



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**«ΠΗΓΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΚΑΙ ΚΑΘΕΤΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ  
ΚΑΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»**

ΥΠΟ

ΠΑΡΑΔΕΙΣΗΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΤΑΥΡΟΥΛΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με το πέρας της παρούσης διπλωματικής, φτάνοντας προς το τέλος αυτού του ταξιδιού και κλείνοντας έναν μεγάλο κύκλο, νιώθω την ανάγκη να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όσους συνέβαλαν για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός.

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή και επιβλέπων της διπλωματικής μου κ. Γεώργιο Σταυρουλάκη, ο οποίος δέχθηκε με μεγάλη προθυμία να αναλάβει να με καθοδηγήσει στην εργασία αυτή.

Έπειτα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και συμφοιτητές μου για την στήριξη τους τόσο σε ψυχολογικό όσο και σε πρακτικό κομμάτι, κάθε φορά που κάποια δυσκολία παρουσιαζόταν.

Τέλος, την μεγαλύτερη ευγνωμοσύνη μου την χρωστάω στους γονείς μου, που ήταν εκεί από την πρώτη μέχρι και την τελευταία μέρα να με στηρίζουν ανυπέρβλητα, τόσο ψυχολογικά όσο και οικονομικά.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....</b>	<b>2</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>4</b>
<b>1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΓΕΝΙΚΑ.....</b>	<b>5</b>
<b>2.ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....</b>	<b>7</b>
2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΑΓΟΡΑΣ .....	8
2.2 ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ.....	13
<b>3. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ .....</b>	<b>18</b>
3.1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ .....	18
3.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΓΟΡΑΣ .....	20
3.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ .....	22
3.4 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΣ .....	27
<b>4. ΘΟΡΥΒΟΣ.....</b>	<b>35</b>
4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ.....	35
4.2 ΘΟΡΥΒΟΣ ΚΑΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ .....	36
<b>5.ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....</b>	<b>41</b>
5.1 Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ.....	41
5.2 ΘΟΡΥΒΟΣ .....	46
5.3 ΣΥΝΟΨΗ.....	49
5.4 ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ .....	50
<b>ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....</b>	<b>55</b>
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>57</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>58</b>

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάπτυξη και η ανάδειξη ενός πολιτισμού, είναι άμεσα συνδεδεμένες με την αυξημένη κατά κεφαλήν ενεργειακή κατανάλωση. Θεωρείται πως η ενέργεια είναι ζωτικής σημασίας για την κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη και βελτίωση της ποιότητας ζωής και όπως χαρακτηριστικά αναφέρει ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών η ενέργεια είναι το επίκεντρο σε σχεδόν κάθε μεγάλη πρόκληση και ευκαιρία που αντιμετωπίζει ο κόσμος σήμερα. Η ενέργεια, από την παραγωγή και διαχείριση ενεργειακών πόρων μέχρι και την κατανάλωση, είναι συστατικό απαραίτητο για κάθε λογής οικονομική δραστηριότητα. Δυστυχώς όμως, η παραγωγή ενέργειας τα περασμένα χρόνια ήταν συνυφασμένη με την ρύπανση του περιβάλλοντος, γεγονός που σε συνδυασμό με την εξάντληση των ορυκτών πόρων, καθιστούν σήμερα τον πλανήτη μας σε κατάσταση ανάγκης για παραγωγή βιώσιμης και ανεξάντλητης ενέργειας. Εάν στα παραπάνω συνυπολογιστεί και η όλο και αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια παγκοσμίως, γίνεται αντιληπτό πως αποτελεί μονόδρομο, η επιστημονική κοινότητα να λάβει δραστικά μέτρα.

Έτσι, ο 21ος αιώνας πλην άλλων σηματοδοτεί την εποχή της ενεργειακής μετάβασης και στο πλαίσιο αυτό, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αναδεικνύονται ως ένας από τους πιο ελπιδοφόρους τομείς για την εξασφάλιση της βιώσιμης ενεργειακής παραγωγής και τη μείωση του έντονου περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Στην εποχή της ενεργειακής μετάβασης, λοιπόν, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αναδεικνύονται ως πρωταγωνιστές στην εν λόγω προσπάθεια για την αειφόρο ενεργειακή παραγωγή και με τη σειρά της η επιστημονική κοινότητα προωθεί την έρευνα και την ανάπτυξη τεχνολογιών για την αξιοποίηση αυτών. Αναμφίβολα, η δραστική μετάβαση προς αυτές τις τεχνολογίες για να διασφαλιστεί ένα βιώσιμο μέλλον για τον πλανήτη μας είναι αναγκαία. Όσον αφορά την βασική τεχνολογία εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας, τις ανεμογεννήτριες, που αποτελούν σημαντικό τμήμα των Α.Π.Ε., παρουσιάζουν ακόμη έντονα περιθώρια βελτίωσης που παραμένουν αναξιοποίητα. Η παρούσα εργασία μελετά έναν σημαντικό παράγοντα χάρη στον οποίο η εν λόγω τεχνολογία παραμένει αναξιοποίητη, που είναι ο θόρυβος που προκαλείται κατά την λειτουργία των ανεμογεννητριών. Ο θόρυβος, είναι γεγονός πως αποτελεί βασική αιτία αποθάρρυνσης εγκατάστασης Α/Γ σε αστικά περιβάλλοντα, παρ' ότι τα οφέλη που θα είχε μία τέτοια εγκατάσταση ποικίλουν. Στο πλαίσιο αυτό λοιπόν, η παρούσα εργασία μελετά τις πηγές θορύβου οριζόντιων και κάθετων ανεμογεννητριών και την εγκατάσταση αυτών σε αστικά περιβάλλοντα.

## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΓΕΝΙΚΑ

Η διασύνδεση μεταξύ της ενεργειακής κατανάλωσης και της ανάπτυξης του πολιτισμού είναι σημαντική, αντανakλώντας μια δυναμική αμοιβαία επίδραση. Καθώς οι τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας βελτιώνονται, παρέχουν τη βάση για περαιτέρω ανάπτυξη των καθημερινών λειτουργιών του πολιτισμού (Παγκόσμιος Οργανισμός Ενέργειας, 2021). Αντιθέτως, η επιδίωξη βελτίωσης της καθημερινής ζωής, ενθαρρύνει την ανάπτυξη και εφαρμογή πιο προηγμένων ενεργειακών τεχνολογιών. Σε αυτό το πλαίσιο, η αυξανόμενη ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια και η ανάγκη για ένα βιώσιμο ενεργειακό μοντέλο, που στηρίζεται σε ανεξάντλητες πηγές, είναι πιο επιτακτική από ποτέ (Smith et al., 2019).

Επικεντρώνοντας στην αιολική ενέργεια ως κεντρικό άξονα της ενεργειακής μετάβασης, η παρούσα εργασία αναλύει τη δυνατότητα επέκτασης της εγκατεστημένης ισχύος των ανεμογεννητριών. Οι τοποθεσίες στις οποίες οι ανεμογεννήτριες μπορούν να τοποθετηθούν ποικίλλουν, από αγροτικές εκτάσεις και πάρκα μέσα στη θάλασσα μέχρι αστικά περιβάλλοντα, κάθε ένα με τις δικές του προκλήσεις και δυνατότητες. Ωστόσο, η εγκατάστασή τους, ειδικά σε αστικές περιοχές, συναντά τη σημαντική πρόκληση του θορύβου που προκαλούν κατά τη λειτουργία τους. Αυτός ο θόρυβος, πέρα από την ενδεχόμενη ενόχληση των κατοίκων, θέτει ζητήματα συμβατότητας με το αστικό περιβάλλον και απαιτεί στοχευμένες τεχνολογικές και σχεδιαστικές προσαρμογές για την ελαχιστοποίησή του (Jones & Williams, 2020). Η παρούσα εργασία προσεγγίζει την πρόκληση αυτή μέσα από μια σειρά βιβλιογραφικών αναλύσεων και επί μέρους ποσοτικών μελετών, εξετάζοντας την εξέλιξη των αιολικών τεχνολογιών και τις στρατηγικές για τη μείωση του θορύβου. Επιπλέον, καταγράφει τις πιθανές πηγές θορύβου των ανεμογεννητριών και προτείνει τρόπους για την ελαχιστοποίηση της επίδρασής τους, ιδιαίτερα στο αστικό πλαίσιο, προκειμένου να επιτρέψει μια πιο ομαλή και αποδεκτή ένταξη των αιολικών συστημάτων στη σύγχρονη ενεργειακή υποδομή (GreenTech Solutions, 2022).

Παρακάτω, παρατίθενται οι βασικές κατηγορίες – πηγές ενέργειας, τόσο για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) όσο και για τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

- Μη Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας  
Αποτελούνται από τα ορυκτά καύσιμα καθώς και από την πυρηνική ενέργεια:
  - Η «παραδοσιακή» βιομάζα
  - Τα στερεά καύσιμα των γαιανθράκων, όπως ο λιγνίτης και ο άνθρακας
  - Τα υγρά καύσιμα, που προκύπτουν έπειτα από επεξεργασία των γαιανθράκων (λ.χ. πετρέλαιο, βενζίνη)

- Τα αέρια καύσιμα (λ.χ. φυσικό αέριο, υγραέριο)
- Η πυρηνική ενέργεια, η οποία παράγεται μέσω σχάσης ή σύντηξης ατομικών πυρήνων
- **Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας:**  
Αποτελούν τεχνολογίες, μέσω των οποίων αξιοποιούνται στοιχεία ή φαινόμενα του φυσικού μας περιβάλλοντος, όπως:
  - Ο ήλιος (ηλιακή ενέργεια)
  - Ο άνεμος (αιολογική ενέργεια)
  - Οι υδατοπτώσεις (υδροηλεκτρική ενέργεια)
  - Η γεωθερμία (γεωθερμική ενέργεια)
  - Οι θάλασσες (ενέργεια κυμάτων, παλιρροϊκή ενέργεια)
  - Μοντέρνα Βιομάζα

## 2.ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η παραγωγή ενέργειας σήμερα βρίσκεται σε ένα σημείο κρίσης και αλλαγής. Η εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα, ναι μεν εξασφαλίζει την ενέργεια που απαιτείται για την υποστήριξη της σύγχρονης οικονομίας, αλλά οδηγεί σε αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, συμβάλλοντας στην κλιματική αλλαγή, και προκαλώντας σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (World Health Organization, 2018). Περίπου τα τρία τέταρτα των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προέρχονται από την παραγωγή ενέργειας μέσω ορυκτών καυσίμων (International Energy Agency, 2020), γεγονός που υποδηλώνει πως η ανάγκη για μετάβαση σε πιο βιώσιμες μορφές ενέργειας, είναι επιτακτική.

Η υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή, η αιολική, και η υδροηλεκτρική, κρίνεται καθοριστική αν επιθυμούμε να κατευθυνθούμε προς μια βιώσιμη ενεργειακή μελλοντική προοπτική. Αυτές οι πηγές παρέχουν καθαρή, ανεξάντλητη ενέργεια και συμβάλλουν τα μέγιστα στη μείωση των εκπομπών που προκαλούν κλιματική αλλαγή και ατμοσφαιρική ρύπανση (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2021).

Για να καταστεί εφικτή η επίτευξη της ενεργειακής μετάβασης απαιτείται η υποστήριξη από κυβερνητικές πολιτικές, τεχνολογική καινοτομία, και ενεργή συμμετοχή της κοινωνίας. Η εστίαση στην ενεργειακή απόδοση και η έξυπνη διαχείριση των πόρων μπορεί να μειώσει τη συνολική ζήτηση για ενέργεια, ενώ η έρευνα και η ανάπτυξη σε νέες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας καθιστούν τις ανανεώσιμες πηγές πιο αξιόπιστες και αποδοτικές. Η ανάπτυξη σύγχρονων δικτύων μεταφοράς και διανομής ενέργειας που υποστηρίζουν την ενσωμάτωση διαφόρων πηγών ανανεώσιμης ενέργειας είναι επίσης κρίσιμη (European Commission, 2022).

Η προώθηση ευρύτερης αποδοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας απαιτεί επίσης εκπαίδευση και ενημέρωση του κοινού σχετικά με τα οφέλη τους, τόσο για το περιβάλλον όσο και για την οικονομία. Η κατανόηση της αξίας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από το κοινό μπορεί να ενισχύσει την κοινωνική υποστήριξη για πολιτικές και πρωτοβουλίες που προάγουν την ανανεώσιμη ενέργεια (International Renewable Energy Agency, 2021).

Η πολιτική και οικονομική υποστήριξη σε τοπικό, εθνικό και διεθνές επίπεδο είναι καίρια για την επίτευξη των στόχων αυτής της ενεργειακής μετάβασης. Η διεθνής συνεργασία και η ανταλλαγή γνώσης και τεχνολογίας μπορούν να επιταχύνουν την υιοθέτηση και την εφαρμογή ανανεώσιμων λύσεων παγκοσμίως (United Nations, 2022).

Συνοψίζοντας, η παραγωγή ενέργειας βρίσκεται σε μια κρίσιμη καμπή προς τη βιωσιμότητα. Η μετάβαση προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν αποτελεί απλώς έναν περιβαλλοντικό στόχο, αλλά μια ολοκληρωμένη στρατηγική που

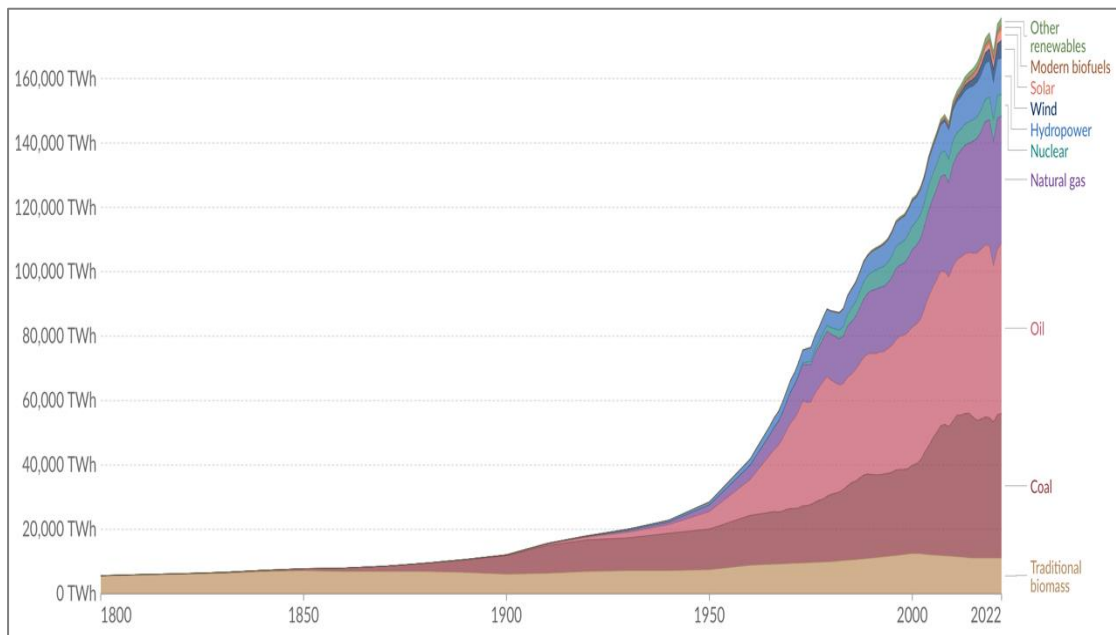
ενσωματώνει τεχνολογική ανάπτυξη, οικονομική ευκαιρία, και κοινωνική μετάβαση. Η δέσμευση στην προώθηση και εφαρμογή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να οδηγήσει σε ένα πιο βιώσιμο και ευημερούν μέλλον για όλους, εξασφαλίζοντας παράλληλα την ενεργειακή ασφάλεια και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων. Η παγκόσμια προσπάθεια για μια καθαρότερη, πιο δίκαιη και ανθεκτική ενεργειακή σύσταση απαιτεί συνεργασία, καινοτομία και διαρκή δέσμευση από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς (Global Environment Facility, 2023).

## 2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΑΓΟΡΑΣ

Σήμερα, όταν σκεφτόμαστε τα μείγματα ενέργειας, σκεφτόμαστε για μια ποικιλία πηγών που αποτελείται από άνθρακα, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, πυρηνική ενέργεια, υδροηλεκτρική ενέργεια, ηλιακή, αιολική ενέργεια, βιοκαύσιμα. Αλλά αν κοιτάξουμε λίγο πιο παρελθοντικά, πριν από μερικούς αιώνες, τα μείγματα ενέργειας μας ήταν σχετικά ομοιογενή και η μετάβαση από μια πηγή σε μια άλλη ήταν εξαιρετικά αργή.

Μέχρι τα μέσα του 19ου αιώνα, η παραδοσιακή βιομάζα - η καύση στερεών καυσίμων όπως ξύλο, απόβλητα καλλιεργειών ή κάρβουνο - ήταν η πιο διαδεδομένη πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείτο σε όλο τον κόσμο. Με την Βιομηχανική Επανάσταση έγινε η εκπληκτική άνοδος του άνθρακα και κατά την μετάβαση στον 20<sup>ο</sup> αιώνα, περίπου το ήμισυ της ενέργειας παγκοσμίως προερχόταν από τον άνθρακα, και το άλλο μισό προερχόταν ακόμη από τη βιομάζα.

Κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα, ο κόσμος υιοθέτησε μια ευρύτερη γκάμα πηγών ενέργειας. Αρχικά, μετά τον άνθρακα που διαδέχθηκε την παραδοσιακή βιομάζα, έκανε την εμφάνιση του το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, και στη συνέχεια η υδροηλεκτρική ενέργεια, ενώ μέχρι το 1960 είχε προστεθεί και η πυρηνική ενέργεια. Αυτό που συχνά αναφέρεται ως "σύγχρονες ανανεώσιμες πηγές" - η ηλιακή και η αιολική ενέργεια - προστέθηκαν αργότερα, στη δεκαετία του 1980.



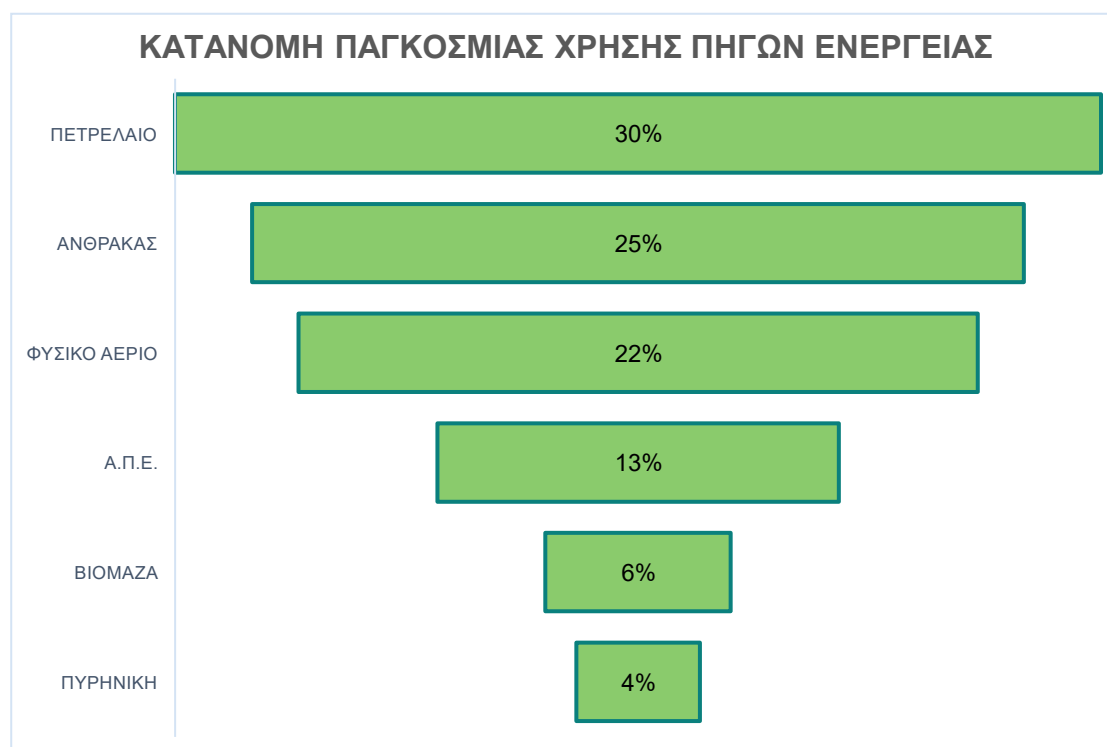
Σχήμα 1: Χρήση πηγών ενέργειας ανά έτος

Από την γραφική απεικόνιση της παγκόσμιας χρήσης ενέργειας του παραπάνω σχήματος, αυτό που ξεχωρίζει σε μια χρονική αναδρομή 200 ετών, εκτός από τον διαρκώς ανοδικό ρυθμό αύξησης της, είναι πως οι μεταβάσεις σε διαφορετικές πηγές ενέργειας ήταν πολύ αργές στο παρελθόν. Χρειάστηκαν πολλές δεκαετίες - ακόμη και έναν αιώνα - για μια συγκεκριμένη πηγή ενέργειας να γίνει κυρίαρχη. Ενώ αυτό ισχύει για το παρελθόν, η σύγχρονη πραγματικότητα είναι διαφορετική. Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως η ανάπτυξη των νέων τεχνολογιών, γίνεται πλέον πολύ πιο άμεσα, με τις τεχνολογίες αυτές να εγκαθιδρύονται και να αποδίδουν σημαντικά ποσοστά ενέργειας σε πολύ μικρότερο διάστημα. Ορισμένες πρόσφατες μεταβάσεις που συνέβησαν πολύ γρήγορα είναι οι ακόλουθες. Στο "Ηνωμένο Βασίλειο", περίπου τα δύο τρίτα της ηλεκτρικής ενέργειας προερχόταν από ηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας από άνθρακα το 1990. Μέχρι το 2010, αυτό είχε μειωθεί κάτω από το ένα τρίτο με αποκορύφωμα, την δεκαετία που ακολούθησε να μειωθεί περίπου στο 1%. Παρ' όλα αυτά, η προσπάθεια του Ηνωμένου Βασιλείου δεν είναι αρκετή, αφού απ' ότι βλέπουμε τόσο στο διάγραμμα εξέλιξης, όσο και στο διάγραμμα ποσόστωσης της παραγωγής ενέργειας για το 2022, τα ποσοστά των μη ρυπογόνων, ανεξάντλητων πηγών ενέργειας είναι πολύ μικρά σε σχέση με αυτά των ρυπογόνων ορυκτών καυσίμων.

