



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

---

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ – ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

"Αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας και του ανέμου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σύγχρονες τεχνολογίες και περιβαλλοντικό αποτύπωμα"

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ξενάκης Σάββας

Επιβλέπων: Τριανταφυλλίδης Σταύρος

Επίκουρος καθηγητής

ΑΘΗΝΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2022





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ – ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

"Αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας και του ανέμου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σύγχρονες τεχνολογίες και περιβαλλοντικό αποτύπωμα"

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ξενάκης Σάββας

Επιβλέπων: Τριανταφυλλίδης Σταύρος

Επίκουρος καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις ΗΗ/ΜΜ/ΕΤΟΣ

Όνοματεπώνυμο μέλους, Ιδιότητα, ..... (Υπογραφή)

Όνοματεπώνυμο μέλους, Ιδιότητα, ..... (Υπογραφή)

Όνοματεπώνυμο μέλους, Ιδιότητα, ..... (Υπογραφή)

ΑΘΗΝΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2022

Copyright © Ξενάκης Σάββας , 2023

Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. Allrightsreserved.

## Περίληψη

Ένα από τα κυριότερα ζητήματα με το οποίο ο σύγχρονος άνθρωπος έχει έρθει αντιμέτωπος είναι η μετρίαση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από την εκμετάλλευση των ορυκτών καυσίμων, με σημαντικότερες να είναι η κλιματική αλλαγή και η ατμοσφαιρική ρύπανση. Με τις επιπτώσεις των φαινομένων αυτών να γίνονται συνεχώς εντονότερες, η ανάγκη αντικατάστασης των συμβατικών μεθόδων παραγωγής ενέργειας, με νέες, πιο φιλικές προς το περιβάλλον μεθόδους, όλο και μεγαλώνει. Η ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), πρωταγωνιστεί στην προσπάθεια αυτή, καθώς παρουσιάζει πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα και μπορεί να θέσει τις βάσεις για την ενεργειακή ανεξάρτηση και την αιεφόρο ανάπτυξη. Ωστόσο, η εγκατάσταση και λειτουργία των ΑΠΕ συνοδεύεται επίσης από μια σειρά επιπτώσεων τόσο στο φυσικό, όσο και στο ανθρωπογενές περιβάλλον, οι οποίες θα πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής διατριβής είναι ο εντοπισμός και η περιγραφή του περιβαλλοντικού αποτυπώματος δυο εκ των σημαντικότερων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και συγκεκριμένα, η ανάλυση των συνεπειών αξιοποίησης της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας. Μέσω μιας εκτενούς βιβλιογραφικής αναζήτησης, αναλύονται οι επιπτώσεις των ανεμογεννητριών και των ηλιακών συστημάτων παραγωγής ενέργειας, οι τομείς που επηρεάζονται άμεσα ή έμμεσα από αυτές, καθώς και ορισμένα βασικά στοιχεία που αφορούν τις εν λόγω πηγές ενέργειας.

## **Abstract**

One of the main issues modern society has been facing, is the mitigation of the environmental effects resulting from the exploitation of fossil fuels, the most important being climate change and air pollution. With the impacts of these phenomena becoming more and more intense, the need to replace conventional energy production methods with new, more environmentally friendly ones, is growing. The development of Renewable Energy Sources (RES) is the protagonist in this effort, as it presents very important advantages, and can lay the foundations for energy independence and sustainable development. However, the installation and operation of RES is accompanied by several impacts, on both natural and man-made environment, which must also be considered.

The aim of this thesis is to identify and describe the environmental footprint of two of the most important Renewable Energy Sources, and specifically, to analyze the consequences of using solar energy and wind energy. Through an extensive bibliographic research, the effects of wind turbines and solar energy production systems, the sectors that are directly or indirectly affected by them, as well as some basic elements concerning these energy sources are analyzed.

# Περιεχόμενα

<b>Περίληψη</b> .....	<b>1</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>2</b>
<b>1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>7</b>
1.1 Η ενεργειακή κατάσταση σήμερα .....	7
1.2 Μορφές ΑΠΕ και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον.....	8
1.3 Νομοθεσία σχετικά με τις ΑΠΕ .....	8
1.3.1 Ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο .....	8
1.3.1.1 Ηλιακή ενέργεια .....	10
1.3.1.2 Αιολική ενέργεια.....	11
1.3.2 Νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα .....	12
<b>2.ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ</b> .....	<b>13</b>
2.1 Ιστορική αναδρομή της αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας.....	13
2.1.1 Η εξέλιξη των ηλιακών συλλεκτών .....	14
2.1.2 Η εξέλιξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	15
2.2 Είδη ηλιακών συστημάτων παραγωγής ενέργειας .....	16
2.3 Ενεργειακές αποδόσεις της ηλιακής ενέργειας.....	21
2.3.1 Πυκνότητα ενέργειας.....	22
2.3.1.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	22
2.3.1.2 Θερμικά ηλιακά συστήματα .....	23
2.3.2 Απόδοση συστημάτων .....	24
2.3.3 Σταθερότητα τροφοδοσίας .....	25
2.4 Περιβαλλοντικό αποτύπωμα της ηλιακής ενέργειας .....	27
2.4.1 Επιπτώσεις στην πανίδα .....	27
2.4.2 Επιπτώσεις στο έδαφος και στην βλάστηση.....	29
2.4.3 Επιπτώσεις στις χρήσεις γης .....	30
2.4.4 Επιπτώσεις σχετικά με κατανάλωση νερού.....	31
2.4.5 Επιπτώσεις σχετικά με την χρήση φυσικών πόρων.....	33
2.4.5.1 Εξάρτηση από μπαταρίες .....	35
2.4.6 Εκπομπές αέριων του θερμοκηπίου .....	35
2.4.7 Αποδέσμευση τοξικών ουσιών .....	37
2.4.8 Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και την ποιότητα του αέρα .....	39
2.4.9 Δημιουργία όχλησεων .....	40
2.4.9.1 Οπτική όχληση .....	40
2.4.9.2 Ηχητική όχληση.....	41

<b>3. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ .....</b>	<b>43</b>
<b>3.1 Ιστορική αναδρομή της αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας.....</b>	<b>43</b>
<b>3.2 Τεχνολογίες εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας.....</b>	<b>46</b>
<b>3.3 Ενεργειακές αποδόσεις της ηλιακής ενέργειας.....</b>	<b>48</b>
3.3.1 Πυκνότητα ενέργειας .....	48
3.3.2 Απόδοση συστημάτων .....	50
3.3.3 Σταθερότητα τροφοδοσίας.....	50
<b>3.4 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αιολικής ενέργειας .....</b>	<b>51</b>
3.4.1 Επιπτώσεις στην άγρια πανίδα .....	52
3.4.1.1 Επίδραση στα πουλιά .....	52
3.4.1.2 Θανάτωση νυχτερίδων .....	57
3.4.1.3 Επίδραση στα θαλάσσια είδη.....	60
3.4.2 Επιπτώσεις στη χλωρίδα .....	63
3.4.3 Τοπικές κλιματικές επιπτώσεις.....	64
3.4.4 Επιπτώσεις στις χρήσεις γης .....	65
3.4.5 Επιπτώσεις σχετικά με την χρήση φυσικών πόρων.....	67
3.4.6 Εκπομπές αέριων του θερμοκηπίου .....	70
3.4.7 Ηχητική όχληση.....	72
3.4.7.1 Κατηγορίες παραγόμενου θορύβου.....	72
3.4.7.2 Χαρακτηριστικά διάδοσης θορύβου .....	73
3.4.7.4 Συνέπειες της ηχητικής όχλησης στους ανθρώπους.....	75
3.4.7.5 Νομοθετικό πλαίσιο .....	75
3.4.8 Οπτικές επιπτώσεις.....	76
3.4.9 Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές .....	80
3.4.10 Επιπτώσεις στην ασφάλεια και επαγγελματικά ατυχήματα .....	81
3.4.11 Διατάραξη αέριων μαζών (Wake effect).....	83
<b>4.ΣΥΝΟΨΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>84</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>87</b>
<b>Ξενόγλωσση βιβλιογραφία.....</b>	<b>87</b>
<b>Ελληνόγλωσσηβιβλιογραφία.....</b>	<b>102</b>
<b>Διαδικτυακές πηγές.....</b>	<b>102</b>
<b>Εικόνες .....</b>	<b>105</b>



# Κατάλογος πινάκων και διαγραμμάτων

Πίνακας 1. Κυριότερες αιτίες θανάτωσης πουλιών στις Η.Π.Α.....	56
Πίνακας 2. Απαιτήσεις γης μονάδων παραγωγής ενέργειας.....	66
Πίνακας 3. Υλικά κατασκευής Α/Γ και το τμήμα που χρησιμοποιούνται.....	69
Πίνακας 4. Όρια ελάχιστης απόστασης και μέγιστης έντασης θορύβου διάφορων χωρών.....	76
Διάγραμμα 1.Οπτική όχληση συναρτήσει των ατμοσφαιρικών συνθηκών και της απόστασης.....	79

## Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1. Στοιχεία παθητικού ηλιακού συστήματος κατά το σχεδιασμό σπιτιού.....	17
Εικόνα 2. Απλοποιημένο σχεδιάγραμμα Θ.Η.Σ. χαμηλής θερμοκρασίας για θέρμανση νερού για οικιακές χρήσεις.....	18
Εικόνα 3. Συγκεντρωτικά ηλιοθερμικά συστήματα. Κατά σειρά, ο γραμμικός ανακλαστήρας τύπου Fresnel, πύργος ισχύος, συλλέκτης παραβολικού δίσκου και συλλέκτης παραβολικής σκάφης.....	18
Εικόνα 4. Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα.....	20
Εικόνα 5. Μικρό κινητό φωτοβολταϊκό σύστημα.....	20
Εικόνα 6. Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα(με δυνατότητα κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας).....	21
Εικόνα 7. Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα (η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται εξολοκλήρου στο ηλεκτρικό δίκτυο).....	21
Εικόνα 8. Απεικόνιση τρόπου λειτουργίας υβριδικού διασυνδεδεμένου συστήματος.....	21
Εικόνα 9. Απεικόνιση τρόπου λειτουργίας υβριδικού αυτόνομου.....	21
Εικόνα 10. Ηλεκτρική ενέργεια από ηλιακές μονάδες παραγωγής για κάθε χώρα του κόσμου ..	23
Εικόνα 11. Ηλεκτρική ενέργεια από ηλιακές μονάδες παραγωγής για τις χώρες της Ευρώπης ..	23
Εικόνα 12. Ετήσια και συνολική εγκατεστημένη ισχύς από φωτοβολταϊκά.....	24
Εικόνα 13. Επιπτώσεις ηλιακών συστημάτων στα πουλιά.....	27
Εικόνα 14. Απλοποιημένη αλυσίδα αξίας για τις πρώτες ύλες των φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	34
Εικόνα 15. Ελλαττωματική λειτουργία αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος οδηγεί σε πυρκαγιά.....	39
Εικόνα 16. Οπτική όχληση από ηλιακά συστήματα.....	40
Εικόνα 17. Σχεδιάγραμμα τμημάτων μιας Α/Γ.....	47
Εικόνα 18. Μηχανικά εξαρτήματα Α/Γ με κιβώτιο ταχυτήτων.....	48
Εικόνα 19. Διέλευση σμήνους πτηνών από αιολικό πάρκο.....	53
Εικόνα 20. Έλεγχος ποικιλίας οργανισμών στον "τεχνητό ύφαλο" που δημιουργείται από την εγκατάσταση των υπεράκτιων Α/Γ.....	61
Εικόνα 21. Οπτική όχληση από αιολικό πάρκο.....	77
Εικόνα 22. Αναπαράσταση παρεμπόδισης και αντανάκλασης ηλεκτρομαγνητικών σημάτων από μια Α/Γ.....	80



# 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Η ενεργειακή κατάσταση σήμερα

Όπως είναι γνωστό, τους τελευταίους αιώνες, οι ενεργειακές ανάγκες των ανθρώπων καλύπτονται ως επί το πλείστον από την αξιοποίηση ορυκτών καυσίμων, όπως γαιάνθρακες, πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Με τις ενεργειακές απαιτήσεις, όμως, συνεχώς να αυξάνονται σε παγκόσμιο επίπεδο, τα αποθέματα των συμβατικών καυσίμων οδηγούνται σταδιακά σε εξάντληση. Ακόμα, τα αέρια του θερμοκηπίου που εκλύονται κατά την καύση τους, καθιστούν τα ζητήματα της κλιματικής αλλαγής και της υπερθέρμανσής του πλανήτη όλο και εντονότερα (Johansson, 2013).

Έχοντας λοιπόν, ως στόχο την απεξάρτηση από τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής ενέργειας και την μετρίαση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από αυτές, τις τελευταίες δεκαετίες γίνεται λόγος για στροφή σε πιο “καθαρές” πηγές ενέργειας και συγκεκριμένα στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Με σημαντικό ποσοστό του ενεργειακού ισοζυγίου να καλύπτεται από τέτοιου είδους πηγές, είναι εφικτή η διαχείριση του φαινομένου του θερμοκηπίου, καθώς και η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, δημιουργώντας έτσι τις κατάλληλες βάσεις για την βελτίωση του βιοτικού επιπέδου των μελλοντικών γενιών (Gielen et al., 2019). Εκτός της “καθαρότητας” τους, οι ΑΠΕ μπορούν να συνεισφέρουν στη δημιουργία θέσεων εργασίας, στην αύξηση της αντοχής των ηλεκτρικών δικτύων, στην ευκολότερη διαθεσιμότητα της ενέργειας στις αναπτυσσόμενες χώρες καθώς και στην μείωση του κόστους παραγωγής ενέργειας (Nunez, 2020). Όλα τα παραπάνω, έχουν οδηγήσει στην ραγδαία εξέλιξη και διάδοση της χρήσης των ΑΠΕ, με την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από αυτές να αγγίζει πρωτοφανή επίπεδα. Γίνεται επομένως εμφανές, πως η αξιοποίηση τους μπορεί να θέσει τα θεμέλια για την αειφόρο ανάπτυξη και την ενεργειακή ανεξαρτησία (Resch et al., 2008; Dincer, 2000).

Ωστόσο, όπως και κάθε άλλη πηγή ενέργειας, οι ΑΠΕ συνοδεύονται από μια σειρά επιπτώσεων, δημιουργώντας νέες προκλήσεις. Αν και υπερσχύουν έναντι των ορυκτών καυσίμων σε πολλά επίπεδα, το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα δεν πρέπει να παραμελείται.

Παρακάτω, γίνεται μια συνοπτική περιγραφή των διάφορων μορφών ΑΠΕ καθώς και της νομοθεσίας που τις διέπει, δίνοντας έμφαση στην νομοθεσία σχετικά με την ηλιακή και την αιολική ενέργεια. Στα επόμενα κεφάλαια μελετώνται λεπτομερώς οι συνέπειες δύο εξ αυτών – της ηλιακής και η αιολικής ενέργειας - λαμβάνοντας υπόψιν όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής των συστημάτων εκμετάλλευσής τους. Τέλος, παρατίθενται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το σύνολο της εργασίας.

## **1.2 Μορφές ΑΠΕ και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον**

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να οριστούν ως το αποτέλεσμα διάφορων φυσικών διεργασιών, όπως η κίνηση του ανέμου, η ροή του νερού κ.α., οι οποίες μπορούν να ανανεώνονται διαρκώς, σε σχετικά περιορισμένο χρονικό διάστημα (Coburn & Farhar, 2004). Καλούνται, ακόμα, «ήπιες» καθώς δεν απαιτούν έντονη ανθρώπινη παρέμβαση για να λειτουργήσουν, αλλά εκμεταλλεύονται την ήδη υπάρχουσα ενέργεια που παρέχεται από τον πλανήτη, και επειδή δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον αποδεδειγμένα επικίνδυνα ή τοξικά απόβλητα (Τσαγκούλης, 2016). Έτσι, ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη από ΑΠΕ, θεωρείται αυτή που προέρχεται από εκμετάλλευση αιολικής ενέργειας, ηλιακής ενέργειας, υδροηλεκτρικής ενέργειας, παλιρροϊκής-κυματικής ενέργειας, γεωθερμικής ενέργειας και βιομάζας (Κορωναίος, 2012).

## **1.3 Νομοθεσία σχετικά με τις ΑΠΕ**

Λαμβάνοντας υπόψιν τα πολλαπλά οφέλη που προκύπτουν από την αξιοποίηση των ΑΠΕ, η παγκόσμια κοινότητα δεν άργησε να θεσπίσει κανονισμούς, πρότυπα και στόχους σχετικά με την ανάπτυξη αυτών, τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο. Με τα πρόσφατα γεγονότα, ειδικότερα, του ουκρανο-ρωσικού πολέμου, οι ισορροπίες του ενεργειακού ισοζυγίου διαταράχθηκαν και η ενεργειακή ανεξαρτησία της Ευρώπης μέσω της χρήσης των ΑΠΕ κατέστη αναγκαία.

### **1.3.1 Ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο**

Η πρώτη ένταξη των ΑΠΕ στην ενεργειακή πολιτική της Ευρώπης πραγματοποιήθηκε το 1997 με την Λευκή Βίβλο, η οποία αποσκοπούσε στην δημιουργία μιας κοινοτικής στρατηγικής

και ενός σχεδίου δράσης για την ενέργεια. Σε αυτή, προτάθηκε ο διπλασιασμός του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ακαθάριστη κατανάλωση ενέργειας στην Ευρώπη από 6% σε 12% μέχρι το 2010 και ορίστηκαν εξειδικευμένοι στόχοι σχετικά με την συνολική εγκατεστημένη ισχύ κάθε τεχνολογίας εκμετάλλευσης ΑΠΕ που έπρεπε να σημειωθεί ως το 2010 (Scarlat et al., 2015). Το ίδιο έτος στη τρίτη συνεδρίαση για την Σύμβαση Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC), συμφωνήθηκε η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η συμφωνία αυτή ονομάστηκε Πρωτόκολλο του Κιότο, το οποίο τον Δεκέμβριο του 2015 ανανεώθηκε από την συμφωνία του Παρισιού, θέτοντας αυστηρότερο πλαίσιο για μια διεθνή και συντονισμένη προσπάθεια περιορισμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (Amanatidis, 2019).

Αργότερα, το 2001, με την οδηγία 2001/77/EK για την ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, τέθηκε ως στόχος μέχρι το 2010 το 22,1% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας να παράγεται από ανανεώσιμες πηγές (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/ALL/?uri=CELEX%3A32001L0077>, πρόσβαση:25-4-2023) ενώ το 2003, η οδηγία 2003/30/EK για τα βιοκαύσιμα, έθεσε ως στόχο την αντικατάσταση του 5,75% του συνόλου της βενζίνης και του ντίζελ που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές από τα βιοκαύσιμα και άλλα ανανεώσιμα καύσιμα μέχρι επίσης το 2010. Ο στόχος αυτός, ωστόσο, δεν επετεύχθη (DiLucia & Nilsson, 2007). Οι παραπάνω οδηγίες καταργήθηκαν τον Απρίλιο του 2009 στην διαδικασία συναπόφασης, όπου ορίστηκε ως στόχος να καλύπτεται από τις ΑΠΕ το 20% της ενεργειακής κατανάλωσης και 10% των συνολικών καυσίμων μεταφοράς έως το 2020 (Scarlat et al., 2015).

Μετάπειτα, προστέθηκε στην Συνθήκη για την λειτουργία της Ευρωπαϊκής Ένωσης το άρθρο 194 το οποίο ενθάρρυνε την χρήση των ΑΠΕ. Με βάση αυτό, ψηφίστηκε το 2018 και εφαρμόστηκε το 2019 η δέσμη μέτρων «Καθαρή ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους», η οποία περιλάμβανε οδηγίες σχετικά με την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων, την προώθηση της χρήσης των ΑΠΕ, με στόχο να αποτελούν το 32% της παραγωγής ενέργειας, την γενικότερη ενεργειακή εξοικονόμηση αλλά και κανονισμούς σχετικά με την διακυβέρνηση και διαχείριση της ενέργειας και της κλιματικής αλλαγής ([https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package_en), πρόσβαση: 25-4-2023) .

Το 2019, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ανακοίνωσε την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, η οποία αποτελεί πλαίσιο πολιτικών για το φλέγον ζήτημα της κλιματικής αλλαγής. Ειδικότερα, η Πράσινη Συμφωνία ορίζει πως η Ευρώπη θα έχει εξασφαλίσει ουδετερότητα στις καθαρές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου έως το 2050, θα έχει μειωθεί η ενεργειακή της εξάρτηση και θα προωθηθεί ο εξηλεκτρισμός και η χρήση των ΑΠΕ ([https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal\\_el](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_el), πρόσβαση: 26-4-2023). Η Πράσινη συμφωνία αναθεωρήθηκε το 2021 και προτάθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή νέος στόχος για την αξιοποίηση των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο της τάξης του 40% έως το 2030, όπως και άλλα μέτρα για την προώθηση των ΑΠΕ και την αύξηση της ηλιακής φωτοβολταϊκής δυναμικότητας (Scarlat et al., 2015).

### **1.3.1.1 Ηλιακή ενέργεια**

Τον Μάιο του 2022, εγκρίθηκε το πρόγραμμα REPowerEU, δεδομένων των συνθηκών του ουκρανο-ρωσικού πολέμου και της ενεργειακής εξάρτησης της Ευρώπης από την Ρωσία. Σε αυτό, περιλαμβάνονται στρατηγικές ενίσχυσης της ηλιακής ενέργειας και αναφέρεται ο στόχος του υπερδιπλασιασμού της εγκατεστημένης ισχύος, δηλαδή 320GW ενέργειας, από φωτοβολταϊκά πάνελ έως το 2025 και σε 600GW έως το 2030. Απαιτείται, συνεπώς, κάθε χρόνο να εγκαθίστανται κατά μέσο όρο περίπου 45GW.

Συνοπτικά, το πρόγραμμα στρατηγικής REPowerEU περιλαμβάνει την πρωτοβουλία των φωτοβολταϊκών στις στέγες νέων ή ήδη υπάρχοντων κτηρίων, την επιτάχυνση των διαδικασιών αδειοδότησης όπως και συνεργασίες γνώσης και δεξιοτήτων, για την εκπαίδευση και κατάρτιση εξειδικευμένου ανθρώπινου δυναμικού. Ακόμα προωθείται η ταυτόχρονη χρήση της έκτασης γης που αξιοποιείται για παραγωγή ηλιακής ενέργειας με γεωργικές εργασίες ("αγροβολταϊκά"), η χρήση πλωτών φωτοβολταϊκών συστημάτων καθώς και η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε υποδομές μεταφορών, όπως αυτοκινητόδρομους. Τέλος, περιλαμβάνει την Ευρωπαϊκή Συμμαχία για τα φωτοβολταϊκά συστήματα, η οποία στοχεύει στην ανάπτυξη και την σταθεροποίηση του τομέα της κατασκευής των ηλιακών συστημάτων (Widuto, 2022; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022DC0221&from=EN>, πρόσβαση: 26-4-2023).

Όσον αφορά την ανακύκλωση των υλικών των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο τέλος ζωής τους, έχει εφαρμοστεί μια πρωτοβουλία, χρηματοδοτούμενη από την Ευρωπαϊκή Ένωση με

σκοπό την μείωση των αποβλήτων και την ανάπτυξη κυκλικής οικονομίας στα ανωτέρω συστήματα παραγωγής ενέργειας (Granata et al., 2014;<https://cordis.europa.eu/article/id/240250-recycling-of-photovoltaic-waste-boosts-circular-economy> , πρόσβαση: 29-04-2023).

### 1.3.1.2 Αιολική ενέργεια

Το στρατηγικό πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης REPowerEU περιλαμβάνει και την αιολική ενέργεια και επιτάσσει την ταχύτερη εγκατάσταση δυναμικότητας, ώστε να επιτευχθεί ο προβλεπόμενος στόχος των 510GW έως το 2030, το 31% δηλαδή της συνολικής εγκατεστημένης ηλεκτροπαραγωγικής δυναμικότητας της Ευρωπαϊκής Ένωσης (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022DC0643>, πρόσβαση: 27-4-2023). Για την αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος, στις χερσαίες ανεμογεννήτριες, προβλέπονται νομικές προτάσεις και οδηγίες που αποσκοπούν στην επιτάχυνση των διαδικασιών αδειοδότησης για την εγκατάσταση αιολικών μονάδων, στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης των αιολικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας, καθώς και στην ένταξη της ίδιας της κοινότητας και των πολιτών σε έργα για τις ΑΠΕ, γεγονός που ενδέχεται να αυξήσει την γενικότερη αποδοχή τους προς τα έργα και τις εγκαταστάσεις των ΑΠΕ ([https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/onshore-wind-energy\\_el](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/onshore-wind-energy_el), πρόσβαση: 27-4-2023).

Σχετικά με τις υπεράκτιες ανεμογεννήτριες, η Ευρωπαϊκή στρατηγική για τις υπεράκτιες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η οποία εκδόθηκε τον Νοέμβριο του 2020, θέτει στόχο τα 60GW εγκατεστημένης ισχύς από υπεράκτιες ανεμογεννήτριες έως το 2030 και τα 300GW έως το 2050. Προς επίτευξη των στόχων αυτών, πρέπει να αξιοποιηθεί το πλήρες δυναμικό παραγωγής αιολικής ενέργειας της Βόρειας και της Βαλτικής Θάλασσας μέσα από τους αντίστοιχους οργανισμούς που δημιουργήθηκαν (North Deas Energy Cooperation NSEC και Baltic Energy Market Interconnection Plan). Τον Δεκέμβριο του 2022, ο οργανισμός NSEC και το Ηνωμένο Βασίλειο συμφώνησαν και καθόρισαν ειδικό πλαίσιο για την οικονομική αποτελεσματική και βιώσιμη ανάπτυξη των υπεράκτιων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ([https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/offshore-renewable-energy\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/offshore-renewable-energy_en), πρόσβαση: 27-4-2023 ).

Η ανακύκλωση των ανεμογεννητριών στο τέλος ζωής τους αποτελεί θέμα που απασχολεί έντονα την Ευρωπαϊκή Ένωση, λόγω δυσκολιών στον διαχωρισμό των υλικών, του κόστους και

των νομικών ελλείψεων. Αρχικά, η πρωτοβουλία που είναι ενταγμένη στο ευρύτερο πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης EuropeanLIFE+, στοχεύει στην βιώσιμη διαχείριση και ανακύκλωση των πτερυγίων των ανεμογεννητριών, συλλέγοντας τα υλικά των πτερυγίων και δίνοντας τους νέες χρήσεις σε άλλα προϊόντα, λόγω χάρη στην ενίσχυση εξαρτημάτων προκατασκευασμένου σκυροδέματος (<https://cordis.europa.eu/article/id/128476-new-sustainable-system-for-recycling-wind-turbine-blades/es>, πρόσβαση: 29-04-2023). Διαφαίνεται, ωστόσο, πως μέχρι και τον Φεβρουάριο του 2023, το ζήτημα της ανακύκλωσης των πτερυγίων των ανεμογεννητριών δεν είχε επιλυθεί, καθώς πολλοί ευρωβουλευτές κατέθεσαν κοινή γραπτή ερώτηση επί του θέματος, προς την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Ειδικότερα, αναφέρθηκαν στη δυσκολία διαχωρισμού των ινών του γυαλιού από τα πλαστικά πολυμερή καθώς και στις προκλήσεις που ακολουθούν από την διαδικασία της ανακύκλωσής τους και στο υψηλό κόστος που την συνοδεύει ([https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-9-2023-000450\\_EN.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-9-2023-000450_EN.html), πρόσβαση: 29-04-2023). Έτσι, γίνεται αντιληπτό πως υπάρχουν προσπάθειες από την Ευρωπαϊκή Ένωση για ανακύκλωση των υλικών των πτερυγίων των ανεμογεννητριών χωρίς όμως ακόμη και σήμερα να είναι πλήρως αποδοτικές και βιώσιμες.

### **1.3.2 Νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα**

Παρά το γεγονός πως η Ελλάδα κατέχει αξιοσημείωτο δυναμικό παραγωγής ενέργειας με ΑΠΕ, ακόμη βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στα ορυκτά καύσιμα, ενώ οι νόμοι που διέπουν την ενέργεια και τις ΑΠΕ, στην προσπάθεια εναρμόνισης με τα πρότυπα και εφαρμογές των οδηγιών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, συχνά χαρακτηρίζονται ως περίπλοκοι και γραφειοκρατικοί. Το 2020 προτάθηκε στην ελληνική βουλή ο νόμος 4685/2020 για τον εκσυγχρονισμό της περιβαλλοντικής νομοθεσίας. Ο νόμος αυτός περιλάμβανε διατάξεις για την απλοποίηση και επίσπευση των διαδικασιών που αφορούν τις εγκαταστάσεις ΑΠΕ βιομηχανικής κλίμακας, αλλά χωρίς να προτείνει μέτρα για μικρούς παραγωγούς και κοινότητες. Ακόμη, ο νόμος αυτός έθεσε περιορισμούς στην προτεινόμενη ταχύτερη διαδικασία αδειοδότησης, σχετικά με τον χρόνο που το έργο θα είναι έτοιμο προς χρήση. Σε περίπτωση, λοιπόν, που το έργο δεν ολοκληρωθεί στον προβλεπόμενο χρόνο, ο νόμος ορίζει την αφαίρεση της άδειας του (Tsagari, 2020).

Συνοψίζοντας, γίνεται εμφανές πως τόσο η Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και η Ελλάδα, στα πλαίσια εναρμόνισης με τα υπάρχοντα πρότυπα, τείνουν με τις πολιτικές και στρατηγικές τους



να προωθήσουν την χρήση των ΑΠΕ και, καθιστώντας αυτές την βασική πηγή ηλεκτροπαραγωγής στο ενεργειακό ισοζύγιο, να επιτύχουν την ενεργειακή ανεξάρτηση.

## 2. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ως «Ηλιακή Ενέργεια» ορίζεται το σύνολο των διάφορων μορφών ενέργειας που πηγάζουν από τον Ήλιο ή αλλιώς, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από αυτόν. Μέσω πολλών συστημάτων και τεχνολογιών, η ακτινοβολία αυτή μετατρέπεται σε θερμότητα ή σε ηλεκτρισμό (<https://ypen.gov.gr/>, πρόσβαση: 15-11-2022; Ασημακόπουλος και άλλοι, 2020). Με τις υπάρχουσες τεχνολογίες, από τα  $1,4 \times 10^5$  TW ισχύος που φτάνουν στην επιφάνεια του πλανήτη δύναται να χρησιμοποιηθούν τα  $3,6 \times 10^4$  TW, τα οποία είναι αρκετές φορές περισσότερα από την ετήσια παγκόσμια κατανάλωση (Hosenuzzaman et al., 2015).

### 2.1 Ιστορική αναδρομή της αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας

Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας δεν αποτελεί ανακάλυψη του συγχρόνου ανθρώπου και έχει τις ρίζες της χιλιάδες χρόνια πριν, στην νεολιθική εποχή. Ο ήλιος ήταν πάντα ζωτικής σημασίας για την ζωή στον πλανήτη και αυτό ήταν αναγνωρισμένο από όλους τους αρχαίους πολιτισμούς, οι οποίοι μάλιστα συχνά τον προσωποποιούσαν και του έδιναν θεϊκή υπόσταση ([TheHistoryofSolarPower: SolarEnergyinAncientTimes | SolarMaxTechnology \(wordpress.com\)](#), 13-4-2023).

Από τα προϊστορικά χρόνια, ο ήλιος χρησιμοποιούταν για την ξήρανση και την διατήρηση της τροφής, ή για την ανάκτηση αλατιού μέσω της εξάτμισης του θαλασσινού νερού. Οι χρήσεις αυτές έπαιξαν τεράστιο ρόλο στην εξέλιξη της ανθρωπότητας και παραλλαγές τους εντοπίζονται μέχρι και σήμερα (Breeze et al., 2009).

Στην νεολιθική Κίνα, περίπου 6000 χρόνια πριν, και χιλιάδες χρόνια αργότερα στην αρχαία Ελλάδα και Αίγυπτο, τα σπίτια χτίζονταν με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρούνται ζεστά κατά τις νυχτερινές ώρες και δροσερά κατά τις θερμές μέρες (Szabo, 2017). Αξίζει να αναφερθεί ότι στα μέσα του 4<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ., ο Αριστοτέλης δίδασκε τεχνικές αξιοποίησης του χειμερινού ήλιου για θέρμανση και τρόπους σκίασης των σπιτιών κατά τους θερινούς μήνες, θέτοντας έτσι τα θεμέλια

για την ανάπτυξη των παθητικών ηλιακών συστημάτων που αναλύονται παρακάτω (Perlin, 2013).

Από τον 7<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. οι αρχαίοι πολιτισμοί είχαν ανακαλύψει πως η συγκέντρωση των ηλιακών ακτίνων σε ένα σημείο μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για το άναμμα φωτιάς, κάτι που επιτύγχαναν με την χρήση μεγεθυντικών φακών. Τον 3<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. θερμαινόμενοι καθρέπτες χρησιμοποιούνταν για την πυροδότηση πυρσών από τους Ρωμαίους και τους Έλληνες για θρησκευτικούς σκοπούς. Ωστόσο, παρά την στενή σχέση που αποκτούσε ο άνθρωπος με την εκμετάλλευση τη ηλιακής ενέργειας, μέχρι τα τέλη του 13<sup>ου</sup> αιώνα, δεν πραγματοποιήθηκε κάποιο αξιοσημείωτο τεχνολογικό επίτευγμα, σχετικό με την αξιοποίηση του ήλιου ([https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar\\_timeline.pdf](https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf), πρόσβαση: 22-2-2023)

### **2.1.1 Η εξέλιξη των ηλιακών συλλεκτών**

Την περίοδο της αναγέννησης, δηλαδή τον 14<sup>ο</sup> -17<sup>ο</sup> αιώνα, η ανάπτυξη των ηλιακών τεχνολογιών συνεχίστηκε, γεφυρώνοντας τους “κενούς” προηγούμενους αιώνες με την σύγχρονη ιστορία. Ο Leonardo da Vinci, μελετώντας την γεωμετρία των αντανάκλασεων παράλληλων ηλιακών ακτίνων, δημιούργησε τον πρώτο καθρέπτη συγκέντρωσης ηλιακής ακτινοβολίας προορισμένο για θέρμανση νερού ενώ ανέπτυξε και τεχνικές συγκόλλησης χαλκού (Szabo, 2017).

Την Εποχή των Ανακαλύψεων (15<sup>ο</sup>-17<sup>ο</sup> αιώνα), η οποία χαρακτηρίζεται από τις εκτεταμένες υπεράκτιες εξερευνησίες, έκαναν επίσης την εμφάνιση τους πολλά επιτεύγματα συνδεδεμένα με την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Μια ιδιαίτερα σημαντική ανακάλυψη έγινε το 1767 από τον Horace-Bénédict de Saussure, ο οποίος δημιούργησε τον πρώτο συλλέκτη ηλιακής ενέργειας στον κόσμο. Όταν η συσκευή αυτή τοποθετούταν στον ήλιο, το νερό που εμπεριείχε μπορούσε να βράσει και η αρχή λειτουργίας της αποτέλεσε το πρότυπο των σύγχρονων θερμικών ηλιακών συστημάτων που χρησιμοποιούνται στις μέρες μας (Chen, 2011).

Από την βιομηχανική επανάσταση ως και τις μέρες μας, ηλιακοί συλλέκτες διαφόρων ειδών χρησιμοποιούνταν σε όλο και περισσότερες εφαρμογές, ακόμα και στην τήξη μετάλλων, μέσω των ηλιακών καμίνων του A. Lavoisier (Sorensen et al., 2009). Τον επόμενο αιώνα, η ανάπτυξη της τεχνολογίας έδειξε πως η ηλιακή ενέργεια είναι δυνατόν να μετατραπεί άμεσα σε άλλες μορφές ενέργειας. Αυτό αξιοποιήθηκε κατά κύριο λόγο μέσω μετατροπής της ηλιακής ενέργειας

σε χαμηλής πίεσης ατμό, δεδομένης της ευρείας διάδοσης των ατμομηχανών κατά την περίοδο αυτή (Breeze et al., 2009). Τον 20<sup>ο</sup> – 21<sup>ο</sup> αιώνα η τεχνολογία των ηλιακών συλλεκτών συνέχισε να εξελίσσεται και κατά συνέπεια οι χρήσεις τους αυξάνονταν, οδηγώντας στις πρώτες εγκαταστάσεις βιομηχανικής κλίμακας, άλλα και στις ευρέως πια διαδεδομένες οικιακές χρήσεις, για θέρμανση του νερού ή του σπιτιού (Szabo, 2017).

### **2.1.2 Η εξέλιξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων.**

Αδιαμφισβήτητα, έναυσμα για την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων αποτέλεσε η ανακάλυψη του φωτοβολταϊκού φαινομένου το 1839 από τον Edmond Becquerel. Πειραματιζόμενος με ένα ηλεκτρολυτικό κελί, παρατήρησε αύξηση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την έκθεση αυτού στον ήλιο, δημιουργώντας έτσι το πρώτο φωτοβολταϊκό κελί (Goetzberger et al. 2003). Μετέπειτα, το 1876, οι William Grylls Adams και Richard Evans Day αποδεικνύουν την φωτοαγωγιμότητα του σεληνίου, γεγονός που οδήγησε στην κατασκευή της πρώτης λειτουργικής φωτοβολταϊκής κυψέλης σεληνίου, από τον Charles Fritts, στα μέσα του 1880 (Perlin, 2013). Η συσκευή του Fritts είχε απόδοση μόλις 1%, αλλά αποδείκνυε την ικανότητα ορισμένων υλικών να μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια (<https://renewableenergyhub.co.uk/main/solar-panels/the-history-of-solar-power/>, πρόσβαση: 26-2-2023).

Αποτέλεσμα αυτού, ήταν η διεξαγωγή πολυάριθμων ερευνητικών προσπαθειών, με σκοπό την αύξηση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών. Στην προσπάθεια αυτή, είχαν κομβικό ρόλο ο Heinrich Hertz, ο οποίος ανακάλυψε το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο το 1887, ο Aleksandr Stoletov, που κατασκεύασε το πρώτο φωτοηλεκτρικό κελί, καθώς και ο Albert Einstein, ο οποίος δημοσίευσε μια εργασία με αντικείμενο το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο το 1905, για την οποία κέρδισε και το Βραβείο Νόμπελ το 1921 (<https://renewableenergyhub.co.uk/main/solar-panels/the-history-of-solar-power/>, πρόσβαση: 26-2-2023).

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας σχετικά με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και τα υλικά που το δημιουργούν συνεχίστηκε, οδηγώντας το 1954 στην κατασκευή των πρώτων πρακτικών φωτοβολταϊκών κυψελών κρυσταλλικού πυρίτιου από τα Bell Labs, τα οποία έφταναν σχετικά υψηλές – για την εποχή – αποδόσεις (Goetzberger et al., 2003). Έκτοτε, η εξέλιξη των φωτοβολταϊκών αυτού του τύπου υπήρξε ραγδαία, με τις αποδόσεις τους να αυξάνονται από

11% το 1958 σε 14% σε μόλις δύο χρόνια και τις εφαρμογές τους να κυμαίνονται από οικιακές χρήσεις, μέχρι την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών δορυφόρων και διαστημικών οχημάτων. Φωτοβολταϊκές συστοιχίες άρχισαν να χρησιμοποιούνται σε όλο και περισσότερες διαστημικές αποστολές και η ηλιακή ενέργεια δεν άργησε να γίνει η πιο διαδεδομένη μορφή ενέργειας για διαστημικές εφαρμογές ([https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar\\_timeline.pdf](https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf), πρόσβαση: 22-2-2023). Ωστόσο, δεν υπήρξε μεγάλη εμπορική επιτυχία μέχρι την δεκαετία του 1970, κατά την οποία υπήρξε μεγάλη πτώση του κόστους παραγωγής ενός watt ισχύος μέσω των ηλιακών τεχνολογιών. Το έτος 1980 η εταιρεία ARCOsolar, έγινε η πρώτη που παρήγαγε περισσότερα από 1 MW φωτοβολταϊκών κυψελών ετησίως, συμβάλλοντας στην εγκατάσταση των πρώτων μονάδων μεγάλης κλίμακας ([https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar\\_timeline.pdf](https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf), πρόσβαση: 22-2-2023; <https://renewableenergyhub.co.uk/main/solar-panels/the-history-of-solar-power/>, πρόσβαση: 26-2-2023).

