



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων»

Μιζάκη Ολυμπία

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Καραθανάση Βασιλεία

Αθήνα, Ιούλιος 2023

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τη χαρά μου, που μέσω της παρούσας διπλωματικής εργασίας, γνώρισα την καθηγήτρια Βασιλεία Καραθανάση, της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών – Μηχανικών Γεωπληροφορικής. Θα ήθελα να την ευχαριστήσω για την παρακίνησή της, την εμπιστοσύνη της καθώς και για την καθοδήγησή της σε επιστημονικό και προσωπικό επίπεδο.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης, τους καθηγητές Κωνσταντίνο Καραντζαλο και Μαρία Παπαδοπούλου, της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής, για την προθυμία τους και το χρόνο που αφιέρωσαν για την αξιολόγηση της εργασίας μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθένα από εσάς ξεχωριστά, Κατερίνα και Βασίλη, για τη φροντίδα σας και τη συνεχή προτροπή σας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων. Αρχικά, παρουσιάζονται οι έννοιες που σχετίζονται με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, εμβαθύνοντας στην υπεράκτια αιολική ενέργεια, των μέσων εκμετάλλευσής της και των φυσικών νόμων που τη διέπουν και στις βασικές αρχές τηλεπισκόπησης, με έμφαση στους δορυφόρους Sentinel-1 και Sentinel-3. Στη συνέχεια, γίνεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση σε προγενέστερες μελέτες που αφορούν τον υπολογισμό του αιολικού δυναμικού από τους δορυφόρους Sentinel-1 και Sentinel-3 και την αξιολόγηση εγκατάστασης θαλάσσιων αιολικών πάρκων. Επιλέγεται η καταλληλότερη περιοχή για εγκατάσταση υπεράκτιου αιολικού πάρκου, λαμβάνοντας υπόψη τα οριζόμενα του Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας κι άλλες περιβαλλοντικές, κοινωνικές, οικονομικές και τεχνικές παραμέτρους. Η επεξεργασία, ανάλυση και απόδοσή τους γίνεται σε περιβάλλον Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών. Για την επιλεγείσα περιοχή, ανακτώνται τα χαρακτηριστικά του ανέμου από τους δορυφόρους Sentinel-1 και Sentinel-3, επεξεργάζονται, χαρτογραφούνται και αναλύονται στατιστικά. Λαμβάνοντας υπόψη τα ανεμολογικά δεδομένα που προέκυψαν από τους δύο δορυφόρους, γίνεται η χωροθέτηση του υπεράκτιου αιολικού πάρκου βόρεια του Αγίου Ευστρατίου και υπολογίζεται η ενεργειακή του απόδοση. Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα, οι προβληματισμοί και οι προτάσεις για ενδεχόμενη μελλοντική έρευνα.

Λέξεις κλειδιά: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Υπεράκτια αιολική ενέργεια, Υπεράκτιες αιολικές εγκαταστάσεις, Τηλεπισκόπηση, Δορυφόρος Sentinel-1, Δορυφόρος Sentinel-3 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, Χωροθέτηση

ABSTRACT

The subject of this thesis is the contribution of sentinel remote sensing data to the assessment of areas for the installation of offshore wind farms. First, the concepts related to renewable energy sources are introduced, focusing on offshore wind energy, its potential uses and underlying physical laws, and the basic principles of remote sensing, with emphasis on the Sentinel-1 and Sentinel-3 satellites. A literature review of previous studies on the calculation of wind potential by the Sentinel-1 and Sentinel-3 satellites and on the assessment of offshore wind farms is then provided. The most suitable area for the construction of an offshore wind farm is selected, considering the provisions of the Framework for Spatial Planning and Sustainable Development for Renewable Energy Sources, as well as other environmental, social, economic and technical parameters. Its processing, analysis and implementation are carried out in an environment with Geographic Information Systems. For the selected area, wind data are retrieved from the Sentinel-1 and Sentinel-3 satellites, processed, mapped, and statistically analyzed. Considering the wind data obtained from the two satellites, the location of the offshore wind farm north of Aghios Ephstratios is determined and its energy efficiency is calculated. Finally, the conclusions, difficulties and suggestions for possible future research are presented.

Key words: Renewable energy, Offshore wind energy, Remote Sensing, Sentinel-1 Satellite, Sentinel-3 Satellite, Geographic Information Systems, Positioning

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ABSTRACT	3
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
1.ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	12
1.1 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	12
1.1.1 ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	13
1.1.2 ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ	14
1.1.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ.....	15
1.1.4 ΥΠΕΡΑΚΤΙΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ.....	20
1.1.5 ΦΥΣΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	22
1.1.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	24
1.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ.....	26
1.2.1 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΟΙ ΔΕΚΤΕΣ.....	26
1.2.2 ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΟΥ ΔΕΚΤΗ	29
1.2.3 ΤΡΟΧΙΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ	31
1.2.4 ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ COPERNICUS	32
1.2.5 ΤΑ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	34
2.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	46
3.ΕΙΔΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΙ ΑΛΛΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΥΠΕΡΑΚΤΙΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ	51
3.1 ΕΙΔΙΚΟ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ	51
3.1.1 ΣΚΟΠΟΣ	51
3.1.2 ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΙΔΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ.....	51
3.1.3 ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ	55
3.1.4. ΖΩΝΕΣ ΑΠΟΚΛΕΙΣΜΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΕΙΔΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ	56
3.2 ΑΛΛΕΣ ΚΑΘΟΡΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ	57

4. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΟΛΟΣΗ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΑΘΟΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ.....	58
4.1 ΒΑΘΟΣ ΤΟΥ ΒΥΘΟΥ	58
4.2 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ.....	60
4.3 ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΟΧΕΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ NATURA 2000.....	61
4.4 ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ.....	64
4.5 ΓΡΑΜΜΕΣ ΝΑΥΣΙΠΛΟΪΑΣ	65
4.6 ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗ.....	66
4.7 ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΑ	66
4.8 ΔΙΕΘΝΗ – ΧΩΡΙΚΑ ΥΔΑΤΑ	67
4.9 ΖΩΝΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	67
4.10 ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΛΙΜΕΝΕΣ.....	68
4.11 ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ.....	69
5.ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΥΠΕΡΑΚΤΙΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ.....	70
6. ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥΣ SENTINEL.....	1
6.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΕΜΟΥ ΑΠΟ ΤΟΝ ΔΟΡΥΦΟΡΟ SENTINEL-1.....	1
6.1.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ SENTINEL-1 ΜΕΣΩ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ SNAP	5
6.1.2 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΙ ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ SENTINEL-1 ΜΕΣΩ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ Q-GIS	6
6.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΕΜΟΥ ΑΠΟ ΤΟΝ ΔΟΡΥΦΟΡΟ SENTINEL-3.....	8
6.2.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ SENTINEL-3 ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ BRAT.....	9
7. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ SENTINEL	11
7.1 ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ SENTINEL-1 ΚΑΙ SENTINEL-3.....	11
7.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΤΙΜΗΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ 10Μ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	13
7.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΤΙΜΗΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΣΤΟ ΥΨΟΣ ΠΛΗΜΝΗΣ ΤΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ	14
7.4 ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ.....	18
8. ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ	19
8.1 ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ.....	19
8.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ ΥΠΕΡΑΚΤΙΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ	23
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	25
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	27
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	32

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Εικόνα 1:Πρώτο θαλάσσιο αιολικό πάρκο, Δανία 1991 (Πηγή: http://maquinasdebarcos.blogspot.com/2015/10/energia-eolica-marina-buques_11.html)...	14
Εικόνα 2: Ανεμογεννήτρια La Cour (Πηγή: Κάραλης, 2021)	15
Εικόνα 3:Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα (Πηγή: Cazzaro D. et.al, 2013	16
Εικόνα 4: Πλωτή ανεμογεννήτρια στη Νορβηγία 1MW κατακόρυφου άξονα (Πηγή ιστοσελίδας: https://seatwirl.com/news/new-video-from-seatwirl/)	16
Εικόνα 5: Ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα (Πηγή: mountaincrane.com).....	17
Εικόνα 6: Υπεράκτια ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα (Πηγή: Damien Meyer, AFP)	20
Εικόνα 7: Τύποι θεμελίωσης υπεράκτιων ανεμογεννητριών (Πηγή: Josh Bauer, National Renewable Energy Labatory)	21
Εικόνα 8: Ενεργητικός τηλεπισκοπικός δέκτης (Πηγή: https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/outreach/funfacts/txt_passive_active.html)	26
Εικόνα 9: Παθητικός τηλεπισκοπικός δέκτης (Πηγή: https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/outreach/funfacts/txt_passive_active.html)	27
Εικόνα 10: Γεωστατική τροχιά (Πηγή: https://www.sciencephoto.com/media/441483/view/geostationary-orbit-diagram).....	31
Εικόνα 11: Πολική τροχιά (Πηγή: https://apollo.nvu.vsc.edu/classes/met130/notes/chapter5/polar.html)	31
Εικόνα 12: Ηλιοσύγχρονη τροχιά (Πηγή: https://www.gktoday.in/sun-synchronous-orbit/).....	31
Εικόνα 13: Ο δορυφόρος Sentinel-1 (Πηγή: https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1)	34
Εικόνα 14: Όργανο SRAL (Πηγή: https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-3-altimetry/instrument/sral)	45
Εικόνα 15: Περιβάλλον Copernicus Services Data Hub	74
Εικόνα 16: Περιβάλλον Sentinel Application Platform (SNAP)	77
Εικόνα 17: Παράδειγμα προϊόντος Sentinel-1 OCN. Επεξεργασμένος χάρτης ταχύτητας ανέμου και κατεύθυνσης για την εικόνα 29 Μαΐου 2023	78
Εικόνα 18: Εικόνα Raster του δορυφόρου Sentinel-1 στο λογισμικό Q-GIS	78
Εικόνα 19: Περικομμένη εικόνα Raster στα όρια της περιοχής μελέτης	78
Εικόνα 20: Μηδενικές τιμές των εικονοστοιχείων στα όρια της εικόνας Sentinel-1	79
Εικόνα 21: Παράδειγμα της κατεύθυνσης του ανέμου στα όρια της περιοχής μελέτης	79
Εικόνα 22: Παράδειγμα τιμών του μέτρου της ταχύτητας του ανέμου στα όρια της περιοχής μελέτης	79
Εικόνα 23: Περιβάλλον EUMESAT του Copernicus	80
Εικόνα 24: Περιβάλλον Broadview Radar Toolbox (BRAT)	81
Εικόνα 25: Εκτέλεση αλγορίθμου wind_speed στο λογισμικό BRAT	82
Εικόνα 26: Εκτύπωση διάγραμμα με το μέτρο της ταχύτητας του ανέμου στο λογισμικό BRAT ..	82
Εικόνα 27: Χωροθέτηση ανεμογεννητριών.....	92
Εικόνα 28: Φωτορεαλιστική απεικόνιση υπεράκτιου αιολικού πάρκου βόρεια του Αγ. Ευστατίου	94
Εικόνα 29 Φωτορεαλιστική απεικόνιση υπεράκτιου αιολικού πάρκου νότια της Ν. Λήμνου	94
Εικόνα 30: Φωτορεαλιστική απεικόνιση του υπεράκτιου αιολικού πάρκου από τον οικισμό του Αγ. Ευστατίου	95

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 1: Χάρτης απεικόνισης του βάθους βυθού από 0 έως 50μ. σε υπόβαθρο Bing Satellite	59
Χάρτης 2: Χάρτης απεικόνισης του βάθους βυθού από 0 έως 50μ. με εστίαση σε περιοχές ενδιαφέροντος σε υπόβαθρο Bing Satellite.....	59
Χάρτης 3: Χάρτης απεικόνισης του βάθους βυθού από 0 έως 300μ. σε υπόβαθρο Bing Satellite	60
Χάρτης 4: Χάρτης απεικόνισης μέσης τιμής αιολικού δυναμικού 100μ. πάνω από τη Μ.Σ.Θ. (Μυλωνάκης, 2023).....	60
Χάρτης 5: Χάρτης απεικόνισης του δικτύου NATURA 2000 (Πηγή δεδομένων: europa.eu)	62
Χάρτης 6: Χάρτης απεικόνισης περιοχών Ζ.Ε.Π. με εφαρμογή buffer zone 2km	63
Χάρτης 7: Χάρτης απεικόνισης μεταναστευτικών διαδρόμων πουλιών (Πηγή δεδομένων: Ελληνική Ορνιθολογική Εταιρεία)	63
Χάρτης 8: Χάρτης απεικόνισης στρατιωτικών ζωνών (Πηγή δεδομένων: Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού)	64
Χάρτης 9: Χάρτης απεικόνισης γραμμών ναυσιπλοΐας (Πηγές δεδομένων: Google Traffic, OSM Standard και EMODnet).....	65
Χάρτης 10: Χάρτης απεικόνισης αεροδρομίων και ζωνών 10km (Πηγή δεδομένων: geodata.gov.gr)...	66
Χάρτης 11: Χάρτης απεικόνισης ενεργών ρηγμάτων της Ερευνητικής Ομάδας Γεωλογίας των Σεισμών του Α.Π.Θ.	67
Χάρτης 12: Χάρτης απεικόνισης λιμένων (Πηγή δεδομένων: EMODnet)	68
Χάρτης 13: Χάρτης των ηλεκτρικών διασυνδέσεων του ΑΔΜΗΕ έως το 2030 (Πηγή: https://www.sdam.gr/node/161)	69
Χάρτης 14: Χάρτης απεικόνισης περιοχών αποκλεισμού	70
Χάρτης 15: Χάρτης απεικόνισης λιβαδιών ποσειδωνίας (Πηγή: EMODnet.ec.europa.eu)	71
Χάρτης 16: Χάρτης απεικόνισης περιοχής μελέτης	72

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Πίνακας τυπικών τιμών παραμέτρων τραχύτητας για διάφορες φυσικές επιφάνειες	24
Πίνακας 2: Πίνακας αποστάσεων αιολικού έργου από γειτνιάζουσες χρήσεις γης, δραστηριότητες και δίκτυα τεχνικής υποδομής	55
Πίνακας 3: Πίνακας αποστάσεων από περιοχές περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος	55
Πίνακας 4: Πίνακας αποστάσεων από οικιστικές δραστηριότητες	56
Πίνακας 5: Πίνακας αποστάσεων από δίκτυα τεχνικής υποδομής και ειδικών χρήσεων	56
Πίνακας 6: Πίνακας αποστάσεων από εγκαταστάσεις παραγωγικών δραστηριοτήτων.....	56
Πίνακας 7: Πίνακας συντεταγμένων κορυφών περιοχής	72
Πίνακας 8: Πίνακας προϊόντων Sentinel-1.....	76
Πίνακας 9: Πίνακας προϊόντων Sentinel-3.....	81
Πίνακας 10: Πίνακας αποτελεσμάτων επεξεργασίας προϊόντων του δορυφόρου Sentinel-1 (Υψός αναφοράς 10m από την επιφάνεια της θάλασσας)	85
Πίνακας 11: Πίνακας αποτελεσμάτων επεξεργασίας προϊόντων του δορυφόρου Sentinel-3 (Υψός αναφοράς 10m από την επιφάνεια της θάλασσας)	85
Πίνακας 12: Μέση μηνιαία τιμή του μέτρου της ταχύτητας του ανέμου (Υψος αναφοράς 10m από την επιφάνεια της θάλασσας).....	86
Πίνακας 13: Πίνακας αποτελεσμάτων επεξεργασίας προϊόντων του δορυφόρου Sentinel-1 (Υψός αναφοράς 250m από την επιφάνεια της θάλασσας)	88
Πίνακας 14: Πίνακας αποτελεσμάτων επεξεργασίας προϊόντων του δορυφόρου Sentinel-3 (Υψός αναφοράς 250m από την επιφάνεια της θάλασσας)	89
Πίνακας 15: Μέση μηνιαία τιμή του μέτρου της ταχύτητας του ανέμου (Υψος αναφοράς 10m από την επιφάνεια της θάλασσας).....	89
Πίνακας 16: Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας V236-15MW	91
Πίνακας 17: Πίνακας συντεταγμένων κορυφών ανεμογεννητριών (ΕΓΣΑ '87).....	93

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Διάγραμμα εγκατεστημένης αιολικής ισχύος ανά έτος (Πηγή δεδομένων: statista.com).....	14
Σχήμα 2: Κύρια μέρη ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα (Πηγή: Κάραλης, 2021).....	19
Σχήμα 3: Ενέργεια και ισχύς του ανέμου (Κάραλης, n.d.).....	23
Σχήμα 4: Καμπύλη ισχύος (Παπαθανασίου, n.d.)	25
Σχήμα 5: Σύστημα πλευρικής σάρωσης (Πηγή: https://www.onestopgis.com/Aerial-Photography/Digital-Imaging/Sensors/1-Remote-Sensing-Systems.html)	28
Σχήμα 6: Σύστημα σάρωσης διαγραμμιζόμενης τροχιάς (Πηγή: https://www.onestopgis.com/Aerial-Photography/Digital-Imaging/Sensors/1-Remote-Sensing-Systems.html)	28
Σχήμα 7: Σύστημα σάρωσης διαμήκου τροχιάς (Πηγή: https://www.onestopgis.com/Aerial-Photography/Digital-Imaging/Sensors/1-Remote-Sensing-Systems.html)	28
Σχήμα 8: Χωρική διακριτική ικανότητα (Πηγή: Advanced Remote Sensing, 2020)	29
Σχήμα 9: Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (Πηγή: Advanced Remote Sensing, 2020).....	30
Σχήμα 10: Λειτουργίες του δορυφόρου Sentinel-1 (Πηγή: https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/instrument-payload)	37
Σχήμα 11: Αναπαράσταση βασικών προϊόντων Sentinel-1 (Πηγή: https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/data-products).....	38
Σχήμα 12: https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3/data-products).....	43
Σχήμα 13: Ανεμόροδο.....	90
Σχήμα 14: Διάγραμμα ετήσιας ενεργειακής απόδοσης της ανεμογεννήτριας.....	95

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι κοινός τόπος ότι το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής αποτέλεσε ακρογωνιαίο λίθο για την αναζήτηση εναλλακτικών βιώσιμων τρόπων παραγωγής ενέργειας. Η παραγωγή ενέργειας, μέσω εναλλακτικών, ανανεώσιμων πηγών προάγουν την αειφορία, είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και πρακτικά ανεξάντλητες αφού εκμεταλλεύονται φυσικά πηγές, που βρίσκονται σε αφθονία στο περιβάλλον (άνεμος, ήλιος, νερό κ.α.). Από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ξεχωριστή θέση, κατέχει η αιολική ενέργεια.

Η αιολική ενέργεια είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη σε ολόκληρο τον κόσμο και αξιοποιείται κυρίως μέσω των χερσαίων αιολικών πάρκων. Το γεγονός αυτό, έχει αρχίσει να δημιουργεί έναν κορεσμό στην εύρεση κατάλληλων χερσαίων εκτάσεων για αιολικές εγκαταστάσεις. Τα τελευταία χρόνια, η επιστημονική κοινότητα, στράφηκε προς το θαλάσσιο περιβάλλον που προσδίδει μεγαλύτερη ελευθερία στην εγκατάσταση αιολικών πάρκων λόγω του καλύτερου αιολικού δυναμικού. Η ανάπτυξη των υπεράκτιων αιολικών πάρκων, συγκεντρώνει πολλά πλεονεκτήματα έναντι των χερσαίων κι έρχεται να δώσει λύση σε πολλά ζητήματα.

Βασικό κριτήριο χωροθέτησης ενός αιολικού πάρκου, είναι η ένταση του αιολικού δυναμικού. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, η ανάλυση των χαρακτηριστικών του ανέμου γίνεται μέσω τηλεπισκοπικών δεδομένων και συγκεκριμένα, μέσω των δορυφόρων Sentinel-1 και Sentinel-3. Οι τεχνολογίες της τηλεπισκόπησης, μπορούν να βοηθήσουν σημαντικά στην ανάπτυξη υπεράκτιων αιολικών πάρκων και να αποτελέσουν έναν έγκυρο πόρο για τον καλύτερο σχεδιασμό λύσεων αιολικής ενέργειας.

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από 9 κεφάλαια.

Στο 1^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι διάφορες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας με εκτενή ανάλυση στην υπεράκτια αιολική ενέργεια, στα μέσα εκμετάλλευσής της και στους φυσικούς νόμους που τη διέπουν. Αναλύονται επίσης, οι βασικές αρχές τηλεπισκόπησης, με έμφαση στους δορυφόρους Sentinel-1 και Sentinel-3, που αναπτύσσονται στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Στο 2^ο Κεφάλαιο γίνεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση σε προγενέστερες μελέτες που αφορούν τον υπολογισμό του αιολικού δυναμικού από τους δορυφόρους Sentinel-1 και Sentinel-3 και την αξιολόγηση εγκατάστασης θαλάσσιων αιολικών πάρκων.

Στο 3^ο Κεφάλαιο, παρατίθενται τα κριτήρια χωροθέτησης υπεράκτιων αιολικών πάρκων, σύμφωνα με τα οριζόμενα του Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Στο δεύτερο μέρος του 3^{ου} Κεφαλαίου, γίνεται η ανάλυση επιπλέον κοινωνικών, περιβαλλοντικών, οικονομικών και τεχνικών παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψιν.

Στο 4^ο Κεφάλαιο, γίνεται η επεξεργασία, ανάλυση και χαρτογραφική απόδοσή των κριτηρίων του Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης καθώς και των υπόλοιπων παραμέτρων σε ξεχωριστούς θεματικούς χάρτες μέσω Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών. Έπειτα, δημιουργείται μία χαρτογραφική βάση δεδομένων, που περιέχει όλα τα θεματικά επίπεδα και παράγεται ένας γενικός χάρτης απεικόνισης της ευρύτερης περιοχής.

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

Στο 5^ο Κεφάλαιο, επιλέγεται η καταλληλότερη περιοχή εγκατάστασης υπεράκτιου αιολικού πάρκου με τη βοήθεια του γενικού χάρτη. Η περιοχή που επιλέχθηκε βρίσκεται βορειοανατολικά του Αγίου Ευστρατίου.

Στο 6^ο Κεφάλαιο, περιγράφεται η διαδικασία ανάκτησης χαρακτηριστικών ανέμου, από το δορυφόρους Sentinel-1 και Sentinel-3 μέσω εξειδικευμένων λογισμικών για την επιλεγείσα περιοχή.

Στο 7^ο Κεφάλαιο, γίνεται η στατιστική ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων της μέσης μηνιαίας ταχύτητας, η αναγωγή της στο ύψος πλήμνης της ανεμογεννήτριας και ο προσδιορισμός της κατεύθυνσης του ανέμου από το δορυφόρο Sentinel-1.

Στο 8^ο Κεφάλαιο, πραγματοποιείται η χωροθέτηση αιολικού πάρκου, απεικονίζεται φωτορεαλιστικά και εκτιμάται η ενεργειακή του απόδοση.

Στο 9^ο Κεφάλαιο, παρατίθενται τα τελικά συμπεράσματα, οι προβληματισμοί και οι προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

1.1 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) ορίζονται μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, ο ήλιος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού κ.α..

Οι κυριότερες μορφές είναι:

- Η ηλιακή (Πηγή: Ήλιος)

Η ηλιακή ενέργεια είναι η φωτεινή ακτινοβολία και θερμότητα που προέρχεται από τον ήλιο και αξιοποιείται με τη χρήση μιας σειράς συνεχώς εξελισσόμενων τεχνολογιών, όπως είναι η ηλιακή θέρμανση, τα φωτοβολταϊκά συστήματα, η ηλιακή θερμική ενέργεια, η παθητική ηλιακή αρχιτεκτονική, κ.α..

- Η αιολική (Πηγή: Άνεμος)

Η αιολική ενέργεια είναι η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου. Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας γίνεται μέσω των ανεμογεννητριών, που αποτελούν το μέσο μετατροπής της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε ηλεκτρική.

- Η βιο-ενέργεια (Πηγή: Βιομάζα – Βιοκαύσιμα)

Με τον όρο βιομάζα εννοείται κάθε οργανική ύλη που προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό κόσμο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας και ανήκει στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, γιατί τα φυτά, μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης, δομούνται μετατρέποντας την ηλιακή ενέργεια σε αποθηκευμένη χημική, η οποία αποδίδεται π.χ. κατά την καύση τους.

- Η γεωθερμία (Πηγή: Γεωθερμικά πεδία)

Γεωθερμία ή γεωθερμική ενέργεια ονομάζουμε τη φυσική θερμική ενέργεια της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια. Ο πλανήτης εκδηλώνει με ενεργητικό τρόπο την θερμική αυτή ενέργεια που περικλείει στο εσωτερικό του (σεισμοί - ηφαιστειακές εκρήξεις - θερμές πηγές - ατμίδες κλπ).

- Η υδροηλεκτρική (Πηγή: Υδατοπτώσεις)

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η ενέργεια η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του νερού των ποταμών και της μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια στροβίλων και ηλεκτρογεννητριών.

- Η θαλάσσια (Πηγή: Κύματα, ρεύματα)

Η θαλάσσια ενέργεια υπάρχει σε διάφορες μορφές στις θάλασσες και στους ωκεανούς. Αποτελεί μια ανανεώσιμη μορφή ενέργειας και μπορεί να αντληθεί με διάφορους τρόπους, οι οποίοι αξιοποιούν τη ρευστοδυναμική της περιοχής και τις φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού (θερμοκρασία, αλατότητα).

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, καθώς είναι οι μόνες πηγές ενέργειας που δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον με εκπομπές CO₂. Πέραν όμως από τα στενά πλαίσια αντιμετώπισης του φαινομένου του θερμοκηπίου, οι Α.Π.Ε. αποτελούν σημαντικό στοιχείο μίας νέας αναπτυξιακής πολιτικής και απάντηση στην πορεία προς τη βιώσιμη ανάπτυξη. Τα οφέλη που προκύπτουν από την εκμετάλλευση των Α.Π.Ε. δεν είναι μόνο περιβαλλοντικής φύσης. Η αξιοποίηση αυτών των ενδογενών ενεργειακών πόρων μπορεί να επιφέρει επίσης σημαντικές θετικές κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις στην περιφερειακή και την τοπική ανάπτυξη.

