



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη της κατανομής και των τάσεων μεταβολής του
ανέμου για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας στον
ελλαδικό χώρο**

**ΚΟΥΦΟΠΟΥΛΟΥ ΔΑΝΑΗ, Α.Μ.: 1114201400044
ΠΑΤΑΠΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, Α.Μ.: 1114201400079**

Επιβλέπουσα

Μαρία Χατζάκη, Επίκουρη Καθηγήτρια

ΑΘΗΝΑ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2022

Αφιέρωση

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι αφιερωμένη στις οικογένειες μας καθώς και στην επιβλέπουσα καθηγήτρια μας, που μας στήριξαν κατά την εκπόνησή της.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
ABSTRACT.....	6
1 ΘΕΩΡΙΑ.....	7
1.1 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΡΙΣΗ	7
1.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1.2 ΑΙΤΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΡΙΣΗΣ	7
1.1.3 ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	8
1.1.4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΣ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΤΩΝ ΜΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	13
1.2 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	16
1.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	16
1.2.2 ΚΥΡΙΕΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	16
1.2.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ & ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	20
1.3 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	21
1.3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ & ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	21
1.3.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	21
1.3.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ & ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	22
1.4 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ	24
1.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ	24
1.4.2 ΓΕΝΕΣΗ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ	24
1.4.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ	25
1.4.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ WEIBULL.....	30
1.5 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ.....	32
1.5.1 Ο ΡΟΛΟΣ ΜΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ.....	32

1.5.2	ΚΥΡΙΑ ΔΟΜΙΚΑ ΜΕΡΗ ΜΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ	33
1.5.3	ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	36
1.5.4	ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	37
1.5.5	ΤΥΠΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	44
1.5.6	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	50
1.5.7	ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ.....	51
1.6	ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΕΥΡΩΠΗ ΚΑΙ ΕΛΛΑΔΑ	53
1.6.1	ΧΡΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ	53
1.6.2	Η ΘΕΣΗ ΤΗΣ Ε.Ε. ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ	54
1.6.3	ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ	54
1.6.4	ΕΞΕΤΑΖΟΝΤΑΣ ΤΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ.....	62
1.6.5	Η ΔΕΣΜΕΥΣΗ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΙΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ.....	64
1.6.6	ΤΟ ΚΛΙΜΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΚΑΙ Η ΠΟΡΕΙΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΗΣ	66
1.6.7	ΤΟ ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΙ Ο ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	70
1.7	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ.....	75
1.7.1	ΧΛΩΡΙΔΑ.....	75
1.7.2	ΠΑΝΙΔΑ.....	75
1.7.3	ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΚΑΙ ΥΠΟΘΑΛΛΑΣΙΟ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ	76
1.7.4	ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	76
1.7.5	Η/Μ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ	78
1.7.6	ΘΟΥΡΒΟΣ.....	78
1.7.7	ΟΠΤΙΚΗ ΟΧΛΗΣΗ	79
1.7.8	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΚΥΚΛΟ	80
1.8	ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ.....	82
2	ΔΕΔΟΜΕΝΑ & ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	84
2.1	ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	84

2.1.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΝΝΟΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΠΑΝ-ΑΝΑΛΥΣΗΣ	84
2.1.2	ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΕΡΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	85
2.2	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	86
2.2.1	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ MICROSOFT EXCEL.....	86
2.2.2	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ARCMAP 10.6.1	90
3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	93
3.1	ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ 93	
3.2	ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ ..	105
4	ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	118
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	120
	ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ, ΠΙΝΑΚΩΝ, ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ, ΣΧΗΜΑΤΩΝ & ΧΑΡΤΩΝ	124

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα εργασία αναλύονται και εξηγούνται επαρκώς οι λόγοι που έχουν συντελέσει στην απόφαση της Ευρωπαϊκής Ένωσης να αποκτήσει ηγετικό ρόλο στη θέσπιση νομοθεσίας και την οργάνωση των κρατών, προκειμένου να στραφούν στην αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

Η ολοένα αυξανόμενη ενεργειακή κρίση, σε συνδυασμό με την περιβαλλοντική επιβάρυνση που έχει επιφέρει η αξιοποίηση συμβατικών μορφών ενέργειας, αποτελούν τους βασικότερους παράγοντες των παραπάνω προβλημάτων. Τις τελευταίες δεκαετίες, έχει διατεθεί μεγάλος αριθμός κονδυλίων στους τομείς της Έρευνας και Ανάπτυξης, τα οποία αποσκοπούν στην εύρεση νέων τεχνολογικών μέσων αξιοποίησης των Α.Π.Ε, σε βελτιώσεις της προ υπάρχουσας τεχνολογίας και στους τρόπους ανάπτυξης του δικτύου των συστημάτων παραγωγής και μεταφοράς ενέργειας.

Για την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας και ενεργειακής ανεξαρτησίας για κάθε χώρα, καθοριστικό ρόλο κατέχει η αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού. Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας γίνεται με τη χρήση μηχανών μεγάλης κλίμακας, τις λεγόμενες ανεμογεννήτριες, οι οποίες δεσμεύουν την κινητική ενέργεια του ανέμου και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρική. Τα τελευταία χρόνια, ένα αξιόλογο ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας σε Ελλάδα και Ευρώπη προέρχεται από την εγκατάσταση αιολικών πάρκων, σε θέσεις οι οποίες χαρακτηρίζονται από υψηλό αιολικό δυναμικό. Παρ' όλα αυτά, με την κλιματική αλλαγή να καλπάζει σε παγκόσμιο επίπεδο, είναι απαραίτητη η διεύρυνση του δικτύου των αιολικών εγκαταστάσεων. Η Ελλάδα αποτελεί χώρα με άφθονα αποθέματα αιολικής ενέργειας, καθώς το ανάγλυφό της, η γεωγραφική της θέση και το κλίμα της ευνοούν την ύπαρξη μεγάλου αιολικού δυναμικού.

Με την επεξεργασία των μέσων μηνιαίων τιμών ανέμου σε επίπεδο δήμου για τα τελευταία 40 χρόνια, δημιουργούμε χάρτες τους οποίους χρησιμοποιούμε ως αρχικό σημείο αναφοράς για την τελική επιλογή των θέσεων ενδιαφέροντος. Συνεπώς, στην εργασία, αναδεικνύεται η ενεργειακή δυναμική της Ελλάδας και η ανάγκη αξιοποίησης των ανεμολογικών χαρακτηριστικών της, προκειμένου να αντιμετωπιστούν η κλιματική αλλαγή και η ενεργειακή κρίση. Ωστόσο, είναι πολύ σημαντικό να αναφερθεί πως η οικονομία της Ελλάδας στηρίζεται, κυρίως, σε δραστηριότητες του πρωτογενούς τομέα, τον τουρισμό και σε δράσεις που ευνοούν την ανάπτυξη του συγκεκριμένου κλάδου. Η χρήση των ανεμογεννητριών και η εγκατάσταση αιολικών πάρκων εγκυμονούν κινδύνους, οι οποίοι δύνανται να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και κατ' επέκταση στην οικονομία της χώρας. Προκειμένου η στροφή προς την αξιοποίηση των Α.Π.Ε να επιτευχθεί στο μέγιστο βαθμό, είναι μείζονος σημασίας να ληφθούν υπόψιν η ελληνική Νομοθεσία, τα ιδιαίτερα γεωλογικά και γεωγραφικά χαρακτηριστικά κάθε θέσης, οι οικονομικοί πυλώνες της εκάστοτε περιοχής και οι απαιτήσεις των τοπικών κοινωνιών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, καλούμαστε να αναλύσουμε τα υπέρ και τα κατά της χρήσης των συμβατικών μορφών ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αναφερόμαστε στην ανάγκη της παγκόσμιας κοινότητας να στραφεί στην αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, προσδίδοντας ιδιαίτερη έμφαση στην αιολική, εφόσον βλέπουμε ότι βρίσκεται σε αφθονία στον ελλαδικό χώρο. Στη συνέχεια, κάνουμε μια ιστορική αναδρομή, η οποία εκτείνεται από τη χρήση των πρώτων ανεμόμυλων, έως την κατασκευή της πρώτης μηχανής παραγωγής ηλεκτρισμού και τα στάδια εξέλιξης των ανεμογεννητριών. Αναλύουμε τα κύρια δομικά τους μέρη, με στόχο την κατανόηση των βασικών τους λειτουργιών. Επιπλέον, αναφερόμαστε στο νομοθετικό πλαίσιο και το χωροταξικό σχεδιασμό, τα οποία φροντίζουν για την ομαλή εναρμόνιση των αιολικών πάρκων με το φυσικό περιβάλλον, προκειμένου να αποφευχθούν τυχόν κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις. Τέλος, με την επεξεργασία των ERA5 δεδομένων κάνουμε εκτίμηση του ανεμολογικού πεδίου της Ελλάδας, σημειώνοντας την αναγκαιότητα της συνύπαρξης του αιολικού δυναμικού μαζί με ένα πλήθος παραμέτρων, προκειμένου μια θέση να θεωρηθεί κατάλληλη και οικονομικά αποδοτική.

ABSTRACT

In this dissertation, we are invited to analyze the pros and cons by using conventional forms of energy for electricity generation. We refer to the need of the world to focus on the utilization of renewable energy sources, giving special emphasis to the wind, since we see its abundance in Greek territory. Then, we make a historical review, which extends from the use of the first windmills, to the construction of the first generating machine and the stages of development of wind turbines. We analyze their main structural parts, in order to understand their basic functions. In addition, we refer to the legislative framework and spatial planning, which ensure the smooth harmonization of wind farms in the natural environment, in order to avoid any socio-economic impact. Finally, by processing the ERA5 data we make an assessment of the wind field of Greece, noting the necessity of the coexistence of the wind potential energy with a number of parameters, in order for a location to be considered suitable and economically efficient.

1 ΘΕΩΡΙΑ

1.1 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΡΙΣΗ

1.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενέργεια βρίσκεται παντού και κινεί τα πάντα. Στη σύγχρονη κοινωνία, κάθε ανθρώπινη ανάγκη και η αντίστοιχη κάλυψή της εξαρτάται άμεσα από την ενέργεια την αφθονία της, την ευκολία που προσφέρει, καθώς και τις δυνατότητές της. Ταυτόχρονα, κατοικούμε σε ένα εκπληκτικό οικοσύστημα, τόσο ανθεκτικό όσο και εύθραυστο.

Η ενέργεια, εκ φύσεως, προέρχεται και επιστρέφει σε ένα παγκόσμιο περιβάλλον. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια ο πλανήτης βρίσκεται αντιμέτωπος με μία μεγάλη ενεργειακή κρίση. Η κρίση αυτή αντικατοπτρίζει την αύξηση της ζήτησης της ενέργειας παγκοσμίως και την ταυτόχρονη μείωση των αποθεμάτων των φυσικών πόρων που χρησιμοποιούνται στη σημερινή βιομηχανική κοινωνία. Αξίζει να σημειωθεί ότι η κρίση οφείλεται σε πληθώρα παραγόντων, όπως η εκθετική αύξηση των ενεργειακών απαιτήσεων, η ανομοιομορφία κατανάλωσης ενέργειας ανά τον κόσμο, η συνεχής εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή και την μεταφορά ενέργειας, η ταυτόχρονη αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού – που πλέον ξεπερνά τα 7 δισεκατομμύρια και αυξάνεται σταθερά – μεταξύ άλλων (Greentuble, 2017).

1.1.2 ΑΙΤΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΡΙΣΗΣ

Όπως προαναφέρθηκε, στη σημερινή εποχή είναι εμφανής η αύξηση ζήτησης της ενέργειας. Η αύξηση αυτή δικαιολογείται ως η προσπάθεια για βελτίωση του βιοτικού επιπέδου των ανθρώπων. Οι ανάγκες τους συνεχώς και αυξάνονται, ως συνέπεια της οικονομικής και τεχνολογικής εξέλιξης. Παράλληλα, ο υπερπληθυσμός έχει -εύλογα, αλλά και αναπόφευκτα- ως αποτέλεσμα τη συνεχή αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας σε εκθετικό βαθμό.

Παράλληλα, είναι γεγονός ότι η χρήση της ενέργειας δεν είναι ίδια σε όλα τα μήκη και τα πλάτη του πλανήτη, καθώς οι περισσότερο αναπτυγμένες χώρες καταναλώνουν το μεγαλύτερο ποσοστό για τις ολοένα και αυξανόμενες ανάγκες τους. Έτσι, δεν είναι δυνατή η εξοικονόμηση της ενέργειας, είτε στις αναπτυγμένες είτε στις υποανάπτυκτες χώρες. Ειδικότερα, η κατασπατάληση της ενέργειας από ανεπτυγμένες χώρες, όπως για παράδειγμα οι Η.Π.Α., ο Καναδάς και η Κίνα, είναι έως και είκοσι φορές περισσότερη από τις υπό ανάπτυξη χώρες.

Τέλος, η μη ορθολογική χρήση – και ως εκ τούτου σπατάλη – ενέργειας παγκοσμίως, δεν αφήνει περιθώρια για την περαιτέρω εκμετάλλευσή της προς έναν σημαντικότερο σκοπό (Coyle & Simmons, 2014)

1.1.3 ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας που χρησιμοποιείται σήμερα προέρχεται από τους ορυκτούς πόρους της γης, οι οποίοι αποτελούν τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Πρόκειται για μορφές ενέργειας που δεν ανανεώνονται και τα αποθέματα τους μέλλεται να εξαντληθούν κάποια στιγμή στο μέλλον. Οι πιο σημαντικές και πλέον εκμεταλλεύσιμες εξ αυτών είναι ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.

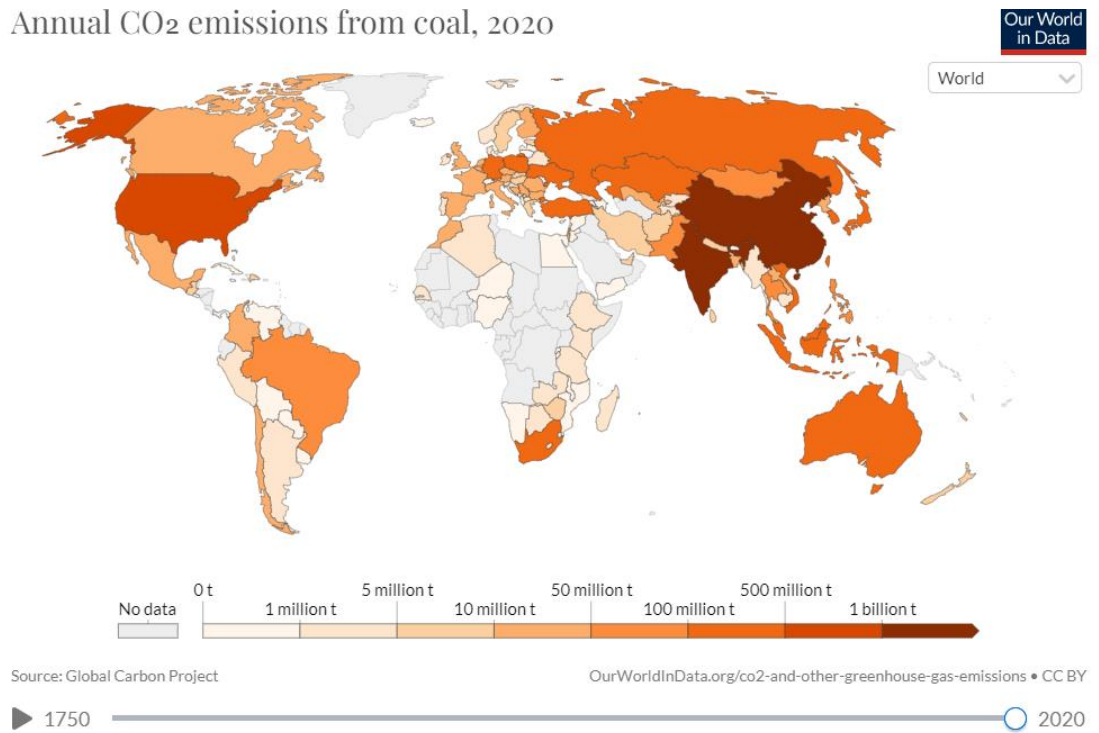
1.1.3.1 ΑΝΘΡΑΚΑΣ

Είναι το πλέον άφθονο ορυκτό καύσιμο στη φύση. Αποτελεί σημαντική πηγή ενέργειας εδώ και εκατομμύρια χρόνια, αφού τα παγκόσμια αποθέματά του υπολογίζονται γύρω στους $9,09 \cdot 10^{11}$ τόνους. Είναι το κύριο στοιχείο των ορυκτών καυσίμων και, για τον λόγο αυτό, η χρονική περίοδος που σχηματίστηκαν τα ορυκτά καύσιμα ονομάστηκε "*Carboniferous Period*". Βέβαια, η χρήση του για την παραγωγή ενέργειας προκαλεί τεράστια περιβαλλοντικά προβλήματα, αφού τα αέρια που εκπέμπονται κατά την καύση του (Εικόνα 1) είναι αδύνατο να ελεγχθούν.

Οι σημαντικότερες κατηγορίες ορυκτών ανθράκων είναι η τύρφη, οι γαιάνθρακες (στους οποίους ανήκει ο λιγνίτης) και οι λιθάνθρακες.

- Τύρφη: Έχει περάσει από την ελάχιστη ποσότητα ενανθράκωσης, δηλαδή τη διαδικασία που υφίστανται οι αρχαίοι οργανισμοί για να γίνουν άνθρακας. Περίπου 3 μέτρα συμπαγούς βλάστησης συνθλίβονται σε 0,3 μέτρα άνθρακα. Είναι ένα σημαντικό καύσιμο σε διάφορες περιοχές του κόσμου, όπως η Σκωτία, η Ιρλανδία και η Φινλανδία.
- Ανθρακίτης: σχηματίζεται σε περιοχές του κόσμου όπου υπήρξαν γιγάντιες μετακινήσεις της γης, όπως ο σχηματισμός οροσειρών. Για παράδειγμα, τα Απαλάτσια Όρη, στο ανατολικό τμήμα των Ηνωμένων Πολιτειών, είναι πλούσια σε ανθρακίτη. Οι ανθρακίτες αποτελούν την καλύτερης ποιότητας μορφή άνθρακα, λόγω της μεγάλης θερμικής ενέργειας. Η υπόγεια εξόρυξη χρησιμοποιείται όταν ο άνθρακας βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια της Γης, μερικές φορές 300 μέτρα βάθος, δηλαδή πιο βαθιά από τις περισσότερες από τις Μεγάλες Λίμνες! Οι ανθρακωρύχοι κατεβαίνουν με ασανσέρ σε φρεάτιο ναρκοπεδίου. Λειτουργούν βαριά μηχανήματα που κόβουν τον άνθρακα από τη Γη και τον φέρνουν πάνω από το έδαφος. Αυτό μπορεί να είναι επικίνδυνο έργο επειδή η κοπή άνθρακα μπορεί να απελευθερώσει επικίνδυνα αέρια. Τα αέρια μπορεί να προκαλέσουν εκρήξεις ή να δυσκολέψουν τους ανθρακωρύχους να αναπνεύσουν.

Annual CO₂ emissions from coal, 2020



Εικόνα 1 Ετήσιες εκπομπές CO₂ το 2020 λόγω του άνθρακα

Η επιφανειακή εξόρυξη χρησιμοποιείται όταν ο άνθρακας βρίσκεται πολύ κοντά στην επιφάνεια της γης. Για να φτάσουν στο κάρβουνο, οι εταιρείες πρέπει πρώτα να καθαρίσουν την περιοχή, αφαιρώντας τα δέντρα και το χώμα. Ο άνθρακας μπορεί στη συνέχεια να εξορυχθεί από το έδαφος πιο εύκολα. Κατά τη διαδικασία αυτή καταστρέφονται ολόκληροι βιότοποι.

Όταν καίγεται άνθρακας, αφήνει «υποπροϊόντα» που είναι επίσης πολύτιμα. Για παράδειγμα, χρησιμοποιούμε τα υποπροϊόντα του για να φτιάξουμε τσιμέντο, πλαστικά, δρόμους και πολλά άλλα.

1.1.3.2 ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ

Το πετρέλαιο είναι υγρό ορυκτό καύσιμο. Είναι ελαιώδες ή παχύρρευστο, με καστανό χρώμα, χαρακτηριστική δυσάρεστη οσμή, αδιάλυτο στο νερό και ελαφρότερο απ' αυτό. Αποτελείται από υδρογονάνθρακες (ενώσεις άνθρακα και υδρογόνου) που βρίσκονται συγκεντρωμένοι σε διάφορα βάθη, κάτω από το έδαφος ή τη θάλασσα.

Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκε από την αποσύνθεση θαλάσσιων κυρίως ζώων και φυτών που θάφτηκαν κάτω από διαδοχικές στοιβάδες λάσπης, πριν από 400-500 εκατομμύρια χρόνια. Προϋπόθεση για αυτή τη δημιουργία είναι η ύπαρξη ρηχής θαλάσσιας λεκάνης πλούσια σε θαλάσσιο φυτικό και ζωικό πληθυσμό, καθώς και ο θάνατος και ενταφιασμός των οργανισμών αυτών από λασπώδεις αποθέσεις. Το

οξυγόνο στον βυθό πρέπει να είναι περιορισμένο, έτσι ώστε η αποσύνθεση των οργανισμών να είναι αργή. Με την πάροδο του χρόνου, λάσπη και πηλός καθίζονται πάνω σ' αυτές τις αποθέσεις, δημιουργώντας τεράστιες πιέσεις. Κάτω απ' αυτές τις συνθήκες, με χημικές διεργασίες μετατρέπονται οι οργανισμοί σε πετρέλαιο και αέριο.

Η χρήση του πετρελαίου και των παράγωγων αυτού (όπως η βενζίνη) είναι ευρέως διαδεδομένη σε διάφορες εφαρμογές, όπως για παράδειγμα πετρέλαιο κίνησης, θέρμανσης κ.ά. Ωστόσο, η εξόρυξη και μετέπειτα χρήση αυτού είναι αρκετά επιβλαβής για το περιβάλλον. Ειδικότερα, απελευθερώνει επικίνδυνα αέρια και αναθυμιάσεις στον αέρα που αναπνέουμε. Επιπλέον, υπάρχει και η πιθανότητα διαρροής πετρελαίου. Εάν υπάρχει πρόβλημα με τα μηχανήματα γεώτρησης, το πετρέλαιο μπορεί να εκραγεί από το πηγάδι και να χυθεί στον ωκεανό ή στη γύρω περιοχή. Οι πετρελαιοκηλίδες, όπως ονομάζονται, είναι περιβαλλοντικές καταστροφές. Ειδικά όταν πρόκειται για υπεράκτιες διαρροές, γιατί καθώς το πετρέλαιο επιπλέει στο νερό, δημιουργούνται πετρελαιοκηλίδες που είναι θανατηφόρες για τους οργανισμούς της θάλασσας, τα πτηνά αλλά και για τον άνθρωπο που τρέφεται από αυτά.

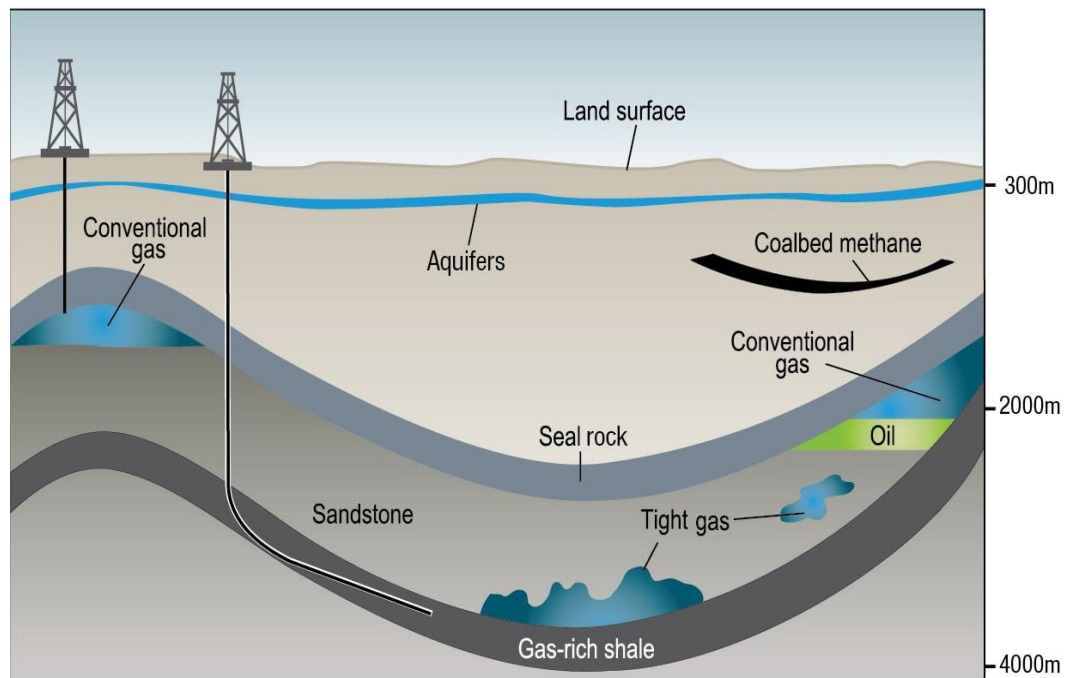
1.1.3.3 ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

Το φυσικό αέριο είναι ορυκτό καύσιμο. Όπως ο άνθρακας και το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο σχηματίστηκε από φυτά, ζώα και μικροοργανισμούς που έζησαν πριν από εκατομμύρια χρόνια. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές θεωρίες που εξηγούν πώς σχηματίζονται τα ορυκτά καύσιμα. Η πιο διαδεδομένη θεωρία είναι ότι σχηματίζονται υπόγεια, υπό έντονες συνθήκες. Καθώς οι φυτικοί και ζωικοί οργανισμοί αποσυντίθενται, σταδιακά καλύπτονται από στρώματα εδάφους, ιζήματα και μερικές φορές βράχους. Η οργανική ύλη στο διάστημα εκατομμυρίων ετών συμπιέζεται και κινείται βαθύτερα στη γη. Λόγω της υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας οι δεσμοί άνθρακα της οργανικής ύλης διασπώνται. Έτσι, η διάσπαση αυτή παράγει θερμογόνο μεθάνιο, δηλαδή φυσικό αέριο. Αποτελεί πιθανώς την πιο άφθονη οργανική ένωση στη Γη (CH). Τα κοιτάσματα φυσικού αερίου βρίσκονται συχνά κοντά σε αυτά του πετρελαίου. Οι μορφές του φυσικού αερίου (Εικόνα 2) είναι:

- Συμβατικό αέριο: Ονομάζεται έτσι επειδή είναι οικονομικό στην εξόρυξή του και εύκολα προσβάσιμο. Παγιδεύεται σε διαπερατό στρώμα που βρίσκεται ανάμεσα από αδιαπέρατο.
- Μη συμβατικό: Η ονομασία δόθηκε για το φυσικό αέριο που βρίσκεται σε άλλα γεωλογικά περιβάλλοντα και δεν είναι πάντα τόσο εύκολο ή πρακτικό να εξαχθεί. Με την πρόοδο της τεχνολογίας σε βάθος ετών, όμως, γίνεται πιο προσιτό και οικονομικά βιώσιμο.
- Βιοαέριο: Είναι ένας τύπος αερίου που παράγεται όταν η οργανική ύλη αποσυντίθεται χωρίς την ύπαρξη οξυγόνου. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται

αναερόβια αποσύνθεση και λαμβάνει χώρα σε χώρους υγειονομικής ταφής ή όπου οργανικά υλικά, όπως ζωικά απόβλητα, λύματα ή βιομηχανικά υποπροϊόντα, αποσυντίθενται. Περιέχει λιγότερο μεθάνιο από το φυσικό αέριο, αλλά μπορεί να εξευγενιστεί και να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας.

- Deep Natural Gas: Είναι ένα αντισυμβατικό αέριο. Ενώ τα περισσότερα συμβατικά αέρια βρίσκονται σε βάθος λίγων χιλιάδων μέτρων, αυτή η κατηγορία φυσικού αερίου βρίσκεται σε κοιτάσματα τουλάχιστον 4.500 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της Γης και έτσι εξορύσσεται δύσκολα.
- Σχιστολιθικό αέριο: Είναι τύπος μη συμβατικού φυσικού αερίου. Το φυσικό αέριο σε αυτή την περίπτωση αποθηκεύεται ανάμεσα σε στρώματα σχιστόλιθων. Ο σχιστόλιθος είναι χαρακτηριστικό αδιαπέρατο και αδιάτρητο πέτρωμα. Η εκμετάλλευσή του πραγματοποιείται είτε με την διαδικασία οριζόντιας γεώτρησης είτε με υδραυλική ρωγμή (επίσης γνωστή ως fracking). Αναφορικά με το fracking, είναι μια διαδικασία που διασπά ανοιχτό βράχο με ένα ρεύμα υψηλής πίεσης νερού και στη συνέχεια τον «στηρίζει» στο άνοιγμα με μικροσκοπικούς κόκκους άμμου, γυαλιού ή πυριτίου. Αυτό επιτρέπει στο αέριο να ρέει πιο ελεύθερα έξω από το πηγάδι.
- Tight Gas: Είναι ένα ασυνήθιστο φυσικό αέριο, παγιδευμένο υπόγεια σε έναν αδιαπέρατο σχηματισμό πετρωμάτων, που καθιστά εξαιρετικά δύσκολη την εξόρυξή του. Η εξαγωγή αερίου από «σφιχτούς» βραχώδεις σχηματισμούς απαιτεί συνήθως δαπανηρές και δύσκολες μεθόδους, όπως το fracking και η οξίνιση. Η οξίνιση είναι παρόμοια με το fracking. Όσον αφορά τη διαδικασία, ένα οξύ (συνήθως υδροχλωρικό οξύ) εγχέεται στο φρεάτιο φυσικού αερίου και διαλύει τον σφιχτό βράχο που εμποδίζει τη ροή του αερίου.
- Coalbed Methane: Είναι ένας άλλος τύπος μη συμβατικού φυσικού αερίου. Όπως υποδηλώνει το όνομά του, το μεθάνιο με στρώμα άνθρακα βρίσκεται συνήθως κατά μήκος ραφών άνθρακα που τρέχουν υπόγεια. Ιστορικά, όταν εξορύσσονταν άνθρακας, το φυσικό αέριο εκκεωνόταν σκόπιμα από το ορυχείο στην ατμόσφαιρα ως απόβλητο. Σήμερα, συλλέγεται μεθάνιο από άνθρακα και είναι μια δημοφιλής πηγή ενέργειας.
- Αέριο σε Ζώνες Γεωπίεσης: Μια άλλη πηγή μη συμβατικού φυσικού αερίου είναι οι ζώνες με γεωπίεση. Σχηματίζονται 3.000-7.600 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της Γης, όταν τα στρώματα αργίλου συσσωρεύονται γρήγορα και συμπιέζονται πάνω από υλικό που είναι πιο πορώδες, όπως άμμος ή λάσπη. Επειδή το φυσικό αέριο εξαναγκάζεται να βγει από τη συμπιεσμένη άργιλο, εναποτίθεται υπό πολύ υψηλή πίεση στην άμμο, τη λάσπη ή άλλο απορροφητικό υλικό από κάτω της. Η οριζόντια γεώτρηση είναι μια διαδικασία γεώτρησης κατευθείαν κάτω στο έδαφος και στη συνέχεια διάτρησης πλάγια ή παράλληλα με την επιφάνεια της Γης (Canadian Association of Petroleum Producers, 2022).



Εικόνα 2 Μορφές φυσικού αερίου (Canadian Association of Petroleum Producers, 2022)

1.1.3.4 ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η πυρηνική ενέργεια συνήθως θεωρείται ως μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, καθώς - αν και η ίδια η πυρηνική ενέργεια είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας- το υλικό που χρησιμοποιείται στους πυρηνικούς σταθμούς δεν είναι. Η πυρηνική ενέργεια συλλέγει την ισχυρή ενέργεια στον πυρήνα ενός ατόμου. Απελευθερώνεται μέσω της πυρηνικής σχάσης, της διαδικασίας όπου ο πυρήνας ενός ατόμου διασπάται.

Οι πυρηνικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής είναι πολύπλοκες μηχανές που μπορούν να ελέγξουν την πυρηνική σχάση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το υλικό που χρησιμοποιείται συχνότερα στους πυρηνικούς σταθμούς είναι το στοιχείο ουράνιο. Αν και το ουράνιο βρίσκεται σε πετρώματα σε όλο τον κόσμο, οι πυρηνικοί σταθμοί χρησιμοποιούν συνήθως έναν πολύ σπάνιο τύπο ουρανίου, το U-235. Το ουράνιο είναι ένας μη ανανεώσιμος πόρος. Αποτελεί έναν δημοφιλή τρόπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο.

Οι πυρηνικοί σταθμοί δεν ρυπαίνουν τον αέρα, ούτε εκπέμπουν αέρια θερμοκηπίου. Μπορούν να κατασκευαστούν σε αγροτικές ή αστικές περιοχές και δεν καταστρέφουν το περιβάλλον γύρω τους.

Ωστόσο, η πυρηνική ενέργεια είναι δύσκολο να συλλεχθεί. Η κατασκευή και η λειτουργία των πυρηνικών σταθμών είναι πολύ περίπλοκη. Πολλές κοινότητες δεν έχουν τους επιστήμονες και τους μηχανικούς για να αναπτύξουν ένα ασφαλές και αξιόπιστο πρόγραμμα πυρηνικής ενέργειας.

Η πυρηνική ενέργεια παράγει επίσης ραδιενεργό υλικό. Τα ραδιενεργά απόβλητα

μπορεί να είναι εξαιρετικά τοξικά, προκαλώντας εγκαύματα και αυξάνοντας τον κίνδυνο για καρκίνους, ασθένειες του αίματος και αποσύνθεση των οστών μεταξύ των ατόμων που εκτίθενται σε αυτά (National Geographic, 2022).

Σύμφωνα έρευνες του 2018, η Ευρωπαϊκή Ένωση στηρίζει πάνω από το 25% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, στην πυρηνική ενέργεια. Η Γαλλία, προηγείται στο εγχείρημα αυτό διαθέτοντας 58 ενεργούς πυρηνικούς αντιδραστήρες, και καταφέρνει να καλύψει μέχρι και το 75% των αναγκών της σε ηλεκτρική ενέργεια. (Σινέμογλου, 2021)

1.1.4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΣ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΤΩΝ ΜΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1.4.1 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Ίσως ο πιο γνωστός αντίκτυπος της χρήσης μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, ιδίως διοξειδίου του άνθρακα CO₂ και μεθανίου CH₄, τα οποία συμβάλλουν στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου και άρα στην παγκόσμια θέρμανση. Κάθε διαφορετικός τύπος καυσίμου μπορεί να εκπέμπει διαφορετικά επίπεδα αερίων θερμοκηπίου. Για παράδειγμα, ο άνθρακας θεωρείται ο χειρότερος πομπός διοξειδίου του άνθρακα. Στις Η.Π.Α. οι εκπομπές CO₂ από τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας που υπολογίστηκαν το 2015 οφείλονταν κατά 71% στον άνθρακα. Ενώ για παράδειγμα, το φυσικό αέριο παρήγαγε περίπου το 28% του εκπεμπόμενου CO₂.

Το φυσικό αέριο εκπέμπει πολύ λιγότερο CO₂, συγκεκριμένα 50-60% λιγότερο σε σύγκριση με τον άνθρακα, και επίσης εκπέμπει 15-20% λιγότερα αέρια παγίδευσης θερμότητας σε σύγκριση με τη βενζίνη, όταν χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία ενός οχήματος.

Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει ότι το φυσικό αέριο μπορεί να βοηθήσει στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, καθώς η γεώτρηση και η εξόρυξη φυσικού αερίου από πηγάδια έχει ως αποτέλεσμα τη διαρροή μεθανίου, το οποίο είναι ένα πολύ πιο ισχυρό αέριο θερμοκηπίου είναι 34 φορές ισχυρότερο από το CO₂ όσον αφορά τη δυνατότητα παγίδευσης της θερμότητας.

Οι ανησυχίες σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και την κλιματική αλλαγή είναι διατομεακές. Δεν πρόκειται μόνο για τις άμεσες επιπτώσεις της αύξησης της θερμοκρασίας και της αλλαγής των καιρικών συνθηκών, καθώς πληθαίνουν επίσης οι πλημμύρες ή οι ξηρές εποχές που επηρεάζουν τα ανθρώπινα μέσα διαβίωσης. Σε ένα ευρύτερο πλαίσιο, η κλιματική αλλαγή επηρεάζει σημαντικά τα οικοσυστήματα, μειώνοντας την ικανότητά τους να προσαρμοστούν στις μεταβαλλόμενες συνθήκες, απειλώντας τη βιοποικιλότητα και τις σημαντικές υπηρεσίες οικοσυστήματος στις οποίες βασίζεται η ζωή μας (Greentable, 2017).

1.1.4.2 ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΟΥ ΑΕΡΑ

Οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν αλλάζουν απλώς την ατμόσφαιρα της Γης, μέσω της αύξησης της ποσότητας των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Εκπέμπουν, επίσης, ένα σύνολο ρύπων που επηρεάζουν την υγεία των ανθρώπων και το περιβάλλον αυτό καθ' αυτό. Για παράδειγμα, οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα είναι η μοναδική μεγαλύτερη πηγή εκπομπών υδραργύρου στις Η.Π.Α. Όταν ο υδράργυρος εκπέμπεται στον αέρα, εναποτίθεται στο έδαφος ή στο νερό. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να συσσωρευτεί σε οργανισμούς που ζουν στο περιβάλλοντα χώρο (όπως ψάρια), περνώντας στην τροφική αλυσίδα και επηρεάζοντας έτσι το οικοσύστημα συνολικά, καταλήγοντας στον άνθρωπο.

Αυτό έχει βαθιές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα, καθώς επίσης δημιουργεί πραγματικούς κινδύνους για τους ανθρώπους. Μελέτες έχουν δείξει ότι η έκθεση στον υδράργυρο μπορεί να οδηγήσει σε νευρολογικές και νευροσυμπεριφορικές επιπτώσεις σε έμβρυα και μικρά παιδιά.

Τέλος, άλλοι ατμοσφαιρικοί ρύποι που εκπέμπονται, λόγω της καύσης ορυκτών καυσίμων, περιλαμβάνουν το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου και τα μικροσωματίδια (Greentable, 2017).

1.1.4.3 ΟΞΙΝΗ ΒΡΟΧΗ ΚΑΙ ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Δεν είναι μόνο ο αέρας που αναπνέουμε που ρυπαίνεται. Οι επικίνδυνοι ρύποι που εκπέμπονται στον αέρα μπορούν να λάβουν μέρος στον κύκλο του νερού. Αυτή είναι η περίπτωση της όξινης βροχής που σχηματίζεται όταν θείο και άλλες χημικές ουσίες εισάγονται στην ατμόσφαιρα από βιομηχανικές διεργασίες. Οι χημικές ουσίες που αιωρούνται στον αέρα μετατρέπονται, στη συνέχεια, τη βροχή σε ήπια όξινη.

Η όξινη βροχή είναι διαβρωτική για τα μηχανήματα και διαταράσσει τα τοπικά οικοσυστήματα. Όσον αφορά το περιβάλλον, η όξινη βροχή αλλάζει την οξύτητα των λιμνών και των ρευμάτων, κάτι που μπορεί να είναι πολύ επιβλαβές για τα ψάρια και άλλους υδρόβιους οργανισμούς. Είναι, επίσης, καταστροφική για τα δέντρα, αποδυναμώνοντας έτσι τα δασικά οικοσυστήματα.

Μια άλλη πτυχή της ρύπανσης των υδάτων λόγω της χρήσης ορυκτών καυσίμων, όπως ο άνθρακας ή η πυρηνική ενέργεια, είναι γνωστή ως «θερμική ρύπανση». Τόσο οι μονάδες ορυκτών καυσίμων όσο και οι πυρηνικοί σταθμοί, χρειάζονται νερό για να λειτουργήσουν και να βοηθήσουν στην ψύξη του σταθμού παραγωγής ενέργειας. Το νερό που χρησιμοποιούν είναι επίσης απαραίτητο για άλλους σκοπούς, όπως η διατήρηση των τοπικών λειτουργιών του οικοσυστήματος ή η γεωργία. Όταν τα φυτά απελευθερώνουν αυτό το νερό πίσω στο περιβάλλον, η θερμοκρασία του αλλάζει και

ως αποτέλεσμα, υποβαθμίζεται η ποιότητά του. Το θερμαινόμενο νερό που επανεισάγεται στο περιβάλλον περιέχει χαμηλότερα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου, γεγονός που μπορεί να στρεσάρει την εγγενή άγρια ζωή, για παράδειγμα, αυξάνοντας τον καρδιακό ρυθμό των ψαριών ή μειώνοντας τη γονιμότητα.

1.1.4.4 ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Είναι επίσης σημαντικό να μην ξεχνάμε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν ως αποτέλεσμα της εξόρυξης μη ανανεώσιμων πόρων ή της διάθεσης των αποβλήτων που δημιουργούν.

Υπάρχουν πολύ ξεκάθαρα στοιχεία που δείχνουν τον αντίκτυπο της επιφανειακής εξόρυξης, τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα. Όταν πρόκειται για τη γη που εξορύσσεται, μακροπρόθεσμα αυτές οι τοποθεσίες παραμένουν με κακή ποιότητα εδάφους και μερικές φορές, λόγω των χημικών που χρησιμοποιούνται, οι εκτάσεις καθώς και τυχόν κοντινά αποθέματα νερού καταλήγουν να ρυπαίνονται.

Η περίπτωση της πυρηνικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα σημαντική εδώ καθώς, τόσο η εξόρυξη ουρανίου όσο και η διάθεση αποβλήτων, δημιουργούν ορισμένα πολύ κρίσιμα ζητήματα. λόγω της ραδιενεργής φύσης του μεταλλεύματος που εξορύσσεται, για τα οποία δεν έχει βρεθεί μακροπρόθεσμη λύση.

1.1.4.5 ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΗΛΙΔΕΣ ΚΑΙ ΑΛΛΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ

Τέλος, υπάρχει κάτι που οφείλει να αναφερθεί σχετικά με τις ακούσιες συνέπειες ή μάλλον τις απρόβλεπτες και τυχαίες επιπτώσεις. Συγκεκριμένα, οι πετρελαιοκηλίδες είναι εξαιρετικά επιζήμιες για τις κοντινές ακτές και τα οικοσυστήματα.

Για να ποσοτικοποιηθεί αυτό, οι αναλυτές υπολόγισαν ότι η πετρελαιοκηλίδα της British Petroleum το 2010 θα κόστιζε 2,5 δισεκατομμύρια δολάρια σε απώλειες μόνο στην αλιευτική αγορά της Λουϊζιάνα, ενώ η Φλόριντα εκτιμάται ότι θα έχανε 3 δισεκατομμύρια δολάρια σε έσοδα από τον τουρισμό.

Οι βιολόγοι ανησυχούσαν ότι ένα είδος φυκιών ζωτικής σημασίας για εκατοντάδες είδη ζώων, θα εξαφανιζόταν λόγω του πετρελαίου που απελευθερώνεται στον Κόλπο του Μεξικού. Παρόμοιες καταστροφικές επιπτώσεις, τόσο στη φύση όσο και στους ανθρώπους, προκλήθηκαν ως αποτέλεσμα της πυρηνικής καταστροφής στο Τσερνόμπιλ. Τα παραπάνω ήταν ατυχήματα που προκλήθηκαν από αμέλεια, αστοχία τεχνολογίας, έλλειψη ετοιμότητας ή συνδυασμό όλων αυτών. Ωστόσο, το σημείο που πρέπει να επισημάνουμε είναι ότι, συνεχίζοντας να χρησιμοποιούμε μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αναγνωρίζουμε ότι τέτοιες καταστροφές είναι αποδεκτές και ακόμη και προτιμότερες από τη μετάβαση σε πηγές χαμηλών εκπομπών άνθρακα και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Greentable, 2017).

1.2 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θεωρούνται αυτές που προέρχονται από φυσικές πηγές ή διαδικασίες που ανανεώνονται συνεχώς. Συχνά αναφέρονται και ως «πράσινη» ή «καθαρή» ενέργεια.

Στο πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής που εξελίσσεται στον πλανήτη, η εφαρμογή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να είναι η λύση για να αποφευχθούν οι χειρότερες επιπτώσεις της αύξησης των θερμοκρασιών. Αυτό συμβαίνει γιατί οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο σύνολο τους δεν εκπέμπουν διοξείδιο του άνθρακα και άλλα αέρια θερμοκηπίου που συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη (Nunez, 2019).

1.2.2 ΚΥΡΙΕΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.2.2.1 ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ- ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η υδραυλική ενέργεια είναι μία από τις πιο γνωστές μορφές ήπιας ενέργειας. Υδραυλική θεωρείται η ενέργεια που φέρει το νερό, λόγω της θέσης του σε κάποιο υψόμετρο. Στην ουσία, αποτελεί αποταμιευμένη δυναμική ενέργεια μέσα σε βαρυτικό πεδίο λόγω μιας υψομετρικής διαφοράς, η οποία αποδίδεται ως κινητική μέσω της υδατόπτωσης (Γαλανού, 2012).

Η υδραυλική ενέργεια χρησιμοποιείται από τους ανθρώπους εδώ και χιλιετίες. Συγκεκριμένα στην Ελλάδα, δημιουργήθηκε η ανάγκη για την χρήση αυτής πριν από παραπάνω από δύο χιλιάδες χρόνια, όταν άρχισαν να χρησιμοποιούν το ρέον νερό στον τροχό του μύλου για τη μετατροπή του σιταριού σε αλεύρι.

Στη σημερινή εποχή, η εκμετάλλευση της υδραυλικής-υδροηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Οι περισσότεροι σταθμοί διαθέτουν μια δεξαμενή νερού, μια πύλη ή μια βαλβίδα που ελέγχει την ποσότητα του νερού που ρέει έξω από την δεξαμενή και μία έξοδο ή ένα μέρος όπου και καταλήγει. Η υδραυλική ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε κινητική όταν αυτό περνάει πάνω από ένα φράγμα, είτε ρέει από έναν λόφο, λόγω της βαρύτητας. Το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κίνηση των λεπίδων μίας τουρμπίνας, με τελικό σκοπό αυτής την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (National Geographic, 2022).

1.2.2.2 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Σχεδόν όλη η ενέργεια που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος, από την αρχή της ύπαρξης του, προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον Ήλιο. Συγκεκριμένα, είναι η κύρια πηγή των συμβατικών μορφών ενέργειας, όπως το πετρέλαιο και ο άνθρακας, αφού οι φωτοσυνθετικές διεργασίες ήταν ο κύριος παράγοντας δημιουργίας τους.

Παράλληλα, όλες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προέρχονται και αυτές από την ενέργεια του ήλιου. Συγκεκριμένα, η αιολική ενέργεια προέρχεται από την ηλιακή, καθώς η ανομοιόμορφη κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης είναι εκείνη που δημιουργεί τις διαφορές θερμοκρασιών, άρα και των πιέσεων, και έτσι εξαναγκάζουν σε κίνηση τον αέρα της ατμόσφαιρας. Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι παράγωγη της ηλιακής, αφού και ο κύκλος του νερού στον πλανήτη υφίσταται λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ηλιακή ακτινοβολία εξατμίζει το νερό των υδάτινων επιφανειών, με αποτέλεσμα οι υδρατμοί να συμπυκνώνονται και να δημιουργούνται νέφη, τα οποία επιστρέφουν στην επιφάνεια της Γης με τη μορφή κατακρημνισμάτων. Τα κατακρημνίσματα αυτά προμηθεύουν το νερό των υδατοπτώσεων και των υδροηλεκτρικών φραγμάτων. Τέλος, για να παραχθεί ενέργεια από βιομάζα απαιτείται πρώτα ηλιακή, καθώς οι φυτικοί οργανισμοί τη δεσμεύουν με τη διεργασία της φωτοσύνθεσης, για να μετατραπεί σε χημική ενέργεια από τους ιστούς των φυτών (Κανελλοπούλου, 2008).

Η ηλιακή ακτινοβολία μεταφέρει τεράστιες ποσότητες ενέργειας στον χώρο. Η Γη δέχεται από τον Ήλιο κατά τη διάρκεια ενός έτους συνολική ενέργεια περίπου $5,4 \times 10^{24}$ Joules. Περίπου το 30% της ενέργειας αυτής επανεκπέμπεται προς στο διάστημα, και τελικά η ενέργεια που απορροφά ο πλανήτης αντιστοιχεί σε περίπου $3,8 \times 10^{24}$ Joules ετησίως. Επίσης, η μέγιστη ροή ηλιακής ενέργειας που μπορεί να φθάσει στο έδαφος είναι της τάξεως του 1 kWm^{-2} και ανήκει στη φασματική περιοχή 300-2.500 nm, ενώ η ενέργεια που δέχεται κάθε τόπος ανά πάσα χρονική στιγμή εξαρτάται από τη γεωγραφική του θέση, την εποχή, τη νεφοκάλυψη κ.ά. (Καραγκούνης, 2017).

Η αρχή της εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα ξεκίνησε από την αρχαιότητα. Συγκεκριμένα το 214 π.Χ., όταν ο Αρχιμήδης, με σκοπό να πυρπολήσει τον στόλο του Μάρκου Κλαύδιου Μαρκέλλου, συγκέντρωσε τις ηλιακές ακτίνες σε φακούς και κάτοπτρα. Οι αρχαίοι Έλληνες ήταν ακόμη πρωτοπόροι στη δημιουργία των ηλιακών ρολογιών. Το πρώτο ηλιακό ρολόι εφευρέθηκε από τον Απολλώνιο, τον Μέγα Γεωμέτρη, περίπου το 220 π.Χ. Σειρά είχαν εφευρέσεις εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας όπως ηλιακοί φούρνοι που λειτουργούσαν με παραβολικά κάτοπτρα, ηλιακές ατμομηχανές, υδραυλική αντλία κινούμενη με ηλιακή ενέργεια κ.ά.