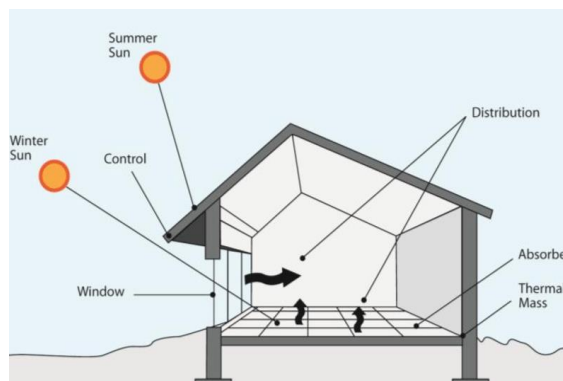
Γίνεται λοιπόν εμφανές πως, η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας ήταν και συνεχίζει να είναι υψηλής σημασίας και αδιαμφισβήτητου ενδιαφέροντος για την ανθρωπότητα. Μετά την κατασκευή του πρώτου φωτοβολταϊκού κελιού, το οποίο μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για πρακτικούς σκοπούς από τα Bell Labs, τα επιστημονικά επιτεύγματα στον τομέα διαδέχονταν το ένα το άλλο, οδηγώντας σήμερα στην ύπαρξη πολλών διαφορετικών φωτοβολταϊκών τεχνολογιών, οι οποίες θα αναφερθούν παρακάτω.

## **2.2 Είδη ηλιακών συστημάτων παραγωγής ενέργειας**

Τα συστήματα με τα οποία γίνεται σήμερα, κατά κύριο λόγο, η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας διακρίνονται στα Παθητικά θερμικά ηλιακά συστήματα, τα Ενεργητικά θερμικά ηλιακά συστήματα και Φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα (<https://ypen.gov.gr/>, πρόσβαση: 15-11-2022)

### Παθητικά ηλιακά συστήματα

Η χρήση των παθητικών ηλιακών συστημάτων αποσκοπεί στην απευθείας εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας, χωρίς να απαιτείται η παρέμβαση ηλεκτρικού εξοπλισμού. Αποτελούνται, ως επί το πλείστον, από δομικά υλικά τοποθετημένα με τέτοιο τρόπο, ώστε ο φυσικός φωτισμός και η ρύθμιση της θερμοκρασίας εντός των κτηρίων να είναι αποδοτικότερα. Μέσω κατάλληλων αρχιτεκτονικών-σχεδιαστικών αποφάσεων που επιτρέπουν την αξιοποίηση των νόμων μεταφοράς θερμότητας, τα συστήματα αυτά μπορούν να συλλέγουν και να αποθηκεύουν την ηλιακή ενέργεια, και έπειτα να την διανέμουν στον χώρο (Ασημακόπουλος και άλλοι 2020; Καραϊσάς, 2014) (Εικόνα 1).



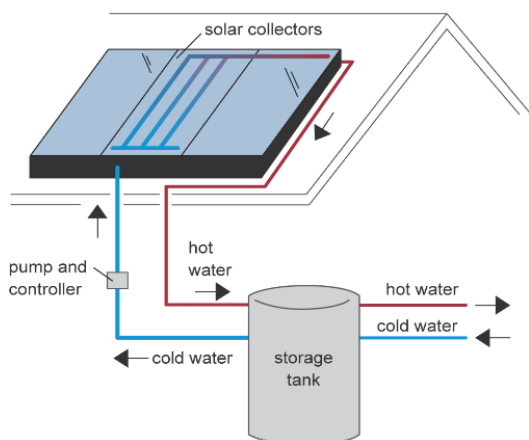
Εικόνα 1. Στοιχεία παθητικού ηλιακού συστήματος κατά το σχεδιασμό σπιτιού

Πηγή: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.27106.96960>

### Ενεργητικά θερμικά ηλιακά συστήματα

Η λειτουργία των ενεργητικών θερμικών ηλιακών συστημάτων (Θ.Η.Σ.) βασίζεται στην απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, την μετατροπή της σε θερμική ενέργεια και τέλος, την μεταφορά της μέσω κατάλληλων ρευστών (Fereres, 2018). Υπάρχουν πολλά είδη θερμικών ηλιακών συστημάτων, τα οποία μπορούν να χωριστούν σε στατικούς ηλιακούς θερμικούς συλλέκτες και σε συγκεντρωτικούς ηλιακούς θερμικούς συλλέκτες (Kalogirou, 2004). Τα συστήματα αυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν περαιτέρω, με βάση τον βαθμό της παραγόμενης θερμότητας σε θερμικά ηλιακά συστήματα χαμηλής (<80°C), μέσης (80-200°C) και υψηλής θερμοκρασίας (>200°C) (<https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php.pdf>, πρόσβαση: 14-4-2023). Στην πρώτη και δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι επίπεδοι συλλέκτες, οι σταθεροί, σύνθετοι παραβολικοί συλλέκτες και οι εκκενωμένοι συλλέκτες σωλήνων, στους οποίους συμπεριλαμβάνονται και οι γνωστοί ηλιακοί θερμοσίφωνες. Στην τρίτη κατηγορία συγκαταλέγονται μεγαλύτερες μονάδες όπως, παραβολικά συστήματα (συλλέκτες παραβολικού δίσκου και παραβολικής σκάφης), πύργοι ισχύος, και γραμμικοί ανακλαστήρες τύπου Fresnel, τα οποία καλούνται και *Συγκεντρωτικά Ηλιοθερμικά Συστήματα* (Kalogirou, 2004; Dincer & Ratlanwala, 2013).

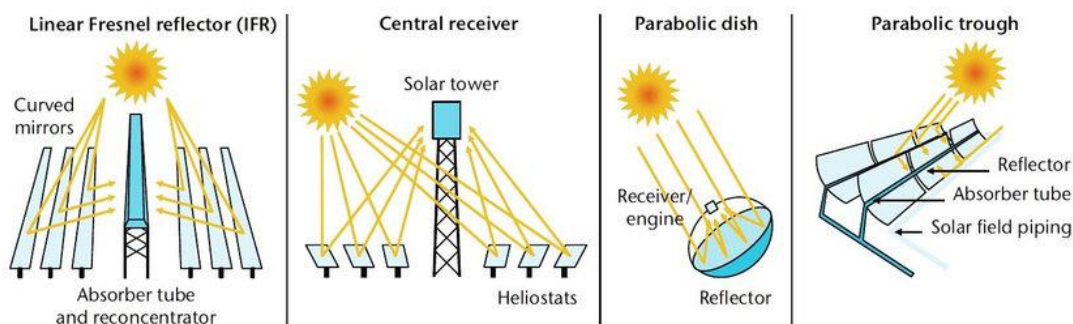
Πιο συγκεκριμένα, στα χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας θερμικά ηλιακά συστήματα, η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας πραγματοποιείται μέσω σκουρόχρωμων επιφανειών οι οποίες βρίσκονται σε επαφή με το ρευστό. Καθώς η θερμοκρασία του συλλέκτη αυξάνεται, η επιφάνεια του μεταφέρει θερμότητα προς το περιβάλλον με αυξανόμενο ρυθμό, θερμαίνοντας



Εικόνα 2. Απλοποιημένο σχεδιάγραμμα Θ.Η.Σ. χαμηλής θερμοκρασίας για θέρμανση νερού για οικιακές χρήσεις

Πηγή: <https://www.eia.gov/energyexplained/solar/solar-thermal-collectors.php>

έτσι το ρευστό (Newton, 2007) (Εικόνα 2). Στα συστήματα υψηλής θερμοκρασίας, με τη χρήση ανακλαστικών επιφανειών, όπως καθρέπτες, σε κατάλληλες διατάξεις, το ηλιακό φως συγκεντρώνεται σε μια δέσμη που κατευθύνεται προς ένα ρευστό, επιτυγχάνοντας έτσι την θέρμανσή του (Hernandez et al., 2013) (Εικόνα 3). Στην περίπτωση που το ρευστό που χρησιμοποιείται είναι το νερό, οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται μπορούν να το μετατρέψουν σε ατμό, ο οποίος στη συνέχεια χρησιμοποιείται σε στροβίλους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Rahman et al., 2022). Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως η ύπαρξη πολλών διαφορετικών ενεργητικών θερμικών ηλιακών συστημάτων τα καθιστά χρήσιμα σε πληθώρα εφαρμογών, τόσο σε οικιακό, όσο και βιομηχανικό επίπεδο (<https://ypen.gov.gr/> 1, πρόσβαση: 5-11-2022).



Εικόνα 3. Συγκεντρωτικά ηλιοθερμικά συστήματα. Κατά σειρά, ο γραμμικός ανακλαστήρας τύπου Fresnel, πύργος ισχύος, συλλέκτης παραβολικού δίσκου και συλλέκτης παραβολικής σκάφης

Πηγή: : <http://dx.doi.org/10.3390/en12061048>

Στην τελευταία κατηγορία ανήκουν τα φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα ( $\Phi/B$ ), τα οποία, σε

αντίθεση με τα προηγούμενα, μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική, αξιοποιώντας το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Αυτό παρατηρείται όταν φυσικοί ή τεχνητοί ημιαγωγοί εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία. Η παρεχόμενη ενέργεια δίνει στο εξωτερικό ηλεκτρόνιο του υλικού την δυνατότητα μεταπήδησης από την ζώνη σθένους, στην ζώνη αγωγιμότητας, δημιουργώντας διαφορά δυναμικού και κατά συνέπεια ηλεκτρική ενέργεια (Samraio & González, 2017). Η διαδικασία αυτή, πραγματοποιείται σε ειδικά τμήματα που είναι ενσωματωμένα σε κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα και καλούνται φωτοβολταϊκά κελιά, στοιχεία ή κυψέλες (PVcells) (Καραϊσάς, 2014).

Όπως προαναφέρθηκε, λόγω της ευρείας εφαρμογής που βρίσκουν τα συστήματα αυτά, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν μελετηθεί εκτενώς και έχουν περάσει πολλές φάσεις ανάπτυξης, με αποτέλεσμα τα ηλιακά πάνελ σήμερα να βασίζονται σε αρκετές διαφορετικές τεχνολογίες. Τα Φ/Β της πρώτης γενιάς περιλαμβάνουν κυψέλες που έχουν ως κύριο στοιχείο το κρυσταλλικό πυρίτιο. Για την κατασκευή των κυψελών αυτών, κομμάτια ημιαγωγών τοποθετούνται ανάμεσα σε γυάλινα πάνελ (Chaar et al., 2011). Οι τεχνολογίες αυτές κυριαρχούν στο εμπόριο και μελετώνται συνεχώς με σκοπό την βελτίωση των χαρακτηριστικών τους και την ελάττωση του κόστους παραγωγής. Επικρατέστερες μορφές είναι αυτές του μονοκρυσταλλικού πυριτίου (monoc-Si), του πολυκρυσταλλικού πυριτίου (polyc-Si) και του άμορφου πυριτίου (Ballaji et al., 2019).

Στις ηλιακές κυψέλες δεύτερης γενιάς ανήκουν οι κυψέλες λεπτού υμενίου. Στην περίπτωση αυτή, για την κατασκευή των κυψελών, πολύ λεπτές στρώσεις (έως και  $<0.3\mu\text{m}$ ) κατάλληλων υλικών, τοποθετούνται σε υποστρώματα από γυαλί ή ανοξείδωτο χάλυβα (SS), χρησιμοποιώντας εργαλεία ψεκασμού, με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά η κατανάλωση πρώτων υλών. Σημαντικό χαρακτηριστικό των κυψελών αυτών, είναι η δυνατότητα μείωσης του συνολικού κόστους της εγκατάστασης, λόγω της μικρότερης κατανάλωσης υλικών και της μείωσης του κόστους κατασκευής, χωρίς όμως να ελαττώνεται η διάρκεια ζωής των Φ/Β (Singh & Giribabu, 2013; <https://www.eco2day.gr/>, πρόσβαση: 29-11-2022). Οι κυψέλες τέτοιου τύπου που κρίνονται ως οι σημαντικότερες είναι η κυψέλη Δισεληνοϊνδιούχου Χαλκού με προσθήκη γαλλίου (CIGS), η κυψέλη Τελουριούχου Καδμίου (CdTe), η κυψέλη άμορφου πυριτίου ( $\alpha$ -Si) και η κυψέλη μικροκρυσταλλικού πυριτίου ( $\mu\text{c-Si}$ ) (Pastuszak & Wegierek, 2022).

Σε αντίθεση με τις κυψέλες της δεύτερης γενιάς, οι κυψέλες της τρίτης γενιάς μπορεί να αποτελούνται από πολλές, διαδοχικές, κρυσταλλικές στρώσεις με διαφορετικά διάκενα ζώνης η κάθε μία. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται υψηλότερη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς αξιοποιείται όλο το φάσμα αυτής και όχι μονάχα ένα μέρος αυτού, γεγονός που προσδίδει στις κυψέλες αυτές αποδόσεις έως και 40%. Ακόμα, οι κυψέλες λεπτού υμενίου χρησιμοποιούνται και στα φωτοβολταϊκά στοιχεία τρίτης γενιάς, οι οποίες συνήθως αποτελούνται από ανόργανα ή πολυμερή υλικά με μια οργανομεταλλική ένωση. Οι συνηθέστεροι τύποι κελιών αυτής της γενιάς περιλαμβάνουν τα CZTS, τα οργανικά, τα κελιά περοβσκίτη, κελιά ευαισθητοποιημένα με χρωστικές και κελιά Quantum Dot (Dambhare et al., 2021; Chaar et al., 2011). Η νανοτεχνολογία βρίσκει επίσης εφαρμογή στα φωτοβολταϊκά αυτής της γενιάς. Η εισαγωγή εξαρτημάτων νανοκλίμακας στις προαναφερθείσες τεχνολογίες μπορεί να έχει πολλαπλά οφέλη με σημαντικότερο την αποδοτικότερη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια (Rahman et al. 2022).

Επιπρόσθετα, οι εγκαταστάσεις των φωτοβολταϊκών συστημάτων χωρίζονται, με βάση τις ανάγκες που προορίζονται να καλύψουν, στις παρακάτω κατηγορίες (Καραϊσάς, 2014):

- Μικρό κινητό φωτοβολταϊκό σύστημα (Εικόνα 4)
- Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα (Εικόνα 5)
- Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα (με δυνατότητα κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας) (Εικόνα 6)
- Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα (η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται εξολοκλήρου στο ηλεκτρικό δίκτυο) (Εικόνα 7)
- Υβριδικό αυτόνομο σύστημα (Εικόνα 8)
- Υβριδικό διασυνδεδεμένο σύστημα (Εικόνα 9)



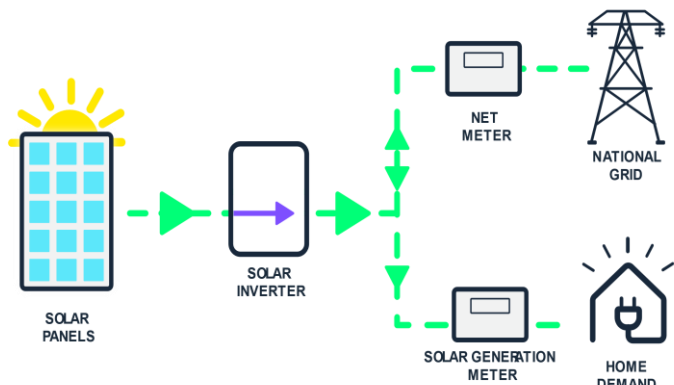
Εικόνα 45. Μικρό κινητό φωτοβολταϊκό σύστημα  
Πηγή: <https://www.gardentoolbox.co.uk/best-solar-panels/>



Εικόνα 4. Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα

Πηγή: <https://www.solarreviews.com/blog/rv-solar-panels-buyers-guide>

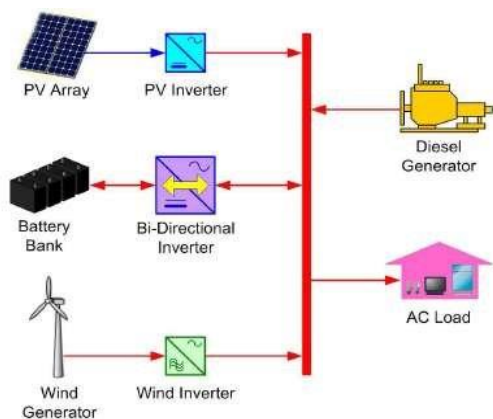




Εικόνα 6. Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα (με δυνατότητα κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας)

Πηγή:

[https://www.deegesolar.co.uk/different\\_types\\_of\\_solar\\_pv\\_systems/](https://www.deegesolar.co.uk/different_types_of_solar_pv_systems/)



Εικόνα 8. Απεικόνιση τρόπου λειτουργίας υβριδικού αυτόνομου

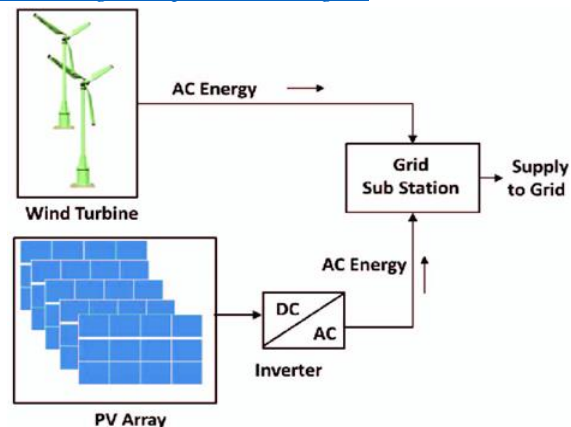
Πηγή:

<http://dx.doi.org/10.1109/SmartTechCon.2017.8358378>



Εικόνα 7. Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα (η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται εξολοκλήρου στο ηλεκτρικό δίκτυο)

Πηγή: <https://www.fmb.org.uk/homepicks/solar-panels/selling-solar-power-back-to-grid/>



Εικόνα 9. Απεικόνιση τρόπου λειτουργίας υβριδικού διασυνδεδεμένου συστήματος

Πηγή:

[https://www.researchgate.net/publication/320069189\\_Analysis\\_and\\_Simulation\\_of\\_Electrical\\_Load\\_in\\_a\\_Hospital\\_Using\\_Hybrid\\_DieselSolar\\_System\\_as\\_a\\_Back\\_Up](https://www.researchgate.net/publication/320069189_Analysis_and_Simulation_of_Electrical_Load_in_a_Hospital_Using_Hybrid_DieselSolar_System_as_a_Back_Up)

## 2.3 Ενεργειακές αποδόσεις της ηλιακής ενέργειας

Στην ενότητα αυτή θα αναφερθούν τα βασικότερα χαρακτηριστικά που αφορούν τις ενεργειακές αποδόσεις των ηλιακών συστημάτων. Αυτά περιλαμβάνουν την πυκνότητα της παραγόμενης ενέργειας, δηλαδή το ποσό ενέργειας που προσφέρεται από αυτά, την απόδοση των συστημάτων, δηλαδή το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που αυτά μπορούν να μετατρέψουν σε ηλεκτρική ενέργεια και την σταθερότητα της τροφοδοσίας, που εκφράζει το αν οι ηλιακές τεχνολογίες είναι ικανές να παρέχουν την ενέργεια που παράγουν αδιάκοπα ή όποτε αυτή χρειάζεται, ανεξαρτήτως των συνθηκών.

## 2.3.1 Πυκνότητα ενέργειας

### 2.3.1.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα

Η εγκατεστημένη ισχύς των Φ/Β συστημάτων ήταν αμελητέα τα προηγούμενα χρόνια, έχοντας αύξηση από μόλις 9.6 MW το 2007 σε 69 GW το 2011 (Abolhosseini et al., 2014). Έκτοτε όμως, η ανάπτυξή τους υπήρξε ραγδαία, με τις ετήσιες εγκαταστάσεις να γίνονται ολοένα και μεγαλύτερες. Το 2022, η βιομηχανία των φωτοβολταϊκών σημείωσε για ακόμα μια φορά ρεκόρ στην ετήσια εγκατεστημένη ισχύ παγκοσμίως, η οποία ήταν 175 GW. Πρόκειται για την μεγαλύτερη ετήσια εγκατεστημένη ισχύ που έχει πραγματοποιηθεί στην εν λόγω βιομηχανία, με την οποία η συνολική-σωρευτική ισχύ έφτασε τα 1.046 GW (IRENA, 2023). Για ένατη συνεχόμενη χρονιά, η Ασία κυριάρχησε στις εγκαταστάσεις Φ/Β, εκπροσωπώντας το 52% της νέας εγκατεστημένης ισχύς, ακολουθούμενη από τις Ηνωμένες Πολιτείες (21%) και την Ευρώπη (17%). Ακόμα, πολλές μεμονωμένες χώρες αύξησαν το ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας που καλύπτεται από τα φωτοβολταϊκά, συγκριτικά με τον περασμένο χρόνο, με πρωτοπόρους την Αυστρία (15.5%), την Ισπανία (14.2%) και την Ελλάδα (13.6%) (RenewablesNow, 2022).

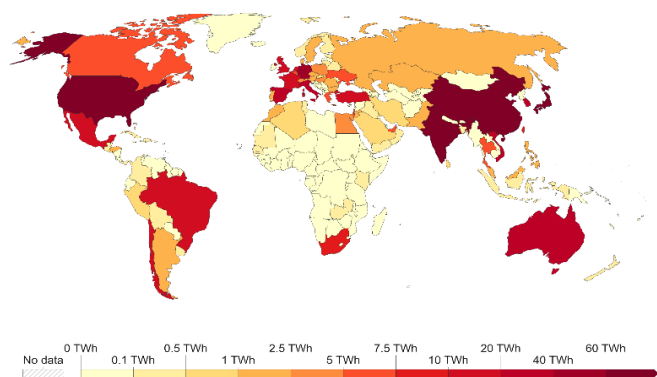
Η Ευρώπη, αν και δεν κατέχει την πρωτιά στις ετήσιες εγκαταστάσεις, ακολουθεί αντίστοιχη πορεία με την προαναφερόμενη. Το 2022, η νέα εγκατεστημένη ισχύς άγγιξε τα 41.4 GW, ξεπερνώντας αυτή της προηγούμενης χρονιάς κατά 47%, φέρνοντας την συνολική-σωρευτική ισχύ της Ευρώπης στα 209 GW (<https://www.solarpowereurope.org/press-releases/new-report-reveals-eu-solar-power-soars-by-almost-50-in-2022>, πρόσβαση: 28-12-2022). Οι χώρες με την μεγαλύτερη συνεισφορά στην ετήσια εγκατεστημένη ισχύ ήταν κατά φθίνουσα σειρά, η Γερμανία, η Ισπανία, η Πολωνία, η Ολλανδία και η Γαλλία ([https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable\\_energy\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics), πρόσβαση: 18-11-2022). Ακόμα, εκτός των περιβαλλοντικών οφελών, η ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας μπορεί να συμβάλει και στην οικονομική ευημερία των κρατών-μελών της Ε.Ε. Αυτό γίνεται αντιληπτό, καθώς μέχρι το 2020, η βιομηχανία των φωτοβολταϊκών από μόνη της δημιούργησε περίπου 357.000 θέσεις εργασίας και αναμένεται να δημιουργήσει περισσότερες από ένα εκατομμύριο μέχρι το τέλος της δεκαετίας ([https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/solar-energy\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/solar-energy_en), πρόσβαση: 19-11-2022).

### 2.3.1.2 Θερμικά ηλιακά συστήματα

Τα θερμικά ηλιακά συστήματα από την άλλη, σημειώνουν σημαντικά μικρότερη ανάπτυξη από τα Φ/Β. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των συγκεντρωτικών ηλιοθερμικών συστημάτων αυξήθηκε από περίπου 4 GW το 2013 σε μόλις 6,5GW την περασμένη χρονιά (IPENA, 2023). Στην Ευρώπη, η εγκατεστημένη ισχύς υπολογίζεται στα 2,4 GW, αλλά η ανάπτυξη έχει σταματήσει και το μόνο εργοστάσιο υπό ανάπτυξη είναι το MINOS στην Κρήτη (Taylor, 2019). Από την άλλη, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των Θ.Η.Σ. χαμηλής θερμοκρασίας ήταν περίπου 285 GW το 2011 και την περασμένη χρονιά έφτασε στα 522 GW. Η Κίνα παρέμεινε η μεγαλύτερη αγορά παγκοσμίως, όσον αφορά τα θερμικά συστήματα όλων των τύπων αντιπροσωπεύοντας το 73% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος (RenewablesNow, 2022).

Στους παρακάτω χάρτες παρουσιάζεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τον ήλιο σε TWh για το 2021. Στον πρώτο (Εικόνα 10) φαίνεται η παραγωγή σε κάθε χώρα του πλανήτη, ενώ στον δεύτερο (Εικόνα 11) εμφανίζονται συγκεκριμένα οι Ευρωπαϊκές χώρες. Τα χρώματα με τα οποία είναι σχεδιασμένη η κάθε χώρα, αντιστοιχούν σε ένα εύρος παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας, σύμφωνα με την οριζόντια μπάρα, κάτω από τον χάρτη.

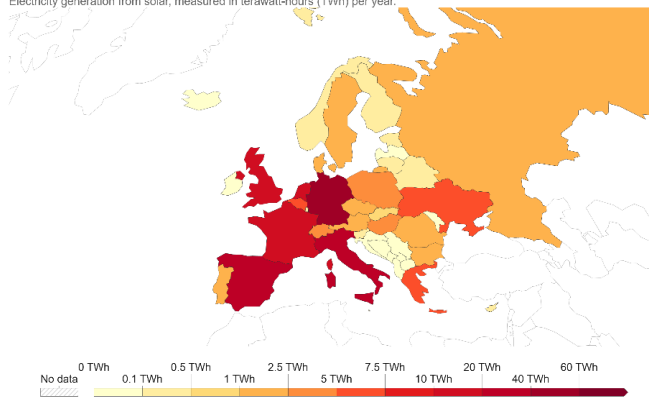
Solar power generation, 2021  
Electricity generation from solar, measured in terawatt-hours (TWh) per year.



Εικόνα 7. Ηλεκτρική ενέργεια από ηλιακές μονάδες παραγωγής για κάθε χώρα του κόσμου

Πηγή: <https://ourworldindata.org/search?q=Solar+power>

Solar power generation, 2021  
Electricity generation from solar, measured in terawatt-hours (TWh) per year.



Εικόνα 6. Ηλεκτρική ενέργεια από ηλιακές μονάδες παραγωγής για τις χώρες της Ευρώπης

Πηγή: <https://ourworldindata.org/search?q=Solar+power>

Όσον αφορά την χώρα μας, την περασμένη χρονιά οι εγκαταστάσεις σε φωτοβολταϊκά ξεπέρασαν κάθε άλλη τεχνολογία, με την ισχύ των νέων διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών να αγγίζει τα 1.280MW και την συνολική τα 5,5 GW. Ακόμα, με το ήδη εγκατεστημένο δυναμικό, η ενέργεια που παράχθηκε κάλυψε το 9,2% της εγχώριας ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια, περιορίζοντας την έκλυση περίπου 3,7 εκατ. τόνων διοξειδίου του άνθρακα (IRENA, 2023; <https://helapco.gr/statistika-agoras-fwtovoltaiikwn/statistika-ellinikis-agoras-2021/>, πρόσβαση: 19-11-2022). Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 12), φαίνεται η εξέλιξη στην εγκατάσταση Φ/Β και η παραγόμενη ισχύς από αυτά για την περίοδο 2007 με 2021, αθροιστικά αλλά και ετησίως, με γαλάζιο και μπλε χρώμα αντίστοιχα.



Εικόνα 8. Ετήσια και συνολική εγκατεστημένη ισχύς από φωτοβολταϊκά

Πηγή: <https://helapco.gr/statistika-agoras-fwtovoltaiikwn/statistika-ellinikis-agoras-2021/>

### 2.3.2 Απόδοση συστημάτων

Είναι γνωστό πως ο ήλιος αποτελεί μια πηγή ενέργειας με σημαντικά πλεονεκτήματα, ένα από τα οποία είναι και η αφθονία της. Ενδεικτικά αναφέρεται, πως η συνολική ενέργεια που παράγεται από τον ήλιο αγγίζει τα  $3,8 \cdot 10^{20}$  MW που αντιστοιχεί σε  $63 \text{ MW/m}^2$  της επιφάνειας του ήλιου (Breeze et al., 2009). Βέβαια, ετησίως, ένα ποσοστό περίπου 20% της ηλιακής

ακτινοβολίας που εισέρχεται την ατμόσφαιρα της Γης απορροφάται από τα σύννεφα, τους ωκεανούς και τις εδαφικές μάζες και ένα ποσοστό περίπου 30% ανακλάται πίσω στο διάστημα (Ασημακόπουλος και άλλοι 2020). Αν και στην επιφάνεια της γης φτάνει ένα μικροσκοπικό κλάσμα της συνολικής παραγόμενης ενέργειας από τον ήλιο – περίπου  $1,7 \cdot 10^{14} \text{kW}$  – υπολογίζεται πως η ενέργεια που προσφέρεται εντός 30 λεπτών ηλιακής ακτινοβολίας ισοδυναμεί με παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση για ένα έτος (Breeze et al., 2009).

Η απόδοση των ηλιακών συστημάτων μπορεί να περιγραφεί ως το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια αυτών και μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Στην περίπτωση των Φ/Β, ο βαθμός απόδοσης εξαρτάται άμεσα από το είδος από τον τύπο της ηλιακής κυψέλης που αυτά εμπεριέχουν (Lazaroiu et al., 2014). Οι τεχνολογίες που βρίσκουν σήμερα πιο ευρεία εφαρμογή είναι οι κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου (mono-Si), πολυκρυσταλλικού πυριτίου (poly-Si) και λεπτού υμενίου, που έχουν βαθμό απόδοσης 15-20%, 13-16% και 9-11% αντίστοιχα. Όπως προαναφέρθηκε, οι κυψέλες της τρίτης γενιάς μπορούν να φτάσουν σημαντικά υψηλότερες αποδόσεις, με την μεγαλύτερη που έχει σημειωθεί ως τώρα να είναι 43.6% (Saleem et al., 2016). Στην περίπτωση των Θ.Η.Σ., ο βαθμός απόδοσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως τον τύπο της μονάδας, του συλλέκτη και τον κινητήρα και κυμαίνεται μεταξύ 7-25%, ενώ η τυπική απόδοση είναι περίπου 15% (Rashad et al., 2015; <https://www.brunel.net/en/blog/renewable-energy/concentrated-solar-power>, πρόσβαση: 21-1-2023). Αξίζει τέλος να αναφερθεί πως ο βαθμός απόδοσης δεν είναι το μοναδικό, ούτε το σημαντικότερο χαρακτηριστικό των ηλιακών συσκευών και η τεχνολογία που τελικά επιλέγεται είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων (Ασημακόπουλος και άλλοι 2020).

### 2.3.3 Σταθερότητα τροφοδοσίας

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, η παραγωγή ενέργειας από τα ηλιακά συστήματα εξαρτάται άμεσα από τις καιρικές συνθήκες και την κατάσταση της ατμόσφαιρας. Ακόμα, η θερμοκρασία που επικρατεί μπορεί να επηρεάσει επίσης τα ποσά της παραγόμενης ενέργειας.

Όσον αφορά τις καιρικές συνθήκες, τα ηλιακά συστήματα δεν μπορούν να λειτουργήσουν με βέλτιστη απόδοση με συννεφιά, βροχή, ομίχλη ή χιόνι. Σε συνθήκες συννεφιάς και βροχής, ο βαθμός απόδοσης τους εξαρτάται από την πυκνότητα των σύννεφων, αφού αυτά εμποδίζουν τις ακτίνες του ηλίου να φτάσουν στην επιφάνεια της γης. Με παρόμοιο τρόπο επιδρά και η ομίχλη,

η οποία ομοίως μειώνει το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει σε αυτά. Επιπλέον, κατά τις έντονα συννεφιασμένες μέρες και τις χιονοπτώσεις, η παραγωγή ενέργειας από τα ηλιακά συστήματα μπορεί να είναι αμελητέα έως και μηδενική (<https://www.solaralliance.com/how-do-clouds-affect-solar-panels/>, πρόσβαση: 19-12-2022).

Επιπρόσθετα, η θερμοκρασία επηρεάζει σημαντικά τις επιδόσεις των συστημάτων, καθώς μπορεί να δημιουργήσει τεχνικά προβλήματα. Οι ηλιακές κυψέλες, έχοντας αρκετά μεγάλη επιφάνεια, είναι ιδιαίτερα επιρρεπείς στις υψηλές θερμοκρασίες. Οι συνηθέστερες επιπτώσεις των θερμοκρασιών αυτών αφορούν την υποβάθμιση ορισμένων ηλεκτρικών και οπτικών χαρακτηριστικών των κυψελών, και είναι από τους σημαντικότερους περιοριστικούς παράγοντες για τις ηλιακές εγκαταστάσεις. Τέλος, η λειτουργία των φωτοβολταϊκών σε θερμοκρασίες αρκετά μεγαλύτερες από την θερμοκρασία δωματίου, μπορεί να οδηγήσει στην ελάττωση της παραγόμενης ενέργειας, αλλά πολλές φορές ακόμα και στη μείωση του χρόνου ζωής τους (Muthu & Kirubakaran, 2014).

Έρευνες ακόμα δείχνουν, πως η αιωρούμενη σκόνη και τα σωματίδια που εντοπίζονται στην ατμόσφαιρα επηρεάζουν και αυτά την λειτουργία των θερμικών ηλιακών και φωτοβολταϊκών συστημάτων (Hamed & Alshare, 2022). Οι μεταβολές στην απόδοση των φωτοβολταϊκών στην περίπτωση αυτή, είναι συνάρτηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που εκπέμπεται, σε συνδυασμό με το ποσό της σκόνης που έχει αποθεθεί στην επιφάνεια των μονάδων. Έχει διαπιστωθεί, πως μείωση του μεγέθους των σωματιδίων της σκόνης οδηγεί σε εντονότερη παρεμπόδιση της ηλιακής ακτινοβολίας και κατά συνέπεια, μείωση της απόδοσης των μονάδων. Πιο συγκεκριμένα, σε ερημικές περιοχές, όπου η ηλιακή ακτινοβολία καθώς και τα επίπεδα συσσώρευσης της σκόνης μπορούν να μεγιστοποιηθούν, η ισχύ των Φ/Β συστημάτων μπορεί να μειωθεί έως και 60% (Hussian et al., 2017).

Με βάση τα προαναφερθέντα, μέγιστη απόδοση των φωτοβολταϊκών και των θερμικών ηλιακών συστημάτων παρατηρείται κατά τις δροσερές, ηλιόλουστες μέρες υπό την παρουσία αέρα. Αυτό συμβαίνει καθώς ο ήλιος παρέχει άφθονα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας για την παραγωγή ενέργειας, η χαμηλή θερμοκρασία προστατεύει την επιφάνεια των τεχνολογιών από την υπερθέρμανση. Ο αέρας συμβάλλει επίσης στην ψύξη των συστημάτων εμποδίζοντας ταυτόχρονα την εναπόθεση σκόνης στους συλλέκτες, ενισχύοντας την απόδοσή τους (Clarke & Sweeney, 2012).

## 2.4 Περιβαλλοντικό αποτύπωμα της ηλιακής ενέργειας

Όπως γίνεται εμφανές, η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας έχει πολλαπλά οφέλη, συγκριτικά με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής ενέργειας και προβλέπεται πως η χρήση των σχετικών τεχνολογιών μονάχα θα αυξάνεται με το πέρασμα του χρόνου. Όλα αυτά ωστόσο, δεν θα έπρεπε να απομακρύνουν την προσοχή μας από τις διάφορες αρνητικές επιπτώσεις και τους κινδύνους που δημιουργούνται από αυτήν, καθώς αν αυτά παραμεληθούν, μπορούν να οδηγήσουν σε σοβαρά και χρόνια περιβαλλοντικά και μη προβλήματα. Η ηλιακή ενέργεια, αν και θεωρείται από πολλούς ως η καθαρότερη πηγή ενέργειας, έχει πολυδιάστατες περιβαλλοντικές επιπτώσεις τόσο κατά το κατασκευαστικό στάδιο, όσο και κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της.

### 2.4.1 Επιπτώσεις στην πανίδα

Όπως συμβαίνει και κατά την εγκατάσταση κάθε έργου μεγάλης κλίμακας, έτσι και η εγκατάσταση των ηλιακών τεχνολογιών, επηρεάζει άμεσα και έμμεσα την περιοχή που τοποθετούνται. Κατά τη φάση κατασκευής τους, συνήθως απαιτείται διαβάθμιση του εδάφους και αποψίλωση της βλάστησης (Lambert et al., 2022). Η αλλοίωση αυτή, και πρακτικά, η στέρηση του βιότοπου στους οργανισμούς της περιοχής, μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα επιβλαβής για την βιοποικιλότητα, καθώς αυτοί δεν μπορούν να προσαρμοστούν με ευκολία στο καινούριο περιβάλλον (Laine, 2017). Τα υπάρχοντα σημεία που χρησιμοποιούνταν ως κρυψόνες αλλάζουν, οι τακτικές εύρεσης τροφής και η διαθεσιμότητα αυτής μεταβάλλονται σημαντικά και η σκίαση που δημιουργείται από τα ίδια τα φωτοβολταϊκά επηρεάζει έντονα το μικροκλίμα της περιοχής (Turney & Fthenakis, 2011).

Για την εξομάλυνση των παραπάνω ζητημάτων, γίνεται αναφορά σε ενέργειες μετατόπισης και επαναπατρισμού κάποιων ειδών που εντοπίζονται στην περιοχή. Ωστόσο, αυτές δεν μπορούν προσφέρουν ουσιαστική λύση στο πρόβλημα,



Εικόνα 9. Επιπτώσεις ηλιακών συστημάτων στα πουλιά

Πηγή: <https://www.audubon.org/news/solar-power-and-birds>

καθώς έχουν γενικά χαμηλά ποσοστά επιτυχίας, ιδιαίτερα στις μετατοπίσεις ερπετών και αμφιβίων, ενώ, συνήθως, στοχεύουν μονάχα σε μεμονωμένα είδη (Lovich & Ennen, 2011; Dodd & Seigel, 1991). Ακόμα, κάποια είδη που δεν δύναται να μετακινηθούν με τέτοιες ενέργειες, όπως τα πτηνά και τα έντομα, πολλές φορές ελκύονται από τις εγκαταστάσεις αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας, και θανατώνονται λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται σε αυτές (Hernandez et al., 2013; Lovich & Ennen, 2011) (Εικόνα 13). Πιθανές αιτίες έλξης των οργανισμών από τις εγκαταστάσεις μπορεί να είναι οι μικροκλιματικές συνθήκες που δημιουργούνται, η σκίαση, η διαθεσιμότητα νερού, η υψηλή συγκέντρωση τροφής, ο φωτισμός που παράγεται κ.α. (Chock et al., 2020). Από έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε ένα θερμικό ηλιακό σύστημα υψηλής θερμοκρασίας τοποθετημένο σε έρημο κοντά στο Νταγκέτ της Καλιφόρνια, βρέθηκε πως εξαιτίας της εγκατάστασης θανατώνονται έξι πουλιά ετησίως και εκατοντάδες έντομα κάθε ώρα. Στην έρευνα ακόμα προτείνεται, οι μελλοντικές εγκαταστάσεις στην περιοχή να μην τοποθετηθούν σε σημεία που υπάρχει αυξημένη δραστηριότητα πτηνών, λόγω χάρη σε σημεία που εντοπίζονται υδάτινοι πόροι (McCrary et al., 1984).

Αν και ο αντίκτυπος αυτός είναι ήπιος συγκριτικά με άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες, χρειάζεται να παρακολουθείται στενά και να διενεργηθούν περισσότερες έρευνες επί του θέματος, καθώς τα διαθέσιμα στοιχεία δεν κρίνονται ικανά να οδηγήσουν σε σαφή συμπεράσματα (Turney & Fthenakis, 2011). Βέβαια, εκτός των θανατώσεων, σημειώνονται και λιγότερο άμεσες επιπτώσεις στην συμπεριφορά των ζώων. Οι αλλαγές στη συμπεριφορά είναι συνήθως, η πρώτη αντίδραση των ζώων στις περιβαλλοντικές μεταβολές και μπορεί να συνδέονται με διαφοροποιήσεις στις συνήθειες αναζήτησης τροφής, στα μοτίβα μετακίνησης, στο ρυθμό αναπαραγωγής ορισμένων ειδών κ.α. (Northrup & Wittemyer, 2013; Dimitri & Longland, 2018.).

Επιπροσθέτως, οι διαταραχές που προκαλούνται στο έδαφος για τα έργα θεμελίωσης, αλλά και για την κατασκευή βοηθητικών δρόμων προσπέλασης, μπορούν να δράσουν σαν εστίες συγκέντρωσης ξένων, μη-ενδογενών οργανισμών και χωροκατακτητικών φυτών στο οικοσύστημα. Κάτι τέτοιο, μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες στους πληθυσμούς των ντόπιων ειδών, οι οποίοι δεν είναι προσαρμοσμένοι σε τέτοιου είδους απειλές, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η πιθανότητα πυρκαγιάς, καθώς τα ξένα είδη φυτών πολλαπλασιάζουν τα πιθανά



σημεία έναρξης φωτιάς (Lovich & Bainbridge, 1999; Hernandez et al., 2013; Gelbard & Belnap, 2003). Ακόμα, η αύξηση του πληθυσμού των οργανισμών αυτών, μπορεί να μεταβάλλει αισθητά τους μηχανισμούς διανομής της τροφής στην περιοχή, μειώνοντας την ακεραιότητα του τροφικού ιστού, καθώς και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ενδογενών ειδών (Chock et al., 2020).