Τα βασικότερα οφέλη τους συνοψίζονται παρακάτω:

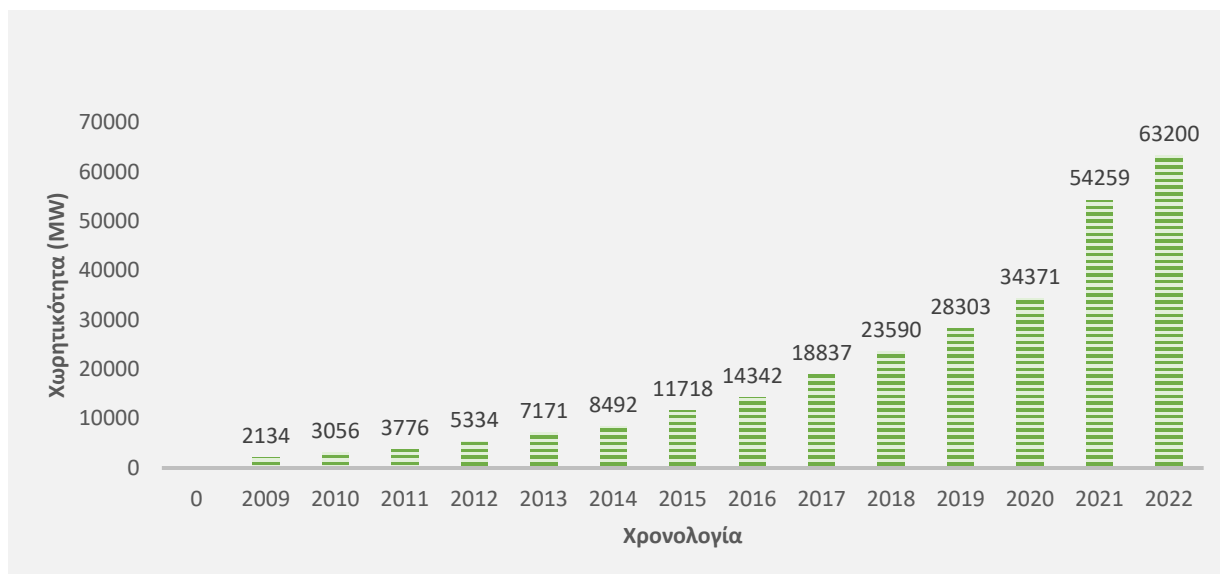
- ❖ Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους εξαντλήσιμους πόρους (κυρίως ορυκτά καύσιμα).
- ❖ Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής αυτάρκειας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο.
- ❖ Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος.
- ❖ Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- ❖ Έχουν μικρή διάρκεια κατασκευής, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας.
- ❖ Οι επενδύσεις των ΑΠΕ χαρακτηρίζονται ως «εντάσεως εργασίας», συμβάλλουν δηλαδή στη δημιουργία πολλών θέσεων εργασίας ιδιαίτερα σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο.
- ❖ Μπορούν να αποτελέσουν πόλο για την τοπική και περιφερειακή ανάπτυξη.
- ❖ Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.

1.1.1 ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η υπεράκτια αιολική ενέργεια είναι η καθαρή και ανανεώσιμη ενέργεια που λαμβάνεται με την εκμετάλλευση της δύναμης του ανέμου που παράγεται στην ανοιχτή θάλασσα, όπου φθάνει σε υψηλότερη και πιο σταθερή ταχύτητα από ό,τι στην ξηρά λόγω απουσίας εμποδίων.

Η υπεράκτια αιολική ενέργεια προσφέρει τη δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς ουσιαστική επιβάρυνση για το περιβάλλον. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις περιορίζονται κυρίως στην οπτική όχληση, σε αντίθεση με τις συμβατικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που ζημιώνουν το περιβάλλον με τα απόβλητα τους (στερεά, υγρά και αέρια) και τους πυρηνικούς σταθμούς. Η υπεράκτια αιολική ενέργεια εξ' ορισμού έχει τοπικό χαρακτήρα και επομένως συντελεί στην περιφερειακή και τοπική ανάπτυξη. Επιπλέον, είναι διαθέσιμη δωρεάν.

Η υπεράκτια εγκατεστημένη αιολική ισχύς παγκοσμίως βρίσκεται σε συνεχή ετήσια αύξηση τουλάχιστον από το 2009. Το 2022, η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς έφτασε τα 63.200MW



Σχήμα 1: Διάγραμμα εγκατεστημένης αιολικής ισχύος ανά έτος (Πηγή δεδομένων: statista.com)

Για το 2022 σχεδόν το 50% των εγκατεστημένων MW ανήκει στην Κίνα. Εντός της Ευρώπης, το Ηνωμένο Βασίλειο έχει την υψηλότερη υπεράκτια χωρητικότητα αιολικής ενέργειας, περίπου 14,5 GW. Ακολούθησαν η Γερμανία, η Ολλανδία, η Δανία και το Βέλγιο.

Η Ευρώπη είναι παγκόσμιος ηγέτης στην υπεράκτια αιολική ενέργεια, με το πρώτο υπεράκτιο αιολικό πάρκο να έχει εγκατασταθεί στη Δανία το 1991, το οποίο αποτελούταν από 11 ανεμογεννήτριες 450kW έκαστη. Η ανάπτυξη της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη αναμένεται να αυξηθεί κατά τουλάχιστον 25 φορές έως το 2030, χρησιμοποιώντας το μεγάλο αιολικό δυναμικό των πέντε θαλάσσιων λεκανών την Ευρώπης.



Εικόνα 1: Εικόνα 1: Πρώτο θαλάσσιο αιολικό πάρκο, Δανία 1991

(Πηγή: http://maquinasdebarcos.blogspot.com/2015/10/energia-eolica-marina-buques_11.html)

Στην Ελλάδα μέχρι στιγμής δεν υπάρχει εγκατάσταση υπεράκτιου αιολικού πάρκου. Το Εθνικό Σχέδιο για την ενέργεια στην Ελλάδα προβλέπει 2,7 GW υπεράκτιας αιολικής ενέργειας στη χώρα έως το 2030. Τα βαθιά νερά στην Ελλάδα δεν επιτρέπουν τεχνολογία σταθερής βάσης, όπως αναπτύχθηκε στη Βόρεια Θάλασσα και στη Βαλτική. Τα πλωτά αιολικά πάρκα θα μπορούσε να είναι το κλειδί για την εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού.

1.1.2 ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ

Η εκμετάλλευση της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας επιτυγχάνεται μέσω της εγκατάστασης των θαλάσσιων αιολικών πάρκων. Ένα θαλάσσιο ή υπεράκτιο αιολικό πάρκο, αποτελείται από μία εγκατεστημένη συσκευή εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας, την ανεμογεννήτρια, ή συστοιχία αυτών που παράγουν συναθροισμένη ηλεκτρική ενέργεια.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα των υπεράκτιων αιολικών πάρκων είναι:

- Ο άνεμος φυσάει δυνατώτερα και με μεγαλύτερη σταθερότητα, μικρότερη ένταση τύρβης και κλίση ταχύτητας λόγω οριακού στρώματος στη θάλασσα.
- Η μεταφορά της υπεράκτιας ανεμογεννήτριας γίνεται με εμπορικά πλοία δια θαλάσσης, οπότε το κόστος είναι εξαιρετικά υψηλό συγκριτικά με τις χερσαίες οδικές μεταφορές.
- Οι οπτικές και ακουστικές οχλήσεις αποφεύγονται με την προϋπόθεση ότι αυτές εγκαθίστανται σε κατάλληλη απόσταση από την ακτή.
- Κατά το στάδιο εκτέλεσης των εργασιών εγκατάστασης, δε δεσμεύεται κομμάτι γης αντικρούοντας συμφέροντα χρήσεων γης.

Το γεγονός ότι χωροθετούνται στο θαλάσσιο χώρο, ωστόσο, δημιουργεί κάποιες προκλήσεις όπως:

- Υψηλότερο επενδυτικό κεφάλαιο κατασκευής, με τον επιπρόσθετο παράγοντα της θεμελίωσης.
- Είναι λιγότερο προσβάσιμες γεγονός που αυξάνει τα λειτουργικά κόστη συντήρησης.
- Έχουν μειωμένη διάρκεια ζωής.
- Αντιμετωπίζουν επιπλέον υδροδυναμικά φορτία που προέρχονται από τα θαλάσσια κύματα και ρεύματα.

1.1.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Οι ανεμογεννήτριες είναι οι ανεμόμυλοι σε εξελιγμένη μορφή. Ο ανεμόμυλος χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ως ανεμογεννήτρια την περίοδο 1887–1900 από τον Charles F. Brush (1849 – 1929). Ο Paul la Cour εγκατέστησε στη Δανία το 1890 σε χαλύβδινο πύργο έναν ανεμόμυλο, με ισχία με σχισμές και διπλά πτερύγια αυτόματου προσανατολισμού προς τη διεύθυνση του ανέμου. Μετά τον Α΄ Παγκόσμιο πόλεμο, έγιναν πειράματα με ανεμόμυλους που είχαν ισχία αεροτομής, δηλαδή όμοια με πτερύγια αεροπορικής έλικας. Το 1931 μία τέτοια ανεμογεννήτρια εγκαταστάθηκε στην Κριμαία και η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς διοχετευόταν στο τμήμα χαμηλής τάσης του τοπικού δικτύου.



Εικόνα 2: Ανεμογεννήτρια La Cour
(Πηγή: Κάραλης, 2021)

Πραγματικές ανεμογεννήτριες με δύο πτερύγια λειτούργησαν στις Η.Π.Α. κατά τη δεκαετία του 1940, στην Αγγλία στη δεκαετία του 1950 καθώς και στη Γαλλία. Η πιο πετυχημένη ανεμογεννήτρια αναπτύχθηκε στη Δανία το 1950 από τον Johannes Juul, ο οποίος ήταν μαθητής του Paul la Cour, με τρία πτερύγια αλληλοσυνδεδεμένα μεταξύ τους και με έναν πρόβολο στο μπροστινό μέρος του άξονα περιστροφής. Η ανεμογεννήτρια αυτή ήταν η πρώτη παρήγαγε ηλεκτρική ενέργεια με εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα.

Βασικές παράμετροι των ανεμογεννητριών

Οι βασικές παράμετροι των Α/Γ είναι

- η αποδιδόμενη ισχύς,
- η παράμετρος και ταχύτητα περιστροφής,
- η στιβαρότητα της πτερωτής,
- η διάμετρος του ρότορα και
- το ύψος τοποθέτησης.

Οι τύποι των ανεμογεννητριών είναι ζωτικής σημασίας στη διαδικασία του σχεδιασμού, καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων σχεδιασμού όσο και για την πρόβλεψη της απόδοσης. Έτσι, τα μοντέλα μπορούν να μειώσουν σημαντικά το κόστος σχεδιασμού, ανάπτυξης και βελτιστοποίησης.

Οι τύποι των ανεμογεννητριών ταξινομούνται σύμφωνα με τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με τη ροή του ανέμου. Οι πλέον διαδεδομένοι τύποι είναι:

- i. κατακόρυφου άξονα περιστροφής, ο οποίος παραμένει σταθερός και κατακόρυφα προς την επιφάνεια του εδάφους.
- ii. οριζοντίου άξονα περιστροφής, όπου ο δρομέας είναι τύπου έλικα και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους.

Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα διαθέτουν πτερύγια που είναι προσαρτημένα στην κορυφή και στον πυθμένα ενός κατακόρυφου δρομέα. Ο πιο συνηθισμένος τύπος στροβίλου κατακόρυφου άξονα είναι ο Darrieus. Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα είναι τύπου Savonius και Darrieus και ξεκινάνε ευκολότερα, αλλά έχουν χαμηλότερη απόδοση.



Εικόνα 4: Πλωτή ανεμογεννήτρια στη Νορβηγία 1MW κατακόρυφου άξονα (Πηγή ιστοσελίδας: <https://seatwirl.com/news/new-video-from-seatwirl/>)



Εικόνα 3: Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα (Πηγή: Cazzaro D. et.al, 2013)

Στις ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, οι λεπίδες περιστρέφονται με τη δύναμη που οδηγεί τον άνεμο και είναι πάντα ευθυγραμμισμένες με αυτόν. Τα βασικότερα πλεονεκτήματά τους είναι:

- Εκμεταλλεύονται τον άνεμο απ’όλες τις διευθύνσεις.
- Η τοποθέτηση και η συντήρηση της γεννήτριας και του κιβωτίου ταχυτήτων είναι ευκολότερη, καθώς είναι τοποθετημένα στη βάση της ανεμογεννήτριας.
- Παράγουν λιγότερο θόρυβο.
- Μπορεί να τοποθετηθούν σε περισσότερα μέρη λόγω του μεγέθους τους, ακόμα και εντός πόλεων, ταράτσες κ.λ.π..
- Απλούστερη κατασκευή χαμηλότερου κόστους.

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, ωστόσο, έχουν χαμηλή απόδοση και δεν μπορούν να εκμεταλλευτούν ανέμους υψηλών ταχυτήτων, γεγονός που οφείλεται στο μικρότερο τους μέγεθος.

Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα έχουν τοποθετημένο το ρότορα του άξονα και την ηλεκτρική γεννήτρια στην κορυφή του πύργου, στραμμένους προς τη κατεύθυνση του ανέμου και είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος ανεμογεννήτριας τα τελευταία χρόνια. Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι για την εκκίνηση περιστροφής δεν απαιτούνται υψηλές ταχύτητες ανέμου, έχουν υψηλό αεροδυναμικό συντελεστή και η συναρμολόγηση είναι σχετικά εύκολη. Μπορούν να έχουν ένα, δύο, τρία ή ακόμη και πενήντα πτερύγια, ενώ η πτερωτή τους μπορεί να τοποθετηθεί είτε σε προσήνεμη διάταξη, δηλαδή μπροστά από τον πύργο στήριξης, είτε σε υπήνεμη διάταξη, δηλαδή πίσω από τον πύργο στήριξης σε σχέση με τη διεύθυνση του ανέμου. Το βασικό πλεονέκτημα των ανεμογεννητριών οριζοντίου άξονα, το οποίο έχει επιδράσει και καθοριστικά στην επικράτησή τους, είναι ότι η γεωμετρία που διαθέτουν τους επιτρέπει να συλλέγουν μεγαλύτερο ποσό αιολικού δυναμικού, άρα μπορούν να αποδώσουν και σημαντικά μεγαλύτερη ονομαστική ισχύ. Για να γίνει βέβαια εφικτή



Εικόνα 5: Ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα. (Πηγή: mountaincrane.com)

η μέγιστη απόδοση σε όλες τις φάσεις οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα είναι εξοπλισμένες με περίπλοκα συστήματα προσανατολισμού της ατράκτου (yaw system) ώστε να παραμένει κάθετη προς τη διεύθυνση του ισχυρότερου κάθε φορά ανέμου. Διαθέτουν ακόμα συστήματα μεταβολής της γωνίας των πτερυγίων (pitch system) ώστε να βελτιστοποιείται η γωνία προσβολής του ανέμου με τα πτερύγια και να επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση (Μυλωνάκης, 2023).

Μία τυπική ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Ανεμόμετρο

Μετράει την ταχύτητα του ανέμου και μεταβιβάζει τα ανεμολογικά δεδομένα σε έναν ελεγκτή.

- Ανεμοδείκτης

Υπολογίζει τη διεύθυνση του ανέμου και επικοινωνεί με τον οδηγό εκτροπής ώστε να προσανατολίζεται στον άνεμο.

- Πτερύγια

Οι περισσότερες ανεμογεννήτριες είναι δίπτερες ή τρίπτερες. Ο άνεμος πάνω στα πτερύγια δημιουργεί άνοση που έχει σαν αποτέλεσμα μια ροπή γύρω από τον άξονα περιστροφής και αναγκάζει τα πτερύγια να περιστρέφονται.

- Ρότορας

Τα πτερύγια και το κεντρικό σημείο ονομάζονται ρότορας.

- Γεννήτρια

Παράγει συνήθως εναλλασσόμενο ρεύμα 60 κύκλων.

- Φρένο

Ένα δισκόφρενο το οποίο μπορεί να λειτουργεί μηχανικά, ηλεκτρικά ή υδραυλικά για να σταματήσει τον κινητήρα σε περίπτωση ανάγκης.

- Πύργος

Οι πύργοι είναι κατασκευασμένοι από χαλύβδινο κέλυφος ή χωροδικτύωμα. Επειδή η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το ύψος, οι υψηλοί πύργοι περιέχουν γεννήτριες που συλλέγουν περισσότερη ενέργεια και παράγουν περισσότερο ηλεκτρισμό.

- Ελεγκτής

Ο ελεγκτής ξεκινά τη μηχανή σε ταχύτητες ανέμου περίπου 3-7 m/s και κλείνει τη μηχανή περίπου στα 29 m/s. Οι ανεμογεννήτριες δε μπορούν να δουλεύουν σε ταχύτητες ανέμου πάνω από τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα γιατί οι γεννήτριες μπορούν να υπερθερμανθούν ή/και τα πτερύγια τους να σπάσουν.

- Κιβώτιο ταχυτήτων

Οι ταχύτητες συνδέουν τον άξονα χαμηλής ταχύτητας με τον άξονα υψηλής ταχύτητας και αυξάνει την ταχύτητα περιστροφής από τις 30 με 60 στροφές ανά λεπτό στις 1200 με 1500 στροφές ανά λεπτό. Η ταχύτητα περιστροφής απαιτείται από τις περισσότερες γεννήτριες για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Το κιβώτιο ταχυτήτων είναι ένα ακριβό (και βαρύ) μέρος μιας ανεμογεννήτριας και οι μηχανικοί μελετούν γεννήτριες οι οποίες θα λειτουργούν σε χαμηλότερες ταχύτητες περιστροφής και δε θα απαιτούνται κιβώτια ταχυτήτων.

- Άξονας υψηλής ταχύτητας

Οδηγεί τη γεννήτρια.

- Άξονας χαμηλής ταχύτητας

Ο ρότορας κινεί τον άξονα χαμηλής ταχύτητας περίπου στις 30 με 60 στροφές ανά λεπτό.

- Κέλυφος

Ο ρότορας συνδέεται με το κέλυφος, το οποίο βρίσκεται πάνω απ’ τον πύργο και περιλαμβάνει το κιβώτιο ταχυτήτων, τους άξονες υψηλής και χαμηλής ταχύτητας, τη γεννήτρια, τον ελεγκτή και το φρένο. Ένα κάλυμμα προστατεύει τα μέρη εντός του κελύφους. Μερικά κελύφη είναι αρκετά μεγάλα ώστε να μπορεί ένας τεχνικός να κάθεται όρθιος μέσα σε αυτό ενώ δουλεύει.

- Κλίση

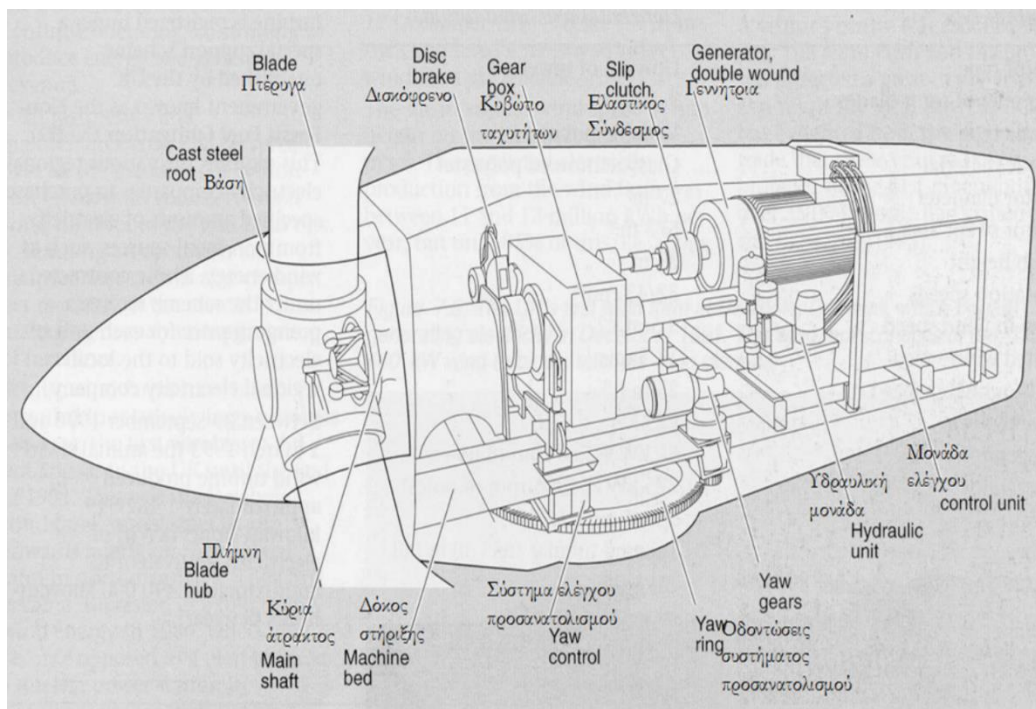
Τα περύγια έχουν τη δυνατότητα να κινούνται γύρω από τον διαμήκη άξονά τους, ώστε να μειώνουν τα αεροδυναμικά φορτία πάνω στην περύγωση στις μεγάλες ταχύτητες του ανέμου και να τα μειώνουν στις μικρές ταχύτητες.

- Οδηγός εκτροπής

Φέρνει τις ανεμογεννήτριες προς τον άνεμο. Χρησιμοποιείται για να αφήνει το ρότορα να βρίσκεται προς τον άνεμο καθώς αυτός μεταβάλλεται. Οι ανεμογεννήτριες που λειτουργούν υπήνεμα δεν απαιτούν οδηγό εκτροπής. Ο άνεμος μόνος φέρνει υπήνεμα το ρότορα.

- Κινητήρας εκτροπής

Δίνει ενέργεια στον οδηγό εκτροπής.



Σχήμα 2: Κύρια μέρη ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα (Πηγή: Κάραλης, 2021)

Ο τρόπος λειτουργίας των ανεμογεννητριών είναι παρόμοιος με αυτόν του αεροπλάνου και οφείλεται σε φυσικό φαινόμενο. Πιο συγκεκριμένα, ο άνεμος περιστρέφει τα περύγια της ανεμογεννήτριας τα οποία είναι συνδεδεμένα με τον περιστρεφόμενο άξονα. Ο άξονας περνάει μέσα σ’ ένα κιβώτιο μετάδοσης κίνησης μέσα στο οποίο αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής. Το κιβώτιο συνδέεται μ’ έναν άξονα μεγάλης ταχύτητας περιστροφής, ο οποίος κινεί μία γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα χρησιμοποιούνται σε αιολικά πάρκα για την εμπορική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα βασικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν είναι:

- Εκμετάλλευση ανέμων μεγαλύτερης ταχύτητας λόγω ύψους.
- Εύκολη συναρμολόγηση.
- Υψηλό αεροδυναμικό συντελεστή.

Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα παρουσιάζουν κάποιες δυσκολίες κυρίως στη συντήρησή τους καθώς η γεννήτρια και το κιβώτιο ταχυτήτων είναι τοποθετημένα στον πύργο στήριξης, αυξάνοντας το κόστος και την πολυπλοκότητα. Το μέγεθος τους καθιστά κοστοβόρα τη κατασκευή και τη μεταφορά τους. Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα, δεν εκμεταλλεύονται συνέχεια τον άνεμο και για να γίνει αυτό εφικτό απαιτείται ένας μηχανισμός περιστροφής για τον προσανατολισμό των πτερυγίων στη διεύθυνση του ανέμου. Τέλος, παράγουν θόρυβο, γεγονός που περιορίζει τα σημεία εγκατάστασής τους.

Συγκρίνοντας τους δύο τύπους, οι οριζόντιες ανεμογεννήτριες έχουν μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση, καθώς έχουν μεγαλύτερο ύψος. Στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, η ταχύτητα του ανέμου είναι υψηλότερη καθώς δεν έχει εμπόδια και γι’ αυτό προτιμώνται από τους περισσότερους επενδυτές.

1.1.4 ΥΠΕΡΑΚΤΙΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Οι υπεράκτιες (off-shore) ανεμογεννήτριες είναι ανεμογεννήτριες εγκατεστημένες στη θάλασσα ή σε κάποια λίμνη, λιμνοθάλασσα και φιόρδ. Οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες είναι παρόμοιες με τις χερσαίες και χρησιμοποιούν ουσιαστικά την ίδια τεχνολογία. Οι μόνες σημαντικές διαφορές είναι ότι δεσμεύουν περισσότερη αιολική ενέργεια και ο τρόπος θεμελίωσής τους. Λόγω της διαβρωτικής φύσης του αλμυρού νερού είναι ανθεκτικότερες από τις χερσαίες. Η επικρατέστερη υπεράκτια ανεμογεννήτρια είναι αυτή του οριζοντίου άξονα με ρότορα τριών πτεργίων.



Εικόνα 6: Υπεράκτια ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα (Πηγή: Damien Meyer, AFP)

1.1.4.1 ΤΥΠΟΙ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Όπως αναφέρθηκε, οι τεχνικές προκλήσεις που καλούνται να αντιμετωπίσουν τα υπεράκτια αιολικά πάρκα είναι αρκετές. Η μεγαλύτερη είναι η επιλογή του κατάλληλου θεμελίου και η εγκατάστασή του. Κύριος παράγοντας για την επιλογή του τύπου θεμελίου είναι το βάθος του νερού, το ύψος των ανεμογεννητριών και η διάμετρος του ρότορα. Οι περισσότερες εγκατεστημένες υπεράκτιες ανεμογεννήτριες, βρίσκονται κατά κύριο λόγο σε μικρά βάθη (20μ. – 60μ.) και χρησιμοποιούν στις περισσότερες περιπτώσεις βάση στήριξης μία από τις παρακάτω:

- μονοπάσσαλο (monopile), απευθείας πακτωμένο στον πυθμένα (<50m) είτε με μία βάση βαρύτητας από σκυρόδεμα που επίσης ακουμπάει στον πυθμένα (<30m),
- πλαίσια τύπου jacket (<60m) και
- τρίποδα (tripods) (<50m).

