



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Η καινοτομία των κάθετων ανεμογεννητριών σε δρόμους
διπλής κατεύθυνσης

Διπλωματική Εργασία

Μάριος Πεμπέτσιος

Επιβλέπουσα: Τσαλαπάτα Χαρίκλεια

Ιούνιος 2024



UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

Diploma Thesis

Marios Pempetsios

Supervisor: Tsalapata Hariklia

June 2024

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπουσα

Τσαλαπάτα Χαρίκλεια

Ιδιότητα επιβλέποντα, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

Χροναίος Αλέξανδρος

Ιδιότητα μέλους 1, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

Μπέλλας Νικόλαος

Ιδιότητα μέλους 2, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελούν αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλουν οποιασδήποτε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχουν έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Δηλώνω επίσης ότι τα αποτελέσματα της εργασίας δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση άλλου πτυχίου. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο/Η Δηλών/ούσα

Μάριος Πεμπέτσιος

DISCLAIMER ON ACADEMIC ETHICS AND INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

Being fully aware of the implications of copyright laws, I expressly state that this diploma thesis, as well as the electronic files and source codes developed or modified in the course of this thesis, are solely the product of my personal work and do not infringe any rights of intellectual property, personality and personal data of third parties, do not contain work / contributions of third parties for which the permission of the authors/beneficiaries is required and are not a product of partial or complete plagiarism, while the sources used are limited to the bibliographic references only and meet the rules of scientific citing. The points where I have used ideas, text, files and / or sources of other authors are clearly mentioned in the text with the appropriate citation and the relevant complete reference is included in the bibliographic references section. I also declare that the results of the work have not been used to obtain another degree. I fully, individually and personally undertake all legal and administrative consequences that may arise in the event that it is proven, in the course of time, that this thesis or part of it does not belong to me because it is a product of plagiarism.

The Declarant

Marios Pempetsios

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη συνεχή υποστήριξη και την ανεκτίμητη βοήθειά τους κατά τη διάρκεια της συγγραφής της παρούσας εργασίας. Χωρίς την απεριόριστη αγάπη και έμπνευσή τους, δεν θα ήμουν σε θέση να προχωρήσω τόσο μακριά. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Τσαλαπάτα Χαρίκλεια, που σαν επιβλέπων, αλλά και σαν καθηγήτρια σε μαθήματα που είχα μαζί της, ήταν υποστηρικτική και πολύ καλή καθηγήτρια. Επιπλέον, το βιβλίο του Μπιλ Γκέιτς "Πώς να αποφύγουμε μια κλιματική αλλαγή" μου παρείχε την έμπνευση και την καθοδήγηση που χρειαζόμουν για τη συγγραφή αυτής της εργασίας. Ο Μπιλ Γκέιτς αποτελεί αναμφίβολα πηγή έμπνευσης για μένα και πολλούς άλλους που εργάζονται για ένα πιο βιώσιμο και φιλικό προς το περιβάλλον μέλλον. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω όλους εκείνους που συνέβαλαν με τον τρόπο τους στην ολοκλήρωση του παρόντος εγγράφου και στην επέκταση του φάσματος των κατακόρυφων ανεμογεννητριών πρόσωπο με πρόσωπο.

Διπλωματική Εργασία

Η καινοτομία των κάθετων ανεμογεννητριών σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης

Μάριος Πεμπέτσιος

Περίληψη

Η διπλωματική εργασία αυτή εξετάζει την καινοτομία των κάθετων ανεμογεννητριών που τοποθετούνται σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης, αναλύοντας τον ρόλο τους στην παραγωγή βιώσιμης ενέργειας και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Στόχος της μελέτης είναι να κατανοηθεί η αποτελεσματικότητα και η βιωσιμότητα αυτής της τεχνολογίας μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης και ανάλυσης υπάρχουσών εφαρμογών. Η εργασία ξεκινά με την εξέταση της κλιματικής αλλαγής και την επιτακτική ανάγκη για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι κάθετες ανεμογεννήτριες, οι τύποι τους, η επιλογή τοποθεσίας, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης τους. Εξετάζονται επίσης παραδείγματα από διάφορες χώρες, όπου έχουν υλοποιηθεί τέτοιες εφαρμογές, και αναλύονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα από αυτές τις υλοποιήσεις. Η εργασία προχωρά στην ανάλυση των τεχνολογικών προκλήσεων και των καινοτομιών που απαιτούνται για την επιτυχή εφαρμογή των κάθετων ανεμογεννητριών σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης. Συζητώνται οι παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοτικότητα, τη βέλτιστη τοποθέτηση, τη διαχείριση της παραγόμενης ενέργειας και την ασφάλεια. Τέλος, προτείνονται μελλοντικές κατευθύνσεις για την έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα αυτό, με στόχο τη βελτίωση της απόδοσης και της αποδοχής της τεχνολογίας. Η μελέτη αυτή συμβάλλει στην κατανόηση των δυνατοτήτων και των προκλήσεων των κάθετων ανεμογεννητριών και προτείνει λύσεις για την καλύτερη ενσωμάτωση τους στο αστικό περιβάλλον, ενισχύοντας τη βιώσιμη ανάπτυξη και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

ii

Diploma Thesis

The Innovation of Vertical Wind Turbines on Dual-Direction Roads

Marios Pempetsios

Abstract

This thesis examines the innovation of vertical axis wind turbines (VAWTs) installed on dual carriageways, analysing their role in sustainable energy production and climate change mitigation. The study aims to understand the effectiveness and viability of this technology through a literature review and analysis of existing applications. The thesis begins with an examination of climate change and the urgent need for renewable energy sources. It then presents vertical axis wind turbines, their types, site selection, environmental impacts, and the advantages and disadvantages of their use. It also examines examples from various countries where such applications have been implemented and analyses the results and conclusions from these implementations. The thesis proceeds to analyse the technological challenges and innovations required for the successful implementation of vertical axis wind turbines on dual carriageways. Factors affecting efficiency, optimal placement, energy management, and safety are discussed. Finally, future directions for research and development in this field are proposed, aiming to improve the performance and acceptance of the technology. This study contributes to the understanding of the capabilities and challenges of vertical axis wind turbines and proposes solutions for their better integration into urban environments, enhancing sustainable development and addressing climate change.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	i
Περίληψη.....	ii
Abstract.....	iii
Κατάλογος εικόνων	3
Συντομογραφίες.....	4
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	5
1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής	6
1.2 Οργάνωση του τόμου	6
Κεφάλαιο 2: Κλιματική αλλαγή.....	7
2.1 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	7
2.2 Τι είναι η κλιματική αλλαγή	8
2.3 Πως παράγουμε ηλεκτρική ενέργεια.	10
Κεφάλαιο 3: Κάθετες ανεμογεννήτριες	19
3.1 Εισαγωγή.....	19
3.2 Εισαγωγή στις κάθετες ανεμογεννήτριες	19
3.2.1 Επιλογή τύπου ανεμογεννήτριας.....	20
3.2.2 Σχέδιο κάθετης ανεμογεννήτριας	Error! Bookmark not defined.
3.2.3 Μπαταρίες.....	22
3.3 Η τοποθεσία των ανεμογεννητριών κάθετου άξονα.....	23
3.3.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	24
3.3.3 Ασφάλεια κάθετης ανεμογεννήτριας	25
3.3.4 Κοινωνική αποδοχή.....	25
3.4 Τα πλεονεκτήματα των κάθετων ανεμογεννητριών.....	26
3.5 Τα μειονεκτήματα των κάθετων ανεμογεννητριών.....	28
3.6 Προσθήκη φωτοβολταϊκού	Error! Bookmark not defined.
Κεφάλαιο 4: Κατάσταση των κάθετων ανεμογεννητριών στον κόσμο.....	30
4.1 Εισαγωγή.....	30
4.2 Coimbatore, Ινδία	30
4.3 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.....	32
4.4. Τουρκία.....	33
4.5. Μαλαισία	36
4.6. Συμπέρασμα για τις χώρες	37
Κεφάλαιο 5: Τεχνολογικές Προκλήσεις και Καινοτομίες.....	39

5.1 Εισαγωγή	39
5.2 Προκλήσεις εφαρμογής	39
5.2.1 Βέλτιστη Τοποθέτηση και Εγκατάσταση	39
5.2.2 Αποδοτική Μετατροπή Κινητικής Ενέργειας	41
5.2.3 Διαχείριση Παραγόμενης Ενέργειας	42
5.2.5 Ασφάλεια.....	44
5.2.6 Συντήρηση	45
5.3 Χρηματοδότηση	46
5.4 Καινοτομίες για ανάπτυξη	46
5.5 Τεχνολογία αισθητήρων	48
5.6 Βελτιωμένη αισθητική	49
5.7. Έξυπνη διαχείριση ενέργειας	50
5.7.1. Δανία.....	50
5.7.2. Ανόβερο, Γερμανία.....	51
Κεφάλαιο 6: Σχεδίαση κάθετης ανεμογεννήτριας	52
6.1 Στοιχεία ανεμογεννήτριας.....	52
6.2 Προσθήκη φωτοβολταϊκού	54
Κεφάλαιο 7: Συμπέρασμα.....	56
Βιβλιογραφία.....	57

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 2.1: Η ισορροπία της ηλιακής ακτινοβολίας

Εικόνα 2.2: Ενεργειακό Μείγμα Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Εικόνα 2.3: Φωτοβολταϊκό πάρκο.

Εικόνα 2.4: Αιολικό πάρκο.

Εικόνα 2.5: Οργανικές ύλες που χρησιμοποιούμε για την βιομάζα.

Εικόνα 2.6: Μικρό υδροηλεκτρικό σύστημα.

Εικόνα 2.7: Σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύσιμο τον λιγνίτη.

Εικόνα 2.8: Στατιστικά που δείχνουν την άνοδο της θερμοκρασίας από το 1940 έως τον Ιανουάριο 2024.

Εικόνα 3.1: Καμπύλη μιας κάθετης ανεμογεννήτριας ισχύος.

Εικόνα 4.1: Ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα κατασκευασμένη στην Ινδία που εγκαθίσταται σε πόλεις τις Ινδίας.

Εικόνα 4.2: Παράδειγμα στην Τουρκία με επιλεγμένο αυτοκινητόδρομο που είναι σε ισχύ οι κάθετες ανεμογεννήτριες σύμφωνα με τα οχήματα που τις διαπερνούν.

Εικόνα 4.3: Εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα σε κύριο δρόμο διπλής κατεύθυνσης στη Μαλαισία.

Εικόνα 5.1: Αναπαράσταση της ιδέας αυτής, με τις ανεμογεννήτριες στη μέση του δρόμου διπλής κατεύθυνσης, καθώς περνούν τα αυτοκίνητα.

Εικόνα 5.2: Αποτελεσματικό σχέδιο σύμφωνα με τον αέρα που εισχωρεί στα πτερύγια.

Εικόνα 5.3: Ασφάλεια των ανεμογεννητριών αλλά και των οχημάτων στον αυτοκινητόδρομο από φράγματα.

Εικόνα 5.4: Μια πιο φιλόδοξη και αισθητική σχεδίαση και εγκατάσταση ανεμογεννητριών κάθετου άξονα σε αυτοκινητόδρομους

Εικόνα 6.1: Σχέδιο κάθετης ανεμογεννήτριας σχεδιασμένη στο λογισμικό AutoCAD

Εικόνα 6.2: Σχέδιο επιπρόσθετου φωτοβολταϊκού στην κορυφή της κάθετης ανεμογεννήτριας

Συντομογραφίες

κ.α. (κάθετες ανεμογεννήτριες)

κ.ο.κ. (και ούτω καθεξής)

τσιπ (ηλεκτρονικές πλακέτες)

Α.Π.Ε. (ανανεώσιμες πηγές ενέργειας)

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται και αναλύει την περίπτωση των κάθετων ανεμογεννητριών σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης. Αυτή η καινοτόμα ιδέα συμβάλει στη λύση του παγκόσμιου προβλήματος που δεν είναι άλλο εκτός από την κλιματική αλλαγή. Για να αντιληφθούμε το πλήρες πλαίσιο του θέματος, αρχικά θα πραγματοποιήσουμε μια γενική περιγραφή του χώρου εφαρμογής της εργασίας αυτής.

Αυτός ο χώρος περιλαμβάνει τους δρόμους διπλής κατεύθυνσης οι οποίοι μπορεί να είναι δρόμοι σε αστικό περιβάλλον ή και δρόμοι ακόμη έξω από τις πόλεις, όπου κυκλοφορούν αρκετά οχήματα. Αυτοί οι δρόμοι χαρακτηρίζονται συνήθως από έντονη κυκλοφορία οχημάτων και συνεπώς αποτελούν πηγή ενέργειας με μεγάλο δυναμικό.

Έτσι οι δρόμοι διπλής κατεύθυνσης παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που τους καθιστούν κατάλληλους για την εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών όπως οι κάθετες ανεμογεννήτριες. Η συνεχής κυκλοφορία οχημάτων παράγει αέρα, ο οποίος μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης ταυτόχρονα, οι δρόμοι αυτοί συνήθως εκτείνονται σε ανοικτούς και εκτεταμένους χώρους, επιτρέποντας στον άνεμο να εισχωρεί από ένα ευρύ φάσμα κατευθύνσεων μέσα στις ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα.

Ωστόσο, παρά τα πλεονεκτήματά τους, οι δρόμοι διπλής κατεύθυνσης σαν χώρος για τις κάθετες ανεμογεννήτριες αντιμετωπίζουν και ορισμένα προβλήματα. Η υψηλή κυκλοφορία οχημάτων οδηγεί σε αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση, θορύβους στον αυτοκινητόδρομο, όπως επίσης και μεγάλες ταχύτητες ανέμου σε αυτόν. Ενώ η αποδόμηση των περιβαλλοντικών πόρων αποτελεί πρόκληση για την αειφόρα τους. Επιπλέον, η ανάγκη για εναλλακτικές πηγές ενέργειας γίνεται επιτακτική, ενθαρρύνοντας την αναζήτηση νέων τεχνολογιών όπως οι κάθετες ανεμογεννήτριες για να συμβάλουμε στην λύση του παγκόσμιου προβλήματος που είναι η κλιματική αλλαγή.

1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής

Η παρούσα εργασία αναλύει την καινοτομία των κάθετων ανεμογεννητριών σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης. Αναμένεται να έχει σημαντικό αντίκτυπο στον τομέα της βιώσιμης ενέργειας και της αειφορίας αν προσπαθήσουμε και βρούμε τους τρόπους και τις προκλήσεις να λειτουργήσουμε την εξής καινοτόμα ιδέα. Μέσω της ανάλυσης και της έρευνας που διεξάγεται, η παρούσα εργασία παρέχει μια νέα επιλογή για την παραγωγή ενέργειας με τη χρήση των υφιστάμενων οδικών υποδομών. Με την προσαρμογή αυτής της τεχνολογίας στο περιβάλλον των αυτοκινητοδρόμων, θα προκύψουν καινοτόμοι τρόποι παραγωγής και αξιοποίησης της ανανεώσιμης ενέργειας. Η υιοθέτηση αυτής της τεχνολογίας θα μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, θα βελτιώσει τη βιωσιμότητα και θα μειώσει το ενεργειακό κόστος, συμβάλλοντας σημαντικά στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και στη δημιουργία ενός πιο βιώσιμου μέλλοντος.

1.2 Οργάνωση του τόμου

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει την καινοτομία των κάθετων ανεμογεννητριών σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης, εστιάζοντας σε διάφορες πτυχές που αφορούν την κλιματική αλλαγή. Αρχικά, το πρώτο κεφάλαιο προσφέρει μια εισαγωγή στο θέμα και εξηγεί τους στόχους της έρευνας. Το δεύτερο κεφάλαιο επικεντρώνεται στην ανάλυση του προβλήματος που συμβάλει αυτή η καινοτόμα ιδέα που είναι η κλιματική αλλαγή, διερευνώντας το πρόβλημα και την ανάγκη για καινοτόμες λύσεις. Το τρίτο κεφάλαιο εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο οι κάθετες ανεμογεννήτριες λειτουργούν, παρέχοντας λύσεις στις προκλήσεις που αντιμετωπίζουμε. Στη συνέχεια, το τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζει την τρέχουσα κατάσταση των κάθετων ανεμογεννητριών παγκοσμίως, ενώ το πέμπτο κεφάλαιο εξετάζει τις τεχνολογικές προκλήσεις και τις καινοτομίες που προκύπτουν από αυτήν την προσέγγιση. Το έκτο και τελευταίο κεφάλαιο παραθέτει τα συμπεράσματα της έρευνας, αναδεικνύοντας τη σημασία

της καινοτομίας στον τομέα των κάθετων ανεμογεννητριών και αν αξίζει να δώσουμε έμφαση σε αυτή την καινοτόμα λύση.