Τέλος, όσον αφορά τις εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας, εμφανίζεται και το πρόβλημα της θερμικής ανισορροπίας. Στην επιλεγμένη περιοχή, απορροφάται μέρος της ηλιακής ενέργειας που υπό κανονικές συνθήκες θα ανακλούνταν στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα το περιβάλλον να γίνεται σκληρό για ορισμένα είδη, τα οποία μπορεί να απειληθούν (Mahajan, 2012).

## **2.4.2 Επιπτώσεις στο έδαφος και στην βλάστηση**

Η πανίδα της - προς εκμετάλλευση - περιοχής δεν είναι η μόνη που επηρεάζεται. Όπως προαναφέρθηκε, η κατασκευή των ηλιακών συστημάτων συνήθως προαπαιτεί αποψίλωση της βλάστησης ή διατήρησή της σε αρκετά χαμηλό ύψος, ώστε να μην δυσχεραίνεται η λειτουργία των ηλιακών συστημάτων (Turney & Fthenakis, 2011).

Επιπλέον, τα έργα που απαιτούνται για την θεμελίωση και την βέλτιστη τοποθέτηση των εγκαταστάσεων, απαιτούν την διεύθυνση τσιμεντένιων κατασκευών στο έδαφος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, την αισθητή υποβάθμιση της ποιότητας του χώματος με το πέρασμα του χρόνου, αφού η θερμότητα και το νερό δεν διανέμονται σωστά, περιορίζοντας έτσι τις μελλοντικές χρήσεις γης (Rahman et al., 2022).

Όλα τα παραπάνω, συνδυαζόμενα με την επίδραση των αιολικών δυνάμεων, μπορούν να οδηγήσουν σε έντονες μετακινήσεις εδαφικών μαζών, κυρίως άμμου και σκόνης. Αρχικά, οι εκπομπές αυτές μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς την ανάπτυξη της τοπικής χλωρίδας. Πιθανές συνέπειες είναι η μεταβολή της γονιμότητας, η μειωμένη κατακράτηση του νερού και η δυσχερέστερη φωτοσύνθεση των φυτών της ερήμου. Επιπροσθέτως, η αιώρηση της σκόνης μπορεί να οδηγήσει σε απογύμνωση του ριζικού συστήματος ή στην πλήρη κάλυψη των φυτών, καθώς και σε τραυματισμούς των φύλλων και των μίσχων τους (Sharifi et al., 1997; Hamed & Alshare, 2022). Δεδομένης της ποικιλίας της σύστασης των κόνεων, οι επιπτώσεις από την εκπομπή τους μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα και στην ανθρώπινη υγεία, στον υδρολογικό και βιογεωχημικό κύκλο, στο κλίμα κ.α.. Τέλος, έρευνες δείχνουν ότι έπειτα από την

διατάραξη της περιοχής, τα ανώτερα επίπεδα του εδάφους χάνουν σημαντικό ποσοστό οργανικού άνθρακα και ολικού αζώτου, γεγονός που επιβαρύνει περαιτέρω την βιοποικιλότητα και μειώνει το δυναμικό αναγέννησης της βλάστησης (Hernandez et al, 2013).

### 2.4.3 Επιπτώσεις στις χρήσεις γης

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία, οι επιπτώσεις των ηλιακών εγκαταστάσεων στις χρήσεις γης, αξιολογούνται με βάση την άμεση χρήση γης, δηλαδή τις εκτάσεις που καταλαμβάνονται άμεσα από τις μονάδες και τον συμπληρωματικό εξοπλισμό, και την συνολική χρήση γης, που περιγράφει την έκταση του ακινήτου που διατίθεται για την ανάπτυξη του έργου (Ioannidis & Koutsoyiannis, 2020).

Είναι εμφανές, πως οι επιπτώσεις στις χρήσεις γης είναι ευθέως ανάλογες με το μέγεθος και το είδος της εγκατάστασης. Σε γενικές γραμμές, τα ηλιακά συστήματα παραγωγής ενέργειας μικρής κλίμακας, όπως είναι τα θερμικά ηλιακά συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας, δεν δεσμεύουν τμήματα γης, καθώς οι συλλέκτες μπορούν να τοποθετούνται στις σκεπές ήδη υπάρχοντων κτηρίων (Sanseverino et al., 2021).

Αντίθετα, η έκταση της γης που απαιτείται για την εγκατάσταση των Θ.Η.Σ. υψηλής θερμοκρασίας και φωτοβολταϊκών συστημάτων βιομηχανικής κλίμακας, δεν είναι αμελητέα και μπορεί να συνδέεται με ορισμένες προκλήσεις. Έχει υπολογιστεί πως για τα περισσότερα Φ/Β συστήματα η άμεση χρήση γης συνιστά περίπου το 86% της συνολικής χρήσης γης και για την πλειοψηφία των Θ.Η.Σ. υψηλής θερμοκρασίας, το αντίστοιχο ποσοστό πέφτει στο 77% (Ong et al., 2013). Πιο συγκεκριμένα, θεωρώντας πως η μέση διάρκεια ζωής των συστημάτων αυτών είναι περίπου 30 έτη, η μέση απαίτηση στην συνολική χρήση γης υπολογίζεται περίπου στα 486m<sup>2</sup> /GWh από τα Φ/Β συστήματα και στα 472 m<sup>2</sup> /GWh από τα Θ.Η.Σ. υψηλής θερμοκρασίας. Επιπρόσθετα, η μέση απαίτηση στην άμεση χρήση γης από τα δύο είδη συστημάτων, φτάνει τα 418m<sup>2</sup> /GWh και 364 m<sup>2</sup> /GWh αντίστοιχα σύμφωνα με τους Ong et al (2013) και κυμαίνεται μεταξύ 402 - 463 m<sup>2</sup>/GWh και 366-552 m<sup>2</sup> /GWh αντίστοιχα, σύμφωνα με τους Fthenakis & Kim (2009). Λαμβάνοντας υπόψιν πως τα ηλιακά πάνελ και οι συλλέκτες δεν χρειάζεται να απέχουν μεγάλες αποστάσεις – όπως συμβαίνει παραδείγματος χάριν με τις ανεμογεννήτριες – οι απαιτήσεις των άμεσων χρήσεων γης είναι αυξημένες και δεσμευτικές για τον χώρο της εγκατάστασης. Κατά συνέπεια, το μεγαλύτερο τμήμα του συνολικού χώρου των

εγκαταστάσεων, δεν είναι διαθέσιμο για εναλλακτικές χρήσεις, (Ioannidis & Koutsoyiannis, 2020).

Ως αποτέλεσμα, μια από τις βασικότερες ανησυχίες που δημιουργούν αφορά την επίδραση των Φ/Β ηλιακών συστημάτων στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις (Tsoutsos et al., 2005). Όπως αναλύθηκε παραπάνω, η κατασκευή των μονάδων υποβαθμίζει την ποιότητα της γης που τα φιλοξενεί (Rahman et al., 2022). Έτσι, αφ' ενός διακόπτεται η εκμετάλλευση κάποιων καλλιεργήσιμων εδαφών για αγροτικούς σκοπούς, και αφ' ετέρου εμποδίζεται η αξιοποίηση αυτών, μετά το τέλος του κύκλου ζωής των Φ/Β, καθώς η ανάκαμψη του εδάφους πραγματοποιείται με πολύ αργούς ρυθμούς (Tsoutsos et al., 2005). Οι επιπτώσεις αυτές βέβαια, μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με κατάλληλη χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, παραδείγματος χάριν σε τοποθεσίες χαμηλότερης ποιότητας εδάφους, σε μολυσμένα βιομηχανικά εδάφη (browfields) ή σε εγκαταλελειμμένα ορυχεία (<https://www.ucsus.org/resources/environmental-impacts-solar-power#references>, πρόσβαση: 3-12-2022).

#### **2.4.4 Επιπτώσεις σχετικά με κατανάλωση νερού**

Η παραγωγή ενέργειας από οποιαδήποτε πηγή είναι στενά συνδεδεμένη με την κατανάλωση νερού. Ανεξαρτήτως του τρόπου παραγωγής της ενέργειας, χρήση νερού μπορεί να απαιτείται στην εξόρυξη ενεργειακών πόρων ή στη διύλιση, την επεξεργασία και την μεταφορά τους (U.S. Department of Energy, 2006.). Αν και οι τεχνολογίες εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας φαινομενικά δεν συνδέονται με κατανάλωση νερού, πολλά είναι τα στάδια του κύκλου ζωής τους, στα οποία η χρήση αυτού είναι αναγκαία. Μάλιστα, ιδιαίτερα για χώρες που χαρακτηρίζονται από έντονη έλλειψη νερού, πως η Λιβύη, η Σαουδική Αραβία, η Ιορδανία κ.α., ο προσδιορισμός του ζητήματος αυτού κρίνεται μεγάλης σημασίας (Tawalbeh et al., 2021).

Συγκεκριμένα για την περίπτωση των φωτοβολταϊκών, κατά την φάση λειτουργίας τους, το νερό είναι απαραίτητο κυρίως για την ψύξη τον καθαρισμό των πλακών. Βέβαια, η ποσότητα του καταναλισκόμενου νερού και η συχνότητα των καθαρισμών σημειώνουν μεταβολές ανάλογα με τα χαρακτηριστικά σκόνης, την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου, τον προσανατολισμό και την γωνία κλίσης των πάνελ, την θερμοκρασία, την πυκνότητα των βροχόπτωσης, τα επίπεδα της βλάστησης κ.α. (Tawalbeh et al., 2021). Ωστόσο, η κατανάλωση

νερού που πραγματοποιείται κατά το στάδιο λειτουργίας είναι αρκετά χαμηλότερη από αυτή που παρατηρείται κατά τις υπόλοιπες φάσεις του κύκλου ζωής των μονάδων (Macknick et al., 2014). Χρήση νερού πραγματοποιείται κατά την προετοιμασία χημικών διαλυμάτων, την κατασκευή της εγκατάστασης και άλλων απαραίτητων εξαρτημάτων, την απόκτηση των καυσίμων καθώς και κατά το στάδιο απόσυρσης (Fthenakis & Kim, 2010). Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψιν, όλες τις φάσεις στις οποίες χρειάζεται νερό καθ' όλη της διάρκεια ζωής τους των μονάδων, υπολογίζεται πως οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις απαιτούν κατά μέσο όρο 355 λίτρα νερού ανά MWh (Meldrum et al., 2013).

Οι εγκαταστάσεις Θ.Η.Σ. υψηλής θερμοκρασίας έχουν, επίσης, απαιτήσεις σε νερό για μια σειρά διαδικασιών, όπως είναι η διεργασία ανακύκλωσης του ατμού και ο καθαρισμός των καθρεπτών ή των ηλιοστατών. Ακόμα, όπως όλες οι θερμοηλεκτρικές εγκαταστάσεις, απαιτούν νερό για ψύξη του ατμού και κατά συνέπεια, συνδέονται με υψηλότερη κατανάλωση νερού συγκριτικά με τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Η κατανάλωση νερού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το σύστημα ψύξης που χρησιμοποιείται στις μονάδες (Macknick et al., 2011). Τα συστήματα υγρής ψύξης καταναλώνουν 90-95% παραπάνω νερό, από ότι τα συστήματα ξηρής ψύξης και επομένως η επιλογή τους εντείνει το ζήτημα της κατανάλωσης των υδάτινων πόρων. Αυτό συμβαίνει, διότι τα τελευταία χρησιμοποιούν τον ατμοσφαιρικό αέρα, αντί για νερό, για να ψύξουν τον ατμό που εξατμίζεται (Lovich & Ennen, 2011). Από την άλλη, τα συστήματα ξηρής ψύξης χαρακτηρίζονται από χαμηλή αποδοτικότητα και υψηλό κόστος εκκίνησης, το οποίο όμως μπορεί να αντισταθμιστεί από τα έξοδα της χρήσης νερού (Hobert & Haverkamp, 2009). Υπολογίζεται πως οι εγκαταστάσεις του τύπου αυτού, απαιτούν κατά μέσο όρο περίπου 605 λίτρα νερού ανά MWh, λαμβάνοντας υπόψιν όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής τους (Meldrum et al., 2013).

Όλα τα παραπάνω, ειδικά όταν πραγματοποιούνται σε μονάδες μεγάλης κλίμακας, μπορεί να έχουν σοβαρές συνέπειες στους υδάτινους πόρους. Πιθανές επιπτώσεις είναι η μείωση του ρυθμού εμπλουτισμού των υπογείων υδάτων, το δυσχερέστερο φιλτράρισμα του αέρα και του βρόχινου νερού από τους ρύπους, ακόμα και η αύξηση της πιθανότητας εκδήλωσης πλημμυρικών φαινομένων, ιδιαίτερα στην περίπτωση που η εγκατάσταση τοποθετηθεί σε πλαγιά όπου πραγματοποιηθεί απομάκρυνση των δέντρων (Turney & Fthenakis, 2011).

## 2.4.5 Επιπτώσεις σχετικά με την χρήση φυσικών πόρων

Στις συνέπειες από την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, αναμφίβολα θα έπρεπε να συμπεριληφθεί και η υψηλή κατανάλωση υλικών πόρων και μετάλλων. Πρώτες ύλες διαφόρων ειδών είναι απαραίτητες για την κατασκευή κάθε ηλιακής μονάδας και η ζήτηση αυτών από τον ενεργειακό τομέα μονάχα θα αυξάνεται, αν συνεχισθεί η στρατηγική που ακολουθεί η Ευρωπαϊκή Ένωση.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν τον σημαντικότερο αντίκτυπο στην κατανάλωση πρώτων υλών. Λόγω της ύπαρξης πολλών διαφορετικών τεχνολογιών φωτοβολταϊκών στοιχείων, οι απαιτήσεις σε υλικούς πόρους και μέταλλα ποικίλει. Γενικά, μπορούμε να διαχωρίσουμε τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα υλικά που απαιτούνται για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων και τα υλικά που απαιτούνται για τα υπόλοιπα μέρη ή άλλες ανάγκες των ηλιακών μονάδων (Carrara et al., 2020).

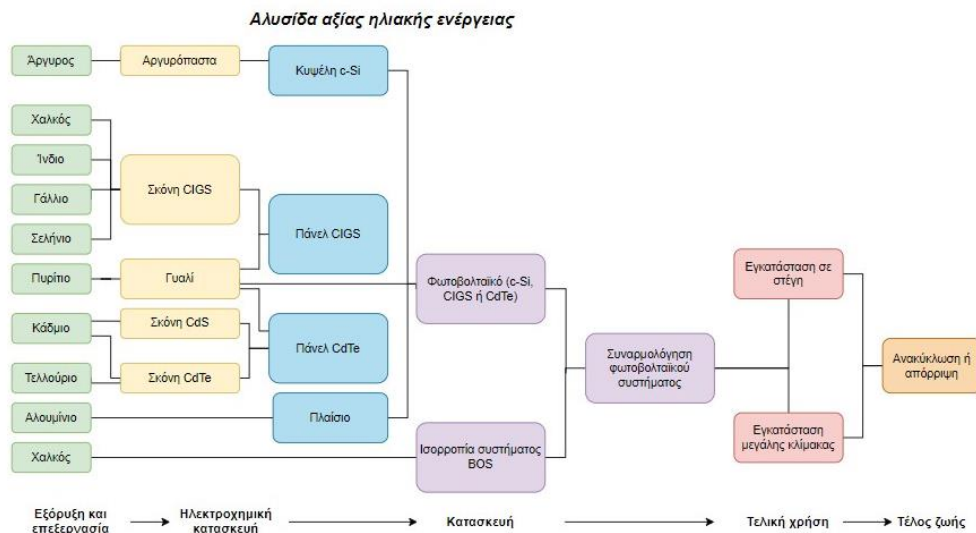
Παρακάτω αναγράφονται τα υλικά που ανήκουν στην πρώτη κατηγορία, καθώς και ο τύπος φωτοβολταϊκού στοιχείου στο οποίο χρησιμοποιούνται (Buchholz & Brandenburg, 2018; Carrara et al., 2020):

- *Πυρίτιο (Si)*–Φωτοβολταϊκές Κυψέλες c-Si και a-Si
- *Άργυρος (Ag)* -Φωτοβολταϊκές Κυψέλες c-Si
- *Γερμάνιο (Ge)* -Φωτοβολταϊκές Κυψέλες a-Si
- *Κάδμιο (Cd)* -Φωτοβολταϊκές Κυψέλες CdTe
- *Τελλούριο (Te)* -Φωτοβολταϊκές Κυψέλες CdTe
- *Χαλκός (Cu)* -Φωτοβολταϊκές Κυψέλες CIGS
- *Ινδίο (In)* -Φωτοβολταϊκές Κυψέλες CIGS
- *Γάλλιο(Ga)* -Φωτοβολταϊκές Κυψέλες CIGS
- *Σελήνιο (Se)* -Φωτοβολταϊκές Κυψέλες CIGS

Στη συνέχεια, παραθέτονται τα υλικά που ανήκουν στην δεύτερη κατηγορία καθώς και το τμήμα στο οποίο χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών συστημάτων (Jean et al., 2015; [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/system/files/2020-04/jrc120228\\_raw\\_material\\_demand\\_two-pager\\_pubsy\\_final.pdf](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/system/files/2020-04/jrc120228_raw_material_demand_two-pager_pubsy_final.pdf), πρόσβαση: 21-4-2023; Pavel et al., 2020):

- Τσιμέντο στις δομές υποστήριξης του συστήματος
- Ατσάλι στις δομές υποστήριξης του συστήματος
- Πλαστικό για χρήσεις που στοχεύουν στην προστασία του περιβάλλοντος
- Γυαλί για την κατασκευή υποστρωμάτων και την ενθυλάκωση των κυψελών
- Αλουμίνιο για την κατασκευή των πλαισίων των μονάδων
- Χαλκός σε καλωδιώσεις, γειώσεις, μετατροπείς, μετασχηματιστές και κορδέλες φωτοβολταϊκών κυψελών
- Κράματα κασσίτερου – μολύβδου για συγκολλήσεις ηλεκτρικών κυκλωμάτων

Παρακάτω (Εικόνα 14) απεικονίζεται η απλοποιημένη αλυσίδα αξίας για τις πρώτες ύλες που καταναλώνονται από τις μονάδες φωτοβολταϊκών συστημάτων.



Εικόνα 10. Απλοποιημένη αλυσίδα αξίας για τις πρώτες ύλες των φωτοβολταϊκών συστημάτων

Πηγή: Carrara et al., 2020

Όπως γίνεται εμφανές λοιπόν, για την παραγωγή των Φ/Β μονάδων απαιτείται πολύ μεγάλος όγκος πρώτων υλών, συμπεριλαμβανομένων και μικρών ποσοτήτων δυσεύρετων και σπάνιων υλικών (π.χ. In, Te, Ga) και του τοξικού μετάλλου καδμίου (Tsoutsos et al., 2005).

Η αναμενόμενη, συνεπώς, επέκταση του κλάδου της ηλιακής ενέργειας, διογκώνει το ζήτημα της κατανάλωσης πρώτων υλών και επομένως, η ανάγκη ανάκτησης και ανακύκλωσης αυτών γίνεται όλο και μεγαλύτερη. Για τον λόγο αυτό, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει προχωρήσει στην έκδοση κατευθυντήριας γραμμής (2012/19/EU) σύμφωνα με την οποία, τα φωτοβολταϊκά πάνελ

στο τέλος ζωής τους, πρέπει να αντιμετωπίζονται ως απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ), ενώ πρέπει να επιτευχθούν συγκεκριμένοι στόχοι που αφορούν την ανάκτηση και την ανακύκλωση αυτών στα επόμενα χρόνια (Boussaa et al., 2020; Pagnanelli et al., 2014). Τουλάχιστον το 45% του βάρους του συνόλου των συσκευών θα πρέπει να συλλεχθεί μέχρι το 2016 και το 65% τα επόμενα χρόνια. Τέλος, οι ελάχιστοι στόχοι ανάκτησης και ανακύκλωσης των Φ/Β είναι αντίστοιχα 75% και 65% ως μέσο βάρος, μέχρι το 2015 (Granata et al, 2014).

#### **2.4.5.1 Εξάρτηση από μπαταρίες**

Σε περιοχές που εγκαθίστανται αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, όλες οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια καλύπτονται από αυτά, χωρίς συνεισφορές από τα δίκτυα κοινής ωφέλειας. Για τον λόγο αυτό, είναι απαραίτητο τις ώρες που υπάρχει ηλιοφάνεια, ταυτόχρονα να προσφέρεται αλλά και να αποθηκεύεται ενέργεια, καθώς τα Φ/Β δεν μπορούν να λειτουργήσουν την νύχτα ή υπό συνθήκες έντονης συννεφιάς. Η αποθήκευση της ενέργειας γίνεται σε μπαταρίες, οι οποίες αν δεν διαχειριστούν κατάλληλα, μπορεί να έχουν αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον. Οι μπαταρίες αυτές περιλαμβάνουν βαρέα μέταλλα και έχουν διάρκεια ζωής περίπου μια δεκαετία – μετά από την οποία η απόδοση τους μειώνεται σημαντικά - επομένως πρέπει να αντικαθίστανται 2-3 φορές μέσα στον κύκλο ζωής των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Οι ανεπαρκείς προσπάθειες ανακύκλωσης αυτών, σε συνδυασμό με την σχετικά συχνή απόρριψή τους, οδηγεί σε υψηλές καταναλώσεις των υλικών κατασκευής τους και μπορεί να αποτελέσει απειλή για το περιβάλλον (Rahman et al., 2022;<https://www.solarreviews.com/blog/how-long-do-solar-panels-last>, πρόσβαση: 23-4-2023).

#### **2.4.6 Εκπομπές αέριων του θερμοκηπίου**

Σε αντίθεση με τις πεποιθήσεις που μπορεί υπάρχουν, η ηλιακή ενέργεια δεν είναι πλήρως απαλλαγμένη από εκπομπές αέριων του θερμοκηπίου. Πράγματι, κατά την διάρκεια λειτουργίας των ηλιακών συστημάτων οι εκπομπές τέτοιων αερίων είναι εξαιρετικά περιορισμένες. Παρόλα αυτά, υπάρχουν πολλά στάδια μέσα στον κύκλο ζωής τους από τα οποία παράγονται εκπομπές, όπως είναι η κατασκευή των διάφορων τμημάτων, η μεταφορά τους, η εγκατάσταση και διαμόρφωση του εδάφους, η συντήρηση, η αποσυναρμολόγηση, ακόμα και η απόθεση και η

ανακύκλωση τους (<https://www.ucsusa.org/resources/environmental-impacts-solar-power#references>, πρόσβαση: 3-12-2022). Βέβαια, οι εκπομπές που συνδέονται με την κάθε φάση έχουν διαφορετική βαρύτητα. Ενδεικτικά αναφέρεται, ότι οι εκπομπές από την μεταφορά των τμημάτων είναι μηδαμινές συγκριτικά με αυτές που οφείλονται στην κατασκευή τους (περίπου το 1% των εκπομπών κατασκευής) (Srinivasan et al., 2018). Ακόμα, μελέτες δείχνουν πως οι εκπομπές αυξάνονται και εξαιτίας της διατάραξης που προκαλείται στο τοπικό οικοσύστημα. Η αποψίλωση της βλάστησης και η απομάκρυνση των δέντρων μηδενίζει το ποσό του διοξειδίου του άνθρακα που θα δεσμευόταν από αυτά. Επιπλέον, αφού αυτά κοπούν, μέσω της οξείδωσης τους, απελευθερώνονται ποσά CO<sub>2</sub> που μπορεί να αγγίζουν τα 36g CO<sub>2</sub> ανά kWh (Turney & Fthenakis, 2011).

Αν και τα ποσά των εκλυόμενων αερίων ποικίλουν μεταξύ των ερευνών, υπολογίζεται πως τα φωτοβολταϊκά συστήματα απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα περίπου 32-79 g ισοδύναμου CO<sub>2</sub>/kWh, ενώ τα θερμικά ηλιακά συστήματα 11-68 g ισοδύναμου CO<sub>2</sub>/kWh (Balali et al., 2017). Το ισοδύναμο CO<sub>2</sub> πρόκειται για ένα μέσο μέτρησης με το οποίο οι εκπομπές από διάφορα αέρια του θερμοκηπίου (π.χ. CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) μετατρέπονται στο αντίστοιχο ποσό διοξειδίου του άνθρακα που θα έχει το ίδιο δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (Global warming potential-GWP) ([https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Carbon\\_dioxide\\_equivalent](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Carbon_dioxide_equivalent), πρόσβαση: 2-12-2022). Επιπρόσθετα, πρέπει να γίνει σαφές πως, προκειμένου να μπορεί να γίνει σύγκριση της επιβάρυνσης που προκαλούν οι εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας στην ατμόσφαιρα, οι εκπομπές του ισοδύναμου CO<sub>2</sub> μετρούνται ανά παραγόμενη kWh.

Αξίζει να αναφερθεί πως, στην περίπτωση των Φ/Β συστημάτων, περίπου το 90% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται στον κύκλο ζωής τους, οφείλονται σε χρήσεις ενέργειας, ενώ το υπόλοιπο 10% προέρχεται από την παραγωγή τμημάτων αλουμινίου και χάλυβα και την αναγωγή του πυριτίου που χρησιμοποιείται στις κυψέλες. Επομένως, το μίγμα καυσίμου που χρησιμοποιείται στην περιοχή που γίνεται η εγκατάσταση επηρεάζει σημαντικά το ποσό των αερίων που εκλύονται στην ατμόσφαιρα (Alsema, 2003).

Ωστόσο, οι εκπομπές που παράγονται από την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας είναι σχεδόν μια τάξη μεγέθους μικρότερες από αυτές που οφείλονται στην καύση των ορυκτών καυσίμων και θεωρητικά, μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση του εκλυόμενου CO<sub>2</sub> κατά 357-922



gCO<sub>2</sub>/kWh στην περίπτωση των Φ/Β εγκαταστάσεων και κατά 405-960 gCO<sub>2</sub>/kWh στην περίπτωση των συγκεντρωτικών ηλιοθερμικών εγκαταστάσεων (Varunetal, 2009). Οι Shahsavari & Akbari (2018) αναφέρουν πως η χρήση των Φ/Β μπορεί να εξοικονομήσει 69-100 εκατομμύρια τόνους CO<sub>2</sub>, 126-184 χιλιάδες τόνους SO<sub>2</sub> και 68-99 χιλιάδες τόνους NO<sub>2</sub>, μέχρι το 2030, ενώ η χρήση των συγκεντρωτικών ηλιοθερμικών συστημάτων μπορεί να εξοικονομήσει 200-300 kg CO<sub>2</sub> ανά τετραγωνικό μέτρο εγκατεστημένης επιφάνειας συλλέκτη ετησίως. Από την άλλη μεριά, συγκρινόμενες με άλλες μορφές ΑΠΕ, η αιολική ενέργεια και η βιομάζα χαρακτηρίζονται από ακόμα ηπιότερες εκπομπές (Alsema, 2003).

### **2.4.7 Αποδέσμευση τοξικών ουσιών**

Πολλές φάσεις του κύκλου ζωής των φωτοβολταϊκών και των θερμικών ηλιακών συστημάτων μπορεί να οδηγήσουν στην απελευθέρωση τοξικών ή επιβλαβών ουσιών. Η συλλογή των πρώτων υλών, η κατασκευή, η λειτουργία, ακόμα και η απόσυρση των μονάδων ενέχει τον κίνδυνο αποδέσμευσης υλικών, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει τόσο το περιβάλλον, όσο και την ανθρώπινη υγεία.

#### Φωτοβολταϊκά συστήματα

Η κατασκευή των Φ/Β συστημάτων απαιτεί την χρήση μεγάλης ποικιλίας υλικών, τα οποία μπορεί να είναι τοξικά, καρκινογόνα, πυροφορικά ή εύφλεκτα (Fthenakis & Moskowits, 2000). Υπό κατάλληλες συνθήκες υγειούς διαχείρισης, τα Φ/Β δεν απελευθερώνουν υγρούς ή αέριους ρυπαντές, ούτε ραδιενεργά υλικά. Ωστόσο, οι ουσίες αυτές μπορεί να απελευθερωθούν στο έδαφος ή τα υπόγεια ύδατα, ως αποτέλεσμα της μη-φυσιολογικής λειτουργίας της εγκατάστασης, λόγω φθοράς και καταστροφής των μονάδων, λόγω πυρκαγιών ή εξαιτίας της λανθασμένης απόρριψης των μονάδων, και κατά συνέπεια να θέσουν κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία (Gekas et al., 2002; Silicon Valley Toxics Coalition, 2009; Mahajan 2012).

Τα ημιαγωγικά υλικά είναι τα σημαντικότερα συστατικά για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών κυψελών, με το πυρίτιο να χρησιμοποιείται στο 90% των εμπορικά εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών στοιχείων. Αν και το πυρίτιο δεν είναι επικίνδυνο, οι κυψέλες με βάση αυτό, καθώς και τα υπόλοιπα τμήματα ενός φωτοβολταϊκού μπορεί να περιέχουν άλλα επικίνδυνα υλικά όπως, μόλυβδο και κασσίτερο (Al-Zoubietal., 2022). Ακόμα, ο καθαρισμός του ημιαγωγού και των πλακών απαιτεί μεγάλη ποικιλία οξέων ή διαβρωτικών υγρών, τα οποία

συνήθως περιλαμβάνουν υδροχλωρικό οξύ, θειικό οξύ, νιτρικό οξύ, υδροφθόριον, 1,1,1-τριχλωροαιθάνιο και ακετόνη, ενώ η ποσότητα και το είδος των παραπάνω καθορίζονται από το είδος και τις ανάγκες της κυψέλης. Ο κίνδυνος γίνεται εντονότερος στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών κυψελών λεπτού υμενίου, όπου χρησιμοποιούνται ακόμη περισσότερα τοξικάστοιχεία όπως ίνδιο, γάλλιο, αρσενικό, σελήνιο, κάδμιο, τελούριο (Tchognia & Nkuissietal., 2019; Srinivasan et al., 2018; <https://www.ucsusa.org/resources/environmental-impacts-solar-power#references>, πρόσβαση: 3-12-2022). Τέλος, στις κυψέλες Τελουριούχου Καδμίου (CdTe) παρατηρείται και χρήση του καρκινογενούς μετάλλου καδμίου, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε υπέρταση και να επηρεάσει τους πνεύμονες, τα νεφρά, το κυκλοφορικό και το ενδοκρινικό σύστημα, έπειτα από μακροχρόνια έκθεση σε αυτό (Nain & Kumar, 2020). Οι Fthenakis et al. (2008) αναφέρουν πως η συνολική, άμεση απελευθέρωση καδμίου των κυψελών CdTe, καθ' όλη την διάρκεια ζωής τους, ανέρχεται στα 0,039g/GWh, δηλαδή 90-300 φορές μικρότερη, από αυτή των συμβατικών μονάδων παραγωγής ενέργειας.

Τέλος, η διαχείριση του τέλους ζωής των Φ/Β μονάδων είναι μεγάλης σημασίας. Κατά των παροπλισμό των μονάδων, τα Φ/Β στοιχεία πρέπει να ανακυκλώνονται ώστε οι μικρές ποσότητες σε τοξικά υλικά που περιέχονται σε αυτά, να μην καταλήγουν στο περιβάλλον (Fthenakis, 2000). Επίσης, σκόνες πυριτίου, αρσενικού και καδμίου μπορεί να διασκορπιστούν στην ατμόσφαιρα, από κακή διαχείριση ή την καταστροφή των φωτοβολταϊκών κυψελών κατά την απόρριψη – ανακύκλωσή τους (Hamed & Alshare, 2022; Yu & Halog, 2015).

Συνοψίζοντας, γίνεται κατανοητό, πως όλες οι ουσίες και τα υλικά που χρησιμοποιούνται κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής των Φ/Β συστημάτων πρέπει να χειρίζονται και να απορρίπτονται κατάλληλα, για να αποφευχθούν οι ανεπιθύμητες επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία αλλά και στο περιβάλλον (Nkuissi et al., 2019)

### Θερμικά Ηλιακά Συστήματα

Οι απόρριψη ρύπων στην περίπτωση των θερμικών ηλιακών συστημάτων, αφορά τον τρόπο διαχείρισης των ψυκτικών υγρών και των ρευστών μεταφοράς θερμότητας της εγκατάστασης. Τα ψυκτικά υγρά των Θ.Η.Σ. μπορεί να περιέχουν αντιψυκτικές ουσίες, αναστολείς σκουριάς, καθώς και άλλες ουσίες. Ειδικά στα συστήματα που αναπτύσσουν υψηλές θερμοκρασίες, εντοπίζονται και περιπλοκότερες ουσίες όπως λάδια, αρωματικές αλκοόλες, φθοροχλωράνθρακες κ.α.. Επομένως, η καλή διαχείριση των ρευστών αυτών κατά την απόρριψή

τους είναι ιδιαίτερα σημαντική προκειμένου να αποτραπούν ανεπιθύμητες επιπτώσεις στα τοπικά ύδατα. Μόλυνση του νερού μπορεί, ακόμα, να πραγματοποιηθεί και μέσω διαρροών του ρευστού μεταφοράς θερμότητας, ενώ σε περίπτωση πυρκαγιάς, τα ρευστά αυτά μπορεί να απελευθερωθούν και σε αέρια κατάσταση (Tsoutsos et al., 2005; Gekas et al., 2002).

#### **2.4.8 Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και την ποιότητα του αέρα**

Όπως είναι επόμενο, η ανάπτυξη συστημάτων εκμετάλλευσης ηλιακής ενέργειας σε βιομηχανική κλίμακα, εγκυμονεί κινδύνους για την υγεία των εργαζομένων και των κατοίκων της περιοχής, είτε μέσω άμεσων συνεπειών, όπως είναι η απελευθέρωση τοξικών ουσιών, είτε μέσω της υποβάθμισης της ποιότητας του αέρα.

Αρχικά, η συγκέντρωση μεγάλων ποσοτήτων πυριτίου που απαιτούνται για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών κυψελών, συνήθως πραγματοποιείται μέσω εξόρυξης χαλαζία από την οποία παράγεται και σκόνη πυριτίου. Έχει παρατηρηθεί πως μια απειλή που προκύπτει λόγω αυτού για την ασφάλεια των εργαζομένων είναι η πνευμονοκονίαση, μια ασθένεια που οφείλεται στην παρατεταμένη εισπνοή σκόνης πυριτίου (Moss et al., 2014). Τα συμπτώματα της πνευμονοκονίασης περιλαμβάνουν δύσπνοια, πυρετό, κόπωση, και σε σοβαρές περιπτώσεις, η ασθένεια μπορεί να είναι θανατηφόρα (Griffin et al., 2001).

Όπως αναφέρθηκε, η διατάραξη που προκαλείται στο έδαφος σε συνδυασμό με τις αιολικές δυνάμεις οδηγεί σε έντονες μετακινήσεις εδαφικού υλικού και σκόνης. Πιθανές συνέπειες αυτού είναι η απελευθέρωση εδαφογενών παθογόνων, η αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων στον αέρα (συμπεριλαμβανομένων και  $PM_{2,5}$ ), η μειωμένη ορατότητα για τους οδηγούς και η μόλυνση των δεξαμενών νερού (Hernandez et al., 2013).



Εικόνα 11.Ελλαττωματική λειτουργία αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος οδηγεί σε πυρκαγιά

Πηγή: : <https://energytheory.com/what-are-the-health-risks-living-near-solar-farm/>

Από την ελαττωματική λειτουργία των μονάδων μπορεί να δημιουργηθούν ακόμα περισσότεροι κίνδυνοι, όπως να ξεκινήσουν πυρκαγιές, να προκληθούν προβλήματα στη όραση των εργαζομένων από τις αντανάκλασεις των καθρεπτών κ.α. (Tsoutsos et al., 2005)

(Εικόνα 15). Επομένως, κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικό όλες οι εργασίες που πραγματοποιούνται κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής μιας εγκατάστασης - από την ανάκτηση των υλικών, μέχρι και την ανακύκλωσή της - να γίνονται με βάση τα πρότυπα ασφαλείας, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι κίνδυνοι στην υγεία των εργαζομένων.

## 2.4.9 Δημιουργία οχλήσεων

Τα ηλιακά συστήματα κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής τους, μπορεί να συνδέονται με μερικές ακόμα κοινωνικές επιβαρύνσεις, όπως είναι η οπτική και οι ηχητική όχληση. Αν και είναι δύσκολο να προσδιοριστούν και να μετρηθούν αντικειμενικά τέτοιου είδους συνέπειες, γενικά, κρίνονται μικρότερης σημασίας από τις επιπτώσεις που παρουσιάστηκαν προηγουμένως.

### 2.4.9.1 Οπτική όχληση

Η ένταση της οπτικής όχλησης που προκαλείται από τις ηλιακές τεχνολογίες ποικίλει, εξαρτώμενη από το είδος του ηλιακού συστήματος αλλά και από μια πληθώρα παραγόντων (Εικόνα 16). Οι παράγοντες αυτοί είναι το τοπίο που επιλέγεται για να τοποθετηθεί η εγκατάσταση και η χρωματική αντίθεση με αυτό, οι έντονες λάμπειες που προκαλούνται από την αντανάκλαση του ήλιου, το μοτίβο και η υφή που φέρει η επιφάνεια του συστήματος, η ορατότητα της εγκατάστασης, ο βαθμός ενσωμάτωσής της στο τοπίο, ο τρόπος που τα τμήματα των εγκαταστάσεων τοποθετούνται μαζί και οι κλιματικές-ατμοσφαιρικές συνθήκες (Sánchez-Pantoja et al., 2018). Σημαντικότεροι από αυτούς φαίνεται να είναι ο τύπος του σχεδίου αλλά και



Εικόνα 12. Οπτική όχληση από ηλιακά συστήματα

Πηγή: <https://freedomssolarpower.com/blog/fire-and-solar-panels-what-you-need-to-know>

ο περιβάλλοντας χώρος της εγκατάστασης, καθώς, όπως είναι λογικό, εγκαταστάσεις σε περιοχές υψηλής φυσικής ομορφιάς θα οδηγήσουν σε εντονότερες οχλήσεις (Srinivasan et al., 2018). Ένας ακόμη παράγοντας, που φαίνεται να είναι καθοριστικός για τα επίπεδα της οπτικής όχλησης, είναι και η συναισθηματική ανταπόκριση των

ανθρώπων σχετικά με τις εγκαταστάσεις, ο βαθμός δηλαδή που οι άνθρωποι συμφωνούν ή διαφωνούν με την ανάπτυξη αυτών (Ioannidis & Koutsoyiannis, 2020; Sánchez-Pantoja et al., 2018). Έχει διαπιστωθεί πως η ατομική αποδοχή των ηλιακών εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας, αλλά και των μονάδων Α.Π.Ε. γενικότερα, είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων και μπορεί να είναι από τους κυριότερους αναβλητικούς παράγοντες για την ανάπτυξη των μονάδων αυτών (West et al., 2010).

Τα ηλιακά θερμικά συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας σπάνια δυσχεραίνουν οπτικά την περιοχή, καθώς τοποθετούνται συνήθως σε ήδη υπάρχοντα κτήρια, και μάλιστα γίνονται προσπάθειες να ενσωματώνονται με τέτοιο τρόπο στα κτήρια, ώστε να τα βελτιώνουν αισθητικά (Hamed & Alshare, 2022). Δεν ισχύει το ίδιο όμως και για τα συγκεντρωτικά ηλιοθερμικά συστήματα, τα οποία πολλές φορές καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις γης με ογκώδεις, εμφανείς κατασκευές. Η κύρια επίδραση αυτών στην οπτική όχληση οφείλεται στις παρατάξεις των συλλεκτών και στους πύργους ισχύος, λόγω του μεγάλου ύψους τους (Gekas et al., 2002). Μάλιστα, από σχετική έρευνα διαπιστώθηκε πως οι πύργοι ισχύος είναι ορατοί με ευκολία σε απόσταση 35 χιλιομέτρων. Ακόμη, ισχυρές λάμπες μπορεί να είναι ορατές από μονάδες με συλλέκτες παραβολής σκάφης ή πύργο ισχύος σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις (Sullivan & Abriana, 2014). Ωστόσο, οι επιπτώσεις αυτές συνήθως εξομαλύνονται από την τοποθέτηση των εγκαταστάσεων σε ελαφρά κατοικημένες περιοχές όπου οι ατμοσφαιρικές συνθήκες είναι ευνοϊκότερες για την λειτουργία των εγκαταστάσεων (Gekas et al., 2002). Όσον αφορά τα φωτοβολταϊκά, η ένταση των οπτικών επιπτώσεων τους, συνδέεται στενά με το μέγεθος της εγκατάστασης και τον περιβάλλοντα χώρο. Όπως είναι λογικό, εγκαταστάσεις σε περιοχές υψηλής φυσικής ομορφιάς θα προκαλέσουν εντονότερες οχλήσεις και πιθανό να δημιουργήσουν ακόμα και κοινωνικές διαταραχές (Rediske et al., 2018).