Στη σύγχρονη εποχή, η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε μέσω μετατροπής της σε θερμότητα, είτε σε ηλεκτρισμό. Διατάξεις που χρησιμοποιούνται

στην πρώτη περίπτωση είναι οι ηλιακές δεξαμενές, οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, τα παθητικά ενεργητικά ηλιακά συστήματα, οι ηλιακοί φούρνοι κ.ά. Διατάξεις που χρησιμοποιούνται στη δεύτερη είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, οι ηλιακοί πύργοι, οι συστοιχίες παραβολικών κατόπτρων κ.ά. Ο μεγαλύτερος φωτοβολταϊκός σταθμός βρίσκεται σήμερα στις ΗΠΑ και έχει εγκατεστημένη ισχύ 1,2 GW. Η απόδοσή του φτάνει το 12% . (Μπάης, 2014).

Τέλος, η ηλιακή ενέργεια αποτελεί ένα σημαντικό ενεργειακό δυναμικό, με το οποίο θα μπορούσαν να επιλυθούν πολλά από τα ενεργειακά ζητήματα της σημερινής εποχής. Ιδιαίτερα σε χώρες με άφθονη ηλιοφάνεια, όπως η Ελλάδα, η αξιοποίησή της έναντι στις συμβατικές μορφές συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος.

1.2.2.3 BIOMAZA

Βιομάζα γενικά ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική ή βιογενή προέλευση. Ουσιαστικά είναι τα υλικά που προέρχονται άμεσα ή έμμεσα από το φυτικό κόσμο. Συγκεκριμένα, αυτά μπορεί να είναι οι φυτικές ύλες που προέρχονται από φυσικά οικοσυστήματα, τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής (π.χ. τα άχυρα, κτηνοτροφικά απόβλητα κ.ά.), τα υποπροϊόντα που προέρχονται από τη μεταποίηση ή επεξεργασία των υλικών αυτών (π.χ. τα ελαιοπυρηνόξυλα και το βιογενές μέρος των αστικών λυμάτων και υπολειμμάτων) (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2022).

Η ενέργεια της βιομάζας δημιουργείται από τον ήλιο με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης των φυτικών οργανισμών. Συγκεκριμένα, δημιουργείται κατά τη διαδικασία της αναπνοής των φυτών, όπου οι χλωροπλάστες μετατρέπουν το CO₂ και το H₂O σε βιομάζα.

Η βιομάζα είναι μια ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας. Μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στο μείζον ενεργειακό πρόβλημα, εφόσον αυτή αντικαθιστά τα ολοένα εξαντλούμενα αποθέματα ορυκτών καυσίμων.

Οι τρόποι με τους οποίους αξιοποιείται η βιομάζα για να απελευθερωθεί ενέργεια είναι τρεις – η θερμοχημική, η αγροχημική και η βιοχημική επεξεργασία. Η θερμοχημική επεξεργασία περιλαμβάνει τις επεξεργασίες της καύσης, της πυρόλυσης, της αεριοποίησης και της υγροποίησης. Έτσι, προκύπτουν τα αντίστοιχα προϊόντα (κάρβουνο, βιοϋδρογόνο, βιοέλαια και βιομεθανόλη). Η αγροχημική επεξεργασία περιλαμβάνει την συμπίεση την έκθλιψη και τη μετεστερεοποίησης (παράγοντας φυτικά έλαια και βιοντίζελ). Τέλος, στη βιοχημική επεξεργασία λαμβάνουν χώρα οι διεργασίες της αλκοολικής ζύμωσης και αναερόβιας χώνευσης (με τελικά προϊόντα τη βιοαιθανόλη, το βιοαέριο και το βιοϋδρογόνο).

1.2.2.4 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ως γεωθερμικό σύστημα ή πεδίο χαρακτηρίζεται ο χώρος στον οποίο παρατηρείται υψηλή θερμική ροή. Πρόκειται για μια περιοχή υψηλής θερμικής ανωμαλίας που διαθέτει γεωλογικά, θερμικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά, τα οποία την καθιστούν ως μια εκμεταλλεύσιμη ενεργειακή πηγή.

Στο εσωτερικό της Γης εκλείονται μεγάλα ποσά θερμικής ενέργειας, όμως η γεωθερμική ενέργεια αναφέρεται στο ποσό εκείνης της ενέργειας που μπορεί να ανακτηθεί και να εκμεταλλευτεί από τον άνθρωπο. Κατατάσσεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κυρίως διότι μετά την εκμετάλλευσή της επαναφορτίζεται γρήγορα το ενεργειακό σύστημα. Συγκεκριμένα, μετά από κάθε εκμετάλλευση ενός φυσικού γεωθερμικού συστήματος, αυτό επανατροφοδοτείται με την αναπλήρωση του θερμού νερού στον ταμιευτήρα, στο ίδιο χρονικό διάστημα στο οποίο παράγονται και τα υδροθερμικά ρευστά.

Παρά τον μεγάλο αριθμό γεωθερμικών πεδίων, αυτά που είναι εκμεταλλεύσιμα είναι όσα διαθέτουν ταμιευτήρες νερού ή και ατμού. Συγκεκριμένα, το ρευστό στους ταμιευτήρες ατμού είναι είτε ξηρός είτε υγρός ατμός, και περιέχει 10% αέρια. Βρίσκεται σε πίεση μεγαλύτερη των 2 ατμοσφαιρών (>2 ATM), διοχετεύεται άμεσα σε ατμοστρόβιλους και έτσι παράγεται ισχύς. Στα γεωθερμικά πεδία με ταμιευτήρες νερού, το κύριο ρευστό στοιχείο είναι το νερό, ενώ υπάρχουν μικρά ποσοστά ατμού και άλλων μη συμπυκνωμένων αερίων. Σε αντίθεση με τα πεδία ατμού, τα πεδία με ταμιευτήρα νερού είναι εκμεταλλεύσιμα όταν διαθέτουν (α) μεγάλης χωρητικότητας ταμιευτήρα σε βάθος μικρότερο των 2 χιλιομέτρων, (β) πυκνότητα ροής θερμότητας τουλάχιστον 50% μεγαλύτερη της μέσης κανονικής τιμής και (γ) μεγάλη παροχή νερού ανά πηγάδι (Κανελλοπούλου, 2008).

Τέλος, σε ικανοποιητικό πειραματικό στάδιο είναι και η αξιοποίηση των πιεζομετρικών πεδίων και πεδίων ξηρών βράχων.

Μέθοδοι αξιοποίησης γεωθερμικού πεδίου

Για εύρεση και ανάλογη αξιοποίηση ενός γεωθερμικού πεδίου απαιτούνται γεωλογικές και υδρογεωλογικές έρευνες. Με αυτόν τον τρόπο προσδιορίζονται οι θέσεις και οι εκτάσεις περιοχών που δύναται να είναι πιο πιθανές για μετέπειτα έρευνες, και τελικά εκμετάλλευση. Οι καταλληλότερες μέθοδοι περαιτέρω έρευνας είναι οι γεωχημικές μέθοδοι, οι γεωφυσικές διασκοπήσεις και η διάνοιξη γεωτρήσεων, που αποτελεί και το τελικό στάδιο της έρευνας. Σε αυτή προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα και εκτιμάται έτσι το δυναμικό του. Τέλος, η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί άμεσα, ως θερμική ενέργεια, και έμμεσα, αφού μετατραπεί σε ηλεκτρική.

1.2.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ & ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μια εξαιρετικά έξυπνη επιλογή για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Ακολουθούν μερικά από τα μεγαλύτερα οφέλη από τη χρήση ανανεώσιμων πηγών για την παροχή ενέργειας:

- ✓ Δεν θα εξαντληθούν ποτέ. Αυτές οι φυσικές πηγές ενέργειας μπορούν να αντικατασταθούν, καθιστώντας τις βιώσιμες και άφθονους φυσικούς πόρους.
- ✓ Είναι πηγές ενέργειας χαμηλής συντήρησης. Οι εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τείνουν να απαιτούν λιγότερη συντήρηση από τις παραδοσιακές γεννήτριες. Και καθώς προέρχονται από φυσικούς, άφθονους πόρους, το κόστος λειτουργίας είναι γενικά χαμηλότερο.
- ✓ Καθώς τα περισσότερα έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας βρίσκονται σε περιφερειακές περιοχές, μακριά από τις μεγάλες πόλεις, μπορούν να αποφέρουν οικονομικά οφέλη σε αυτά τα μέρη.

Είναι προφανές ότι υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα σχετικά με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ωστόσο, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα. Παρακάτω ακολουθούν μερικοί από τους λόγους για τους οποίους οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορεί μερικές φορές να παρουσιάσουν προβλήματα:

- * Ο απρόβλεπτος καιρός μπορεί να επηρεάσει την παροχή ενέργειας. Καθώς οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συχνά εξαρτώνται από ορισμένες καιρικές συνθήκες, αυτό μπορεί να επηρεάσει την αξιοπιστία μιας σταθερής παροχής ενέργειας. Παρακάτω παρουσιάζονται σχετικά παραδείγματα:
 - Οι υδρογεννήτριες χρειάζονται αρκετή βροχή για να γεμίσουν φράγματα για την παροχή τρεχούμενου νερού.
 - Οι ανεμογεννήτριες χρειάζονται αέρα για να γυρίσουν τα πτερύγια τους.
 - Τα ηλιακά πάνελ χρειάζονται καθαρό ουρανό και ηλιοφάνεια για να λάβουν τη θερμότητα που απαιτείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα, η απόδοσή τους μειώνεται δραματικά αν βρίσκονται υπό μερική σκίαση (λόγω κτιρίων, ύπαρξη σκόνης, κ.ά.) (Κυρανάκη, 2017).
- * Είναι δύσκολο να παραχθούν τα ίδια ποσά με τις μη ανανεώσιμες πηγές.
- * Μπορεί να είναι δύσκολο να παραχθούν ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας τόσο μεγάλες όσο αυτές που παράγονται από παραδοσιακές γεννήτριες ορυκτών καυσίμων.

1.3 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ & ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Αιολική ενέργεια ονομάζεται η κινητική ενέργεια που οφείλεται στον άνεμο. Είναι, δηλαδή, η κινητική ενέργεια που εκλύεται ανά μονάδα μάζας ή όγκου κινούμενου ατμοσφαιρικού αέρα με την ταχύτητα του ανέμου. Η δυναμικότητα της αιολικής ενέργειας εκφράζεται συνήθως σε μονάδες ηλεκτρικής ισχύος ανά κυβικό μέτρο αέρα. Μετριέται δηλαδή σε watt ή kilowatt ανά κυβικό μέτρο (W/m^3 & KW/m^3 αντίστοιχα) (Κανελλοπούλου, 2008).

Κατατάσσεται στις ήπιες πηγές ενέργειας, αφού για τη μετατροπή της σε άλλου είδους ενέργεια δεν επιβαρύνεται το περιβάλλον, σε αντίθεση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας, που μπορεί να συνοδεύονται με προϊόντα που ρυπαίνουν το περιβάλλον (όπως τοξικά απόβλητα και αέρια του θερμοκηπίου). Ταυτόχρονα, κατατάσσεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αφού παράγεται από ένα αέναο μετεωρολογικό φαινόμενο, τον άνεμο (Ριζιώτης, 2022).

Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας ξεκίνησε από τα αρχαία χρόνια και συνέβαλε στην εξέλιξη της ανθρωπότητας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας είναι τα ιστιοφόρα και οι ανεμόμυλοι. Το όνομά της προέρχεται από την ελληνική μυθολογία. Ο Αίολος είχε οριστεί από τον Δία κλειδοκράτορας των ανέμων και τους προκαλούσε ή τους σταματούσε κατά βούληση. Οι οκτώ άνεμοι ήταν οι Βορέας, Καικίας, Απηλιώτης, Εύρος, Νότος, Λιψ, Ζέφυρος και Σκίρων. Τέλος, η αιολική ενέργεια είχε σημαντικό ρόλο και για άλλους αρχαίους λαούς όπως η Κίνα και η Ιαπωνία, καθώς στη θρησκεία τους απέδιδαν τους ανέμους σε θεότητες.

1.3.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η αιολική ενέργεια αναφέρεται στην διαδικασία δημιουργίας ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας τον άνεμο ή ροές αέρα από την ατμόσφαιρα της Γης. Συγκεκριμένα, εφαρμογές της αιολικής ενέργειας παρατίθενται παρακάτω:

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε αυτόνομες εγκαταστάσεις ή σε μεγαλύτερο δίκτυο, μέσω ηλεκτροπαραγωγικού σταθμού, με λειτουργία ανεμογεννητριών.
- Παραγωγή θερμότητας, όπου η αιολική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική και στην συνέχεια σε θερμική. Η ενέργεια που παράγεται

χρησιμοποιείται για την αποξήρανση γεωργικών προϊόντων, θέρμανση θερμοκηπίων, θέρμανση χώρων εργασίας κ.α.

- Παραδοσιακή χρήση, όπως αυτή της άντλησης νερού, άρδευσης αγροτικών καλλιεργειών, άλεσης (π.χ. σιτηρών) κ.ά.
- Μπορεί έμμεσα να χρησιμοποιηθεί ακόμα και για φόρτιση συσσωρευτών, παραγωγή καύσιμου υδρογόνου, ηλεκτρόλυση ύδατος και αφαλάτωση (Καραγκούνης, 2017, Καλδέλλης, 2005).

1.3.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ & ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Για την αιολική ενέργεια μπορούν να αποδοθούν πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών μορφών ενέργειας, ακόμα και από ορισμένους άλλους τύπους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας:

- ✓ Η αιολική ενέργεια είναι πολύ μεγάλη πηγή και ταυτοχρόνως ανεξάντλητη. Συγκεκριμένα, στο $\frac{1}{4}$ της επιφάνειας του πλανήτη δημιουργούνται άνεμοι σε ύψος 10 μέτρα από την επιφάνειά του με μέση ετήσια ταχύτητα μεγαλύτερη από 5,1 m/s. Συνεπώς, υπολογίζεται ότι το υπάρχον αιολικό δυναμικό του πλανήτη καλύπτει δύο φορές τις ανάγκες για ηλεκτρική ενέργεια.
- ✓ Η αιολική ενέργεια διατίθεται ελεύθερα και υπάρχει άφθονη σε πολλά σημεία της γης, ενώ παράλληλα έχει σχετικά χαμηλά έξοδα εγκατάστασης. Συγκεκριμένα, για τους ανεμόμυλους δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός χωρικής εγκατάστασης, σε αντίθεση με τα υδροδυναμικά έργα για παράδειγμα, που η εγκατάστασή τους περιορίζεται σε όχθες μεγάλων ποταμών ή λιμνών.
- ✓ Το εμβαδόν που καλύπτει μια ανεμογεννήτρια είναι σχετικά μικρό, οπότε ο χώρος εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου θα μπορούσε να αξιοποιηθεί και για άλλους σκοπούς π.χ. γεωργικούς, κτηνοτροφικούς σκοπούς.
- ✓ Η χρήση της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής δεν απαιτεί αλλαγές στους τύπους συσκευών που χρησιμοποιούνται, ούτε δυσχεραίνει τον τρόπο ζωής με οποιονδήποτε τρόπο. Ταυτόχρονα, δεν προκαλεί ρύπανση του ατμοσφαιρικού του υδάτινου περιβάλλοντος και του εδάφους, έναντι του συνόλου των συμβατικών μορφών ενέργειας (Κανελλοπούλου, 2008). Τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρισμού τα οποία στηρίζονται στην καύση ορυκτών καυσίμων, όπως άνθρακα ή φυσικό αέριο. Οι ανεμογεννήτριες δεν εκλύουν χημικές ουσίες στο περιβάλλον οι οποίες προκαλούν όξινη βροχή ή αέρια του θερμοκηπίου.
- ✓ Η αιολική ενέργεια, είναι ανεξάρτητη από κοινωνικές διαταραχές ή πολέμους, από προσφορά εργασίας ή ειδικότητα εργασίας, καθώς και από μεταβολές τιμών.

- ✓ Ένα ακόμα πλεονέκτημα που προκύπτει από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας αφορά τις σεισμογενείς χώρες, και κατ' επέκταση την χώρα μας. Η υψηλή σεισμικότητα στην Ελλάδα δημιουργεί κινδύνους για τις θερμοηλεκτρικές και κυρίως για τις πυρηνικές εγκαταστάσεις. Η αντιμετώπιση των κινδύνων αυτών είναι πλέον εφικτή, αλλά ταυτόχρονα αρκετά δαπανηρή και αποφεύγεται. Έτσι, η χρήση της αιολικής ενέργειας αποτελεί την επόμενη λύση.
- ✓ Τέλος, είναι γεγονός ότι η Ελλάδα παίρνει θέση ανάμεσα στις πιο ευνοημένες χώρες παγκοσμίως στο θέμα της αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας. Στην χερσαία έκταση του ελλαδικού χώρου δημιουργείται ετησίως αιολική ενέργεια δύο τάξεων μεγέθους μεγαλύτερη από την σημερινή συνολική ετήσια κατανάλωση ενέργειας κάθε μορφής.

Στον αντίποδα, η αιολική ενέργεια φέρει και ορισμένα μειονεκτήματα, τα οποία ακολουθούν παρακάτω:

- * Η ταχύτητα πνοής του ανέμου κατά την διάρκεια μιας ημέρας είναι ασταθής. Το γεγονός αυτό δημιουργεί πρόβλημα στη συλλογή της ενέργειας σε περιόδους άπνοιας. Οι διαφοροποιήσεις στην ταχύτητα του ανέμου οφείλονται στις αλλαγές των καιρικών συνθηκών και στις τοπογραφικές και γεωγραφικές συνθήκες των διαφόρων περιοχών.
- * Η διαδικασία της αποθήκευσης της αιολικής ενέργειας είναι σχετικά περίπλοκη. Πραγματοποιείται με συσσωρευτές, είτε με άντληση νερού και εναποθήκευση του σε ψηλότερη στάθμη, είτε με θέρμανση νερού, και με παραγωγή υδρογόνου που στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο.
- * Τέλος, όπως προαναφέρθηκε, η χρήση της αιολικής ενέργειας έναντι των συμβατικών μορφών ενέργειας, με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής, έχει μεγάλη θετική επίδραση στην μείωση περιβαλλοντικών και ατμοσφαιρικών ρύπων. Παρόλα αυτά, μπορεί να δημιουργηθούν και αρνητικές συνέπειες, που αφορούν στην εγκατάσταση αιολικών συστημάτων. Ορισμένες από αυτές είναι η υποβάθμιση της αισθητικής του τοπίου, η δημιουργία ηχορύπανσης και οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις. Μπορεί ακόμα να επηρεάσει την πανίδα, αφού υπάρχουν περιπτώσεις τραυματισμού πουλιών που πετούν κοντά σε αυτές.

Εν κατακλείδι, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η χρήση της αιολικής ενέργειας φέρει περισσότερα θετικά αποτελέσματα και πιο σημαντικά από τη μη χρήση αυτής. Ωστόσο, τα προβλήματα που δημιουργούνται μπορούν να διορθωθούν με τη βελτίωση των αιολικών συστημάτων, αλλά και την καλύτερη επιλογή χώρων εγκατάστασης τους.

1.4 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

1.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

Το αιολικό δυναμικό που χαρακτηρίζει μια θέση ενδιαφέροντος, αναλύεται σε τρεις παράγοντες, οι οποίοι σχετίζονται μεταξύ τους και καθορίζουν το κατά πόσο τηρούνται ή όχι οι ενεργειακές και οικονομικές προδιαγραφές για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων. Οι παράγοντες, αυτοί, είναι:

- Το φυσικό διαθέσιμο αιολικό δυναμικό. Ορίζεται ως η διαθέσιμη κινητική ενέργεια που χαρακτηρίζει την περιοχή και εξαρτάται από την ατμοσφαιρική κυκλοφορία και τις χαρακτηριστικές παραμέτρους του ανέμου (μέση ταχύτητα του ανέμου, διεύθυνση του ανέμου, μεταβολές ταχύτητας με το ύψος, την επικρατούσα στην περιοχή ανατάραξης κ.α.).
- Το τεχνικώς αξιοποιήσιμο αιολικό δυναμικό. Ορίζεται ως το ποσοστό της αιολικής ενέργειας που μπορεί να δεσμευτεί από τις ανεμογεννήτριες και εξαρτάται άμεσα από τις διαθέσιμες τεχνολογίες που εφαρμόζονται τη δεδομένη στιγμή.
- Το οικονομικώς αξιοποιήσιμο αιολικό δυναμικό. Ορίζεται ως το ποσοστό της αξιοποιήσιμης ενέργειας που μπορεί να δεσμευτεί από αιολικές μηχανές, ενώ, παράλληλα, να αποδίδει το μέγιστο οικονομικό όφελος (Κυρίος, 2018)

1.4.2 ΓΕΝΕΣΗ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ

Ο όρος «άνεμος» αναφέρεται στις αέριες μάζες που κινούνται στην ατμόσφαιρα. Η βασικότερη πηγή προσφοράς ενέργειας για την πραγματοποίηση αυτών των κινήσεων, είναι η ηλιακή ακτινοβολία, η οποία δεσμεύεται σε ένα πολύ μικρό ποσοστό της τάξεως του 1,5-2,5% και προκαλεί τις κινήσεις των αερίων μαζών. Επομένως, είναι ασφαλές να θεωρήσουμε ότι η κινητική ενέργεια του ανέμου προέρχεται από την ηλιακή ενέργεια. Η γήινη ατμόσφαιρα θερμαίνεται ανομοιόμορφα εξαιτίας των ακτινών του ηλίου που προσπίπτουν κάθετα σε περιοχές κοντά στον ισημερινό και πλάγια κοντά στους πόλους. Έτσι, οι θερμοκρασίες της ατμόσφαιρας κοντά στον ισημερινό είναι μεγαλύτερες από εκείνες των πόλων. Το αντίθετο παρατηρείται όσον αφορά την ατμοσφαιρική πίεση, όπου οι μεγαλύτερες τιμές εντοπίζονται κοντά στους πόλους. Η διαφορά των τιμών αυτών προκαλεί την κίνηση των αερίων μαζών από θέσεις υψηλότερων πιέσεων προς τις χαμηλότερες. Επιπλέον, η κίνηση των κατερχόμενων κρύν επιφανειακών αερίων μαζών γίνεται προς τον ισημερινό, ενώ τα ζεστά επιφανειακά στρώματα που ανέρχονται προς την ανώτερη ατμόσφαιρα, μεταφέρονται προς τους πόλους (Καλδέλλης, 2005).

Πέρα από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, καθοριστικό παράγοντα αποτελεί και η περιστροφική κίνηση της Γης. Στην ανώτερη ατμόσφαιρα, οι αέριες μάζες κινούνται προς τα ανατολικά, ενώ λόγω της επίδρασης των δυνάμεων της αδράνειας οι επιφανειακοί άνεμοι τείνουν να κινούνται προς τα δυτικά (Καλδέλλης, 2005).

Οι σημαντικότερες δυνάμεις που ρυθμίζουν την κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα είναι η ενεργός βαρύτητα, η δύναμη Βαροβαθμίδας, η δύναμη Coriolis και οι δυνάμεις τριβής.

Η δύναμη της βαροβαθμίδας: Η μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης σε συνάρτηση με μια δεδομένη οριζόντια απόσταση ορίζεται από το μέγεθος της δύναμης της βαροβαθμίδας. Έτσι, η βαροβαθμίδα αποτελεί τη κινητήριο δύναμη μετακίνησης αερίων μαζών από τις υψηλότερες προς τις χαμηλότερες πιέσεις. Παρ' όλα αυτά, η - παράλληλη με την επιφάνεια της Γης- κίνηση του ανέμου δεν διατηρείται κάθετη προς τις ισοβαρείς καθ' όλη τη διάρκεια του φαινομένου.

Η δύναμη Coriolis: Η δύναμη, αυτή, χαρακτηρίζεται για την ισχυρή επίδραση που έχει στη διεύθυνση του ανέμου και είναι αποτέλεσμα της περιστροφικής κίνησης της Γης γύρω από τον άξονά της. Πιο αναλυτικά, η δύναμη Coriolis εφαρμόζεται πάντα κάθετα στη διεύθυνση του ανέμου και εξαναγκάζει τις αέριες μάζες στο βόρειο ημισφαίριο να κάμπτονται προς τα δεξιά κι εκείνες του νοτίου ημισφαιρίου προς τα αριστερά. Η δύναμη Coriolis έχει αμελητέα επίδραση στον Ισημερινό, ενώ η τιμή της αυξάνεται όσο κινούμαστε προς τους πόλους. Όταν ο άνεμος εκτραπεί σε βαθμό όπου καθίσταται παράλληλος προς τις ισοβαρείς, τότε η εν λόγω δύναμη γίνεται ίση και αντίθετη με της βαροβαθμίδας και ο άνεμος ονομάζεται γεωστροφικός.

Οι δυνάμεις τριβής: Οι δυνάμεις, αυτές, αναπτύσσονται λόγω της επαφής του ανέμου με την επιφάνεια της Γης. Οι ιδιαιτερότητες του ανάγλυφου και οι μικρές κλίμακας ασυνέχειες στη θερμική κατακόρυφη μεταφορά μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά του ανέμου. Πιο συγκεκριμένα, η δύναμη Coriolis χάνει την επίδρασή της, η ταχύτητα του ανέμου ελαττώνεται και η κατεύθυνσή του είναι, πλέον, περισσότερο λοξή (Μαχαίρας & Μπαλαφούτης, 1997).

1.4.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ

Για την επιλογή της καταλληλότερης τοποθεσίας με σκοπό την εγκατάσταση αιολικών πάρκων με τη βέλτιστη δυνατή απόδοση, επιβάλλεται η μελέτη και η ανάλυση ορισμένων χαρακτηριστικών του ανέμου. Με αυτό τον τρόπο εκτιμάται η ενέργεια που περικλείει τον άνεμο και κατ' επέκταση το αιολικό δυναμικό της ευρύτερης περιοχής. Οι χαρακτηριστικές παράμετροι του ανέμου είναι η μέση ταχύτητά του, η διεύθυνσή του, η μεταβολή του ανέμου συναρτήσει του ύψους, η επικρατούσα ανατάραξη και ο στροβιλισμός του.

Ταχύτητα: Η ταχύτητα του ανέμου ορίζεται ως η απόσταση που διανύει ο άνεμος ανά μονάδα χρόνου. Οι μονάδες μέτρησης της ταχύτητας ποικίλουν, ωστόσο για τους σκοπούς των ζητούμενων της εργασίας χρησιμοποιούμε ως μονάδα μέτρησης το μέτρο ανά δευτερόλεπτο (m/s). Ομοίως με τη κίνηση των ρευστών, ο άνεμος χαρακτηρίζεται από τυρβώδη ροή. Καθώς η ταχύτητα του ανέμου συνεχώς μεταβάλλεται, όλο και μεγαλύτερη βαρύτητα έχει δοθεί στην έννοια της μέσης τιμής του ανέμου, εφόσον η συμβολή της στη μελέτη των χαρακτηριστικών του είναι σημαντική. Η μέση τιμή ' \bar{V} ' ανέμου για ορισμένα χρονικά διαστήματα ' T ' και για μια καθορισμένη χρονική περίοδο ' T ' δίνεται από τη σχέση:

$$\bar{V} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} V'(t) dt \quad (1)$$

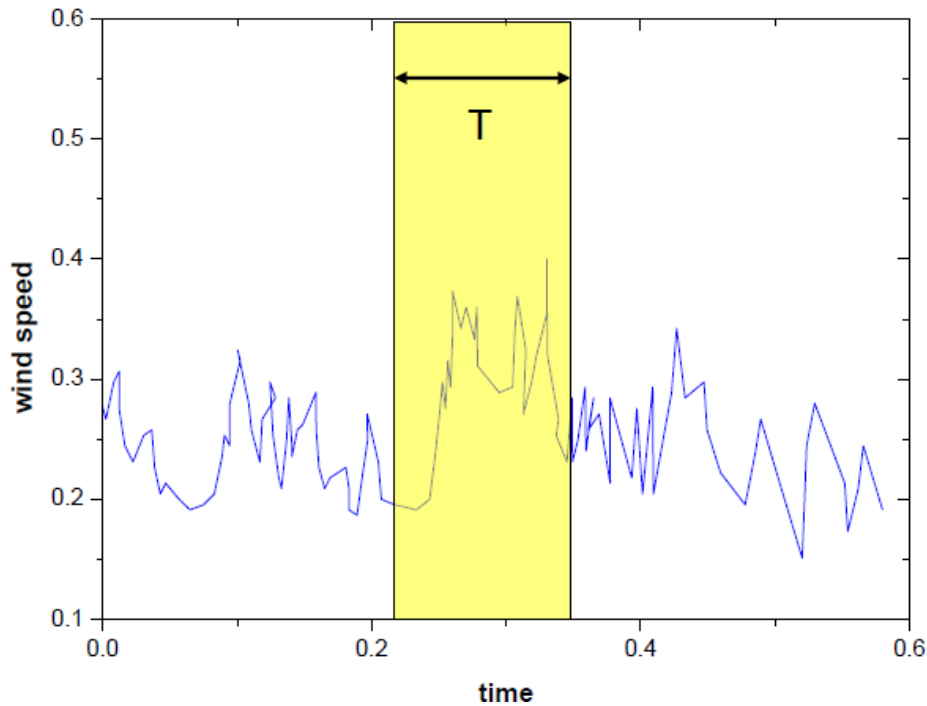
όπου ' $V'(t)$ ', η στιγμιαία διακύμανση, ενώ η στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου υπολογίζεται με χρήση του τύπου:

$$V_{(t)} = \bar{V} + V'_{(t)} \quad (2)$$

Επιπλέον, ένα ακόμη σημαντικό μέγεθος αποτελεί η διασπορά των ' σ_v ', η οποία δίνεται από τη σχέση:

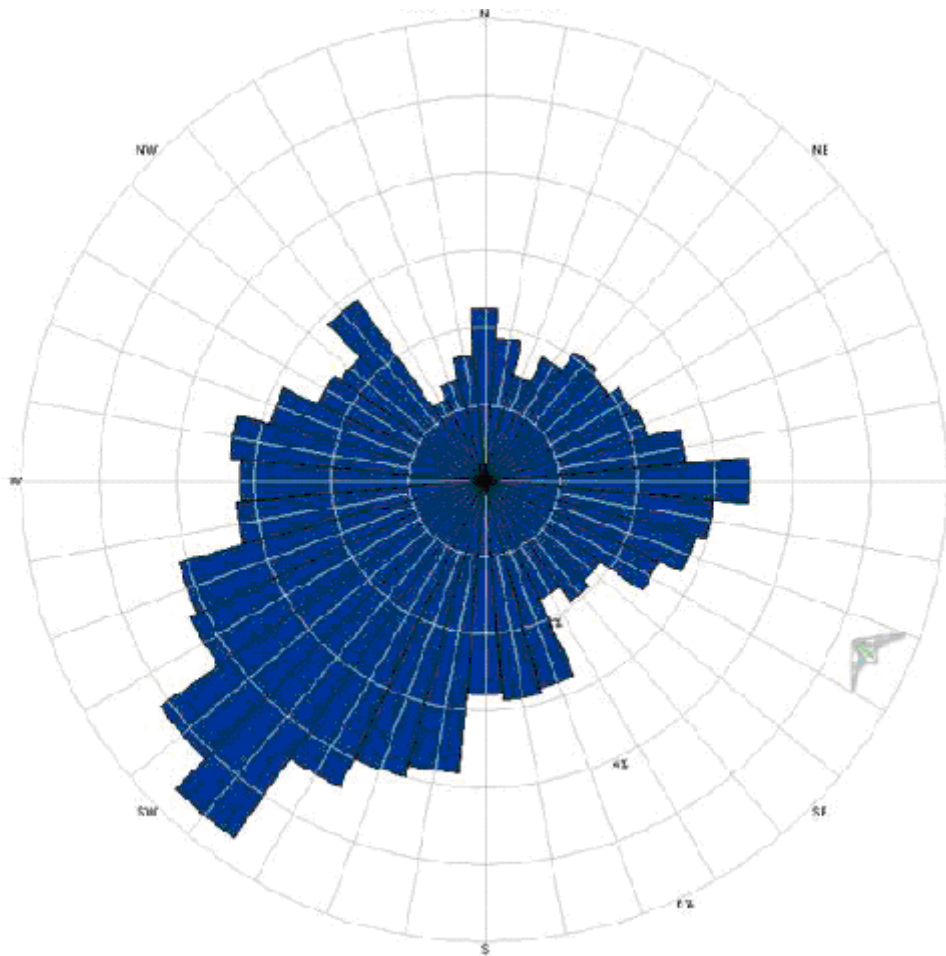
$$\sigma_v^2 = \int_t^{t+T} (V_{(t)} - \bar{V})^2 dt \quad (3)$$

Το μέτρο της διασποράς συμβάλλει καθοριστικά στον προσδιορισμό του βαθμού της τύρβης της ατμόσφαιρας καθώς εφαρμόζεται στο λόγο σ_v / \bar{V} , ο οποίος ονομάζεται «ένταση αναταράξεως». Ο προσδιορισμός της τύρβης και των αναταράξεων και η καταγραφή των μεγίστων ταχυτήτων του ανέμου σε μια περιοχή, κρίνονται αναγκαίες προκειμένου να επιλεγεί η κατάλληλη θέση για την εγκατάσταση μια μηχανής, καθώς οι παραπάνω παράγοντες επηρεάζουν την αεροδυναμική συμπεριφορά /αποδοτικότητά της, επιδρούν στην αντοχή της ανεμογεννήτριας και αυξάνουν το ρίσκο αστοχιών μεγάλων οικονομικών επιβαρύνσεων (Καλδέλλης, 2005).



Διάγραμμα 1 Ταχύτητες ανέμου συναρτήσει του χρόνου (Αμανατίδης, 2022)

Διεύθυνση του ανέμου: Η διεύθυνση του ανέμου ορίζεται από το σημείο του ορίζοντα όπου προέρχεται η ροή των αέριων μαζών. Οι διακυμάνσεις της διεύθυνσής που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες διακυμάνσεις της ταχύτητας του ανέμου. Επομένως, η μεταβολές που παρατηρούνται είναι συνεχόμενες αλλά λιγότερο έντονες. Η πιο συνηθισμένη μονάδα μέτρησης της διεύθυνσης είναι οι «μοίρες» με σημείο αναφοράς τον Βορρά, ενώ η μέτρηση γίνεται κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού. Οι κύριες διευθύνσεις του ανέμου εξαρτώνται από τη γεωγραφική θέση της περιοχής ενδιαφέροντος και οι τοπικοί παράγοντες που καθορίζουν τις πιθανές μεταβολές είναι η βλάστηση, το ανάγλυφο της περιοχής και τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Ως «κύριες διευθύνσεις» ονομάζονται εκείνες που αντιστοιχούν τουλάχιστον στο 10% της συνολικής αιολικής ενέργειας, ενώ ως «επικρατούσες», εκείνες με τη συχνότερη τάση εμφάνισης. Η απεικόνισή τους, η οποία λαμβάνει χώρα σε μια θέση για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα, μπορεί να γίνει μέσω ροδογράμματος, όπως αυτό απεικονίζεται στο Διάγραμμα 2. Σε ένα ροδόγραμμα μπορούν να αναγράφονται οι μέσες ταχύτητες του ανέμου, η διάρκεια εμφάνισής τους, οι διευθύνσεις τους κ.ά. (Καλδέλλης, 2005).

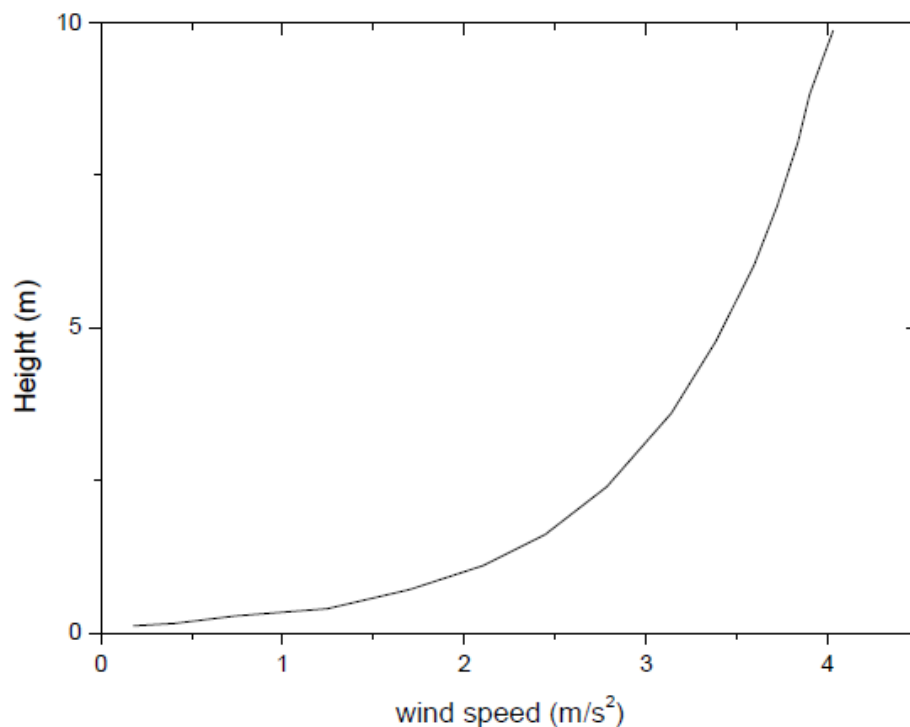


Διάγραμμα 2 Ροδόγραμμα με τις διευθύνσεις του ανέμου (Αμνατίδης, 2022)

Μεταβολή ταχύτητας ανέμου με το ύψος: Η απόσταση που μεσολαβεί μεταξύ της επιφάνειας του εδάφους και των αερίων μαζών της ατμόσφαιρας καθορίζει σημαντικά τον ρυθμό ανάπτυξης των ταχυτήτων, καθώς η αύξηση της απόστασης αντιστοιχεί σε μείωση της επίδρασης των δυνάμεων τριβής μεταξύ του εδάφους και του ανέμου. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η τριβή καθορίζεται από το ανάγλυφο της περιοχής, την ύπαρξη κτιρίων, βλάστησης κ.α. Επομένως, όπως θα δούμε στο Διάγραμμα 3, ενώ η αύξηση της ταχύτητας είναι σημαντική τα πρώτα μέτρα, στη συνέχεια με την ελάττωση των εμποδίων που προκαλούν την τριβή, ο ρυθμός μεταβολής γίνεται ολοένα και μικρότερος. Η ταχύτητα 'v_z' για ορισμένο ύψος 'z' δίνεται από τη σχέση:

$$v_z = V \ln \frac{(z-d)}{z_0} \quad (4)$$

όπου 'd' το ύψος που ορίζεται πάνω από την πραγματική επιφάνεια του εδάφους και καθορίζεται από τις διαστάσεις του «εμποδίου» και z₀ το μήκος τραχύτητας.



Διάγραμμα 3 Λογαριθμική αύξηση της ταχύτητας του ανέμου σε μικρή απόσταση από την επιφάνεια (Αμανατίδης, 2022)

Το μήκος τραχύτητας επιδράει αρνητικά στην ταχύτητα του ανέμου, ενώ ευνοεί τις τυρβώδεις αναταράξεις. Το ανάγλυφο της περιοχής, η δεντροκάλυψη, η συχνότητα εμφάνισης των «εμποδίων» είναι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το μέτρο του 'Z'. Μια γενική αρχή η οποία εφαρμόζεται κατά την κατασκευή των ανεμογεννητριών προκειμένου να εξασφαλίζεται η βέλτιστη αποδοτικότητα, αφορά το δρομέα, ο οποίος πρέπει να βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από αντικείμενα που μπορεί να λειτουργήσουν ως ανασταλτικοί παράγοντες στην ανάπτυξη του ανέμου (Καλδέλλης, 2005).

Στροβιλισμός του αέρα: Οι αναταράξεις του ανέμου προκαλούνται συχνά από τα εμπόδια (φυσικά ή όχι) που συναντώνται στη επιφάνεια του εδάφους (Εικόνα 3). Στις αναταράξεις υπάγονται μεταξύ των άλλων οι στροβιλισμοί, οι οποίοι διακρίνονται σε τυχαίους και οργανωμένους. Οι τελευταίοι μπορούν να μειώσουν σημαντικά την παροχή αιολικής ισχύος στο σύστημα των ανεμογεννητριών και να επηρεάσουν την κατασκευαστική αντοχή μιας μηχανής (Αμανατίδης, 2022).



Εικόνα 3 Στροβιλισμοί του αέρα (Αμανατίδης, 2022)

1.4.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ WEIBULL

Η κατανομή Weibull είναι σε θέση να περιγράψει το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής χρησιμοποιώντας μικρό αριθμό παραμέτρων, σε αντίθεση με τις αναλυτικές μετρήσεις οι οποίες πέραν από την μεγάλη καθυστέρηση των αποτελεσμάτων, η εκπόνησή τους απαιτεί μεγάλο κόστος. Το συγκεκριμένο ημιεμπειρικό μοντέλο μπορεί να περιγράψει τα χαρακτηριστικά του ανέμου των εύκρατων περιοχών σε ύψη που μπορούν να φτάσουν μέχρι τα 100 μέτρα από την επιφάνεια της Γης.

$$f_{(v)} = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (1)$$

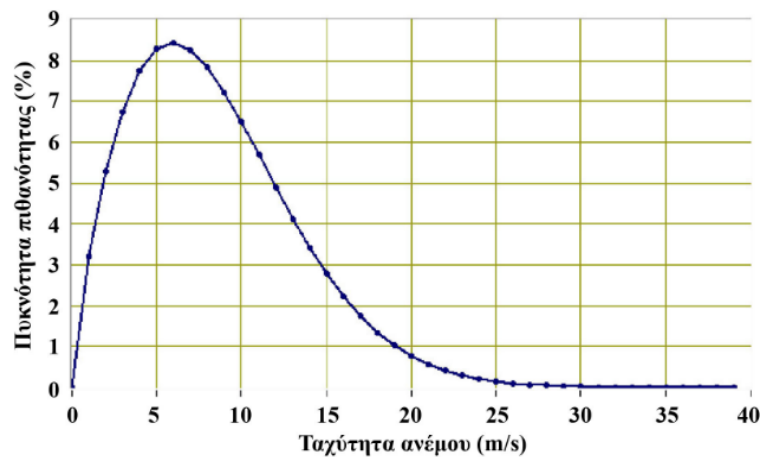
Η τιμή 'f_(v)' εκφράζει την πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου να κυμαίνεται μεταξύ ενός υπολογισμένου εύρους τιμών της 'V'. Η παράμετρος 'c' ονομάζεται παράμετρος κλίμακας και συνδέεται με τη μέση ταχύτητα. Η 'c' δείχνει την ένταση των ανέμων που επικρατούν στη θέση ενδιαφέροντος και δίνεται από τη σχέση:

$$V = c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (2)$$

Η τιμή 'k' ονομάζεται παράμετρος σχήματος και είναι αντιστρόφως ανάλογη της διακύμανσης των ταχυτήτων ως προς τη μέση ταχύτητα. Το 'k' δηλώνει το μέγεθος της διασποράς των ταχυτήτων στη θέση ενδιαφέροντος και δίνεται από τον τύπο:

$$\sigma^2 = c^2 \left(\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \left(\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right)^2 \right) \quad (3)$$

Όσο μεγαλύτερη είναι η παράμετρος σχήματος, τόσο μικρότερη είναι η διασπορά των ταχυτήτων του ανέμου. Επομένως, τα μεγάλα 'k' αντιστοιχούν σε ταχύτητες που βρίσκονται κοντά στη μέση τιμή (Καλδέλλης, 2005). Στην παρακάτω εικόνα (Διάγραμμα 4), απεικονίζεται η κατανομή πυκνότητας της πιθανότητας των ταχυτήτων του ανέμου.



Διάγραμμα 4 Κατανομή πυκνότητας πιθανότητας των ταχυτήτων του ανέμου κατά Weibull (Αιολική Γη, 2022)

1.5 ANEMOΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

1.5.1 Ο ΡΟΛΟΣ ΜΙΑΣ ANEMOΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

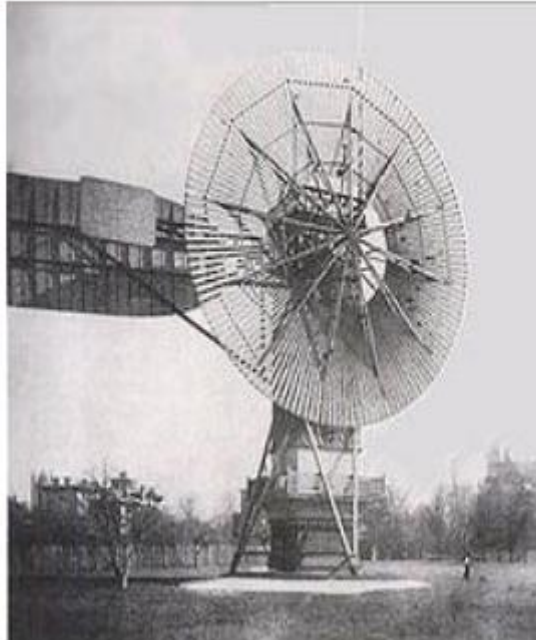
Οι αιολικές μηχανές που είναι υπεύθυνες για τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε ηλεκτρική, ονομάζονται ανεμογεννήτριες. Οι ανεμογεννήτριες αξιοποιούν τις δυνάμεις της αντίστασης και της άνωσης μέσω των πτερυγίων. Η αντίσταση ασκείται στο αντικείμενο οριζόντια, σύμφωνα με τη ροή του ανέμου, ενώ η άνωση είναι η δύναμη που θα ασκηθεί με διεύθυνση κάθετη εκείνης του ανέμου. Πιο αναλυτικά, τα πτερύγια των ανεμογεννητριών περιστρέφονται από τον άνεμο και συνδέονται με έναν περιστρεφόμενο άξονα χαμηλής ταχύτητας που ταξιδεύει μέσα από ένα κιβώτιο ταχυτήτων για να αυξήσει την ταχύτητα περιστροφής. Μετά από αυτό, το κιβώτιο ταχυτήτων συνδέεται με έναν άξονα με μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής, ο οποίος οδηγεί μια γεννήτρια ισχύος. Προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή, οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται στην κορυφή ενός πύργου στήριξης. Το ύψος του πύργου είναι τουλάχιστον 30 μέτρα και υψώνεται αρκετά μέτρα πάνω από το έδαφος, επιτρέποντας τη χρήση ομαλότερου και ταχύτερου ανέμου. Ο λόγος που ο πύργος υψώνεται αρκετά μέτρα πάνω από το έδαφος είναι διότι τοποθεσίες με μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου αναλογικά με το ύψος, παράγουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια. Η παραγόμενη ισχύς των αιολικών μηχανών ταλαντεύεται μεταξύ λίγων δεκάδων W έως μερικών MW και εξαρτάται από τη χρήση που προορίζεται (Pao & Johnson, 2011).

Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται το μέγεθος της ενέργειας που παράγεται αποτελούν:

- η ταχύτητα του ανέμου
- η καμπύλη ισχύος της μηχανής
- η διαθεσιμότητα της μηχανής
- οι απώλειες μεταφοράς
- ο βαθμός απόδοσης

Η πρώτη αναφορά για αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρονολογείται, περίπου, μια χιλιετία πίσω, όπου τον 13 ο αιώνα μ.Χ. σε Ασία και Ευρώπη, κάνανε χρήση αιολικών μηχανών (ανεμόμυλων) για το άλεσμα σιτηρών και για άντληση νερού. Αρκετούς αιώνες αργότερα, κατά τη βιομηχανική επανάσταση κι έπειτα, οι ενεργειακές δαπάνες αυξήθηκαν με αποτέλεσμα την ανάγκη εύρεσης νέων πηγών ενέργειας. Με τις πηγές, πλέον, των αναλώσιμων μορφών ενέργειας να μειώνονται και την καταπόνηση του περιβάλλοντος να αυξάνεται, η ανακάλυψη του Τσαρλς Μπρας αποδείχθηκε εξαιρετικά σημαντική για το ενεργειακό μέλλον του πλανήτη.

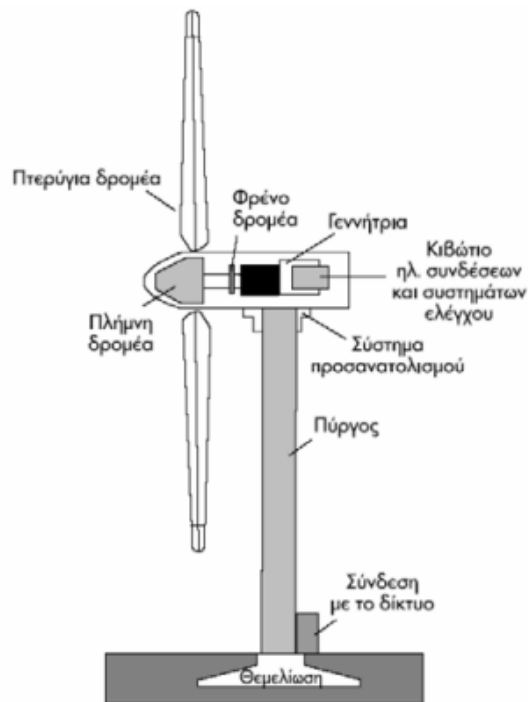
Πιο συγκεκριμένα, τα 1887 στο Cleveland οδηγήθηκε σε μια σπουδαία ανακάλυψη, την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρισμού, μέσω ανεμόμυλου που πλησίαζε τα 12 kW σε ισχύ (Εικόνα 4) (Γκόνος & Ζούρος, 2021).



Εικόνα 4 Πρώτη αιολική μηχανή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

1.5.2 ΚΥΡΙΑ ΔΟΜΙΚΑ ΜΕΡΗ ΜΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Στις εικόνες 5 και 6 φαίνονται τα κυριότερα επιμέρους δομικά στοιχεία μιας ανεμογεννήτριας. Για πρακτικούς λόγους και με σκοπό την ευκολότερη κατανόηση, τα μέρη απεικονίζονται σε ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα.



Εικόνα 5 Τα βασικά τμήματα μίας ανεμογεννήτριας (Ε.Γ.Κ.Π.)

Η άτρακτος είναι τοποθετημένη στην κορυφή του πύργου της ανεμογεννήτριας και περιέχει όλο τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, όπως π.χ. το κιβώτιο ταχυτήτων, την ηλεκτρική γεννήτρια κ.α. Συνδέεται με τον άξονα μιας ανεμογεννήτριας και περιβάλλεται από υαλοβάμβακα ο οποίος προστατεύει τα υπόλοιπα εξαρτήματα από την έκθεσή τους στις περιβαλλοντικές συνθήκες (Τζάφος, 2015)

Ο δρομέας αποτελεί ακόμη ένα πολύ κρίσιμο δομικό στοιχείο των ανεμογεννητριών και περιλαμβάνει την πλήμνη, πάνω στην οποία στηρίζονται τα πτερύγια (Τζάφος, 2015).