Κεφάλαιο 2: Κλιματική αλλαγή

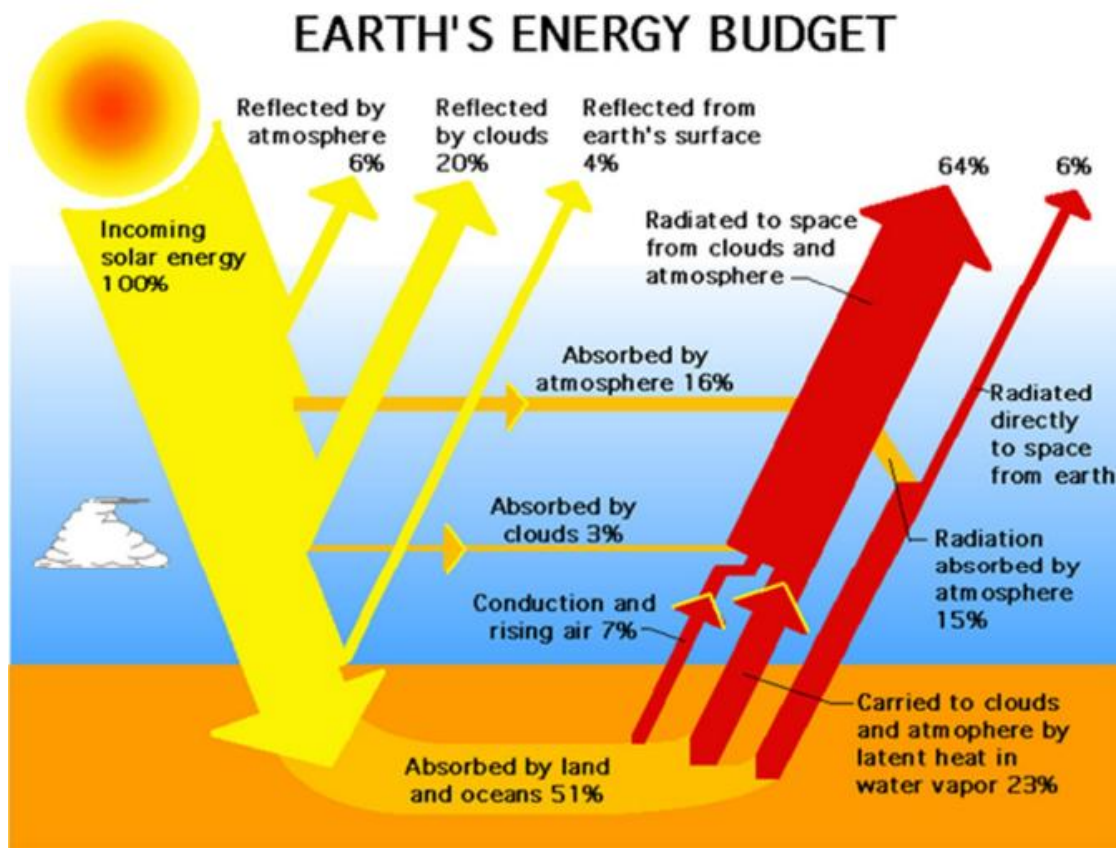
Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε τα πρόβλημα που λύνει η καινοτόμα ιδέα σε ένα μεγάλο βαθμό, και θα αναφερθούμε στις υφιστάμενες λύσεις που μέχρι τώρα παράγουμε ηλεκτρική ενέργεια.

2.1 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα από τα κύρια παγκόσμια προβλήματα που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα, με επιπτώσεις που εκτείνονται σε όλους τους τομείς της ζωής μας. Η αύξηση της θερμοκρασίας που βιώνουμε αυτές της μέρες και που θα βιώσουμε αν δεν βρούμε καινοτόμες λύσεις οφείλονται στην κλιματική αλλαγή και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι μια φυσική διαδικασία που συμβαίνει όταν οι αέριες ουσίες στην ατμόσφαιρα της Γης παγιδεύουν την υπέρβαση θερμότητας από τον ήλιο και από την επιφάνεια της Γης. Τα αέρια αυτά, όπως το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο, επιτρέπουν στην ηλιακή ακτινοβολία να περάσει μέσα από την ατμόσφαιρα και να φθάσει στην επιφάνεια της Γης. Αντιθέτως αυτά τα αέρια παγιδεύουν τη θερμότητα που εκπέμπεται από τη Γη, αποτρέποντας την απόδρασή της προς το διάστημα. Αυτή η διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας και της επιφάνειας της Γης, με αρνητικές επιπτώσεις στο κλίμα και το περιβάλλον (Σκάγκου, 2015).

Η NASA παρουσιάζει μια απεικόνιση του ενεργειακού ισοζυγίου της Γης (εικόνα 2.2), όπου φαίνεται ότι από την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην ατμόσφαιρα, το 4% απορροφάτε από το έδαφος, το 20% από τα σύννεφα και το 6% ανακλάται αμέσως πίσω. Έτσι, συνολικά το 30% επιστρέφει στο διάστημα. Από το υπόλοιπο, το 3% απορροφάτε από τα νέφη, όπως επίσης το 31% από την ατμόσφαιρα και τέλος το 51% απορροφάτε από το έδαφος και τους ωκεανούς (Δάγκας, 2019).



Εικόνα 2.1: Η ισορροπία της ηλιακής ακτινοβολίας (Δάγκας, 2019)

Το φαινόμενο αυτό ξεκίνησε να το υπολογίζει ο άνθρωπος από το 1850, όταν η μέση παγκόσμια θερμοκρασία αυξήθηκε κατά 0.76°C εκείνη τη χρονιά. Στην Ευρώπη, η μέση θερμοκρασία αυξήθηκε ακόμη περισσότερο, σχεδόν κατά 1°C , με τον υψηλότερο ρυθμό αύξησης να καταγράφεται τα τελευταία 30 χρόνια από τότε (Αρπουδή, 2018).

2.2 Τι είναι η κλιματική αλλαγή

Στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε δύο κρίσιμους αριθμούς. Ο πρώτος είναι το περίπου 51 δισεκατομμύρια τόνοι διοξειδίου του άνθρακα, που προσθέτει ετησίως η ανθρώπινη δραστηριότητα στην ατμόσφαιρα. Ενώ ο δεύτερος αριθμός, δεν είναι άλλοτε από αυτή που αποτελεί το βασικό μας στόχο, το μηδέν εκπομπές αερίων. Αυτός είναι ο μηδενικός στόχος που θα πρέπει να επιδιώκουμε, καθώς επιδιώκουμε να αντιμετωπίσουμε την υπερθέρμανση του πλανήτη και να αποφύγουμε τις ανεπιθύμητες επιπτώσεις

της κλιματικής αλλαγής. Αυτές οι επιπτώσεις θα είναι καταστροφικές και γι' αυτό είναι επιτακτική η ανάγκη να σταματήσουμε την πρόσθεση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα (Gates, 2021).

Ο κύριος λόγος που πρέπει να φτάσουμε στο μηδέν είναι ότι τα αέρια του θερμοκηπίου παγιδεύουν τη θερμότητα που βγάζει η Γη, έτσι συνεπώς προκαλείτε μια αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας της Γης (Gates, 2021).

Η αύξηση αυτή του παγκόσμιου θερμοκηπίου και η αλλαγή του κλίματος επηρεάζουν διάφορους τομείς του ανθρώπου. Όπως τη γεωργία, την ενέργεια, τον τουρισμό, την ασφάλεια των τροφίμων. Πολύ σημαντικό που πρέπει να αναφέρουμε είναι ότι, από την βιομηχανική επανάσταση που ξεκίνησε περίπου τον 18^ο αιώνα, καταγράφονται μεγάλες αυξήσεις στην εκμετάλλευση των ορυκτών καυσίμων. Τα ορυκτά καύσιμα είναι φυσική πόροι που προέρχονται από τα ορυχεία του εδάφους και περιλαμβάνουν τα καύσιμα, όπως το πετρέλαιο, τον άνθρακα και το φυσικό αέριο. Έτσι χρησιμοποιούμε από το 18^ο αιώνα μέχρι και σήμερα (2024) τα ορυκτά καύσιμα ως πηγές ενέργειας στις βιομηχανικές διεργασίες, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τη θέρμανση και ως καύσιμα για μεταφορικά μέσα, όπως αυτοκίνητα, αεροπλάνα και πλοία. Η καύση ορυκτών καυσίμων είναι μία από τις κύριες πηγές εκπομπών θερμοκηπίων αερίων, που συμβάλει στην κλιματική αλλαγή (Τσακαλάκης, 2014).

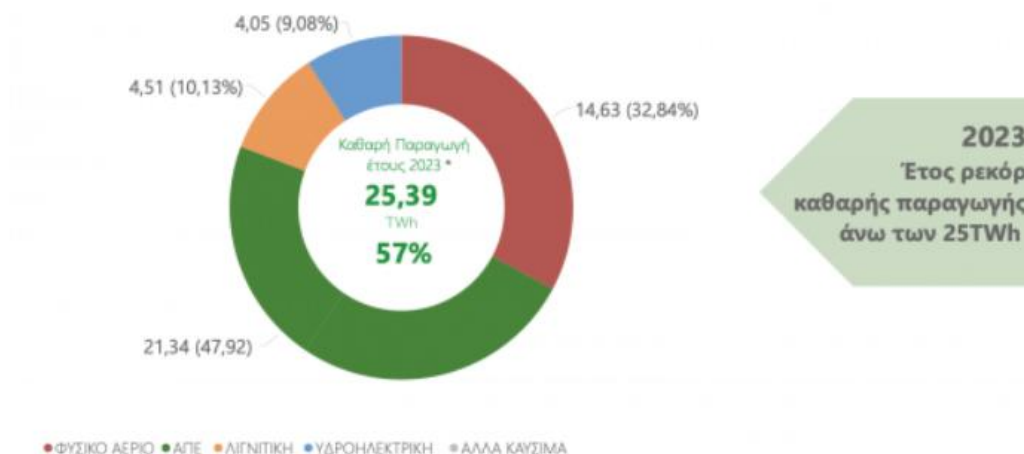
Οι ακραίες καιρικές συνθήκες όπως οι πλημμύρες, οι ξηρασίες, η μείωση στους πάγους στους πόλους και οι καταιγίδες, μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές οικονομικές ζημιές σε γεωργικές περιοχές, επηρεάζοντας την παραγωγή τροφίμων και τις τιμές των προϊόντων. Για παράδειγμα οι παραγωγοί αγροτικών προϊόντων αντιμετωπίζουν προκλήσεις όπως η αύξηση της θερμοκρασίας που επηρεάζει τις καλλιέργειες και την παραγωγή, οι αλλαγές στη διαθεσιμότητα του νερού για την άρδευση. Αυτό, συνεπάγεται ότι θα επηρεάσει τις φυτοφαγικές και ζωοτροφικές αλυσίδες, καθώς και την παραγωγή τροφίμων. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένες τιμές των προϊόντων και σε ανεπάρκεια τροφίμων σε

ορισμένες περιοχές. Ακόμα και στη χειρότερη περίπτωση πείνα και φτώχεια σε πολλές περιοχές στον πλανήτη μας.

Επιπλέον η αλλαγή του κλίματος επηρεάζει σημαντικά τον τομέα της ενέργειας. Η αύξηση της θερμοκρασίας συνήθως συνεπάγεται με αυξημένη ζήτηση για ψύξη κατά τους θερινούς μήνες και για θέρμανση κατά τους χειμερινούς. Η οποία οδηγεί σε μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας, ειδικά κατά περιόδους ακραίων καιρικών φαινομένων. Επιπλέον, οι αλλαγές στα κλιματικά μοτίβα μπορεί να επηρεάσουν την απόδοση των ΑΠΕ, όπως την ηλιακή και την αιολική ενέργεια, λόγω αλλαγών στην ένταση και τη διάρκεια του ηλιακού φωτός και των ανέμων. Τέλος, η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να επηρεάσει την αποδοτικότητα των συστημάτων ψύξης και κλιματισμού, η οποία απαιτεί αυξημένη ενέργεια για να διατηρηθεί η επιθυμητή θερμοκρασία σε εσωτερικούς χώρους. Επίσης να σημειωθεί πως με την κακή απόδοση των ΑΠΕ που είπαμε πιο πάνω, συνεπάγεται και η αύξηση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας. (Αρπουδή, 2018)

2.3 Πως παράγουμε ηλεκτρική ενέργεια.

Το 2023 η Ελλάδα παρήγαγε ηλεκτρική ενέργεια ύψους 44.53 TWh (τετραβατώρα). Αυτή η ηλεκτρική ενέργεια παράχθηκε το 32.84% από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ορυκτά καύσιμα (κυρίως φυσικό αέριο). Οι ΑΠΕ απέδωσαν ένα σημαντικό ρόλο με 47.92%, όπως επίσης και η υδροηλεκτρική ενέργεια που φτάνει τα 9,08%. Τέλος ο λιγνίτης ένα ποσοστό της τάξης του 10.13%. Βλέπουμε μια ανάπτυξη των ΑΠΕ τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα και αυτό είναι πολύ θετικό. Συγκεκριμένα βλέπουμε σύμφωνα με την εικόνα 2.3 πως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ έχει ξεπεράσει αυτήν του φυσικού αερίου. (ΗΜΕΡΗΣΙΑ, 2024)



Εικόνα 2.2: Ενεργειακό Μείγμα Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

(ΗΜΕΡΗΣΙΑ, 30.01.2024)

Πάμε να αναλύσουμε λίγο περισσότερο τους τρόπους και τις μεθόδους που παράγουμε ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα.

Ορυκτά καύσιμα: Αρχικά έχουμε έναν από τους κύριους τρόπους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως τα ορυκτά καύσιμα όπως τον άνθρακα, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Το φυσικό αέριο το χρησιμοποιούν περισσότερο και πιο σύνηθες στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Επίσης το φυσικό αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την γεννήτρια ατμού ή για να κινήσει απευθείας μία τουρμπογεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι διαδικασίες αυτή συνήθως λειτουργεί σε εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας που ονομάζονται θερμικοί σταθμοί ή ηλεκτρικά εργοστάσια. Είναι όμως πολύ επιβλαβές για το περιβάλλον λόγω του ότι καθώς καίμε τα ορυκτά καύσιμα απελευθερώνουμε διοξείδιο του άνθρακα. (ΣΚΟΥΝΤΟΥΜΗΣ, 2023)

ΑΠΕ: Θα αναλύσουμε την περίπτωση των εξαερωτικών εφευρέσεων σε αυτό τον τομέα που δεν άλλο εκτός από της ΑΠΕ. Πολύ θετικό είναι το γεγονός ότι έχουν πάρει μια αύξηση η εγκαταστάσεις των ΑΠΕ παγκόσμια αλλά κυρίως στην Ελλάδα όπως βλέπουμε με τα στατιστικά για το έτος 2023 στην εικόνα 3. Αυτές οι πηγές ενέργειας παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας φυσικούς ή ανανεώσιμους πόρους που είναι διαθέσιμοι στη φύση και μπορούν να

ανανεωθούν μετά από κάθε χρήση τους. Οι βασικές μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ περιλαμβάνουν τις εξής :

Ηλιακή ενέργεια: Η χρήση ηλιακών πάνελ για τη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι φωτοβολταϊκοί συλλέκτες μετατρέπουν άμεσα το φως ήλιου σε ηλεκτρικό ρεύμα, ενώ οι ηλιοθερμικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν τη θερμότητα του ηλίου για την παραγωγή ατμού (Ραβάνη, 2023).



Εικόνα 2.3: Φωτοβολταϊκό πάρκο.

(Πηγή: ecopress, 17/09/2021)

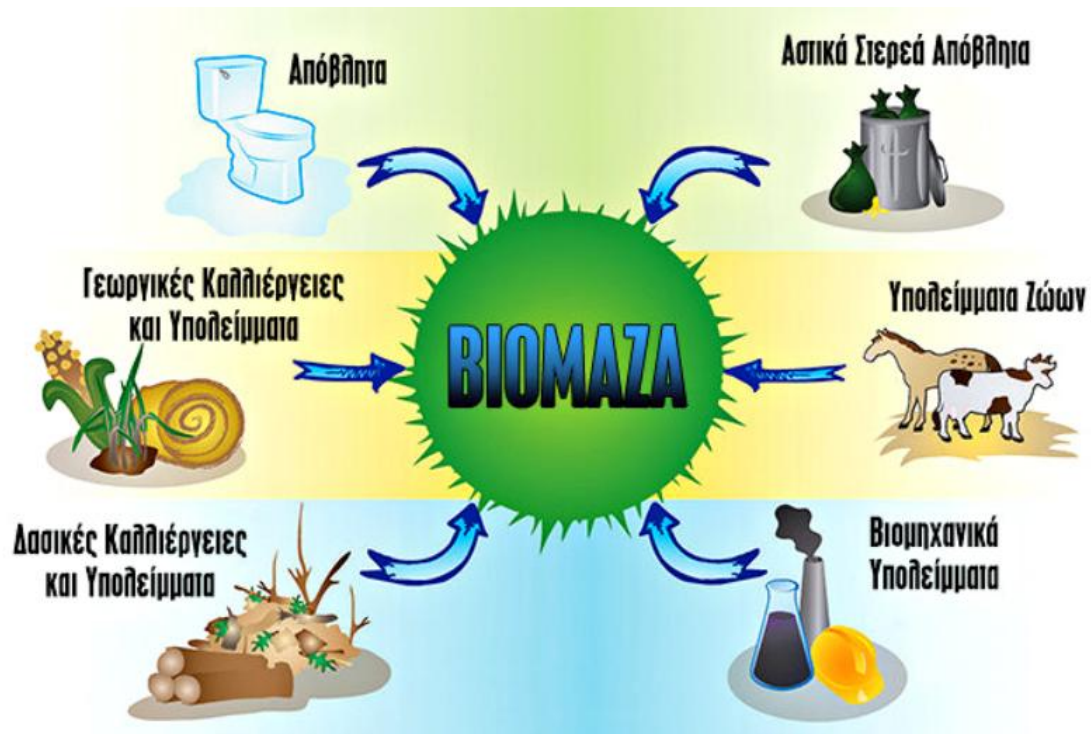
Αιολική ενέργεια: Η χρήση ανεμογεννητριών για τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του αέρα σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι ανεμογεννήτριες περιστρέφονται από τον άνεμο και παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα μέσω γεννητριών. (Ραβάνη, 2023)



Εικόνα 2.4: Αιολικό πάρκο.