#### **2.4.9.2 Ηχητική όχληση**

Οι επιπτώσεις των ηλιακών εγκαταστάσεων στην ηχορύπανση της περιοχής κρίνονται ασήμαντες, καθώς παράγεται σχεδόν μηδενικός θόρυβος κατά την λειτουργία τους, ανεξαρτήτως της κλίμακας της εγκατάστασης. Έκτος από αυτόν που δημιουργείται κατά την φάση κατασκευής, θόρυβος παράγεται και από τις τουρμπίνες των θερμικών ηλιακών συστημάτων υψηλής θερμοότητας, ο οποίος όμως δεν δημιουργεί προβλήματα όχλησης, καθώς αυτές

τοποθετούνται στο κέντρο της εγκατάστασης και είναι περικυκλωμένες από ηλιοστάτες ή παραβολικές γούρνες. Σε γενικές γραμμές, κλείνοντας, η ηλιακή ενέργεια είναι η πιο “ήσυχη” πηγή ενέργειας, παράγοντας πολύ χαμηλότερα επίπεδα θορύβου τόσο από τα συμβατικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, όσο και από τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές (Hamed & Alshare, 2022).

### 3. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ως «Αιολική Ενέργεια» ορίζεται η ενέργεια των αέριων μαζών που βρίσκονται εν κινήσει. Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας ξεκινά από την αρχαιότητα, αλλά τα τελευταία χρόνια, οι αιολικές μηχανές που γνωρίζουν άνθιση είναι οι ανεμογεννήτριες, με τις οποίες η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε περιστροφική – μηχανική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική (<https://ypen.gov.gr/>, πρόσβαση: 15-11-2022; Ασημακόπουλος και άλλοι 2020).

#### 3.1 Ιστορική αναδρομή της αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας

Η αξιοποίηση της ενέργειας του ανέμου, έχει τις ρίζες της στην αρχαιότητα, με ιστορικές αναφορές να αποδεικνύουν τη χρήση της στην κίνηση των πρώτων караβιών, στην διαχείριση των υδάτινων πόρων (άντληση νερού για αρδευτικούς σκοπούς), στην άλεση των σιτηρών κ.α. (Daim et al., 2012). Η παλαιότερη επιβεβαιωμένη χρήση της αιολικής ενέργειας εντοπίζεται στην κίνηση ιστιοφόρων, που σχεδιάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν από τους Αιγύπτιους μεταξύ 5000 και 4000 π.Χ., για την πλεύση του Νείλου (Ílhami & MacEachern, 2018). Πιστεύεται ακόμη, πως μόλις το 3000 π.Χ. στην αρχαία Αίγυπτο χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά η ενέργεια του ανέμου για την γεωργία και την ύδρευση περιοχών που δεν είχαν άμεση πρόσβαση στον ποταμό Νείλο (Ahmed, 2018). Η αξιοποίηση του ανέμου για την μετακίνηση ή την εξερεύνηση των υδάτων γνώρισε άνθιση μέχρι και τον 19<sup>ο</sup> αιώνα και έπειτα άρχισε να ελαττώνεται, καθώς οι άνθρωποι ανακάλυπταν συνεχώς νέες μεθόδους για την κίνηση των караβιών και των πλοίων, τους οποίους όμως, σε αντίθεση με τον αέρα, μπορούσαν πλέον να ελέγξουν (Pasqualetti et al., 2004).

Με το πέρασμα του χρόνου βέβαια, η αιολική ενέργεια άρχισε να αξιοποιείται και στην στεριά, με την περίοδο και την περιοχή που αυτό έγινε για πρώτη φορά να μας είναι άγνωστα. Οι παλαιότερες, χειρσαίες αιολικές μηχανές που εντοπίζονται είναι μύλοι κάθετου άξονα και χρησιμοποιούνταν στις πεδιάδες του Αφγανιστάν για την άλεση των σιτηρών από τον 7<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. (Ackermann & Soder, 2000). Αν και δεν γνωρίζουμε τον ακριβή τρόπο μεταφοράς της γνώσης αυτής στο υπόλοιπο κόσμο, κατά πάσα πιθανότητα συνέβη λόγω των εμπορικών δραστηριοτήτων της Περσίας. Έτσι η αξιοποίηση του ανέμου για άντληση και άλεση έφτασε στο

Ισλάμ, την Ινδία και την Κίνα τον 10<sup>ο</sup> ή τον 11<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. και Βόρεια Αμερική κατά τον 17<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ (Fleming & Probert, 1984).

Στην Ευρώπη η εμφάνιση των αιολικών τεχνολογιών, χρονολογείται το 1191 μ.Χ. στην Αγγλία (Palutikof, 1999). Σε αντίθεση όμως με τις αιολικές μηχανές κάθετου άξονα των ανατολικών χωρών, στην Ευρώπη αναπτύσσονται οι πρώτοι μύλοι οριζόντιου άξονα, θέτοντας τις βάσεις για την εξέλιξη των σύγχρονων ανεμογεννητριών. Είναι πιθανό πως η τροποποίηση αυτή συνέβη ώστε οι μηχανές να μπορούν να λειτουργούν και υπό τους διαλείποντες ανέμους της Ευρώπης (Fleming & Probert, 1984). Η χρήση των μηχανών αυτών γρήγορα εξαπλώθηκε στις χώρες της Ευρώπης, με την Ολλανδία να κατέχει την πρώτη θέση στην ανάπτυξη και εξέλιξη της αξιοποίησης του ανέμου έως τον 14<sup>ο</sup> αιώνα (Cotrell, 2002). Στα μέσα του 17<sup>ου</sup> αιώνα, Ολλανδοί άποικοι διέδωσαν τις γνώσεις τους για τις τεχνολογίες εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας και στην βόρεια Αμερική, ενώ την ίδια περίοδο ο John Smeaton, περιγράφοντας μια σειρά πειραμάτων, καθόρισε κάποιες θεμελιώδεις αρχές που διέπουν τον σχεδιασμό και τις επιδόσεις των τεχνολογιών αυτών, θέτοντας τις βάσεις για την ανάπτυξη της αεροδυναμικής θεωρίας που αξιοποιείται στις σύγχρονες Α/Γ (Fleming & Probert, 1984). Στην Αμερική, το 1854 αναπτύχθηκε και ο “Αμερικάνικος ανεμόμυλος” από τον Daniel Halladay, ο οποίος ήταν μικρότερος, ελαφρύτες, αυτορυθμιζόμενος, φτηνός και εύκολα συντηρήσιμος. Μέχρι τα τέλη του αιώνα, πολλές εταιρίες παρήγαγαν ανεμόμυλους τέτοιου τύπου και σύντομα εμφανίστηκαν τα πρώτα ξύλινα και μεταλλικά πτερύγια που αντικατέστησαν τα παραδοσιακά μέχρι τότε πάνινα (<https://www.nps.gov/articles/windmills.htm>, πρόσβαση: 22-4-2023). Υπολογίζεται πως την περίοδο 1920 με 1930, οι πεδιάδες της Αμερικής φιλοξενούσαν 600.000 με 6.000.000 Αμερικάνικους ανεμόμυλους (Pasqualetti et al., 2004, Ackermann & Soder, 2000)

Η πρώτη μεγάλη ανεμογεννήτρια, προορισμένη για την παραγωγή ρεύματος, εγκαταστάθηκε το 1888 στο Οχάιο, από τον Charles Brush και ήταν ονομαστικής ισχύος 12kW (Kaldelis & Zafirakis, 2011; Carlin et al., 2001). Τρία χρόνια αργότερα, στην Δανία, κατασκευάστηκαν από τον Dane Poul LaCour, ανεμογεννήτριες με σκοπό την ηλεκτροδότηση αγροτικών περιοχών, αλλά και τον εκσυγχρονισμό ορισμένων αγροτικών εργασιών και την βελτίωση του βιοτικού επιπέδου των περιοχών (Johansen, 2021). Λόγω των ενεργειακών ελλείψεων που δημιουργήθηκαν κατά την διάρκεια του Δευτέρου Παγκοσμίου Πόλεμου, η Δανία έστρεψε ξανά το ενδιαφέρον της στην αξιοποίηση της ενέργειας του ανέμου, έχοντας έως το τέλος του



πολέμου σχεδόν 90 ανεμογεννήτριες για παραγωγή ενέργειας, αριθμό μεγάλο για τα δεδομένα της εποχής. Στα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα, δημιουργήθηκε η εταιρία F.L. Smidth Aeromotors, η οποία με την εξειδίκευση της στις αεροτομές, συνδύασε την αεροδυναμική με τις ανεμογεννήτριες, συντελώντας σε νέες καινοτομίες στο σχεδιασμό τους (Gipe & Mollerstrom, 2022). Οι ευρωπαϊκές χώρες συνέχισαν να καινοτομούν στον χώρο της αιολικής ενέργειας και μετά την λήξη του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου, με τις μηχανές των Johannes Juul από την Δανία και του Hutter από την Γερμανία. Στις Η.Π.Α. η ανάπτυξη των Α/Γ συνέχισε, βασισμένη στην εξέλιξη της αεροδυναμικής θεωρίας από την αεροβιομηχανία και στην Ευρώπη οι πολλαπλές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν την περίοδο 1935-1970 έδειξαν πως είναι εφικτή η εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε βιομηχανική κλίμακα (Ackermann & Soder, 2000, Kaldelis & Zafirakis, 2011). Ωστόσο μετά το πέρας του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου, το ενδιαφέρον για αιολικές εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας μειώθηκε (Johansen, 2021).

Η παραγωγή ενέργειας από την εκμετάλλευση του ανέμου ήρθε ξανά στο προσκήνιο στις αρχές της δεκαετίας του 1970 με την πετρελαϊκή κρίση να δημιουργεί παγκόσμια ανησυχία. Ως αποτέλεσμα, διάφορες χώρες παγκοσμίως έθεσαν κρατικά προγράμματα ενίσχυσης της χρήσης των ΑΠΕ και παρείχαν επιχορηγήσεις για την ανάπτυξη και εξέλιξή τους. Η αιολική ενέργεια, δεδομένης της δυνατότητας αξιοποίησης της σε ποικίλες δραστηριότητες, διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στην παροχή ενέργειας (Sahin, 2004). Σχετικά με τα μέτρα που ενίσχυσαν την χρήση των αιολικών μηχανών, αξίζει να αναφερθεί το πρόγραμμα Public Utility Regulatory Policies Act (PURPA) που ψηφίστηκε από το Κογκρέσο των Η.Π.Α. το 1978 και ουσιαστικά αποσκοπούσε σε παρεμβάσεις στην αγορά ενέργειας, δίνοντας κίνητρα για μικρότερου μεγέθους παραγωγούς ενέργειας ενώ εμμέσως κατέστησε πιο ανταγωνιστική και ελκυστική την αγορά των ΑΠΕ (Dismukes & Kleit, 1999; White & Zack, 1989). Στην Ολλανδία, παράλληλα, η κυβέρνηση δημιούργησε μια εθνική επιτροπή με αντικείμενο την έρευνα σχετικά με τον ενεργειακό κλάδο, η οποία και κατέληξε στη διαμόρφωση ενός εθνικού προγράμματος έρευνας και ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας (Verbong, 2007).

Μεταξύ του 1973 και 1986, οι οικιακές – αγροτικές Α/Γ εξελίχθηκαν σε αιολικά πάρκα πολλών διασυνδεδεμένων ανεμογεννητριών ονομαστικής ισχύς 50-600 kW. Στην Καλιφόρνια, μεταξύ του 1981 και 1990, πραγματοποιήθηκε η ανέγερση του πρώτου αιολικού πάρκου που

είχε αισθητή συνεισφορά στο ενεργειακό ισοζύγιο, συνολικής ονομαστικής ισχύος 1,7GW, αποτελούμενο από 16.000 Α/Γ ονομαστικής ισχύος 20-350kW (Kaldelis & Zafirakis, 2011).

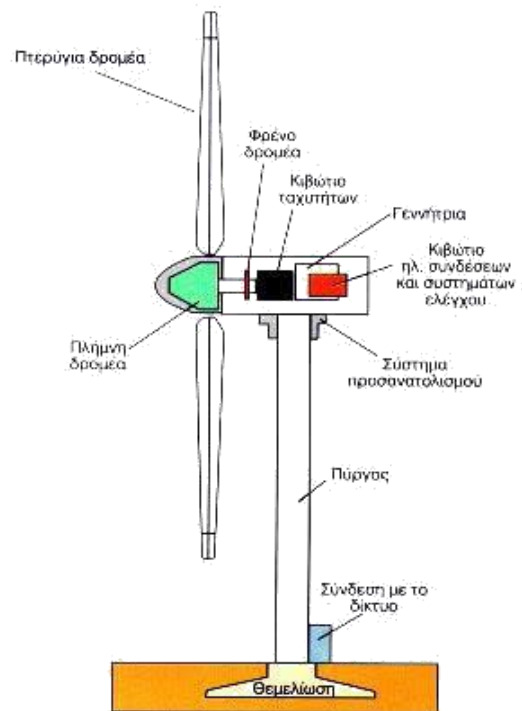
Μετέπειτα, η τάση στην εξέλιξη ήταν η βελτίωση των οικονομικών αποδόσεων των ανεμογεννητριών, το οποίο μπορούσε να επιτευχθεί μέσω της κατασκευής μηχανών ονομαστικής ισχύος στην τάξη των πολλών MW. Καθώς οι πρώτες απόπειρες αυτού ήταν αποτυχημένες, το 1990, η ευρωπαϊκή επιτροπή, αποφασίζει να χρηματοδοτήσει απευθείας τους παραγωγούς Α/Γ, οι οποίοι, συμμετέχοντας πλέον σε μια πιο ανταγωνιστική αγορά, δημιούργησαν τα πρώτα λειτουργικά μοντέλα στα μέσα της δεκαετίας του 1990. Στα τέλη της δεκαετίας ξεκίνησε η εμπορική παραγωγή των ανεμογεννητριών αυτών και στις αρχές του 2000, ήταν εύκολα εντοπίσιμες στα περισσότερα αιολικά πάρκα της Ευρώπης και της Νότιας Αμερικής (Pasqualetti et al., 2004).

### 3.2 Τεχνολογίες εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες (Α/Γ) είναι ιδιαίτερα περίπλοκες ηλεκτρομηχανολογικές κατασκευές αποτελούμενες από περίπου 25.000 εξαρτήματα (Razdan & Garrett, 2017). Αν και έχει πραγματοποιηθεί πλήθος ερευνών για την ανάπτυξη διαφόρων τύπων ανεμογεννητριών (π.χ. κάθετου άξονα), η συντριπτική πλειοψηφία των Α/Γ που κατασκευάζονται στις μέρες μας είναι οι οριζόντιου άξονα με δρομέα δύο ή τριών πτερυγίων (Cotrell, 2002). Παρά τις διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται κατά τον σχεδιασμό τους, τα σημαντικότερα τμήματα από τα οποία αποτελούνται οι εν λόγω κατασκευές περιγράφονται συνοπτικά, παρακάτω και απεικονίζονται στην σχετική εικόνα (εικόνα 17) (Καραϊσάς, 2014; Ghennai, 2012; Ασημακόπουλος και άλλοι, 2020; Olabi et al., 2021):

1. **Δρομέας ή ρότορας.** Πρόκειται για το σημαντικότερο κομμάτι της Α/Γ καθώς εκεί μετατρέπεται η κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική. Αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια και την πλήμνη.
2. **Σύστημα μετάδοσης.** Περιλαμβάνει τον κύριο άξονα περιστροφής, τα έδρανα στήριξης και το κιβώτιο ταχυτήτων (αν υπάρχει).
3. **Γεννήτρια.** Μετατρέπει την περιστροφική-μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Συνήθως, λειτουργούν με την βοήθεια μόνιμων μαγνητών οι οποίοι παρέχουν το μαγνητικό πεδίο που απαιτείται για την μετατροπή.

4. **Σύστημα πέδησης.** Τοποθετείται στον κύριο άξονα ή στον άξονα της Α/Γ και εμποδίζει την κίνηση του δρομέα, σε περίπτωση που αυτός κινείται με μεγάλη ταχύτητα ή σε διαδικασίες συντήρησης.
5. **Σύστημα προσανατολισμού.** Εντοπίζει την διεύθυνση κίνησης του ανέμου και στρέφει τον άξονα περιστροφής του δρομέα παράλληλα με αυτόν, ώστε οι ανεμογεννήτριες να λειτουργούν με την μέγιστη δυνατή απόδοση.
6. **Πύργος στήριξης.** Αποτελεί τον κορμό της εγκατάστασης στηρίζοντας τον δρομέα και το κέλυφος. Για την κατασκευή του χρησιμοποιείται συνήθως χάλυβας ή σκυρόδεμα.
7. **Ηλεκτρικός πίνακας.** Τοποθετείται στην βάση του πύργου στήριξης και με αυτόν παρακολουθείται η λειτουργία των Α/Γ.
8. **Βάση στήριξης (θεμελίωση).** Μέσα σε αυτήν εγκαθίστανται ο κορμός του πύργου στήριξης. Κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα.

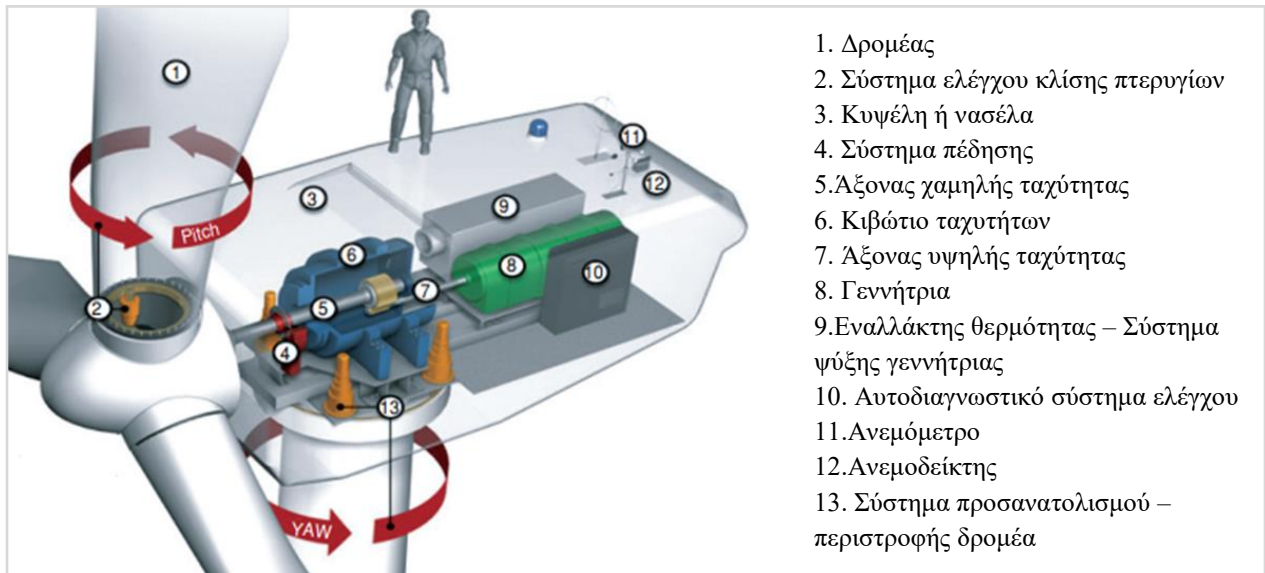


Εικόνα 13. Σχεδιάγραμμα τμημάτων μιας Α/Γ Πηγή: [https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CMNG2123/2015/2019-2020/%CE%A0%CE%91%CE%A1%CE%91%CE%94%CE%9F%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3/Ma8ima\\_Io\\_Eisagwgh.pdf](https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CMNG2123/2015/2019-2020/%CE%A0%CE%91%CE%A1%CE%91%CE%94%CE%9F%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3/Ma8ima_Io_Eisagwgh.pdf)

Το σύστημα μετάδοσης, η γεννήτρια, το σύστημα πέδησης και ορισμένοι άλλοι μηχανισμοί περικλείονται από το κέλυφος ή αλλιώς νασέλα (Ασημακόπουλος και άλλοι 2020; Breeze et al., 2009; Schubel & Crossley, 2012).

Τέλος, εντοπίζονται δύο κύριοι μηχανολογικοί σχεδιασμοί, εφαρμόσιμοι τόσο σε χερσαίες όσο και σε υπεράκτιες εγκαταστάσεις, οι οποίοι κατηγοριοποιούν τις ανεμογεννήτριες σε Α/Γ άμεσης κίνησης και σε Α/Γ με κιβώτιο ταχυτήτων. Το κιβώτιο ταχυτήτων, τοποθετείται μεταξύ του δρομέα και της γεννήτριας και μπορεί να μεγεθύνει ή να ενισχύσει την παραγωγή ενέργειας της ανεμογεννήτριας. Ωστόσο, στις Α/Γ άμεσης κίνησης, καθώς δεν περιλαμβάνουν κιβώτιο ταχυτήτων, υιοθετείται ένας απλούστερος και πιο αξιόπιστος σχεδιασμός, ενώ ταυτόχρονα

μειώνεται και ο όγκος και το βάρος της κατασκευής (Carrara et al., 2020; Ghenai, 2012). Παρακάτω (Εικόνα 18) παρουσιάζονται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια ορισμένα τμήματα των Α/Γ καθώς και οι μηχανισμοί που τοποθετούνται εντός του κελύφους Α/Γ που φέρουν κιβώτιο ταχυτήτων



Εικόνα 14. Μηχανικά εξαρτήματα Α/Γ με κιβώτιο ταχυτήτων

Πηγή: Schubel, P.J. & Crossley, R.J., 2012

### 3.3 Ενεργειακές αποδόσεις της ηλιακής ενέργειας

Στην ενότητα αυτή, όπως έγινε και στην παραπάνω αντίστοιχη ενότητα, θα αναφερθούν τα βασικότερα χαρακτηριστικά που αφορούν τις ενεργειακές αποδόσεις των αιολικών συστημάτων. Αυτά περιλαμβάνουν την πυκνότητα της παραγόμενης ενέργειας, δηλαδή το ποσό ενέργειας που προσφέρεται από αυτά, την απόδοση των συστημάτων, δηλαδή το ποσοστό της κινητικής ενέργειας του ανέμου που αυτά μπορούν να μετατρέψουν σε ηλεκτρική ενέργεια και την σταθερότητα της τροφοδοσίας, που εκφράζει το αν οι ανεμογεννήτριες είναι ικανές να παρέχουν την ενέργεια που παράγουν αδιάκοπα ή όποτε αυτή χρειάζεται, ανεξαρτήτως των συνθηκών.

#### 3.3.1 Πυκνότητα ενέργειας

Η εγκατεστημένη ισχύς της αιολικής ενέργειας εκτοξεύθηκε από μόλις 4.8 MW το 1995 σε 240 GW το 2011 και 845GW το 2022 (Abolhosseini et al., 2014; <https://www.ren21.net/gsr-2022/>, πρόσβαση: 27-12-2022). Πιο συγκεκριμένα, το 2020, η νέα εγκατεστημένη ισχύς παγκοσμίως ξεπέρασε τα 90GW. Από τις εγκαταστάσεις αυτές, οι χερσαίες αποτέλεσαν την συντριπτική πλειοψηφία, αγγίζοντας τα 86.9 GW, ενώ οι υπεράκτιες έφτασαν τα 6.1 GW. Ο κυριότερος όγκος των εγκαταστάσεων πραγματοποιήθηκε στην Κίνα, τις Ηνωμένες Πολιτείες, την Βραζιλία, την Ολλανδία και την Γερμανία (GWEC, 2021). Υπολογίζεται, ακόμη, πως μέχρι το 2035 η εγκατεστημένη ισχύς θα φτάνει τα 1,100 GW, με το 80% να καλύπτεται από χερσαίες εγκαταστάσεις (Abolhosseini et al., 2014).

Όσον αφορά την Ευρώπη, η αιολική ενέργεια σήμερα παράγει περίπου το 37% της ενέργειας που οφείλεται σε ΑΠΕ, καλύπτει το 15% των αναγκών των ευρωπαίων πολιτών σε ηλεκτρική ενέργεια και αναμένεται να είναι η κύρια πηγή ενέργειας μέχρι το 2027 (<https://windeurope.org/about-wind/wind-energy-today/>, πρόσβαση: 27-12-2022; [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable\\_energy\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics), πρόσβαση: 30-4-2022). Το 2022, η νέα εγκατεστημένη ισχύς αιολικών εγκαταστάσεων ήταν 19 GW, με την συνολική να αγγίζει τα 255 GW (<https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-2022-statistics-and-the-outlook-for-2023-2027/>, πρόσβαση: 30-4-2023). Βέβαια, υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι χώρες με την μεγαλύτερη κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια από την αιολική ήταν η Δανία με ποσοστό 44%, η Ιρλανδία με ποσοστό 31%, η Πορτογαλία με ποσοστό 26%, η Ισπανία με ποσοστό 24% και η Γερμανία με ποσοστό 23% (<https://windeurope.org/about-wind/wind-energy-today/>, πρόσβαση: 27-12-2022)

Τέλος, όσον αφορά την Ελλάδα, η πορεία της αιολικής ενέργειας σημειώνει επίσης σημαντική ανάπτυξη. Η εγκατεστημένη ισχύς της αιολικής ενέργειας που έφτανε μόλις 107 MW το 1999, άγγιξε τα 4.8 GW το περασμένο έτος (<https://eletaen.gr/wp-content/uploads/2022/07/2022-26-07-H1-2022-HWEA-Statistics-Greece.pdf>, πρόσβαση: 27-12-2022; IRENA, 2023). Το πρώτο ενιάμηνο του 2022, το μερίδιο της αιολικής ενέργειας στην εγχώρια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ήταν περίπου 21%, γεγονός που την καθιστά την σημαντικότερη ΑΠΕ της χώρας. Αξίζει να αναφερθεί, ότι χάρη στην συνεισφορά των Α/Γ μειώνεται η ανάγκη εισαγωγής φυσικού αερίου κατά 34%, εξοικονομώντας περίπου 4.8 δις

ετησίως (<https://eletaen.gr/banners-infographic-ofeli-aiolikos-energeias/>, πρόσβαση: 27-12-2022).

### 3.3.2 Απόδοση συστημάτων

Η απόδοση των αεροστρόβιλων μπορεί να περιγραφεί ως το ποσοστό της κινητικής ενέργειας του οικονομικά εκμεταλλεύσιμου δυναμικού που εισέρχεται στην περιοχή σάρωσης του ρότορα και μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Από το νόμο του Μπετζ προκύπτει πως η μέγιστη δυνατή μετατροπή φτάνει περίπου το 60% της ενέργειας που δέχεται η ανεμογεννήτρια (Grogg, 2005). Ωστόσο, έρευνες δείχνουν πως οι σύγχρονες μηχανές έχουν μέση αποδοτικότητα 20-40%, με το ποσοστό αυτό να ποικίλει ([https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-08/documents/wind\\_turbines\\_fact\\_sheet\\_p100il8k.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-08/documents/wind_turbines_fact_sheet_p100il8k.pdf), πρόσβαση: 10-1-2023). Για δεδομένη ταχύτητα ανέμου, σταθερές καιρικές συνθήκες επιτρέπουν την καλύτερη και αποδοτικότερη αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Η παραγόμενη ενέργεια κάτω από σταθερές συνθήκες και έντονα μεταβαλλόμενες συνθήκες μπορεί να διαφέρει μέχρι και 15% (Xingxing et al., 2018).

### 3.3.3 Σταθερότητα τροφοδοσίας

Όπως και οι περισσότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, έτσι και η αιολική, δεν χαρακτηρίζεται από σταθερότητα παροχής ενέργειας. Πολλοί παράγοντες, που σχετίζονται κυρίως με τις αιολικές συνθήκες, την χωροθέτηση των Α/Γ και την αεροδυναμική απόδοση των πτερυγίων τους, μπορεί να επηρεάσουν την αποδοτικότητα των ανεμογεννητριών, οδηγώντας σε ελλιπή ή ακόμα και μηδενική παραγωγή ενέργειας. Σημαντικότεροι από αυτούς είναι η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου, η πυκνότητα του αέρα, η προστρέβλωση, η γωνία πρόσκρουσης του αέρα στα πτερύγια, η περιοχή σάρωσης του ρότορα και το ύψος του στρόβιλου (Wiratama et al., 2016).

Ο σημαντικότερος, ίσως, από τους παραπάνω παράγοντες είναι η ταχύτητα του ανέμου, καθώς συνδέεται άμεσα με την ταχύτητα περιστροφής των πτερυγίων και κατά συνέπεια την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Οι ανεμογεννήτριες σχεδιάζονται για να λειτουργούν μεταξύ ενός συγκεκριμένου εύρους ταχυτήτων ανέμου (περίπου 3-30 m/s). Κάτω και πάνω από αυτό, η λειτουργία των Α/Γ διακόπτεται, καθώς στην πρώτη περίπτωση παράγεται αμελητέα ενέργεια, ενώ στην δεύτερη περίπτωση μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα ασφαλείας. Μέγιστη

αποδοτικότητα επιτυγχάνεται για ταχύτητες του ανέμου μεταξύ 10 και 30 m/s. Η ταχύτητα του ανέμου επηρεάζεται, επιπλέον, από την ύπαρξη εμποδίων, όπως κτήρια, δέντρα ή τις ίδιες τις Α/Γ. Λόγω των εμποδίων αυτών, ο άνεμος χάνει ποσοστό της ενέργειάς του, και αποκτά τυρβώδη ροή, γεγονός που μειώνει την απόδοση των μονάδων, όπως αναλύεται και παρακάτω (El-Ahmar et al., 2017; Sun et al., 2020; [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Wind\\_power](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Wind_power), πρόσβαση: 18-12-2022).

Μια ακόμη παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψιν κατά την παραγωγή ενέργειας από τις Α/Γ είναι και η πυκνότητα του αέρα. Η μελέτη της βιβλιογραφίας δείχνει πως η πυκνότητα του αέρα είναι άμεσα συνδεδεμένη με το υψόμετρο, την πίεση και την θερμοκρασία αυτού. Επιπρόσθετα, η παραγωγή ενέργειας είναι ανάλογη της πυκνότητας του αέρα, καθώς αύξηση αυτής συνεπάγεται την άσκηση μεγαλύτερης πίεσης στα πτερύγια του δρομέα. Σε γενικές γραμμές, κάτω από τις ίδιες συνθήκες ταχύτητας ανέμου, μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας παρατηρείται σε περιοχές με χαμηλότερα υψόμετρα και δροσερές θερμοκρασίες (Xiaoming et al., 2018; Marimuthu et al., 2014).

Σημαντικό ρόλο στη σταθερότητα τροφοδοσίας διαδραματίζει και ο σχεδιασμός του στροβίλου. Αρχικά, όπως είναι προφανές, η περιοχή σάρωσης του ρότορα είναι ανάλογη με την παραγόμενη ενέργεια, καθώς καθορίζει το ποσοστό της κινητικής ενέργειας του ανέμου που δύναται να αξιοποιηθεί (Marimuthu et al., 2014). Μεγαλύτερο μέγεθος πτερυγίων, όμως, προϋποθέτει αραιότερη διάταξη των Α/Γ, προκειμένου αυτές να μην αλληλοεπηρεάζονται, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει και σε μείωση της συνολικής συνεισφοράς σε ενέργεια ([https://energyeducation.ca/encyclopedia/Wind\\_power](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Wind_power), πρόσβαση: 18-12-2022). Ακόμα, το ύψος του πύργου μπορεί να έχει σημαντική επιρροή στην μεταβολή της τροφοδοσίας. Καθώς η ταχύτητα του ανέμου μειώνεται αισθητά λόγω της τριβής του με το έδαφος, η αύξηση της απόστασης του δρομέα από αυτό μπορεί να συμβάλει στην παραγωγή μεγαλύτερων ποσών ενέργειας (El-Ahmar et al., 2017).

### **3.4 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αιολικής ενέργειας**

Στις μέρες μας, η αιολική ενέργεια αναγνωρίζεται ως μια από τις ωριμότερες τεχνολογικά και οικονομικά ΑΠΕ, (IRENA, 2019). Οι τεχνολογίες εκμετάλλευσής της αναπτύσσονται με ταχύτατους ρυθμούς και το παγκόσμιο ενδιαφέρον για την αξιοποίηση της συνεχώς αυξάνεται.

Ως αποτέλεσμα, παρατηρείται και αυξημένη ανησυχία σχετικά με τις διάφορες περιβαλλοντικές συνέπειες που έχει η αιολική ενέργεια, οι οποίες, σαφώς, δεν μπορούν να παραμεληθούν. Στην παρακάτω ενότητα γίνεται μία αναλυτική περιγραφή των πολυδιάστατων επιπτώσεων που προκύπτουν από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής της.

### **3.4.1 Επιπτώσεις στην άγρια πανίδα**

Ένα από τα πιο πολυσυζητημένα προβλήματα που συνδέονται με την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, αφορά την επίδραση αυτής στην ασφάλεια της άγριας ζωής. Η μελέτη του εν λόγω προβλήματος έχει τις ρίζες της στις Η.Π.Α. στα τέλη της δεκαετίας του 1980. Εκεί παρατηρήθηκε πως μερικά είδη αρπακτικών πουλιών – συγκεκριμένα χρυσαετοί και κοκκινόουρα γεράκια -θανατώνονταν από τις ανεμογεννήτριες και τον συμπληρωματικό εξοπλισμό αιολικών πάρκων της Καλιφόρνια. Παράλληλα, συγκρούσεις παρατηρήθηκαν και στην Ταρίφα της Ισπανίας, προκαλώντας περαιτέρω ανησυχία. Οι πληροφορίες αυτές αποτέλεσαν την αφορμή για περαιτέρω μελέτη του ζητήματος, καθώς αποδείκνυαν την επικινδυνότητα των Α/Γ για τα πτηνά της περιοχής (Kingsley & Whittam, 2005; Allison et al., 2019).

#### **3.4.1.1 Επίδραση στα πουλιά**

Τα ιδανικά σημεία για την εγκατάσταση των αιολικών πάρκων είναι ανοικτές, εκτεθειμένες περιοχές με υψηλή μέση ταχύτητα ανέμου. Έτσι, συνήθως επιλέγονται ορεινές, παράκτιες ή υπεράκτιες τοποθεσίες, που πληρούν τις παραπάνω προϋποθέσεις, αλλά ταυτόχρονα αποτελούν και σημαντικά ενδιαιτήματα για την αναπαραγωγή, την διαχείμαση και την μετανάστευση των πουλιών (Drewitt & Langston, 2006). Οι κυριότεροι τρόποι με τους οποίους οι ανεμογεννήτριες επηρεάζουν τα πτηνά αναφέρονται ονομαστικά παρακάτω (Manwell et al., 2009):

- Θάνατοι από ηλεκτροπληξία ή σύγκρουση
- Αλλαγές στις συνήθειες εύρεσης τροφής των πτηνών
- Μεταβολή των μεταναστευτικών συνηθειών των πτηνών
- Διαταραχή περιοχών αναπαραγωγής, φωλιάσματος και αναζήτησης τροφής



- Μείωση, διαταραχή διαθέσιμων οικοτόπων που συνυπάρχουν με τις Α

### Θάνατοι από συγκρούσεις

Θάνατοι πουλιών μπορεί να προκληθούν από συγκρούσεις με τα περιστρεφόμενα πτερύγια του δρομέα καθώς και από θανατηφόρους τραυματισμούς λόγω συγκρούσεων με τα σταθερά μέρη των Α/Γ και του συμπληρωματικού τους εξοπλισμού, όπως τον πύργο, το κέλυφος, τα καλώδια μεταφοράς ρεύματος και τις μετεωρολογικές κεραίες (Powlesland, 2009) (Εικόνα 19). Ο κίνδυνος σύγκρουσης διαφοροποιείται ανάλογα με ποικίλους παράγοντες, οι οποίοι αναλύονται παρακάτω.

Αρχικά, η τοποθεσία και η διάταξη του αιολικού πάρκου κρίνονται πολύ μεγάλης σημασίας. Υψηλότερα ποσοστά θνησιμότητας έχουν παρατηρηθεί για Α/Γ που βρίσκονται σε κορυφογραμμές ή εκτεθειμένες πλάγιες, ενώ η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της πορείας



Εικόνα 15. Διέλευση σμήνους πτηνών από αιολικό πάρκο

Πηγή: <https://www.nsenegybusiness.com/features/the-impact-of-wind-turbines-on-biodiversity-and-how-to-minimise-it/>

πτήσης του πτηνού και της Α/Γ φαίνεται πως μεταβάλλει αισθητά την πιθανότητα σύγκρουσης (Sovacool, 2009). Ακόμα, γίνεται εύκολα κατανοητό πως ο κίνδυνος σύγκρουσης είναι υψηλότερος σε περιοχές που χρησιμοποιούνται συχνά από μεγάλους αριθμούς πουλιών για εύρεση τροφής, ξεκούραση και μεταναστευτικές ή τοπικές πτήσεις (Wilson et al., 2010). Αξίζει να αναφερθεί πως, ο κίνδυνος δεν είναι ίδιος για όλα τα είδη της περιοχής, αφού ογκώδη πουλιά όπως κύκνοι και πάπιες που είναι λιγότερο ευέλικτα, καθώς και είδη που συνήθως πετούν την αυγή ή την νύχτα δεν έχουν τις ίδιες πιθανότητες να αποφύγουν τους στρόβιλους (Drewitt & Langston, 2006). Βέβαια, ο κίνδυνος διαφοροποιείται και μεταξύ των μελών του ίδιου είδους, ανάλογα με την ηλικία, την συμπεριφορά κατά την πτήση και το στάδιο του ετήσιου κύκλου που βρίσκεται το κάθε πτηνό (Langston & Pullan, 2003). Τέλος, πολλές έρευνες δείχνουν πως οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν έντονα τη πιθανότητα σύγκρουσης. Οι

Gregory et al. (2000) έδειξαν πως 45 στους 48 θανάτους θα αποφεύγονταν, αν οι καιρικές συνθήκες δεν ήταν δυσμενείς και πολλές έρευνες υποστηρίζουν πως υπό συνθήκες ομίχλης, βροχής και εντόνων ανέμων, οι συγκρούσεις αυξάνονται, καθώς τα πουλιά τείνουν να πετούν χαμηλότερα, δεν μπορούν να ελέγξουν τους ελιγμούς τους με την ίδια ευκολία και η ορατότητά τους είναι μειωμένη (Marques et al., 2014; Saidur et al., 2011).

Όσον αφορά τον σχεδιασμό των ανεμογεννητριών, χαρακτηριστικά όπως το μέγεθος, η ταχύτητα περιστροφής των πτερυγίων των Α/Γ καθώς και η μεταξύ τους απόσταση, έχουν σημαντική επίδραση στα ποσοστά θνησιμότητας (Thelander et al., 2003). Γενικά, τα παλαιότερα αιολικά πάρκα που αποτελούνται από πολλές ανεμογεννήτριες σε πυκνή διάταξη, με πύργους χαμηλού ύψους και πτερύγια μικρού μήκους, τείνουν να αυξάνουν τα ποσοστά θνησιμότητας. Το χαμηλό ύψος των Α/Γ μπορεί να προσελκύσει τα πουλιά που ψάχνουν να φωλιάσουν και τα μικρού μήκους πτερύγια είναι δυσκολότερο να αποφευχθούν καθώς αναπτύσσουν μεγάλη περιστροφική ταχύτητα (Hamed & Alshare, 2022.). Ακόμα, έρευνες έχουν αποδείξει πως τα προειδοποιητικά φώτα που τοποθετούνται στις Α/Γ αυξάνουν και αυτά τον κίνδυνο σύγκρουσης, ιδιαίτερα υπό συνθήκες βροχής ή ομίχλης, καθώς μπορεί να προσελκύσουν ή να αποπροσανατολίσουν τα πουλιά (Root et al., 2007). Για τον λόγο αυτό, προτείνεται η χρήση όσο το δυνατόν λιγότερων, διακοπτόμενων και ασθενούς έντασης λευκών φωτών (Saidur et al., 2011).

Με την πιθανότητα σύγκρουσης λοιπόν, να εξαρτάται από τόσους παράγοντες, ο ακριβής υπολογισμός της μεταβολής της θνησιμότητας των πουλιών, από την ανέγερση ενός αιολικού πάρκου δεν μπορεί να υπολογιστεί με ευκολία και οι πολυάριθμες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί επί του ζητήματος παρουσιάζουν διαφορετικά αποτελέσματα. Παραδείγματος χάριν, οι Drewitt & Langston (2006) κατέληξαν στο ότι πραγματοποιούνται 0.01 – 23 συγκρούσεις ανά Α/Γ ετησίως. Από την άλλη, σύμφωνα με τους Wang & Wang (2015), ο αντίστοιχος αριθμός είναι μόλις 0.02-0.6 συγκρούσεις ανά Α/Γ ετησίως.