Όπως αποτυπώνεται και στο διάγραμμα, παγκοσμίως παράγουμε το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας από το πετρέλαιο και ακολουθούν κατά σειρά ο άνθρακας (κάρβουνο), το φυσικό αέριο και ύστερα οι ανανεώσιμες πηγές, από τις οποίες η υδροηλεκτρική κατέχει την πρώτη θέση.

Επεξηγηματικά, ο όρος ενεργειακό μείγμα που χρησιμοποιείται παραπάνω, αναφέρεται στον συνδυασμό των διάφορων πηγών που χρησιμοποιούνται για την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Αυτές οι πρωτογενείς πηγές ενέργειας χρησιμοποιούνται, για παράδειγμα, για την:

- παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας,
- παροχή καυσίμων για μεταφορά
- θέρμανση ή ψύξη.



Σχήμα 2 Κατανομή παγκόσμιας χρήσης πηγών ενέργειας

Η σύνθεση του μείγματος ενέργειας διαφέρει σημαντικά από μια χώρα ή μια περιοχή σε μία άλλη και μπορεί να αλλάξει σημαντικά ανάλογα με την περίοδο. Χαρακτηριστικά στην Ευρώπη, οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (17%) και η πυρηνική ενέργεια (11%) είναι πιο ανεπτυγμένες, αλλά τα ορυκτά καύσιμα παραμένουν η κυρίαρχη πηγή ενέργειας (72%).

Ωστόσο, εάν εξετάσουμε μόνο τη Γαλλία (μέλος της Ε.Ε.), η κατανομή δείχνει μια εντελώς διαφορετική εικόνα λόγω της ισχυρής παρουσίας της πυρηνικής ενέργειας (38,5%). Το ποσοστό των ανανεώσιμων τεχνολογιών ενέργειας, βρίσκεται κάτω από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο στο 10,4%, ενώ ο άνθρακας αποτελεί μόλις το 3,4% του συνόλου.

Αντίθετα, τόσο στην Κίνα όσο και την Ινδία, ο άνθρακας αντιπροσωπεύει σχεδόν το 60% του ενεργειακού μείγματος και ενώ και οι δύο χώρες ηγούνται μεγάλων προσπαθειών για την ανάπτυξη τεχνολογιών Α.Π.Ε., ο άνθρακας εξακολουθεί να αποτελεί την επικρατέστερη επιλογή καθώς οι ανάγκες των

γρήγορα αναπτυσσόμενων οικονομιών τους το επιβάλλει. Η επιλογή αυτή οφείλεται στα χαρακτηριστικά κόστους και σταθερότητας του άνθρακος, στο ότι δηλαδή μονάδες ηλεκτροπαραγωγής που χρησιμοποιούν άνθρακα μπορούν να παράγουν ενέργεια σε σταθερή βάση, ανεξαρτήτως συνθηκών, με χαμηλό κόστος παραγωγής.

Όσον αφορά τις Ηνωμένες Πολιτείες, παρόλο που στο άμεσο παρελθόν έχουν υπάρξει εξαρτημένες σε μεγάλο βαθμό από τον άνθρακα και το πετρέλαιο, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σταδιακή μείωση στην κατανάλωση τους, σε σημαντικό μάλιστα βαθμό, (ιδίως η κατανάλωση άνθρακα) λόγω της άνθησης του φυσικού αερίου και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ενδεικτικά η χώρα έχει κλείσει το ένα τρίτο των ορυχείων της από τις αρχές του αιώνα και το 2021, ο Πρόεδρος των ΗΠΑ, Joe Biden, ανακοίνωσε στόχους για τη μείωση των εκπομπών κατά 50-52% έως το 2030 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2005. Αυτό συνεπάγεται πως οι ΗΠΑ επιδιώκουν να επιτύχουν περισσότερη αειφορία και να επενδύσουν στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και το επιτυγχάνουν μέσω του Γραφείου Αποδοτικότητας και Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (EERE) που υπάγεται στο Υπουργείου Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών. Ο εν λόγω φορέας αποτελείται και βασίζεται σε τρεις κύριους πυλώνες:

- |                                     |                       |                              |
|-------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| • Παραγωγή<br>Πράσινης<br>Ενέργειας | • Βιώσιμη<br>Μεταφορά | • Αποδοτικότητα<br>Ενέργειας |
|-------------------------------------|-----------------------|------------------------------|

Με αυτόν τον τρόπο, οι προσπάθειες των Η.Π.Α. για καταπολέμηση των επιβλαβών πηγών ενέργειας και καθίδρυση των ανανεώσιμων, αποτελεί παράδειγμα προς μίμηση και για τις υπόλοιπες χώρες.

Στον πίνακα που ακολουθεί περιλαμβάνεται μία συγκεντρωτική, συνοπτική καταγραφή των δεδομένων κάθε πηγής.

*Πίνακας 1: Συγκεντρωτική περιγραφή πηγών ενέργειας*

Πρωτογενής Μορφή Ενέργειας	Τεχνολογία Παραγωγής	Εκπομπή Αέριων Ρύπων	Άλλες Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις
Άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο	Θερμοηλεκτρικά εργοστάσια	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , VOC, τέφρα	Εξάντληση αποθεμάτων, ρύπανση περιβάλλοντος
Πυρηνικό καύσιμο	Πυρηνικοί αντιδραστήρες ισχύος	-	Πυρηνικά απόβλητα, πυρηνικά όπλα, πυρηνικά ατυχήματα
Βιομάζα	Θερμοηλεκτρικά εργοστάσια	CO <sub>2</sub> , SO <sub>x</sub> , VOC, τέφρα	Αποξήλωση δασών
Υδατόπτωση	Υδροηλεκτρικά εργοστάσια	-	Επιδράσεις σε βιοτόπους, κίνδυνοι πρόκλησης σεισμών ή ατυχημάτων από αστοχία φραγμάτων
Αιολική ενέργεια	Αιολικά πάρκα	-	Οπτική όχληση, εκπομπές θορύβου, επιδράσεις σε πουλιά, σκίαση, χρήσεις γης
Ηλιακή ακτινοβολία	Φωτοβολταϊκά πάρκα	-	Δέσμευση μεγάλων εκτάσεων γης, οπτική όχληση

Αναφορικά με την αιολική ενέργεια, παρ' ότι η τεχνολογία δεν εμπεριέχει την εκπομπή ρύπων, οδηγεί σε άλλου είδους συνέπειες, όπως:

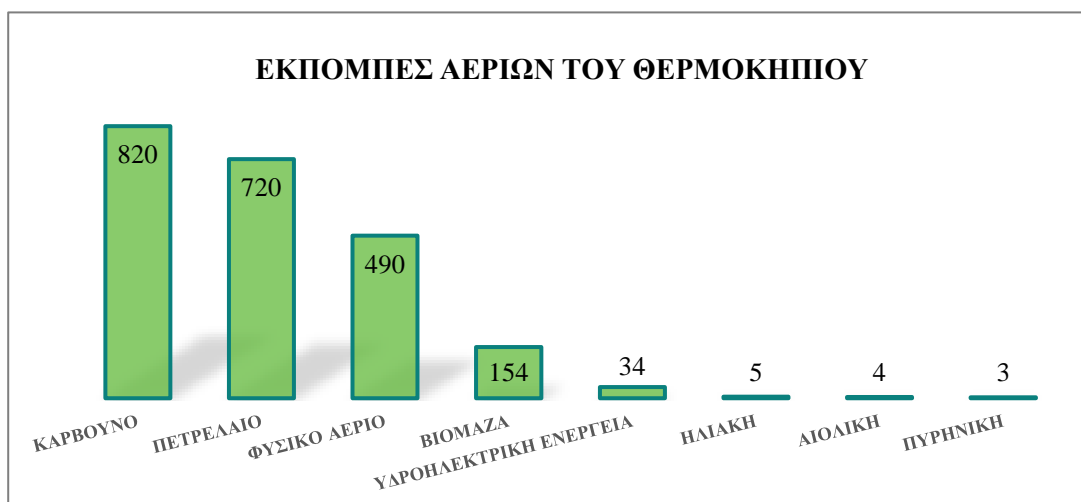
- Οπτική όχληση,
- Εκπομπές θορύβου,
- Επιδράσεις σε πουλιά,
- Σκίαση,
- Χρήση γης

## 2.2 ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ

Παρά τα σημαντικά οφέλη που προσφέρει η ενέργεια, η παραγωγή της μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, κυρίως μέσω δύο τρόπων:

- **Ατμοσφαιρική Ρύπανση:** Η χρήση ορυκτών καυσίμων και η καύση βιομάζας, όπως ξύλο, κοπριά, και κάρβουνο, συντελούν στην ατμοσφαιρική ρύπανση, προκαλώντας εκατομμύρια πρόωρους θανάτους ετησίως. Παράλληλα, η εκπομπή αερίων θερμοκηπίου, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, συμβάλλει καθοριστικά στην κλιματική αλλαγή. Σύμφωνα με την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας, η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι υπεύθυνη για εκατομμύρια θανάτους κάθε χρόνο, με τα ορυκτά καύσιμα να αποτελούν την κύρια αιτία (WHO, 2021).
- **Ατυχήματα:** Τα ατυχήματα στη διάρκεια της εξόρυξης, μεταφοράς, και εξαγωγής ορυκτών καυσίμων, όπως άνθρακας, ουράνιο, σπάνια μέταλλα, πετρέλαιο και φυσικό αέριο, αποτελούν σοβαρό κίνδυνο. Επίσης, συμπεριλαμβάνονται τα ατυχήματα κατά την κατασκευή και συντήρηση των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας (IEA, 2020).

Κάθε πηγή ενέργειας έχει και το δικό της περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Τα ορυκτά καύσιμα, που αποτελούν τις πιο ρυπογόνες πηγές ενέργειας βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα, εκπέμπουν τα περισσότερα αέρια του θερμοκηπίου ανά μονάδα ενέργειας παραγωγής. Συγκριτικά, η αιολική ενέργεια και άλλες ανανεώσιμες πηγές προκαλούν σημαντικά λιγότερους ρύπους, καθώς η μοναδική πηγή ρύπανσης που τους πιστώνεται είναι αυτή που οφείλεται στην εγκατάστασή τους. Η συνεχής βελτίωση των τεχνολογιών αιολικής ενέργειας προσφέρει ευκαιρίες για ακόμη περισσότερο μειωμένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Πιο συγκεκριμένα, στο παρακάτω διάγραμμα αποτυπώνεται το προκαλούμενο αποτύπωμα για την κάθε πηγή ενέργειας, το οποίο αφορά στο αποτύπωμα της εκάστοτε αναγραφόμενης πηγής ενέργειας, ανά Gigawatt-hour (Gigawatt-ώρα), που αντιστοιχεί στην ετήσια κατανάλωση 150 Ευρωπαίων.

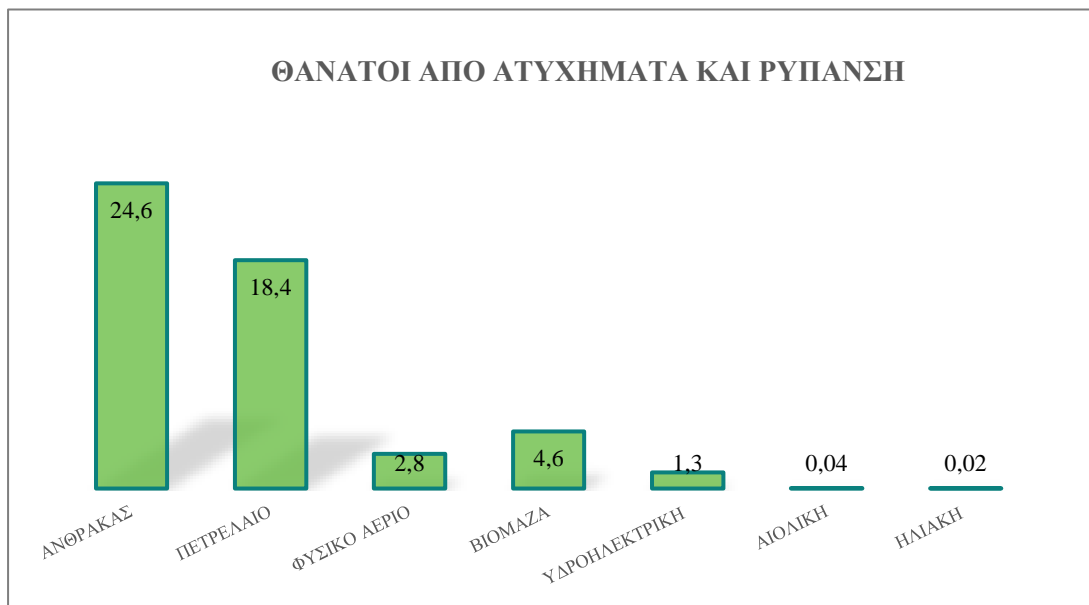


Σχήμα 3 Εκπομπές ανά πηγή ενέργειας

Είναι αξιοσημείωτο πως οι τρεις βασικές πηγές ενέργειας είναι και οι πιο ρυπογόνες, με το πετρέλαιο μάλιστα που είναι η βασικότερη εξ αυτών, να εκπέμπει 180 φορές περισσότερο μονοξείδιο του άνθρακα, απ' ότι οι τεχνολογίες της αιολικής ενέργειας, που οι ρύποι της μάλιστα οφείλονται στην εγκατάσταση της. Βέβαια, η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας παρέχει ακόμη σημαντικά περιθώρια εξέλιξης, με τις τεχνολογίες της να επιδέχονται περαιτέρω βελτίωσης.

Ακόμη ένας παράγοντας προς αξιολόγηση των πηγών ενέργειας, είναι οι θάνατοι που η κάθε μία εξ' αυτών προκαλεί. Αυτοί μπορούν να προκληθούν τόσο από εργατικά ατυχήματα κατά την παραγωγή ενέργειας (κατά την εγκατάσταση/συντήρηση όταν πρόκειται για ανανεώσιμη πηγή, κατά την εξόρυξη όταν πρόκειται για ορυκτά καύσιμα), όσο και από την εκπομπή των ρύπων που αναλύθηκαν παραπάνω.

Πιο συγκεκριμένα, παρακάτω αποτυπώνονται προσεγγιστικά οι θάνατοι που προκαλούνται για την παραγωγή μίας Terawatt – ώρας.



Σχήμα 4 Θάνατοι από ατυχήματα και ρύπανση

Οι παραπάνω εκτιμήσεις για τα ορυκτά καύσιμα βασίζονται σε εργοστάσια παραγωγής ενέργειας στην Ευρώπη, τα οποία διαθέτουν καλούς ελέγχους ρύπανσης, και βασίζονται σε παλαιότερα μοντέλα των επιπτώσεων στην υγεία από την ατμοσφαιρική ρύπανση. Είναι λοιπόν πολύ πιθανό, πως ο παγκόσμιος ρυθμός θανάτων από τα ορυκτά καύσιμα, με βάση την πιο πρόσφατη έρευνα για την ατμοσφαιρική ρύπανση να είναι ακόμα υψηλότεροι.

Αξίζει μία ιδιαίτερη αναφορά στην πυρηνική ενέργεια, για την οποία οι κοινές αντιλήψεις σχετικά με την ασφάλεια είναι εσφαλμένες και αυτό οφείλεται στα εξής μεγάλα ατυχήματα:

- το Τσερνομπίλ στην Ουκρανία το 1986,
- τη Φουκουσίμα στην Ιαπωνία το 2011.

Η πυρηνική ενέργεια, παρότι προκαλεί ανησυχίες λόγω των κινδύνων διαρροής ραδιενέργειας, έχει πολύ χαμηλότερο ποσοστό θανάτων σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, πόσο μάλλον εάν εκτός των ατυχημάτων ληφθούν υπόψη και οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Τα περιστατικά του Τσερνομπίλ και της Φουκουσίμα, παρά την έκταση των επιπτώσεων τους, επιβεβαιώνουν ότι η πυρηνική ενέργεια μπορεί να θεωρηθεί σχετικά ασφαλέστερη σε σύγκριση με τις συνέπειες της χρήσης ορυκτών καυσίμων (UNSCAR, 2018).

Όσον αφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η μόλυνση που προκαλείται από τις αντίστοιχες τεχνολογίες, δεν εμπεριέχουν κάποιον κίνδυνο ή εκπομπή ρύπων, παρ' όλα αυτά, η κατασκευή και εγκατάσταση αυτών, μπορεί να έχει αποτύπωμα στο περιβάλλον. Ωστόσο, ο προσεκτικός σχεδιασμός, η επιλογή κατάλληλης τοποθεσίας και οι κατάλληλες πρακτικές λειτουργίας είναι

σημαντικά κριτήρια για να μειωθούν οι πιθανές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Όσον αφορά την επιλογή τοποθεσίας για ανάπτυξη τεχνολογιών Α.Π.Ε., κρίνεται εξαιρετικά σημαντικός παράγοντας για την προστασία του περιβάλλοντος (IEA, Renewables 2020).

### 3. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Είναι αξιοσημείωτο πως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αξιοποιούνται από αρχαιοτάτων ακόμη χρόνων. Παρ' ότι βέβαια τότε δε διέθεταν την τεχνογνωσία και τα τεχνολογικά μέσα για την μετατροπή τους σε ηλεκτρική ενέργεια, αποτελούσε σημαντικό κομμάτι της καθημερινής ζωής. Ενδεικτικά αναφέρεται, πως οι αρχαίοι Έλληνες χρησιμοποιούσαν την αιολική ενέργεια ως κινητήρια δύναμη των θαλάσσιων μέσων τους και ανεμόμυλους και υδρόμυλους για το άλεσμα του σίτου και την άντληση πόσιμου νερού. Ακόμη, χρησιμοποιούσαν την ηλιακή ενέργεια για να θερμάνουν τα σπίτια τους, και μέσω γυάλινου κατόπτρου (πρώτος ο Αρχιμήδης) συγκέντρωναν τις ηλιακές ακτίνες για να καίνε εχθρικά καράβια.



Εικόνα 1: Αιολική ενέργεια



Εικόνα 2: Υδροηλεκτρική ενέργεια



Εικόνα 3: Αιολική ενέργεια



Εικόνα 4: Ηλιακή ενέργεια

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.), όπως αναφέρεται είναι «καθαρές» μορφές ενέργειας, που σημαίνει πως δεν αποδίδουν στην ατμόσφαιρα διοξείδιο του άνθρακα, τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, ενώ συγχρόνως δεν χρειάζεται να γίνει παρέμβαση από τον άνθρωπο όπως εξόρυξη ή καύση, παρά μόνο δημιουργία και εγκατάσταση της εκάστοτε τεχνολογίας. Επομένως είναι ανεξάντλητες πηγές ενέργειας, γι' αυτό τον λόγο και ο άνθρωπος στράφηκε προς αυτές ώστε να προστατεύσει τον πλανήτη.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως έξι είναι οι ανανεώσιμες πηγές από τις οποίες μπορεί να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια, ωστόσο στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται κυρίως τρεις, η ηλιακή, η υδροηλεκτρική και η αιολική. Πιο συγκεκριμένα:

- Ηλιακή Ενέργεια: Αξιοποιείται μέσω συστημάτων που εκμεταλλεύονται το φάσμα ακτινοβολιών του ήλιου. Διακρίνονται σε ενεργητικά ηλιακά

συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε θερμική και στην συνέχεια σε ηλεκτρική και στα φωτοβολταϊκά συστήματα που είναι τα πιο διαδεδομένα, τα οποία μετατρέπουν κατευθείαν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική.

- Υδραυλική Ενέργεια: Εκμεταλλεύεται τις υδατοπτώσεις από έναν ταμιευτήρα και μετατρέπει την υδροδυναμική και κινητική ενέργεια του νερού σε ηλεκτρική με την βοήθεια ενός περιστρεφόμενου πηνίου.
- Αιολική Ενέργεια: Η κινητική ενέργεια που παράγεται από τον άνεμο μετατρέπεται σε μηχανική και στην συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια.

Στην παρούσα διπλωματική, θα αναλυθεί η τελευταία εκ των τριών, ήτοι η αιολική ενέργεια, αλλά καταρχάς κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν ορισμένες βασικές έννοιες που θα χρησιμοποιηθούν παρακάτω:

**Βαθμός απόδοσης ( $\eta$ )** : Ο λόγος της αποδιδόμενης προς την προσφερόμενη ενέργεια σε ένα σύστημα μετατροπής μιας μορφής ενέργειας σε κάποια άλλη.

→ Μετατροπή υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική:  $\eta = 85 - 95 \%$

→ Μετατροπή κινητικής ενέργειας ανέμου σε ηλεκτρική:  $\eta = 35 - 45 \%$

→ Μετατροπή ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική:  $\eta = 15 - 20 \%$

**Ονομαστική Ισχύς** : Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να αποδώσει ένα σύστημα. Μπορεί να υπάρχουν συστήματα σταθερής ισχύος, αλλά η συνηθέστερη περίπτωση είναι μεταβλητής ισχύος όπως συμβαίνει στα αιολικά πάρκα και στους ταμιευτήρες.