Για ακόμα μεγαλύτερα βάθη, οι παραπάνω τύποι είναι αντισυμβαλλόμενοι και γι'αυτό χρησιμοποιούνται πλωτές υποστηρικτικές πλατφόρμες. Οι επικρατέστερες είναι:

- Spar – buoy configuration, η οποία χρησιμοποιεί έρμα για να χαμηλώσει το κέντρο βάρους κάτω από το κέντρο άνωσης και αγκυροβολείται είτε με αλυσοειδή καμπυλωτά σχοινιά είτε με τεντωμένα συρματόσχοινα (>100m).
- Semi-submersible Platform είναι κινητές εξέδρες, που παρουσιάζουν ιδιαίτερη αντοχή σε πλευρικές φορτίσεις ακόμα και σε βαθύτερα νερά. Η ύπαρξη μεγάλου κενού κάτω από το κατάστρωμα κάνει τις ημιβυθιζόμενες εξέδρες ιδιαίτερα ανθεκτικές στα φορτία του ανέμου (>40m).
- Tension Leg Platform, η οποία αποτελείται από μία ημι-βυθιζόμενη πλατφόρμα αγκυροβολημένη κατακόρυφα από κάθετους τένοντες που συνδέονται στον πυθμένα της θάλασσας (>40m).



Εικόνα 7: Τύποι θεμελίωσης υπεράκτιων ανεμογεννητριών (Πηγή: Josh Bauer, National Renewable Energy Laboratory)

1.1.5 ΦΥΣΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η αιολική ενέργεια αποτελεί μία κύρια πηγή ενέργειας, η εκμετάλλευση της οποίας γίνεται μέσω των αιολικών πάρκων με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ταχύτητα του ανέμου είναι άρτια συνδεδεμένη με την παραγόμενη ενέργεια, καθώς σχετίζεται άμεσα με την ποσότητα της ενέργειας του ανέμου, δηλαδή την κινητική του ενέργεια. Η ταχύτητα του ανέμου σε μια περιοχή μεταβάλλεται ανάλογα με το υψόμετρο και με τον χρόνο.

Η μέση ταχύτητα του ανέμου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\bar{v} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{1}^N v_n \quad (1)$$

Όπου: v_n : η ταχύτητα του ανέμου στο n σημείο των μετρήσεων

N : ο αριθμός των μετρήσεων (Κάραλης, n.d.)

Η τυπική απόκλιση σ δείχνει πόσο οι μετρήσεις αποκλίνουν από τη μέση τιμή του ανέμου και ονομάζεται ένταση της τύρβης.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{1}^N (v_n - \bar{v})^2} \quad (2)$$

Μέτρο της μεταβλητότητας της τύρβης αποτελεί η ποσότητα (αδιάστατη τιμή):

$$S = \frac{\sigma}{\bar{v}} \quad (3)$$

Με τον όρο τύρβη ονομάζουμε τη διαταραχή της ταχύτητας του ανέμου (διαφορές στιγμιαίας ταχύτητας από τη μέση τιμή της ταχύτητας) και έχει ιδιαίτερη σημασία για την απόδοση των αιολικών μηχανών, αλλά και τον υπολογισμό της αντοχής λόγω εναλλασσόμενων φορτίων που αναπτύσσονται και που οδηγούν στην κόπωση των υλικών της μηχανής (Κάραλης, n.d.).

Η κινητική ενέργεια μίας μάζας αέρα m που κινείται με ταχύτητα V , δίνεται από τη σχέση (Μαρνέλλος, n.d.):

$$E = \frac{1}{2} m V^2 \quad (4)$$

Και η ισχύς γίνεται από τη σχέση (Μαρνέλλος, n.d.)

$$P = \frac{1}{2} M V^2 \quad (5)$$

Όπου: $M = \rho VA$ (kg/s), η μαζική παροχή του αέρα μέσω της επιφάνειας που σαρώνεται από τα πτερύγια του δρομέα,

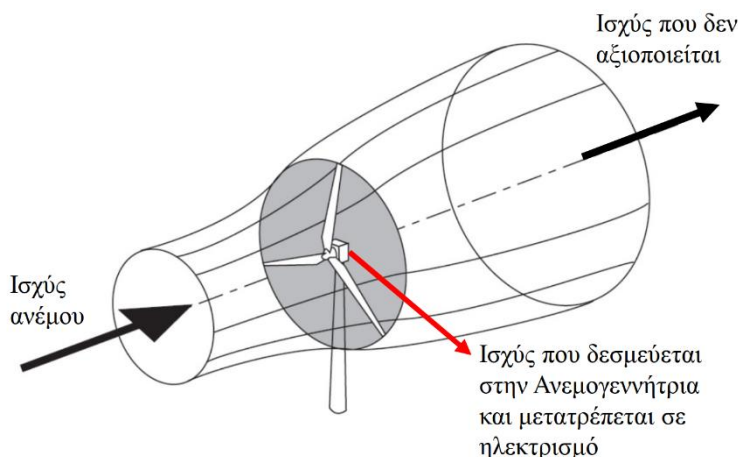
ρ (kg/m³): η πυκνότητα του αέρα

V (m/s): η ταχύτητα του ανέμου και

A (m²): το εμβαδόν της επιφάνειας που σαρώνεται από τα πτερύγια του δρομέα.

Συνεπώς, η εξίσωση που δίνει την ισχύ του ανέμου, που διέρχεται από μία επιφάνεια A κάθετη στη διεύθυνσή του, με ταχύτητα V γράφεται από την (4) και τη (5):

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \text{ (W)} \quad (6)$$



Σχήμα 3: Ενέργεια και ισχύς του ανέμου (Κάραλης, n.d.)

Από την παραπάνω σχέση, συμπεραίνεται ότι η ισχύς του ανέμου είναι ανάλογη της ταχύτητας και της πυκνότητάς του.

Η ισχύς του ανέμου που σαρώνεται ανά μονάδα επιφάνειας από τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας προκύπτει από την εξίσωση ισχύς του ανέμου, διαιρώντας τη με την επιφάνεια A .

$$P = \frac{1}{2} \rho V^3 \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (7)$$

Η ταχύτητα μεταβάλλεται ανάλογα με το υψόμετρο σύμφωνα με τον λογαριθμικό νόμο

$$V_2/V_1 = \ln(z_2/z_0) / \ln(z_1/z_0) \quad (8)$$

Όπου: V_1, V_2 η ταχύτητα του ανέμου σε ύψη z_1 και z_2 αντίστοιχα και

z_0 η παράμετρος τραχύτητας.

Οι τυπικές τιμές παραμέτρου τραχύτητας z_0 (cm) για διάφορες φυσικές επιφάνειες είναι (Μαμάσης & Ευστρατιάδης, 2018):

ΦΥΣΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	ΤΙΜΗ
Πάγος	0.001
Ασφαλτοστρωμένη επιφάνεια	0.002
Υδάτινη επιφάνεια	0.01 – 0.06
Χλόη ύψους μέχρι 1 εκατοστό	0.1
Χλόη ύψους μέχρι 1 έως 10 εκατοστά	0.1 - 0.2
Χλόη – σιτηρά ύψους μέχρι 10 έως 50 εκατοστά	2 - 5

Φυτοκάλυψη ύψους 1 έως 2 μέτρα	20
Δένδρα ύψους 10 έως 15 μέτρα	40 - 70

Πίνακας 1: Πίνακας τυπικών τιμών παραμέτρων τραχύτητας για διάφορες φυσικές επιφάνειες

1.1.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγόμενη ενέργεια είναι

- η διαθεσιμότητα της μηχανής, που εκφράζει το ποσοστό του χρόνου που είναι διαθέσιμη η ανεμογεννήτρια για να λειτουργήσει και εκφράζεται με το συντελεστή διαθεσιμότητας (Σ.Δ.),
- οι απώλειες μεταφοράς και
- ο βαθμός απόδοσης του αιολικού πάρκου, που εκφράζει τις απώλειες που προκύπτουν λόγω αλληλεπίδρασης των ανεμογεννητριών στα αιολικά πάρκα.

Η ονομαστική ισχύς είναι η μέγιστη ισχύς που μπορεί να αποδώσει ένα σύστημα. Οι ανεμογεννήτριες αποτελούν μηχανές μεταβλητής ισχύος (Μαμάσης & Ευστρατιάδης, 2018).

Παγκοσμίως, δεν υπάρχει αναγνωρισμένη μέθοδος υπολογισμού της ονομαστικής ισχύος των ανεμογεννητριών καθώς η ηλεκτρική ισχύς που παράγεται εξαρτάται από το τετράγωνο του μήκους των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας και την τρίτη δύναμη της ταχύτητας του ανέμου που φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$P_0 = \frac{1}{2} C_P \rho A V^3 \quad (9), \text{ όπου } C_P \text{ ο συντελεστής ισχύος του δρομέα}$$

Ο βαθμός απόδοσης C_P χαρακτηρίζει τους ανεμοκινητήρες και ονομάζεται συντελεστής ισχύος. Ο συντελεστής ισχύος εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της μηχανής και είναι συνάρτηση της αδιάστατης ταχύτητας ακροπτερυγίου λ :

Συνεπώς μια ανεμογεννήτρια παράγει διαφορετική ισχύ σε διαφορετικές ταχύτητες ανέμου έχοντας σταθερό το μήκος των πτερυγίων. Για τις διάφορες ανεμογεννήτριες ορίζονται ονομαστικές ταχύτητες ανέμου οι τιμές των οποίων είναι 10-15 m/s αλλά δεν εξυπηρετούν τη σύγκριση για την ικανότητα παραγωγής ισχύος καθώς εξαρτάται από πολλά χαρακτηριστικά όπως η μεταβολή του συντελεστή απόδοσης με τη μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου, τη μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής με τη μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου, το είδος του κινητήρα κ.λ.π.. Έτσι οι κατασκευαστές των ανεμογεννητριών αναφέρουν μόνο το μήκος των πτερυγίων και τη μέγιστη ισχύ που μπορεί να παράγει ο ηλεκτροκινητήρας με ένα ζεύγος τιμών: μέγιστη ισχύς ηλεκτροκινητήρα/διάμετρος ρότορα (Μαρνέλλος, n.d.).

Όριο Betz

Ο Albert Betz ήταν ένας Γερμανός φυσικός που υπολόγισε ότι καμία ανεμογεννήτρια δεν μπορούσε να μετατρέψει περισσότερο από το 59,3% της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική κατά την περιστροφή του ρότορα. Αυτό είναι γνωστό ως όριο Betz και είναι ο θεωρητικός μέγιστος συντελεστής ισχύος C_P για οποιαδήποτε ανεμογεννήτρια.

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

Ο λόγος της θεωρητικά παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος (μέγιστη ισχύς ιδεατής ανεμογεννήτριας) προς την θεωρητική αιολική ισχύ καλείται συντελεστής ισχύος και δίνεται από τη σχέση (Μαμάσης & Ευστρατιάδης, 2018):

$$c = \frac{P}{P_0} = 4(a^{-2} - a^{-3}) \quad (10)$$

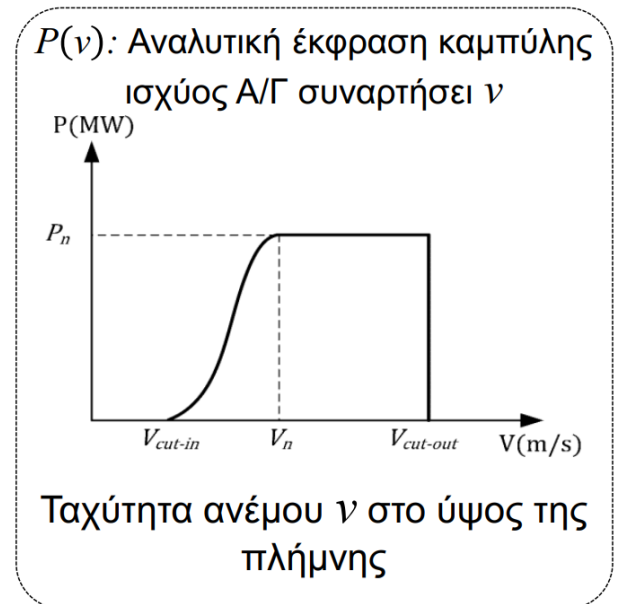
Ο συντελεστής ισχύος γίνεται μέγιστος όταν

$$\frac{dc}{da} = 0 \Rightarrow -2a^{-3} + 3a^{-4} = 0 \Rightarrow a = \frac{3}{2} \quad (11)$$

Από τις σχέσεις (10) και (11) προκύπτει

$$c_{max} = 2 \left(\frac{2}{3}\right)^3 = \frac{16}{27} = 0.593 \quad (12)$$

Στην πραγματικότητα, οι ανεμογεννήτριες δεν μπορούν να φτάσουν το όριο Betz και οι κοινές αποδόσεις κυμαίνονται στο εύρος 35-45% (Afework et al, 2018).



Σχήμα 4: Καμπύλη ισχύος (Παπαθανασίου, n.d.)

Ο βαθμός απόδοσης του αιολικού πάρκου εκφράζει τις απώλειες που οφείλονται στις αλληλεπιδράσεις των όμορων ανεμογεννητριών.

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^{n_T} P_i}{n_T \cdot P_w} \quad (13)$$

Όπου: n_T το συνολικό πλήθος ανεμογεννητριών του πάρκου,

P_i η ισχύς της i -οστής ανεμογεννήτριας

P_w η ισχύς που αντιστοιχεί στην ταχύτητα αναφοράς του ανέμου και εκφράζει την ισχύ που θα παρήγαγε κάθε ανεμογεννήτρια αν λειτουργούσε μόνη της (Κάραλης, 2021).

1.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Με τον όρο τηλεπισκόπηση (Remote Sensing), ορίζεται ως η επιστήμη που ασχολείται με την απόκτηση πληροφοριών από απόσταση, για αντικείμενα, περιοχές ή φαινόμενα χωρίς φυσική επαφή με αυτά. Περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων, ανάλυση, επεξεργασία και ερμηνεία τους. Η φυσική αρχή είναι η καταγραφή της έντασης της ανακλώμενης ή εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας των αντικειμένων.

1.2.1 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΟΙ ΔΕΚΤΕΣ

Στην τηλεπισκόπηση, η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια ή η ένταση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων καταγράφεται από τους τηλεπισκοπικούς δέκτες, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στους δορυφόρους.

Οι δύο κύριες κατηγορίες διαχωρισμού των δεκτών είναι

- οι ενεργητικοί και
- παθητικοί,

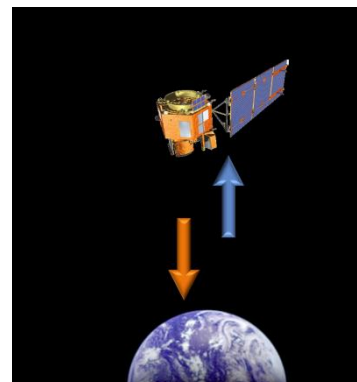
και αφορούν την πηγή ενέργειας που χρησιμοποιούν.

1.2.1.1 ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΟΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΟΙ ΔΕΚΤΕΣ

Η αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται στην εκπομπή ενός ηλεκτρομαγνητικού σήματος / παλμού (pulse) ως δέσμη ακτινών (beam) και στη συνέχεια τη λήψη της ανακλώμενης, από τα διάφορα αντικείμενα τα οποία φωτίζονται από το σήμα εκπομπής, ακτινοβολίας. Η κεραία εκπομπής (transmitter) και λήψης των παλμών (receiver) είναι συνήθως η ίδια κεραία (antenna). Η δέσμη χαρακτηρίζεται από τη γεωμετρία της κεραίας και τη συχνότητα των μικροκυμάτων. Ο κάθε παλμός χαρακτηρίζεται από το χρόνο εκπομπής του (reference pulse time). Με τη μέτρηση του χρόνου εκπομπής - επιστροφής του παλμού καθώς επίσης και της ισχύος του είναι δυνατή η ταυτόχρονη μέτρηση α) της απόστασης του στόχου από τον δέκτη και β) της ανακλώμενης μικροκυματικής ακτινοβολίας από τον στόχο.

Παράδειγμα συστημάτων που χρησιμοποιούν ενεργητικούς δέκτες είναι τα συστήματα RADAR.

Η μεγάλη σημασία του RADAR έγκειται στη δυνατότητά του να ανιχνεύει αντικείμενα σε μεγάλες αποστάσεις τις οποίες τις μετρά με μεγάλη ακρίβεια και χωρίς να επηρεάζεται από τις συνθήκες φωτισμού και τις καιρικές συνθήκες (Καραθανάση, 2014).

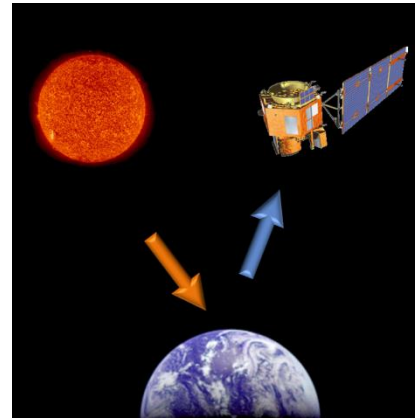


Εικόνα 8: Ενεργητικός τηλεπισκοπικός δέκτης
(Πηγή:

https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/outreach/funfacts/txt_passive_active.html)

1.2.1.2 ΠΑΘΗΤΙΚΟΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΟΙ ΔΕΚΤΕΣ

Οι παθητικοί τηλεπισκοπικοί δέκτες είναι ραδιόμετρα τα οποία ευαισθητοποιούνται στην περιοχή των μικροκυμάτων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Έχουν τις ίδιες διατάξεις με τα ηλεκτρο-οπτικά ραδιόμετρα (οπτικό σύστημα – ανιχνευτής – επεξεργαστής) καταγράφουν δε την εκπεμπόμενη από τα ίδια σώματα μικροκυματική ακτινοβολία ή/και την ανακλώμενη από τα σώματα ηλιακή μικροκυματική ακτινοβολία. Επειδή όμως η ποσότητα της ανακλώμενης ή/και εκπεμπόμενης ακτινοβολίας στην περιοχή των μικροκυμάτων είναι πολύ μικρή, για την καταγραφή ικανού σήματος απαιτείται μεγάλη χρονική διάρκεια καταγραφής της ακτινοβολούμενης ενέργειας ανά μοναδιαία επιφάνεια. Αυτό σημαίνει μικρή ταχύτητα σάρωσης και χαμηλή χωρική διακριτική ικανότητα (Καραθανάση, 2014).



Εικόνα 9: Παθητικός τηλεπισκοπικός δέκτης (Πηγή:

https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/outreach/funfacts/txt_passive_active.html)

Οι τηλεπισκοπικοί δέκτες μπορούν να διακριθούν ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους σε δέκτες

- με λειτουργία σάρωσης (Scanning sensors) και
- με μη λειτουργία σάρωσης (Non Scanning sensors).

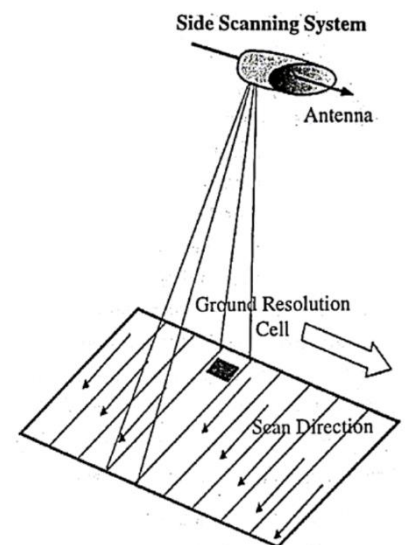
1.2.1.3 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΟΙ ΔΕΚΤΕΣ ΜΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ

Στα συστήματα που έχουν δέκτες με λειτουργία σάρωσης, η περιοχή του οπτικού πεδίου του δέκτη σαρώνεται σημείο προς σημείο κατά μήκος μιας σειράς διαδοχικών παράλληλων γραμμών προκειμένου να παραχθεί μια εικόνα (Πετρίδου, 2020; Patra, 2010; Sabins and Ellis, 2020). Τα συστήματα σάρωσης χρησιμοποιούν τον ανιχνευτή και ανάλογα με τον τρόπο που καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια των αντικειμένων μπορούν να χωριστούν σε 3 κύριες κατηγορίες.

Τα παθητικά συστήματα σάρωσης λειτουργούν με το σύστημα σάρωσης διαγραμμιζόμενης τροχιάς (Cross Track Scanning ή Whiskbroom Scanning System) και το σύστημα σάρωσης διαμήκους τροχιάς (Along Track Scanning ή Pushbroom Scanning System).

Σύστημα πλευρικής σάρωσης

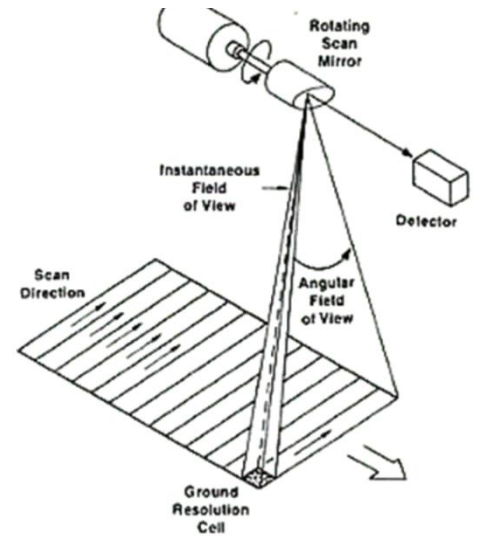
Το σύστημα πλευρικής σάρωσης ανήκει στα ενεργητικά συστήματα σάρωσης. Η διεύθυνση σάρωσης έχει πλευρική όψη ως προς την κίνηση της πλατφόρμας που φέρει τον αισθητήρα ραντάρ.



Σχήμα 5: Σύστημα πλευρικής σάρωσης (Πηγή: <https://www.onestopgis.com/Aerial-Photography/Digital-Imaging/Sensors/1-Remote-Sensing-Systems.html>)

Σύστημα σάρωσης διαγραμμίζομενης τροχιάς

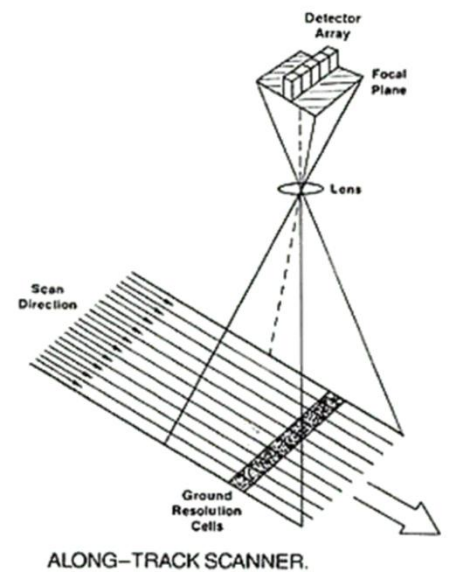
Στο σύστημα διαγραμμίζομενης τροχιάς, ο σαρωτής εκτελεί σάρωση της γη σε μια σειρά από γραμμές χρησιμοποιώντας έναν ανιχνευτή και ένα περιστρεφόμενο κάτοπτρο. Οι γραμμές αυτές είναι κάθετα προσανατολισμένες προς την διεύθυνση κίνησης του δορυφόρου. Καθώς ο δορυφόρος κινείται, ο ανιχνευτής με την βοήθεια του περιστρεφόμενου κατόπτρου σαρώνει κάθε γραμμή από την μία πλευρά στην άλλη. Οι διαδοχικές αυτές γραμμές συνθέτουν μια δισδιάστατη εικόνα της επιφάνειας της γης. (Πετρίδου, 2020; Gogoi and Prashanth, 2017; Sabins and Ellis, 2020;).



Σχήμα 6: Σύστημα σάρωσης διαγραμμίζομενης τροχιάς (Πηγή: <https://www.onestopgis.com/Aerial-Photography/Digital-Imaging/Sensors/1-Remote-Sensing-Systems.html>)

Σύστημα σάρωσης διαμήκου τροχιάς

Στο σύστημα διαμήκου τροχιάς, ο σαρωτής εκτελεί σάρωση της γης χρησιμοποιώντας μια γραμμική συστοιχία ανιχνευτών, τις λεγόμενες συσκευές συζευγμένων φορτίων. Καθώς ο δορυφόρος κινείται η συστοιχία αυτή των ανιχνευτών καταγράφει την ακτινοβολία μιας ολόκληρης γραμμής κάθε φορά, δημιουργώντας διαδοχικές γραμμές σάρωσης με σκοπό την παραγωγή μιας δισδιάστατης εικόνας. Η διεύθυνση της σάρωσης είναι παράλληλη προς την κίνηση του δορυφόρου. (Πετρίδου, 2020; Kerle et al., 2004; Gogoi and Prashanth, 2017; Sabins and Ellis, 2020; Imam, 2019).



Σχήμα 7: Σύστημα σάρωσης διαμήκου τροχιάς (Πηγή: <https://www.onestopgis.com/Aerial-Photography/Digital-Imaging/Sensors/1-Remote-Sensing-Systems.html>)

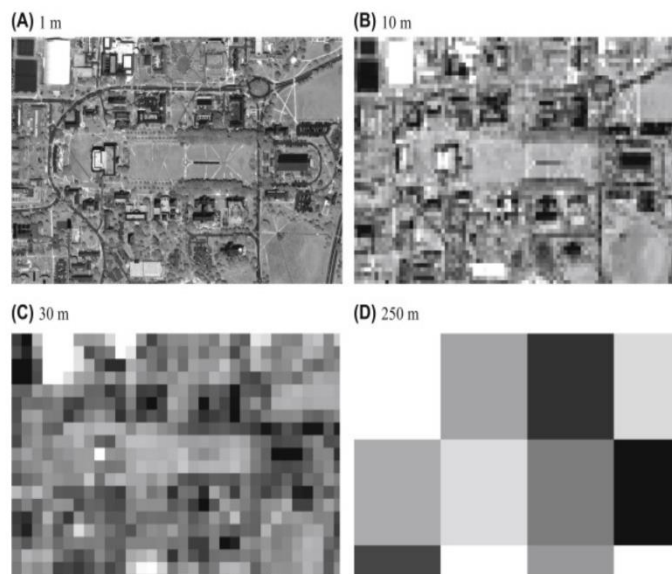
1.2.1.4 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΟΙ ΔΕΚΤΕΣ ΜΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΗ ΣΑΡΩΣΗΣ

Στα συστήματα με δέκτες μη σάρωσης, η εικόνα της περιοχής ενδιαφέροντος καταγράφεται ολόκληρη με μιας (Πετρίδου, 2020; Sabins and Ellis, 2020) από μια συστοιχία δεκτών διατεταγμένων στα κελιά ενός κανάβου.