### Φαινόμενα παρεμπόδισης πτήσεων πουλιών

Έχει παρατηρηθεί πως οι αιολικές μονάδες μπορεί να λειτουργήσουν ως εμπόδια στις μεταναστευτικές ή τοπικές κινήσεις των πτηνών, με αποτέλεσμα οι χώροι αναζήτησης τροφής

και ανάπαυσης να αποκόβονται (Schuster et al., 2015). Η συνηθέστερη ανταπόκριση των ζώων στις μεταβολές που πραγματοποιούνται στον χώρο που ζουν, είναι η αλλαγή των μοτίβων κίνησης και η αποφυγή των νέων αντικειμένων. Έτσι, όταν μια εγκατάσταση είναι τοποθετημένη επί της πορείας πτήσης των πτηνών, αυτά αναγκάζονται να μεταβάλλουν την συνηθισμένη διαδρομή τους προκειμένου να αποφύγουν τις συγκρούσεις. Ως αποτέλεσμα, χρειάζεται να διανύσουν μεγαλύτερες αποστάσεις και να καταναλώσουν περισσότερη ενέργεια, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει τους πληθυσμούς των πτηνών και τα ποσοστά επιβίωσής τους. Επιπρόσθετα, σε πολλά είδη πτηνών, η αναπαραγωγική επιτυχία είναι άμεσα συνδεδεμένη με την σωματική κατάσταση και επομένως, το φαινόμενο αυτό μπορεί να μειώσει και τον ρυθμό ανάκαμψης των πληθυσμών των ειδών αυτών (Masden et al., 2010; Masden, 2009).

Μολονότι απαιτείται περαιτέρω έρευνα επί του ζητήματος, η υπάρχουσα βιβλιογραφία δείχνει πως οι επιπτώσεις του φαινομένου φραγμού στην ορνιθοπανίδα, δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικές (Drewitt & Langston, 2006).

### Απώλεια ή διατάραξη ενδιαιτήματος

Η κατασκευή των ανεμογεννητριών και του συμπληρωματικού τους εξοπλισμού μπορούν να οδηγήσουν ακόμη, στην αλλοίωση ή την καταστροφή του φυσικού περιβάλλοντος και κατά συνέπεια να επηρεάσουν έντονα τις δραστηριότητες των πτηνών της περιοχής (Allison et al., 2019). Ο θόρυβος και οι διαταραχές των αέριων μαζών που προκαλούνται από τις ανεμογεννήτριες, μπορεί να τρομάξουν τα πουλιά και να περιορίσουν την έκταση του ενδιαιτήματος τους, μειώνοντας τις επιλογές για συλλογή τροφής (Dai et al. 2015). Επιπλέον, οι αντανακλάσεις των ηλιακών ακτινών στα πτερύγια των Α/Γ, καθώς και οι περιοδικές σκιάσεις που αυτές προκαλούν σε σταθερά αντικείμενα (*shadow flicker effect*), μπορούν επίσης να επηρεάσουν τη συμπεριφορά των πτηνών (Bennun et al., 2021; Nazir et al., 2020). Έρευνες δείχνουν, πως ακόμα και αν οι αιολικές εγκαταστάσεις δεν μεταβάλουν τον πληθυσμό της ορνιθοπανίδας, η διατάραξη του οικοσυστήματος μπορεί να μειώσει τους ρυθμούς αναπαραγωγής των πουλιών (Langston & Pullan, 2003).

Όπως προαναφέρθηκε όμως, τα ποσοστά θνησιμότητας διαφέρουν από είδος σε είδος και ο αριθμός των συγκρούσεων ή των θανάτων δεν είναι αρκετός για τον προσδιορισμό του

προβλήματος. Σε γενικές γραμμές διαπιστώνεται, πως τα αρπακτικά είδη σημειώνουν τα υψηλότερα επίπεδα θνησιμότητας, ιδιαίτερα σε παλιά αιολικά πάρκα όπως αυτό του Almont Pass στην Καλιφόρνια και της Tarifa στην Ισπανία, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στον τρόπο πτήσης των ειδών αυτών. Χρυσασετοί (*Aquilachrysaetos*), κοκκινόουρα γεράκια (*Buteojamaicensis*), κικινέζια (*Falcotinnunculus*), φιδασετοί (*Circaetusgallicus*), τσίφτες (*Milvusmigrans*) και άλλα αρπακτικά είναι πιθανότερο να σκοτωθούν από τις αιολικές εγκαταστάσεις από ότι οι γύπες, τα κοράκια ή οι γαλοπούλες. Μάλιστα, ορισμένα από τα είδη αυτά, είναι μακρόβια και αναπαράγονται με χαμηλούς ρυθμούς, γεγονός που καθιστά τις συνέπειες των Α/Γ σε αυτά, ακόμη πιο ανησυχητικές (Wang & Wang, 2015; Dai et al., 2015).

Τέλος, πρέπει να τονιστεί πως ο αντίκτυπος των Α/Γ και του συμπληρωματικού εξοπλισμού στην ασφάλεια των πτηνών είναι σαφώς μικρότερος από αυτόν των συμβατικών μονάδων παραγωγής ενέργειας και άλλων ανθρώπινων δραστηριοτήτων (Kingsley & Whittam, 2005; Sovacool, 2012). Στην έρευνα του Sovacool (2009), στην οποία εξετάζονται όλες οι πτυχές του κύκλου ζωής μιας αιολικής μονάδας, υπολογίστηκε πως οι αιολικές εγκαταστάσεις ευθύνονται για 0.3-0.4 θανάτους πτηνών ανά παραγόμενη GWh. Το αξιοσημείωτο που προκύπτει όμως από την έρευνα του τελευταίου- αλλά και από πολλές άλλες- είναι πως οι εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας με ορυκτά καύσιμα προκαλούν περίπου 5.2 θανάτους ανά παραγόμενη GWh, καθιστώντας τις περίπου 17 φορές πιο επικίνδυνες από τις αιολικές. Επίσης, ο αριθμός των πτηνών που σκοτώνονται από τις Α/Γ μπορεί να αμελητέος συγκριτικά με άλλα ανθρωπογενή ή φυσικά αίτια, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1). Υπολογίζεται πως για κάθε πουλί που σκοτώνεται από τις ανεμογεννήτριες, 250 σκοτώνονται από άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες (Saidur et al., 2011)

<b>Πίνακας 1: Κοριότερες αιτίες θανάτωσης πουλιών στις Η.Π.Α.</b>	
<b>Αίτια</b>	<b>Αριθμός θανάτων *10<sup>6</sup></b>
Γάτες	1000
Συγκρούσεις σε Κτήρια	100
Κυνηγοί	100
Συγκρούσεις με οχήματα	60-80
Συγκρούσεις με πύργους επικοινωνίας	10-40
Φυτοφάρμακα	67
Γραμμές Ηλεκτρικής Ενέργειας	00.1-174

### 3.4.1.2 Θανάτωση νυχτερίδων

Η συνέπειες των Α/Γ στον πληθυσμό των νυχτερίδων παρατηρήθηκαν για πρώτη φορά στις Η.Π.Α. στα τέλη της δεκαετίας του 1990, αλλά δεν μελετήθηκαν μέχρι το 2003 (Hein & Schirmacher, 2016). Παρόλο που έως τις αρχές της δεκαετίας του 2000, οι εκτιμώμενες απώλειες ήταν υποτιμημένες εξαιτίας της μεγαλύτερης βαρύτητας που δινόταν στις συνέπειες που υφίστανται τα πουλιά, πρόσφατες έρευνες δείχνουν πως μεγάλος αριθμός νυχτερίδων σκοτώνονται σε αιολικές μονάδες βιομηχανικής κλίμακας. Πιο συγκεκριμένα, σχεδόν το ένα τέταρτο των ειδών που εντοπίζονται στις Η.Π.Α και τον Καναδά να απειλούνται (Wang & Wang, 2015; Ellison, 2012).

Αν και οι τρόποι με τους οποίους απειλείται η ασφάλεια των νυχτερίδων που εντοπίζονται στην βιβλιογραφία είναι αρκετοί, οι ερευνητές δεν συμφωνούν σχετικά με την εγκυρότητά των ευρημάτων αυτών και απαιτείται περαιτέρω μελέτη (Dai et al., 2015). Οι πιθανές αιτίες που διατυπώνονται, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε άμεσες και έμμεσες, με τις πρώτες να αφορούν τους λόγους που οδηγούν στην απευθείας θανάτωση των νυχτερίδων και τις δεύτερες να αφορούν τους λόγους που οδηγούν τις νυχτερίδες να κινούνται κοντά στις αιολικές εγκαταστάσεις (Cryan & Barclay, 2009).

#### Άμεσες αιτίες θανάτου

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τρεις κύριες αιτίες που οδηγούν άμεσα στην θανάτωση των νυχτερίδων. Αυτές είναι, οι συγκρούσεις με τον πύργο, οι συγκρούσεις με τα περιστρεφόμενα πτερύγια των Α/Γ και τα τραύματα που προκαλούνται από την απότομη μεταβολή της πίεση του αέρα (*barotrauma*) (Cryan & Barclay, 2009). Αν και η σύγκρουση με τους πύργους των ανεμογεννητριών θα μπορούσε να καλύψει ένα μέρος των απωλειών, συγκρούσεις με τους μετεωρολογικούς πύργους ή με Α/Γ εκτός λειτουργίας σημειώνονται σπάνια και με μειωμένη λειτουργία των στροβίλων οι θανατώσεις ελαττώνονται (Allison et al., 2019; Hein & Schirmacher, 2016). Πιθανότερο αίτιο από το προηγούμενο φαίνεται να αποτελεί η σύγκρουση των νυχτερίδων με τα περιστρεφόμενα πτερύγια του δρομέα, καθώς πολλοί από

τους σωρούς που έχουν μελετηθεί φέρουν θανατηφόρους τραυματισμούς, όπως σπασμένα ή ακρωτηριασμένα φτερά, θρυμματισμένα κρανία και σπασμένες σπονδυλικές στήλες (Horn et al., 2008; Grodsky et al., 2011). Παρόλα αυτά, πολλοί από τους σωρούς που εντοπίζονται δεν φέρουν εξωτερικά αλλά εσωτερικά τραύματα στις θωρακικές και κοιλιακές κοιλότητες, τα οποία οφείλονται σε ταχεία μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης (*barotrauma*) (Lawson, 2020). Έρευνες έδειξαν πως η πλειοψηφία των θυμάτων, με τα ποσοστά να κυμαίνονται από 57% έως και 90% έφεραν εσωτερικά τραύματα, ενώ μόλις το 50% έφερε εξωτερικά τραύματα ή τον συνδυασμό των δύο (Baerwald et al., 2008; Lawson, 2020).

### Έμμεσες αιτίες θανάτου

Οι υποθέσεις σχετικά με τις έμμεσες αιτίες, δηλαδή τους τρόπους με τους οποίους οι νυχτερίδες οδηγούνται στην σύγκρουση με τις Α/Γ, είναι πολυάριθμες και μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις τυχαίες συγκρούσεις, τις συμπτωματικές συγκρούσεις και τις συγκρούσεις που προκύπτουν από την έλξη των νυχτερίδων από τους στροβίλους (Cryan & Barclay, 2009).

Στην πρώτη κατηγορία, ανήκουν οι συγκρούσεις που οφείλονται εξ' ολοκλήρου σε τυχαίους παράγοντες, δηλαδή αυτές που συμβαίνουν ανεξαρτήτως των περιστάσεων και δεν οφείλονται στην έλξη των νυχτερίδων από τις Α/Γ (Horn et al., 2008). Στην δεύτερη κατηγορία, ανήκουν οι συγκρούσεις που είναι αποτέλεσμα ατυχών συμπεριφορικών καταστάσεων που θέτουν σε κίνδυνο τις νυχτερίδες, όπως για παράδειγμα οι Α/Γ που βρίσκονται κατά μήκος των μεταναστευτικών οδών που αυτές χρησιμοποιούν. Στην τρίτη κατηγορία, περιλαμβάνονται οι συγκρούσεις λόγω έλξης, για τις οποίες έχουν διατυπωθεί πολλές διαφορετικές υποθέσεις (Ellison, 2012). Σύμφωνα με μία από αυτές, οι νυχτερίδες μπορεί να μπερδέψουν τις Α/Γ με δέντρα και να τις θεωρήσουν πιθανά σημεία ξεκούρασης ή αναπαραγωγής και να θανατωθούν στην προσπάθειά τους να τις προσεγγίσουν. Λαμβάνοντας υπόψη πως τα είδη που απειλούνται εντονότερα, είναι αυτά που τείνουν να ξεκουράζονται σε δέντρα, μια τέτοια υπόθεση είναι εύλογη (Hein & Schirmacher, 2016; Cryan & Barclay, 2009). Μια άλλη εξήγηση, αφορά την έλξη των νυχτερίδων από τους στροβίλους, για εύρεση τροφής (Bennun et al., 2021). Οι Α/Γ μπορεί να προσελκύσουν μεγάλο αριθμό εντόμων λόγω του χρώματός τους, της θερμότητας που παράγουν και των φώτων που είναι τοποθετημένα σε αυτές (Gaultier et al., 2020; deJong et al., 2021). Η υψηλή συγκέντρωση τροφής και η σταθερή παρουσία της γύρω από τους στροβίλους,

οδηγεί τις νυχτερίδες που ψάχνουν τροφή και ιδιαίτερα αυτές που είναι πεινασμένες από τις μεταναστευτικές κινήσεις, να συγκεντρώνονται κοντά στις αιολικές μηχανές (Cryan & Barclay, 2009). Επιπλέον, οι παρεμβάσεις που πραγματοποιούνται στην περιοχή για την κατασκευή της εγκατάστασης μπορεί να προσελκύσουν τις νυχτερίδες προς τους στροβίλους. Ειδικότερα, με την απογύμνωση του εδάφους, το περιβάλλον γίνεται ευνοϊκότερο για πολλά είδη εντόμων με τα οποία αυτές τρέφονται, και το τοπίο γίνεται παρόμοιο με αυτό στο οποίο συνήθως ταξιδεύουν (Wang & Wang, 2015). Επιπρόσθετα, εναλλακτικές υποθέσεις υποστηρίζουν πως οι νυχτερίδες μπορεί να έλκονται από τους υπέρηχους που παράγονται από τις αιολικές μηχανές ή από την κίνηση των πτερυγίων. Αν και η επίδραση του πρώτου στις νυχτερίδες δεν είναι σαφώς προσδιορισμένη, υπάρχουν αναφορές σχετικά με την πιθανή έλξη των νυχτερίδων από παρόμοιους, φυσικούς ήχους (π.χ. το θρόισμα του ανέμου ανάμεσα από τα κλαδιά), καθώς και αναφορές για νυχτερίδες που κυνηγούν τα πτερύγια των Α/Γ (Kunz et al., 2007; Horn et al., 2008). Τέλος, υποθέσεις σχετικά με την έλξη των νυχτερίδων από τα φώτα που βρίσκονται στους στροβίλους έχουν διατυπωθεί, αλλά φαίνεται να είναι αβάσιμες, καθώς δεν υπάρχουν ενδείξεις που να συσχετίζουν την ύπαρξη φωτεινών ή μη ανεμογεννητριών, με την μεταβολή της θνησιμότητας (Kerns & Kerlinger, 2004).

Όπως και στην περίπτωση των πτηνών, υπάρχουν πολλοί παράγοντες που, μπορεί να επηρεάσουν τα ποσοστά θνησιμότητας, καθιστώντας τις παραπάνω αιτίες λιγότερο ή περισσότερο πιθανές να οδηγήσουν στην θανάτωση νυχτερίδων. Αρχικά, η περιοχή που επιλέγεται για την εγκατάσταση είναι ιδιαίτερα σημαντική. Φαίνεται πως τα υψηλότερα ποσοστά θνησιμότητας σημειώνονται σε αιολικά πάρκα που βρίσκονται κατά μήκος δασικών κορυφογραμμών και τα χαμηλότερα σε μονάδες τοποθετημένες σε σχετικά ανοιχτά τοπία, αν και υπάρχουν αναφορές για σχετικά υψηλούς αριθμούς θανάτων σε αγροτικές περιοχές (Kunz et al., 2007). Ακόμα, οι ερευνητές συμφωνούν πως η πλειοψηφία των συγκρούσεων πραγματοποιούνται μεταξύ του Ιουλίου και του Οκτωβρίου, δηλαδή κατά την φθινοπωρινή μεταναστευτική περίοδο των περισσότερων ειδών (Thompson et al., 2017). Όσον αφορά τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά των στροβίλων, φαίνεται πως η διάμετρος του ρότορα δεν επηρεάζει τον αριθμό των θανάτων, σε αντίθεση με το ύψος του πύργου, το οποίο οδηγεί σε εκθετική αύξηση του ποσοστού θνησιμότητας των νυχτερίδων όταν αυξάνεται. Το τελευταίο μάλιστα, έχει δημιουργήσει ανησυχία στην αιολική βιομηχανία, καθώς οι Α/Γ που αναμένεται να εγκατασταθούν στο κοντινό μέλλον μπορεί να ξεπερνούν τα 140 μέτρα σε ύψος (Barclay et

al., 2007, Thompson et al., 2017). Κλείνοντας, οι καιρικές συνθήκες καθαυτές, δεν φαίνεται να έχουν άμεση σχέση με τα ποσοστά θνησιμότητας των νυχτερίδων. Δεν έχει παρατηρηθεί αλλαγή στους αριθμούς των θανάτων με την μεταβολή της ταχύτητας ή της κατεύθυνσης του αέρα και της θερμοκρασίας, ενώ δεν υπάρχουν ενδείξεις που να αποδεικνύουν ότι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες ή η ύπαρξη ομίχλης αυξάνουν την πιθανότητα σύγκρουσης (Kerns & Kerlinger, 2004).

Όπως προαναφέρθηκε, σχεδόν το 25% των ειδών που εντοπίζονται στις βόρειες Η.Π.Α και τον Καναδά έχουν αναγνωριστεί ως θύματα των αιολικών εγκαταστάσεων από έρευνες στο έδαφος. Η συντριπτική πλειοψηφία αυτών (σχεδόν το 72-75%), ήταν νυχτερίδες που φωλιάζουν στη κόμη ή σε κοιλότητες των δέντρων και μεταναστεύουν σε μεγάλες αποστάσεις, όπως τα είδη *Lasiurus borealis*, *Lasiurus cinereus* και *Lasionycteris noctivagans* (Kunz et al., 2007; Peterson et al., 2021). Επιπλέον, διάφορα, άλλα είδη που εντοπίζονται στις Η.Π.Α. όπως τα *Lasiurus blossivilli*, *Lasiurus seminolus*, *Perimyotis subflavus*, *Myotis lucifugus*, *Myotis septentrionalis*, *Myotis evotis*, *Eptesicus fuscus* και *Tadarida brasiliensis*, διαπιστώθηκε πως απειλούνται επίσης, αλλά σε μικρότερο βαθμό (Kunz et al., 2007; Wang & Wang, 2015).

### **3.4.1.3 Επίδραση στα θαλάσσια είδη**

Με το ενδιαφέρον προς τις υπεράκτιες αιολικές εγκαταστάσεις συνεχώς να αυξάνεται, δεν μπορούν να παραμεληθούν και οι συνέπειές αυτών στην πανίδα των θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Εμπειρικές έρευνες που έχουν διεξαχθεί, δείχνουν πως τα είδη της περιοχής μπορεί να επηρεαστούν με πολλούς τρόπους, τόσο κατά την φάση κατασκευής όσο και κατά τη φάση λειτουργίας.

Η κατασκευή των ανεμογεννητριών περιλαμβάνει μια σειρά από δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένης, της πασσαλοθέτησης, της χάραξης τάφρων, της βυθοκόρησης και άλλων, και μπορεί να έχει πολλαπλές επιπτώσεις (Madsen et al, 2006). Σημαντικότερη επίδραση στην ευημερία ορισμένων οργανισμών φαίνεται να έχει ο παραγόμενος θόρυβος κατά την θεμελίωση με πασσαλοθέτηση (Pile-driving), ο οποίος μπορεί να φτάσει τα 150–160 dBre 1  $\mu\text{Pa}^2\text{Hz}^{-1}$  (Siddagangaiyah et al., 2022). Οι μεταβολές στην συμπεριφορά των οργανισμών, πέραν του φυσιολογικού, θεωρούνται οι πιθανότερες συνέπειες, καθώς η πιο συνηθισμένη αντίδραση είναι η φυγή και το άγχος. Ακόμα, αν και ο κίνδυνος θανατώσεων λόγω του θορύβου είναι

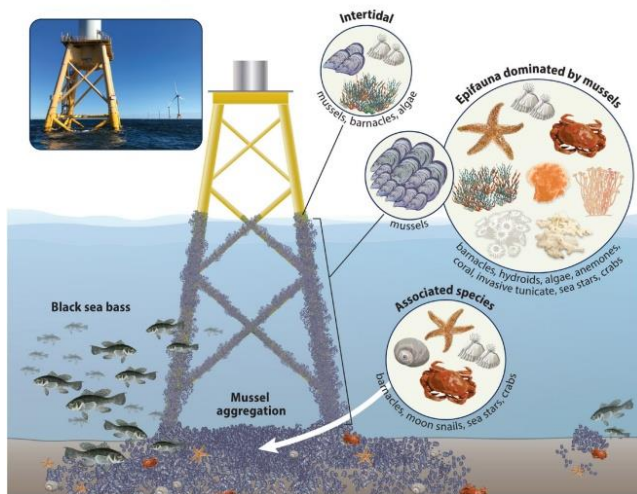


γενικά μικρός, τραυματισμοί πολλών ειδών, κώφωση ή βλάβη στο αισθητήριο επιθήλιο του έσω αυτιού, είναι πιθανοί (Keller et al., 2006).

Κατά το στάδιο λειτουργίας τους από την άλλη, οι ανεμογεννήτριες φαίνεται να έχουν τόσο θετική όσο και αρνητική επίδραση. Σε γενικές γραμμές, οι υπάρχουσες έρευνες αξιολογούν την πιθανότητα εκδήλωσης των αρνητικών επιπτώσεων ως χαμηλή με μέτρια, ενώ την εκδήλωση των θετικών επιδράσεων ως μέτρια με υψηλή. Οι τρόποι με τους οποίους η φάση λειτουργίας των Α/Γ μπορεί να επηρεάσει την βενθονική πανίδα είναι αρκετοί και περιγράφονται παρακάτω (Bergström et al., 2014).

### Δημιουργία ενδιαιτήματος

Τα τμήματα των στροβίλων που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας μπορεί να λειτουργήσουν ως "τεχνητοί ύφαλοι", με αποτέλεσμα την δημιουργία νέων ενδιαιτημάτων (Deager et al., 2020). Τα τμήματα αυτά αποικίζονται γρήγορα από τα βενθονικά είδη, γεγονός



Εικόνα 16. Έλξη ποικιλίας οργανισμών στον "τεχνητό ύφαλο" που δημιουργείται από την εγκατάσταση των υπερράκτηων Α/Γ

Πηγή: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/summaries/SEER-Educational-Research-Brief-Benthic-Disturbance.pdf>

που μπορεί να οδηγήσει σε διπλασιασμό των ειδών της περιοχής και σε αύξηση της αφθονίας των ειδών αυτών κατά δύο τάξεις μεγέθους (Li et al., 2023). Αν και οι λόγοι έλξης των οργανισμών προς τις εγκαταστάσεις διαφέρουν μεταξύ των ειδών, σημαντικότεροι φαίνεται να είναι, η παροχή καταφυγίου και σημείων κατάλληλων για αναπαραγωγή, η αυξημένη συγκέντρωση τροφής και η χρήση των κατασκευών ως σημείο αναφοράς (Langhamer, 2012; Glarou et al., 2020) (Εικόνα 20).

Από την άλλη μεριά, η μεταβολή της βιοποικιλότητας που περιγράφηκε, μπορεί να οδηγήσει και σε ανεπιθύμητες επιπτώσεις. Αρχικά, ορισμένοι οργανισμοί όπως το μπλε μύδι, μπορεί να ωφεληθούν σημαντικά από την ύπαρξη των νέων ενδιαιτημάτων και ο πληθυσμός τους αυξηθεί ραγδαία, επηρεάζοντας την ισορροπία του οικοσυστήματος (Krone et al., 2013). Μια ακόμα πιο

ανησυχητική επίδραση που μπορεί να υπάρξει είναι η εισαγωγή μη-αυτόχθονων, χωροκατακτητικών ειδών στο οικοσύστημα. Έχει παρατηρηθεί, πως οι τεχνητοί ύφαλοι μπορεί να αποικηθούν από μεγάλο αριθμό τέτοιων ειδών που συνήθως συνδέονται με βραχώδεις υφάλους (Glasby et al., 2007). Η τοποθέτηση των στροβίλων μπορεί να αποτελέσει τη δίοδο για την εξάπλωση τέτοιων ειδών, που διαφορετικά θα ήταν αδύνατον να συνδεθούν με την περιοχή, και έτσι οι πληθυσμοί των ντόπιων ειδών μπορεί να μεταβληθούν αισθητά, συνήθως με αθέμιτο τρόπο (Langhamer, 2012; <https://marinemadnessdotblog.wordpress.com/2020/08/14/the-effects-of-offshore-wind-farms-on-marine-life/>, πρόσβαση: 20-3-2023).

### Ακουστικές οχλήσεις

Κατά την φάση λειτουργίας των Α/Γ, θόρυβος, που μπορεί να γίνει αντιληπτός από τους οργανισμούς της περιοχής, παράγεται, από το κιβώτιο ταχυτήτων (όποτε υπάρχει), την γεννήτρια και τα κινούμενα πτερύγια, καθώς και από την αυξημένη κίνηση των σκαφών για τα έργα συντήρησης (Bergström et al., 2012). Σε αντίθεση με τον παραγόμενο θόρυβο κατά την εγκατάσταση, ο θόρυβος κατά την λειτουργία δεν επηρεάζει έντονα τα είδη της περιοχής και είναι απίθανο να φτάσει επίπεδα που θα βλάψουν τους οργανισμούς, ή που θα εμποδίσουν την επικοινωνία των θηλαστικών (Madsen et al., 2006; Tougaard et al., 2009). Η πιο συνηθισμένη απόκριση των θηλαστικών και των ψαριών είναι η αποφυγή, ενώ η αποίκιση των θεμελίων από άλλους οργανισμούς, αποτελεί ένδειξη πως ο παραγόμενος θόρυβος και οι δονήσεις, δεν είναι επιβλαβής για αυτούς (Zucco et al., 2006). Ωστόσο, οι ερευνητές έχουν εκφράσει ανησυχία σχετικά με τις συνέπειες που μπορεί να υφίστανται οι άμισχοι οργανισμοί, όπως σπόγγοι, κοράλλια και ανεμώνες, από την μακροχρόνια έκθεση σε σταθερό θόρυβο χαμηλής έντασης (Abramic et al., 2022). Επιπρόσθετα, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην περιοχή της εγκατάστασης, αφού σε περιοχές στις οποίες ο θόρυβος υποβάθρου είναι ήδη υψηλός, οι επιπτώσεις θα είναι ηπιότερες, καθώς η μεταβολή των ακουστικών δονήσεων θα είναι μικρότερη. Τέλος, τα είδη που φιλοξενούνται στην περιοχή πρέπει να ληφθούν υπόψιν, καθώς η ακοή και η επεξεργασία του ήχου αναμένεται να διαφέρει έντονα μεταξύ αυτών (Bergström et al., 2014).

### Ηλεκτρομαγνητικά πεδία

Ένα ακόμη ζήτημα που ερευνάται, αφορά τις συνέπειες των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που παράγονται από τα καλώδια που είναι τοποθετημένα στον πυθμένα της θάλασσας. Έχει διαπιστωθεί ότι οργανισμοί που χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητικά σήματα για την ανίχνευση θηραμάτων ή για να κατευθυνθούν-προσανατολιστούν, μπορεί να επηρεαστούν από τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που δημιουργούνται (Li et al., 2023; Zucco et al., 2006). Πιο συγκεκριμένα, τα είδη που έχει παρατηρηθεί να αντιμετωπίζουν προβλήματα σε τέτοιου είδους δραστηριότητες είναι ελασμοβράγχια που κινούνται κοντά στον βυθό, οι καρχαρίες, τα σαλάχια και οι γαρίδες (Allison et al., 2019).

Βέβαια, τα παραγόμενα πεδία είναι ισχυρότερα ακριβώς πάνω από το καλώδιο, ασθενέστερα πλευρικά του καλωδίου και η ένταση τους μειώνεται με απόσταση από αυτό (Bergström et al., 2012). Επομένως, η πιθανότητα εμφάνισης αρνητικών επιπτώσεων από τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία είναι γενικά μικρή (Abramic et al., 2022).

### Αλιεία

Η δημιουργία νέων ενδιαιτημάτων και η αύξηση της διαθέσιμης τροφής στην περιοχή, μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση του πληθυσμού ορισμένων ειδών εμπορικού ενδιαφέροντος, γεγονός που μπορεί να έχει θετικές αλλά και αρνητικές επιπτώσεις. Θετικές επιδράσεις εντοπίζονται όταν η εγκατάσταση του αιολικού πάρκου συνοδεύεται από αποκλεισμό της αλιείας ή απαγόρευση της χρήσης επιβλαβούς αλιευτικού εξοπλισμού ή όταν οι ίδιοι οι ψαράδες αποφεύγουν να δραστηριοποιούνται στον χώρο της μονάδας για λόγους ασφάλειας. Με αυτόν τον τρόπο, τα είδη που αποτελούν αντικείμενο εμπορικής εκμετάλλευσης αναπτύσσονται περισσότερο και αυξάνονται σε αριθμό (Lindeboom et al., 2011; Abramic et al., 2022; Bergström et al., 2014). Από την άλλη, αρνητικές επιπτώσεις παρατηρούνται όταν οι αλιείς εκμεταλλεύονται την αυξημένη συγκέντρωση των ειδών αυτών γύρω από τα θεμέλια των Α/Γ, οδηγώντας στην μείωση του τοπικού πληθυσμού με ακόμα ταχύτερους ρυθμούς, λόγω της υπεραλίευσης. Οι αρνητικές επιπτώσεις ενισχύονται ακόμα περισσότερο στην περίπτωση που η αλιευσιμότητα των νεαρών μελών αυξηθεί συγκριτικά με την αλιευσιμότητα των ενηλίκων (Fayram & deRisi, 2007; Reubens et al., 2014).

### **3.4.2 Επιπτώσεις στη χλωρίδα**

Κατά την φάση κατασκευής των αιολικών πάρκων, κάποιες δραστηριότητες έχουν άμεση επίπτωση στην χλωρίδα της περιοχής. Συγκεκριμένα, τα έργα θεμελίωσης των χερσαίων ανεμογεννητριών καθώς και η κατασκευή δρόμων προσπέλασης μεγάλων οχημάτων, απαιτούν την απομάκρυνση των δέντρων και της βλάστησης, απογυμνώνοντας το επιφανειακό έδαφος. Με αυτόν τον τρόπο, το έδαφος καθίσταται πιο εκτεθειμένο στους δυνατούς ανέμους και τις βροχοπτώσεις, με αποτέλεσμα να διαβρώνεται (Sobrinho Junior et al., 2022; Σιωμάδη, 2019). Ακόμα, αν οι παραπάνω ενέργειες πραγματοποιηθούν, χωρίς να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα, λύματα και λάδια του εργοταξίου που περιέχουν τοξικές ουσίες, μπορεί να εισχωρήσουν στο υπέδαφος δημιουργώντας σοβαρά και μακροχρόνια περιβαλλοντικά προβλήματα (Dai et al., 2015). Για όλους τους προαναφερθέντες λόγους, πολλές χώρες λαμβάνουν μέτρα για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στην χλωρίδα. Στην Κίνα παραδείγματος χάριν, η κατευθυντήρια γραμμή που έχει τεθεί για τα αιολικά πάρκα προωθεί την άμεση επαναφύτευση των δέντρων και της βλάστησης μετά το πέρας των κατασκευαστικών έργων. Επίσης, προτείνεται τα έργα εκσκαφής να περιλαμβάνουν όσο το δυνατόν λιγότερες παρεμβολές από βαριά μηχανήματα και να πραγματοποιούνται κατά κύριο λόγο μέσω χειρωνακτικής εργασίας, προκειμένου να μετριαστεί ο αντίκτυπος του έργου στο οικοσύστημα (Nazir et al., 2020).

Η εγκατάσταση και λειτουργία των υπεράκτιων ανεμογεννητριών μπορεί, επιπλέον να επηρεάσει την βενθονική χλωρίδα. Τα έργα θεμελίωσης, όπως είναι λογικό, απαιτούν τοπική αφαίρεση της βλάστησης, αλλά προκαλούν και αιώρηση μεγάλου όγκου ιζημάτων, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την φωτοσύνθεση των φυκών (<https://marinemadnessdotblog.wordpress.com/2020/08/14/the-effects-of-offshore-wind-farms-on-marine-life/>, πρόσβαση: 20-3-2023).

### **3.4.3 Τοπικές κλιματικές επιπτώσεις**

Συμφωνά με πολλές έρευνες, μια ακόμα επίδραση των αιολικών μονάδων σχετίζεται με μεταβολές στο τοπικό κλίμα. Κατά την λειτουργία τους, οι Α/Γ δημιουργούν αναταράξεις στην κίνηση του αέρα και αναμιγνύουν τα κατακόρυφα στρώματα αυτού – τα οποία έχουν διαφορετική θερμοκρασία – με αποτέλεσμα την μεταβολή της θερμοκρασίας κοντά στην επιφάνεια του εδάφους (Roy & Traiteur, 2010). Από μελέτη δορυφορικών δεδομένων εννιά ετών, σε τέσσερα αιολικά πάρκα, φάνηκε σημαντική τάση για αύξηση της θερμοκρασίας στον

χώρο την εγκατάστασης, ιδιαίτερα τις νυχτερινές ώρες, η οποία υπολογίστηκε έως και 0.72 °C ανά δεκαετία (Zhou et al., 2012). Η κάθετη ανάμιξη του αέρα, ακόμη, μπορεί να επηρεάσει την συγκέντρωση και τον σχηματισμό των σύννεφων και κατά συνέπεια να μεταβάλει την κατανομή των βροχοπτώσεων στην περιοχή (Wang & Wang, 2015). Από την άλλη, υπάρχουν περιορισμένες ενδείξεις ότι οι αιολικές εγκαταστάσεις, λόγω του παραπάνω φαινομένου, θα μπορούσαν να ανακουφίσουν τα δυσμενέστερα κλίματα, ενώ γίνονται έρευνες για την πιθανότητα πραγματοποίησης σκόπιμων μεταβολών του τοπικού κλίματος μέσω της κατασκευής υπερμεγεθών αιολικών πάρκων (Dai et al., 2015). Παρόλα αυτά, ακόμα και στην περίπτωση που εντοπίζονται οι αρνητικές συνέπειες του φαινομένου, η αύξηση στην παγκόσμια μέση θερμοκρασία της επιφάνειας θα ήταν ασήμαντη (Miller & Keith, 2018).

### **3.4.4 Επιπτώσεις στις χρήσεις γης**

Η έκταση που απαιτείται για την τοποθέτηση των ανεμογεννητριών καθώς και οι χρήσεις γης που είναι διαθέσιμες μετά την εγκατάστασή τους, είναι από τα πιο πολυσυζητημένα θέματα στον χώρο της αιολικής ενέργειας.

Όπως ισχύει και για τις ηλιακές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, οι επιπτώσεις των αιολικών εγκαταστάσεων στις χρήσεις γης, αξιολογούνται με βάση την άμεση χρήση γης, και την συνολική χρήση γης (Denholm et al., 2009). Η ανέγερση ενός αιολικού πάρκου απαιτεί την ύπαρξη αρκετά μεγάλου διαθέσιμου τμήματος γης, ώστε να μπορεί να υποστηρίξει τη λειτουργία των ανεμογεννητριών και την εγκατάσταση της απαραίτητης υποδομής. Επιπρόσθετα, προκειμένου να αξιοποιηθεί με οικονομικό συμφέρον η αιολική ενέργεια, είναι απαραίτητο να εγκατασταθούν αρκετές ανεμογεννήτριες μαζί, για την παραγωγή της ίδιας συνολικής ισχύς με ένα συμβατικό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Κορωναίος, 2012). Ωστόσο, το φυσικό “αποτύπωμα” της ανεμογεννήτριας και του συμπληρωματικού της εξοπλισμού, δεσμεύει μονάχα ένα μικρό τμήμα της γης, που μάλιστα δεν ξεπερνά το 2-5% της συνολικής έκτασης του έργου στις Ηνωμένες Πολιτείες και φτάνει το 1% στο Ηνωμένο Βασίλειο (Rivkin et al., 2013). Με άλλα λόγια, αν και η έκταση ενός αιολικού πάρκου πράγματι χρειάζεται να είναι αρκετά μεγάλη, αυτό δεν σημαίνει ότι η περιοχή δεν μπορεί να λειτουργήσει παράλληλα για την εξυπηρέτηση διαφορετικών σκοπών, όπως είναι η γεωργία, η κτηνοτροφία και η αναψυχή (Βουρδούμπας, 2019). Πρακτικά, ο χώρος που δεσμεύεται από μια Α/Γ ονομαστικής ισχύος

3MW, εντός του οποίου δεν επιτρέπει την πραγματοποίηση άλλων δραστηριοτήτων, είναι ένα τετράγωνο διαστάσεων  $40m \times 40m = 1600m^2$  (Katsaprakakis, 2012). Παρόλα αυτά, σε πολλές μονάδες στην Ευρώπη, η γη καλλιεργείται μέχρι και τα θεμέλια των Α/Γ προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο χώρος που καταλαμβάνεται από αυτές. Υπό το πρίσμα αυτό, οι μονάδες αιολικής ενέργειας θεωρούνται κυρίως παρεμβατικές και όχι εντατικές, επηρεάζουν δηλαδή περισσότερο ποιοτικά, παρά ποσοτικά την γη που καταλαμβάνουν (Manwell et al., 2009).

Εντούτοις, η κατασκευή ενός συστήματος αιολικής ενέργειας μπορεί να δημιουργήσει περαιτέρω περιορισμούς στις χρήσεις γης μιας περιοχής. Λόγου χάρη, χώροι που φιλοξενούν πάρκα παρατήρησης ή διαφύλαξης της άγριας ζωής, δεν μπορούν συνήθως να συνυπάρξουν με τις ανεμογεννήτριες (Guan, 2022), ενώ ένα άλλο ζήτημα είναι η απαγόρευση ορισμένων ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε κοντινές περιοχές για λόγους ασφαλείας (Κορωνάιος, 2012). Γενικά, οι παράγοντες που καθορίζουν τις πιθανές χρήσεις γης είναι η τοπογραφία-γεωγραφία της περιοχής, η ύπαρξη ευαίσθητων σημείων (περιοχές με μεγάλη φυσική ομορφιά, αρχαιολογικοί χώροι κ.α.), η διάταξη και ο αριθμός των ανεμογεννητριών, η ένταση της κίνησης των πτερυγίων και η τοποθεσία των συμπληρωματικών εγκαταστάσεων συμπεριλαμβανομένων των δρόμων προσπέλασης και των γραμμών ηλεκτρικού ρεύματος (Manwell et al., 2009, Rivkin et al., 2013).

Ο προσδιορισμός της έκτασης που απαιτείται για την εγκατάσταση μιας μονάδας μπορεί να μετρηθεί σε μονάδες εμβαδού, ανά μονάδες παραγόμενης ενέργειας, και εξαρτάται από τους κανονισμούς τοποθέτησης και διάταξης των τουρμπινών. Οι Fthenakis & Kim (2009) αναφέρουν πως αν θεωρήσουμε ως μέση διάρκεια ζωής των έργων τα 30 έτη, οι απαιτήσεις σε γη ανεμογεννήτριας ονομαστικής ισχύος 0,5MW είναι  $5,5 m^2/GWh$  και  $1,84 m^2/GWh$  για Α/Γ ονομαστικής ισχύος 1.65MW. Διαφορετικές έρευνες υποστηρίζουν επίσης, πως αύξηση της ονομαστικής ισχύος των στροβίλων μπορεί να αυξήσει την αποδοτικότητα της χρήσης γης. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2) αναγράφεται η έκταση της γης που απαιτείται ετησίως για την παραγωγή ενός GWh ηλεκτρικής ενέργειας από διαφορετικές τεχνολογίες (Katsaprakakis, 2012).