Ο πύργος στήριξης είναι μια κατασκευή-σκελετός ο οποίος αποτελείται από χαλύβδινους σωλήνες και το ύψος του κυμαίνεται, συνήθως, μεταξύ των 60 και 80 μέτρων. Οι χαλύβδινοι σωλήνες είναι οι πιο διαδεδομένοι στις ανεμογεννήτριες, με διάμετρο που αυξάνεται όσο προσεγγίζουν τη βάση του πύργου για την εξασφάλιση της σταθερότητας. Τα θεμέλια του αποτελούνται από οπλισμένο σκυρόδεμα, ενώ το εσωτερικό του τμήμα το διαπερνούν καλώδια μεταφοράς ισχύος και καλώδια γείωσης. Τέλος, εντός του πύργου στήριξης έχουν κατασκευαστεί σκαλωσιές και ανελκυστήρες για τη μεταφορά των υπαλλήλων συντήρησης (Τζάφος, 2015).

Τα περύγια κατασκευάζονται είτε από ενισχυμένο πολυεστέρα είτε από ίνες άνθρακα, υλικά τα οποία τους αποδίδουν χαμηλό βάρος και υψηλή αντοχή. Το σχήμα τους είναι αεροδυναμικό, ενώ η αρχιτεκτονική τους μπορεί να είναι είτε ενιαία είτε με ακροπερύγια. Επιπλέον, η αεροτομή που είναι κατασκευασμένη πάνω στα πτερύγια είναι περισσότερο ανυψωμένη όσο πλησιάζει προς τη βάση σε σχέση με το

άκρο τους, με αποτέλεσμα η αιολική ενέργεια να μπορεί να αξιοποιηθεί στο μέγιστο δυνατό βαθμό. Τα πτερύγια, εξαιτίας του σχήματός τους, υπόκεινται σε δυνάμεις άνωσης και αντίστασης, οι οποίες μεταφράζονται ως ροπή και αξονική δύναμη ώθησης. Η αξονική δύναμη ώθησης συντελεί στην αναστροφή του στροβίλου, ενώ η ροπή είναι υπεύθυνη για την παραγωγή έργου. Οι συγκεκριμένες δυνάμεις καθορίζονται από το μέγεθος της σχετικής ταχύτητας ανέμου, τη γωνία πρόσπτωσης και τις ιδιότητες της αεροτομής (Τζάφος, 2015).

Το σύστημα προσανατολισμού χρησιμοποιεί ένα ανεμόμετρο και ένα σύστημα αισθητήρων για να περιστρέφει την άτρακτο με βάση την κατεύθυνση του ανέμου, ενώ ταυτόχρονα διατηρεί τον άξονα περιστροφής του δρομέα παράλληλο με το έδαφος. Συνδέεται με έναν περιστρεφόμενο μηχανισμό μέσω γραναζιών, τον οποίο συναντάμε στην κορυφή του πύργου στήριξης. Επιπλέον, προκειμένου ο άνεμος να προσπίπτει συνεχώς κάθετα πάνω στην έλικα, χρησιμοποιείται ένα αργό σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου, το οποίο ανταποκρίνεται στις ενδείξεις ενός ανεμουρίου που καθοδηγεί τον περιστροφικό μηχανισμό (Τζάφος, 2015).

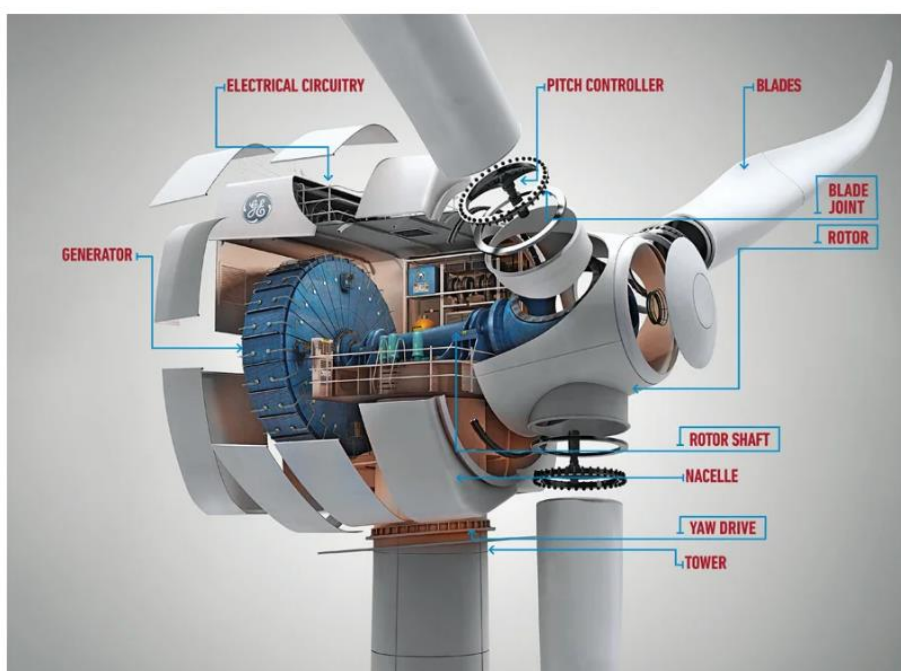
Η ύπαρξη κατάλληλων συστημάτων πέδησης διασφαλίζει την ομαλή λειτουργία των ανεμογεννητριών, παρέχοντας ασφαλείς συνθήκες λειτουργίας κατά τη διάρκεια ισχυρών ανέμων και αστοχιών του δικτύου. Έτσι, τα πτερύγια της έλικας ανταποκρίνονται στη δεδομένη συνθήκη μεταβάλλοντας τον τρόπο περιστροφής τους με σκοπό να δημιουργήσουν και να διατηρήσουν μια αρνητική ή/και μηδενική γωνία πρόσπτωσης του αέρα. Με αυτόν τον τρόπο και δεδομένου ότι η ανεμογεννήτρια δεν περιλαμβάνει σύστημα μηχανικής πέδησης στο κιβώτιο ταχυτήτων (όπου εξασφαλίζει την ακινητοποίηση της ανεμογεννήτριας), η έλικα μειώνει την ταχύτητα περιστροφής της (Τζάφος, 2015).

Το αυτόματο σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου εξασφαλίζει ανά πάσα στιγμή την προστασία της ανεμογεννήτριας κάτω από κάθε πιθανή έκτακτη συνθήκη. Εξετάζει την ταχεία επιτάχυνση κατά την περιστροφή των πτερυγίων, ελέγχει τη διακοπή της μηχανής και παρακολουθεί, συνεχώς, την κατάσταση λειτουργίας, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου (Ταβουλάρης, 2017).

Η ηλεκτρική γεννήτρια είναι ενσωματωμένη σε κάθε ανεμογεννήτρια και συμβάλλει στη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Υπάρχουν δύο είδη γεννητριών: οι σύγχρονες και οι επαγωγικές. Οι πρώτες, στην έξοδό τους, παράγουν ρεύμα ίδιας συχνότητας με το σχετικό δίκτυο διανομής, ενώ οι δεύτερες παράγουν ρεύμα λίγο μεγαλύτερης συχνότητας από εκείνης του δικτύου. Και οι δύο γεννήτριες αποτελούνται από δύο χαρακτηριστικά μέρη. Το πρώτο ονομάζεται στάτορας και αποτελεί το στατικό μέρος. Ο στάτορας περιλαμβάνει έναν πυρήνα από μεμονωμένα φύλλα σιδήρου στον οποίο επικάθονται μονωμένες τριφασικές περιελίξεις του πηνίου. Το δεύτερο αφορά το κινητό μέρος, γνωστό ως ρότορα. Κάθε τύπος γεννήτριας έχει ξεχωριστό ρότορα. Στις σύγχρονες, το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του ρότορα παράγει ρεύμα στο στάτορα, ο οποίος στη συνέχεια συνδέεται με

το σύστημα διανομής. Οι περισσότερες γεννήτριες που βρίσκονται στις ανεμογεννήτριες των αιολικών πάρκων ανήκουν στις σύγχρονες (Ταβουλάρης, 2017).

Το σύστημα μετάδοσης κίνησης, το οποίο βρίσκεται μέσα στην άτρακτο, είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά της μηχανικής ισχύος που παράγεται από την περιστροφή των πτερυγίων. Τα συστήματα μετάδοσης, εκτός των άλλων, περιλαμβάνουν το κιβώτιο ταχυτήτων μέσω του οποίου ρυθμίζεται η περιστροφή της έλικας στις απαιτούμενες ταχύτητες για τη λειτουργία της ηλεκτρικής γεννήτριας. Επομένως, η ενέργεια από την περιστροφή του δρομέα προκειμένου να μεταφερθεί στη γεννήτρια, περνάει μέσω του άξονα χαμηλών ταχυτήτων, του κιβωτίου ταχυτήτων και του άξονα υψηλών ταχυτήτων (Ταβουλάρης, 2017).



Εικόνα 6 Από αριστερά προς δεξιά: γεννήτρια, ηλεκτρικό κύκλωμα, ελεγκτήρας βήματος πτερυγίου, πτερύγια, άρθρωση πτερυγίου, δρομέας, άξονας δρομέα, άτρακτος, οδηγός αποφυγής εκτροπής, πύργος στήριξης

1.5.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σε περιόδους χαμηλής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω ήπιας ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας ή/και άπνοιας, υπάρχει το ρίσκο της αδυναμίας κάλυψης των ενεργειακών αναγκών. Για τον λόγο αυτό, δημιουργήθηκε η ανάγκη αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Το βασικότερο πλεονέκτημα των αποθηκευτικών συστημάτων είναι ότι συμβάλλουν στη δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών για τη διαχείριση της ζήτησης και της προσφοράς ενέργειας. Τα συστήματα αποθήκευσης είναι συστοιχίες συσσωρευτών, οι οποίες παρ' όλο το αυξημένο κόστος εγκατάστασης τους και τις απώλειες που επιφέρουν κατά τη μετατροπή, αποτελούν την πλέον βασικότερη τεχνολογία για την αποθήκευση μικρών ποσοτήτων ενέργειας. Οι

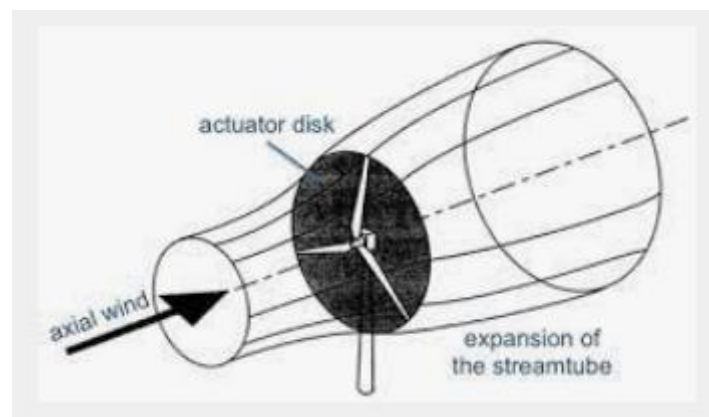
συσσωρευτές απαιτούν σχολαστική συντήρηση, ενώ το κόστος τους διαφέρει μεταξύ των συσσωρευτών μικρού και μεγάλου αριθμού φορτίσεων και εκφορτίσεων. Για τη χρήση εναλλασσόμενου ρεύματος απαιτούνται ανορθωτές, μετασχηματιστές και σταθεροποιητές τάσης και συχνότητας (Σφακιανάκη, 2009).

1.5.4 ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

1.5.4.1 ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ΔΙΣΚΟΥ ΩΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η αεροδυναμική ανάλυση των ανεμογεννητριών περιγράφει τις δυνάμεις που αναπτύσσονται στις αιολικές μηχανές από την αλληλεπίδρασή τους με τον άνεμο. Οι δύο βασικότερες προσεγγίσεις για τη δημιουργία αεροδυναμικών μοντέλων στις ανεμογεννήτριες είναι η θεωρία “actuator disc” και η θεωρία “blade element” (Grimble et al., 2007).

Η θεωρία του δίσκου ενεργοποίησης περιγράφει ουσιαστικά τη διαδικασία εξαγωγής της ενέργειας παρέχοντας, επιπλέον, ένα θεωρητικό ανώτατο όριο της ικανότητας μετατροπής ενέργειας. Αυτό το μοντέλο βασίζεται στη θεωρία της ορμής. Ο ρόλος της ανεμογεννήτριας είναι να δεσμεύσει μέρος της κινητικής ενέργειας του ανέμου και να τον μετατρέψει σε μηχανική. Αν υποθέσουμε ότι η ανεμογεννήτρια συμπεριφέρεται ως ένας δίσκος ενεργοποίησης (Εικόνα 7), τον οποίο διαπερνάει συνεχώς άνεμος ορισμένης ταχύτητας, θα ισχύουν τα εξής:



Εικόνα 7 Από αριστερά προς δεξιά: γεννήτρια, ηλεκτρικό κύκλωμα, ελεγκτήρας θήματος πτερυγίου, πτερύγια, άρθρωση πτερυγίου, δρομέας, άξονας δρομέα, άτρακτος, οδηγός αποφυγής εκτροπής, πύργος στήριξης

Η ταχύτητα του ανέμου ‘ V ’ που επρόκειτο να εισέλθει στον δίσκο είναι μεγαλύτερη από εκείνη που εξέρχεται ‘ V_{∞} ’. Κατά συνέπεια, η έκταση της διατομής ‘ A_{∞} ’ του μονοπατιού της ροής του ανέμου που εισέρχεται στον δίσκο, είναι μικρότερη από την

έκταση της διατομής 'A_D' του δίσκου, η οποία με τη σειρά της θα είναι μικρότερη από την έκταση 'A_{-∞}' του ανέμου που εξέρχεται. Επομένως, εξ' ορισμού θα ισχύει ότι:

$$p A_{\infty} V = p A_D V_D = p A_{-\infty} V_{-\infty} \quad (1)$$

Εξαιτίας της μείωσης της ταχύτητας του αέρα που διέρχεται από τον δίσκο ισχύει ότι $V < V_D < V_{-\infty}$. Κατά συνέπεια, η δύναμη F_D που αναπτύσσεται από τον δίσκο του ενεργοποιητή στην προσπίπτουσα ροή του ανέμου θα είναι ίση με τη συνολική πτώση ταχύτητας επί τη μάζα της ροής, δηλαδή:

$$F_D = (V - V_{-\infty}) p A_D V_D \quad (2) \text{ όπου}$$

$$V_D = (1 - a) V \quad (3)$$

Το 'a' αποτελεί μια σταθερά της παρεμβολής αξονικής ροής. Η δύναμη F_D προέρχεται από την πτώση της πίεσης που εισάγεται από το δίσκο ενεργοποίησης. Επομένως, η εξίσωση παίρνει τη μορφή:

$$F_D = (P_{+D} - P_{-D}) A_D = (V - V_{-\infty}) p A_D V (1 - a) \quad (4)$$

Προκειμένου να υπολογιστεί η πτώση της πίεσης του αέρα, εφαρμόζεται το θεώρημα του Bernoulli, το οποίο δηλώνει πως κάτω από σταθερές συνθήκες η συνολική ενέργεια της ροής παραμένει αμετάβλητη και κατ' επέκταση το έργο που παράγεται είναι μηδενικό. Εφαρμόζοντας την εξίσωση και στις δύο περιπτώσεις εκατέρωθεν του δίσκου προκύπτει:

$$(P_{+D} - P_{-D}) = \frac{1}{2} p (V^2 - V_{-\infty}^2) \quad (5)$$

Αντικαθιστώντας τη (5) στην (4) έχουμε:

$$V_{-\infty} = (1 - 2a) V \quad (6)$$

Συνοψίζοντας, με τις κατάλληλες αντικαταστάσεις από τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει ότι η δύναμη 'F_D' που ασκείται από τον δίσκο ενεργοποίησης στην ροή του ανέμου και η αιολική ισχύς P_D που εξάγεται από το δίσκο, υπολογίζονται αντίστοιχα από τις σχέσεις:

$$F_D = 2 p A_D V^2 a (1 - a) \quad (7) \text{ \&}$$

$$P_D = F_D V_D = 2 p A_D V^3 a (1 - a)^2 \quad (8)$$

Ένα μέγεθος το οποίο αποτελεί βασικό δείκτη εκτίμησης της ικανότητας μιας ανεμογεννήτριας να δεσμεύει την αιολική ενέργεια, είναι ο συντελεστής απόδοσης

‘ C_p ’, όπου ισούται με τον λόγο της αιολικής ισχύος που δεσμεύεται από τη μηχανή προς τη συνολική αιολική ισχύ, δηλαδή

$$C_p = \frac{P_D}{P_V} \quad (9)$$

ο παραπάνω τύπος μπορεί να γραφεί και ως:

$$C_p = \frac{2\rho A_D V^3 a(1-a)^2}{0.5\rho A_D V^3} = 4a(1-a)^2 \quad (10)$$

Το μέγιστο ποσό της κινητικής ενέργειας του ανέμου που μπορεί να δεσμεύσει μια ιδανική αιολική μηχανή υπολογίστηκε από τον Γερμανό επιστήμονα Betz και δεν μπορεί να ξεπερνά το 59% της παραγόμενης από τον άνεμο ισχύος ($C_p = 0,59$). Η τιμή αυτή ονομάζεται όριο Betz. Ο συντελεστής ισχύος των σύγχρονων ανεμογεννητριών φτάνει σε τιμές περίπου το 0,45, νούμερο αρκετά πιο χαμηλό από το θεωρητικό όριο. Ο συντελεστής απόδοσης παρέχεται, συνήθως, από τους κατασκευαστές (Grimble et al., 2007).

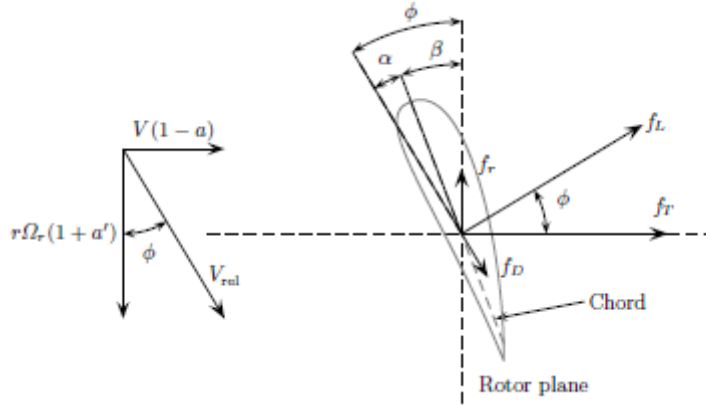
1.5.4.2 ΘΕΩΡΙΑ ΛΕΠΙΔΑΣ ΑΟΡΙΣΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ – ΜΟΝΑΔΙΑΙΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ

Η θεωρία “blade element” βοηθάει στην εξαγωγή συμπερασμάτων για τον τρόπο που οι αεροδυναμικές δυνάμεις επιδρούν σε μια ανεμογεννήτρια. Αυτό απαιτεί την ανάλυσή τους κατά την εφαρμογή τους σε ένα ακτινωτό μέσο, δηλαδή στα πτερύγια. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται μια εγκάρσια τομή ενός πτερυγίου και των αεροδυναμικών δυνάμεων που ασκούνται σε αυτό. Η ταχύτητα ‘ V_{rel} ’ του πτερυγίου εξαρτάται από την εφαπτομενική του ταχύτητα ‘ Ωr ’ και την αρχική ταχύτητα της ροής του ανέμου ‘ V ’. Ο άνεμος που προσπίπτει στο πτερύγιο παράγει μία δύναμη ‘ F_L ’, κάθετη στη ροή του ανέμου και μία δεύτερη δύναμη ‘ F_D ’, η οποία ακολουθεί την κατεύθυνσή του. Οι δυνάμεις, αυτές εκφράζονται από τις εξής εξισώσεις:

$$f_L = \frac{\rho c}{2} V_{rel}^2 C_L(a) \quad (11)$$

$$f_D = \frac{\rho c}{2} V_{rel}^2 C_D(a) \quad (12)$$

όπου ‘ c ’ το μήκος του στοιχείου ενός πτερυγίου και ‘ C_L ’, ‘ C_D ’ οι συντελεστές άνωσης και έλξης, αντίστοιχα, οι τιμές των οποίων εξαρτώνται από την τιμή ‘ a ’, δηλαδή τη γωνία που σχηματίζει η ροή του ανέμου με τον άξονα του πτερυγίου (Σχήμα 1).



Σχήμα 1 Δυνάμεις που ασκούνται στο στοιχείο πτερυγίου (Grimble et al., 2007)

Οι δυνάμεις άνωσης και έλξης μπορούν να αναλυθούν σε δύο συνιστώσες κάθετες μεταξύ τους. Η πρώτη ονομάζεται αξονική δύναμη ώθησης και εκφράζεται με τον τύπο:

$$f_T = \frac{\rho C}{2} V_{rel}^2 (C_L(\varphi - \beta) \cos(\varphi) + C_D(\varphi - \beta) \sin(\varphi)) \quad (13)$$

Η δεύτερη ευνοεί την ανάπτυξη μιας περιστροφικής ροπής η οποία παράγει θετικό έργο και δίνεται από την εξίσωση:

$$\tau_r = \frac{\rho C}{2} V_{rel}^2 r (C_L(\varphi - \beta) \sin(\varphi) - C_D(\varphi - \beta) \cos(\varphi)) \quad (14)$$

Και οι δύο δυνάμεις, άνωσης και έλξης, συμβάλλουν στην ανάπτυξη της αξονικής δύναμης ώθησης. Επιπλέον, η δύναμη άνωσης ευνοεί την ροπή ενώ η άλλη την αντικρούει. Επομένως, μια υψηλή τιμή του λόγου C_L/C_D αντιστοιχεί σε υψηλά επίπεδα μετατροπής, διότι το έργο που θα παραχθεί θα είναι μεγαλύτερο. Τέλος, για να υπολογιστεί η συνολική δύναμη ώθησης και η ροπή, είναι αναγκαίο να ληφθεί υπόψιν η συμβολή κάθε στοιχείου των πτερυγίων, ενώ απαιτείται το μέγεθος και η κατεύθυνση της σχετικής κίνησης του ανέμου 'Vrel'. Η σχετική ταχύτητα δίνεται από την σχέση:

$$V_{rel} = V \sqrt{\left((1-a)^2 + \left(\frac{r\Omega_r}{V} (1+a') \right)^2 \right)} \quad (15)$$

$$\tan(\varphi) = \frac{V}{\Omega_r r} \frac{1-a}{1-a'} \quad (16)$$

Η συνολική δύναμη ώθησης που εφαρμόζεται στον δρομέα και η συνολική ροπή που αναπτύσσεται, υπολογίζονται με τη χρήση των εξισώσεων (7) και (8) κατά το μήκος των πτερυγίων. Έτσι έχουμε τους τύπους:

$$F_T = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 C_T(\lambda, \beta) V^2 \quad (17)$$

$$T_r = \frac{1}{2} \rho \pi R^3 C_Q(\lambda, \beta) V^2 \quad (18)$$

$$P_r = C_P(\lambda, \beta) P_V = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 C_P(\lambda, \beta) V^3 \quad (19)$$

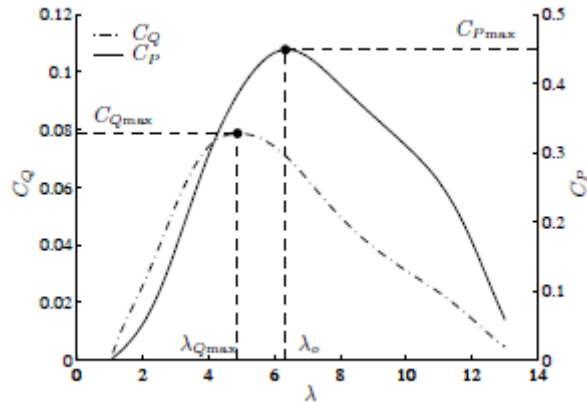
Όπου τα μεγέθη 'C_T', 'C_Q', 'C_P' αντιστοιχούν στους αδιάστατους συντελεστές δύναμης ώθησης, ροπής και ισχύος. Το 'λ' ονομάζεται λόγος ταχύτητας ακροπτερυγίων και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\lambda = \Omega_r \frac{R}{V} \quad (20)$$

ενώ για τους συντελεστές 'C_P' και 'C_Q' ισχύει ότι:

$$C_Q = \frac{C_P}{\lambda} \quad (21)$$

Οι παράγοντες που καθορίζουν τον λόγο ταχύτητας του ακροπτερυγίου είναι ο τύπος της ανεμογεννήτριας, το είδος της αεροτομής των πτερυγίων και ο αριθμός τους. Μια τυπική τιμή του μεγέθους 'λ' είναι περίπου 7. Παρ' όλο που οι υψηλές τιμές 'λ' βοηθούν στην επίτευξη ικανοποιητικών ταχυτήτων στον άξονα του δρομέα οι οποίες είναι ευνοϊκές για την αποδοτική λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας, οι πολύ υψηλές τιμές αυξάνουν την αντίσταση του ανέμου και μειώνουν την απόδοση (Σχήμα 2).

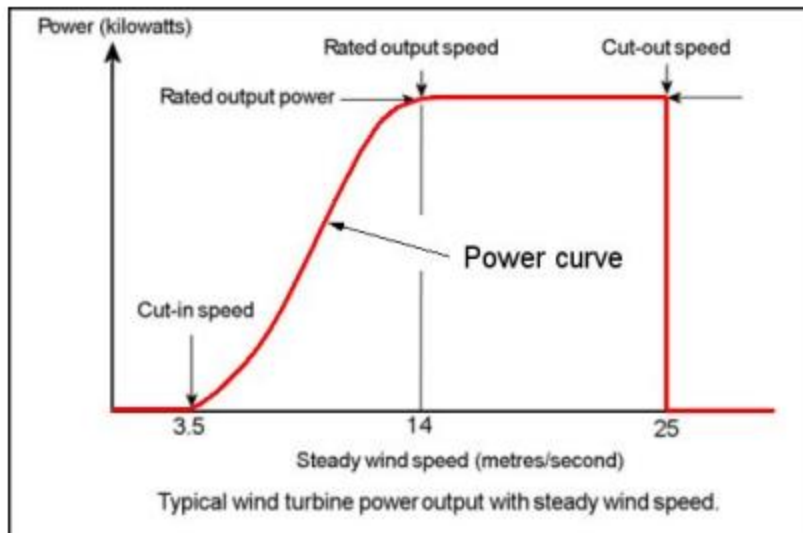


Σχήμα 2 Τυπικές τιμές C_P , C_Q για ανεμογεννήτριες σταθερών ταχυτήτων (Grimble, Johnson, Bianchi, Mantz, & De Battista, 2007)

Ο συντελεστής ισχύος C_P παρουσιάζει μέγιστο στο σημείο με συντεταγμένες (λ_0, β_0) , με τη γωνία βήματος του ακροπτερυγίου β_0 να είναι σχεδόν μηδενική. Επομένως, με την παραμικρή απόκλιση της τιμής της γωνίας βήματος, η δεσμευόμενη ισχύ από την ανεμογεννήτρια μειώνεται. Επιπλέον, με τη μέγιστη παραγόμενη ισχύ να επιτυγχάνεται όταν $\lambda = \lambda_0$, καταλαβαίνουμε ότι οι ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας λειτουργούν με τη μέγιστη απόδοση μόνο για μια σταθερή ταχύτητα του ανέμου. Από την άλλη πλευρά, προκειμένου οι ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας να μπορέσουν να λειτουργήσουν με τη μέγιστη απόδοση είναι αναγκαίο η ταχύτητα περιστροφής να έχει εξ' αρχής ρυθμιστεί ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου ώστε να διατηρεί συνεχώς έναν καλό λόγο ταχύτητας ακροπτερυγίων λ' (Grimble et al., 2007).

ΑΠΟΔΟΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η έλικα διαγράφει μια περιστροφική διαδρομή, η οποία καλύπτει συνεχώς μια καθορισμένη έκταση της κυκλικής διατομής και εξαρτάται από το μέγεθος των πτερυγίων. Η ροή του ανέμου που προσπίπτει στο συγκεκριμένο τμήμα μιας ανεμογεννήτριας, μεταφέρει τη μέγιστη αιολική ενέργεια, της οποίας ένα ποσοστό θα δεσμευτεί από τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας και θα μετατραπεί σε μηχανική. Το μέγιστο ποσό της κινητικής ενέργειας του ανέμου που μπορεί να δεσμεύσει μια σύγχρονη αιολική μηχανή, αντιστοιχεί σε συντελεστή απόδοσης ισχύος της τάξεως του 0,45. Βάσει του Σχήματος 3 που ακολουθεί, θα αναφερθούμε στις οριακές ταχύτητες του ανέμου και τη σχέση τους με την εκτιμητέα ισχύ μιας τυπικής ανεμογεννήτριας (Njock Libii, 2013).



Σχήμα 3 Οριακές ταχύτητες ανέμου και η εκτιμητέα ισχύς (Josué Njock Libii, 2013)

Η πρώτη οριακή ταχύτητα ' V_1 ' του ανέμου που διακρίνουμε κυμαίνεται μεταξύ 3 και 5 m/s και αφορά την ταχύτητα με την οποία η ανεμογεννήτρια ξεκινάει να παράγει ισχύ. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι η ' V_1 ' είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα που απαιτείται για την εκκίνηση της περιστροφής της έλικας.

Η δεύτερη οριακή ταχύτητα ' V_2 ' που βλέπουμε στο σχήμα κυμαίνεται μεταξύ 15-25 m/s και αφορά τις ταχύτητες όπου η ανεμογεννήτρια λειτουργεί με ασφάλεια και παράγει τη μέγιστη ισχύ χωρίς να υπάρχουν ηλεκτρικές απώλειες.

Πάνω από τις προαναφερθείσες τιμές των ταχυτήτων του ανέμου, η αιολική μηχανή παύει να λειτουργεί προκειμένου να αποφευχθούν βλάβες στα κύρια δομικά της μέρη, ιδιαιτέρως στα πτερύγια.

Τέλος, η καμπύλη ισχύος παρουσιάζει τις κατώτερες ταχύτητες του ανέμου που απαιτούνται προκειμένου να παραχθεί η εκτιμητέα ισχύς, σύμφωνα με τον κατασκευαστή (Njock Libii, 2013).

ΓΩΝΙΑ ΒΗΜΑΤΟΣ ΠΤΕΡΥΓΙΟΥ

Τα πτερύγια των ανεμογεννητριών που έχουν τον έλεγχο της γωνίας βήματος πρέπει να μπορούν να περιστρέφονται, είτε πλήρως, δηλαδή σε όλη την έκτασή τους, είτε εν μέρει γύρω από τον άξονά τους. Αυτή η περιστροφή θα πρέπει να εκτελείται με τρόπο που να ελαττώνεται η γωνία πρόσπτωσης της ροής του αέρα στις αεροτομές των πτερυγίων. Εάν, όμως, η ισχύς εξόδου υπερβεί τις τιμές που θεωρούνται ασφαλείς, ο μηχανισμός ελέγχου μεταβάλλει τη γεωμετρία των πτερυγίων ως προς το χώρο με σκοπό την επίτευξη μικρότερης έντασης ανέμου πάνω στην επιφάνειά τους. Στη συνέχεια, τα πτερύγια επιστρέφουν στην αρχική τους θέση καθώς πέφτει η ένταση

του ανέμου, προκειμένου να έχει ισχυρότερο αντίκτυπο πάνω τους και έτσι να παράγουν περισσότερη ενέργεια. Εφόσον οι ατμοσφαιρικές συνθήκες γίνουν πιο ήπιες τότε πραγματοποιείται εκ' νέου μια μεταβολή της γωνίας του βήματος κ.ο.κ. Για τον έλεγχο του βήματος χρησιμοποιούνται υδραυλικοί ή/και ηλεκτρικοί ενεργοποιητές (Αλεξανδρίδης, 2010).

ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

Τα πτερύγια στις ανεμογεννήτριες με παθητική απώλεια στήριξης (stall control) εδράζονται στον άξονα σε σταθερή γωνία. Η θέση τους εξασφαλίζει ότι σε συνθήκες έντονων ροών του ανέμου, θα αναπτυχθούν πλευρικές αεροδυναμικές διαταραχές από την αντίθετη πλευρά του πτερυγίου από της επιφάνειας πρόσπτωσης του ανέμου. Με τη γένεση των διαταραχών αυτών (στροβιλισμοί - δίνες) περιορίζεται η επίδραση των δυνάμεων άνωσης και προστατεύεται ο ρότορας από ενδεχόμενη ζημιά, λόγω των συνεχών αρνητικών ολισθήσεων στην ταχύτητα περιστροφής. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η ακεραιότητα της ανεμογεννήτριας, τα πτερύγια χάνουν την απώλεια στήριξης σταδιακά όταν οι συνθήκες του ανέμου επανέλθουν στις φυσιολογικές. Τέλος, η απώλεια στήριξης απαιτεί ηλεκτρικούς μηχανισμούς για τον έλεγχο των πτερυγίων, ενώ η γωνία μεταβάλλεται αντίθετα από τη γωνία βήματος του πτερυγίου (Αλεξανδρίδης, 2010).

1.5.5 ΤΥΠΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

1.5.5.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

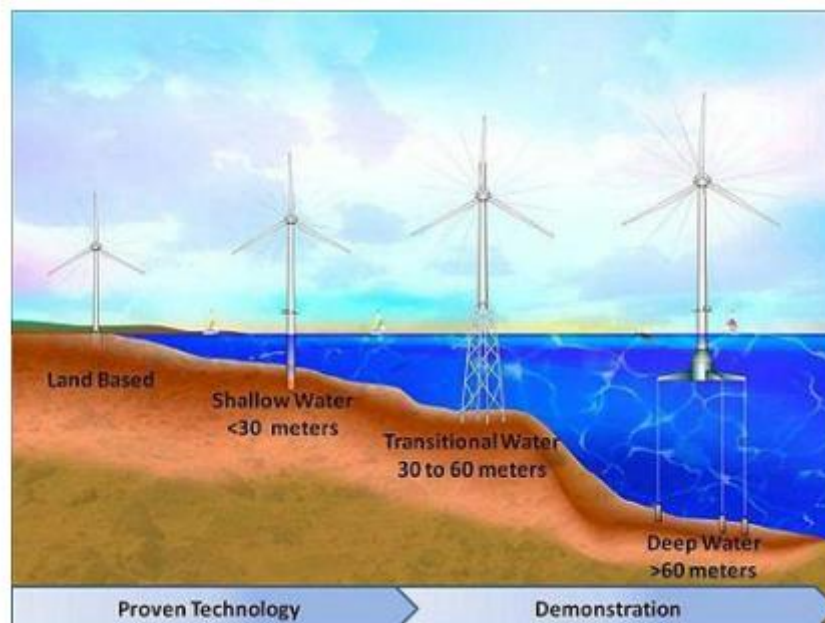
Οι ανεμογεννήτριες χωρίζονται σε κατηγορίες, οι οποίες διαμορφώνονται βάσει ποικίλων παραγόντων (Τάγκας, 2019). Οι κυριότερες κατηγοριοποιήσεις εξαρτώνται από παραμέτρους όπως για παράδειγμα:

- τον προσανατολισμό του άξονα της ανεμογεννήτριας σε σχέση με τη γεωμετρία του εδάφους και τη διεύθυνση του ανέμου (οριζόντιου άξονα-HAWT, κατακόρυφου άξονα-VAWT, υβριδικές)
- το μέγεθος της ανεμογεννήτριας
- τη δυνατότητα ή όχι μετακίνησης (φορητή ή σταθερή)
- τον βαθμό παραγόμενης ισχύος
- το υλικό κατασκευής του πύργου (δικτυωτός, πύργος σκυροδέματος, σωληνοειδής) (Εικόνα 8)

- τη θέση εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας και τον τρόπο θεμελίωσής της (on-shore θεμελίωση βαρύτητας ή πασσάλους, off-shore πλωτή ή σταθερή κατασκευή) (Εικόνα 9)



Εικόνα 8 Ταξινόμηση βάση πύργου κατασκευής (Ευστρατιάδης & Μαμάσης, 2021)



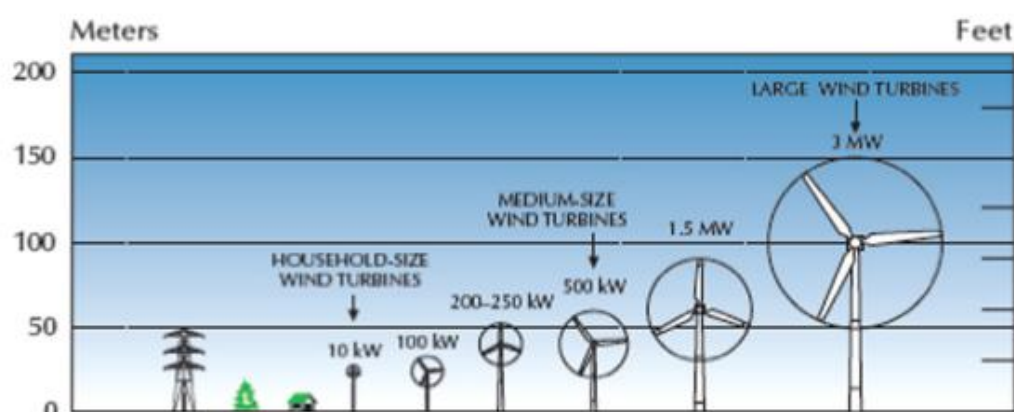
Εικόνα 9 Θαλάσσιες-offshore ανεμογεννήτριες (Ευστρατιάδης & Μαμάσης, 2021)

Ο πίνακας 1 αποτελεί μια συνδυαστική ταξινόμηση των ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα, η οποία συσχετίζει τη διάμετρο του δρομέα και την έκταση που καταλαμβάνει η έλικα με την παραγόμενη ισχύ. Ανάλογα με τη χρήση της αιολικής μηχανής (μικρού μεγέθους σε κτίρια, αιολικά πάρκα κ.α.) και τις ενεργειακές απαιτήσεις, διακρίνουμε διαφοροποιήσεις ως προς τα πιθανά μεγέθη της κατασκευής (Εικόνα 10) (Tummala, Kishore Velamati, Kumar Sinha, Indraja, & Krishna, 2015).

Πίνακας 1 Ταξινόμηση βάση μεγέθους δρομέα

Classification of HAWT based on rotor diameter and power rating.

		Rotor diameter (m)		Swept area (m ²)		Standard power rating (kW)	
Small scale	Micro	0.5	1.25	0.2	1.2	0.004	0.25
	Mini	1.25	3	1.2	7.1	0.25	1.4
	Household	3	10	7	79	1.4	16
Small commercial		10	20	79	314	25	100
Medium commercial		20	50	314	1963	100	1000
Large commercial		50	100	1963	7854	1000	3000



Εικόνα 10 Παραγόμενη ισχύ αιολικών μηχανών (Tummala, Kishore Velamati, Kumar Sinha, Indraj, & Krishna, 2015)

1.5.5.2 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΚΑΙ ΚΑΘΕΤΟΥ ΑΞΟΝΑ

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα και οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα (Εικόνα 11) αποτελούν τις δύο βασικότερες ομάδες με βάση τη θέση του άξονα περιστροφής ως προς τη Γη. Οι πρώτες διαθέτουν έναν άξονα που εκτείνεται παράλληλα με την επιφάνεια της Γης και κυρίως παράλληλο προς την κατεύθυνση του ανέμου. Πιο συγκεκριμένα, αυτές οι ανεμογεννήτριες περιλαμβάνουν 2-3 πτερύγια με μεγάλη αεροδυναμική απόδοση. Τα υπόλοιπα μηχανικά μέρη αποτελούνται από: το δρομέα, το σύστημα μετάδοσης κίνησης (κύριος άξονας, κιβώτιο ταχυτήτων), τη γεννήτρια, το πύργο στήριξης, το σύστημα πέδησης, το σύστημα προσανατολισμού και το σύστημα ελέγχου, σύνδεσης και αποθήκευσης (συσσωρευτές) της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Ανάλογα με τη διεύθυνση του αέρα, χωρίζονται σε ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα στα ανάντη (upwind) (κυρίαρχες μέχρι σήμερα) και στα κατάντη (downwind) (Ζερβός Αρθούρος, 2005). Ο ρότορας (δρομέας) και η γεννήτρια βρίσκονται στην κορυφή του πύργου. Η λειτουργία του άξονα είναι να μετατρέπει τη

γραμμική κίνηση του ανέμου σε κυκλική κίνηση για την παραγωγή ισχύος, ενώ ο ρότορας διακρίνει τις ανεμογεννήτριες με βάση τη θέση του σε σχέση με τον πύργο στήριξης και την κατεύθυνση του ανέμου. Συνεπώς, οι ανεμογεννήτριες τύπου upwind (ρότορας με φτερωτή μπροστά) είναι αυτές με τον ρότορα μπροστά από τον πύργο στήριξης, ενώ οι ανεμογεννήτριες downwind είναι εκείνες με τον ρότορα πίσω από τον πύργο. Οι πρώτες έχουν σχεδιαστεί για να στρέφονται προς τον άνεμο χρησιμοποιώντας ένα πτερύγιο στην ουρά, όσο ένας άλλος μηχανισμός απομακρύνει τον ρότορα από τη ροή του ανέμου σε περιπτώσεις όπου ο κινητήρας είναι εκτός λειτουργίας ή επικρατούν εξαιρετικά ισχυρές συνθήκες με δυνατούς ανέμους. Στην περίπτωση του τύπου downwind, ο άνεμος περνάει πρώτα από το κάλυμμα και στη συνέχεια από τη φτερωτή, ενώ το μεταλλικό πτερύγιο απουσιάζει. Αυτές οι μηχανές ειδικεύονται και λειτουργούν σε συνθήκες έντονων ριπών (Saad, 2014).

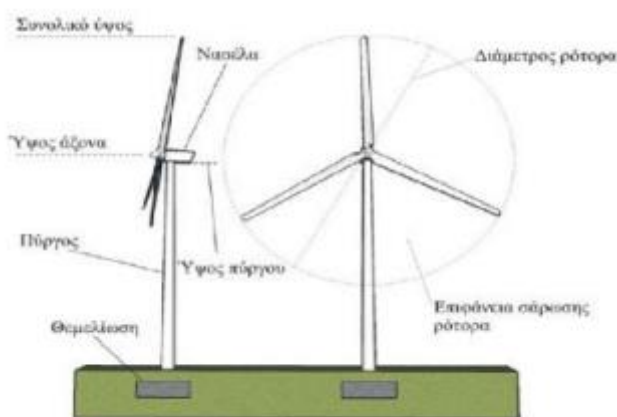
Για τις μικρότερες ανεμογεννήτριες είναι προσαρμοσμένος ένας απλός δείκτης κατεύθυνσης ανέμου, με βάση τον οποίο περιστρέφονται προς αυτόν. Όσον αφορά τις μεγαλύτερες αιολικές μηχανές η διαδικασία, αυτή, απαιτεί αισθητήρα ανέμου και σερβομοτέρ. Επίσης, η ταχύτητα κίνησης των πτερυγίων ελέγχεται από το κιβώτιο ταχυτήτων, το οποίο αυξάνει την ταχύτητα περιστροφής προκειμένου να λειτουργεί επαρκώς η ηλεκτρική γεννήτρια. Όσον αφορά τα πτερύγια, κατασκευάζονται από ισχυρό άκαμπτο υλικό, το οποίο ενισχύει την ανθεκτικότητά τους και εξασφαλίζει την ακεραιότητά τους ενάντια στους δυνατούς ανέμους. Ο ρυθμός περιστροφής τους κυμαίνεται μεταξύ των 10 έως 22 στροφών το λεπτό, με τον μεγαλύτερο ρυθμό να αντιστοιχεί σε ταχύτητα μεγαλύτερη από 320 km/h.



Εικόνα 11 Μηχανές οριζόντιου και κάθετου άξονα (Σιμιδαλάς & Σταμόπουλος, 2018)

Οι μηχανές οριζόντιου άξονα (Εικόνα 12) χαρακτηρίζονται από την πολύ καλή απόδοση και τον υψηλό αεροδυναμικό συντελεστή, εξαιτίας του άξονα περιστροφής του ρότορα ο οποίος κινείται οριζόντια και πρακτικά παράλληλα με την κατεύθυνση

ροής του ανέμου. Επωφελούνται, επίσης, από υψηλότερες ταχύτητες ανέμου λόγω του ύψους της ανεμογεννήτριας και είναι απλές στη συναρμολόγηση. Ωστόσο, επειδή η γεννήτρια και το κιβώτιο ταχυτήτων πρέπει να εγκατασταθούν στην κορυφή του πύργου, ο σχεδιασμός τους είναι πιο περίπλοκος και κοστοβόρος, ενώ η ανάγκη για συνεχή αξιοποίηση του ανέμου απαιτεί την κατασκευή ενός μηχανισμού ο οποίος θα περιστρέφει και θα προσανατολίζει τα πτερύγια προς την κατεύθυνση του ανέμου. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι, η διάρκεια ζωής ενός ρότορα εξαρτάται άμεσα από τις μηχανικές του ιδιότητες, το σχεδιασμό του και το φυσικό περιβάλλον στο οποίο είναι εκτεθειμένη η ανεμογεννήτρια (Saad, 2014).



Εικόνα 12 Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα (Σιμιδαλάς & Σταμόπουλος, 2018)

1.5.5.3 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΚΑΘΕΤΟΥ ΑΞΟΝΑ ΤΥΠΟΥ SAVONIUS ΚΑΙ DARRIEUS

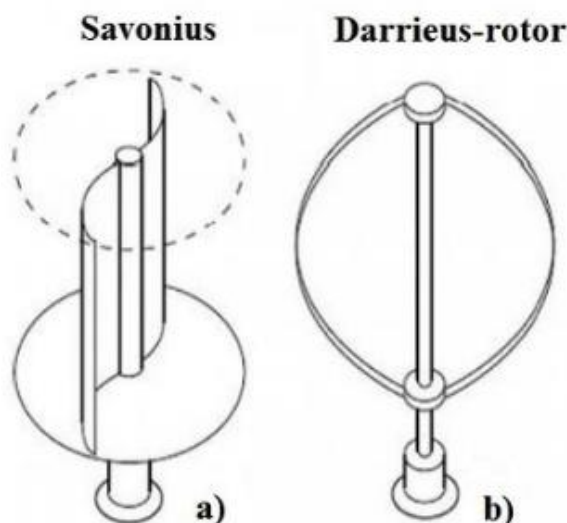
Όσον αφορά τις ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, ο ρότορας περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα κάθετο προς την διεύθυνση του ανέμου και δεν επηρεάζεται από τις αλλαγές της πορείας του. Εξαιτίας της μικρής τους αποδοτικότητας, οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα δεν χρησιμοποιούνται για παραγωγή ισχύος σε έργα μεγάλης κλίμακας, ενώ αντίθετα έχουν εφαρμογή, κυρίως, για ερευνητικούς σκοπούς. Η χρήση ανέμου ανεξαρτήτως κατεύθυνσης είναι ένα από τα πλεονεκτήματα αυτών των ανεμογεννητριών, γεγονός στο οποίο οφείλουν την απλή δομή τους και, κατά συνέπεια, το μικρότερο βάρος και χαμηλότερο κόστος κατασκευής. Επιπρόσθετα, το κιβώτιο ταχυτήτων και η γεννήτρια βρίσκονται στο έδαφος, καθιστώντας τα μηχανικά τους μέρη ευκολότερα ως προς την εγκατάσταση και τη συντήρησή τους (Saad, 2014).

Από την άλλη πλευρά, στα μειονεκτήματα των μηχανών αυτών ανήκουν οι χαμηλές επιδόσεις τους λόγω του ότι ο δρομέας είναι εγκατεστημένος στο έδαφος, με τις ταχύτητες του ανέμου να είναι μικρότερες. Άλλα μειονεκτήματα αφορούν την

ανισορροπία των τιμών απόδοσης ισχύος λόγω της συνεχούς αλλαγής στο βήμα του πτερυγίου, την έλλειψη ροπής εκκίνησης λόγω απουσίας ενός αναγκαίου εξωτερικού μηχανισμού και τη δυσκολία συντήρησης κάποιων μηχανικών μερών (Saad, 2014).

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, οι ανεμογεννήτριες με άξονα κάθετο στη διεύθυνση του ανέμου περιλαμβάνουν τους τύπους Savonius και Darrieus (Εικόνα 13). Οι τύπου Savonius εφευρέθηκαν το 1922 από τον Φινλανδό μηχανικό S.J.Savonius. Η λειτουργία τους βασίζεται στην αντίσταση που συναντά το πτερύγιο λόγω της καμπυλότητας του σχήματός του, η οποία αντίσταση είναι μικρότερη όταν εκείνο περιστρέφεται αντίθετα στη φορά κίνησης του αέρα. Η αντίσταση, αυτή, αποτελεί την κινητήρια δύναμη για την περιστροφή του ρότορα. Τα πτερύγια τους αποτελούνται συνολικά από δύο ημικυλινδρικά εξαρτήματα, τοποθετημένα σε αντίθετες κατευθύνσεις σε σχήμα "S" πάνω στον ίδιο κατακόρυφο άξονα περιστροφής. Η λειτουργία της συγκεκριμένης μηχανής θεωρείται απλή συγκριτικά με άλλες, ενώ παράλληλα έχει μικρότερη μέγιστη δυνατή απόδοση, με συντελεστή απόδοσης μικρότερο του 25%, τη στιγμή όπου σε άλλες κυμαίνεται από 30% - 45% (Modi & Fernando, 1989).

Η ανεμογεννήτρια τύπου Darrieus εφευρέθηκε το 1931 από τον Γάλλο George J.M. Darrieus. Η λειτουργία της βασίζεται στην δυναμική άνωση, η οποία ασκείται στην επιφάνεια επωφελούμενη από τον σχεδιασμό και τη διεύθυνση των πτερυγίων στο χώρο. Κάθε ανεμογεννήτρια αυτού του τύπου αποτελείται από δύο ή περισσότερα συμμετρικά απλού ή ελικοειδούς σχήματος τα οποία προσδένονται πάνω στον άξονα περιστροφής. Επομένως, η αεροδυναμική άνωση που δημιουργεί ο άνεμος, θέτει τα πτερύγια σε περιστροφική κίνηση. Οι μηχανές, αυτές, παράγουν μικρή ισχύ και είναι μικρότερου μεγέθους από τις κοινές οριζόντιου άξονα μηχανές. Ωστόσο, ορισμένα από τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν είναι τα εξής: μέγεθος ευνοϊκό για εγκατάσταση σε αστικά περιβάλλοντα, χαμηλά επίπεδα ηχορύπανσης ιδανικά για κατοικημένες περιοχές, μικρό κόστος κατασκευής, εύκολη επίβλεψη – συντήρηση (Fujisawa & Shibuya, 2000).