**Εγκατεστημένη Ισχύς** : Η συνολική ισχύς ενός συστήματος παραγωγής ενέργειας συμπεριλαμβανομένου και των εφεδρικών μονάδων.

Σήμερα, τα τρία τέταρτα των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προέρχονται από την καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας. Για να αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα την κλιματική αλλαγή, οφείλει να απεμπλακεί από τα ορυκτά καύσιμα και να απανθρακοποιήσει το σύστημα ενέργειας.

Ο πλανήτης μας παράγει μόλις το 16% της ενέργειάς του από χαμηλού άνθρακα πηγές, δηλαδή είτε πυρηνική ενέργεια είτε ανανεώσιμες πηγές. Το ποσοστό αυτό μεταβάλλεται με τα χρόνια και η ανθρωπότητα σίγουρα χρόνο με τον χρόνο κάνει πρόοδο. Χαρακτηριστικά, το 2020 συγκριτικά με τριάντα (30) έτη πριν, η παραγωγή ενέργειας από πηγές χαμηλού άνθρακα έχει τουλάχιστον διπλασιαστεί την ώρα όμως που η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε κατά 3,8 φορές. Τη δεκαετία του 1960, μόνο το 6% της ενέργειάς μας προερχόταν από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή πυρηνική ενέργεια, μα η εκπομπή ρυπογόνων αερίων ήταν μικρότερη.

Ο Morten Dyrholm, πρόεδρος του GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL, , χαρακτηριστικά αναφέρει πως στόχος είναι έως το 2030 να προέρχεται το 61% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, ενώ ο Διεθνής Σύνδεσμος Ενέργειας (IEA) εκτιμά ότι η χωρητικότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα πρέπει να τριπλασιαστεί, και ότι η πλειονότητα αυτής της ανάπτυξης θα προέλθει από την αιολική ενέργεια και την ηλιακή, μέσω φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών.

## 3.1 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

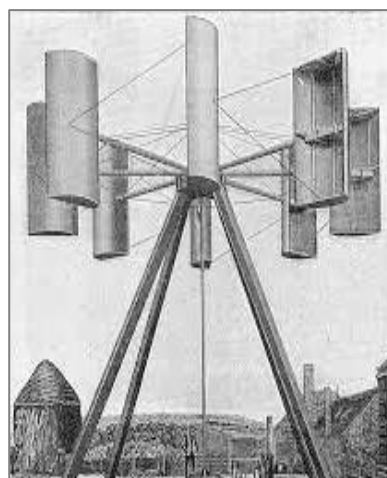
Τα τελευταία χρόνια, η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας έχει αποκτήσει δυναμική ως μέσο παραγωγής καθαρής και βιώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας, οδηγώντας σε αιεφόρο ανάπτυξη και διαδραματίζοντας αυξανόμενο ρόλο στο μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. Μέσω της αξιοποίησης της ενέργειας που περιέχεται στον άνεμο, οι ανεμογεννήτριες συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο και διασφαλίζουν μακροπρόθεσμη επάρκεια, βοηθώντας στην μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε τοπική και παγκόσμια κλίμακα.

### 3.1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η ανθρωπότητα χρησιμοποιεί την αιολική ενέργεια εδώ και χιλιάδες χρόνια, και μάλιστα με αυξανόμενη ένταση. Τα πρώτα σημάδια της ανθρώπινης χρήσης της αιολικής ενέργειας χρονολογούνται από αρχαιότατων χρόνων και συγκεκριμένα υπάρχουν ενδείξεις πως η χρήση της ξεκίνησε γύρω στο 5.000 π.Χ., όταν χρησιμοποιούνταν για την μετάδοση κίνησης σε ναυτικά μέσα κατά μήκος του Νείλου.

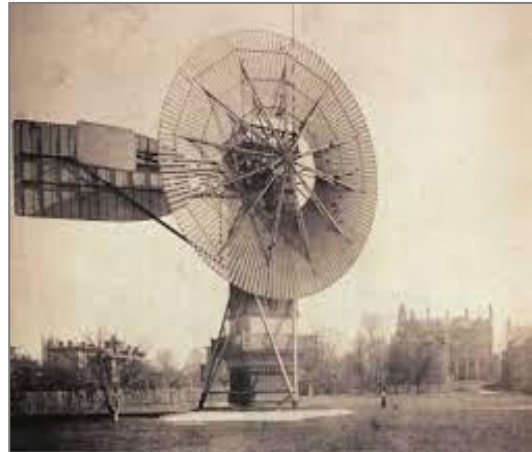
Παρ' ότι κατά την αρχαιότητα η βασικότερη χρήση της αιολικής ενέργειας ήταν η παραπάνω, βρήκε ακόμη χρήση σε άλεσμα σίτου και άντληση νερού για διάφορες χρήσεις.

Το 1887, ο καθηγητής James Blyth του Anderson's College, Glasgow, Σκωτία (τώρα Πανεπιστήμιο Strathclyde), δημιούργησε την πρώτη ανεμογεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την οποία χρησιμοποίησε για να επιτρέψει τον φωτισμό στην εξοχική του οικία. Ενώ επιθυμούσε να μοιραστεί την περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας με το κοντινό χωριό, η προσφορά του απορρίφθηκε, καθώς η δημιουργία του θεωρήθηκε "έργο του διαβόλου". Δυστυχώς, η τεχνολογία του δεν καθιερώθηκε ποτέ, καθώς δεν θεωρήθηκε οικονομικά βιώσιμη.



Εικόνα 5: Πρώτη ανεμογεννήτρια από James Blyth

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, ο Charles F. Brush δημιούργησε την πρώτη αυτόματη ανεμογεννήτρια μεταξύ των ετών 1887 και 1888. Η μηχανή ήταν πολύ μεγαλύτερη από αυτήν του Blyth, με διάμετρο ρότορα 17 μέτρων και τοποθετημένη σε πύργο ύψους 18 μέτρων. Η μηχανή περιστρεφόταν πολύ αργά και είχε 144 πτέρυγες, διαθέτοντας ισχύς μόλις 12 kW. Χρησιμοποιήθηκε μεταξύ των ετών 1888 και 1900, αλλά στη συνέχεια παρέμεινε ανενεργή, μέχρι να εγκαταλειφθεί το 1908.



*Εικόνα 6: Πρώτη αυτόματη ανεμογεννήτρια από τον Charles Brush*

Το 1891, ο δανός επιστήμονας Poul la Cour ανέπτυξε ανεμογεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την οποία χρησιμοποίησε για να δημιουργήσει υδρογόνο μέσω υδρολυτικής ανάλυσης, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τον φωτισμό του Askov Folk High School. Στόχος του ήταν να φέρει την ηλεκτρική ενέργεια στην αγροτική Δανία. Το 1903, ίδρυσε τον Σύλλογο των Ανεμοηλεκτρολόγων και το 1904 ο σύλλογος πραγματοποίησε το πρώτο μάθημα στην ανεμοηλεκτρική.



*Εικόνα 7: Ανεμογεννήτρια του Poul la Cour*



*Εικόνα 8: Ανεμογεννήτρια Darrieus από τον George Darrieus*

Κατά τη δεκαετία του 1920, ο Γάλλος αεροναυπηγός George Darrieus ανέπτυξε τη δική του ανεμογεννήτρια που ονόμασε Darrieus και στην πραγματικότητα ήταν η πρώτη κατακόρυφη ανεμογεννήτρια (ή Α/Γ κατακόρυφου άξονα) την οποία κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1931.

Ενώ πολλές μικρές ανεμογεννήτριες και αντλίες χρησιμοποιήθηκαν στα τέλη του 19ου και στις αρχές του 20ού αιώνα στις Ηνωμένες Πολιτείες, η ανάπτυξη τους άρχισε να φθίνει σημαντικά από τη δεκαετία του 1930 και έπειτα, καθώς προτιμήθηκε η εκμετάλλευση των αποδοτικότερων έως τότε μορφών, των γαιανθράκων, παραβλέποντας τις

σημαντικές επιπτώσεις τους και εστιάζοντας στην οικονομική και βιομηχανική ανάπτυξη, στρέφοντας το ενεργειακό τους ενδιαφέρον στην ανάπτυξη και επέκταση των γραμμών ηλεκτροδότησης.

Με την περίοδο των περιορισμένων αποθεμάτων πετρελαίου που έπληξε τον κόσμο τη δεκαετία του 1970, η αιολική ενέργεια έκανε μια ολοκληρωτικά νέα είσοδο, καθώς χώρες σε όλο τον κόσμο άρχισαν να εξετάζουν εναλλακτικές πηγές ενέργειας.

Πολλές από τις τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα της αιολικής ενέργειας κατά αυτήν την περίοδο οδηγήθηκαν από τις Ηνωμένες Πολιτείες και τη NASA, η οποία δημιούργησε ένα πρόγραμμα έρευνας με σκοπό να βρει μια πηγή ενέργειας κλίμακας υπηρεσιών. Μέχρι την επόμενη δεκαετία, πολλά κράτη σε όλο τον Αμερικανικό χώρο ξεκίνησαν πρωτοβουλίες για την προώθηση της καθαρής ενέργειας. Για παράδειγμα, η Καλιφόρνια εισήγαγε μια σειρά μέτρων για την προώθηση της ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας και οδήγησε στην εγκατάσταση χιλιάδων ανεμογεννητριών.

Έτσι, ο τομέας των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας αυξάνεται και αναπτύσσεται ταχέως τις τελευταίες δεκαετίες. Ενδεικτικά μάλιστα, σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ανανεώσιμης Ενέργειας (IRENA), το 2010, η παγκόσμια χωρητικότητα σε ενέργεια προερχόμενη από Α.Π.Ε. ήταν στα 1,22 TW και δέκα χρόνια αργότερα, είχε φτάσει τα 2,8 TW.

Γίνεται ολοένα πιο σαφές ότι η καθαρή ενέργεια είναι ο δρόμος προς ένα βιώσιμο μέλλον, πράγμα που σημαίνει ότι εταιρείες και κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο στρέφουν όλο και περισσότερο την προσοχή τους προς αυτόν.

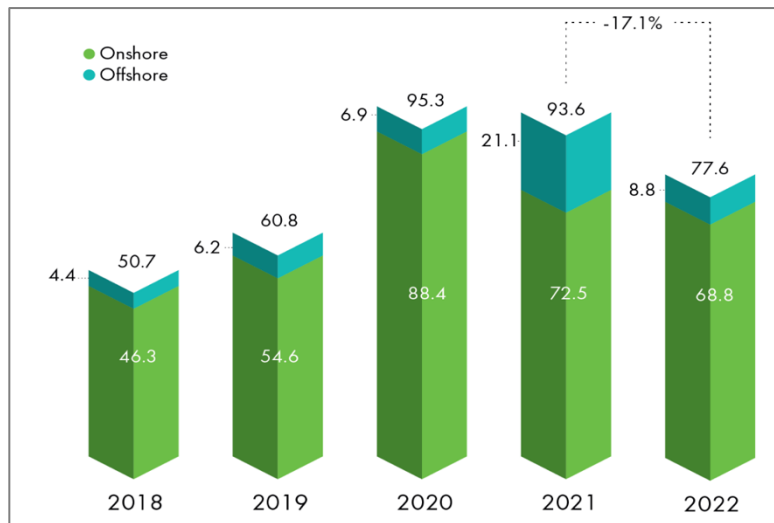
### 3.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΓΟΡΑΣ

Κατά το 2022, παγκοσμίως εγκαταστάθηκαν ανεμογεννήτριες ισχύος 77,6 GW, διαμορφώνοντας τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ στα 906 GW, πραγματοποιώντας αύξηση 9% σε σύγκριση με το 2021 (GWEC, 2023). Οι πέντε κορυφαίες αγορές στον κόσμο για νέες εγκαταστάσεις το 2022 ήταν οι εξής:

- Κίνα,
- Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής,
- Βραζιλία,
- Γερμανία
- Σουηδία.

Οι παραπάνω χώρες αντιπροσωπεύουν το 71% της εγκατεστημένης ισχύος για το 2022 (Εθνική Έκθεση Ανάπτυξης Αιολικής Ενέργειας, 2023).

Πιο αναλυτικά, η προστιθέμενη εγκατεστημένη ισχύς προερχόμενη από αιολική ενέργεια, για τα τελευταία χρόνια, αποτυπώνεται παρακάτω.



Σχήμα 5 Προέλευση παραγόμενης αιολικής ενέργειας

Και όσον αφορά στο μέλλον του κλάδου, η Διεθνής Ένωση Αιολικής Ενέργειας (Global Wind Energy Council, GWEC) παρέχει εκθέσεις και αναλύσεις που υπογραμμίζουν την παγκόσμια ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας και τις προοπτικές της. Σύμφωνα με την GWEC, η συνεχιζόμενη εγκατάσταση ανεμογεννητριών και η αυξανόμενη εγκατεστημένη ισχύς παγκοσμίως θα παρουσιάζουν έντονες ανοδικές τάσεις [Global Wind Report 2023, GWEC]. Ενδεικτικά, η αναμενόμενη εγκατεστημένη ισχύς για τα επόμενα χρόνια, ανά Ήπειρο, υπολογίζεται:

- **Νότια Αμερική:** Συνολικά, αναμένεται να προστεθεί στην Νότια Αμερική χωρητικότητα 60 GW σε αιολικά πάρκα στην ξηρά (onshore) τα επόμενα πέντε χρόνια, εκ των οποίων το 92% θα χτιστεί στις Ηνωμένες Πολιτείες και το υπόλοιπο στον Καναδά.
- **Ευρώπη:** Η Ευρώπη διαθέτει σήμερα εγκατεστημένη ισχύ 255 GW αιολικής ενέργειας σε αιολικά πάρκα. Αναμένουμε ότι η Ευρώπη θα εγκαταστήσει 129 GW νέων αιολικών πάρκων κατά την περίοδο 2023-2027, με την Ευρωπαϊκή Ένωση (EU-27) να εγκαθιστά 98 GW από αυτά. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως τα τρία τέταρτα της νέας χωρητικότητας που θα προστεθεί κατά την περίοδο 2023-2027 θα είναι σε αιολικά πάρκα στη ξηρά (onshore). Αναμένουμε ότι η ΕΕ θα χτίσει κατά μέσο όρο 20 GW νέων αιολικών πάρκων ετησίως κατά την περίοδο 2023-2027, νούμερο που συμβαδίζει με την ισχυρή ανάπτυξη που αναμένεται στις ευρωπαϊκές αγορές.
- **Αφρική:** Συνολικά, αναμένεται να προστεθεί χωρητικότητα 17 GW σε νέες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας τα επόμενα πέντε χρόνια (2023-2027), από τις οποίες τα 5,3 GW θα προέλθουν από τη Νότια Αφρική, 3,6

GW από την Αίγυπτο, 2,4 GW από τη Σαουδική Αραβία και 2,2 GW από το Μαρόκο.

- Λατινική Αμερική: Η Υπηρεσία Πληροφοριών αγοράς του Διεθνούς Συμβουλίου Αιολικής Ενέργειας (GWEC Market Intelligence) προβλέπει ότι αναμένεται να προστεθούν 26,5 GW χωρητικότητας σε αιολικά πάρκα στην περιοχή αυτή τα επόμενα πέντε χρόνια, με τη Βραζιλία, τη Χιλή και την Κολομβία να συνεισφέρουν με 78% αυτών των προσθηκών.

### 3.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Στο παρόν υποκεφάλαιο θα αναλυθεί το μέσον, μέσω του οποίου η αιολική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική και δεν είναι άλλο από τις ανεμογεννήτριες.

Ως ανεμογεννήτρια λοιπόν νοείται μία μηχανή η οποία μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου, σε ηλεκτρισμό.

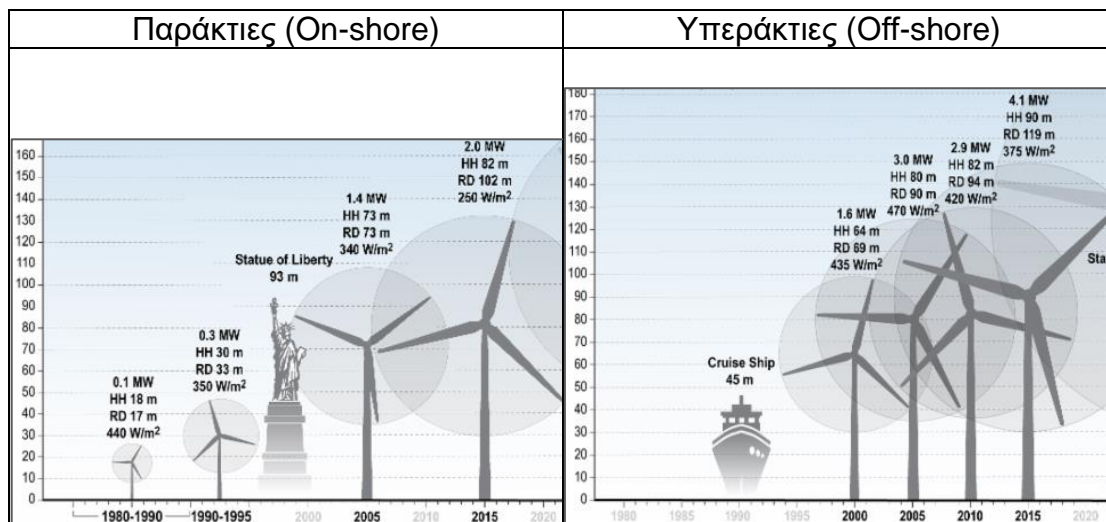
Οι ανεμογεννήτριες ποικίλουν ανάλογα με το σχήμα και το μέγεθός τους, μα ο πιο κοινός τύπος είναι εκείνος με τα τρία πτερύγια τοποθετημένα σε έναν οριζόντιο άξονα. Η ισχύς τους κυμαίνεται από μικρή των λίγων kW έως και πολλά MW. Πιο συγκεκριμένα,



Εικόνα 9: Μέρη ανεμογεννήτριας

σήμερα η μεγαλύτερη εγκατεστημένη ανεμογεννήτρια διαθέτει ισχύς 16MW, βρίσκεται τοποθετημένη στην Κίνα και ενδεικτικό του μεγέθους της είναι πως καλύπτει μία επιφάνεια όσο επτά (7) γήπεδα ποδοσφαίρου. Αναλυτικότερα, διαθέτει πτερύγια μήκους 123 μέτρων, στέκεται 152 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και μόνο η τουρμπίνα της ζυγίζει 349 τόνους. Εκτιμάται από τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (OECD) πως θα μπορεί μόνη της σε ένα έτος να παράγει 66 GWh, αρκετό ηλεκτρισμό για να τροφοδοτήσει 36.000 σπίτια. Αυτό ισοδυναμεί με καύση 22.000 τόνων λιγνίτη, ενώ η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ανέρχεται στους 54.000 τόνους. Όλα αυτά, την ώρα που η επιστημονική κοινότητα κάνει λόγο για προσεχώς εν λειτουργία ανεμογεννήτριες έως και 25 MW.

Είναι γεγονός πως οι offshore (υπεράκτιες) ανεμογεννήτριες επιτρέπουν τον σχεδιασμό, την εγκατάσταση και λειτουργία μεγαλύτερων συστημάτων, ενδεικτικά όπως αποτυπώνεται στις παρακάτω εικόνες:



Μελέτη των Caduff, Huijbregts, Althaus, Koehler, Hellweg, με τίτλο Wind Power Electricity: The Bigger the Turbine, The Greener the Electricity (Environ. Sci. Technol. 2012) αποδεικνύει πως η αύξηση του μεγέθους των ανεμογεννητριών και, συνεπώς, η παραγωγή ενέργειας, μειώνει το Κόστος Ενέργειας σε Επίπεδο Παραγωγής.

Το μέγεθος της μακροπρόθεσμης προστασίας του περιβάλλοντος είναι εκπληκτικό, μα όχι μηδενικό, δεδομένου ότι τόσο η κατασκευή, όσο η εγκατάσταση αλλά και η σύνδεση με το δίκτυο είναι έργα που απαιτούν καταπάτηση του περιβάλλοντος, εκπομπή ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου.

Σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας τους, υπάρχει ένας ανεμοδείκτης στην κορυφή κάθε ανεμογεννήτριας ο οποίος υποδεικνύει την κατεύθυνση του αέρα. Ανάλογα λοιπόν με την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου, η ανεμογεννήτρια περιστρέφεται πάνω στον πυλώνα ώστε να «κοιτάει» τον άνεμο, και τα πτερύγια της περιστρέφονται στον άξονά τους ώστε να δημιουργήσουν την μεγαλύτερη δυνατή αντίσταση στον αέρα. Ο αέρας ξεκινά να περιστρέφει τα πτερύγια τα οποία είναι συνδεδεμένα μέσω της πλήμνης με έναν άξονα χαμηλής ταχύτητας. Ο άξονας χαμηλής ταχύτητας περιστρέφεται με την ίδια ταχύτητα όπως τα πτερύγια (7-12 περιστροφές ανά λεπτό). Όμως απαιτείται πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής ώστε να παραχθεί ρεύμα από μια γεννήτρια. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο οι περισσότερες ανεμογεννήτριες έχουν ένα κιβώτιο ταχυτήτων, το οποίο πολλαπλασιάζει την ταχύτητα περιστροφής του άξονα χαμηλής ταχύτητας έως 100 φορές περισσότερο σε ένα άξονα υψηλής ταχύτητας, ο οποίος έτσι μπορεί να περιστρέφεται έως και 1500 φορές ανά λεπτό. Ο άξονας υψηλής ταχύτητας συνδέεται με μια γεννήτρια, η οποία μετατρέπει την κινητική ενέργεια του άξονα σε ηλεκτρική ενέργεια. Υπάρχουν βέβαια και ανεμογεννήτριες που δεν έχουν

κιβώτιο ταχυτήτων και σε αυτές υπάρχει απευθείας σύνδεση του άξονα από την πλήμνη στην γεννήτρια (αυτό λέγεται άμεση σύνδεση).