(Πηγή: ΘΑΡΡΟΣ NEWS, 30/07/2020)

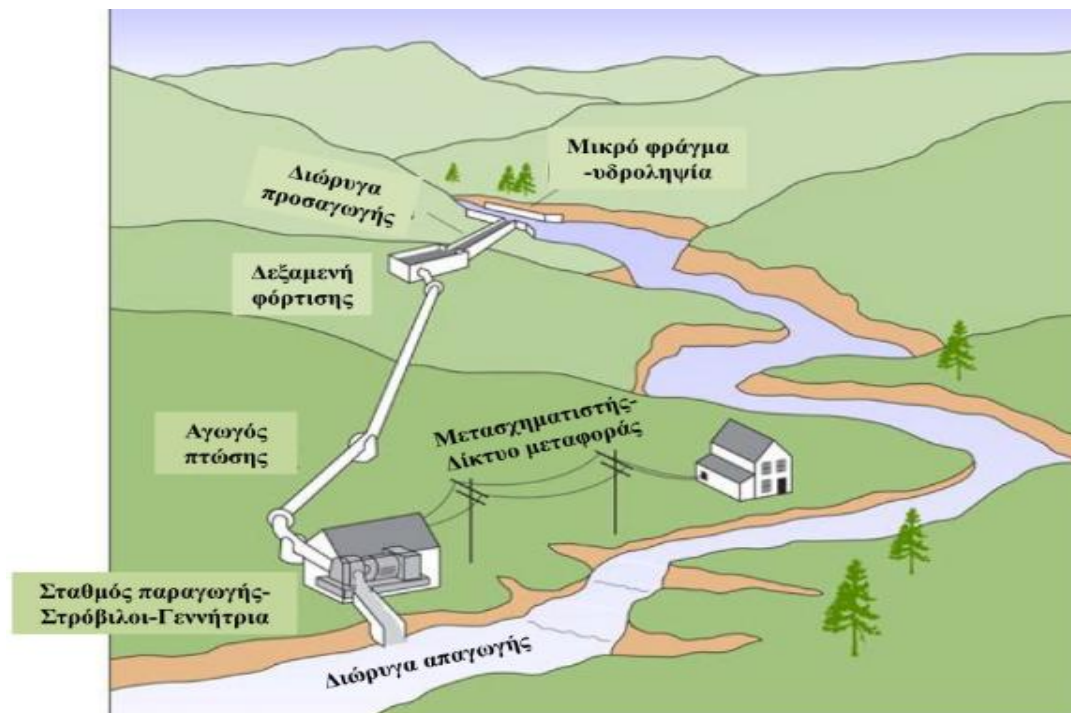
Βιομάζα: Η βιομάζα είναι μια από τις πιο ελπιδοφόρες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, χρησιμοποιώντας οργανικά υλικά όπως γεωργικά υπολείμματα, ξύλο, ζωικά απόβλητα και αστικά απόβλητα για την παραγωγή θερμότητας, ηλεκτρικής ενέργειας και καυσίμων. Αυτή η διαδικασία καθιστά δυνατή την ανακύκλωση οργανικών αποβλήτων, μειώνοντας την ποσότητα των αποβλήτων που καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής και συμβάλλοντας στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η ενεργειακή χρήση της βιομάζας μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορες τεχνολογίες όπως η καύση, η αεριοποίηση και η αναερόβια χώνευση. Ενώ η χρήση βιομάζας προσφέρει πολλά περιβαλλοντικά οφέλη και αυξάνει την ενεργειακή ανεξαρτησία, υπάρχουν επίσης προκλήσεις όπως η διαχείριση των εκπομπών κατά την καύση και η βιώσιμη διαχείριση των πρώτων υλών. Η ανάπτυξη και η βελτίωση των τεχνολογιών αξιοποίησης της βιομάζας συνεχίζεται με στόχο την αύξηση της αποδοτικότητας και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και έχει καταστεί σημαντικός παράγοντας στην προώθηση πιο βιώσιμων και ανανεώσιμων ενεργειακών πολιτικών.. (Ραβάνη, 2023)



Εικόνα 2.5: Οργανικές ύλες που χρησιμοποιούμε για την βιομάζα.

(Πηγή: [AGROENERGY](#), βιομάζα)

Υδροηλεκτρική ενέργεια: Η χρήση της κινητικής ενέργειας του νερού μαζί με την κίνηση τουρβινών η οποία μετατρέπει τη ροή του νερού σε κινητική ενέργειας παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε φράγματα και υδροηλεκτρικά εργοστάσια. (Ραβάνη, 2023)



Εικόνα 2.6: Μικρό υδροηλεκτρικό σύστημα.

(Πηγή: ENERGY MATTERS TO CLIMATE CHANGE, Μικρός Υδροηλεκτρικός Σταθμός)

Λιγνίτης: Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη Ελλάδα από το λιγνίτη περιλαμβάνει τη χρήση λιγνίτη ως καύσιμο για την παραγωγή ατμού. Συνήθως, η διαδικασία ξεκινά με την καύση του λιγνίτη σε ειδικά σχεδιασμένα εργοστάσια ή εγκαταστάσεις. Κατά την καύση, η θερμότητα που παράγεται μετατρέπει το νερό σε ατμό, ο οποίος κινεί μια τουρβίνα που συνδέεται σε μια γεννήτρια. Η γεννήτρια καθώς περιστρέφεται από την δύναμη του ατμού παράγει ηλεκτρική ενέργεια. (Γρηγοριάδης, 2019).



Εικόνα 2.7: Σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύσιμο τον λιγνίτη.

(Πηγή: NEYMONEY, 29/01/2023)

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) προσφέρουν πολλά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη, αλλά έρχονται επίσης με αρκετά μειονεκτήματα. Οι μονάδες άνθρακα, παρά την ενεργειακή τους απόδοση, απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα και άλλων ρύπων, συμβάλλοντας σημαντικά στην κλιματική αλλαγή και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Τα συστήματα ηλιακής ενέργειας είναι μια καθαρή πηγή ενέργειας, αλλά έχουν υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης και η απόδοσή τους εξαρτάται από τον καιρό και την ηλιοφάνεια, γεγονός που μπορεί να τα καταστήσει λιγότερο αποδοτικά σε περιοχές με χαμηλή ηλιακή ακτινοβολία. Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα εξαρτώνται επίσης από τις καιρικές συνθήκες και μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς τη βιοποικιλότητα, ιδίως τα πουλιά και τις νυχτερίδες, προκαλώντας οπτική ρύπανση. Τα υδροηλεκτρικά έργα μπορούν να έχουν ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπως καταστροφή οικοσυστημάτων και αλλαγή κύκλων νερού, παρέχοντας παράλληλα σταθερή παραγωγή ενέργειας. Τέλος, αν και το φυσικό αέριο θεωρείται καθαρότερο από τον άνθρακα, εξακολουθεί να είναι ορυκτό καύσιμο και η εξαγωγή και η καύση του απελευθερώνουν μεθάνιο και άλλους ρύπους, οι οποίοι, όταν μεταφέρονται μέσω αγωγών, μπορούν να προκαλέσουν

16

διαρροές και άλλους περιβαλλοντικούς κινδύνους. Συνολικά, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προσφέρουν σημαντικές προοπτικές για πιο βιώσιμη παραγωγή ενέργειας, αλλά για να επιτευχθεί μια ισορροπημένη και υπεύθυνη ενεργειακή στρατηγική, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη οι ελλείψεις και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους. (Χασάπης, 2022)

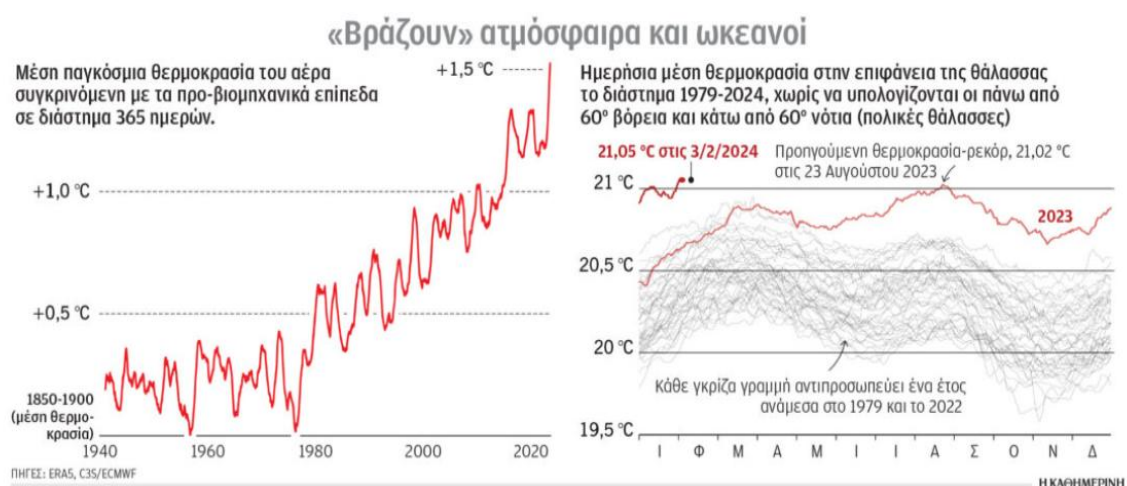
Η προσπάθειες που κάναμε μέχρι τώρα για να καινοτομήσουμε και να φτάσουμε το στόχο που έχουμε (το μηδέν), είναι σε πολύ θετικό πλαίσιο. Αλλά δεν πρέπει να αρκούμαστε μόνο σε αυτές. Συγκεκριμένα πρέπει να βρούμε εξίσου ακόμη πιο καινοτόμες ιδέες που θα συμβάλουν ριζικά τουλάχιστον για τον τομέα που ασχολείται αυτή η διπλωματική εργασία- για την ηλεκτρική ενέργεια.

Η συνέχιση της αυξητικής τάσης με τους όπως είναι ήδη ρυθμούς σημαίνει, ότι η επίτευξη των υψηλότερων επιπέδων συγκέντρωσης που απαιτούνται για να μην ξεπεραστεί η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1,5°C πάνω από το προ-βιομηχανικά επίπεδα μπορούν να πραγματοποιηθούν εντός των επόμενων 3-13 ετών. Επίσης, τα υψηλότερα επίπεδα συγκέντρωσης που απαιτούνται για να μην ξεπεραστεί κατά 2°C πάνω από τα προ-βιομηχανικά επίπεδα θα ήταν εφικτό να επιτευχθούν μέσα στα επόμενα 15-29 χρόνια (Agency, 2020).

Όλα αυτά τα φαινόμενα καταδεικνύουν την σημασία της ανάληψης δράσης για την προσαρμογή των τομέων που αναφέραμε πιο πάνω, που θα υποστούν τεράστιες συνέπειες από την κλιματική αλλαγή. Γι' αυτό θα χρειαστούμε την υποστήριξη της μετάβασης σε βιώσιμες καινοτόμες ιδέες πάνω στο τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η ακολουθούμενη εικόνα δείχνει την ανησυχητική τάση αύξησης της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας του αέρα και της επιφάνειας της θάλασσας σε σύγκριση με την προβιομηχανική εποχή. Στην αριστερή πλευρά του γραφήματος, οι θερμοκρασίες έχουν αυξηθεί αργά και σταθερά από το 1940 έως σήμερα, με αύξηση πάνω από 1,5°C σε 365 ημέρες. Το γράφημα δείχνει ότι η αύξηση αυτή είναι ιδιαίτερα έντονη τα τελευταία χρόνια, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής αυξάνονται. Η δεξιά πλευρά του γραφήματος

δείχνει τις ημερήσιες μέσες θερμοκρασίες επιφάνειας της θάλασσας από το 1979 έως το 2024, εξαιρουμένων των πολικών θαλασσών- η γραμμή του 2023 δείχνει σαφώς υψηλότερες θερμοκρασίες από τις προηγούμενες δεκαετίες, με 21,05°C που καταγράφηκαν στις 3 Φεβρουαρίου 2024- αξιόπιστες πηγές όπως οι ERA5, C3S και ECMWF. Αυτές οι αυξήσεις που καταγράφονται από τις ERA5, C3S και ECMWF υπογραμμίζουν την ανάγκη για επείγουσα δράση για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και καθιστούν σαφές ότι η κλιματική κρίση είναι μια τρέχουσα πραγματικότητα και όχι μια μελλοντική απειλή. Οι οπτικές αναπαραστάσεις των Raymond Zong και Elena Shah στους New York Times απεικονίζουν τη σοβαρότητα της κατάστασης και ζητούν άμεσες και αποτελεσματικές λύσεις για την αποτροπή περαιτέρω επιδείνωσης.



ΠΕΪΜΟΝ ΖΟΝΓΚ, ΕΛΕΝΑ ΣΑ / THE NEW YORK TIMES

09.02.2024 • 08:09

Εικόνα 2.8: Στατιστικά που δείχνουν την άνοδο της θερμοκρασίας από το 1940 έως τον Ιανουάριο 2024.

(Πηγή: Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ, 2024)

Κεφάλαιο 3: Κάθετες ανεμογεννήτριες

3.1 Εισαγωγή

Όπως εξηγήσαμε στο πιο πάνω κεφάλαιο είναι πολύ σημαντικό να αποφύγουμε την κλιματική αλλαγή. Τουλάχιστο, αυτή η διπλωματική εργασία, ασχολείται συγκεκριμένα με τον τομέα της ενέργειας και πως μπορούμε να παράγουμε ηλεκτρική και πράσινη ενέργεια, με ακόμη περισσότερες καινοτόμες λύσεις πέρα των υφιστάμενων. Σε αυτό το πλαίσιο, η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει αναδειχθεί ως ένας από τους κύριους τρόπους μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της εξάρτησης από τους ορυκτούς πόρους.

Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, οι κάθετες ανεμογεννήτριες που θα εγκαθίστανται σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης αποτελούν μία καινοτόμα λύση που μπορεί να συμβάλει στη μείωση της ανθρώπινης επίδρασης στο κλίμα. Η εν λόγω τεχνολογία προσφέρει τη δυνατότητα να αξιοποιηθεί ο αέρας που δημιουργείτε στα αστικά κέντρα και σε άλλες περιοχές με υψηλή κυκλοφορία οχημάτων, προσφέροντας ένα πράσινο και βιώσιμο μέσο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο παρόν κεφάλαιο, θα αναλύσουμε αυτή την καινοτόμα ιδέα και θα εξηγήσουμε την πως λειτουργούν οι κάθετες ανεμογεννήτριες σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης και τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε αστικά περιβάλλοντα.

3.2 Εισαγωγή στις κάθετες ανεμογεννήτριες

Οι κάθετες ανεμογεννήτριες που εγκαθίστανται σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης είναι μια συναρπαστική εξερεύνηση στον κόσμο της ανανεώσιμης ενέργειας και της καινοτομίας. Αυτές η μοντέρνες ανεμογεννήτριες είναι σχεδιασμένες να αξιοποιούν τον αέρα που κυκλοφορεί στο αστικό περιβάλλον και σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης για την παραγωγή βιώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτελούν μια εντυπωσιακή προσθήκη στο τοπίο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, προσφέροντας μια ανανεώσιμη προοπτική για τη μελλοντική μας

ενεργειακή ανεξαρτησία και περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Η ανάλυση που θα γίνει σε αυτό το κεφάλαιο, μας επιτρέπει να κατανοήσουμε καλύτερα τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να συμβάλουν στην αντιμετώπιση των προκλήσεων. Οι προκλήσεις αυτές είναι η κλιματικής αλλαγής και αυτή της απεξάρτησης των φυσικών πόρων, ενώ παράλληλα ανοίγουν το δρόμο για τη δημιουργία ενός πιο βιώσιμου και καθαρού μέλλοντος.

3.2.1 Επιλογή τύπου ανεμογεννήτριας

Οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα (VAWT) διαφέρουν σημαντικά από τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα (HAWT) στο ότι μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια ανεξάρτητα από τη διεύθυνση του ανέμου και δεν απαιτούν μηχανισμό περιστροφής. Έχουν επίσης χαμηλό κόστος κατασκευής και χαμηλό κόστος συντήρησης. Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι κάθετων ανεμογεννητριών: οι τύποι Savonius, Darius και Giro mill. Ας αναλύσουμε τα χαρακτηριστικά του καθενός και ας καταλήξουμε στην επιλογή της ανεμογεννήτριας Savonius.

Η ανεμογεννήτρια Darius χαρακτηρίζεται από καμπυλωτά πτερύγια που θυμίζουν το σχήμα ενός αυγού. Αυτή η ανεμογεννήτρια έχει υψηλή απόδοση σε ισχυρούς ανέμους και μπορεί να περιστρέφεται με πολύ υψηλές ταχύτητες, γεγονός που την καθιστά ιδανική για περιοχές με ισχυρούς ανέμους. Ωστόσο, συχνά απαιτεί εξωτερική βοήθεια για την εκκίνηση και μπορεί να έχει προβλήματα σταθερότητας σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου. Είναι επίσης πιο πολύπλοκες και δαπανηρές στο σχεδιασμό τους από άλλες κάθετες ανεμογεννήτριες.

Οι ανεμογεννήτριες Giro mill είναι μια παραλλαγή του Darrieus, με ευθεία ή ελαφρώς καμπυλωτά πτερύγια. Είναι πιο εύκολες στην κατασκευή και τη συντήρηση από τις Darrieus, αλλά αποδίδουν καλά σε μέτριες ταχύτητες ανέμου. Είναι λιγότερο αποδοτικές από το Darius σε υψηλές ταχύτητες, αλλά είναι κατάλληλες για εφαρμογές όπου απαιτείται απλότητα και ανθεκτικότητα. Ωστόσο, ενδέχεται να είναι λιγότερο αξιόπιστα από άποψη σταθερότητας από ό,τι άλλα VAWT.

Οι ανεμογεννήτριες Savonius είναι γνωστές για τον απλό σχεδιασμό τους με δύο ή περισσότερα κοίλα πτερύγια που σχηματίζουν σχήμα "S". Ο απλός σχεδιασμός επιτρέπει τη χρήση κοινών υλικών, το χαμηλό κόστος κατασκευής και την ευκολία κατασκευής και συντήρησης. Οι Savonius λειτουργούν αποτελεσματικά ακόμη και σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου, γεγονός που τις καθιστά ιδανικές για αστικές περιοχές όπου οι άνεμοι δεν είναι σταθεροί και ισχυροί. Είναι επίσης εύκολο να εκκινήσουν χωρίς εξωτερική βοήθεια, γεγονός που τα καθιστά αξιόπιστα σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών ανέμου. Επιπλέον, μπορούν εύκολα να εγκατασταθούν σε διάφορες θέσεις στο αστικό περιβάλλον, όπως δρόμοι, φανάρια και πινακίδες σήμανσης.