1.2.2 ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΟΥ ΔΕΚΤΗ

1.2.2.1 ΧΩΡΙΚΗ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

Η χωρική διακριτική ικανότητα ή χωρική ανάλυση ενός τηλεπισκοπικού δέκτη, στις ψηφιακές εικόνες, αναφέρεται στο μέγεθος του εικονοστοιχείου (pixel) που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη έκταση της γήινης επιφάνειας. Ο ορισμός της διακριτικής ικανότητας αναφέρεται στην ικανότητα του δέκτη να ανιχνεύσει και να επισημάνει τα διαφορετικά στοιχεία. Η χωρική διακριτική ικανότητα ή χωρική ανάλυση δορυφορικών εικόνων μετριέται σε m ή km.



Σχήμα 8: Χωρική διακριτική ικανότητα
(Πηγή: Advanced Remote Sensing, 2020)

1.2.2.2 ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

Η φασματική διακριτική ικανότητα ή φασματική ανάλυση ενός τηλεπισκοπικού δέκτη αφορά το πλήθος και το πλάτος των φασματικών περιοχών στους οποίους είναι ευαίσθητος αυτός. Δηλαδή στην ικανότητα του δέκτη να παρατηρεί διακριτές φασματικές περιοχές. Όσο μικρότερο είναι το εύρος του μήκους κύματος για ένα συγκεκριμένο κανάλι τόσο καλύτερη είναι η φασματική ανάλυσή του. (Gogoï and Prashanth, 2017; Gergel and Turner, 2017).

Οι δέκτες μπορούν να διαχωριστούν σε

- παγχρωματικούς,
- πολυφασματικούς και
- υπερφασματικούς.

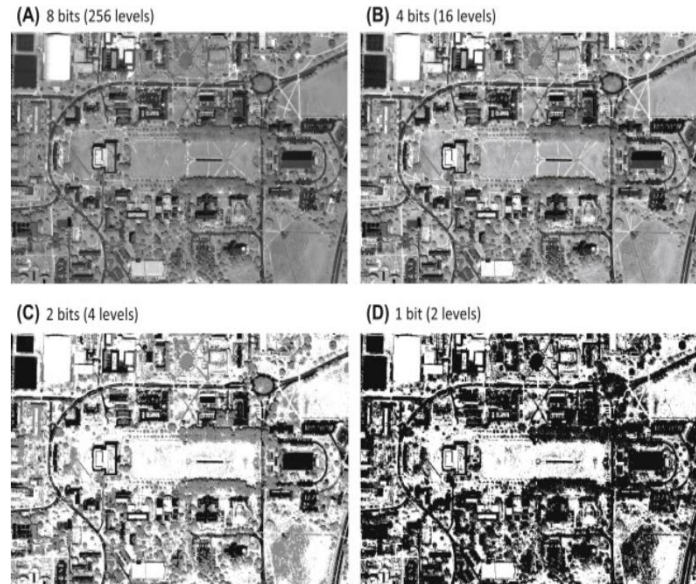
Οι παγχρωματικοί δέκτες καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που αντιστοιχεί σε ολόκληρο το ορατό φάσμα σε μία μόνο ζώνη και η παγχρωματική εικόνα που προκύπτει αποτελείται από μια ασπρόμαυρη εικόνα.

Οι πολυφασματικοί δέκτες καταγράφουν την ακτινοβολία σε πολλές διαφορετικές ζώνες στα διάφορα μήκη κύματος. Έτσι η ορατή περιοχή μπορεί να καταγράφεται σε τρεις διαφορετικές ζώνες, κόκκινη, μπλε και πράσινη. Η πολυφασματική εικόνα που προκύπτει αποτελείται από πολλές επικαλυπτόμενες εικόνες κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχεί σε καταγραφή διαφορετικού μήκους κύματος.

Τέλος οι υπερφασματικοί δέκτες καταγράφουν την ακτινοβολία σε δεκάδες ή εκατοντάδες ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η υπερφασματική εικόνα αποτελείται από δεκάδες επικαλυπτόμενες εικόνες κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχεί σε καταγραφή μιας πολύς μικρής περιοχής του φάσματος (Gogoï and Prashanth, 2017; Gergel and Turner, 2017).

1.2.2.3 ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα ενός δέκτη “αφορά στον αριθμό των διαφορετικών διαβαθμίσεων της έντασης της ακτινοβολίας που μπορεί αυτός να καταγράψει” (Περάκης et al., 2015). Όσο υψηλότερη είναι η ραδιομετρική ανάλυση του αισθητήρα τόσο αυτός μπορεί να διακρίνει καλύτερα τις μικρές διαφορές στην ενέργεια που καταγράφει. Η ραδιομετρική ανάλυση καθορίζεται από τον αριθμό των bits που χρησιμοποιεί ο αισθητήρας. Οι τιμές των bits παίρνουν τιμές από 0 έως μια τιμή που είναι δύναμη του 2 (2^x). Όσο μεγαλύτερος ο αριθμός των bits τόσο μεγαλύτερη η ραδιομετρική ανάλυση. Τα δεδομένα των bits απεικονίζονται στην εικόνα στην κλίμακα των αποχρώσεων του γκρι με το μαύρο χρώμα να αντιστοιχεί στην τιμή μηδέν και το άσπρο στη μέγιστη τιμή ανάλογα με τον αριθμό των bit της εικόνας. (Gogoi and Prashanth, 2017).



Σχήμα 9: Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (Πηγή: *Advanced Remote Sensing*, 2020)

1.2.2.4 ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

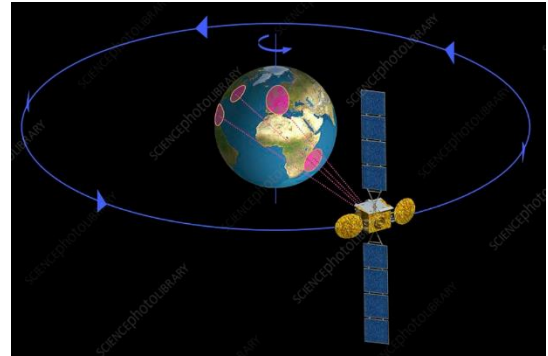
Η χρονική διακριτική ικανότητα αφορά στην συχνότητα με την οποία θα γίνει λήψη της εικόνας της ίδιας περιοχής δηλαδή σε κάθε πόσες μέρες ο δέκτης θα καταγράψει το ίδιο μέρος της γήινης επιφάνειας. Στα δορυφορικά συστήματα η χρονική ανάλυση εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως την τροχιά με την οποία κινείται ο δορυφόρος, το πλάτος της περιοχής που καταγράφεται και το οπτικό πεδίο του αισθητήρα (Gergel and Turner, 2017).

1.2.3 ΤΡΟΧΙΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ

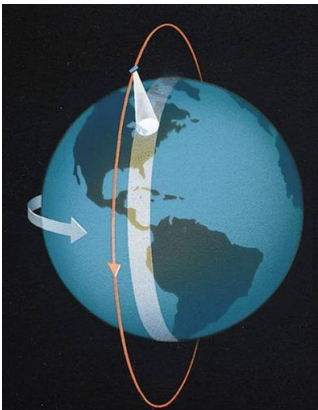
Οι δορυφόροι κινούνται γύρω από τη γη σε μια καθορισμένη διαδρομή που ονομάζεται τροχιά. Ανάλογα με την τροχιά που ακολουθούν οι δορυφόροι χωρίζονται σε κατηγορίες. Η τροχιά μπορεί να αλλάζει ως προς το ύψος, την περιστροφή προς τη γη και τον προσανατολισμό. Ο κάθε δορυφόρος κινείται σε μια συγκεκριμένη τροχιά ανάλογα με τις δυνατότητες και τον σκοπό για τον οποίο χρησιμοποιείται (Gogoi and Prashanth, 2017;).

Γεωστατική τροχιά

Οι γεωστατικές τροχιές είναι 36.000 χιλιόμετρα πάνω από τον γήινο ισημερινό και οι δορυφόροι παραμένουν στατικοί σε σχέση με την επιφάνεια της γης. Οι γεωστατικές τροχιές έχουν μηδενική κλίση προς τον ισημερινό και είναι κυκλικές.



Εικόνα 10: Γεωστατική τροχιά (Πηγή: <https://www.sciencephoto.com/media/441483/view/geostationary-orbit-diagram>)



Πολική τροχιά

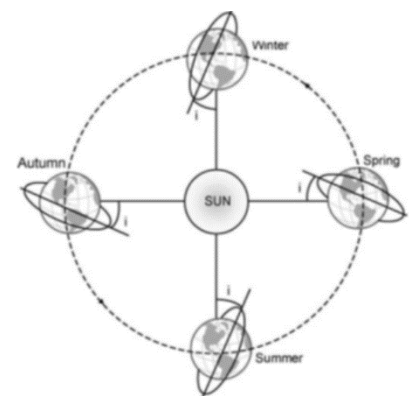
Οι πολικές τροχιές βρίσκονται μεταξύ των 100 έως 1.000 χιλιομέτρων πάνω από την γήινη επιφάνεια, κάθετες προς τον Ισημερινό. Οι δορυφόροι διέρχονται την ίδια ώρα κάθε μέρα και παρατηρούν όλα τα μέρη της γης.

Εικόνα 11: Πολική τροχιά (Πηγή:

<https://apollo.nvu.vsc.edu/classes/met130/notes/chapter5/polar.html>)

Ηλιοσύγχρονη τροχιά

Οι ηλιοσύγχρονες τροχιές επιτρέπουν στους δορυφόρους να βρίσκονται σε θέση σύγχρονη με τη θέση της γης προς τον ήλιο. Οι δορυφόροι που είναι εξοπλισμένοι με συστήματα παθητικών δεκτών μετρούν την ανάκλαση του φωτός που προέρχεται από τον ήλιο, οι τροχιές είναι προσανατολισμένες στην εναλλαγή ημέρας – νύχτας. Οι δορυφόροι κινούνται σε αυτές με δυτική κατεύθυνση.



Εικόνα 12: Ηλιοσύγχρονη τροχιά (Πηγή: <https://www.gktoday.in/sun-synchronous-orbit/>)

1.2.4 ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ COPERNICUS

Το Copernicus είναι το πρόγραμμα παρατήρησης της γης το οποίο διαχειρίζεται η Ευρωπαϊκή Ένωση και παρατηρεί το περιβάλλον και τον πλανήτη παρέχοντας υπηρεσίες πληροφόρησης μέσω δορυφορικών κι επίγειων δεδομένων. Το πρόγραμμα υλοποιείται σε συνεργασία με τα κράτη μέλη, τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ESA), τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Εκμετάλλευσης Μετεωρολογικών Δορυφόρων (EUMETSAT), το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Μετεωρολογικών Προβλέψεων (ECMWF), οργανισμούς της Ε.Ε. και την εταιρία Mercator Océan.

Κύριος στόχος του προγράμματος είναι η επίτευξη μίας παγκόσμιας, συνεχούς, αυτόνομης, υψηλής ποιότητας παρατήρησης γης μέσω της παροχής ακριβών, έγκαιρων και εύκολα προσβάσιμων δεδομένων για τη βελτίωση της διαχείρισης του περιβάλλοντος, την κατανόηση και το μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και τη διασφάλιση της πολιτικής ασφάλειας.

Κύριο όφελος των δεδομένων του προγράμματος Copernicus είναι η δωρεάν διανομή σε όλους τους χρήστες.

Το Copernicus υποστηρίζει ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών στη

- γεωργία,
- θαλάσσια οικονομία,
- κλιματική αλλαγή και περιβάλλον,
- ανάπτυξη και συνεργασία,
- ενέργεια και φυσικοί πόροι,
- δασοκομία,
- υγεία,
- ασφάλιση και διαχείριση καταστροφών,
- ασφάλεια και άμυνα,
- τουρισμός,
- μεταφορές και
- πολεοδομικός σχεδιασμός,

οι οποίες, εξυπηρετούν καθημερινά διάφορες επιχειρήσεις και οργανισμούς.

Το συντονισμό και τη διαχείριση του προγράμματος έχει αναλάβει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί μεγάλες ποσότητες παγκόσμιων δεδομένων προερχόμενων από δορυφορικά και από επίγεια, αερομεταφερόμενα και θαλάσσια συστήματα μέτρησης, για την παροχή πληροφοριών που βοηθούν τους παρόχους υπηρεσιών, τις δημόσιες αρχές και άλλους διεθνείς οργανισμούς να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των πολιτών της Ευρώπης. Οι χρήστες του προγράμματος έχουν ελεύθερη και απρόσκοπτη πρόσβαση στις παρεχόμενες υπηρεσίες πληροφόρησης.

1.2.4.1 ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Η παροχή υπηρεσιών του Copernicus βασίζεται στην επεξεργασία των περιβαλλοντικών δεδομένων που συλλέγονται από δορυφόρους παρατήρησης γης κι από επίγειους αισθητήρες (π.χ. επίγειοι μετεωρολογικοί σταθμοί, σημαντήρες ωκεανών και δίκτυα παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα).

Οι δορυφόροι, οι οποίοι παρέχουν τα δεδομένα που επεξεργάζονται οι υπηρεσίες του Copernicus χωρίζονται στις εξής δύο ομάδες αποστολών:

❖ Τους Sentinel, που αναπτύσσονται για τις ειδικές ανάγκες του προγράμματος Copernicus. Οι Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3 και Sentinel-6 είναι δορυφόροι που λειτουργούν ειδικά για το πρόγραμμα

❖ Τους Sentinel-4 και Sentinel-5 οι οποίοι έχουν τοποθετηθεί στους μετεωρολογικούς δορυφόρους του ευρωπαϊκού οργανισμού EUMETSAT. Σημειώνεται ότι ο Sentinel-5P, που αποτελεί πρόδρομο του 5, είναι επίσης δορυφόρος που λειτουργεί για το πρόγραμμα.

Για την ανάπτυξη του διαστημικού σκέλους του προγράμματος Copernicus και για την παρακολούθηση της λειτουργίας των δορυφόρων Sentinel-1, Sentinel-2 και Sentinel-5P καθώς και για την επίγεια αποστολή του Sentinel-3, είναι υπεύθυνος ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος (ESA).

Για τη λειτουργία και την εκτέλεση της θαλάσσιας αποστολής του δορυφόρου Sentinel-3, και για τη λειτουργία και συλλογή δεδομένων των δορυφόρων Sentinel-4, Sentinel-5 και Sentinel-6, είναι υπεύθυνος ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Εκμετάλλευσης Μετεωρολογικών Δορυφόρων (EUMETSAT).

1.2.4.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ COPERNICUS

Οι υπηρεσίες του προγράμματος Copernicus χρησιμοποιούν κατά κύριο λόγο τις ακόλουθες τεχνικές παρατήρησης.

- Αισθητήρες Συνθετικού Ανοίγματος Ραντάρ (Synthetic Aperture Radar - SAR), για όλες τις καιρικές παρατηρήσεις ημέρας και νύχτας σε ξηρά, ωκεανό και πάγο.
- Οπτικοί αισθητήρες και αισθητήρες SAR πολύ υψηλής ανάλυσης (Very High Resolution-VHR), για συγκεκριμένες τοποθεσίες παγκοσμίως που αφορούν εφαρμογές ασφαλείας και τη διαχείριση έκτακτης ανάγκης.
- Οπτικοί αισθητήρες πολύ υψηλής ανάλυσης (VHR) για συστηματική ηπειρωτική κάλυψη.
- Οπτικοί αισθητήρες υψηλής και μέσης ανάλυσης – παγχρωματικοί και πολυφασματικοί – για περιφερειακές και εθνικές δραστηριότητες παρακολούθησης γης.
- Οπτικοί αισθητήρες μέσης – χαμηλής ανάλυσης για πληροφορίες σχετικά με την κάλυψη γης (δείκτες γεωργίας, παρακολούθηση ωκεανών κ.α.).
- Συστήματα υψομετρικού ραντάρ (αλτίμετρο) υψηλής ακρίβειας για μετρήσεις της στάθμης της θάλασσας και κλιματικές εφαρμογές.
- Ραδιόμετρα για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας της ξηράς και των ωκεανών.
- Μετρήσεις φασματόμετρου για την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα και της ατμοσφαιρικής σύνθεσης.

1.2.5 ΤΑ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στην εν λόγω διπλωματική εργασία, οι τηλεπισκοπικές απεικονίσεις και τα δεδομένα αποκτήθηκαν από τους δορυφόρους:

- Sentinel-1, ο οποίος παρέχει απεικονίσεις συνθετικού ανοίγματος ραντάρ - οι οποίες είναι ανεξάρτητες νεφοκάλυψης και φωτισμού - για την παρατήρηση της επιφάνειας του εδάφους αλλά και των θαλασσών. Οι δίδυμοι δορυφόροι Sentinel-1A και Sentinel-1B εκτοξεύθηκαν στις 3 Απριλίου 2014 και στις 25 Απριλίου 2016 αντίστοιχα.
- Sentinel-3, οποίος παρέχει δεδομένα οπτικά, ραντάρ και αλτιμετρίας υψηλής ακρίβειας για θαλάσσιες και χερσαίες υπηρεσίες. Οι δίδυμοι δορυφόροι Sentinel-3A και Sentinel-3B εκτοξεύθηκαν στις 16 Φεβρουαρίου 2016 και στις 25 Απριλίου 2018 αντίστοιχα.

1.2.5.1 Ο ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ SENTINEL-1

Η αποστολή Sentinel-1 περιλαμβάνει έναν αστερισμό δύο δορυφόρων σε πολική τροχιά, που λειτουργούν μέρα και νύχτα με απεικονίσεις ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (SAR) ζώνης C, επιτρέποντάς τους να αποκτούν εικόνες ανεξάρτητα από τον καιρό. Ο δορυφόρος Sentinel-1 είναι η πρώτη από τις πέντε αποστολές που αναπτύσσει η ESA για το πρόγραμμα Copernicus.



Εικόνα 13: Ο δορυφόρος Sentinel-1 (Πηγή: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1>)

1.2.5.1.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ SENTINEL-1

Η αποστολή Sentinel-1 περιλαμβάνει απεικόνιση C-band που λειτουργεί σε τέσσερις αποκλειστικές λειτουργίες απεικόνισης με διαφορετική ανάλυση (έως 5m) και κάλυψη (έως 400km). Παρέχει δυνατότητα παλμών διπλής πόλωσης, πολύ σύντομους χρόνους επανεπίσκεψης και γρήγορη παράδοση του προϊόντος. Για κάθε παρατήρηση, διατίθενται ακριβείς μετρήσεις της θέσης και της στάσης του διαστημικού σκάφους.

Οι απεικονίσεις Συνθετικού Ανοίγματος Ραντάρ (Synthetic Aperture Radar, SAR) έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν εμποδίζονται από κάλυψη νέφους ή έλλειψη φωτισμού και διαθέτουν δεδομένα για μια τοποθεσία κατά τη διάρκεια της ημέρας ή της νύχτας υπό όλες τις καιρικές συνθήκες. Η αποστολή Sentinel-1, με το όργανο C-SAR, μπορεί να προσφέρει αξιόπιστη, επαναλαμβανόμενη παρακολούθηση ευρέων περιοχών.

Η αποστολή αποτελείται από έναν αστερισμό δύο δορυφόρων, τον Sentinel-1A και τον Sentinel-1B, που μοιράζονται το ίδιο τροχιακό επίπεδο.

Ο δορυφόρος Sentinel-1 έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί σε έναν προ-προγραμματισμένο τρόπο λειτουργίας χωρίς συγκρούσεις, απεικονίζοντας όλες τις παγκόσμιες χερσαίες μάζες, τις παράκτιες ζώνες και τις ναυτιλιακές διαδρομές σε υψηλή ανάλυση και καλύπτοντας τον παγκόσμιο ωκεανό με βινιέτες. Αυτό διασφαλίζει την αξιοπιστία της υπηρεσίας που απαιτείται από τις λειτουργικές υπηρεσίες και ένα συνεπές μακροπρόθεσμο αρχείο δεδομένων που έχει δημιουργηθεί για εφαρμογές που βασίζονται σε μακροχρόνιες σειρές (ESA, n.d.). Ο δορυφόρος Sentinel-1B δε βρίσκεται πλέον σε λειτουργία.

1.2.5.1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ SENTINEL-1

Το διαστημόπλοιο είναι ένας σταθεροποιημένος δορυφόρος τριών αξόνων, που χαρακτηρίζεται από αισθητήρες ήλιου, αστεριού, γυροσκόπιου και μαγνητικού πεδίου, ένα σύνολο τεσσάρων τροχών αντίδρασης αφιερωμένο στον έλεγχο τροχιάς και στάσης και τρεις ράβδους ροπής ως ενεργοποιητές για να παρέχουν δυνατότητες διεύθυνσης σε κάθε άξονα. Ο δορυφόρος είναι εξοπλισμένος με δύο πτερύγια ηλιακής συστοιχίας ικανά να παράγουν 5.900 W (στο τέλος της ζωής του) που θα αποθηκευτούν σε μια αρθρωτή μπαταρία.

Η τροχιά αναφοράς διατηρείται εντός ενός σταθεροποιημένου στη Γη τροχιακού σωλήνα διαμέτρου 100 m (RMS) κατά την κανονική λειτουργία.

Η δορυφορική πλατφόρμα παρέχει χαρακτηριστικά για τη διαχείριση των συστημάτων ελέγχου στάσης και τροχιάς, διαχείριση δεδομένων, πρόωση, ισχύ, θερμικό έλεγχο, αυτονομία διαστημικού σκάφους και ανίχνευση αστοχίας αναγνώρισης και ανάκτησης, και επικοινωνία με το έδαφος.

Η συνολική μάζα του διαστημικού σκάφους κατά την εκτόξευση είναι περίπου 2.300 kg. (ESA, n.d.).

1.2.5.1.3 ΕΠΙΓΕΙΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ SENTINEL-1

Το επίγειο τμήμα αποτελείται από τα τμήματα εδάφους Core Ground Segment, το Collaborative Ground Segment και το Copernicus που συμβάλλουν στις αποστολές εδάφους.

Το Core Ground Segment παρακολουθεί και ελέγχει το διαστημόπλοιο Sentinel-1, διασφαλίζει την απόκτηση, την επεξεργασία, την αρχειοθέτηση και τη διάδοση των δεδομένων μέτρησης στους τελικούς χρήστες. Επιπλέον είναι υπεύθυνο για την εκτέλεση σχεδιασμού

αποστολής χωρίς συγκρούσεις σύμφωνα με ένα προκαθορισμένο επιχειρησιακό σενάριο και διασφαλίζει την ποιότητα των προϊόντων και την απόδοση των διαστημικών αισθητήρων με συνεχείς δραστηριότητες παρακολούθησης, βαθμονόμησης και επικύρωσης, διασφαλίζοντας τη συνολική απόδοση της αποστολής. (ESA, n.d.).

1.2.5.1.4 ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ SENTINEL-1

Το σενάριο παρατήρησης SAR Sentinel-1 εφαρμόζει ένα προκαθορισμένο σενάριο παρατήρησης αποστολών βάσης, κάνοντας βέλτιστη χρήση του κύκλου λειτουργίας SAR εντός των τεχνικών περιορισμών του συνολικού συστήματος.

Στο πλαίσιο του προκαθορισμένου σχεδίου παρατήρησης, η αποστολή Sentinel-1 διασφαλίζει παρατηρήσεις που πληρούν τις ακόλουθες δύο κύριες κατηγορίες υπηρεσιών:

- Υπηρεσίες παρακολούθησης που σχετίζονται με ωκεανούς, θάλασσες και θαλάσσιο πάγο. Αυτές οι υπηρεσίες απαιτούν δεδομένα σχεδόν σε πραγματικό χρόνο ή σχεδόν σε πραγματικό χρόνο, συνήθως σε λιγότερο από 3 ώρες και σε ορισμένες περιπτώσεις σε λιγότερο από 10 λεπτά. Οι υπηρεσίες σε σχεδόν πραγματικό χρόνο ή οι υπηρεσίες που απαιτούν δεδομένα εντός 1 ώρας από την ανίχνευση απαιτούν λήψη από τοπικούς σταθμούς. Οι περισσότεροι από αυτούς τους τύπους υπηρεσιών παρακολούθησης απαιτούν συστηματικές ή πολύ συχνές (π.χ. καθημερινές) παρατηρήσεις.
- Υπηρεσίες/εφαρμογές σε γη. Αυτές οι υπηρεσίες ή εφαρμογές καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών θεματικών τομέων. Γενικά δεν απαιτούν δεδομένα σε σχεδόν πραγματικό χρόνο και λίγα από αυτά απαιτούν δεδομένα εντός 3 ωρών (σχεδόν σε πραγματικό χρόνο) από την ανίχνευση. Τα σχετικά δεδομένα καταγράφονται κυρίως επί του σκάφους και μεταφορτώνονται στο κεντρικό δίκτυο επίγειων σταθμών. Τα προϊόντα που δεν απαιτούνται σχεδόν σε πραγματικό χρόνο είναι διαθέσιμα εντός 24 ωρών από την ανίχνευση, στην πράξη η διαθεσιμότητα αυτών των προϊόντων μειώνεται σε λίγες ώρες από την ανίχνευση.

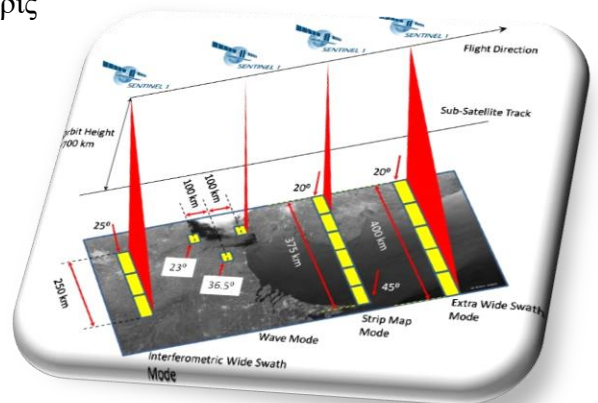
1.2.5.1.5 ΩΦΕΛΙΜΟ ΦΟΡΤΙΟ ΟΡΓΑΝΟΥ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ SENTINEL-1

Ο δορυφόρος Sentinel-1 φέρει ένα όργανο ραντάρ συνθετικού ανοίγματος μιας ζώνης C που λειτουργεί σε κεντρική συχνότητα 5,405 GHz. Περιλαμβάνει μια κεραία ενεργής συστοιχίας φάσης με δεξιά εμφάνιση που παρέχει γρήγορη σάρωση σε υψόμετρο και αζιμούθιο, χωρητικότητα αποθήκευσης δεδομένων 1 410 Gb και χωρητικότητα κατερχόμενης ζώνης X 520 Mbit/s.

