήση τροχού που κινείται από τον αέρα για τη λειτουργία μηχανής γίνεται τον 1ο αι. μ.Χ. στην Αλεξάνδρεια και έπειτα την ξανασυναντάμε ανάμεσα στον 6ο & 9ο αι. μ.Χ. στην Περσία. Στην Κίνα οι πρώτοι ανεμόμυλοι αναφέρονται στα γραπτά του 13ου αι. μ.Χ., ενώ την ίδια περίοδο κατασκευάζονται και στην Ευρώπη με πρότυπο τους πιο οικείους τους νερόμυλους, ούτως ώστε να διευκολυνθεί το άλεσμα των δημητριακών και η άντληση νερού. Στη χώρα μας, η χρήση της αιολικής ενέργειας ήταν εκτεταμένη από πολύ νωρίς, αφού το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας ήταν πάντα μεγάλο. Μέχρι τα τέλη του 18ου αιώνα οι άνθρωποι για να καλύψουν τις ενεργειακές τους ανάγκες χρησιμοποιούσαν κυρίως τον άνεμο (ανεμόμυλοι), το νερό (νερόμυλοι) και το ξύλο. Στην επόμενη φάση, η βιομηχανική επανάσταση έχει ως σύμβολό της τον γαιάνθρακα, ο οποίος θα αποδειχθεί ιδιαίτερα βλαβερός για το περιβάλλον, αλλά πολύ αποτελεσματικός για την παραγωγή, αφού άλλαξε ολόκληρη την οικονομία. Στα μέσα του 19ου αιώνα ξεκινάει η χρήση του αερίου και του πετρελαίου στη συνέχεια. Κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου με την εξέλιξη των μηχανών και την κατασκευή της ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας πήρε άλλες διαστάσεις λόγω του πετρελαίου ήταν πολύ φθηνότερο και πιο ανταγωνιστικό στην αγορά ενέργειας.

2.2 Ορισμός Αιολικής Ενέργειας

Η αιολική ενέργεια είναι μια βιώσιμη και ανανεώσιμη ενέργεια και έχει πολύ μικρότερο αντίκτυπο στο περιβάλλον σε σύγκριση με την καύση ορυκτών καυσίμων, γι' αυτό αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται ως «ήπια μορφή ενέργειας» και περιλαμβάνεται στις «καθαρές» πηγές όπως συνηθίζονται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Επίσης, τα οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιοσημείωτα.

2.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας

Πλεονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας

- ♦ Το «καύσιμο» (ο άνεμος) είναι άφθονο, αποκεντρωμένο και δωρεάν.
- ♦ Δεν εκλύονται στην ατμόσφαιρα αέρια θερμοκηπίου και άλλοι ρύποι, και έτσι οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα.
- ♦ Τα οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιοσημείωτα.



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

- ♦ Η αιολική ενέργεια είναι σήμερα η φθηνότερη μορφή ενέργειας (η τιμή εξαρτάται από την ύπαρξη/παροχή ανέμου και από τη χρηματοδότηση ή μη του εκάστοτε προγράμματος παραγωγής αιολικής ενέργειας).
- ♦ Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτόρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χώρων, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
- ♦ Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και την συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής.
- ♦ Η αιολική ενέργεια ενισχύει την ενεργειακή ανεξαρτησία και ασφάλεια.
- ♦ Η αιολική ενέργεια πάνω από όλα έχει φέρει έναν άνεμο αλλαγής στα ενεργειακά και περιβαλλοντικά δεδομένα, ενώ δημιουργεί τις προϋποθέσεις για την οικονομική ανάπτυξη περιοχών με υψηλό αιολικό δυναμικό και τη διασφάλιση ενός βιώσιμου μέλλοντος για εμάς και τα παιδιά μας.

Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας

- ♦ Ως μορφή ενέργειας παρουσιάζει χαμηλή πυκνότητα και έχει αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιείται σαν συμπληρωματική πηγή ενέργειας.
- ♦ Η αιολική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί (εκτός αν χρησιμοποιηθούν μπαταρίες).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

3.1 Ιστορία Αιολικών Μηχανών

Οι Αιολικές Μηχανές αποτελούν ανθρώπινες επινοήσεις που έχουν σκοπό την αποτελεσματική αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου. Αντίστοιχες συσκευές όπως οι αιολικές μηχανές ή ανεμόμυλοι, όπως ονομάζονταν στο παρελθόν, χρησιμοποιούνταν από τους Κινέζους, τους Πέρσες, τους Ασσύριους αλλά και από τους αρχαίους Έλληνες από τα πρώιμα ιστορικά χρόνια. Οι ανεμοκινητήρες ή ανεμογεννήτριες (α/γ) επανήλθαν στο προσκήνιο της ενεργειακής τεχνολογίας στα μέσα της δεκαετίας του 70', κυρίως σαν συνέπεια των διαδοχικών ενεργειακών κρίσεων αλλά και της επιδεινούμενης περιβαλλοντικής υποβάθμισης. Βάσει των παραπάνω ξεκίνησε αρχικά στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α και αργότερα στην Ευρώπη μια έντονη δραστηριοποίηση στον τομέα των εφαρμογών των αιολικών μηχανών, με αποτέλεσμα στις αρχές του 2000 να βρίσκονται εγκατεστημένα περισσότερα από 15.000 αιολικά MW σε διάφορες περιοχές του πλανήτη.



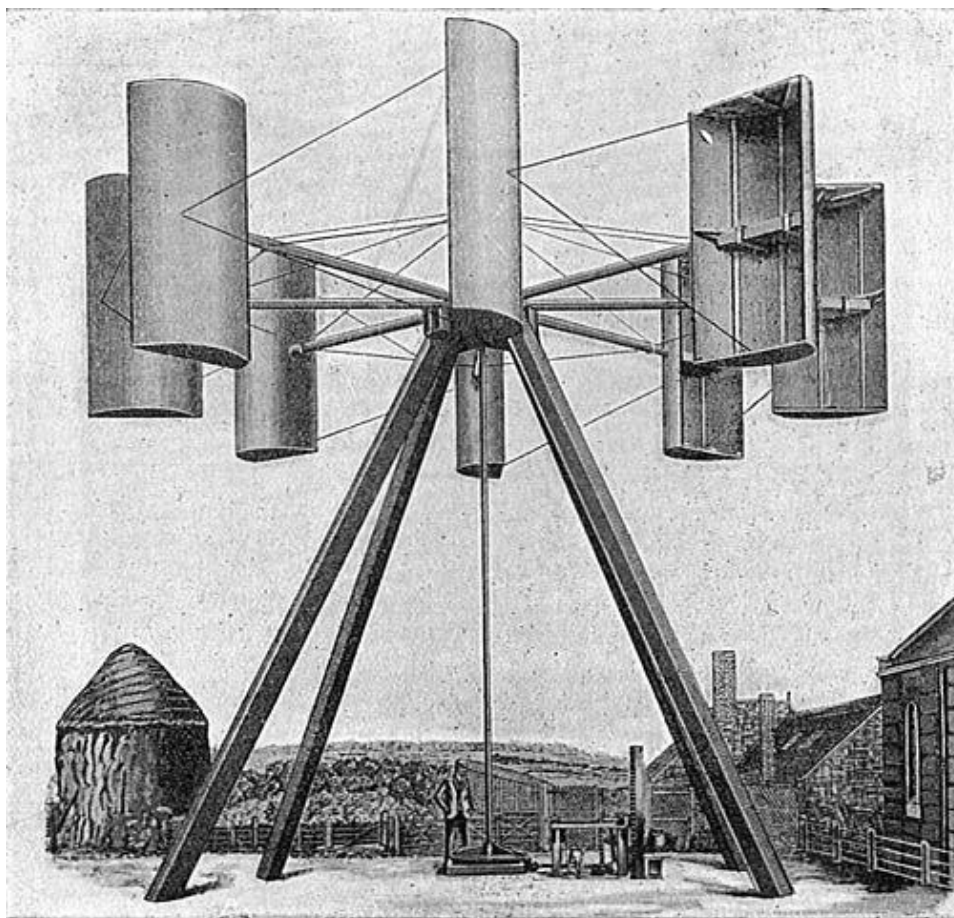
Εικόνα 3: Ανεμόμυλος
Πηγή: <https://aromalefkadas.gr>

3.1.1 Πανεμόνιο

Το Πανεμόνιο είναι ο αρχαιότερος τύπος αιολικής μηχανής. Χρησιμοποιήθηκε γύρω στον 7ο αιώνα π.Χ στην κοιλάδα της Μεσοποταμίας για την άντληση νερού και είναι αιολική μηχανή κατακόρυφου άξονα, που διαθέτει 2-4 ημικυλινδρικά πτερύγια, στρέφεται με αργό ρυθμό και έχει το μικρότερο συντελεστή απόδοσης σε σχέση με



τις υπόλοιπες μηχανές. Χρόνια αργότερα εμφανίστηκε μια παρόμοια μηχανή στην Κίνα.



Εικόνα 4: Πανεμόνιο
Πηγή: <https://www.timetoast.com>

3.2 Τύποι Ανεμογεννητριών

Οι πλέον διαδεδομένοι τύποι ανεμοκινητήρων είναι οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου (Horizontal Axis Wind Turbines - HAWT) και οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα (Vertical Axis Wind Turbines - VAWT), με κάθε τύπο να φέρει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του. Επίσης, και οι δύο προσεγγίσεις μπορούν να αποτελούνται από διαφορετικό αριθμό πτερυγίων, με την κάθε επιλογή να έχει τις ιδιαιτερότητές της. Οι περισσότερες μηχανές είναι οριζόντιου άξονα με δρομέα τριών πτερυγίων. Αν και έχουν γίνει πολλές έρευνες και για ανεμογεννήτριες διαφορετικών τύπων δεν έχουν ακόμα αναπτυχθεί σε βαθμό που να αποτελούν αξιόπιστες εναλλακτικές λύσεις.



3.2.1 Ανεμογεννήτριες Οριζόντιου Άξονα

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, έχουν τον άξονά τους παράλληλα προς της επιφάνεια της γης και συνήθως παράλληλο με τη διεύθυνση του ανέμου. Επιπλέον, μπορούν να έχουν ένα, δύο, τρία ή ακόμα και πενήντα πτερύγια ενώ η πτερωτή τους μπορεί να τοποθετηθεί είτε σε προσήνεμη διάταξη, δηλαδή μπροστά από τον πύργο στήριξης, είτε σε υπήνεμη διάταξη, δηλαδή πίσω από τον πύργο στήριξης σε σχέση με την διεύθυνση του ανέμου. Κατά κύριο λόγο σήμερα (περίπου το 90% του συνόλου) χρησιμοποιούνται οι ανεμογεννήτριες τύπου “έλικας”. Οι μηχανές αυτές χρησιμοποιούν συνήθως ένα έως τρία πτερύγια, τα οποία βασίζονται στην τεχνολογία των αεροπορικών ελίκων.

Πλεονεκτήματα Ανεμογεννητριών Οριζόντιου Άξονα:

- ♦ Λόγω του ύψους της ανεμογεννήτριας, εκμεταλλεύεται και άνεμο μεγαλύτερης ταχύτητας.
- ♦ Εύκολη συναρμολόγηση.
- ♦ Υψηλό αεροδυναμικό συντελεστή.
- ♦ Υψηλότερη αποδοτικότητα και καλύτερη απόδοση σε σχέση με τις ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα.

Μειονεκτήματα Ανεμογεννητριών Οριζόντιου Άξονα:

- ♦ Η λειτουργία της ανεμογεννήτριας έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή θορύβου.
- ♦ Λόγω του μεγέθους κοστίζει πολύ η κατασκευή και η μεταφορά της.
- ♦ Για να εκμεταλλεύεται η ανεμογεννήτρια συνέχεια τον άνεμο, χρειάζεται έναν μηχανισμό περιστροφής για τον προσανατολισμό των πτερυγίων στην διεύθυνση του ανέμου.

3.2.2 Ανεμογεννήτριες Κατακόρυφου Άξονα

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα διαθέτουν πτερύγια που είναι προσαρτημένα στην κορυφή και στον πυθμένα ενός κατακόρυφου δρομέα και μοιάζουν με τέμπλες. Οι μηχανές αυτές εμφανίζουν το σημαντικό πλεονέκτημα αυτόματης προσαρμογής στη διεύθυνση του ανέμου, ως εκ τούτου αποτελούν πιο απλές κατασκευές.

Πλεονεκτήματα Ανεμογεννητριών Κατακόρυφου Άξονα:

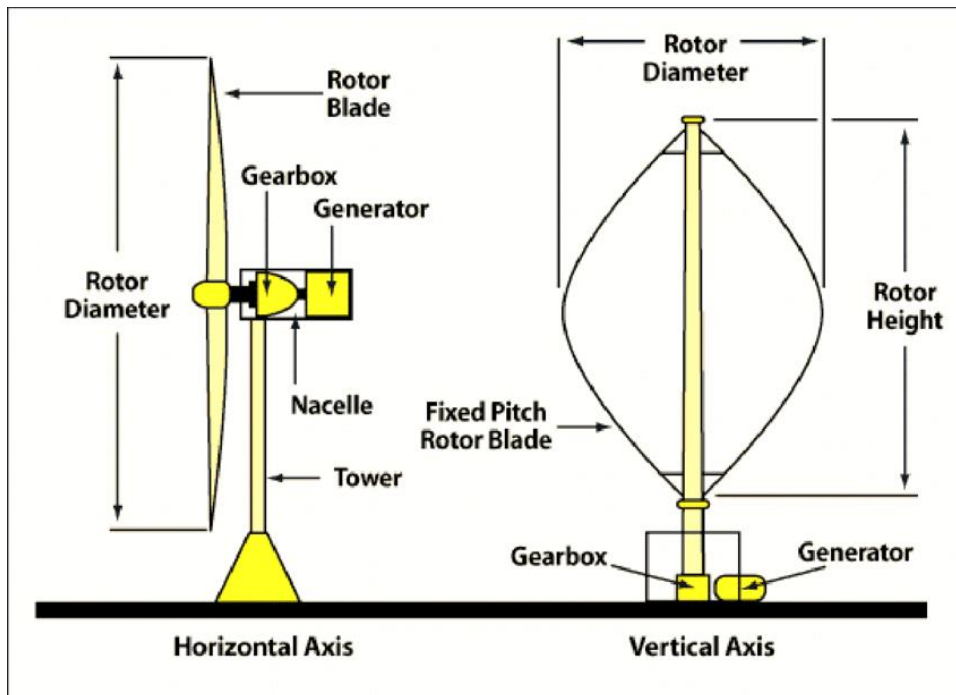
- ♦ Εκμεταλλεύεται τον άνεμο από όλες τις διευθύνσεις.
- ♦ Η γεννήτρια και το κιβώτιο ταχυτήτων είναι τοποθετημένο στην βάση και έτσι είναι πιο εύκολη η τοποθέτηση και η συντήρηση αυτών των μηχανικών μερών.
- ♦ Παράγει λιγότερο θόρυβο.
- ♦ Μπορεί να τοποθετηθεί σε περισσότερα μέρη λόγω του μεγέθους (όπως μέσα στην πόλη, στις ταράτσες, σε αυτοκινητόδρομους).
- ♦ Η κατασκευή της είναι πιο απλή και χαμηλότερου κόστους.

Μειονεκτήματα Ανεμογεννητριών Κατακόρυφου Άξονα:

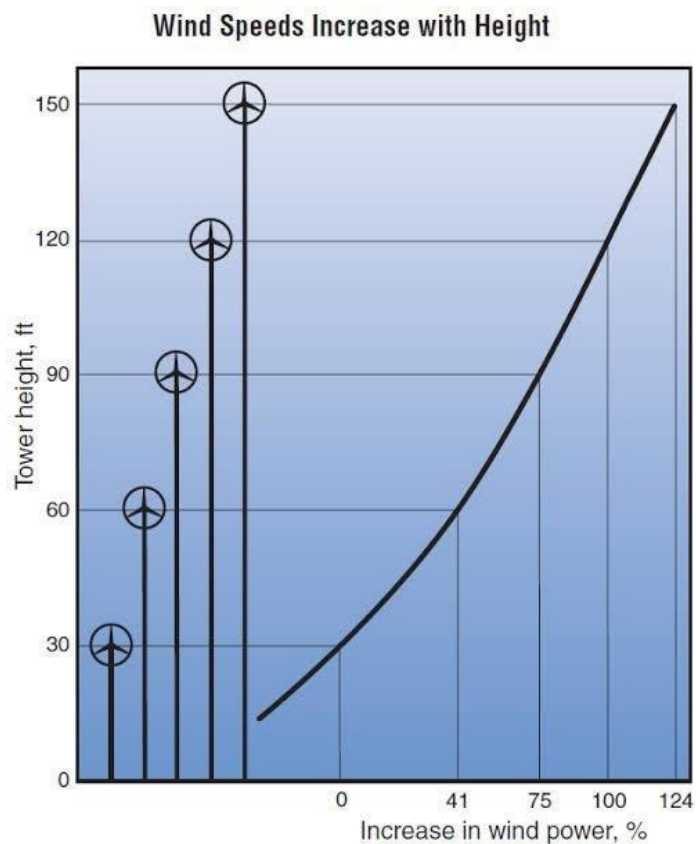
- ♦ Χαμηλή απόδοση.
- ♦ Ροπή εκκίνησης υψηλή που σημαίνει χαμηλή ταχύτητα περιστροφής.
- ♦ Λόγω του μικρού μεγέθους δεν μπορεί να εκμεταλλευτεί άνεμο υψηλών ταχυτήτων.
- ♦ Υπάρχει δυσκολία συντήρησης σε κάποια μηχανικά μέρη, για παράδειγμα η αλλαγή των εδράνων κύλισης.



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ



Εικόνα 5: Ταξινόμηση ανεμογεννητριών με βάση την φορά του άξονα περιστροφής
Πηγή: <https://www.researchgate.net/>



Εικόνα 6: Αύξηση Ισχύος Ανέμου με το Υψόμετρο
Πηγή: <https://www.researchgate.net/>

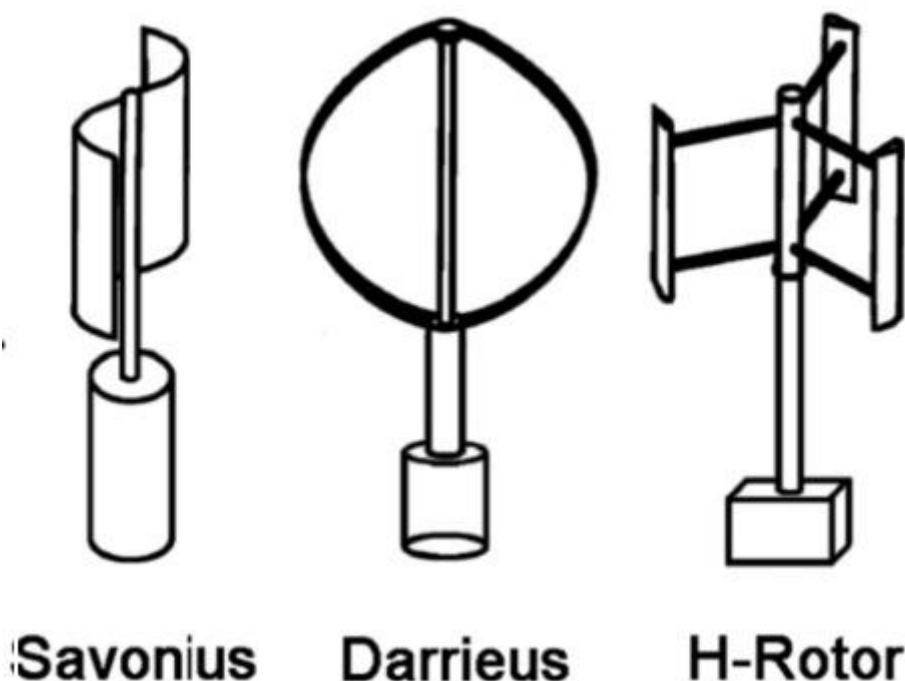


3.2.3 Ανεμογεννήτρια Savonius

Η ανεμογεννήτρια τύπου Savonius εφευρέθηκε το 1922 από τον Φινλανδό μηχανικό S.J Savonius. Πρόκειται για μια πολύ απλή ανεμογεννήτρια που λειτουργεί με βάση την αντίσταση, αφού αποτελείται από τα δύο μισά ενός κυλίνδρου τοποθετημένα σε αντίθετες κατευθύνσεις, σε σχήμα S πάνω στον ίδιο κατακόρυφο άξονα περιστροφής. Λόγω της καμπυλότητας, το πτερύγιο συναντά μικρότερη αντίσταση όταν περιστρέφεται ενάντια στον αέρα, παρά όταν περιστρέφεται με αυτόν. Η διαφορά αυτή στην αντίσταση είναι και η δύναμη που προκαλεί την περιστροφή του ρότορα. Οι τυπικές τιμές του μέγιστου συντελεστή απόδοσης για άλλες ανεμογεννήτριες κυμαίνονται στο 30% με 45%, στη Savonius περιορίζεται μόλις στο 25%.

3.2.4 Ανεμογεννήτρια Darrieus

Η ανεμογεννήτρια τύπου Darrieus εφευρέθηκε το 1931 από τον Γάλλο George J.M Darrieus. Πρόκειται για μια ανεμογεννήτρια που λειτουργεί κατά βάση από τη δυναμική άνωση. Υπάρχουν δύο τύποι σχεδιασμού της συγκεκριμένης ανεμογεννήτριας. Ο πρώτος σχηματισμός είναι με τα πτερύγια να βρίσκονται σε σχήμα αυγού και ο δεύτερος με τα πτερύγια να βρίσκονται κατακόρυφα (H-Darrieus), όπως επίσης και καινοτόμοι σχεδιασμοί με ελικοειδή πτερύγια. Κάθε τύπος αποτελείται από δύο ή περισσότερα συμμετρικά πτερύγια σε σχήμα αεροτομής, τα οποία είναι προσδεμένα πάνω στον άξονα περιστροφής. Ο αέρας που περνά από τα πτερύγια δημιουργεί αεροδυναμική άνωση, λόγω της θετικής γωνίας προσβολής που αντικρίζουν σε σχέση με τη ροή, με αποτέλεσμα να υπόκεινται σε περιστροφή.



Εικόνα 7: Ανεμογεννήτρια Savonius
& Ανεμογεννήτρια Darrieus
Πηγή: <https://newphysicist.com/>



3.2.5 Υβριδικές Ανεμογεννήτριες

Οι υβριδικές ανεμογεννήτριες δημιουργήθηκαν για να λύσουν το πρόβλημα της αυτό-εκκίνησης. Πρόκειται για συνδυασμό των ανεμογεννητριών Savonius και Darrieus, όπου η Savonius χρησιμοποιείται κυρίως για χαμηλές ταχύτητες αέρα και έχει την ικανότητα να τίθεται σε λειτουργία αυτόματα και η Darrieus που παίρνει την αρχική απαιτούμενη δύναμη από τη Savonius έτσι ώστε να ξεκινήσει την περιστροφή της. Επίσης, κατά τη λειτουργία, προσφέρουν και οι δύο ανεμογεννήτριες στο συνολικό συντελεστή απόδοσης. Επιπλέον εφαρμογή μπορεί να έχει και σε θαλάσσιο περιβάλλον με τη Savonius να λειτουργεί ως υδροστρόβιλος μέσα στο νερό και τη Darrieus να λειτουργεί με τον αέρα.



Εικόνα 8: Υβριδικές Ανεμογεννήτριες
Πηγή: <http://machines-history.wdfiles.com/>

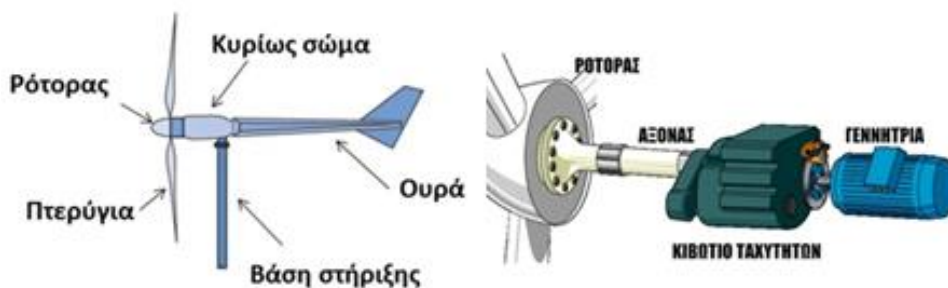
3.3 Βασικά Τμήματα Ανεμογεννήτριας Οριζόντιου Άξονα

- ♦ **Ρότορας:** Ο ρότορας των σύγχρονων ανεμογεννητριών αποτελείται από πτερύγια, των οποίων το σχήμα έχει προέλθει από αντίστοιχα πτερύγια αεροπορικών κινητήρων. Τα πτερύγια αυτά είναι κατασκευασμένα συνήθως από ελαφρά κράματα μετάλλων, ενισχυμένο πολυεστέρα αλλά και από ξύλο σε συνδυασμό με ειδικές ρητίνες.



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

- ♦ **Πλήμνη:** Τα πτερύγια είναι προσαρμοσμένα πάνω στην πλήμνη. Η μορφή της πλήμνης εξαρτάται τόσο από το είδος του ρότορα, όσο και από τους επιθυμητούς βαθμούς ελευθερίας στη θέση σύνδεσης πτερυγίων και άξονα.
- ♦ **Άξονας:** Ο άξονας της α/γ κατασκευάζεται από ειδικό ενισχυμένο χάλυβα, ώστε να μπορεί να μεταφέρει ισχυρές μη μόνιμες στρεπτικές και καμπτικές ροπές, ενώ η έδρασή του γίνεται συνήθως σε δύο έδρανα ικανά να παραλάβουν τόσο το βάρος του άξονα όσο και τα εξασκούμενα φορτία.
- ♦ **Σύστημα μετάδοσης κίνησης:** Το σύστημα μετάδοσης κίνησης περιλαμβάνει διβάθμιο ή τριβάθμιο κιβώτιο μετασχηματισμού της χαμηλής ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής στις υψηλές ταχύτητες περιστροφής, που λειτουργούν συνήθως οι ηλεκτρικές γεννήτριες.
- ♦ **Πύργος στήριξης:** Ο πύργος στήριξης της α/γ αποτελείται συνήθως είτε από ένα μεταλλικό δικτύωμα είτε από μια στήλη από οπλισμένο σκυρόδεμα ή μεταλλικό σωλήνα για μεγαλύτερες α/γ. Το ελάχιστο ύψος του πύργου στήριξης είναι συνήθως ίσο με την διάμετρο του ρότορα, ενώ κατά την εκλογή του θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν τόσο το αυξημένο κόστος κατασκευής και θεμελίωσης για μεγάλα ύψη όσο και η δυνατότητα αξιοποίησης υψηλότερων ταχυτήτων ανέμου με την αύξηση του ύψους τοποθέτησης της πτερωτής.



Εικόνα 9: Βασικά Μέρη Ανεμογεννήτριας
Πηγή: history.wikidot.com/&https://www.oleng.eu/



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ

4.1 Ορισμός Αιολικού Πάρκου

Αιολικό πάρκο ονομάζεται η χερσαία ή η θαλάσσια έκταση στην οποία έχει τοποθετηθεί ένας αριθμός ανεμογεννητριών με σκοπό την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε ηλεκτρική. Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση μεγάλου αριθμού ανεμογεννητριών σε περιοχές με σημαντική ένταση ανέμου, δημιουργώντας έτσι αιολικά πάρκα. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται το κόστος της επένδυσης ανά ανεμογεννήτρια, καθώς διάφορες συνιστώσες του, είναι ανεξάρτητες της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος. Ταυτόχρονα, όσο μεγαλώνει το μέγεθος του πάρκου, μειώνεται το κόστος συντήρησης και λειτουργίας ανά ανεμογεννήτρια. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους δε ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα με τη παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα ή άλλων αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

4.2 Θαλάσσια Αιολικά Πάρκα

Τα θαλάσσια αιολικά πάρκα παράγουν ρεύμα από τον άνεμο που φυσά στη θάλασσα. Τα θεμέλια των ανεμογεννητριών κατασκευάζονται στο βυθό της θάλασσας και ο πύργος της ανεμογεννήτριας είναι έξω από το νερό. Υπάρχει όμως, τεράστιο κόστος, μεγαλύτερο από ένα επίγειο αιολικό πάρκο, για να κατασκευαστεί ένα θαλάσσιο αιολικό πάρκο, γι' αυτό ο αριθμός τους είναι πολύ περιορισμένος. Η πρώτη χώρα που κατασκεύασε θαλάσσιο αιολικό πάρκο ήταν η Δανία το 1991.

Το μεγαλύτερο θαλάσσιο αιολικό πάρκο στην Ευρώπη (2014) είναι εγκατεστημένο στη Μεγάλη Βρετανία. Ονομάζεται London Array και αποτελείται από 175 ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 3,6MW και συνολικής εγκατεστημένης δυναμικότητας 630MW. Έχει κατασκευαστεί στις εκβολές του ποταμού Τάμεση, σε απόσταση περίπου 20 χιλιομέτρων από την ακτή. Η κατασκευή του ξεκίνησε τον Μάρτιο του 2011 και εγκαινιάστηκε τον Ιούλιο του 2013. Για την σύνδεση του πάρκου με την στεριά, κατασκευάστηκαν ένας χερσαίος και δύο θαλάσσιοι υποσταθμοί ενώ χρησιμοποιήθηκαν πάνω από 400 χιλιόμετρα υποβρύχιων καλωδίων. Στην παρούσα φάση, ο σταθμός μπορεί να καλύψει τις ηλεκτρικές ανάγκες 500.000 νοικοκυριών και να μειώσει τις ετήσιες εκπομπές CO₂ κατά 900.000 τόνους.

4.3 Πλεονεκτήματα Και Μειονεκτήματα Αιολικών Πάρκων

Πλεονεκτήματα αιολικών πάρκων:

- ♦ Παράγουν ρεύμα από μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.
- ♦ Τα αιολικά πάρκα δε ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα όπως τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρισμού τα οποία στηρίζονται στην καύση ορυκτών καυσίμων, όπως άνθρακα ή φυσικό αέριο. Οι ανεμογεννήτριες δεν εκλύουν χημικές ουσίες στο περιβάλλον οι οποίες προκαλούν όξινη βροχή ή αέρια του θερμοκηπίου.

Μειονεκτήματα αιολικών πάρκων:



- ♦ Κάνουν θόρυβο.
- ♦ Μπορεί τα πτερύγια των ανεμογεννητριών να τραυματίσουν ή να σκοτώσουν τα πτηνά.
- ♦ Δεν παράγουν τόσο ρεύμα όσο ένα ατμοηλεκτρικό εργοστάσιο.
- ♦ Υπάρχει μεγάλο κόστος και χρειάζεται μεγάλη έκταση για να κατασκευαστεί ένα αιολικό πάρκο.
- ♦ Χρειάζονται άνεμο για να παράγουν ρεύμα και αν σε μία περιοχή δεν φυσάει καθόλου όλο το χρόνο υπάρχει πρόβλημα.
- ♦ Τα κατάλληλα σημεία για αιολικά πάρκα συχνά βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές, μακριά από πόλεις όπου χρειάζεται ο ηλεκτρισμός.



Εικόνα 10: Θαλάσσιο Αιολικό Πάρκο
Πηγή: <https://dornob.com>

4.4 Ενεργειακή Παραγωγή Αιολικού Πάρκου

Μια α/γ δεσμεύει ένα μέρος της κινητικής ενέργειας του ανέμου και παράλληλα υποβαθμίζει την διαθέσιμη ενέργεια του ανέμου δημιουργώντας στροβιλισμούς με αποτέλεσμα οι απόμενες α/γ, δηλαδή αυτές που βρίσκονται κατάντη της ροής και εντός του ομίχου των προηγούμενων, να δέχονται άνεμο με χαμηλότερη ταχύτητα και λιγότερη διαθέσιμη ενέργεια. Η ενεργειακή παραγωγή του πάρκου είναι ίση με το άθροισμα της παραγωγής ενέργειας της κάθε ανεμογεννήτριας.

$$E_{\text{park}} = \sum E_{\text{turb}}$$

Η συνολική παραγόμενη ενέργεια από το αιολικό πάρκο δεν ισούται με το άθροισμα των N ανεμογεννητριών αλλά είναι μικρότερη από αυτό.

$$E_{\text{park}} = N(1 - \eta_{\text{airloss}})E_{\text{turb}}$$

Οι απώλειες της παραγόμενης ενέργειας οφείλονται στην επίδραση των υπόλοιπων ανεμογεννητριών και ονομάζονται απώλειες ομίχου (Array Losses).

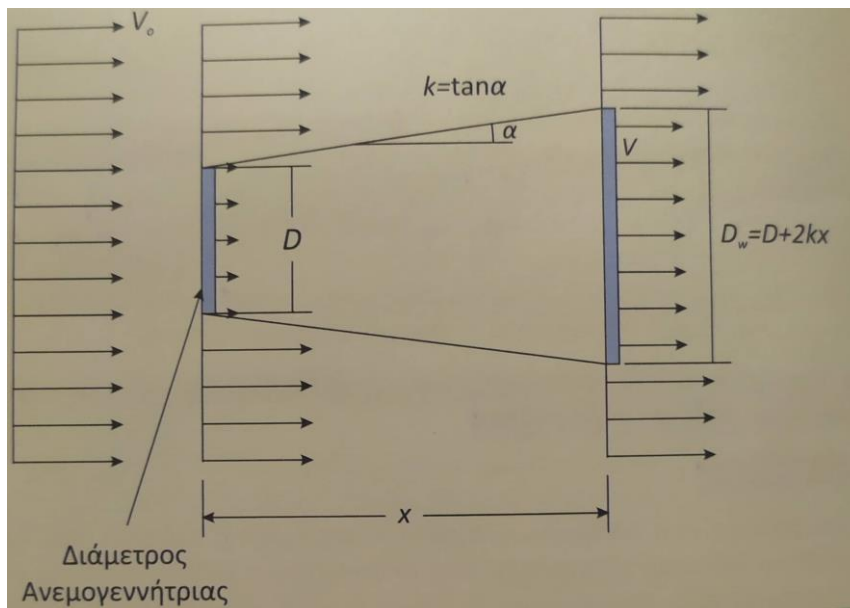


Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

Ένα απλό μοντέλο για τον υπολογισμό της ταχύτητας του ανέμου V σε μια απόσταση x καταντή από την ανεμογεννήτρια είναι το μοντέλο του Jensen:

$$V = V_0(1-(1-\sqrt{1-C_T})\left(\frac{D}{D+2kx}\right)^2)$$

Όπου C_T είναι ο συντελεστής ώσης της ανεμογεννήτριας και k είναι ο συντελεστής εξασθένησης του ομόρου ο οποίος έχει τυπική τιμή $k_{land} = 0,075$ για πάρκα στην ξηρά και $k_{sea} = 0,04$ για πάρκα στην θάλασσα.