Η ανεμογεννήτρια Savonius επιλέχθηκε για τη μελέτη μας σχετικά με την καινοτομία των κάθετων ανεμογεννητριών σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης για διάφορους λόγους. Ο απλός και στιβαρός σχεδιασμός της Savonius την καθιστά ιδανική για αστικές εφαρμογές όπου οι ταχύτητες του ανέμου είναι χαμηλές και μεταβλητές. Επιπλέον, το χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης την καθιστούν μια οικονομικά αποδοτική επιλογή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης. Η σταθερή εκκίνηση και η προσαρμοστικότητα του Savonius εξασφαλίζουν μέγιστη απόδοση σε διάφορες κλιματολογικές συνθήκες, ενώ παράλληλα ενσωματώνονται αποτελεσματικά στο αστικό τοπίο. Συνεπώς, οι ανεμογεννήτριες Savonius αποτελούν την καλύτερη επιλογή για την παρούσα εργασία, παρέχοντας μια αξιόπιστη και αποτελεσματική λύση για την παραγωγή καθαρής ενέργειας. (Bhongade, et al., 2020)

Η παρούσα μελέτη παρουσιάζει έναν καινοτόμο σχεδιασμό κατακόρυφης ανεμογεννήτριας, ιδιαίτερα κατάλληλο για εγκατάσταση σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης κυκλοφορίας. Ο σχεδιασμός αποσκοπεί στην αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας που παράγεται από την κυκλοφορία των οχημάτων και τη μετατροπή της σε χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Το μοντέλο σχεδιασμού μας ενσωματώνει μια σειρά από βελτιώσεις και καινοτομίες για να το καταστήσει ιδιαίτερα αποδοτικό και βιώσιμο. Ειδικότερα, οι ανεμογεννήτριες σχεδιάζονται με έμφαση στη βέλτιστη αεροδυναμική απόδοση, τη μειωμένη συντήρηση και τη

21

βελτιωμένη αντοχή στις σκληρές οδικές συνθήκες. Επιπλέον, η χρήση προηγμένων υλικών και τεχνολογιών εξασφαλίζει ανθεκτικότητα και αποδοτικότητα σε μακροχρόνια χρήση. Μέσω της ανάλυσης αυτού του έργου, θα θέλαμε να καταδείξουμε την πρακτικότητα και τα οφέλη αυτής της ανεμογεννήτριας και να αναδείξουμε τη δυνατότητά της να συμβάλει σημαντικά στη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος και στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στις αστικές περιοχές.

3.2.2 Μπαταρίες

Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στις ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα παίζουν σημαντικό ρόλο στην αποθήκευση και διαχείριση της παραγόμενης ενέργειας και στην εξασφάλιση συνεχούς και αξιόπιστης παροχής ενέργειας. Οι μπαταρίες αυτές, συνήθως είναι τεχνολογίας ιόντων λιθίου, είναι γνωστές για την υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, τη μεγάλη διάρκεια ζωής και τη γρήγορη φόρτιση. Η αποτελεσματική αποθήκευση ενέργειας είναι ιδιαίτερα σημαντική για την κάλυψη των αναγκών σε περιόδους χαμηλής παραγωγής και κατά τη διάρκεια δυσμενών καιρικών συνθηκών. Οι μπαταρίες μπορούν επίσης να αποθηκεύσουν την πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται σε περιόδους ισχυρής αιολικής ενέργειας και να την καταστήσουν διαθέσιμη όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη.

Η επιλογή της σωστής μπαταρίας για μια ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα στο δρόμο απαιτεί ανάλυση παραγόντων όπως η χωρητικότητα της μπαταρίας, η αντοχή και η αποδοτικότητα. Η ορθή ενσωμάτωση αυτών των μπαταριών στα συστήματα των κάθετων ανεμογεννητριών απαιτεί επίσης την υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών διαχείρισης ενέργειας για τη διασφάλιση της βέλτιστης απόδοσης. Οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν την παρακολούθηση της κατάστασης φόρτισης, τη ρύθμιση της παροχής ενέργειας και την αποφυγή υπερφόρτωσης και υπερφόρτισης, παρατείνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση των μπαταριών στα συστήματα των κάθετων ανεμογεννητριών συμβάλλει σημαντικά στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα και στην επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας. Με τη χρήση μπαταριών για την

αποθήκευση της ανανεώσιμης ενέργειας που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες, οι πόλεις μπορούν να μειώσουν την εξάρτησή τους από τα ορυκτά καύσιμα και να βελτιώσουν την ενεργειακή τους αυτονομία. Με τον τρόπο αυτό, οι εν λόγω μπαταρίες όχι μόνο αυξάνουν την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα των συστημάτων VAWT επί της οδού, αλλά συμβάλλουν επίσης στην προώθηση μιας πιο πράσινης και βιώσιμης αστικής ανάπτυξης. (Sayais, et al., 2018)

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από αυτές τις ανεμογεννήτριες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών, όπως ο φωτισμός των δρόμων ή την λειτουργία των συστημάτων φωτισμού και ασφαλείας των αυτοκινητόδρομων. Επιπλέον η περίσσεια ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται μπορεί να διατεθεί στο ενεργειακό δίκτυο για την τροφοδότηση των ενεργειακών αναγκών στις περιοχές. Επίσης ακόμη μπορεί να προμηθεύει για την φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων μέσω μπαταρίας. (Santhakumar & Ilamathi, 2019)

3.3 Η τοποθεσία των ανεμογεννητριών κάθετου άξονα

Όπως είπαμε οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα θα εγκαθίστανται σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης, έτσι η τοποθεσία και η επιλογή του δρόμου αυτού πρέπει να επιλεγεί και να αναλυθεί από πολλούς παράγοντες . Θα αναλύσουμε κάποιους από τους πιο σημαντικούς.

3.3.1 Κλιματικές συνθήκες

Αρχικά οι κλιματικές συνθήκες αποτελούν σημαντικό παράγοντα για τη λειτουργία πολλών συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ακόμη και σε δρόμους με συγκεκριμένες τοποθεσίες συμπεριλαμβανομένων και τις ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα. Οι κλιματικές συνθήκες περιλαμβάνουν την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου, την ηλιοφάνεια, τη θερμοκρασία και τις γενικές καιρικές συνθήκες. Η ορθή αξιολόγηση των τοπικών κλιματικών συνθηκών είναι απαραίτητη για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη ανεμογεννητριών, καθώς επηρεάζουν την παραγωγή ενέργειας και την αποδοτικότητα. Για παράδειγμα, οι μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου μπορεί να οδηγήσουν σε μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας, ενώ η έκθεση σε ακραίες καιρικές συνθήκες μπορεί να απαιτεί ειδική τεχνολογία για την προστασία και τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας. Επιπλέον, το

ηλιακό φως και η θερμοκρασία επηρεάζουν την απόδοση των ηλιακών συστημάτων, καθιστώντας σημαντικό τον καθορισμό της σωστής τοποθεσίας για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης. Συνεπώς, η κατανόηση και η ανάλυση των κλιματικών συνθηκών είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη μείωση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. (Kaustubhasai & Balachandra, 2022)

3.3.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των κάθετων ανεμογεννητριών που εγκαθίστανται σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης είναι ένα σημαντικό ζήτημα που πρέπει να εξεταστεί κατά την ανάπτυξη και εγκατάστασή τους. Η χρήση αυτών των ανεμογεννητριών έχει τη δυνατότητα να μειώσει την εξάρτηση από τις συμβατικές πηγές ενέργειας και να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ωστόσο, η κατάλληλη επιλογή της τοποθεσίας και ο σχεδιασμός των ανεμογεννητριών πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Ένας σημαντικός παράγοντας είναι οι επιπτώσεις στην τοπική χλωρίδα και πανίδα. Η κατάλληλη εγκατάσταση των ανεμογεννητριών πρέπει να λαμβάνει υπόψη την προστασία της άγριας χλωρίδας και πανίδας, αποφεύγοντας παράλληλα την υποβάθμιση των φυσικών οικοσυστημάτων. Οι επιπτώσεις στο τοπίο και στον οπτικό του χαρακτήρα πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη, προκειμένου να διατηρηθεί η αισθητική αξία του περιβάλλοντος. Επιπλέον, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι επιπτώσεις του θορύβου των ανεμογεννητριών στο περιβάλλον και στους κατοίκους της περιοχής. Ο θόρυβος που παράγεται κατά τη λειτουργία των ανεμογεννητριών μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα ζωής και την υγεία του τοπικού πληθυσμού.

Τέλος, η σωστή διαχείριση των αποβλήτων από τις ανεμογεννήτριες είναι απαραίτητη για την προστασία του περιβάλλοντος. Η ανακύκλωση υλικών και η αποτέφρωση μπορούν να μειώσουν τις επιπτώσεις των αποβλήτων στο περιβάλλον και να προωθήσουν τη βιωσιμότητα των συστημάτων παραγωγής ενέργειας. Συνολικά, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις πρέπει να αξιολογούνται και

να διαχειρίζονται προσεκτικά, ώστε να διασφαλίζεται η βιωσιμότητα και η αειφορία των συστημάτων παραγωγής ενέργειας. (Surugiu & Paraschivoiu, 2014, January)

3.3.3 Ασφάλεια κάθετης ανεμογεννήτριας

Η ασφάλεια είναι ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή ενός συγκεκριμένου δρόμου για την εγκατάσταση κάθετων ανεμογεννητριών. Ο συγκεκριμένος δρόμος πρέπει να είναι αρκετά ασφαλής τόσο για τους χρήστες του δρόμου όσο και για τους περαστικούς για την εγκατάσταση και τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας.

Πρώτον, πρέπει να εξεταστούν οι πιθανοί κίνδυνοι από την εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε κοντινή απόσταση από τον δρόμο, όπως η πιθανότητα πτώσης αντικειμένων και ο κίνδυνος παρεμπόδισης της κυκλοφορίας των οχημάτων. Επιπλέον, πρέπει να διασφαλιστεί ότι η εγκατάσταση ανεμογεννητριών δεν περιορίζει την όραση του οδηγού ή δεν προκαλεί αστάθεια του οχήματος λόγω αεροδυναμικών φαινομένων.

Επιπλέον, πρέπει να λαμβάνονται προληπτικά μέτρα για την αποφυγή ατυχημάτων κατά την εγκατάσταση και τη συντήρηση των ανεμογεννητριών. Αυτό περιλαμβάνει τη διενέργεια προληπτικών επιθεωρήσεων και συντηρήσεων για τη διασφάλιση της ασφάλειας του εξοπλισμού και των κατασκευών. Συνολικά, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη τα ζητήματα ασφάλειας κατά την επιλογή και την εγκατάσταση κατακόρυφων ανεμογεννητριών σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης, ώστε να διασφαλίζεται η αποτελεσματική και ασφαλής λειτουργία. (Surugiu & Paraschivoiu, 2014, January)

3.3.4 Κοινωνική αποδοχή

Η κοινωνική αποδοχή αποτελεί βασικό παράγοντα για την επιτυχή εγκατάσταση κάθετων ανεμογεννητριών σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης. Η αποδοχή της κοινότητας και των ενδιαφερομένων μερών είναι απαραίτητη για την επιτυχή εγκατάσταση και λειτουργία των ανεμογεννητριών.

Για να επιτευχθεί η κοινωνική αποδοχή, είναι σημαντικό να διεξαχθεί εκτεταμένος διάλογος και να ενημερωθεί ο τοπικός πληθυσμός για τα οφέλη και τους πιθανούς κινδύνους της εγκατάστασης ανεμογεννητριών. Είναι σημαντικό να εμπλέκεται ο τοπικός πληθυσμός στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και να αναγνωρίζονται οι ανάγκες και οι ανησυχίες του

Επιπλέον, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι πιθανές επιπτώσεις στον τοπικό πολιτισμό, το τοπίο και το περιβάλλον. Ο σχεδιασμός και η εγκατάσταση των ανεμογεννητριών πρέπει να γίνεται με τρόπο που να σέβεται το περιβάλλον και την τοπική κοινωνία, προκειμένου να μειωθούν οι αρνητικές επιπτώσεις και να αυξηθεί η αποδοχή. Τέλος, η εξασφάλιση δίκαιης και ισότιμης αμοιβής για τη χρήση της κοινοτικής γης και των κοινοτικών πόρων θα ενισχύσει την κοινωνική αποδοχή των αμφίδρομων ανεμογεννητριών.

Αυτά ήταν κάποια από τα πιο σημαντικά ζητήματα για επιλογή της τοποθεσίας του δρόμου για ένα αποτελεσματικού και ασφαλούς συστήματος εγκατάστασης κάθετων ανεμογεννητριών σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. (Nagib, et al., 2021)

3.4 Τα πλεονεκτήματα των κάθετων ανεμογεννητριών

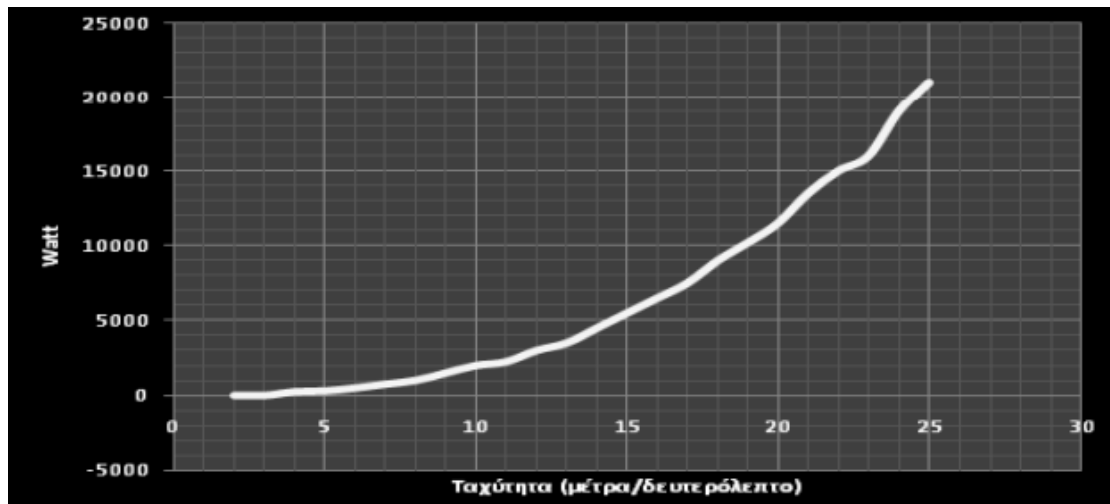
Οι κάθετες ανεμογεννήτριες προσφέρουν μια σειρά πλεονεκτημάτων σε σύγκριση με τις παραδοσιακές οριζόντιες ανεμογεννήτριες. Ένα από τα πιο κύρια πλεονεκτήματα των κάθετων ανεμογεννητριών είναι η μικρότερη ανάγκη για χώρο, δηλαδή μπορούν να εγκατασταθούν σε περιορισμένο χώρο, κάνοντας τις ιδανικές για αστικές περιοχές και άλλους περιορισμένους χώρους. Ένας από αυτούς είναι και οι δρόμοι διπλής κατεύθυνσης που θα εξηγήσουμε στη συνέχεια. Ενώ οι οριζόντιες ανεμογεννήτριες απαιτούν συνήθως μεγάλη έκταση γης για να λειτουργήσουν αποτελεσματικά.

Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα των κάθετων ανεμογεννητριών είναι η ευκολία εγκατάστασης. Επειδή λειτουργούν με πιο συμπαγή σχέδια και δεν απαιτούν μεγάλες υποδομές για τη στήριξή τους, όπως και οι διαδικασία εγκατάστασης των

ανεμογεννητριών κάθετου άξονα είναι συνήθως πιο απλή, πιο γρήγορη και με πιο φθινό κόστος.

Επιπλέον, οι κάθετες ανεμογεννήτριες μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά και σε χαμηλότερες ταχύτητες ανέμου, κάτι που τις καθιστά κατάλληλες για περιοχές με μετριοπαθή άνεμο. Αλλά στην περίπτωση μας ο άνεμος προέρχεται από τα αυτοκίνητα, οπότεν κατάλληλος θα είναι και ο αυτοκινητόδρομος που πρέπει να τον επιλέξουμε. Αυτή η ικανότητα μπορεί να αυξήσει την αποδοτικότητά τους και να επιτρέψει την εγκατάστασή τους μέσα στις περιοχές κάτι που δεν είναι εφικτό για τις οριζόντιες ανεμογεννήτριες. (Bhutta, 2012)

Αυτό το γράφημα δείχνει τη σχέση μεταξύ της ταχύτητας του ανέμου (σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο) και της ισχύος που παράγεται από μια ανεμογεννήτρια (σε Watt). Όπως φαίνεται από το γράφημα, η παραγόμενη ισχύς αυξάνεται εκθετικά με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου. Αρχικά, όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι χαμηλή, η παραγόμενη ισχύς είναι σχεδόν μηδενική. Ωστόσο, καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου, η παραγόμενη ισχύς αρχίζει να αυξάνεται σημαντικά και φτάνει σε υψηλότερες τιμές όσο αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου. Το φαινόμενο αυτό δείχνει ότι η ταχύτητα του ανέμου έχει σημαντική επίδραση στην απόδοση των ανεμογεννητριών. Η κατανόηση αυτής της σχέσης είναι πολύ σημαντική για τον βέλτιστο σχεδιασμό και την εγκατάσταση ανεμογεννητριών, ιδίως σε περιοχές με μεγάλη διακύμανση των ταχυτήτων του ανέμου. Το γράφημα υπογραμμίζει επίσης τη σημασία της επιλογής πάντοτε θέσεων με υψηλές ταχύτητες ανέμου, προκειμένου να μεγιστοποιείται η αποδοτικότητα και η αποτελεσματικότητα της παραγόμενης ενέργειας.. (Κουράκης & Καρακωνσταντής, 2020)



Εικόνα 3.1: Αυτό το σχεδιάγραμμα περιγράφει την καμπύλη μιας κάθετης ανεμογεννήτριας ισχύος που συσχετίζεται με τη δύναμη του αέρα σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο, με την παραγωγή ισχύος σε βατ (W). (Κουράκης & Καρακωνσταντής, 2020)

3.5 Τα μειονεκτήματα των κάθετων ανεμογεννητριών

Το πρώτο και κυριότερο μειονέκτημα είναι ότι οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα παρουσιάζουν σημαντικά χαμηλότερη απόδοση σε σύγκριση με τις οριζόντιου άξονα. Δηλαδή θα χρειαστούμε περισσότερες ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παρά από μια ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα. Αυτό έχει σχέση με διάφορους παράγοντες, για παράδειγμα η οριζόντιου άξονα ανεμογεννήτρια είναι σε μεγαλύτερο ύψος όπου οι φυσικές ταχύτητες ανέμου είναι υψηλότερες. Επίσης έχουν πολύ μεγαλύτερα πτερύγια από τις κάθετες ανεμογεννήτριες, αυτό συνεπάγεται μεγαλύτερη ποσότητα ανέμου που εισχωρεί στα πτερύγια και περιστρέφει τον άξονα στην γεννήτρια.