Το όργανο C-SAR υποστηρίζει λειτουργία σε διπλή πόλωση (HH+HV, VV+VH) που υλοποιείται μέσω μιας αλυσίδας μετάδοσης (με δυνατότητα εναλλαγής σε H ή V) και δύο παράλληλων αλυσίδων λήψης για πόλωση H και V. Τα δεδομένα διπλής πόλωσης είναι χρήσιμα για την ταξινόμηση της κάλυψης της γης και τις εφαρμογές θαλάσσιου πάγου.

Ο δορυφόρος Sentinel-1 λειτουργεί σε τέσσερις αποκλειστικούς τρόπους απόκτησης:

- Stripmap (SM)
- Interferometric Wide Swath Mode (IW)
- Extra Wide Swath Mode (EW)
- Wave Mode (WV).



Σχήμα 10: Λειτουργίες του δορυφόρου Sentinel-1 (Πηγή: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/instrument-payload>)

Οι κύριες λειτουργίες είναι η IW πάνω από την ξηρά και η WV πάνω από τον ανοιχτό ωκεανό.

Λειτουργία Stripmap

Η λειτουργία απεικόνισης Stripmap παρέχεται για συνέχεια με τις αποστολές ERS και Envisat. Το Stripmap παρέχει κάλυψη με ανάλυση 5 m επί 5 m σε ένα στενό πλάτος 80 km. Μία από τις έξι λωρίδες απεικόνισης μπορεί να επιλεγεί αλλάζοντας τη γωνία πρόσπτωσης δέσμης και το πλάτος δέσμης ανύψωσης.

Λειτουργία Interferometric Wide Swath Mode (IW)

Η λειτουργία Interferometric Wide Swath (IW) επιτρέπει το συνδυασμό μεγάλου πλάτους λωρίδας (250 km) με μέτρια γεωμετρική ανάλυση (5 m επί 20 m). Η λειτουργία IW απεικονίζει τρεις επιμέρους λωρίδες χρησιμοποιώντας την τεχνική TOPSAR. Με την τεχνική TOPSAR, η δέσμη κατευθύνεται ηλεκτρονικά από πίσω προς τα εμπρός στην κατεύθυνση του αζιμούθιου, καταλήγοντας σε εικόνα υψηλότερης ποιότητας. Η λειτουργία IW είναι η προεπιλεγμένη λειτουργία απόκτησης δεδομένων σε ξηρά.

Λειτουργία Extra Wide Swath

Η λειτουργία απεικόνισης Extra Wide Swath προορίζεται για επιχειρησιακές υπηρεσίες θαλάσσιας και πολικής ζώνης όπου απαιτείται ευρεία κάλυψη και σύντομοι χρόνοι επανεπίσκεψης. Η λειτουργία EW λειτουργεί παρόμοια με τη λειτουργία IW που χρησιμοποιεί

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

μια τεχνική TOPSAR χρησιμοποιώντας πέντε δευτερεύουσες λωρίδες αντί για τρεις, με αποτέλεσμα χαμηλότερη ανάλυση (20 m επί 40 m).

Λειτουργία Wave Mode

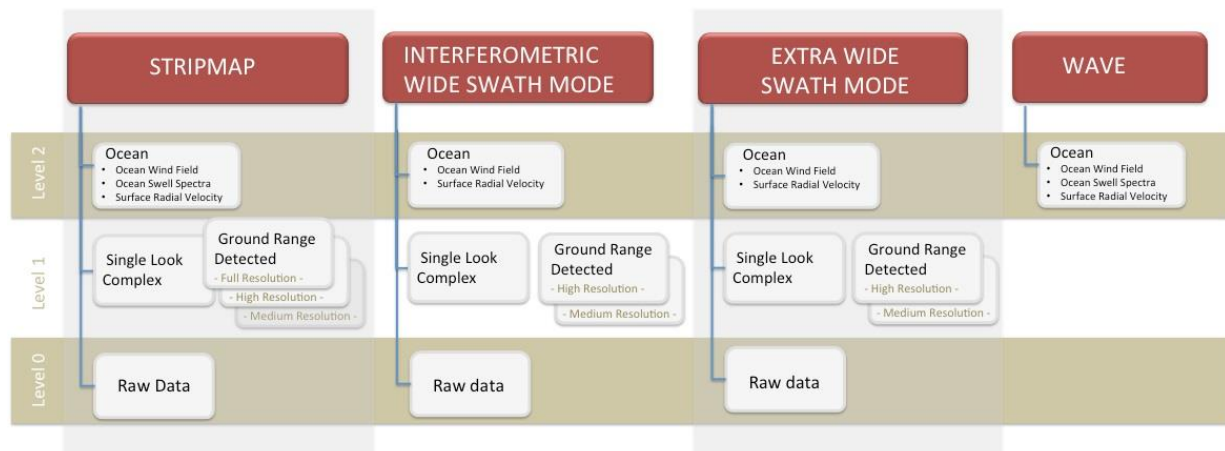
Η λειτουργία Wave, σε συνδυασμό με τα παγκόσμια μοντέλα ωκεάνιων κυμάτων, μπορεί να βοηθήσει στον προσδιορισμό της κατεύθυνσης, του μήκους κύματος και των υψών των κυμάτων στους ανοιχτούς ωκεανούς. Οι αποκτήσεις λειτουργίας κυμάτων αποτελούνται από εικόνες Stripmap 20 km επί 20 km, που αποκτώνται εναλλάξ σε δύο διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης (ESA, n.d.).

1.2.5.1.6 ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ SENTINEL-1

Τα προϊόντα δεδομένων Sentinel-1 διατίθενται συστηματικά και δωρεάν σε όλους τους χρήστες δεδομένων, συμπεριλαμβανομένου του ευρύτερου κοινού, των επιστημονικών και εμπορικών χρηστών. Τα δεδομένα παραδίδονται εντός μίας ώρας από τη λήψη για απόκριση έκτακτης ανάγκης σχεδόν σε πραγματικό χρόνο (NRT), εντός τριών ωρών για περιοχές προτεραιότητας NRT και εντός 24 ωρών για συστηματικά αρχειοθετημένα δεδομένα.

Κάθε λειτουργία μπορεί να παράγει προϊόντα σε επίπεδο SAR-0, Level-1 SLC, Level-1 GRD και Level-2 OCN.

Τα προϊόντα δεδομένων είναι διαθέσιμα σε απλή πόλωση (VV ή HH) για λειτουργία Wave και διπλή πόλωση (VV+VH ή HH+HV) ή απλή πόλωση (HH ή VV) για λειτουργίες SM, IW και EW.



Σχήμα 11: Αναπαράσταση βασικών προϊόντων Sentinel-1 (Πηγή: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/data-products>)

Στην εν λόγω διπλωματική εργασία, θα χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα επιπέδου 2 Ocean.

Τα προϊόντα επιπέδου 2 (Level-2) είναι γεωαναφερμένα και προέρχονται από τα προϊόντα επιπέδου-1. Τα προϊόντα επιπέδου 2 Ocean (OCN) προορίζονται για εφαρμογές ανέμου, κυμάτων και ρευμάτων και περιέχουν τα ακόλουθα γεωφυσικά στοιχεία που προέρχονται από τα δεδομένα SAR:

- Συνιστώσα Ocean Swell (OSW)
- Συνιστώσα Ocean Wind (OWI)
- Επιφανειακή ακτινική ταχύτητα (RVL)

Η συνιστώσα OSW περιλαμβάνει μια εκτίμηση της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου. Το OSW δημιουργείται μόνο από τις λειτουργίες Stripmap και Wave. Το προϊόν OSW περιέχει επίσης μια εκτίμηση της ταχύτητας του ανέμου σε m/s και της διεύθυνσης σε μοίρες.

Η συνιστώσα OWI περιέχει ένα σύνολο διανυσμάτων ανέμου για κάθε επεξεργασμένο προϊόν εισόδου επιπέδου 1. Το μέτρο είναι η ταχύτητα του ανέμου σε m/s και το όρισμα είναι η διεύθυνση ανέμου σε μοίρες (μετεωρολογική σύμβαση = δεξιόστροφη κατεύθυνση από όπου ο άνεμος φυσά σε σχέση με το βορρά). Η χωρική ανάλυση της ταχύτητας του ανέμου είναι 1 km για τις λειτουργίες SM, IW και EW. Οι λειτουργίες του μοντέλου ανάκτησης χαρακτηριστικών ανέμου έχουν σχεδιαστεί για να ανακτούν την ταχύτητα ανέμου σε ύψος 10m πάνω από την επιφάνεια του ωκεανού. Το μοντέλο ανταποκρίνεται σε αλλαγές της τραχύτητα στην επιφάνεια του ωκεανού, αλλά δεν μπορεί να ανταποκριθεί άμεσα στις αλλαγές της ταχύτητα του ανέμου λόγω της ατμοσφαιρικής διαστρωμάτωσης.

Η συνιστώσα RVL παρέχει πληροφορίες σχετικά με τα επιφανειακά ρεύματα των ωκεανών και τους επιφανειακούς ανέμους σε πολύ υψηλή ανάλυση μέχρι την ακτή.

1.2.5.1.7 ΕΠΙΣΚΕΨΙΜΟΤΗΤΑ SENTINEL-1

Κάθε δορυφόρος Sentinel-1 βρίσκεται σε μια σχεδόν πολική, σύγχρονη τροχιά, με κύκλο επανάληψης 12 ημερών και 175 τροχιές ανά κύκλο. Τόσο ο δορυφόρος Sentinel-1A όσο και ο δορυφόρος Sentinel-1B μοιράζονται το ίδιο επίπεδο τροχιάς με διαφορά φάσης τροχιάς 180°. Ένας μεμονωμένος δορυφόρος Sentinel-1 είναι δυναμικά ικανός να χαρτογραφήσει τις παγκόσμιες χερσαίες μάζες στη λειτουργία Interferometric Wide Swath μία φορά κάθε 12 ημέρες, με ένα μόνο πέρασμα (αύξουσα ή φθίνουσα). Ο αστερισμός των δύο δορυφόρων προσφέρει έναν ακριβή κύκλο επανάληψης 6 ημερών στον Ισημερινό (Esa, n.d.).

1.2.5.2 ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ SENTINEL-3

Ο κύριος στόχος της αποστολής Sentinel-3 είναι η μέτρηση της τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας, της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας και της γης, και του χρώματος της επιφάνειας των ωκεανών και της ξηράς με υψηλή ακρίβεια και αξιοπιστία για την υποστήριξη συστημάτων πρόβλεψης ωκεανών, περιβαλλοντικής παρακολούθησης και παρακολούθησης του κλίματος. Η αποστολή Sentinel-3 λειτουργεί από κοινού από την ESA και την EUMETSAT για την παροχή επιχειρησιακών υπηρεσιών παρατήρησης ωκεανών και ξηρών.



Εικόνα 12: Ο δορυφόρος Sentinel-3

(Πηγή: https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/Nueva_fecha_para_el_lanzamiento_de_Sentinel-3A)

1.2.5.2.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ SENTINEL-3

Ο δορυφόρος Sentinel - 3 παρέχει

- i. συνέχεια της ικανότητας μέτρησης παραμέτρων ωκεανών τύπου ENVISAT με σταθερή ποιότητα, πολύ υψηλό επίπεδο διαθεσιμότητας (>95%), υψηλή ακρίβεια και αξιοπιστία και με διαρκή λειτουργικό τρόπο που περιλαμβάνει:
 - Μετρήσεις χρώματος ωκεανού, εσωτερικής θάλασσας και παράκτιας ζώνης τουλάχιστον στο επίπεδο ποιότητας του οργάνου MERIS στο ENVISAT.
 - Μετρήσεις θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας τουλάχιστον στο επίπεδο ποιότητας του οργάνου AATSR στο ENVISAT.
 - Μετρήσεις τοπογραφίας της επιφάνειας της θάλασσας τουλάχιστον στο επίπεδο ποιότητας του συστήματος υψομετρίας ENVISAT, συμπεριλαμβανομένης της δυνατότητας SAR κατά μήκος της τροχιάς της CRYOSAT για βελτιωμένη ποιότητα μέτρησης σε παράκτιες ζώνες και πάνω από θαλάσσιο πάγο.
- ii. συνέχεια της ικανότητας μέτρησης γης τύπου ENVISAT μέσης ανάλυσης στην Ευρώπη για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους και του χρώματος της επιφάνειας του εδάφους.

- iii. σε σχεδόν πραγματικό χρόνο, λειτουργικά και έγκαιρα, ορατές ακτινοβολίες επιπέδου 1B, βραχέων κυμάτων και θερμικές υπέρυθρες ακτινοβολίες και προϊόντα τοπογραφίας επιπέδου 2.
- iv. σε σχεδόν πραγματικό χρόνο λειτουργικό και έγκαιρο, μια γενικευμένη σειρά πρωτογενών γεωφυσικών προϊόντων υψηλού επιπέδου όπως:
 - Παγκόσμιας κάλυψης προϊόντα με τη σημαντική μέτρηση ύψους κύματος (SSH) για ωκεανούς και παράκτιες περιοχές.
 - Προϊόντα SSH βελτιωμένης ανάλυσης σε παράκτιες ζώνες και περιοχές με θαλάσσιο πάγο.
 - Παγκόσμιας κάλυψης προϊόντα με τη θερμοκρασία επιφάνειας θάλασσας (SST) και τη θερμοκρασία επιφάνειας πάγου θάλασσας (IST).
 - Παγκόσμιας κάλυψης προϊόντα με την ποιότητα ωκεανού και νερού.
 - Παγκόσμιας κάλυψης προϊόντα ατμοσφαιρικού αεροζόλ σε ξηρά και ωκεανούς.
 - Παγκόσμιας κάλυψης προϊόντα με τη συνολική στήλη υδρατμών πάνω από τη γη και τον ωκεανό.
 - Παγκόσμιας κάλυψης προϊόντα βλάστησης.
 - Προϊόντα πάγου (π.χ. τοπογραφία επιφάνειας πάγου, έκταση, συγκέντρωση) (ESA, n.d.).

1.2.5.2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ SENTINEL-3

Ο Sentinel-3 είναι ένας δορυφόρος μεσαίου μεγέθους χαμηλής τροχιάς στη Γη, συμβατός με μικρούς εκτοξευτές, συμπεριλαμβανομένων των VEGA και ROCKOT. Η μηχανική διαμόρφωση του δορυφόρου και η πτήση του έχουν βελτιστοποιηθεί μέσω εντατικών μελετών ανάλυσης της αποστολής του, αποτέλεσμα σημαντικές βελτιώσεις σε σύγκριση με το ENVISAT.

Τα κύρια υποσυστήματα του δορυφόρου είναι:

- Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (EPS).
- Σύστημα ελέγχου στάσης και τροχιάς (AOCS).
- Μονάδα διαχείρισης δορυφόρου για δορυφορική διοίκηση και παρακολούθηση.
- Μονάδα διαχείρισης δεδομένων και μαζικής μνήμης για χειρισμό δεδομένων ωφέλιμου φορτίου.
- Μονάδες μαζικής μνήμης για τον δορυφόρο και το ωφέλιμο φορτίο του.
- Δορυφορικά υποσυστήματα τηλεπικοινωνιών που περιλαμβάνουν ένα υποσύστημα ζώνης S για ανερχόμενη ζεύξη τηλεχειρισμού (TC) και κατερχόμενη ζεύξη τηλεμετρίας (TM), και ένα αποκλειστικό υποσύστημα ζώνης X μεγάλου όγκου για κατερχόμενη ζεύξη δεδομένων αποστολής.

1.2.5.2.3 ΕΠΙΓΕΙΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ SENTINEL-3

Το επίγειο τμήμα αποτελείται από τα τμήματα εδάφους Core Ground Segment, το Collaborative Ground Segment και το Copernicus που συμβάλλουν στις αποστολές εδάφους.

Το επίγειο τμήμα πυρήνα παρακολουθεί και ελέγχει το διαστημόπλοιο Sentinel-3, διασφαλίζει την απόκτηση, την επεξεργασία, την αρχειοθέτηση και τη διάδοση των δεδομένων στους τελικούς χρήστες. Επιπλέον, διασφαλίζει την ποιότητα των δεδομένων και την απόδοση των διαστημικών αισθητήρων με συνεχή παρακολούθηση, βαθμονόμηση κι επικύρωση.

Το επίγειο τμήμα του Copernicus συμπληρώνεται από το Sentinel Collaborative Ground Segment, το οποίο εισήχθη με στόχο την περαιτέρω εκμετάλλευση των αποστολών Sentinel. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, επιπλέον στοιχεία για εξειδικευμένες λύσεις σε διαφορετικούς τεχνολογικούς τομείς, όπως καινοτόμα εργαλεία κι εφαρμογές και συμπληρωματική υποστήριξη σε δραστηριότητες βαθμονόμησης και επικύρωσης (ESA, n.d.).

1.2.5.2.4 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ SENTINEL-3

Το σενάριο παρατηρήσεων του δορυφόρου Sentinel-3 εφαρμόζει ένα προκαθορισμένο Σχέδιο Παρατήρησης Υψηλού Επιπέδου Sentinel (HLOP) και επικεντρώνεται στην παροχή των απαιτήσεων παρατήρησης για τις υπηρεσίες του Copernicus.

Τα όργανα του δορυφόρου Sentinel-3 είναι:

- Το όργανο OLCI, σε λειτουργία παρατήρησης, λαμβάνει δεδομένα στο φως της ημέρας για μέρος της τροχιάς (δηλαδή για μια γωνία ζενίθ του ήλιου κάτω από 80 μοίρες).
- Το όργανο SLSTR, σε λειτουργία παρατήρησης, λειτουργεί στα κανάλια εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας σε ολόκληρη την τροχιά και στα ορατά κανάλια μόνο εκτός έκλειψης.
- Το όργανο SRAL λαμβάνει δεδομένα σε ολόκληρη την τροχιά σε λειτουργία SAR 100%.
- Το όργανο MWR λειτουργεί σε ολόκληρη την τροχιά.

1.2.5.2.5 ΩΦΕΛΙΜΟ ΦΟΡΤΙΟ ΟΡΓΑΝΟΥ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ SENTINEL-3

Ο δορυφόρος Sentinel-3 μεταφέρει τα ακόλουθα όργανα ωφέλιμου φορτίου:

- Ένα φασματομετρικό σαρωτή απεικόνισης που ονομάζεται όργανο χρώματος ωκεανών και γης (OLCI).
- Ένα ραδιόμετρο κωνικής απεικόνισης διπλής όψης που συλλέγει θερμοκρασίες επιφάνειας θάλασσας και ξηράς (SLSTR).
- Ένα αλτίμετρο SAR διπλής συχνότητας που ονομάζεται όργανο SAR Radar ALtimeter (SRAL).
- Ένα ραδιόμετρο μικροκυμάτων (MWR), που υποστηρίζει το SRAL στην επίτευξη συνολικής απόδοσης υψομετρικής αποστολής παρέχοντας διόρθωση υγρής ατμόσφαιρας.
- Ένα πακέτο ακριβούς προσδιορισμού τροχιάς που περιλαμβάνει ένα όργανο Global Navigation Satellite Systems (GNSS), ένα όργανο Doppler Orbit Determination and

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

Radio-positioning Integrated on Satellite (DORIS) και ένα Laser Retro-Reflector (LRR) (ESA, n.d.).

1.2.5.2.6 ΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ SENTINEL-3

Ο δορυφόρος Sentinel-3 εφαρμόζει αλυσίδες επεξεργασίας για τη δημιουργία απεικονίσεων χρώματος ωκεανού και εδάφους, θερμοκρασίας γης και θάλασσας και προϊόντων τοπογραφίας ωκεανών και εδάφους. Από τον Ιανουάριο του 2020, επιπλέον προϊόντα Sentinel-3 διατίθενται στους χρήστες. Αυτά τα νέα προϊόντα παρέχουν πληροφορίες σχετικά με πυρκαγιές και εκλάμψεις αερίου που ανιχνεύονται τόσο σε ξηρά όσο και σε ωκεανό, καθώς και πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά αερολύματος (ESA, n.d.).



Σχήμα 12: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3/data-products>

Στην εν λόγω διπλωματική εργασία, θα χρησιμοποιηθούν προϊόντα επιπέδου 2 SRAL.

Τα δεδομένα επιπέδου 2 είναι δεδομένα επιπέδου 1 που διορθώθηκαν από γεωφυσικές επιδράσεις και είναι διαθέσιμα στο ευρύ κοινό σε ανεξάρτητα αρχεία προϊόντων της εφαρμογής netCDF 4.

Η πρώτη λειτουργία της αλυσίδας επεξεργασίας επιπέδου 2 είναι να εφαρμόζει διαφορετικούς αλγόριθμους επανα-παρακολούθησης στις κυματομορφές επιπέδου 1 για τον υπολογισμό του τελικού εύρους υψομέτρου, του συντελεστή οπισθοσκέδασης, της ταχύτητας ανέμου πάνω από τον ωκεανό και του σημαντικού ύψους κύματος.

Η δεύτερη λειτουργία της αλυσίδας επεξεργασίας επιπέδου 2 είναι να υπολογίζει και να εφαρμόζει όλες τις γεωφυσικές διορθώσεις στις μετρήσεις. Παραδείγματα αλγορίθμων γεωφυσικής διόρθωσης είναι οι παλίρροιες ή η επιφάνεια αναφοράς που χρησιμοποιείται (π.χ. το γεωειδές).

Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι προϊόντων δεδομένων ανάλογα με τον χρόνο παράδοσης στους χρήστες και τα διαθέσιμα βοηθητικά δεδομένα:

- Σχεδόν σε πραγματικό χρόνο (NRT): παραδίδονται λιγότερο από 3 ώρες μετά την απόκτηση δεδομένων και χρησιμοποιούνται κυρίως για θαλάσσια μετεωρολογία και μελέτες μεταφοράς αερίων ωκεάνιας-ατμόσφαιρας.
- Slow Time Critical (STC): παραδίδονται εντός 48 ωρών μετά την απόκτηση δεδομένων, λόγω της ενοποίησης ορισμένων βοηθητικών ή βοηθητικών δεδομένων και τα δεδομένα χρησιμοποιούνται κυρίως για γεωφυσικές μελέτες και επιχειρησιακή ωκεανογραφία.
- Non Time Critical (NTC): συνήθως παραδίδονται εντός 1 μήνα μετά τη λήψη δεδομένων. Αυτή η πρόσθετη καθυστέρηση επιτρέπει την ενοποίηση ορισμένων βοηθητικών ή βοηθητικών δεδομένων και τα δεδομένα χρησιμοποιούνται κυρίως για γεωφυσικές μελέτες και επιχειρησιακή ωκεανογραφία.

Υπάρχουν δύο τύποι προϊόντων επιπέδου 2 ανάλογα με την επιφάνεια που καλύπτεται:

- προϊόντα νερού (SR_2_WAT) που παράγονται από το Marine Center και θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα εργασία και
- προϊόντα γης (SR_2_LAN) που παράγονται από τα Κέντρα Γης.

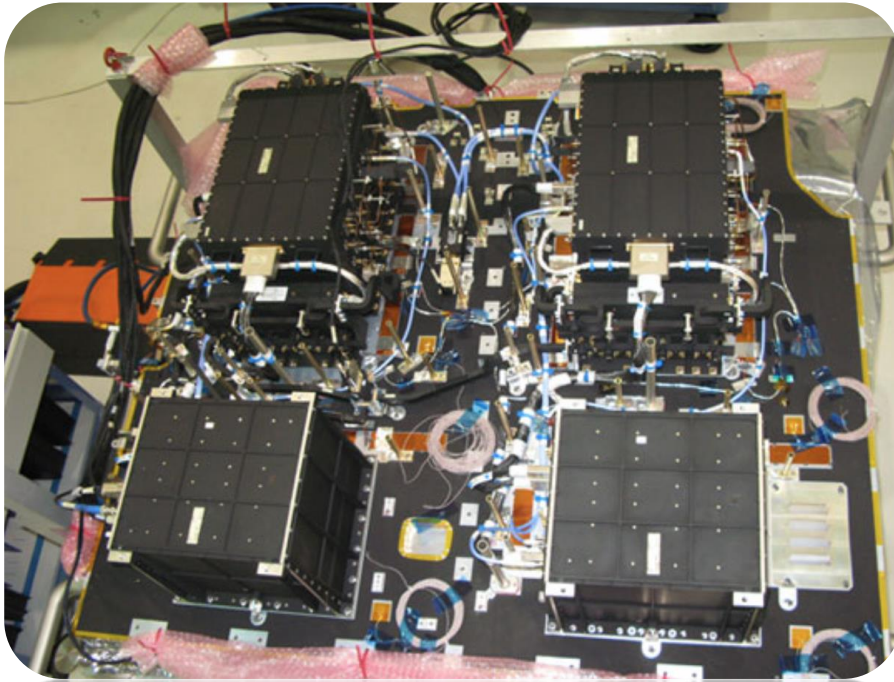
Ένα προϊόν SRAL/MWR επιπέδου 2 περιέχει τρία αρχεία netCDF:

- Ένα "μειωμένο" αρχείο δεδομένων, που περιέχει ένα υποσύνολο των κύριων παραμέτρων, όπως έχουν εξαχθεί από την μάντα Ku στο 1 Hz.
- Ένα "τυποποιημένο" αρχείο δεδομένων που περιέχει τις τυπικές παραμέτρους όπως έχουν εξαχθεί από τις μάντες Ku και C στα 1 Hz και 20 Hz.
- Ένα "βελτιωμένο" αρχείο δεδομένων που περιέχει τις τυπικές παραμέτρους όπως έχουν εξαχθεί από τις μάντες Ku και C στα 1 Hz και 20 Hz, καθώς και τις κυματομορφές και τις σχετικές παραμέτρους που είναι απαραίτητες για την επανεπεξεργασία των δεδομένων.

Τα προϊόντα Sentinel-3 Surface Topography Mission (STM) επιπέδου 2 μοιράζονται μεταξύ προϊόντων Land και Marine. Αυτός ο διαχωρισμός σχετίζεται με τις αντίστοιχες αρμοδιότητες Sentinel-3 που μοιράζονται μεταξύ του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (ESA) για την παραγωγή προϊόντων ξηράς και του Ευρωπαϊκού Οργανισμού για την Εκμετάλλευση Μετεωρολογικών Δορυφόρων (EUMETSAT) που είναι υπεύθυνος για την παραγωγή θαλάσσιων προϊόντων (ESA, n.d.).