Πίνακας 2: Δέσμευση γης ( $m^2 \text{year}/GWh$ παραγόμενης ηλ. ενέργειας)	
Μονάδα παραγωγής ενέργειας	Απαιτούμενη έκταση
Καλλιέργεια βιομάζας	380.000

Πυρηνική μονάδα	300.000
Επιφανειακή εξόρυξη άνθρακα	1.290-25.200
Παραγωγή ενέργειας με φυσικό αέριο	4.200
Φωτοβολταϊκό πάρκο με κυψέλη απόδοσης 13%	9.900
Αιολικό πάρκο	2.040
Υδροηλεκτρική μονάδα	2.350-25.000

Ο προσδιορισμός της

έντασης της χρήσης γης μπορεί να γίνει ακόμη και μέσω του υπολογισμού της έκτασης που χρησιμοποιείται ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος. Στην περίπτωση των αιολικών πάρκων, η συνολική έκταση γης μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ  $4 - 32 \times 10^4 \text{ m}^2$  ανά MW ονομαστικής ισχύος (Manwell et al., 2009) ή μεταξύ  $12-56 \times 10^4 \text{ m}^2$  ανά MW ονομαστικής ισχύος (Denholm et al., 2009). Ωστόσο, η άμεση χρήση γης, η οποία οφείλεται κυρίως στους βοηθητικούς δρόμους και τον συμπληρωματικό εξοπλισμό δεν ξεπερνά τα  $1,7 \times 10^4 \text{ m}^2$  ανά MW ονομαστικής ισχύος και μπορεί να φτάσει τα  $0,3 \times 10^4 \text{ m}^2$  ανά MW ονομαστικής ισχύος (Denholm et al., 2009).

### 3.4.5 Επιπτώσεις σχετικά με την χρήση φυσικών πόρων

Όπως προαναφέρθηκε, οι ανεμογεννήτριες είναι ιδιαίτερα πολύπλοκες εγκαταστάσεις, αποτελούμενες από περίπου 25.000 εξαρτήματα, με τα υλικά που απαιτούν και τις ποσότητες αυτών να διαφοροποιούνται, ανάλογα με τον εκάστοτε σχεδιασμό. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψιν την εκτεταμένη ανάπτυξη που έχει και θα συνεχίσει να έχει η αιολική ενέργεια, δεν μπορεί να παραμεληθεί η επίπτωση της στην κατανάλωση πρώτων υλών (Razdan & Garrett, 2017). Συνήθως, οι ανεμογεννήτριες αποτελούνται κυρίως από χάλυβα (71%-79%), υαλοβάμβακα, ρητίνη, ή πλαστικό (11%-16%), σίδηρο ή χυτοσίδηρο (5%-17%), χαλκό (1%) και αλουμίνιο (1%) (Verma et al., 2022). Παρακάτω αναφέρονται τα υλικά που απαιτούνται για τα σημαντικότερα τμήματα μιας Α/Γ τα οποία συνοψίζονται στον Πίνακα 3.

Για την θεμελίωση των χερσαίων αιολικών μηχανών κατασκευάζονται μεγάλες πλατφόρμες από οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι οπλισμοί χάλυβα που χρησιμοποιούνται αντιπροσωπεύουν το 3-5% της κατασκευής, ενώ το υπόλοιπο είναι σκυρόδεμα (Andersen, 2015). Βέβαια, η διάμετρος και το βάθος των θεμελίων και κατά συνέπεια ο όγκος των υλικών που χρησιμοποιούνται, εξαρτώνται από τον τύπο του πύργου και τα χαρακτηριστικά του εδάφους στην περιοχή της εγκατάστασης. Ενδεικτικά αναφέρεται, πως για στρόβιλο ονομαστικής ισχύος 2.3 MW, οι

απαιτήσεις του τμήματος αυτού σε σκυρόδεμα είναι περίπου 1.090 τόνοι και σε χάλυβα 52 τόνοι (Zimmermann & Göbbling-Reisemann, 2012).

Όσον αφορά των πύργο, η πλειοψηφία των εγκατεστημένων Α/Γ φέρει σωληνοειδή πύργο κατασκευασμένο από ατσάλι. Τα υλικά που εντοπίζονται σε αυτόν τον τύπο πύργου είναι ατσάλι (95-100 %), αλουμίνιο (0-2 %), χαλκός (0-1 %) και πλαστικά ενισχυμένα με γυαλί (0-4 %). Επιπλέον, η παραγωγή του χάλυβα αυτού προϋποθέτει την κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων σιδήρου αλλά και άλλων μετάλλων όπως νικελίου, μολυβδαινίου, χρωμίου και μαγγανίου, τα οποία εισάγονται ως κραματικές προσθήκες (Carrara et al., 2020). Όμως, με αύξηση του ύψους του πύργου, άνω των 100 μέτρων, εναλλακτικές όπως, πύργοι από σκυρόδεμα και υβριδικοί πύργοι ατσαλιού – σκυροδέματος έχουν καλύτερα χαρακτηριστικά (Way & vanZijl, 2015; Andersen, 2015).

Τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα υλικά για την κατασκευή των πτερυγίων, είναι συνθετικά υλικά από υαλοβάμβακα και ενισχυμένο πλαστικό, καθώς είναι ελαφριά ανθεκτικά και δεν διαβρώνονται εύκολα (Ghenai, 2012). Ακόμη παρατηρείται χρήση ατσαλιού ή αλουμινίου, σε μικρότερες, όμως, ποσότητες (Zimmermann & Göbbling-Reisemann, 2012).

Το κέλυφος, το οποίο περιέχει τον απαραίτητο εξοπλισμό για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, αντιπροσωπεύει το 25-40% του συνολικού βάρους της Α/Γ. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για το τμήμα αυτό είναι κυρίως: αλουμίνιο, χυτοσίδηρος, χαλκός, πλαστικό, ανοξειδωτος χάλυβας και κράματα χάλυβα. Οι επιπτώσεις στην κατανάλωση πρώτων υλών διαφοροποιούνται, ανάλογα με τον τύπο γεννήτριας και κιβωτίου ταχυτήτων που χρησιμοποιείται (Willburn, 2011). Παρακάτω αναλύονται οι απαιτήσεις σε πρώτες ύλες των γεννητριών που λειτουργούν με μόνιμους μαγνήτες.

Η σημαντικότερη επίπτωση των ανεμογεννητριών στους φυσικούς πόρους θεωρείται η κατανάλωση σπάνιων γαιών και βορίου, στις μηχανές που λειτουργούν με μόνιμους μαγνήτες. Υπάρχουν διάφοροι τύποι μόνιμων μαγνητών που βρίσκουν εφαρμογή στις Α/Γ όπως σαμάριου-κοβάλτιου (SmCo) και νεοδυμίου-σιδήρου-βορίου (NdFeB), με τον δεύτερο τύπο (NdFeB) να βρίσκει πιο ευρεία εφαρμογή καθώς είναι δυόμιση φορές ισχυρότερος από τον πρώτο (Farina & Anctil, 2022). Μαγνήτες του τύπου NdFeB αποτελούνται από περίπου 66% σίδηρο (Fe), 28.5% νεοδύμιο (Nd), 4,4% δυσπρόσιο (Dy) και 1% βόριο (B) και μπορεί να φτάσουν το βάρος των 4 τόνων (Verma et al., 2022). Αξίζει να αναφερθεί, πως από τις σπάνιες γαίες που



χρησιμοποιούνται, το νεοδύμιο είναι σπανιότερο από το δυσπρόσιο (Koltun & Tharumarajah, 2014). Τέλος, δευτερεύουσας σημασίας χρήση σπάνιων γαιών μπορεί να παρατηρηθεί σε μαγνήτες εντός του πύργου του στροβίλου για τη σύνδεση εσωτερικών εξαρτημάτων (Carrara et al., 2020).

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3) παρουσιάζονται συνοπτικά οι πρώτες ύλες που αξιοποιούνται για την κατασκευή των μονάδων, καθώς και η διεργασία στην οποία χρησιμοποιούνται (Pavel et al., 2020; Carrara et al., 2020; Verma et al., 2022; Farina & Anctil, 2022).

<b>Πίνακας 3. Υλικά κατασκευής Α/Γ και το τμήμα που χρησιμοποιούνται</b>		
<b>Υλικό</b>		<b>Διεργασία</b>
<b>ΧΑΛΥΒΑΣ</b>	Σίδηρος (Fe)	Παραγωγή χυτοσιδήρου και ανοξειδώτου ή μη, χάλυβα, για την κατασκευή του δρομέα, του κελύφους, του πύργου και των θεμελίων
	Νικέλιο (Ni)	
	Μολυβδαίνιο (Mo)	
	Χρόμιο (Cr)	
	Μαγγάνιο (Mn)	
	Νιόβιο (Nb)	
Αλουμίνιο (Al)		Κατασκευή των περυγίων και άλλων τμημάτων (πύργος, κέλυφος κ.α.) και παραγωγή καλωδίων
Χαλκός (Cu)		Περιελίξεις πηνίων, κατασκευή καλωδίων υψηλής τάσης και για γείωση
Μόλυβδος (Pb)		Επένδυση των καλωδίων μεταφοράς ενέργειας στις υπεράκτιες εγκαταστάσεις
<b>ΜΟΝΙΜΟΙ ΜΑΓΝΗΤΕΣ</b>	Σαμάριο (Sm)	Κατασκευή των μόνιμων μαγνητών που χρησιμοποιούνται στις γεννήτριες
	Κοβάλτιο (Co)	
	Σίδηρος (Fe)	
	Νεοδύμιο (Nd)	
	Βόριο (B)	
	Δυσπρόσιο (Dy)	

### 3.4.6 Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

Ομοίως με την ηλιακή, έτσι και η αιολική ενέργεια είναι υπεύθυνη για ένα μερίδιο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Όπως προαναφέρθηκε, η αιολική ενέργεια θεωρείται μια περιβαλλοντικά καθαρή μορφή ενέργειας καθώς, κατά την λειτουργία των τεχνολογιών εκμετάλλευσης της, δεν παράγονται άμεσα εκπομπές. Παρόλα αυτά, η συνολική μελέτη των αιολικών μονάδων φανερώνει πως υπάρχουν πολλά στάδια μέσα στον κύκλο ζωής τους από τα οποία παράγονται εκπομπές, όπως είναι η συλλογή και η επεξεργασία των πρώτων υλών, η κατασκευή και η μεταφορά των διάφορων τμημάτων, η συναρμολόγηση της εγκατάστασης, η θεμελίωση και διαμόρφωση του εδάφους, η συντήρηση και διαχείριση του τέλους του κύκλου ζωής των Α/Γ (παροπλισμός, ανακύκλωση/επαναχρησιμοποίηση και τελική διάθεση) (Kadiyala et al., 2017). Οι εν λόγω εκπομπές, βέβαια, δεν παραμένουν σταθερές και η έντασή τους εξαρτάται από τρεις βασικούς παράγοντες (Bhandari et al., 2020):

- Τις συνθήκες παραγωγής και την παραγωγική διαδικασία
- Το σχέδιο και το μέγεθος της εγκατάστασης
- Τις τοπικές αιολικές συνθήκες

Οι περισσότερες έρευνες δείχνουν πως η φάση λειτουργίας των αιολικών συστημάτων παράγει αμελητέες ποσότητες ισοδύναμου CO<sub>2</sub>. Αντιθέτως, η φάση κατασκευής τους είναι που ευθύνεται για την πλειοψηφία των εκπομπών. Πιο συγκεκριμένα, οι ανάγκες σε ενέργεια που εμφανίζονται στο στάδιο αυτό, για την κατασκευή των εξαρτημάτων μιας Α/Γ καλύπτονται συνήθως με ορυκτά καύσιμα και επομένως συνοδεύονται από έντονες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η παραγωγή των τεσσάρων κυριότερων τμημάτων μιας Α/Γ, δηλαδή του δρομέα, του κελύφους, του πύργου και της βάσης στήριξης απαιτεί το 84,4% της συνολικής πρωτογενούς ενέργειας που χρησιμοποιείται. Από τα τμήματα αυτά, η κατασκευή του πύργου είναι με διαφορά η πιο ενεργοβόρα, καθώς για αυτήν καταναλώνεται έως και το 55% της ενεργειακής ζήτησης ενός αεροστροβίλου (Guezurag et al., 2012). Η κατασκευή του κελύφους είναι η δεύτερη πιο ενεργοβόρα διαδικασία και έχει παρατηρηθεί πως τόσο στις χερσαίες όσο και στις υπεράκτιες ανεμογεννήτριες, οι εκπομπές αυξάνονται με την προσθήκη κιβώτιου ταχυτήτων σε αυτήν. Όσον αφορά την βάση στήριξης των Α/Γ, η ύπαρξη ποσοτήτων χάλυβα στην πλατφόρμα

στήριξης ή την θεμελίωση, μπορεί να αυξήσει τα επίπεδα των αέριων εκπομπών (Bhandari et al., 2020; Bonou et al., 2016).

Εκτός από αυτούς που αναλύθηκαν προηγουμένως, πολλοί είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν τα ποσά του εκλυόμενου ισοδύναμου CO<sub>2</sub>. Η κατάλληλη χρήση των υλικών φαίνεται πως μπορεί να επηρεάσει τα επίπεδα των εκπομπών. Παραδείγματος χάριν, η χρήση τσιμέντου αντί χάλυβα στην κατασκευή του πύργου, μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των εκπομπών ισοδύναμου CO<sub>2</sub> έως και 26%, ενώ έρευνες υποστηρίζουν πως η χρήση μικρότερων ποσοτήτων κατασκευαστικών υλικών μπορεί να έχει επίσης αντίστοιχο αποτέλεσμα (Bhandari et al., 2020). Επιπλέον, γίνεται ευκολά αντιληπτό πως, αφού οι περισσότερες εκπομπές οφείλονται στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, το μίγμα καυσίμου που χρησιμοποιείται στην περιοχή της εγκατάστασης είναι καθοριστικό για το ποσό των αερίων που εκλύονται (Lenzen & Munksgaard, 2002). Τέλος, έρευνες υποστηρίζουν ότι μείωση των εκπομπών μπορεί να επέλθει και μέσω της ανακύκλωσης των ανεμογεννητριών (Al-Behadili & El-Osta, 2015).

Υπολογίζεται πως τα χερσαία αιολικά συστήματα απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα 7.8–16g ισοδύναμου CO<sub>2</sub>/kWh και τα υπεράκτια αιολικά πάρκα 12-23 g ισοδύναμου CO<sub>2</sub>/kWh (UNECE, 2021). Στην περίπτωση που στην μονάδα περιλαμβάνεται και συσκευή αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, οι εκπομπές αυξάνονται στα 35 – 41g ισοδύναμου CO<sub>2</sub>/kWh (Turconi et al., 2013). Ακόμα, στις εκπομπές αυτές υπολογίζεται ότι περιέχονται 0.01–0.02 g NO<sub>x</sub>/kWh και 0.036–0.04g SO<sub>2</sub>/kWh (Sokka et al., 2016). Αξίζει ωστόσο να αναφερθεί, πως οι παραπάνω τιμές μπορεί να μεταβάλλονται, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της κάθε εγκατάστασης, το μίγμα καυσίμου της περιοχής και με την μέθοδο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό τους (Turconi et al., 2013). Λόγου χάρι, θεωρώντας πως ένα αιολικό πάρκο έχει διάρκεια ζωής 20 χρόνια και η συνολική παραγόμενη ενέργεια από αυτό είναι ίση με 250 GWh, οι εκπομπές που θα παράγονταν θα ήταν 16.5g CO<sub>2</sub>/kWh, 0.03gSO<sub>2</sub>/kWh και 0.05gNO<sub>x</sub>/kWh στην περίπτωση που το πάρκο είναι υπεράκτιο και 9.7g CO<sub>2</sub>/kWh, 0.02g SO<sub>2</sub>/kWh και 0.03g NO<sub>x</sub>/kWh στην περίπτωση που το πάρκο είναι χερσαίο (Schleisner, 2000).

Σε αυτό το σημείο πρέπει να γίνει κατανοητό, πως οι εκπομπές που παράγονται από την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, είναι σχεδόν αμελητέες, συγκρινόμενες με αυτές από την αξιοποίηση των ορυκτών πόρων. Μάλιστα, το παραγόμενο διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να απορροφηθεί από τα δέντρα μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης, εκμηδενίζοντας πρακτικά,

τις εκπομπές των αιολικών μονάδων (Saidur et al., 2011). Μελέτες που πραγματοποιήθηκαν με βάση τα πρότυπα της κινέζικης αγοράς έδειξαν, πως για την παραγωγή του ίδιου ποσού ηλεκτρικής ενέργειας, τα αιολικά πάρκα θα απελευθέρωναν μόλις το 1/40 των εκπομπών που θα παράγονταν από ένα συμβατικό σύστημα παραγωγής ενέργειας, εξοικονομώντας ταυτόχρονα πολλά χρήματα που θα αξιοποιούνταν για την μετρίαση των εκπομπών αυτών. Αυτό μεταφράζεται σε μείωση των εκπομπών των αέριων ρύπων CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> και PM<sub>10</sub> κατά 97.48%, 80.38%, 57.31% και 30.91% αντίστοιχα (Xue et al., 2015).

### **3.4.7 Ηχητική όχληση**

Είναι ευρέως αποδεκτό, πως η ηχορύπανση που προκαλείται από τις ανεμογεννήτριες πρόκειται για το βασικότερο μειονέκτημα της αιολικής ενέργειας. Ο παραγόμενος θόρυβος συνδέεται με αρκετά προβλήματα που αφορούν κυρίως την ανθρώπινη ευημερία (π.χ. διατάραξη ύπνου, ευερεθιστότητα κ.α.), την αξία της γης εντός της ακτίνας της ηχορύπανσης, την χωροθέτηση των αιολικών πάρκων κ.α. (Κορωναίος, 2012).

#### **3.4.7.1 Κατηγορίες παραγόμενου θορύβου**

Υπάρχουν αρκετοί τύποι ήχων που μπορεί να δημιουργηθούν κατά τη φάση λειτουργίας των αιολικών μονάδων. Σε αυτούς συγκαταλέγονται οι τονικοί ήχοι, οι ευρυζωνικοί ήχοι, οι υπόηχοι ή ήχοι χαμηλής συχνότητας και οι παρορμητικοί ήχοι. Ακόμα, ο θόρυβος που παράγεται από τους αεροστρόβιλους κατηγοριοποιείται με βάση την πηγή προέλευσής του σε αεροδυναμικό και μηχανικό (Rogers et al., 2006).

Αεροδυναμικός θόρυβος, καλείται ο τύπος θορύβου που προκαλείται από την αλληλεπίδραση της ροής του ανέμου με τα πτερύγια της Α/Γ. Μπορεί να κατηγοριοποιηθεί στον θόρυβο που προκαλείται από την διατάραξη του ανέμου εισροής και στον θόρυβο που παράγεται από την κίνηση των πτερυγίων και είναι κατά κυρίως (Deshmukh et al., 2019). Ο θόρυβος αυτός μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες, όπως την κατεύθυνση σύγκρουσης του αέρα με τις έλικες και την ταχύτητα του ανέμου και εξαρτάται από τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά των πτερυγίων. Σε γενικές γραμμές, ο αεροδυναμικός θόρυβος δεν ελέγχεται με ευκολία, αλλά μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με κατάλληλη σχεδίαση (Oerlemans et al., 2007).

Μηχανικός θόρυβος καλείται ο τύπος θορύβου που προκαλείται από τα μηχανικά εξαρτήματα της ανεμογεννήτριας που βρίσκονται εντός του κελύφους, όπως είναι το κιβώτιο ταχυτήτων, οι ανεμιστήρες ψύξης και άλλες βοηθητικές συσκευές, και είναι κατά κύριο λόγο τονικός (Deshmukh et al., 2019). Σε αντίθεση με τον αεροδυναμικό, ο μηχανικός θόρυβος μπορεί να περιοριστεί με αρκετά μεγάλη επιτυχία, μέσω ελέγχου των δονήσεων, εσωτερικής ηχομονωτικής επένδυσης και περιορισμού των τρυπών του κελύφους, χρήσης γραναζιών πλάγιας οδόντωσης, ενώ γίνεται και αναφορά σε τεχνικές ελέγχου του θορύβου μέσω συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης (Jianu et al., 2012, Κορωνάιος, 2012; Μπινόπουλος & Χαβιαρόπουλος, 2006; Jianu & Rosen, 2017).

Μια τυπική, σύγχρονη ανεμογεννήτρια, βιομηχανικών προδιαγραφών, εκπέμπει θόρυβο της τάξης των 95-105dB, ο οποίος είναι κατά κύριο λόγο αεροδυναμικός και λιγότερο μηχανικός. Ειδικότερα, στις σύγχρονες ανεμογεννήτριες μηχανικός θόρυβος εντοπίζεται μονάχα σε περίπτωση μηχανικής βλάβης (Katsaprakakis, 2012). Βέβαια, θόρυβος παράγεται και κατά το στάδιο κατασκευής των μονάδων άλλα δεν εξετάζεται στην παρούσα ενότητα, καθώς εντοπίζεται σε οποιασδήποτε εγκατάστασης μεγάλης κλίμακας και είναι παροδικός.

### **3.4.7.2 Χαρακτηριστικά διάδοσης θορύβου**

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την διάδοση του θορύβου και κατά συνέπεια, η ένταση αυτού στα σημεία που μπορεί να δημιουργεί όχληση δεν είναι ίδια με την ένταση της πηγής, ούτε παραμένει σταθερή. Με άλλα λόγια, ο θόρυβος των στροβίλων είναι ανιχνεύσιμος μόνο υπό ορισμένες συνθήκες, γεγονός που μπορεί να αξιοποιηθεί για την ελαχιστοποίηση των ακουστικών επιπτώσεων.

Όπως είναι εμφανές, η ένταση του ήχου μειώνεται ραγδαία με αύξηση της απόστασης από την πηγή. Σε απόσταση μεγαλύτερη των 400m, ο αντιληπτός θόρυβος από τους σύγχρονους στροβίλους είναι μικρότερος των 40dB και δεν δημιουργεί έντονα προβλήματα όχλησης (Ellenbogen et al., 2012). Ο αριθμός των στροβίλων φαίνεται να επηρεάζει επίσης τα επίπεδα της ηχορύπανσης, με πολύ ηπιότερο όμως τρόπο, καθώς, ο διπλασιασμός της ηχητικής ισχύος αυξάνει τα επίπεδα θορύβου κατά μόλις 3dB. Έτσι, παραδείγματος χάριν, δύο Α/Γ που παράγουν θόρυβο ύψους 120dB η καθεμία, σε συνδυασμό θα παράγουν 123dB και η μεταβολή αυτή να μπορεί να είναι αμελητέα σε μεγάλες αποστάσεις (Alberts, 2006). Ορισμένα

χαρακτηριστικά στην κίνηση του ανέμου διαδραματίζουν επίσης σημαντικό ρόλο για την διάδοση του θορύβου. Αρχικά, παρατηρούνται διαφορές στην διάδοση του θορύβου, αναλόγως του αν η κατεύθυνσή του ανέμου είναι ομόρροπη ή αντίρροπη της κατεύθυνσης του ήχου προς τον δέκτη (Evans & Cooper, 2012). Ακόμα, ο παραγόμενος θόρυβος εξαρτάται άμεσα από την ταχύτητα του ανέμου. Είναι εμφανές πως, υπό συνθήκες πλήρους ή μερικής άπνοιας, οι ανεμογεννήτριες δεν κινούνται και επομένως, η παραγωγή θορύβου είναι μηδενική. Από την άλλη, για υψηλές ταχύτητες ανέμου, μεγαλύτερες των 8m/s, ο θόρυβος των αεροστρόβιλων επισκιάζεται από τους φυσικούς θορύβους που προκαλεί ο άνεμος με την κίνηση του (Rogers et al., 2006). Κατά συνέπεια, η ακουστική επιβάρυνση των ανεμογεννητριών δημιουργεί προβλήματα μόνο υπό συνθήκες κίνησης του αέρα με ταχύτητα 3 – 8 m/s (Katsaprakakis, 2012). Επιπρόσθετα, έρευνες έχουν δείξει πως παράγοντες όπως η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία στην ατμόσφαιρα, η ατμοσφαιρική πίεση και οι αντανακλάσεις από φυσικούς σχηματισμούς μπορούν επίσης να επηρεάσουν τα επίπεδα του αντιληπτού θορύβου (Van Renterghem, 2017; Fritzell, 2019).

Τέλος, ιδιαίτερα σημαντική κρίνεται και η επίδραση που έχει ο ήχος του υποβάθρου στα επίπεδα της ηχητικής όχλησης. Αυτό γίνεται αντιληπτό ιδίως κατά τις νυχτερινές ώρες, όταν, λόγω της σταθερότητας της ατμόσφαιρας και της μειωμένης ανθρώπινης δραστηριότητας, ο ήχος υποβάθρου είναι ασθενέστερος με αποτέλεσμα, ο θόρυβος των Α/Γ φαίνεται εντονότερος (Ellenbogen et al., 2012). Στην περίπτωση των υπεράκτιων ή παραθαλάσσιων πάρκων, ο παρασκευαστικός θόρυβος που παράγεται από τα κύματα και την κίνηση του αέρα είναι αρκετά δυνατός, ώστε να επισκιάζει τον θόρυβο των στροβίλων (Dai et al., 2015).

Αποτέλεσμα της διάδοσης του θορύβου στις κατοικημένες περιοχές είναι η δημιουργία ακουστικών οχλήσεων, οι οποίες, αν και δεν συγκαταλέγονται στις επιπτώσεις στην υγεία, μπορούν να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα ζωής των ανθρώπων. Εντούτοις, η ενόχληση αυτή δεν είναι ίδια για όλους τους κατοίκους και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από υποκειμενικούς παράγοντες. Εκτός από τους παράγοντες που επηρεάζουν την διάδοση του ήχου που προαναφέρθηκαν, πολύ σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και η ατομική αντίληψη των κατοίκων σχετικά με την ανάπτυξη των αιολικών τεχνολογιών, τα επίπεδα της οπτικής όχλησης που εκλαμβάνονται από αυτούς, καθώς και η ύπαρξη οικονομικού οφέλους ή ζημίας από την λειτουργία των μονάδων (Karasmanaki, 2022)

#### 3.4.7.4 Συνέπειες της ηχητικής όχλησης στους ανθρώπους

Πολυάριθμες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, δείχνουν πως οι άνθρωποι που κατοικούν σε κοντινή απόσταση από τις αιολικές εγκαταστάσεις, μπορεί να επηρεαστούν με πολλαπλούς τρόπους. Εκτός από την πρόκληση σωματικών συμπτωμάτων, οι Α/Γ συχνά κατηγορούνται και για την επιβάρυνση της ψυχικής υγείας των ανθρώπων, καθώς και για την υποβάθμιση της ποιότητας ζωής των ανθρώπων που κατοικούν εντός της ακτίνας του θορύβου.

Τα κυριότερα σωματικά συμπτώματα που αναφέρονται από τους κατοίκους είναι πονοκέφαλος, κόπωση και σωματικός πόνος. Επιπρόσθετα, σε ερωτηματολόγιο ανοικτού τύπου σημειώνονται - κατά φθίνουσα βαρύτητα - επιπτώσεις στην ακοή και στα αυτιά, καρδιακά συμπτώματα, ζαλάδες, υψηλή αρτηριακή πίεση και ναυτία (Karasmanaki, 2022). Στην έρευνα των Müller et al. (2023), αναφέρεται πως ο θόρυβος των Α/Γ οδηγεί τους κατοίκους της περιοχής σε αδυναμία συγκέντρωσης και μικρότερη παρατεταμένη προσοχή, καθώς και σε μειωμένη εργασιακή αποδοτικότητα. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι η ψυχολογική καταπόνηση των ανθρώπων που ζουν ή εργάζονται κοντά σε αιολικές εγκαταστάσεις μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση αρνητικών συναισθημάτων όπως νευρικότητα, θυμό, ευερεθιστότητα θλίψη, ακόμα και αίσθημα αδικίας (Jeffery et al., 2013; Hübner et al., 2019; Karasmanaki, 2022). Αξίζει να αναφερθεί, πως τέτοιες συνέπειες παρατηρούνται στους κατοίκους και κατά την φάση σχεδιασμού των αιολικών πάρκων, πριν δηλαδή αρχίσει η λειτουργία των Α/Γ (Mroczek et al., 2015). Συνεχίζοντας, είναι σαφές πως η ηχορύπανση από τους στροβίλους συνδέεται στενά με την διατάραξη του ύπνου. Οι κάτοικοι των περιοχών που εκτίθενται σε αυτή συχνά εκφράζουν δυσκολία στο να αποκοιμηθούν ή παράπονα για αυπνία, ενώ σημειώνονται περιπτώσεις διαταραχής ή διακοπής του ύπνου εξαιτίας του θορύβου (Pawlaczyk-Łuszczynska et al., 2018).

#### 3.4.7.5 Νομοθετικό πλαίσιο

Για τον καλύτερο έλεγχο των ακουστικών οχλήσεων από τις Α/Γ και την μετρίαση των επιπτώσεών τους, πολλές κυβερνήσεις ή ιατρικές μονάδες συνιστούν την εγκατάσταση των πάρκων σε μια ελάχιστη απόσταση από τις κοντινές κατοικίες. Η ελάχιστη απόσταση αυτή, βέβαια, διαφέρει μεταξύ των χωρών και εφαρμόζεται μέσω κανονισμών ή παροτρύνσεων από την εκάστοτε κυβέρνηση. Αντίστοιχα, εφαρμόζονται οριοθετήσεις σχετικά με την μέγιστη

ένταση του θορύβου, οι οποίες επίσης μεταβάλλονται από χώρα σε χώρα. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, τα επίπεδα του παραγόμενου θορύβου είναι θεμιτό να διατηρούνται χαμηλότερα από 55dBτην ημέρα και 40dBτην νύχτα (Mariano, 2019), αλλά πολλές φορές τα όρια μπορεί να διαφοροποιούνται ανάλογα με την περιοχή της εγκατάστασης, τον τύπο των γειτονικών κατοικιών (αστικές, αγροτικές περιοχές κ.α.) και την ταχύτητα του αέρα. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4) συνοψίζονται περιορισμοί που σε ορισμένες χώρες (Barclay, 2012; Peri & Tal, 2021; [https://mn.gov/eera/web/project-file?legacyPath=/opt/documents/Summary\\_Wind\\_Chart\\_by\\_Country.pdf](https://mn.gov/eera/web/project-file?legacyPath=/opt/documents/Summary_Wind_Chart_by_Country.pdf), πρόσβαση:31-3-2023).

<b>Πίνακας 4. Όρια ελάχιστης απόστασης και μέγιστης έντασης θορύβου διάφορων χωρών</b>			
<b>Περιοχή</b>	<b>Απόσταση (m)</b>	<b>Ένταση (dB)</b>	<b>Απαίτηση/Σύσταση</b>
<b>Αγγλία</b>	350	35-45 ή 5 πάνω από τον παρασκηνακό θόρυβο	Σύσταση
<b>Σκωτία</b>	2000		Σύσταση
<b>Ουαλία</b>	500	5 παραπάνω από τον παρασκηνακό θόρυβο	Σύσταση
<b>Ιρλανδία</b>	4 φορές το ύψος της Α/Γ	35-45 ή 5 πάνω από τον παρασκηνακό θόρυβο	Σύσταση
<b>Γερμανία</b>	Μεταξύ 300 και 1500, αναλόγως με την περιοχή	35-50την νύχτα και 45-65την ημέρα	Ανάλογα με την περιοχή
<b>Βέλγιο</b>	3 φορές την διάμετρο του ρότορα (Φλάνδρα) 4 φορές το ύψος της Α/Γ (Βαλλόνια)	-	Απαίτηση
<b>Ισπανία</b>	500 από μεμονωμένες κατοικίες <1000 από αστικές περιοχές	45-50	Απαίτηση
<b>Ιταλία</b>	200 από μεμονωμένες κατοικίες 6 φορές το ύψος της Α/Γ από πόλεις	-	Απαίτηση
<b>Γαλλία</b>	500	25	Απαίτηση
<b>Ελλάδα</b>	500-1500	40	Απαίτηση
<b>Πορτογαλία</b>	200	45-55την νύχτα και 55-65την ημέρα	Απαίτηση ορίου θορύβου Σύσταση ελάχιστης απόστασης
<b>Δανία</b>	4 φορές το ύψος της Α/Γ	45	Απαίτηση
<b>Ολλανδία</b>	4 φορές το ύψος του πύργου	42την νύχτα και 47την ημέρα	Απαίτηση για ορίου θορύβου Σύσταση για ελάχιστη απόσταση
<b>Ρουμανία</b>	Μεταξύ ύψους πύργου + μήκους περυγίων + 3m και 3φορές το ύψους του πύργου	-	Απαίτηση
<b>Πολωνία</b>	10 φορές το ύψος της Α/Γ	-	Απαίτηση
<b>Σουηδία</b>	500 από μεμονωμένες κατοικίες 1000 από αστικές περιοχές	40	Σύσταση

### 3.4.8 Οπτικές επιπτώσεις



Το αν οι ανεμογεννήτριες προσβάλουν το φυσικό τοπίο και δημιουργούν αισθητικά προβλήματα γενικότερα, πρόκειται για ένα θέμα το οποίο έχει λάβει μεγάλες διαστάσεις και είναι δύσκολο να προσδιοριστεί. Πηγή του προβλήματος, αποτελούν το μεγάλο μέγεθος των ανεμογεννητριών, σε συνδυασμό με την θέση στην οποία αυτές τοποθετούνται, εφόσον αυτή δεν βοηθά στην ενσωμάτωση τους στο τοπίο και τις καθιστά ορατές από μεγάλες αποστάσεις. Στις οπτικές επιπτώσεις, επιπλέον, συνεισφέρει το αναγκαίο δίκτυο μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται (Katsaprakakis, 2012) (Εικόνα 21). Παρόλα αυτά, αν και η χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών



Εικόνα 17. Οπτική όχληση από αιολικό πάρκο

Πληροφοριών βοηθά σημαντικά στον προσδιορισμό των οπτικών επιπτώσεων, η όχληση που προκαλείται από ένα αιολικό πάρκο είναι υποκειμενική, και εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων, οι οποίοι περιγράφονται παρακάτω (Nazir et al., 2020).

Πηγή: <https://www.greenorbits.com/do-wind-turbines-cause-visual-pollution/>

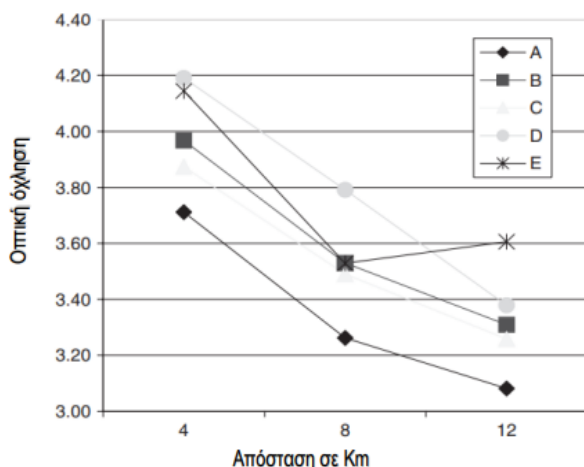
Αρχικά, η θέση τοποθέτησης του αιολικού πάρκου είναι ένας από τους πιο καθοριστικούς παράγοντες. Περιοχές φυσικής διατήρησης ή αξιοσημείωτης φυσικής ομορφιάς καθώς και εθνικά ή φυσικά πάρκα πρέπει να αποφεύγονται, καθώς είναι περισσότερο επιρρεπή στις οπτικές επιπτώσεις από την εγκατάσταση και την λειτουργία των μονάδων. Αντίθετα, έχει παρατηρηθεί πως η εγκατάσταση αιολικών πάρκων σε περιοχές χαμηλού φυσικού κάλλους, μπορεί να έχει θετική επίδραση στην αισθητική αποδοχή του κοινού (Lothian, 2008). Επιπρόσθετα, η διάταξη του πάρκου πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να βελτιώνει την επιλεγόμενη θέση της εγκατάστασης. Περιοχές με έντονο ανάγλυφο πρέπει να αντιμετωπίζονται διαφορετικά από ανοικτές εκτάσεις όπως οι πεδιάδες, έτσι ώστε να μετριάζεται η οπτική ρύπανση, μέσω της κατάλληλης χωροθέτησης των στροβίλων (Guan, 2022).

Σημαντικοί παράγοντες φαίνεται πως είναι επίσης, το χρώμα των Α/Γ και η αντίθεση που δημιουργείται μεταξύ αυτών και του τοπίου. Ερευνητές αναφέρουν πως η ύπαρξη μεγάλης χρωματικής αντίθεσης αυξάνει την ένταση της οπτικής όχλησης, αλλά και την ελάχιστη

απόσταση από την οποία οι στρόβιλοι είναι ορατοί, γεγονός που ωθεί τους κατασκευαστές στην παραγωγή Α/Γ που να ενσωματώνονται, όσο το δυνατόν περισσότερο στο τοπίο. Έτσι, στους περισσότερους στρόβιλους δίνεται ένα άσπρο προς ανοιχτό γκρι χρώμα, το οποίο απορροφάται καλύτερα από το χρώμα του ορίζοντα. Μάλιστα, για την ελαχιστοποίηση των χρωματικών αντιθέσεων, οι Α/Γ βάφονται πράσινες στη βάση τους, ώστε να “δένουν” με το χρώμα του εδάφους και σταδιακά αλλάζουν προς το ανοιχτό γκρι. Αξίζει να αναφερθεί, πως η καλύτερη ενσωμάτωση των ανεμογεννητριών στο τοπίο δημιουργεί ανησυχίες σχετικά με την αύξηση της θνησιμότητας των πουλιών, λόγω της αδυναμίας αυτών να εντοπίσουν τις μονάδες σε ασφαλή απόσταση. Κάτι τέτοιο, ωστόσο, δεν έχει ακόμη αποδειχθεί, και χρειάζεται περαιτέρω μελέτη (Saidur et al., 2011; Sullivan et al., 2013).

Όπως είναι εμφανές, εκτός του χρώματος, το ίδιο το μέγεθος των ανεμογεννητριών έχει άμεση αναλογία με τις οπτικές του επιπτώσεις. Οι Α/Γ είναι μεγάλες, ογκώδεις κατασκευές και κάτω από ορισμένες συνθήκες μπορούν να είναι ορατές από ακτίνα αρκετών χιλιομέτρων (Tsoutsos, 2009). Όμως, οι αρνητικές επιδράσεις τους στο οπτικό περιβάλλον είναι αντιστρόφως ανάλογες της απόστασης. Σε απόσταση 2km οι ανεμογεννήτριες είναι κυρίαρχα στοιχεία στο τοπίο και έως και απόσταση 8km είναι εύκολα εντοπίσιμες. Σε απόσταση μεταξύ 8 και 12km αν και εμφανείς δεν είναι έντονα παρεμβατικές και σε αποστάσεις μεταξύ 12 και 18km δεν δημιουργούν ζητήματα όχλησης (Mirasgedis et al., 2014).

Ακόμα, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες μπορεί να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό την απόσταση από την οποία είναι ορατή μια ανεμογεννήτρια και κατά συνέπεια, παίζουν καθοριστικό ρόλο στα επίπεδα της οπτικής όχλησης που δημιουργούνται από αυτή. Είναι προφανές, ότι σε συνθήκες καθαρής ατμόσφαιρας και καλού φωτισμού, οι επιπτώσεις είναι πολύ μεγαλύτερες από ότι θα ήταν σε περίπτωση πυκνής ομίχλης, ή κατά τη διάρκεια της νύχτας. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα διάγραμμα (Διάγραμμα 1) στο οποίο παρατίθενται τα επίπεδα της οπτικής όχλησης για διαφορετικές αποστάσεις και ατμοσφαιρικές συνθήκες. Στο υπόμνημα φαίνονται οι ατμοσφαιρικές συνθήκες για κάθε περίπτωση, ξεκινώντας από πυκνή ομίχλη που σχεδόν κρύβει τις ανεμογεννήτριες (Α) και καταλήγοντας σε καθαρή ατμόσφαιρα με μαύρα σύννεφα πίσω από την ανεμογεννήτρια (Ε). Ενδεικτικά αναφέρεται, ότι μια μέση αντίδραση στις οπτικές επιπτώσεις των ανεμογεννητριών αντιστοιχεί στην τιμή 3.0 του διαγράμματος (Bishop & Miller, 2007).



Διάγραμμα 1. Οπτική όχληση συναρτήσει των ατμοσφαιρικών συνθηκών και της απόστασης.

Πηγή: Bishop & Miller, 2007)

Ένας άλλος παράγοντας οπτικής όχλησης είναι και η ένταση λειτουργίας του πάρκου. Στην περίπτωση που τα πτερύγια των ανεμογεννητριών παραμένουν ακίνητα παρά την ύπαρξη επαρκούς ανέμου, η οπτική ρύπανση που οφείλεται σε αυτές τείνει να γίνεται λιγότερο αποδεκτή. Αντίθετα, ένα αιολικό πάρκο του οποίου οι ανεμογεννήτριες βρίσκονται σε κίνηση, κάνει τον παρατηρητή πολύ πιο δεκτικό στις οπτικές παρεμβάσεις της εγκατάστασης, καθώς αισθάνεται πως αυτή είναι αποδοτική, παραγωγική και εκπληρώνει τον σκοπό της (Katsaprakakis, 2012). Τα παραπάνω ενισχύονται και από της διαπίστωση ορισμένων ερευνών, πως όταν τα πτερύγια κινούνται, δημιουργείται λιγότερη όχληση καθώς δεν είναι το ίδιο εύκολο να εντοπιστούν από τους παρατηρητές (Saidur et al., 2011).