Δεύτερο είναι όπως μιλήσαμε και πιο πάνω, λόγω της χαμηλότερης ταχύτητας περιστροφής ανά λεπτό, οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα απαιτούν πιο ισχυρούς ανέμους για να ξεκινήσουν τη φόρτιση των συσσωρευτών, σε σύγκριση με τις οριζόντιου άξονα.

Το τρίτο και τελευταίο μειονέκτημα που αντιμετωπίζουν οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα είναι και μεταξύ αυτών η ευαισθησία στις αλλαγές κατεύθυνσης

του ανέμου, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της απόδοσης και ακόμη και σε ζημιά του εξοπλισμού. Επιπλέον, οι κάθετες ανεμογεννήτριες είναι συνήθως λιγότερο αποδοτικές σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου σε σύγκριση με τις οριζόντιου άξονα, και συχνά απαιτούν ισχυρότερους ανέμους για να παράγουν ενέργεια. Τέλος, η συντήρηση και επισκευή τους μπορεί να είναι δυσκολότερη λόγω του δυσκολότερου πρόσβασης στα εξαρτήματα που βρίσκονται σε ύψος. (Κουράκης & Καρακωνσταντής, 2020)

Κεφάλαιο 4: Κατάσταση των κάθετων ανεμογεννητριών στον κόσμο

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο τέσσερα της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα εξεταστεί η κατάσταση των κάθετων ανεμογεννητριών σε διάφορες χώρες παγκοσμίως. Η καινοτομία αυτή αναδεικνύει έναν ανανεωτικό τρόπο εκμετάλλευσης της ανανεώσιμης ενέργειας που παράγεται από τον άνεμο. Παγκοσμίως, υπάρχει μια αυξανόμενη τάση προς την χρήση κάθετων ανεμογεννητριών σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης, καθώς αναγνωρίζονται τα πλεονεκτήματά τους, σε σχέση με τις παραδοσιακές οριζόντιες ανεμογεννήτριες. Πολλές χώρες παγκοσμίως έχουν εγκαταστήσει ή δοκιμάζουν τη χρήση κάθετων ανεμογεννητριών διπλής κατεύθυνσης σε διάφορες περιοχές τους, επιδιώκοντας τη μείωση της εξάρτησής τους από τις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής ενέργειας και την προώθηση της αειφορίας τους. Έτσι θα εξεταστούν οι πρακτικές εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας σε διάφορες χώρες.

4.2 Coimbatore, Ινδία

Η εγκατάσταση ανεμογεννητριών Savonius (SWT), (παρόμοιου τύπου με αυτήν την ανεμογεννήτρια που σχεδίασα) σε αυτοκινητόδρομους δύο λωρίδων στην περιοχή Coimbatore της Ινδίας αποτελεί μια πρωτοποριακή πρωτοβουλία για την αειφόρο παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η πόλη Coimbatore, η οποία βρίσκεται στο κρατίδιο Tamil Nadu, είναι μία από τις πρωτεύουσες πόλεις της Νότιας Ινδίας και χαρακτηρίζεται από έντονη κυκλοφοριακή κίνηση στους αυτοκινητόδρομους. Οι ανεμογεννήτριες Savonius εγκαθίστανται κατά μήκος της μέσης λωρίδας του αυτοκινητόδρομου, εκμεταλλευόμενες τις αέριες ροές που προκύπτουν από την κίνηση των οχημάτων. Με την χρήση αυτής της καινούργιας τεχνολογίας, η πόλη Coimbatore επιδιώκει να ενισχύσει τη βιωσιμότητα της ενέργειας, προωθώντας παράλληλα τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, η εγκατάσταση αυτών των ανεμογεννητριών συμβάλει στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας της περιοχής και προάγει την καινοτομία στον τομέα της αειφορίας. (Santhakumar, et al., 2017)



Εικόνα 4.1: Ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα κατασκευασμένη στην Ινδία που εγκαθίσταται σε πόλεις της Ινδίας.

(Πηγή: (Kanagaraj, 2024))

Στην εικόνα 4.1, βλέπουμε μια κατασκευή μιας ανεμογεννήτριας κάθετου άξονα από την Balaji Systems όπου είναι μία από τις πιο κορυφαίες εταιρείες της Ινδίας που ιδρύθηκε το 2010, ανταγωνιζόμενη κυριαρχικά σε αυτή την αγορά με βαθιά τεχνογνωσία. Η εταιρεία είναι ατομική επιχείρηση, με έδρα το Gandhipuram, Coimbatore, Tamil Nadu. Έχει προδιαγραφές, 1000W (Wat) σε ισχύ με ταχύτητα ανέμου 2.5 m/s (μέτρα ανά δευτερόλεπτο) με μέγιστη ταχύτητα να φτάνει στα 10 m/s, και τάση dc 12/24V (Volt).

Επίσης το συμπέρασμα σύμφωνα από μια μελέτη που εξέτασε τη συμπεριφορά μιας ανεμογεννήτριας κάθετου άξονα στην Coimbatore στην Ινδία είχε τον πιο πάνω σκοπό. Να σχεδιάσουν και να κατασκευάσουν ένα χαμηλού κόστους κάθετο ανεμογεννήτριο για την εκτέλεση πειραματικών μελετών. Πραγματοποιήθηκαν λεπτομερείς δοκιμές τόσο στο αεροδυναμικό σωλήνα όσο και σε

αυτοκινητόδρομους, εκτιμώντας την απόδοση της κάθετης ανεμογεννήτριας σε διάφορες συνθήκες. Τα παραπάνω συμπεράσματα προέκυψαν με βάση κάποιους παράγοντες όπως ο τύπος και η ταχύτητα του οχήματος, οι συνθήκες του αέρα που ρέει κατά μήκος μιας κατεύθυνσης. Ειδικότερα, παρατηρήθηκε ότι σε ορισμένα σημεία του δρόμου οι ταχύτητες του στροβίλου ήταν αισθητά υψηλότερες σε σύγκριση με άλλα σημεία.

Η κίνηση των οχημάτων στον επιλεγμένο δρόμο στην πόλη Coimbatore, που διέρχονται από την αντίθετη λωρίδα επηρεάζει την περιστροφή της ανεμογεννήτριας, δημιουργώντας μια αρνητική δύναμη οπισθέλκουσας που οδηγεί σε μείωση της ταχύτητας κατά ποσοστά περίπου 9% και 36%, αντίστοιχα.

Από την προαναφερθείσα μελέτη προκύπτει το συμπέρασμα ότι η τοποθέτηση ανεμογεννητριών κατά μήκος των πλευρών των αυτοκινητοδρόμων έχει τα πλεονεκτήματά της, αλλά και τους περιορισμούς της. (Santhakumar, et al., 2018)

4.3 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

Πάμε σε μια χώρα που κυριαρχεί στο πλανήτη μας, και δεν είναι άλλη εκτός από τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Οι ΗΠΑ είναι μία από τις πλέον ανεπτυγμένες χώρες στον κόσμο, μία ισχυρή βιομηχανία. Είναι επίσης γνωστή για την καινοτομία της και την προσήλωσή της σε πειραματισμό και νέες τεχνολογίες. Ενδεικτικά οι ΗΠΑ έχουν εκτενείς οδικούς δικτύους που διασχίζουν τη χώρα, καθιστώντας τους αυτοκινητοδρόμους κρίσιμους για την οικονομική δραστηριότητα και τη μεταφορά αγαθών.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι αυτοκινητόδρομοι αποτελούν καίρια συστατική του αμερικανικού τρόπου ζωής, συνδέοντας πόλεις, πολιτείες και την εθνική κοινότητα. Αυτά τα οδικά δίκτυα αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι της υποδομής, η οποία είναι ζωτικής σημασίας για το εμπόριο και την εθνική ασφάλεια. Αυτό προσφέρει συνεχείς ευκαιρίες για τη χρήση των οχημάτων στους αυτοκινητόδρομους για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις κατακόρυφες ανεμογεννήτριες. Οι αυτοκινητόδρομοι χρηματοδοτούνται από τους φορολογούμενους και αποτελούν δημόσια γη. Η εκμετάλλευση αυτών των

εδαφών για την παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εξυπηρετεί το κοινό συμφέρον. Το Υπουργείο Μεταφορών των Ηνωμένων Πολιτειών (DOT) έχει εξετάσει εναλλακτικές χρήσεις του χώρου, συμπεριλαμβανομένων των έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αν και μόνο λίγα έχουν ολοκληρωθεί μέχρι στιγμής. Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, οι αιολική ενέργεια δεν είναι τόσο ανεπτυγμένη όσο είναι η ηλιακή ενέργεια. Ενώ άλλες χώρες έχουν αρχίσει να ενσωματώνουν έργα αιολικής ενέργειας στους αυτοκινητοδρόμους. (Kunkel & Hall, D. M. , 2020)

4.4. Τουρκία

Η Τουρκία είναι μια χώρα που βρίσκεται στη διασταύρωση της Ασίας και της Ευρώπης, γεγονός που την καθιστά έναν σημαντικό παίκτη στον γεωπολιτικό χάρτη. Με μια πλούσια ιστορία και πολιτισμική κληρονομιά, η Τουρκία έχει επίσης μια σύγχρονη οικονομία που βασίζεται σε διάφορους τομείς όπως η βιομηχανία, ο τουρισμός, η γεωργία και η ενέργεια.

Σε αυτό το πλαίσιο, η Τουρκία αντιμετωπίζει προκλήσεις στον τομέα της ενέργειας, με την ανάγκη για αειφόρο και αποδοτικό ενεργειακό σύστημα να είναι ολοένα και πιο επιτακτική. Στο πλαίσιο αυτό, η εισαγωγή της καινοτόμου ιδέας των καθετών ανεμογεννητριών στους δρόμους μπορεί να αποτελέσει μια λύση για την Τουρκία στον τομέα της ενέργειας. Με την χρήση των δρόμων ως υποδομή για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, η χώρα μπορεί να εκμεταλλευτεί το δυναμικό των καθετών ανεμογεννητριών για να καλύψει μέρος των ενεργειακών της αναγκών, ενώ ταυτόχρονα μειώνει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και την εξάρτησή της από τις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής ενέργειας. (Ayar, et al., 2023)

Η εταιρία Devecitech με έδρα την Τουρκία αποτελεί μια πρωτοπόρο εταιρία στον κλάδο των ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών στην Τουρκία, επικεντρώνοντας τις δραστηριότητές της στην καινοτόμα τεχνολογία των καθετών ανεμογεννητριών με ονομασία Enlil, που εγκαθίστανται κατά μήκος των δρόμων. Με μια φιλοδοξία να προσφέρει βιώσιμες λύσεις για την ενεργειακή αυτάρκεια και τη μείωση των

εκπομπών άνθρακα, η Devacitech έχει αναδειχθεί ως ηγέτιδα εταιρεία στον τομέα της πράσινης ενέργειας.

Η Enlil αναπαριστά την πρωτοποριακή κάθετη έξυπνη ανεμογεννήτρια που σχεδιάστηκε με την ιδέα να αξιοποιεί την ενέργεια του φυσικού αέρα και των αεροδυναμικών διαταραχών που προκαλούνται από τη διέλευση οχημάτων.

Το Enlil διαθέτει ένα σύστημα SMART ενσωματωμένο στη λειτουργία του, το οποίο επιτρέπει την προσαρμογή διαφόρων μονάδων, όπως εργαλεία για τη μέτρηση επιπέδων CO₂, συλλογή δεδομένων μέσω μιας εξελιγμένης πλατφόρμας, συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας, ανίχνευση σεισμών, συνδεσιμότητα για αυτόνομα οχήματα και ενσωματωμένο σταθμό Wi-Fi.

Η εταιρία διαθέτει έναν εκτενή φορέα ερευνητικού έργου, που αναζητά συνεχώς νέες τεχνολογικές καινοτομίες για τη βελτίωση της απόδοσης και της αποδοτικότητας των ανεμογεννητριών. Μέσω στρατηγικών επενδύσεων στην έρευνα και ανάπτυξη, η Devacitech διαμορφώνει το μέλλον της ενεργειακής βιομηχανίας της Τουρκίας, προωθώντας την υιοθέτηση βιώσιμων και καθαρών πηγών ενέργειας.

Με βάση την εμπειρία της στην τεχνολογία των καθετών ανεμογεννητριών, η Devacitech έχει αναπτύξει προηγμένα συστήματα που επιτρέπουν την εγκατάσταση και τη λειτουργία αυτών των συστημάτων με μεγάλη αποτελεσματικότητα. Μέσω της συνεργασίας με δημόσιους φορείς και ιδιωτικές εταιρείες, η Devacitech επιδιώκει την επέκταση της παρουσίας της σε περισσότερες περιοχές της Τουρκίας, προσφέροντας λύσεις ενέργειας που είναι ταυτόχρονα περιβαλλοντικά φιλικές και οικονομικά αποδοτικές.

Με πολλαπλές επιτυχημένες εφαρμογές σε δρόμους και αυτοκινητόδρομους σε όλη την Τουρκία, η Devacitech αποδεικνύει την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητα των λύσεων της. Με τη στήριξη της κυβέρνησης και του επιχειρηματικού τομέα, η εταιρία συνεχίζει να πρωτοπορεί στην επαναστατική τεχνολογία των καθετών ανεμογεννητριών, επιδιώκοντας να διαμορφώσει ένα

πιο βιώσιμο και καθαρό μέλλον για την Τουρκία και τον κόσμο. (Kerem Deveci, et al., 2018)

Η εικόνα 4.2 δείχνει μια ανεμογεννήτρια εγκατεστημένη κατά μήκος μιας λωρίδας λεωφορείων, με ηλιακούς συλλέκτες ενσωματωμένους στην κορυφή. Αυτές οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα έχουν σχεδιαστεί για να αξιοποιούν τον αέρα που παράγεται από την κίνηση των οχημάτων, όπως τα λεωφορεία και τα αυτοκίνητα, παράγοντας ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές. Η προσέγγιση αυτή όχι μόνο μειώνει το ενεργειακό αποτύπωμα της πόλης, αλλά συμβάλλει και στη μείωση της ρύπανσης παρέχοντας μια πράσινη εναλλακτική πηγή παραγωγής ενέργειας. Η εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων σε πολυσύχναστους δρόμους αποδεικνύει την καινοτομία στον αστικό σχεδιασμό και τη δέσμευση της Τουρκίας για αστική βιωσιμότητα και ενεργειακή απόδοση.



Εικόνα 4.2: Παράδειγμα στην Τουρκία με επιλεγμένο αυτοκινητόδρομο που είναι σε ισχύ οι κάθετες ανεμογεννήτριες σύμφωνα με τα οχήματα που τις διαπερνούν.

(Πηγή: (XPRT, 2019))

4.5. Μαλαισία

Η Μαλαισία, μια χώρα που βρίσκεται στην νοτιοανατολική Ασία, διακρίνεται για την πολυπολιτισμική της κοινωνία, τις εκθαμβωτικές της παραλίες και την εκπληκτική βιοποικιλότητα των τροπικών δασών της. Αποτελεί έναν σημαντικό παγκόσμιο προορισμό για τον τουρισμό, ενώ η οικονομία της βασίζεται κυρίως στο εμπόριο, την καλλιέργεια φοίνικα, την εξόρυξη φυσικών πόρων και την κατασκευή.

Σε συνδυασμό με την ιδέα των κάθετων ανεμογεννητριών στους δρόμους, η Μαλαισία έχει το δυναμικό να αξιοποιήσει τις καινοτόμες αυτές τεχνολογίες για τη βελτίωση της ενεργειακής της απόδοσης και τη μείωση του ανθρώπινου αποτυπώματος στο περιβάλλον. Με τον αυξανόμενο αριθμό στους δρόμους και τη συνεχή κίνηση, η εγκατάσταση κάθετων ανεμογεννητριών μπορεί να παράγει καθαρή ηλεκτρική ενέργεια από την κίνηση των οχημάτων, ενισχύοντας έτσι την ενεργειακή αυτονομία της χώρας. Μια από τις πολλές έρευνες που διεξήχθησαν στη Μαλαισία, σας παρουσιάζω αυτήν που ερεύνησαν στο πανεπιστήμιο Herriot-Watt στην Μαλαισία.

Η έντονη ροή αέρα που προκύπτει από την κυκλοφορία οχημάτων στους αυτοκινητόδρομους αποτελεί μία από τις πηγές ανεμικής ενέργειας που μπορεί να αξιοποιηθεί για την τροφοδότηση του φωτισμού και της τηλεπικοινωνιακής σηματοδότησης των αυτοκινητοδρόμων. Αυτή η μελέτη εστιάζει στην αξιολόγηση των δυνατοτήτων εφαρμογής μικρού μεγέθους ανεμογεννητριών κατά μήκος των αυτοκινητοδρόμων στη Μαλαισία.

Η έρευνα ξεκίνησε με τη μέτρηση της ταχύτητας του αέρα δίπλα στον αυτοκινητόδρομο Lebuh SPA (Sungai Udang - Paya Rumpit - Ayer Keroh Highway), έναν μεγάλο αυτοκινητόδρομο στην πολιτεία Μελάκα της Μαλαισίας. Τρεις παράμετροι θέσης εξετάστηκαν για την κατάλληλη τοποθέτηση των ανεμογεννητριών: οι πλευρικές αποστάσεις από τον αυτοκινητόδρομο, τα ύψη από το έδαφος και ο προσανατολισμός των ανεμογεννητριών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι βέλτιστες θέσεις είναι στο 1,0 μέτρο από την πλευρική απόσταση και το ύψος πάνω από το έδαφος, ενώ ο βέλτιστος προσανατολισμός είναι 45° από το

δρόμο. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι τα μεγάλα οχήματα, όπως φορτηγά και λεωφορεία, παράγουν υψηλότερες ταχύτητες αέρα σε σύγκριση με τα μικρότερα. (Alkaff, et al., 2016)



Εικόνα 4.3: Εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα σε κύριο δρόμο διπλής κατεύθυνσης στη Μαλαισία.

Πηγή: (Alkaff, et al., 2016)

4.6. Συμπέρασμα για τις χώρες

Η εγκατάσταση ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα σε δρόμους έχει αποδειχθεί καινοτόμος και οικονομικά αποδοτική λύση σε πολλές χώρες, προσφέροντας πολλά οφέλη τόσο όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση όσο και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Χώρες όπως η Ινδία, η Κίνα και οι ΗΠΑ έχουν υιοθετήσει αυτή την τεχνολογία για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας που παράγεται από την κίνηση των οχημάτων σε πολυσύχναστους δρόμους. Αυτές οι ανεμογεννήτριες είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για αστικά περιβάλλοντα, καθώς μπορούν να λειτουργούν αποτελεσματικά ανεξάρτητα από την κατεύθυνση του ανέμου και είναι ανθεκτικές στις διάφορες κλιματικές συνθήκες.