1.2.5.2.7 ΤΟ ΟΡΓΑΝΟ SRAL

Το όργανο SRAL περιλαμβάνει μια κεραία στο ναδίρ, εξωτερικά τοποθετημένη στο πάνελ και μια αλυσίδα οργάνων που αποτελείται από μια μονάδα ψηφιακής επεξεργασίας (DPU) και μια μονάδα ραδιοσυχνότητας (RFU). Η κύρια συχνότητα που χρησιμοποιείται για μετρήσεις εύρους είναι η ζώνη Ku, ενώ η συχνότητα της ζώνης C χρησιμοποιείται για διόρθωση ιονόσφαιρας (ESA, n.d.).



Εικόνα 14: Όργανο SRAL (Πηγή: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-3-altimetry/instrument/sral>)

1.2.5.2.8 ΕΠΙΣΚΕΨΙΜΟΤΗΤΑ SENTINEL-3

Η αποστολή Sentinel-3 βασίζεται σ'έναν αστερισμό δύο πανομοιότυπων δορυφόρων Sentinel-3A και Sentinel-3B, οι οποίοι εκτοξεύτηκαν χωριστά. Ο δορυφόρος παρέχει χρόνο επανεπίσκεψης 27 ημερών (385 τροχιές) (ESA, n.d.).

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. «Ανάλυση αιολικού δυναμικού με χρήση δορυφόρου Sentinel-1: Μελέτη σε νησιά της Μεσογείου»

M. Majidi Nezhad , D. Groppi, P. Marzialetti, L. Fusilli, G. Laneve, F. Cumo, D. Astiaso Garcia (2019)

Σε αυτό το άρθρο παρουσιάζεται μία μέθοδος για την αξιολόγηση και τη χαρτογράφηση του αιολικού δυναμικού των υπεράκτιων περιοχών μέσω του δορυφόρου Sentinel-1 στη βορειοδυτική ακτή της Σικελίας.

Η μέθοδος που αναπτύχθηκε στοχεύει

- στον προκαταρκτικό προσδιορισμό των καλύτερων περιοχών για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών και
- την εκτίμηση της μέσης τιμής του αιολικού δυναμικού.

Τα βασικά βήματα της διαδικασίας ήταν σε πρώτο επίπεδο να συλλεχθούν 96 εικόνες SAR για το χρονικό διάστημα 11/01/2015 έως 18/07/2018 από το δορυφόρο Sentinel-1A και να επεξεργαστούν με το λογισμικό Sentinel Application Platform (SNAP). Στη συνέχεια, οι εικόνες επεξεργάστηκαν μέσω Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών και το αιολικό δυναμικό αξιολογήθηκε μέσω του λογισμικού Environment for Visualizing Images (ENVI).

Από την παραπάνω μέθοδο, προέκυψαν έξι σημεία, που χαρακτηρίζονται από υψηλό αιολικό δυναμικό και προσδιορίστηκαν ως πιθανές τοποθεσίες για εγκαταστάσεις ανεμογεννητριών.

Βασικό συμπέρασμα του παραπάνω άρθρου είναι ότι η μεθοδολογία έχει αποδειχθεί ένα εύκολο εργαλείο για μια προκαταρκτική αξιολόγηση και χαρτογράφηση του αιολικού δυναμικού, καθώς τα δορυφορικά δεδομένα Sentinel-1 είναι δωρεάν και έχουν παγκόσμια κάλυψη. Προκειμένου να γίνει η μέθοδος πιο αξιόπιστη και ακριβής θα πρέπει να χρησιμοποιούνται εικόνες SAR που καλύπτουν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

2. «Η χρήση προϊόντων Sentinel-1 OCN για προκαταρκτική εκτίμηση αιολικού δυναμικού σε βαθιά υπεράκτια περιοχή: Μια μελέτη στο Ιόνιο Πέλαγος»

Carlo Caligiuri , Laura Stendardi , Massimiliano Renzi (2022)

Σε αυτό το άρθρο, αναπτύσσεται μία μεθοδολογία για την αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού στο Ιόνιο Πέλαγος για τον εντοπισμό περιοχών με το υψηλότερο αιολικό δυναμικό. Η μελέτη βασίζεται στη χρήση των προϊόντων Sentinel-1 OCeAN (OCN), τα οποία είναι προϊόντα θαλάσσιων δεδομένων επιπέδου 2 που παρέχονται από το Copernicus και περιέχουν πληροφορίες ανάκτησης ανέμου.

Σε πρώτο επίπεδο, έγινε μία προκαταρκτική έρευνα για τα χαρακτηριστικά του ανέμου, χρησιμοποιώντας δεδομένα από τον Παγκόσμιο Άτλαντα Ανέμου (GWA) και επιλέχθηκε μία υποπεριοχή ενδιαφέροντος – μελέτης. Γι’ αυτή συλλέχθηκαν 54 δορυφορικές εικόνες Sentinel-1. Με τα δεδομένα που εξήχθησαν, παράχθηκαν 12 χάρτες ταχύτητας ανέμου. Η αξιοπιστία των παραγόμενων χαρτών ελέγχθηκε με την ανάλυση της χωρικής διασποράς, κατά την οποία

εντοπίστηκαν χαμηλές τυπικές αποκλίσεις. Δύο από τους παραγόμενους χάρτες, επηρεάστηκαν ελαφρώς από υψηλότερες τιμές διασποράς, οι οποίοι όμως δεν επηρέασαν τη σταθερότητα των αποτελεσμάτων. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν τέτοιες αποκλίσεις, προτάθηκε η επεξεργασία μεγαλύτερου αριθμού δορυφορικών εικόνων – με ενσωμάτωση αποτελεσμάτων από διαφορετικούς χρόνους και περιοχές λήψης.

3. «Επικύρωση των υπεράκτιων ανεμολογικών δεδομένων από τον δορυφόρο Sentinel-1 και εκτίμηση της μέσης αιολικής ισχύος γύρω από την Ιρλανδία»

Louis de Montera, Tiny Remmers, Ross O'Connell, and Cian Desmond (2020)

Σε αυτό το άρθρο, η ταχύτητα του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας και η μέση αιολική ισχύς που προέρχονται από δορυφορικά δεδομένα Sentinel-1 SAR Level 2 Ocean (OCN) επικυρώθηκαν έναντι τεσσάρων μετεωρολογικών σηματοδούρων και τριών παράκτιων μετεωρολογικών σταθμών γύρω από την Ιρλανδία. Συνολικά λήφθηκαν 1544 σημεία αντιστοίχισης σε μια περίοδο 2 ετών από τον Μάιο του 2017 έως τον Μάιο του 2019. Η σύγκριση αντιστοίχισης έδειξε ότι τα δορυφορικά δεδομένα υποτίμησαν την ταχύτητα του ανέμου σε σύγκριση με τις επί τόπου συσκευές κατά $0,4 \text{ m s}^{-1}$ κατά μέσο όρο, με μέσο τετραγωνικό σφάλμα $1,45 \text{ m s}^{-1}$, η οποία όμως μειώθηκε γραμμικά με τη χρήση της συνάρτησης της μέσης ταχύτητας του ανέμου. Παρήχθησαν επίσης μακροπρόθεσμα στατιστικά στοιχεία που χρησιμοποιούν όλα τα διαθέσιμα δεδομένα. Επιπλέον, η μέση αιολική ισχύς βρέθηκε να είναι συνεπής με τα επί τόπου δεδομένα, με ένα σφάλμα 10% και 5% για τους μετεωρολογικούς σημαντήρες και τους παράκτιους σταθμούς, αντίστοιχα. Αυτό το αποτέλεσμα ήταν αρκετά αξιοσημείωτο δεδομένου ότι η αιολική ισχύς είναι ανάλογη με τον κύβο της ταχύτητας του ανέμου, γεγονός που ενισχύει έντονα το αρχικό σφάλμα. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το προϊόν Sentinel-1 Level 2 OCN μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των χαρακτηριστικών του ανέμου, ακόμη και σε παράκτιες περιοχές.

Το σφάλμα βρέθηκε να είναι ισχυρότερο για χαμηλές ταχύτητες ανέμου και να μειώνεται γραμμικά με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου. Ωστόσο, αυτή η απόκλιση εξαφανίστηκε όταν υπολογίστηκαν τα μακροπρόθεσμα στατιστικά στοιχεία συμπεριλαμβανομένων όλων των διαθέσιμων επί τόπου δεδομένων. Επισημάνθηκε ότι η διαφορετική χωρική κάλυψη (σημειακή) των επιτόπιων μετρήσεων σε σχέση με την χωρική ανάλυση των δορυφορικών μετρήσεων (μερικά cm^2 έναντι 1 km^2) παίζει ρόλο στο σφάλμα των εκτιμήσεων.

Παρουσιάστηκαν χάρτες της μέσης ταχύτητας του ανέμου και της ισχύος του ανέμου γύρω από την Ιρλανδία με ανάλυση 1 km^2 . Αυτοί οι χάρτες έδειξαν ότι ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία των ακατέργαστων δεδομένων SAR για το προϊόν Sentinel-1 Level 2 OCN πρέπει να βελτιωθεί. Οι χρήστες θα πρέπει να είναι προσεκτικοί όταν εργάζονται με δεδομένα SAR Sentinel-1, καθώς βρέθηκε σφάλμα εξαρτώμενο από τη θέση της περιοχής σε σχέση με τις άκρες της εικόνας.

Σε κάθε περίπτωση, αυτή η μελέτη έδειξε ότι τα δεδομένα τηλεπισκόπησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των αιολικών πόρων σε παράκτιες περιοχές έως και ένα 1 km από την ακτή και συνήχθη το συμπέρασμα ότι το προϊόν Sentinel-1 Level 2 OCN μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της μακροπρόθεσμης κατανομής της ταχύτητας ανέμου και

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

της μέσης αιολικής ισχύος. Αυτό, θα μπορούσε να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των ροπών και υποθέτοντας το νόμο Weibull προκειμένου να αντισταθμιστεί η χαμηλή χρονική κάλυψη των δορυφόρων.

4. «Η χρήση δεδομένων υψομετρίας Sentinel-3 για την εκτίμηση της ταχύτητας του ανέμου από το μοντέλο έρευνας και πρόβλεψης καιρού (WRF): Εφαρμογή πάνω από τον Κόλπο του Κάδιθ»

Roberto Mulero-Martinez, Carlos Román – Cascón , Rafael Mañanes, Alfredo Izquierdo, Miguel Bruno and Jesús Gómez – Enri (2022)

Η δυνατότητα εφαρμογής των δεδομένων υψομετρίας από τους δορυφόρους Sentinel-3A και Sentinel-3B αξιολογήθηκε μέσω τριών διαφορετικών πηγών δεδομένων ταχύτητας ανέμου στην υπό μελέτη περιοχή και συγκεκριμένα

- με επιτόπου μετρήσεις,
- με δεδομένα υψομετρίας Sentinel-3 20 Hz και
- με μοντέλα έρευνας και πρόβλεψης καιρού (WRF).

Τα δεδομένα Sentinel-3A/B συγκρίθηκαν με δεδομένα από δύο διαφορετικές αγκυροβολημένες σημαδούρες για να εξασφαλιστεί η ποιότητά τους πάνω από τον Κόλπο Κάδιθ, με μέσο όρο αποτελεσμάτων: Μέσο τετραγωνικό σφάλμα = 1,21 m/s, συντελεστή συσχέτισης = 0,93 για Sentinel-3A και Μέσο τετραγωνικό σφάλμα = 1,36 m /s, συντελεστή συσχέτισης = 0,89 για Sentinel-3B.

Το μοντέλο WRF επικυρώθηκε με επί τόπου δεδομένα από τέσσερις διαφορετικούς σταθμούς για να διασφαλιστεί η σωστή απόδοση στην περιοχή.

Τέλος, η χωρική μεταβλητότητα της ταχύτητας του ανέμου που προήλθε από το μοντέλο WRF συγκρίθηκε με τα δεδομένα ανέμου που προήλθαν από την υψομετρία κατά μήκος της διαδρομής. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε κάτω από διαφορετικές συνθήκες ανέμου.

Τα ποιοτικά και ποσοτικά αποτελέσματα (μέσο τετραγωνικό σφάλμα < 1,0 m/s) δείχνουν συμφωνία μεταξύ των δύο συνόλων δεδομένων σε καθεστώς χαμηλού/υψηλού ανέμου, αποδεικνύοντας ότι η χωρική κάλυψη της δορυφορικής υψομετρίας επιτρέπει τη χωρική αξιολόγηση μοντέλων πρόβλεψης καιρού υψηλής ανάλυσης σε σύνθετα ύδατα.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθούν οι περιορισμοί που σχετίζονται με την υψομετρία, καθώς δεν είναι δυνατό να ληφθεί η κατεύθυνση του ανέμου. Επιπλέον, επειδή τα δεδομένα υψομετρίας είναι στιγμιαία και σε μικρότερη κλίμακα από τη χρονική ανάλυση, μπορεί να οδηγήσουν σε αναντιστοιχίες.

Αυτή η μελέτη αποδεικνύει την υψηλή ποιότητα των δεδομένων ταχύτητας ανέμου των δορυφόρων Sentinel-3A/B WS σε πολύπλοκες περιοχές και στοχεύει να προωθήσει τη χρήση αυτών σε περιοχές όπου η διαθεσιμότητα επιτόπιων μετρήσεων είναι περιορισμένη ή ανύπαρκτη.

5. «Επικύρωση ταχύτητων ανέμου Sentinel-3A/3B και Jason-3 και σημαντικών υψών κυμάτων με χρήση σηματοδύρων και δεδομένων ASCAT»

Jungang Yang, Jie Zhang, Yongjun Jia, Chenqing Fan and Wei Cui (2020)

Αυτή η μελέτη επικύρωσε την ταχύτητα του ανέμου και του σημαντικού ύψους κύματος από τα υψόμετρα των δορυφόρων Sentinel-3A/3B και Jason-3 για την περίοδο που αρχίζει 31 Οκτωβρίου 2019 (έως 18 Σεπτεμβρίου 2019 για τον Jason-3) χρησιμοποιώντας δεδομένα από αγκυροβολημένη σηματοδύρα και από το δορυφορικό Μετεωρολογικό Επιχειρησιακό Δορυφορικό Πρόγραμμα (MetOp-A/B) Advanced Scatterometer (ASCAT).

Οι χωρικές και χρονικές κλίμακες των συγκεντρωμένων δεδομένων ήταν 25 km και 30 λεπτά, αντίστοιχα.

Οι στατιστικές μετρήσεις του μέσου τετραγωνικού σφάλματος, του συντελεστή συσχέτισης και του δείκτη διασποράς χρησιμοποιήθηκαν για την επικύρωση της ακρίβειας των δεδομένων της ταχύτητας του ανέμου και του σημαντικού ύψους κύματος.

Η επικύρωση των δεδομένων της ταχύτητας του ανέμου έναντι των δεδομένων αγκυροβολημένου σημαντήρα έδειξε σφάλματα 1,19 m/s, 1,13 m/s και 1,29 m/s για Sentinel-3A, Sentinel-3B και Jason-3, αντίστοιχα.

Η ακρίβεια της ταχύτητας του ανέμου των Sentinel-3A/3B είναι καλύτερη από αυτή του δορυφόρου Jason-3. Και τα τρία αλτιόμετρα υποτίμησαν ελαφρώς την ταχύτητα του ανέμου σε σύγκριση με τα δεδομένα της σηματοδύρας. Με την αύξηση της χρονοσειράς, η ακρίβεια της ταχύτητας του ανέμου που προέρχεται από το υψόμετρο Jason-3 βελτιώθηκε, ενώ αυτή του Sentinel-3A δεν έδειξε καμία χρονική εξάρτηση.

Τα δεδομένα της ταχύτητας του ανέμου των τριών αλτιμέτρων συγκρίθηκαν με τα δεδομένα ανέμου ASCAT για σκοπούς επικύρωσης πάνω από τον παγκόσμιο ωκεανό χωρίς επιτόπιες μετρήσεις. Κατά μέσο όρο, τα δεδομένα των τριών αλτιμέτρων ήταν χαμηλότερα σε σύγκριση με τα δεδομένα ASCAT. Η ακρίβεια των τριών αλτιμέτρων βρέθηκε να είναι συνεπής και σταθερή σε χαμηλές/μεσαίες ταχύτητες, αλλά μειώθηκε όταν η ταχύτητα ξεπέρασε τα 15 m/s.

Οι επικυρώσεις του σημαντικού ύψους κύματος έναντι των δεδομένων κυμάτων σηματοδύρας έδειξαν ότι η ακρίβεια του Jason-3 ήταν καλύτερη από αυτή του Sentinel-3A/3B. Ωστόσο, η ακρίβεια και των τριών αλτιμέτρων μειώθηκε όταν το σημαντικό ύψος ξεπέρασε τα 4 m. Οι αναλύσεις της ακρίβειας του σημαντικού ύψους κύματος έδειξαν ότι το αλτιόμετρο Jason-3 ήταν καλύτερο από το αλτιόμετρο Sentinel-3A/3B για ωκεάνια κύματα μεγάλης περιόδου.

Το συμπέρασμα της έρευνας ήταν ότι η ακρίβεια των δεδομένων της ταχύτητας του ανέμου και του σημαντικού ύψους κύματος που προέρχονται από τα υψόμετρα Sentinel-3A/3B και Jason-3 ικανοποιεί τις απαιτήσεις αποστολής τους.

6. «Πολυπαραμετρική αξιολόγηση περιοχών των ελληνικών θαλασσών για εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων»

Μυλωνάκης Μανώλης (2023)

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία γίνεται μία προκαταρκτική μελέτη για την εύρεση περιοχών των ελληνικών θαλασσών κατάλληλων για την ανέγερση Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων. Πιο συγκεκριμένα, έγινε συλλογή δεδομένων ταχύτητας ανέμου 100m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας από τη βάση δεδομένων ERA 5 με τη μορφή χρονοσειράς για την εικοσαετία 2000 -2019 και για το γεωγραφικό χώρο [42°-33°B , 19°-30°A]. Η χωρική ανάλυση που χρησιμοποιήθηκε ήταν 0.25° δημιουργώντας έναν κάνναβο με 37 στοιχεία κατακόρυφα για το γεωγραφικό πλάτος και 45 στοιχεία οριζόντια για το γεωγραφικό μήκος. Για κάθε ένα από τα στοιχεία του καννάβου, υπολογίστηκαν με τη χρήση του λογισμικού «MATLAB», η μέση ταχύτητα του ανέμου, το μέσο αιολικό δυναμικό καθώς και η μεταβλητότητα των συγκεκριμένων μεγεθών. Τα παραπάνω στη συνέχεια απεικονίστηκαν με τη βοήθεια της ελεύθερα διαθέσιμης βιβλιοθήκης «m_map» με τη μορφή χαρτών. Στη συνέχεια έγινε αναφορά στη βαθυμετρία των ελληνικών θαλασσών και εντοπίστηκαν οι περιοχές με βάθος μέχρι 50m στις οποίες μπορούν να πακτωθούν οι ανεμογεννήτριες στον πυθμένα με πάσσαλο και οι περιοχές με βάθος μέχρι 300m στις οποίες οι ανεμογεννήτριες είναι πλωτές και αγκυρώνονται μέσω διαφόρων τεχνικών. Τέλος, υπολογίστηκε ο περιορισμός της απόστασης από την ακτογραμμή και τα θαλάσσια σύνορα ανατολικά.

Βάσει των παραπάνω, προέκυψαν συγκεκριμένες περιοχές που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης. Αυτές εντοπίστηκαν στο σύνολο των Κυκλάδων, σημαντικό μέρος του Βόρειου Αιγαίου, στην περιοχή μεταξύ Λήμνου και Αγίου Ευστρατίου, ανατολικά και δυτικά του Αγίου Ευστρατίου, στην περιοχή μεταξύ Ικαρίας – Πάτμου – Λέρου και στην περιοχή νότια της Καρπάθου.

Οι δύο τελικοί χάρτες που παράχθηκαν (ένας για μικρότερα βάθη κι ένας για μεγαλύτερα) απεικονίζουν τους περιορισμούς χωροθέτησης ενός θαλάσσιου αιολικού πάρκου και το αιολικό δυναμικό μόνο για τις περιοχές που εξαιρούνται των περιορισμών. Για την πρώτη περίπτωση προέκυψαν οι περιοχές βόρεια της Σαμοθράκης, ανατολικά της Λήμνου , μεταξύ Εύβοιας και Άνδρου, ανατολικά της Άνδρου και στην κοιλότητα μεταξύ Πάρου – Αντιπάρου - Ίου και Σίκινου στις οποίες το αιολικό δυναμικό είναι της τάξης των 600-800 W/m².

Για τη δεύτερη περίπτωση προέκυψαν οι περιοχές στο βόρειο Αιγαίο, το σύνολο των Κυκλάδων, μεταξύ της Λήμνου και του Αγ. Ευστρατίου, περιμετρικά της Λήμνου, ανατολικά και δυτικά του Αγ. Ευστρατίου, το σύμπλεγμα Ικαρίας – Πάτμου και Λέρου, μεταξύ της Σάμου και της Καλύμνου και νότια της Καρπάθου. Στις περιοχές αυτές, το αιολικό δυναμικό είναι της τάξης των 600-800 W/m² όπως και στην πρώτη περίπτωση.

Από τις περιοχές αυτές ξεχώρισαν οι Κυκλάδες, η περιοχή ανατολικά της Λέσβου στο Βόρειο Αιγαίο και η περιοχή ανατολικά και δυτικά του Αγίου Ευστρατίου για τα χαμηλότερα επίπεδα μεταβλητότητας που τις χαρακτηρίζουν. Στην περιοχή του Αγίου Ευστρατίου έγινε μια προκαταρκτική μελέτη για την τοποθέτηση και απόδοση αιολικού πάρκου.

3. ΕΙΔΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΙ ΑΛΛΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΥΠΕΡΑΚΤΙΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

Βασικά κριτήρια για την επιλογή της περιοχής μελέτης εγκατάστασης αιολικού πάρκου στον ελλαδικό χώρο, αποτελούν τα οριζόμενα του Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης (ΕΠΧΣΑΑ – Α.Π.Ε), ο Ν. 4964/2022 (ΦΕΚ 150/Α/30.07.2022) και ο Ν.5037/2023 (ΦΕΚ 78/Α/29.03.2023). Η εφαρμογή αυτών των κριτηρίων εξασφαλίζει την ορθολογική – περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά – χωροθέτηση και υποδεικνύει σε πρώτο στάδιο τις περιοχές που είναι κατάλληλες για την ανέγερση έργων Α.Π.Ε..

Το ζήτημα της χωροθέτησης οχλουσών εγκαταστάσεων είναι ένα σύνηθες αλλά ιδιαίτερα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζεται στη λήψη αποφάσεων. Ο σχεδιασμός ενός αποδοτικού πάρκου εξαρτάται πρωταρχικά από την επιλογή του χώρου στον οποίο θα γίνει η εγκατάσταση, λαμβανομένου υπόψη του περιοριστικού παράγοντα της θεσμικά κατοχυρωμένης χωροθέτησης χρήσεων γης στον ελλαδικό χώρο, το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης όπως έχει διαμορφωθεί για τις Α.Π.Ε. (Κεφάλαιο 3.1) και άλλων καθοριστικών παραμέτρων που περιορίζουν τις επιλογές σχετικά με τους δυνητικούς χώρους χωροθέτησης (Κεφάλαιο 3.2). Συγχρόνως λαμβάνονται υπόψη η προφύλαξη πόρων, υδάτινων, ενεργειακών, ανθρώπινων, φυσικών.

3.1 ΕΙΔΙΚΟ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

3.1.1 ΣΚΟΠΟΣ

Το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης έχει σκοπό να:

- διαμορφώσει πολιτικές χωροθέτησης έργων ΑΠΕ, ανά κατηγορία δραστηριότητας και κατηγορία χώρου, βάσει των διαθέσιμων σε εθνικό επίπεδο στοιχείων,
- καθιερώσει κανόνες και κριτήρια χωροθέτησης που θα επιτρέπουν αφενός την δημιουργία βιώσιμων εγκαταστάσεων ΑΠΕ και αφετέρου την αρμονική ένταξή τους στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον,
- δημιουργήσει ένα αποτελεσματικό μηχανισμό χωροθέτησης των εγκαταστάσεων ΑΠΕ, ώστε να επιτευχθεί ανταπόκριση στους στόχους των εθνικών και ευρωπαϊκών πολιτικών.

3.1.2 ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΙΔΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Τα παρακάτω άρθρα αναφέρουν τα κύρια στοιχεία του:

Άρθρο 2:

1. **Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ):** Οι μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια, η κυματική ενέργεια, η παλιρροϊκή ενέργεια, η ενέργεια από βιομάζα, ή άλλα αέρια που εκλύονται από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού, βιοαέρια, η γεωθερμική ενέργεια, η υδραυλική ενέργεια που αξιοποιείται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς.

2. **Αιολικές εγκαταστάσεις:** Εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού που λειτουργούν είτε με τη μορφή μεμονωμένων ανεμογεννητριών (Α/Γ), είτε με τη μορφή αιολικών πάρκων, δηλαδή συστοιχίας ανεμογεννητριών.

3. Μικρά Υδροηλεκτρικά έργα (ΜΥΗΕ): Εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση υδατικού δυναμικού, η ισχύς των οποίων δεν υπερβαίνει τα 15 MW.

4. Γεωθερμικές εγκαταστάσεις : Εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικά ρευστά υψηλής θερμοκρασίας.

5. Φωτοβολταϊκά συστήματα: Εγκαταστάσεις μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια.

6. Εγκαταστάσεις ενεργειακής αξιοποίησης του βιοαερίου ή της βιομάζας: Εγκαταστάσεις παραγωγής θερμικής ή ηλεκτρικής ενέργειας από τη βιομάζα ή το βιοαέριο, όπως οι πιο πάνω όροι προσδιορίζονται αντιστοίχως στις παραγράφους 7 και 8 του άρθρου 2 του ν. 3468/2006.

7. Σύστημα: Οι κατά τους ορισμούς του άρθρου 2 παρ. 23 του ν. 3468/2006, γραμμές υψηλής τάσης (Υ.Τ.), οι εγκατεστημένες στην ελληνική επικράτεια διασυνδέσεις, χερσαίες ή θαλάσσιες, και όλες οι συναφείς εγκαταστάσεις, ο εξοπλισμός και οι εγκαταστάσεις ελέγχου που απαιτούνται για την ομαλή, ασφαλή και αδιάλειπτη διακίνηση ηλεκτρικής ενέργειας από έναν σταθμό παραγωγής σε έναν υποσταθμό, από έναν υποσταθμό σε άλλον υποσταθμό ή προς ή από οποιαδήποτε διασύνδεση. Στο Σύστημα δεν περιλαμβάνονται οι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι γραμμές και εγκαταστάσεις υψηλής τάσης που έχουν ενταχθεί στο Δίκτυο, καθώς και το δίκτυο των μη Διασυνδεδεμένων Νησιών.