Εικόνα 11: Γραφική Αναπαράσταση του Ομόρου και της Εξασθένησης του με την Απόσταση.
Πηγή: Βιβλίο Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Δυναμικό & Τεχνολογίες

Στην περίπτωση που ένα μέρος της κεφαλής ανεμογεννήτριας καταντή στη ροή είναι εντός του κώνου του ομόρου από μπροστινές ανεμογεννήτριας λόγω διαφορετικού προσανατολισμού, διαφορετικού ύψους ή διαφορετικής διαμέτρου κεφαλής τότε χρησιμοποιείται μια ισοδύναμη ταχύτητα V_{eq} για τους ενεργειακούς υπολογισμούς. Η ισοδύναμη ταχύτητα είναι:

$$V_{eq} = V_0 - \delta V$$

Όπου δV η μερική μείωση της ταχύτητας λόγω ομόρου και δίνεται από:

$$\delta V = V_0(1-(1-\tau)\left(\frac{D}{D+2kx}\right)^2 \left(\frac{A_{overlap}}{A_x}\right))$$

Όπου A_x το εμβαδόν του ομόρου σε απόσταση x :

$$A_x = \frac{\pi(D+2kx)^2}{4}$$

Και $A_{overlap}$ η τομή του εμβαδού της ανεμογεννήτριας με το εμβαδόν του ομόρου A_x :



Πτυχιική Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

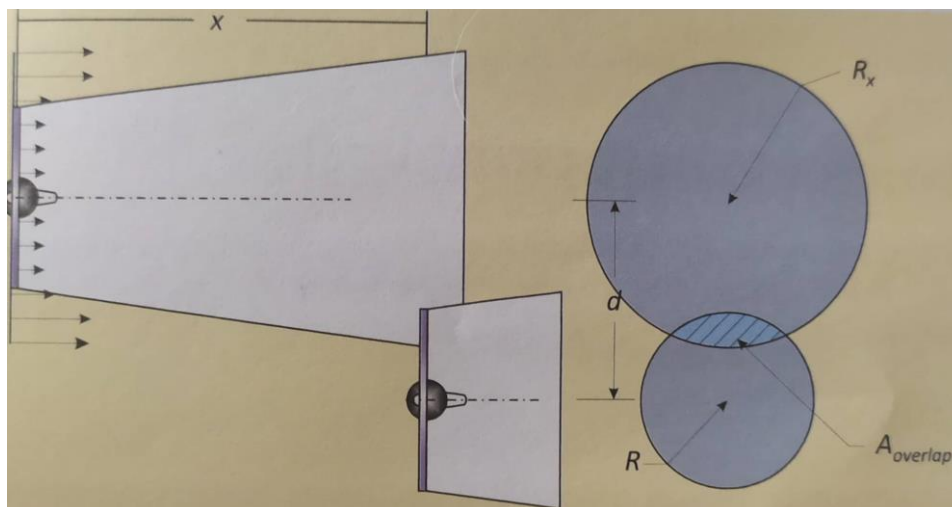
$$A_{\text{overlap}} = R^2 \arccos\left(\frac{d^2 + R^2 - R_x^2}{2dR}\right) + R_x^2 \arccos\left(\frac{d^2 + R^2 - R_x^2}{2dR_x}\right) - \frac{1}{2} \sqrt{(-d + R + R_x)} \times \sqrt{(d + R - R_x)} \times \sqrt{(d - R + R_x)} \times \sqrt{(d + R + R_x)}$$

Όπου,

$R = D/2$ η ακτίνα της ανεμογεννήτριας

$R_x = D_x / 2 = D/2 + kx$ η ακτίνα του ομόρου σε απόσταση x από την ανεμογεννήτρια που προκαλεί τον ομόρου, και

d η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ του κέντρου της α/γ που προκαλεί και της α/γ που βρίσκεται στον ομόρου.



Εικόνα 12: Γραφική Αναπαράσταση της Μερικής Κάλυψης από τον Ομόρου μιας Ανεμογεννήτριας.
Πηγή: Βιβλίο Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Δυναμικό & Τεχνολογίες.

4.5 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Η αιολική ενέργεια είναι μία καθαρή ενέργεια με μηδενική εκπομπή αερίων ρύπων. Όμως, η εγκατάσταση ενός πάρκου επηρεάζει το οικοσύστημα σημαντικά. Οι σημαντικότεροι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι είναι:

- ♦ **Θόρυβος:** Ο θόρυβος που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες αποτελεί μια σχετικά σημαντική όχληση με αποτέλεσμα να μην χρησιμοποιούνται κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Το επίπεδο του θορύβου από μία ανεμογεννήτρια σε απόσταση 40m από αυτήν είναι της τάξης των 50db.
- ♦ **Οπτική όχληση:** Η εγκατάσταση των ανεμογεννητριών προκαλεί την αλλοίωση της μορφολογίας και των αισθητικών χαρακτηριστικών της ευρύτερης εγκατάστασης. Η κυριότερη οπτική όχληση είναι η ίδια η ύπαρξη των εγκαταστάσεων και εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων όπως το φυσικό μέγεθος της κάθε ανεμογεννήτριας, η πυκνότητα εγκατάστασης και η διαμόρφωση του χώρου.



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

- ♦ **Επιπτώσεις στην πανίδα:** Σε αρκετές περιπτώσεις έχουν αναφερθεί θανατώσεις πτηνών από πρόσκρουση στα πτερύγια ανεμογεννητριών αλλά και σε εναέρια καλώδια. Σε σχετική μελέτη εκτιμήθηκε πως ανά παραγόμενη GWh από αιολική ενέργεια αντιστοιχούν 0,269 θάνατοι πτηνών ενώ από ορυκτά καύσιμα ο αριθμός αυτός εκτιμάται 9,36 θανάτους ανά παραγόμενη GWh, κυρίως λόγω της κλιματικής αλλαγής που προκαλούν.



Εικόνα 13: Συμφιλώνοντας τα Πουλιά με τις Ανεμογεννήτριες.
Πηγή: <https://www.economia.gr>



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΚΑΙ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΓ

5.1 Εισαγωγή

Ο άνεμος υπήρξε ανέκαθεν ένα ενδιαφέρον μετεωρολογικό φαινόμενο για το ανθρώπινο είδος. Σύμφωνα με τις απόψεις των ειδικών, η κίνηση του ανέμου δημιουργείται κυρίως λόγω των διαφορετικών ποσοτήτων ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στα διάφορα μέρη της επιφάνειας του πλανήτη. Στη χώρα μας, από τα μέσα της δεκαετίας του '70, ξεκίνησαν συστηματικές μετρήσεις του αιολικού δυναμικού σε επιλεγμένες περιοχές εκ μέρους της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού, με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο. Αξίζει να σημειωθεί ότι η Ε.Μ.Υ διαθέτει σημαντικό όγκο ανεμολογικών στοιχείων για τουλάχιστον 50 έτη, κυρίως στα διάφορα αεροδρόμια της χώρας.

5.2 Μέτρηση Έντασης Ανέμου

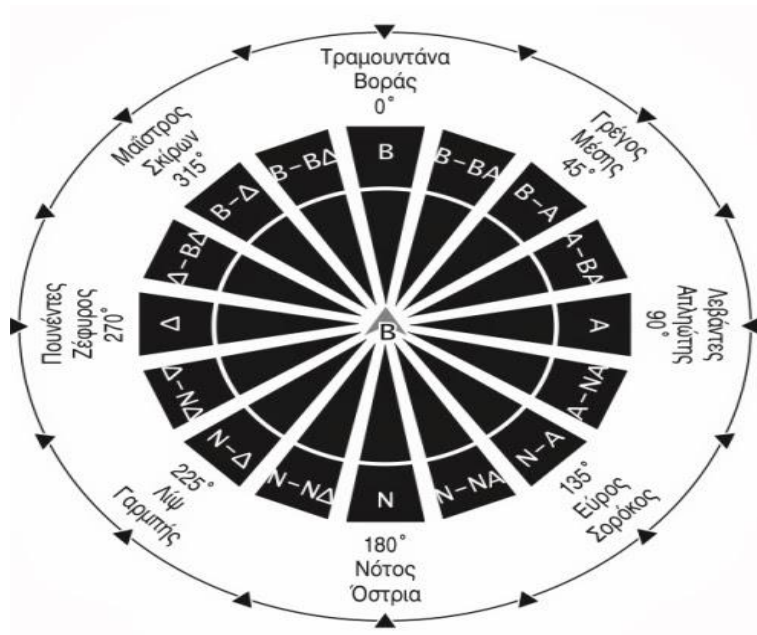
Επειδή ο άνεμος αποτελεί ένα ιδιαίτερα μεταβλητό μέγεθος, απαιτούνται για τις ανάγκες του υπολογισμού του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού μια περιοχής αναλυτικές μετρήσεις της ταχύτητας και της διεύθυνση του ανέμου για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Για την μέτρηση της έντασης του ανέμου χρησιμοποιούνται συνήθως ανεμόμετρα ή ανεμογράφοι. Τα πιο απλά ανεμόμετρα είναι τα ανεμόμετρα ταχύτητας, στα οποία η ένταση του ανέμου προκύπτει από την ταχύτητα περιστροφής που προκαλεί σε ορισμένα σημεία του οργάνου ο άνεμος. Για την καταγραφή στιγμιαίων τιμών της έντασης του ανέμου χρησιμοποιούνται τα ανεμόμετρα πίεσης, στα οποία η ένταση προσδιορίζεται από την πίεση που ασκεί ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του οργάνου.

5.3 Μέτρηση Διεύθυνσης Ανέμου

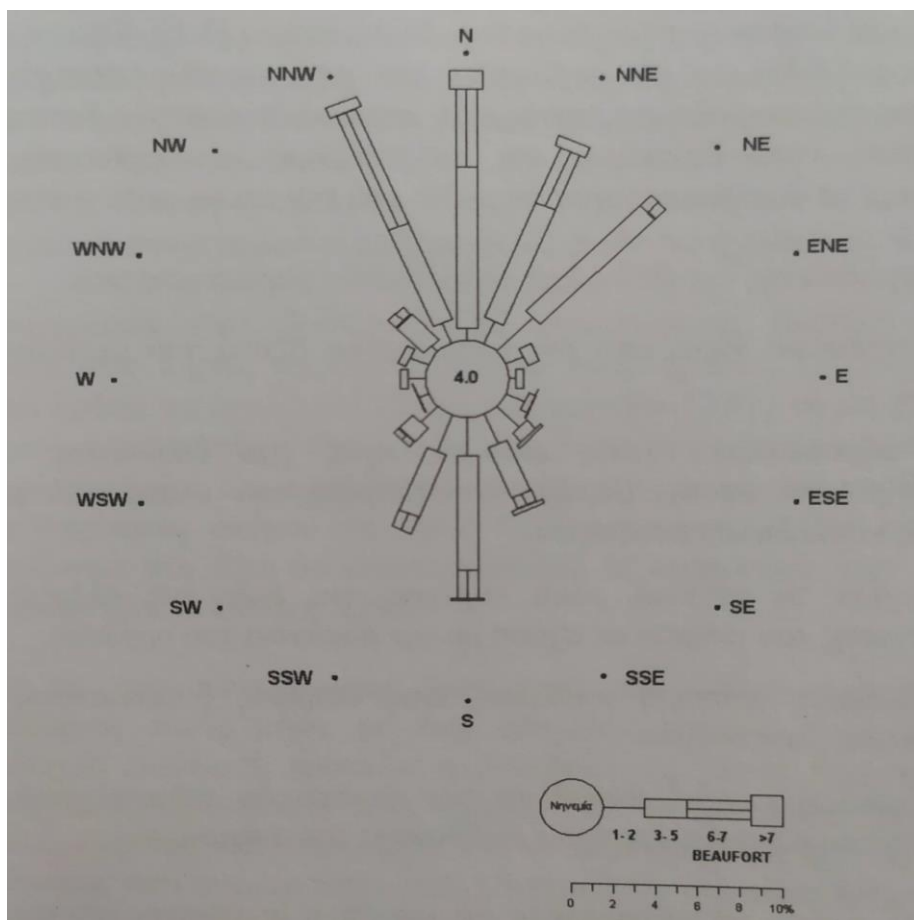
Η διεύθυνση του ανέμου σε μία θέση δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται συνεχώς, καθορίζεται δε με βάση το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος, σε σχέση με την θέση μέτρησης. Η διεύθυνση του ανέμου είναι συνάρτηση του αληθούς Βορρά και μετριέται κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού, σε μοίρες ή σε τιμές που αντιστοιχούν σε ολόκληρο κυκλικό τομέα. Με βάση τις παρατηρήσεις της διεύθυνσης του ανέμου μπορούμε να χαράξουμε σε “πολικό διάγραμμα” (ή ανεμολόγιο-ροζέτα) τις συχνότητες (%), σε σχέση με το σύνολο των παρατηρήσεων που διαθέτουμε ανάλογα με το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος. Στο ίδιο διάγραμμα είναι δυνατό να παρασταθεί και η μέση ταχύτητα του ανέμου κατά την εκάστοτε διεύθυνση. Τέλος, στο κέντρο του πολικού διαγράμματος και σε ειδικό κύκλο κατάλληλης ακτίνας καταγράφεται το ποσοστό της νηνεμίας, δηλαδή το διάστημα που η ένταση του ανέμου είναι μικρότερη των 2m/sec.



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ



Εικόνα 14: Ανεμολόγιο - Ονοματολογία Ανέμων
Πηγή: <https://hikingexperience.gr/prognosi-kairos/>



Εικόνα 15: Πολικό Διάγραμμα
Πηγή: <http://eclass.teipir.gr>



5.4 Κατανομή της Ταχύτητας του Ανέμου

Οι ανεμογεννήτριες “συλλαμβάνουν” την κινητική ενέργεια του ανέμου μέσω ενός δρομέα (άτρακτος και πτερύγια) που φέρει δύο ή περισσότερα πτερύγια και είναι συνδεδεμένος με μία ηλεκτρική γεννήτρια. Οι Α/Γ τοποθετούνται σε ψηλούς πύργους, γιατί η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το ύψος από την επιφάνεια του εδάφους. Οι Α/Γ εγκαθίστανται, συνήθως, σε συστοιχίες, στα πλαίσια αιολικών πάρκων. Είναι αυτονόητο ότι όσο ισχυρότεροι είναι οι άνεμοι που επικρατούν στη θέση που κατασκευάζεται ένα αιολικό πάρκο, τόσο περισσότερη είναι η ηλεκτρική ενέργεια που θα παράγει αυτό κατά της διάρκεια του έτους.

5.4.1 Ταχύτητα και Ενέργεια του Ανέμου

Η κινητική ενέργεια μίας μάζας αέρα m που κινείται με ταχύτητα V , δίνεται από τη σχέση:

$$E = \frac{1}{2} mV^2 \text{ (J)}$$

και η ισχύς του (η ενέργεια ανά μονάδα χρόνου) από τη σχέση:

$$P = \frac{1}{2} \rho AV^3 \text{ (W)}$$

Όπου,

ρ : η πυκνότητα του αέρα

A : η επιφάνεια σύλληψης ισχύος από τα πτερύγια και,

v : η ταχύτητα του ανέμου.

Από την ισχύ που διαθέτει ο άνεμος, λόγω της ταχύτητας του, μόνο ένα μέρος μπορεί να προσληφθεί από τα πτερύγια της Α/Γ (του δρομέα). Η ισχύς P_0 που προσλαμβάνεται από τα πτερύγια είναι ίση με τη διαφορά της ισχύος του ανέμου πριν και μετά το δίσκο που σαρώνεται από αυτά. Αν μετά την Α/Γ η ταχύτητα του ανέμου έχει ελαττωθεί σε V_0 , η ισχύς που προσέλαβαν τα πτερύγια είναι:

$$P_0 = \frac{1}{2} \dot{m} (V^2 - V_0^2) \text{ (W)}$$

όπου:

V [m/s] η ταχύτητα του ανέμου πριν από το επίπεδο που σαρώνουν τα πτερύγια.

V_0 [m/s] η ταχύτητα του ανέμου μετά από αυτό.

Η Α/Γ αναχαιτίζει τη ροή του ανέμου σε όλη την έκταση που σαρώνεται από τα πτερύγια της, κατά την περιστροφή τους, παρά το γεγονός ότι διαθέτει συνήθως 2 – 3 πτερύγια, που καλύπτουν μόνο το 5 – 10 % της επιφάνειας αυτής. Αγνοώντας φαινόμενα ρευστοδυναμικής και εξετάζοντας μακροσκοπικά το επίπεδο που σαρώνεται από τα πτερύγια, η ταχύτητα στο επίπεδο αυτό είναι ίση με τη μέση τιμή

V_{average} των ταχυτήτων του ανέμου, πριν και μετά το επίπεδο αυτό:

$$V_{\text{average}} = \frac{V+V_0}{2} \text{ [m/s]}$$



Οπότε η μαζική παροχή του ανέμου διαμέσου των πτερυγίων είναι:

$$\dot{m} = \rho \times A \times \frac{V+V_0}{2} \text{ [kg/s]}$$

και η ισχύς που προσλαμβάνεται από τα πτερύγια, προκύπτει:

$$P_0 = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times \frac{V+V_0}{2} \times (V^2 - V_0^2) \text{ (W)}$$

5.4.2 Κατανομή Weibull

Η ταχύτητα του ανέμου, σε έναν τόπο, μεταβάλλεται κάθε στιγμή και η κατανομή της μεταβάλλεται επίσης από εποχή σε εποχή του έτους. Παρόλα αυτά, η κατανομή των ταχυτήτων του ανέμου κατά τη διάρκεια ενός έτους, επαναλαμβάνεται με πολύ μικρές αποκλίσεις από έτος σε έτος. Οι μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου, στη διάρκεια ενός έτους, περιγράφονται από την κατανομή πιθανοτήτων (ή συχνοτήτων) Weibull, η οποία ορίζεται από την εξίσωση:

$$h_i = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v_i}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v_i}{c}\right)^k} \text{ (%)}$$

όπου: k: ο παράγοντας σχήματος της κατανομής Weibull [αδιάστατος]

C: ο παράγοντας μεγέθους (έντασης) της κατανομής Weibull [m/s], ο οποίος συνδέεται με τη μέση ταχύτητα του ανέμου, σε κάθε γεωγραφικό τόπο.

h_i [%]: η πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου να είναι ίση με V_i [m/s] ή η % συχνότητα της ταχύτητας V_i .

Η πραγματική κατανομή της ταχύτητας των ανέμων, στους περισσότερους τόπους της γης ακολουθούν κατανομή Weibull με $k \approx 2$ και παράγοντα έντασης $c = 5 - 25$ m/s (οι τιμές αυτές της έντασης αφορούν σε τόπους με πραγματικό αιολικό ενδιαφέρον – χαμηλότερες ή ακόμη και υψηλότερες τιμές του c καθιστούν τους αντίστοιχους τόπους ασύμφορους, όσον αφορά στην πραγματική εκμετάλλευση του αιολικού τους δυναμικού) και η θεωρητική κατανομή Weibull αποκλίνει πολύ λίγο από την πραγματική κατανομή των ταχυτήτων του ανέμου στις περιοχές αυτές.

Για $k = 2$ η κατανομή Weibull μεταπίπτει στην κατανομή Rayleigh, με γενικό τύπο:

$$h_i = 2\lambda^2 v_i e^{-(\lambda v_i)^2} \text{ [%]}$$

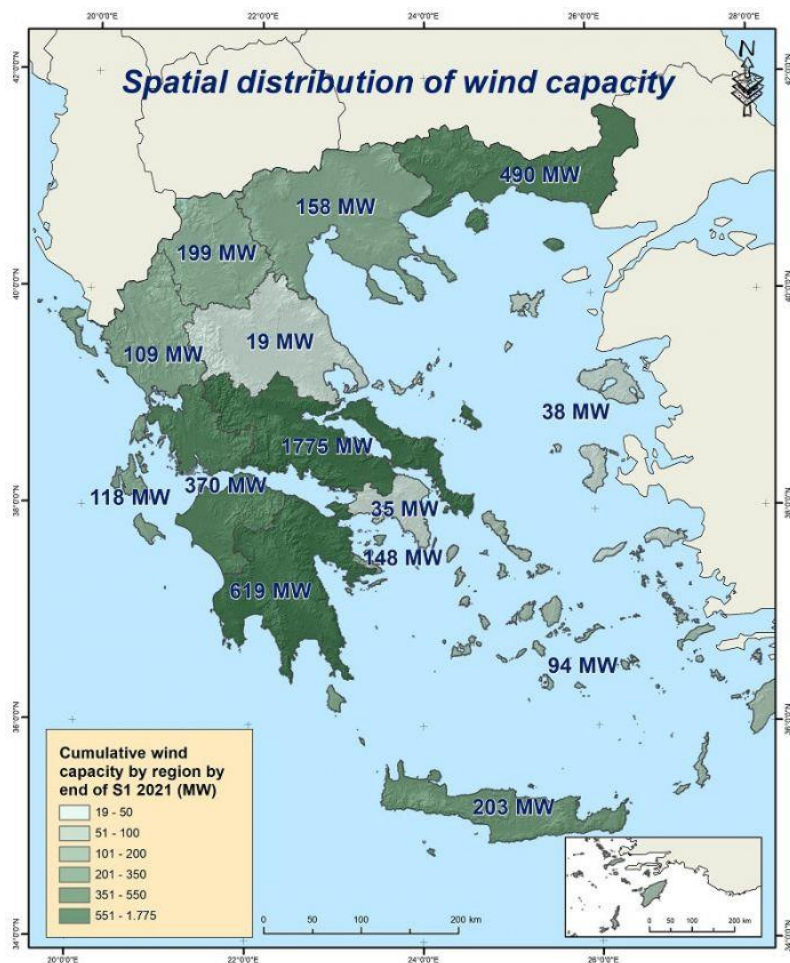
Όπου $\lambda = 1/c$ [s/m].

5.4.3 Χάρτες Αιολικού Δυναμικού

Η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου στηρίζεται πάντα σε επιτόπου μετρήσεις έντασης του ανέμου, ώστε να βελτιστοποιηθεί η χωροθέτηση και το μέγεθος των Α/Γ, σε σχέση με την τοπική γεωγραφία, τις συχνότερες κατευθύνσεις του ανέμου και την κατανομή εντάσεων (ταχυτήτων) ανά κατεύθυνση. Μετρήσεις αυτού του τύπου και σε σειρές ετών έχουν πραγματοποιηθεί από κυβερνητικούς ή ερευνητικούς φορείς, με αποτέλεσμα να είναι πλέον διαθέσιμοι χάρτες αιολικού δυναμικού.



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ



Εικόνα 16: Χάρτης Αιολικού Δυναμικού Ελλάδας
Πηγή: <https://energypress.gr/>

Σε επίπεδο Περιφερειών, η Στερεά Ελλάδα παραμένει στην κορυφή των αιολικών εγκαταστάσεων αφού φιλοξενεί 1837 MW (41%) και ακολουθεί η Πελοπόννησος με 619 MW (14%) και η Ανατολική Μακεδονία – Θράκη όπου βρίσκονται 501 MW (11%).

5.5 Χωροθέτηση Ανεμογεννητριών

Η χωροθέτηση των α/γ μέσα σε ένα πάρκο είναι το σημαντικότερο στάδιο κατά την μελέτη εγκατάστασης. Η τοποθέτησή τους καθορίζεται από τους εξής τέσσερις παράγοντες:

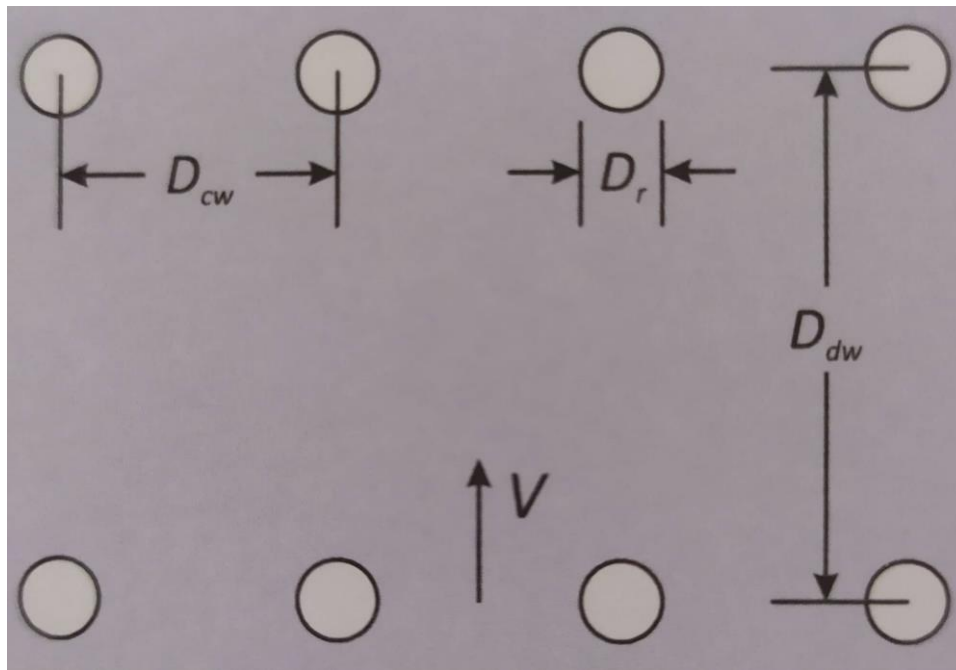
- ♦ Την τοπογραφία της περιοχής.
- ♦ Την ένταση και την διεύθυνση του ανέμου.
- ♦ Τους φυσικούς και τεχνολογικούς περιορισμούς.
- ♦ Τους νομοθετικούς και περιβαλλοντικούς περιορισμούς.

Οι α/γ τοποθετούνται σε κάθετες σειρές ως προς την κύρια διεύθυνση του ανέμου. Ανάμεσά τους μπορούν να οριστούν δύο αποστάσεις, η απόσταση D_{cw} κάθετα στην κύρια διεύθυνση του ανέμου και η απόσταση D_{dw} κατά μήκος της κύριας διεύθυνσης του ανέμου. Συνήθως ανάμεσα σε δύο ανεμογεννήτριες στην ίδια σειρά η απόσταση μπορεί να είναι από δύο έως τέσσερις διαμέτρους (D_r) ενώ ανάμεσα στις σειρές από τέσσερις έως οκτώ. Η ροή του αέρα, μετά την απόδοση ενέργειας στην α/γ της



πρώτης σειράς δεν έχει αποκατασταθεί πλήρως και έτσι η παραγωγή ενέργειας στην επόμενη α/γ, που θα βρίσκεται μέσα στον ομόρου της προηγούμενης, θα είναι ελαττωμένη. Το ποσοστό της μείωσης εξαρτάται από την διακύμανση του ανέμου, την τύρβη, τον τύπο του εδάφους και την απόσταση ανάμεσα στις α/γ.

Σε χώρες όπως η Ελλάδα, με έντονο ανάγλυφο, τα αιολικά πάρκα αναπτύσσονται συνήθως σε κορυφογραμμές.



Εικόνα 17: Χωροθέτηση Ανεμογεννητριών.
Πηγή: Βιβλίο Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Δυναμικό & Τεχνολογίες.

5.6 Μορφολογία Εδάφους

Η θέση εγκατάστασης είναι κρίσιμη για την αποδοτική λειτουργία ενός συστήματος ανεμογεννητριών. Είναι συχνό φαινόμενο η μη καλή λειτουργία της ανεμογεννήτριας αν και έχει εγκατασταθεί σε περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό. Αυτό γίνεται γιατί τις περισσότερες από τις φορές η ανεμογεννήτρια λειτουργεί κάτω από έντονο μεταβαλλόμενο πεδίο ροής λόγω της υψηλής τύρβης που επικρατεί στην περιοχή. Η τύρβη οφείλεται στην ύπαρξη μεμονωμένων κτηρίων ή άλλων εμποδίων αλλά και από την τραχύτητα του εδάφους. Ο σχεδιαστής λοιπόν πρέπει να γνωρίζει ορισμένες αρχές που ισχύουν ανάλογα με τη μορφολογία του εδάφους.

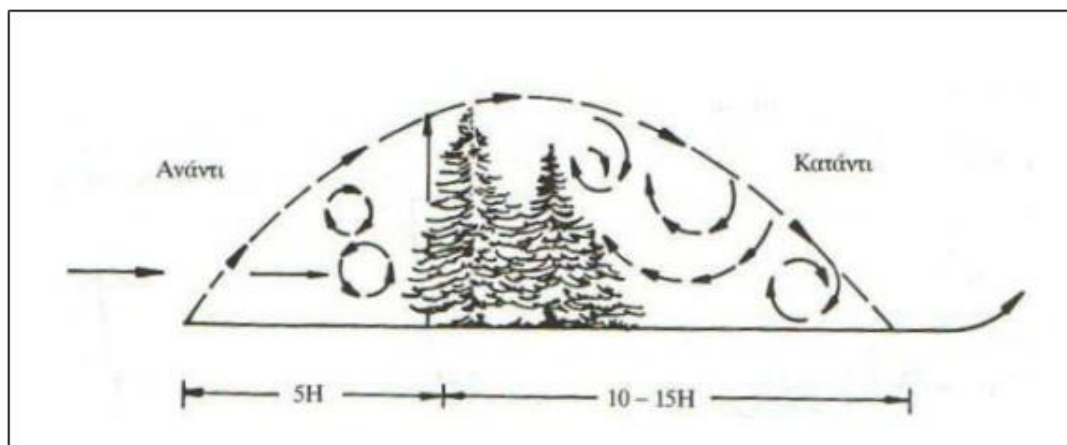
Οι δύο μορφολογικές κατηγορίες εδάφους που πρέπει να μελετηθεί μια εγκατάσταση είναι οι εξής:

- ♦ Η μορφολογία του εδάφους να είναι επίπεδη (επίπεδο έδαφος ή θάλασσα)
- ♦ Η μορφολογία του εδάφους να είναι ανώμαλη (λόφοι, βουνά, υψίπεδα, διάσελα)



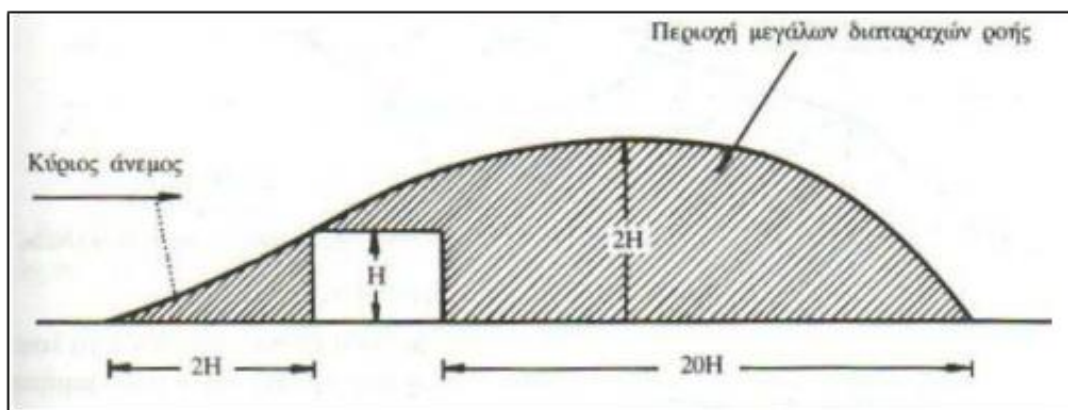
5.6.1 Επίπεδη Επιφάνεια Εδάφους

Στην περίπτωση αυτή πρέπει να ελέγξουμε την ύπαρξη τυχόν ανεμοφρακτών οι οποίοι «προστατεύουν» από τους δυνατούς ανέμους που επικρατούν. Τέτοιοι είναι τα δέντρα των οποίων η παρουσία τους έχει ως αποτέλεσμα σχεδόν τον μηδενισμό της ταχύτητας του ανέμου μέχρι και το ύψος της κορυφή τους, ενώ το οριακό στρώμα φαίνεται να αναπτύσσεται από το ύψος της κορυφής τους και κατόντη όπως φαίνεται παρακάτω στην εικόνα.