Συνοψίζοντας λοιπόν τις διαδικασίες που απαιτούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ανεμογεννήτριας:

1. **Καταγραφή του ανέμου** από τον ανεμοδείκτη, για προσαρμογή της ανεμογεννήτριας στις βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας
2. **Στροφή των λεπίδων** σε ιδανικό σημείο για την επίτευξη της μέγιστης περιστροφής και έναρξη περιστροφής
3. **Μετατροπή αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική**, μέσω γεννήτριας. Η αιολική ενέργεια κινεί τα πτερύγια και η εν λόγω κινητική ενέργεια του άξονα περιστροφής μετατρέπεται μέσω της γεννήτριας σε ηλεκτρική ενέργεια.
4. **Μετασχηματισμός ρεύματος**, για την αυξομείωση της έντασης του ώστε να καθίσταται ιδανική για την μεταφορά του μέσω των γραμμών ηλεκτροδότησης.
5. **Μεταφορά ενέργειας**, μέσω αγωγών υψηλής τάσης ώστε να επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση των απωλειών λόγω θερμότητας
6. **Διανομή ή αποθήκευση ενέργειας** που αποτελεί και τον τελικό προορισμό. Μέσω του δικτύου διανομής ενέργειας, η ενέργεια που παράγεται από την Α/Γ είτε μεταφέρεται σε μπαταρίες για την αποθήκευση και μελλοντική χρήση, είτε διανέμεται απευθείας προς χρήση στους καταναλωτές αφού πρώτα περάσει από συγκεκριμένη διαδρομή που περιλαμβάνει σταθμούς διακλαδώσεις και σταθμούς μετασχηματισμού.

Σε κάθε μετατροπή ενέργειας δεν μετατρέπεται όλη η ενέργεια από την μία μορφή στην άλλη. Έτσι και εδώ δεν μετατρέπεται όλη η κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική. Όταν τα φτερά κινούνται με τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια κυμαίνεται στο 45-60% της διαθέσιμης αρχικής κινητικής ενέργειας. Όταν η ταχύτητα του ανέμου μειώνεται η απόδοση της ανεμογεννήτριας γίνεται ακόμα πιο μικρή.

Ο τρόπος παραγωγής ενέργειας που περιγράφεται παραπάνω αφορά το πιο κοινό τύπο ανεμογεννητριών, δηλαδή τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα. Παρ' όλα αυτά η αιολική ενέργεια δύναται να εκμεταλλευτεί και με άλλες τεχνολογίες, βασικότερη εκ των οποίων είναι οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα.

## ΚΑΘΕΤΟΥ ΑΞΟΝΑ



Εικόνα 10: Α/Γ. κάθετου άξονα

## ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ



Εικόνα 11: Α/Γ οριζόντιου άξονα

Κάθε κατηγορία διαθέτει και διακριτά χαρακτηριστικά, τα οποία συνοψίζονται παρακάτω:

Ανεμογεννήτριες με Κάθετο Άξονα:

- Οι ανεμογεννήτριες με κάθετο άξονα έχουν την περισσότερη συνήθη μορφή μιας κυλινδρικής συσκευής με ανεμόφρακτη στάθμη γύρω της.
- Ο κάθετος άξονας τους επιτρέπει να πιάνουν τον άνεμο από οποιαδήποτε κατεύθυνση χωρίς να χρειάζεται να αντιστρέφονται για να ακολουθήσουν την κατεύθυνση του ανέμου.
- Συνήθως είναι πιο κομψές και αισθητικά αποδεκτές στο αστικό περιβάλλον.
- Προορίζονται για χρήση σε αστικές περιοχές με περιορισμένο ύψος και διαθέσιμο χώρο.

Ανεμογεννήτριες με Οριζόντιο Άξονα:

- Οι ανεμογεννήτριες με οριζόντιο άξονα έχουν μεγαλύτερο ύψος και μεγαλύτερες, οριζόντιες λεπίδες που περιστρέφονται γύρω από τον άξονά τους.
- Χρειάζονται να είναι αντιμέτωπες με την κατεύθυνση του ανέμου για να λειτουργήσουν αποτελεσματικά.
- Συνήθως παράγουν μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες με κάθετο άξονα, αλλά απαιτούν μεγαλύτερο ύψος και χώρο.
- Συνηθίζονται στην ύπαιθρο και εκτός αστικών περιοχών.

Ανεμογεννήτριες δύναται να τοποθετηθούν σε διάφορες περιοχές, όπως: σε λόφους, σε πεδιάδες, θεμελιωμένες στον πυθμένα της θάλασσας ή και πλωτές ανεμογεννήτριες στους ωκεανούς, ακόμα και σε **αστικά περιβάλλοντα**. Κάθε περιοχή εκ των παραπάνω παρουσιάζει και αντίστοιχα πλεονεκτήματα και δυνατά σημεία. Όσον αφορά στην **απόδοση**, αυτά εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης περιοχής, σε συνάρτηση με τις μεταβλητές που καθορίζουν την παραγώμενη ενέργεια από την ανεμογεννήτρια. Οι εν λόγω μεταβλητές είναι:

- Η **ταχύτητα του ανέμου**-δυνατότεροι άνεμοι μας επιτρέπουν να παράγουμε περισσότερη ενέργεια. Οι ψηλότερες ανεμογεννήτριες είναι πιο κατάλληλες σε δυνατούς ανέμους. Οι ανεμογεννήτριες παράγουν ηλεκτρισμό σε ταχύτητες του ανέμου 4 – 25 μέτρα το δευτερόλεπτο.
- Το **μήκος πτερυγίων** -όσο πιο μεγάλα είναι τα πτερύγια (μεγάλη επιφάνεια σάρωσης αέρα) τόσο περισσότερος ηλεκτρισμός μπορεί να παραχθεί. Ο διπλασιασμός του μήκους των πτερυγίων, μπορεί να συνεπάγεται τον τετραπλασιασμό της παραγωγής ενέργειας.
- Η **πυκνότητα του αέρα** -Ο πυκνός αέρας κινεί πιο εύκολα τα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας. Η πυκνότητα του αέρα εξαρτάται από το υψόμετρο, τη θερμοκρασία και την πίεση του αέρα.

Εκτός από την απόδοση όμως, σημαντικά κριτήρια για την αξιολόγηση της τεχνολογίας των ανεμογεννητριών, είναι το περιβαλλοντικό αποτύπωμα και η κοινωνική αποδοχή, το κατά πόσο δηλαδή μία κοινωνία θα αποδεχτεί την τεχνολογία. Όσον αφορά το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, η εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε **αστικά κέντρα**, που είναι μάλιστα εξαιρετικά πρόσφατη η στροφή των κοινωνιών προς αυτή την κατεύθυνση, μπορεί να μειώσει σημαντικά τους τόνους μπετόν για τις βάσεις των Α/Γ, τα εκατοντάδες χιλιάδες μέτρα εκσκαφών για την σύνδεση των Α/Γ με το δίκτυο ηλεκτροδότησης και εν γένει την ανθρώπινη παρέμβαση σε παρθένα εδάφη.

Όσον αφορά την κοινωνική αποδοχή, οι κοινωνίες φαίνεται να έχουν θετική αντιμετώπιση απέναντι στην εγκατάσταση ανεμογεννητριών στα αστικά κέντρα. Παρ' ότι κατά την πρώτη προσπάθεια εξάπλωσης της τεχνολογίας δεν υπήρχε θετική ανταπόκριση, είναι γεγονός πως τα τελευταία χρόνια, κατά τα οποία οι τιμές της ενέργειας έχουν υποστεί σημαντικές αυξήσεις, υπάρχει στροφή των πολιτών για εγκατάσταση στα κέντρα των πόλεων εν γένει τεχνολογιών Α.Π.Ε. και κυρίως ανεμογεννητριών. Βέβαια, ο δρόμος προς την ολοκληρωτική εξάπλωση της τεχνολογίας στα αστικά κέντρα, έχει ακόμη εμπόδια και αμφιβολίες, όπως θα αναλυθεί παρακάτω.

### 3.4 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΣ

Η τεχνολογία των ανεμογεννητριών έχει κατηγορηθεί ανά καιρούς πως είτε βλάπτει είτε επηρεάζει την ανθρώπινη υγεία, λόγω πρόκλησης έντονου ήχου, υποήχων, ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και άλλων επιβλαβών φαινομένων. Τέτοιου είδους κατηγορίες έχουν προβληθεί σε μεγάλο βαθμό, ιδίως στο παρελθόν και κατά την αρχική εξάπλωση της εν λόγω τεχνολογίας, παρ' ότι ο σύγχρονος άνθρωπος περιβάλλεται σε κάθε πτυχή της καθημερινότητας του από τεχνολογικές εφευρέσεις.

Σήμερα, και πιο συγκεκριμένα κατά την τελευταία δεκαετία είναι θετικό πως έχουν μειωθεί οι ανησυχίες σχετικά με τον αντίκτυπο στην ανθρώπινη υγεία που προκαλείται από τις ανεμογεννήτριες και σε αυτό πιθανόν να έχει συμβάλει και η μεγαλύτερη εξοικείωση των ανθρώπων με την εν λόγω τεχνολογία, που τους βοηθάει να κρίνουν το αβάσιμο αυτών των ισχυρισμών. Από την άλλη, υπάρχει το λεγόμενο "σύνδρομο των ανεμογεννητριών", ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια σειρά από υποτιθέμενα συμπτώματα ή επιπτώσεις στην υγεία που καταγράφονται από κάποια άτομα και που ισχυρίζονται ότι οφείλονται στην εκμετάλλευση ανεμογεννητριών.

Ωστόσο, η ύπαρξη του συνδρόμου αυτού δεν έχει επιστημονικά επιβεβαιωθεί, και πολλές επιστημονικές μελέτες έχουν δείξει ότι ο θόρυβος που παράγουν οι ανεμογεννήτριες δεν προκαλεί αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία σε επίπεδο συχνότητας που συναντάται συνήθως στις καθημερινές συνθήκες εκτός από την ενόχληση από τον θόρυβο, που μπορεί να είναι υποκειμενική.

Πιο συγκεκριμένα και σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, και με το Εθνικό Συμβούλιο Υγείας και Ιατρικής Έρευνας της Κυβέρνησης της Αυστραλίας (National Health and Medical Research Council – NHMRC) εξέδωσε τον Ιούλιο του 2010 μελέτη με θέμα «Ανεμογεννήτριες και Υγεία» στην οποία, έπειτα από εξέταση όλης της διεθνούς επιστημονικής βιβλιογραφίας, συμπεραίνει ότι «Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει δημοσιευμένη επιστημονική τεκμηρίωση που να συνδέει ευθέως τις ανεμογεννήτριες με αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία». Πιο συγκεκριμένα το NHMRC εξέτασε τις διατυπωμένες ανησυχίες σχετικά με υποηχητικό θόρυβο, ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και ούτω καθεξής και για καμία από αυτές δεν βρήκε επαρκείς ενδείξεις ότι μπορούν να προκαλέσουν βλάβη στην ανθρώπινη υγεία.

Ακόμη ένα παράδειγμα που αξίζει να σχολιαστεί και να αναδειχθεί, είναι η εργασία με θέμα «Wind Turbines and Health A Critical Review of the Scientific Literature» (Ανεμογεννήτριες και Υγεία, μια κριτική επισκόπηση της επιστημονικής βιβλιογραφίας) από τα Πανεπιστημιακά Τμήματα Department of Biological Engineering (Dr McCunney), **Massachusetts Institute of Technology**,

**Cambridge**, Department of Epidemiology (Dr Mundt), Environ International, Amherst, Mass; Travel Immunization Clinic (Dr Colby), **Middlesex-London Health Unit, London, Ontario, Canada**, Dobie Associates (Dr Dobie), San Antonio, Tex, Environment, Energy and Acoustics (Mr Kaliski), **Resource Systems Group, White River Junction, Vt**; and **Psychological Evaluation and Research Laboratory (Dr Blais), Massachusetts General Hospital, Boston** η οποία έπειτα από εξονυχιστική ανάλυση καταλήγει στο ότι δεν υπάρχει επίπτωση στην υγεία των ανθρώπων από τις ανεμογεννήτριες.

Έτσι, συμπεραίνεται πως η δυσκολία του κοινωνικού συνόλου στο να αποδοχεί την τεχνολογία αυτή, οφείλεται σε άγνοια, φόβους, θέματα αισθητικής, ενοχλήσεις από τα φώτα και από τα χαμηλά επίπεδα θορύβου.

Ειδικότερα για το θέμα των υποήχων το NHMRC επισημαίνει ότι οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες, στις οποίες τα πτερύγια περιστρέφονται μπροστά (ανάντι) από τον πύργο, παράγουν πολύ χαμηλά επίπεδα υποήχων, τα οποία σίγουρα δεν είναι επιβλαβή για την υγεία παρ' όλ' αυτά μπορεί να αποτελούν λόγω κοινωνικής αποδοκιμασίας.

Μπορεί λοιπόν μία ανεμογεννήτρια και κατ' επέκταση ένα αιολικό πάρκο να μην βλάπτει την ανθρώπινη υγεία άμεσα και σοβαρά ή να αποκαλείται «καθαρή ενέργεια», παρ' όλ' αυτά μία εν λόγω εγκατάσταση δεν είναι και τελείως άνευ συνεπειών.

Τα αιολικά πάρκα, όπως οι δρόμοι και τα κτίρια, μπορούν να χαρακτηρισθούν ως «εισβολή» στη φύση, καθώς έχουν θεμέλια από σκυρόδεμα για αρκετά μέτρα στο έδαφος. Επιπλέον, οι λεπίδες των πτερυγίων των ανεμογεννητριών μπορούν να σκοτώσουν νυχτερίδες και πουλιά που πετούν ψηλά. Αυτή είναι μια πραγματικότητα που χρησιμοποιούν συχνά οι αντιτιθέμενοι σε αυτή τη μορφή Α.Π.Ε. για να εναντιωθούν στην εγκατάσταση της.

Είναι προφανές πως ο σωστός σχεδιασμός θα πρέπει να αποφεύγει τη ζημιά στο περιβάλλον, όσο το δυνατόν περισσότερο. Για παράδειγμα, τα αιολικά πάρκα δεν μπορούν να κατασκευαστούν σε προστατευόμενες περιοχές και φυσικά καταφύγια. Αντίθετα, οι κατάλληλες τοποθεσίες περιλαμβάνουν μολυσμένες από πριν περιοχές, όπως πρώην τοποθεσίες εξόρυξης άνθρακα ή άλλων ορυκτών πρώτων υλών, εκτάσεις εντατικής καλλιέργειας και απομονωμένες τοποθεσίες.

Όπως αποτυπώνεται και στον πίνακα 1, συνέπειες της χρήσης των Α/Γ υπάρχουν και απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή στις φάσεις αδειοδότησης και σχεδιασμού. Περιληπτικά:

- Οπτική όχληση

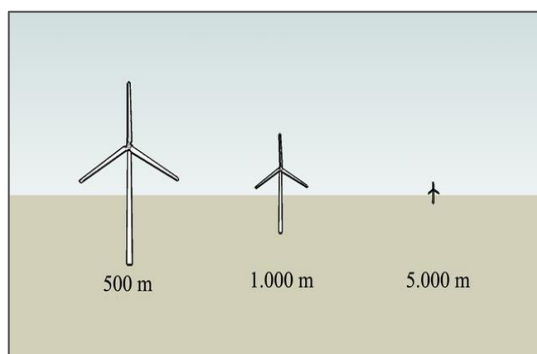
Η οπτική όχληση που προκαλούν οι ανεμογεννήτριες και κατ' επέκταση τα αιολικά πάρκα, συνδέονται με την αλλοίωση της εικόνας ενός φυσικού τοπίου, που συμβαίνει με την εγκατάστασή ενός σε περιοχές απαλλαγμένες από ανθρώπινες παρεμβάσεις. Η οπτική αλλοίωση ενισχύεται από τα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας που είναι αναπόσπαστο συνοδευτικό στοιχείο μίας εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου.



Εικόνα 12: Οπτική όχληση

Τόσο το επιβλητικό μέγεθος των ανεμογεννητριών, όσο και η πιθανή θέση εγκατάστασής των αιολικών πάρκων, τα καθιστούν ορατά, στις περισσότερες περιπτώσεις από μεγάλες αποστάσεις.

Η επίδραση συνεπώς στην οπτική του ευρύτερου τοπίου εγκατάστασης και στο χαρακτήρα κάποιας περιοχής είναι δεδομένη. Ωστόσο, δεν είναι δυνατό να



Εικόνα 13: Σχέση μεγέθους-απόσταση από το μάτι

οριστεί κατ' απόλυτο και καθολικό τρόπο το αν η επίδραση αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί ως θετική ή αρνητική, αφού κάτι τέτοιο είναι σε μεγάλο βαθμό υποκειμενικό και εξαρτάται από την οπτική γωνία που ο καθένας εξετάζει το θέμα. Έτσι, οι ανεμογεννήτριες άλλοτε θεωρούνται ως ογκώδεις και άσχημες κατασκευές, οι οποίες μετατρέπουν σε βιομηχανική ζώνη φυσικά τοπία στα οποία δεν υπήρξε καμία άλλη ανθρώπινη παρέμβαση, άλλοτε θεωρούνται ως κομψές, έξυπνες και, συνεπώς, αποδεκτές κατασκευές που αξιοποιούν την δωρεάν προσφερόμενη ισχύ της φύσης, κι άλλοτε θεωρούνται ως η λύση περιορισμού ή και υποκατάστασης της λειτουργίας των θερμοηλεκτρικών ή πυρηνικών σταθμών παραγωγής, γεγονός που τις καθιστά αναγκαίες και αναντικατάστατες.

Η επίδραση της εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου στην αλλοίωση της οπτικής μιας περιοχής είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθεί. Πέραν του

υποκειμενικού χαρακτήρα του θέματος, διαφορετικές εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων έχουν, αντικειμενικά, διαφορετικές επιδράσεις.

- Επίδραση στην πανίδα

Το κατά πόσο οι ανεμογεννήτριες επηρεάζουν την πανίδα μίας περιοχής έχει υποστεί λεπτομερή ανάλυση ανά τα χρόνια λόγω του θανάτου πτηνών που συγκρούονται με τις περιστρεφόμενες λεπίδες ή τους ψηλούς πύργους τους.

Η Γερμανική Ένωση Προστασίας της Φύσης και της Βιοποικιλότητας (NABU) εκτιμά ότι τα αιολικά πάρκα σκοτώνουν περισσότερα από 100.000 πουλιά κάθε χρόνο στη Γερμανία. Παρ' ότι αυτοί οι αριθμοί δεν είναι ασήμαντοι, το ποσοστό θνησιμότητας συγκριτικά με άλλους παράγοντες είναι πολύ μικρό (Greek Mineral Wealth, 2022).



Εικόνα 14: Πτηνά διέρχονται από τα φτερά Α/Γ

- Τα γυάλινα κτίρια σκοτώνουν περίπου 1.000 φορές περισσότερα πουλιά – 108 εκατομμύρια κάθε χρόνο, σε σύγκριση με τις απώλειες από τα αιολικά πάρκα.
- Περίπου 700 φορές περισσότερα πουλιά – 70 εκατομμύρια τον χρόνο πεθαίνουν σε συγκρούσεις με αυτοκίνητα, φορτηγά και τρένα, ενώ
- Περίπου 20 φορές περισσότερα, δηλ. 2 εκατομμύρια ετησίως χάνουν τη ζωή τους από ηλεκτροφόρα καλώδια
- 10 φορές περισσότερα – 1 εκατομμύριο σκοτώνονται από κυνηγούς, και τέλος
- Μόνο οι κατοικίδιες γάτες ευθύνονται για τον θάνατο περίπου 60 εκατομμυρίων πουλιών στη Γερμανία κάθε χρόνο

Άλλες πηγές ενέργειας είναι επίσης πιο θανατηφόρες για τα πουλιά από την αιολική ενέργεια. Μια μελέτη του 2012 έδειξε ότι οι τεχνολογίες αιολικής ενέργειας σκοτώνουν 0,269 πουλιά ανά GWh παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, σε σύγκριση με 9,36 πουλιά που σκοτώνονται GWh από έργα ορυκτών καυσίμων. Αυτό οφείλεται εν μέρει σε συγκρούσεις με εξοπλισμό, αλλά κυρίως λόγω των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ορυκτών καυσίμων. Η εξόρυξη άνθρακα έχει καταστρέψει δάση και οικοσυστήματα, ενώ η καύση άνθρακα παράγει ατμοσφαιρική ρύπανση που σχετίζεται με την όξυνση των βροχών και τη χρήση υδραργύρου, τα οποία οι επιστήμονες έχουν συνδέσει με επιπτώσεις στην υγεία των πουλιών, όπως ελλείψεις στον τοκετό. Ωστόσο, όσον αφορά τους θανάτους των πουλιών, η πιο σημαντική επίδραση από τα ορυκτά καύσιμα είναι η συμβολή τους στην κλιματική αλλαγή, την οποία οι επιστήμονες προβλέπουν ότι θα είναι εξαιρετικά επικίνδυνη για τα πουλιά. Ο

Εθνικός Σύνδεσμος Audubon εκτιμά ότι τα δύο τρίτα των ειδών πουλιών στη Βόρεια Αμερική βρίσκονται σε κίνδυνο εξαφάνισης λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και των αλλαγών στον βιότοπο όπου ζουν.

Βέβαια, τα σύγχρονα αιολικά πάρκα είναι λιγότερο επικίνδυνα για τις νυχτερίδες και τα πουλιά από τις προηγούμενες κατασκευές:

- Γιατί είναι πολύ υψηλότερα από πριν, και έτσι τα πτηνά συνήθως πετούν κάτω από τα πτερύγια, και
- Υπάρχουν πλέον νέοι προστατευτικοί μηχανισμοί, όπως αισθητήρες που θα σταματήσουν τους κινητήρες της γεννήτριας, εάν τα πουλιά πετάξουν πολύ κοντά. Μια άλλη τεχνολογία χρησιμοποιεί έξυπνες κάμερες για να αναγνωρίσει μεγάλα αρπακτικά πτηνά, κλείνοντας τους στροβίλους για να αποφευχθούν οι συγκρούσεις.