1.5.6 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

1.5.6.1 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΕΝΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Η προγραμματισμένη συντήρηση μια ανεμογεννήτριας αφορά τις εργασίες που πρέπει να πραγματοποιούνται ανά ορισμένα χρονικά διαστήματα ώστε να εξασφαλίζεται η αποδοτικότητά της και η ακεραιότητάς της ως κατασκευή. Οι συγκεκριμένες εργασίες και η συχνότητά τους ορίζονται από τον κατασκευαστή και παρέχονται στα εγχειρίδια συντήρησης. Η προγραμματισμένη συντήρηση αναφέρεται και ως «προληπτική» συντήρηση. Πιο συγκεκριμένα, στη διαδικασία αυτή εμπεριέχονται η αντικατάσταση εξαρτημάτων και συστημάτων που η λειτουργικότητά τους παύει να υφίσταται στον απαιτούμενο βαθμό σε χρόνο μικρότερο από τη διάρκεια της ζωής της ανεμογεννήτριας. Αυτές οι εργασίες περιλαμβάνουν επιθεωρήσεις στον εξοπλισμό ανά ορισμένα χρονικά διαστήματα, αλλαγές λαδιών και φίλτρων, ρύθμιση των αισθητήρων και των ενεργοποιητών και την αντικατάσταση αναλώσιμων εξαρτημάτων, όπως τακάκια φρένων κ.α. Ο καθαρισμός εντός του πύργου στήριξης και των πτερυγίων κρίνονται εξίσου σημαντικά και κατηγοριοποιούνται στην προγραμματισμένη συντήρηση. Τέλος, όσον αφορά το κόστος που σχετίζεται με την ανάπτυξη των παραπάνω δραστηριοτήτων μπορεί να εκτιμηθεί, αλλά γενικά ποικίλλει ανάλογα την προσβασιμότητα της τοποθεσίας της ανεμογεννήτριας και με τις τιμές της εκάστοτε εταιρίας που προμηθεύει τα απαραίτητα ανταλλακτικά (Walford, 2006).

1.5.6.2 ΜΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΕΝΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Οι αιολικές μηχανές, ωστόσο, εγκυμονούν απρόβλεπτους κινδύνους που μπορεί να επιφέρουν διάφορες αστοχίες στη λειτουργία τους, άλλες μικρής σημασίας κι άλλες μείζονος σημασίας. Επομένως, για κάθε έργο είναι αναγκαίο να προβλέπεται ένα ορισμένο ποσό συντήρησης προκειμένου να αντιμετωπιστούν ευκολότερα τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν. Το συγκεκριμένο είδος της απαιτούμενης συντήρησης ονομάζεται μη – προγραμματισμένη συντήρηση και το παραπάνω κόστος μπορεί να χωριστεί σε άμεσο και έμμεσο κόστος. Το άμεσο κόστος σχετίζεται με την εργασία και τον εξοπλισμό που απαιτείται για την επισκευή ή την αντικατάσταση της αστοχίας, προσθέτοντας και το κόστος του ίδιου του εξαρτήματος. Το έμμεσο κόστος προκύπτει από την απώλεια εσόδων λόγω του χρόνου διακοπής της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας. Εκτός αυτού, παράγοντες που καθορίζουν το έμμεσο κόστος είναι η γνωμάτευση του μηχανικού για την αναγνώριση του προβλήματος, ο βαθμός προσβασιμότητας στην περιοχή, το εργατικό δυναμικό που θα κινητοποιηθεί για την αντιμετώπιση του, οι καιρικές συνθήκες την περίοδο των εργασιών (ειδικότερα για απομακρυσμένες περιοχές) κ.ά. (Walford, 2006).

1.5.7 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Καθώς μια ανεμογεννήτρια παύει να λειτουργεί, αρχίζει να επιδράει αρνητικά στο περιβάλλον. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις προέρχονται από τρεις κύριες πηγές:

- συντρίμια από τον πύργο στήριξης και τα θεμέλια, παρόλο που αποτελούνται από χάλυβα ο οποίος κατά ένα υψηλό ποσοστό είναι ανακυκλώσιμος
- επικίνδυνα απόβλητα από κράματα χάλυβα που προέρχονται από εξαρτήματα της ατράκτου
- εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την κατασκευή χάλυβα και από τις επιφανειακές επιστρώσεις)

Οι επιλογές ως προς τη διαχείριση μιας παλιάς ανεμογεννήτριας είναι:

- πώληση μεταχειρισμένων μηχανών σε χώρες όπου η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας και η αγορά δεν έχουν αναπτυχθεί ακόμα πλήρως (π.χ. Ανατολική Ευρώπη και Λατινική Αμερική)
- ανακαίνιση όπου απαιτείται και εφόσον είναι εφικτή με σκοπό την παράταση της διάρκειας ζωής μιας ανεμογεννήτριας ·
- ανακατασκευή ενός εξαρτήματος με σκοπό την επιστροφή του στις αρχικές λειτουργικές προδιαγραφές και την επαναχρησιμοποίησή του
- ανακύκλωση και ανάκτηση των χρήσιμων και αξιοποιήσιμων δομικών στοιχείων του προϊόντος
- απόρριψη και καύση

Η ανακύκλωση αποτελεί την, πλέον, αναγκαία λύση όταν ένα αιολικό πάρκο παύει να λειτουργεί και εφόσον οι υπόλοιπες προαναφερθείσες εναλλακτικές δεν μπορούν να εφαρμοστούν περαιτέρω. Παρ' όλο που τα περισσότερα εξαρτήματα των ανεμογεννητριών είναι γνωστά στις εταιρίες ανακύκλωσης, η διαδικασία αυτή, όταν αφορά μεγάλο όγκο προϊόντος μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο για το περιβάλλον λόγω της περιεκτικότητάς τους σε σπάνιες γαίες. Μέρος του γενικότερου προβλήματος αποτελούν, επίσης, τα πτερύγια από υαλοβάμβακα. Παρά το γεγονός ότι η Ε.Ε. έχει αναπτύξει ένα πλήρες ολοκληρωμένο νομοθετικό πλαίσιο για την ανακύκλωση τους, ωστόσο, ακόμα δεν έχει βρεθεί η μέθοδος ανάκτησης των ινών γυαλιού και των υπολοίπων εκμεταλλεύσιμων στοιχείων τους, που να συμφέρει οικονομικά την αγορά. Επομένως, ενώ οι μελέτες δείχνουν την ανάγκη για ανάπτυξη στρατηγικών ενθάρρυνσης της ανακυκλωσιμότητας των ανεμογεννητριών και της τόνωσης των αγορών με προϊόντα ανακύκλωσης, την ίδια στιγμή απαιτείται

χρηματοδότηση για έρευνες που να στοχεύουν στη διεύρυνση των γνώσεων για τις προοπτικές των δευτερογενών υλικών στην αγορά, σε βελτιωμένες μεθόδους ανάκτησης συστατικών και στην ανακύκλωση σπάνιων γαιών. Τέλος, στον Πίνακα 2 αναφέρονται το ποσοστό ανακυκλωσιμότητας των εξαρτημάτων των ανεμογεννητριών και οι μέθοδοι διάθεσής τους (Andersen et al., 2014).

Πίνακας 2 Ανάλυση δεδομένων από εταιρίες ανακύκλωσης (Andersen et al., 2014)

Material	Recycling/Disposal rate (%)	Disposal method
Ferrous high alloy	98	Recycling
Ferrous metal	95	Recycling
Steel		Recycling
Aluminium and aluminium alloys	95	Recycling
Copper, magnesium, nickel, zinc and their alloys	98	Recycling
Precious metals and other non-ferrous metals and alloys	98	Recycling
Plastics, rubber and other organic materials	100	Incineration with energy recovery
Electronics	50	Recycling with energy recovery
Batteries	100	Recycling
Concrete, bricks etc.	64	Landfill
Sand and gravel	0	Remains in the ground after wind farm is dismantled
Blades	95	Landfill or recycling
Remaining materials		Incineration or landfill

1.6 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΕΥΡΩΠΗ ΚΑΙ ΕΛΛΑΔΑ

1.6.1 ΧΡΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ

Η πρώτη φορά που αξιοποιήθηκε η αιολική ενέργεια για παραγωγή ηλεκτρισμού ήταν στις Ηνωμένες Πολιτείες στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, όπου ο Charles Brush ανέπτυξε το πρώτο παράδειγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας έναν πρωτοποριακό τύπο ανεμόμυλου στο Οχάιο το 1888. Λίγα χρόνια αργότερα, ο Marcellus Jacobs κατασκεύασε αρκετές μικρές ανεμογεννήτριες παραγωγής ηλεκτρισμού με ενσωματωμένες ηλεκτρικές γεννήτριες, πρωτοστατώντας στις σύγχρονες αεροδυναμικές μηχανές. Στη Δανία, ο Poul La Cour κατασκεύασε περισσότερες από 100 ανεμογεννήτριες με εύρος μεγεθών 20-35 KW καθώς και προηγμένης τεχνολογίας μηχανές οριζόντιου άξονα με απόκριση στις ριπές ανέμου (Darrel M. Dodge, "Illustrated history of wind power development"). Την ίδια χρονική περίοδο, ο καθηγητής Ulrich Hutter ανέπτυξε μια σειρά μηχανών οριζόντιου άξονα μεσαίου μεγέθους, με ενσωματωμένα πτερύγια από υαλοβάμβακα και πλαστικό, οι οποίες παρείχαν υψηλότερη απόδοση λόγω του μειωμένου βάρους και του αεροτομικού σχεδιασμού τους. Τέλος, με πρωτοπόρα τη Ρωσία το 1931 και με την ανάπτυξη των αντίστοιχων πειραματικών εγκαταστάσεων από χώρες όπως η Δανία και η Γερμανία, απεδείχθη ότι οι ανεμογεννήτριες μεγάλης κλίμακας (>100KW) έχουν προοπτικές για πολύ μεγάλες αποδόσεις. Με το πέρας του Β' Παγκοσμίου πολέμου, οι ευρωπαϊκές ανεμογεννήτριες συνεχίστηκαν να αναπτύσσονται με κύριο στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μεγάλες κατασκευές όπως η δανική προέλευσης Gedser Mill λειτούργησαν με επιτυχία μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1960. Παρ' όλα αυτά, αξίζει να σημειωθεί ότι η αιφνίδια πτώση των τιμών των ορυκτών καυσίμων για ένα χρονικό διάστημα, οδήγησε την Ευρώπη στην εκμετάλλευση συμβατικών μορφών ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρισμού, με συνέπεια τη μείωση της αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας (Soter & Wegener, 2007)

Η αιολική ενέργεια, όμως, δεν έπαψε να αποτελεί μια από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες μορφές ανανεώσιμης πηγής ενέργειας αναλαμβάνοντας τον ρόλο της «ραχοκοκαλιάς» των ενεργειακών συστημάτων σε πολλές χώρες και όντας αποδεκτή ως μια από τις πιο αξιόπιστες και οικονομικά προσιτές πηγές ηλεκτρικής ενέργειας. Με τα συστήματα των ανεμογεννητριών να αποδεικνύονται τόσο οικονομικά όσο και φιλικά προς το περιβάλλον, σύμφωνα με την Παγκόσμια Ένωση Αιολικής Ενέργειας (World Wind Energy Association-WWEA), η παγκόσμια δυναμικότητά τους γνώρισε μια σημαντικότερη αύξηση από τα 7 GW το 1997 στα 372 GW το 2014, με έναν ραγδαίο ρυθμό της τάξεως του 21% ετησίως. Όπως θα δούμε αναλυτικότερα στη συνέχεια, η Ευρώπη είχε ήδη ξεκινήσει να κερδίζει έδαφος στην παγκόσμια κατάταξη ως προς την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, σημειώνοντας κάθε χρόνο ρεκόρ νέων εγκαταστάσεων από τα τέλη της δεκαετίας του 1990. Μεταξύ των κορυφαίων 10 χωρών, απαντούσαν η Σουηδία, η Γερμανία, η Ισπανία, η Ιρλανδία και η Πορτογαλία (World Wind Energy Association, 2010).

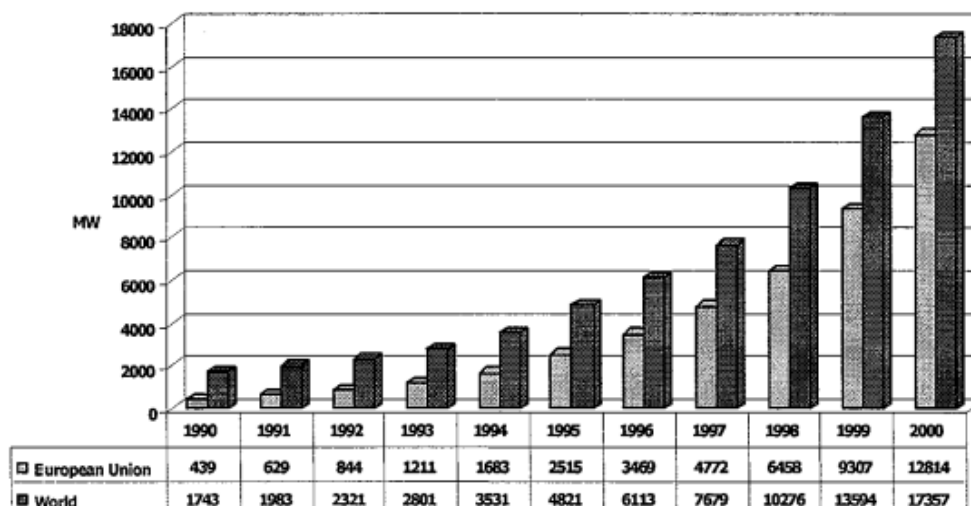
1.6.2 Η ΘΕΣΗ ΤΗΣ Ε.Ε. ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Η Ευρωπαϊκή Ένωση υποστηρίζει σταθερά την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας από τις αρχές της δεκαετίας του 1980. Ειδικότερα, από το 1990 κι έπειτα, με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή να θέτει σε υψηλή προτεραιότητα την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η στήριξη ενισχύθηκε, με νέες χρηματοδοτήσεις να προσφέρονται συνεχώς σε μελέτες και έργα για έρευνα και ανάπτυξη. Οι κυριότεροι λόγοι που οδήγησαν τις ευρωπαϊκές χώρες να στραφούν ενεργά στην αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ήταν η προστασία του περιβάλλοντος, η επίτευξη οικονομικής συνοχής και η έλλειψη ασφάλειας κατά την αξιοποίηση των συμβατικών μορφών ενέργειας. Ανάμεσα στις χώρες οι οποίες έχουν χρηματοδοτήσει σημαντικά την έρευνα και την τεχνολογική ανάπτυξη είναι η Γερμανία, η Δανία, η Ολλανδία και το Βέλγιο. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι συγκεκριμένες χώρες, μεταξύ 2000-2004, αντιπροσώπευαν τα δύο τρίτα της ετήσιας Ε&Α αιολικής ενέργειας της ΕΕ. Για την ίδια περίοδο, βλέπουμε ότι οι ετήσιες εισφορές της Ευρώπης στον τομέα της Ε&Α προσέγγιζαν τα 57,7 εκατομμύρια, ξεπερνώντας κατά πολύ εκείνες των ΗΠΑ (32,1 εκατ.) και της Ιαπωνίας (7,4 εκατ.), με τις έρευνες, πλέον να εστιάζουν στην κατασκευή νέων, εκσυγχρονισμένων τουρμπινών και την εγκατάσταση συστημάτων «offshore» ανεμογεννητριών (European Commission, 2006).

1.6.3 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

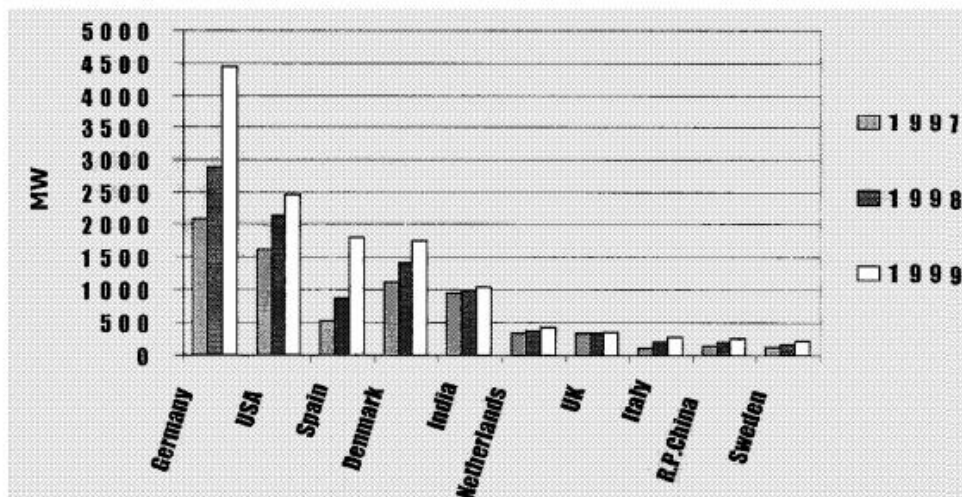
1.6.3.1 Η ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΤΗ ΔΕΚΑΕΤΙΑ ΤΟΥ 1990

Εκείνη τη χρονική περίοδο, η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας γνώρισε εντυπωσιακή πρόοδο τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο (Διάγραμμα 5). Πιο αναλυτικά, μέχρι το τέλος του 2000, λειτουργούσαν ανεμογεννήτριες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με συνολική ισχύ της τάξεως των 17500 MW, σε περισσότερες από 50 χώρες. Από αυτές, πάνω από το 70% (12800 MW) ήταν εγκατεστημένες σε κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ).



Διάγραμμα 5 Η ετήσια πορεία εγκατάστασης παραγωγής ισχύος (Hatziaargyriou & Zervos, 2001)

Το 2000 αποτέλεσε έτος ρεκόρ για την Ευρωπαϊκή Ένωση, με την τοποθέτηση νέων τουρμπινών οι οποίες παρήγαγαν ισχύ μεγαλύτερη των 3500 MW. Η Γερμανία, η Δανία και η Ισπανία, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ της τάξεως των 7675 MW το 1999, καλύπτan περισσότερο από το 80% της συνολικής ευρωπαϊκής αιολικής ισχύος και ανήκαν δικαιωματικά ανάμεσα στις κορυφαίες χώρες της Ευρώπης για την αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού τους. Τη δεδομένη χρονική περίοδο, αυτές οι χώρες είχαν υιοθετήσει ένα σαφές εθνικό σχέδιο για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας και είχαν ακολουθήσει μια επιτυχημένη πολιτική εξελικτικής ανάπτυξης όπου μέσω δραστηριοτήτων E&A, υποστήριζαν τη βιομηχανία των ανεμογεννητριών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η μέση ετήσια ανάπτυξη της αγοράς στην Ευρώπη από το 1993 έως το 1999 ήταν περίπου 40%. Επιπλέον, το 2000 παρατηρήθηκε ότι συγκριτικά με το έτος 1993, η τοποθέτηση των νέων ανεμογεννητριών αντιστοιχούσε σε παραγόμενη ισχύ, η οποία ήταν δέκα φορές μεγαλύτερη (3507 MW). Την περίοδο 1998 – 1999 η Γερμανία, η Δανία, η Ισπανία και οι ΗΠΑ πραγματοποίησαν περίπου το 80% των παγκόσμιων πωλήσεων. Τέλος, με τη γερμανική παραγωγή να αυξάνεται ραγδαία από το 1995 και μετά, παρατηρούμε τη Γερμανία να καταλαμβάνει σχεδόν το 50% της συνολικής ευρωπαϊκής αγοράς (Διάγραμμα 6) (Hatziaargyriou & Zervos, 2001).



Διάγραμμα 6 Οι 10 ισχυρότερες χώρες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Hatziaargyriou & Zervos, 2001)

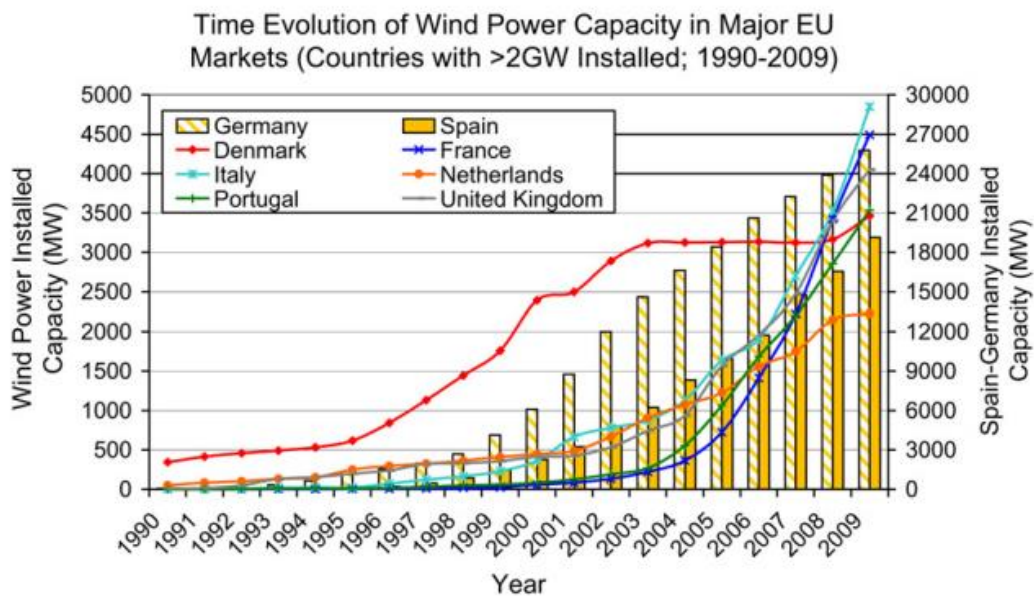
1.6.3.2 Η ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΕΥΡΩΠΗ ΤΗ ΔΕΚΑΕΤΙΑ ΤΟΥ 2000

Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία της συγκεκριμένης περιόδου, κατά τη διάρκεια του 2009, η παγκόσμια δυναμικότητα αιολικής ενέργειας αυξήθηκε κατά 37,4 GW, φτάνοντας έτσι συνολικά περίπου τα 158 GW. Η ραγδαία, αυτή, αύξηση βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με τους αξιοσημείωτους ρυθμούς ανάπτυξης των τελευταίων είκοσι ετών. Η Ευρώπη κατείχε πάνω από το 50% της παγκόσμιας αγοράς, ενώ είχε μόλις ξεκινήσει να θεσπίζει τα πρώτα κίνητρα για την ανάπτυξη και εγκατάσταση συστημάτων “offshore” ανεμογεννητριών με πρωτοπόρες χώρες τη Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο (Breton, 2009).

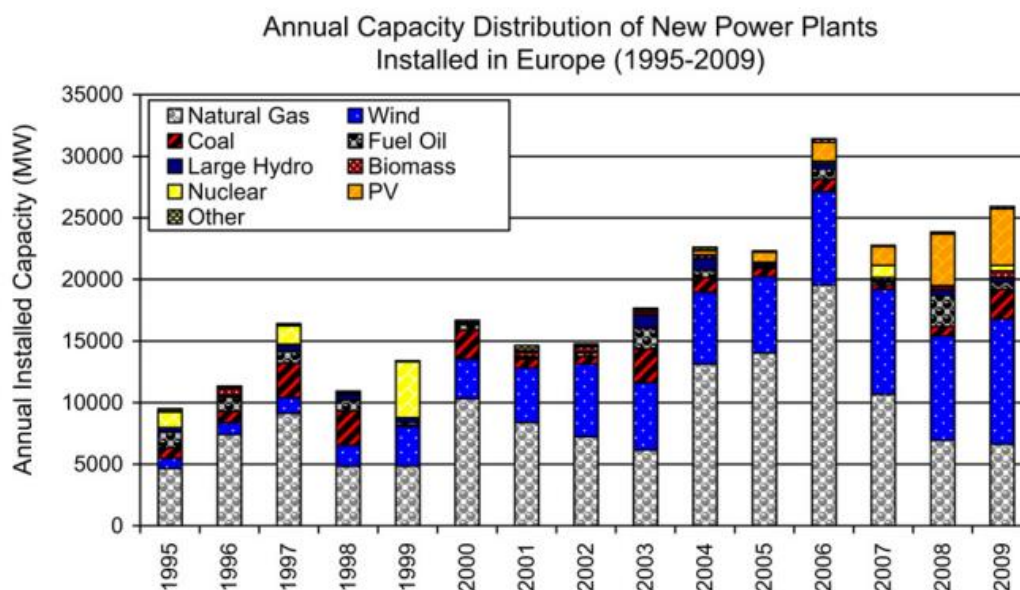
Εστιάζοντας σε ευρωπαϊκό επίπεδο, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, τη Γερμανία (25,8 GW) και την Ισπανία (19,1 GW) ακολουθούν τώρα η Ιταλία (4850 MW), η Γαλλία (4492 MW), το Ηνωμένο Βασίλειο (4051 MW), η Πορτογαλία (3535 MW) και η Δανία (3465 MW). Η μακροχρόνια στασιμότητα που παρατηρήθηκε στην Δανία συγκριτικά με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες στις οποίες σημειώθηκε βελτίωση, οφείλεται στην υπολειτουργικότητα της τοπικής νομοθεσίας. Παρ’ όλα αυτά, η Δανία είχε ήδη πετύχει πολύ σημαντική εκμετάλλευση του τοπικού αιολικού δυναμικού της. Από την άλλη πλευρά, η Γαλλία και η Πορτογαλία παρουσίασαν αξιοσημείωτους ρυθμούς ανάπτυξης από το 2000 και μετά συνεισφέροντας με θετικό πρόσημο στη δυναμική της ευρωπαϊκής αγοράς (Διάγραμμα 7) (Sperling, Hvelplund, & VadMathiesen, 2010).

Προκειμένου να αποκτήσουμε μια συνολική εικόνα για την πορεία των εγκαταστάσεων αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας, είναι σημαντικό να τις συγκρίνουμε με τους ρυθμούς ανάπτυξης των υπολοίπων εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας (αναλώσιμων και ανανεώσιμων πηγών). Το βήμα αυτό είναι

απαραίτητο για να συμπεράνουμε εάν η στροφή που επιχειρείται από την ΕΕ προς τις καθαρότερες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βρίσκει πρακτική εφαρμογή. Στο διάγραμμα 8 ακολουθεί η χρονική κατανομή των παραγωγικών εγκαταστάσεων όλων των τεχνολογιών στην ΕΕ από το 1995 έως το 2009. Παρ' όλο που η παραγωγικότητα μέσω των αιολικών εγκαταστάσεων είναι συγκρίσιμη μόνο με εκείνη του φυσικού αερίου, στο σχήμα φαίνεται πως η τάση αξιοποίησης του αιολικού δυναμικού στην ΕΕ είναι ευδιάκριτη. Όπως μπορεί κανείς να δει, τα τελευταία δύο χρόνια (2008, 2009), οι νέες αιολικές εγκαταστάσεις υπερβαίνουν κάθε άλλη τεχνολογία, με εκείνες να ξεπερνάνε σε ισχύ τα 10 GW (Eurostat, 2010).



Διάγραμμα 7 Εξέλιξη Αιολικού Δυναμικού στις μεγαλύτερες χώρες της ΕΕ (Sperling, Hvelplund, & VadMathiesen, 2010)



Διάγραμμα 8 Χρονική κατανομή των παραγωγικών εγκαταστάσεων όλων των τεχνολογιών στην ΕΕ (1995-2009)
(Eurostat, 2010)

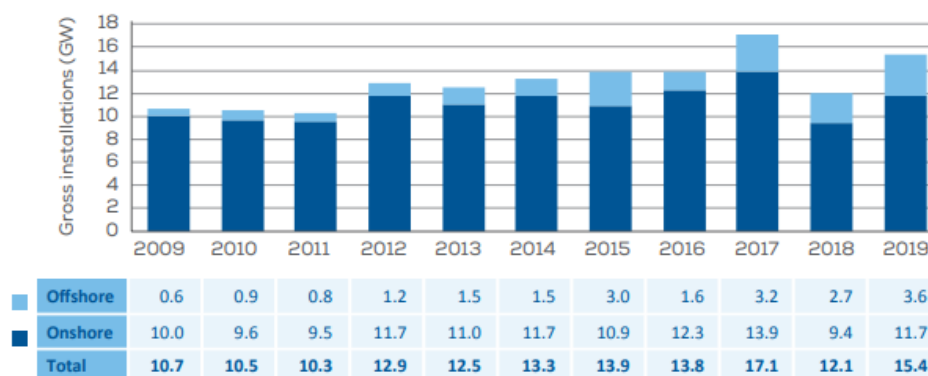
Συνοψίζοντας, σύμφωνα με τα τελευταία επίσημα στοιχεία της δεκαετίας του 2000, η ΕΕ εξακολουθεί να παραμένει ο παγκόσμιος ηγέτης, αν και οι ΗΠΑ επανήλθαν σημαντικά με την εγκατάσταση ανεμογεννητριών συνολικής ισχύος πάνω από 10 GW το 2009. Εν τω μεταξύ, η Κίνα επιμένει στους εξαιρετικούς ρυθμούς ανάπτυξής της, διπλασιάζοντας κάθε χρόνο την παραγωγική της ικανότητα (Mabel & Fernandez, 2008).

1.6.3.3 Η ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΕΥΡΩΠΗ ΤΗ ΔΕΚΑΕΤΙΑ ΤΟΥ 2010

Το 2019 οι νέες αιολικές εγκαταστάσεις στην Ευρώπη αντιστοιχούσαν σε ισχύ η οποία προσέγγιζε τα 15,4 GW. Αναλύοντας τα δεδομένα του πίνακα 7 βλέπουμε ότι σε σχέση με το 2018, υπήρξε αύξηση της τάξεως του 27%, αλλά μείωση κατά 10% από το έτος ρεκόρ του 2017. Οι χερσαίες αιολικές εγκαταστάσεις στη Γερμανία συνεχίζουν να μειώνονται, με τη χώρα να έχει πλέον στραφεί στις «offshore» εγκαταστάσεις. Η Ισπανία και η Σουηδία συνέχισαν να έχουν ανοδική πορεία, ενώ μαζί με τη Γαλλία αντιπροσωπεύουν το 45% των καινούριων χερσαίων αιολικών πάρκων. Το 76% των νέων εγκαταστάσεων (11,7 GW) ανήκαν στο χερσαίο τμήμα της Ευρώπης, ενώ το 24% στο υπεράκτιο. Οι μισές υπεράκτιες προσθήκες για το έτος του 2019 ανήκαν στο Ηνωμένο Βασίλειο, με τις υπόλοιπες να κατανέμονται μεταξύ της Γερμανίας, του Βελγίου, της Δανίας και της Πορτογαλίας. Οι νέες αιολικές εγκαταστάσεις στην ΕΕ-28 αντιστοιχούσαν σε 13,2 GW. Ο αριθμός αυτός αντιπροσωπεύει το 86% των νέων προσθηκών στην Ευρώπη για το 2019. Μεταξύ των χωρών όπου σημείωσαν άνοδο το

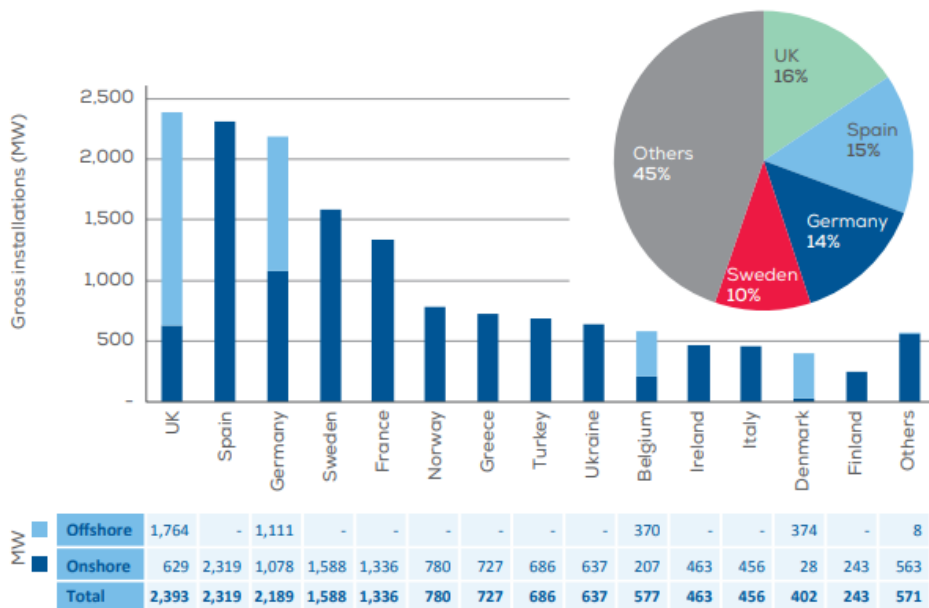
συγκεκριμένο έτος είναι η Τουρκία, η Νορβηγία, η Ουκρανία και η Ελλάδα (WindEurope, 2020).

Στον Διάγραμμα 9 βλέπουμε την πορεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης ως προς την αξιοποίηση του αιολικού της δυναμικού για τα έτη από το 2009 έως 2019. Στο διάγραμμα διακρίνουμε με ανοιχτό γαλάζιο χρώμα τις νέες προσθήκες υπεράκτιων αιολικών εγκαταστάσεων για κάθε έτος, ενώ με βαθύ μπλε χρώμα τις αντίστοιχες χερσαίες εγκαταστάσεις. Οι δύο πληροφορίες που μπορούμε απευθείας να εξάγουμε από το σχήμα είναι οι εξής: α) παρ' όλο που ο αριθμός των καινούριων προσθηκών για κάθε έτος δεν υπερβαίνει πάντοτε τους αριθμούς των προηγούμενων χρόνων, σε γενικές γραμμές η πορεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης όσον αφορά τις προσθήκες νέων αιολικών συστημάτων είναι ανοδική, β) διακρίνουμε μια σαφή στροφή της ΕΕ προς την αξιοποίηση του υπεράκτιου χώρου της, συγκριτικά με τα προηγούμενα έτη (WindEurope, 2020).



Διάγραμμα 9 Αναλογία offshore-onshore εγκαταστάσεων στην Ευρώπη από το 2009 έως το 2019 (WindEurope, 2020)

Το Διάγραμμα 10 μας παρουσιάζει με ποσοτικά και αριθμητικά δεδομένα τις χώρες της ΕΕ με τις περισσότερες προσθήκες νέων αιολικών εγκαταστάσεων για το 2019. Μπορούμε εύκολα να δούμε ότι το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γερμανία, το Βέλγιο και η Δανία έχουν πλέον στραφεί προς την αξιοποίηση του υπεράκτιου αιολικού δυναμικού τους.

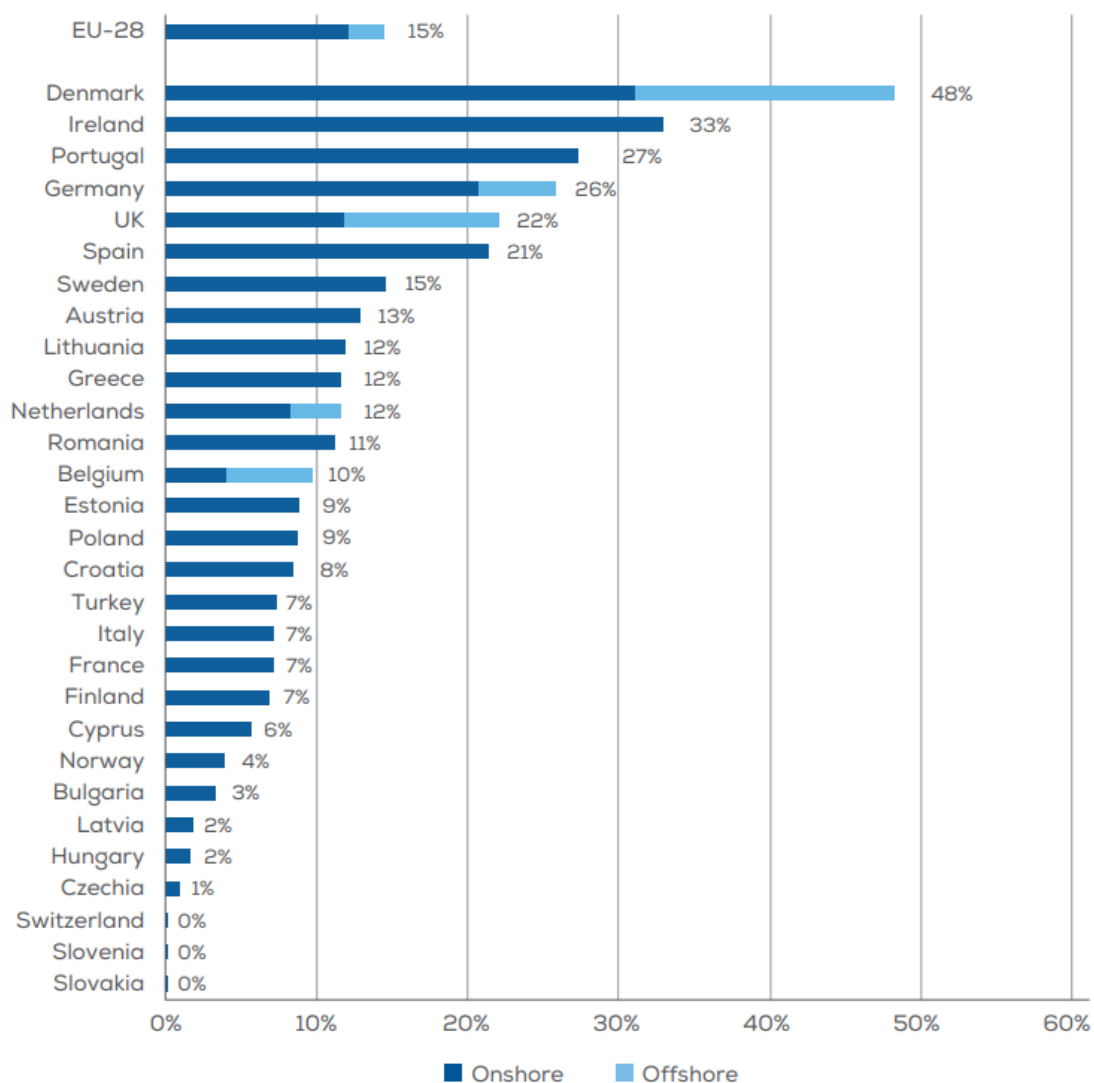


Διάγραμμα 10 Αναλογία offshore-onshore εγκαταστάσεων στην Ευρώπη το 2019 και η παραγωγή ισχύος για τις ευρωπαϊκές χώρες (WindEurope, 2019)

Συνοψίζοντας, με βάση την WindEurope (πρώην Ευρωπαϊκή Ένωση Αιολικής Ενέργειας) έχουμε εξάγει τα αντιπροσωπευτικότερα δεδομένα για το 2019 που προκύπτουν από τις αιολικές δράσεις κάθε χώρας που ανήκει στην ΕΕ καθώς και οικονομικά στοιχεία που αφορούν τα ποσά που επενδύθηκαν για την υλοποίηση των έργων κάθε χώρας. Τα σημαντικότερα είναι τα εξής:

- Με την παραγωγή, πλέον, 417 TWh, οι αιολικές εγκαταστάσεις καλύπτουν τις απαιτήσεις της Ευρώπης σε ηλεκτρικό ρεύμα σε ποσοστό 15%.
- Η αιολική ενέργεια αυξήθηκε κατά 15,2 GW το 2019. Τα 11,6 προήλθαν από χερσαίες εγκαταστάσεις, ενώ τα 3,6 από υπεράκτιες.
- Συνολικά 205 GW of installed wind power capacity στην Ευρώπη. Τα 183 GW προέρχονται από χερσαίες εγκαταστάσεις, ενώ τα 22 GW από υπεράκτιες.
- Το ποσό που επενδύθηκε στις νέες προσθήκες για το έτος 2019 αγγίζει τα 19 δισεκατομμύρια ευρώ.
- Στο Ηνωμένο Βασίλειο δόθηκε ποσό ύψους που αντιστοιχεί σε 5,5 GW υπεράκτιων δομών. Αντίστοιχα, στην Πολωνία καταχωρήθηκε ποσό ύψους που αντιστοιχεί σε 2,2 GW χερσαίων εγκαταστάσεων.
- Η Ισπανία ήταν νούμερο ένα σε νέες επενδύσεις με 2,8 δισ. ευρώ επενδυμένα σε νέα χερσαία αιολικά πάρκα που καλύπτουν ισχύ κοντά στα 2,8 GW. Η Γαλλία ήταν ο μεγαλύτερος επενδυτής στα υπεράκτια αιολικά πάρκα, προσφέροντας 2,4 δισ. ευρώ για τις εγκαταστάσεις στην Saint-Nazaire.

- Οι επενδύσεις στη Γερμανία για τα χερσαία αιολικά έργα άγγιξαν το αρνητικό ρεκόρ ύψους κάτω των 300 εκατ. Ευρώ.
- Με βάση των δεδομένων του 2019 (Διάγραμμα 11) σε συνδυασμό με την μέχρι τώρα πορεία όλων των χωρών της ΕΕ προκύπτει ότι: η Δανία είναι η χώρα με τη μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προερχόμενη από τη δέσμευσή αιολικής ενέργειας. Ως αποτέλεσμα, η Δανία καλύπτει με αυτό τον τρόπο τις ανάγκες της σε ηλεκτρική ενέργεια σε ποσοστό που αγγίζει το 48%. Ακολουθούν η Ιρλανδία (33%), η Πορτογαλία (27%), η Γερμανία (26%) και το Ηνωμένο Βασίλειο (22%).



Διάγραμμα 11 Ποσοστά κάλυψης αναγκών ηλεκτρικού ρεύματος μέσω αιολικών εγκαταστάσεων (WindEurope, 2020)

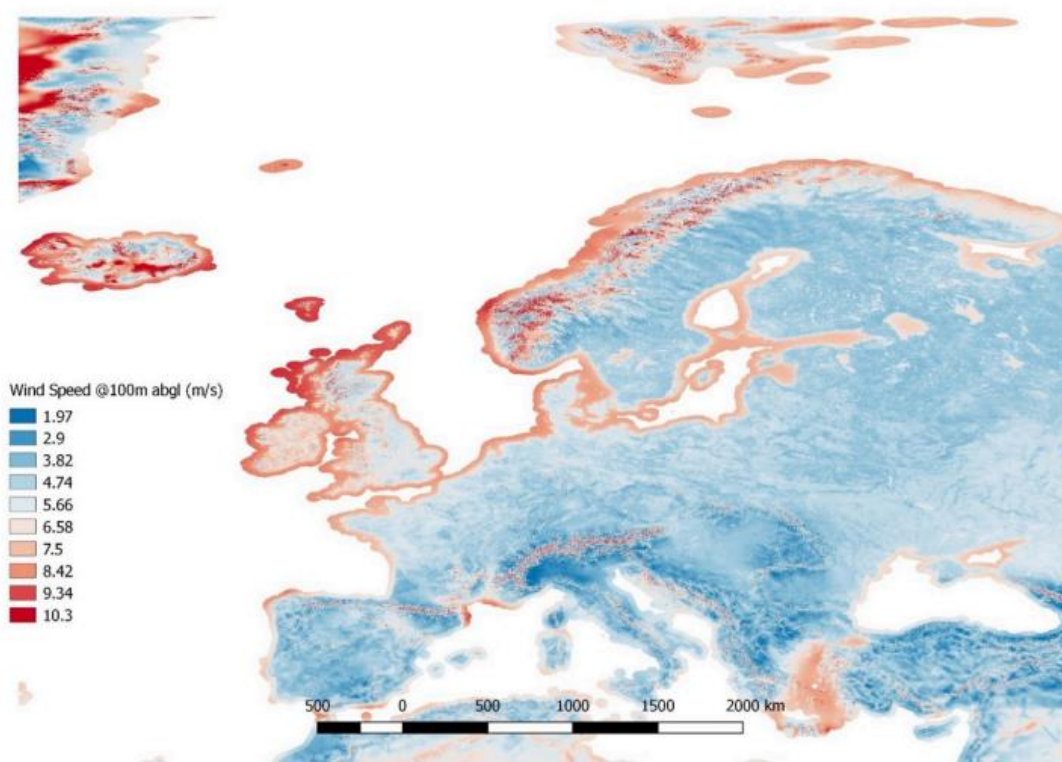
1.6.4 ΕΞΕΤΑΖΟΝΤΑΣ ΤΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή στοχεύει σε μία ενεργειακή στρατηγική βάσει της οποίας απαιτεί ρητά την κατακόρυφη αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με κύριο σκοπό τη συνακόλουθη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ως το 2050 (Carvalho, 2012). Ιδανικά, η πλήρης διεϊσδυση κάθε χώρας στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αποτελεί αναγκαίο παράγοντα για την επίτευξη των στόχων της ΕΕ. Εκτός αυτού, προκειμένου να προσεγγιστούν τα φιλόδοξα νούμερα απαιτείται η δημιουργία μεγαλύτερης δυναμικότητας αιολικών εγκαταστάσεων (τόσο στην ξηρά όσο και υπεράκτια) και η βελτίωση της αποδοτικότητας των υφιστάμενων συστημάτων. Ωστόσο, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αναγνωρίζει ορισμένους ανασταλτικούς παράγοντες που εμποδίζουν την επίτευξη του ευρωπαϊκού πλάνου. Οι κυριότεροι είναι ο φόβος για πιθανή περιβαλλοντική επιβάρυνση, η ανησυχία για υποβάθμιση του τοπίου (οπτική-αισθητική ανησυχία) και διάφοροι κοινωνικοοικονομικοί λόγοι που αφορούν τα χερσαία αιολικά έργα (European Commission, 2010).

Παρ' όλα αυτά, ο Jacobson και οι συνεργάτες του υποστηρίζουν ότι η χερσαία αιολική ενέργεια θα συνεχίσει να είναι ο κυρίαρχος ενεργειακός πόρος της Ευρώπης με προβλεπόμενη εγκατεστημένη ισχύ της τάξεως των 10.288 GW έως το 2050. Προβλέπεται, επίσης, οι Σκανδιναβικές χώρες να έχουν πενταπλασιάσει την παραγωγή αιολικής ενέργειας σε ποσοστά που θα αγγίζουν το 30%, δίνοντας ιδιαίτερη βάση στις χερσαίες εγκαταστάσεις (Sovacool, 2017).

Η Ευρώπη εμφανίζει μια πολύ μεγάλη ποικιλομορφία ως προς την κατανομή των αιολικών πόρων στην επικράτειά της. Ο παρακάτω χάρτης της Εικόνας 14 παρουσιάζει την ετήσια μέση ταχύτητα ανέμου, 100 μέτρα πάνω από το επίπεδο του εδάφους και καλύπτει όλες τις ευρωπαϊκές χώρες που βρίσκονται στο πλάνο για πλήρη αξιοποίηση των ανανεώσιμων τους πόρων. Εξετάζοντας τον χάρτη, οι υψηλότερες ταχύτητες ανέμου παρατηρούνται κατά μήκος των ακτών του Ατλαντικού Ωκεανού, της Βόρειας Θάλασσας και της Βαλτικής Θάλασσας καθώς και σε όλο το Ηνωμένο Βασίλειο, την Ισλανδία, την Ιρλανδία και τη Δανία. Ισχυροί άνεμοι πνέουν επίσης κατά μήκος της νότιας ακτής της Γαλλίας και κατά μήκος των ακτών του Αιγαίου Πελάγους. Σημαντικά χαμηλότερες ταχύτητες του ανέμου στο νότιο τμήμα της Γερμανίας, στο κεντρικό, νότιο και ανατολικό τμήμα της Ισπανίας, στην ανατολική περιοχή της Γαλλίας, στις κεντρικές περιοχές της Ιταλίας, στα Βαλκάνια, στο κεντρικό τμήμα της Ανατολικής Ευρώπης, στο νοτιοανατολικό τμήμα της Νορβηγίας και στο βόρειο τμήμα της Σουηδίας. Η διαφοροποίηση αυτή, υποδηλώνει ότι η κάθε χώρα πρέπει να υιοθετήσει μια στρατηγική αξιοποίησης των αιολικών της πόρων με τρόπο ώστε να τους εκμεταλλευτεί στο μέγιστο, με το ελάχιστο δυνατό οικονομικό, περιβαλλοντικό και κοινωνικό κόστος. Για παράδειγμα, καθώς μια ενιαία πολιτική ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας δεν μπορεί να υφίσταται στην περίπτωση της Ευρώπης, το κάθε κράτος καλείται να αξιολογήσει σωστά και να επιλέξει τις θέσεις των αιολικών πάρκων, τον τρόπο με τον οποίο αυτά θα είναι κατανομημένα στο χώρο, τις μελλοντικές αποδόσεις μεταξύ χερσαίων και παράκτιων εγκαταστάσεων ανάλογα με

τη γεωγραφική του θέση κ.α. Οι χερσαίες περιοχές σε πολλές χώρες με άφθονο παράκτιο αιολικό δυναμικό, πιθανότατα χρειάζονται κυβερνητική υποστήριξη προκειμένου να προσελκύσουν τους κατασκευαστές δομών αιολικής ενέργειας σε τοποθεσίες με χαμηλότερο αιολικό δυναμικό. Αυτό θέτει τις κυβερνήσεις σε αυτές τις περιοχές σε μειονεκτική θέση όσον αφορά την επίτευξη των ευρωπαϊκών στόχων για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.