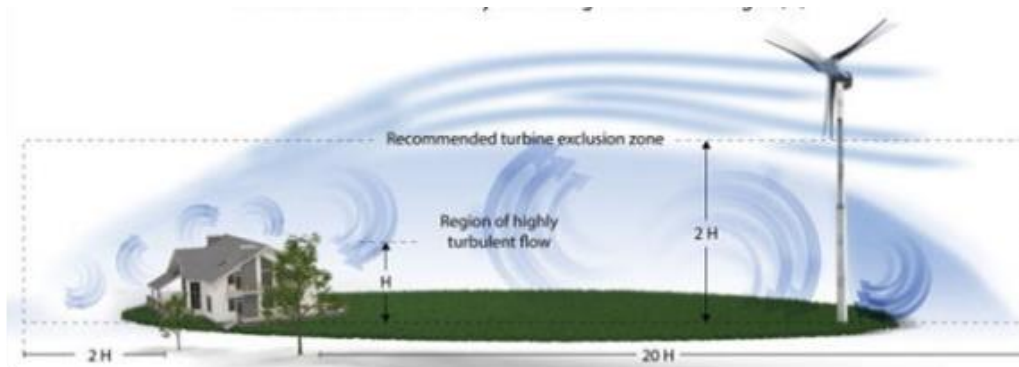


Εικόνα 18: Επίπεδο έδαφος με δέντρα για εμπόδια.
Πηγή: Πτυχιακή Εργασία Κυριακόπουλου & Ασλάνη 2020

Άλλα τέτοιοι εμπόδια μπορεί να είναι κτήρια τα οποία αποτελούν και αυτά αποτελούν ένα είδος εμπόδιων καθώς η παρουσία τους διαταράσσει σε σημαντική έκταση το πεδίο ροής του ανέμου.



Εικόνα 19: Επίπεδο έδαφος με κτίριο για εμπόδιο.
Πηγή: Πτυχιακή Εργασία Κυριακόπουλου & Ασλάνη 2020



Εικόνα 20: Απεικόνιση ροής αέρα σε επίπεδο εδάφους με κτίριο και δέντρα για εμπόδια.
Πηγή: Πτυχιακή Εργασία Κυριακόπουλου & Ασλάνη 2020

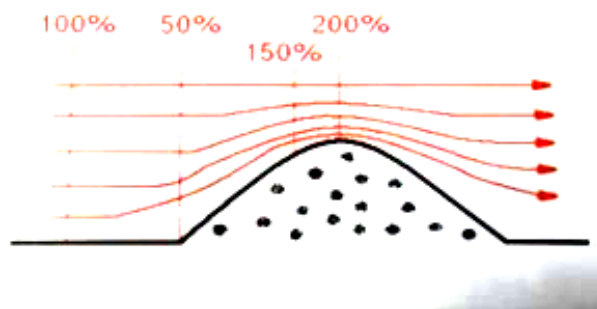
5.6.2 Ανώμαλη επιφάνεια εδάφους.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν υπάρχει σαφής τρόπος εξέτασης του εδάφους επειδή κάθε περίπτωση είναι ξεχωριστή. Ο τρόπος για να ξεπεράσουμε το πρόβλημα αυτό είναι η δημιουργία ανάγλυφου της περιοχής μέσα σε αεροδυναμική σήραγγα ή με εφαρμογή μαθηματικών μοντέλων μέσω υπολογιστών. Παρόλα αυτά υπάρχουν κάποιες συγκεκριμένες τοπογραφικές κατηγορίες σε αυτή την μορφολογία του εδάφους που συναντάτε συχνά και μπορούν να τυποποιηθούν και να χρησιμοποιηθούν ως κατευθυντήρια γραμμή. Αυτές είναι:

♦ Λόφοι-βουνά

Η μορφολογία του εδάφους που περιλαμβάνει μια σειρά από λόφους σχηματίζει μια επιμήκης σειρά. Τότε εάν ο άνεμος έχει κάθετη κατεύθυνση προς την επιμήκη σειρά από λόφους αναγκάζεται να περάσει από πάνω με αποτέλεσμα την επιτάχυνση του (σαν να περνάει μέσα από ακροφύσιο) αφού δεν μπορεί να περάσει από τα πλάγια όπως φαίνεται στο σχήμα παρακάτω. Επίσης στο σχήμα απεικονίζεται και η επιτάχυνση του ανέμου, όπου στην κορυφή έχουμε διπλασιασμό της ταχύτητας το οποίο συνεπάγεται περίπου οκταπλασιασμό της αποδιδόμενης ισχύος από την ανεμογεννήτρια. Εάν ο άνεμος δεν φυσάει στην κάθετη κατεύθυνση αντί να περάσει από πάνω, θα περάσει κυρίως από τα πλάγια. Αποτελέσματα μελετών έδειξαν ότι η ιδανική λοφοσειρά είναι αυτή που παρουσιάζει κλίση 16° ως προς το οριζόντιο επίπεδο, ενώ λιγότερο ικανοποιητική με πολύ μικρή κλίση των 3° .

Σε χώρες όπως η Ελλάδα, με έντονο ανάγλυφο τα αιολικά πάρκα στήνονται κατά κύριο λόγο σε κορυφογραμμές και λίγο πριν από αυτές προς την μεριά που πνέουν οι άνεμοι. Μελέτες επίσης έδειξαν ότι κατάλληλα μέρη για την εγκατάσταση συστήματος ανεμογεννητριών είναι η επιμήκης σειρά από λόφους ύψους 100-600μ και διεύθυνση άξονα παράλληλη προς αυτή της ακτογραμμής.



Εικόνα 21: Κατανομή ταχύτητας πάνω από λόφο.
Πηγή: Πτυχιακή Εργασία Κυριακόπουλου & Ασλάνη 2020

♦ Υψίπεδα

Παρόλο που τα υψίπεδα παρέχουν καλύτερες συνθήκες στην κατασκευή της εγκατάστασης ενός αιολικού συστήματος, δεν είναι κατάλληλα όσο αναφορά το αιολικό δυναμικό. Η μείωση της ταχύτητας είναι αρκετά μεγάλη και για να ξεπεράσουμε το πρόβλημα αυτό πρέπει να βάλουμε μια ανεμογεννήτρια με πάρα πολύ ψηλό πυλώνα για να δέχεται ο ρότορας «καθαρό» αέρα.



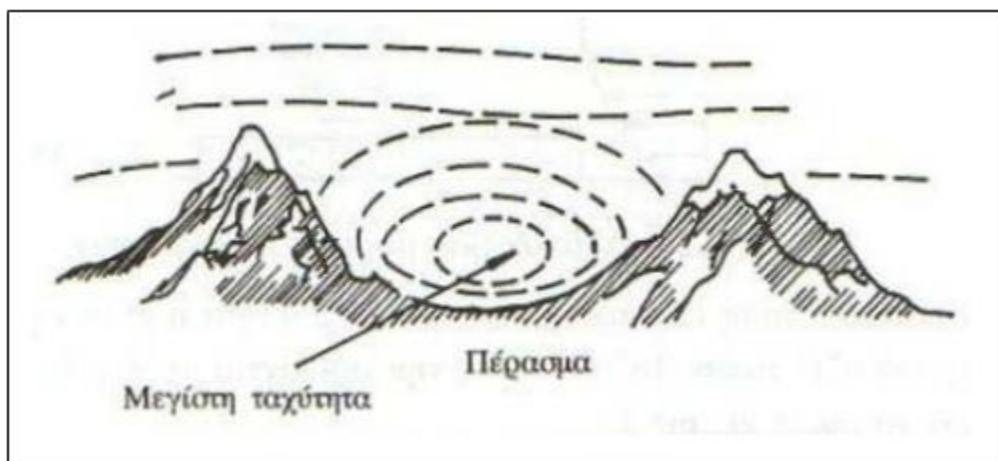
Εικόνα: 22 Κατανομή ταχύτητας πάνω από υψίπεδο.
Πηγή: Πτυχιακή Εργασία Κυριακόπουλου & Ασλάνη 2020



♦ Διάσελα

Πολύ καλή θέση για τοποθέτηση ανεμοκινητήρων είναι τα περάσματα και τα διάσελα ειδικά αν η ροή του ανέμου είναι τέτοια ώστε να διέρχεται μέσα από το άνοιγμα. Οι θέσεις αυτές είναι εύκολες ως προς την πρόσβαση τους και προσφέρουν ιδανικές υψηλές ταχύτητες ανέμου. Οι θέσεις αυτές αρχικά εξετάζονται για το αν είναι δυνατή η τοποθέτηση του αεροκινητήρα και στην συνέχεια στο εργαστήριο γίνεται λεπτομερής μελέτη σε ομοίωμα μέσα σε αεροδυναμική σήραγγα.

Όσο πιο ψηλά είναι τα βουνά που δημιουργούν το πέρασμα τόσο πιο ευνοϊκή είναι η θέση και όσο πιο ομαλή είναι η επιφάνεια του εδάφους του περάσματος τόσο καλύτερη είναι η ενεργειακή απόδοση του ανεμοκινητήρα.



Εικόνα 23: Περιοχή μέγιστης ταχύτητας σε διάσελο.
Πηγή: Πτυχιακή Εργασία Κυριακόπουλου & Ασλάνη 2020



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΤΗΣ Α/Γ

6.1 Θεωρίες Υπολογισμού Ισχύος Α/Γ.

Η παραγωγή ισχύος της Α/Γ εξαρτάται από την αλληλεπίδραση μεταξύ του ρότορα και του ανέμου. Ο άνεμος μπορεί να θεωρηθεί ως η υπέρθεση ενός μέσου ανέμου στον οποίο προστίθενται κάποιες διακυμάνσεις που επιφέρουν τον τυρβώδη χαρακτήρα της ροής. Κατά τον Maxwell η εμπειρία έχει δείξει ότι γενικότερα η απόδοση της Α/Γ (μέση ισχύς εξόδου και μέσα φορτία) καθορίζεται από τις αεροδυναμικές δυνάμεις που δημιουργούνται από τον μέσο άνεμο.

Περιοδικές αεροδυναμικές δυνάμεις που προκαλούνται από διάτμηση ανέμου, άνεμοι εκτός άξονα και περιστροφή του ρότορα, δυνάμεις τυχαίας διακύμανσης που προκαλούνται από αναταράξεις και τα δυναμικά φαινόμενα είναι η πηγή των φορτίων κόπωσης και ένας παράγοντας στα φορτία αιχμής που αντιλαμβάνεται από μια Α/Γ. Για να γίνουν κατανοητές οι διάφορες επιδράσεις τις οποίες δέχεται μια Α/Γ κατά τη λειτουργία της στο συγκεκριμένο κεφάλαιο περιγράφονται τα βασικά στοιχεία της αεροδυναμικής λειτουργίας μια Α/Γ σε σταθερή κατάσταση. Μια επισκόπηση των πολύπλοκων φαινομένων της ασταθούς αεροδυναμική και ο τρόπος αντιμετώπισης στην ανάλυση της απόδοσης του ρότορα είναι πολύ σημαντικό θέμα.

Τα πρακτικά σχέδια Α/Γ οριζόντιου άξονα (HAWT) χρησιμοποιούν αεροτομές για να μετασχηματίσουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε τεχνικά εκμεταλλεύσιμη ενέργεια. Επομένως γίνεται προσπάθεια στο σημείο αυτό να γίνει κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο η χρήση αεροτομών μπορεί να οδηγήσει σε παραγωγή ενέργειας. Η κλασική ανάλυση της ανεμογεννήτριας αναπτύχθηκε αρχικά από τους Betz και Glauert (Glauert, 1935) τη δεκαετία του 1930. Στη συνέχεια, η θεωρία επεκτάθηκε και προσαρμόστηκε για να δίνει λύσεις με εφαρμογή υπολογιστικών μεθόδων - λογισμικού.

Σε όλες αυτές τις μεθόδους, η θεωρία ορμής και η θεωρία πτέρυγας συνδυάζονται σε μια συνολικότερη θεωρία που επιτρέπει τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών απόδοσης ενός δακτυλιοειδούς τμήματος του ρότορα.

Για τη μελέτη της αεροδυναμικής συμπεριφοράς των Α/Γ οριζοντίου άξονα (HAWT) έχουν αναπτυχθεί θεωρητικά μοντέλα. Κάποια από αυτά προσεγγίζουν με ικανοποιητική ακρίβεια την πραγματική συμπεριφορά του ρότορα στο περιβάλλον λειτουργίας τους, ενώ άλλα δεν είναι τόσο ακριβή. Τα μοντέλα αυτά, κατηγοριοποιημένα από μικρότερης προς μεγαλύτερης ακρίβειας είναι:

- ♦ Θεωρία του δίσκου δράσης (actuator disk model).
- ♦ Θεωρία του βέλτιστου δίσκου δράσης για Α/Γ οριζοντίου άξονα (Glauert).
- ♦ Θεωρία αξονικής ορμής (Rankine-Froude Theory).
- ♦ Γενική θεωρία ορμής με περιστρεφόμενο απόρρεμα.
- ♦ Θεωρία στοιχείου-πτερυγίου (Blade Element Theory).
- ♦ Μέθοδος των πλαισίων (Panel Methods)

Στη συνέχεια γίνεται αναλυτική παρουσίαση της θεωρίας του δίσκου δράσης σε συνδυασμό με τη θεωρία αξονικής ορμής Rankine - Froude.

6.2 Θεωρία Μονοδιάστατης Ορμής – Όριο Betz

Ένα απλό μοντέλο, που αποδίδεται γενικά στον Betz (1926), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της ισχύος από έναν ιδανικό ρότορα



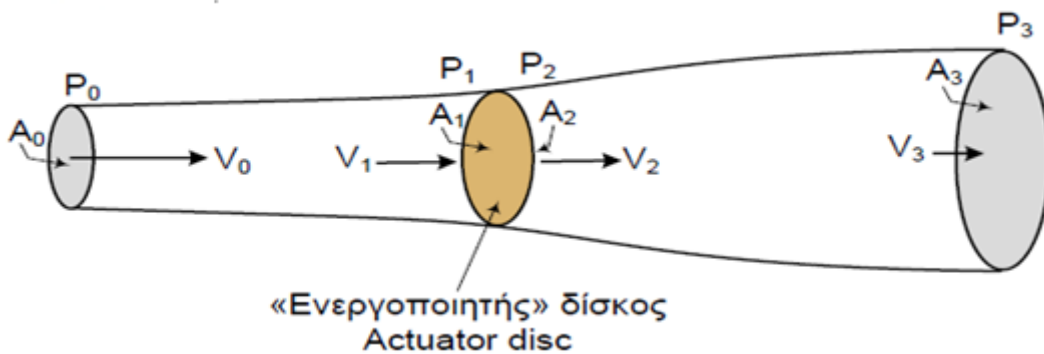
στροβίλου, η ώθηση του ανέμου στον ιδανικό ρότορα και η επίδραση της λειτουργίας του ρότορα στο τοπικό αιολικό πεδίο. Αυτό το απλό μοντέλο βασίζεται στη θεωρία γραμμικής ορμής που αναπτύχθηκε πριν από 100 χρόνια για την πρόβλεψη της απόδοσης των ελικών πλοίων. Στην πραγματικότητα η θεωρία αυτή αναπτύχθηκε την περίοδο (1919 – 1926) από το Γερμανό Φυσικό Albert Betz και προσδιορίζει τη μέγιστη ισχύ που μπορεί να παράγει μια αιολική μηχανή οριζόντιου άξονα.

Εισάγεται η έννοια του «δίσκου ενεργοποίησης» (actuator disc) ο οποίος διαθέτει άπειρα πτερύγια απειροστού πάχους και περιστρέφεται με απειροστή ταχύτητα. Στην ουσία η εισαγωγή της συγκεκριμένης διάταξης (actuator disc) χρησιμοποιείται ως μια διάταξη για την απορρόφηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου με τη μικρότερη δυνατή διαταραχή του ρευστού.

Η ανάλυση προϋποθέτει έναν όγκο ελέγχου, τα όρια του οποίου είναι η επιφάνεια ενός σωλήνα ροής και δύο διατομές του σωλήνα ροής. Η μοναδική ροή είναι κατά μήκος των άκρων του σωλήνα ροής. Ο στρόβιλος αντιπροσωπεύεται από έναν ομοιόμορφο «δίσκο ενεργοποίησης» που δημιουργεί μια ασυνέχεια πίεσης στο σωλήνα ροής του αέρα που τον διατρέχει. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η ανάλυση δεν περιορίζεται σε συγκεκριμένο τύπο Α/Γ.

Κατά την ανάλυση αυτή γίνονται οι ακόλουθες παραδοχές:

- ♦ Η ροή θεωρείται ομογενής, ασυμπίεστη, σταθερής κατάστασης.
- ♦ Δεν υπάρχει οπισθέλκουσα τριβής.
- ♦ Θεωρείται άπειρος αριθμός πτερυγίων.
- ♦ Θεωρείται ομοιόμορφη ώθηση πάνω στην περιοχή του δίσκου ή του ρότορα.
- ♦ Θεωρείται ένα μη περιστρεφόμενο απόρρεμα.
- ♦ Η στατική πίεση μακριά ανάντη και κατόντη του ρότορα είναι ίση με εκείνη της αδιατάρακτης ροής δηλ. τη στατική πίεση περιβάλλοντος.



Εικόνα 24: Μοντέλο δίσκου ενεργοποίησης
Πηγή: Πτυχιακή Εργασία Λευθεριώτη 2015

Σύμφωνα με το σχήμα της ροής για τις διατομές του σωλήνα θα είναι:

- ♦ $A_3 > A_1 > A_0$ διότι καθώς ο δίσκος απορροφά την κινητική ενέργεια του ανέμου η ταχύτητά του μειώνεται και σύμφωνα με την εξίσωση της συνέχειας, αυξάνεται η διατομή.

Για τον «δίσκο ενεργοποίησης» $u_1 = u_2$ αφού $A_1 = A_2$. (6.1)



Αναφορικά και με το πεδίο πίεσης η πίεση του αδιατάρακτου ρευστού είναι η ατμοσφαιρική δηλ.

$$P_0 = P_3 = P_{\text{atm.}} \quad (6.2)$$

Λόγω της σχέσης των διατομών και της συνεπακόλουθης σχέσης μεταξύ της δυναμικής πίεσης ή πίεσης ταχύτητας με τη στατική πίεση θα ισχύει:

$$P_1 > P_0 \quad (V_1 < V_0 \text{ λόγω } A_1 > A_0) \quad (6.3)$$

κάτι που επιβεβαιώνει το φαινόμενο blockage που επιβάλλει ο δίσκος στη ροή δηλ. στον άνεμο.

$$P_3 > P_2 \quad (V_3 < V_2 \text{ λόγω } A_3 > A_2) \quad (6.4)$$

Με την παραπάνω θεώρηση προκύπτει μια ασυνέχεια στην πίεση ανάντη και κατόντη του δίσκου ενεργοποίησης αφού προέκυψε τελικά

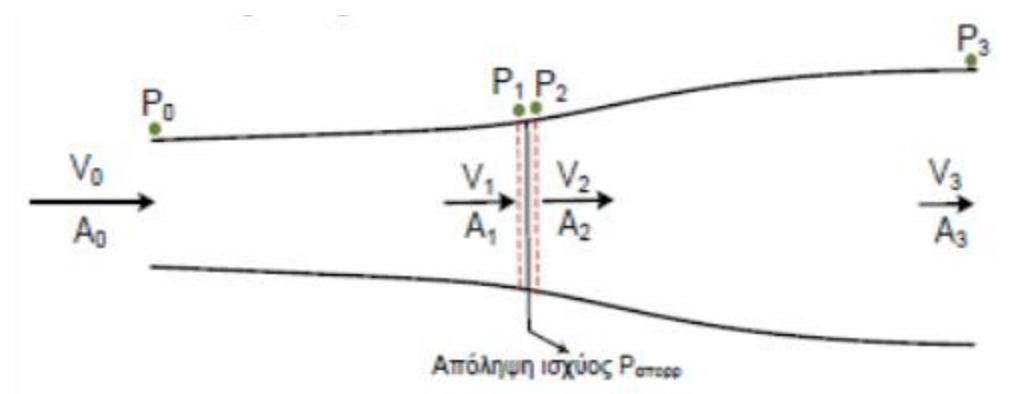
$$P_1 > P_2 \quad (6.5)$$

Αναφορικά επίσης με την εξ. Συνέχειας θα είναι:

$$A_0 V_0 = A_1 V_1 = A_2 V_2 = A_3 V_3 \quad (6.6)$$

Για την ανάλυση των συνθηκών ροής γύρω από το δίσκο χρησιμοποιούνται 4 θέσεις:

- Θέση_0: Ανάντη του δίσκου και πολύ πριν αυτόν (ρευστό αδιατάρακτο),
- Θέση_1: Ανάντη του δίσκου πολύ κοντά στο δίσκο, αμέσως πριν από αυτόν
- Θέση_2: Κατόντη του δίσκου πολύ κοντά στο δίσκο, αμέσως μετά από αυτό
- Θέση_3: Κατόντη του δίσκου και πολύ μακριά από αυτόν (ρευστό αδιατάρακτο),



Εικόνα 25: Θέσεις ενδιαφέροντος ανάλυσης δίσκου ενεργοποίησης.
Πηγή: Πτυχιική Εργασία Λευθεριώτη 2015



Με εφαρμογή της εξ. Bernoulli θα είναι:

$$P_0 + \frac{1}{2} \rho V_0^2 = P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 \Rightarrow P_1 - P_0 = \frac{1}{2} \rho (V_0^2 - V_1^2) \quad (6.7)$$

$$P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 = P_3 + \frac{1}{2} \rho V_3^2 \Rightarrow P_3 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (V_2^2 - V_3^2) \quad (6.8)$$

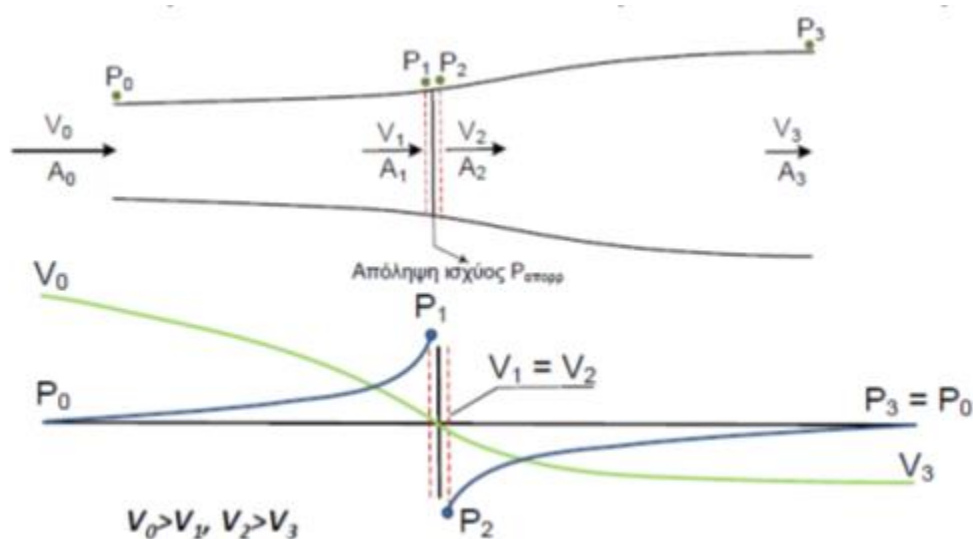
Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι θεωρείται ότι η ασυνέχεια που προκύπτει στο πεδίο της πίεσης δεν περνάει και στο πεδίο ταχυτήτων με την έννοια ότι αμέσως πριν και αμέσως μετά το δίσκο ενεργοποίησης οι ταχύτητες είναι ίσες.

Προσθέτοντας κατά μέλη τις (1) και (2) θα είναι:

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (V_0^2 - V_3^2) \quad (6.9)$$

Η δύναμη T (Thrust) είναι μια πιεστική δύναμη που ο άνεμος ασκεί στο δίσκο και μπορεί να γραφτεί ως:

$$T = (P_1 - P_2) A_1 = \frac{1}{2} \rho (V_0^2 - V_3^2) A_1 \quad (6.10)$$



Εικόνα 26: Κατανομές πίεσης και ταχύτητας γύρω από το δίσκο ενεργοποίησης
Πηγή: Πτυχιική Εργασία Λευθεριώτη 2015

Με εφαρμογή της διατήρησης της γραμμικής ορμής στον όγκο ελέγχου που περικλείει το όλο σύστημα, μπορεί υπολογιστεί η καθαρή δύναμη εντός του όγκου ελέγχου. Αυτή η δύναμη είναι ίση και αντίθετη από την ώθηση, T , που είναι η δύναμη του ανέμου στην Α/Γ. Δηλαδή, η ίδια δύναμη μπορεί να υπολογιστεί από τη μεταβολή της ορμής του ανέμου. Οπότε, μια μάζα m του ρευστού με μια αρχική ορμή περνώντας από το δίσκο θα μεταβάλλει την ορμή. Από τη διατήρηση της γραμμικής ορμής για μονοδιάστατη, ασυμπίεστη, χρονικά αμετάβλητη ροή, η ώθηση είναι ίση και αντίθετη με το ρυθμό μεταβολής της ορμής του ρεύματος αέρα:



$$T = V_0(\rho VA)_0 - V_3(\rho VA)_3 \quad (6.11)$$

Για συνθήκες σταθεροποιημένης ροής θα είναι:

$$(\rho VA)_0 = (\rho VA)_3 = \dot{m} \quad (6.12)$$

$$T = \dot{m}(V_0 - V_3) = (\rho V_1 A_1)(V_0 - V_3)$$

Επομένως

Συνδυάζοντας με την (4.10) προκύπτει:

$$\begin{aligned} (\cancel{\rho} \cdot V_1 \cdot \cancel{A_1})(V_0 - V_3) &= \frac{1}{2} \cancel{\rho} (V_0^2 - V_3^2) \cancel{A_1} \Rightarrow V_1(V_0 - V_3) = \frac{1}{2}(V_0^2 - V_3^2) \\ \Rightarrow V_1(\cancel{V_0 - V_3}) &= \frac{1}{2}(\cancel{V_0 - V_3})(V_0 + V_3) \Rightarrow \boxed{V_1 = \frac{1}{2}(V_0 + V_3)} \end{aligned} \quad (6.13)$$

(Θεώρημα Rankine – Froude)

Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση η ταχύτητα του ανέμου πάνω στο επίπεδο του δίσκου προκύπτει ως η μέση τιμή των ταχυτήτων του αδιατάρακτου ρευστού - ανέμου ανάντη και κατόντη του δίσκου.

Ορίζεται ο αξονικός συντελεστής επαγωγής, a , ως το κλάσμα της μείωσης της ταχύτητας του ανέμου μεταξύ του ελεύθερου αδιατάρακτου ρεύματος ανάντη του δίσκου και του επιπέδου του δίσκου ως εξής:

$$a = \frac{V_0 - V_1}{V_0} \Rightarrow \boxed{V_1 = V_0(1 - a)} \quad (6.14)$$

$$\text{Συνδυάζοντας τις σχέσεις (5) και (6) προκύπτει } \boxed{V_3 = V_0(1 - 2a)} \quad (6.15)$$

Η ποσότητα του γινομένου ($V_1 a$) αναφέρεται συχνά ως η επαγόμενη ταχύτητα στον ρότορα, οπότε η ταχύτητα του ανέμου στο ρότορα είναι ένας συνδυασμός της ταχύτητας του ελεύθερου ρεύματος και της επαγόμενης ταχύτητας του ανέμου.

Καθώς ο αξονικός συντελεστής επαγωγής αυξάνεται από το 0, η ταχύτητα του ανέμου πίσω από τον ρότορα (κατόντη) μειώνεται όλο και περισσότερο. Αν $a=1/2$, ο άνεμος έχει επιβραδυνθεί σε μηδενική ταχύτητα πίσω από τον ρότορα και αυτή η απλή θεωρία δεν είναι πλέον εφαρμόσιμη.

Η ισχύς εξόδου P , ισούται λόγω δράσης – αντίδρασης με την ισχύ που απορροφάτε από το δίσκο και είναι ίση με την ώθηση επί την ταχύτητα στο δίσκο:



Πτυχιική Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

$$P = T \cdot V_1 \Rightarrow P = \frac{1}{2} \rho A_1 (V_0^2 - V_3^2) V_1 \Rightarrow P = \frac{1}{2} \rho A_1 (V_0^2 - V_3^2) \frac{1}{2} (V_0 + V_3)$$

$$P = \frac{1}{2} \rho A_1 \cdot V_0^2 \left(\frac{V_0^2 - V_3^2}{V_0^2} \right) \frac{1}{2} V_0 \left(\frac{V_0 + V_3}{V_0} \right) \Rightarrow P = \frac{1}{2} \rho A_1 \cdot V_0^3 \left[\frac{1}{2} (1 - \xi^2) (1 + \xi) \right]$$
(6.16)

$$\xi = \frac{V_3}{V_0} \quad (6.17)$$

Στην τελευταία σχέση έχει γίνει εισαγωγή του όρου
 Η παράσταση μέσα στην αγκύλη της σχέσης (8) λέγεται συντελεστής ισχύος (powercoef., C_p) και ισούται με το λόγο της ισχύος που απορροφάτε από το δίσκο προς τη διαθέσιμη ισχύ του ανέμου:

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho A_1 \cdot V_0^3} \Rightarrow P = \frac{1}{2} \rho \cdot C_p \cdot A_1 \cdot V_0^3$$
(6.18)

Ο συντελεστής ισχύος C_p εκφράζει την αεροδυναμική απόδοση μιας αιολικής μηχανής κατά τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική (λόγω περιστροφής του ρότορα). Συνολικότερα η απόδοση μιας μηχανής θα πρέπει να περιλαμβάνει και τις απώλειες των μηχανικών μερών του συστήματος περιστροφής όπως έδρανα ολίσθησης, κιβώτιο ταχυτήτων, απώλειες περαιτέρω κατά τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η απορροφούμενη ισχύς θα μεγιστοποιείται όταν η παράγωγος του συντελεστή ισχύος μηδενίζεται δηλ.:

$$C_p = \frac{1}{2} (1 - \xi^2) (1 + \xi)$$

$$\frac{dC_p}{d\xi} = 0 \Rightarrow (1 - \xi^2) \frac{d(1 + \xi)}{d\xi} + (1 + \xi) \frac{d(1 - \xi^2)}{d\xi} = 0 \Rightarrow$$

$$(1 - \xi^2) \cdot 1 + (1 + \xi) (-2\xi) = 0 \Rightarrow (1 - \xi)(1 + \xi) + (1 + \xi) (-2\xi) = 0 \Rightarrow$$

$$(1 + \xi)(1 - 3\xi) = 0$$

Η λύση $\xi = -1$

$$\xi = \frac{V_3}{V_0}$$

απορρίπτεται λόγω του ότι δεν έχει φυσικό περιεχόμενο. ()

Η λύση $\xi = 1/3$ έχει φυσικό νόημα καθώς $V_3 = \frac{1}{3} V_0$ και $V_1 = \frac{2}{3} V_0$

Επίσης για $\xi = 1/3$ θα προκύπτει η μέγιστη τιμή του C_p δηλ.

$$C_p = \frac{1}{2} (1 - \xi^2) (1 + \xi) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{9} \right) \left(1 + \frac{1}{3} \right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{8}{9} \cdot \frac{4}{3} \Rightarrow C_p = \frac{16}{27} = 0,592...$$
(6.19)

Αυτή η τιμή του **συντελεστή ισχύος** αντιστοιχεί και στη μέγιστη απόδοση δηλ. στη μέγιστη ισχύ που μπορεί να παράγει μια μηχανή οριζοντίου άξονα. Θεωρώντας και τον συντ. ισχύος επομένως η σχέση που θα δίνει την ισχύ της Α/Γ.



$$P = \left(\frac{1}{2}\right) C_p \cdot (\rho \cdot A \cdot u^3)$$

(6.20)

Η δύναμη της Ώθησης (thrust) που ωθεί το δίσκο ενεργοποίησης δίνεται από την (4)

$$T = (P_1 - P_2) A_1 = \frac{1}{2} \rho (V_0^2 - V_3^2) A_1 = \frac{1}{2} \rho A_1 V_0^2 \left[1 - \left(\frac{V_3}{V_0} \right)^2 \right] = \frac{1}{2} \rho A_1 V_0^2 [1 - \xi^2]$$

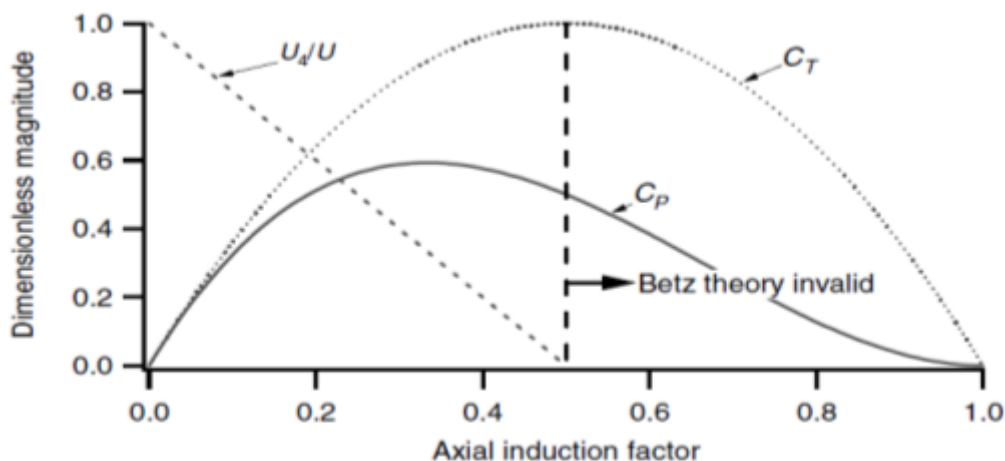
Η παράσταση στην αγκύλη λέγεται συντελεστής ωθούσας δύναμης (thrustcoef., C_T) σε αντιστοιχία με τις εξισώσεις των δυνάμεων Lift και Drag.

Στο λεγόμενο όριο Betz στο οποίο δηλ. θα είναι $\xi=1/3$ θα είναι:

$$C_T = [1 - \xi^2] = \frac{8}{9} = 0.888$$

(6.21)

Προκύπτει δηλ. ότι η τιμή αυτή του C_T είναι μικρότερη από το συντελεστή οπισθέλκουσας συμπαγούς δίσκου ($C_D = 1.11$) λόγω του ότι ο δίσκος ενεργοποίησης δεν είναι συμπαγής αλλά επιτρέπει τη ροή ανέμου διαμέσου του.