8. Δίκτυο: Το κατά τους ορισμούς του άρθρου 2 παρ. 9 του ν. 3468/2006, δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού Α.Ε. (Δ.Ε.Η. Α.Ε.) που είναι εγκατεστημένο στην ελληνική επικράτεια, το οποίο αποτελείται από γραμμές μέσης (Μ.Τ.) και χαμηλής τάσης και εγκαταστάσεις διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και από γραμμές και εγκαταστάσεις υψηλής τάσης, που έχουν ενταχθεί στο δίκτυο αυτό.

9. Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά: Τα νησιά της Ελληνικής Επικράτειας των οποίων το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας δε συνδέεται με το Σύστημα και το Δίκτυο διανομής της ηπειρωτικής χώρας, όπως αυτά ορίζονται στις προηγούμενες παραγράφους του παρόντος άρθρου.

10. Τυπική ανεμογεννήτρια ή ισοδύναμη αυτής : Τυπική Α/Γ είναι η Α/Γ με διάμετρο ρότορα $D=85\text{m}$ και ισχύ 2 MW. Ο υπολογισμός της ισοδύναμης Α/Γ προκύπτει από τον τύπο $(N_{ισ})=D / D_t$, (όπου $N_{ισ}$ είναι ο ισοδύναμος αριθμός τυπικών Α/Γ, D η διάμετρος του ρότορα και D_t η διάμετρος του ρότορα της τυπικής ανεμογεννήτριας).

Άρθρο 5

1. Για τη χωροθέτηση των αιολικών εγκαταστάσεων ο εθνικός χώρος, με βάση το εν δυνάμει εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό του και τα ιδιαίτερα χωροταξικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά του, διακρίνεται στις ακόλουθες μείζονες κατηγορίες: α. Στην ηπειρωτική χώρα, συμπεριλαμβανομένης και της νήσου Εύβοιας β. Στην Αττική, που αποτελεί ειδικότερη κατηγορία της ηπειρωτικής χώρας λόγω του μητροπολιτικού χαρακτήρα της γ. Στα κατοικημένα νησιά του Ιονίου και του Αιγαίου Πελάγους, συμπεριλαμβανομένης και της Κρήτης δ. Στον υπεράκτιο θαλάσσιο χώρο και τις ακατοίκητες νησίδες.

2. Η ηπειρωτική χώρα διακρίνεται περαιτέρω σε Περιοχές Αιολικής Προτεραιότητας (ΠΑΠ) και σε Περιοχές Αιολικής Καταλληλότητας (ΠΑΚ) ως εξής: α. Περιοχές Αιολικής Προτεραιότητας (ΠΑΠ) : Είναι οι περιοχές της ηπειρωτικής χώρας, οι οποίες διαθέτουν συγκριτικά πλεονεκτήματα για την εγκατάσταση αιολικών σταθμών (ύπαρξη εκμεταλλεύσιμου αιολικού δυναμικού, αυξημένη ζήτηση εγκατάστασης Α/Γ κλπ), ενώ ταυτόχρονα προσφέρονται από απόψεως επίτευξης των χωροταξικών στόχων (ελεγχόμενη συγκέντρωση των αιολικών εγκαταστάσεων) διότι συγκεντρώνουν τη μεγαλύτερη ζήτηση (αιτήσεις παραγωγής, εγκατάστασης, λειτουργίας). Στις περιοχές αυτές, εκτιμάται η μέγιστη δυνατότητα χωροθέτησης αιολικών εγκαταστάσεων (φέρουσα ικανότητα). β. Περιοχές Αιολικής Καταλληλότητας (ΠΑΚ). Είναι ομάδες ή επιμέρους περιοχές πρωτοβάθμιων Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης (Ο.Τ.Α.) της ηπειρωτικής χώρας καθώς και μεμονωμένες θέσεις, οι οποίες δεν εμπίπτουν σε ΠΑΠ αλλά διαθέτουν ικανοποιητικό εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό, και προσφέρονται για το λόγο αυτό για την χωροθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων. Στις ΠΑΚ συμπεριλαμβάνονται και οι κατάλληλες για χωροθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων ζώνες, που θα προσδιοριστούν, με βάση τα κριτήρια του παρόντος Ειδικού Πλαισίου, από τα οικεία Περιφερειακά Πλαίσια, Ρυθμιστικά Σχέδια, Γενικά Πολεοδομικά Σχέδια, Σχέδια Χωρικής και Οικιστικής Οργάνωσης Ανοικτών Πόλεων, Ζώνες Οικιστικού Ελέγχου ή άλλα σχέδια χρήσεων γης.

Άρθρο 6

1. Σε όλες τις κατηγορίες περιοχών του προηγούμενου άρθρου, πρέπει να αποκλείεται η χωροθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων εντός:

α. Των κηρυγμένων διατηρητέων μνημείων της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς και των άλλων μνημείων μείζονος σημασίας της παρ. 5 β) του άρθρου 50 του ν. 3028/2002, καθώς και των οριοθετημένων αρχαιολογικών ζωνών προστασίας Α που έχουν καθορισθεί κατά τις διατάξεις του άρθρου 91 του ν. 1892/1991 ή καθορίζονται κατά τις διατάξεις του ν. 3028/2002.

β. Των περιοχών απολύτου προστασίας της φύσης και προστασίας της φύσης που καθορίζονται κατά τις διατάξεις των άρθρων 19 παρ. 1 και 2 και 21 του ν. 1650/1986.

γ. Των πυρήνων των εθνικών δρυμών, των κηρυγμένων μνημείων της φύσης και των αισθητικών δασών που δεν περιλαμβάνονται στις περιοχές της περιπτώσεως β' του παρόντος άρθρου.

δ. Των οικοτόπων προτεραιότητας περιοχών της Επικράτειας που έχουν ενταχθεί ως τόποι κοινοτικής σημασίας στο δίκτυο ΦΥΣΗ 2000 σύμφωνα με την απόφαση 2006/613/ΕΚ της Επιτροπής.

ε. Των εντός σχεδίων πόλεων και ορίων οικισμών προ του 1923 ή κάτω των 2.000 κατοίκων περιοχών.

στ. Των Π.Ο.Τ.Α. του άρθρου 29 του ν. 2545/97, των Περιοχών Οργανωμένης Ανάπτυξης Παραγωγικών Δραστηριοτήτων του τριτογενούς τομέα του άρθρου 10 του ν. 2742/99, των θεματικών πάρκων και των τουριστικών λιμένων.

ζ. Των ατύπως διαμορφωμένων, στο πλαίσιο της εκτός σχεδίου δόμησης, τουριστικών και οικιστικών περιοχών, όπως αυτές θα αναγνωρίζονται ειδικότερα στο πλαίσιο της οικείας ΠΠΕΑ και ΜΠΕ.

η. Των αξιόλογων ακτών και παραλιών (πχ. αμμωδών), όπως αυτές θα αναγνωρίζονται ειδικότερα στο πλαίσιο της οικείας ΠΠΕΑ και ΜΠΕ.

θ. Των χαρακτηρισμένων κατά τις κείμενες διατάξεις αγροτικών περιοχών υψηλής παραγωγικότητας. 9

ι. Των οριοθετημένων, κατά τις κείμενες διατάξεις, λατομικών περιοχών και μεταλλευτικών και εξορυκτικών ζωνών που λειτουργούν επιφανειακά.

ια. Άλλων περιοχών ή ζωνών που υπάγονται σε ειδικό καθεστώς χρήσεων γης, βάσει του οποίου δεν επιτρέπεται η χωροθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων.

2. Οι κατευθύνσεις της προηγούμενης παραγράφου εφαρμόζονται και για τη χωροθέτηση των συνοδευτικών εγκαταστάσεων των αιολικών έργων, εκτός αν κατά το στάδιο περιβαλλοντικής αδειοδότησής τους τεκμηριωθεί προσηκόντως η ανάγκη παρέκκλισης από αυτές.

3. Επιτρέπεται η χωροθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων εντός των Ζωνών Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ) της ορνιθοπανίδας της οδηγίας 79/409/ΕΟΚ ύστερα από τη σύνταξη ειδικής ορνιθολογικής μελέτης και σύμφωνα με τις ειδικότερες προϋποθέσεις και περιορισμούς που θα καθορίζονται στην οικεία πράξη έγκρισης περιβαλλοντικών όρων.

4.α. Σε όλες τις περιοχές του άρθρου 5, η χωροθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων πρέπει να πληροί τις ελάχιστες αποστάσεις από τις γειτνιάζουσες χρήσεις γης, δραστηριότητες και δίκτυα τεχνικής υποδομής που καθορίζονται στους πίνακες του Παραρτήματος II της παρούσας απόφασης.

β. Οι αποστάσεις της περιπτώσεως α' αφορούν τη χωροθέτηση των κυρίως αιολικών εγκαταστάσεων. Για τις απαιτούμενες κατά περίπτωση αποστάσεις των συνοδευτικών εγκαταστάσεων εφαρμόζονται οι διατάξεις της ισχύουσας νομοθεσίας και οι τυχόν ισχύοντες ειδικοί κανονισμοί και πρότυπα.

Άρθρο 10

1. Επιτρέπεται η χωροθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων σε όλες τις θαλάσσιες περιοχές της χώρας που διαθέτουν προϋποθέσεις αιολικής εκμεταλλευσιμότητας, εφόσον αυτές δεν εντάσσονται σε ιδιαίτερο θεσμικό καθεστώς ρητής απαγόρευσης της εγκατάστασης ή δεν αποτελούν ζώνη αποκλεισμού, όπως θεσμοθετημένα θαλάσσια ή υποθαλάσσια πάρκα ή βεβαιωμένες γραμμές επιβατικής ναυσιπλοΐας.

2. Ελάχιστες αποστάσεις για τη διασφάλιση της λειτουργικότητας και απόδοσης των αιολικών εγκαταστάσεων:

3. Απαγορεύεται η εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε απόσταση μικρότερη των 1500 μ. από τις ακτές που περιλαμβάνονται στο πρόγραμμα παρακολούθησης της ποιότητας των νερών κολύμβησης που συντονίζεται από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.

4. Απαγορεύεται η εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε κλειστούς κόλπους με εύρος ανοίγματος <1500μ.

5. Ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης από περιοχές και στοιχεία της πολιτιστικής κληρονομιάς: όπως ορίζεται στον Πίνακα 3.

6. Ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης από οικισμούς: όπως ορίζεται στον Πίνακα 4 του παρόντος Κεφαλαίου.

7. Ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης από παραγωγικές ζώνες ή δραστηριότητες του τριτογενή τομέα: όπως ορίζεται στον Πίνακα 6 του παρόντος Κεφαλαίου.

8. Το βάθος θεμελίωσης ή αγκύρωσης της βάσης της ανεμογεννήτριας, προσδιορίζεται από τις δυνατότητες της τρέχουσας τεχνολογίας και τις αντίστοιχες μελέτες στατικής και δυναμικής συμπεριφοράς.

9. Πρέπει να εξασφαλίζεται με την κατασκευή του αιολικού πάρκου η επαρκής διασύνδεση και η μεταφορά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας είτε με το σύστημα της ηπειρωτικής χώρας είτε με το δίκτυο των μη διασυνδεδεμένων νησιών.

10. Μέγιστη απόσταση χερσαίας όδευσης από υπο-σταθμό διασύνδεσης: 20 χλμ. Εφαρμόζονται οι κανόνες του τοπίου που ισχύουν για τις Π.Α.Π.

3.1.3 ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι ελάχιστες αποστάσεις από γειτνιάζουσες χρήσεις γης, δραστηριότητες, δίκτυα τεχνικής υποδομής, περιοχές περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος και παραγωγικών δραστηριοτήτων όπως ορίζονται από το ΕΠΧΣΑΑ – Α.Π.Ε. κι έχουν σχέση με τη χωροθέτηση Υ.Α.Π..

ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΛΟΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ	
Μέγιστη απόσταση από το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας Υψηλής Τάσης (Υ.Τ.)	Όπως ορίζει ο ΑΔΜΗΕ στους όρους σύνδεσης της εγκατάστασης (υψηλή τάση) και ΔΕΔΔΗΕ (μέση και χαμηλή τάση)
Ελάχιστη απόσταση (Α) μεταξύ των Α/Γ	2,5 φορές της διάμετρο D της φτερωτής της Α/Γ ($A = 2,5 * D$)

Πίνακας 2: Πίνακας αποστάσεων αιολικού έργου από γειτνιάζουσες χρήσεις γης, δραστηριότητες και δίκτυα τεχνικής υποδομής

ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ	
ΑΣΥΜΒΑΤΗ ΧΡΗΣΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
Εγγεγραμμένα στον Κατάλογο Παγκόσμιας Κληρονομιάς και τα άλλα μείζονος σημασίας μνημεία, αρχαιολογικοί χώροι και ιστορικοί τόποι της παρ. 5. εδάφιο ββ του άρθρου 50 του Ν. 3028/02	3000 ΜΕΤΡΑ
Ζώνη απολύτου προστασίας (Ζώνη Α) λοιπών αρχαιολογικών χώρων	$A=7d$, όπου (d) η διάμετρος της φτερωτής της Α/Γ, τουλάχιστον 500 μέτρα
Κηρυγμένα πολιτιστικά μνημεία και ιστορικοί τόποι	$A=7d$, όπου (d) η διάμετρος της φτερωτής της Α/Γ, τουλάχιστον 500 μέτρα

Πίνακας 3: Πίνακας αποστάσεων από περιοχές περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος

ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΟΙΚΙΣΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	
ΑΣΥΜΒΑΤΗ ΧΡΗΣΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
Παραδοσιακοί οικισμοί	1500 μέτρα από το όριο του οικισμού. Κατά παρέκκλιση από τα παραπάνω είναι δυνατή με απόφαση του Γ.Γ. Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. ύστερα από εισήγηση της αρμόδιας Δ/σης του

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

	Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. η μείωση της ως άνω απόστασης μέχρι τα 1000μ. εφόσον ο αριθμός των κατοικιών που συνθέτουν τον οικισμό είναι μικρότερος των είκοσι
Λοιποί οικισμοί	500 μέτρα από το όριο του οικισμού
Οργανωμένη δόμηση Α' ή Β' κατοικίας (Π.Ε.Ρ.ΠΟ., Συνεταιρισμοί κλπ) ή και διαμορφωμένες περιοχές Β' κατοικίας, όπως αναγνωρίζονται στο πλαίσιο της Μ.Π.Ε. κάθε μεμονωμένης εγκατάστασης αιολικού πάρκου.	1000 μέτρα από τα όρια του σχεδίου ή της διαμορφωμένης περιοχής αντίστοιχα
Ιερές Μονές	500 μέτρα από τα όρια της Μονής
Μεμονωμένη κατοικία (νομίμως υφιστάμενη)	Εξασφάλιση ελάχιστου επιπέδου θορύβου μικρότερου των 45 db.

Πίνακας 4: Πίνακας αποστάσεων από οικιστικές δραστηριότητες

ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΔΙΚΤΥΑ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ & ΕΙΔΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ	
ΑΣΥΜΒΑΤΗ ΧΡΗΣΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
Υποδομές τηλεπικοινωνιών (κεραίες), RADAR	Κατά περίπτωση μετά από γνωμοδότηση του αρμόδιου φορέα
Εγκαταστάσεις ή δραστηριότητες της αεροπλοΐας	Κατά περίπτωση μετά από γνωμοδότηση του αρμόδιου φορέα

Πίνακας 5: Πίνακας αποστάσεων από δίκτυα τεχνικής υποδομής και ειδικών χρήσεων

ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ	
ΑΣΥΜΒΑΤΗ ΧΡΗΣΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
Ιχθυοκαλλιέργειες	Απόσταση ασφαλείας 1.5D
Λειτουργούσες επιφανειακά μεταλλευτικές - εξορυκτικές ζώνες και δραστηριότητες	500μ.
ΟΤΑ και άλλες Περιοχές Οργανωμένης Ανάπτυξης Παραγωγικών Δραστηριοτήτων του τριτογενούς τομέα, θεματικά πάρκα, τουριστικοί λιμένες και άλλες θεσμοθετημένες ή διαμορφωμένες τουριστικές περιοχές. Τουριστικά καταλύματα και ειδικές τουριστικές υποδομές.	1000μ. από τα όρια της ζώνης περιοχής

Πίνακας 6: Πίνακας αποστάσεων από εγκαταστάσεις παραγωγικών δραστηριοτήτων

3.1.4. ΖΩΝΕΣ ΑΠΟΚΛΕΙΣΜΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΕΙΔΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Οι περιοχές που ορίζονται ως ζώνες αποκλεισμού σύμφωνα με το Ειδικό Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης (ΕΠΧΣΑΑ) για τις ΑΠΕ και θα ληφθούν υπόψη για τη χωροθέτηση του υπεράκτιου αιολικού πάρκου συνοψίζονται παρακάτω:

- οι περιοχές από Μνημεία του Καταλόγου Παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς της Unesco,
- οι αξιολογες ακτές και παραλίες και
- η εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε κλειστούς κόλπους με εύρος ανοίγματος <1500m.

3.2 ΑΛΛΕΣ ΚΑΘΟΡΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ

Οι παράμετροι που θα αναλυθούν για τη διερεύνηση των πιθανών θέσεων εγκατάστασης του υπεράκτιου αιολικού πάρκου συνοψίζονται παρακάτω και αφορούν:

- Τις βασικές καθοριστικές παραμέτρους χωροθέτησης ενός Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου και είναι:
 - η ταχύτητα του ανέμου και
 - το βάθος του βυθού.
- Τις περιοχές που ορίζονται ως ζώνες αποκλεισμού σύμφωνα με την «Προκαταρκτική Χωροθέτηση Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων – Φάση 1η» του ΥΠΕΚΑ και είναι:
 - οι περιοχές του δικτύου Natura 2000,
 - τα θαλάσσια και υποθαλάσσια πάρκα,
 - οι στρατιωτικές ζώνες και
 - οι γραμμές ναυσιπλοΐας.
- Τις περιοχές που αποκλείονται καθώς αποτελούν περιοχές μεγάλης οικολογικής και πολιτιστικής σημασίας που χρήζουν ιδιαίτερης προστασίας και είναι:
 - τα λιβάδια ποσειδωνίας,
 - οι ενάλιοι αρχαιολογικοί χώροι,
 - οι σημαντικές περιοχές για τα πουλιά και
 - αποστάσεις από μεταναστευτικούς διαδρόμους πουλιών.
- Τις επιπλέον παραμέτρους που είναι:
 - η απόσταση από τα αεροδρόμια,
 - οι ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας,
 - τα διεθνή – χωρικά ύδατα,
 - η απόσταση από λιμένες και
 - η απόσταση με το υφιστάμενο δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

4. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΑΘΟΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, επεξεργάστηκαν και απεικονίστηκαν μέσω Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών και δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχοι θεματικοί χάρτες. Η επεξεργασία και η ανάλυση των χωρικών δεδομένων έγινε στο ελεύθερο λογισμικό ανοιχτού κώδικα, Q-GIS. Το Q-GIS, επιτρέπει την επεξεργασία και ανάλυση χωρικών πληροφοριών καθώς και τη σύνθεση και εξαγωγή γραφικών χαρτών. Επίσης, έχει πληθώρα εργαλείοι με δυνατότητες γεωεπεξεργασίας, στατιστικής και χωρικής ανάλυσης, τοπογραφικών εφαρμογών, χαρτοσύνθεσης και δημιουργίας βάσεων δεδομένων.

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, εισήχθησαν σε μία χαρτογραφική βάση δεδομένων και αποτέλεσαν τα κριτήρια αποκλεισμού - καταλληλότητας και είναι:

4.1 ΒΑΘΟΣ ΤΟΥ ΒΥΘΟΥ

Το πρώτο σημαντικό κριτήριο για τη χωροθέτηση των υπεράκτιων αιολικών πάρκων είναι το βάθος του βυθού. Αυτό επηρεάζει τον τύπο της θεμελίωσης των υπεράκτιων ανεμογεννητριών καθώς και το κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης. Τα αιολικά πάρκα που βρίσκονται σήμερα σε λειτουργία χρησιμοποιούν κυρίως ανεμογεννήτριες σταθερού πυθμένα. Σε αυτή την περίπτωση, η ανεμογεννήτρια βασίζεται σε μία πλατφόρμα που συνδέεται με τον πυθμένα της θάλασσας σε βάθος έως και 50μ. (Hanania J., Stenhouse K., Donev J., 2015). Για βάθη μεγαλύτερα των 50μ., οι βάσεις σταθερού πυθμένα δεν είναι πλέον οικονομικά βιώσιμες. Σε αυτή την περίπτωση, χρησιμοποιούνται πλωτές υπεράκτιες ανεμογεννήτριες, οι οποίες συνδέονται με τον πυθμένα της θάλασσας με γραμμές πρόσδεσης (Zountouridou et al., 2015). Η πρόσφατα αναπτυχθείσα πλωτή υπεράκτια αιολική τεχνολογία είναι πλέον κατάλληλη για τα βαθιά νερά των ελληνικών θαλασσών. Το εύρος βαθέων υδάτων που χρησιμοποιείται στην τρέχουσα βιομηχανία πλωτών υπεράκτιων ανεμογεννητριών κυμαίνεται από 200μ. έως 300μ. (Li Z., Liu X., Lotfian S., 2021). Σημειώνεται ότι μέχρι τα 300μ. βάθος υπάρχουν μέθοδοι εγκατάστασης των Α/Γ που είναι οικονομικά βιώσιμες.

Ακολουθούν δύο χάρτες με διαφορετικά εύρη. Στην πρώτη περίπτωση εξετάζεται το ενδεχόμενο της ύπαρξης μικρών βαθών με μεγάλη απόσταση από την ακτή. Στη δεύτερη, επιλέγεται ένα μεγαλύτερο πεδίο τιμών από 0μ. έως 300μ..

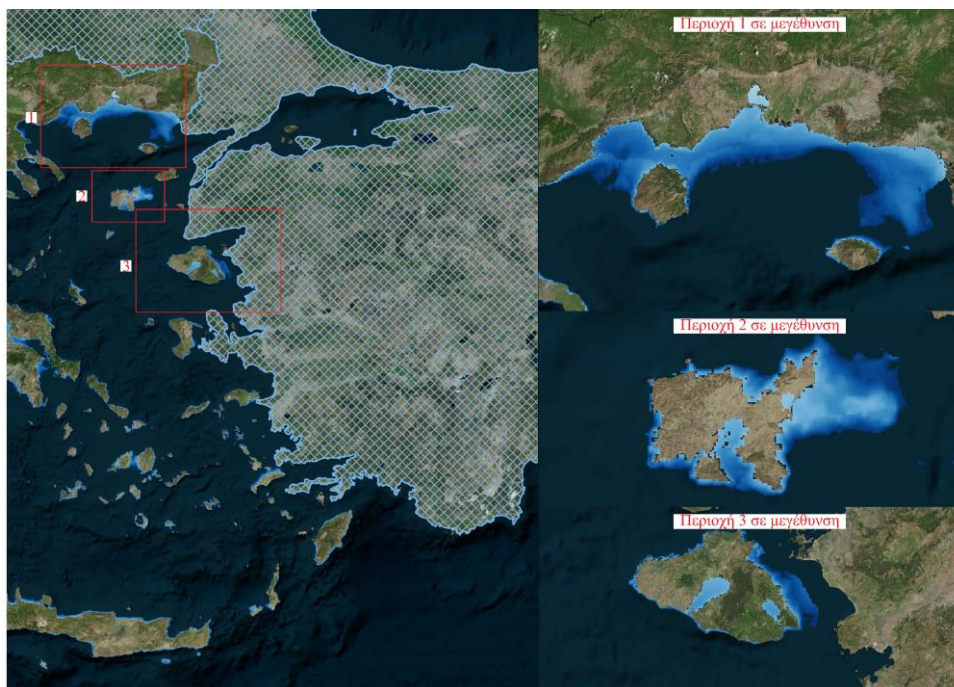
Το ψηφιακό μοντέλο βυθού (DTM) του ελλαδικού θαλάσσιου χώρου έχει αποδοθεί με ανάλυση 15” της μοίρας (463μ.) της Υδρογραφικής Υπηρεσίας του Πολεμικού Ναυτικού.

ΧΑΡΤΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΤΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΒΥΘΟΥ ΑΠΟ 0 ΕΩΣ 50Μ.



Χάρτης 1: Χάρτης απεικόνισης του βάθους βυθού από 0 έως 50μ. σε υπόβαθρο Bing Satellite

Για το επιλεγμένο εύρος (0 έως 50μ.), παρατηρείται ότι οι περιοχές χωροθέτησης βρίσκονται πολύ κοντά στην ακτογραμμή. Οι μόνες περιοχές με εύλογη απόσταση από αυτή είναι αυτές που βρίσκονται βόρεια του Θρακικού Πελάγους, στο ανατολικό τμήμα της Νήσου Λήμνου και της Νήσου Λέσβου.



Χάρτης 2: Χάρτης απεικόνισης του βάθους βυθού από 0 έως 50μ. με εστίαση σε περιοχές ενδιαφέροντος σε υπόβαθρο Bing Satellite

ΧΑΡΤΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΤΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΒΥΘΟΥ ΑΠΟ 0 ΕΩΣ 300Μ.