Η εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να μειώσει την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, να μειώσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και να αυξήσει την ενεργειακή αυτονομία των πόλεων. Οι

37

ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα προσφέρουν επίσης οικονομικά πλεονεκτήματα λόγω του σχετικά χαμηλού κόστους εγκατάστασης και συντήρησης. Επιπλέον, μπορούν να εγκατασταθούν σε υφιστάμενες υποδομές, όπως οδογέφυρες και διαχωριστικές νησίδες, αξιοποιώντας τον διαθέσιμο χώρο χωρίς την ανάγκη για νέα γη.

Καθώς οι πολίτες συνειδητοποιούν όλο και περισσότερο τα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη της πράσινης ενέργειας, αυξάνεται και η κοινωνική αποδοχή των ανεμογεννητριών. Η ενσωμάτωση των ανεμογεννητριών στο αστικό τοπίο έχει βελτιώσει την αισθητική και έχει συμβάλει στην ενίσχυση της εικόνας της πόλης ως καινοτόμου και βιώσιμης κοινότητας. Συνολικά, η επιτυχής εφαρμογή ανεμογεννητριών κάθετου άξονα στους δρόμους αποτελεί σημαντικό βήμα προς την ενεργειακή μετάβαση και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και δείχνει το δρόμο προς την περαιτέρω ανάπτυξη και υιοθέτηση της τεχνολογίας αυτής σε παγκόσμιο επίπεδο.

Κεφάλαιο 5: Τεχνολογικές Προκλήσεις και Καινοτομίες

5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα μιλήσουμε για τις προκλήσεις και της επιπλέον καινοτομίες συστημάτων, για την ανάπτυξη των ανεμογεννητριών κάθετου άξονα σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης. Θα αναφέρουμε τα προβλήματα που αντιμετωπίζουμε για την υλοποίηση αυτής της καινοτόμας ιδέας καθώς και κάποιους κανονισμούς που πρέπει να έχουμε υπόψη μας.

Οι εξελίξεις στην ενεργειακή τεχνολογία ανοίγουν νέες δυνατότητες για την αντιμετώπιση των σημερινών προκλήσεων. Στο πλαίσιο αυτό, η καινοτομία των κάθετων ανεμογεννητριών σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης αναδεικνύεται ως καινοτόμος λύση για τον συνδυασμό της ενεργειακής απόδοσης και της βιώσιμης τεχνολογικής ανάπτυξης.

5.2 Προκλήσεις εφαρμογής

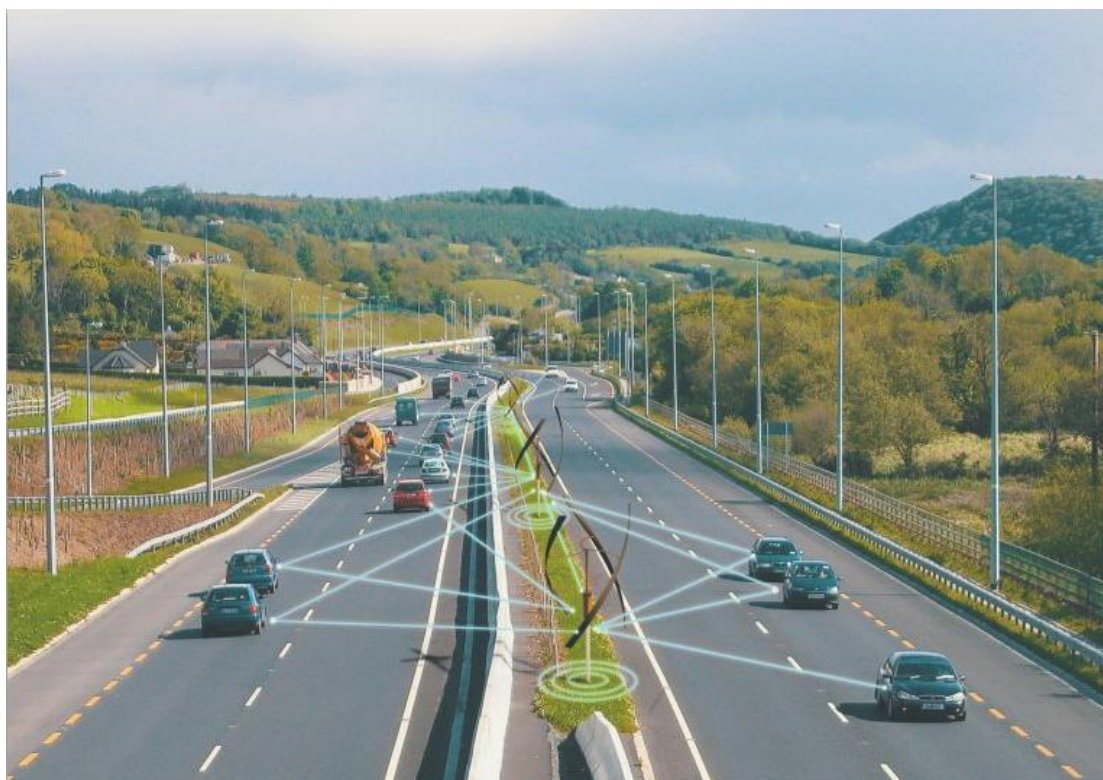
Η εισαγωγή κάθετων ανεμογεννητριών στους αυτοκινητοδρόμους αντιμετωπίζει μια σειρά προκλήσεων που απαιτούν σύνθετες και καινοτόμες λύσεις. Αν και έχουν σημειωθεί σημαντικές πρόοδοι στην τεχνολογία των κάθετων ανεμογεννητριών, η εφαρμογή τους σε αυτοκινητοδρόμους απαιτεί την αντιμετώπιση ζητημάτων όπως η διαχείριση της παραγόμενης ενέργειας, η ασφάλεια των οδηγών, η ενσωμάτωση της αισθητικής και η προσαρμογή στις διάφορες κλιματικές συνθήκες. Μια άλλη βασική πρόκληση είναι η εξεύρεση κατάλληλων θέσεων εγκατάστασης, λαμβάνοντας υπόψη το αστικό περιβάλλον και την κυκλοφορία των οχημάτων. Οι προκλήσεις αυτές απαιτούν ένα συνδυασμό τεχνικής εμπειρογνωμοσύνης, καινοτομίας και συνεργασίας μεταξύ εμπειρογνομόνων από διαφορετικούς τομείς, προκειμένου να εφαρμοστεί αυτή η τεχνολογία βιώσιμα και αποτελεσματικά στους αυτοκινητοδρόμους.

5.2.1 Βέλτιστη Τοποθέτηση και Εγκατάσταση

Η βέλτιστη τοποθέτηση και ενσωμάτωση των καθετών ανεμογεννητριών σε αυτοκινητόδρομους είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για την επιτυχία τους ως πηγή ενέργειας. Η σωστή επιλογή τους τοποθεσίας επηρεάζει την απόδοση και την

αποτελεσματικότητά τους. Η προσεκτική μελέτη του αστικού περιβάλλοντος και των κυκλοφοριακών ροών είναι ουσιώδης για την εύρεση των κατάλληλων τοποθεσιών, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η πυκνότητα της κίνησης, οι υψηλές ταχύτητες των οχημάτων και η διαθέσιμη χωρητικότητα για εγκατάσταση.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση των ανεμογεννητριών στο αστικό τοπίο απαιτεί εξειδικευμένο σχεδιασμό που να συνδυάζει την αισθητική με την αποτελεσματικότητα. Παράγοντες όπως ο σχεδιασμός της δομής των ανεμογεννητριών, η αντοχή τους στις κυκλοφοριακές και κλιματολογικές συνθήκες και η ασφάλεια τους για τους χρήστες των αυτοκινητοδρόμων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Επιπλέον, η ενσωμάτωση των ανεμογεννητριών στον υφιστάμενο υποδομή των αυτοκινητοδρόμων απαιτεί προηγμένες τεχνολογικές λύσεις και σχεδιασμό που να εξασφαλίζει τη σταθερότητα και την αποτελεσματική λειτουργία τους στον χρόνο. Με αυτόν τον τρόπο, η βέλτιστη τοποθέτηση και ενσωμάτωση των ανεμογεννητριών στους αυτοκινητόδρομους μπορεί να εξασφαλίσει τη μέγιστη απόδοση και αποτελεσματικότητα τους ως πηγή ενέργειας. (Anjum, et al., 2016)



Εικόνα 5.1: Αναπαράσταση της ιδέας αυτής, με τις ανεμογεννήτριες στη μέση του δρόμου διπλής κατεύθυνσης, καθώς περνούν τα αυτοκίνητα.

Πηγή: (Kerem Deveci, et al., 2018)

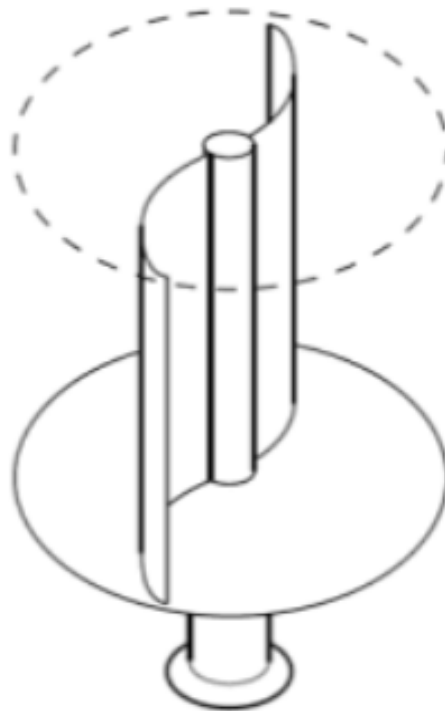
5.2.2 Αποδοτική Μετατροπή Κινητικής Ενέργειας

Η αποδοτική μετατροπή της κινητικής ενέργειας από την κυκλοφορία στον αυτοκινητόδρομο σε ηλεκτρική ενέργεια είναι κεντρικό στοιχείο για την επιτυχή λειτουργία των κατακόρυφων ανεμογεννητριών. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή αυτή πρέπει να είναι αξιόπιστη και αποδοτική, πρέπει να είναι σε θέση να μετατρέπει την ενέργεια που παράγεται από τον αέρα, που δημιουργείτε από την κυκλοφορία των οχημάτων σε ηλεκτρική ενέργεια όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά.

Είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη οι διάφορες παράμετροι που επηρεάζουν τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας, όπως η ταχύτητα του οχήματος, η πυκνότητα της κυκλοφορίας και οι κλιματολογικές συνθήκες. Επιπλέον, οι ανεμογεννήτριες και τα συστήματα μετατροπής ενέργειας πρέπει να σχεδιάζονται αποτελεσματικά, ώστε να αξιοποιείται πλήρως το δυναμικό της ατμόσφαιρας.

Οι προηγμένες τεχνολογίες μετατροπής ενέργειας προσφέρουν τη δυνατότητα αποτελεσματικής μετατροπής της κινητικής ενέργειας σε ηλεκτρική με ελάχιστες απώλειες και υψηλή απόδοση. Με την κατάλληλη τεχνολογία και τον κατάλληλο σχεδιασμό, η μετατροπή κινητικής ενέργειας από την κυκλοφορία μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο ως βιώσιμη πηγή ενέργειας για τους αυτοκινητοδρόμους και τις γύρω περιοχές. (Hod. Dr. B.Gopinath, et al., 2020)

Savonius-Rotor



Εικόνα 5.2: Αποτελεσματικό σχέδιο σύμφωνα με τον αέρα που εισχωρεί στα πτερύγια και με την βέλτιστη παραγωγή ηλεκτρική ενέργειας που παράγεται από τέτοιου τύπου κάθετης ανεμογεννήτριας.

(Πηγή: (Hod. Dr. B.Gopinath, et al., 2020))

5.2.3 Διαχείριση Παραγόμενης Ενέργειας

Η διαχείριση της ενέργειας που παράγεται από κατακόρυφες ανεμογεννήτριες εγκατεστημένες σε αυτοκινητόδρομους είναι ένα σημαντικό βήμα προς την αποδοτική και βιώσιμη λειτουργία του συστήματος. Η σωστή διαχείριση της ενέργειας που παράγεται από ανεμογεννήτριες μπορεί να επιτευχθεί με την αποθήκευση της ενέργειας σε μπαταρίες ή άλλα αποθηκευτικά μέσα για μεταγενέστερη χρήση, με τη σύνδεσή της με το δίκτυο για την ενίσχυση του δικτύου ή με την απευθείας χρήση της σε συστήματα φωτισμού και άλλο ηλεκτρικό εξοπλισμό.

Οι προηγμένες τεχνολογίες διαχείρισης ενέργειας μπορούν να ελέγχουν την παραγόμενη ενέργεια και να προσαρμόζουν τη χρήση της ανάλογα με τις ανάγκες

και τις συνθήκες λειτουργίας. Η αποτελεσματική διαχείριση της ενέργειας είναι απαραίτητη για τη μείωση των απωλειών και τη βελτίωση των οικονομικών και περιβαλλοντικών επιδόσεων του συστήματος.

Επιπλέον, η διαχείριση της παραγόμενης ενέργειας πρέπει επίσης να λαμβάνει υπόψη τις μεταβαλλόμενες συνθήκες, τις ανάγκες του συστήματος, τις απαιτήσεις ασφάλειας και αξιοπιστίας. Με ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης ενέργειας, οι κάθετες ανεμογεννήτριες σε αυτοκινητόδρομους μπορούν να αξιοποιηθούν με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο για την παροχή βιώσιμης ενέργειας στο δίκτυο και στις γύρω περιοχές. (Bavchakar, 2018)

5.2.4 Μπαταρίες

Οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα υπόσχονται πολλά για τη βιώσιμη παραγωγή ενέργειας, αλλά η αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας σε μπαταρίες παραμένει μια μεγάλη πρόκληση. Η αιολική ενέργεια είναι ασταθής, καθώς υπόκειται σε μεταβολές της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου, γεγονός που καθιστά την αποθήκευση ενέργειας απαραίτητη για την εξασφάλιση συνεχούς και αξιόπιστης παροχής ενέργειας. Αυτό απαιτεί προηγμένες μπαταρίες υψηλής χωρητικότητας που μπορούν να αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας, να την παρέχουν όταν χρειάζεται και να αντέχουν σε επανειλημμένες φορτίσεις και εκφορτώσεις χωρίς να αλλοιώνονται γρήγορα.

Το κόστος των μπαταριών είναι ένα άλλο σημαντικό εμπόδιο. Παρά την πρόοδο της τεχνολογίας, οι μπαταρίες υψηλής απόδοσης εξακολουθούν να είναι ακριβές, επηρεάζοντας την αποδοτικότητα των έργων ανεμογεννητριών κάθετου άξονα. Επιπλέον, οι μπαταρίες απαιτούν τακτική συντήρηση και έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής, οπότε πρέπει να αντικαθίστανται σε τακτά χρονικά διαστήματα, αυξάνοντας το συνολικό κόστος του συστήματος. Η ανακύκλωση και η διάθεση των παλαιών μπαταριών προσθέτουν περαιτέρω περιβαλλοντικές και οικονομικές προκλήσεις.

5.2.5 Ασφάλεια

Η ασφάλεια είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για την εφαρμογή κάθετων ανεμογεννητριών σε αυτοκινητόδρομους και απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό και ανάλυση. Η πρόκληση που προκύπτει εκεί είναι να διασφαλιστεί η ασφάλεια των οδηγών και των επιβατών κατά την εγκατάσταση, τη λειτουργία και τη συντήρηση των ανεμογεννητριών. Οι ανεμογεννήτριες πρέπει να εγκαθίστανται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια των οδηγών και των πεζών, ενώ πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη πιθανοί κίνδυνοι όπως η πτώση αντικειμένων και η δημιουργία θορύβου.

Ένα άλλο θέμα ασφάλειας είναι η αντοχή της ανεμογεννήτριας σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες και ακραίες καιρικές συνθήκες, όπως ισχυροί άνεμοι και καταιγίδες. Για να μειωθεί ο κίνδυνος ατυχημάτων και ζημιών, η αντοχή της ανεμογεννήτριας σε αυτές τις συνθήκες πρέπει να εξασφαλίζεται με την επιλογή των κατάλληλων υλικών και τη σωστή κατασκευή.

Τέλος, οι προκλήσεις στον τομέα της ασφάλειας σχετίζονται επίσης με την ανάγκη τακτικής συντήρησης και επιθεώρησης για τη διασφάλιση της ορθής λειτουργίας των ανεμογεννητριών και την πρόληψη πιθανών προβλημάτων ασφαλείας. Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό, εκπαίδευση και συνεχή παρακολούθηση της ασφαλούς λειτουργίας των ανεμογεννητριών στους αυτοκινητοδρόμους. (Rana, et al., 2022)



Εικόνα 5.3: Ασφάλεια των ανεμογεννητριών αλλά και των οχημάτων στον αυτοκινητόδρομο από φράγματα.

(Πηγή: (Dimitrijevic, 2009))

5.2.6 Συντήρηση

Η συντήρηση αποτελεί κρίσιμο στάδιο για την εγκατάσταση και τη λειτουργία των κάθετων ανεμογεννητριών σε αυτοκινητόδρομους και παρουσιάζει αρκετές προκλήσεις. Ένα σημαντικό στοιχείο αφορά την πρόληψη και τη διόρθωση βλαβών που μπορεί να προκύψουν λόγω φυσικής φθοράς ή ακραίων καιρικών συνθηκών. Οι κατακόρυφες ανεμογεννήτριες είναι συνεχώς εκτεθειμένες στον άνεμο και τις καιρικές συνθήκες και, ως εκ τούτου, απαιτούν τακτική επιθεώρηση και συντήρηση για να διατηρήσουν τη λειτουργία τους.