Εικόνα 14 Χάρτης μέσων ταχυτήτων ανέμου στην Ευρώπη 100 μέτρα πάνω από το έδαφος (The Global Wind Atlas, 2017)

Ανεξαρτήτως των κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών περιορισμών, όσον αφορά αποκλειστικά το αιολικό δυναμικό της Ευρώπης, παρατηρείται ότι έχει πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες από τα πλάνα που έχουν ήδη προταθεί. Η περιοχή που είναι διαθέσιμη για ανάπτυξη αιολικών έργων αντιστοιχεί περίπου σε 4.895.560 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Στο ιδανικό σενάριο όπου υπάρχει η επαρκής οικονομική υποστήριξη, η συναίνεση της κοινωνίας και οι απαιτούμενες τεχνολογίες, σε βάθος χρόνου θα μπορούσε να επιτευχθεί ανάπτυξη από 1 MW ανά 4564 κατοίκους σε 1 MW ανά 15 κατοίκους. Σε συνδυασμό με το υπεράκτιο αιολικό δυναμικό και το ηλιακό δυναμικό των φωτοβολταϊκών σε περιοχές όπου οι περιορισμοί απαγορεύουν τα αιολικά πάρκα, είναι σαφές ότι υπάρχει άφθονη ενέργεια, η οποία ανταποκρίνεται στις φιλοδοξίες της Ευρώπης να προχωρήσει στην παραγωγή ενέργειας αποκλειστικά από ανανεώσιμες πηγές (The Global Wind Atlas, 2017).

1.6.5 Η ΔΕΣΜΕΥΣΗ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΙΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

1.6.5.1 Η ΣΥΜΦΩΝΙΑ ΤΟΥ ΠΑΡΙΣΙΟΥ

Το Δεκέμβριο του 2015, όλες οι χώρες του κόσμου δεσμεύτηκαν να ακολουθήσουν μια συλλογική προσπάθεια προκειμένου να καταπολεμηθεί η κλιματική αλλαγή, η υπερθέρμανση του πλανήτη και να επιτευχθεί ενεργειακή ουδετερότητα για όλες τις χώρες έως το 2050. Πιο αναλυτικά, η ΕΕ δεσμεύεται να μειώσει τις εκπομπές ανεπιθύμητων αερίων από την εκμετάλλευση αναλώσιμων πηγών ενέργειας κατά 55% έως το 2030, κυνηγώντας παράλληλα την κλιματική ουδετερότητα μέχρι το 2050. Η δράση, αυτή, πρέπει να βρίσκεται σε αρμονία με τα δικαιώματα της κοινωνίας, ενώ ταυτόχρονα απαιτεί τη συμβολή όλων των τομέων της οικονομίας προκειμένου η ΕΕ να συνεχίσει να είναι ανταγωνιστική στην αγορά. Η συμφωνία απαιτεί από όλα τα κράτη να υπογράψουν και να παρουσιάσουν τα αρχικά σχέδια (2015), με τα τελευταία να επικαιροποιούνται κάθε πέντε χρόνια, ανάλογα με τα αποτελέσματα των επανεξετάσεων της παγκόσμιας προόδου (Γκικόκας, 2021).

1.6.5.2 Η ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΠΡΑΣΙΝΗ ΣΥΜΦΩΝΙΑ (GREEN DEAL)

Στις 11 Δεκεμβρίου 2019, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ανακοίνωσε την Ευρωπαϊκή «Πράσινη Συμφωνία» (Green Deal), γνωστοποιώντας με αυτόν τον τρόπο τον ηγετικό της ρόλο στην καταπολέμηση της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής και την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας μειώνοντας στο 100% τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ο στόχος της είναι η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πόρων στο μέγιστο βαθμό όντας οικονομικά αποδοτική και διατηρώντας αδιατάραχτη τη λειτουργία της κοινωνίας. Η Πράσινη Συμφωνία αποτελεί τη γνήσια σφραγίδα της ΕΕ να τηρήσει και να ακολουθήσει πιστά τις δεσμεύσεις και τους στόχους που έχουν επιβληθεί από τη Συμφωνία του Παρισιού. Τα κυριότερα μέτρα που περιλαμβάνει είναι η χρηματοδότηση τεχνολογιών φιλικότερων προς το περιβάλλον, ανάπτυξη καθαρότερων μορφών μεταφοράς, η αποδέσμευση από τον άνθρακα στον κλάδο της ενέργειας, η αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων κ.ά. (Γκικόκας, 2021). Στη συνέχεια, το «ευρωπαϊκό νομοθέτημα για το κλίμα» θεσπίστηκε με σκοπό η συμφωνία - δέσμευση των ευρωπαϊκών κρατών για όλα τα παραπάνω, να μετατραπεί σε νομική υποχρέωση. Έτσι, ο νόμος για το κλίμα, πλέον, περιλαμβάνει:

- Εθνική «νομική υποχρέωση» για επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050.
- Στόχο το 2030 για μείωση των καθαρών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά 55% συγκριτικά με το 1990.
- Στροφή προς τη δασοπονία και την διαμόρφωση κανονισμού χρήσεων γης για δημιουργία πεδίων συσσώρευσης CO₂.

- Δέσμευση για διαμόρφωση νέων κλιματικών στόχων για το 2040.
- Δέσμευση για εξάλειψη εκπομπών έως το 2050.
- Ίδρυση ευρωπαϊκής επιστημονικής συμβουλευτικής επιτροπής που να ειδικεύεται σε ζητήματα σχετικά με την κλιματική αλλαγή.
- Σύνθεση νέων κανονισμών προσαρμογής στις κλιματικές αλλαγές.
- Ενεργή συμμετοχή όλων των κυβερνήσεων που ανήκουν στην ΕΕ.
- Δέσμευση των διαφόρων οικονομικών κλάδων για χάραξη πλάνου πορείας επίτευξης κλιματικής ουδετερότητας ανά κλάδο.

1.6.5.3 Η ΠΡΑΣΙΝΗ ΣΥΜΦΩΝΙΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΤΟΝ ΜΑΪΟ ΤΟΥ 2021

Το Μάιο του 2021 η κυβέρνηση της Ελλάδας έδειξε πως κύριο μέλημά της είναι η ενεργή συνεισφορά της στον περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίων, ευθυγραμμίζοντας τα πλάνα της με την κατεύθυνση των στόχων της ΕΕ όσον αφορά το κλίμα. Οι στόχοι που παρουσίασε για το 2030 είναι ιδιαίτερος φιλόδοξοι, ενώ κύριο αρωγό για την πραγματοποίησή τους αποτελούν οι πόροι από το Ταμείο Ανάκαμψης εκ των οποίων ένα μεγάλο ποσοστό θα δοθεί στις απαιτούμενες περιβαλλοντικές δράσεις. Το 1ο Συνέδριο «GREEN DEAL GREECE 2021» που πραγματοποιήθηκε από το Τεχνικό Επιμελητήριο της Ελλάδας αποτέλεσε σημείο αφετηρίας για την έναρξη των δράσεων της Ελλάδας, γνωστοποιώντας τη διάθεση συνεργασίας με τις ευρωπαϊκές περιβαλλοντολογικές προθέσεις και παρουσιάζοντας τα πλάνα της χώρας (Γκιόκας, 2021). Το εθνικό σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα μεταξύ των άλλων περιλαμβάνει:

- Η συνολική κατανάλωση ενέργειας να προέρχεται από ΑΠΕ σε ποσοστό τουλάχιστον 35% (σήμερα το ποσοστό αυτό αγγίζει το 18%). Η ενέργεια αυτή θα αφορά και τις απαιτήσεις των μεταφορών, της θέρμανσης και τον κλιματισμό των κτιρίων. Επίσης, μέχρι το 2030 η ηλεκτροπαραγωγή θα προέρχεται σε ποσοστό 61-67% από αξιοποίηση ΑΠΕ.
- Απλοποίηση διαδικασιών και προϋποθέσεων αδειοδότησης έργων εκμετάλλευσης ΑΠΕ.
- Πόροι αξίας 1,2 δις. ευρώ να δοθούν για την κλιματική ουδετερότητα των νησιών και την απόσυρση των πετρελαϊκών μονάδων.
- Ποσό ύψους 450 εκατ. ευρώ να δοθεί για την εγκατάσταση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας ικανότητας 1,2 - 1,6 GW, που θα αποσκοπούν στη βελτίωση της αποδοτικότητας των ΑΠΕ και της σταθερότητας του ηλεκτρικού δικτύου.

Το παρόν υποκεφάλαιο αποσκοπεί στην κατανόηση του αναγνώστη για τη συμβολή της αιολικής ενέργειας στην καταπολέμηση της ενεργειακής κρίσης και της κλιματικής

αλλαγής, την ενημέρωση του για την πορεία και το βαθμό αξιοποίησής της από τα κράτη της ΕΕ, καθώς και για τη συμμετοχή της στη συνολική «πράσινη κατεύθυνση» της Ελλάδας. Επομένως, τα μέτρα που αναφέρθηκαν παραπάνω από το εθνικό σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα, είναι εκείνα που αφορούν - μεταξύ των άλλων –είτε κινήσεις που εξαρτώνται άμεσα από την ανάπτυξη των αιολικών εγκαταστάσεων στην Ελλάδα (κάλυψη αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας), είτε κινήσεις που ωφελούν άμεσα την ανάπτυξη των αιολικών πάρκων (χρηματοδοτήσεις), είτε κινήσεις που επισπεύδουν την κατασκευή τους (αδειοδοτήσεις).

1.6.6 ΤΟ ΚΛΙΜΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΚΑΙ Η ΠΟΡΕΙΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΗΣ

Βάσει των δεδομένων που αντλήθηκαν από τα δημοσιευμένα αποτελέσματα της WindEurope (Πίνακας 3) προκύπτει ότι για το έτος 2019, η Ελλάδα ήταν έβδομη σε θέση μεταξύ των χωρών της ΕΕ, προσθέτοντας στο δυναμικό της, χερσαίες αιολικές εγκαταστάσεις συνολικής απόδοσης 0,727 GW, φτάνοντας συνολικά τα 3,576 GW. Εκείνη τη χρονιά, οι ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτονταν σε ποσοστό 12% από την αξιοποίηση των αιολικών πόρων της χώρας.

Πίνακας 3 Νέες προσθήκες για το 2019 και η συνολική ισχύς (WindEurope, 2020)

EU-28 (MW)	NEW INSTALLATIONS 2019		CUMULATIVE CAPACITY 2019 ⁷		
	ONSHORE	OFFSHORE	ONSHORE	OFFSHORE	TOTAL
Austria	152	-	3,159	-	3,159
Belgium	207	370	2,323	1,556	3,879
Bulgaria	-	-	691	-	691
Croatia	69	-	652	-	652
Cyprus	-	-	158	-	158
Czechia	20	-	337	-	337
Denmark	28	374	4,426	1,703	6,128
Estonia	10	-	320	-	320
Finland	243	-	2,213	71	2,284
France	1,336	-	16,644	2	16,646
Germany	1,078	1,111	53,912	7,445	61,357
Greece	727	-	3,576	-	3,576

Το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας αποτελεί αγαθό ανεκτίμητης αξίας για τη χώρα. Οι κύριοι παράγοντες που συμβάλλουν στη διαμόρφωση ενός ισχυρού αιολικού δυναμικού στην περίπτωση της Ελλάδας είναι οι εξής:

- Το κλίμα. Πιο αναλυτικά, η Ελλάδα βρίσκεται μεταξύ των παραλλήλων 34 και 42 μοιρών του Βορείου Ημισφαιρίου και αποτελεί τμήμα της Μεσογείου. Τα

χαρακτηριστικά ενός μεσογειακού κλίματος είναι οι ήπιοι και υγροί χειμώνες, ξηρά και θερμά καλοκαίρια και οι μακρές περιόδους ηλιοφάνειας. Όσον αφορά την κατάσταση των αερίων μαζών, φαίνεται πως κατά του χειμερινούς μήνες, η Ελλάδα δέχεται την επίδραση από ορισμένα κέντρα ατμοσφαιρικής δραστηριότητας, τα κυριότερα εκ των οποίων αποτελούν: 1) ο εποχικός Σιβηρικός αντικυκλώνας, 2) ο μόνιμος και μετατοπισμένος προς νότο αντικυκλώνας των Αζορών, 3) οι υφέσεις που προέρχονται από τον Ατλαντικό και από τις περιοχές κυκλογένεσης της Μεσογείου, και 4) οι πρόσκαιροι και οι κινητοί αντικυκλώνες της Ευρώπης και της Σκανδιναβικής χερσονήσου. Οι περιοχές κυκλογένεσης της Μεσογείου είναι: α) Οι κόλποι της Γένοβας και του Λέοντος, η Βόρεια Αδριατική και το Τυρρηναϊκό Πέλαγος, β) Η περιοχή της Σύρτης, γ) Η κεντρική Μεσόγειος, δ) Το νότιο Αιγαίο Πέλαγος και ε) Η περιοχή της Κύπρου. Εξαιτίας της μεγάλης δραστηριότητας των υφέσεων της Μεσόγειου στην Ελλάδα, φαίνεται πως τους χειμερινούς μήνες εμφανίζονται τροπικές και υποτροπικές αέριες μάζες. Κατά τη θερινή περίοδο, ο καιρός στην Ανατολική Μεσόγειο και ειδικότερα στην Ελλάδα διαμορφώνεται ανάλογα με τη θέση και την ένταση του χαμηλού των Ινδιών (Καραλής, 1969).

- Το έντονο ανάγλυφο. Γενικότερα, ένα έντονο ανάγλυφο δύναται να προσδίδει έντονο οριζόντιο και κατακόρυφο διαχωρισμό σε μια περιοχή. Η συνθήκη, αυτή, στην περίπτωση της Ελλάδας έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τοπικών ανέμων. Τη θερινή περίοδο, κατά μήκος των ακτών έχουμε τη δημιουργία θαλάσσιας αύρας τη μέρα και απόγειες αύρες τη νύχτα. Στις χερσαίες περιοχές, αντίστοιχα, ο κατακόρυφος διαχωρισμός της χώρας μεταξύ κοιλάδων και όρεων δημιουργεί αέριες μάζες οι οποίες, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση εμφανίζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά τη μέρα και τη νύχτα (αύρες κοιλάδων, αύρες όρεων). Άλλη περίπτωση δημιουργίας τοπικών αερίων μαζών είναι οι καταβατοί άνεμοι τύπου foehn, οι οποίοι εμφανίζονται υπό την παρουσία ορεινών όγκων (Καραλής, 1969).

Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη το ανάγλυφο και το κλίμα της Ελλάδας συμπεραίνουμε ότι από γεωγραφικής και τοπογραφικής απόψεως, η χώρα πληροί της προδιαγραφές για υψηλό αιολικό δυναμικό σχεδόν σε όλη την επικράτειά της. Ορισμένα από τα ευνοϊκά χαρακτηριστικά που προμηνύουν το γεγονός αυτό είναι το πολυσχιδές ανάγλυφο και οι υψηλές εξάρσεις του, τα πολυάριθμα νησιά της Μεσογείου και η απέραντη παράκτια ζώνη, οι εναλλαγές λόφων και πεδιάδων, οι έντονοι βόρειοι και βόρειο-ανατολικοί άνεμοι.

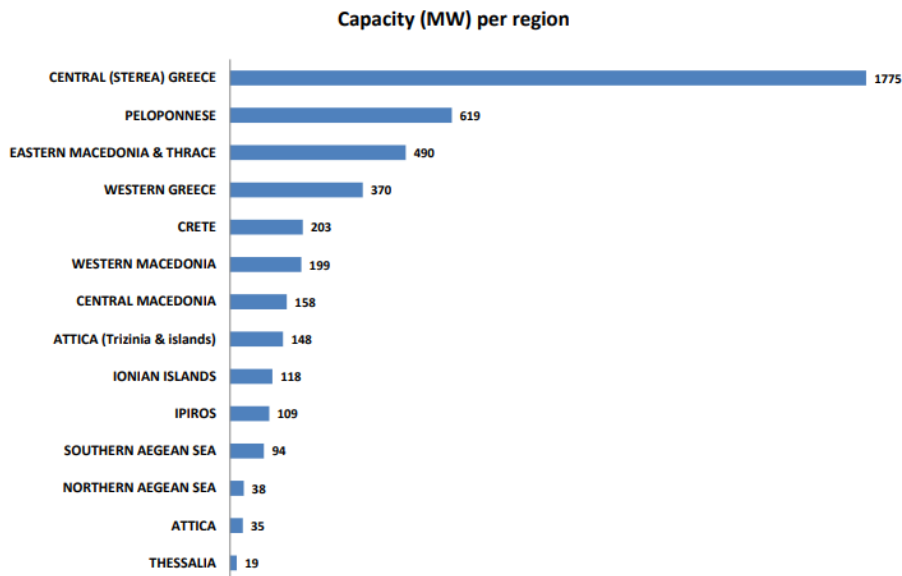
Βάσει των τελευταίων δεδομένων που αντλήθηκαν τον Ιούνιο του 2021, συνολικά, τα αιολικά πάρκα στην Ελλάδα παράγουν ισχύ της τάξεως των 4374 MW. Ο αριθμός αυτός αντιστοιχεί σε τόσες εκπομπές CO₂ όσες εκπέμπονται από τα 2/3 των Ι.Χ. που κυκλοφορούν στην Ελλάδα. Σε χρηματικούς όρους, με τα τωρινά δεδομένα εξοικονομούνται κοντά στα 400 εκατ. ευρώ (με τιμή άνθρακα 60 ευρώ τον τόνο). Είναι απαραίτητο η αιολική ενέργεια της χώρας να αξιοποιηθεί στο 100%, εφόσον δεν ρυπαίνει την ατμόσφαιρα και δυνητικά έχει θετικό πρόσημο στην οικονομία. Χαρακτηριστικά, οι ανεμογεννήτριες, πέρα από το θετικό ενεργειακό και περιβαλλοντικό ισοζύγιο, αναπαράγουν την ενέργεια που απαιτήθηκε για την κατασκευή τους μέσα στους πρώτους 5-12 μήνες λειτουργίας τους (ΕΛΕΤΑΕΝ, 2022).



Εικόνα 15 Τα αιολικά πάρκα στην Ελλάδα (ΕΛΕΤΑΕΝ, 2022)

Ο παραπάνω «live» χάρτης (Εικόνα 15) ανακτήθηκε από τον ιστότοπο της ΕΛΕΤΑΕΝ και απεικονίζει τη θέση και την κατανομή των αιολικών πάρκων του Ελλαδικού χώρου που έχουν εγκατασταθεί περιλαμβάνοντας εκείνες του πρώτου εξαμήνου του 2021. Το ίδιο εξάμηνο, επίσης, το συνολικό κόστος των αιολικών επενδύσεων ανήλθε στα 260 εκατ. ευρώ, με 97 νέες ανεμογεννήτριες συνολικής αποδιδόμενης ισχύος 260,5 MW να ενσωματώνονται στο δίκτυο. Σε επίπεδο Περιφερειών, βάσει της Εικόνας 16 και του Διαγράμματος 12, η Στερεά Ελλάδα βρίσκεται στην κορυφή των αιολικών εγκαταστάσεων αφού φιλοξενεί 1775 MW (41%) και ακολουθεί η Πελοπόννησος με 619 MW (14%) και η Ανατολική Μακεδονία – Θράκη όπου βρίσκονται 490 MW (11%). Όσον αφορά τους επιχειρηματικούς ομίλους που επενδύουν στις αιολικές εγκαταστάσεις, στις πρώτες πέντε ανήκουν οι: ΤΕΡΝΑ Ενεργειακή με 703 MW (16,1%), ΕΛΛΑΚΤΩΡ με 482 MW (11,0%), ENEL Green Power με 368 MW (8,4%), EREN με 283 MW (6,5%) και Iberdrola Rokas με 271 MW (6,2%). Ακολουθούν η EDF, η νεοεισερχόμενη στον κλάδο Motor Oil, ο όμιλος Μυτιληναίου, η ΔΕΗ Ανανεώσιμες, η

Jasper Energy κ.α. Αξίζει να σημειωθεί ότι το πρώτο εξάμηνο του '21, επένδυσαν σε αιολικές δράσεις πάνω από 12 επιχειρηματικοί όμιλοι, γεγονός που δείχνει τη δυναμικότητα του κλάδου και τις προοπτικές του ελλαδικού δυναμικού. Τέλος, η εικόνα για τους κατασκευαστές των ανεμογεννητριών είναι η εξής: η Vestas έχει προμηθεύσει το 45,2% της συνολικής αιολικής ισχύος στην Ελλάδα. Οι υπόλοιπες που αναφέρονται σε φθίνουσα σειρά είναι η Enercon με 25,5%, η Siemens Gamesa με 17,4%, η Nordex με 7,2% και η GE Renewable Energy με 3,2% (ΕΛΕΤΑΕΝ, 2022).



Διάγραμμα 12 Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος Ελλάδας για κάθε περιφέρεια



Εικόνα 16 Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος Ελλάδας για κάθε περιφέρεια (ΕΛΕΤΑΕΝ, 2022)

1.6.7 ΤΟ ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΙ Ο ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.6.7.1 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Στο παρόν υποκεφάλαιο θα αναφερθούμε επιγραμματικά στο πρώιμο νομοθετικό πλαίσιο για τις Α.Π.Ε., δίνοντας έμφαση στην εφαρμογή τους από τη σκοπιά των αιολικών δραστηριοτήτων. Στη συνέχεια, θα αναφερθούμε στη θέσπιση μεταγενέστερων ρυθμιστικών νόμων που εστιάζουν στον εμπλουτισμό ή στην βελτίωση των ήδη υπαρχόντων καθώς και στον αναπτυξιακό νόμο **N.4685/2020** για την περιβαλλοντική νομοθεσία¹.

- Ν.1559/1985: «Περί ρύθμισης θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις».
- Π.Δ.375/1987: «Ίδρυση Νομικού Προσώπου Ιδιωτικού Δικαίου με την επωνυμία Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.)».
- Ν.2244/1994: «Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις».

Ο νόμος αυτός συνέβαλε στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όχι μόνο από τη ΔΕΗ αλλά και από άλλες επιχειρήσεις. Συνεπώς, ο νόμος παρείχε την άδεια σε παραγωγούς που ήταν ανεξάρτητοι να έχουν την δυνατότητα να παράγουν ενέργεια, η οποία θα απορρέει από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ο ρόλος της ΔΕΗ ήταν να αγοράζει και να προμηθεύεται το ηλεκτρικό απόθεμα σε μια σταθερή τιμή.

- Ν.2742/1999 «Χωροταξικός Σχεδιασμός και Αειφόρος Ανάπτυξη».
- Ν.2773/1999: «περί απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας - Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις».

Ο νόμος, αυτός, σχετίστηκε με την απελευθέρωση της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας. Ο συγκεκριμένος νόμος ανέλαβε να αναπτύξει μεθοδικά, ζητήματα όπως: την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, τον έλεγχο από το κράτος, τη σύσταση και λειτουργία της Ρυθμικής Αρχής Ενέργειας (Ρ.Α.Ε) κ.α. Επιπλέον, ο Ν.2773/1999 έθεσε ένα πλαίσιο στο οποίο καθόρισε τον τρόπο μεταφοράς της ενέργειας, δίνοντας έμφαση στον προσδιορισμό των ρόλων της ΔΕΗ.

- 2001/77/ΕΚ: «Οδηγία του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27ης Σεπτεμβρίου 2001 για την προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας».

¹Λεπτομέρειες περί νόμων αντλήθηκαν από τον ιστότοπο *e-nomothesia.gr*

- Ν.2491/2001: «περί απλοποίησης διαδικασιών ίδρυσης εταιρειών αδειοδότησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ρύθμιση θεμάτων της Α.Ε. Ελληνικά Ναυπηγεία και άλλες διατάξεις».

Ο νόμος, αυτός, εξέτασε την απλοποίηση των διαδικασιών όσον αναφορά στην ίδρυση μιας εταιρείας, η οποία σχετίζεται με την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Αποτέλεσε σημαντική προσθήκη καθώς διόρθωσε σε μεγάλο βαθμό τα προβλήματα που είχαν προκύψει σχετικά με την αδειοδότηση εκείνη την περίοδο. Πλέον, για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών δεν απαιτείται η έκδοση οικοδομικής άδειας, αλλά μια θεώρηση η οποία θα χορηγείται από την εκάστοτε αρμόδια πολεοδομική υπηρεσία. Τα έργα που αφορούν την σύνδεση των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής που προέρχονταν από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μπορούσαν να κατασκευάζονται από τον οποιοδήποτε φορέα που είχε στην κατοχή του άδεια εγκατάστασης.

- Ν. 3468/2006: «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις».

Ο νόμος αυτός πραγματεύτηκε ζητήματα που σχετίζονταν με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, τη συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής ενεργειακής απόδοσης κ.α. Επιπλέον, ανέλυσε τις διαδικασίες αδειοδότησης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από υβριδικούς σταθμούς και την ένταξή τους στο δίκτυο. Η παραγόμενη ενέργεια μπορούσε να εσωκλείεται σε ένα τιμολογιακό πρότυπο το οποίο διαφοροποιούταν ανάλογα με το σύστημα το οποίο ήταν συνδεδεμένο.

- Φ.Ε.Κ 8/Α/28.1.2009: «Πρώθηση συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικά με το Υδροηλεκτρικό έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις»
- Ν.3851/2010: «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής», τροποποίηση του Ν. 3468/2006.

Ο παραπάνω νόμος σχετιζόταν με την επιτάχυνση των διαδικασιών περί ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και με τους τρόπους αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής. Με βάση το Ν.3851/2010, η Ελλάδα αύξησε τον εθνικό στόχο που αφορούσε την αξιοποίηση των ΑΠΕ, έτσι ώστε η παραγωγή ισχύος από ΑΠΕ να προσεγγίσει το 20%. Ο νόμος αυτός προέκυψε και αναπτύχθηκε σύμφωνα με τα πρότυπα της ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής. Τέλος, μερίμνησε για την εγκατάσταση υπεράκτιων αιολικών πάρκων εντός των εθνικών υδάτων και όρισε μια νέα σειρά διαδικασιών για τις αδειοδοτήσεις, οι οποίες πραγματοποιούνταν από τον Υπουργό Π.Ε.ΚΑ.

- N.4203/2013: «Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2010/31/Ε.Ε του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις».

Ο νόμος αυτός προέβλεψε τους όρους και τις προϋποθέσεις εγκατάστασης μικρών Α/Γ. Ειδικότερα, η εγκατάσταση τους ορίστηκε από το πλαίσιο Ειδικού Προγράμματος Ανάπτυξης μικρών Α/Γ, το οποίο, πλέον, συντάσσεται με βάση των αποφάσεων του Υπουργού Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής. Το Πρόγραμμα αφορούσε την εγκατάσταση μικρών ανεμογεννητριών σε γήπεδα, οικόπεδα και κτιριακές εγκαταστάσεις με σκοπό τη διαμόρφωση σταθμών συνολικής ισχύος μέχρι 50 kW.

- N.4146/2013: «Διαμόρφωση Φιλικού Αναπτυξιακού Περιβάλλοντος για τις Στρατηγικές και Ιδιωτικές Επενδύσεις και άλλες διατάξεις».

Ο νόμος αυτός αποτέλεσε έναν ανασταλτικό παράγοντα στους νέους επενδυτές που ήθελαν να ασχοληθούν με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τις πράσινες επενδύσεις. Η κατασκευή αιολικών πάρκων δεν συγκαταλέγεται, πλέον, στα επιδοτούμενα προγράμματα του ΕΣΠΑ, με αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού των επενδυτών.

- N.4447/2016: «Χωρικός σχεδιασμός - Βιώσιμη ανάπτυξη και άλλες διατάξεις».
- N.4685/2020: «Εκσυγχρονισμός περιβαλλοντικής νομοθεσίας, ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία των Οδηγιών 2018/844 και 2019/692 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις».

Ο νέος νόμος αναπροσάρμοσε το θεσμικό πλαίσιο περιβαλλοντικής αδειοδότησης έργων και δραστηριοτήτων, σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα και κατέστησε τη διαδικασία αδειοδότησης ταχύτερη. Αρχικά, αντικατέστησε το πλαίσιο άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του νόμου '3468/2006', με τη βεβαίωση παραγωγού. Επιπλέον, η διαδικασία αδειοδότησης απέκτησε ψηφιακό χαρακτήρα μέσω του Ηλεκτρονικού Μητρώου, το οποίο προέβλεψε την υποβολή αιτήσεων άδειας και την έκδοση των βεβαιώσεων. Παρ' όλο που οι διαδικασίες έκδοσης των αδειών επιταχύνθηκαν, ο παραγωγός κινδυνεύει εξίσου εύκολα να χάσει την άδεια του εφόσον το έργο δεν αποδίδει βάσει των προδιαγραφών του σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Όσον αφορά τις προστατευόμενες περιοχές και εκείνες του δικτύου Natura 2000, ο νέος αναπτυξιακός νόμος σχημάτισε τον Ο.ΦΥ.ΠΕ.ΚΑ (Οργανισμός Φυσικού Περιβάλλοντος και Κλιματικής αλλαγής), ο οποίος προωθεί τις στρατηγικές διαχείρισης των συγκεκριμένων περιοχών, με σκοπό την αξιοποίησή τους με βάση τα πρότυπα της αειφόρου ανάπτυξης. Ο οργανισμός αυτός ελέγχεται από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας και είναι υπεύθυνος για την προστασία των περιοχών Natura, όσο παράλληλα εφαρμόζονται ορισμένες νέες τροποποιήσεις όπως: ο επαναπροσδιορισμός των χρήσεων γης και η χάραξη νέων ζωνών διαχωρισμού εντός των προστατευόμενων περιοχών, νέα πλάνα διαχείρισης περιοχών με μεγάλη

βιοποικιλότητα και οι ταχύτερες διαδικασίες για την εκπόνηση ειδικών μελετών (Κατσούλας, 2021).

1.6.7.2 ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Το Ειδικό Χωροταξικό Πλαίσιο και Αειφόρου Ανάπτυξης (Ε.Χ.Π.Α.Α) για τις Α.Π.Ε, βάσει των νόμων 2792/1999 και 4447/2016 (αντικατέστησε τον πρώτο νόμο), όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα, χωρίζει την Ελλάδα σε 4 ζώνες ανάλογα με τις προοπτικές και τις ιδιαιτερότητες της κάθε περίπτωσης. Οι 4 ζώνες είναι : α) η ηπειρωτική χώρα και η Εύβοια, β) η Αττική, γ) τα κατοικημένα νησιά του ελλαδικού χώρου και δ) ο υπεράκτιος χώρος και οι βραχονησίδες. Για κάθε κατηγορία, η στρατηγικές του χωροταξικού σχεδιασμού διαφέρουν, ωστόσο, αποσκοπούν στην επίτευξη κοινών στόχων. Αυτοί είναι:

- Η βέλτιστη εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού κάθε περιοχής και
- Η δημιουργία βιώσιμων εγκαταστάσεων, φιλικών απέναντι στο περιβάλλον και στο σύνολο των τοπικών πληθυσμών τους οποίους φιλοξενεί

Όσον αφορά την ηπειρωτική χώρα, αποτελείται από τις περιοχές αιολικής προτεραιότητας (ΠΑΠ) και περιοχές αιολικής καταλληλότητας (ΠΑΚ), ενώ στα παραπάνω είδη περιοχών ενδέχεται να υπάρχουν ζώνες αποκλεισμού και ζώνες ασυμβατότητας. Παραδείγματα τέτοιων περιπτώσεων αποτελούν οι θέσεις κηρυγμένων διατηρητέων μνημείων της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς, οι πυρήνες των εθνικών δρυμών, οι αγροτικές περιοχές υψηλής παραγωγικότητας, περιοχές όπου οι ειδικές χρήσεις γης δεν επιτρέπουν την εγκατάσταση ανεμογεννητριών, οι Περιοχές Οργανωμένης Ανάπτυξης Παραγωγικών Δραστηριοτήτων του τριτογενούς τομέα, οι παραλίες υψηλού τουριστικού ενδιαφέροντος κ.ά.

Σε επίπεδο πρωτοβάθμιου ΟΤΑ που αντιστοιχεί σε ΠΑΠ ή ΠΑΚ της ηπειρωτικής χώρας, προκειμένου να εγκατασταθούν ανεμογεννήτριες πρέπει να τηρούνται τα εξής χωροθετικά κριτήρια:

- σε περιοχές αιολικής προτεραιότητας, η καταλαμβανόμενη έκταση του αιολικού πάρκου δεν θα πρέπει να υπερβαίνει σε ποσοστό το 8% της συνολικής έκτασης,
- σε περιοχές αιολικής προτεραιότητας υψηλού τουριστικού ενδιαφέροντος, η καταλαμβανόμενη έκταση του αιολικού πάρκου δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 4% της συνολικής έκτασης,
- σε περιοχές αιολικής καταλληλότητας, η καταλαμβανόμενη έκταση δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 5% της συνολικής έκτασης.

Ομοίως με την ηπειρωτική χώρα, έχουν θεσπιστεί τα κριτήρια για χωροθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων για τις υπόλοιπες ζώνες. Συνοπτικά, για την Αττική το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό είναι 8% και για τα κατοικημένα νησιά 4% (Υπουργείο Ανάπτυξης & Περιβάλλοντος, 2008)

1.7 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

Εκτός από τα οφέλη που μπορεί να προσφέρει η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας στον κόσμο και συγκεκριμένα στην Ελλάδα, είναι σημαντικό να αναφερθούν και οι επιπτώσεις λόγω εγκατάστασης των αιολικών μηχανών στο περιβάλλον. Για να γίνει ένα έργο αποδεκτό, όπως είναι η υλοποίηση ενός αιολικού πάρκου, είναι απαραίτητο οι επιπτώσεις που αυτό θα επιφέρει να μην βλάψουν ανεπανόρθωτα το περιβάλλον. Αντίθετα, το έργο που πρόκειται να υλοποιηθεί, οφείλει να μειώσει την επιβάρυνση που υφίσταται το περιβάλλον ή που πρόκειται να υποστεί μελλοντικά, και με γνώση αυτών να αποφασιστεί η υλοποίηση του. Οι πιθανές επιπτώσεις που μπορεί να φέρει το έργο της εγκατάστασης ανεμογεννητριών, είναι αρχικά η αισθητική υποβάθμιση του περιβάλλοντα χώρου, ο θόρυβος των μηχανών, οι τραυματισμοί ακόμα ο θάνατος των πουλιών, η αισθητή επέμβαση στην χλωρίδα καθώς και στην πανίδα της περιοχής, οι Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, η αλλοίωση της μορφολογίας του εδάφους και οι επιπτώσεις στα υπόγεια και επιφανειακά νερά (Τσέτσου, 2021).

1.7.1 ΧΛΩΡΙΔΑ

Η εγκατάσταση αιολικού πάρκου απαιτεί συνήθως μικρή αραιώση και αποψίλωση της βλάστησης στη γύρω περιοχή. Ωστόσο, η αποψίλωση της βλάστησης είναι μικρής κλίμακας και μετά το τέλος της κατασκευής γίνεται η κατάλληλη διαμόρφωση του περιβάλλοντος. Με σκοπό να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις στη χλωρίδα, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να πραγματοποιηθεί μια αρχική εκτίμηση ως προς τη βλάστηση και, πιο συγκεκριμένα, να γίνει καταγραφή όλων των χαρακτηριστικών που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής ώστε να μην αλλοιωθεί σε μεγάλο βαθμό η περιοχή. Παράλληλα, συνίσταται ειδική μελέτη της χλωρίδας της εκάστοτε περιοχής, με στόχο τη διατήρηση της βιοποικιλότητας και των σπάνιων ειδών της. Κατά την εγκατάσταση, γίνεται επιτόπου εκχέρσωση του εδάφους και αποψίλωση 1,5 στρέμματος ανά ανεμογεννήτρια. Αυτή κατά περίπτωση αφορά θαμνώδη βλάστηση και βραχύδεις εκτάσεις, αφού κατά κύριο λόγο για την εγκατάσταση του πάρκου προτιμώνται περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό (Τσέτσου, 2021).

1.7.2 ΠΑΝΙΔΑ

Η εγκατάσταση ανεμογεννητριών επιφέρει επιπτώσεις και στη μικροπανίδα της εκάστοτε περιοχής, η οποία βέβαια είναι παροδική. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω του θορύβου και των δονήσεων. Η ανθρώπινη παρουσία, σε συνδυασμό με τον παραγόμενο θόρυβο κατά τις εργασίες εγκατάστασης, έχουν ως αποτέλεσμα τα ζώα που ζουν ή κινούνται στην ευρύτερη περιοχή να απομακρύνονται προσωρινά από τις περιοχές αυτές. Αυτό καθιστά τις επιπτώσεις σε αυτό το στάδιο ως επιπτώσεις μικρής κλίμακας, τοπικής εμβέλειας και παροδικές. Ωστόσο, έχουν καταγραφεί και αρκετές

περιπτώσεις όπου πτηνά έχουν θανατωθεί λόγω πρόσκρουσης στα πτερύγια ανεμογεννητριών και σε εναέρια καλώδια. Αυτός είναι ένας από τους λόγους για τους οποίους αποφεύγεται η εγκατάστασή αιολικών πάρκων σε μεταναστευτικές διόδους αποδημητικών πουλιών, καθώς επίσης σε ευαίσθητα οικοσυστήματα. Έχει εκτιμηθεί πως αντιστοιχούν 0.269 θάνατοι πτηνών ανά παραγόμενη GWh από αιολική ενέργεια, ενώ ο αντίστοιχος αριθμός λόγω ορυκτών καυσίμων έχει υπολογιστεί ως 9.36 θάνατοι ανά παραγόμενη GWh (Τσέτσου, 2021).

1.7.3 ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΚΑΙ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ

Επιπτώσεις παρατηρούνται και στις περιπτώσεις εγκατάστασης υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Αρχικά, επηρεάζεται η βιοποικιλότητα της περιοχής αναφορικά με τους θαλάσσιους και υποθαλάσσιους οργανισμούς. Συγκεκριμένα, η μεταβολή παρατηρείται μακροπρόθεσμα, στις περιπτώσεις που τα θεμέλια των ανεμογεννητριών λειτουργούν ως τεχνητοί ύφαλοι και, λόγω των μικροοργανισμών που αναπτύσσονται πάνω και γύρω τους, προσελκύουν περισσότερα ψάρια. Στη συνέχεια, η αύξηση των ψαριών επιδρά άμεσα στην αύξηση των πτηνών στην περιοχή, και αυτό έπειτα ενδέχεται να οδηγήσει στην ύπαρξη συγκρούσεων των πτηνών με τους πύργους και τα πτερύγια των ανεμογεννητριών. Παράλληλα, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, μια εγκατάσταση ανεμογεννήτριας πρέπει να λαμβάνει εξ αρχής υπόψιν και τη διέλευση μεταναστευτικών πτηνών. Και αυτό γιατί πέρα από την πιθανή θανάτωσή τους (όπως ήδη εξηγήθηκε), τα επιβαρύνει επιπροσθέτως, καθώς ενδέχεται να καταναλώνουν μεγαλύτερη ενέργεια για την αποφυγή των ανεμογεννητριών κατά τη διέλευσή τους, αλλά και για να διατηρήσουν τον προσανατολισμό τους. Στο τελευταίο παίζει ρόλο και ο νυχτερινός υποχρεωτικός φωτισμός, που ενδέχεται να τα αποπροσανατολίσει εξίσου. Τέλος, ενδεχόμενη αλλαγή του φυσικού περιβάλλοντος προκαλείται επίσης εξαιτίας της υποθαλάσσιας κατασκευής, των διαφόρων συστημάτων αγκίστρωσης, των υλικών προστασίας των ανεμογεννητριών από τη διάβρωση και των υλικών καθαρισμού και συντήρησης, καθώς και του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που δημιουργείται από τη λειτουργία της. Τα παραπάνω είναι ικανά να προκαλέσουν μείωση του βένθους του οικοσυστήματος, καταλήγοντας έτσι στην τροφική αλυσίδα του οικοσυστήματος και υποβάθμιση της θαλάσσιας και υποθαλάσσιας χλωρίδας και πανίδας (Τσέτσου, 2021).

1.7.4 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ

Η εγκατάσταση των αιολικών μηχανών απαιτεί την εύρεση και τη διάθεση των εδαφικών πόρων, οι οποίοι ποικίλλουν ανάλογα με το μέγεθος της κατασκευής και την τοποθεσία. Πιο συγκεκριμένα, οι ανεμογεννήτριες που εδράζονται σε βραχώδεις ημιορεινές περιοχές καταλαμβάνουν μικρότερη έκταση από εκείνων που βρίσκονται σε επίπεδες εδαφικές περιοχές. Όσον αφορά τις υπεράκτιες αιολικές εγκαταστάσεις,

ο συνολικός χώρος που απαιτείται σε σύγκριση με των χερσαίων είναι μεγαλύτερος λόγω του ανοίγματος των πτερυγίων της εκάστοτε μηχανής, απ' όπου προκύπτει η αναγκαιότητα τήρησης μεγαλύτερων αποστάσεων μεταξύ τους (Michel, et al., 2007). Μια μέση τιμή της έκτασης που καταλαμβάνει μια ανεμογεννήτρια ισχύος 3 MW είναι, περίπου, τα 1,6 στρέμματα. Παράλληλα, σύμφωνα με αποτελέσματα μελετών προκύπτει ότι 1 MW εγκατεστημένης ισχύος αντιστοιχεί σε δεσμευμένη έκταση της τάξεως των 200 έως 5000 m², τιμές αντιστρόφως ανάλογες με την θεωρητική ισχύ των αιολικών μηχανών (Möller, 2006). Επομένως, με βάση των παραπάνω και αναλύοντας τον Πίνακα 4, προκύπτει ότι τα αιολικά πάρκα καταλαμβάνουν περισσότερη έκταση από τα εργοστάσια που αξιοποιούν συμβατικές μορφές ενέργειας (θερμική και πυρηνική), προκειμένου να παράγουν τις ίδιες ποσότητες.

Πίνακας 4 Σχέση παραγόμενης ενέργειας και καταλαμβανόμενης έκτασης ανά μορφή ενέργειας (The International Renewable Energy Agency, 2017)

Είδος ενέργειας	m2/ MWh
Πυρηνική ενέργεια	0,1
Φυσικό αέριο	0,2
Άνθρακας	0,2
Ανανεώσιμες Πηγές	
Αιολική	1,0
Γεωθερμική	2,5
Υδροηλεκτρική	10
Φωτοβολταϊκά	10
Συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα	15
Βιομάζα(καλλιέργειες)	500

Ωστόσο, είναι αναγκαίο να σημειωθεί ότι με το πέρας των εργασιών κατασκευής ενός αιολικού πάρκου, ο χώρος που φιλοξενεί τις συγκεκριμένες εγκαταστάσεις καθίσταται, ξανά, αξιοποιήσιμος. Πιο αναλυτικά, δεδομένου ότι το 95% της συνολικής έκτασης είναι διαθέσιμο για την ανάπτυξη δραστηριοτήτων της τοπικής κοινότητας, συμπεραίνουμε ότι οι τομείς της γεωργίας και της κτηνοτροφίας δεν επιβαρύνονται. Με την πλειονότητα των αιολικών εγκαταστάσεων να εδράζονται σε ορεινές θαμνώδεις περιοχές, η χρήση γης συνεχίζει να είναι διαθέσιμη, κυρίως, για βοσκή, ενώ εκείνες οι οποίες βρίσκονται σε επίπεδες περιοχές αποτελούν θέσεις ανάπτυξης ποικίλων αγροτικών δραστηριοτήτων (arcadiaportal.gr, 2011).

1.7.5 Η/Μ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να λειτουργήσουν τόσο ως πηγές εκπομπής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όσο ως εμπόδια που προκαλούν παρεμβολές στη μετάδοση του σήματος των ραδιοφωνικών ή τηλεοπτικών σταθμών (Μπινόπουλος & Χαβιαρόπουλος, 2006). Πιο αναλυτικά, οι παρεμβολές οφείλονται στο βήμα των μεταλλικών πτερυγίων των αιολικών μηχανών που βρίσκονται τοποθετημένες μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Έτσι, ανάλογα με την κίνηση της έλικας, είναι πιθανό να προκληθεί αυξομείωση του σήματος λόγω αντανάκλασεων, με αποτέλεσμα να επηρεαστεί η ποιότητα μετάδοσης στις συχνότητες FM. Ωστόσο, τέτοιου είδους ζητήματα μπορούν να αποφευχθούν με δύο τρόπους. Πρώτον, μέσω της ελληνικής νομοθεσίας και του πλαισίου χωροταξικού σχεδιασμού, η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου οφείλει να τηρεί συγκεκριμένες αποστάσεις από τους προϋπάρχοντες τηλεπικοινωνιακούς και ραδιοτηλεοπτικούς σταθμούς. Δεύτερον, με την τήρηση ορισμένων κατασκευαστικών προδιαγραφών, τα σύγχρονα πτερύγια μπορούν να έχουν ελάχιστες επιπτώσεις στη διάδοση της Η/Μ ακτινοβολίας (Wilson, 2006). Τέλος, όπου θεωρηθεί αναγκαίο, προκειμένου να διευθετηθούν προβλήματα μετάδοσης σήματος, υπάρχει η επιλογή εγκατάστασης επιπλέον κεραιών, με χαμηλό επιπρόσθετο κόστος (Μπαλής, 2021).

Όσον αφορά τις εκπεμπόμενες ακτινοβολίες μιας αιολικής μηχανής, το μοναδικά επιμέρους μέρη τα οποία μπορούν να αποτελέσουν πηγές εκπομπής Η/Μ ακτινοβολίας είναι η ηλεκτρογεννήτρια και ο μετασχηματιστής μέσης τάσης. Στην πρώτη περίπτωση, το Η/Μ πεδίο θεωρείται αρκετά ασθενές ώστε να επηρεάσει τους τοπικούς πληθυσμούς, ενώ η θέση της συσκευής βρίσκεται σε ύψος το οποίο καθιστά την επίδρασή της ακόμα πιο αμελητέα. Στην περίπτωση του μετασχηματιστή, η συσκευή περιβάλλεται από μεταλλικό περίβλημα με αποτέλεσμα να περιορίζονται σημαντικά οι εκπομπές (Buckley, 2005).

1.7.6 ΘΟΡΥΒΟΣ

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους, οι ανεμογεννήτριες, παράγουν θόρυβο, με αποτέλεσμα να προκαλείται σύγχυση στους τοπικούς πληθυσμούς που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από το αιολικό πάρκο, να μειώνεται το βιοτικό τους επίπεδο και να αποθαρρύνεται η ανάπτυξη δραστηριοτήτων στην ευρύτερη περιοχή. Ο θόρυβος που προέρχεται από τις ανεμογεννήτριες χωρίζεται σε μηχανικό και αεροδυναμικό. Ο μηχανικός θόρυβος προκαλείται, κυρίως, από τη λειτουργία του κιβωτίου των ταχυτήτων, ο οποίος με την κατάλληλη πρόληψη και χρήση ορισμένων μονωτικών μέσων μπορεί να μειωθεί σε αισθητό βαθμό. Η δεύτερη κατηγορία αφορά τον αεροδυναμικό θόρυβο, ο οποίος προκαλείται μέσω της αλληλεπίδρασης των ροών του ανέμου με τις επιφάνειες των πτερυγίων της Α/Γ (8). Το πρόβλημα διογκώνεται

σε περιόδους υψηλών ταχυτήτων ανέμου (>3-8 m/s), όπου ο θόρυβος γίνεται ανιχνεύσιμος σε ακτίνα 200 μέτρων και επηρεάζει περιοχές που βρίσκονται στην ίδια κατεύθυνση με εκείνης της ροής του ανέμου, όπου οι συνθήκες ευνοούν τη διάχυσή του (Pedersen & Larsman, 2008).

Οι δύο κυριότεροι παράγοντες γένεσης αεροδυναμικού θορύβου είναι η ύπαρξη υψηλού ανεμολογικού πεδίου και οι σχεδιαστικές προδιαγραφές μιας ανεμογεννήτριας. Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί ότι περιοχές που έχουν κριθεί κατάλληλες για εγκατάσταση αιολικών πάρκων, αποτελούν τοποθεσίες οι οποίες, συνήθως, δεν επιλέγονται για την ανάπτυξη ανθρώπινων δραστηριοτήτων (Oerlemans, Sijtsma, & López, 2007). Όσον αφορά τις σχεδιαστικές προδιαγραφές, εκείνες, περιορίζονται στο τομέα της αεροδυναμικής σχεδίασης των πτερυγίων, όπου έχει πραγματοποιηθεί πλήθος ερευνών για τη βελτίωση της αποδοτικότητάς τους και την ελαχιστοποίηση του θορύβου. Ως αποτέλεσμα, οι σύγχρονες αιολικές μηχανές έχουν μειώσει σε σημαντικό βαθμό τα επίπεδα εκπομπών θορύβου σε σχέση με εκείνων της δεκαετίας του 80', με τις τιμές να κυμαίνονται μεταξύ 95 και 105 decibel, ενώ οι κατασκευαστές επιτυγχάνουν χρόνο με το χρόνο ολοένα καλύτερα αποτελέσματα με τη συνεχή βελτίωση της αεροδυναμικής σχεδίασης πτερυγίων (Katsaprakakis, 2012).

1.7.7 ΟΠΤΙΚΗ ΟΧΛΗΣΗ

Η οπτική όχληση οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, ωστόσο, οι δύο επικρατέστεροι λόγοι που την προκαλούν είναι το μέγεθος της ανεμογεννήτριας, η θέση του αιολικού πάρκου και ο συνδυασμός των δύο παραπάνω.

Το μέγεθος της ανεμογεννήτριας

Το μέγεθος των αιολικών μηχανών αποτελεί συνάρτηση της αποδοτικότητάς τους. Προκειμένου μια Α/Γ να λειτουργεί επαρκώς, να αξιοποιεί και να παράγει την απαραίτητη ενέργεια, απαιτείται το μέγεθός τους να κυμαίνεται μεταξύ κάποιων δεκάδων μέτρων. Όταν η απόσταση της κατασκευής από μια ορισμένη θέση είναι μικρότερη από το δεκαπλάσιο του ύψους της, τότε, θεωρούμε ότι η επίδρασή της στον περιβάλλοντα χώρο και το τοπίο είναι σημαντική. Ιδιαίτερα, εάν στην ευρύτερη περιοχή δεν υπάρχουν εμπόδια (φυτοκάλυψη, δέντρα, έντονες γεωμορφές, κτίρια κ.α.) και η ατμόσφαιρα είναι καθαρή, τότε η παρουσία της καθίσταται περισσότερο έντονη. Παρ' όλα αυτά, όσο οι αποστάσεις αυξάνονται, το περιβάλλον απορροφά τις Α/Γ και σε αποστάσεις μεγαλύτερες από 5 χιλιομέτρων, η αισθητική του τοπίου φαίνεται ανεπηρέαστη (Bishop & Miller, 2007).