Ωστόσο, σύμφωνα πάντα με τη NABU, μακράν η μεγαλύτερη απειλή για τα πουλιά είναι η βιομηχανική γεωργική παραγωγή. Οι μονοκαλλιέργειες και η χρήση φυτοφαρμάκων, έχουν δει τον αριθμό των εντόμων να μειώνεται μαζικά, αφαιρώντας μια σημαντική πηγή τροφής για τα πουλιά που μεγαλώνουν τα μικρά τους. Τις τελευταίες δεκαετίες στη Γερμανία, 13 εκατομμύρια αναπαραγωγικά ζεύγη πουλιών έχουν εξαφανιστεί (15%), με αποτέλεσμα να γεννώνται 170 εκατομμύρια λιγότερα νεαρά πτηνά κάθε χρόνο (Εικ. 14). Συμπερασματικά, τα αιολικά πάρκα σκοτώνουν ορισμένα πουλιά, αλλά ο αριθμός τους είναι αρκετά μικρότερος σε σχέση με τις άλλες πηγές κινδύνου που περιεγράφηκαν πιο πάνω.

Ακόμη, η επιστημονική κοινότητα εργάζεται ενεργά για να ελαχιστοποιήσει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πουλιών και των ανεμογεννητριών. "Μελέτες επιπτώσεων στο περιβάλλον" διενεργούνται πριν από την κατασκευή μεγάλων υποδομών, συμπεριλαμβανομένων των αιολικών πάρκων, και έχουν ως στόχο να εξασφαλίσουν ότι οι έργα δεν τοποθετούνται σε τοποθεσίες που αποτελούν κίνδυνο για προστατευόμενα είδη. Οι ερευνητές προσπαθούν ακόμα να κατανοήσουν όλους τους λόγους για τους οποίους τα πουλιά μπορεί να συγκρούονται με τις ανεμογεννήτριες, όπως η κακή ορατότητα ή οι προτιμώμενες διαδρομές μετακίνησης. Ορισμένοι βιολόγοι διατήρησης μελετούν πώς συγκεκριμένα είδη και διαδρομές μετανάστευσης επηρεάζονται από τις αιολικές εγκαταστάσεις, και αν οι ανεμογεννήτριες που κτίζονται σε συγκεκριμένες περιοχές μπορεί να έχουν υπερβολική επίπτωση σε ευάλωτες πληθυσμιακές ομάδες πτηνών.»

- Σκίαση

Σε συγκεκριμένες εποχές του χρόνου και σε κάποιες συγκεκριμένες ώρες της ημέρας, είναι πιθανό σε κάποια περιοχή να προκληθεί το φαινόμενο της

σκίασης. Το φαινόμενο αυτό αφορά σε κατοικημένες περιοχές που βρίσκονται κοντά σε σημείο όπου έχει εγκατασταθεί αιολικό πάρκο. Το πρόβλημα σκίασης προκαλείται κυρίως από τις λεπίδες του ρότορα της ανεμογεννήτριας, των οποίων το σχήμα κατά την τροχιά κίνησης διαγράφεται πάνω σε παράθυρα κτηρίων. Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, η ελάχιστη απόσταση που μπορεί να ένα αιολικό πάρκο από έναν οικισμό είναι 500 μέτρα, αλλά υπό ορισμένες συνθήκες, η απόσταση αυτή δεν είναι αρκετή για την αποφυγή ύπαρξης του φαινομένου. Θεωρητικά, η σκιά ενός πτερυγίου με μήκος 22 μέτρα μπορεί να δημιουργήσει ορατή φιγούρα σκιάς σε απόσταση σχεδόν 5 χιλιομέτρων, κυρίως κατά την εμφάνιση ή εξαφάνιση του ήλιου (δύση – ανατολή). Στην πραγματικότητα, σε μια ανεμογεννήτρια με διάμετρο ρότορα 45 μέτρων και πάχος πτερυγίου 2 μέτρων, η σκιά του περιστρεφόμενου πτερυγίου μπορεί να γίνει αισθητά ορατή, προκαλώντας ενοχλήσεις σε απόσταση έως και 2 χιλιόμετρα, αλλά το φαινόμενο σκιάς μπορεί να φανεί έως και αρκετά παραπάνω.

Από την ανατολή μέχρι το ηλιοβασίλεμα, η σκιά της ανεμογεννήτριας ακολουθεί το αντίθετο μονοπάτι απ' ότι η τροχιά του ηλίου, δηλαδή από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Δεδομένου ότι η θέση απ' όπου ο ήλιος ξεπροβάλλει και η εκείνη όπου ο ήλιος δύει διαφέρουν κατά τη διάρκεια του έτους, είναι λογικό τα σημεία σκίασης που προκαλεί μία ανεμογεννήτρια να μεταβάλλονται βάσει χρονική περιόδου. Βέβαια οι θέσεις ανατολής και δύσης σε έναν τόπο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους είναι γνωστές, συνεπώς πριν την εγκατάσταση μίας ανεμογεννήτριας ή ενός αιολικού πάρκου, πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν.

Για τα ελληνικά δεδομένα υπολογίζεται ότι το συνολικό χρονικό διάστημα στο οποίο μπορεί ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό σημείο να εκτεθεί σε σκίαση προκαλούμενη από ανεμογεννήτρια, σε περίοδο ενός έτους και υπό τις πλέον δυσμενείς συνθήκες (απόλυτη ηλιοφάνεια, διαύγεια ατμόσφαιρας, κλπ), δεν ξεπερνάει τα 18 λεπτά.

- Χρήσεις Γης

Υπάρχει μία γενική αντίληψη πως τα αιολικά πάρκα έχουν μεγαλύτερη έκταση ανά εγκατεστημένη μονάδα παραγωγής ενέργειας απ' ότι οι παραδοσιακές τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας. Ωστόσο, με μία υποτυπώδη ανάλυση, θα διαπιστωθεί πως οι παραπάνω δηλώσεις δεν είναι τόσο δεδομένες και προφανείς. Πιο συγκεκριμένα τόσο οι θερμοηλεκτρικοί όσο και οι πυρηνικοί σταθμοί, που αποτελούν τους παραδοσιακούς τρόπους παραγωγής ενέργειας, χρησιμοποιούν μεγάλες εκτάσεις γης καθ' όλη τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας, από την εξόρυξη ορυκτών καυσίμων έως τη διάθεση αποβλήτων. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, χρησιμοποιούνται ορυχεία, αντλιοστάσια, διυλιστήρια, λιμάνια, αποθήκες και χώροι παραγωγής. Εκτός από αυτές τις εγκαταστάσεις, η λειτουργία τους επηρεάζει τεράστιες περιοχές

γύρω από τον τόπο εγκατάστασης θερμικών και πυρηνικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, με αποτέλεσμα πολλές δραστηριότητες να διεξάγονται εντός των συνόρων τους.

Η έκταση που δεσμεύεται από μια ανεμογεννήτρια κοινής ονομαστικής ισχύος, (της τάξης των 2MW, με μήκος πτερυγίου 20 μέτρα), όπου δε μπορούν να πραγματοποιηθούν άλλες δραστηριότητες είναι περίπου 1,6 στρέμματα (40τ.μ. X 40 τ.μ.) χώρου γύρω από την ανεμογεννήτρια. Βέβαια αξίζει να σημειωθεί πως στην έκταση αυτή, εξετάζεται, από την επιστημονική κοινότητα, η δυνατότητα γεωργικής εκμετάλλευσης.

- Θόρυβος

Παρ' ότι υπάρχει η αντίληψη πως ο έντονος θόρυβος είναι χαρακτηριστικό της ύπαρξης των ανεμογεννητριών, η αλήθεια είναι πως ο εκπεμπόμενος θόρυβος από τις ανεμογεννήτριες σε κάποια απόσταση από αυτές δεν είναι σημαντικός, και συνήθως καλύπτεται από το θόρυβο που προκαλεί ο ίδιος ο άνεμος. Εξάλλου συνήθως οι ανεμογεννήτριες εγκαθίστανται σε περιοχές όπου πνέουν άνεμοι σημαντικής έντασης για μεγάλο χρονικό διάστημα, και κοντά σε αυτές τις περιοχές η εμπειρία έχει δείξει ότι δεν υπάρχουν οικισμοί, όπου ο θόρυβος θα ήταν ενοχλητικός.

**Μπορεί αυτός να είναι ο κανόνας, υπάρχουν όμως και εξαιρέσεις με χαρακτηριστικό το παράδειγμα** της ανεμογεννήτριας ισχύος 100 kW που εγκαταστάθηκε στην αυλή του πανεπιστημίου Case Western Reserve, στο βωμό της βιωσιμότητας που ήθελε να προάγει το ίδρυμα. Η τοποθέτηση της ανεμογεννήτριας αυτής, προκάλεσε παράπονα και αντιδράσεις από φοιτητές που δραστηριοποιούνταν κοντά στην εν λόγω εγκατάσταση. Οι βασικοί λόγοι ήταν ο θόρυβος και το φως που προερχόταν από την Α/Γ. Ο θόρυβος από τον άνεμο έχει τις ίδιες



Εικόνα 15: Εγκατάσταση Α/Γ σε campus πανεπιστημίου

επιπτώσεις κοντά σε κατοικημένες περιοχές, ιδίως για κάποιον που έχει δυσκολία στον ύπνο. Ο θόρυβος και οι δονήσεις του ανέμου απορροφούν επίσης περισσότερη ενέργεια που δεν μπορεί να μεταδοθεί σε ηλεκτρισμό. Επομένως, η μείωση του θορύβου και των δονήσεων του ανέμου έχει γίνει ολοένα και πιο σημαντικό ερευνητικό θέμα παγκοσμίως.

Γίνεται αντιληπτό λοιπόν πως ο θόρυβος που προκαλείται από τις ανεμογεννήτριες είναι ένα ζήτημα που χρειάζεται να μελετηθεί και να αναλυθεί περαιτέρω .

Κλείνοντας με τα χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών που προκαλούν αντιπάθεια στους κατοίκους, όπως λέει ο καθηγητής του MIT στην πολιτική και περιβαλλοντική μηχανική, Michael Howland.

«Κατά την αξιολόγηση των τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, είναι σημαντικό να γίνεται η εκτίμηση σε σχέση με τις εναλλακτικές βάσεις παραγωγής, επειδή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι αναγκαία για τη σύγχρονη κοινωνία»,

«Τα ορυκτά καύσιμα συνεισφέρουν στην κλιματική αλλαγή, στην αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση και σε αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη και ζωική υγεία, συμπεριλαμβανομένων των πτηνών, μεταξύ άλλων ζητημάτων. Η αιολική ενέργεια είναι μια τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που μειώνει σημαντικά τέτοιες περιβαλλοντικές και υγειονομικές επιπτώσεις.»

## 4. ΘΟΡΥΒΟΣ

### 4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Στην καθημερινότητα ο θόρυβος νοείται ως ένα στοιχείο ανεπιθύμητο και αφορά σε οποιοδήποτε φυσικό είτε αυτό είναι ο ήχος (ηχητικός - ακουστικός θόρυβος), είτε στην επιστήμη της πληροφορικής (θόρυβος δεδομένων), στην ηλεκτρονική (ηλεκτρονικός θόρυβος), στην όραση (οπτικός θόρυβος) κ.α..

Ως ακουστικός θόρυβος, βάσει ΕΛΟΤ-556 (πρότυπο για ακουστική - Ορολογία περιβαλλοντικής ακουστικής), ορίζονται τα εξής:

- Κάθε ακανόνιστος απεριοδικός ήχος που η στιγμιαία του τιμή αυξομειώνεται με τυχαίο τρόπο
- Κάθε ανεπιθύμητος ήχος

Η κατηγοριοποίηση του ακουστικού θορύβου γίνεται είτε με κριτήριο την πηγή θορύβου, που περιλαμβάνει τις εξής δύο (2) μεγάλες κατηγορίες:

- Θόρυβο περιβάλλοντος (ambient noise), δηλαδή ο θόρυβος που εκπέμπεται από μία συγκεκριμένη πηγή
- Θόρυβο βάθους (background noise), δηλαδή ο θόρυβος που εκπέμπεται από όλες τις πηγές τη δεδομένη χρονική στιγμή, στο συγκεκριμένο περιβάλλον

είτε με κριτήριο την διάρκεια του θορύβου και περιλαμβάνει τις εξής τρεις (3) κατηγορίες:

- Σταθερός θόρυβος
- Μεταβλητός θόρυβος
- Κυμαινόμενος θόρυβος

Καταρχάς, όσον αφορά τα dB, στην κλίμακα ντεσιμπέλ, ο ήχος με τη χαμηλότερη ένταση που μπορεί να ακουστεί (αντιλαμβανόμενος κοντά στην απόλυτη σιωπή) είναι μηδέν (0) dB. Από εκεί και πέρα, ένας ήχος δέκα (10) φορές πιο ισχυρός είναι δέκα (10) dB. Ένας ήχος 100 φορές πιο ισχυρός από την απόλυτη σιωπή είναι είκοσι (20) dB, ένας ήχος 1.000 φορές πιο ισχυρός από την απόλυτη σιωπή είναι 30 dB, και ούτω καθεξής. Έτσι, προκύπτει πως διπλασιασμός της ηχητικής έντασης ισοδυναμεί με αύξηση κατά τρία (3) dB.

## 4.2 ΘΟΡΥΒΟΣ ΚΑΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Όσον αφορά τον θόρυβο που παράγουν οι ανεμογεννήτριες πρέπει να αναφερθεί πως είναι υπαρκτός, με τις διαφωνίες της επιστημονικής κοινότητας να εστιάζουν στο εάν αυτός είναι επιβλαβής για την ανθρώπινη υγεία ή όχι. Βασικό επιχείρημα όσων ενοχλούνται από τον εν λόγω θόρυβο είναι η απώλεια ύπνου και δυνατότητας συγκέντρωσης. Αντίθετα οι υποστηρικτές της συγκεκριμένης τεχνολογίας, υποστηρίζουν πως εάν πληρούνται οι προϋποθέσεις δεν υπάρχει τέτοιο ζήτημα. Οι προϋποθέσεις αυτές αλλάζουν από τόπο σε τόπο και αφορούν κυρίως την μέγιστη δυνατή ισχύ του εν δυνάμει σταθμού και στην ελάχιστη δυνατή απόσταση από κατοικημένη περιοχή.

Ο παραγόμενος θόρυβος κατά τη λειτουργία μίας ανεμογεννήτριας είναι κατά κύριο λόγο είτε αεροδυναμικός είτε μηχανικός:

1. **Αεροδυναμικός: Θόρυβος που προέρχεται από την περιστροφή των πτερυγίων.** Ο αεροδυναμικός θόρυβος, εμφανίζεται κυρίως στα άκρα και στην πίσω πλευρά του πτερυγίου, και είναι ανάλογος της ταχύτητας περιστροφής. Ωστόσο, ο αεροδυναμικός θόρυβος έχει περιοριστεί δραστικά κατά τη διάρκεια των 10 τελευταίων ετών, χάρις στη σημαντική βελτίωση του σχεδιασμού των πτερυγίων (ιδιαίτερα των άκρων και της πίσω πλευράς τους). Άλλωστε σε αυτές τις αποστάσεις, οποιοσδήποτε θόρυβος που κάνουν καλύπτεται από το φυσικό θόρυβο που κάνει ο ίδιος ο αέρας στα δέντρα και τη βλάστηση. Σε κάθε περίπτωση, οι ανεμογεννήτριες απαιτείται να ικανοποιούν αυστηρές προδιαγραφές εκπομπών θορύβου.

**Πιο συγκεκριμένα ο αεροδυναμικός θόρυβος κατηγοριοποιείται στις εξής διακριτές κατηγορίες:**

- **Διακριτικός θόρυβος χαμηλών συχνοτήτων, στη συχνότητα περιστροφής της έλικας της φτερωτής. Προκαλείται από:**
  - Σταθερές και άλλες διατεταγμένες πηγές που βρίσκονται στις λεπίδες
  - Αλληλεπίδραση απορρευσμάτων
- **Πηγές αυτοεισαχθέντα θορύβου:**
  - Θόρυβος από το πίσω άκρο της κάθε έλικας,
  - Θόρυβος εξαιτίας του διαχωρισμού-stall,
  - Θόρυβος εξαιτίας της δημιουργίας δινών στα άκρα κάθε έλικας,
  - Θόρυβος εξαιτίας της δημιουργίας δινών κατά μήκος του επιπέδου της έλικας,
  - Θόρυβος εξαιτίας της δημιουργίας δινών από το πίσω άκρο της έλικας
- Θόρυβος εξαιτίας εισροής στον ρότορα ανομοιόμορφου, ταραχώδους αέρα

2. **Μηχανικός:** Ο μηχανικός θόρυβος δημιουργείται από τα μηχανικά μέρη στην άτρακτο της ανεμογεννήτριας. Η κύρια πηγή θορύβου είναι το κιβώτιο ταχυτήτων, αλλά σημαντική συνιστώσα για την τελική διαμόρφωση του θορύβου είναι και η γεννήτρια. Επίσης, στον συνολικό θόρυβο συμβάλουν και άλλες βοηθητικές συσκευές όπως ο ανεμιστήρας ψύξης. Με κριτήριο την πορεία διάδοσης του θορύβου, ο μηχανικός θόρυβος χωρίζεται σε δύο υποκατηγορίες:

- Στον αερόφερτο, τον θόρυβο δηλαδή που μεταδίδεται άμεσα στην ατμόσφαιρα όπως δηλαδή ο θόρυβος που παράγει η γεννήτρια ή το κιβώτιο ταχυτήτων και διαχέεται από τα ανοίγματα της ατράκτου
- Στον στερεόφερτο, τον θόρυβο δηλαδή που οφείλεται στις δονήσεις και μεταδίδεται μέσω των στερεών δομικών στοιχείων της κατασκευής. Είναι έμμεσος θόρυβος και αποτελεί τη μεγαλύτερη συνιστώσα του μηχανικού θορύβου.

Ο θόρυβος (αερόφερτος και στερεόφερτος) στο κιβώτιο ταχυτήτων, οφείλεται στις τριβές που δημιουργούνται μεταξύ γραναζιών, οι οποίες γίνονται εντονότερες λόγω σφαλμάτων μετάδοσης. Ως σφάλμα μετάδοσης στο κιβώτιο ταχυτήτων ορίζεται ως η διαφορά της επιθυμητής με την πραγματική θέση του κινούμενου γραναζιού. Άρα όσο πιο ακριβές είναι το κιβώτιο, τόσο λιγότερος ήχος παράγεται από την ανεμογεννήτρια. Είναι αξιοσημείωτο πως διπλασιασμός του σφάλματος μετάδοσης ισοδυναμεί με αύξηση του επίπεδου θορύβου κατά 6 dB. Ακόμη, σύνηθες φαινόμενο που οδηγεί σε αύξηση του παραγόμενου θορύβου είναι η φθορά των οδοντωτών τροχών, αφού έτσι αυξάνεται το πλάτος των παραγόμενων δονήσεων.

Ακόμη, δευτερεύοντες πηγές θορύβου μπορεί να θεωρηθούν:

3. **Ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος:** Οι ανεμογεννήτριες που λειτουργούν με γεννήτριες μετατροπής ενέργειας, παράγουν επίσης ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους.
4. **Θόρυβος από την Αλληλεπίδραση του Ανέμου με τα Στοιχεία της Κατασκευής:** Ο θόρυβος μπορεί να προκύψει και από την αλληλεπίδραση του ανέμου με τα διάφορα στοιχεία της κατασκευής, όπως οι πύλες και οι σκιάδες του πύργου.

Η συνολική ένταση του θορύβου που παράγεται από μία ανεμογεννήτρια είναι το αποτέλεσμα του συνδυασμού των παραπάνω πηγών.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα την επίδραση του θορύβου από ανεμογεννήτριες στο ανθρώπινο περιβάλλον, είναι σημαντικό να αναφέρουμε ποσοτικά στοιχεία. Μετρήσεις δείχνουν ότι τα επίπεδα θορύβου από μια μονάδα σε απόσταση 400 μέτρων μπορούν να φτάσουν τα 35-45 dB(A),

παρόμοια με το θρόισμα ενός δάσους ή το περιβάλλον ενός ήσυχου δωματίου (Johnson, 2018).

Πιο αναλυτικά, σε πλήρες φορτίο, τα επίπεδα θορύβου μπορούν να φτάσουν έως και 105 ντεσιμπέλ στον κόμβο του στροβίλου, που έχει ύψος 100 μέτρα (για τον ελλαδικό χώρο). Είναι περίπου τόσο δυνατός, όσο και ο θόρυβος ενός εκσκαφέα σε λειτουργία. Σε μια ακτίνα 300 - 350 μέτρων, το επίπεδο θορύβου μειώνεται σημαντικά στα 45 ντεσιμπέλ, το οποίο ισοδυναμεί με το θρόισμα δάσους ή ένα ήσυχο διαμέρισμα. Και σε ακτίνα 500 μέτρων, σε πλήρες φορτίο, πέφτει στα 40 ντεσιμπέλ, κάτι που θα μπορούσε να συγκριθεί με πολύ ήρεμη βροχή.