Η πρόσβαση στις ανεμογεννήτριες αποτελεί επίσης πρόκληση, ιδίως εάν βρίσκονται σε μεγάλα υψόμετρα ή σε δύσβατες τοποθεσίες κοντά σε αυτοκινητόδρομους. Η αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων και οι εργασίες συντήρησης ενδέχεται να απαιτούν ειδικό προσωπικό, εξοπλισμό και ειδικά μέτρα ασφαλείας.

Επιπλέον, η τεχνική πολυπλοκότητα των ανιχνευτών των ανεμογεννητριών μπορεί να δυσχεράνει τη διάγνωση και την επισκευή πιθανών προβλημάτων. Απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό και εξελιγμένα συστήματα παρακολούθησης για τη συνεχή παρακολούθηση της απόδοσης και την άμεση αντιμετώπιση αποκλίσεων από τα πρότυπα λειτουργίας. Με τη σωστή διαχείριση αυτών των προκλήσεων, η συντήρηση των κατακόρυφων ανεμογεννητριών αυτοκινητόδρομου μπορεί να διασφαλίσει τη συνεχή και αποτελεσματική λειτουργία τους ως πηγή ενέργειας. (Srinivas, et al., 2022)

5.3 Χρηματοδότηση

Η ενσωμάτωση των κάθετων ανεμογεννητριών στα οικονομικά μοντέλα αποτελεί σημαντικό βήμα για την αποτελεσματική λειτουργία και τη βιωσιμότητά τους. Η διαδικασία περιλαμβάνει την αξιολόγηση του κόστους εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης των ανεμογεννητριών σε σχέση με τα οφέλη που παρέχουν ως πηγή ενέργειας.

Η οικονομική αξιολόγηση περιλαμβάνει τον υπολογισμό του κόστους επένδυσης για την αγορά και την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών και των μελλοντικών εσόδων από την παραγωγή ενέργειας. Λαμβάνει επίσης υπόψη τους παράγοντες λειτουργίας και συντήρησης που επηρεάζουν το συνολικό κόστος του έργου.

Το οικονομικό μοντέλο πρέπει να λαμβάνει υπόψη την απόδοση της ανεμογεννήτριας σε σχέση με την τοποθεσία και τις κλιματολογικές συνθήκες, καθώς και τις πολιτικές ρυθμίσεις και τα κίνητρα που υποστηρίζουν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Με την κατάλληλη ενσωμάτωση στα οικονομικά μοντέλα, οι κατακόρυφες ανεμογεννήτριες μπορούν να αποτελέσουν μια οικονομικά ελκυστική επιλογή για τη βιώσιμη παραγωγή ενέργειας σε αυτοκινητοδρόμους. (Shoib, et al., 2021)

5.4 Καινοτομίες για ανάπτυξη

Οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν ανοίξει νέους ορίζοντες για το σχεδιασμό και την υλοποίηση των κάθετων ανεμογεννητριών, οι οποίες ενσωματώνονται πλέον έξυπνα σε διάφορα σημεία του αστικού περιβάλλοντος. Έχουν αναπτυχθεί σχέδια

που επιτρέπουν την ενσωμάτωση των ανεμογεννητριών στον φωτισμό, τη σήμανση και τα καλύμματα των δρόμων, συμβάλλοντας τόσο στην παραγωγή ενέργειας όσο και στη βελτίωση του αστικού περιβάλλοντος.

Τέτοια έξυπνα σχέδια δεν αποτελούν μόνο ένα μέσο παραγωγής ενέργειας, αλλά ενισχύουν επίσης την αισθητική αξία του περιβάλλοντος, εξασφαλίζουν οικονομική βιωσιμότητα και ευαισθητοποιούν τους ανθρώπους στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον, τα τεχνολογικά προηγούμενα έχουν επιτρέψει τη δημιουργία κάθετων ανεμογεννητριών που ενσωματώνονται στο περιβάλλον με διακριτικό και αποτελεσματικό τρόπο και εξασφαλίζουν τη συμβατότητα με τις αστικές ανάγκες και την ομορφιά του τοπίου. Έτσι, οι κατακόρυφες ανεμογεννήτριες μπορούν να προσφέρουν έξυπνες και αποτελεσματικές λύσεις για τη βιώσιμη παραγωγή ενέργειας σε αστικές περιοχές.

Για παράδειγμα μια εταιρία θα μπορούσε να έρθει σε επικοινωνία με τον υπεύθυνο που τα εγκαθιστά στους δρόμους για να συμφωνήσουν στην διαφήμιση της εταιρίας σε διάφορες μορφές, είτε με χρήση αυτοκόλλητου πάνω στην ανεμογεννήτρια, είτε με χρήση πινακίδας στο πλάι της κάθε ανεμογεννήτριας. Επίσης οι εταιρίες θα διαφημίζονται από τις ανεμογεννήτριες στους αυτοκινητόδρομους, στους οποίους διέρχονται καθημερινά εκατοντάδες αυτοκίνητα.

Μια άλλη περίπτωση είναι κάποιες εταιρίες που προμηθεύουν ίντερνετ στην περιοχή εκείνη, να μπορούν μέσω των ανεμογεννητριών, να δίνουν πρόσβαση σε ίντερνετ στον αυτοκινητόδρομο. Επίσης με αυτό τον τρόπο έτσι δίνεις την δυνατότητα να έχεις στην περιοχή ένα ευρύ φάσμα που καλύπτεται από ίντερνετ. Συνεπώς με αυτή την τεχνολογία μπορούμε να ξέρουμε ανά πάσα στιγμή για το τι συμβαίνει στον αυτοκινητόδρομο, για παράδειγμα αν έχει κίνηση στον αυτοκινητόδρομο, αν έχει κάποιο ατυχήματα-δυστυχήματα, ή και ακόμη αν χρειάζεται κάποια βοήθεια ένας πολίτη που βρίσκεται εντός του αυτοκινητόδρομου. Έτσι, οι κάθετες ανεμογεννήτριες όχι μόνο παράγουν καθαρή ενέργεια, αλλά λειτουργούν και ως προέκταση του δικτύου διαδικτύου,

επιτρέποντας στους ανθρώπους να έχουν πρόσβαση σε σταθερές συνδέσεις διαδικτύου υψηλής ταχύτητας ενώ μετακινούνται. Αυτό θα έχει θετικό αντίκτυπο στην κινητικότητα και την επικοινωνία των ανθρώπων, ενισχύοντας την ψηφιακή συνδεσιμότητα και την πρόσβαση σε πληροφορίες και υπηρεσίες, ακόμη και όταν διέρχονται από απομακρυσμένες περιοχές και αστικά κέντρα. Επιπλέον, αυτή η καινοτόμος χρήση των κάθετων ανεμογεννητριών ενθαρρύνει την υιοθέτηση βιώσιμων τεχνολογιών και την ανάπτυξη ολοκληρωμένων λύσεων που συνδυάζουν την ενέργεια και την επικοινωνία για τη βελτίωση της κοινωνίας και του περιβάλλοντος.

5.5 Τεχνολογία αισθητήρων

Η τεχνολογία αισθητήρων αναδεικνύει τις δυνατότητες των κάθετων ανεμογεννητριών ως πηγή ενέργειας με ενσωματωμένες έξυπνες λειτουργίες. Οι αισθητήρες επιτρέπουν στις ανεμογεννήτριες να ανταποκρίνονται δυναμικά στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες και να βελτιώνουν την απόδοσή τους.

Οι αισθητήρες μπορούν να μετρήσουν μια σειρά παραμέτρων, συμπεριλαμβανομένης της ποιότητας του αέρα, της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου και άλλων κρίσιμων παραμέτρων που επηρεάζουν τη λειτουργία των ανεμογεννητριών. Με βάση αυτές τις μετρήσεις, η λειτουργία της ανεμογεννήτριας μπορεί να ρυθμιστεί δυναμικά για να βελτιωθεί η απόδοση και να μεγιστοποιηθεί η ενεργειακή αποδοτικότητα ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Επιπλέον, η τεχνολογία αισθητήρων παρέχει δεδομένα για τη συντήρηση και τη διαχείριση των ανεμογεννητριών, επιτρέποντας την προληπτική συντήρηση και την αντιμετώπιση προβλημάτων πριν τα προβλήματα επηρεάσουν την απόδοση. Συνολικά, η εφαρμογή της τεχνολογίας αισθητήρων στις κάθετες ανεμογεννήτριες αναδεικνύει την ικανότητά τους να λειτουργούν έξυπνα και αποτελεσματικά υπό διαφορετικές συνθήκες, αυξάνοντας την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητά τους ως βιώσιμη πηγή ενέργειας. (Bumbera, 2022)

5.6 Βελτιωμένη αισθητική

Η αισθητική αναβάθμιση αποτελεί βασικό στοιχείο για την αποδοχή και την ενσωμάτωση των κάθετων ανεμογεννητριών στο αστικό περιβάλλον. Μέσω του στιλιστικού και αισθητικά προσανατολισμένου σχεδιασμού, οι ανεμογεννήτριες μπορούν να ενταχθούν αρμονικά στο τοπίο της εθνικής οδού, σεβόμενες το περιβάλλον και παρέχοντας μια εικόνα που προκύπτει από αισθητικές ευαισθησίες.

Ένας τέτοιος σχεδιασμός περιλαμβάνει ομαλές γραμμές, καθαρές μορφές και προσεκτικά επιλεγμένα χρώματα που εναρμονίζονται με το περιβάλλον του αυτοκινητοδρόμου και την τοπική αρχιτεκτονική. Επιπλέον, η χρήση υλικών υψηλής ποιότητας και σύγχρονων τεχνικών κατασκευής θα εξασφαλίσει εντυπωσιακή εμφάνιση και μακροχρόνια αντοχή.

Οι αισθητικά αναβαθμισμένες κάθετες ανεμογεννήτριες αναδεικνύουν τη συνύπαρξη της τεχνολογίας και του φυσικού περιβάλλοντος, δημιουργώντας έναν αρμονικό συνδυασμό που βελτιώνει την αισθητική εμπειρία των χρηστών του αυτοκινητόδρομου και συμβάλλει στην προώθηση του περιβάλλοντος ως μιας βιώσιμης, φιλικής προς τον άνθρωπο και τη φύση περιοχής. Με αυτόν τον τρόπο, ο σχεδιασμός των κάθετων ανεμογεννητριών συμβάλλει σε ένα πιο βιώσιμο και αρμονικό αστικό περιβάλλον. (Sharpe, 2010)



Εικόνα 5.4: Μια πιο φιλόδοξη και αισθητική σχεδίαση και εγκατάσταση ανεμογεννητριών κάθετου άξονα σε αυτοκινητόδρομους.

(Πηγή: (Ara Ibrahim, et al., 2019))

5.7. Έξυπνη διαχείριση ενέργειας

Η έξυπνη διαχείριση της ενέργειας αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την αποδοτική λειτουργία και τη μέγιστη απόδοση των κάθετων ανεμογεννητριών. Η χρήση τεχνολογιών διαχείρισης ενέργειας και αποθήκευσης μπαταριών αποτελεί σημαντικό βήμα προς τη βελτίωση της απόδοσης και της αποθήκευσης της ενέργειας που παράγεται από ανεμογεννήτριες.

Η τεχνολογία διαχείρισης ενέργειας επιτρέπει τον έξυπνο έλεγχο και την παρακολούθηση της παραγωγής ενέργειας των ανεμογεννητριών, ενώ η αποθήκευση μπαταριών επιτρέπει την αποθήκευση ενέργειας για μεταγενέστερη χρήση όταν η ζήτηση είναι υψηλή ή οι συνθήκες στις ανεμογεννήτριες είναι δυσμενείς.

Η έξυπνη διαχείριση ενέργειας επιτρέπει στις κάθετες ανεμογεννήτριες να προσαρμόζουν δυναμικά τη λειτουργία τους ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τις ανάγκες του ενεργειακού δικτύου. Αυτό επιτρέπει τη μέγιστη αξιοποίηση και την αποτελεσματική διαχείριση της παραγόμενης ενέργειας, βελτιώνοντας έτσι τη βιωσιμότητα και την οικονομική αποδοτικότητα των κάθετων ανεμογεννητριών. Έτσι, η τεχνολογία αισθητήρων και η έξυπνη διαχείριση ενέργειας συμβάλλουν στη δημιουργία αποδοτικότερων και βιώσιμων ευφυών ενεργειακών συστημάτων που βασίζονται σε κάθετες ανεμογεννήτριες.

5.7.1. Δανία

Μια χώρα που έχει υιοθετήσει αυτή την προσέγγιση είναι η Δανία, η οποία έχει επενδύσει σημαντικά σε έργα αιολικής ενέργειας και διαθέτει την πιο προηγμένη υποδομή στον τομέα αυτό. Η έξυπνη διαχείριση ενέργειας στη Δανία χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνολογίες διαχείρισης και παρακολούθησης που μπορούν να προσαρμόζουν αυτόματα την παραγωγή ενέργειας ανάλογα με τις συνθήκες ανέμου και τη ζήτηση ενέργειας. Μέσω της χρήσης της έξυπνης διαχείρισης ενέργειας, η Δανία έχει επιτύχει υψηλή απόδοση και βιωσιμότητα στον τομέα της αιολικής ενέργειας και προωθεί την ανάπτυξη βιώσιμων και φιλικών προς το περιβάλλον ενεργειακών υποδομών. (Lund, 2022)

5.7.2. Ανόβερο, Γερμανία

Η Γερμανία έχει πραγματοποιήσει σημαντικές επενδύσεις σε προηγμένα συστήματα διαχείρισης ενέργειας, σε οικιστικά και εμπορικά κτίρια. Οι επενδύσεις αυτές αποσκοπούν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και της οικονομικής βιωσιμότητας του κτιριακού τομέα. Μέσω της χρήσης προηγμένων τεχνολογιών, όπως έξυπνος φωτισμός, συστήματα κλιματισμού και θέρμανσης, αισθητήρες και αυτοματισμοί, τα κτίρια μπορούν να παράγουν και να καταναλώνουν ενέργεια πιο αποτελεσματικά. Επιπλέον, η εγκατάσταση δικτύων έξυπνων μετρητών θα επιτρέψει τη συνεχή παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας σε επίπεδο καταναλωτών και διανομής. Αυτή η ανάλυση και παρακολούθηση των δεδομένων μπορεί να εντοπίσει περιοχές όπου μπορούν να γίνουν περαιτέρω βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση, με στόχο τη μείωση των εκπομπών CO₂ και του λειτουργικού κόστους.

Με τον τρόπο αυτό, η Hannover Messe είναι μία από τις μεγαλύτερες εκθέσεις βιομηχανικής τεχνολογίας στον κόσμο. Πραγματοποιείται κάθε χρόνο στο Ανόβερο της Γερμανίας και θεωρείται μία από τις σημαντικότερες εμπορικές εκθέσεις στον βιομηχανικό και τεχνικό τομέα. Η εμπορική έκθεση προσελκύει εκθέτες και επισκέπτες από όλο τον κόσμο και παρέχει μια πλατφόρμα για τις τελευταίες εξελίξεις στους τομείς της βιομηχανίας, της τεχνολογίας και της καινοτομίας. Η εμπορική έκθεση περιλαμβάνει συνήθως εκθέσεις, παρουσιάσεις προϊόντων, συνέδρια και διαλέξεις για θέματα όπως η μηχανική, ο αυτοματισμός, η ρομποτική, η ενέργεια, η κλιματική αλλαγή, η τεχνητή νοημοσύνη και η βιομηχανία 4.0. Η Hannover Messe αποτελεί σημαντικό σημείο συνάντησης για εταιρείες, επαγγελματίες και εμπειρογνώμονες από ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών και τεχνικών τομέων. (Busch, 2024)

Κεφάλαιο 6: Σχεδίαση κάθετης ανεμογεννήτριας

Σας παρουσιάζω το σχέδιο (στην επόμενη εικόνα 3.1) μιας ανεμογεννήτριας κάθετου άξονα ύψους 2.30m που σχεδίασα σε λογισμικό AutoCAD. Αυτή η ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα ενσωματώνει τόσο την αιολική όσο και την ηλιακή ενέργεια για μέγιστη απόδοση στην παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας. Στην κορυφή της ανεμογεννήτριας εγκαταστάθηκαν ηλιακά πάνελ για την ανάκτηση της ηλιακής ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει έναν κατακόρυφο άξονα με περιστρεφόμενα πτερύγια που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από τον άνεμο ανεξάρτητα από την κατεύθυνση του ανέμου. Αυτή η υβριδική προσέγγιση χρησιμοποιεί ταυτόχρονα δύο ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθιστώντας το σύστημα εξαιρετικά αποδοτικό και κατάλληλο για αστικές περιοχές όπου ο χώρος είναι περιορισμένος και η ζήτηση ενέργειας υψηλή. Δίνοντας έμφαση στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, το έργο μου θα συμβάλει σημαντικά στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Τα ανθεκτικά υλικά και η απλή κατασκευή των ανεμογεννητριών καθιστούν εύκολη και οικονομική τη συντήρησή τους, ενώ ο αισθητικός σχεδιασμός τους τις καθιστά ιδανικές για εγκατάσταση σε πολυσύχναστες αστικές περιοχές, παρέχοντας μια λειτουργική και ελκυστική λύση πράσινης ενέργειας. Ο έξυπνος συνδυασμός αιολικής και ηλιακής ενέργειας αναδεικνύει τις δυνατότητες αυτής της τεχνολογίας και υπογραμμίζει τη σημασία της ποικιλομορφίας στις μελλοντικές ενεργειακές λύσεις.