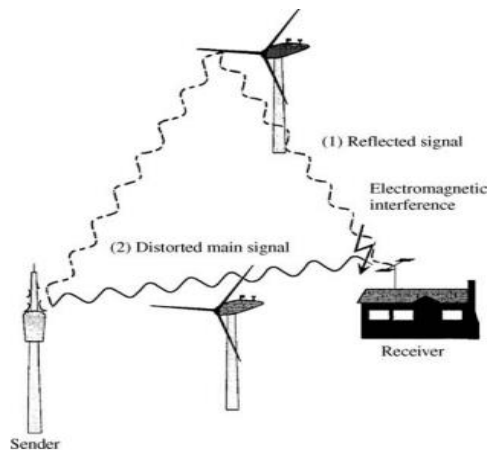
Αξίζει επίσης να αναφερθεί, πως ο βαθμός της όχλησης επηρεάζεται σημαντικά και από την γενικότερη στάση – άποψη του κοινού για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας. Άτομα που θεωρούν τέτοιες ενέργειες ωφέλιμες και έχουν λάβει πιο ολοκληρωμένη ενημέρωση επί του θέματος, τείνουν να αποδέχονται τις Α/Γ πολύ ευκολότερα από άτομα που είναι αρνητικά προδιατεθειμένα (Μπινόπουλος & Χαβιαρόπουλος, 2006).

Τέλος, στις οπτικές συνέπειες των αιολικών πάρκων συγκαταλέγεται και το φαινόμενο της ‘‘τρεμάμενης σκιάς’’. Ο όρος αυτός, περιγράφει την περιοδική παρεμπόδιση του ηλιακού φωτός από τις περιστρεφόμενες έλικες, οδηγώντας στο χαρακτηριστικό τρεμόπαιγμα του φωτός. Το φαινόμενο αυτό, απαιτεί την ύπαρξη φωτός για να εκδηλωθεί και είναι εντονότερο όταν ο ήλιος βρίσκεται κοντά στον ορίζοντα, δηλαδή τις πρωινές ώρες προς την δύση και τις απογευματινές προς την ανατολή (Haac et al., 2022). Αν και δεν έχει ουσιαστικό αντίκτυπο στην οπτική

όχληση, οι περιοδικές σκιάσεις ή οι λάμπειες γίνονται αντιληπτές από τους κατοίκους των κοντινών περιοχών, αυξάνοντας τα επίπεδα της όχλησης που αυτοί βιώνουν (Nazir et al., 2020).

### 3.4.9 Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές

Ως ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, ορίζονται οι ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές οι οποίες διακόπτουν, παρεμποδίζουν και γενικότερα υποβαθμίζουν την λειτουργία ηλεκτρικών συσκευών που χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα και δυσχεραίνουν τις μεταδόσεις των σταθμών τηλεπικοινωνίας (Κορωνάιος, 2012). Συνήθως, οι παρεμβολές παρατηρούνται σε μεταδόσεις τηλεοπτικών ή ραδιοφωνικών εκπομπών, σε «σταθερές ζεύξεις» ραδιοφώνων που εκπέμπουν σε εύρος συχνοτήτων μικροκυμάτων, σε ραντάρ, σε κινητά τηλέφωνα και δορυφορικές υπηρεσίες. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται κυρίως στις έλικες, οι οποίες μπορεί να λειτουργήσουν σαν εμπόδιο, αντανάκλωντας και διασκορπίζοντας τα κύματα αυτά καθώς περιστρέφονται (Manwell et al., 2009) (Εικόνα 22).



Εικόνα 18. Αναπαράσταση παρεμπόδισης και αντανάκλασης ηλεκτρομαγνητικών σημάτων από μια Α/Γ

Πηγή: Manwell et al., 2009

Υπάρχουν πολλές παράμετροι που επηρεάζουν την ένταση των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών, όπως ο τύπος και το μέγεθος της Α/Γ, η γωνία και η γεωμετρία των πτερυγίων και η γεωμετρία του πύργου (Chignell, 1986). Στην πράξη, κυριότερες παράμετροι είναι η περιστροφική ταχύτητα και το υλικό κατασκευής των πτερυγίων (Manwell et al., 2009). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού αποτελούν οι Α/Γ πρώτης γενιάς, οι οποίες έφεραν μεταλλικές έλικες που είναι πολύ ανακλαστικές και προκαλούσαν έντονες ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές σε κοντινές περιοχές. Παρόλα αυτά, με τις τεχνολογικές εξελίξεις στην αιολική ενέργεια, οι επιπτώσεις στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα έχουν ελαχιστοποιηθεί με την κατασκευή πτερυγίων αποκλειστικά από συνθετικά υλικά (Σιωμάδη, 2019).

Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές μπορούν να προκληθούν ακόμη και από τις ίδιες τις ανεμογεννήτριες. Ειδικότερα, τα μόνα τμήματα που θα μπορούσαν εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χαμηλού επιπέδου, είναι ο μετασχηματιστής μέσης τάσης και η ηλεκτρογεννήτρια. Ωστόσο, το παραγόμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο είναι ιδιαίτερα ασθενές και “απλώνεται” σε πολύ περιορισμένη έκταση που δεν εκτείνεται ούτε μέχρι την βάση της ανεμογεννήτριας. Επομένως, θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε πως η εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από μια ανεμογεννήτρια είναι αμελητέα (Katsaprakakis, 2012).

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι με κατάλληλο σχεδιασμό και σωστή χωροθέτηση οποιαδήποτε πιθανά προβλήματα παρεμβολών μπορούν να αποφευχθούν, ή να διορθωθούν με μικρό σχετικά κόστος. Σε ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες μάλιστα, οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται για την εγκατάσταση κεραιών προς διευκόλυνση υπηρεσιών επικοινωνιών (Μπινόπουλος & Χαβιαρόπουλος, 2006).

### **3.4.10 Επιπτώσεις στην ασφάλεια και επαγγελματικά ατυχήματα**

Δεν θα έπρεπε σε καμία περίπτωση να παραληφθούν οι επιπτώσεις που μπορεί να έχουν τα αιολικά πάρκα στην δημόσια και εργασιακή ασφάλεια. Αν και ατυχήματα τέτοιου είδους είναι σπάνια, οι κίνδυνοι που ενέχουν οι αεροστρόβιλοι οφείλονται κατά κύριο λόγο σε αποτυχία κατά το στάδιο της κατασκευής. Παρακάτω περιγράφονται τα κύρια ζητήματα που αφορούν την δημόσια ασφάλεια που σχετίζονται όμως άμεσα και με την εργατική (Manwell et al., 2009).

Ένας από τους πιο σοβαρούς κινδύνους μιας Α/Γ, είναι η *πτώση – εκτόξευση πτερυγίων* ή θραυσμάτων. Αν και τέτοια φαινόμενα παρατηρούνται πολύ σπάνια, αποτελούν τον καθοριστικότερο παράγοντα για τον προσδιορισμό της ελάχιστης απόστασης που θα πρέπει να διατηρείται από τις Α/Γ. Οι συνέπειες της εκτόξευσης πτερυγίων ή συμπληρωματικού εξοπλισμού ενός αεροστρόβιλου είναι άμεσα συνδεδεμένες με την απόσταση που τα τμήματα αυτά θα διανύσουν, πράγμα που εξαρτάται από πλήθος παραγόντων όπως το ύψος εκτόξευσης, το μέγεθος και το βάρος του αποσπώμενου τεμαχίου, την ταχύτητα περιστροφής των πτερυγίων, την ταχύτητα του ανέμου και άλλα (Brouwer et al., 2018).

Εκτός από πτώση των πτερυγίων και άλλων τμημάτων, είναι πιθανή και η *πτώση του πύργου* της ανεμογεννήτριας, γεγονός που οδηγεί στην ισοπέδωση ολόκληρης της κατασκευής. Αν και

οι στρόβιλοι κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να αντέχουν υπό έντονες καταπονήσεις, τυχαία φορτία που οφείλονται σε τυφώνες και καταιγίδες αποτελούν την κυριότερη αιτία αστοχίας. Επιπλέον, μηχανικές ατέλειες σε συνδυασμό με ανθρώπινα ή μηχανικά σφάλματα καθώς και ελαττώματα των υλικών κατασκευής, οδηγούν πολλές Α/Γ στην κατάρρευση ετησίως (Yang et al., 2018).

Η δημόσια ασφάλεια μπορεί να απειληθεί, επίσης, από φαινόμενα *πτώσης ή εκτόξευσης πάγου* από μια Α/Γ. Κάτω από συνθήκες χαμηλών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων με σχετικά υψηλή υγρασία, δεν είναι απίθανος ο σχηματισμός πάγου στα πτερύγια των ανεμογεννητριών. Ο σχηματιζόμενος πάγος μπορεί στη συνέχεια να εκτοξευθεί από τα πτερύγια, λόγω της βαρύτητας, ή της περιστροφικής κίνησης των ελίκων καθώς και από την αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος ή την έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία. Ομοίως με τον κίνδυνο που δημιουργείται από την εκτόξευση των πτερυγίων, κομμάτια πάγου μπορεί να εκτοξευθούν είτε προς τα κάτω αλλά και σε μεγάλη απόσταση που μπορεί να φτάσει και μερικές εκατοντάδες μέτρα, υπό κατάλληλες συνθήκες (Wahl & Giguere, 2006)

Όπως προαναφέρθηκε, η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου είναι προτιμότερη σε άγονες ή αγροτικές περιοχές, καθώς οι συνθήκες εκεί είναι ευνοϊκότερες για την αποδοτική λειτουργία του πάρκου. Ωστόσο, οι υψηλοί άνεμοι και η χαμηλή βλάστηση, καθιστούν τις περιοχές αυτές ιδιαίτερα επιρρεπείς σε πυρκαγιές, κυρίως τους ξηρούς - καλοκαιρινούς μήνες. Το ίδιο ισχύει και για αγροτικές περιοχές όπου καλλιεργούνται σιτηρά, ή τα επίπεδα της βλάστησης είναι πολύ υψηλά. Κακή συντήρηση, βραχυκυκλώματα, ή σφάλματα κατά την συγκόλληση και την κατασκευή των αεροστρόβιλων μπορούν να δημιουργήσουν σπινθήρες που θα δώσουν το έναυσμα για την έναρξη μιας πυρκαγιάς (Manwell et al., 2009).

Κλείνοντας, όπως και με κάθε βιομηχανική δραστηριότητα, υπάρχει η πιθανότητα να σημειωθούν ατυχήματα ή στην χειρότερη περίπτωση θάνατοι εργαζομένων κατά την εγκατάσταση ή την συντήρηση των τουρμπινών. Ένας ακόμα κίνδυνος στην περίπτωση των αιολικών εγκαταστάσεων, προκαλείται από τα παραγόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από την κίνηση του ρεύματος εντός αγωγών. Αν και η ένταση των πεδίων αυτών μειώνεται ραγδαία με την απόσταση από την πηγή, οι εργαζόμενοι στα αιολικά πάρκα μπορεί να επηρεαστούν από τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία και το ευρύ κοινό έχει δείξει ανησυχία για τις πιθανές επιπτώσεις του φαινομένου αυτού στην υγεία (Karaniikas et al., 2021).

### 3.4.11 Διατάραξη αέριων μαζών (Wake effect)

Έχει παρατηρηθεί, πως περνώντας από ένα εμπόδιο, ο άνεμος χάνει ποσοστό της ταχύτητας του και η ομαλή ροή του διακόπτεται. Μάλιστα, μπορεί να χρειαστούν αρκετά μέτρα, που μπορεί να φτάνουν και πολλές φορές το ύψος του πύργου, ώστε τα χαρακτηριστικά της κίνησης του αέρα να επιστρέψουν στην αρχική τους κατάσταση (El-Ahmar et al., 2017). Οι μετωπικές ανεμογεννήτριες απορροφούν μέρος της ενέργειας του ανέμου για την κίνηση των πτερυγίων τους, με αποτέλεσμα να ελαττώνουν την ταχύτητα με την οποία φτάνει ο αέρας στους πίσω στροβίλους (Sun et al., 2020). Ακόμα, το ρεύμα αέρα που δέχονται οι πίσω Α/Γ είναι πιο τυρβώδες καθώς, τα πτερύγια δημιουργούν αναταράξεις με την περιστροφή τους και οι ίδιες οι Α/Γ αποτελούν εμπόδια στην εισροή, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η μηχανική επιβάρυνση στους στροβίλους αυτούς. Συνέπειες όλων των παραπάνω είναι η μείωση του χρόνου ζωής των ανεμογεννητριών αλλά και η ελάττωση της ενεργειακής απόδοσης της εγκατάστασης (González-Longatt et al., 2012). Υπολογίζεται πως η απώλειες ισχύος των μονάδων που οφείλονται στο φαινόμενο αυτό μπορεί να αγγίζουν το 10-20% της συνολικά παραγόμενης ισχύς (Barthelmie et al., 2009). Επιπρόσθετα, στην βιβλιογραφία εντοπίζονται ισχυρισμοί που υποστηρίζουν πως η διατάραξη των αέριων μαζών μπορεί να επηρεάσει και το τοπικό κλίμα, αλλά η μελέτη επί του θέματος είναι περιορισμένη (Rahman et al., 2022).

Έρευνες σχετικά με τις μεταβολές στην κίνηση του αέρα, που γίνονται εδώ και πολλά χρόνια, δείχνουν πως η ένταση του φαινομένου αυτού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Γενικά, αύξηση της ταχύτητας του αέρα μειώνει τις επιπτώσεις του φαινομένου. Αναφέρεται, συγκεκριμένα, πως στις χερσαίες εγκαταστάσεις οι μεταβολές στην ταχύτητα και την ροή του αέρα μπορεί να παρατηρηθούν σε απόσταση έως και 5-7 φορές τη διάμετρο του ρότορα, ενώ στις υπεράκτιες εγκαταστάσεις η αντίστοιχη απόσταση μπορεί να φτάσει τις 5-10 φορές την διάμετρο του ρότορα. Ακόμα, έχει παρατηρηθεί πως οι ενεργειακές απώλειες των εξωτερικών στροβίλων είναι μικρότερες από αυτές των κεντρικών, ιδιαίτερα στην περίπτωση των υπεράκτιων μονάδων. Συνεπώς, γίνεται εύκολα κατανοητό πως, με τον αριθμό των Α/Γ που τοποθετούνται στα αιολικά πάρκα συνεχώς να αυξάνεται, η επίδραση του παραπάνω φαινομένου δεν μπορεί να παραμεληθεί (Sun et al., 2020).

## 4.ΣΥΝΟΨΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική πραγματοποιήθηκε μια βιβλιογραφική έρευνα που πραγματεύεται τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ηλιακής και αιολικής ενέργειας, καθώς ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά αυτών. Η ηλιακή και η αιολική ενέργεια έχουν τις ρίζες τους στην αρχαιότητα και συνεχίζουν να εξελίσσονται μέχρι και σήμερα, με την εγκατεστημένη ισχύ των ηλιακών και αιολικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας να φτάνει το 2022 τα 1.046 GW και τα 898,8 GW αντίστοιχα. Η ανάπτυξη τους ακόμα, ενισχύεται μέσω νομοθετικών πλαισίων που θέτουν στόχους για την αύξηση της εγκατεστημένη ισχύος στα επόμενα χρόνια και αποσκοπούν στην επιτάχυνση των διαδικασιών αδειοδότησης και στην καλύτερη διαχείριση του τέλους ζωής των μονάδων. Ωστόσο, τα συστήματα αυτά δεν χαρακτηρίζονται από σταθερότητα τροφοδοσίας, καθώς η λειτουργία τους εξαρτάται άμεσα από τις καιρικές – ατμοσφαιρικές συνθήκες και έχουν σχετικά χαμηλή απόδοση. Ακόμη, συνδέονται με μια σειρά περιβαλλοντικών και μη, προκλήσεων, οι οποίες πρέπει να προσδιοριστούν και να αντιμετωπιστούν.

Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται κυρίως, για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας είναι τα παθητικά θερμικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά θερμικά ηλιακά συστήματα και φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα. Κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής των δύο τελευταίων, μπορεί να παρατηρηθούν:

- Επιπτώσεις στην πανίδα: Παρατηρείται αλλοίωση των βιοτόπων, συγκέντρωση μη ενδογενών οργανισμών στο οικοσύστημα και χαμηλό ποσοστό θανατώσεων πτηνών και εντόμων λόγω έλξης από τις εγκαταστάσεις.
- Επιπτώσεις στο έδαφος και τη βλάστηση: Πραγματοποιείται αποψίλωση ή ελάττωση βλάστησης, υποβάθμιση της ποιότητας και αποσταθεροποίηση του εδάφους, διατάραξη της ανάπτυξης των φυτών.
- Επιπτώσεις στις χρήσεις γης: Στις ηλιακές εγκαταστάσεις η άμεση χρήση γης είναι υψηλή, με ταυτόχρονη απώλεια γεωργικών εκτάσεων και απαίτηση περίπου 472-486 m<sup>2</sup>/GWh.
- Κατανάλωση νερού: Η υψηλή κατανάλωση νερού που εντοπίζεται σε πολλές φάσεις του κύκλου ζωής των μονάδων μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες στους υδάτινους πόρους



- Κατανάλωση φυσικών πόρων: Χρησιμοποιείται μεγάλος όγκος κατασκευαστικών υλικών, μικρές ποσότητες σπάνιων υλικών και καδμίου και βαρέα μέταλλα στις μπαταρίες αποθήκευσης ενέργειας.
- Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου: Παράγονται μικρές ποσότητες σε σχέση με τις συμβατικές μονάδες παραγωγής ενέργειας καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής (11-79 g ισοδύναμου CO<sup>2</sup>/kWh) που οφείλονται κυρίως στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας.
- Απελευθέρωση τοξικών ουσιών: Μπορεί να παρατηρηθεί απελευθέρωση τοξικών, καρκινογόνων και εύφλεκτων ουσιών λόγω κακής διαχείρισης και διαρροών των ρευστών στα Θ.Η.Σ. και ελαττωματικής λειτουργίας ή λανθασμένης ανακύκλωσης στα Φ/Β.
- Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία: Η διατάραξη του εδάφους υποβαθμίζει η ποιότητα του αέρα και η ελαττωματική λειτουργία-λανθασμένη απόρριψη των μονάδων ενέχει κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία.
- Οπτική και Ηχητική όχληση: Παρατηρείται αισθητική υποβάθμιση του τοπίου, η ένταση της οποίας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, ενώ η ηχητική όχληση είναι αμελητέα.

Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας γίνεται μέσω των ανεμογεννητριών, με την συντριπτική πλειοψηφία να είναι οριζόντιου άξονα με δρομέα δύο ή τριών πτερυγίων. Αντίστοιχα, οι επιπτώσεις που παρατηρούνται καθ' όλη την διάρκεια ζωής τους είναι οι εξής:

- Επιπτώσεις στην πανίδα: Οι χερσαίες Α/Γ επηρεάζουν τα πουλιά και τις νυχτερίδες (συγκρούσεις, batotrauma, διατάραξη πτήσεων και ενδιαιτήματος), ενώ οι υπεράκτιες θαλάσσια είδη (θόρυβος, δημιουργία ενδιαιτήματος, ηλεκτρομαγνητικά πεδία, μεταβολές στην αλιεία).
- Επιπτώσεις στη γλωρίδα: Πραγματοποιείται αποψίλωση βλάστησης, διάβρωση του εδάφους και υπάρχει κίνδυνος διαρροής λυμάτων και ελαίων του εργοταξίου στο υπέδαφος.
- Τοπικές κλιματικές επιπτώσεις: Η λειτουργία των Α/Γ προκαλεί ανάμιξη των κατακόρυφων στρωμάτων του αέρα οδηγώντας σε μικρή αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους και μεταβολές στην κατανομή των βροχοπτώσεων, σε τοπικό επίπεδο.
- Επιπτώσεις στις χρήσεις γης: Η άμεση χρήση γης είναι χαμηλή, επιτρέποντας παράλληλες εκμεταλλεύσεις και απαίτηση περίπου 4-56 m<sup>2</sup>/MW ονομαστικής ισχύος.
- Κατανάλωση φυσικών πόρων: Χρησιμοποιείται μεγάλος όγκος κατασκευαστικών υλικών, άλλα και σπάνιες γαίες και βόριο, κυρίως για την κατασκευή των μόνιμων μαγνητών.

- Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου: Οι παραγόμενες εκπομπές φτάνουν το 1/40 των συμβατικών μεθόδων παραγωγής ενέργειας (7,8-23 g ισοδύναμου CO<sub>2</sub>/kWh) και οφείλονται κυρίως στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κατά το κατασκευαστικό στάδιο των Α/Γ.
- Ηχητική όχληση: Ο παραγόμενος θόρυβος από τις Α/Γ κυμαίνεται μεταξύ 95-105dB και μπορεί να έχει σωματικές ή ψυχολογικές συνέπειες στους κατοίκους των κοντινών περιοχών, γεγονός που έχει οδηγήσει πολλές χώρες στην θέσπιση ειδικής νομοθεσίας.
- Οπτική όχληση: Παρατηρείται αισθητική υποβάθμιση του τοπίου, η ένταση της οποίας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες (θέση τοποθέτησης πάρκου, χρωματική αντίθεση, μέγεθος Α/Γ, καιρικές-ατμοσφαιρικές συνθήκες κ.α.).
- Ηλεκτρομαγνητικές Παρεμβολές: Οι Α/Γ και κυρίως οι έλικες τους, μπορεί να δράσουν σαν εμπόδια, διασκορπίζοντας ή αντανακλώντας τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπουν ορισμένες συσκευές, δυσχεραίνοντας έτσι την λειτουργία τους.
- Επιπτώσεις στην ασφάλεια και εκδήλωση ατυχημάτων: Αν και η εμφάνιση ατυχημάτων είναι σπάνια, κίνδυνοι στην δημόσια ή την εργατική ασφάλεια μπορεί να προκληθούν από πτώση του πύργου, πτώση ή εκτόξευση των πτερυγίων, εκτόξευση πάγου ή λόγω πυρκαγιών,
- Διατάραξη αερίων μαζών: Οι μετωπικές Α/Γ απορροφούν μέρος της κινητικής ενέργειας του ανέμου, μειώνοντας την ταχύτητά του και διακόπτοντας την στρωτή ροή του, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η μηχανική επιβάρυνση στις πίσω Α/Γ και να μειώνεται η ενεργειακή απόδοση της εγκατάστασης συνολικά.

Όπως γίνεται εμφανές, η εκμετάλλευση των μελετώμενων μορφών ενέργειας μπορεί να έχει πολυδιάστατες περιβαλλοντικές και μη επιπτώσεις, οι οποίες θα πρέπει να μετριάστούν, προκειμένου να είναι ωφέλιμη η αξιοποίησή τους. Ωστόσο, οι επιπτώσεις φαίνεται να είναι μικρότερες, συγκρινόμενες με τις επιπτώσεις από την παραγωγή ενέργειας με ορυκτά καύσιμα. Η ηλιακή και αιολική ενέργεια, όντας πλέον δύο από τις ωριμότερες ΑΠΕ, μπορούν να προσφέρουν λύση στο ζήτημα της εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων, και να συμβάλουν στην απεξάρτηση από αυτά, θέτοντας τις βάσεις για μια, περιβαλλοντικά καθαρότερη ενεργειακή ανάπτυξη, δεδομένου ότι θα ακολουθηθεί η στρατηγική που έχει τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

## Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Abolhosseini, S., Heshmati, A., Altmann, J., 2014. A Review of Renewable Energy Supply and Energy Efficiency Technologies, *IZA Discussion Paper*, No. 8145, p.36
- Abramic, A., Cordero-Penin, V., Haroun, R., 2022. Environmental impact assessment framework for offshore wind energy developments based on the marine Good Environmental Status, *Environmental Impact Assessment Review*, vol.97, article number 106862
- Ackermann, T. & Soder, L., 2000. Wind energy technology and current status: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.4, pp. 315-374
- Ahmed, A.S., 2018. Wind resource assessment and economics of electric generation at four locations in Sinai Peninsula, Egypt, *Journal of Cleaner Production*, vol.183, pp.1170-1183
- Al-Behadili, S.H. & El-Osta, W.B., 2015. Life cycle assessment of Dernah (Libya) wind farm, *Renewable Energy*, vol.83, pp.1227-1233
- Al-Zoubi, O.H., Shawaqfah, M., Almomani, F., Damash, R.A., Al-Zboon, K., 2022, Photovoltaic Solar Cells and Panels Waste in Jordan: Figures, Facts, and Concerns, *Sustainability*, vol.14, article number: 13313
- Albert, J.D., 2006. Addressing Wind Turbine Noise, Lawrence Technological University.
- Allison, T.D., Diffendorfer, J.E., Baerwald, E.F., Beston, J.A., Drake, D., Hale, A.M., et al., 2019. Impacts to wildlife of wind energy siting and operation in the United States, *Issues in Ecology*, Report No.21, pp.1-24
- Alsema, E., 2003. Energy pay-back time and CO<sub>2</sub> emissions of PV systems, *Progress in photovoltaics: research and applications*, vol. 8, pp. 17-25
- Amanatidis, G., 2019. European policies on climate and energy towards 2020, 2030 and 2050, Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies
- Andersen, N., 2015. Wind Turbine end-of-life: Characterisation of Waste Material. Master degree thesis, Faculty of Engineering and Sustainable Development, Department of Building, Energy and Environmental Engineering, Πανεπιστήμιου Gävle, Σουηδία,
- Andersson, M.H., & Ohman, M.C., 2010. Fish and sessile assemblages associated with wind-turbine constructions in the Baltic Sea, *Marine and Freshwater Research*, vol. 61, pp. 642-650
- Baerwald, E. F., D'Amours, G. H., Klug, B. J., and Barclay R. M. R., 2008. Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines, *Current Biology*, vol.18, pp. 695–696
- Balali, M.H., Nouri, N., Omrani, E., Nasiri, A., Otieno, W., 2017. An overview of the environmental, economic, and material developments of the solar and wind sources

coupled with the energy storage systems, *International Journal of Energy Research*, vol.41, pp.1948–1962.

- Ballaji, A., Ananda, M.H., Swamy, K.N., Oommen, S., Ankaiah, B., 2019. A Detailed Study On Different Generations Of Solar Cell Technologies With Present Scenario Of Solar PV Efficiency And Effect Of Cost On Solar PV Panel, *International Journal of Research in Advent Technology*, vol.7, pp.364-372
- Barclay, R.M.R., Baerwald, E.F., Gruver, J.C., 2007. Variation in bat and bird fatalities at wind energy facilities: assessing the effects of rotor size and tower height, *Canadian Journal of Zoology*, vol.85, pp. 381-387
- Barthelmie R.J., Hansen, K.S., Frandsen, S.T., Rathmann, O., et al., 2009. Modelling and measuring flow and wind turbine wakes in large wind farms offshore, *Wind Energy*, vol. 12, pp. 431-444
- Bennun, L., van Bochove, J., Ng, C., Fletcher, C., Wilson, D., Phair, N., Carbone, G., 2021. Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development: Guidelines for project developers, IUCN and Cambridge, UK: The Biodiversity Consultancy, Γκλάντ, Ελβετία
- Bergström, L., Kautsky, L., Malm, T., Rosenberg, R., Wahlberg, M., Capetillo, N., Wilhelmsson, D., 2014. Effects of offshore wind farms on marine wildlife—a generalized impact assessment, *Environmental Research Letters*, vol.9, pp.12
- Bergström, L., Kautsky, L., Malm, T., Ohlsoon, H., Wahlberg, M., Rosenberg, R., Capetillo, N., 2012. The effects of wind power on marine life-A synthesis, The Swedish Environmental Protection Agency, Στοκχόλμη, Σουηδία.
- Bhandari, R., Kumar, B., Mayer, F., 2020. Life cycle greenhouse gas emission from wind farms in reference to turbine sizes and capacity factors, *Journal of Cleaner Production*, vol.277, article number 123385
- Bishop, I. D. & Miller, D. R., 2007. Visual assessment of off-shore wind turbines: The influence of distance, contrast, movement and social variables, *Renewable Energy*, vol. 32 pp. 814–831
- Bonou, A., Laurent, A., Olsen, S.I., 2016. Life cycle assessment of onshore and offshore wind energy-from theory to application, *Applied Energy* vol.180, pp.327-337
- Boussaa, S.A., Benkrid, A., Boutarek, N.Z., Ayachi, M., 2020. End of life silicon based photovoltaic panels: A review, *Journal of Renewable Energies*, vol.23, pp.201-216
- Breeze P., A. da Rosa, Doble, M., Gupta H., Kalogirou, S., Maegaard, P., Pistoia, G., Roy, S., Sorensen B., Storvick T., Yang S., Kruthiventi, A.K., 2009. Renewable Energy Focus Handbook, 1<sup>η</sup> έκδοση. Academic Press, Άμστερνταμ, Ολλανδία.
- Brouwer, S.R., Al-Jibouri S.H., Cárdenas, I.C., Halman, J.I., 2018. Towards analysing risks to public safety from wind turbines, *Reliability Engineering & System Safety*, vol.180, pp.77-87

- Buchholz, P., & Brandenburg, T., 2018. Demand, Supply, and Price Trends for Mineral Raw Materials Relevant to the Renewable Energy Transition Wind Energy, Solar Photovoltaic Energy, and Energy Storage, *Chemie Ingenieur Technik*, vol.90, pp.141-153
- Carlin, P.W., Laxson, A.S., Maljadi, E.B., 2001. The History and State of the Art of Variable-Speed Wind Turbine Technology, National Renewable Energy Laboratory: Technical Report, Κολοράντο, Η.Π.Α., p.68
- Carrara, S., Alves Dias, P., Plazzotta, B., Pavel, C., 2020. Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonised energy system, 1η έκδοση. Εκδοτικό γραφείο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Λουξεμβούργο
- Chaar, L. El., Iamont, L.A., Zeinb, N. El., 2011. Review of photovoltaic technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.15, pp. 2165-2175
- Chen C.J., 2011. Physics of Solar Energy, 1η έκδοση, John Wiley & Sons, Χομπόκεν, Η.Π.Α
- Chock, R.Y., Clucas, B., Peterson, E.K., Blackwell, B.F., Blumstein, D.T., Church, K., Fernández-Juricic, E., Francescoli, G., Greggor, A.L, Kemp, P., Pinho, G.M., Sanzenbacher, P.M., Schulte, B.A., Toni, P., 2020. Evaluating potential effects of solar power facilities on wildlife from an animal behavior perspective, *Conservation Science and Practice*, vol.3, article number 319
- Clarke, E.D. & Sweeney, C., 2012. Solar energy and weather, Royal Meteorological Society, *Weather*, vol.77, pp. 90-91
- Coburn, T.C. & Farhar, B.C., 2004. Public Reaction to Renewable Energy Sources and Systems, *Encyclopedia of Energy*, pp. 207-222
- Cotrell, J., 2002. The Mechanical Design, Analysis, and Testing of a Two-Bladed Wind Turbine Hub, National Renewable Energy Laboratory: Technical Report, Κολοράντο, Η.Π.Α., p. 89
- Cryan P.M., & Barclay R.M.R., 2009. Causes of bat fatalities at Wind Turbines: Hypotheses and Predictions, *Journal of Mammalogy*, vol.90, pp. 1330-1340
- Dai, K., Bergot, A., Liang, C., Xiang, W., Huang, Z., 2015. Environmental issues associated with wind energy - A review, *Renewable Energy*, vol. 75, pp. 911–921
- Daim, T.U., Amer, M., Brenden, R., 2012. Technology Road mapping for wind energy: case of the Pacific Northwest, *Journal of Cleaner Production*, vol.20, pp.27-37
- Dambhare, M.V., Butey, B., Moharil, S.V., 2021. Solar photovoltaic technology: A review of different types of solar cells and its future trends, *Journal of Physics: Conference Series*, vol.1913, article number: 012053
- De Jong, J., Millon, L., Håstad, O., Victorsson, J., 2021. Activity Pattern and Correlation between Bat and Insect Abundance at Wind Turbines in South Sweden, *Animals*, vol.11, article number: 3269
- Dengraer, S., Carey, D.A., Coolen, J.W.P., Hutchison, Z.L., Kerckhof, F., Rumes, B., Vanaverbeke, J., 2020. Offshore wind farm artificial reefs affect ecosystem structure and functioning, *Oceanography*, vol.33, pp.47-58

- Denholm, P., Hand, M., Jackson, M., Ong, S., 2009. Land-use requirements of modern wind power plants in the United States, National Renewable Energy Laboratory: Technical Report, Κολοράντο, Η.Π.Α., p. 57
- Deshmukh, S., Bhattacharya, S., Jain, A., Ranjan Paul, A., 2019. Wind turbine noise and its mitigation techniques: A review, *Energy Procedia*, vol.160, pp.633-640
- Di Lucia, L. & Nilsson, L.J., 2007. Transport biofuels in the European Union: The state of play, *Transport Policy*, vol.14, pp.533-543
- Dimitri, L. A., & Longland, W. S., 2018. The utility of animal behavior studies in natural resource management. *Rangelands*, vol.40, pp.9–16
- Dincer, A. & Ratlamwala, T.A.H., 2013. Solar Thermal Power Systems, *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, pp.15
- Dincer, I., 2000. Renewable energy and sustainable development: a crucial review, *Energy Reviews*, vol.4, pp.157-175
- Dismuskes, D.E., Kleit, A.N., 1999. Cogeneration and electric power industry restructuring, *Resource and Energy Economics*, vol.21, pp.153-166
- Dodd, C.K. & Seigel, R.A., 1991. Relocation, repatriation, and translocation of amphibians and reptiles: Are they conservation strategies that work?, *Herpetologica*, vol.3, pp.336–350
- Drewitt, A. L., & Langston, R. H. W., 2006. Assessing the impacts of wind farms on birds, *British Ornithologists' Union, Ibis*, vol.148, pp. 29–42
- El-Ahmar, M.H., El-Sayed, A.M., Hemeida, A.M., 2017. Evaluation of Factors affecting Wind Turbine Output Power, *Nineteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, Αλ Μινουφιά, Αίγυπτος, pp. 1471-1476
- Ellenbogen, J.M., Grace, S., Heiger-Bernays, W.J., Manwell, J.F., Mills, D.A., Sullivan, K.A., Weisskopf, M.G., 2012. Wind Turbine Health Impact Study: Report of Independent Expert Panel, 1<sup>η</sup> έκδοση, Κοινοπολιτεία της Μασαχουσέτης, Τμήμα Περιβαλλοντικής Προστασίας, Μασαχουσέτη
- Ellison, L.E., 2012. Bats and wind energy - a literature synthesis and annotated bibliography, U.S. Geological Survey, Πέστον, Βιρτζίνια, p. 57
- Evans, T. & Cooper, J., 2012. Influence of wind direction on noise emission and propagation from wind turbines, *Proceedings of Acoustics*, Φρίμαντλ, Αυστραλία, p.5
- Farina, A. & Anctil, A., 2022. Material consumption and environmental impact of wind turbines in the USA and globally, *Resources, Conservation & Recycling*, vol. 176, article number 105938
- Fayram, A.H. & de Risi, A., 2007. The potential compatibility of offshore wind power and fisheries: an example using bluefin tuna in the Adriatic Sea, *Ocean and Coastal Management*, vol.50, pp.597–605
- Fereres, S., 2018. Recent Advances in Renewable Energy, Volume 3: Solar Thermal Energy Systems

- Fleming, P.D., Probert, S.D., 1984. The Evolution of Wind-Turbines: An Historical Review, *Applied Energy*, vol.18, pp.163-177
- Fritzell, J., 2019. Sound propagation modelling with applications to wind turbines: Technical report, Royal Institute of Technology KTH Mechanics, Στοκχόλμη, Σουηδία, p.63
- Fthenakis, V.M., & Kim, C.H., 2010. Life-cycle uses of water in U.S. electricity generation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.14, pp. 2039-2048
- Fthenakis, V.M., & Moskowitz, P.D., 2000. Photovoltaics: Environmental, Health and Safety Issues and Perspectives, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol.8, pp.27-38
- Fthenakis, V.M. & Kim, H.C., 2009. Land use and electricity generation: A life-cycle analysis, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.13, pp.1465-1474
- Fthenakis, V.M., Kim, H.C., Alsema, E.A., 2008. Emissions from photovoltaic life cycles, *Environmental Science and Technology*, vol.42, 2168-2174
- Gaultier, S.P., Blomberg, A.S., Ijas, A., Vasko, V., Vesterinen, E.J., Brommer, J.E., Lilley, T.M., Bats and Wind Farms: The Role and Importance of the Baltic Sea Countries in the European Context of Power Transition and Biodiversity Conservation, *Environmental Science and Technology*, vol.54, pp. 10385–10398
- Ghenai, C., 2012. Life Cycle Analysis of Wind Turbine, Sustainable Development - Energy, Engineering and Technologies - Manufacturing and Environment, Florida Atlantic University, H.II.A., pp.19-32
- Gipe, P., & Mollerstrom, E., 2022. An overview of the history of wind turbine development: Part I—The early wind turbines until the 1960s, *Wind Engineering*, vol.46, pp.1973-2004
- Gekas, A.V., Frantzeskaki, N., Tsoutsos, T., 2002. Environmental impact assessment of solar energy systems. Results from a life cycle analysis, International Conference of ‘Protection and Restoration of the Environment VI’, Σκιάθος, Ελλάδα, pp. 1-5
- Gelbard, J.L. & Belnap, J., 2003. Roads as conduits for exotic plant invasions in a semiarid landscape, *Conservation Biology*, vol.17, pp.420–32
- Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M.D., Wagner, N., Gorini, R., 2019. The role of renewable energy in the global energy transformation, *Energy Strategy Reviews*, vol.24, pp.38-50
- Global Wind Energy Council (GWEC), 2021. Global Wind Energy Report 2021, Brussels, Belgium, p.80
- Glarou, M., Zrust, M., Svendsen, J.C., 2020. Using Artificial-Reef Knowledge to Enhance the Ecological Function of Offshore Wind Turbine Foundations: Implications for Fish Abundance and Diversity, *Journal of Marine Science and Engineering*, vol.8, pp.332
- Goetzberger, A., Hebling, C., Schock, H.W., 2003. Photovoltaic materials, history, status and outlook, *Materials Science and Engineering*, Report 40, pp. 1-46

- González-Longatt, F., Wall, P., Terzija, V., 2012. Wake effect in wind farm performance: Steady-state and dynamic behavior, *Renewable Energy*, vol. 39, pp. 329-338
- Granata, G., Pagnanelli, F., Moscardini, E., Havlik, T., Toro L., 2014. Recycling of photovoltaic panels by physical operations, *Solar Energy Materials & Solar Cells* vol.123, pp. 239–248
- Griffin, D.W., Kellogg, C.A., Shinn, E.A., 2001. Dust in the wind: long range transport of dust in the atmosphere and its implications for global public and ecosystem health, *Global Change and Human Health*, vol.2, pp.20-33
- Grodsky, S.M., Behr, M.J., Gendler, A., Drake, D., Dieterle, B.D., Rudd, R.J., Walrath, N.L., 2011. Investigating the causes of death for wind turbine-associated bat fatalities, *Journal of Mammalogy*, vol.92, pp.917–925
- Guan, J., 2022. Landscape Visual Impact Evaluation for Onshore Wind Farm: A Case Study, *International Journal of Geo-Information*, vol.11, article number, 594
- Guezurag, B., Zauner, R., Pölz W., 2012. Life cycle assessment of two different 2 MW class wind turbines, *Renewable Energy*, vol. 37, pp. 37-44
- Haac, R., Darlow, R., Kaliski, K., Rand, J., Hoen, B., 2022. In the shadow of wind energy: Predicting community exposure and annoyance to wind turbine shadow flicker in the United States, *Energy Research & Social Science*, vol.87, article number 102471
- Hamed, T.A. & Alshare, A., 2022. Environmental Impact of Solar and Wind energy - A Review, *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, vol.10, Issue 2, article number 1090387
- Hernandez, R.R., Easter, S.B., Murphy-Mariscal, M.L., Maestre, F.T., Tavassoli, M., Allen, E.B., Barrows, C.W., Belnap, J., Ochoa-Hueso, R., Ravi S., Allen, M.F., 2013. Environmental impacts of utility-scale solar energy, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.29, pp. 766-779
- Holbert, K.E. & Haverkamp, C.J., 2009. Impact of solar thermal power plants on water resources and electricity costs in the Southwest, *41<sup>st</sup> North American Power symposium (NAPS)*, Starkville, Mississippi, pp. 1–6
- Horn, J.W., Arnett, E.B., Kunz, T.H., 2008. Behavioral responses of bats to operating wind turbines, *Journal of Wildlife Management*, vol.72, pp.123–132
- Hosenuzzaman, M., Rahim, N., Selvaraj, J., Hasanuzzaman, M., 2015. Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.41, pp. 284-297
- Hübner, G., Pohl, J., Hoen, B., Firestone, J., Rand, J., Elliott, D., & Haac, R., 2019. Monitoring annoyance and stress effects of wind turbines on nearby residents: A comparison of US and European samples, *Environment international*, vol.132, article number: 105090
- Hussian, A., Barta, A., Pachuari, R., 2017. An experimental study on effect of dust on power loss in solar photovoltaic module, *Renewables*, vol.4, article number:9