Πιο αναλυτικά, ο θόρυβος μίας σύγχρονης ανεμογεννήτριας σε έντονη λειτουργία κυμαίνεται μεταξύ 95 – 105 dB και προκύπτει κυρίως από την περιστροφή των πτερυγίων (αεροδυναμικό θόρυβο), αφού οι παράγοντες του μηχανικού θορύβου χάρη σε τεχνολογικά επιτεύγματα έχουν σχεδόν εξαλειφθεί και γίνονται αντιληπτοί κατά την δυσλειτουργία κάποιου εξαρτήματος. Όσον αφορά την διάχυση του εν λόγω ήχου, δηλαδή τον τρόπο με τον οποίο ο ήχος εξαπλώνεται και διασπείρεται στο περιβάλλον, συναρτήσει της απόστασης από την ηχητική πηγή (Α/Γ).

Πίνακας 2: Διάχυση ήχου από Α/Γ

Εκπομπή ήχου από την ανεμογεννήτρια (dB)	Διάχυση ήχου	Διάχυση ήχου	Διάχυση ήχου
	45 dB	40 dB	35 dB
105	350 m	575 m	775 m
100	200 m	350 m	575 m
95	120 m	200 m	350 m

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας συνιστά μέγιστη έκθεση σε επίπεδο θορύβου τα 45 ντεσιμπέλ από αιολικά πάρκα σε κατοικημένες περιοχές. Στην Ελλάδα, το θεσμοθετημένο επιτρεπτό όριο του θορύβου για την ημέρα είναι τα 70 ντεσιμπέλ και για τη νύχτα τα 60 ντεσιμπέλ. Σύμφωνα μάλιστα με τα ΝΕΑ, το 18% του συνόλου του πληθυσμού της χώρας κατοικεί σε ζώνες που ο θόρυβος ξεπερνά το επιτρεπτό όριο του θορύβου για την ημέρα και το 26% το επιτρεπόμενο όριο για τη νύχτα. Συγκριτικά, στη Γερμανία, ο νόμος επιτρέπει ως μέγιστο τα 40 ντεσιμπέλ και 55 ντεσιμπέλ κατά τη διάρκεια της νύχτας και της ημέρας, αντίστοιχα. Αυτό είναι περίπου το ίδιο επίπεδο θορύβου που δημιουργείται από την κυκλοφορία οχημάτων στους δρόμους. Είναι, λοιπόν, απαραίτητο τα αιολικά πάρκα να μην κατασκευάζονται πολύ κοντά σε κατοικημένες περιοχές.

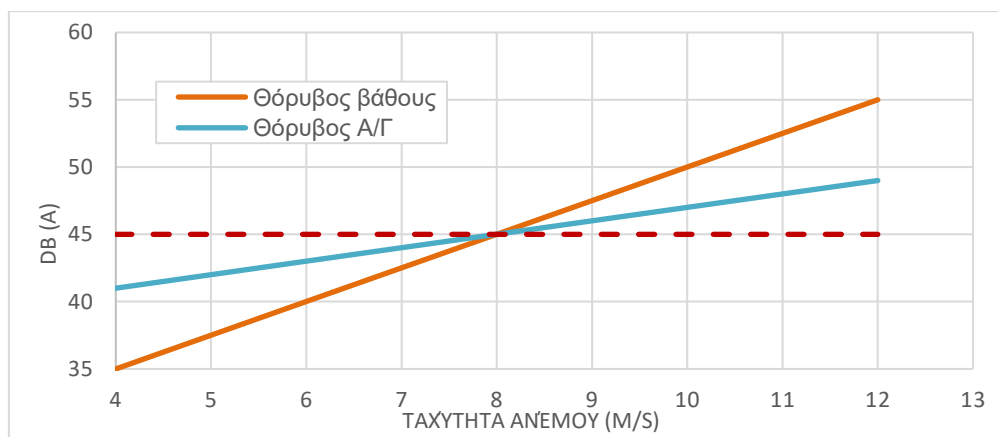
Επιπλέον, τα αιολικά πάρκα εκπέμπουν ήχο πολύ χαμηλής συχνότητας κάτω από 20 Hertz — γνωστό ως υπέρηχο. Τα ανθρώπινα αυτιά δεν μπορούν να ακούσουν τόσο χαμηλές συχνότητες. Τέτοιοι υπέρηχοι παράγονται π.χ. από καταρράκτες, τα κύματα του ωκεανού ή από διάφορα μηχανήματα, όπως τα οχήματα, οι θερμάστρες, οι αντλίες και τα κλιματιστικά.

Αυτοί που αντιτίθενται στα αιολικά πάρκα ισχυρίζονται ότι ο υπέρηχος που δημιουργείται από αυτά είναι επιβλαβής για την ανθρώπινη υγεία. Ωστόσο, μελέτες αποδεικνύουν ότι τα αιολικά πάρκα παράγουν σημαντικά λιγότερους υπέρηχους από την κυκλοφορία των αυτοκινήτων.

Όσον αφορά την ένταση του θορύβου που προκαλείται από την λειτουργία μίας ανεμογεννήτριας, η ηχητική διάδοση στις Α/Γ αντιμετωπίζεται διαφορετικά, ανάλογα με την ιδιομορφία της πηγής. Γενικά, ισχύει ότι σε μια σημειακή ακίνητη πηγή η διάδοση ακολουθεί μια μείωση 6 dB, για κάθε διπλασιασμό της απόστασης πηγής – δέκτη.

Έχει αποδειχθεί ότι ο θόρυβος που προκαλούν οι ανεμογεννήτριες σε συνθήκες λειτουργίας (για μία κοινή Α/Γ ταχύτητα ανέμου >4m/s) στο ανοικτό περιβάλλον, αναμιγνύεται με το θόρυβο του περιβάλλοντος χώρου (θόρυβος ανέμου, θρόισμα των φυλλωμάτων των δένδρων κλπ) και, επομένως, μειώνεται η όποια δυσμενής αντίληψη προκαλείται από την πηγή που προκαλεί το θόρυβο. Σε κατάσταση νηνεμίας και σε ταχύτητες ανέμου <4 m/s δεν προκαλείται κανένας θόρυβος, αφού οι ανεμογεννήτριες παύουν τη λειτουργία τους. Συνεπώς δύναται να ειπωθεί πως όποιος ενοχλητικός θόρυβος προκαλείται στο διάστημα από 4 έως 8 m/s, όπου η ένταση θορύβου που προκαλείται από τις ανεμογεννήτριες υπερβαίνει την ένταση θορύβου του περιβάλλοντος χώρου.

Αντίθετα, σε μεγάλες ταχύτητες ανέμου (> 8m/s) ο θόρυβος του περιβάλλοντος, υπερκαλύπτει το θόρυβο των ανεμογεννητριών. Παρατίθεται το παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 6: Σχέση Ταχύτητας ήχου - Db

Συνεπώς τα Decibels (dB) που αφορούν το προς μελέτη αντικείμενο είναι το εύρος των 40 – 45 dB, αφού σε αυτό το εύρος ο θόρυβος από τις Α/Γ γίνεται αντιληπτός

ΕΝΤΑΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ (dB)	ΠΗΓΗ ΘΟΡΥΒΟΥ
0	Σχεδόν απόλυτη ησυχία
15	Ψίθυρος
40	Βουητό ψυγείου
60	Τυπική συζήτηση
90	Θορυβώδης αίθουσα
120	Κινητήρας αεροπλάνου

στον άνθρωπο. Μία αναλογία εύρους, με ηχητικά παραδείγματα από την ανθρώπινη καθημερινότητα, ο θόρυβος μίας κοινής ανεμογεννήτριας, είναι το βουητό ενός ψυγείου και ο θόρυβος μίας τυπικής συζήτησης μεταξύ δύο ανθρώπων.

Οι βασικές κατηγορίες των ανεμογεννητριών με κριτήριο τον τόπο εγκατάστασης είναι οι παράκτιες (τοποθετημένες σε αγροτικές, δασικές και ορεινές τοποθεσίες), οι υπεράκτιες (τοποθετημένες σε θαλάσσια και ωκεάνια περιβάλλοντα) και οι αστικές (τοποθετημένες σε αστικά κέντρα). Τυπικά οι ανεμογεννήτριες στα αστικά κέντρα ανήκουν στις παράκτιες τεχνολογίες, αλλά στη συγκεκριμένη ανάλυση λόγω:

- Έντονης ανοδικής πορείας της εν λόγω τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια
- Διαφορετικών χαρακτηριστικών λόγω του μικρότερου μεγέθους τους
- Διευκόλυνσης του προς μελέτη αντικειμένου

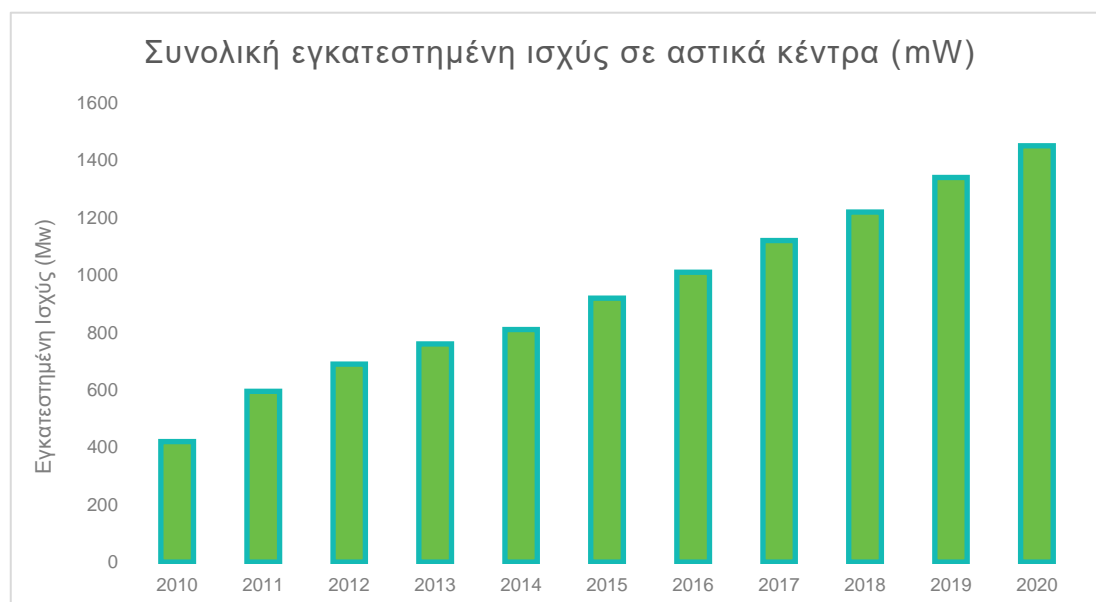
Συνήθως, ανεμογεννήτριες κλίμακας μεγαβατώραν χρησιμοποιούνται στον βιομηχανικό τομέα ή σε συνδέσεις δικτύου, ενώ οι ανεμογεννήτριες μικρότερης κλίμακας εξυπηρετούν την ανάγκη για ανεξάρτητη χρήση σε απομακρυσμένες περιοχές ή αστικά περιβάλλοντα. Σημαντικό να σημειωθεί ότι, σύμφωνα με την έκθεση της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής, οι ανεμογεννήτριες με επιφάνεια ρότορα μικρότερη των 200 τ.μ. χαρακτηρίζονται ως ανεμογεννήτριες μικρής κλίμακας και γνωρίζουν αυξανόμενη δημοτικότητα σε αστικά περιβάλλοντα.

Στα παραπάνω κεφάλαια δόθηκαν πληροφορίες εν γένει για τις ανεμογεννήτριες, που ως επί των πλείστων αφορούν τις πρώτες δύο κατηγορίες, ήτοι παράκτιες και υπεράκτιες.

## 5.ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

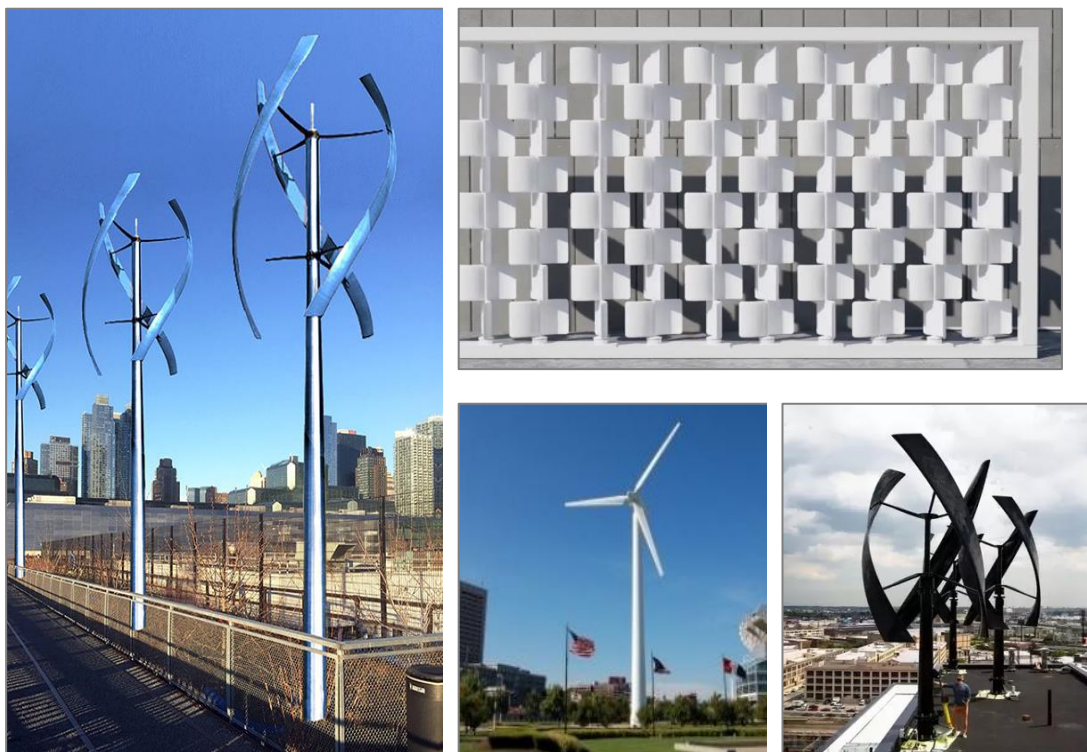
### 5.1 Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Με τη ταχέως αυξανόμενη αστική πληθυσμιακή ανάπτυξη, αναμένεται ότι τα ψηλά κτίρια θα γίνουν η νέα πραγματικότητα για τη βιώσιμη ανάπτυξη και τη βέλτιστη χρήση του χώρου. Ωστόσο, συχνά οι αρχιτέκτονες και οι σχεδιαστές κτιρίων επικεντρώνονται μόνο στη δομή, το σχεδιασμό και την αισθητική του κτιρίου, την ώρα που με τη βοήθεια λεπτομερών αεροδυναμικών μελετών, η αιολική ενέργεια θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά σε αστικά περιβάλλοντα για τη βιώσιμη ανάπτυξη και την ευημερία. Τα τελευταία χρόνια αυτή η δυνατότητα φαίνεται να αποκτά όλο και μεγαλύτερες διαστάσεις με τις μικρές ανεμογεννήτριες για αστική εγκατάσταση να αυξάνονται συνεχώς.



Σχήμα 7: Εγκατεστημένη ισχύς σε αστικά κέντρα

Σε πολλές περιπτώσεις, οι διατάξεις, ο σχεδιασμός των κτιρίων αλλά και στενές αποστάσεις μεταξύ τους, είναι ευνοϊκές για την καλύτερη απόδοση των ανεμογεννητριών. Είναι γεγονός πως οι μικρές αποστάσεις μεταξύ των κτιρίων μπορούν να αυξήσουν σημαντικά την ταχύτητα του ανέμου και το δυναμικό παραγωγής αιολικής ενέργειας σε ψηλά κτίρια λόγω του φαινομένου συγκέντρωσης (Blocken et al., 2007, Blocken et al., 2008, Li et al., 2015). Έχει διαπιστωθεί ότι η διάταξης των κτιρίων και τα ποικίλα ύψη δύνανται να ενισχύσουν την πυκνότητα της ανεμικής ενέργειας κατά 65% και 364%, αντίστοιχα (Juan et al., 2022). Συνεπώς, η αστική ανεμοενέργεια μπορεί να βελτιωθεί μέσω κατάλληλου αστικού σχεδιασμού και σχεδιασμού που συμπεριλαμβάνει χαρακτηριστικά κτιρίων που ενισχύουν το δυναμικό παραγωγής αιολικής ενέργειας.



Εικόνα 16: Διάφορες Α/Γ

Η εγκατάσταση συστημάτων αιολικής ενέργειας σε αστικό περιβάλλον μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε τρεις τύπους: (1) εγκατάσταση ανεξάρτητων ανεμογεννητριών κοντά σε κτίρια (Σχήμα ), (2) εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε υπάρχοντα κτίρια (Σχήμα ) και (3) ενσωμάτωση ανεμογεννητριών σε αρχιτεκτονικά έργα (Σχήμα) (Campbell2001, Stathopoulos et al., 2018, Rezaeiha et al., 2020).

Αξίζει να σημειωθεί πως η επικρατέστερη και η πιο πολλά υποσχόμενη εκ των παραπάνω κατηγοριών, παρ' ότι είναι σχετικά νέα τεχνολογία και βρίσκεται ακόμη σε στάδια ανάπτυξης, είναι η δεύτερη, δηλαδή η εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε στέγες κτιρίων. Όπως απεικονίζεται και στα παραπάνω σχήματα, η εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας σε αστικά περιβάλλοντα, αποτελείται κατά κύριο λόγο από ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα. Αυτό οφείλεται στο ότι η αστική αρχιτεκτονική, δεν επιτρέπει την κατασκευή των ευρέως διαδεδομένων ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα, αυτό όμως δεν σημαίνει ότι οι πόλεις δεν μπορούν να αξιοποιήσουν το δυναμικό του ανέμου για την παραγωγή ενέργειας. Προς αυτή την κατεύθυνση, οι ανεμογεννήτριες με κάθετο άξονα, όπως απεικονίζονται στα παραπάνω σχήματα, προσαρμόζονται καλύτερα στις αστικές ανάγκες χάρη σε μια σειρά πλεονεκτημάτων, ήτοι:




- Δεν χρειάζονται μεγάλο ύψος ή τις μεγάλες επιφάνειες των οριζόντιων ανεμογεννητριών.
- Δεν χρειάζεται να περιστρέφονται βάσει του ανέμου και δεν επηρεάζονται σημαντικά από τις αλλαγές κατεύθυνσης του.
- Μπορούν να τοποθετηθούν πιο κοντά στο έδαφος και να χρησιμοποιήσουν τα φυσικά ή τα τεχνητά φυσικά χαρακτηριστικά της γης που ευνοούν τη ροή του ανέμου.

Οι ανεμογεννήτριες με κάθετο άξονα είναι διαθέσιμες σε διάφορα σχήματα και μεγέθη, και κάθε τύπος ανεμογεννήτριας με κάθετο άξονα λειτουργεί καλύτερα υπό διάφορες συνθήκες. Η επιλογή μοντέλου ανεμογεννήτριας με κάθετο άξονα για μια πιθανή τοποθεσία εγκατάστασης, πρέπει να μελετηθεί προσεκτικά. Για κάθε τύπο τοποθεσίας, πιθανώς θα υπάρχει τουλάχιστον ένας τύπος ανεμογεννήτριας με κάθετο άξονα που θα προσαρμόζεται καλύτερα στις συνθήκες εκείνης της συγκεκριμένης τοποθεσίας.

Σε πόλεις οι οποίες έχουν εκδηλώσει ενδιαφέρον και υλοποιήσει πιλοτικά έργα στον κλάδο αυτό, όπως το Λονδίνο, τη Νέα Υόρκη, το Σικάγο, το Σαν Φρανσίσκο, καθώς και άλλες μεγάλες αστικές περιοχές παγκοσμίως, παρατηρείται έντονα το φαινόμενο των μικρών αιολικών πάρκων σε ταράτσες κτιρίων.

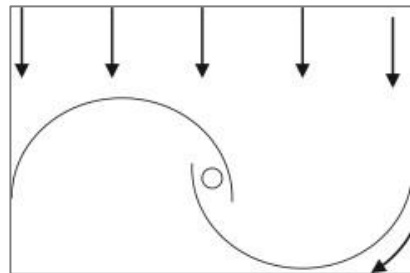
Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά διαφόρων Α/Γ

	Μικρές Οριζόντιες Α/Γ	Κατακόρυφες Ανεμογεννήτριες (Darrius VAWT )	Κατακόρυφες Ανεμογεννήτριες (Savonius VAWT)
Ονομαστική Ισχύς	0.1 - 10 kW	0.75-60 kW	0.5 - 10 kW
Τύπος Ρότορα	3-5 λεπίδες (με κόντρα τον άνεμο ή προσήνεμα)	3-5 vertical blades	Multi-tier, multi-scoop rotors
Διάμετρος Ρότορα (m)	1.4-10.2 m	1.2-10 m	1-2.36 m
Στήριξη	Έδαφος	Έδαφος, Οροφές	Έδαφος, Οροφές
Ταχύτητα Έναρξης Λειτουργίας	2.5 m/s	2.5 m/s	3 m/s

Ανεμογεννήτριας (m/s)			
Ταχύτητα Έναρξης Λειτουργίας Ανεμογεννήτριας (m/s)	25 m/s	25 m/s	25 m/s
Απεικόνιση			

Όπως αποτυπώνεται παραπάνω οι κατηγορίες των κατακόρυφων ανεμογεννητριών είναι δύο (2) και αναλυτικά είναι οι εξής:

**Savonius VAWT:** Η ανεμογεννήτρια Savonius είναι μία απλή ανεμογεννήτρια με κατακόρυφο άξονα που εφευρέθηκε από τον Sigurd J. Savonius το 1922. Στον αρχικό του σχεδιασμό, αποτελείτο από δύο μισοκυλινδρικές λεπίδες τοποθετημένες σε σχήμα 'S'. Η κυρτή πλευρά του ενός μισοκυλίνδρου και η κοίλη πλευρά του άλλου είναι στραμμένες προς τον άνεμο ταυτόχρονα, όπως φαίνεται στο Σχήμα. Καθώς ο συντελεστής της αντίστασης της κοίλης επιφάνειας είναι μεγαλύτερος από εκείνον της κυρτής πλευράς, σε μια δεδομένη ροή αέρα, η δύναμη τριβής που αντιμετωπίζει το κοίλο μισό, θα είναι υψηλότερη από αυτή του άλλου μισού. Είναι αυτή η διαφορά στη δύναμη τριβής που περιστρέφει τον ρότορα για την ανάπτυξη μηχανικής ενέργειας. Το συγκεκριμένο είδος Α/Γ, έχει καλύτερη ταχύτητα εκκίνησης, που είναι κατάλληλη για περιοχές χαμηλής ταχύτητας ανέμου, αλλά ο λόγος ταχύτητας άκρης (tip speed ratio) είναι πάντα μικρότερος της μονάδας. Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές των ρότορων Savonius. Για παράδειγμα, έχουν σχεδιαστεί συστήματα με δύο σειρές ρότορες που τοποθετούνται με γωνία 90° μεταξύ τους για να εξομαλύνουν τις διακυμάνσεις της ροπής κατά τη λειτουργία. Επίσης, αντί για κυλινδρικούς ρότορες, έχουν δοκιμαστεί λεπίδες με έλλειψη στη βάση, για να βελτιωθεί η αεροδυναμική απόδοση. Μια άλλη προσπάθεια για τη βελτίωση της απόδοσης ήταν η προσάρτηση αυξητικών ανακατευθυντών με τους ρότορες Savonius. Ο αυξητής σκιάζει το κυρτό μισό που είναι στραμμένο προς τον άνεμο και



Σχήμα 8: Α/Γ Savonius

κατευθύνει τη ροή προς το κοίλο μισό, ενισχύοντας έτσι την απόδοση του ρότορα.