Θέση κατασκευής αιολικού πάρκου

Η θέση ενός πάρκου καθορίζει άμεσα το μέγεθος της ζώνης οπτικής επίδρασης στον περιβάλλοντα χώρο. Ένα σύστημα ανεμογεννητριών τοποθετημένο σε βραχώδη

λόφο ενός ελληνικού νησιού θα επιδράσει εντονότερα στο τοπίο, σε σχέση με ένα πάρκο εγκατεστημένο σε μια αχανή επίπεδη περιοχή. Στην πρώτη περίπτωση, οι Α/Γ αλληλοεπιδρούν άμεσα με τον τοπικό πληθυσμό και τις δραστηριότητες των επισκεπτών, καθιστώντας την παρουσία τους αισθητή, αλλοιώνοντας το τοπίο και προσδίδοντας μια βιομηχανική ταυτότητα σε έναν -κατ' εξοχήν- τουριστικό προορισμό. Στη δεύτερη περίπτωση, η θέση και η έκταση της ευρύτερης περιοχής συμβάλει στην απορρόφηση των ανεμογεννητριών από το περιβάλλον (Katsarakakis, 2012). Ωστόσο, ένας βραχώδης λόφος σε ανοιχτό χώρο, ο οποίος βρίσκεται μακριά από ανθρώπινες εγκαταστάσεις, μπορεί να θεωρηθεί ιδανική θέση, χωρίς παράλληλα, να υπονομεύει τις αρετές του τόπου. Αντιθέτως, σε θέσεις ιδιαίτερου ενδιαφέροντος -αντιπροσωπευτικές της φυσικής/αρχαιολογικής ιστορίας ενός τόπου, οι επιπτώσεις στο φυσικό τοπίο είναι σημαντικότερες, με αποτέλεσμα να προκαλείται η κοινή γνώμη (Lothian, 2008).

Άλλες παράμετροι που σχετίζονται με τις Α/Γ και υποβαθμίζουν την αισθητική του τοπίου είναι το είδος του πύργου, το χρώμα τόσο του πύργου όσο και των πτερυγίων, ο ανομοιόμορφος τρόπος στοίχισης των Α/Γ, ο αριθμός των πτερυγίων, η οπτική όχληση εξαιτίας των σκιών των περιστρεφόμενων πτερυγίων και η υπερφόρτωση του τοπίου. Πιο συγκεκριμένα, η υπερφόρτωση του τοπίου εξαρτάται από δύο παράγοντες. Ο πρώτος παράγοντας ονομάζεται "χωρητικότητα" και αναφέρεται στον αριθμό των μηχανών που παρεμβάλλονται στο τοπίο χωρίς, όμως, να προκαλούν οπτικό κορεσμό. Ο δεύτερος παράγοντας αναφέρεται στην "ικανότητα απορρόφησης", με την έννοια του ποσοστού μεταβολής που μπορεί να υποστεί ένα φυσικό τοπίο με την προσθήκη ενός συστήματος Α/Γ (Perekonić et al., 2014).

1.7.8 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΚΥΚΛΟ

Σύμφωνα με τον καθηγητή περιβαλλοντικής Γεωλογίας, Γεώργιο Στουρνάρα, σε συνέντευξή του στον ραδιοφωνικό σταθμό 9.84 στις 18/06/2014, αναφέρθηκε ότι οι Α/Γ επιδρούν σημαντικά στον υδρολογικό κύκλο μιας περιοχής, προκαλώντας μεταβολές στη συχνότητα γένεσης των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, την έντασή τους και κατ' επέκταση το ρυθμό εμπλουτισμού του υδροφόρου ορίζοντα (Τσέτσου, 2021). Πιο αναλυτικά, η συνεχής περιστροφική κίνηση μιας έλικας εμποδίζει τους υδρατμούς από τις χαμηλές νεφώσεις (ομίχλη, πάχνη, παγετός) να προσεγγίσουν το έδαφος. Ως αποτέλεσμα, το νερό που παρέχεται στον υδροφόρο ορίζοντα μειώνεται, ενώ σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από μικρό ποσοστό βροχοπτώσεων, αδυνατεί να συντηρηθεί η γλωρίδα και η πανίδα, διότι η επίδραση στην εδαφική ζώνη είναι εντονότερη. Οι επιπτώσεις, αυτές, συναντώνται διότι το νερό του υδροφόρου που κινείται τριχοειδώς προς την επιφάνεια, διασχίζει μια άνυδρη εδαφική ζώνη, ενώ στη συνέχεια εξατμίζεται χωρίς να προλάβει να συμβάλει στον υδρολογικό κύκλο και τον εμπλουτισμό της. Οι έλικες των ανεμογεννητριών, επιπλέον, διαταράσσουν τη φυσική μεταφορά των αερίων μαζών, συμβάλλοντας στην αναστροφή τους και ευνοώντας τη μεταφορά των θερμότερων ροών ανέμου.

Επομένως, συμπεραίνουμε ότι η δράση των ανεμογεννητριών μπορεί να επηρεάσει με πολλούς τρόπους το υδρολογικό κύκλο μιας περιοχής, προκαλώντας φαινόμενα ξηρασίας, τα οποία ανάλογα τη θέση ενός αιολικού πάρκου μπορεί να έχουν σοβαρές και πολλαπλές επιπτώσεις (Παπαζώτος & Χρόνη, 2016).

1.8 ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ

Τα προτεινόμενα μέτρα αντιμετώπισης αφορούν δράσεις οι οποίες μπορούν να λάβουν χώρα είτε κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ενός αιολικού πάρκου, είτε κατά τη διάρκεια διεξαγωγής των εργασιών κατασκευής του. Τα μέτρα, αυτά, εστιάζουν στην υπενθύμιση ορισμένων, ήδη, θεσμοθετημένων μέτρων, προκειμένου να δοθεί έμφαση στην αναγκαιότητα τήρησής τους, για την ομαλή και φιλική, προς το περιβάλλον, διεξαγωγή των εργασιών. Επιπλέον, η αποτελεσματική λειτουργία των αιολικών πάρκων προϋποθέτει την ομαλή εναρμόνισή τους με το περιβάλλον στο οποίο είναι τοποθετημένες. Είναι αναγκαίο, λοιπόν, οι εδαφικοί πόροι που θα διατεθούν για την εγκατάστασή του, να μην αφαιρεθούν από άλλους τομείς παραγωγής, οι οποίοι έχουν σημαντική θέση στην ανάπτυξη της οικονομίας της χώρας. Πέραν των οικονομικών επιπτώσεων, είναι εξίσου σημαντικό, να αναφερθούν μέτρα πρόληψης για τη διασφάλιση της ακεραιότητας των δασικών εκτάσεων, τη προστασία της τοπικής πανίδας και την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιδράσεων στο τοπίο. Είναι ζωτικής σημασίας οι τοπικές κοινωνίες να μπορούν να συνεχίσουν ανενόχλητες τις κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητές τους, ενώ, παράλληλα το βιοτικό τους επίπεδο να παραμένει αμείωτο.

Επομένως, συμπεραίνουμε ότι η θέσπιση των μέτρων πρόληψης και αντιμετώπισης των παραπάνω επιπτώσεων είναι μείζονος σημασίας. Προκειμένου τα οφέλη από τη λειτουργία των ανεμογεννητριών να είναι αντιπροσωπευτικά με την απόφαση της ένταξής τους στο Ευρωπαϊκό Πλάνο και να δικαιολογούν τον ρόλο που τους έχει αποδοθεί, είναι απαραίτητο να είναι φιλικές απέναντι στο περιβάλλον, οικονομικά αποδοτικές και να μην διαταράσσουν την διεξαγωγή των γειτνιαζόντων οικονομικών δραστηριοτήτων. Τα μέτρα τα οποία θα μπορούσαν να συμβάλλουν στην αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων είναι τα εξής:

- Άμεση απομάκρυνση των εργοταξιακών εγκαταστάσεων και των μηχανημάτων με το πέρας των κατασκευαστικών εργασιών του αιολικού πάρκου
- Τήρηση των θεσμοθετημένων προδιαγραφών που αναφέρονται στις τιμές έντασης του θορύβου κατά τη διάρκεια των εργασιών (65 db).
- Αποφυγή αλόγιστης φθοράς δασικών εκτάσεων κατά τη διάρκεια κατασκευής βοηθητικών οδών, μέσω συνεργασίας με το αρμόδιο Δασαρχείο
- Επίσπευση των κατασκευαστικών διαδικασιών προκειμένου να μειωθεί στο ελάχιστο η διατάραξη της τοπικής πανίδας
- Τήρηση των απαραίτητων μέτρων πυροπροστασίας και αντικεραυνικής προστασίας κατά τη διεξαγωγή των εργασιών, όπως, αυτά, προβλέπονται από την Πυροσβεστική Υπηρεσία
- Τοποθέτηση και λειτουργία σημάτων στις ανεμογεννήτριες κατά τις νυχτερινές ώρες σύμφωνα με τις οδηγίες και τους όρους της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ) και του ΓΕΕΘΑ.

- Διεξαγωγή αντιπλημμυρικών μελετών και έργων σε θέσεις όπου κρίνεται απαραίτητο
- Έγκαιρη απομάκρυνση των προϊόντων εκσκαφής με σκοπό την αποφυγή σχηματισμού δομών που να ευνοούν τις επιφανειακές απορροές
- Άμεσα απομάκρυνση απορριμμάτων και αποβλήτων από την περιοχή του έργου και η απόρριψή τους στους προβλεπόμενους -σύμφωνα με τη νομοθεσία- χώρους (ΧΥΤΑ)
- Συστηματική παρακολούθηση (τουλάχιστον ανά έτος) του βαθμού των ηχητικών επιβαρύνσεων στην ευρύτερη περιοχή των ανεμογεννητριών και γνωστοποίηση των αποτελεσμάτων στις αρμόδιες Υπηρεσίες Περιβάλλοντος
- Συστηματική παρακολούθηση (τουλάχιστον ανά έτος) των επιπέδων ηλεκτρονικής ακτινοβολίας και γνωστοποίηση των μετρήσεων στις αρμόδιες Αρχές
- Δημιουργία αρχείου καταγραφής του αριθμού των περιστατικών θανάτωσης και τραυματισμού πτηνών, που οφείλονται στη λειτουργία των Α/Γ και κοινοποίηση των αποτελεσμάτων στο Γραφείο Αντιμετώπισης Περιβαλλοντικών Ζημιών του ΥΠΕΚΑ, προκειμένου να προβούν στις απαραίτητες κινήσεις (Τσέτσου, 2021).

2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ & ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στην παρούσα εργασία επεξεργαζόμαστε δεδομένα που αφορούν τα χαρακτηριστικά του ανέμου με στόχο την εύρεση περιοχών με επαρκές αιολικό δυναμικό, ώστε να μπορούν να αξιοποιηθούν ως αιολικά πάρκα. Τα δεδομένα αυτά ονομάζονται ERA5 δεδομένα επαν-ανάλυσης και στην περίπτωση μας καλούμαστε να δουλέψουμε με τις μέσες μηνιαίες ταχύτητες του ανέμου στον ελλαδικό χώρο, δίνοντας έμφαση στις χερσαίες αναφορές.

2.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ

2.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΝΝΟΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΠΑΝ-ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Τα δεδομένα επαν-ανάλυσης αποτελούν ένα συνεχές και ολοκληρωμένο σύνολο δεδομένων, το οποίο συνδυάζει τις πληροφορίες που έχουν αντληθεί από παλιότερες παρατηρήσεις, με τα σύγχρονα μοντέλα ανάπτυξης δεδομένων. Παρέχουν ένα συνεχώς αυξανόμενο -σε όγκο- αρχείο, το οποίο περιλαμβάνει δεδομένα εκατοντάδων χαρακτηριστικών παραμέτρων της ατμόσφαιρας επί πολλών δεκαετιών, αξιοποιώντας τους νόμους της φυσικής. Τα δεδομένα επαν-ανάλυσης απαντούν στην «αρχή αφομοίωσης των δεδομένων», η οποία βασίζεται στη μέθοδο που χρησιμοποιούν τα αριθμητικά προγνωστικά μετεωρολογικά κέντρα. Τα συγκεκριμένα προγνωστικά κέντρα παρέχουν και εκδίδουν βελτιωμένες καιρικές προβλέψεις, οι οποίες αποτελούν προϊόν μια αρχικής πρόβλεψης σε συνδυασμό με τις πιο πρόσφατες διαθέσιμες παρατηρήσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παραχθεί μια εκτίμηση με μεγαλύτερη ακρίβεια, εφόσον τα παραπάνω δεδομένα αξιοποιηθούν με το βέλτιστο τρόπο. Η επαν-ανάλυση λειτουργεί με τον ίδιο, περίπου, τρόπο με τη διαφορά ότι είναι σε θέση να παρέχει πρόσβαση σ' ένα σύνολο δεδομένων που εκτείνεται αρκετές δεκαετίες πίσω. Επομένως, όντας αποδεσμευμένη από τον χρονικό περιορισμό που απαιτεί η έκδοση έγκαιρων προβλέψεων, με την επαν-ανάλυση υπάρχει το περιθώριο συλλογής επαρκών παρατηρήσεων, τις οποίες οι επιστήμονες φιλτράρουν μέσα από τα δεδομένα του παρελθόντος και παράγουν τις βελτιωμένες εκδόσεις τους. Άρα, βλέπουμε ότι η έλλειψη των χρονικών δεσμεύσεων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την ποιότητα των προϊόντων επαν-ανάλυσης (Copernicus Climate Data Source, 2022). Τις τελευταίες δεκαετίες, τα MERRA και MERRA-2 δεδομένα, τα οποία παρήγαγε η NASA, ήταν ιδιαίτερα δημοφιλή για τη μοντελοποίηση συστημάτων παραγωγής αιολικής ενέργειας, λόγω του ότι παρείχαν ωριαίες αναλύσεις των ταχυτήτων του ανέμου σε σημαντικό ύψος (50 m) καλύπτοντας παράλληλα περιοχές μεγάλης έκτασης. Συνήθως, τα δεδομένα επαν-ανάλυσης είναι παγκοσμίως διαθέσιμα για ανάλυση και χρήση (Osinski & Radtke, 2019).

2.1.2 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ERA5 ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Κατά τη διάρκεια της περιόδου 2017–2018, κυκλοφόρησαν νέα δεδομένα επαν-ανάλυσης με όνομα ERA5, τα οποία δημιουργήθηκαν από το Ευρωπαϊκό Μετεωρολογικό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων (ECMWF). Το σύνολο των δεδομένων ERA5 παρέχει τεράστιες ποσότητες ιστορικών παρατηρήσεων και τις μετατρέπει σε παγκόσμιες μετεωρολογικές εκτιμήσεις χρησιμοποιώντας εκσυγχρονισμένα συστήματα μοντελοποίησης και αφομοίωσης δεδομένων (Hersbach et al., 2020). Σε αντίθεση με τα προηγούμενα δεδομένα επαν-ανάλυσης (ERA15, ERA40, ERA-Interim), τα ERA5 παρέχουν ωριαίες εκτιμήσεις ποσοτήτων και φυσικών μεγεθών που σχετίζονται με την ατμόσφαιρα, την επιφάνεια της Γης και τους ωκεανούς. Τα ERA5 δεδομένα ενημερώνονται καθημερινά, αλλά δημοσιοποιούνται με μια καθυστέρηση της τάξεως των πέντε ημερών, ώστε να υπάρχει ο χρόνος για τον εντοπισμό και διόρθωση πιθανών σοβαρών αστοχιών. Τα ERA5 αποτελούν, ουσιαστικά, τα δεδομένα επαν-ανάλυσης τα οποία κυκλοφορούν πρώτα και υπόκεινται σε αλλαγές σε περίπτωση που παρουσιαστεί κάποιο ελάττωμα. Διαφοροποιήσεις μπορεί να λαμβάνουν χώρα για 2 έως 3 μήνες, μέχρις ότου τα δεδομένα να πάρουν την τελική τους μορφή. Σε περίπτωση που συμβεί αυτό, το ECMWF οφείλει να ενημερώνει τους χρήστες (Copernicus Climate Data Source, 2022). Όσον αφορά στη συμβολή τους στην ανάπτυξη μοντέλων συστημάτων παραγωγής αιολικής ενέργειας, τα ERA5 παρέχουν πιο αξιόπιστη πληροφορία από τα προηγούμενα δεδομένα επαν-ανάλυσης, καθώς αναλύουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τις ατμοσφαιρικές παραμέτρους (ταχύτητα ανέμου σε ύψος 100m, θερμοκρασία, ατμοσφαιρική πίεση) που σχετίζονται άμεσα με την παραγωγή αιολικής ενέργειας, καλύπτοντας παράλληλα μεγαλύτερη χωρική ανάλυση (31km). Τα προϊόντα τέτοιων αναλύσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο στον ακαδημαϊκό χώρο, όσο για βιομηχανικούς σκοπούς (Osinski & Radtke, 2019).

Τα ERA5 δεδομένα επαν-ανάλυσης καλύπτουν χρονικά την περίοδο από το 1950 έως σήμερα (Πίνακας 5) και περιλαμβάνουν: ταχύτητες ανέμου σε ύψος 100 m, την πυκνότητα του ανέμου πάνω από τους ωκεανούς, θερμοκρασία αέρα πάνω από το έδαφος, την απόσταση μεταξύ του χαμηλότερου νέφους και της επιφάνειας της Γης, τιμές της έντασης των βροχοπτώσεων, τιμές για τις μέγιστες ριπές ανέμου για δεδομένη περιοχή κ.α.

Πίνακας 5 Ιστορικό δεδομένων re-analysis από το ECMWF (Hersbach et al., 2020)

Reanalysis	Period covered	Grid Resolution	Assimilation scheme	IFS model cycle (year)
Atmospheric reanalyses				
FGGE	1979	208 km	OI	(1980)
ERA-15	1979-1994	125 km	OI	13r4 (1995)
ERA-40	1957-2002	125 km	3D-Var	23r4 (2001)
ERA-Interim	1979-2019	80 km	4D-Var	31r2 (2006)
ERA5	1950-present	31 km	4D-Var	41r2 (2016)
Ocean reanalyses				
ORAS3	1959-2012	1.0°	OI	2006
ORAS4	1959-2018	1.0°	3DVar-FGAT	2010
ORAS5	1979-present	0.25°	3DVar-FGAT	2016
Atmospheric composition reanalyses				
MACC	2003-2012	80 km	4D-Var	36r1 (2010)
CAMS-Interim	2003-2018	110km	4D-Var	40r2 (2014)
CAMS	2003-present	80 km	4D-Var	42r1 (2016)
Centennial reanalyses and model-only climate integrations				
ERA-20CM	1899-2010	125 km	4D-Var	38r1 (2012)
ERA-20C	1900-2010	125 km	4D-Var	38r1 (2012)
CERA-20C	1901-2010	125 km	4D-Var	41r2 (2016)
CERA-SAT	2008-2016	65 km	4D-Var	42r1 (2016)

2.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.2.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ MICROSOFT EXCEL

Τα ERA5 δεδομένα επαν-ανάλυσης μας δόθηκαν σε αρχείο του Microsoft Excel (.xls). Παρουσιάζονταν οι τιμές των ταχυτήτων και του ανέμου για κάθε πλεγματικό σημείο σε μία περιοχή που καλύπτει τον ευρύτερο ελλαδικό χώρο, για κάθε μήνα από το 1979 μέχρι και το 2019.

Βήματα Επεξεργασίας Δεδομένων

- Διαχωρίσαμε τους 12 μήνες σε 12 υπολογιστικά φύλλα, έτσι ώστε το κάθε φύλλο να περιέχει τις τιμές των ταχυτήτων του ανέμου για κάθε πλεγματικό σημείο για το διάστημα 1979-2019 τον εκάστοτε μήνα.
- Σε κάθε μήνα-υπολογιστικό φύλλο, υπολογίσαμε την μέση τιμή του ανέμου για τα έτη 1979-2019 για κάθε πλεγματικό σημείο.
- Ύστερα, σκοπός μας ήταν να διερευνήσουμε αν υπάρχει τάση μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου με τον χρόνο για κάθε μήνα ξεχωριστά. Στο πλαίσιο αυτής της διαδικασίας εφαρμόσαμε τη μέθοδο της Γραμμικής Παλινδρόμησης, σύμφωνα με τα στάδια της οποίας:
 - ✓ εξετάζουμε αν υπάρχει σχέση ανάμεσα στα έτη και τις αντίστοιχες τιμές του ανέμου (συσχέτιση),
 - ✓ προσδιορίζουμε ποια είναι η ένταση αυτής της σχέσης,

- ✓ περιγράψουμε αυτή σχέση με μία συνάρτηση που να προβλέπει τις τιμές της Y από τις τιμές της X,
- ✓ εξετάζουμε αν αυτή η σχέση είναι στατιστικά σημαντική.

Γραμμική συσχέτιση

Ως γραμμική συσχέτιση ορίζεται γενικά η σχέση που υπάρχει μεταξύ δύο μεταβλητών, χωρίς να εξετάζεται ο βαθμός της συναρτησιακής σχέσης της μίας μεταβλητής από την άλλη.

Συντελεστής Συσχέτισης και Συντελεστής Προσδιορισμού

Ο βαθμός της συναρτησιακής σχέσης προσδιορίζεται μέσω του συντελεστή συσχέτισης r που δεν ορίζει μία ποσοτική αλλαγή της μίας μεταβλητής σε σχέση με την άλλη, αλλά εκφράζει την ένταση του συνδέσμου μεταξύ των δύο μεταβλητών. Από ένα δείγμα n τιμών x_i, y_i των μεταβλητών X, Y υπολογίζουμε τον συντελεστή συσχέτισης μέσω της σχέσης:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Στις σχέσεις αυτές, ο παρονομαστής είναι πάντα θετικός, οπότε το πρόσημο του συντελεστή εξαρτάται από το πρόσημο του αριθμητή:

- αν $r > 0$, τότε αυξανόμενων των τιμών της μίας μεταβλητής αυξάνονται και οι τιμές της άλλης
- αν $r < 0$, τότε η αύξηση των τιμών της μίας μεταβλητής συνοδεύεται από μείωση των τιμών της άλλης
- αν $r = 0$, τότε η συνδιακύμανση των μεταβλητών X, Y είναι μηδέν, δηλαδή δεν υπάρχει γραμμική σύνδεση μεταξύ τους

- Υπολογίσαμε τον Συντελεστή προσδιορισμού

Ο συντελεστής προσδιορισμού είναι ένα σημαντικό μέτρο της σύνδεσης μεταξύ των X και Y , που μετράει το ποσοστό της μεταβλητότητας της Y που εξηγείται από τη X . Για παράδειγμα, μία τιμή συντελεστή προσδιορισμού ίση με 0,8751 δείχνει ότι το 87.51% των μεταβολών της Y εξηγείται από τις μεταβολές της X .

- Υπολογίσαμε το σφάλμα παραμέτρων υπολογισμού του μοντέλου αυτού:

$$s_{y,x} = \frac{\sqrt{\sum y_i^2 - \left(\frac{\sum y_i}{n}\right)^2 - \frac{\left(\sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{n}\right)^2}{\sum x_i^2 - \left(\frac{\sum x_i}{n}\right)^2}}{\sqrt{n-2}}$$

Όρια εμπιστοσύνης του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης

Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης r που υπολογίζεται από ένα δείγμα, αποτελεί εκτίμηση του συντελεστή συσχέτισης ρ του πληθυσμού των δύο μεταβλητών από τον οποίο προέρχεται το δείγμα. Έτσι, θα πρέπει να γίνεται έλεγχος υποθέσεων για τη στατιστική σημαντικότητά του. Υποθέτοντας ότι οι μεταβλητές X, Y στον πληθυσμό είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους, θεωρούμε τη μηδενική υπόθεση $H_0: r = \rho = 0$ έναντι της εναλλακτικής υπόθεσης $H_1: r \neq \rho$. Ο στατιστικός έλεγχος γίνεται με την εφαρμογή της στατιστικής συνάρτησης που ακολουθεί την κατανομή του Student με $n-2$ βαθμούς ελευθερίας

$$t = \frac{r}{s_r}$$

όπου s_r είναι το τυπικό σφάλμα του συντελεστή συσχέτισης που δίνεται από τη σχέση:

$$s_r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}$$

Από τον πίνακα της t κατανομής, ορίζεται σε δίπλευρο έλεγχο η κρίσιμη τιμή t_α .

Αν $|t| > t_\alpha$, τότε απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση, δηλαδή η τιμή του συντελεστή συσχέτισης είναι στατιστικά σημαντική, κατά συνέπεια υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών X, Y .

Αν $|t| < t_\alpha$, τότε δεν μπορούμε να απορρίψουμε τη μηδενική υπόθεση, κατά συνέπεια το δείγμα προέρχεται από πληθυσμό ασυσχέτιστων μεταξύ τους μεταβλητών.

Πως εξετάζουμε αν το μοντέλο είναι στατιστικά σημαντικό:

Για να ελέγξουμε αν είναι στατιστικά σημαντική η πρόγνωση που παίρνουμε για το y από την εξίσωση παλινδρόμησης (σε σχέση με το να βρίσκαμε απλώς τη μέση τιμή), εφαρμόζουμε τον έλεγχο F (F-test) Το F-test για τη συνολική σημαντικότητα του μοντέλου εξετάζει αν υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ των X και Y (δηλαδή για το αν

μα ευθεία είναι χρήσιμη για την ερμηνεία μέρους της μεταβλητότητας των δεδομένων).

Πίνακας 6 Εκατοστιαία κατανομή της τιμής t

t Table

cum. prob	t _{.50}	t _{.75}	t _{.90}	t _{.85}	t _{.90}	t _{.95}	t _{.975}	t _{.99}	t _{.995}	t _{.999}	t _{.9995}
one-tail	0.50	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001	0.0005
two-tails	1.00	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.002	0.001
df											
1	0.000	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.71	31.82	63.66	318.31	636.62
2	0.000	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.327	31.599
3	0.000	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.215	12.924
4	0.000	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173	8.610
5	0.000	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893	6.869
6	0.000	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208	5.959
7	0.000	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.785	5.408
8	0.000	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501	5.041
9	0.000	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.297	4.781
10	0.000	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.144	4.587
11	0.000	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.025	4.437
12	0.000	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.930	4.318
13	0.000	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852	4.221
14	0.000	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787	4.140
15	0.000	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733	4.073
16	0.000	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686	4.015
17	0.000	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646	3.965
18	0.000	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.610	3.922
19	0.000	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579	3.883
20	0.000	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552	3.850
21	0.000	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.527	3.819
22	0.000	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.505	3.792
23	0.000	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.485	3.768
24	0.000	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467	3.745
25	0.000	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.450	3.725
26	0.000	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435	3.707
27	0.000	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421	3.690
28	0.000	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.408	3.674
29	0.000	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.396	3.659
30	0.000	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385	3.646
40	0.000	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.307	3.551
60	0.000	0.679	0.848	1.045	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.232	3.460
80	0.000	0.678	0.846	1.043	1.292	1.664	1.990	2.374	2.639	3.195	3.416
100	0.000	0.677	0.845	1.042	1.290	1.660	1.984	2.364	2.626	3.174	3.390
1000	0.000	0.675	0.842	1.037	1.282	1.646	1.962	2.330	2.581	3.098	3.300
Z	0.000	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090	3.291
	0%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	98%	99%	99.8%	99.9%
	Confidence Level										

Έτσι, υπολογίστηκε από τον παραπάνω τύπο η τιμή του t, και βάσει του πίνακα 6.

Για n=40, βλέπουμε ότι για το επίπεδο εμπιστοσύνης >90% που μας ενδιαφέρει, ισχύει t>1.303. Έτσι για οποιαδήποτε τιμή του t>1.303 που προκύπτει, θα ισχύει ότι για τον εκάστοτε μήνα υπάρχει τάση αύξησης του ανέμου με 90% τουλάχιστον βεβαιότητα. Τέλος, τα αποτελέσματα των μέσων τιμών των ανέμων (month_mean) καθώς τις τιμές t(month_t), τις τιμές trend (month_trends) καθώς και τις συντεταγμένες των σημείων (lon,lat) τα μεταφέραμε σε νέο υπολογιστικό φύλλο, με σκοπό να τα χρησιμοποιήσουμε στη συνέχεια, στο πρόγραμμα ArcGIS

Σκοπός χρήσης του ArcMap 10.6.1

Χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα **ArcMap 10.6.1** με σκοπό να δημιουργήσουμε:

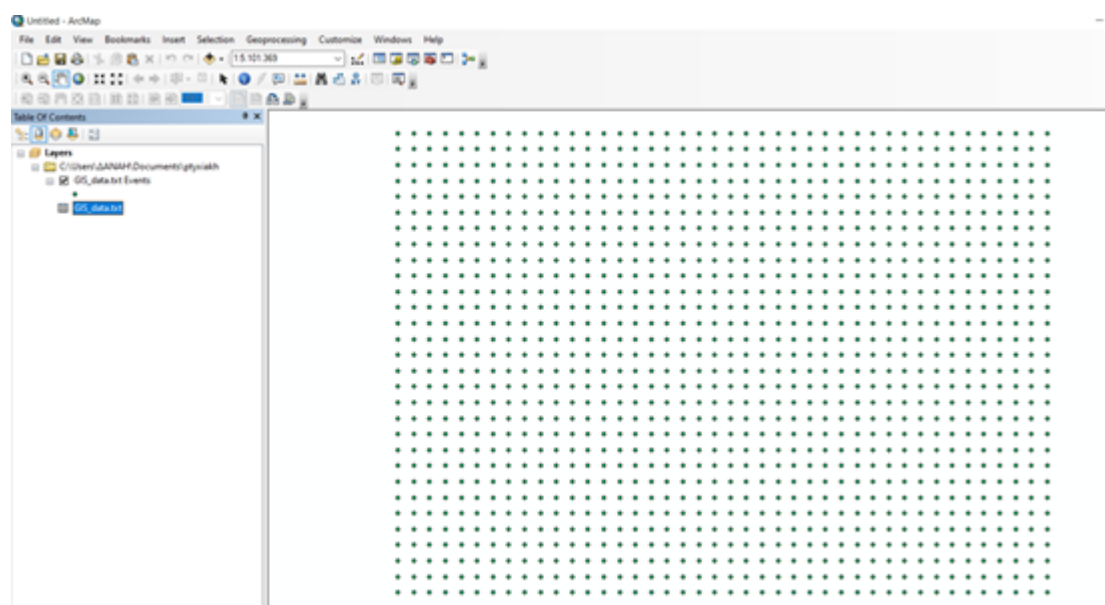
- Μηνιαίους χάρτες ανεμολογικού πεδίου σε επίπεδο δήμου στην Ελλάδα, με δεδομένα τις μέσες τιμές της ταχύτητας του ανέμου στο σύνολο των τελευταίων 41 ετών (1979-2019), (12 χάρτες).
- Μηνιαίους χάρτες στατιστικά σημαντικών τάσεων αύξησης της ταχύτητας του ανέμου στο σύνολο των τελευταίων 41 ετών (1979-2019) (12 χάρτες).

Δεδομένα για την χρήση του προγράμματος ArcMap 10.6.1

- Αρχείο της μορφής .txt με τα αποτελέσματα της επεξεργασίας του προγράμματος **Microsoft Excel** (GIS_data.txt)
- Τα όρια δήμων Καλλικράτης που μας δόθηκαν σε μορφή .shp που αναγνωρίζεται από το πρόγραμμα (OriaDimon_WGS.shp)

Επεξεργασία δεδομένων στο πρόγραμμα ArcMap 10.6.1

- με την χρήση του εργαλείου “add data”, ανοίξαμε το αρχείο “ GIS_data.txt ” και ορίσαμε τις συντεταγμένες του. Ως σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων, ορίσαμε το WGS84.
- Στο στοιχείο GIS_data_txt Events που δημιουργήθηκε, στο export data ορίσαμε ID για να τεθεί ως Shapefile και να μπορεί να χρησιμοποιηθεί (Εικόνα 17).



Εικόνα 17 Δεδομένα επαν-ανάλυσης σε grid points

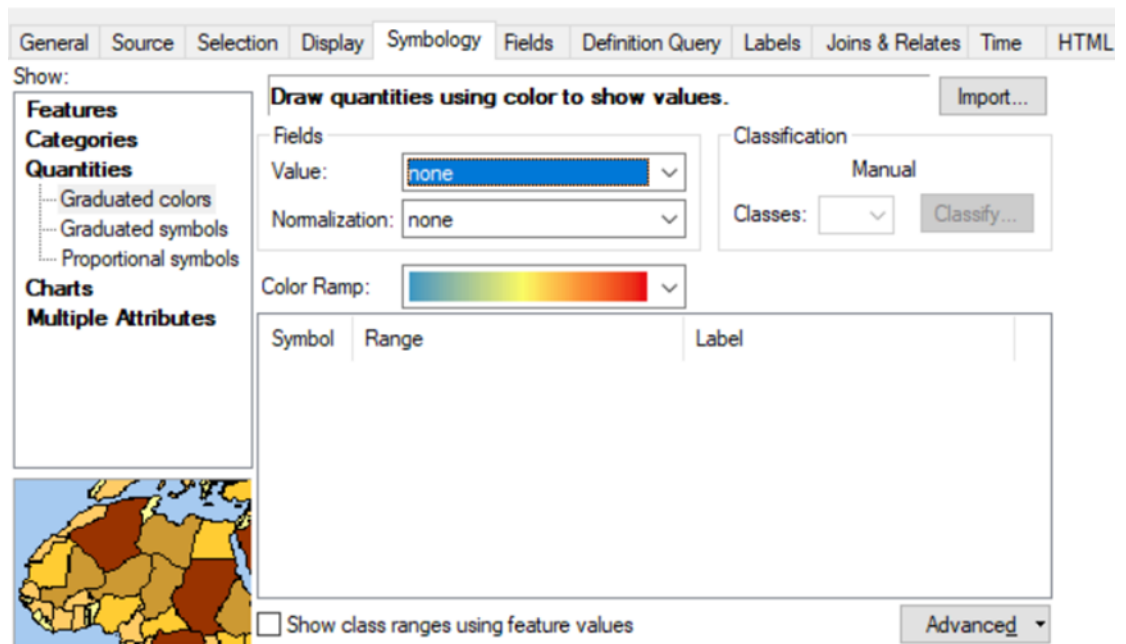
- Προσθέσαμε στο πρόγραμμα **ArcMap 10.6.1** το αρχείο με τα όρια των δήμων Καλλικράτη (OriaDimon_WGS.shp)
- Για να ανατεθούν οι μέσες τιμές του ανέμου σε κάθε δήμο χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο “**join**” (Εικόνα 18).



Εικόνα 18 Join and relates

- Χρησιμοποιήθηκε εν τέλει το στοιχείο `export_output`. Στις ιδιότητές του (`properties`) και στην καρτέλα “`symbology`” (Εικόνα 19), ορίσαμε για κάθε χάρτη χρωματική κλίμακα σε κάθε τιμή (`value`) που εξετάσαμε. Ορίσαμε ακόμα ταξινόμηση, τις κλάσεις των τιμών των ταχυτήτων όπως ήταν προτεινόμενο από το πρόγραμμα. Έτσι, για τις μέσες τιμές της ταχύτητας του ανέμου χρησιμοποιήσαμε ερυθρά χρώματα για τις μεγάλες τιμές και στις αντίστοιχες χαμηλότερες τιμές κυανά χρώματα.

Layer Properties



Εικόνα 19 Καρτέλα Symbology

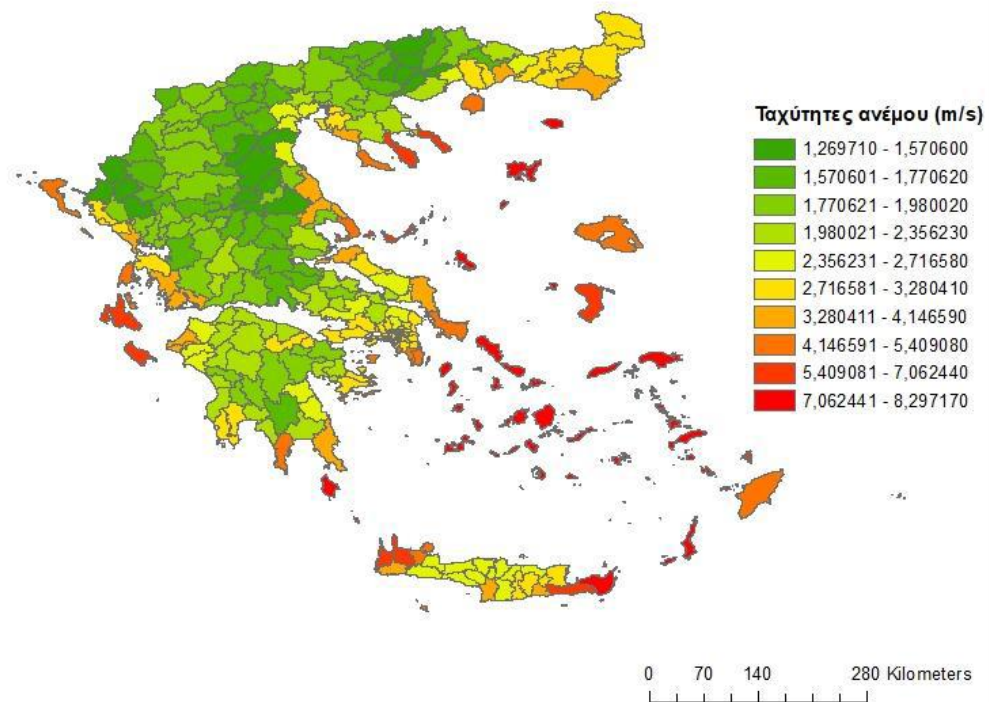
- Με αντίστοιχο τρόπο, δημιουργήθηκαν οι χάρτες κατανομής των τάσεων “t”. Με τη διαφορά ότι σε αυτήν την περίπτωση στην ταξινόμηση των τιμών και των χρωμάτων μας ενδιέφεραν οι τιμές του $t > 1.68$ ή/και $t < -1.68$, δηλαδή οι τιμές του ανέμου για τις οποίες φαίνονται τάσεις αύξησης ή μείωσης της ταχύτητας του ανέμου για επίπεδο εμπιστοσύνης άνω του 90%. Με αυτά ως δεδομένα, δημιουργήσαμε 3 κλάσεις: $-1.68, 1.68, 2, \dots$

3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

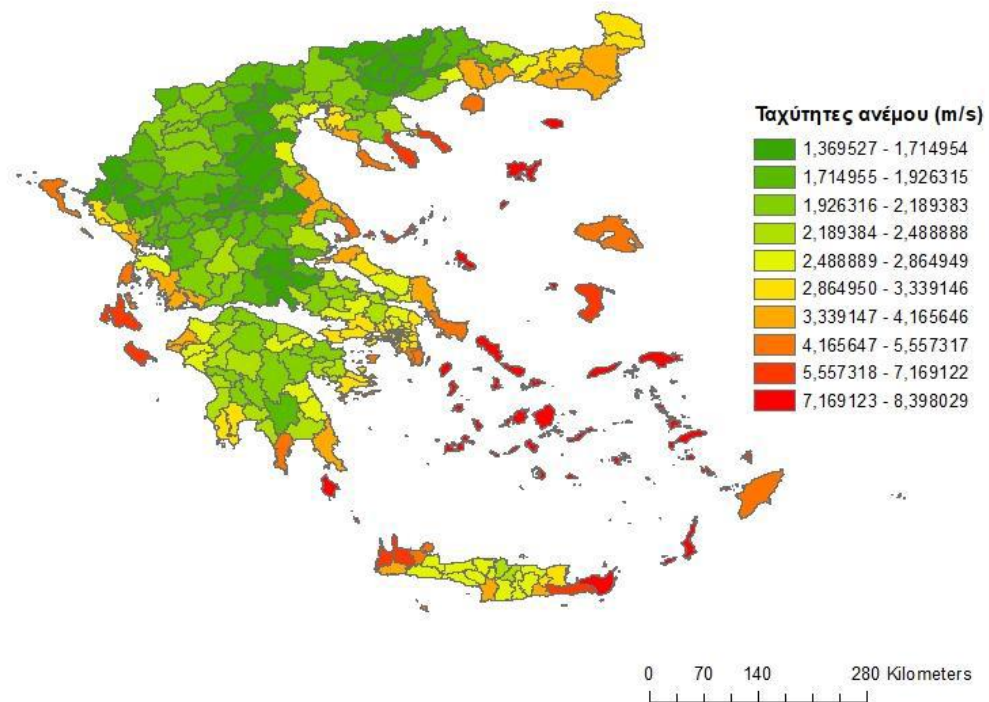
Οι χάρτες που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο μάς παρέχουν σπουδαία πληροφορία όσον αφορά στην κατανομή των τιμών των ταχυτήτων του ανέμου που αντιστοιχούν σε κάθε δήμο της Ελλάδας για κάθε μήνα. Μπορούμε εύκολα να δούμε ότι οι περιοχές με τις υψηλότερες τιμές ανέμου είναι οι Κυκλάδες, οι νομοί Χανίων και Λασιθίου, τα νησιά του Βορείου και Ανατολικού Αιγαίου, τα Δωδεκάνησα, οι παράκτιες περιοχές του νοτίου τμήματος της Χαλκιδικής και τα Επτάνησα (συμπεριλαμβανομένων των Κυθήρων). Όλες οι προαναφερθείσες περιοχές πέραν των Επτανήσων διατηρούν τις υψηλές τιμές ανέμου καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, λαμβάνοντας τις μέγιστες τιμές τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Άλλες περιοχές οι οποίες παρουσιάζουν ικανοποιητικές τιμές, οι οποίες, όμως, δεν διατηρούνται σε υψηλά επίπεδα όλους τους μήνες του χρόνου αποτελούν οι παράκτιες περιοχές της νοτίου Πελοποννήσου, το ανατολικό και παράκτιο τμήμα της Ηπείρου και Στερεάς Ελλάδας, η κεντρική και νότια Εύβοια, το νότιο τμήμα της Θράκης που αντιστοιχεί στους νομούς του Έβρου και της Κομοτηνής, οι νομοί Λαρίσης και Μαγνησίας, οι δήμοι των νοτίων προαστίων της Αττικής, η Βόρεια Εύβοια και η κεντρική Κρήτη. Πιο συγκεκριμένα, με εξαίρεση τη νότια Πελοπόννησο, τη νότια Εύβοια, τη Θράκη και τη Στερεά, οι υπόλοιπες περιοχές παρουσιάζουν τις μέγιστες τιμές ανέμου της φθινοπωρινούς και, κυρίως, τους χειμερινούς μήνες. Στους χάρτες, παρουσιάζονται με αποχρώσεις του πράσινου χρώματος οι περιοχές του Ελλαδικού χώρου οι οποίες χαρακτηρίζονται από αρκετά μικρές τιμές ταχυτήτων ανέμου καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου και κρίνονται ακατάλληλες να υποστηρίξουν την κατασκευή αιολικών εγκαταστάσεων, συγκριτικά με τις υπόλοιπες περιοχές οι οποίες λόγω των σταθερά υψηλότερων τιμών να προηγούνται. Αυτές, ουσιαστικά, περιλαμβάνουν το μεγαλύτερο κομμάτι του χερσαίου τμήματος της χώρας δηλαδή τη δυτική Θράκη, την κεντρική και βόρεια Μακεδονία, την κεντρική Θεσσαλία, Πελοπόννησο και Ήπειρο.