- İlhami, Y. & MacEachern, C., 2018. 1.2 Historical Aspects of Energy, *Comprehensive Energy Systems*, vol.1, pp.24-48
- Ioannidis, R., & Koutsoyiannis, D., 2020. A review of land use, visibility and public perception of renewable energy in the context of landscape impact, *Applied Energy*, vol.276, article number: 115367
- IRENA, 2019. Future of wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects(A Global Energy Transformation paper), International Renewable Energy Agency, Αμπού Ντάμπι, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα
- Jean, J., Brown, P. R., Jaffe, R. L., Buonassisi, T., Bulovic, V., 2015. Pathways for Solar Photovoltaics, *Energy & Environmental Science*, vol. 8,pp. 1200-1219
- Jeffery, R.D., Krogh, C., Horner, B., 2013. Adverse health effects of industrial wind turbines, *Canadian Family Physician*, vol.59, pp.473-47
- Jianu, O.A., & Rosen, M.A., 2017. Preliminary Assessment of Noise Pollution Prevention in Wind Turbines Based on an Exergy Approach, *European Journal of Sustainable Development Research*, vol.1, article number: 12
- Jianu, O.A., Rosen, M.A., Naterer, G., 2012. Noise Pollution Prevention in Wind Turbines: Status and Recent Advances, *Sustainability*, vol.4, pp.1104-1117
- Johansen K., 2021. Wind Energy in Denmark: A Short History, *IEEE Power and Energy Magazine*, vol.19, pp.94-102
- Johansson, B., 2013. Security aspects of future renewable energy systems—A short overview, *Energy*, vol.61, pp.598-605
- Kadiyala, A., Kommalapati, R., Huque, Z., 2017. Characterization of the life cycle greenhouse gas emissions from wind electricity generation systems, *International journal of energy and environmental engineering*, vol.8, pp.55-64
- Kaldelis, J.K. & Zafirakis, D., 2011. The wind energy (r)evolution: A short review of a long history, *Renewable Energy*, vol.36, pp. 1887-1901
- Kalogirou, S.A., 2004. Solar thermal collectors and application, *Progress in Energy and Combustion Science*, vol.30, pp.231–295
- Karanikas, N., Steele, S., Bruschi, K., Robertson, C., Kass, J., Popovich, A., MacFadyen, C., 2021. Occupational health hazards and risks in the wind industry, *Energy Reports*, vol.7, pp.3750-3759
- Karasmanaki, E., 2022. Is it safe to live near wind turbines? Reviewing the impacts of wind turbine noise, *Energy for Sustainable Development*, vol.69, pp.87-102
- Katsaprakakis, D.A., 2012. A review of the environmental and human impacts from wind parks:A case study for the Prefecture of Lasithi, Crete, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.16, pp.2850-2863
- Kingsley, A. & Whittam, B., 2005. Wind Turbines and Birds A Background Review for Environmental Assessment, Document prepared by Bird Studies Canada, for Environment Canada / Canadian Wildlife Service, p.81

- Koltun, P. & Tharumarajah, A., 2014. Life Cycle Impact of Rare Earth Elements. *ISRN Metallurgy*, vol.2014, pp. 1–10
- Krone, R., Gutow, L., Joschko, T.J., Schroder, A., 2013. Epifauna dynamics at an offshore foundation—implications of future wind power farming in the North Sea, *Marine Environmental Research*, vol.85, pp.1–12
- Kunz, T.H., Arnett, E.B., Erickson, W.P., Hoar, A.R., Johnson, G.D., Larkin, R.P., Strickland, M.D., Thresher, R.W., Tuttle, M.D., 2007. Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses, *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol.5, pp.315-324
- Laleman, R., Albrecht J., Dewulf, J., 2011. Life Cycle Analysis to estimate the environmental impact of residential photovoltaic systems in regions with a low solar irradiation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 267-281
- Lambert, Q., Gros, R., Bischoff, A., 2022. Ecological restoration of solar park plant communities and the effect of solar panels, *Ecological Engineering*, vol.182, article number: 106722
- Langhamer, O., 2012. Artificial Reef Effect in relation to Offshore Renewable Energy Conversion: State of the Art, *Scientific World Journal*, article number: 386713
- Langston, R.H.W. & Pullan, J.D., 2003. Windfarms and Birds : An analysis of the effects of windfarms on birds, and guidance on environmental assessment criteria and site selection issues, *Convention on the conservation of European wildlife and natural habitats*, 23<sup>η</sup> συνάντηση, Στρασβούργο, Γαλλία, p.58
- Lawson, M., Jenne, D., Thresher, R., Houck, D., Wimsatt, J., Straw, B., 2020. An investigation into the potential for wind turbines to cause barotrauma in bats, *Plos One*, vol.15, p.24
- Lazaroiu, G.C., Longo, M., Roscia, M., Pagano, M., 2014. Comparative analysis of fixed and sun tracking low power PV systems considering energy consumption, *Energy Conversion and Management*, vol.92, pp.143–148
- Lenzen, M. & Munksgaard, J., 2002. Energy and CO2 life-cycle analyses of wind turbines - review and applications, *Renewable Energy*, vol.26, pp.339-362
- Li, C., Coolen, J.W.P., Scheren, L., Mogollon, J.M., Braeckman, U., Vanaverbeke, J., Tukker, A. & Steubing, B., 2023. Offshore Wind Energy and Marine Biodiversity in the North Sea: Life Cycle Impact Assessment for Benthic Communities, *Environmental Science and Technology*, vol.57, pp.6455–6464
- Lothian, A., 2008. Scenic Perceptions of the Visual Effects of Wind Farms on South Australian Landscapes, *Geographical Research*, vol.46, pp. 196-207
- Lovich, J.E. & Bainbridge, D., 1999. Anthropogenic degradation of the southern California desert ecosystem and prospects for natural recovery and restoration, *Environmental Management*, vol.24, pp.309–32
- Lovich, J.E., & Ennen, J.R., 2011. Wildlife conservation and solar energy development in the desert southwest, United States, *BioScience*, vol.61, pp.982–992

- Mahajan, B., 2012. Negative environment impact of Solar Energy, *Academia: Sustainable Development and Climate Change*, pp. 6
- Manwell, J. F., McGowan, J. G., Rogers, A. L., 2009. *Wind Energy Explained: Theory, and Design and Application*. 2<sup>nd</sup> ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. United Kingdom
- Macknick, J., Meldrum, J., Nettles-Anderson, S., Heath, G., Miara, A., 2014. Life cycle water use for photovoltaic electricity generation: A review and harmonization of literature estimates, *2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*, Denver, USA, pp.1458-1460
- Macknick, J., Newmark, R., Heath, G., Hallet, K.C., 2011, A Review of Operational Water Consumption and Withdrawal Factors for Electricity Generating Technologies, National Renewable Energy Laboratory, Κολοράντο, Η.Π.Α., p. 26
- Marques, A.T., Batalha, H., Rodriguez, S., Costa, H., Pereira, M.J.R., Fonseca, C., Mascarenhas, M., Bernardino, J., 2014. Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies, *Biological Conservation*, vol.179, pp.40–52
- Masden, E.A., Haydon, D.T., Fox, A.D., Furness, R.W., 2010. Barriers to movement: Modelling energetic costs of avoiding marine wind farms amongst breeding seabirds, *Marine Pollution Bulletin*, vol.60, pp.1085–1091
- Masden, E.A., Haydon, D.T., Fox, A.D., Furness, R.W., Bullman, R., Desholm, M., 2009. Barriers to movement: impacts of wind farms on migrating birds, *ICES Journal of Marine Science*, vol. 66, pp.746–753
- Madsen, P.T., Wahlberg, M., Tougaard, J., Lucke, K., Tyack, P., 2006. Wind turbine underwater noise and marine mammals: implications of current knowledge and data needs, *Marine Ecology Progress Series*, vol. 309, pp.279–295
- McCrary, M.D., McKernan, P.A.F., Wagner, W.D., 1984. Wildlife interactions at solar one: final report, έκδοση ηνότητας Καλιφόρνια, Η.Π.Α.
- Meldrum, J., Nettles-Anderson, S., Heath, G., Macknick, J., 2013. Life cycle water use for electricity generation: a review and harmonization of literature estimates, *Environmental Research Letters*, vol.8, article number:015031
- Miller, L.M. & Keith, D.W., 2018. Climatic impacts of wind power, *Joule*, vol.2, pp.2618-2632
- Mirasgedis, S., Tourkolias, C., Tzovla, E., Diakoulaki, D., 2014. Valuing the visual impact of wind farms: An application in South Evia, Greece, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.39, pp.296-311
- Moss, J., Coram, A., Blashki, G., 2014. *Solar energy in Australia: health and environmental costs and benefits*, The Australian Institute: Research that matters
- Mroczek, B., Banaś, J., Machowska-Szewczyk, M., Kurpas, D., 2015. Evaluation of quality of life of those living near a wind farm, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol.12, pp.6066–6083

- Müller, F.J., Leschinger, V., Hübner, G., Pohl, J., 2023. Understanding subjective and situational factors of wind turbine noise annoyance, *Energy Policy*, vol.173, article number, 113361
- Muthu, M.C. & Kirubakaran, V., 2014. A critical review of factors affecting wind turbine and solar cell system power production, *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, vol. 3, pp. 143-147
- Nazir, M.S., Ali, N., Bilal, M., Iqbal, H., 2020. Potential environmental impacts of wind energy development: Aglobal perspective, *Current Opinion in Environmental Science & Health*, vol.13, pp. 85-90
- Newton, C.C., 2007. A Concentrated Solar Thermal Energy System. Ph.D. Thesis, Florida State University, Florida, 179 p.
- Northrup, J. M., & Wittemyer, G., 2013. Characterising the impacts of emerging energy development on wildlife, with an eye towards mitigation, *Ecology Letters*, vol.16, pp.112–125
- Oerlemans S, Sijtsma P, Méndez López B, 2007. Location and quantification of noise sources on a wind turbine, *Journal of Sound and Vibration*, Executive Summary
- Olabi, A.G., Wilberforce, T., Elsaid, K., Sayed, E.T., Salameh, T., Abdelkareem, M.A., Baroutaji, A.A., 2021. Review on Failure Modes of Wind Turbine Components, *Energies*, vol.14, article number: 5241
- Ong, S., Campbell, C., Denholm, P., Margolis, R., Heath, G., 2013. Land-use requirements for solar power plants in the United States, National Renewable Energy Laboratory, Technical Report, Ντένβερ, Η.Π.Α., p.74
- Pagnanelli, F., Moscardini, E., Abo Atia, T., Toro, L., 2014. Photovoltaic panel recycling: From type-selective processes to flexible apparatus for simultaneous treatment of different types, *Sustainable Industrial Processing Summit SIPS*, vol.4, pp.279-294.
- Palutikof, J.P., 1999. Wind energy, *Environmental Geology*, Encyclopedia of Earth Science, pp.704-706
- Pastuszak, J. & Wegierek, P., 2022. Photovoltaic Cell Generations and Current Research Directions for Their Development, *Materials*, vol.15, article number: 5542
- Pasqualetti, M., Righter, R., Gipe, P., 2004. A History of Wind Energy, *Encyclopedia of Energy*, vol.6, pp.419-433
- Pavel, C., Huisman, J., Bobba, S., Carrara, S., Mathieux, F., et al., 2020. Critical raw materials for strategic technologies and sectors in the EU: a foresight study, Publications Office of the European Union, Λουξεμβούργο
- Pawlaczyk-Łuszczynska, M., Zaborowski, K., Dudarewicz, A., Zamojska-Daniszevska, M., Waszkowska, M., 2018. Response to noise emitted by wind farms in people living in nearby areas, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol.15, article number: 1575

- Peterson, T.S., McGill, B., Hein, C.D., Rusk, A., 2021. Acoustic Exposure to Turbine Operation Quantifies Risk to Bats at Commercial Wind Energy Facilities, *Wildlife Society Bulletin*, vol.45, pp.552–565
- Peri, E., & Tal, A., 2021. Is setback distance the best criteria for siting wind turbines under crowded conditions? An empirical analysis, *Energy Policy*, vol.155, article number 112346
- Perlin, J., 2013. Let it Shine: The 6,000-year Story of Solar Energy, 1<sup>η</sup> έκδοση, New World Library, ΣανΦρανσίσκο, Η.Π.Α.
- Poot, H., Ens, B.J., De Vries, H., Donners, M.A.H., Wernand, M.R., Marquenie, J.M., 2008. Green light for nocturnally migrating birds, *Ecology and Society*, vol.13, article47
- Powlesland, R., 2009. Impacts of wind farms on birds : a review, Science for conservation: 289, Wellington, N.Z. : Publishing Team, Dept. of Conservation, Νέα Ζηλανδία
- Rahman, A., Farrok, O., Haque, M., 2022. Environmental impact of renewable energy source based electrical power plants: Solar, wind, hydroelectric, biomass, geothermal, tidal, ocean, and osmotic, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.161, article number 112279
- Rashad, M.K., El-Samahy, A.A., Daowd, M., Amin, M.A., 2015. A comparative Study on Photovoltaic and Concentrated Solar Thermal Power Plants, *Recent Advances in Environmental and Earth Sciences and Economics*, pp.167-173
- Razdan, P. & Garrett, P., 2017. Life cycle Assessment of electricity Production from an Onshore V112-3.45MW Wind Plant, Vestas Wind System: Άρχους, Δανία
- Rediske, G., Siluk, J.C.M., Gastaldo, N.G., Rigo, P.D., Rosa, C.B., 2018. Determinant factors in site selection for photovoltaic projects: A systematic review, *International Journal of Energy Research*, vol.43, pp.1689-1701
- Resch, G., Held, A., Faber, T., Panzer, C., Toro, F., Haas, R., 2008. Potentials and prospects for renewable energies at global scale, *Energy Policy*, vol.36, pp.4048-4056
- Reubens, J.T., Degraer, S., Vincx, M., 2014. The ecology of benthopelagic fishes at offshore wind farms: a synthesis of 4 years of research, *Hydrobiologia*, vol.727, pp.121–136
- Rivkin, A. D., Toomey, K., Silk L., 2013. The Art and Science of Wind Power: Wind Turbine Technology and Design, 1<sup>st</sup> ed. Jones & Bartlett Learning, Burlington
- Rogers, A.L., Manwell, J.F., Wright, S., 2006. Wind Turbine Acoustic Noise: A white paper prepared by the Renewable Energy Research Laboratory, 1<sup>η</sup> τροποποίηση, Πανεπιστήμιο της Μασαχουσέτης, Αμερστ
- Roy, S.B. & Traitor, J.J., 2010. Impacts of wind farms on surface air temperature, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol.107, pp.17899-17904
- Sahir, A.D., 2004. Progress and recent trends in wind energy, *Progress in Energy and Combustion Science*, vol.30, pp.501-543

- Saidur, R., Rahim, N. A., Islam, M. R., Solangi, K. H., 2011. Environmental impact of wind energy, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.15, pp. 2423–2430
- Saleem, A., Rashid, F., Mehmood, K., 2016. The Efficiency of Solar PV System, Proceedings of 2nd International Multi-Disciplinary Conference, Γκουχράτ, Πακιστάν, p.6
- Sampaio, P.G.V. & González, M.O.A. 2017. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.74, pp. 590-601
- Sánchez-Pantoja, N., Vidal, R., Pastor M.C., 2018. Aesthetic impact of solar energy systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 98, pp. 227-238
- Sanseverino, E.R., Cellura, M., Luu, L.Q., Cusenza, M.A., Nguyen Quang, N., Nguyen, N.H., 2021. Life-Cycle Land-Use Requirement for PV in Vietnam, *Energies*, vol.14, article number: 861
- Scarlat, N., Dallemad, J., Monforti-Ferrario, Banja, M., Motola, V., 2015. Renewable energy policy framework and bioenergy contribution in the European Union – An overview from National Renewable Energy Action Plans and Progress Reports, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.51, pp.969–985
- Schleisner, L., 2000. Life cycle assessment of a wind farm and related externalities, *Renewable Energy*, vol.20, pp.279-288
- Schubel, P.J. & Crossley, R.J., 2012. Wind Turbine Blade Design Review, *Wind Engineering*, vol.36, pp. 365-388
- Schuster, E., Bulling, L., Koppel, J., 2015. Consolidating the State of Knowledge: A Synoptical Review of Wind Energy’s Wildlife Effects, *Environmental Management*, vol.56, pp.300–331
- Shahsavari, A., & Akbari, M., 2018. Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 90, pp. 275-291
- Sharifi, M.R., Gibson, A., Rundel, P.W., 1997. Surface Dust Impacts on Gas Exchange in Mojave Desert Shrubs, *Journal of Applied Ecology*, vol.34, pp. 837-846
- Siddagangaiah, S., Chen, C., Hu, W., Pieretti, N., Impact of pile-driving and offshore windfarm operational noise on fish chorusing, *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, vol.8, pp.119–134
- Silicon Valley Toxics Coalition, 2009. Toward a Just and Sustainable Solar Energy Industry: A Silicon Valley Toxics Coalition White Paper, Καλιφόρνια, Η.Π.Α., p.48
- Singh, V.K., & Giribabu, L., 2013. Photovoltaic A Review of the Solar Cell Generation, *Journal of Innovation in Electronics and Communications*, vol.3, pp.46-55
- Sobrinho Junior, M.F., Ramirez Hernandez, M.C., Albano Amora, S.S., Costa de Moraes, E.R., 2002. Perception of Environmental Impacts of Wind Farms in Agricultural Areas of Northeast Brazil, *Energies*, vol.15, article number: 101

- Sovacool, B., K., 2009. Contextualizing avian mortality: A preliminary appraisal of bird and bat fatalities from wind, fossil-fuel, and nuclear electricity, *Energy Policy*, vol.37, pp.2241-2248
- Sovacool, B., K., 2012. The avian and wildlife costs of fossil fuels and nuclear power, *Journal of Integrative Environmental Sciences*, vol. 9, pp.255–278
- Srinivasan, M., Velu, A., Madhubabu, B., 2018. Potential Environmental Impacts of Solar Energy Technologies, *International Journal of Science and Research*, vol.8, pp.792-795
- Sullivan, R.G. & Abplanalp, J., 2014. Utility-Scale Solar Energy Facility Visual Impact Characterization and Mitigation Study Project Report, Technical Report
- Sullivan, R.G., Kirchner, L.B., Cothren, J., Winters, S.L., 2013. Offshore Wind Turbine Visibility and Visual Impact Threshold Distances, *Environmental Practice*, vol.15, pp.33-49
- Sun, H., Gao, X., Yang, H., 2020. A review of full-scale wind-field measurements of the wind-turbine wake effect and a measurement of the wake-interaction effect, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 132, article number 110042
- Szabo L., 2017. The history of using solar energy, *7<sup>th</sup> International Conference on Modern Power Systems (MPS)*, pp.9
- Tawalbeh, M., Al-Othman, A., Kafiah, F., Abdelsalam, E., Almomani, F., Alkasrawi, M., Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook, *Science of the Total Environment*, vol.759, article number, 143528
- Taylor, N., 2019. Solar Thermal Electricity Technology Market Report 2018, EUR 29921 EN, European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg
- Nkuissi, T.H.J., Konan, K.F., Hartiti, B., Ndjaka, J., 2019. Toxic Materials Used in Thin Film Photovoltaics and Their Impacts on Environment, In *Reliability and Ecological Aspects of Photovoltaic Modules*; Έκδοση: IntechOpen: Λονδίνο, Ηνωμένο Βασίλειο, p. 46
- Teff-Seker, Y., Berger-Tai, O., Lehnardt, Y., Teschnern, N., 2022 Noise pollution from wind turbines and its effects on wildlife: A cross-national analysis of current policies and planning regulations, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 168, article number 112801
- Thelander, C.G., Smallwood, K.S., Ruge, L., 2003. Bird Risk Behaviors and Fatalities at the Altamont Pass Wind Resource Area, National Renewable Energy Laboratory: Subcontractor Report, Κολοράντο, Η.Π.Α., p. 92
- Thompson, M., Beston, J.A., Etterson, M., Diffendorfer, J.E., Loss, S.R., 2017. Factors associated with bat mortality at wind energy facilities in the United States, *Biological Conservation*, vol.215, pp. 241-245
- Tougaard, J., Henriksen, O.D., Miller, L.A., 2009. Underwater noise from three types of offshore wind turbines: estimation of impact zones for harbor porpoises and harbor seals, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol.125, pp.3766–3773

- Tsagkari, M., 2020. How Greece Undermined the Idea of Renewable Energy Communities: An Overview of the Relevant Legislation, *Law Environment and Development Journal*, vol.17, pp.87-91
- Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N., Gekas, V., 2005. Environmental impacts from the solar energy technologies, *Energy Policy*, vol. 33, pp. 289-296
- Tsoutsos, T., Tsouchlaraki, A., Tsiropoulos, M., Serpetsidakis, M., 2009. Visual impact evaluation of a wind park in a Greek island, *Applied Energy*, vol.86, pp.546-553
- Turconi, R., Boldrin, A., Astrup, T., 2013. Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: Overview, comparability, and limitations, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.28, pp.555-565
- Turney, D., & Fthenakis, V., 2011. Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 3261-3270.
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), 2021. Life Cycle Assessment of Electricity Generation Options, 1<sup>η</sup> έκδοση, United Nations Publications, ΝέαΥόρκη, Η.Π.Α.
- U.S. Department of Energy, 2006. Energy demands on water resources: report to congress on the interdependency of energy and water., U.S. Department of Energy, Washington, DC
- Van Renterghem, T., 2017. Sound propagation from a ridge wind turbine across a valley. *Philosophical Transactions Royal Society A*, vol.375, article number: 20160105
- Varun, Bhat, I.K. & Prakash, R., 2009. LCA of renewable energy for electricity generation systems—a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.13, pp.1067–1073
- Verbong, G.P.J., 2007. Wind Power in the Netherlands, 1970–1995, *Centaurus*, vol.41, pp.137-160
- Verma, S., Paul, A.R., Haque, N., 2022. Assessment of Materials and Rare Earth Metals Demand for Sustainable Wind Energy Growth in India, *Minerals*, vol.12, article number: 647
- Wahl, D. & Giguere, P., 2006. Ice Shedding and Ice Throw –Risk and Mitigation, Wind Application Engineering, GE Energy, General Electric Company
- Wang, S., & Wang, S., 2015. Impacts of wind energy on environment: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 49, pp. 437-443
- Way, A.C. & van Zijl, G.P., 2015. A study on the design and material costs of tall wind turbine towers in South Africa, *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, vol.54, pp.45-54
- West, J., Bailey, I., Winter, M., 2010. Renewable energy policy and public perceptions of renewable energy: A cultural theory approach, *Energy Policy*, vol.38, pp.5739–5748



- White, A.L. & Zack, M., 1989. Avoided-cost pricing of electricity from waste-to-energy plants The regulatory economics of a negative cost fuel, *Energy Policy*, vol.17, pp.370-381
- Widuto, A., 2022. Briefing: Solar energy in the EU, European Parliamentary Research Service
- Willburn, D.R., 2011. Wind Energy in the United States and Materials Required for the Land-Based Wind Turbine Industry From 2010 Through 2030:Scientific Investigations Report 2011–5036,U.S. Geological Survey, p.29
- Wilson, L.C., Elliott, M., Cutts, N.D., Mander, L., Mendao, V., Perez-Dominguez, R., Phelps, A., 2010. Coastal and Offshore Wind Energy Generation: Is It Environmentally Benign?,*Energies*, vol.3, pp.1383-1422
- Wiratama, I. K. & Mara, Nuarsa, I. M., 2016. Investigation of Factors Affecting Power Curve Wind Turbine Blade, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 11, pp.2759–2762
- Xiaoming, W., Yuguang, X., Bo, G., Yuanjie Z., Fan, C., 2018. Analysis of Factors Affecting Wind Farm Output Power, 2018 2<sup>nd</sup> *IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*, Πεκίνο, Κίνα, pp. 1-5
- Xue, B., Ma, Z., Geng, Y., Heck, P., Ren, W., Tobias, M., Maas, A., Jiang, P., Puppim de Oliveira, J., Fujita, T., 2015.A life cycle co-benefits assessment of wind power in China, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.41, pp.338-346
- Yang, M., Martinez-Vazquez, P., Baniotopoulos, C., 2018. Wind Turbine Tower Collapse Cases: A Historical Overview,*ICE Proceedings Structures and Buildings*, vol.172, p .9
- Yu, M. & Halog, A., 2015. Solar Photovoltaic Development in Australia—A Life Cycle Sustainability Assessment Study, *Sustainability*, vol.7, pp.1213-1247
- Zhou, L., Tian, Y., Roy, S.B., Thorncroft, C., Bosart, L.F., Hu, Y., 2012. Impacts of wind farms on land surface temperature,*Nature Climate Change*, vol.2, pp.539–543
- Zimmermann, T. & Gößling-Reisemann, S., 2012.Influence of site specific parameters on environmental performance of wind energy converters, *Energy Procedia*, vol.20, pp.402 – 413
- Zucco, C., Wende, W., Merck, T., Köchling, I., Köppel, J., 2006. Ecological Research on Offshore Wind Farms: International Exchange of Experiences, PART B: Literature Review of Ecological Impacts, 1<sup>st</sup> edition, Bundesamt für Naturschutz (BfN), Βόνη, Γερμανία

## Ελληνόγλωσσηβιβλιογραφία

- Ασημακόπουλος Δ., Αραμπατζής Γ., Δημάκης Α., Καρταλίδης Α., Τσιλιγκιρίδης Γ., 2020. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Δυναμικό και Τεχνολογίες, 1<sup>η</sup>έκ. Εκδόσεις σοφία, Θεσσαλονίκη.
- Καραϊσάς, Π., 2014. Φωτοβολταϊκά Συστήματα και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, 1<sup>η</sup>έκ. Εκδόσεις ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ, Αθήνα.
- Κορωναίος, Χ.Ι., 2012. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Διδακτικές Σημειώσεις), Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα.
- Μπινόπουλος, Ε. & Χαβιαρόπουλος, Π., 2006. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αιολικών πάρκων : ‘Μύθος και πραγματικότητα’. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Αθήνα, 5 σ.
- Σιωμάδη, Ε., 2019. Επιπτώσεις από την εγκατάσταση χερσαίων αιολικών πάρκων, Ερευνητική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 42 σ.
- Τσαγκούλης, Φ., 2016. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον. Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 17 σ.

## Διαδικτυακές πηγές

- Αμανατίδης, Ε., Πανεπιστήμιο Πατρών. Ανανεώσιμες Μορφές Ενέργειας, Ενότητα 3: Θερμικά Ηλιακά Συστήματα, Ανοικτά ακαδημαϊκά μαθήματα. Διαθέσιμο στο: <https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php.pdf> (14-4-2023)
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2022. Ανακοίνωση της επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο, το συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή οικονομική και κοινωνική επιτροπή και την επιτροπή των περιφερειών: Στρατηγική της ΕΕ για την ηλιακή ενέργεια, Διαθέσιμο στο: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022DC0221&from=EN> (26-4-2023)
- Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ), 2022. Διαθέσιμο στο <https://eletaen.gr/banners-infographic-ofeli-aiolikis-energeias/> (27-12-2022)
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2022. Έκθεση της επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο και το συμβούλιο: Πρόοδος όσον αφορά την ανταγωνιστικότητα των τεχνολογιών καθαρής ενέργειας <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022DC0643> (27-4-2023)
- Σύνδεσμος εταιρειών φωτοβολταϊκών – HELAPCO, 2022. Στατιστικά στοιχεία αγοράς φωτοβολταϊκών για το 2021, Διαθέσιμο στο: (19-11-2022)
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας – ΥΠΕΝ, 2022. Διαθέσιμο στο: <https://ypen.gov.gr/> (15-11-2022)
- Barclay, C., 2012. Wind farms-distance from housing. Διαθέσιμο στο: <https://savestraiton.files.wordpress.com/2013/02/uk-distance-from-housing.pdf> (30-3-2023)

- Brunel, 2021. Concentrated Solar Power (CSP), Explained, Διαθέσιμο στο: <https://www.brunel.net/en/blog/renewable-energy/concentrated-solar-power> (21-1-2023)
- Cordis, 2018. Implementation of a Circular economy Based on Recycled, reused and recovered Indium, Silicon and Silver materials for photovoltaic and other applications. Διαθέσιμο στο: <https://cordis.europa.eu/article/id/240250-recycling-of-photovoltaic-waste-boosts-circular-economy> (29-4-2023)
- Cordis, 2016. New sustainable system for recycling wind turbine blades. Διαθέσιμο στο: <https://cordis.europa.eu/article/id/128476-new-sustainable-system-for-recycling-wind-turbine-blades/es> (29-4-2023)
- Energy Education: Wind Power, University of Calgary. Διαθέσιμο στο: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Wind\\_power](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Wind_power) (18-12-2022)
- EUR-Lex, Access to European Union law. Διαθέσιμο στο <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/ALL/?uri=CELEX%3A32001L0077> (25-4-2023)
- European Commission. Delivering the European Green Deal. Διαθέσιμο στο: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en) (26-4-2023)
- European Commission. Clean energy for all Europeans package. Διαθέσιμο στο: [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package_en) (25-4-2023)
- European Commission. Offshore wind energy. Διαθέσιμο στο: [https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/offshore-renewable-energy\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/offshore-renewable-energy_en) (27-4-2023)
- European Commission. Onshore wind energy. Διαθέσιμο στο: [https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/onshore-wind-energy\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/onshore-wind-energy_en) (27-4-2023)
- European Commission. Solarenergy, Διαθέσιμο στο: [https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/solar-energy\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/solar-energy_en) (19-11-2022).
- European Commission. Raw material demand for wind and solar energy, Διαθέσιμο στο: [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/system/files/2020-04/jrc120228\\_-\\_raw\\_material\\_demand\\_two-pager\\_pubsy\\_final.pdf](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/system/files/2020-04/jrc120228_-_raw_material_demand_two-pager_pubsy_final.pdf) (21-4-2023)
- European Parliament, Parliamentary question - E-000450/2023: The challenge of recycling old wind turbine blades in the EU. Διαθέσιμο στο: [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-9-2023-000450\\_EN.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-9-2023-000450_EN.html) (29-4-2023)
- Eurostat Statistics explained, 2023. Renewable energy statistics, Διαθέσιμο στο: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable\\_energy\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics) (30-4-2022)
- Eurostat Statistics explained, 2017. Glossary: Carbon dioxide equivalent, Διαθέσιμο στο: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Carbon\\_dioxide\\_equivalent](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Carbon_dioxide_equivalent) (2-12-2022)

- Harris, O., 2020. The effects of offshore wind farms on marine life. Διαθέσιμο στο: <https://marinemadnessdotblog.wordpress.com/2020/08/14/the-effects-of-offshore-wind-farms-on-marine-life/> (20-3-2023)
- HWEA WindEnergyStatistics, 2022. Οι αιολικές εγκαταστάσεις στην Ελλάδα, Διαθέσιμο στο <https://eletaen.gr/wp-content/uploads/2022/07/2022-26-07-H1-2022-HWEA-Statistics-Greece.pdf> (27-12-2022)
- Kerns, J. & Kerlinger, P., 2004. A study of bird and bat collision fatalities at the Mountaineer wind Energy Center, Tucker County, West Virginia. Annual Report for FPL Energy and Mountaineer Wind Energy Center Technical Review Committee. Διαθέσιμο στο: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Curry-2004.pdf> (13-3-2023)
- Laine, D.C., 2017. Effects of Solar Power Farms on the Environment, Sciencing. Διαθέσιμο στο: <https://sciencing.com/effects-solar-power-farms-environment-13547.html> (17-4-2023)
- Mariano, A., 2019. Pagerpower, Urban & Renewables: Wind turbine noise pollution. Διαθέσιμο στο: <https://www.pagerpower.com/news/wind-turbine-noise-pollution/> (1-4-2021)
- Minnesota Department of Commerce. Summary of Wind Policies and Recommendations by Country: Companion Summary Chart to “International Review of Policies and Recommendations for Wind Turbine Setbacks from Residences”. Διαθέσιμο στο: [https://mn.gov/eera/web/project-file?legacyPath=/opt/documents/Summary\\_Wind\\_Chart\\_by\\_Country.pdf](https://mn.gov/eera/web/project-file?legacyPath=/opt/documents/Summary_Wind_Chart_by_Country.pdf) (31-3-2023)
- National Park Service, 2019. Windmills on the American Plains. Διαθέσιμο στο: <https://www.nps.gov/articles/windmills.htm> (22-4-2023)
- The Renewable Energy Hub UK, 2022. History of Solar PV. Διαθέσιμο στο: <https://renewableenergyhub.co.uk/main/solar-panels/the-history-of-solar-power/> (26-2-2023)
- Renewables Now, 2022. Renewables 2022 Global Status Report. Διαθέσιμο στο: <https://www.ren21.net/gsr-2022/> (27-12-2022)
- Sendy, A., 2022. How long do solar panels actually last?, Solar Reviews. Διαθέσιμο στο: <https://www.solarreviews.com/blog/how-long-do-solar-panels-last>
- Solar Alliance: How Do Clouds Affect Solar Panels, 2022. Διαθέσιμο στο: <https://www.solaralliance.com/how-do-clouds-affect-solar-panels/> (19-12-2022)
- Solar Power Europe, 2022. New report reveals EU solar power soars by almost 50% in 2022. Διαθέσιμο στο: <https://www.solarpowereurope.org/press-releases/new-report-reveals-eu-solar-power-soars-by-almost-50-in-2022> (28-12-2022)
- SolarzoneCleanEnergy. Φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτού μενίου (ThinFilm), Διαθέσιμο στο: <https://www.eco2day.gr/> (29-11-2022)

- Union of Concerned Scientists, 2013. Environmental impacts of solar power. Διαθέσιμο στο: <https://www.ucsusa.org/resources/environmental-impacts-solar-power#references> (3-12-2022).
- United States Environmental Protection Agency (EPA), 2013. Renewable Energy Fact Sheet: Wind Turbines. Διαθέσιμο στο: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-08/documents/wind\\_turbines\\_fact\\_sheet\\_p100il8k.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-08/documents/wind_turbines_fact_sheet_p100il8k.pdf) (10-1-2023)
- U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy. The history of solar, Διαθέσιμο στο: [https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar\\_timeline.pdf](https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf) (22-2-2023)
- WindEurope, 2023. Wind energy in Europe 2022: Statistics and the outlook for 2023-2027. Διαθέσιμο στο: <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-2022-statistics-and-the-outlook-for-2023-2027/> (30-4-2023)
- WindEurope, 2022. Wind energy today. Διαθέσιμο στο: <https://windeurope.org/about-wind/wind-energy-today/> (27-12-2022)

## Εικόνες

- Εικόνα 1. Kavaarpuo, G., 2014. Transitions in Urban Energy Systems: Role of Urban Planning in the Wa Municipality, Ghana. Master Thesis, Πανεπιστήμιου Duisburg-Essen, Γερμανία. Διαθέσιμο στο: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.27106.96960>
- Εικόνα 2. Energy Information Administration, Solar explained, Solar thermal collectors. Διαθέσιμο στο: <https://www.eia.gov/energyexplained/solar/solar-thermal-collectors.php> (7-5-2023)
- Εικόνα 3. Răboacă, M.S., Badea, G., Enache, A., Filote, C., Răsoi, G., Rata, M., Lavric, A., Felseghi, R.A., 2019. Concentrating Solar Power Technologies, *Energies*, vol.12. article number: 1048. Διαθέσιμο στο: <http://dx.doi.org/10.3390/en12061048> (7-5-2023)
- Εικόνα 4. Garden Tool Box: Best portable solar panels for a caravans, camping, phones, and hiking that are foldable. Διαθέσιμο στο: <https://www.gardentoolbox.co.uk/best-solar-panels/> (7-5-2023)
- Εικόνα 5. SolarReviews: 5 best RV solar panels and buyer's guide. Διαθέσιμο στο: <https://www.solarreviews.com/blog/rv-solar-panels-buyers-guide> (7-5-2023)
- Εικόνα 6. The different types of solar panels. Διαθέσιμο στο: <https://www.deegesolar.co.uk/different-types-of-solar-pv-systems/> (7-5-2023)
- Εικόνα 7. Federation of Master Builders: Selling solar power back to the National Grid. Διαθέσιμο στο: <https://www.fmb.org.uk/homepicks/solar-panels/selling-solar-power-back-to-grid/> (7-5-2023)
- Εικόνα 8. Agrawal, M., Saxena, B., Rao, K.V., 2017. Feasibility of establishing solar photovoltaic power plants at existing wind farms, 2017 International Conference on Smart Technologies For Smart Nation, pp. 251-256. Διαθέσιμο στο: <http://dx.doi.org/10.1109/SmartTechCon.2017.8358378> (7-5-2023)
- Εικόνα 9. Usman, R. & Sigalo, M., 2017. Analysis and Simulation of Electrical Load in a Hospital Using Hybrid (Diesel/Solar) System as a Back Up, *Quest Journals Journal of*

Electronics and Communication Engineering Research, vol.3, pp.1-14. Διαθέσιμο στο: [https://www.researchgate.net/publication/320069189 Analysis and Simulation of Electrical Load in a Hospital Using Hybrid DieselSolar System as a Back Up](https://www.researchgate.net/publication/320069189_Analysis_and_Simulation_of_Electrical_Load_in_a_Hospital_Using_Hybrid_DieselSolar_System_as_a_Back_Up) (7-5-2023)

- Εικόνα 10 και 11. Our World Data, 2021. Διαθέσιμο στο: <https://ourworldindata.org/search?q=Solar+power> (21-11-2022)
- Εικόνα 12. Σύνδεσμος εταιρειών φωτοβολταϊκών – HELAPCO, 2022. Στατιστικά στοιχεία αγοράς φωτοβολταϊκών για το 2021. Διαθέσιμο στο: <https://helapco.gr/statistika-agoras-fwtovoltaikwn/statistika-ellinikis-agoras-2021/>(21-11-2022)
- Εικόνα 13. Audubon: Solar Power and Birds. Διαθέσιμο στο: <https://www.audubon.org/news/solar-power-and-birds> (7-5-2023)
- Εικόνα 14. Carrara, S., Alves Dias, P., Plazzotta, B., Pavel, C., 2020. Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonised energy system, 1η έκδοση. Εκδοτικό γραφείο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Λουξεμβούργο
- Εικόνα 15. Bolt, O., 2023. What are the Health Risks Living Near Solar Farm?, Energy Theory. Διαθέσιμο στο: <https://energytheory.com/what-are-the-health-risks-living-near-solar-farm/> (7-5-2023)
- Εικόνα 16. Freedom Solar Power: Fire and Solar Panels-Addressing the concerns. Διαθέσιμο στο: <https://freedomsolarpower.com/blog/fire-and-solar-panels-what-you-need-to-know> (7-5-2023)
- Εικόνα 17. Αμανατίδης, Ε., 2019. Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Χημικών Μηχανικών. Διαθέσιμο στο: [https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CMNG2123/2015/2019-2020/%CE%A0%CE%91%CE%A1%CE%91%CE%94%CE%9F%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3/Ma8ima\\_1o\\_Eisagwgh.pdf](https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CMNG2123/2015/2019-2020/%CE%A0%CE%91%CE%A1%CE%91%CE%94%CE%9F%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3/Ma8ima_1o_Eisagwgh.pdf) (7-5-2023)
- Εικόνα 18. Schubel, P.J. & Crossley, R.J., 2012. Wind Turbine Blade Design Review, Wind Engineering, vol.36, pp. 365-388
- Εικόνα 19. Millar, A., 2022. The impact of wind turbines on biodiversity and how to minimise it, NS Energy. Διαθέσιμο στο: <https://www.nsenergybusiness.com/features/the-impact-of-wind-turbines-on-biodiversity-and-how-to-minimise-it/> (7-5-2023)
- Εικόνα 20. SEER, U.S. Offshore Wind Synthesis of Environmental Effects Research: Benthic Disturbance from offshore wind foundation anchors, and cables. Διαθέσιμο στο: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/summaries/SEER-Educational-Research-Brief-Benthic-Disturbance.pdf> (23-5-2023)
- Εικόνα 21. Do Wind Turbines Cause Visual Pollution?. Διαθέσιμο στο: <https://www.greenorbits.com/do-wind-turbines-cause-visual-pollution/> (7-5-2023)
- Εικόνα 22. Manwell, J. F., McGowan, J. G., Rogers, A. L., 2009. Wind Energy Explained: Theory, and Design and Application. 2nd ed. Chichester: JohnWiley& Sons Ltd. United Kingdom