Γενικά, το κύριο πλεονέκτημα του ρότορα Savonius είναι η απλότητά του. Δεν απαιτούνται περίπλοκες μέθοδοι ή τεχνικές δεξιότητες για την κατασκευή του και μπορεί ακόμη να κατασκευαστεί σε μικρά τοπικά εργαστήρια, καθιστώντας τον έτσι ελκυστικό για εφαρμογές σε λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες. Το κύριο μειονέκτημα αυτών των ρότορων είναι η χαμηλή απόδοσή τους, αφού πρόκειται για ένα μηχάνημα τριβής που λειτουργεί σε χαμηλούς λόγους ταχύτητας άκρης. Έτσι, αυτές οι τεχνολογίες έχουν σχετικά χαμηλό συντελεστή ισχύος. Επιπλέον, λόγω των δομικών τους χαρακτηριστικών, τέτοιου είδους ανεμογεννήτριες εγκαθίστανται σε χαμηλότερου ύψους κτήρια και συνεπώς, δεν μπορούν να εκμεταλλευτούν υψηλότερες ταχύτητες ανέμου σε μεγαλύτερα υψόμετρα.

Darrieus VAWT: Αυτός ο τύπος ανεμογεννήτριας εφευρέθηκε το 1931 από τον Georges Darrieus και είναι μια συσκευή χαμηλής ροπής και υψηλών ταχυτήτων που χρησιμοποιείται για την παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος (AC). Αυτή η συσκευή αποτελείται από δύο λεπίδες που είναι κατακόρυφα κατευθυνόμενες και περιστρέφονται γύρω από ένα κάθετο άξονα. Μπορούν να παρέχουν καλύτερη αεροδυναμική απόδοση (λόγος ταχύτητας άκρης, μεγαλύτερος της μονάδας) και υπάρχουν επίσης ορισμένες συσκευές για τη βελτίωση της ταχύτητας έναρξης τους. Σε σύγκριση με τις ανεμογεννήτριες Savonius, οι ανεμογεννήτριες Darrieus έχουν υψηλή απόδοση ισχύος και χαμηλότερη ροπή εκκίνησης. Οι ανεμογεννήτριες Darrieus έχουν δύο σημαντικά προβλήματα σε σύγκριση με τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα:

- χαμηλή απόδοση και ισχύς
- ανεπαρκής ικανότητα αυτόνομης εκκίνησης

Ο λόγος ταχύτητας άκρης,  $\lambda$ , ή TSR για τις ανεμογεννήτριες αναφέρεται στον λόγο μεταξύ της εφαιπτομένης ταχύτητας στην άκρη ενός φτερού και της πραγματικής ταχύτητας του ανέμου. Ο λόγος ταχύτητας άκρης σχετίζεται με την αποδοτικότητα και η μεγιστοποίηση της εξαρτάται από τον σχεδιασμό του φτερού. Υψηλότερες ταχύτητες άκρης οδηγούν σε υψηλότερα επίπεδα θορύβου και απαιτούν πιο ανθεκτικά φτερά λόγω των μεγαλύτερων κεντρικών δυνάμεων.

## 5.2 ΘΟΡΥΒΟΣ

Σε αστικά περιβάλλοντα, όπως είδαμε, οι ανεμογεννήτριες με κάθετο άξονα (VAWTs) είναι καταλληλότερες σε σχέση με τους τύπους οριζόντιου άξονα (HAWTs) λόγω του χαμηλότερου κόστους τους και της καλύτερης εφαρμογής τους για πολύπλοκες συνθήκες ανέμου και περιορισμού χώρου. Ωστόσο, ο θόρυβος που εκπέμπεται από τους VAWTs δεν μπορεί να αγνοηθεί αφού η εγκατάστασή τους γίνεται σε σημεία όπου οι άνθρωποι ζουν και δραστηριοποιούνται. Μάλιστα, κατά περιόδους έντονων ανέμων, συχνές είναι οι αναφορές για παραγωγή ήχων όπως βόμβοι και σφυρίγματα σε ένα ευρύ φάσμα ακουστικών συχνοτήτων. Συνεπώς, οι αρνητικές επιπτώσεις του θορύβου από μικρές ανεμογεννήτριες τόσο σε ανθρώπους όσο και σε ζώα είναι υπαρκτές.

Ως αποτέλεσμα, το ερευνητικό ενδιαφέρον για το θόρυβο των VAWTs αυξάνεται, υποκινούμενο από την ανάγκη ανάπτυξης της αστικής αιολικής ενέργειας. Για παράδειγμα, Ο M. Mohamed διερεύνησε τις επιδράσεις του πτερυγίου, της πυκνότητας του ρότορα και του λόγου ταχύτητας άκρης στον θόρυβο των VAWTs, χρησιμοποιώντας τις μεθόδους Ffowcs-Williams και Hawkings (FW-H) και το μοντέλο unsteady Reynolds-averaged Navier–Stokes (URANS). Ο Dessoky, χρησιμοποιώντας την μέθοδο DDES (μέθοδος της εξάντλησης), κατέληξε στο συμπέρασμα πως η πρόσοψη του πτερυγίου είναι η κύρια πηγή θορύβου σε χαμηλό λόγο ταχύτητας άκρης, λόγω της μεγαλύτερης γωνίας περιστροφής και της μεταβολής της ταχύτητας της εισερχόμενης ροής. Ο Pearson, επικεντρώθηκε στα ακουστικά φάσματα των VAWTs και εντόπισε ενέργεια σε στενά ζώντα συχνοτήτων γύρω από τις συχνότητες διέλευσης της λεπίδας. Ο Ottermo έδειξε ότι ο θόρυβος των VAWTs δημιουργείται μόνο σε μια στενή περιοχή των γωνιών αζιμουθίου χρησιμοποιώντας ένα σχετικό πείραμα. Επιπλέον, το επίπεδο θορύβου από την τοποθέτηση πολλαπλών VAWTs σε μικρή απόσταση, ήταν υψηλότερο από αυτό της τοποθέτησης μιας μόνο VAWT. Αυτές οι μελέτες δείχνουν ότι οι λόγοι ταχύτητας άκρης παίζουν καθοριστικό ρόλο στον θόρυβο των VAWTs. Ωστόσο, παραβλέπουν τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας των VAWTs σε αστικά περιβάλλοντα, όπως χαμηλό αριθμό Reynolds ( $Re$ ), χαμηλή ταχύτητα ανέμου και μικρές γεωμετρικές διαστάσεις των VAWTs.

Η αρχική συνθήκη ροής επίσης, αποτελεί σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει το θόρυβο των VAWTs. Ο Su μελέτησε τον αντίκτυπο της έντασης των αναταράξεων στον θόρυβο των VAWTs και τα αποτελέσματά του έδειξαν ότι υψηλότερη ένταση αναταράξεων μπορεί να προκαλέσει υψηλότερα επίπεδα θορύβου. Ο Botha επίσης διαπίστωσε ότι το επίπεδο θορύβου των VAWTs είναι ευαίσθητο στην ταχύτητα της εισερχόμενης ροής και την ένταση των αναταράξεων. Επιπλέον, η ένταση της εισερχόμενης ροής αποτελεί σημαντική πηγή θορύβου. Πολλές μελέτες επίσης επισημαίνουν ότι οι συνθήκες λειτουργίας είναι κρίσιμες για τον θόρυβο.

Αξιοσημείωτα είναι τα ευρήματα πρόσφατης έρευνας των Wen-Yu Wang και Yuh-Ming Ferng, οι οποίοι επιδιώκουν μέσω διαφορετικής σχεδίασης λεπίδων να πετύχουν τη μέγιστη δυνατή απόδοση της ανεμογεννήτριας, συνοδευόμενη από τη μέγιστη δυνατή μείωση θορύβου. Σε πολλές από αυτές τις περιπτώσεις η μείωση του θορύβου έχει επιτευχθεί, η οποία ωστόσο συνοδεύεται από την μείωση της αεροδυναμικής αποδοτικότητας της ανεμογεννήτριας.

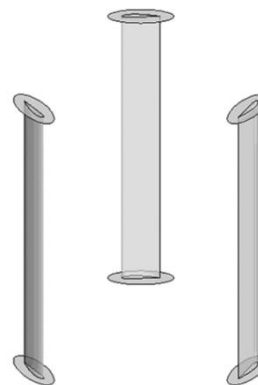
Στόχος λοιπόν της παρούσας μελέτης ήταν η ανάλυση των θορύβων που παράγονται από μια ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα ισχύος 5 kW και οι επιπτώσεις διαφόρων τεχνικών μείωσης θορύβου, τόσο όσον αφορά στη μείωση του θορύβου όσο και στην αεροδυναμική ροπή. Κατά το πειραματικό στάδιο λοιπόν, αξιολογήθηκαν οι επιπτώσεις διαφορετικών σταθερών μοντέλων ταραχής κατάστασης και μεγέθους δικτύου, και ο βέλτιστος συνδυασμός ως προς την απόδοση, εφαρμόστηκε στην ανάλυση τριών διαφορετικών τεχνικών μείωσης θορύβου. Συνολικά, ελάχιστες μελέτες υπάρχουν που να χρησιμοποιούν ανεμογεννήτριες Darrieus VAWT για την προσομοίωση των θορύβων, αφού οι τεχνικές μείωσης του θορύβου για μικρής κλίμακας ανεμογεννήτριες είναι πολύ περιορισμένες. Αυτή η μελέτη μπορεί να συμβάλει στη διάδοση των μικροκλιμακών ανεμογεννητριών σε αστικό περιβάλλον.

Σε αυτή τη μελέτη χρησιμοποιήθηκε ο υπολογιστικός υδροδυναμικός υπολογισμός (CFD) για να προσομοιώσει τη διανομή της ροπής και της ακουστικής ισχύς μιας ανεμογεννήτριας με μικρό κάθετο άξονα (VAWT) σε ένα τυπικό περιβάλλον ανέμου με ταχύτητα 12 m/s και περιστροφική ταχύτητα 60 rpm. Αναλύθηκαν οι επιπτώσεις του δικτύου και των μοντέλων ταραχών, και ο καλύτερος συνδυασμός εφαρμόστηκε για την ανάλυση του πεδίου ροής και τον εντοπισμό των μηχανισμών για τη μείωση της ροπής και την αύξηση του θορύβου. Τέλος, αξιολογήθηκαν τρεις συνήθως χρησιμοποιούμενες τεχνικές μείωσης θορύβου για την αποτελεσματικότητά τους.

Τρεις συνήθως χρησιμοποιούμενες τεχνικές μείωσης θορύβου εξετάστηκαν: μια μάσκα, ένας ανακλαστήρας και η τραχύτητα τοίχου. Η προσομοιωμένη ροπή και η ακουστική ισχύς της λεπίδας συγκρίθηκαν με τις τιμές αναφοράς για να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα κάθε τεχνικής μείωσης θορύβου.

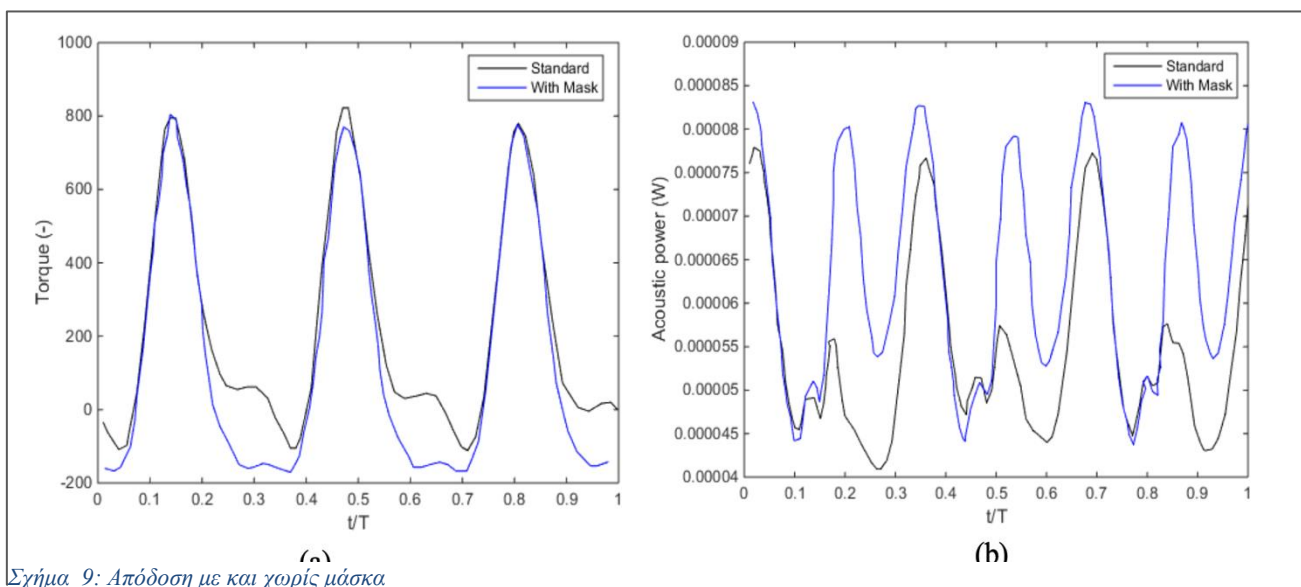
## ΜΑΣΚΑ

Η εγκατάσταση μιας μάσκας στα άνω και κάτω άκρα της επιφάνειας μιας λεπίδας αποτρέπει τις αιχμηρές γωνίες που προκαλούν ισχυρό διαχωρισμό ή αναταραχές. Σε αυτή τη μελέτη, μια μάσκα με μακρύ άξονα 1.2 μέτρων και κοντό άξονα 0.5 μέτρων τοποθετήθηκε στα άνω και κάτω άκρα των λεπίδων, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 17*.



*Εικόνα 17: Μάσκα*

Το Σχ. 6(α) δείχνει ότι η εγκατάσταση της μάσκας μείωσε τη μέση ροπή κατά 40% στο 124. Ωστόσο, το Σχ. 6(β) δείχνει ότι η μάσκα δεν είχε αντίστοιχη μείωση στον θόρυβο. Η μέση ακουστική ισχύς μετά την εγκατάσταση ήταν  $6.34 \times 10^{-5}$  W, που αποτελεί αύξηση 16%. Όπως συζητήθηκε στο Τμήμα 3.2, η πηγή του θορύβου ήταν ο αναταραχής που παράγεται μέσα στη λεπίδα αφού η λεπίδα διασχίσει το πεδίο του ανέμου. Ως εκ τούτου, η προσθήκη μάσκας στα δύο άκρα όχι μόνο απέτυχε να μειώσει τον θόρυβο, αλλά αύξησε επίσης την επιφάνεια τριβής με τον αέρα, που πραγματικά αύξησε τον θόρυβο και την αντίσταση.



*Σχήμα 9: Απόδοση με και χωρίς μάσκα*

### 5.3 ΣΥΝΟΨΗ

Συνεπώς, ένα από τα κύρια προβλήματα που προκύπτουν κατά τη χρήση ανεμογεννητριών σε αστικές περιοχές είναι η μεταβλητότητα και η απροβλεψιμότητα των συνθηκών του ανέμου. Κτίρια, δρόμοι και άλλες κατασκευές δημιουργούν ταραχές, στροβίλους και μεταβολές στην ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου που μπορούν να μειώσουν την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία των ανεμογεννητριών. Επιπλέον, οι ανεμογεννήτριες χρειάζονται ελάχιστη ταχύτητα ανέμου για να αρχίσουν να παράγουν ηλεκτρισμό και μέγιστη ταχύτητα ανέμου για να αποφεύγεται η ζημιά. Επομένως, η εύρεση ενός κατάλληλου τόπου και κατεύθυνσης για ανεμογεννήτριες σε πόλεις απαιτεί προσεκτική ανάλυση των μοτίβων του ανέμου και των δυνατικών επιπτώσεων στο περιβάλλον.

Ένα άλλο πρόβλημα που προκύπτει κατά τη χρήση ανεμογεννητριών σε αστικές περιοχές είναι ο θόρυβος και οι δονήσεις που παράγουν. Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να παράγουν ήχο από την περιστροφή των πτερυγίων, το κιβώτιο ταχυτήτων, τη γεννήτρια και την αλληλεπίδρασή τους με τον αέρα. Το επίπεδο θορύβου εξαρτάται από το μέγεθος, τον τύπο και τον σχεδιασμό της ανεμογεννήτριας, την απόσταση από την πηγή, καθώς και τον προσανατολισμό σε σχέση με αυτήν. Ο θόρυβος και οι δονήσεις μπορούν να επηρεάσουν την άνεση και την αισθητική των κατοίκων και των εργαζομένων στην τριγύρω περιοχή από την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών, καθώς και την ακουστική ποιότητα του αστικού χώρου. Επομένως, μέτρα αντιμετώπισης του θορύβου και των δονήσεων είναι απαραίτητα για τη διασφάλιση της αποδοχής και της συμβατότητας των ανεμογεννητριών στις πόλεις.

Ένα τρίτο πρόβλημα κατά τη χρήση ανεμογεννητριών σε αστικές περιοχές είναι η αισθητική και η ολοκλήρωσή τους στον αρχιτεκτονικό και αστικό σχεδιασμό. Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να έχουν σημαντικό οπτικό αντίκτυπο στον ορίζοντα, τον αστικό σχεδιασμό των δρόμων και την ταυτότητα της πόλης. Επίσης, μπορούν να δημιουργήσουν σκιές, αντανakλάσεις και εφέ σκίασης - φωτός που μπορούν να επηρεάσουν το φυσικό φως και την όψη των κτιρίων και των χώρων. Επομένως, η μορφή, το μέγεθος, το χρώμα και η τοποθέτηση των ανεμογεννητριών πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά και να συντονίζονται με την υφιστάμενη ή προβλεπόμενη αστική δομή και τον χαρακτήρα του τόπου.

## 5.4 ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

Παρόλες τις προκλήσεις που αναλύσαμε παραπάνω, η χρήση ανεμογεννητριών σε αστικές περιοχές προσφέρει πολλά οφέλη και ευκαιρίες τόσο για παροχή ενέργειας όσο και για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό των πόλεων. Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να παρέχουν μια καθαρή και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, που μπορεί να μειώσει την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Επίσης, μπορούν να δημιουργήσουν μια οπτική και συμβολική έκφραση της βιωσιμότητας και της καινοτομίας που μπορεί να ενισχύσει την εικόνα και τον ελκυστικό χαρακτήρα της κάθε πόλης. Επιπλέον, οι ανεμογεννήτριες μπορούν να εμπνεύσουν νέες μορφές και λειτουργίες της αρχιτεκτονικής που μπορούν να ανταποκριθούν στη δυναμική του ανέμου και να αξιοποιήσουν το δυναμικό του. Για παράδειγμα, ορισμένοι αρχιτέκτονες έχουν προτείνει ή έχουν ήδη υλοποιήσει ανεμογεννήτριες που ενσωματώνονται στη σχεδίαση του κτηρίου, στη δομή ή στην πρόσοψη του, δημιουργώντας κινητικά και διαδραστικά στοιχεία που μπορούν να προσαρμοστούν στις μεταβαλλόμενες συνθήκες του ανέμου.

Για να επισημάνουμε τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες που προκύπτουν από τη χρήση ανεμογεννητριών σε αστικές περιοχές, θα εξετάσουμε μερικά παραδείγματα και περιπτώσεις μελέτης αρχιτεκτονικών έργων που έχουν ενσωματώσει ανεμογεννήτριες στον σχεδιασμό τους.