Εικόνα 27: Χαρακτηριστικά μεγέθη - παράμετροι δίσκου ενεργοποίησης (ταχύτητες ανέμου, συντελεστής ισχύος C_p , συντελεστής ώσης C_T)
Πηγή: Πτυχιική Εργασία Ραυτόπουλου 2022

Αν θεωρηθεί μια Α/Γ οριζοντίου άξονα με πτερύγια ακτίνας R, που περιστρέφεται με γωνιακή ταχύτητα Ω , λόγω μιας ταχύτητα ανέμου που πνέει προς αυτήν V_0 , τότε ορίζεται ο λόγος ταχύτητας ακροπτερυγίου (tip speed ratio) λ ως το πηλίκο της γραμμικής ταχύτητας του ακροπτερυγίου (tip) προς την ταχύτητα του ανέμου.

Η απόδοση επίσης της Α/Γ επηρεάζεται δηλ. από το συντ. απόδοσης του δρομέα ο οποίος με τη σειρά του επηρεάζεται από την ταχύτητα περιστροφής του σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου, που προσπίπτει στην Α/Γ. Για την έκφραση της παραπάνω σχέσης ορίζεται ο λόγος της γραμμικής ταχύτητας του άκρου του



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

πτερυγίου (ακροπτερυγίου *bladetip*) προς τη γραμμική ταχύτητα του ανέμου (*tip-speed ratio – TSR*) ως εξής:

$$\lambda = \frac{\Omega \cdot R}{V_0}, \quad \text{ή} \quad TSR = \frac{V_{tip}}{u_{mean}} = \frac{\omega R}{u_{mean}} \quad (6.22)$$

όπου R (m) το μήκος του πτερυγίου,
 ω (rpm) η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του πτερυγίου.

Ο λόγος ταχύτητας του ακροπτερυγίου ουσιαστικά καθορίζει το βέλτιστο σημείο λειτουργίας μιας αιολικής μηχανής. Για παράδειγμα οι αργόστροφοι ανεμόμυλοι έχουν $\lambda = 1$, ενώ οι σύγχρονοι είναι πολύστροφοι με λ στο εύρος (4 – 6).

Το τελικό αποτέλεσμα δηλ. δείχνει ότι πέρα από την μέγιστη απόδοση του δρομέα που σύμφωνα με το όριο Betz φθάνει το 59.26% της διαθέσιμης ισχύος του ανέμου, η τεχνικά εκμεταλλεύσιμη ισχύς επηρεάζεται από το συντελεστή C_T ο οποίος επηρεάζεται από τον όρο *TSR*, δηλ. τον συντ. απόδοσης του δρομέα.

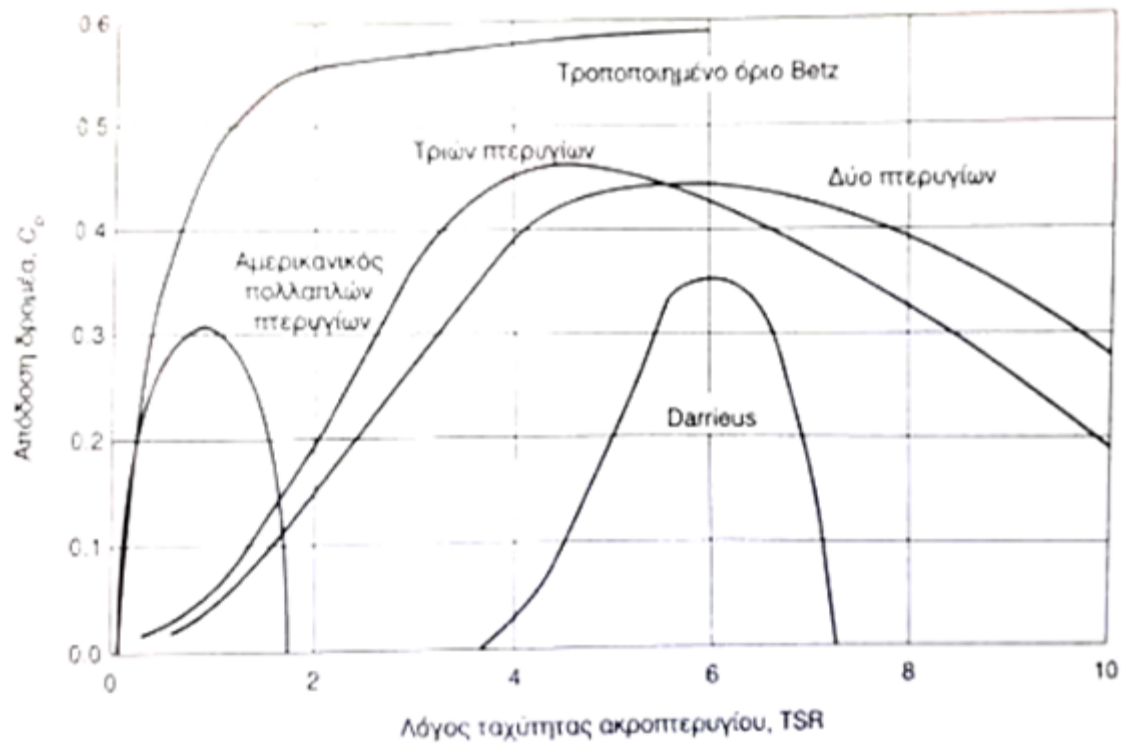
Το ερώτημα που προκύπτει είναι πόσο κοντά στο όριο αυτό είναι οι σύγχρονοι δρομείς των ανεμογεννητριών. Υπό ιδανικές συνθήκες λειτουργίας, μπορούν να φτάσουν στο 80% αυτού του ορίου, το οποίο μας δίνει εύρος απόδοσης περίπου 45%-50% στη μετατροπή της ισχύος του ανέμου σε ισχύ στον περιστρεφόμενο άξονα της γεννήτριας.

Για μία συγκεκριμένη ταχύτητα ανέμου, η απόδοση του δρομέα είναι συνάρτηση του ρυθμού με τον οποίο περιστρέφεται ο δρομέας. Αν ο δρομέας στρέφεται πολύ αργά, η απόδοση μειώνεται, διότι τα πτερύγια αφήνουν πάρα πολύ αέρα να περάσει ανεκμετάλλευτος. Στην αντίθετη περίπτωση αν ο δρομέας περιστρέφεται πολύ γρήγορα, η απόδοση μειώνεται, καθώς η διαταραχή που προκαλείται από ένα πτερύγιο επηρεάζει όλο και περισσότερο το πτερύγιο που ακολουθεί. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος για να απεικονίσουμε την απόδοση του δρομέα είναι να την παρουσιάσουμε ως μια συνάρτηση του λόγου της ταχύτητας ακροπτερυγίου (*tipspeedratio- TSR*). Ο *TSR* είναι η ταχύτητα με την οποία κινείται το εξωτερικό άκρο του πτερυγίου διαιρούμενη με την ταχύτητα του ανέμου.

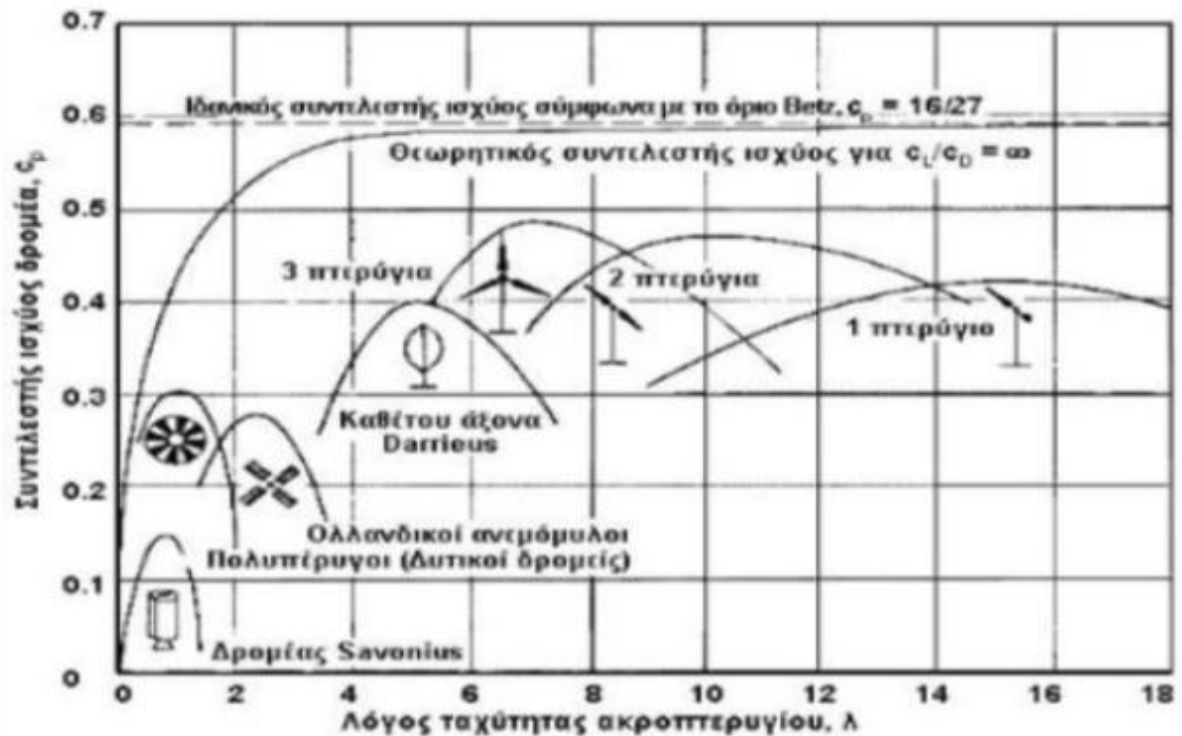
Ένα διάγραμμα της ιδανικής απόδοσης του δρομέα για διαφόρους τύπους δρομέα ως συνάρτηση του *TSR* φαίνεται στο σχήμα παρακάτω. Οι δρομείς με πολλά πτερύγια περιστρέφονται σχετικά αργά, με βέλτιστο *TSR* περίπου 1.0 και μέγιστη απόδοση μόλις πάνω από 30%. Οι δρομείς με δύο και τρία πτερύγια περιστρέφονται πολύ πιο γρήγορα, με βέλτιστο εύρος *TSR* 4-6 και μέγιστη απόδοση περίπου 40%-50%. Επίσης φαίνεται μια καμπύλη που αντιστοιχεί στο όριο Betz τροποποιημένη, για να ληφθούν υπόψη οι στροβιλισμοί (τύρβη) που τα πτερύγια δημιουργούν στον αέρα, τις οποίες ο Betz δεν λαμβάνει υπόψη, καθώς επίσης το γεγονός ότι ένας αργά περιστρεφόμενος δρομέας δεν συλλαμβάνει όλο τον άνεμο, κάτι το οποίο μειώνει τη μέγιστη δυνατή αποδοτικότητα κάτω από το όριο Betz.



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ



Εικόνα 28: Απόδοση δρομέα ως προς το λόγο ταχυστροφίας TSR.
Πηγή: Πτυχιακή Εργασία Ραυτόπουλου 2022



Εικόνα 29: Καμπύλες απόδοσης – συντελεστή ισχύος για διάφορους τύπους Α/Γ και αριθμούς πτερυγίων, ως προς το λόγο ταχύτητας ακροπτερυγίου TSR.
Πηγή: Πτυχιακή Εργασία Ραυτόπουλου 2022



Πτυχιική Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

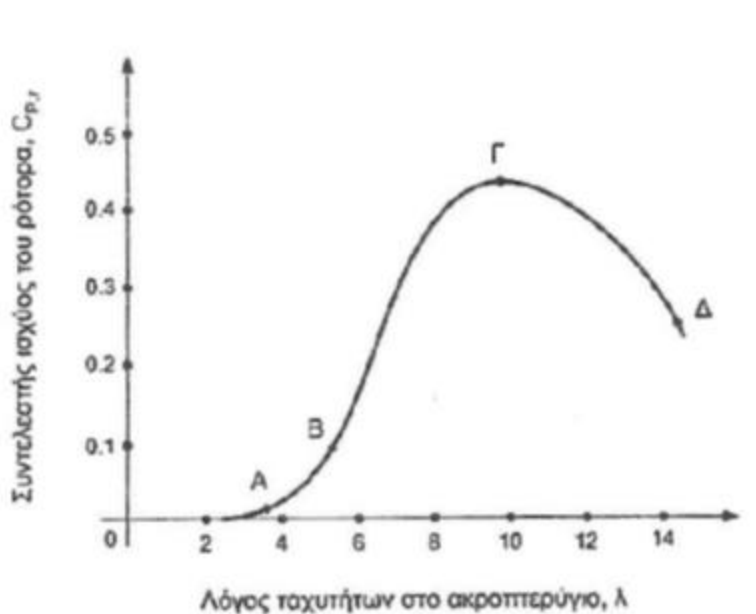
Οι σύγχρονες Α/Γ λειτουργούν καλύτερα όταν το TSR τους είναι στο εύρος 4-6, δηλαδή όταν η άκρη του πτερυγίου τους κινείται τέσσερις έως έξι φορές γρηγορότερα από την ταχύτητα του ανέμου. Στην ιδανική περίπτωση, για μέγιστη απόδοση, τα πτερύγια θα πρέπει να αλλάζουν την ταχύτητά τους καθώς αλλάζει η ταχύτητα του ανέμου, και για αυτό τον λόγο οι γεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας είναι αποδοτικότερες.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι επιλύοντας τη σχέση ισχύος ως προς το συντελεστή ισχύος προκύπτει:

$$P = \left(\frac{1}{2}\right) C_p \cdot (\rho \cdot A \cdot u^3) \Rightarrow C_p = \frac{P}{0.5(\rho \cdot A \cdot u^3)} \quad (6.23)$$

Στην τελευταία σχέση ο αριθμητής μπορεί να είναι η ισχύς εξόδου από το ρότορα, οπότε κατ' επέκταση ο αντίστοιχος συντελεστής ισχύος ονομάζεται συντελεστής ισχύος του ρότορα C_{pr} . Μπορεί επίσης ο αριθμητής να είναι η ισχύς εξόδου του όλου συστήματος της Α/Γ συνολικά και έτσι στην περίπτωση αυτή ο αντίστοιχος συντελεστής ισχύος ονομάζεται συντελεστής ισχύος του συστήματος C_{ps} .

Η διαφορά αυτών των δύο ποσοτήτων έγκειται στις απώλειες του συστήματος μετάδοσης της ισχύος και στις απώλειες του όλου ηλεκτρολογικού εξοπλισμού.



Εικόνα 30: Τυπικό διάγραμμα C_{pr} ως προς το συντελεστή ταχυτροφίας λ , για Α/Γ οριζοντίου άξονα με τα πτερύγια σε συγκεκριμένη γωνία κλίσης (pitch).

Πηγή: Πτυχιική Εργασία Ραυτόπουλου 2022

Στην Εικ.33 η περιοχή ΑΒΓ ελέγχεται από την αστάθεια των πτερύγων (blade stall) του ρότορα και οι τοπικές γωνίες προσβολής αυξάνονται πλησιάζοντας το σημείο Α. Οποιαδήποτε αλλαγή στη γωνία κλίσης των πτερυγίων θα έχει μεγάλη επίπτωση στην ισχύ εξόδου του ρότορα κατά μήκος του τμήματος ΑΒΓ. Το τμήμα ΓΔ

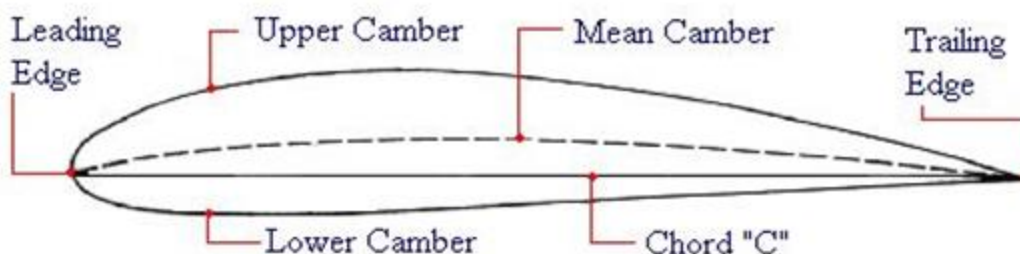


ελέγχεται από τη δύναμη της αντίστασης τριβής (skin friction), επειδή οι τοπικές γωνίες προσβολής ελαττώνονται πλησιάζοντας το σημείο Δ.

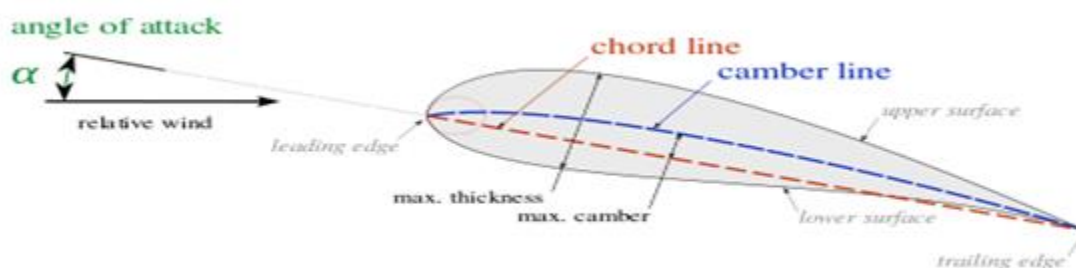
6.3 Το Τμήμα των Πτερυγίων - Αεροτομών.

Τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας αεροτομής είναι

- ♦ Μέση γραμμή αεροτομής (Mean Chamber Line) είναι ο γεωμετρικός τόπος ισαπέχουσας γραμμής από τις επιφάνειες (άνω και κάτω) της αεροτομής (airfoil).
- ♦ Χείλος προσβολής (Leading Edge) είναι το εμπροσθεν σημείο προσβολής του ανέμου στην αεροτομή που έρχεται δηλ. σε επαφή με το ρευστό μέσο γενικότερα.
- ♦ Χείλος εκφυγής (Trailing Edge) είναι το πιο απομακρυσμένο σημείο της αεροτομής από το χείλος προσβολής.
- ♦ Χορδή αεροτομής (Chord) είναι η ευθεία γραμμή που συνδέει το χείλος προσβολής με το χείλος εκφυγής.
- ♦ Μέγιστη καμπυλότητα της αεροτομής (Camber) είναι η μέγιστη απόσταση μεταξύ της χορδής και της μέσης γραμμής
- ♦ Πάχος αεροτομής (Thickness) είναι η κάθετη απόσταση μεταξύ άνω και κάτω επιφάνειας της αεροτομής.
- ♦ Γωνία προσβολής (Angle of attack) είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ελεύθερης ροής και της χορδής της αεροτομής. Από την καμπυλότητα της αεροτομής εξαρτάται η γωνία μηδενικής άνωσης ($\alpha_L = 0$) δηλ. η γωνία κατά την οποία δεν παράγεται άνωση (Lift force) στην αεροτομή.



Εικόνα 31: Βασικά Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Αεροτομής.
Πηγή: Πτυχιακή Εργασία Αποστολόπουλος 2016



Εικόνα 32: Ορισμός γωνίας προσβολής πτερυγίου.
Πηγή: Πτυχιακή Εργασία Αποστολόπουλος 2016



Ο σχεδιασμός αεροτομών έχει οδηγήσει σε πτέρυγες με διαφορετικά γεωμετρικά και αεροδυναμικά χαρακτηριστικά που έχουν πλέον τυποποιηθεί. Η πιο γνωστή σειρά τυποποίησης είναι η σειρά NACA (National Advisory Committee for Aeronautics) που βασίστηκε στη γερμανική σειρά Goettingen. Μια εμπειριστατωμένη περιγραφή και καταγραφή στοιχείων των αεροτομών τύπου NACA περιέχεται στο βιβλίο *Theory of Wing Sections* (Abbot and von Doenhoff, 1959).

Ειδικότερα η σειρά SERI (ΗΠΑ) διαθέτει υψηλότερο δείκτη αντίστασης και ορισμένο ανώτατο συντελεστή άνωσης. Η σειρά NREL (National Renewable Energy Lab) δίνει αυξημένη ελεγχόμενη ισχύ. Η σειρά RIS (Δανία) δίνει μέγιστη αναλογία άνωσης – αντίστασης κοντά στη γωνία απώλειας στήριξης. Η σειρά FFA-W (Σουηδία) διαθέτει υψηλό συντελεστή άνωσης και αντίστασης και καλή αεροδυναμική απόδοση κοντά στη γωνία απώλειας στήριξης. Σήμερα ο μεγαλύτερος κατασκευαστής πτερυγίων A/G η LM Δανίας χρησιμοποιεί την αεροτομή FFA-W.

6.4 Αεροδυναμικοί Συντελεστές.

Η δύναμη αντίδρασης F αναλύεται σε διευθύνσεις, κάθετη στην ταχύτητα της αδιατάρακτης ροής και παράλληλα σε αυτήν. Προκύπτουν από την ανάλυση αυτή οι δυνάμεις της άνωσης (Lift) που είναι κάθετη στη διεύθυνση της ταχύτητας και της αντίστασης (Drag) παράλληλα στη διεύθυνση της ταχύτητας της αδιατάρακτης ροής.

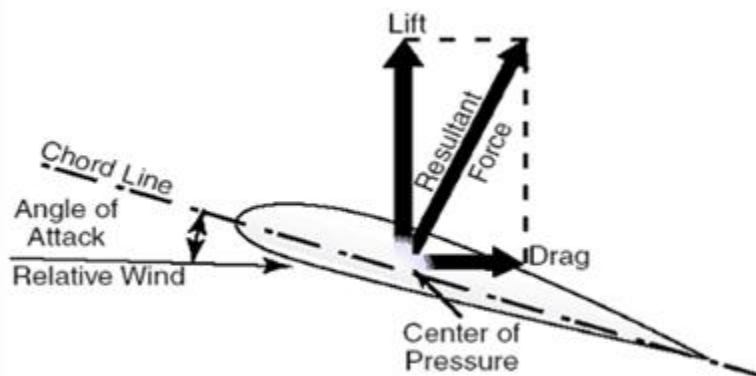
Στην περίπτωση αεροτομής αεροσκάφους ο λόγος L/D θα πρέπει να λαμβάνει μέγιστες τιμές, ώστε η άνωση να υπερνικά τη βαρύτητα και το σκάφος να ανυψώνεται. Για τις δυνάμεις αυτές υπάρχουν συντελεστές άνωσης και αντίστασης ενώ ορίζεται επίσης και συντελεστής ροπής ως εξής:

$$C_l = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho c V_\infty^2}$$

$$C_d = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho c V_\infty^2}$$

$$C_m = \frac{M}{\frac{1}{2} \rho c V_\infty^2}$$

όπου c είναι το μήκος χορδής της αεροτομής, ενώ η ροπή M μιας αεροτομής ορίζεται ως προς σημείο που βρίσκεται σε απόσταση $c/4$ από το χείλος προσβολής. Όταν η ροπή είναι θετική τείνει να γυρίσει την αεροτομή ωρολογιακά.



Εικόνα 33: Ανάλυση δύναμης αντίδρασης.
Πηγή: Πτυχιακή Εργασία Αποστολόπουλος 2016



Οι παραπάνω αεροδυναμικοί συντελεστές εξαρτώνται από τη γωνία προσβολής α και από τον αριθμό Re .

$$Re = \frac{V_{\infty} c}{\nu}$$

Ο συντελεστής άνωσης C_l αυξάνεται γραμμικά με τη γωνία προσβολής α μέχρι μιας συγκεκριμένης τιμής της α στην οποία ο C_l γίνεται μέγιστος. Στο σημείο αυτό επέρχεται η «απώλεια στήριξης» (stall) δηλαδή η άνωση φθίνει και ο C_l μειώνεται απότομα. Επίσης για μικρές γωνίες α ο C_d παραμένει σχεδόν σταθερός αλλά αυξάνεται ραγδαία κατά την κατάσταση stall. (διαγράμματα)

Η γεωμετρία της αεροτομής σχετίζεται άμεσα με την κατάσταση απώλειας στήριξης. Οι λεπτές αεροτομές με αιχμηρό χείλος προσβολής τείνουν να χάνουν στήριξη απότομα σε σχέση με τις αεροτομές με πιο καμπύλο χείλος προσβολής. Η ερμηνεία του φαινομένου αυτού σχετίζεται με την αποκόλληση του οριακού στρώματος από το άνω μέρος της αεροτομής.

Όταν η αποκόλληση ξεκινά από το χείλος εκφυγής και αυξάνει αργά με την αύξηση της γωνίας προσβολής α η μετάβαση σε κατάσταση απώλειας στήριξης είναι πιο ομαλή. Όταν η αποκόλληση ξεκινά από το χείλος προσβολής τότε το οριακό στρώμα αποκολλάται όλο ταυτόχρονα με μείωση της άνωσης.

Η συμπεριφορά του τυρβώδους οριακού στρώματος επηρεάζεται από την καμπυλότητα της αεροτομής, την ταχύτητα προσβολής που υπεισέρχεται στον αριθμό Re , την τραχύτητα της επιφάνειας και τον αριθμό Ma . Η αποκόλληση του οριακού στρώματος σχετίζεται συνολικά πλέον με τη γωνία προσβολής που κυμαίνεται σε γωνίες μεγαλύτερες των 5° .

Η ροική γραμμή του σημείου ανακοπής είναι η νοητή γραμμή γύρω από την οποία η πορεία του ρευστού διαχωρίζεται κατά τρόπο που μια ποσότητα ρευστού να περνά πάνω από την αεροτομή και η υπόλοιπη να περνά κάτω από αυτήν. Στο σημείο ανακοπής η ταχύτητα του ρευστού προφανώς μηδενίζεται και το πάχος του οριακού στρώματος είναι λεπτό. Το ρευστό που περνά πάνω από την αεροτομή επιταχύνεται προσπερνώντας το χείλος προσβολής. Για τη διατήρηση του ενεργειακού ισοζυγίου στην πτέρυγα λόγω της επιτάχυνσης του ρευστού πάνω από την πτέρυγα η στατική πίεση μειώνεται.

Στην κάτω πλευρά της πτέρυγας η μεταβολή της πίεσης είναι πολύ μικρότερη λόγω της μικρής καμπυλότητας της κάτω επιφάνειας. Στο χείλος εκφυγής όπου το ρευστό συγκλίνει πάλι θα πρέπει να έχει αποκατασταθεί η ίδια πίεση μεταξύ των τμημάτων του ρευστού που ρέουν πάνω και κάτω από την αεροτομή (συνθήκη Kutta).

Για την ικανοποίηση της συνθήκης Kutta σε κάποιο μήκος στο άνω μέρος της αεροτομής η ροή θα πρέπει να επιβραδυνθεί. Υπάρχει η πιθανότητα αποκόλλησης αν η επιβράδυνση ξεκινήσει σε ένα σημείο όπου το οριακό στρώμα είναι στρωτό. Οι δυνάμεις πίεσης που οδηγούν σε αποκόλληση μπορούν να αντισταθμιστούν εάν αμέσως μετά τη μετάβαση από στρωτό σε τυρβώδες οριακό στρώμα, η ορμή κοντά στην επιφάνεια είναι αρκετά μεγάλη και το πάχος του στρώματος είναι σχετικά λεπτό. Μία στρωτή αεροτομή χαρακτηρίζεται από ψηλή τιμή αναλογίας των συντελεστών άνωσης αντίστασης CL/CD για τιμές γωνίας προσβολής κάτω από τις σχεδιαστικές.

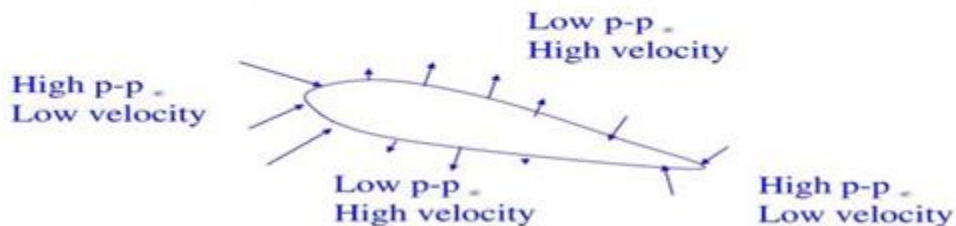
Σημαντικός παράγοντας για την απόδοση μιας Α/Γ ειδικότερα είναι και η ευαισθησία ως προς την τραχύτητα της επιφάνειας. Εάν μία αεροτομή έχει



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

ευαισθησία ως προς την τραχύτητα της επιφάνειας, η καλή λειτουργία χάνεται στην περίπτωση έκθεσης των πτερυγίων σε σκόνη, βροχή ή έντομα. Μια τέτοια κατάσταση θα μπορούσε να αλλάξει την απόδοσή της Α/Γ μακροπρόθεσμα. Εάν η Α/Γ είναι εγκατεστημένη κοντά σε ακτή, υπάρχει σοβαρή πιθανότητα συγκέντρωσης αλατιού στα πτερύγια όταν ο άνεμος έρχεται από τη θάλασσα.

**Subtract off atmospheric Pressure p_{∞} everywhere.
Resulting Pressure Forces acting on the Airfoil**



Εικόνα 34: Πεδίο πίεσης γύρω από πτέρυγα.
Πηγή: Πτυχιακή Εργασία Αποστολόπουλος 2016



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΤΡΙΚΟΡΦΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ RETSCREEN

7.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, χρησιμοποιώντας το λογισμικό ανάλυσης RETScreen παρουσιάζεται αναλυτικά ο τρόπος με τον οποίο το λογισμικό υπολογίζει ενεργειακά, περιβαλλοντικά και χρηματοοικονομικά μεγέθη ενός υπαρκτού αιολικού πάρκου στη θέση «Τρίκορφα» του Δήμου Δωρίδας στο Ν. Φωκίδας. Παράλληλα, γίνεται επίσης ανάλυση ευαισθησίας στο αιολικό πάρκο Τρίκορφα για τα κλιματικά δεδομένα του Αράξου (1ο σενάριο) και για τα κλιματικά δεδομένα της Αλιάρτου (2ο σενάριο).

7.2 Περιγραφή λογισμικού προγράμματος RETScreen

Το RETScreen είναι ένα σύστημα Λογισμικού Διαχείρισης Καθαρής Ενέργειας για την ανάλυση έργων ενεργειακής απόδοσης, ανανεώσιμης ενέργειας και συμπαραγωγής ενέργειας. Επίσης, το RETScreen ενισχύει τους επαγγελματίες στο γρήγορο εντοπισμό, εκτίμηση και βελτίωση της τεχνικής ανάλυσης των έργων καθαρής ενέργειας. Η πλατφόρμα του λογισμικού επιτρέπει στους χρήστες να επαληθεύουν την πραγματική απόδοση των εγκαταστάσεων και βοηθά στην εύρεση περισσότερων ευκαιριών εξοικονόμησης και παραγωγής ενέργειας. Επιπλέον, το RETScreen χρησιμοποιείται σε πολλά πανεπιστήμια και κολέγια παγκοσμίως ως διδακτικό και ερευνητικό εργαλείο. Το RETScreen ενσωματώνει μια σειρά από βάσεις δεδομένων για να βοηθήσει το χρήστη, συμπεριλαμβανομένης μιας παγκόσμιας βάσης δεδομένων κλιματολογικών συνθηκών που λαμβάνονται από 6.700 επίγειους σταθμούς και δορυφορικά δεδομένα της NASA, μιας βάσης δεδομένων αναφοράς, μιας βάσης δεδομένων κόστους, μιας βάσης δεδομένων έργων, μιας υδρολογικής βάσης δεδομένων και μιας βάσης δεδομένων προϊόντων.

Το λογισμικό είναι διαθέσιμο σε 37 γλώσσες και μπορεί να μειώσει σημαντικά το οικονομικό και χρονικό κόστος που σχετίζεται με τον εντοπισμό και την αξιολόγηση πιθανών έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ενεργειακής απόδοσης ενώ από το Φεβρουάριο του 2018, είχε περισσότερους από 575.000 χρήστες σε κάθε χώρα και επικράτεια.

Το πρόγραμμα αποτελείται από μία σειρά υπολογιστικών φύλλων που χρησιμοποιεί το περιβάλλον εργασίας του Excel. Αυτά τα φύλλα εργασίας ακολουθούν μία τυποποιημένη προσέγγιση για όλα τα πρότυπα RETScreen και είναι τα ακόλουθα:

- ◆ Φύλλο Εκκίνησης
- ◆ Ενεργειακό Μοντέλο
- ◆ Ανάλυση Κόστους
- ◆ Ανάλυση Εκπομπών
- ◆ Οικονομική Ανάλυση
- ◆ Ανάλυση Ευαισθησίας - Κινδύνου



7.3 Περιγραφή Αιολικού Πάρκου

7.3.1 Χωροθέτηση Α/Π Τρίκορφα - Επιλογή Α/Γ

Το αιολικό πάρκο βρίσκεται ανατολικά της Ναυπάκτου, αποτελείται από 7 Α/Γ τοποθετημένες σε σειρά σύμφωνα με το οδικό δίκτυο της περιοχής. Είναι τοποθετημένο στην κορυφή ορεινού όγκου που ανήκει ευρύτερα στο νομό Φωκίδας, στη θέση Τρίκορφα του Δήμου Δωρίδας. Η συνολικής ισχύς του Α/Π είναι 14MW και οι Α/Γ που το αποτελούν είναι τύπου VESTAS V100-2MW. Ο τύπος υποδεικνύει ότι η διάμετρος του ρότορα είναι 100m ενώ η ονομαστική ισχύς είναι 2MW. Το ύψος του πυλώνα είναι 80m και η επιφάνεια σάρωσης είναι 7,854m². Οι Α/Γ παράγουν τριφασικό ρεύμα τάσης 690V και συχνότητας 50Hz. Εντός του πυλώνα κάθε Α/Γ θα εγκατασταθεί μετασχηματιστής εξωτερικού χώρου με σχέση ανύψωσης 0,69/20kV ονομαστικής ισχύος 2.100kV.