6.1 Στοιχεία ανεμογεννήτριας

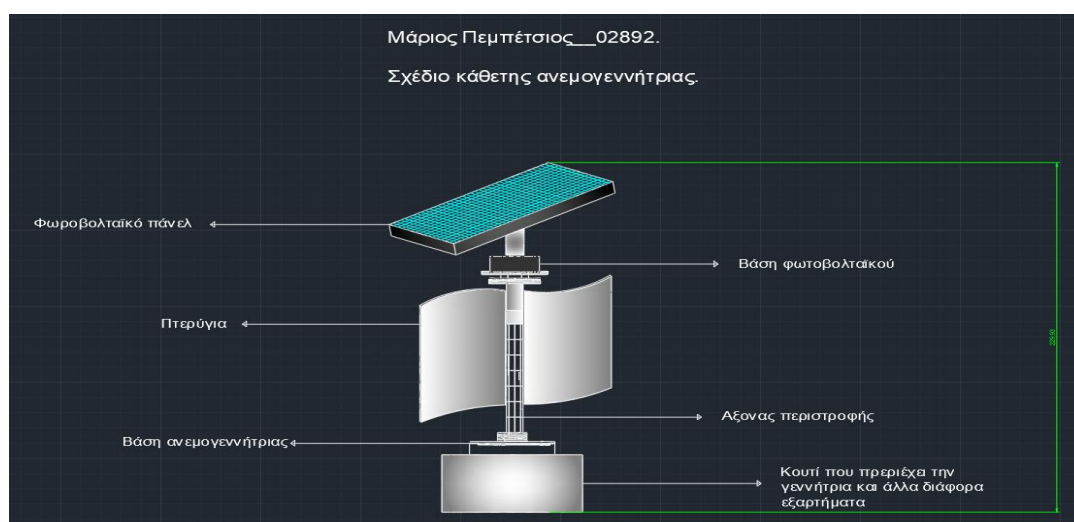
Πάμε όμως να δούμε πιο αναλυτικά πως δουλεύει αυτή η καινοτόμα ιδέα. Αρχικά έχουμε τις ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα, οι οποίες διαφέρουν από αυτές που ξέρουμε έως τώρα, με αυτούς τους υπερύψηλους πυλώνες που στην κορυφή τους υπάρχουν οι οριζόντιες φτερωτές .

Η ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα που σας παρουσιάζω αποτελείτε από την γεννήτρια που βρίσκεται στο κάτω μέρος της, τα πτερύγια, τον άξονα περιστροφής που ενώνει την γεννήτρια με τα πτερύγια και τέλος την βάση της ανεμογεννήτριας.

Ας πάμε να εξηγήσουμε την κάθε χρήση των στοιχείων που συνθέτουν την

52

ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα. Ας τα πάρουμε από την αρχή, ξεκινώντας από το κάτω μέρος της όπου είναι η βάση που στηρίζονται όλα τα στοιχεία του συστήματος της ανεμογεννήτριας. Η βάση πρέπει να είναι αρκετά ανθεκτική για να αντέχει τις δυνάμεις που ασκούνται από τον αέρα που δημιουργούν τα αυτοκίνητα στον αυτοκινητόδρομο. Μετά έχουμε τον άξονα στον οποίο στηρίζονται τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας. Ο άξονας περιστρέφεται από την κίνηση του ανέμου που εισχωρεί στα πτερύγια και μεταδίδει αυτήν την κίνηση στην γεννήτρια. Το επόμενο και πιο βασικό στοιχείο για μια ανεμογεννήτρια, είναι η γεννήτρια όπου ουσιαστικά, με τους μηχανισμούς της στο εσωτερικό της μετατρέπει την κίνηση των πτερυγίων από τον άξονα που περιστρέφεται – κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Ουσιαστικά η γεννήτρια είναι αυτή που μας παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Τέλος έχουμε τα πτερύγια τα οποία τοποθετούνται κάθετα στον άξονα περιστροφής. Τα πτερύγια είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ούτως ώστε η καμπύλη που υπάρχει στα δύο πτερύγια να εκμεταλλεύονται την κινητική ενέργεια του αέρα ανεξάρτητα από την κατεύθυνση του και να παράγουν κίνηση στον άξονα. Συνήθως τα πτερύγια πρέπει να είναι ελαφριά για να μπορούν να περιστρέφονται με μεγάλη ευκολία σε ακόμα και μικρούς ανέμους. Αυτά είναι τα βασικά στοιχεία που συνθέτουν μια ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα που εγκαθίστανται σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης. (Santhakumar & Ilamathi, 2019)

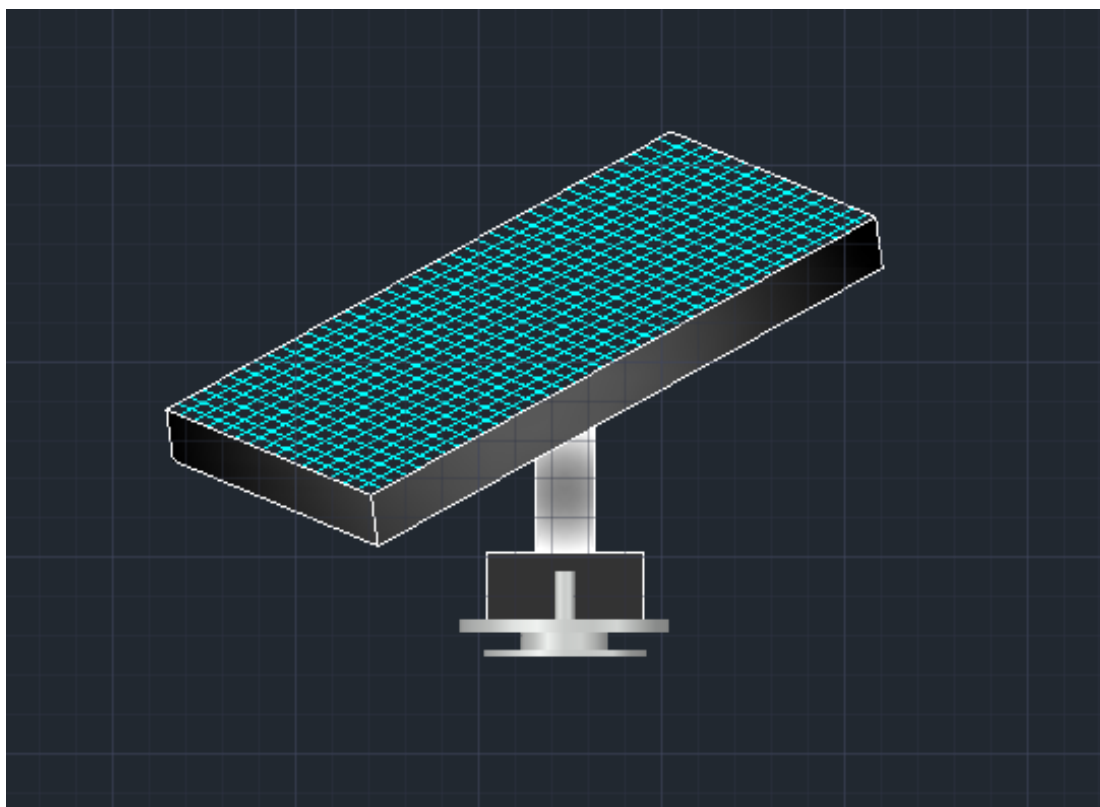


Εικόνα 6.1: (Σχέδιο κάθετης ανεμογεννήτριας σχεδιασμένη στο λογισμικό AutoCAD από εμένα, το συγγραφέα αυτής της Δ.Ε.) Original.

Η κάθετη ανεμογεννήτριες προσφέρουν μια ευρεία γκάμα εφαρμογών, με μία από τις πιο πρωτοποριακές να είναι η χρήση τους σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης. Η εγκατάσταση τους κατά μήκος των οδικών διαδρόμων στο κέντρο των δρόμων διπλής κατεύθυνσης αποτελεί μια καινοτόμο προσέγγιση για την παραγωγή βιώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας από την κίνηση των οχημάτων. Οι ανεμογεννήτριες αυτές μπορούν να εγκατασταθούν σε ειδικά σχεδιασμένες δομές στο κέντρο των οδών, χρησιμοποιώντας την κίνηση των αεροδυναμικών ρευμάτων που δημιουργούνται από την πέραση των οχημάτων.

6.2 Προσθήκη φωτοβολταϊκού

Η προσθήκη ενός μικρού φωτοβολταϊκού πάνω στην κάθετη ανεμογεννήτρια που εγκαθίσταται στους δρόμους διπλής κατεύθυνσης αποτελεί μια επιπλέον καινοτόμα προσέγγιση για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας παράλληλα με την αιολική. Αυτός ο συνδυασμός δύο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας επιτρέπει τη συλλογή ενέργειας τόσο από τον άνεμο όσο και από τον ήλιο, ενισχύοντας την απόδοση και τη σταθερότητα του συστήματος. Εκμεταλλευόμενη τις ηλιόλουστες ημέρες όταν η παραγωγή από το φωτοβολταϊκό είναι μεγαλύτερη και τις ημέρες που η ανεμογεννήτρια είναι σε πλήρη λειτουργία. Η συνδυασμένη αυτή προσέγγιση εξασφαλίζει σταθερή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μειώνοντας την εξάρτηση από μια μόνο πηγή. Επιπλέον, η προσθήκη του φωτοβολταϊκού επιτρέπει τη χρήση της υπάρχουσας υποδομής για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και συμβάλει στη βελτίωση της βιωσιμότητας και της οικονομικής απόδοσης. (Bumbera, 2022)



Εικόνα 6.2: Σχέδιο επιπρόσθετου φωτοβολταϊκού στην κορυφή της κάθετης ανεμογεννήτριας, σχεδιασμένη στο λογισμικό AutoCAD από εμένα, το συγγραφέα αυτής της Δ.Ε.Original



Κεφάλαιο 7: Συμπέρασμα

Με αυτά που εξηγήσαμε και με την λύση του σχεδιασμού της κάθετης ανεμογεννήτριας που αναπαριστώ σε αυτή την διπλωματική εργασία καταλήγουμε στο εξής συμπέρασμα. Η τοποθέτηση κάθετων ανεμογεννητριών σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης αποτελεί καινοτόμο λύση για τη βιώσιμη παραγωγή ενέργειας. Αυτή η τεχνολογική πρωτοβουλία καταδεικνύει τις δυνατότητες χρήσης του ανέμου και του ηλιακού φωτός ως πηγή ενέργειας σε περιβάλλοντα που παραδοσιακά θεωρούνται ακατάλληλα για εγκαταστάσεις ανεμογεννητριών.

Επιπλέον, οι κατακόρυφες ανεμογεννήτριες μπορούν να ενσωματωθούν στους δρόμους για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Η βιωσιμότητα και η ενεργειακή αυτάρκεια που προσφέρει αυτή η τεχνολογία είναι απαραίτητες για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που θέτει η κλιματική αλλαγή. Αλλά και οι προκλήσεις για την εγκατάσταση των κάθετων ανεμογεννητριών σε δρόμους όπου θα αντιμετωπιστούν με τις σωστές λύσεις που θα ορίσει ο άνθρωπος.

Έτσι, η εγκατάσταση κατακόρυφων ανεμογεννητριών σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης συνάδει απόλυτα με την τάση για έξυπνες πόλεις και τη χρήση βιώσιμων πηγών ενέργειας. Επενδύοντας σε αυτή την τεχνολογία, μπορεί να επιτευχθεί ένα πιο βιώσιμο, αποτελεσματικό και καθαρότερο περιβάλλον, ενώ ταυτόχρονα παρέχεται ενέργεια για ένα ευρύ φάσμα χρήσεων.

Συνολικά, η καινοτομία της εγκατάστασης κατακόρυφων ανεμογεννητριών σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς την κατεύθυνση της βιώσιμης ενέργειας και της πράσινης μετάβασης. Η εφαρμογή της σε μεγάλη κλίμακα μπορεί να έχει θετικό αντίκτυπο τόσο στο περιβάλλον όσο και στην οικονομία και να προωθήσει ένα βιώσιμο μέλλον για τις επόμενες γενιές.

Βιβλιογραφία

Agency, E. E., 2020. *Atmospheric greenhouse gas concentrations, Indicator Assessment -Data and maps.*, s.l.: s.n.

Alkaff, S., YAP, T. C. & Lim Boon Kian, 2016. s.l.: s.n.

Anjum, Z. και συν., 2016. *Common vertical axis Savonius-Darrieus wind turbines for low wind speed highway applications.* 85-90., s.l.: Technical Journal, University of Engineering and Technology.

Ara Ibrahim, A., Abdullah Fadhil, A., Zhalin Khalil & Azad, R., 2019. *Design Project REPORT ENGR-491&492: Highway Vertical Axis Wind Turbines with Vortex Generators*, s.l.: s.n.

Ayar, B., Yalçın, Z. G. & Dağ, M., 2023. *"Harvesting the Wind: A Study on the Feasibility and Advancements of Wind Energy in Turkey."*, s.l.: Harvesting the Wind.

B.Gopinath, D. και συν., 2020. *Wind Tree Turbine Energy Conversion System.*
[Ηλεκτρονικό]
Available at: https://ijsret.com/wp-content/uploads/2020/05/IJSRET_V6_issue3_335.pdf

Bavchakar, A. e. a., 2018. *"A hybrid model of vertical axis wind turbine-solar power generation for highway and domestic application."*, s.l.: IEEE.

Bhongade, M. A. N., Pratiksha A. Padghan, P. N. Y. & et al., .., 2020. *Hybrid Power Generation for Highway Application*, India: International Journal of Advances in Engineering and Management(IJAEM).

Bhutta, M. M. A., 2012. *Google Scholar*, s.l.: s.n.

Bumbera, J., 2022. *Vertical Wind Turbine - a Critical Approach*, s.l.: s.n.

Busch, R., 2024. *Hannover Messe*, s.l.: s.n.

Dimitrijevic, A., 2009. *Project Ideas*, s.l.: s.n.

Gates, B., 2021. *How to avoid a climate disaster: the solutions we have and the breakthroughs we need.* s.l.:Vintage..

Hod. Dr. B.Gopinath, και συν., 2020. *Wind Tree Turbine Energy Conversion System*, Tiruchengode,India: Dept. of EEE Vivekanandha college of technology for women.

Kanagaraj, D., 2024. *indiamart*, s.l.: s.n.

Kaustubhasai, N. & Balachandra, T. C., 2022. *Kaustubhasai, N., and T. C. Balachandra. "Design and fabrication of hybrid system for highway power generation."*, Springer Singapore: Advances in Renewable Energy and Electric Vehicles: Select Proceedings of AREEV 2020.

- Kerem Deveci, Papatya, S. & Broere, J., 2018. *Enlil*, Turkey: Devecitech.
- Kunkel, L. C. & Hall, D. M. , 2020. *The case of highway vertical-axis wind turbines in the United States.*, s.l.: Energy Research & Social Science.
- Lund, H., 2022. *Smart energy Denmark. A consistent and detailed strategy for a fully decarbonized society*, s.l.: s.n.
- Nagib, K. N. και συν., 2021. *Nagib, K. N., Elfawal, A. H., Elsaid, N. E., Gerges, M. A., Ebrahim, S. R., & Gouda, M. M.). Savonius Wind Turbine and Solar Panels Road Electric Station. (Vol. 5, No. 5, pp. 255-262).*, s.l.: In The International Undergraduate Research Conference.
- Rana, S., Roy, B., Saha, B. B. & Ghosh, S., 2022. *Energy Harvesting from Highway Traffic Vehicles Movement via VAWT*, s.l.: s.n.
- Santhakumar & Ilamathi, P., 2019. *Building a low cost wind turbine in highways for rural house electricity demand, Environmental Progress & Sustainable Energy 38.1*, s.l.: s.n.
- Santhakumar, S., Ilamathi, P. & Krishnanand, V., 2018. "An experimental study on the rotational behaviour of a Savonius wind turbine for two-lane highway applications.", s.l.: Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering 40.
- Santhakumar, S., Palanivel, I. & Venkatasubramanian, K., 2017. A study on the rotational behaviour of a Savonius Wind turbine in low rise highways during different monsoons. . Στο: coinmbatore, india: Energy for Sustainable Developmen, pp. 1-10.
- Sayais, S. Y., Salunkhe, G. P., Patil, P. G. & Khatik, M. F., 2018. *Power generation on highway by using vertical axis wind turbine & solar system*, s.l.: International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET).
- Sharpe, T., 2010. The Role of Aesthetics, Visual and Physical Integration in Building Mounted Wind Turbines—An Alternative Approach.. Στο: *In Paths to Sustainable Energy*. s.l.:IntechOpen, pp. pp. 279-300.
- Shoib, A. R. και συν., 2021. *Performance Evaluation of Vertical Axis Wind Turbine on Highways.* , s.l.: IOP Publishing.
- Srinivas, T. A. και συν., 2022. *Smart Highway Technique using Wind Turbine with Vertical Axis*, s.l.: IEEE.
- Surugiu, L. & Paraschivoiu, I., 2014. "Acceptability, environmental and social aspects of wind energy.", Routledge: 1999 European Wind Energy Conference..
- Surugiu, L. & Paraschivoiu, I., 2014, January. Acceptability, environmental and social aspects of wind energy. (pp. 586-589).. Στο: *n 1999 European Wind Energy Conference*. s.l.: 1999 European Wind Energy Conference.
- XPRT, E., 2019. *Enlil Vertical Axis Wind Turbine*, s.l.: Devecitech.
- Αρπουδή, Χ., 2018. *Κλιματική αλλαγή και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: μια οικονομική ανάλυση για την περίπτωση της ΕΕ.*, s.l.: s.n.

Γρηγοριάδης, Α. Χ., 2019. *Η λιγνιτική ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα σε συνάρτηση με το ρυθμιστικό πλαίσιο για το περιβάλλον.*, s.l.: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,.

Δάγκας, Δ., 2019. . *"Η σημασία του διοξειδίου του άνθρακα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και την κλιματική αλλαγή."*, s.l.: s.n.

ΗΜΕΡΗΣΙΑ, 2024. *ΗΜΕΡΗΣΙΑ*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://www.imerisia.gr/epiheiriseis/87658_admie-hronia-rekor-2023-gia-tin-kathari-energeia-stin-ellada

Κουράκης, Ν. & Καρακωνσταντής, Μ., 2020. *"Μελέτη και κατασκευή ανεμογεννήτριας κατακόρυφου άξονα.*, s.l.: s.n.

Ραβάνη, Μ. Θ., 2023. *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Προβλέψεις. MS thesis.*, s.l.: Πανεπιστήμιο Πειραιώς,.

Σκάγκου, Ε., 2015. *"Φαινόμενο θερμοκηπίου."*, s.l.: s.n.

ΣΚΟΥΝΤΟΥΜΗΣ, Π., 2023. 3.ΜΟΝΑΔΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ. Στο: *"ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΕ ΣΤΑΘΜΟ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ."* s.l.:s.n.

Τσακαλάκης, Κ., 2014. *"Παραγωγή ενέργειας από συμβατικά ορυκτά καύσιμα και εναλλακτικές πηγές ενέργειας."* Σημειώσεις, Αναπλ. Καθηγητής, Σχολή Μεταλλείων-Μεταλλουργών ΕΜΠ, s.l.: s.n.