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΑΝΑ ΔΗΜΟ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΤΟΥ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ (1979-2019)



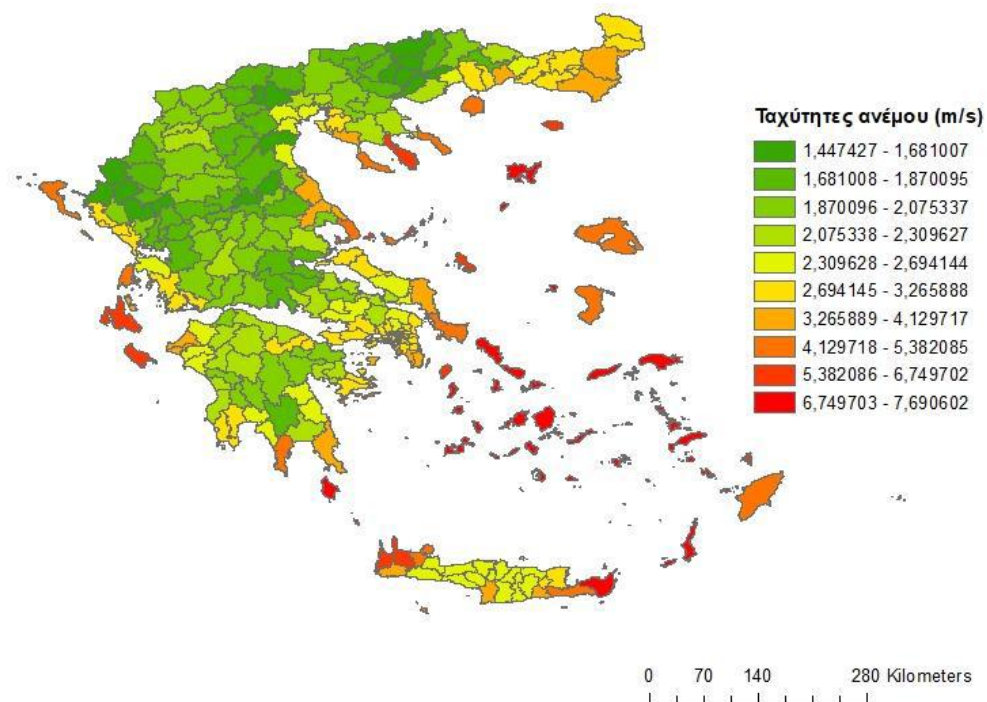
Χάρτης 1 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Ιανουάριο από το 1979 έως το 2019

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΑΝΑ ΔΗΜΟ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΤΟΥ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ (1979-2019)



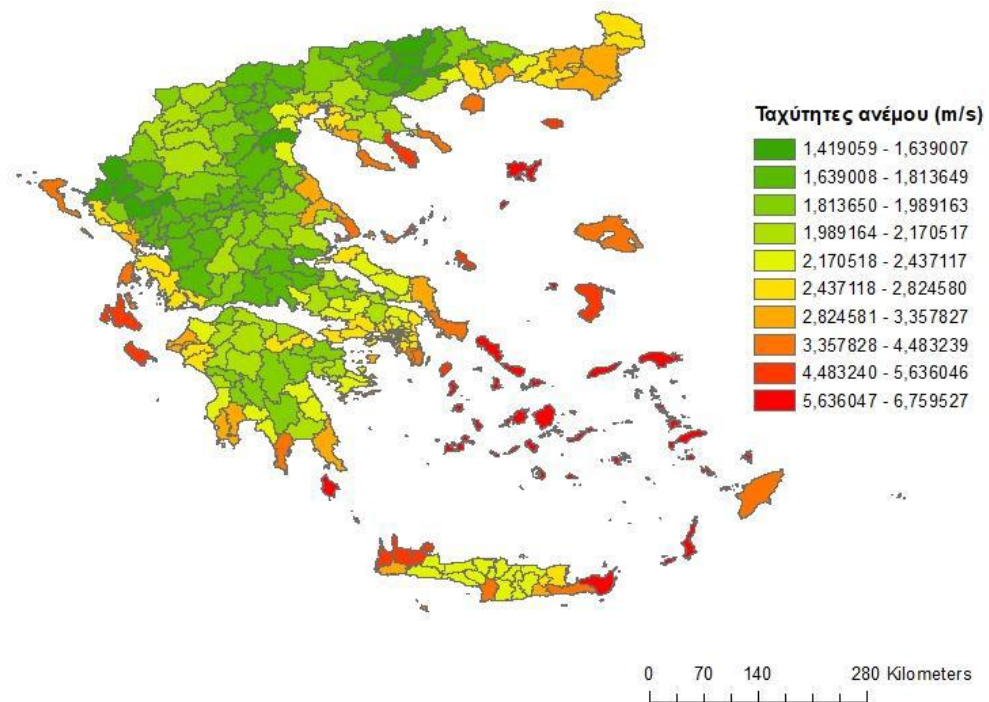
Χάρτης 2 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Φεβρουάριο από το 1979 έως το 2019

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΑΝΑ ΔΗΜΟ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΜΑΡΤΙΟ (1979-2019)



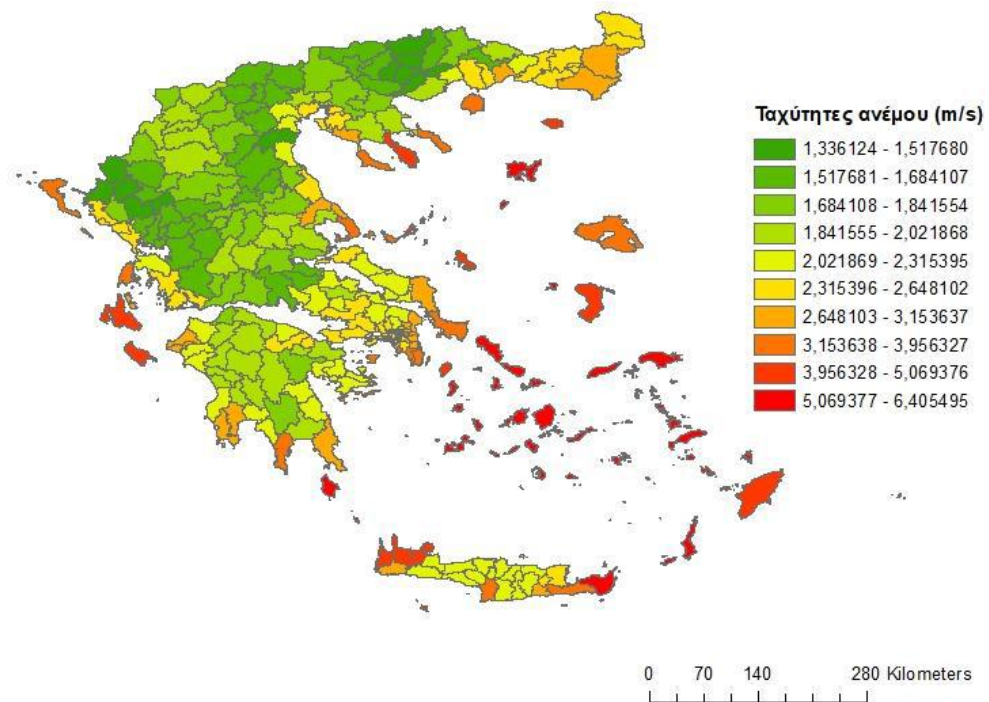
Χάρτης 3 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Μάρτιο από το 1979 έως το 2019

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΑΝΑ ΔΗΜΟ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΑΠΡΙΛΙΟ (1979-2019)



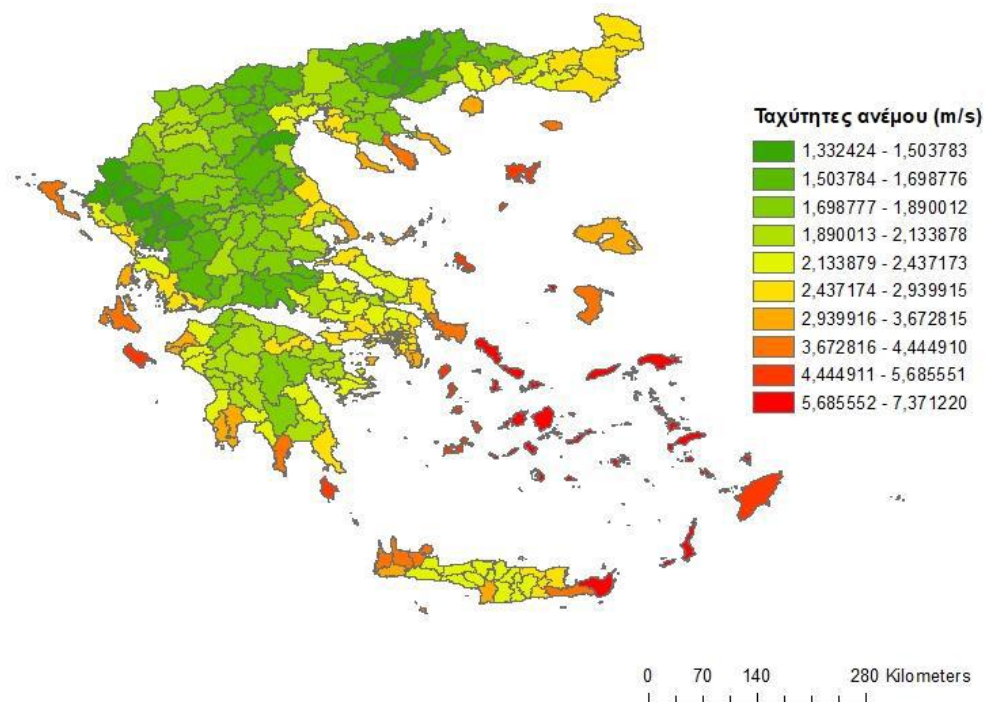
Χάρτης 4 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Απρίλιο από το 1979 έως το 2019

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΑΝΑ ΔΗΜΟ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΜΑΪΟ (1979-2019)



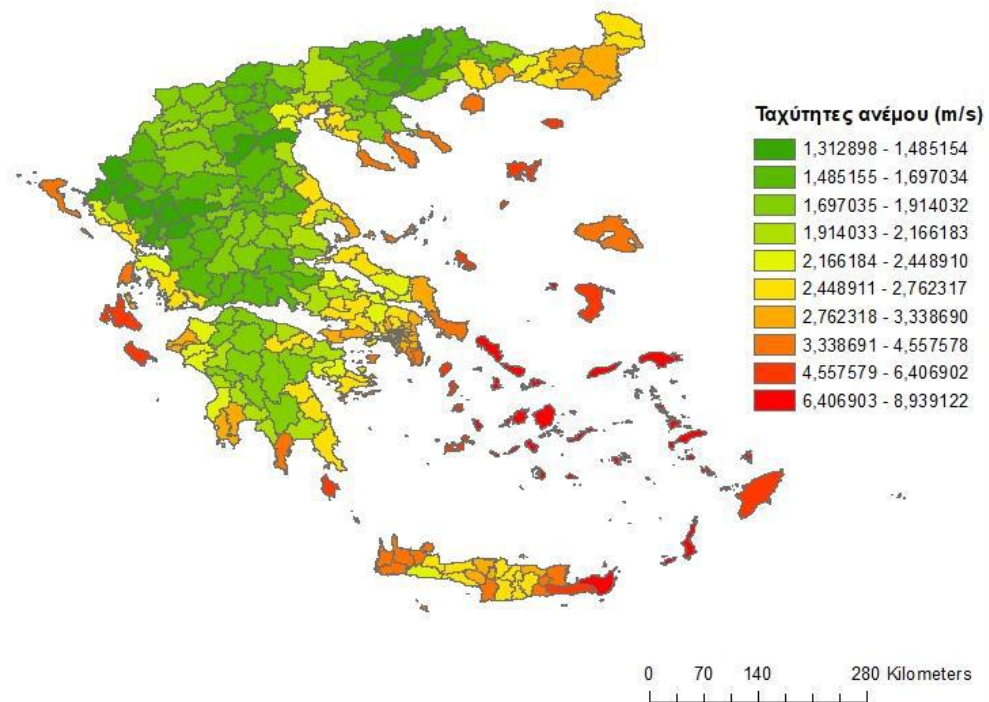
Χάρτης 5 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Μάιο από το 1979 έως το 2019

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΑΝΑ ΔΗΜΟ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΙΟΥΝΙΟ (1979-2019)



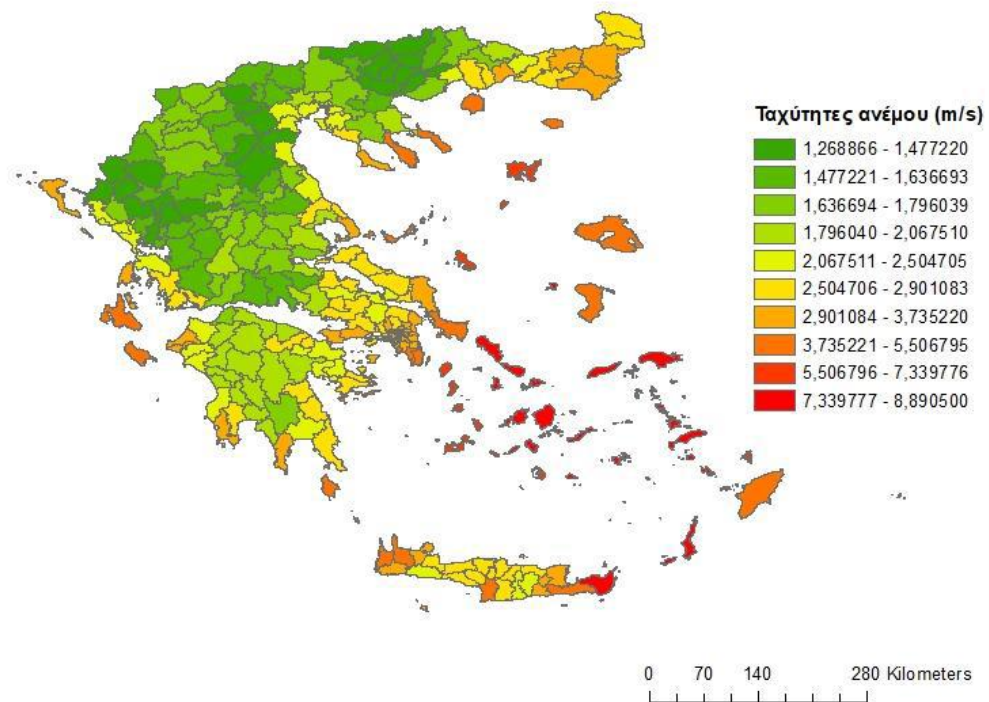
Χάρτης 6 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Ιούνιο από το 1979 έως το 2019

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΑΝΑ ΔΗΜΟ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΙΟΥΛΙΟ (1979-2019)



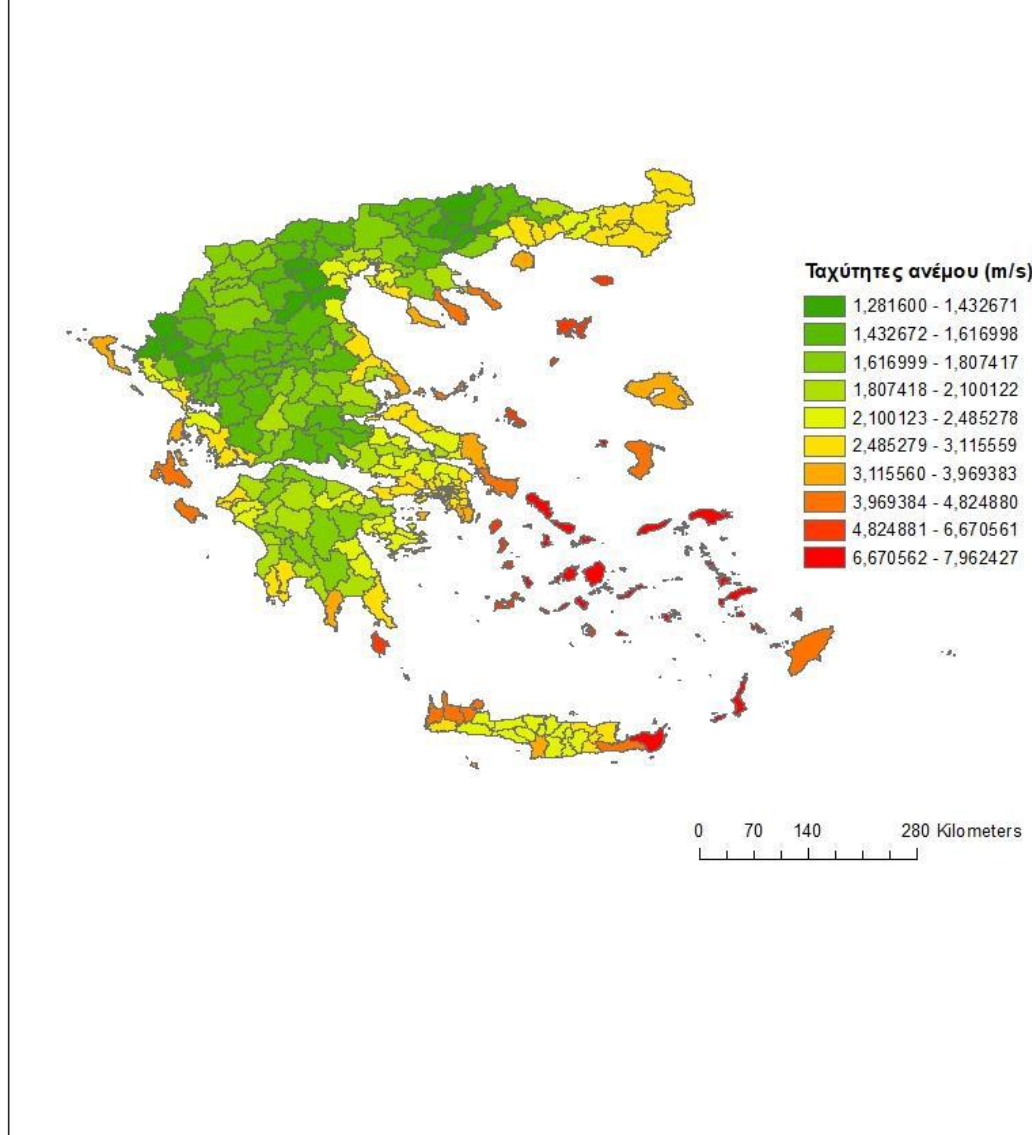
Χάρτης 7 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Ιούλιο από το 1979 έως το 2019

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΑΝΑ ΔΗΜΟ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΑΥΓΟΥΣΤΟ (1979-2019)



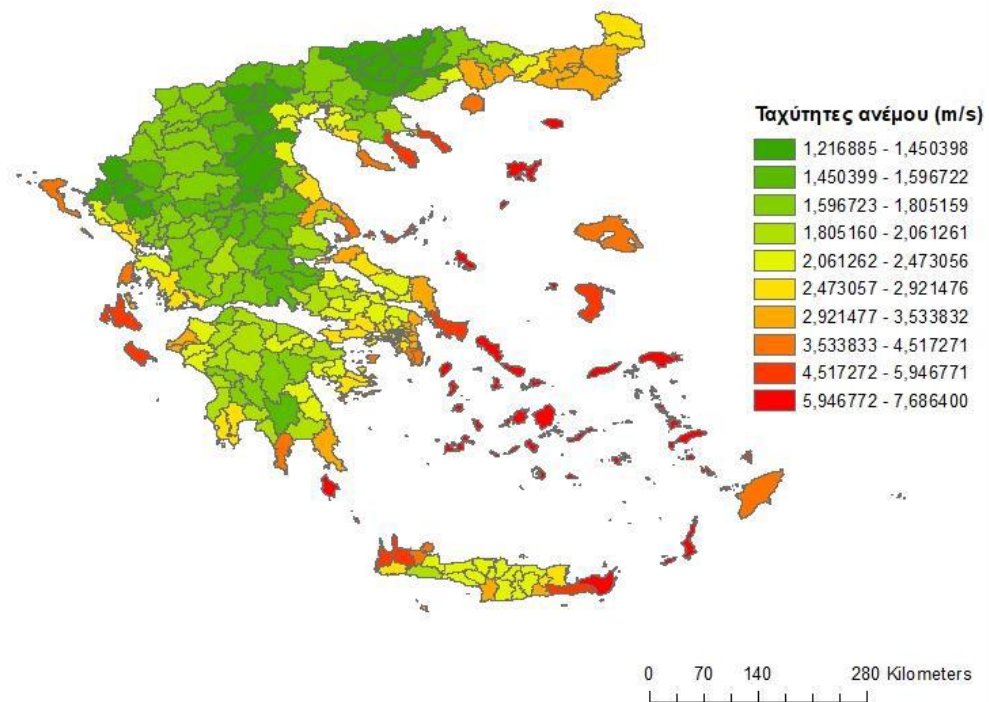
Χάρτης 8 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Αύγουστο από το 1979 έως το 2019

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΑΝΑ ΔΗΜΟ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟ (1979-2019)



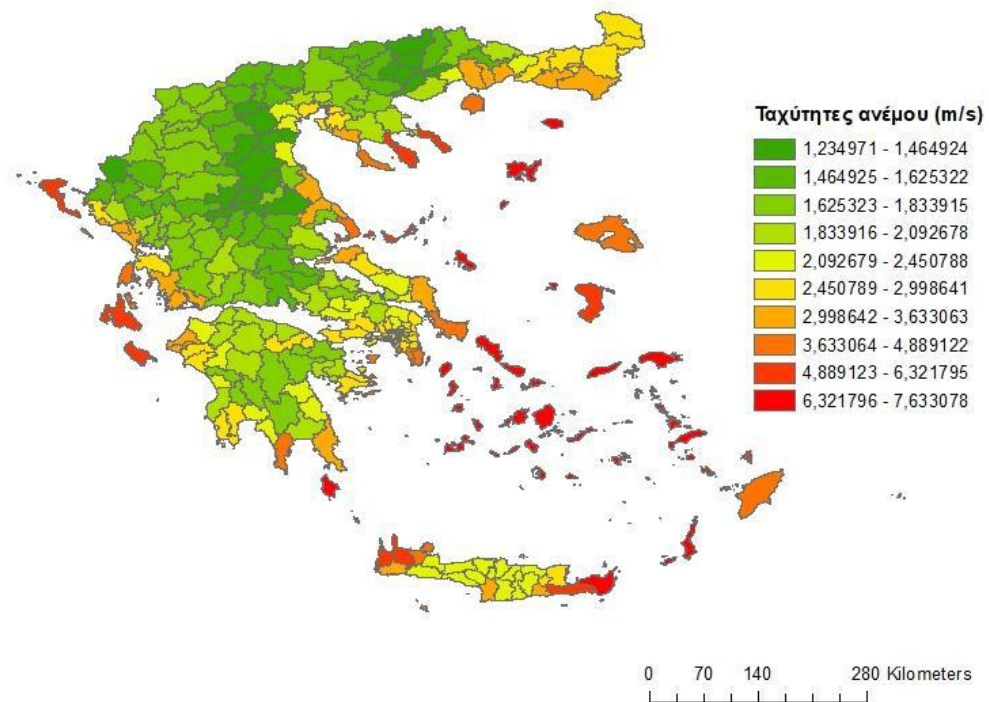
Χάρτης 9 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Σεπτέμβριο από το 1979 έως το 2019

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΑΝΑ ΔΗΜΟ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟ (1979-2019)



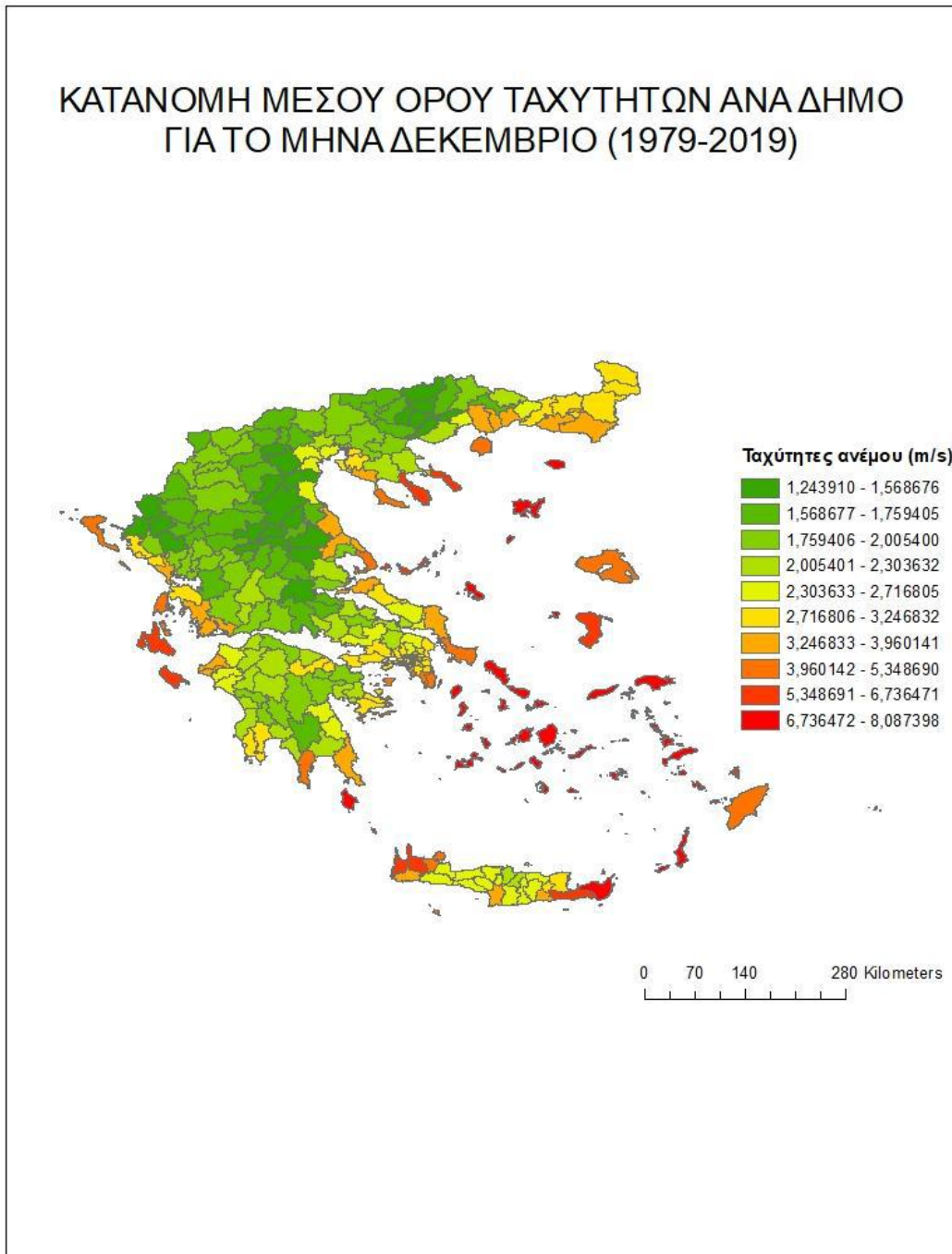
Χάρτης 10 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Οκτώβριο από το 1979 έως το 2019

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΑΝΑ ΔΗΜΟ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΝΟΕΜΒΡΙΟ (1979-2019)



Χάρτης 11 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Νοέμβριο από το 1979 έως το 2019

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΣΟΥ ΟΡΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΑΝΑ ΔΗΜΟ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟ (1979-2019)



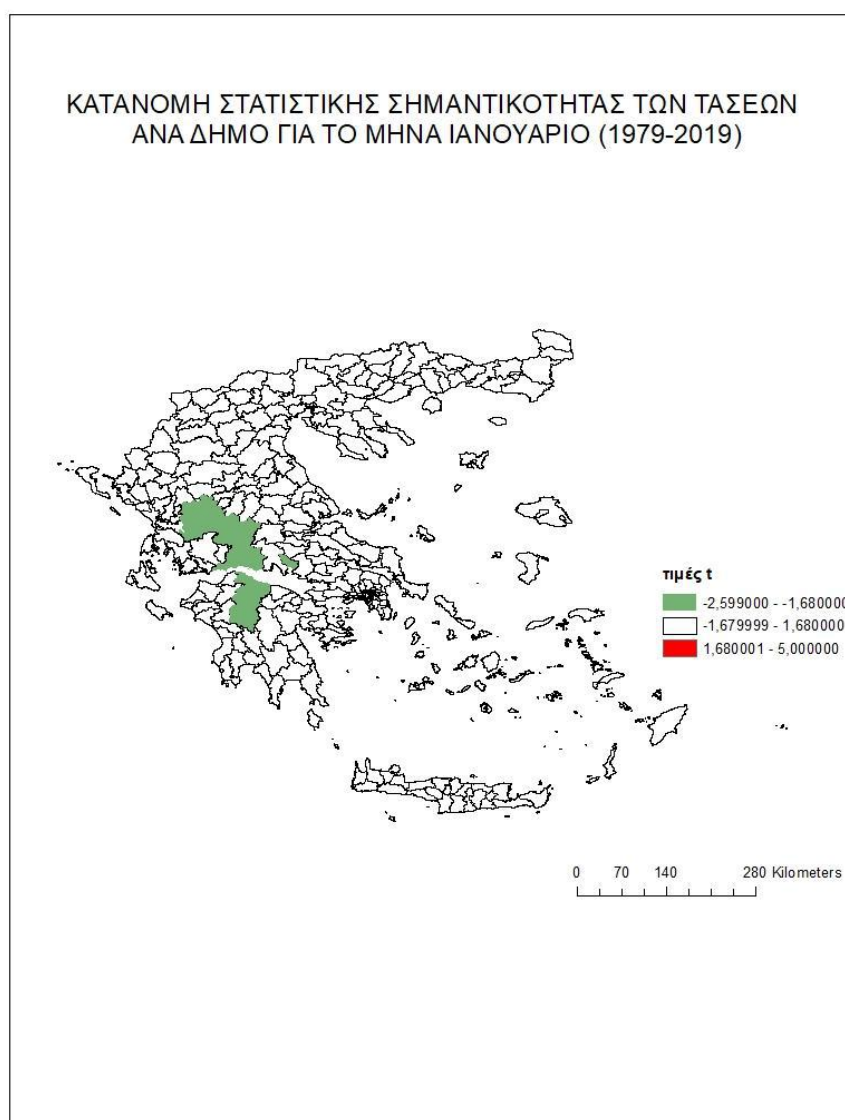
Χάρτης 12 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Δεκέμβριο από το 1979 έως το 2019

3.2 ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Οι επόμενοι 12 χάρτες απεικονίζουν την κατανομή των τάσεων των μέσων μηνιαίων ταχυτήτων του ανέμου από το 1979 έως το 2019. Με κόκκινο χρώμα σημειώνονται οι περιοχές όπου παρουσιάζεται στατιστικά σημαντική τάση αύξησης της ταχύτητας του ανέμου με επίπεδο εμπιστοσύνης 90%. Αντίστοιχα, οι περιοχές με στατιστικά

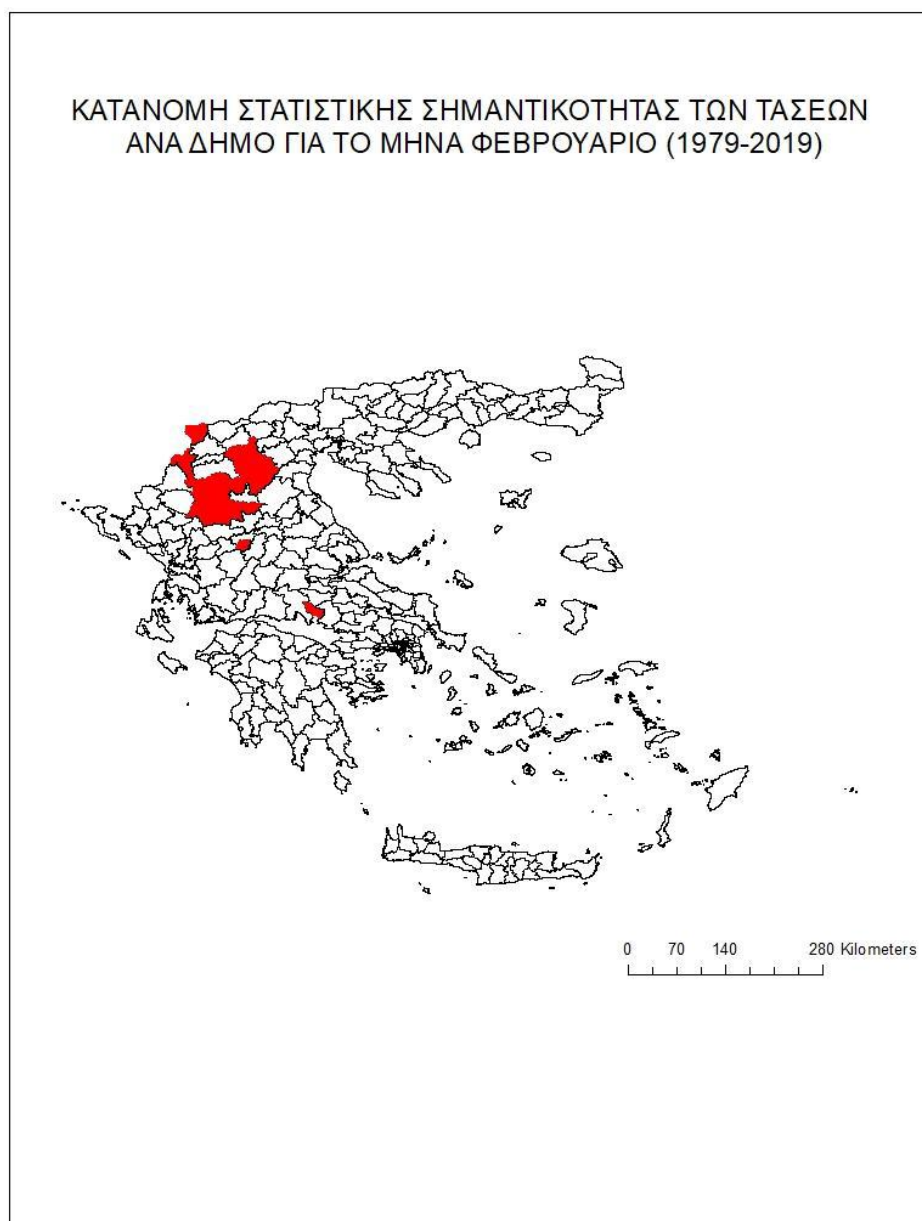
σημαντική μείωση της ταχύτητας του ανέμου θα είναι σκιαγραφημένες με πράσινο χρώμα, ενώ εκείνες στις οποίες δεν έχουν παρατηρηθεί αξιοσημείωτες μεταβολές θα φαίνονται αχρωμάτιστες.

Στον Χάρτη 13, βλέπουμε ότι ο νομός Χανίων, οι περιοχές που βρέχονται από το Θρακικό Πέλαγος, η νότια Εύβοια, το σύμπλεγμα των Βορείων Κυκλάδων και οι νομοί Λαρίσης και Μαγνησίας, ενώ παρουσιάζουν ικανοποιητικές έως υψηλές ταχύτητες ανέμου για το μήνα Ιανουάριο, στο χάρτη κατανομής των τάσεων δεν παρατηρούμε ταυτόχρονα κάποια στατιστικά σημαντική μεταβολή της ταχύτητας. Ο νομός Αχαΐας, το βόρειο τμήμα της Αρκαδίας και οι νομοί της Άρτας, Φωκίδας, Τρικάλων, Καρδίτσα και Ευρυτανίας παρουσιάζουν σημαντική μείωση σε επίπεδο εμπιστοσύνης >90%.



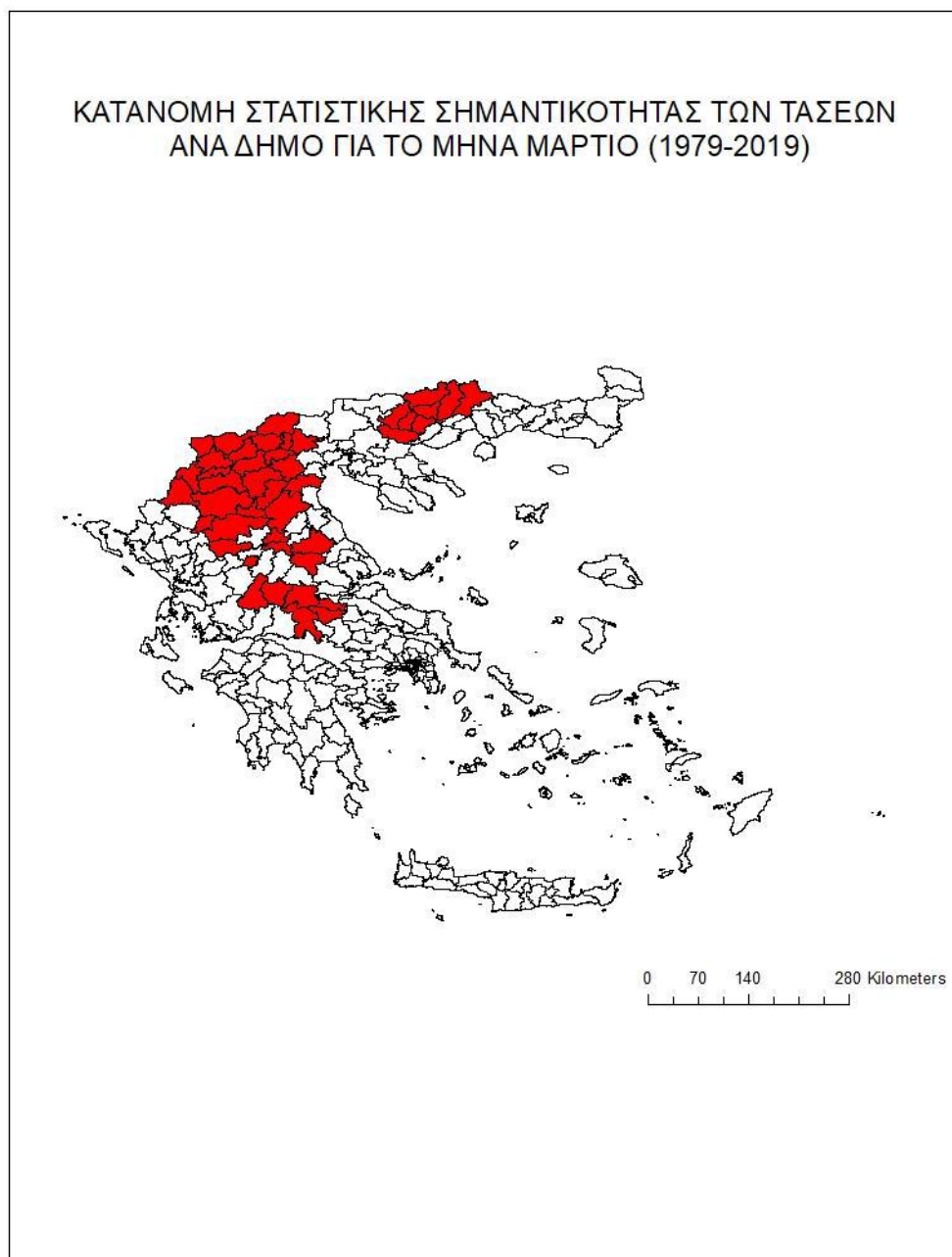
Χάρτης 13 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Ιανουάριο από το 1979 έως το 2019 (κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)

Οι σημαντικότερες τάσεις αύξησης για τον Φεβρουάριο (Χάρτης 14) εντοπίζονται στους νομούς Μεσσηνίας, στα Τρίκαλα, τα Γρεβενά και τη Κοζάνη. Γενικότερα, το τμήμα της δυτικής Μακεδονίας, η ηπειρωτική Θεσσαλία και ο Παρνασσός παρουσιάζουν σημαντική αύξηση. Σημαντικές τάσεις μείωσης δεν εντοπίζουμε. Οι περιοχές οι οποίες χαρακτηρίζονται από ικανοποιητικές έως πολύ υψηλές μέσες ταχύτητες ανέμου, στον χάρτη κατανομής των τάσεων είτε παραμένουν αμετάβλητες, είτε δεν εντοπίζεται αξιόλογη μεταβολή.



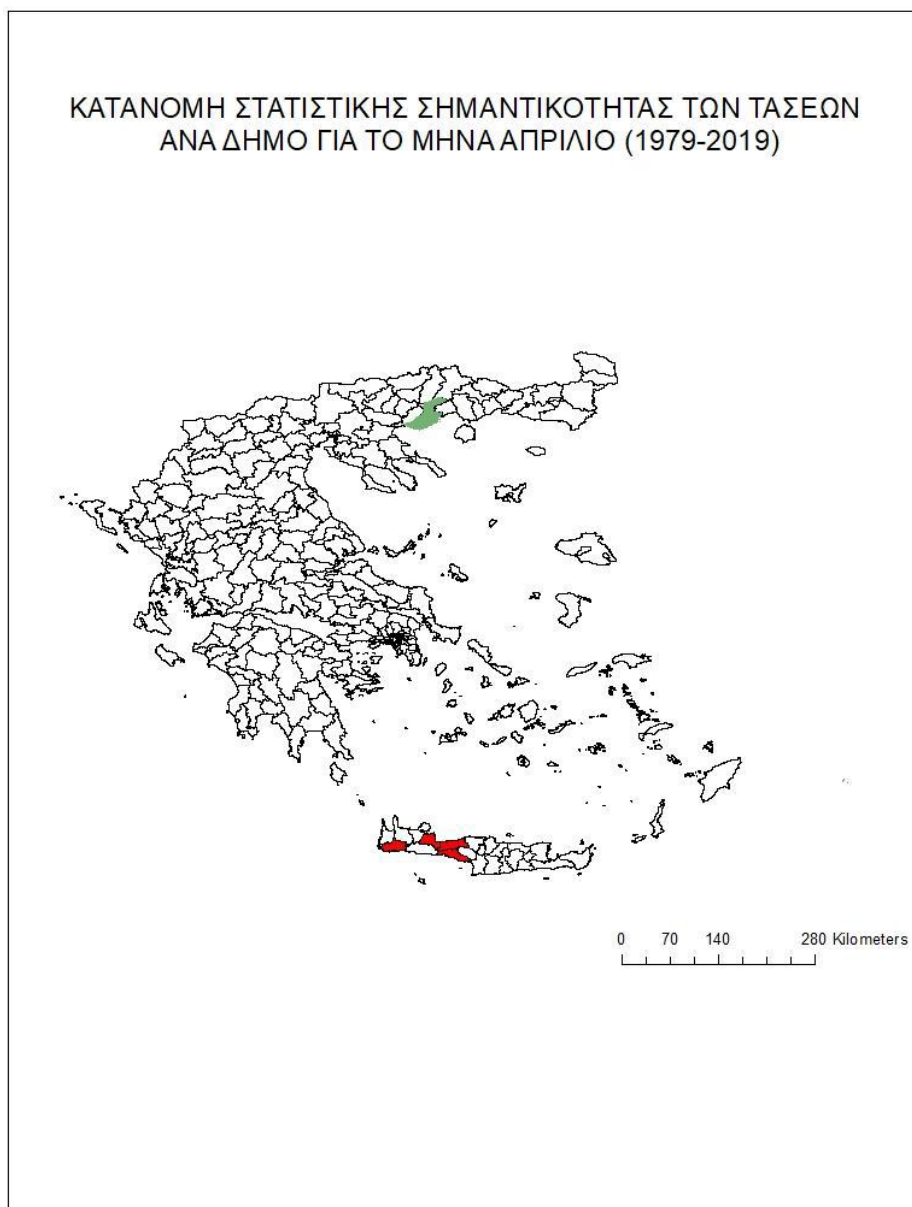
Χάρτης 14 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Φεβρουάριο από το 1979 έως το 2019 (κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)

Οι τιμές του ανέμου για το μήνα Μάρτιο (Χάρτης 15) παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική τάση αύξησης σε όλη τη Μακεδονία πέραν της Θεσσαλονίκης, της Χαλκιδικής και του νομού Πέλλας. Όσον αφορά τη Στερεά Ελλάδα, οι νομοί Φθιώτιδας και Φωκίδας χαρακτηρίζονται από αυξητική τάση με μεγάλο βαθμό εμπιστοσύνης. Σε σύγκριση με τον Χάρτη 3, παρατηρούμε ότι οι περιοχές με υψηλή στατιστική σημαντικότητα τάσεων αύξησης χαρακτηρίζονται από μεσαίες έως μικρές ταχύτητες ανέμου.



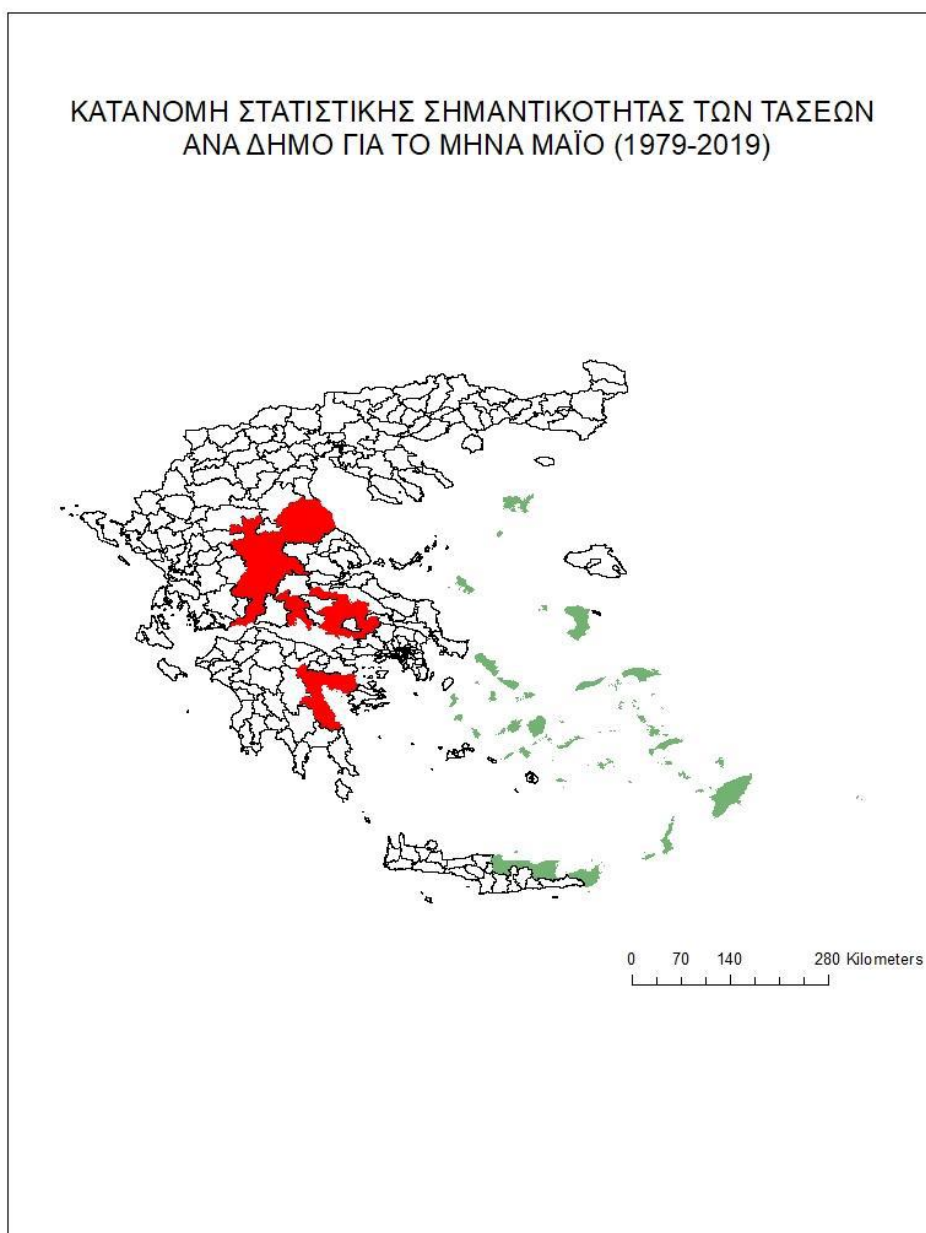
Χάρτης 15 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Μάρτιο από το 1979 έως το 2019 (κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)

Στον Χάρτη 16 που αντιστοιχεί στον μήνα Απρίλιο, εντοπίζουμε αυξητικές τάσεις κοντά στο κεντρικό και το δυτικότερο τμήμα της Κρήτης. Οι νομοί Σερρών και Καβάλας χαρακτηρίζονται από σημαντική μείωση των τάσεων. Οι υπόλοιπες περιοχές της χώρας δεν παρουσιάζουν σημαντικές μεταβολές. Η Ρόδος, τα Επτάνησα, οι παράκτιες περιοχές της Ηπείρου, η Χαλκιδική και οι νομοί Μαγνησίας και Λαρίσης, ενώ χαρακτηρίζονται από υψηλές ταχύτητες ανέμου (βλέπε χάρτη 4), συγκριτικά με τις υπόλοιπες περιοχές της ηπειρωτικής χώρας, αναφορικά με τις τάσεις δεν εντοπίζονται αισθητές μεταβολές.



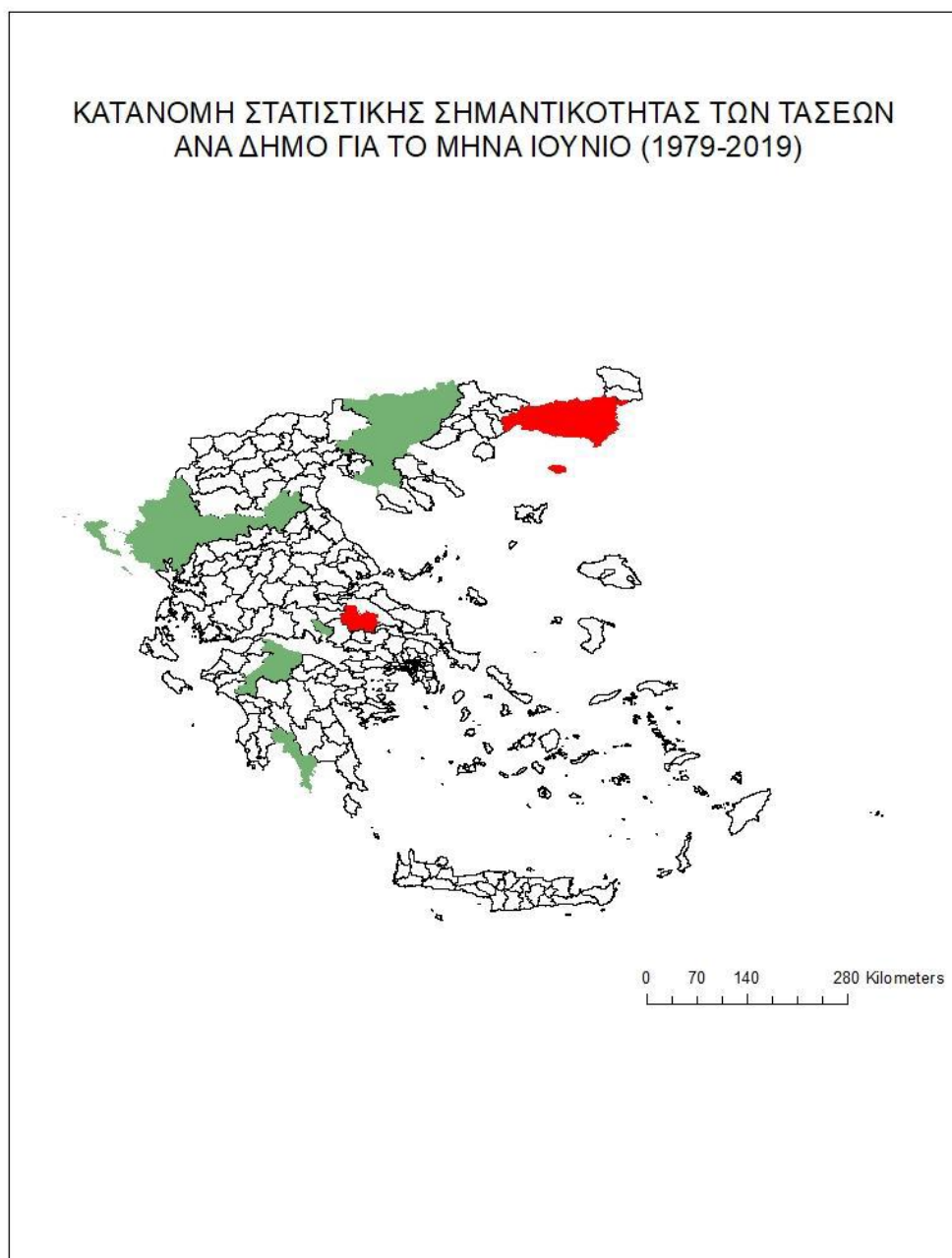
Χάρτης 16 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Απρίλιο από το 1979 έως το 2019 (κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)

Στον Χάρτη 17 που αντιστοιχεί στον μήνα Μάιο, η ηπειρωτική χώρα στο σύνολό της χαρακτηρίζεται από στατιστικά σημαντική τάση αύξησης των τιμών του ανέμου, με τις εντονότερες μεταβολές να εντοπίζονται στον νομό Αργολίδας, το βόρειο τμήμα της Στερεάς και τη Θεσσαλία. Ωστόσο, τα νησιά του Αιγαίου και, ειδικότερα, τα Δωδεκάνησα και η ανατολική Κρήτη παρουσιάζουν σημαντικές τάσεις μείωσης, ενώ οι ταχύτητες του ανέμου παραμένουν υψηλότερες από κάθε άλλη περιοχή της χώρας. Μέχρι στιγμής, αξίζει να σημειωθεί ότι στην πλειοψηφία των χαρτών που έχουμε μελετήσει, οι περιοχές οι οποίες παρουσιάζουν τις πιο ευδιάκριτες αυξητικές τάσεις με τους μεγαλύτερους βαθμούς εμπιστοσύνης είναι εκείνες που χαρακτηρίζονται από χαμηλές μέσες τιμές ανέμου.



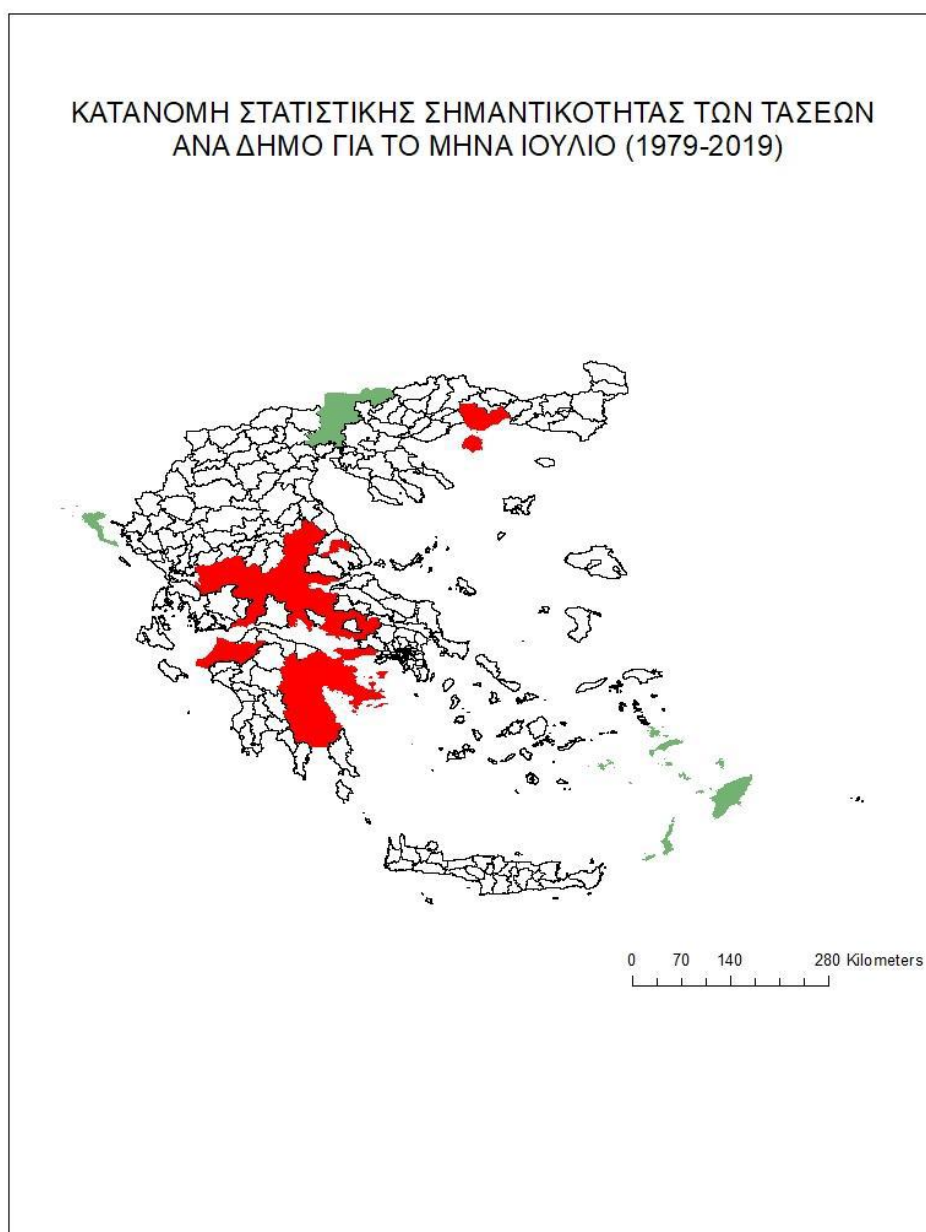
Χάρτης 17 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Μάιο από το 1979 έως το 2019 (κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)

Κατά τον Ιούνιο (Χάρτης 18), τάσεις μείωσης της ταχύτητας του ανέμου εντοπίζονται στην Χαλκιδική, τη Θεσσαλονίκη, το Βόρειο τμήμα της Ηπείρου, τη Δράμα και τις Σέρρες, Κοζάνη, Γρεβενά και σε ορισμένες θέσεις της Πελοποννήσου. Οι τάσεις αύξησης με το μεγαλύτερο βαθμό βεβαιότητας εντοπίζονται στη Θράκη, το Θρακικό Πέλαγος και τις παράκτιες περιοχές του νομού Φθιώτιδας.