- Bahrain World Trade Centre

(Κέντρο Παγκόσμιου Εμπορίου του Μπαχρέιν)

Το Bahrain World Trade Center, που βρίσκεται στην παραλία του Μανάμα στο Μπαχρέιν, είναι ο πρώτος ουρανοξύστης στον κόσμο που ενσωμάτωσε ανεμογεννήτριες στον σχεδιασμό του. Οι χαρακτηριστικά ορατές και εντυπωσιακές ανεμογεννήτριες αποτέλεσαν ισχυρή οπτική και ουσιαστική επανάσταση για το μέλλον των πράσινων κτηρίων και της βιωσιμότητας. Οι δύο πύργοι ύψους 50 ορόφων συνδέονται μέσω τριών υπερυψωμένων γεφυρών, καθεμία από τις οποίες φέρει μια ανεμογεννήτρια ισχύος 225 kW, συνολικά δηλαδή 675 kW ικανότητας παραγωγής αιολικής ενέργειας. Κάθε ανεμογεννήτρια έχει διάμετρο 29 μέτρων και είναι προσανατολισμένες προς το βορριά, από όπου πνέει ο αέρας από τον Περσικό Κόλπο. Τα κτίρια σε σχήμα πανιού



Εικόνα 18: Bahrain World Trade Center

στις δύο πλευρές έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να κατευθύνουν τον άνεμο μέσα από το κενό, επιτυγχάνοντας έτσι την επιτάχυνση του ανέμου που διέρχεται από τις ανεμογεννήτριες. Τα κτίρια με τη μορφή αεροστροβίλου εξασφαλίζουν ότι ο άνεμος που πλησιάζει εντός γωνίας 45° από κάθε πλευρά του κεντρικού άξονα θα δημιουργήσει ένα ρεύμα που θα είναι κάθετο στις ανεμογεννήτριες. Αυτό επιτρέπει στο κτίριο να εκμεταλλευτεί το 70% της αιολικής ενέργειας του Μπαχρέιν. Αναμένεται ότι οι ανεμογεννήτριες θα παρέχουν από 11% έως 15% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας των πύργων, δηλαδή περίπου 1,1 έως 1,3 GWh ετησίως. Οι τρεις ανεμογεννήτριες ξεκίνησαν να λειτουργούν για πρώτη φορά τον Απρίλιο του 2008.

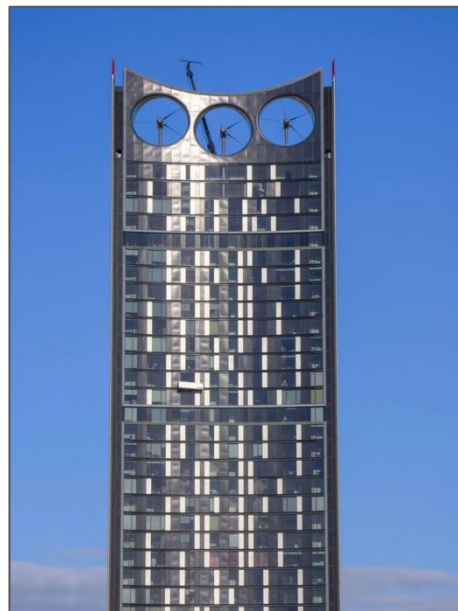


Εικόνα 19: Bahrain World Trade Center (1)

- STRATA SE1

Σχεδιασμένο από το αρχιτεκτονικό γραφείο BFLS με έδρα το Λονδίνο, το Strata SE είναι ο δεύτερος ουρανοξύστης στον κόσμο που ενσωματώνει ανεμογεννήτριες στη δομή ενός κτιρίου και συνεισφέρει με 8% της εκτιμώμενης συνολικής κατανάλωσης ενέργειας του Strata, συνεχίζοντας το πρότυπο για βιώσιμες κατασκευές ψηλών κτιρίων.

Συγκαταλέγεται σε μία από τις δράσεις για την Ενέργεια του δημάρχου του Λονδίνου, και υιοθετεί το βιώσιμο σχεδιασμό και τις πιο πρόσφατες τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας. Αναπτύχθηκε και κατασκευάστηκε από την Brookfield Europe ως μέρος της αναβάθμισης Elephant and Castle (E&C). Ο strata διαθέτει 43 ορόφους, έχει ύψος 147,9 μέτρα, προσφέρει 408 κατοικίες και ήταν μια επένδυση ύψους 113,5 εκατομμυρίων λιρών στην περιοχή. Ο Πύργος Strata στο Λονδίνο διαθέτει τρεις μικρές ανεμογεννήτριες στο επάνω μέρος του, παράγοντας περίπου 8% της ενέργειας για τους κοινόχρηστους χώρους και τις υπηρεσίες.



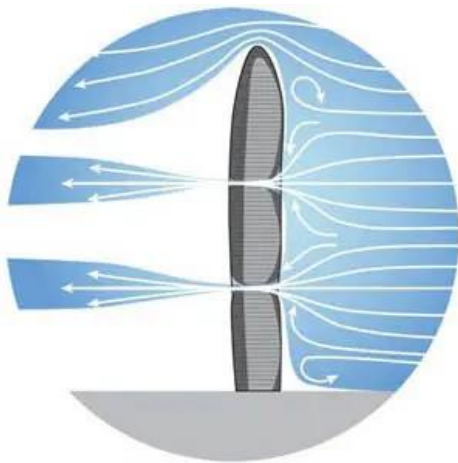
Εικόνα 20: Strata SE1

- Pearl River Tower (Πύργος Pearl River)

Ο πύργος Pearl River αποτελεί ένα σημείο αναφοράς στη Γκουανγκζού. Το κτίριο σχεδιάστηκε και χτίστηκε για εμπορική και γραφειακή χρήση, με σκοπό να ανακουφίσει κάπως την αυξανόμενη πίεση από την πυκνή ανάπτυξη κατασκευών στην πόλη. Για να πληροί τα πρότυπα κτιρίων μηδενικών εκπομπών, ο Pearl River Tower συνδυάζει διάφορες βιώσιμες λύσεις ενέργειας, όπως ηλιακούς συλλέκτες, κατάλληλες μονώσεις, αιολική ενέργεια, σύστημα ψύξης με οροφή, εξαερισμό κάτω από το πάτωμα και αξιοποίηση του φωτός της ημέρας.



*Εικόνα 21: Pearl River Tower*



*Εικόνα 22: Pearl River Tower (1)*

Το πρωτοφανές και αξιοσημείωτο του κτηρίου είναι η τεχνολογία αιολικής ενέργειας που διαθέτει. Ο πύργος λοιπόν, διαθέτει τέσσερα τούνελ και σε καθένα από αυτά υπάρχει μια ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα ύψους 5 μέτρων και πλάτους 2 μέτρων. Τα τούνελ αυτά δίνουν την εντύπωση ενός αυτοκινητοδρόμου για τον άνεμο, ο οποίος συμπιέζεται και επιταχύνεται στα ανοίγματα, παρέχοντας στις ανεμογεννήτριες μια καλή δόση αέρα για να λειτουργήσουν. Οι εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες παρέχουν περίπου 30.000 kWh ενέργειας ετησίως, καλύπτοντας περίπου το 5% των ενεργειακών αναγκών αυτού του εντυπωσιακού κτιρίου. Τα τούνελ εξυπηρετούν επίσης το σύστημα εξαερισμού, το οποίο ανακυκλώνει τον αέρα που τραβιέται στα τούνελ και στις ανεμογεννήτριες.

- The Dutch Windwheel

Το Windwheel αποτελείται από δύο δαχτυλίδια που κτίζονται πάνω σε ένα υπόγειο θεμέλιο και περιβάλλονται από υδροτόπους, προκειμένου να δίνει την αίσθηση ότι επιπλέει. Το εξωτερικό «δαχτυλίδι» περιέχει 40 περιστρεφόμενες καμπίνες προκειμένου να προσφέρει στους επισκέπτες εντυπωσιακή θέα της Ρότερνταμ, παρόμοια με αυτή που παρέχει το London Eye στο Ηνωμένο Βασίλειο, ενώ το εσωτερικό δαχτυλίδι φιλοξενεί 72 διαμερίσματα, 160 δωμάτια ξενοδοχείου, εμπορικά καταστήματα και εστιατόριο.

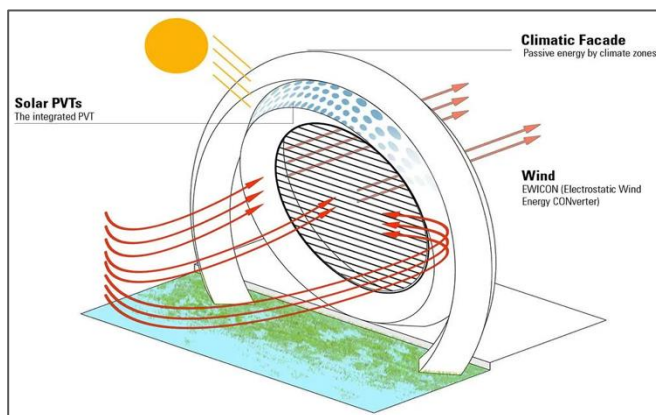
Ίσως το πιο εντυπωσιακό χαρακτηριστικό του Windwheel, εκτός από την εμφάνισή του, είναι ο ανεμογεννήτορας που γεμίζει το εσωτερικό δαχτυλίδι του κτιρίου. Ο ηλεκτροστατικός μετατροπέας αέρα (EWICON) είναι μια τεχνολογία που αναπτύχθηκε στο TU Delft και "μετατρέπει την ενέργεια του αέρα με ένα πλαίσιο από χάλυβες σε ηλεκτρισμό χωρίς κινούμενα μηχανικά μέρη."



Εικόνα 23: The Dutch Windwheel

**Αυτό σημαίνει κανένα θόρυβο και πολύ ευκολότερη συντήρηση.**

Επιπλέον, το προτεινόμενο Windwheel είναι εξοπλισμένο με ηλιακούς συλλέκτες και μια κλιματική πρόσοψη προκειμένου να αξιοποιεί τον καλύτερο δυνατό τρόπο τους φυσικούς πόρους. Η χρήση νερού του κτιρίου διαχειρίζεται προσεκτικά, με τη συλλογή βροχής στην κορυφή της δομής και το νερό από τις βρύσες να



Εικόνα 24: The Dutch Windwheel (1)

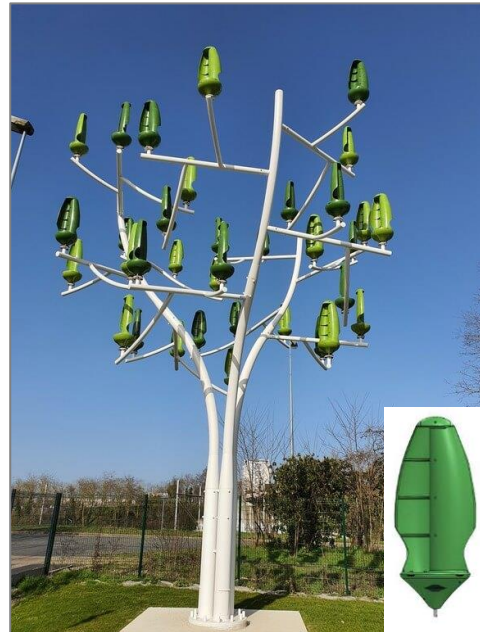
τροφοδοτείται στους υδροβιότοπους που περιβάλλουν το Windwheel. Επιπλέον, παράγεται βιοαέριο από τα απορρίμματα των κατοίκων.

Ακόμη, ένα αξιοσημείωτο εγχείρημα είναι το αυτό του Aeroleaf, το οποίο αντιπροσωπεύει μια ξεχωριστή προσέγγιση στην αιολική ενέργεια. Αναπτύχθηκε από την εταιρεία New World Wind με έδρα το Παρίσι, με σκοπό να αντιμετωπίσει τα μειονεκτήματα που συνήθως σχετίζονται με τις παραδοσιακές ανεμογεννήτριες. Ειδικότερα, λύνει προβλήματα όπως **η μείωση του θορύβου**, η αύξηση της αποδοτικότητας του μηχανισμού οδήγησης της τουρμπίνας καθώς και οπτικής αισθητικής.

Αυτό που ξεχωρίζει το Aeroleaf είναι ο σχεδιασμός του, που διαμορφώνεται ώστε να μοιάζει με δέντρα, επιτρέποντας την ομαλή ενσωμάτωσή του στο φυσικό τοπίο.

Αυτή η σχεδιαστική επιλογή στοχεύει στο να βελτιώσει την αισθητική έλξη και την αποδοχή των λύσεων για αιολική ενέργεια. Σημαντικό είναι ότι αυτά τα ανεμόδεντρα έχουν παρατηρηθεί σε επώνυμα μέρη, όπως το τουρνουά τένις Roland Garros, επιδεικνύοντας την ικανότητά τους να ενσωματώνονται αρμονικά σε εμβληματικά τοπία και δημόσιους χώρους.

Αυτό το έργο, το οποίο υποστηρίζεται και χρηματοδοτείται από τις ευρωπαϊκές αρχές, κατάφερε να τελειοποιήσει έναν τύπο κατακερματιστικής ανεμογεννήτριας που λειτουργεί με λιγότερα έντονα καιρικά φαινόμενα. Αποδείχθηκε οικονομικά αποδοτικό. Σχεδιάστηκε ειδικά για να ενσωματωθεί στις πόλεις χάρη στον πιο συμπαγή του σχεδιασμό, με ύψος μόλις 125 εκατοστά και βάρος 143 κιλά.



Εικόνα 25: Aeroleaf

## ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον επίλογο αυτής της εργασίας, θα επισημάνουμε τα κύρια σημεία που αναδεικνύονται από την έρευνα μας σχετικά με τις πηγές θορύβου ανεμογεννητριών και την εγκατάστασή τους σε αστικές τοποθεσίες.

Πρώτον, παρατηρήσαμε ότι οι παράκτιες και υπεράκτιες τεχνολογίες ανεμογεννητριών είναι διαφορετικές από τις αστικές. Οι παράκτιες ανεμογεννήτριες είναι συνήθως μεγαλύτερες και παράγουν περισσότερη ενέργεια, ενώ οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες είναι εγκατεστημένες σε βαθιά νερά και απαιτούν ειδικές τεχνολογίες για την κατασκευή και τη συντήρησή τους. Από την άλλη πλευρά, οι αστικές ανεμογεννήτριες είναι μικρότερες και προορίζονται για εγκατάσταση σε αστικά περιβάλλοντα, όπως κτίρια και οικιστικές περιοχές.

Δεύτερον, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι το μέλλον του κλάδου των ανεμογεννητριών βρίσκεται στις υπεράκτιες και αστικές τεχνολογίες. Οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες έχουν μεγαλύτερη δυνατότητα παραγωγής ενέργειας, ενώ οι αστικές ανεμογεννήτριες μπορούν να εγκατασταθούν σε περιοχές με περιορισμένο χώρο. Επίσης, οι ανεμογεννήτριες σε αστικό περιβάλλον δεν προκαλούν καταστροφή της φύσης και τα έξοδα για τη σύνδεση με το δίκτυο είναι αμελητέα. Επιπλέον, η ανάπτυξη τεχνολογιών που μειώνουν το θόρυβο των ανεμογεννητριών είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την αποδοχή τους από το κοινό.

Τέλος, παρατηρήσαμε ότι με την πάροδο του χρόνου και την εξέλιξη της τεχνολογίας, οι αστικές ανεμογεννήτριες γίνονται όλο και πιο αθόρυβες. Αυτό είναι ένα θετικό σημάδι για την αποδοχή τους από το κοινό και την ενσωμάτωσή τους στο αστικό τοπίο. Η μείωση του θορύβου είναι σημαντική για την προστασία της υγείας των κατοίκων και την αποφυγή πιθανών διαταραχών στο περιβάλλον.

Συνοψίζοντας, η έρευνά μας αποκάλυψε ότι οι πηγές θορύβου ανεμογεννητριών και η εγκατάστασή τους σε αστικές τοποθεσίες είναι ένα σημαντικό θέμα που απαιτεί προσεκτική μελέτη. Οι υπεράκτιες και παράκτιες ανεμογεννήτριες αποτελούν μια αποδοτική και βιώσιμη πηγή ενέργειας, αλλά η εγκατάστασή τους σε αστικές περιοχές μπορεί να αντιμετωπίσει αντίσταση από το κοινό λόγω του θορύβου που παράγουν.

Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, είναι σημαντικό να επιλεγούν κατάλληλες τοποθεσίες για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών, ώστε να μειωθεί ο θόρυβος που φτάνει στους κατοίκους. Επίσης, η χρήση προηγμένων

τεχνολογιών μπορεί να βοηθήσει στη μείωση του θορύβου που παράγουν οι ανεμογεννήτριες.

Επιπλέον, είναι σημαντικό να υπάρχει επικοινωνία και διάλογος μεταξύ των εταιρειών που εγκαθιστούν ανεμογεννήτριες και των κατοίκων των αστικών περιοχών. Η ενημέρωση του κοινού σχετικά με τα οφέλη της ανανεώσιμης ενέργειας και οι μέτρα που λαμβάνονται για τη μείωση του θορύβου μπορεί να βοηθήσει στην αποδοχή των ανεμογεννητριών από το κοινό.

Τέλος, η έρευνά μας έδειξε ότι η ανάπτυξη των αστικών ανεμογεννητριών είναι μια υποσχόμενη τάση για το μέλλον. Οι αστικές ανεμογεννήτριες μπορούν να εγκατασταθούν σε κτίρια και άλλες υποδομές στις πόλεις, παρέχοντας τη δυνατότητα παραγωγής ενέργειας σε κοντινή απόσταση από τους καταναλωτές. Αυτό μπορεί να μειώσει την ανάγκη για μεταφορά ενέργειας μεγάλων αποστάσεων και να μειώσει τις απώλειες ενέργειας.

Συνολικά, η έρευνά μας αποκάλυψε ότι οι ανεμογεννήτριες αποτελούν μια σημαντική πηγή ανανεώσιμης ενέργειας, αλλά η εγκατάστασή τους σε αστικές περιοχές απαιτεί προσεκτική μελέτη και λήψη μέτρων για τη μείωση του θορύβου. Με τη σωστή προσέγγιση και τη χρήση προηγμένων τεχνολογιών, οι αστικές ανεμογεννήτριες μπορούν να συμβάλλουν στην ενεργειακή ανεξαρτησία και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία ανέλυσε εκτενώς τις πηγές θορύβου των οριζόντιων και κάθετων ανεμογεννητριών και την δυνατότητα της τοποθέτησής τους σε αστικό περιβάλλον. Μέσα από την ανάλυση αυτή, έγινε σαφές ότι η χρήση των ανεμογεννητριών, ενώ αποτελεί μια βιώσιμη και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, φέρει συγκεκριμένες προκλήσεις όσον αφορά κυρίως τον παραγόμενο θόρυβο.

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, παρά την υψηλότερη αποδοτικότητα σε σχέση με του κάθετου άξονα, παράγουν σημαντικότερο θόρυβο λόγω της ταχύτητας περιστροφής των λεπίδων και της αεροδυναμικής αντίστασης. Από την άλλη πλευρά, οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα, παρόλο που είναι λιγότερο αποδοτικές, προκαλούν λιγότερο θόρυβο και απαιτούν μικρότερη δεσμευμένη έκταση, συνεπώς είναι πιο κατάλληλες για αστικές περιοχές.

Η εργασία αυτή κατέδειξε ότι, για την επιτυχή ενσωμάτωση των ανεμογεννητριών στο αστικό περιβάλλον, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη και να εφαρμοστούν στρατηγικές μείωσης του θορύβου. Παράλληλα, η τεχνολογική πρόοδος και ο συνεχής βελτιωμένος σχεδιασμός των ανεμογεννητριών μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση του θορύβου.

Συμπερασματικά, η χρήση των ανεμογεννητριών στο αστικό περιβάλλον αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη προοπτική για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας. Ωστόσο, η επιτυχία της ενσωμάτωσής τους εξαρτάται από την ικανότητα μείωσης του θορύβου και της αρμονικής ενσωμάτωσης στο αστικό τοπίο, διασφαλίζοντας την ποιότητα ζωής και την αποδοχή από τους κατοίκους.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Xu, Q., Li, Y., Yu, Y., Ding, B., Jiang, Z., Lin, Z., & Cazzolato, B. (2019). Experimental and numerical investigations of a two-body floating-point absorber wave energy converter in regular waves. *Journal of Fluids and Structures*, 91, 102613. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2019.03.006>
2. Li, Y., Willman, L. (2014). Feasibility analysis of offshore renewables penetrating local energy systems in remote oceanic areas – A case study of emissions from an electricity system with tidal power in southern Alaska. *Applied Energy*, 117, 42–53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.032>
3. Sun, C., Wu, H., Wang, R., Xing, M., & Tang, W. (2022). An improvement approach for the solar collector by optimizing the interface of assembling structure. *Renewable Energy*, 195, 688–700. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2022.06.056>
4. Sharma, S., Sengar, N. (2022). Review of solar PV training manuals and development of survey-based solar PV system training formats for beginners. *Solar Energy*, 241, 72–84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2022.05.055>
5. Amalina, F., Razak, A. S. A., Krishnan, S., Sulaiman, H., Zularisam, A., Nasrullah, M. (2022). Biochar production techniques utilizing biomass waste-derived materials and environmental applications – A review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 100134. <http://dx.doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100134>
6. Santos, L., Taleghani, A. D., Elsworth, D. (2022). Repurposing abandoned wells for geothermal energy: Current status and future prospects. *Renewable Energy*, 194, 1288–1302. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2022.05.138>
7. John f. Walker & Nikolas Jenkins Βιβλίο "Αιολική ενέργεια & ανεμογεννήτριες"
8. British Standard (BS)4142 (2014) «Method for rating and assessing industrial and commercial sound»
9. The Working Group on Noise from Wind turbines (1996) «The Assessment and Rating of the Noise From Wind Farms» ETSU-R-97
10. International Electrotechnical Commission (2018)«Wind Turbines-Acoustic noise measurement techniques-IEC61400-11» ISBN 978-2-8322-5826-2,
11. World Health Organization. (2018). "Air pollution and health".
12. International Energy Agency. (2020). "Global Energy Review 2020".
13. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. (2021). "Renewables 2021 Global Status Report".
14. European Commission. (2022). "Energy system integration".
15. International Renewable Energy Agency. (2021). "Renewable Energy Benefits: Leveraging Local Capacity for Solar and Wind".

16. United Nations. (2022). "United Nations Framework Convention on Climate Change".
17. Global Environment Facility. (2023). "Supporting the energy transition for a sustainable future".