Εικόνες 35: Αιολικό Πάρκο Τρίκορφα.
Πηγή: <https://www.facebook.com/>

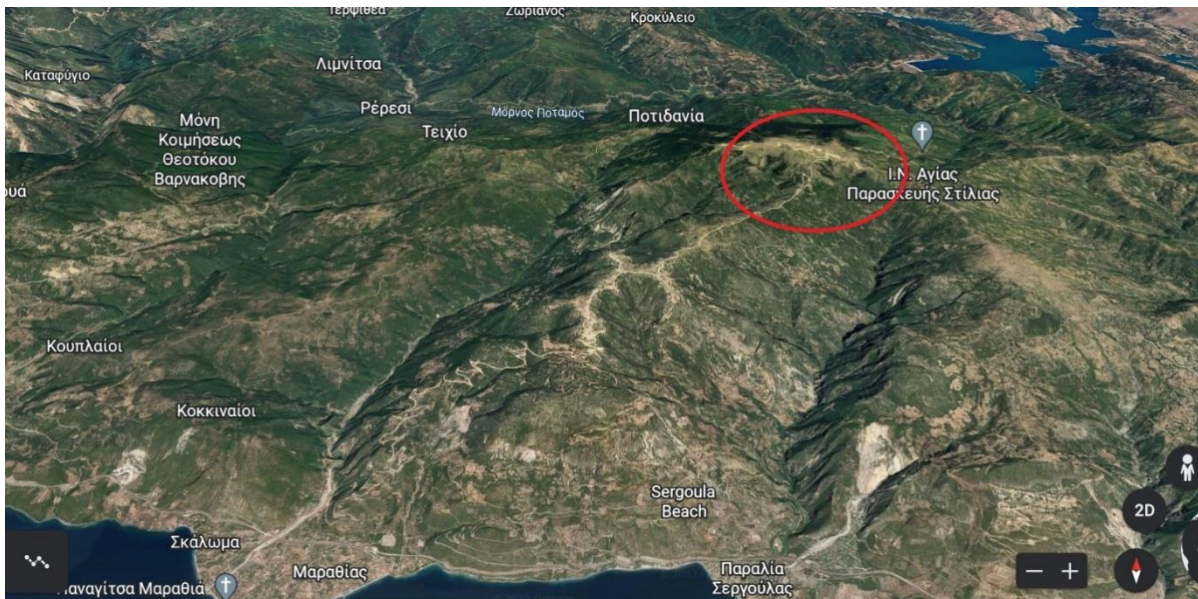
Οι συντεταγμένες εγκατάστασης των κέντρων των Α/Γ κατά ΕΓΣΑ 87' είναι οι εξής:

Α/Γ	X(m)	Y(m)
1	330799	4258327
2	331106	4258252
3	331592	4258114
4	331853	4258062
5	332149	4257994
6	332391	4257871
7	332670	4257656

Πίνακας 1: Συντεταγμένες Εγκατάστασης Α/Γ κατά ΕΓΣΑ 87'



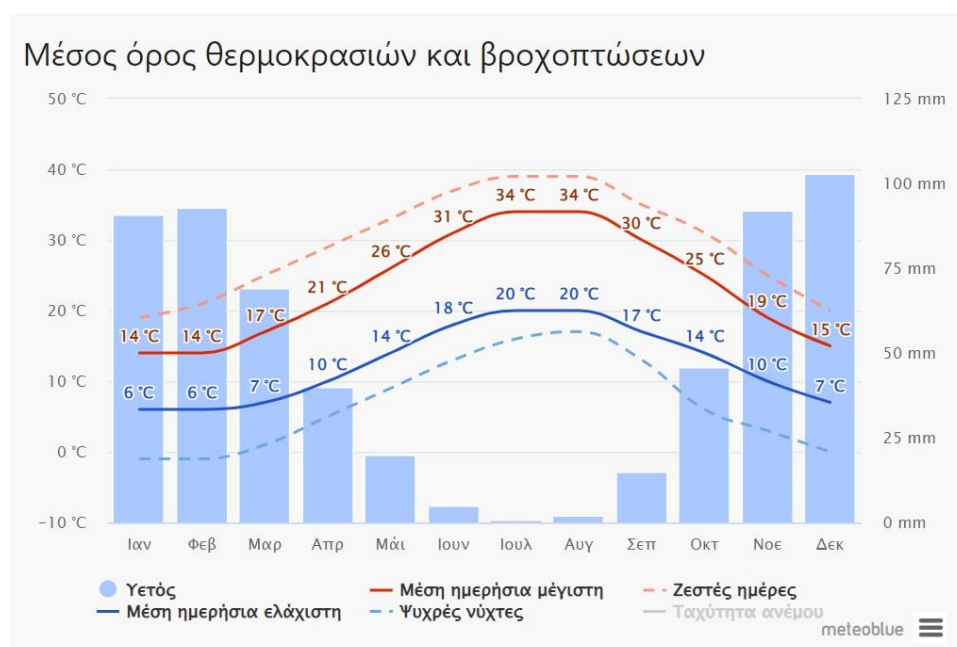
Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ – ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ



Εικόνα 36: Χάρτης με την τοποθεσία του Α/Π.
Πηγή: Google Earth

7.4 Ανεμολογικά – Κλιματικά Δεδομένα Α/Π Τρίκορφα (1ο Σενάριο)

Μετά την καταγραφή της τοποθεσίας του Α/Π καταγράφονται τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής. Τα δεδομένα αυτά έχουν ληφθεί από τον ιστότοπο www.meteoblue.com για την περιοχή του Άραξου.



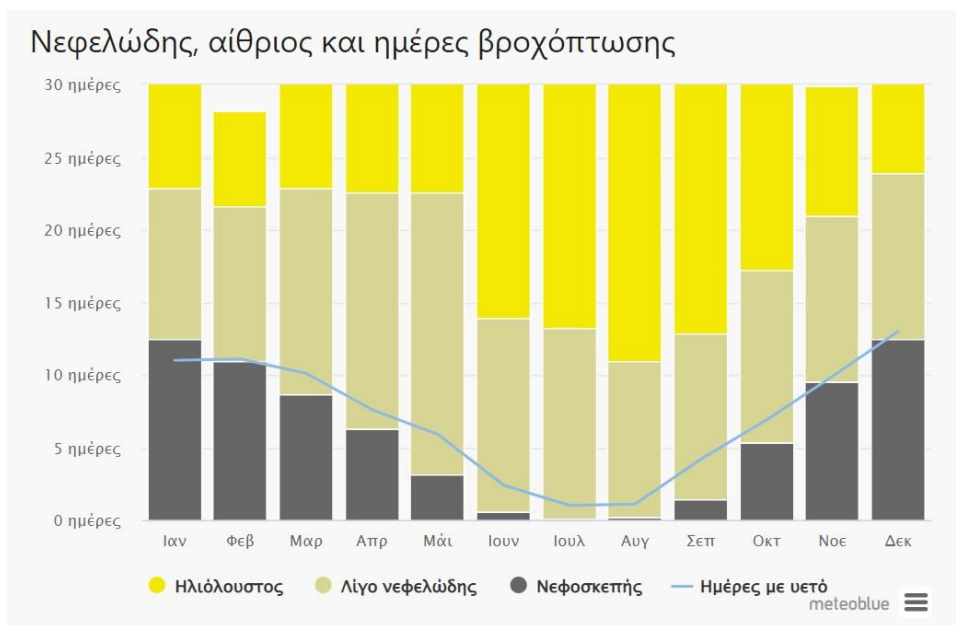
Εικόνα 37: Ετήσια θερμοκρασιακή κατανομή στον Άραξο.
Πηγή: www.meteoblue.com

Η μέγιστη μέση ημερήσια ή συμπαγής κόκκινη γραμμή δείχνει τη μέγιστη θερμοκρασία μιας μέσης ημέρας για κάθε μήνα για τον Άραξο. Ομοίως, η ελάχιστη



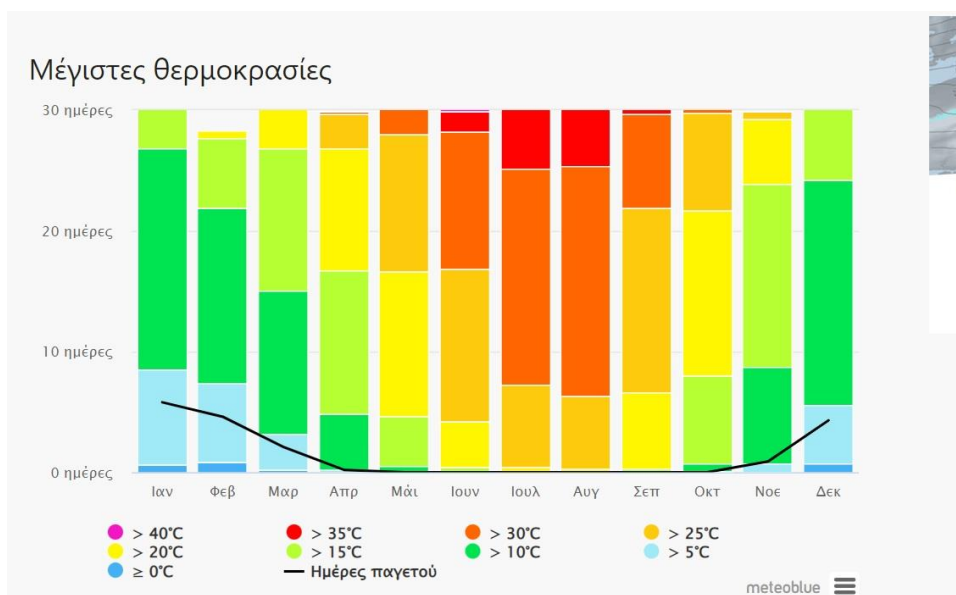
Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

μέση ημερήσια ή συμπανής μπλε γραμμή δείχνει τη μέση ελάχιστη θερμοκρασία. Οι ζεστές ημέρες και κρύες νύχτες (διακεκομμένες κόκκινες και μπλε γραμμές) δείχνουν τον μέσο όρο της πιο ζεστής μέρας και πιο κρύας νύχτας του κάθε μήνα για τα τελευταία 30 χρόνια.



Εικόνα 38: Ετήσιες καιρικές συνθήκες στην περιοχή του Άραξου.
Πηγή: www.meteoblue.com

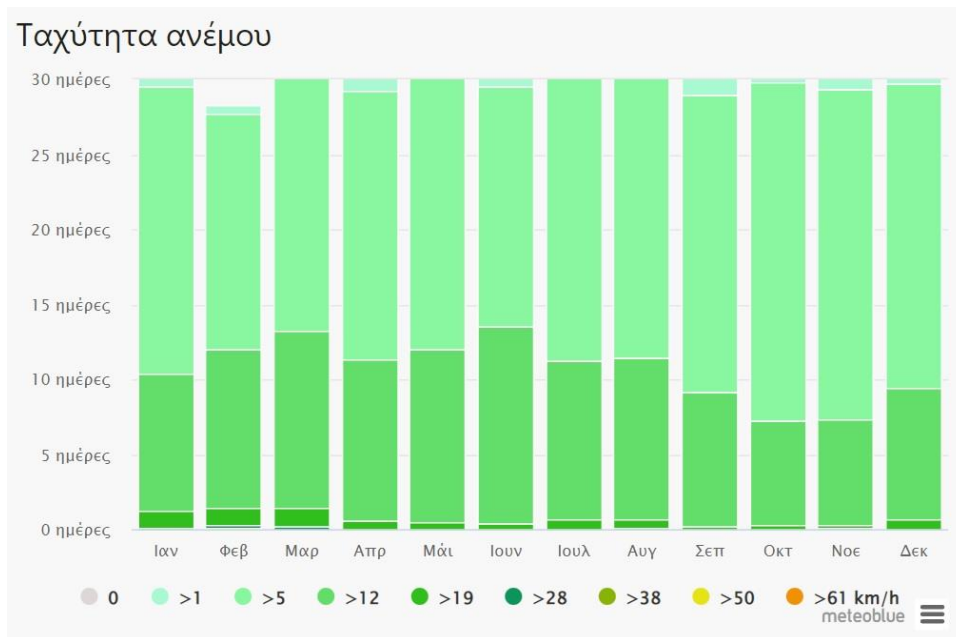
Το γράφημα δείχνει το μηνιαίο αριθμό ημερών με καιρό αίθριο, λίγο νεφελώδη, νεφοσκεπή και τις ημέρες με βροχή. Οι ημέρες με λιγότερο από 20% νεφοκάλυψη θεωρούνται ως αίθριες, με 20-80% νεφοκάλυψη ως νεφελώδεις και με περισσότερα από 80%, ως νεφοσκεπείς.



Εικόνα 39: Κατανομή μέγιστων θερμοκρασιών περιοχής Άραξου.
Πηγή: www.meteoblue.com

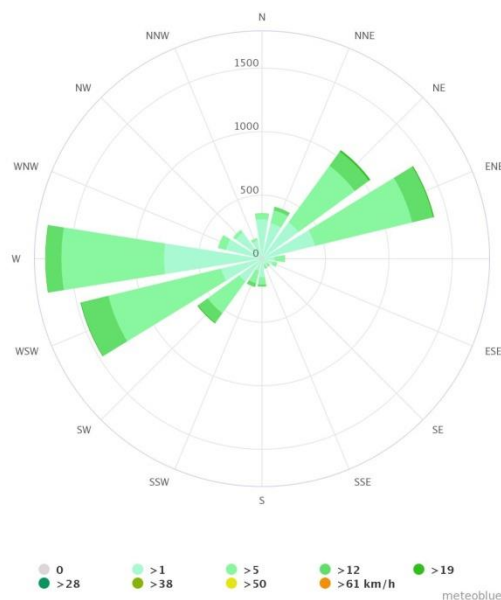


Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ



Εικόνα 40: Ετήσια κατανομή ταχύτητας ανέμων στην περιοχή του Άραξου.
Πηγή: www.meteoblue.com

Στην Εικόνα 40 δίνεται το διάγραμμα μέγιστης θερμοκρασίας για τον Άραξο. Εμφανίζει πόσες ημέρες ανά μήνα επιτυγχάνονται συγκεκριμένες θερμοκρασίες. Στην Εικόνα 41 δίνεται το διάγραμμα που δείχνει τις ημέρες ανά μήνα, κατά τις οποίες ο άνεμος φθάνει μια ορισμένη ταχύτητα στην τοποθεσία του Άραξου.



Εικόνα 41: Ροδόγραμμα περιοχής Άραξου.
Πηγή: www.meteoblue.com

Το ροδόγραμμα για τον Άραξο δείχνει πόσες ώρες ετησίως ο άνεμος φυσάει από την υποδεικνυόμενη διεύθυνση. Παράδειγμα ΝΔ: ο άνεμος φυσά από τα Νότιο-Δυτικά (ΝΔ) προς τα Βορειοανατολικά (ΒΑ).



**Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ**

7.4.1 Εκκίνηση

Αρχικά, συμπληρώνεται το φύλλο εκκίνησης στο οποίο καταχωρούνται κάποια βασικά στοιχεία, όπως η ονομασία και η τοποθεσία του έργου. Επιπλέον, στο ίδιο φύλλο συμπληρώνεται ο τύπος του έργου (Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας) καθώς και στοιχεία που αφορούν την τεχνολογία που χρησιμοποιείται (Ανεμογεννήτρια). Το πρόγραμμα εμφανίζει διάφορες πληροφορίες σχετικά με τον συγκεκριμένο σταθμό, όπως η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου κ.α..



Εικόνα 42: Φύλλο Εκκίνησης
Πηγή: Πρόγραμμα RETScreen

The screenshot shows the 'Location' screen of the RETScreen software. It displays climate data for the location 'Greece'. The table below summarizes the monthly and annual climate data.

Μήνας	Θερμοκρασία αέρα		Σχετική υγρασία %	Κατοκρήμνηση mm	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - kWh/m ² /ημέρ		Ατμοσφαιρική πίεση kPa	Ταχύτητα ανέμου m/Δευτερόλεπτο	Θερμοκρασία εδάφους	
	°C	°C			°C	°C			18 °C	10 °C
Ιανουάριος	10,0	76,8%	86,18	2,16	100,5	2,3	10,5	248	0	
Φεβρουάριος	10,2	74,7%	75,60	2,83	100,4	2,3	10,7	218	6	
Μάρτιος	11,8	74,3%	62,93	3,97	100,3	2,3	12,5	192	56	
Απρίλιος	14,6	73,3%	44,10	4,95	100,1	1,9	15,5	102	138	
Μάιος	19,4	71,2%	26,97	6,03	100,2	1,9	19,8	0	291	
Ιούνιος	23,5	66,8%	9,90	7,27	100,1	1,7	24,4	0	405	
Ιούλιος	26,1	63,1%	9,92	7,15	100,0	1,7	27,5	0	499	
Αύγουστος	26,4	65,1%	11,47	6,30	100,0	1,7	28,1	0	508	
Σεπτέμβριος	22,9	69,4%	36,60	4,91	100,3	1,8	24,7	0	387	
Οκτώβριος	19,0	72,7%	74,40	3,41	100,5	1,9	20,3	0	279	
Νοέμβριος	14,4	77,2%	111,90	2,14	100,5	2,1	15,8	108	132	
Δεκέμβριος	11,3	77,8%	110,67	1,72	100,5	2,4	11,9	208	40	
Ετήσιο	17,5	71,8%	660,64	4,41	100,3	2,0	18,5	1.076	2.742	
Πηγή	Εδαφος	Εδαφος	NASA	NASA	NASA	Εδαφος	NASA	Εδαφος	Εδαφος	

Εικόνα 43: Κλιματικά δεδομένα περιοχής Αράξου



7.4.2 Ενεργειακό Μοντέλο

Στο συγκεκριμένο φύλλο εισάγονται τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής εγκατάστασης και συμπληρώνονται τα χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών όπως η ισχύς, το ύψος και ο αριθμός τους καθώς και οι συντελεστές που σχετίζονται με την απόδοσή τους, της απώλειες του συστήματος και την τελική ενέργεια που παραδίδεται στο σύστημα. Από αυτά τα δεδομένα μέσω του προγράμματος υπολογίζουμε την ετήσια παραγωγή ενέργειας στο δίκτυο.

Το κελί που αφορά την τεχνολογία που χρησιμοποιείται έχει ενημερωθεί αυτόματα από το φύλλο Εκκίνησης, ενώ ως τύπος ανάλυσης επιλέγεται το Επίπεδο 2. Επιπλέον, ως μέθοδος εκτίμησης φυσικών πόρων επιλέγεται η ταχύτητα του ανέμου. Επιλέγεται η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου για την τοποθεσία Τρίκορφα που είναι 6,6 m/s σύμφωνα με τα κλιματικά δεδομένα από www.emy.gr

$$\frac{u}{u_0} = \left(\frac{H}{H_0} \right)^{\alpha}$$

Επιλύοντας τη σχέση υπολογίζεται $\alpha = 0,237$ (εκθετικός δείκτης ισχύος)

Το υψόμετρο εγκατάστασης του Α/Π είναι στα 1500m ενώ ο πύργος των Α/Γ είναι 80m. Οπότε, $H=1580m$.

Τα ανεμολογικά δεδομένα δίνονται για ένα χαρακτηριστικό ύψος $H_0=10m$.

Οι μετρήσεις ταχύτητας ανέμου στο Α/Π δίνονται στον ακόλουθο πίνακα όπου η μέση τιμή ταχύτητας ανέμου υπολογίζεται $u=6.61$ m/s.

MONTHS		JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Average Wind Speed (m/s)	U_{mean} 6.61m/s	9.44	7.76	6.62	6.72	6.03	4.38	4.74	5.49	5.43	6.79	7.29	8.60

Η μέση ταχύτητα ανέμου σε ένα ύψος που θεωρήθηκε $H_0 = 10m$ για την περιοχή του Αράξου είναι $u_0= 2m/s$.

Η τιμή για την ετήσια θερμοκρασία αέρα είναι 17,5 μετρημένη στα 10m. Όμως, έχουμε μείωση κατά 0,64°C ανά 100m. Επομένως σε υψόμετρο 1580m θα έχουμε ετήσια θερμοκρασία αέρα 7,4°C. Αντίστοιχα, η τιμή για την ετήσια ατμοσφαιρική πίεση είναι 100kPa μετρημένη στα 10m. Όμως, έχουμε μείωση 1kPa της ατμοσφαιρικής πίεσης ανά 100m ύψους. Οπότε, η τελική ατμοσφαιρική πίεση θα είναι 84,5kPa.

Όσον αφορά το μοντέλο της ανεμογεννήτριας που θα χρησιμοποιήσουμε είναι το VESTAS V100-2MW με ύψος πυλώνα 100m και διάμετρο ρότορα 80m. Ο αριθμός των στροβίλων είναι 7 και η επιφάνεια σάρωσης ορίζεται 7.854m².



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

Αιολικό - Επίπεδο 2

Αξιολόγηση πηγών

- Μέθοδος (εκτίμησης) φυσικών πόρων
- Ταχύτητα ανέμου - ετήσια
- Μετρημένο σε
- Εκθέτης παραμόρφωσης ανέμου
- Θερμοκρασία αέρα - ετήσια
- Ατμοσφαιρική πίεση - ετήσια

Ανεμογεννήτρια

- Ισχύς ανά στρόβιλο
- Κατασκευαστής
- Μοντέλο
- Αριθμός στρόβιλων
- Ηλεκτρική ισχύς
- Ύψος πύλων
- Διάμετρος ρότορα ανά στρόβιλο
- Επιφάνεια σάρωσης ανά στρόβιλο
- Καμπύλες ενεργειακών δεδομένων
- Παράγων σχήματος

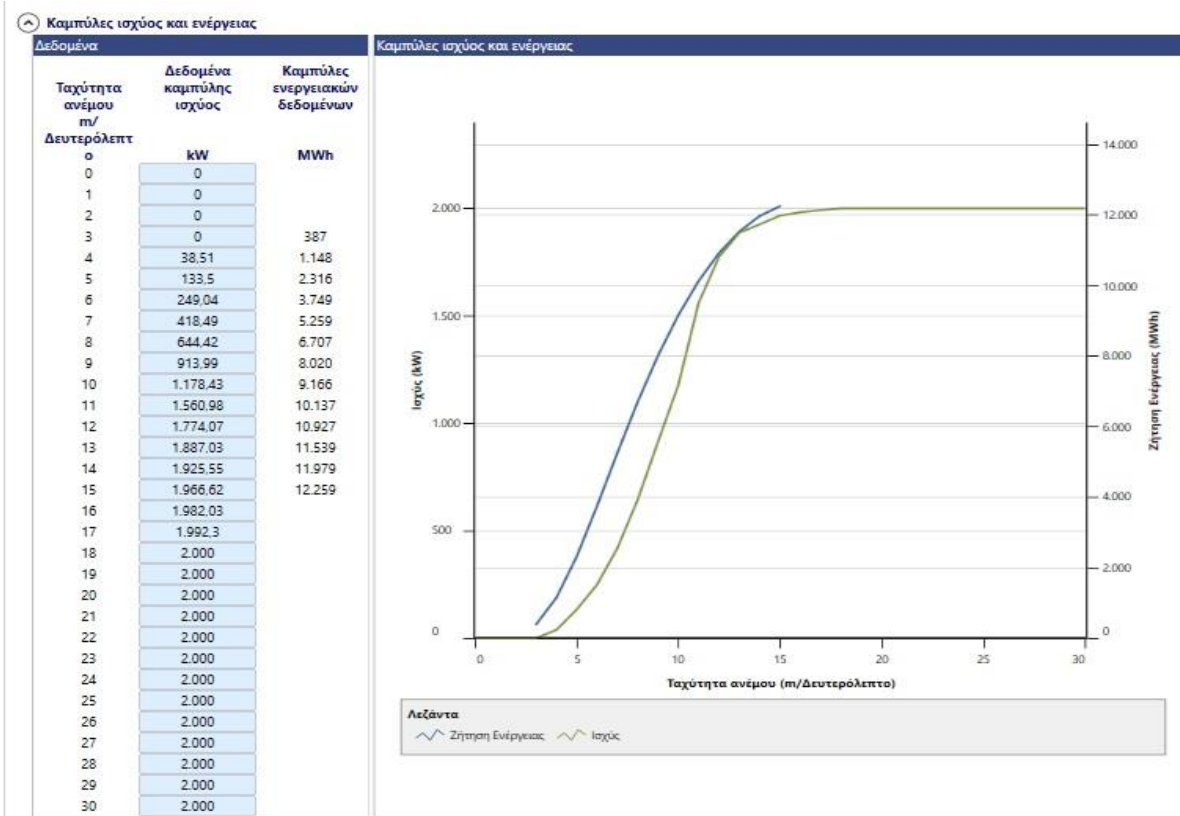
Κλιματικά δεδομένα
 Ελλάδα - Αρακός (Civ/AFB)

Ταχύτητα ανέμου	6,6	2
m/Δευτερόλεπτο	10	10
	0,237	
°C	7,4	17,5
kPa	84,5	100

kW	2.000	
	VESTAS	
	Vestas V100-2MW	
	7	
kW	14.000	
m	100	11,4 m/Δευτερόλεπτο
m	80	
m ²	7.854	
	Τυποποιημένο	
	2	

Εικόνα 44: Ενεργειακό Μοντέλο

Το RETScreen εμφανίζει 3 πίνακες με δεδομένα ταχυτήτων ανέμου, δεδομένα ισχύος σε kW καθώς και δεδομένα ενέργειας σε MWh. Επιπρόσθετα, μας δίνεται η δυνατότητα σχηματισμού καμπύλων ισχύος και ενέργειας.



Εικόνα 45: Δεδομένα και Καμπύλες



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

Οι απώλειες πτερυγίου σχετίζονται με την μείωση της αεροδυναμικής απόδοσης των πτερυγίων των ανεμογεννητριών λόγω προσκόλλησης εντόμων, δημιουργίας πάγου κ.α. και ορίζονται 2%. Οι απώλειες διάταξης απεικονίζουν την δομή του αιολικού πάρκου, υπολογίζουν τις ενεργειακές μας απώλειες εξαιτίας της διάταξης των ανεμογεννητριών και εδώ ορίζονται στο 4%. Οι λοιπές απώλειες ορίζονται στο 6% και μας δίνουν την δυνατότητα να εισάγουμε τον μέσο όρο των διάφορων απωλειών (%) των ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου στο σύνολό του. Η διαθεσιμότητα ορίζεται στο 98% και είναι οι απώλειες χρόνου διακοπής των ανεμογεννητριών λόγω προγραμματισμένης συντήρησης, διάφορων βλαβών των ανεμογεννητριών, διακοπής ρεύματος του σταθμού καθώς και του βοηθητικού προγράμματος ελέγχου του αιολικού πάρκου.υ6

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα, το πρόγραμμα υπολόγισε ότι η ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο είναι 54.293MWh.

Τα υπόλοιπα στοιχεία που αναγράφονται υπολογίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουμε ήδη δώσει. Επίσης, το μοντέλο υπολογίζει την μη διορθωμένη ενεργειακή παραγωγή, τον συντελεστή πίεσης, τον συντελεστή θερμοκρασίας, την συνολική ενεργειακή παραγωγή, τον συντελεστή απωλειών και την ειδική παραγωγή.

Απώλειες			
Απώλειες διάταξης	%	4%	
Απώλειες πτερυγίου	%	2%	
Λοιπές απώλειες	%	6%	
Διαθεσιμότητα	%	98%	
Περίληψη			
Συντελεστής ισχύος	%	44,3%	
Αρχικά κόστη	€/kW	2.100	
	€	29.400.000	
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	€/kW-έτος	64	
	€	896.000	
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού			Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού - ετήσι
	€/MWh	87,85	
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	54.293	
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	€	4.769.618	
Άλλες πληροφορίες			Ανά στρόβιλο
Μη διορθωμένη ενεργειακή παραγωγή	MWh	10.446	
Συντελεστής πίεσης		0,834	
Συντελεστής θερμοκρασίας		1,027	
Συνολική ενεργειακή παραγωγή	MWh	8.949	
Συντελεστής απωλειών		0,87	
Ειδική παραγωγή	kWh/m ²	988	

Εικόνα 46: Ενεργειακό Μοντέλο

7.4.3 Ανάλυση Κόστους

Το συγκεκριμένο φύλλο βοηθά τον χρήστη να υπολογίσει τα κόστη που συνδέονται με το έργο που μελετάται. Αρχικά, επιλέγεται το Επίπεδο 2 το οποίο μας δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα απαιτώντας λιγότερες πληροφορίες από το Επίπεδο 3. Στην συνέχεια συμπληρώνονται τα κελιά που αφορούν τα αρχικά κόστη.

Η μελέτη σκοπιμότητας η οποία ανέρχεται στα 74.820€, περιλαμβάνει την έρευνα του χώρου, την αξιολόγηση των πόρων, την περιβαλλοντική εκτίμηση, τον προκαταρκτικό σχεδιασμό του έργου, την βασική μελέτη παρακολούθησης των



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, τα έξοδα των ταξιδιών, την διαχείριση του έργου και την τελική του έκθεση.

Το κόστος για την ανάπτυξη ορίζεται 245.000€ και περιλαμβάνει τις διαπραγματεύσεις συμβολαίου, την επισκόπηση του χώρου, την χρηματοδότηση του έργου καθώς και τις νομικές και λογιστικές υπηρεσίες.

Η ενότητα που αφορά τα μηχανολογικά έξοδα περιλαμβάνει την τοποθεσία και τον σχεδιασμό του κτηρίου, τον μηχανικό σχεδιασμό, τον ηλεκτρολογικό σχεδιασμό, τον οικοδομικό σχεδιασμό, τις συμβάσεις και την επίβλεψη της κατασκευής. Το κόστος αυτό ανέρχεται στα 44.600€. Το κόστος αδειών μηχανικού καλύπτουν το κόστος σχεδιασμού και αδειοδότησης ολόκληρης της αιολικής εγκατάστασης, όπως κατανέμεται ανά τουρμπίνα. Αυτά τα κόστη εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την τοποθεσία, τις περιβαλλοντικές συνθήκες, την προσβασιμότητα στο ηλεκτρικό δίκτυο και τις απαιτήσεις τοπικών αδειών από δήμους κοινότητα περιφέρεια. Ο υπολογισμός του κόστους γίνεται ως προς την ονομαστική ισχύ της Α/Γ σύμφωνα με τις εμπειρικές σχέσεις:

$$Eng\ permits\ cost\ factor = 9.94 \cdot 10^{-4} (MR)_{kW} + 20.31 = 22.30$$

$$Eng\ permits\ cost = Ep_f \cdot (MR)_{kW} = 22.30 \cdot (MR)_{kW}$$

Το κόστος για την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας ανέρχεται στα 14.000.000€ (1.000€/kW).

Το κόστος για τα έργα οδοποιίας 18km ανέρχεται στα 98.440€. Ο υπολογισμός του κόστους λαμβάνεται από την τεχνική αναφορά ειδικότερα τα αναφερόμενα στη μελέτη logistics. Οι εκτιμήσεις περιλαμβάνουν το κόστος που μπορεί να σχετίζεται με διαπλάτυνση δρόμων ώστε να μπορούν να περνούν τα γερανοφόρα οχήματα φορτωμένα με τμήματα των Α/Γ όπως και το κόστος των γερανών. Το κόστος προκύπτει ως προς την ονομαστική ισχύ των Α/Γ.

$$Road\ Civil\ factor = 2.17 \cdot 10^{-6} \cdot (MR)_{kW}^2 - 0.0145 \cdot (MR) + 69.54 = 49.22$$

$$Road\ Civil_{cost} = RC_f \cdot (MR)_{kW} = 49.22 \cdot (MR)_{kW}$$

Το κόστος για την γραμμή μεταφοράς του ηλεκτρισμού ανέρχεται στα 158.920€. Ο υπολογισμός του κόστους των ηλεκτρικών συνδέσεων καλύπτει τη σύνδεση του μετασχηματιστή με το στρόβιλο και κομμάτι της καλωδίωσης του στρόβιλου με τον υποσταθμό. Αυτά τα δεδομένα προήλθαν αρχικά από τη μελέτη ισορροπίας σταθμού WindPACT και χρησιμοποιήθηκαν σε αυτό το μοντέλο. Ο υπολογισμός γίνεται ως προς την ονομαστική ισχύ της Α/Γ σύμφωνα με την εμπειρική σχέση:

$$Electrical\ interface\ / \ connection\ factor = 3.49 \cdot 10^{-6} (MR)_{kW}^2 - 0.0221 \cdot MR + 109.7 = 79.46$$

$$Electrical\ interface\ / \ connection_{cost} = Eic_f \cdot (MR)_{kW} = 79.46 \cdot (MR)_{kW}$$

Η τελευταία ενότητα αφορά τα αρχικά κόστη και σχετίζεται με την μεταφορά και ορίζονται στα 85.880€. Το κόστος μεταφοράς του εξοπλισμού λαμβάνεται από



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

την τεχνική αναφορά WindPACT και ειδικότερα υπολογίζεται σύμφωνα με την ονομαστική ισχύ της μηχανής. Η σχέση υπολογισμού του κόστους αντανάκλα τη μεγάλη αύξηση στο σχετικό κόστος για Α/Γ διαφορετικών μεγεθών ισχύος. Πιο αναλυτικά το κόστος περιγράφεται από τις σχέσεις:

$$\text{Transportation factor} = 1.581 \cdot 10^{-5} \cdot (MR)_{kW}^2 - 0.0375 \cdot (MR) + 54.7 = 42.94$$

$$\text{Transportation}_{\text{cost}} = T_f \cdot (MR)_{kW} = 42.94 \cdot (MR)_{kW}$$

Έτσι τα συνολικά αρχικά κόστη ανέρχονται στα 19.082.782€.