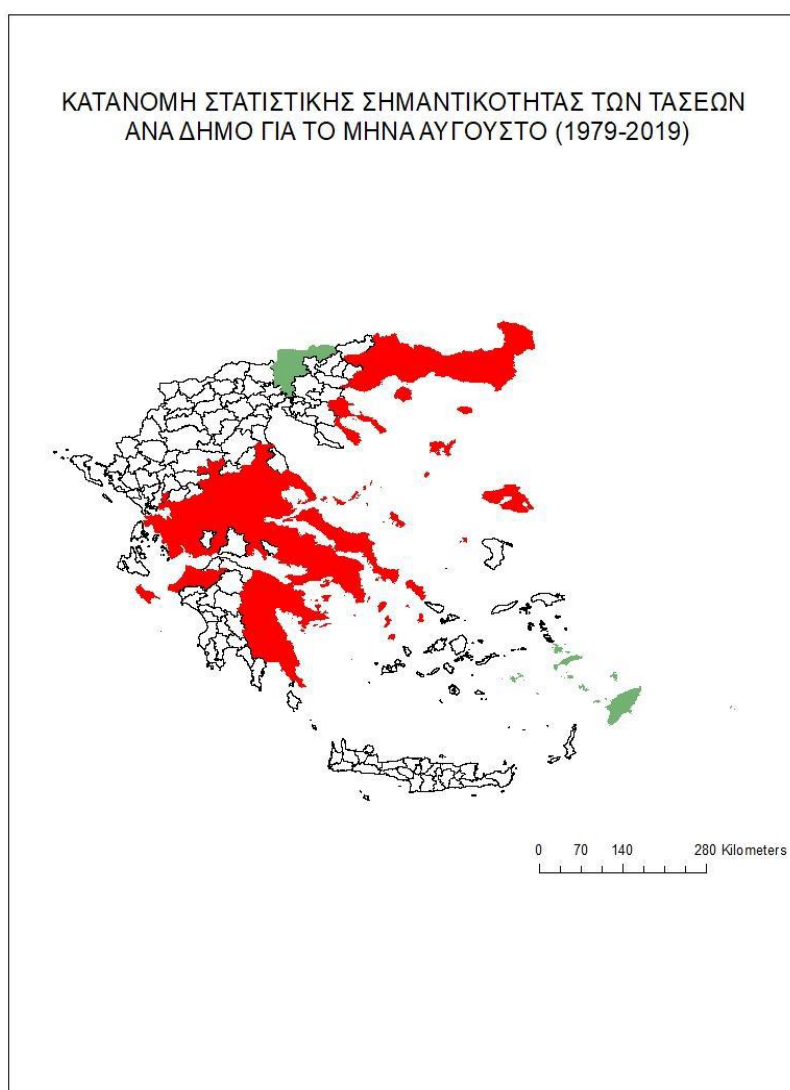
Χάρτης 18 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Ιούνιο από το 1979 έως το 2019 (κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)

Σύμφωνα με τον Χάρτη 19 που αντιστοιχεί στον μήνα Ιούλιο, περιοχές με τις θετικές τάσεις αποτελούν ο νομός Καβάλας, η ηπειρωτική Θεσσαλία, οι νομοί Αργολίδας, Λακωνίας και Αρκαδίας στη Πελοπόννησο και το μεγαλύτερο μέρος της Στερεάς Ελλάδας. Η κεντρική Μακεδονία, η κεντρική και βόρεια Ήπειρος, η Κέρκυρα, η Κρήτη και τα Δωδεκάνησα παρουσιάζουν σημαντικές τάσεις μείωσης. Συγκρίνοντας τους δύο χάρτες του Ιουλίου (Χάρτες 7 & 19) παρατηρούμε ότι τα νησιά του Αιγαίου χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλές ταχύτητες παρ' όλο που φαίνεται να έχουν την τάση να μειώνονται τις τελευταίες δεκαετίες. Το αντίθετο φαινόμενο παρατηρείται σε Πελοπόννησο, Στερεά Ελλάδα (εκτός Εύβοιας και Αττικής) και Θεσσαλία.



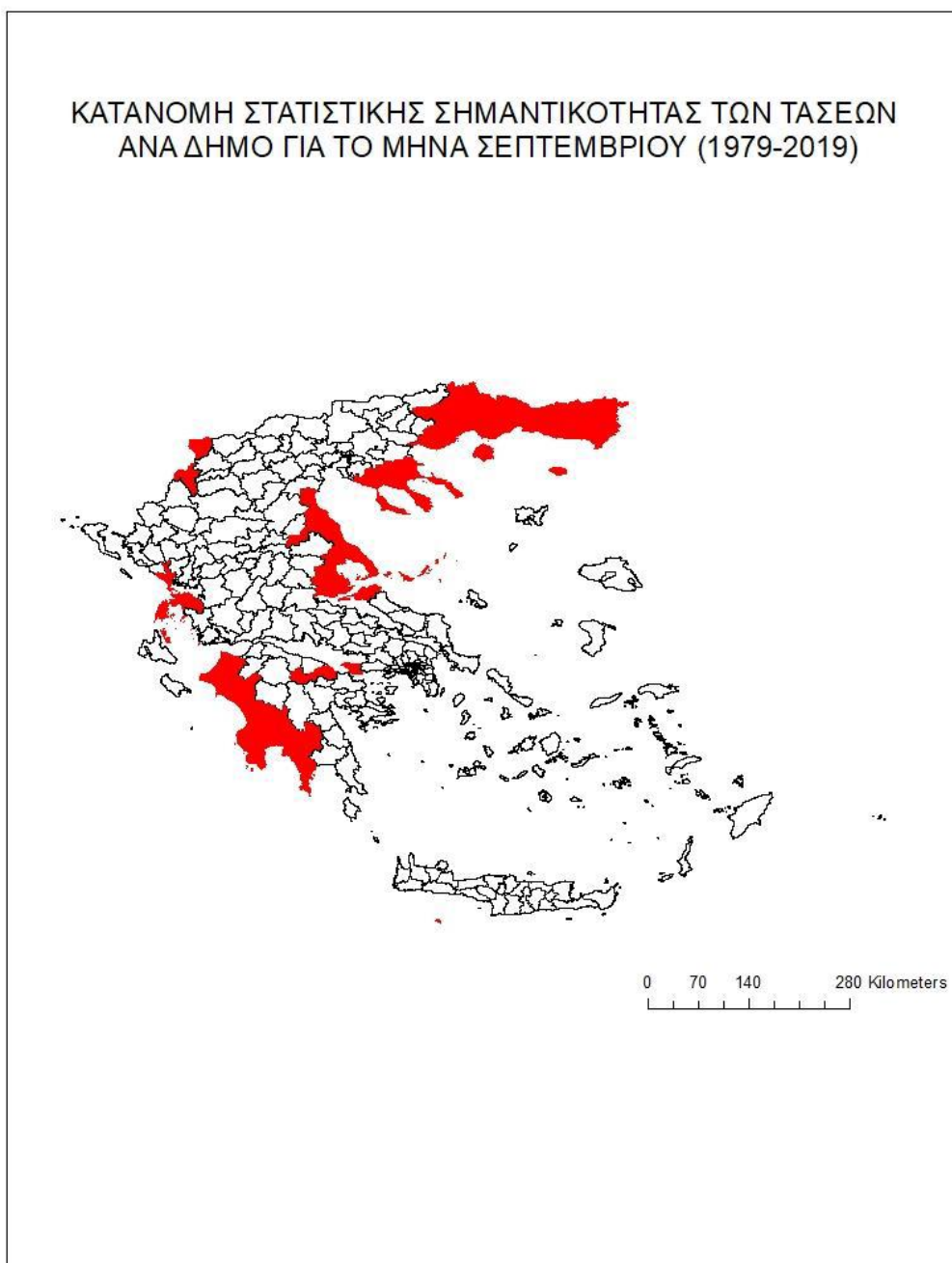
Χάρτης 19 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Ιούλιο από το 1979 έως το 2019 (κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)

Ο μήνας Αύγουστος (Χάρτης 20) έχει αρκετές ομοιότητες με τον Ιούλιο (Χάρτης 19) τόσο στους χάρτες μέσων ταχυτήτων του ανέμου (Χάρτες 7 & 8), όσο και στους χάρτες τάσεων (Χάρτες 19 & 20). Οι μέγιστες τιμές του ανέμου είναι περίπου ίδιες, με τη διαφορά ότι τα Επτάνησα παρουσιάζουν τις μέγιστες τιμές τον Ιούλιο, ενώ τα νησιά του Αιγαίου τον Αύγουστο. Οι τάσεις αύξησης παραμένουν στις ίδιες περιοχές, με τα επίπεδα εμπιστοσύνης να αυξάνονται σημαντικά. Επομένως, με μεγάλο βαθμό σιγουριάς, πλέον, εντοπίζουμε αύξηση σε Ζάκυνθο, στο βορειοδυτικό τμήμα της Πελοποννήσου και γενικότερα σε ολόκληρη την κεντρική και ανατολική Πελοπόννησο, στις Βόρειες Κυκλάδες, τα νησιά του βορειοανατολικού Αιγαίου, τη Στερεά Ελλάδα και την Εύβοια, τη Θεσσαλία και σε όλη την έκταση της Θράκης.



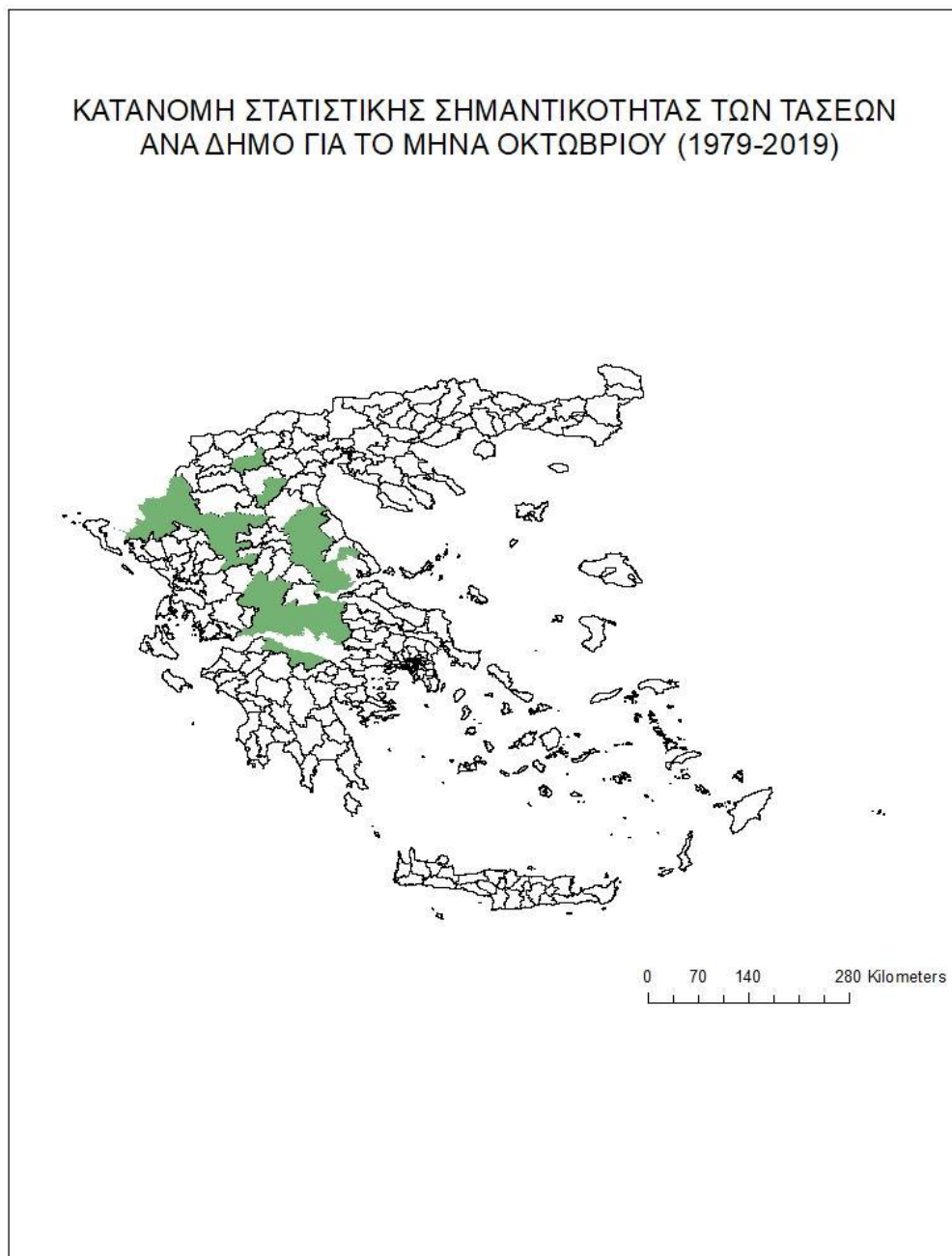
Χάρτης 20 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Αύγουστο από το 1979 έως το 2019 (κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)

Βάσει των δεδομένων του Χάρτη 21 για τον Σεπτέμβριο, οι στατιστικά σημαντικές τάσεις αύξησης εντοπίζονται στη δυτική Πελοπόννησο, τη Λευκάδα και τις παράκτιες περιοχές της Πρέβεζας και Αιτωλίας, στις παράκτιες περιοχές της Θεσσαλίας, τη Χαλκιδική και τη Θράκη. Οι υψηλές ταχύτητες ανέμου που εντοπίζονται στα νησιά του Αιγαίου δεν έρχονται σε συμφωνία με τις αντίστοιχες τάσεις του ανέμου, στις οποίες δεν παρατηρούνται έντονες μεταβολές. Το αντίθετο επικρατεί σε Πελοπόννησο όπου οι ταχύτητες κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα, ενώ οι τάσεις είναι υψηλές.



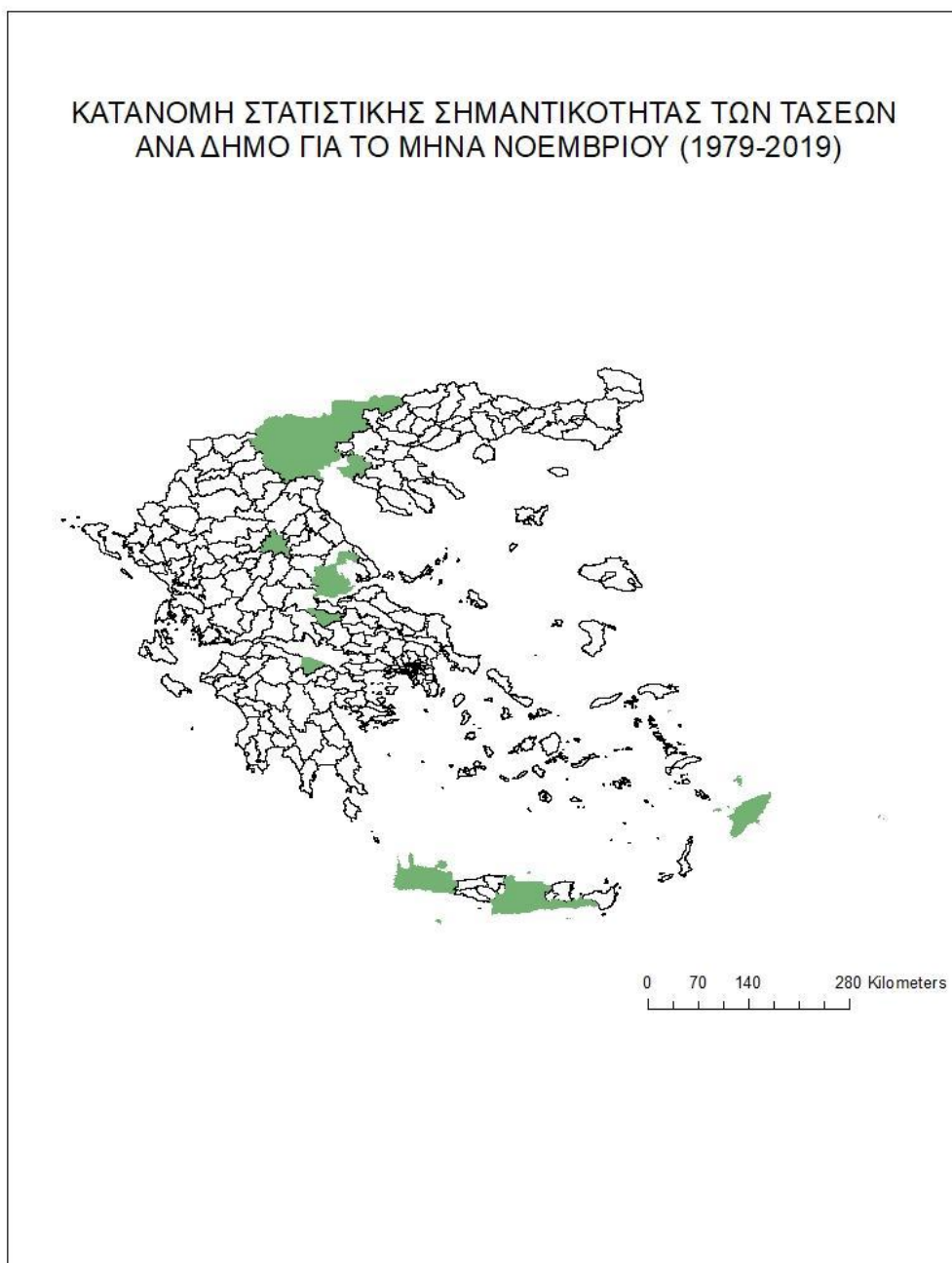
Χάρτης 21 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Σεπτέμβριο από το 1979 έως το 2019 (κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)

Όσον αφορά τον μήνα Οκτώβριο (Χάρτης 22), οι τάσεις παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική μείωση σε μεγάλο μέρος της ηπειρωτικής χώρας. Οι τιμές των ταχυτήτων του Οκτωβρίου συγκριτικά με εκείνων των καλοκαιρινών και χειμερινών μηνών είναι εμφανώς ελαττωμένες. Παρ' όλα αυτά, η κατανομή τους στον χώρο είναι σχεδόν ίδια σε σύγκριση με του Ιανουαρίου και του Αυγούστου.



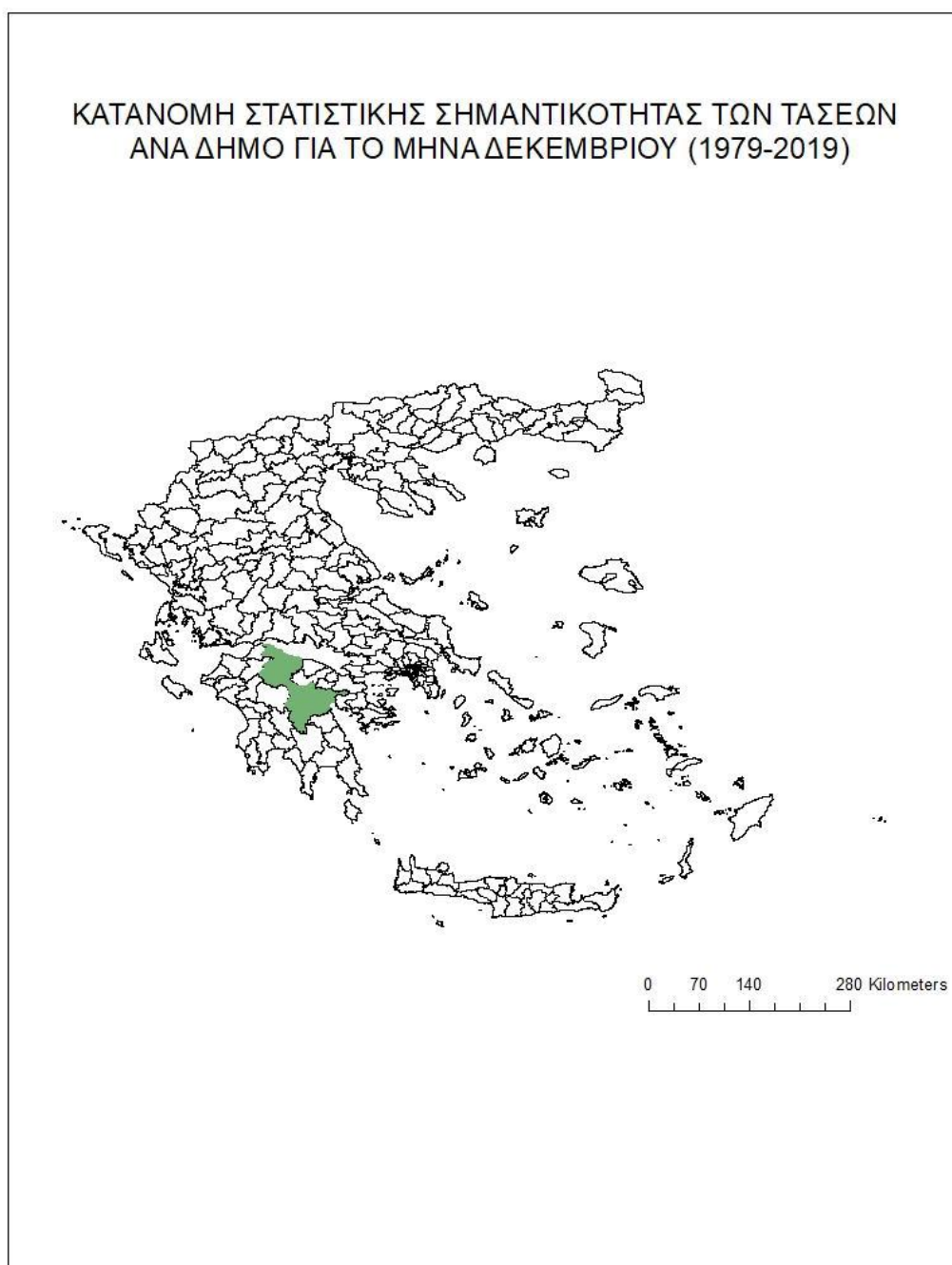
Χάρτης 22 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Οκτώβριο από το 1979 έως το 2019 (κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)

Στον Χάρτη 23 για τον μήνα Νοέμβριο, εντοπίζουμε στατιστικά σημαντική μείωση σε ολόκληρη την έκταση των νομών Χανίων και Ηρακλείου, τη Ρόδο, την κεντρική Μακεδονία, το νομό Μαγνησίας, τα Τρίκαλα, στο νομό Φθιώτιδας και κοντά στα σύνορα Κορινθίας και Αχαΐας. Στην υπόλοιπη επικράτεια, οι τιμές δεν προσδίδουν σημαντικές μεταβολές. Σε αντίθεση με την κατανομή των ταχυτήτων (Χάρτης 11), στα Χανιά και τα Δωδεκάνησα ενώ, συγκριτικά, μειώνεται η τάση των τιμών, οι ταχύτητες είναι σε υψηλά επίπεδα.



Χάρτης 23 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Νοέμβριο από το 1979 έως το 2019 (κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)

Στον Χάρτη 24 για τον μήνα Δεκέμβριο, εντοπίζουμε μείωση των ταχυτήτων στην κεντρική Πελοπόννησο σε περιοχές των νομών Αχαΐας, Αρκαδίας και Αργολίδας. Σε ολόκληρο το Αιγαίο, στις νότιες περιοχές της Θράκης, τη Χαλκιδική, την Κρήτη (δίνοντας έμφαση στις παράκτιες περιοχές των Χανίων και του Λασιθίου), τα Επτάνησα και τα Κύθηρα, τη Νότια Εύβοια και την ανατολική Θεσσαλία έχουμε υψηλές τιμές ανέμων, χωρίς ιδιαίτερες μεταβολές τα τελευταία 40 χρόνια.



Χάρτης 24 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Δεκέμβριο από το 1979 έως το 2019 (κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)

4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην ενότητα 1.5 παρουσιάσαμε τον διαδικτυακό χάρτη των εν ενεργεία αιολικών πάρκων της Ελλάδας από τον ιστότοπο της ΕΛΕΤΑΕΝ (Εικόνα 14). Μελετώντας τον χάρτη, βλέπουμε ότι οι ανεμογεννήτριες έχουν εγκατασταθεί σε θέσεις οι οποίες έχουν επιλεγεί προσεκτικά με βάση το αιολικό δυναμικό της εκάστοτε περιοχής. Οι θέσεις, αυτές, αφορούν κορυφογραμμές όπου η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη, οροπέδια μεγάλων υψομέτρων και παράκτιες περιοχές. Οι μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου εντοπίζονται στις παράκτιες περιοχές, όπως τα νησιά του Αιγαίου και ιδιαίτερα στις Κυκλάδες, τα Δωδεκάνησα και την ανατολική Κρήτη. Βλέπουμε, επίσης, πως στις περιοχές αυτές έχουν εγκατασταθεί ανεμογεννήτριες, ανεξάρτητα από τις ενδείξεις των τάσεων του ανέμου οι οποίες δείχνουν μείωση των μέσων μηνιαίων ταχυτήτων τα τελευταία 40 χρόνια για ορισμένους μήνες. Αυτό συμβαίνει διότι η κινητική ενέργεια του ανέμου που δεσμεύουν οι ανεμογεννήτριες παραμένει σε πολύ ψηλά επίπεδα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Άλλες θέσεις οι οποίες κατέχουν σημαντικό ρόλο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των αιολικών εγκαταστάσεων, είναι οι κορυφογραμμές σε βουνά της κεντρικής Στερεάς Ελλάδας. Πιο συγκεκριμένα, βλέπουμε ότι το ανάγλυφο στην προκειμένη περίπτωση αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την ανάπτυξη ισχυρών ανέμων, ικανών ώστε η κεντρική Στερεά να αποτελέσει το μεγαλύτερο κέντρο παραγωγής ισχύος στην Ελλάδα. Στο σημείο, αυτό, αξίζει να αναφερθεί ότι το υψόμετρο είναι η κυριότερη αιτία όπου στην κεντρική Στερεά εντοπίζονται άνεμοι ισχυρότεροι από εκείνους που καταγράφονται στις αντίστοιχες θέσεις στους παραπάνω χάρτες. Σε αντίθεση με το ρόλο των χαρτών απεικόνισης των τάσεων στα νησιά του Αιγαίου, όπου η συνεισφορά τους είναι μικρότερη, όσον αφορά την κεντρική Στερεά, η πληροφορία που προσφέρουν είναι πολύ πιο πολύτιμη. Οι χάρτες, αυτοί, επιβεβαιώνουν την ανοδική τάση των ταχυτήτων του ανέμου στην ευρύτερη περιοχή τα τελευταία 40 χρόνια, που είναι στατιστικά σημαντική για τους περισσότερους μήνες του χρόνου. Το γεγονός, αυτό, εξασφαλίζει ότι η εγκατάσταση ανεμογεννητριών πραγματοποιείται σε περιοχές που εγγυώνται την οικονομική αποδοτικότητα των πάρκων για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, ο στόχος της εργασίας είναι η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού σε περιοχές της Ελλάδας λαμβάνοντας υπόψιν την κατανομή των ταχυτήτων του ανέμου. Πιο αναλυτικά, οι παράγοντες που καθορίζουν την επιλογή των συγκεκριμένων θέσεων είναι οι μέσες μηνιαίες ταχύτητες ανέμου από το 1979 έως το 2019, οι τάσεις των ταχυτήτων για κάθε μήνα και η χωρική κατανομή των προϋπαρχόντων εγκαταστάσεων. Συγκεκριμένα, μέσω μελέτης και σύγκρισης των χαρτών που παρουσιάσαμε στην αρχή του κεφαλαίου, εντοπίσαμε αρκετές περιοχές στον ελλαδικό χώρο όπου χαρακτηρίζονται από υψηλές ταχύτητες ανέμου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ενώ παράλληλα μας παρέχουν έναν ικανοποιητικό βαθμό αξιοπιστίας, ο οποίος εξασφαλίζει την τάση αύξησης των ταχυτήτων για τους περισσότερους μήνες του χρόνου. Επομένως, βάσει των παραπάνω δεδομένων, δύο περιοχές στον ελλαδικό χώρο οι οποίες θα μπορούσαμε, ενδεικτικά, να προτείνουμε προκειμένου να διεξαχθούν περαιτέρω μελέτες για τον υπολογισμό του αιολικού

δυναμικού είναι η Ζάκυνθος και ο δήμος Σιθωνίας (μεσαίο «πόδι» Χαλκιδικής).

Προκειμένου να επιτευχθεί το ευρωπαϊκό πλάνο για κλιματική ουδετερότητα και ενεργειακή ανεξαρτησία, η Ελλάδα καλείται να θέσει σε εφαρμογή ένα ευρύ πρόγραμμα ανάπτυξης αιολικών εγκαταστάσεων. Παραπάνω, επισημάνουμε δύο ενδεικτικές θέσεις οι οποίες, πιθανόν, να χαρακτηρίζονται από υψηλό αιολικό δυναμικό. Παρ' όλα αυτά, η Ελλάδα στο σύνολό της φαίνεται να αποτελείται από δεκάδες, τέτοιες, θέσεις, οι οποίες χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής και μελέτης. Παρ' όλο που η χρήση της αιολικής ενέργειας έχει σημαντικά πλεονεκτήματα για την οικονομία και την αντιμετώπιση της ενεργειακής κρίσης, στο υποκεφάλαιο 7 του πρώτου κεφαλαίου αναφέρθηκαν ορισμένα ζητήματα, τα οποία αν δεν προληφθούν, μπορούν να προκαλέσουν τα αντίθετα αποτελέσματα. Επομένως, συμπεραίνουμε ότι η αποτελεσματικότητα ενός αιολικού πάρκου δεν καθορίζεται αποκλειστικά από το αιολικό δυναμικό της περιοχής. Η υποβάθμιση του τοπίου, η οπτική όχληση σε θέσεις φυσικού/αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, ο θόρυβος στις γειτνιάζουσες περιοχές, οι επιπτώσεις στην πανίδα και τη χλωρίδα και η δέσμευση εδαφικών πόρων που θα μπορούσαν να διατεθούν για την ανάπτυξη δραστηριοτήτων του πρωτογενούς τομέα παραγωγής, αποτελούν τους βασικότερους λόγους όπου κρίνεται αναγκαία η εκπόνηση πιο εξειδικευμένων μελετών, η αποκλειστική τήρηση του νομοθετικού και χωροταξικού πλαισίου και η αναθεώρηση τους από τις αρχές όποτε, αυτό, κριθεί απαραίτητο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Andersen, P. D., Bonou, A., & Beauson, J. .: (2014). *Recycling of Wind Turbines*. DTU Library.
- arcadiaportal.gr. (2011). *arcadiaportal.gr*. Ανάκτηση από arcadiaportal.gr: <https://www.arcadiaportal.gr/news/giati-katigorountai-ta-aiolika-parka-ti-lene-oi-upermaxoi-tous-b-meros>
- 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*.
- Breton, S.-P. (2009). Status, plans and technologies for offshore wind turbines in Europe and North America. *Elsevier*.
- Buckley, S. (2005). Wind farms & electromagnetic interference—dispelling the myths. Sinclair Knight Merz.
- Canadian Association of Petroleum Producers*. (2022). Ανάκτηση από Canadian Association of Petroleum Producers: <https://www.capp.ca/natural-gas/what-is-natural-gas/>
- Carvalho, M. G. (2012). EU energy and climate change strategy. *Elsevier*.
- Copernicus Climate Data Source. (2022). Copernicus Climate Data Source. Ανάκτηση από <https://cds.climate.copernicus.eu>
- Coyle, E. D., & Simmons, R. A. (2014). *Understanding the Global Energy Crisis*. Indiana: Purdue University Press.
- European Commission. (2006). *The state and prospects of European energy research*. European Commisison.
- European Commission. (2010). Roadmap 2050: A Practical Guide To A Prosperous, Low-Carbon Europe. ECF.
- Eurostat. (2010). *Energy Statistics- Supply, Transformation, Consumption*. Eurostat. Ανάκτηση από <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>
- Fujisawa, N., & Shibuya, S. (2000). Observations of dynamic stall on Darrieus wind turbine blades. *Elsevier*.
- Greentumble*. (2017, February 23). Ανάκτηση από www.greentumble.com: https://greentumble.com/harmful-effects-of-non-renewable-resources-on-the-environment/?fbclid=IwAR3vUDeZfdN_c01nBRyW8qdTr3tzLVEG9lgAUi7RlFJji eyJSVSp_NQBTMs
- Grimble, M. J., Johnson, M. A., Bianchi, F. D., Mantz, R. J., & De Battista, H. (2007). *The Wind And Wind Turbines*. Springer.

- Hatziargyriou, N., & Zervos, A. (2001). Wind power development in Europe. *IEEE*.
- Hersbach, H. B. (2020). The ERA5 global reanalysis. doi:<https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- 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*.
- Lothian, A. (2008). Scenic perceptions of the visual effects of wind farms on South Australian landscapes. *Geographical Research*.
- Mabel, M., & Fernandez, E. (2008). Growth and future trends of wind energy in India. *Elsevier*.
- Michel, J., Dunagan, H., Boring, C., Healy, E., Evans, W., Dean, J. M., & Hain, J. (2007). Worldwide synthesis and analysis of existing information regarding environmental effects of alternative energy uses on the outer continental shelf. US Department of the Interior, Minerals Management Service.
- Modi, V. J., & Fernando, M. S. (1989). On the Performance of the Savonius Wind Turbine. *ASME*.
- Möller, B. (2006). Changing wind-power landscapes: regional assessment of visual impact on land use and population in Northern Jutland, Denmark.
- National Geographic* . (2022). Ανάκτηση από NATIONAL GEOGRAPHIC | Resource Library: Hydroelectric Energy
- National Geographic*. (2022). Ανάκτηση FEBRUARY 2022, από NATIONAL GEOGRAPHIC | Resource Library: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/non-renewable-energy/>
- Njock Libii, J. (2013). Comparing the calculated coefficients of performance of a class of wind turbines that produce power between 330 kW and 7,500 kW. WTETE.
- Nunez, C. (2019, JANUARY 30). *NATIONAL GEOGRAPHIC | REFERENCES*. Ανάκτηση από NATIONAL GEOGRAPHIC: <https://www.nationalgeographic.com/environment/energy/reference/renewable-energy>
- Oerlemans, S., Sijtsma, P., & López, B. M. (2007). Location and quantification of noise sources on a wind turbine. *Journal of sound and vibration*.
- Osinski, R. D., & Radtke, H. (2019). Ensemble hindcasting of wind and wave conditions with WRF and Wavewatch III® driven by ERA5. *Ocean Science Discussions*.
- Pao, L. Y., & Johnson, K. E. (2011). Control of wind turbines: APPROACHES, CHALLENGES, AND RECENT DEVELOPMENTS. *IEEE Control Systems Magazine*.
- Pedersen, E., & Larsman, P. (2008). The impact of visual factors on noise annoyance

- among people living in the vicinity of wind turbines. *Journal of Environmental Psychology*.
- Pereković, P., Dželdumović, M., & Miškić Domislić, M. (2014). Wind farms and landscape visual overload. *Geoadria*.
- Rowcroft, J., Burton, D., Blackburn, H., & Sheridan, J. (2015). *Wind Turbine Siting on Rugged Cliffs*. 17th Australasian Wind Engineering Society Workshop.
- Saad, M. (2014). Comparison of Horizontal Axis Wind Turbines and Vertical Axis Wind Turbines. *International Organization of Scientific Research*.
- Soter, S., & Wegener, R. (2007). Development of Induction Machines in Wind Power Technology. *IEEE*.
- Sovacool, B. K. (2017). Contestation, contingency, and justice in the nordic low-carbon energy transition. *Elsevier*.
- Sperling, K., Hvelplund, F., & VadMathiesen, B. (2010). Evaluation of wind power planning in Denmark – Towards an integrated perspective. *Elsevier*.
- The Global Wind Atlas. (2017). Global Wind Atlas 2.0, . The Technical University Of Denmark (DTU) In Partnership With The World Bank Group, Utilizing Data Provided By Vortex.
- The International Renewable Energy Agency. (2017). *Renewable Energy Statistics 2017*.
- Tummala, A., Kishore Velamati, R., Kumar Sinha, D., Indraja, V., & Krishna, V. H. (2015). A review on small scale wind turbines. *Elsevier*.
- Walford, C. A. (2006). Wind Turbine Reliability: Understanding and Minimizing Wind Turbine Operation and Maintenance Costs. *Sandia National Laboratories*.
- Wilson, W. (2006). Interference of wind turbines with wide area communications. Black & Veatch.
- WindEurope. (2020). *Wind energy in Europe in 2019*. WindEurope.
- World Wind Energy Association. (2010). *World wind energy installed capacity*. World Wind Energy Association. Ανάκτηση από <http://www.wwindea.org>
- Αιολική Γη. (2022). *Αιολική Γη Α.Ε.* Ανάκτηση από Αιολική Γη Α.Ε.: www.aiolikigi.gr/el/
- Αλεξανδρίδης, Α. (2010). Τεχνολογίες Ελέγχου στα Αιολικά Συστήματα. Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Αμανατίδης, Ε. (2022). Παρουσίαση: Αιολικό Δυναμικό. Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Γαλανού, Α. Ζ. (2012, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ). ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ – ΣΥΓΚΡΙΣΗ. ΑΘΗΝΑ: ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ.
- Γκικόκας, Κ. Α. (2021). Αιολική Ενέργεια στην Ελλάδα: Κίνδυνοι και προοπτικές από την

- εφαρμογή του Ευρωπαϊκού “Green Deal”. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Γκόνος, Κ., & Ζούρος, Ι. (2021). Περιγραφή Σύγχρονων Ανεμογεννητριών. Πανεπιστήμιο Πατρών.
- ΕΛΕΤΑΕΝ. (2022). Ask4Wind. Ανάκτηση από <https://ask4wind.gr/tech-myth04>
- Ευστρατιάδης, Α., & Μαμάσης, Ν. (2021). Εισαγωγή Στην Ενεργειακή Τεχνολογία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Ιωάννα, Σ. (2021, 7 30). Πυρηνική Ενέργεια :πόσο αποτελεσματική μπορεί να είναι ;. Ελλάδα.
- Καλδέλλης, Κ. Ι. (2005). Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας. Εκδόσεις Σταμούλη.
- Κανελλοπούλου, Ε. Α. (2008). *Ήπιες μορφές ενέργειας*. Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.
- Καραγκούνης, Α. (2017, Φεβρουάριος). Υπολογισμός αιολικού δυναμικού στην Ελλάδα με τη χρήση αριθμητικού μοντέλου. Θεσσαλονίκη: ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.
- Καραλής, Ι. (1969). Τύποι καιρού στην Ελλάδα.
- Κατσούλας, Ι. (2021). Αειφόρος ανάπτυξη και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Το Ευρωπαϊκό και Εθνικό Νομοθετικό Πλαίσιο. Πάντειο Πανεπιστήμιο.
- Κυρανάκη, Ν. (2017). Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στα φωτοβολταϊκά. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Κυρίος, Γ. (2018). Κύριος Γεώργιος, Αιολικό πάρκο – Μελέτη και ανάλυση της λειτουργίας των ανεμογεννητριών. ΤΕΙ Δυτικής Αττικής.
- Μαχαίρας, Π., & Μπαλαφούτης, Χ. (1997). *Γενική κλιματολογία με στοιχεία μετεωρολογίας*. University Studio Press.
- Μπάης, Α. (2014). *Πηγές Ενέργειας στο Περιβάλλον*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Μπαλής, Δ. (2021). *huffingtonpost.gr*. Ανάκτηση από Huffington Post: https://www.huffingtonpost.gr/entry/mytilineos-kai-cip-anaptessoen-eperaktia-aiolika-parka-sten-ellada_gr_60dd808de4b070f97b39a5c4
- Μπινόπουλος, Ε., & Χαβιαρόπουλος, Π. (2006). Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αιολικών πάρκων: Μύθος και πραγματικότητα. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ).
- Παπαζώτος, Ι., & Χρόνη, Μ. (2016). Μελέτη και Ανάπτυξη Αιολικού Πάρκου Ισχύος 2.2 MW. *Wind farm*.
- Ριζιώτης, Β. (2022). Αιολική Ενέργεια. ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ.
- Σιμιδαλάς, Γ., & Σταμόπουλος, Κ. (2018). Ανεμογεννήτριες και Αιολικά Πάρκα. Πανεπιστήμιο Πατρών.

- Σφακιανάκη, Κ. (2009). Η Τεχνολογία και το Αδειοδοτικό πλαίσιο ανάπτυξης Αιολικών συστημάτων στην Ελλάδα. ΤΕΙ Κρήτης.
- Ταβουλάρης, Ν. (2017). Κώδικες δικτύων και ρύθμιση συχνότητας μέσω υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά.
- Τάγκας, Ε. (2019). Αρχές Γεωτεχνικού Σχεδιασμού Ανεμογεννήτριας. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Τζάφος, Σ. (2015). Κατανομημένη πράσινη ηλεκτρική ενέργεια και οι προηγμένες δικτυακές υποδομές για τη διαχείριση και την οικονομία της. Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Τσέτσου, Α. (2021, Σεπτέμβριος). Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την χρήση και εγκατάσταση ανεμογεννητριών για την εμπορική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αθήνα: Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.
- Υπουργείο Ανάπτυξης & Περιβάλλοντος. (2008). Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού Και Αειφόρου Ανάπτυξης Για Τις Ανανεώσιμες Πηγες Ενέργειας, άρθρα 4-9.
- Υπουργείο Ανάπτυξης. (2022). Εξοικονόμηση και Ορθολογική Χρήση Ενέργειας. Ανάκτηση από <http://www.cres.gr/energy-saving/>

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ, ΠΙΝΑΚΩΝ, ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ, ΣΧΗΜΑΤΩΝ & ΧΑΡΤΩΝ

Εικόνα 1 Ετήσιες εκπομπές CO ₂ το 2020 λόγω του άνθρακα	9
Εικόνα 2 Μορφές φυσικού αερίου (Canadian Association of Petroleum Producers, 2022)	12
Εικόνα 3 Στροβιλισμοί του αέρα (Αμανατίδης, 2022)	30
Εικόνα 4 Πρώτη αιολική μηχανή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	33
Εικόνα 5 Τα βασικά τμήματα μίας ανεμογεννήτριας (Ε.Γ.Κ.Π.)	34
Εικόνα 6 Από αριστερά προς δεξιά: γεννήτρια, ηλεκτρικό κύκλωμα, ελεγκτήρας βήματος πτερυγίου, πτερύγια, άρθρωση πτερυγίου, δρομέας, άξονας δρομέα, άτρακτος, οδηγός αποφυγής εκτροπής, πύργος στήριξης.....	36
Εικόνα 7 Από αριστερά προς δεξιά: γεννήτρια, ηλεκτρικό κύκλωμα, ελεγκτήρας βήματος πτερυγίου, πτερύγια, άρθρωση πτερυγίου, δρομέας, άξονας δρομέα, άτρακτος, οδηγός αποφυγής εκτροπής, πύργος στήριξης.....	37
Εικόνα 8 Ταξινόμηση βάση πύργου κατασκευής (Ευστρατιάδης & Μαμάσης, 2021)	45
Εικόνα 9 Θαλάσσιες-offshore ανεμογεννήτριες (Ευστρατιάδης & Μαμάσης, 2021) .	45
Εικόνα 10 Παραγόμενη ισχύ αιολικών μηχανών (Tummala, Kishore Velamati, Kumar Sinha, Indraja, & Krishna, 2015).....	46
Εικόνα 11 Μηχανές οριζόντιου και κάθετου άξονα (Σιμιδαλάς & Σταμόπουλος, 2018)	47

Εικόνα 12 Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα (Σιμιδαλάς & Σταμόπουλος, 2018)	48
Εικόνα 13 VAWT: a) Savonius, b) Darrieus (researchgate.net).....	50
Εικόνα 14 Χάρτης μέσω ταχυτήτων ανέμου στην Ευρώπη 100 μέτρα πάνω από το έδαφος (The Global Wind Atlas, 2017).....	63
Εικόνα 15 Τα αιολικά πάρκα στην Ελλάδα (ΕΛΕΤΑΕΝ, 2022)	68
Εικόνα 16 Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος Ελλάδας για κάθε περιφέρεια (ΕΛΕΤΑΕΝ, 2022)	69
Εικόνα 17 Δεδομένα επαν-ανάλυσης σε grid points	90
Εικόνα 18 Join and relates	91
Εικόνα 19 Καρτέλα Symbolology	92

Πίνακας 1 Ταξινόμηση βάση μεγέθους δρομέα.....	46
Πίνακας 2 Ανάλυση δεδομένων από εταιρίες ανακύκλωσης (Andersen et al., 2014).....	52
Πίνακας 3 Νέες προσθήκες για το 2019 και η συνολική ισχύς (WindEurope, 2020) ..	66
Πίνακας 4 Σχέση παραγόμενης ενέργειας και καταλαμβανόμενης έκτασης ανά μορφή ενέργειας (The International Renewable Energy Agency, 2017).....	77
Πίνακας 5 Ιστορικό δεδομένων re-analysis από το ECMWF (Hersbach et al., 2020) ..	86
Πίνακας 6 Εκατοστιαία κατανομή της τιμής t.....	89

Διάγραμμα 1 Ταχύτητες ανέμου συναρτήσει του χρόνου (Αμανατίδης, 2022)	27
Διάγραμμα 2 Ροδόγραμμα με τις διευθύνσεις του ανέμου (Αμανατίδης, 2022).....	28
Διάγραμμα 3 Λογαριθμική αύξηση της ταχύτητας του ανέμου σε μικρή απόσταση από την επιφάνεια (Αμανατίδης, 2022).....	29
Διάγραμμα 4 Κατανομή πυκνότητας πιθανότητας των ταχυτήτων του ανέμου κατά Weibull (Αιολική Γη, 2022).....	31
Διάγραμμα 5 Η ετήσια πορεία εγκατάστασης παραγωγής ισχύος (Hatziaργyριου & Zervos, 2001).....	55
Διάγραμμα 6 Οι 10 ισχυρότερες χώρες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Hatziaργyριου & Zervos, 2001)	56
Διάγραμμα 7 Εξέλιξη Αιολικού Δυναμικού στις μεγαλύτερες χώρες της ΕΕ (Sperling, Hvelplund, & VadMathiesen, 2010).....	57
Διάγραμμα 8 Χρονική κατανομή των παραγωγικών εγκαταστάσεων όλων των τεχνολογιών στην ΕΕ (1995-2009) (Eurostat, 2010)	58
Διάγραμμα 9 Αναλογία offshore-onshore εγκαταστάσεων στην Ευρώπη από το 2009 έως το 2019 (WindEurope, 2020)	59
Διάγραμμα 10 Αναλογία offshore-onshore εγκαταστάσεων στην Ευρώπη το 2019 και η παραγωγή ισχύος για τις ευρωπαϊκές χώρες (WindEurope, 2019)	60
Διάγραμμα 11 Ποσοστά κάλυψης αναγκών ηλεκτρικού ρεύματος μέσω αιολικών εγκαταστάσεων (WindEurope, 2020)	61
Διάγραμμα 12 Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος Ελλάδας για κάθε περιφέρεια	69

Σχήμα 1 Δυνάμεις που ασκούνται στο στοιχείο πτερυγίου (Grimble et al., 2007).....	40
Σχήμα 2 Τυπικές τιμές CP, CQ για ανεμογεννήτριες σταθερών ταχυτήτων (Grimble,	

Johnson, Bianchi, Mantz, & De Battista, 2007).....	42
Σχήμα 3 Οριακές ταχύτητες ανέμου και η εκτιμητέα ισχύς (Josué Njock Libii, 2013)	43

Χάρτης 1 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Ιανουάριο από το 1979 έως το 2019.....	94
Χάρτης 2 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Φεβρουάριο από το 1979 έως το 2019.....	95
Χάρτης 3 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Μάρτιο από το 1979 έως το 2019.....	96
Χάρτης 4 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Απρίλιο από το 1979 έως το 2019.....	97
Χάρτης 5 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Μάιο από το 1979 έως το 2019	98
Χάρτης 6 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Ιούνιο από το 1979 έως το 2019	99
Χάρτης 7 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Ιούλιο από το 1979 έως το 2019	100
Χάρτης 8 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Αύγουστο από το 1979 έως το 2019.....	101
Χάρτης 9 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Σεπτέμβριο από το 1979 έως το 2019.....	102
Χάρτης 10 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Οκτώβριο από το 1979 έως το 2019.....	103
Χάρτης 11 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Νοέμβριο από το 1979 έως το 2019.....	104
Χάρτης 12 Μέσες ταχύτητες ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Δεκέμβριο από το 1979 έως το 2019.....	105
Χάρτης 13 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Ιανουάριο από το 1979 έως το 2019 (κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)	106
Χάρτης 14 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Φεβρουάριο από το 1979 έως το 2019 (κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)	107
Χάρτης 15 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Μάρτιο από το 1979 έως το 2019 (κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)	108
Χάρτης 16 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Απρίλιο από το 1979 έως το 2019 (κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)	109
Χάρτης 17 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Μάιο από το 1979 έως το 2019 (κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)	110
Χάρτης 18 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Ιούνιο από το 1979 έως το 2019	

(κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)	111
Χάρτης 19 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Ιούλιο από το 1979 έως το 2019 (κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)	112
Χάρτης 20 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Αύγουστο από το 1979 έως το 2019 (κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)	113
Χάρτης 21 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Σεπτέμβριο από το 1979 έως το 2019 (κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)	114
Χάρτης 22 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Οκτώβριο από το 1979 έως το 2019 (κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)	115
Χάρτης 23 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Νοέμβριο από το 1979 έως το 2019 (κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)	116
Χάρτης 24 Τάσεις ανέμου ανά δήμο για τον μήνα Δεκέμβριο από το 1979 έως το 2019 (κόκκινο: τάσεις αύξησης, πράσινο: τάσεις μείωσης, άσπρο: μη αξιόλογες μεταβολές)	117