Στο φύλλο ανάλυσης κόστους ορίζονται επίσης τα ετήσια κόστη που αφορούν τη λειτουργία και τη συντήρηση της εγκατάστασης. Αυτά περιλαμβάνουν την ενοικίαση γης, τον φόρο ιδιοκτησίας, το ποσοστό των ασφαλίσεων, το κόστος για έκτακτες εργασίες συντήρησης, το κόστος επίβλεψης, το κόστος για την παρακολούθηση και την επικύρωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου καθώς και κάποια γενικά και διοικητικά έξοδα. Τα ετήσια κόστη, μαζί με ένα ποσοστό 10% απρόβλεπτων κοστών, ανέρχονται στα 1.494.440€.

Όλα τα παραπάνω οικονομικά στοιχεία έχουν ληφθεί από την Διπλωματική Εργασία του Κωνσταντίνου Ραυτόπουλου (Σεπτέμβριος 2022)

Για την συγκεκριμένη εγκατάσταση, άλλα περιοδικά κόστη οριζόμενα από τον χρήστη θεωρούνται μηδενικά.

Αρχικό κόστος (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό	Σχετικό κόστος
Μελέτη σκοπιμότητας					
- Μελέτη σκοπιμότητας	κόστος	1	€	74.822	
Υπο-σύνολο:				€	74.822 0,4%
Ανάπτυξη					
- Ανάπτυξη	κόστος	1	€	245.000	
Υπο-σύνολο:				€	245.000 1,3%
Μηχανολογικά					
- Μηχανολογικά	κόστος	1	€	44.600	
Υπο-σύνολο:				€	44.600 0,2%
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας					
Ανεμογεννήτρια - 100000 kW (5,9m/Δευτερόλεπτο @	kW	14.000	€	1.000	14.000.000
Εργα οδοποιίας	km	18	€	98.440	1.771.920
Γραμμή μεταφοράς ηλεκτρισμού	km	18	€	158.920	2.860.560
Υποσταθμός	έργο			€	-
Μέτρα ενεργειακής απόδοσης				€	-
- Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος			€	-
Υπο-σύνολο:				€	18.632.480 97,6%

Εικόνα 47: Υπολογισμός Κόστους



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

Ετήσια κόστη (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
Λειτουργία & Συντήρηση				
Δείξε δεδομένα				
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας				
Ανεμογεννήτρια - 100000 kW (5.9m/Δευτερόλεπτο @				
			€	896.000
<i>Ενημέρωση κόστους</i>				
Τμήματα & Εργασία	έργο	1	€	462.582
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος		€	-
Απρόβλεπτα	%	10,0%	€	135.858
Υπο-σύνολο:			€	1.494.440

Εικόνα 48: Υπολογισμός Κόστους

7.4.4 Ανάλυση Εκπομπών

Ο σκοπός του συγκεκριμένου φύλλου είναι η μελέτη των αερίων του θερμοκηπίου με τελικό στόχο την μείωσή τους. Το φύλλο αυτό είναι προαιρετικό καθώς τα στοιχεία που εισάγονται και τα αποτελέσματα που προκύπτουν δεν επηρεάζουν τα υπόλοιπα στάδια της μελέτης.

Τα αέρια του θερμοκηπίου που σχετίζονται με την ανάπτυξη ενεργειακών έργων και εξετάζονται στην ανάλυση μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄) και το υποξείδιο του αζώτου (N₂O). Ο καθορισμός της παραγωγής αερίων του θερμοκηπίου από κάθε καύσιμο πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη τη συμμετοχή του κάθε καυσίμου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Για το συγκεκριμένο σύστημα επιλέγεται ο τύπος του καυσίμου πετρέλαιο. Άρα το μοντέλο, υπολογίζει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου πολλαπλασιάζοντας την κατανάλωση καυσίμου με τον συντελεστή GHG. Οι μονάδες θα είναι τόνοι CO₂ ανά έτος.

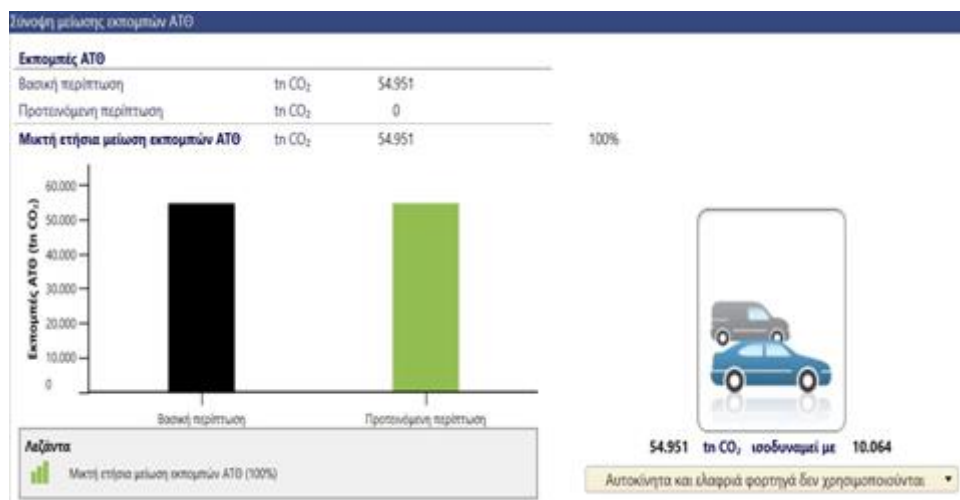
Ο συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ είναι 1,012 tn CO₂/MWh. Αντίστοιχα, η καθαρή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ που θα επιτευχθεί με την εγκατάσταση του συγκεκριμένου αιολικού πάρκου στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι 54.951 tn CO₂ που ισοδυναμούν με 10.064 αυτοκίνητα και ελαφριά φορτηγά.



**Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ**

Βασική περίπτωση συστήματος ηλεκτρισμού (Σενάριο Αναφοράς)							
Τύπος Καυσίμου	Μίγμα καυσίμου %	Συντελεστής εκπομπής CO ₂ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής CH ₄ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής N ₂ O kg/GJ	Βαθμός απόδοσης παραγωγής ηλεκτρισμού %	Απώλειες M&D %	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ tn CO ₂ /MWh
Πετρέλαιο (#6)	100,0%	74,1	0,0029	0,0019	28,6%	7,0%	1,012
Μίγμα Ηλεκτρισμού	100,0%	278,9	0,0108	0,0072		7,0%	1,012
<input type="checkbox"/> Αλλαγές στο Σενάριο Αναφοράς κατά τη διάρκεια ζωής του έργου							
Περίληψη εκπομπών ΑΤΘ βασικού σεναρίου (σεναρίου αναφοράς)							
Τύπος Καυσίμου	Μίγμα καυσίμου %	Συντελεστής εκπομπής CO ₂ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής CH ₄ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής N ₂ O kg/GJ	Κατανάλωση καυσίμου MWh	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ tn CO ₂ /MWh	Εκπομπές ΑΤΘ tn CO ₂
Ηλεκτρική ενέργεια	100,0%	278,9	0,0108	0,0072	54.293	1,012	54.951
Σύνολο	100,0%	278,9	0,0108	0,0072	54.293	1,012	54.951
Περίληψη εκπομπών ΑΤΘ προτεινόμενης περίπτωσης							
Τύπος Καυσίμου	Μίγμα καυσίμου %	Συντελεστής εκπομπής CO ₂ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής CH ₄ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής N ₂ O kg/GJ	Κατανάλωση καυσίμου MWh	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ tn CO ₂ /MWh	Εκπομπές ΑΤΘ tn CO ₂
Αιολικό	100,0%	0,0	0,0000	0,0000	54.293	0,000	0
Σύνολο	100,0%	0,0	0,0000	0,0000	54.293	0,000	0
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	54.293				Απώλειες M&D	
					0	1,012	0,0

Εικόνα 49: Ανάλυση Εκπομπών



Εικόνα 50: Ανάλυση Εκπομπών

7.4.5 Οικονομική Ανάλυση

Το φύλλο εργασίας που σχετίζεται με την οικονομική ανάλυση χωρίζεται σε έξι ενότητες. Η πρώτη ενότητα είναι οι οικονομικές παράμετροι, η δεύτερη ενότητα είναι η σύνοψη κόστους έργου και αποταμιεύσεων /εσόδων, η τρίτη ενότητα είναι η ετήσια χρηματοροή, η τέταρτη ενότητα είναι τα ετήσια έξοδα, η πέμπτη ενότητα είναι η οικονομική βιωσιμότητα και η έκτη ενότητα είναι τα διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών.

Στην ενότητα "Οικονομικές Παράμετροι" ορίζεται αρχικά ο κυλιόμενος φόρος κόστους καυσίμου, η τιμή του οποίου είναι 2%. Η τιμή του πληθωρισμού ορίζεται είναι 2%. Ακόμη το επιτόκιο αναγωγής θεωρείται 9% όπως και το ποσοστό επανεπένδυσης ενώ, ως διάρκεια ζωής του συγκεκριμένου έργου ορίζονται τα 20 έτη.



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

Όσον αφορά τη χρηματοδότηση, το ποσό που καλύπτεται από επιχορηγήσεις θεωρείται μηδενικό. Αντίστοιχα, το τοκοχρεολύσιο ορίζεται 70%, επομένως το ποσό των 13.357.947€ θα καλυφθεί από δάνειο.

Για το τοκοχρεολύσιο ο χρήστης εισάγει τον δείκτη χρέους (%), ο οποίος είναι ο λόγος του χρέους προς το άθροισμα του χρέους και τα κεφάλαια ενός έργου. Ο δείκτης χρέους αντανακλά την χρηματοοικονομική μόχλευση που δημιουργείται για ένα έργο. Όσο υψηλότερος είναι ο δείκτης χρέους, τόσο μεγαλύτερη είναι η χρηματοοικονομική μόχλευση. Το μοντέλο χρησιμοποιεί τον δείκτη χρέους για να υπολογίσει την επενδυτική ίδιων κεφαλαίων που απαιτείται για την χρηματοδότηση του έργου. Για παράδειγμα, οι δείκτες χρέους κυμαίνονται συνήθως από 0 έως 90% με το 50% έως 90% να είναι πιο κοινό. Ο χρήστης δεν μπορεί να εισάγει τιμή μεγαλύτερη από 100%.

Το επιτόκιο δανεισμού θεωρείται 7% και η περίοδος χρέους 15 έτη. Με βάση το αποτέλεσμα που εξάγεται από την ανάλυση του RETScreen οι πληρωμές του χρέους θα είναι 1.466.631 € ανά έτος.

Για το επιτόκιο δανεισμού ο χρήστης εισάγει το επιτόκιο χρέους (%), το οποίο είναι το ετήσιο επιτόκιο που καταβάλλεται στον κάτοχο του χρέους στο τέλος κάθε έτους της διάρκειας οφειλής. Το μοντέλο χρησιμοποιεί το επιτόκιο χρέους για να υπολογίσει τις πληρωμές του χρέους. Για παράδειγμα, τουλάχιστον το επιτόκιο του χρέους θα αντιστοιχεί στην απόδοση των κρατικών ομολόγων με την ίδια διάρκεια με την διάρκεια του χρέους. Ένα ασφάλιστρο προστίθεται συνήθως σε αυτό το ποσοστό (το "spread") για να αντικατοπτρίζει τον αντιληπτό κίνδυνο του έργου.

Για την περίοδο χρέους ο χρήστης εισάγει την προθεσμία οφειλής (έτος), που είναι ο αριθμός των ετών κατά την διάρκεια των οποίων η οφειλή αποπληρώνεται. Η διάρκεια του χρέους είναι είτε ίση ή μικρότερη από την διάρκεια του έργου. Γενικά όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια, τόσο περισσότερο βελτιώνεται η οικονομική βιωσιμότητα ενός ενεργειακού έργου. Το μοντέλο χρησιμοποιεί τον όρο του χρέους για τον υπολογισμό των πληρωμών του χρέους και των ετήσιων ταμειακών ροών. Η διάρκεια του χρέους συνήθως κυμαίνεται από 1 έως 25. Δεν πρέπει να υπερβαίνει την εκτιμώμενη διάρκεια ζωής του έργου.

Από την ενότητα "Ετήσια έσοδα" προκύπτει ότι τα ετήσια έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας είναι 4.769.618. Στην ενότητα που αφορά τη σύνοψη κόστους έργου και αποταμιεύσεων εσόδων το πρόγραμμα συνοψίζει τα διάφορα κόστη που έχουν υπολογιστεί. Τα συνολικά αρχικά κόστη ανέρχονται στα 19.082.780 €, τα συνολικά ετήσια κόστη στο 2.825.213€ ενώ οι συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα στα 4.769.618 €.

Η επόμενη ενότητα παρέχει στον χρήστη διάφορους οικονομικούς δείκτες που σχετίζονται με την οικονομική βιωσιμότητα του έργου. Τα πεδία συμπληρώνονται κατευθείαν από το πρόγραμμα βάσει των στοιχείων που έχουν καταχωρηθεί.

Ένας βασικός δείκτης που υπολογίζεται από το πρόγραμμα είναι ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (IRR) προ φόρων – μετοχές ο οποίος αποτελεί ένα ορθολογικό κριτήριο για την αξιολόγηση επενδυτικών αποφάσεων. Στο συγκεκριμένο έργο ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης είναι 38,5%.

Ο συντελεστής απόδοσης προ-φόρων(IRR) αντιπροσωπεύει την πραγματική απόδοση επιτοκίου που παρέχεται από τα ίδια κεφάλαια του έργου κατά τη διάρκεια της ζωής τους προ-φόρων εισοδήματος. Υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις ετήσιες ταμειακές ροές προ-φόρων και τη διάρκεια του έργου. Εάν το εσωτερικό ποσοστό απόδοσης είναι ίσο ή μεγαλύτερο από το απαιτούμενο ποσοστό απόδοσης του οργανισμού, τότε το έργο πιθανότατα θα θεωρηθεί οικονομικά αποδεκτό. Για ένα



**Πτυχιική Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ**

έργο που χρειάζεται εισφορές μετρητών κατά την διάρκεια για αξίες που είναι κοντά στα ετήσια κέρδη του έργου, ο υπολογισμός του IRR μπορεί να γίνει αξιόπιστος.

Το πρόγραμμα υπολογίζει επίσης την απλή αποπληρωμή σε έτη. Έτσι, το χρονικό διάστημα που απαιτείται ώστε να ανακτηθεί η αρχική επένδυση, στη συγκεκριμένη περίπτωση, είναι 5,6 έτη. Η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) στο έργο που μελετάται είναι $18.978.409 > 0$ επομένως, το έργο θεωρείται βιώσιμο.

Η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) είναι η αξία όλων των μελλοντικών ταμειακών ροών, προ εξοφλημένων με το προεξοφλητικό επιτόκιο, στο σημερινό νόμισμα. Η ΚΠΑ υπολογίζεται σε χρόνο 0 που αντιστοιχεί στην διασταύρωση του τέλους του έτους 0 με την αρχή του έτους 1. Η καθαρή παρούσα αξία καθορίζει εάν το έργο είναι γενικά μια οικονομικά αποδεκτή επένδυση. Οι θετικές τιμές ΚΠΑ είναι δείκτης ενός δυνητικά εφικτού έργου. Είναι όμως απαραίτητο να επιλεγθεί ένα επιτόκιο για την προεξόφληση των ταμειακών ροών στην παρούσα αξία. Σε περιπτώσεις που ο χρήστης έχει επιλέξει να μην πραγματοποιήσει φορολογική ανάλυση η ΚΠΑ που υπολογίζεται θα είναι αυτή των ταμειακών ροών προ φόρων.

Οι ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής, οι οποίες αποτελούν το ποσό που θα εξοικονομείται κάθε έτος λειτουργίας του έργου και ανέρχονται στις 2.079.018€.

Με βάση τη μέθοδο της αναλογίας οφέλους κόστους, μια λύση θεωρείται βιώσιμη εφόσον ο λόγος του οφέλους προς το κόστος είναι μεγαλύτερος ή ίσος με το 1. Για την συγκεκριμένη εγκατάσταση ο λόγος αυτός είναι ίσος με 4,3 επομένως το έργο θεωρείται βιώσιμο.

Η αναλογία Οφέλους - Κόστους (Ο-Κ) είναι ο λόγος των καθαρών οφελών προς το κόστος του έργου. Τα καθαρά οφέλη αντιπροσωπεύουν την παρούσα αξία των ετήσιων εσόδων και τις αποταμιεύσεις μείον τα ετήσια. Οι δείκτες μεγαλύτεροι από 1 είναι ενδεικτικοί κερδοφόρων έργων. Ο λόγος καθαρού οφέλους - κόστους, παρόμοιος με τον δείκτη κερδοφορίας, οδηγεί στο ίδιο συμπέρασμα με τον δείκτη καθαρής παρούσας αξίας.

RETSscreen - Οικονομική Ανάλυση			Συνοδωμένης: Πρόγραμμα προβολής					
Οικονομικοί Παράμετροι			Κόστος Αποθηκεύσεις Έσοδο			Ετήσια χρηματοροή		
Γενικά			Αρχικά κόστη			Ετος	Προ-φόρων	Αθροιστικά
Κυλιόμενος φόρος κόστους καυσίμου		2%	Μελέτη σκοπιμότητας	0,39%	€ 74.820	#	€	€
Τιμή πληθωρισμού	%	2%	Ανάπτυξη	1,3%	€ 245.000	0	-5.724.834	-5.724.834
Επιτόκιο αναγωγής	%	9%	Μηχανολογικά	0,23%	€ 44.600	1	2.012.627	-3.712.207
Ποσοστό επανεπένδυσης	%	9%	Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	97,6%	€ 18.632.480	2	2.082.212	-1.629.996
Διάρκεια ζωής έργου	έτος	20	Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα	0,45%	€ 85.880	3	2.153.189	523.193
Χρηματοδότηση			Συνολικά αρχικά κόστη	100%	€ 19.082.780	4	2.225.585	2.748.778
Κίνητρα και επιχορηγήσεις	€		Ετήσια χρηματοροή - Έτος 1			5	2.299.429	5.048.207
Τοκοχρεολύσιο	%	70%	Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους			6	2.374.750	7.422.957
Χρέος	€	13.357.946	Λειτουργία & Συντήρηση	€	1.358.582	7	2.451.578	9.874.535
Μετοχή	€	5.724.834	Πληρωμές χρέους - 15 έτη	€	1.466.631	8	2.529.942	12.404.477
Επιτόκιο δανεισμού	%	7%	Συνολικά ετήσια κόστη	€	2.825.213	9	2.609.874	15.014.351
Περίοδος χρέους	έτος	15	Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα			10	2.691.404	17.705.755
Πληρωμές χρέους	€/έτος	1.466.631	Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	€	4.769.618	11	2.774.564	20.480.319
Ανάλυση φόρου εισοδήματος			Έσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΟ	€	0	12	2.859.388	23.339.707
<input type="checkbox"/>			Λοιπά έσοδα (ξέσοδα)	€	0	13	2.945.909	26.285.616
			Έσοδα παραγωγής ΚΕ	€	0	14	3.034.159	29.319.776
			Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα	€	4.769.618	15	3.124.175	32.443.951
			Καθαρή ετήσια ταμειακή ροή - Έτος 1	€	1.944.406	16	4.682.622	37.126.573
						17	4.776.275	41.902.848
						18	4.871.800	46.774.648
						19	4.969.236	51.743.884
						20	5.068.621	56.812.504

Εικόνα 51: Οικονομική Ανάλυση

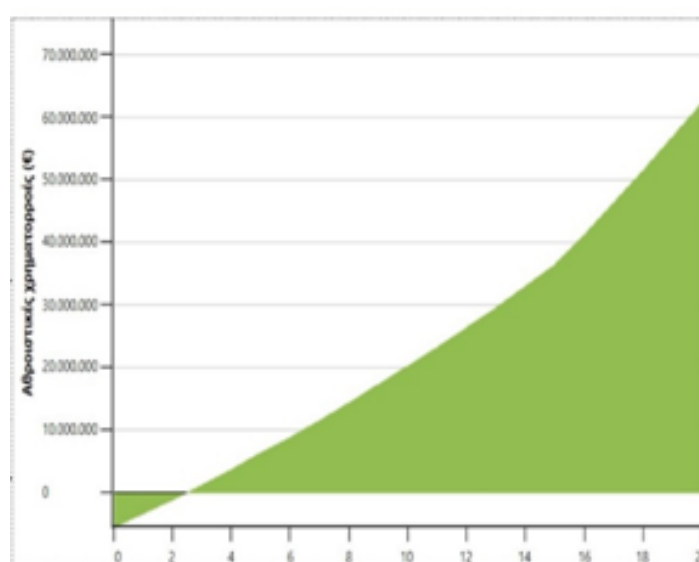


Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

Ετήσια έσοδα			Καθαρή ετήσια ταμειακή ροή - Έτος 1	
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας			€	1.944.406
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	54.293	Οικονομική Βιωσιμότητα	
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού	€/kWh	0,09	(IRR) προ φόρου - μετοχές	% 38,5%
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	€	4.769.618	MIRR προ φόρου - μετοχές	% 17,3%
Κυλιόμενος φόρος πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας	%	2%	(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	% 12,3%
Έσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ			MIRR προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	% 10,4%
Μικτή μείωση ΑΤΘ	tn CO ₂ /έτος	54.951	Απλή αποπληρωμή	έτος 5,6
Μικτή μείωση ΑΤΘ - 20 έτη	tn CO ₂	1.099.023	Αποπληρωμή Μετοχών	έτος 2,8
Έσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ	€	0	Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€ 18.978.409
Λοιπά έσοδα (έξοδα)			Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος 2.079.018
<input type="checkbox"/>			Αναλογία Οφέλους-Κόστους (Ο-Κ)	4,3
Έσοδα παραγωγής Καθαρής Ενέργειας (ΚΕ)			Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων	2,4
<input type="checkbox"/>			Κόστος μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tn CO ₂ -34,77
			Κόστος παραγωγής ενέργειας	€/kWh 0,065

Εικόνα 52: Οικονομική Ανάλυση

Τέλος, στο φύλλο "Οικονομική Ανάλυση" παρουσιάζεται το διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών καθώς και ο αναλυτικός πίνακας με τις ετήσιες χρηματοροές. Στα 3 πρώτα έτη παρατηρούνται αρνητικές ετήσιες χρηματοροές ενώ μετά το δέκατο πέμπτο έτος και την αποπληρωμή του δανείου παρατηρείται μεγαλύτερη αύξηση των ετήσιων χρηματοροών.



Εικόνα 53: Διαγράμματα Χρηματοροών

7.4.6 Συμπεράσματα

Έχοντας ως οδηγό όλους τους παραπάνω πίνακες και τα διαγράμματα αθροιστικών χρηματοροών καταλήγουμε στο συμπέρασμα που αφορά την οικονομική βιωσιμότητα του έργου. Σύμφωνα με το διάγραμμα λοιπόν, χρειάζονται



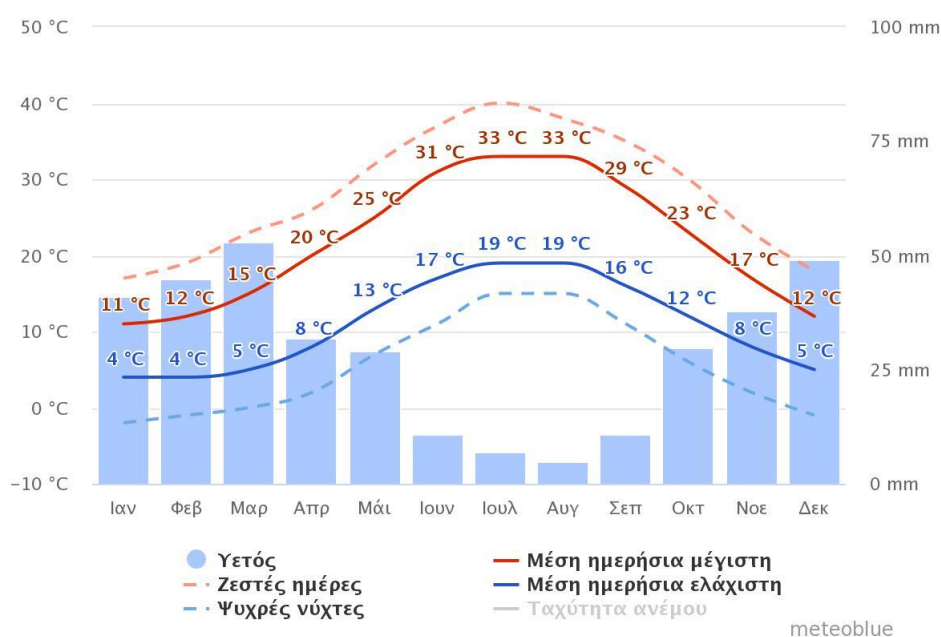
Πτυχιική Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

τουλάχιστον τρία χρόνια για τον έργο, για να κάνει απόσβεση των χρεών και να επιφέρει κέρδος. Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι οι ενδεικτικές τιμές για την μελέτη του πάρκου είναι προσεγγιστικές και δεν τίθεται θέμα για πλασματικές τιμές ώστε να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

7.5 Ανεμολογικά – Κλιματικά Δεδομένα Α/Π Τρίκορφα (2ο Σενάριο)

Παρακάτω θα δοθούν τα ανεμολογικά και τα κλιματικά δεδομένα που έχουν ληφθεί για την περιοχή της Αλιάρτου από τον ιστότοπο www.meteoblue.com όπως ακριβώς έγινε και παραπάνω για την περιοχή του Αράξου.

Η μέγιστη μέση ημερήσια και η ελάχιστη μέση ημερήσια θερμοκρασία δίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



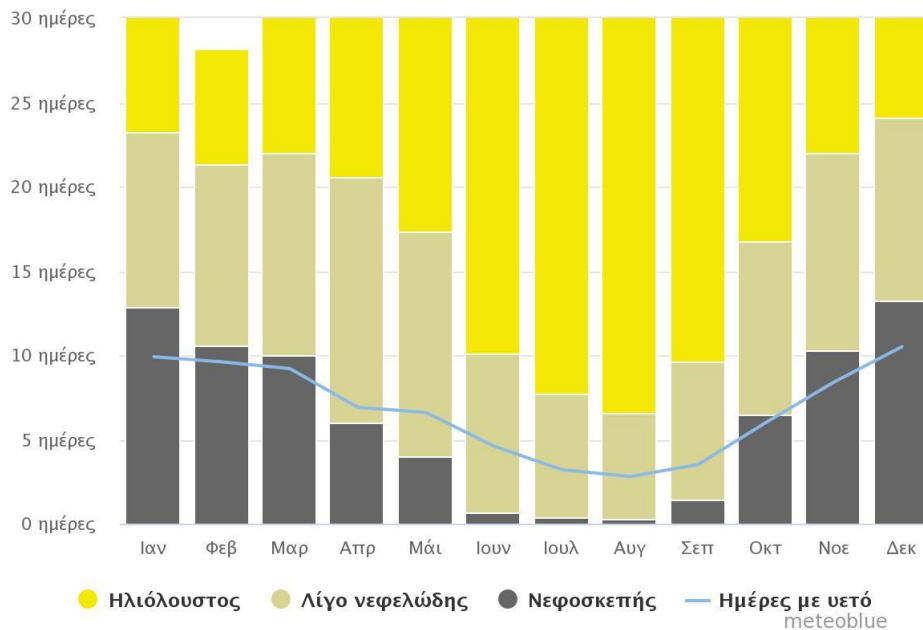
Εικόνα 54: Ετήσια θερμοκρασιακή κατανομή στον Αλιάρτο.

Πηγή: www.meteoblue.com



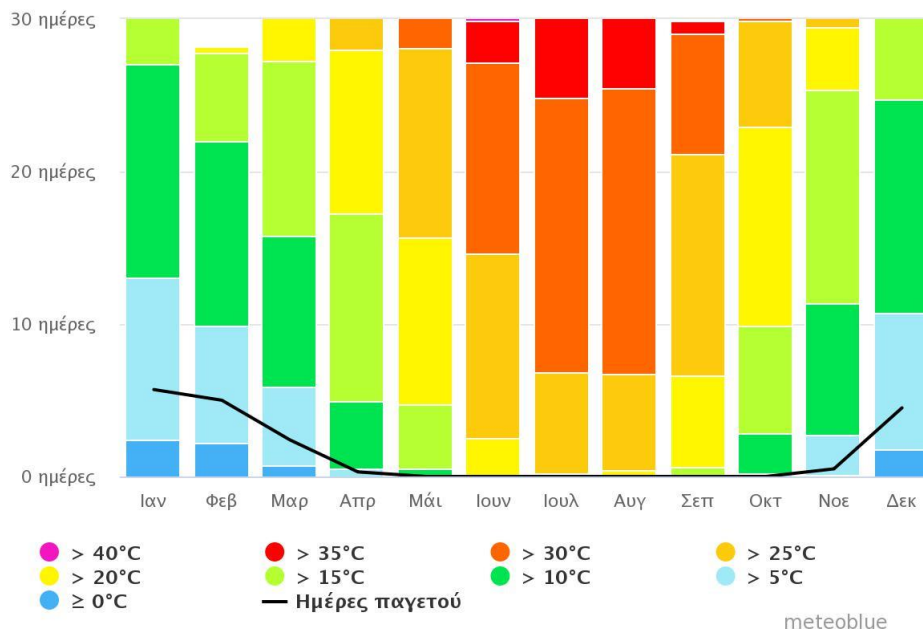
Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

Οι ετήσιες καιρικές συνθήκες για την Αλιάρτο:



Εικόνα 55: Ετήσιες καιρικές συνθήκες στην περιοχή της Αλιάρτου.
Πηγή: www.meteoblue.com

Το γράφημα της κατανομής των μέγιστων θερμοκρασιών για την περιοχή της Αλιάρτου:

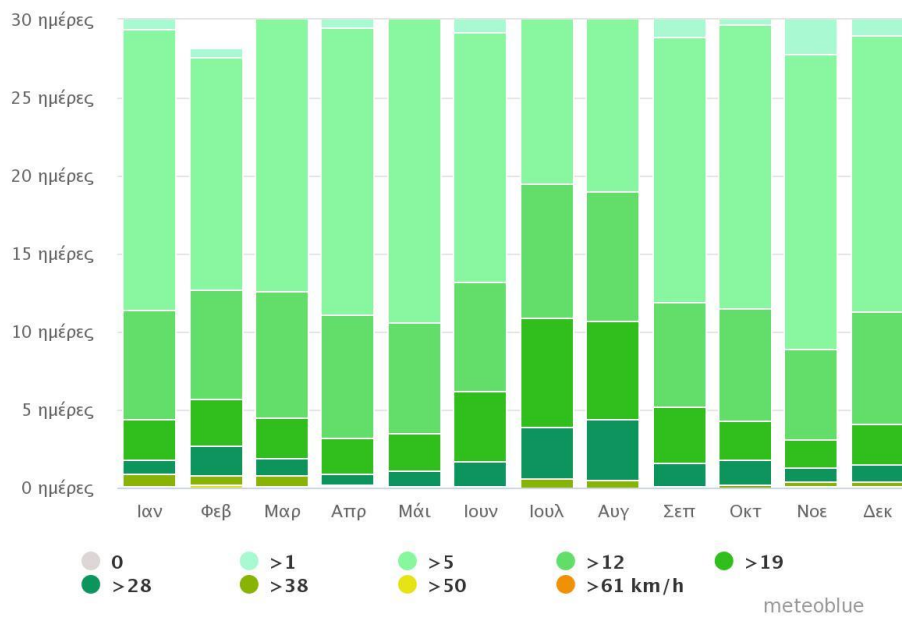


Εικόνα 56: Κατανομή μέγιστων θερμοκρασιών περιοχής Αλιάρτου
Πηγή: www.meteoblue.com



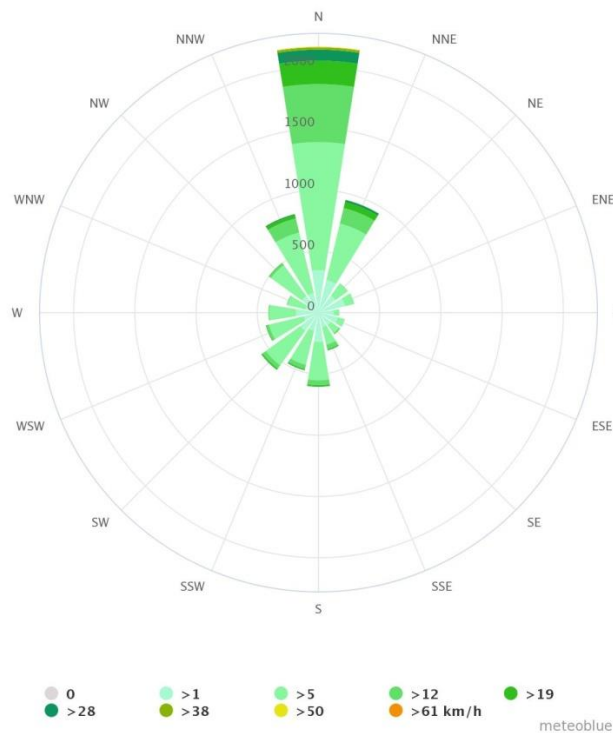
Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

Το γράφημα για την ετήσια κατανομή της ταχύτητας των ανέμων για την περιοχή της Αλιάρτου είναι:



Εικόνα 57: Ετήσια κατανομή ταχύτητας ανέμων στην περιοχή της Αλιάρτου.
Πηγή: www.meteoblue.com

Το ροδόγραμμα για την περιοχή της Αλιάρτου είναι το ακόλουθο:



Εικόνα 58: Ροδόγραμμα περιοχής της Αλιάρτου.
Πηγή: www.meteoblue.com



Πτυχιική Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

7.5.1 Εκκίνηση

Αρχικά, συμπληρώνουμε το φύλλο εκκίνησης όπου καταχωρούνται κάποια βασικά στοιχεία για την εγκατάσταση όπως αναφέρθηκε. Όλα τα βήματα που ακολούθησα είναι αντίστοιχα με τα βήματα που πραγματοποιήθηκαν παραπάνω για τον 1ο σενάριο. Στη συνέχεια θα δοθούν τα στοιχεία που αφορούν την Αλιάρτο όπως αυτά προέκυψαν από την ανάλυση του προγράμματος.

RETScreen - Εγκατάσταση
Συνδρομητής: Πρόγραμμα προβολής

Πληροφορίες για τις εγκαταστάσεις

Τύπος εγκαταστάσεων	Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
Τύπος	Ανεμογεννήτρια
Περιγραφή	14.000 kW
Συντάχθηκε για	Πτυχιική Εργασία
Συντάχθηκε από	Βαλαβάνη Άννα - Παναγιώτα
Όνομα εγκατάστασης	Αιολικό Πάρκο
Διεύθυνση	Τρίκορφα
Πόλη/Δήμος	Αλιάρτος
Επαρχία/Νομός	Central Greece
Χώρα	Ελλάδα

Εικόνα 59: Φύλλο Εκκίνησης
 Πηγή: Πρόγραμμα RETScreen

Μηνάς	Μονάδα		Θέση κλιματολογικών δεδομένων				Τοποθεσία εγκατάστασης		Πηγή
	Θερμοκρασία αέρα	Σχετική υγρασία	Κατακρήμνιση	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - Οριζόντια	Ατμοσφαιρική πίεση	Ταχύτητα ανέμου	Θερμοκρασία εδάφους	Βαθμο-ημέρες θέρμανσης 18 °C	
	°C	%	mm	kWh/m ² /ημ	kPa	m/Δευτερόλεπτο	°C	°C-ημ	°C-ημ
Ιανουάριος	7,8	81,3%	61,07	1,67	99,1	4,0	7,9	316	0
Φεβρουάριος	8,0	78,9%	53,76	2,26	98,9	4,1	8,3	280	0
Μάρτιος	10,1	75,1%	55,18	3,49	98,8	3,8	10,5	245	3
Απρίλιος	13,8	68,8%	38,40	5,06	98,6	3,4	14,1	126	114
Μαΐος	19,2	58,8%	25,42	6,08	98,7	3,2	19,8	0	285
Ιούνιος	24,6	47,8%	13,20	6,76	98,6	3,3	25,7	0	438
Ιούλιος	26,9	45,0%	13,95	6,61	98,5	3,7	28,2	0	524
Αύγουστος	26,5	48,3%	13,02	5,88	98,6	3,8	27,7	0	512
Σεπτέμβριος	22,8	55,4%	18,60	4,61	98,8	3,4	23,9	0	384
Οκτώβριος	17,8	67,0%	49,29	2,78	99,1	3,7	18,6	6	242
Νοέμβριος	13,1	76,9%	72,00	1,84	99,0	3,7	13,4	147	93
Δεκέμβριος	9,2	81,5%	70,68	1,41	99,0	4,0	9,4	273	0
Ετήσιο	16,7	65,3%	484,57	4,05	98,8	3,7	17,3	1.393	2.595
Πηγή	NASA	NASA	NASA	Εδαφος	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA

Εικόνα 60: Κλιματικά δεδομένα περιοχής Αράξου



7.5.2 Ενεργειακό Μοντέλο

Το κελί που αφορά την τεχνολογία που χρησιμοποιείται έχει ενημερωθεί αυτόματα από το φύλλο Εκκίνησης, ενώ ως τύπος ανάλυσης επιλέγεται το Επίπεδο 2. Επιπλέον, ως μέθοδος εκτίμησης φυσικών πόρων επιλέγεται η ταχύτητα του ανέμου. Η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου είναι 6,6 m/s σύμφωνα με τα κλιματικά δεδομένα για την τοποθεσία Τρίκορφα από www.emy.gr και ο εκθέτης παραμόρφωσης ανέμου 0,114 σύμφωνα με τη σχέση:

$$\frac{u}{u_0} = \left(\frac{H}{H_0} \right)^\alpha$$

Επιλύοντας τη σχέση υπολογίζεται $\alpha = 0,114$ (εκθετικός δείκτης ισχύος)

Το υψόμετρο εγκατάστασης του Α/Π είναι στα 1500m ενώ ο πύργος των Α/Γ είναι 80m. Οπότε, $H=1580m$.

Τα ανεμολογικά δεδομένα δίνονται για ένα χαρακτηριστικό ύψος $H_0=10m$.

Οι μετρήσεις ταχύτητας ανέμου στο Α/Π δίνονται στον ακόλουθο πίνακα όπου η μέση τιμή ταχύτητας ανέμου υπολογίζεται $u=6.61$ m/s.

MONTHS		JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Average Wind Speed (m/s)	U_{mean} 6.61m/s	9.44	7.76	6.62	6.72	6.03	4.38	4.74	5.49	5.43	6.79	7.29	8.60

Η μέση ταχύτητα ανέμου σε ένα ύψος που θεωρήθηκε $H_0 = 10m$ για την περιοχή του Αλιάρτου είναι $u_0= 3,7m/s$.

Η τιμή για την ετήσια θερμοκρασία αέρα είναι 16,7 μετρημένη στα 10m. Όμως, έχουμε μείωση κατά 0,64°C ανά 100m. Επομένως σε υψόμετρο 1580m θα έχουμε ετήσια θερμοκρασία αέρα 6,6°C. Αντίστοιχα, η τιμή για την ετήσια ατμοσφαιρική πίεση είναι 98,8kPa μετρημένη στα 10m. Όμως, έχουμε μείωση 1kPa της ατμοσφαιρικής πίεσης ανά 100m ύψους. Οπότε, η τελική ατμοσφαιρική πίεση θα είναι 83kPa.

Τα υπόλοιπα στοιχεία είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω για τον 1ο Σενάριο.



Πτυχιική Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

Αιολικό - Επίπεδο 2

Αξιολόγηση πηγών

Μέθοδος (εκτίμησης) φυσικών πόρων
 Ταχύτητα ανέμου - ετήσια
 Μετρημένο σε
 Εκθέτης παραμόρφωσης ανέμου
 Θερμοκρασία αέρα - ετήσια
 Ατμοσφαιρική πίεση - ετήσια

Ανεμογεννήτρια

Ισχύς ανά στρόβιλο
 Κατασκευαστής
 Μοντέλο
 Αριθμός στρόβιλων
 Ηλεκτρική ισχύς
 Υψος πύλωνα
 Διάμετρος ρότορα ανά στρόβιλο
 Επιφάνεια σάρωσης ανά στρόβιλο
 Καμπύλες ενεργειακών δεδομένων
 Παράγων σχήματος

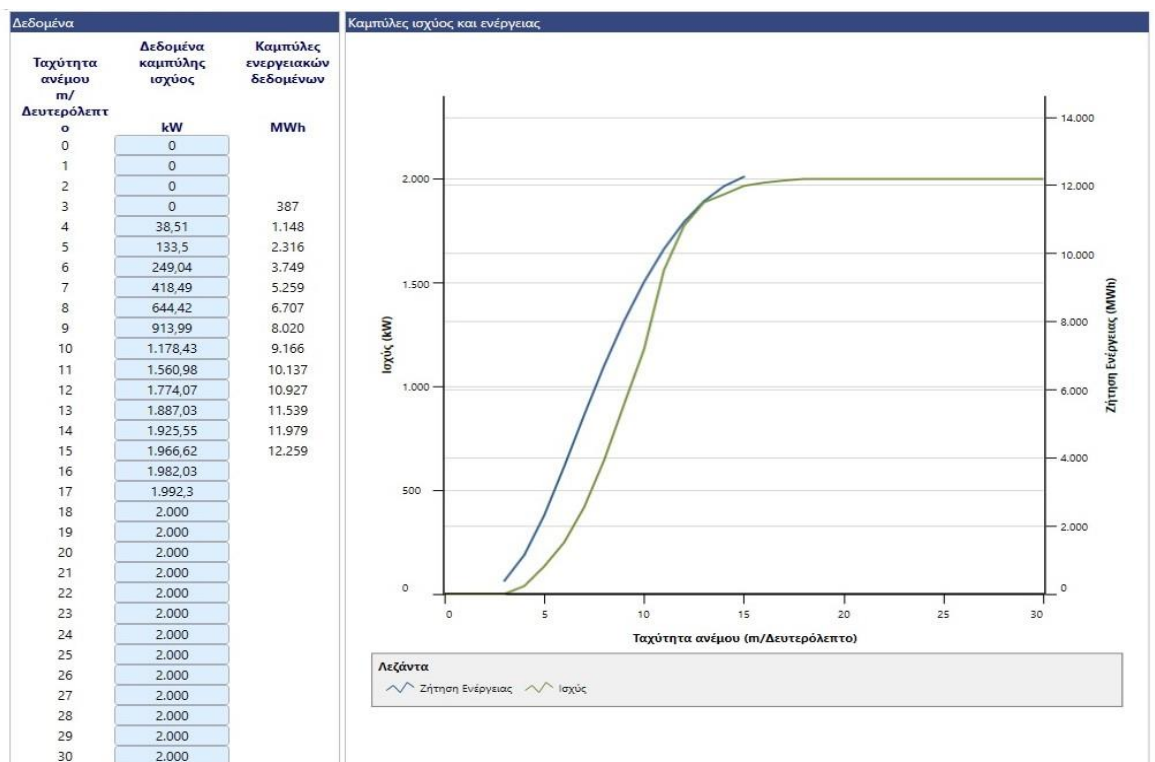
Κλιματικά δεδομένα
 Ελλάδα - Aliartos

Ταχύτητα ανέμου	6,6	3,7
m/Δευτερόλεπτο	10	10
m	0,114	
°C	6,6	16,7
kPa	83	98,8

kW	2.000	
	VESTAS	
	Vestas V100-2MW	
	7	
kW	14.000	
m	100	8,6 m/Δευτερόλεπτο
m	80	
m ²	7.854	
	Τυποποιημένο	
	2	

Εικόνα 61: Ενεργειακό Μοντέλο

Το RETScreen εμφανίζει 3 πίνακες με δεδομένα ταχυτήτων ανέμου, δεδομένα ισχύος σε kW καθώς και δεδομένα ενέργειας σε MWh. Επιπρόσθετα, μας δίνεται η δυνατότητα σχηματισμού καμπύλων ισχύος και ενέργειας.



Εικόνα 62: Δεδομένα και Καμπύλες

Οι απώλειες πτερυγίου ορίζονται 2%. Οι απώλειες διάταξης ορίζονται στο 4%. Οι λοιπές απώλειες ορίζονται στο 6% και η διαθεσιμότητα ορίζεται στο 98% όπως ακριβώς και στο προηγούμενο σενάριο.



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα, το πρόγραμμα υπολόγισε ότι η ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο είναι 38.254MWh.

Τα υπόλοιπα στοιχεία που αναγράφονται υπολογίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουμε ήδη δώσει. Επίσης, το μοντέλο υπολογίζει την μη διορθωμένη ενεργειακή παραγωγή, τον συντελεστή πίεσης, τον συντελεστή θερμοκρασίας, την συνολική ενεργειακή παραγωγή, τον συντελεστή απωλειών και την ειδική παραγωγή.

Απώλειες		
Απώλειες δάτολης	%	4%
Απώλειες πτερογίου	%	2%
Λοιπές απώλειες	%	6%
Διαθεσιμότητα	%	98%
Περίληψη		
Συντελεστής ισχύος	%	31,2%
Αρχικό κόστος	€/kW	2.100
	€	29.400.000
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	€/kW-έτος	64
	€	896.000
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού		Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού - επήρ
	€/MWh	87,85
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	38.245
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	€	3.359.859
Άλλες πληροφορίες		
Μη διορθωμένη ενεργειακή παραγωγή	MWh	7.470
Συντελεστής πίεσης		0,819
Συντελεστής θερμοκρασίας		1,030
Συνολική ενεργειακή παραγωγή	MWh	6.304
Συντελεστής απωλειών		0,87
Ειδική παραγωγή	kWh/m ²	696

Εικόνα 63: Ενεργειακό Μοντέλο

7.5.3 Ανάλυση Κόστους

Το φύλλο εργασίας που αφορά την ανάλυση κόστους είναι ακριβώς το ίδιο με τα δεδομένα που προέκυψαν από την ανάλυση του κόστους για το προηγούμενο σενάριο που αφορά τον Άραξο. Παρακάτω θα δοθούν οι αντίστοιχες φωτογραφίες χωρίς τις λεπτομέρειες που έχουν ήδη αναφερθεί παραπάνω.

Αρχικό κόστος (τιμολόγηση)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό	Σχετικό κόστος
Μελέτη σκοπιμότητας					
Μελέτη σκοπιμότητας	κόστος	1	€	74.822	74.822
Υπο-σύνολο:				€	74.822 0,4%
Ανάπτυξη					
Ανάπτυξη	κόστος	1	€	245.000	245.000
Υπο-σύνολο:				€	245.000 1,3%
Μηχανολογικά					
Μηχανολογικά	κόστος	1	€	44.600	44.600
Υπο-σύνολο:				€	44.600 0,2%
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας					
Ανεμογεννήτρια - 100000 kW (5,9m/Δευτερόλεπτο @	kW	14.000	€	1.000	14.000.000
Εργα οδοποιίας	km	18	€	98.440	1.771.920
Γραμμική μεταφοράς ηλεκτρισμού	km	18	€	158.920	2.860.560
Υποσταθμός	έργο		€		-
Μέτρα ενεργειακής απόδοσης			€		-
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος		€		-
Υπο-σύνολο:				€	18.632.480 97,6%

Εικόνα 64: Υπολογισμός Κόστους



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

Επίπεδο 1 Επίπεδο 2 Επίπεδο 3 Πίνακας...

Σημειώσεις/Εύρος Δεύτερο νόμισμα Βάση δεδομένων προϊόντων... Κατανομή κόστους Καμία Εμφάνιση σημειώσεων Εμφάνιση σημειώσεων Βοήθεια eLearning Βοήθεια

βήμα 1 - Επίπεδο ανάλυσης Επιλογές Βοήθεια

Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα

Ανταλλακτικά	%		€	-	
Μεταφορά	έργο	1	€ 85.880	€	85.880
Εκπαίδευση & θέση σε λειτουργία	ανά ημέρα		€	-	
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος		€	-	
Απρόβλεπτα	%		€ 19.082.782	€	-
Τόκος κατά την κατασκευή			€ 19.082.782	€	-
Υπο-σύνολο:			€ 85.880		0,5%
Συνολικά αρχικά κόστη			€ 19.082.782		100,0%

Ετήσια κόστη (πιστώσεις) Μονάδα Ποσότητα Μονάδα κόστους Ποσό

Λειτουργία & Συντήρηση

Δείξε δεδομένα

Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Ανεμογεννήτρια - 100000 kW (5,9m/Δευτερόλεπτο @ € 896.000 *Ενημέρωση κόστους*

Τμήματα & Εργασία	έργο	1	€ 462.582	€	462.582
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος		€	-	
Απρόβλεπτα	%	10,0%	€ 1.358.582	€	135.858
Υπο-σύνολο:			€ 1.494.440		

Εικόνα 65: Υπολογισμός Κόστους

7.5.4 Ανάλυση Εκπομπών

Για το συγκεκριμένο σύστημα επιλέγεται ο τύπος του καυσίμου πετρέλαιο. Άρα το μοντέλο, υπολογίζει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου πολλαπλασιάζοντας την κατανάλωση καυσίμου με τον συντελεστή GHG. Οι μονάδες θα είναι τόνοι CO₂ ανά έτος.

Ο συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ είναι 1,012 tn CO₂/MWh. Αντίστοιχα, η καθαρή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ που θα επιτευχθεί με την εγκατάσταση του συγκεκριμένου αιολικού πάρκου στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι 38.709 tn CO₂ που ισοδυναμούν με 7.090 αυτοκίνητα και ελαφριά φορτηγά.

Δυναμικό παγκόσμιας θέρμανσης των ΑΤΘ 28 τόνοι CO₂ = 0 τόνοι CH₄ (IPCC 2014) 265 τόνοι CO₂ = 0 τόνοι N₂O (IPCC 2014)

Επίδειξη γραφήματος Εμφάνιση ισοδυναμίας των ΑΤΘ Εμφάνιση σημειώσεων

Επιλογές Αντιγραφή - Επίπεδο 1->2 Βοήθεια eLearning Βοήθεια

βήμα 1 - Επίπεδο ανάλυσης

Βασική περίπτωση συστήματος ηλεκτρισμού (σενάριο Αναφοράς)

Τύπος Καυσίμου	Μίγμα καυσίμου %	Συντελεστής εκπομπής CO ₂ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής CH ₄ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής N ₂ O kg/GJ	Βαθμός απόδοσης παραγωγής ηλεκτρισμού %	Απώλειες M&D %	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ tn CO ₂ /MWh
Πετρέλαιο (#6)	100,0%	74,1	0,0029	0,0019	28,6%	7,0%	1,012
Μίγμα Ηλεκτρισμού	100,0%	278,9	0,0108	0,0072		7,0%	1,012

Αλλαγές στο Σενάριο Αναφοράς κατά τη διάρκεια ζωής του έργου

Περίληψη εκπομπών ΑΤΘ βασικού σεναρίου (σεναρίου αναφοράς)

Τύπος Καυσίμου	Μίγμα καυσίμου %	Συντελεστής εκπομπής CO ₂ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής CH ₄ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής N ₂ O kg/GJ	Κατανάλωση καυσίμου MWh	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ tn CO ₂ /MWh	Εκπομπές ΑΤΘ tn CO ₂
Ηλεκτρική ενέργεια	100,0%	278,9	0,0108	0,0072	38.245	1,012	38.709
Σύνολο	100,0%	278,9	0,0108	0,0072	38.245	1,012	38.709

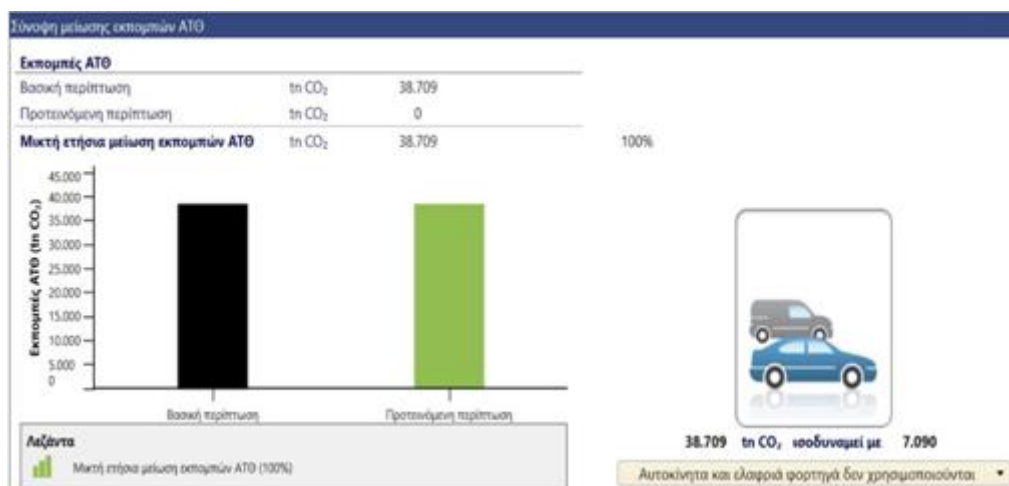
Περίληψη εκπομπών ΑΤΘ προτεινόμενης περίπτωσης

Τύπος Καυσίμου	Μίγμα καυσίμου %	Συντελεστής εκπομπής CO ₂ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής CH ₄ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής N ₂ O kg/GJ	Κατανάλωση καυσίμου MWh	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ tn CO ₂ /MWh	Εκπομπές ΑΤΘ tn CO ₂
Αιολικό	100,0%	0,0	0,0000	0,0000	38.245	0,000	0
Σύνολο	100,0%	0,0	0,0000	0,0000	38.245	0,000	0

Εικόνα 66: Ανάλυση Εκπομπών



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ



Εικόνα 67: Ανάλυση Εκπομπών

7.5.5 Οικονομική Ανάλυση

Στην ενότητα "Οικονομικές Παράμετροι" ορίζεται αρχικά ο κυλιόμενος φόρος κόστους καυσίμου, η τιμή του οποίου είναι 2%. Η τιμή του πληθωρισμού ορίζεται είναι 2%. Ακόμη το επιτόκιο αναγωγής θεωρείται 9% όπως και το ποσοστό επανεπένδυσης ενώ, ως διάρκεια ζωής του συγκεκριμένου έργου ορίζονται τα 20 έτη.

Όσον αφορά τη χρηματοδότηση, το ποσό που καλύπτεται από επιχορηγήσεις θεωρείται μηδενικό. Αντίστοιχα, το τοκοχρεολύσιο ορίζεται 70%, επομένως το ποσό των 13.357.947€ θα καλυφθεί από δάνειο. Το επιτόκιο δανεισμού θεωρείται 7% και η περίοδος χρέους 15 έτη. Με βάση το αποτέλεσμα που εξάγεται από την ανάλυση του RETScreen οι πληρωμές του χρέους θα είναι 1.466.631 € ανά έτος.

Από την ενότητα "Ετήσια έσοδα" προκύπτει ότι τα ετήσια έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας είναι 3.359.859. Στην ενότητα που αφορά τη σύνοψη κόστους έργου και αποταμιεύσεων εσόδων το πρόγραμμα συνοψίζει τα διάφορα κόστη που έχουν υπολογιστεί. Τα συνολικά αρχικά κόστη ανέρχονται στα 19.082.782 €, τα συνολικά ετήσια κόστη στο 2.825.213€ ενώ οι συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα στα 3.352.032€.

Η επόμενη ενότητα παρέχει στον χρήστη διάφορους οικονομικούς δείκτες που σχετίζονται με την οικονομική βιωσιμότητα του έργου. Τα πεδία συμπληρώνονται κατευθείαν από το πρόγραμμα βάσει των στοιχείων που έχουν καταχωρηθεί.

Ένας βασικός δείκτης που υπολογίζεται από το πρόγραμμα είναι ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (IRR) προ φόρων – μετοχές ο οποίος αποτελεί ένα ορθολογικό κριτήριο για την αξιολόγηση επενδυτικών αποφάσεων. Στο συγκεκριμένο έργο ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης είναι 14,9%. Το πρόγραμμα υπολογίζει επίσης την απλή αποπληρωμή σε έτη. Έτσι, το χρονικό διάστημα που απαιτείται ώστε να ανακτηθεί η αρχική επένδυση, στη συγκεκριμένη περίπτωση, είναι 9,5 έτη. Η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) στο έργο που μελετάται είναι 3.882.743 > 0 επομένως, το έργο θεωρείται μη βιώσιμο. Οι ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής, οι οποίες αποτελούν το ποσό που θα εξοικονομείται κάθε έτος λειτουργίας του έργου και ανέρχονται στις 425.341.

Με βάση τη μέθοδο της αναλογίας οφέλους κόστους, μια λύση θεωρείται βιώσιμη εφόσον ο λόγος του οφέλους προς το κόστος είναι μεγαλύτερος ή ίσος με το



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

1. Για την συγκεκριμένη εγκατάσταση ο λόγος αυτός είναι ίσος με 1,7 επομένως το έργο θεωρείται βιώσιμο.

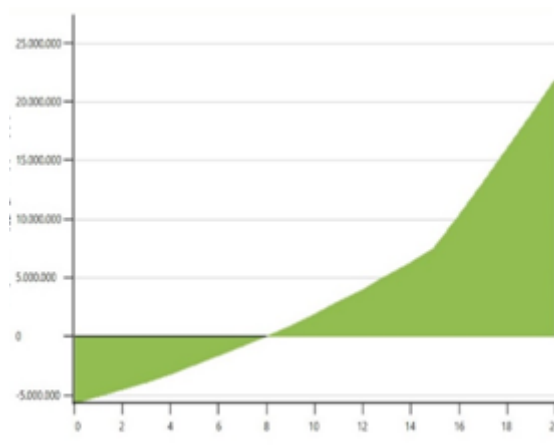
RETScreen - Οικονομική Ανάλυση		Συνδρομητής: Πρόγραμμα προβολής	
Οικονομικοί Παράμετροι		Κόστος Αποθηκεύσεις Έσοδο	
Γενικά		Αρχικά κόστη	
Κυλιόμενος φόρος κόστους καυσίμου	2%	Μελέτη σκοπιμότητας	0,39% € 74.820
Τιμή πληθωρισμού	2%	Ανάπτυξη	1,3% € 245.000
Επιτόκιο αναγωγής	9%	Μηχανολογικά	0,23% € 44.600
Ποσοστό επανεπένδυσης	9%	Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	97,6% € 18.632.480
Διάρκεια ζωής έργου	έτος 20	Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα	0,45% € 85.880
Χρηματοδότηση		Συνολικά αρχικά κόστη	
Κίνητρα και επιχορηγήσεις	€	100% € 19.082.780	
Τοκοχρεολύσιο	70%	Ετήσια χρηματοροφή - Έτος 1	
Χρέος	€ 13.357.946	Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους	
Μετοχή	€ 5.724.834	Λειτουργία & Συντήρηση	€ 1.358.582
Επιτόκιο δανεισμού	7%	Πληρωμές χρέους - 15 έτη	€ 1.466.631
Περίοδος χρέους	έτος 15	Συνολικά ετήσια κόστη	
Πληρωμές χρέους	€/έτος 1.466.631	€ 2.825.213	
Ανάλυση φόρου εισοδήματος		Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα	
<input type="checkbox"/>		Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	€ 3.359.859
		Έσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ	€ 0
		Λοιπά έσοδα (έξοδα)	€ 0
		Έσοδα παραγωγής ΚΕ	€ 0
		Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα	
		€ 3.359.859	
Ετήσια έσοδα		Καθαρή ετήσια ταμειακή ροή - Έτος 1	
		€ 534.647	
		Ετήσια χρηματοροφή	
		Ετος	Προ-φόρων
		#	Αθροιστικά
		€	€
		0	-5.724.834
		1	574.672
		2	615.498
		3	657.141
		4	699.616
		5	742.941
		6	787.133
		7	832.208
		8	878.185
		9	925.081
		10	972.915
		11	1.021.706
		12	1.071.473
		13	1.122.235
		14	1.174.012
		15	1.226.825
		16	2.747.325
		17	2.802.271
		18	2.858.317
		19	2.915.483
		20	2.973.793

Εικόνα 68: Οικονομική Ανάλυση

Ετήσια έσοδα		Καθαρή ετήσια ταμειακή ροή - Έτος 1		€	534.647
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας		Οικονομική Βιωσιμότητα			
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh 38.245	(IRR) προ φόρου - μετοχές	%	14,9%	
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού	€/kWh 0,09	MIRR προ φόρου - μετοχές	%	11,9%	
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	€ 3.359.859	(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	2,8%	
Κυλιόμενος φόρος πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας	% 2%	MIRR προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	5,3%	
Έσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ		Απλή αποπληρωμή	έτος	9,5	
Μικτή μείωση ΑΤΘ	tn CO ₂ /έτος 38.709	Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	7,9	
Μικτή μείωση ΑΤΘ - 20 έτη	tn CO ₂ 774.184	Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	3.882.743	
Έσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ	€ 0	Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	425.341	
Λοιπά έσοδα (έξοδα)		Αναλογία Οφέλους-Κόστους (Ο-Κ)		1,7	
<input type="checkbox"/>		Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων		1,4	
Έσοδα παραγωγής Καθαρής Ενέργειας (ΚΕ)		Κόστος μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tn CO ₂	-6,64	
<input type="checkbox"/>		Κόστος παραγωγής ενέργειας	€/kWh	0,092	

Εικόνα 69: Οικονομική Ανάλυση

Τέλος, στο φύλλο "Οικονομική Ανάλυση" παρουσιάζεται το διάγραμμα αθροιστικών χρηματορορών καθώς και ο αναλυτικός πίνακας με τις ετήσιες χρηματορορές. Στα 8 πρώτα έτη παρατηρούνται αρνητικές ετήσιες χρηματορορές ενώ από το 15ο έτος περίπου παρατηρείται απότομη αύξηση.



Εικόνα 70: Διαγράμματα Χρηματοροών

7.5.6 Συμπεράσματα

Έχοντας ως οδηγό όλους τους παραπάνω πίνακες και τα διαγράμματα αθροιστικών χρηματοροών καταλήγουμε στο συμπέρασμα που αφορά την οικονομική βιωσιμότητα του έργου. Σύμφωνα με το διάγραμμα λοιπόν, το έργο θεωρείται βιώσιμο μετά από οκτώ χρόνια, αφού η αναλογία οφέλους-κόστους είναι θετική (>0) και η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) στο έργο που μελετάται έχει επίσης θετική τιμή. Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι οι ενδεικτικές τιμές για την μελέτη του πάρκου είναι προσεγγιστικές και δεν τίθεται θέμα για πλασματικές τιμές ώστε να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Τα παραπάνω αποτελέσματα έχουν προκύψει από τους διαφορετικούς συντελεστές (εκθέτης παραμόρφωσης ανέμου και συντελεστής ισχύος) που προκύπτουν από τις δύο τοποθεσίες στα δύο σενάρια. Όσο αφορά τον εκθέτη παραμόρφωσης ανέμου εκφράζει το ρυθμό με τον οποίο η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται ανάλογα με το ύψος πάνω από το έδαφος. Ένας χαμηλός εκθέτης αντιστοιχεί σε ένα ομαλό έδαφος, ενώ ένας υψηλός εκθέτης είναι χαρακτηριστικός ενός εδάφους με σημαντικά εμπόδια. Στην περίπτωση του συντελεστή ισχύος το πρόγραμμα υπολογίζει τον συντελεστή χωρητικότητας για ολόκληρο το αιολικό πάρκο κάθε σεναρίου, ο οποίος αντιπροσωπεύει τον λόγο της μέσης ισχύος που παράγεται από το εργοστάσιο ηλεκτροπαραγωγής κατά τη διάρκεια ενός έτους προς την ονομαστική του ισχύ.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 Ανάλυση Ευαισθησίας

8.1 Εισαγωγή

Η ανάλυση ευαισθησίας είναι η μελέτη των αλλαγών στις παραμέτρους των προβλημάτων και κατά πόσο αυτές οι αλλαγές επηρεάζουν την τελική λύση. Η ανάλυση ευαισθησίας παρέχει σημαντικές πληροφορίες, αφού οι παράμετροι που μελετώνται για την συγκεκριμένη μελέτη του αιολικού πάρκου, αναφέρονται σε μεγέθη που αφορούν τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στις περιοχές που έχω επιλέξει για την μελέτη αυτή.

8.2 Γραφήματα Κλιματολογικών Δεδομένων

Στο κεφαλαίο αυτό θα δοθούν και θα εξηγηθούν αναλυτικά και συνολικά τα γραφήματα που αφορούν τόσο τα κλιματικά δεδομένα των δύο Σεναρίων (Αράξου και Αλιάρτου). Για την πραγματοποίηση της ανάλυσης αυτής χρησιμοποιήθηκαν επίσης και τα κλιματολογικά δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού της Σικυώνας η οποία βρίσκεται στον νομό Κορινθίας. Τα κλιματολογικά δεδομένα των παραπάνω σταθμών έχουν προκύψει από το πρόγραμμα RETScreen και τα διαγράμματα δημιουργήθηκαν με την βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος Excel.

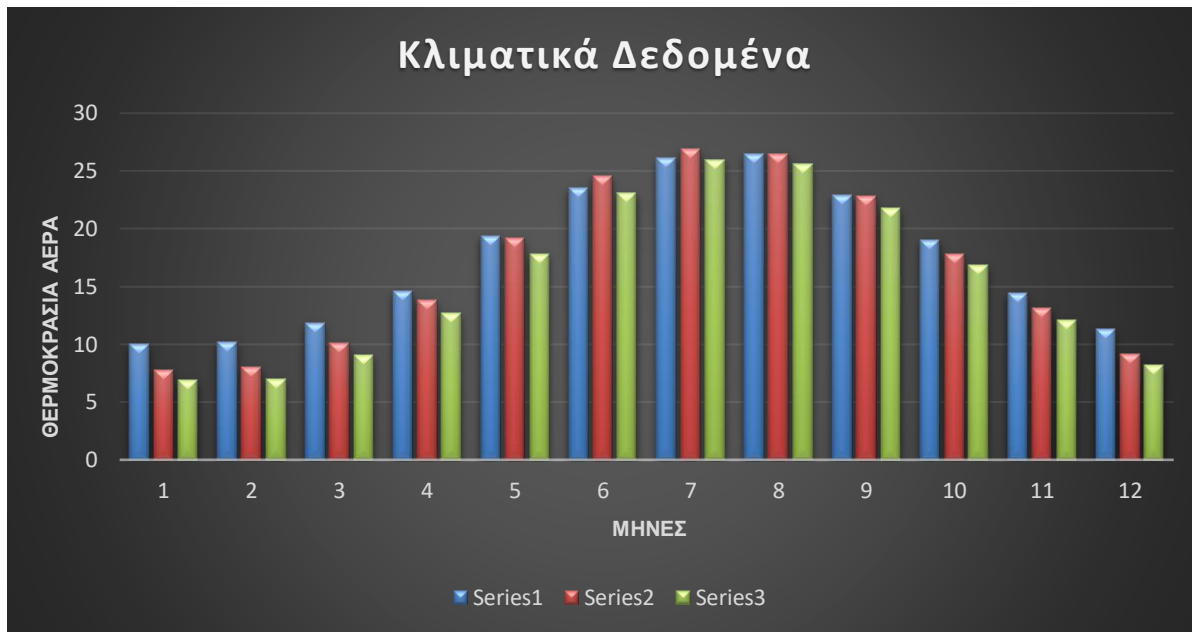
Παρακάτω θα δοθούν τα γραφήματα που αφορούν τα κλιματικά δεδομένα των περιοχών Αράξου, Αλιάρτου και Σικυώνας. Πιο συγκεκριμένα, θα δοθεί το διάγραμμα της θερμοκρασίας του αέρα συναρτήσει των μηνών του έτους, το διάγραμμα της ταχύτητας του ανέμου συναρτήσει των μηνών και το διάγραμμα της ατμοσφαιρικής πίεσης συναρτήσει των μηνών.

Μήνες	Θερμοκρασία Αέρα Αράξου (°C)	Θερμοκρασία Αέρα Αλιάρτου (°C)	Θερμοκρασίας Αέρα Σικυώνας (C°)
1	10	7,8	6,9
2	10,2	8	7,0
3	11,8	10,1	9,1
4	14,6	13,8	12,7
5	19,4	19,2	17,8
6	23,5	24,6	23,1
7	26,1	26,9	26,0
8	26,4	26,5	25,6
9	22,9	22,8	21,8
10	19	17,8	16,9
11	14,4	13,1	12,1
12	11,3	9,2	8,2

Πίνακας 2: Τιμές Θερμοκρασίας Αέρα



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ



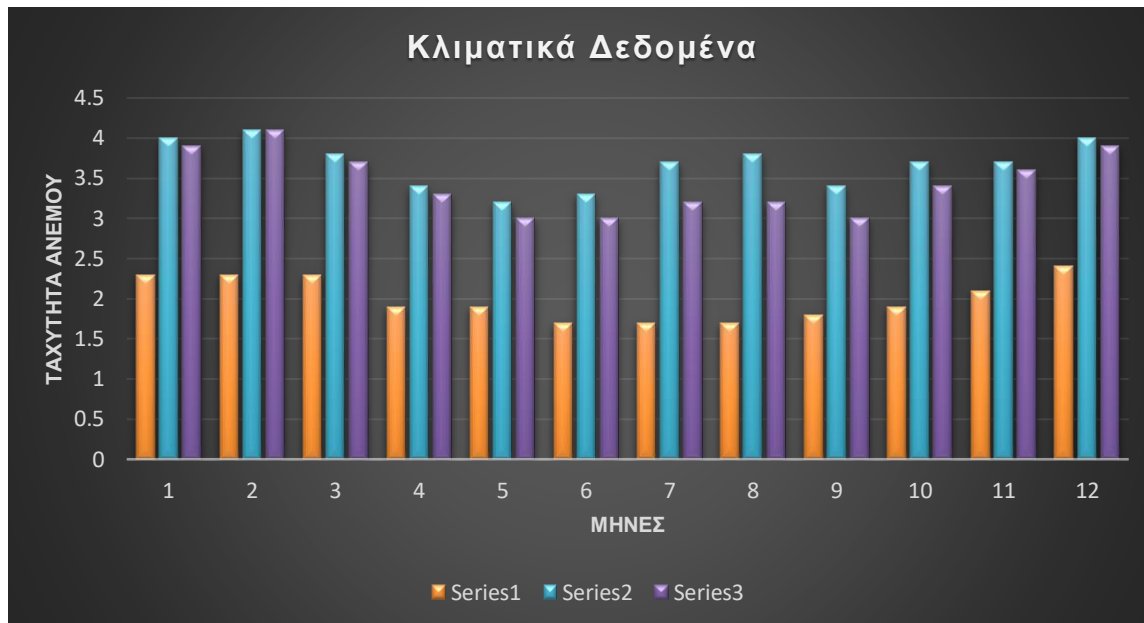
Διάγραμμα 1: Θερμοκρασία Αέρα συναρτήσει Μηνών Έτους

Μήνες	Ταχύτητα Ανέμου Αράξου (m/s)	Ταχύτητα Ανέμου Αλιάρτου (m/s)	Ταχύτητα Ανέμου Σικυώνας(m/s)
1	2,3	4	3,9
2	2,3	4,1	4,1
3	2,3	3,8	3,7
4	1,9	3,4	3,3
5	1,9	3,2	3,0
6	1,7	3,3	3,0
7	1,7	3,7	3,2
8	1,7	3,8	3,2
9	1,8	3,4	3,0
10	1,9	3,7	3,4
11	2,1	3,7	3,6
12	2,4	4	3,9

Πίνακας 3: Τιμές Ταχύτητας Ανέμου



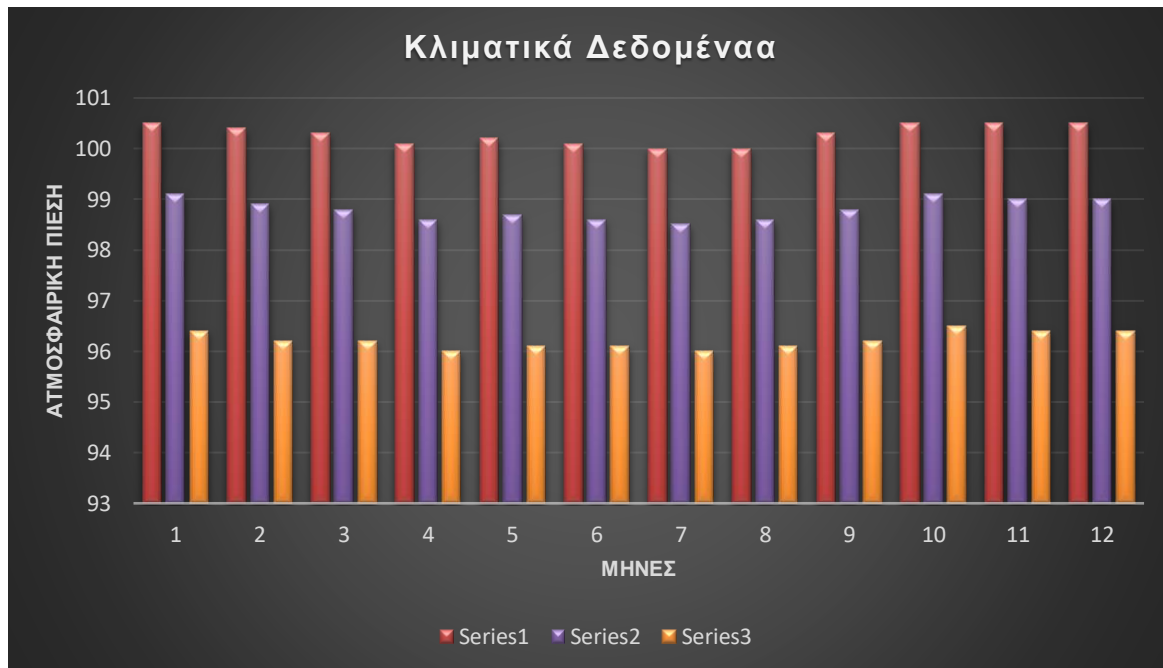
Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ



Διάγραμμα 2: Ταχύτητα Ανέμου συναρτήσει Μηνών Έτους

Μήνες	Ατμοσφαιρική Πίεση Αράξου (kPa)	Ατμοσφαιρική Πίεση Αλιάρτου (kPa)	Ατμοσφαιρική Πίεση Σικυώνας (kPa)
1	100,5	99,1	96,4
2	100,4	98,9	96,2
3	100,3	98,8	96,2
4	100,1	98,6	96,0
5	100,2	98,7	96,1
6	100,1	98,6	96,1
7	100	98,5	96,0
8	100	98,6	96,1
9	100,3	98,8	96,2
10	100,5	99,1	96,5
11	100,5	99	96,4
12	100,5	99	96,4

Πίνακας 4: Τιμές Ατμοσφαιρικής Πίεσης



Διάγραμμα 3: Ατμοσφαιρική Πίεση συναρτήσει Μηνών Έτους

Στα διαγράμματα που έχουν δοθεί παραπάνω, η Σειρά 1 αντιστοιχεί στον Άραξο, η Σειρά 2 αντιστοιχεί στην Αλιάρτο και η Σειρά 3 αντιστοιχεί στην Σικυώνα.

Στο Διάγραμμα 1, που αφορά την θερμοκρασία του αέρα, οι τιμές της για την περιοχή της Αλιάρτου ξεπερνούν λίγο τις τιμές των άλλων δυο περιοχών τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβρη. Τους υπόλοιπους μήνες παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία του αέρα στην περιοχή του Αράξου είναι πιο υψηλή από των άλλων δύο.

Στο Διάγραμμα 2, που αφορά την ταχύτητα του αέρα, παρατηρούμε ότι η ταχύτητα στην περιοχή του Αράξου είναι πολύ χαμηλή σε σχέση με τις ταχύτητες που επικρατούν στις άλλες δυο περιοχές. Επίσης, παρατηρούμε ότι τον μήνα Φεβρουάριο η ταχύτητα του ανέμου στην περιοχή της Αλιάρτου και της Σικυώνας είναι η ίδια ακριβώς.

Στο Διάγραμμα 3, που αφορά την ατμοσφαιρική πίεση των τριών περιοχών βλέπουμε ότι στην περιοχή του Αράξου η ατμοσφαιρική πίεση είναι μεγαλύτερη ή ίση των 100 kPa κατά της διάρκεια του έτους, ενώ για την περιοχή της Αλιάρτου και της Σικυώνας παρατηρούμε ότι η ατμοσφαιρική τους πίεση, σε όλη την διάρκεια του έτους, είναι χαμηλότερη 100kPa. Υψηλότερη ατμοσφαιρική πίεση επικρατεί στον Άραξο, ενώ χαμηλότερη επικρατεί στην Σικυώνα.

8.3Επιπλέον διαγράμματα θέσης κλιματολογικών δεδομένων

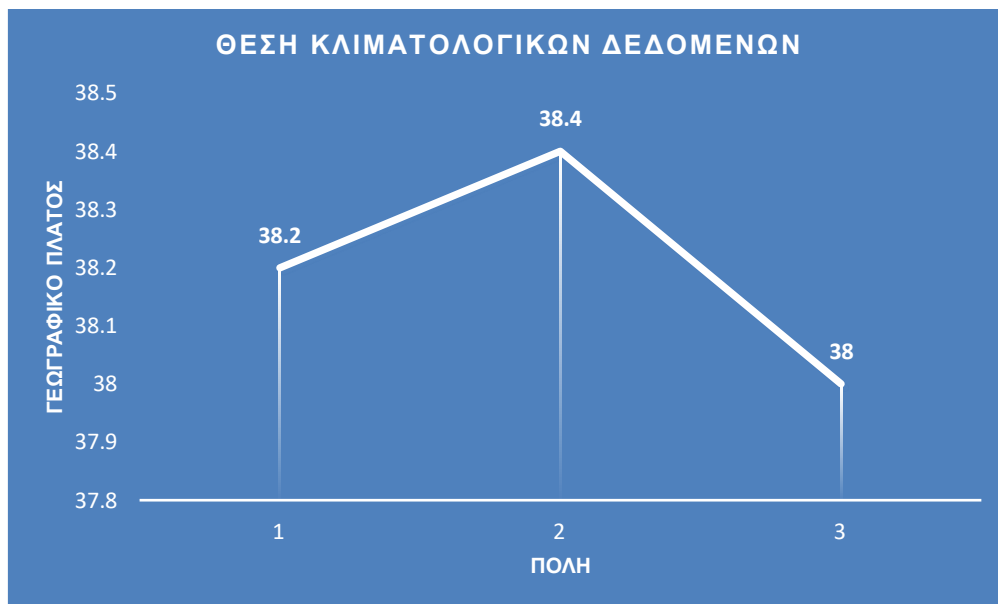
Παρακάτω θα δοθούν αναλυτικά τα διαγράμματα που αντιστοιχούν σε κάποια επιπλέον κλιματικά δεδομένα των τριών πόλεων, τα οποία προέκυψαν με την βοήθεια του προγράμματος RETScreen. Τα διαγράμματα αυτά δημιουργήθηκαν με την βοήθεια του υπολογιστικού φύλλου Excel. Στα διαγράμματα που ακολουθούν το νούμερο 1 αντιστοιχεί στην πόλη του Αράξου, το νούμερο 2 αντιστοιχεί στην πόλη της Αλιάρτου και το νούμερο 3 αντιστοιχεί στην πόλη της Σικυώνας.



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

Πόλη	Γεωγραφικό Πλάτος
Άραξος	38,2
Αλιάρτος	38,4
Σικυώνα	38,0

Πίνακας 5: Τιμές Γεωγραφικού Πλάτους ανά Πόλη



Διάγραμμα 4: Γεωγραφικό Πλάτος συναρτήσει Πόλης

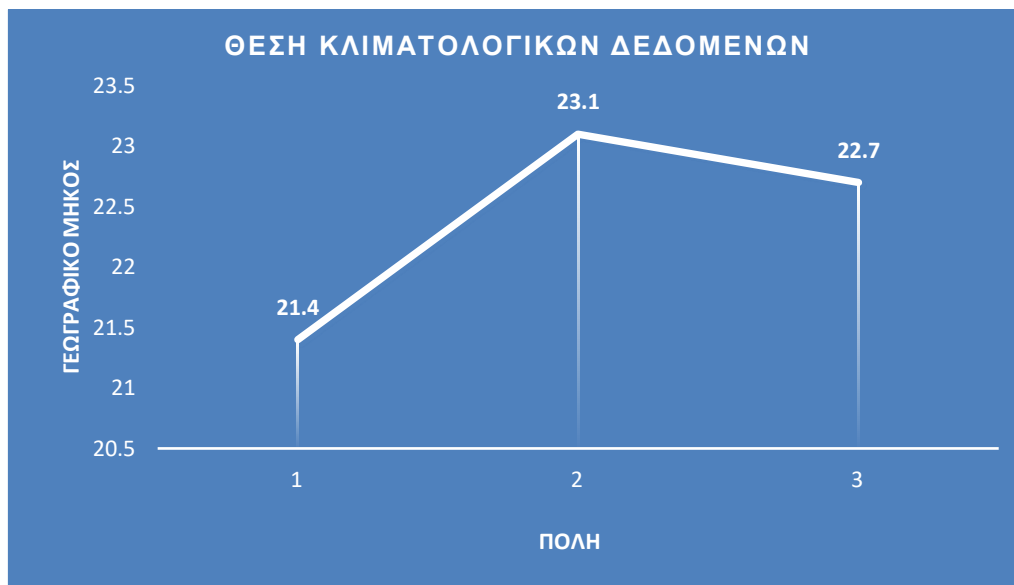
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι το γεωγραφικό πλάτος στην περιοχή της Αλιάρτου είναι μεγαλύτερο από το γεωγραφικό πλάτος των άλλων δύο περιοχών (Άραξος, Σικυώνα). Το γεωγραφικά πλάτος μαζί με το γεωγραφικό μήκος αποτελούν τα δύο μεγέθη των γεωγραφικών συντεταγμένων με τα οποία προσδιορίζεται η θέση των τόπων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, γεωγραφικά, η Αλιάρτος βρίσκεται βορειανατολικά, ενώ ο Άραξος βρίσκεται νοτιοδυτικά και η Σικυώνα νοτιοανατολικά.

Πόλη	Γεωγραφικό Μήκος
Άραξος	21,4
Αλιάρτος	23,1
Σικυώνα	22,7

Πίνακας 6: Τιμές γεωγραφικού μήκους ανά πόλη



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

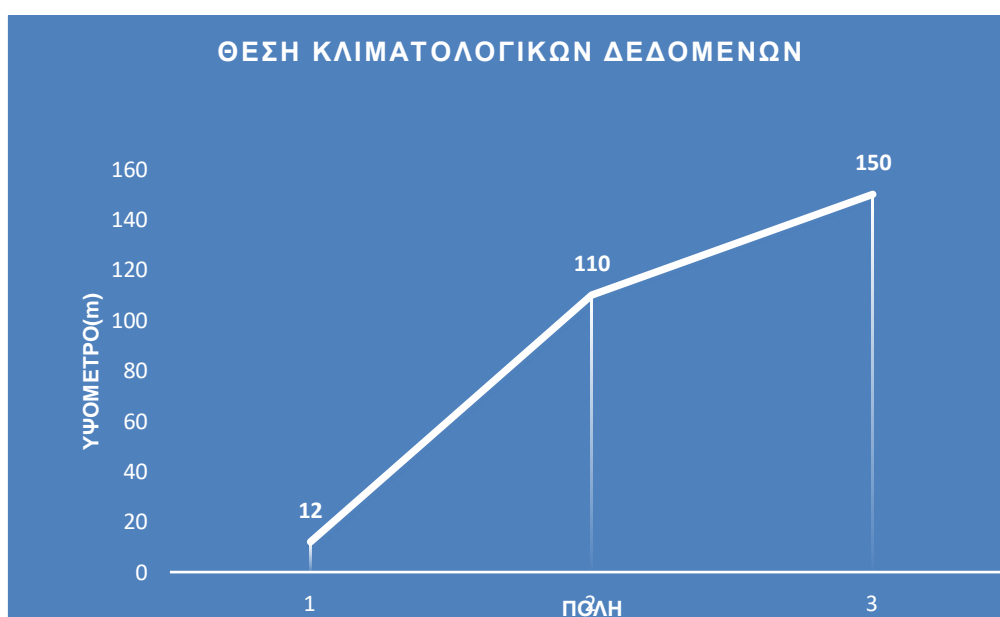


Διάγραμμα 5: Γεωγραφικό Μήκος συναρτήσεσι Πόλης

Στο διάγραμμα του Γεωγραφικού Μήκους συναρτήσεσι της Πόλης παρατηρούμε ότι και εδώ η τιμή του γεωγραφικού μήκους της Αλιάρτου είναι μεγαλύτερη από αυτή του Αράξου και της Σικυώνας. Το γεωγραφικό μήκος μας δείχνει την απόσταση ενός τόπου από τον Πρώτο Μεσημβρινό. Η Αλιάρτος βρίσκεται βορειότερα από της άλλες δυο πόλεις.

Πόλη	Υψόμετρο
Αράξος	12
Αλιάρτος	110
Σικυώνα	150

Πίνακας 7: Τιμές υψομέτρου ανά πόλη



Διάγραμμα 6: Υψόμετρο συναρτήσεσι Πόλης



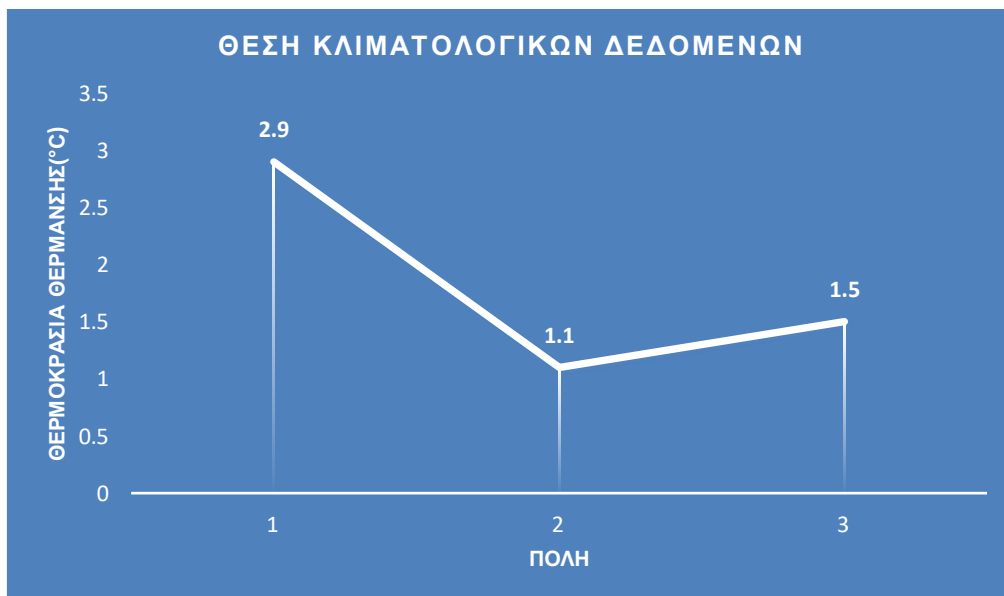
Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι το υψόμετρο στην Πόλη του Αράξου είναι πολύ μικρότερο σε σχέση με τα υψόμετρα των άλλων δύο περιοχών. Ο Άραξος είναι παραθαλάσσια περιοχή και γι' αυτό το λόγο το υψόμετρο του είναι τόσο χαμηλότερο από τα άλλα δύο.

Ως υψόμετρο χαρακτηρίζεται η κάθετη απόσταση (υψομετρική διαφορά) ενός σημείου από το επίπεδο της θάλασσας. Στην Ελλάδα μεγαλύτερο υψόμετρο κατέχουν τα χωριά της βόρειου Ελλάδας και συγκεκριμένα το χωριό Βίγλα της Φλώρινας με υψόμετρο 1.550μ. Χαμηλότερο υψόμετρο έχουν τα παράλια χωριά και οι λιμένες πόλεις με μέσο υψόμετρο 2-7μ. Χαμηλότερο υψόμετρο στην χώρα έχει το Νεοχώρι Μεσολογγίου με τιμή -10μ.

Πόλη	Θερμοκρασία Θέρμανσης
Άραξος	2,9
Αλιάρτος	1,1
Σικυώνα	1,5

Πίνακας 8: Τιμές Θερμοκρασίας Θέρμανσης ανά Πόλη



Διάγραμμα 7: Θερμοκρασία Θέρμανσης συναρτήσει Πόλης

Στο παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε ότι η θερμοκρασία θέρμανσης της Αλιάρτου είναι χαμηλότερη των άλλων δύο περιοχών. Στο Άραξο η θερμοκρασία θέρμανσης είναι 2,9°C, στην Σικυώνα είναι 1,5°C ενώ στην Αλιάρτο 1,1°C. Η Αλιάρτος γεωγραφικά βρίσκεται βορειότερα γι' αυτό και καταγράφονται χαμηλότερες θερμοκρασίες στην περιοχή αυτή.

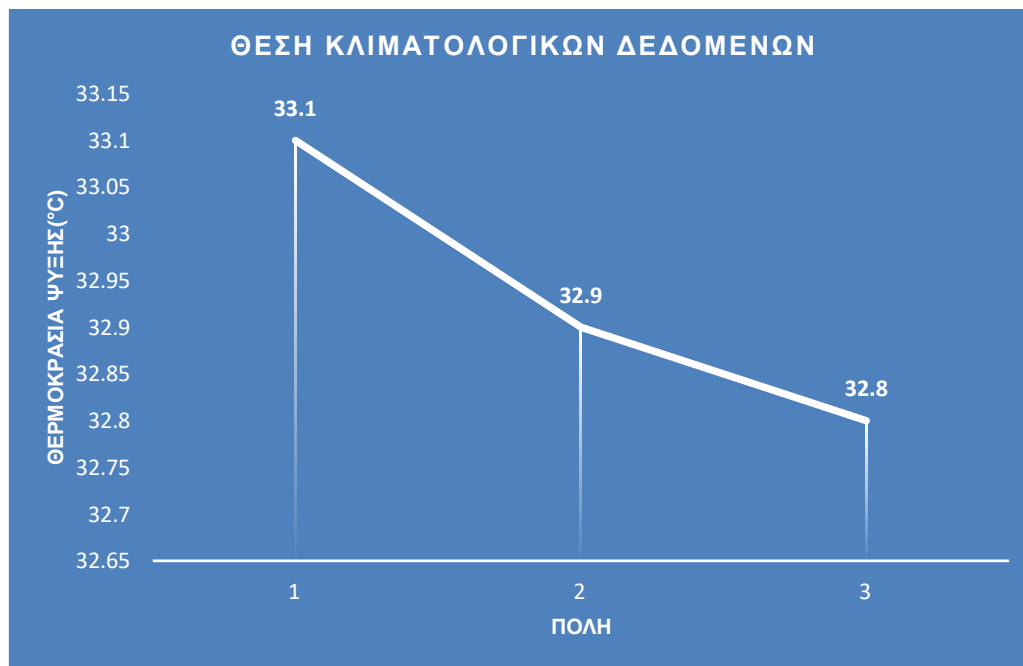
Η θερμοκρασία θέρμανσης είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία που έχει μετρηθεί μέσα στον χρόνο σε κάθε περιοχή. Οι μετρήσεις που έχουμε από το πρόγραμμα RETScreen σύμφωνα με την ASHRAE (Αμερικάνικη Εταιρία Μηχανικών Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού) μετρήθηκαν το 2009.



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

Πόλη	Θερμοκρασία Ψύξης
Άραξος	33,1
Αλιάρτος	32,9
Σικυώνα	32,8

Πίνακας 9: Τιμές Θερμοκρασίας Ψύξης ανά Πόλη



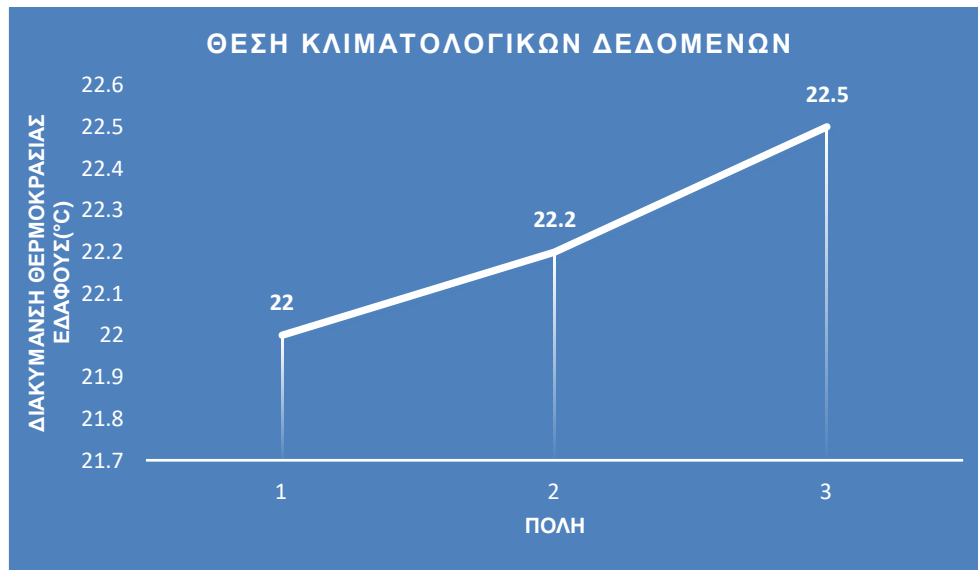
Διάγραμμα 8: Θερμοκρασίας Ψύξης συναρτήσεϊ Πόλης

Στο διάγραμμα της θερμοκρασίας ψύξης συναρτήσεϊ των πόλεων βλέπουμε ότι στον Άραξο η θερμοκρασία ψύξης είναι υψηλότερη των άλλων δύο και συγκεκριμένα 33,1°C ενώ στην Αλιάρτο είναι 32,9°C και στην Σικυώνα 32,8°C. Παρατηρούμε ότι η διαφορά που έχουν μεταξύ τους είναι ελάχιστη.

Η θερμοκρασία ψύξης αντιπροσωπεύει τη μέγιστη θερμοκρασία που έχει μετρηθεί για ένα επίπεδο συχνότητας τουλάχιστον 1% κατά τη διάρκεια του έτους, για μια συγκεκριμένη περιοχή (ASHRAE, 2009).

Πόλη	Διακύμανση Θερμοκρασίας Εδάφους
Άραξος	22,0
Αλιάρτος	22,2
Σικυώνα	22,5

Πίνακας 10: Τιμές Διακύμανσης Θερμοκρασίας Εδάφους ανά Πόλη



Διάγραμμα 9: Διακύμανση Θερμοκρασίας Εδάφους συναρτήσει Πόλης

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι η διακύμανση της θερμοκρασίας του εδάφους στην Σικυώνα είναι υψηλότερη των άλλων δύο με τιμή $22,5^{\circ}\text{C}$ ενώ η τιμή του Αράξου και της Αλιάρτου αντίστοιχα είναι 22°C και $22,2^{\circ}\text{C}$ (NASA).

Η Διακύμανση της θερμοκρασίας του εδάφους είναι το ετήσιο πλάτος της θερμοκρασίας της γης, το οποίο ορίζεται ως το ήμισυ της διαφοράς μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης θερμοκρασίας της γης. Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας της γης κατά τη διάρκεια του έτους. Ανάλογα με την τοποθεσία, το ετήσιο πλάτος της θερμοκρασίας της γης κυμαίνεται τυπικά από 5 έως 20°C , για βάθος μέτρησης της θερμοκρασίας της γης ίσο με 0 m.

8.4 Συμπεράσματα

Αν και τα κλιματικά δεδομένα αποτελούν σημαντικό παράγοντα για την επιλογή περιοχής εγκατάστασης αιολικού πάρκου, η επιλογή αυτή δεν εξαρτάται μόνο από αυτά. Συγκεκριμένα, υπάρχουν κι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασης όπως, η εξασφάλιση κατάλληλης έκτασης γηπέδου εγκατάστασης, ανάλογης της επιθυμητής ονομαστικής ισχύος του αιολικού πάρκου και του μοντέλου της επιλεγμένης ανεμογεννήτριας, η μορφολογία περιοχής εγκατάστασης (προσβασιμότητα, ήπιες κλίσεις κλπ.), η δυνατότητα επίλυσης θεμάτων ιδιοκτησίας θέσης εγκατάστασης, ο περιορισμός οχλήσεων και συμμόρφωση σύμφωνα με το χωροταξικό ΑΠΕ (περιοχές NATURA, οπτική, ακουστική όχληση κλπ.)

Επιπλέον σημαντική παράμετρος είναι η επιλογή ανεμογεννήτριας.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι είναι σημαντικό να συμπεριλαμβάνονται όλοι οι παράμετροι στην επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου. Απαιτείται εκτενής μελέτη όλων των παραγόντων που επηρεάζουν αυτή την απόφαση και η επίλυση όλων των προβλημάτων που θα προκύψουν κατά την διάρκεια αυτής της μελέτης. Η επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασης του συγκεκριμένου αιολικού πάρκου ονομαστικής ισχύος 14MW είναι η περιοχή Τρίκορφα του Δήμου Δωρίδας στον νομό Φωκίδας.



Βιβλιογραφία

- Ενέργεια(Wikipedia)
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CEB5%CE%B9%CE%B1>
- Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας(Wikipedia)
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CF%8E%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B5%CF%82%CF%80%CE%B7%CE%B3%CE%AD%CF%82%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%82>
- Ανεμογεννήτρια(Wikipedia)
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%B5%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%B5%CE%BD%CE%BD%CE%AE%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%B1>
- Αιολική Ενέργεια(Wikipedia)
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1>
- Αιολικό Πάρκο(Wikipedia)
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%80%CE%AC%CF%81%CE%BA%CE%BF>
- Πτυχιακή Εργασία Σαραφόπουλου Νικόλαου
<https://hellanicus.lib.aegean.gr/bitstream/handle/11610/20338/%CE%A3%CE%B1%CF%81%CE%B1%CF%86%CF%8C%CF%80%CE%BF%CF%85%CE%BB%CE%BF%CF%82%20%CE%9D%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CE%B%CE%B1%CE%BF%CF%82%20%CE%A0%CF%84%CF%85%CF%87%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE%20.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Διπλωματική Εργασία Μπαρμπαρήγου Μυρτώ
<http://artemis.library.tuc.gr/DT2012-0057/DT2012-0057.pdf>
- Πτυχιακή Εργασία Κυριακόπουλου Ιωάννη και Ασλάνη Δημήτρη
<http://repository.library.teimes.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/8111/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97%20%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%91%CE%A3%CE%99%CE%91%20%CE%9A%CE%A5%CE%A1%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%9F%CE%A0%CE%9F%CE%A5%CE%9B%CE%9F%CE%A3%20%CE%99%CE%A9%CE%91%CE%9D%CE%9D%CE%97%CE%A3%20%CE%91%CE%9C%207171-%20%CE%91%CE%A3%CE%9B%CE%91%CE%9D%CE%97%CE%A3%20%CE%94%CE%97%CE%9C%CE%97%CE%A4%CE%A1%CE%99%CE%9F%CE%A3%20%CE%91%CE%9C%207113.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Πτυχιακή εργασία Πελέκης Σωκράτης
<http://repository.library.teiwest.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/6852/%ce%9c%ce%95%ce%9b%ce%95%ce%a4%ce%97%20%ce%93%ce%99%ce%>



Πτυχιακή Εργασία Βαλαβάνη Άννα – Παναγιώτα
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
– ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ

[91%20%ce%95%ce%93%ce%9a%ce%91%ce%a4%ce%91%ce%a3%ce%a4%ce%91%ce%a3%ce%97%20%ce%91%ce%99%ce%9f%ce%9b%ce%99%ce%9a%ce%9f%ce%a5%20%ce%a3%ce%a4%ce%91%ce%98%ce%9c%ce%9f%ce%a5..pdf?sequence=1&isAllowed=y](#)

- Meteo Blue
<https://www.meteoblue.com/>
- Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας
<https://newpost.gr/eidiseis/pleonektimata-kai-meionektimata-tis-aiolikis-energeias/>
- Αιολική Ενέργεια. Τα υπέρ και τα κατά
<https://www.sigmalive.com/archive/simerini/environment/170879>
- Vestas V100-2.0
<https://en.wind-turbine-models.com/turbines/1001-vestas-v100-2.0>
- Κλιματικά Δεδομένα ανά Πόλη
<http://www.emy.gr/emyl/>
- http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_wind.htm
- RETScreen(Wikipedia)
<https://el.wikipedia.org/wiki/RETScreen>
- Βιβλίο Εργαστηριακές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας Ιωάννης Κ.Καλδέλλης και Κοσμάς Α.Καββαδίας
- Βιβλίο Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Δυναμικό & Τεχνολογίες Διονύσης Ασημακόπουλος, Γεώργιος Αραμπατζής, Αθανάσιος Αγγελής-Δημάκης, Αβραάμ Καρταλίδης και Γεώργιος Τσιλιγκιρίδης
- Πτυχιακή Εργασία Ραυτόπουλος Κωνσταντίνος