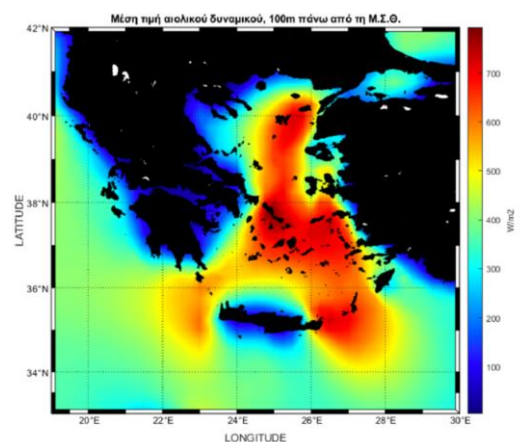


Χάρτης 3: Χάρτης απεικόνισης του βάθους βυθού από 0 έως 300μ. σε υπόβαθρο Bing Satellite

Στην παραπάνω περίπτωση, υπάρχουν αρκετές υπό εξέταση περιοχές και σε μεγάλη απόσταση από την ακτή (έως και 50 χιλιόμετρα). Αυτές συγκεντρώνονται στο Θρακικό Πέλαγος, στα νησιά του Β. Αιγαίου, στις Κυκλάδες καθώς και στον άξονα Ικαρίας – Σάμου – Κω. Είναι αντιληπτό ότι η βαθυμετρία των ελληνικών θαλασσών συνάδει με την εγκατάσταση πλωτών αιολικών πάρκων. Καθώς το επιλεγμένο μέγιστο βάθος (300μ.) παραμένει βιώσιμο οικονομικά, θα είναι και η περίπτωση που θα εξεταστεί παρακάτω.

4.2 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Ο δεύτερος και σημαντικότερος παράγοντας για τη χωροθέτηση ενός Α/Π είναι το αιολικό δυναμικό της περιοχής μελέτης, η ποσότητα δηλαδή της αιολικής ισχύος στο σημείο ενδιαφέροντος. Η ανάλυση αυτή, έγινε από τον Μυλωνάκη Μανώλη (2023) στη διπλωματική εργασία με τίτλο «Παραμετρική αξιολόγηση περιοχών των ελληνικών θαλασσών για εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων», με τον υπολογισμό της μέσης ταχύτητας του ανέμου, του μέσου αιολικού δυναμικού και της μεταβλητότητάς τους με τη χρήση του λογισμικού MATLAB και τα αποτελέσματα εμφανίζονται στο διπλανό χάρτη.



Χάρτης 4: Χάρτης απεικόνισης μέσης τιμής αιολικού δυναμικού 100μ. πάνω από τη Μ.Σ.Θ. (Μυλωνάκης, 2023)

Από τον παραπάνω χάρτη, συνάγεται το συμπέρασμα ότι οι περιοχές με το υψηλότερο αιολικό δυναμικό βρίσκονται στα νησιά του Β. Αιγαίου και συγκεκριμένα στη Ν. Λήμνο και στη Ν. Αγ. Ευστράτιος, στις Κυκλάδες, στον άξονα Ικαρίας – Σάμου – Κω και στη Ν. Κάρπαθο.

4.3 ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ NATURA 2000

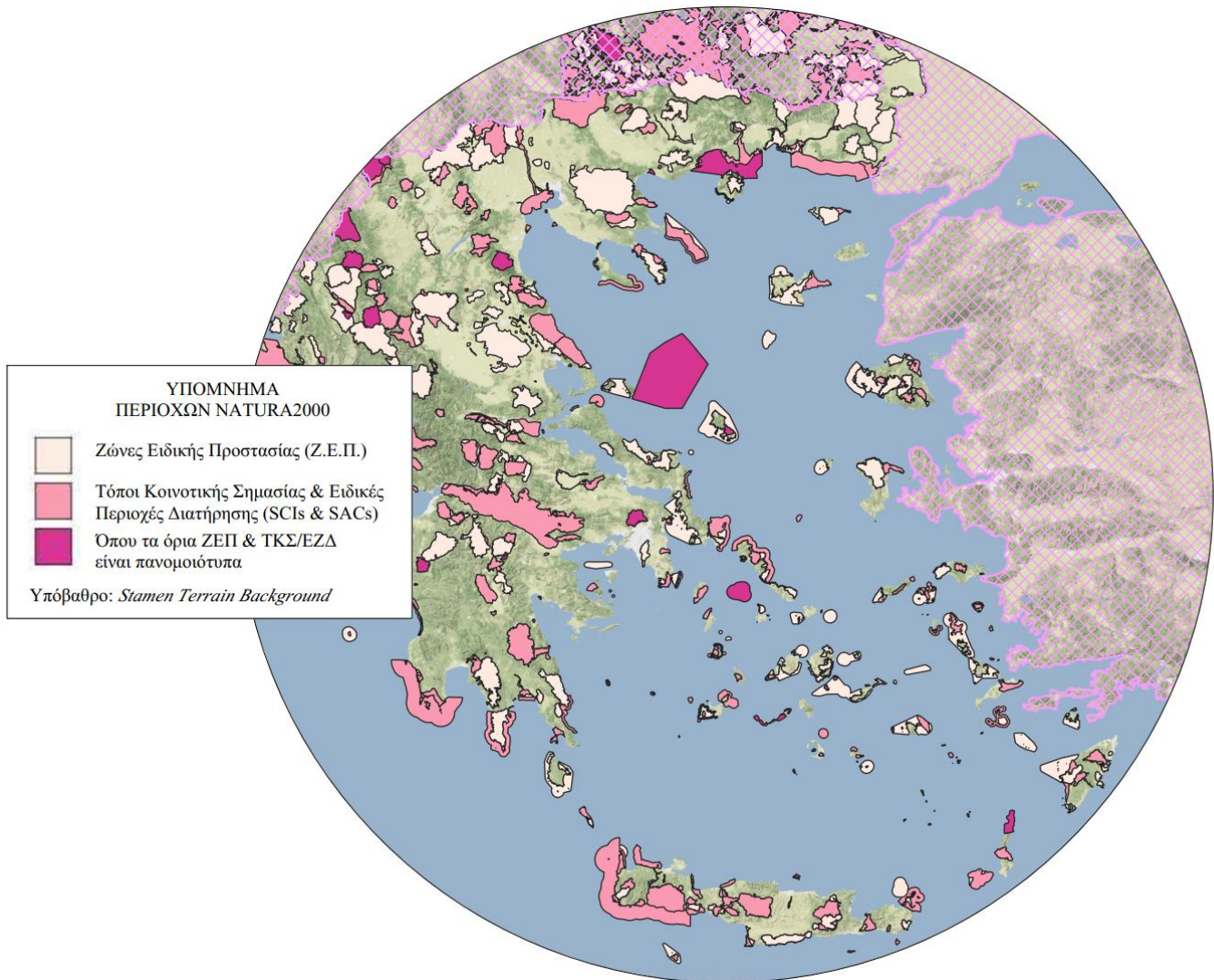
Το Ευρωπαϊκό οικολογικό δίκτυο Natura 2000 είναι ένα δίκτυο ζωνών προστασίας της φύσης που εκτείνεται σε ολόκληρη την Κοινότητα και έχει ως στόχο να διασφαλίσει τη μακροπρόθεσμη διατήρηση των πιο πολύτιμων και των πλέον απειλούμενων ειδών και ενδιαιτημάτων της σε ικανοποιητικό επίπεδο και αποτελεί κύριο κριτήριο αποκλεισμού για την εγκατάσταση έργων Α.Π.Ε.. Το Δίκτυο Natura 2000 αποτελεί ένα Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο περιοχών, οι οποίες φιλοξενούν φυσικούς τύπους οικοτόπων και οικοτόπους ειδών που είναι σημαντικοί σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Αποτελείται από δύο κατηγορίες περιοχών:

- τις «Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ)» (Special Protection Areas – SPA) για την Οрниθοπανίδα, όπως ορίζονται στην Οδηγία 79/409/ΕΚ «για τη διατήρηση των άγριων πτηνών»
- τους «Τόπους Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ)» (Sites of Community Importance – SCI) όπως ορίζονται στην Οδηγία 92/43/ΕΟΚ. (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020).

Σε γενικό πλαίσιο, υπάρχει μία σύγκυση για τις ανθρώπινες δραστηριότητες εντός του δικτύου Natura 2000. Ο χαρακτηρισμός μιας περιοχής ως περιοχής Natura 2000 δε σημαίνει απαραίτητα και τη διακοπή όλων των οικονομικών δραστηριοτήτων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ενδέχεται να απαιτηθούν προσαρμογές ή αλλαγές με στόχο την προστασία των ειδών και των οικοτόπων χάριν των οποίων η περιοχή εντάχθηκε στο δίκτυο Natura 2000, ή μέτρα αποκατάστασης προκειμένου να επανέλθουν σε μια ικανοποιητική κατάσταση διατήρησης.

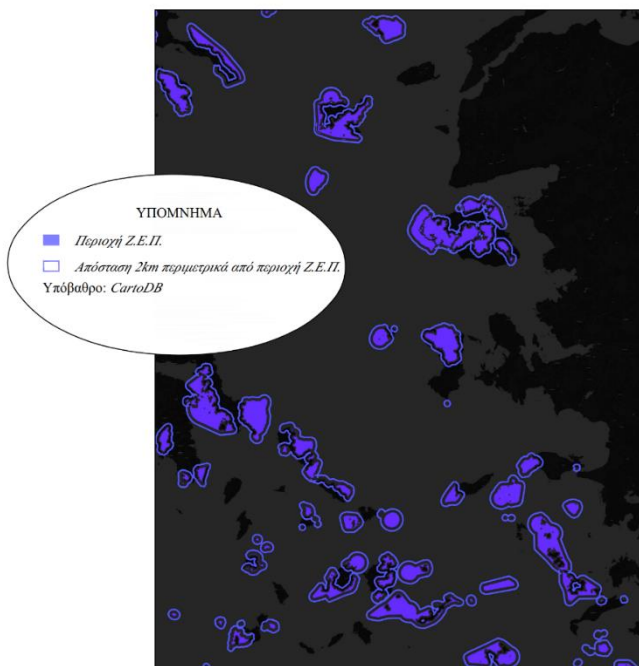
Όπως εμφανίζεται στον παρακάτω χάρτη, η πλειονότητα των περιοχών του νησιωτικού χώρου γειτνιάζουν με περιοχές του δικτύου NATURA 2000, αναμενόμενο γεγονός καθώς τα περισσότερα αποτελούν πλούσιους βιότοπους.

ΧΑΡΤΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΟΥ NATURA 2000



Χάρτης 5: Χάρτης απεικόνισης του δικτύου NATURA 2000 (Πηγή δεδομένων: europa.eu)

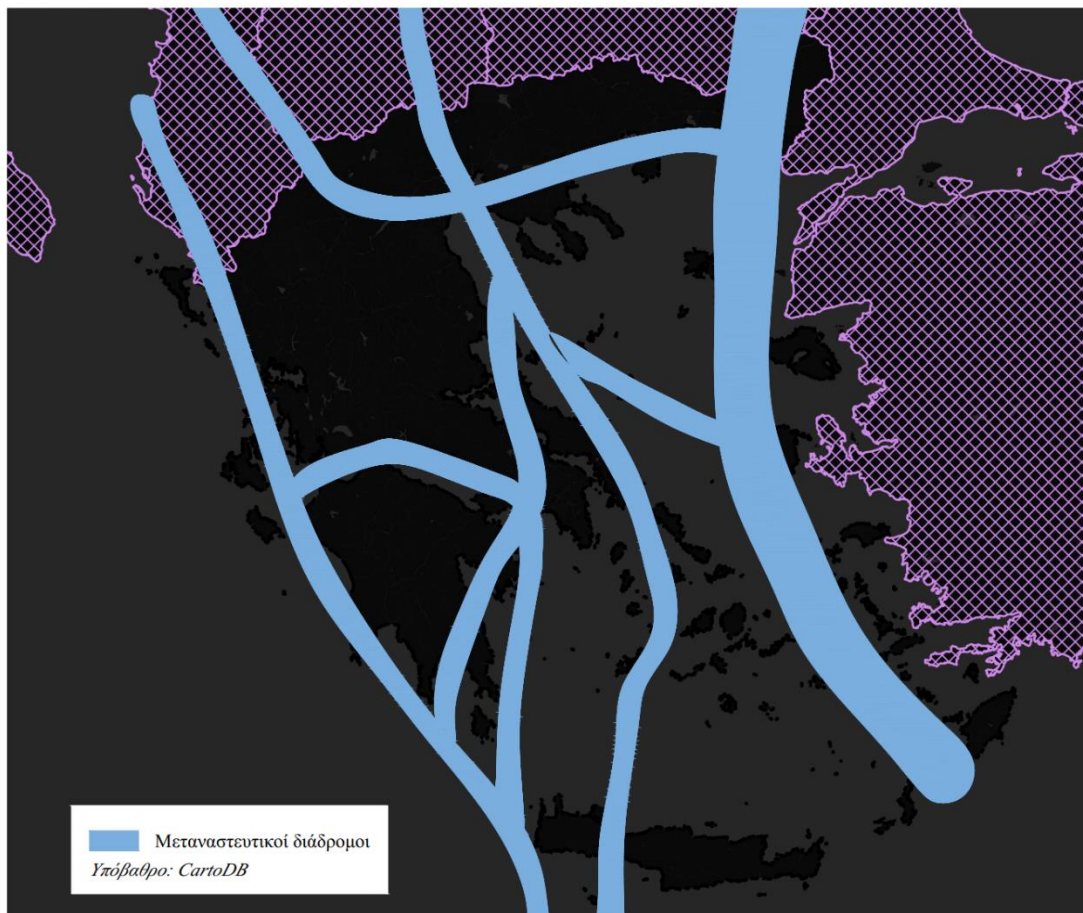
Η εγκατάσταση των έργων ΑΠ.Ε. δεν απαγορεύεται εντός προστατευόμενων περιοχών του δικτύου NATURA 2000, ωστόσο αυτό δεν επιβεβαιώνει ότι η εγκατάσταση ενός Α/Π εντός του δικτύου, διαφυλάσσει στο ακέραιο τους πληθυσμούς ευάλωτων άγριων πουλιών και ζώων. Γι' αυτό, για την προστασία των ευαίσθητων περιοχών, θα εξαιρεθούν οι περιοχές του δικτύου και μάλιστα για τις περιοχές Ζ.Ε.Π. και Σημαντικές Περιοχές για τα Πουλιά (Σ.Π.Π.) θα εφαρμοστεί μία απόσταση ασφαλείας της τάξης των δύο χιλιομέτρων για μέγιστη διασφάλιση αυτών που στοχεύει στην αποφυγή τυχουσών προσκρούσεων στους έλικες των ανεμογεννητριών.



Η εφαρμογή του “buffer zone” των περιοχών του δικτύου NATURA 2000 κατηγορίας Ζ.Ε.Π., είναι ένα πρόσθετο κριτήριο και βάσει της Οδηγίας 79/409/ΕΟΚ, μπορεί να μην αρκεί και να κριθεί αναγκαία η σύνταξη ορνιθολογικής μελέτης για τις πιθανές επιπτώσεις του Υ.Α.Π.. Λαμβάνοντας υπόψιν την ευαισθησία του θέματος, παρακάτω παρατίθεται και ένας χάρτης που απεικονίζει τους μεταναστευτικούς διαδρόμους των πουλιών όπως αυτοί δίνονται από την Ελληνική Ορνιθολογική Εταιρεία, οι οποίοι θα αποκλειστούν από τις πιθανές περιοχές εγκατάστασης του Υ.Α.Π..

Χάρτης 6: Χάρτης απεικόνισης περιοχών Ζ.Ε.Π. με εφαρμογή buffer zone 2km

ΧΑΡΤΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΜΕΤΑΝΑΣΤΕΥΤΙΚΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ ΠΟΥΛΙΩΝ



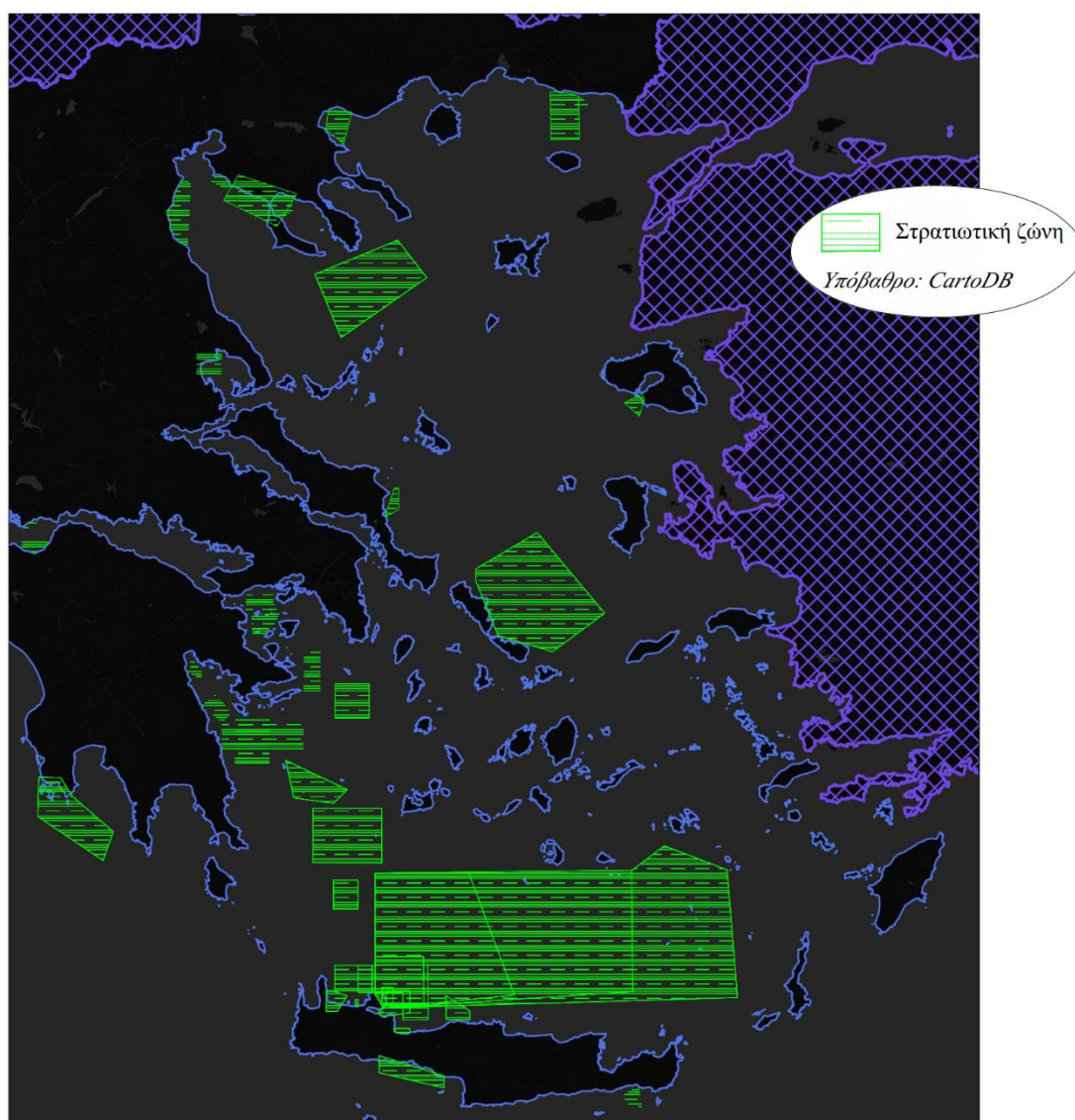
Χάρτης 7: Χάρτης απεικόνισης μεταναστευτικών διαδρόμων πουλιών (Πηγή δεδομένων: Ελληνική Ορνιθολογική Εταιρεία)

4.4 ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ

Όλες οι στρατιωτικές ζώνες – πεδία βολών (πολεμικής αεροπορίας, στρατού ξηράς και πολεμικού ναυτικού), θεωρούνται περιοχές αποκλεισμού για τη χωροθέτηση Υ.Α.Π. Οι στρατιωτικές ζώνες καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων. Σε αυτές τις δραστηριότητες συμπεριλαμβάνονται οι υποβρύχιοι ελιγμοί, οι βολές, η απόρριψη πυρομαχικών, η εναέρια άσκηση κ.α.. Οι μεγαλύτερες περιοχές πεδίων βολών και ασκήσεων βρίσκονται βόρεια της Κρήτης και Νότια των Κυκλάδων, βορειοανατολικά της Άνδρου και της Τήνου, νοτιοδυτικά της Κεφαλονιάς και της Ζακύνθου και νοτιοδυτικά της Χερσονήσου του Άθω.

Στον παρακάτω χάρτη, απεικονίζονται ψηφιοποιημένες οι στρατιωτικές ζώνες, σύμφωνα με τις αγγελίες της υδρογραφικής υπηρεσίας στρατού του Πολεμικού Ναυτικού, χωρίς κάποια ακτίνα ασφαλείας από αυτές, καθώς η απόσταση ασφαλείας κρίνεται ανάλογα με το είδος της ζώνης από την αρμόδια υπηρεσία.

ΧΑΡΤΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ



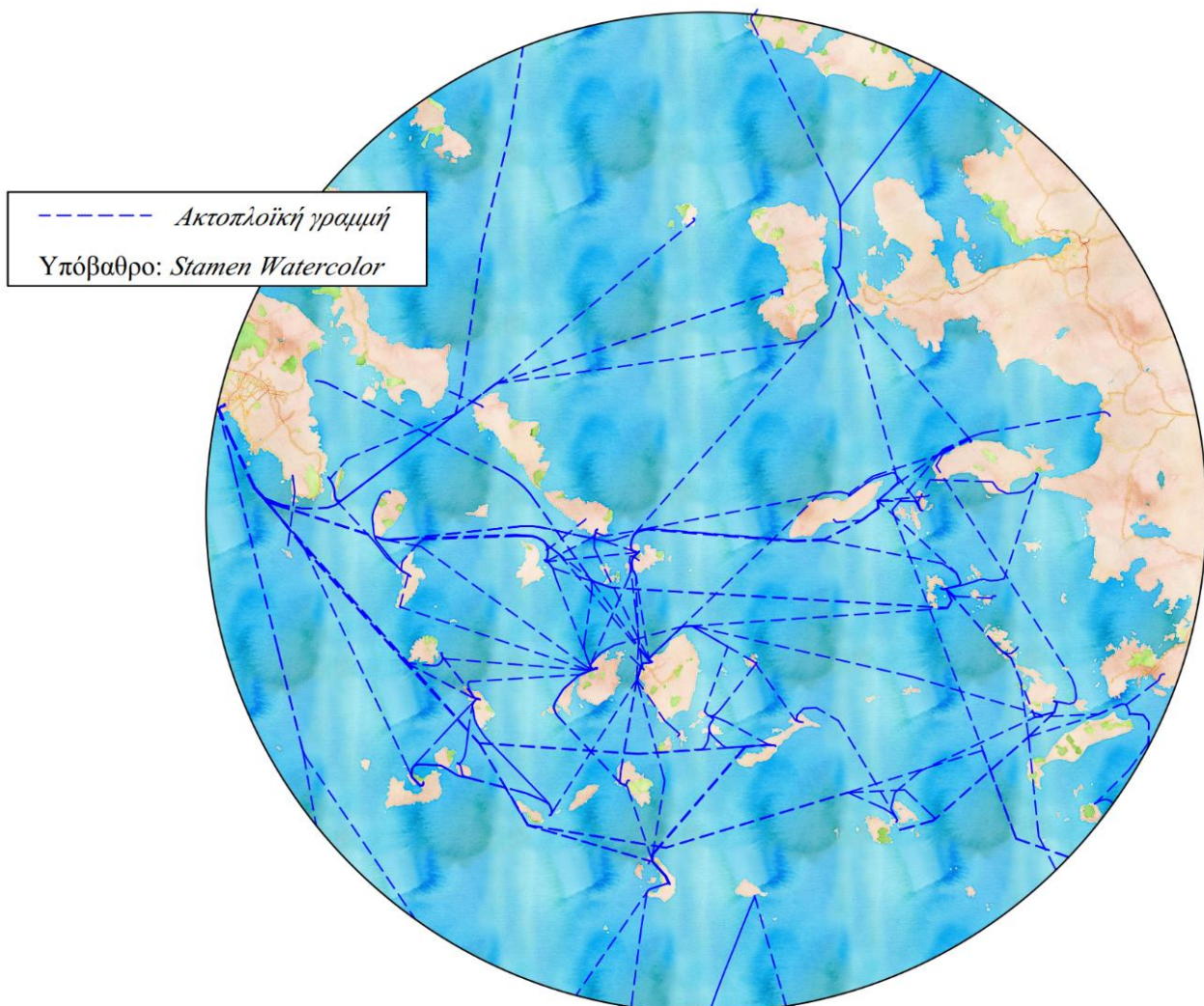
Χάρτης 8: Χάρτης απεικόνισης στρατιωτικών ζωνών (Πηγή δεδομένων: Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού)

4.5 ΓΡΑΜΜΕΣ ΝΑΥΣΙΠΛΟΪΑΣ

Οι ακτοπλοϊκές γραμμές αποτελούν πολύ σημαντικό κριτήριο αποκλεισμού για την αποφυγή ατυχημάτων και για την ασφαλή ναυσιπλοΐα. Προκειμένου να αποφευχθεί η τοποθέτηση Α/Γ σε σημεία που εμποδίζουν τη διέλευση των οχηματαγωγών – επιβατηγών πλοίων είναι αναγκαία η επιβολή μίας απόστασης ασφαλείας. Αν και η απόσταση ασφαλείας θα ήταν ορθότερο να ποικίλει ανάλογα με τον κυκλοφορικό φόρτο, στην παρούσα εργασία, λαμβάνεται η ζώνη των τριών χιλιομέτρων. Οι Kim et al. (2016) ορίζουν κατάλληλη την απόσταση του ενός χιλιομέτρου, ενώ οι Vagiona et. Al (2020) των πέντε. Στον παρακάτω χάρτη έχουν ψηφιοποιηθεί οι επιβεβαιωμένες γραμμές διέλευσης πλοίων.

Όπως είναι αναμενόμενο, η μεγαλύτερη συμφόρηση εμφανίζεται στις Κυκλάδες, αφού αποτελούν τον πιο δημοφιλή τουριστικό προορισμό κατά τη θερινή περίοδο.

ΧΑΡΤΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΑΚΤΟΠΛΟΪΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ



Χάρτης 9: Χάρτης απεικόνισης γραμμών ναυσιπλοΐας
(Πηγές δεδομένων: Google Traffic, OSM Standard και EMODnet)

4.6 ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗ

Η ελάχιστη απόσταση από την ακτογραμμή είναι ένα επιπλέον σημαντικό κριτήριο, για τη διασφάλιση άλλων δραστηριοτήτων, όπως ο τουρισμός, οι υδατοκαλλιέργειες και η αλιεία. Σύμφωνα με τα οριζόμενα του ΕΠΧΣΑΑ για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, ιδιαίτερη πρόνοια υπάρχει στην εκτίμηση των οπτικών, ακουστικών οχλήσεων καθώς και με την ασυμβατότητα χρήσεων γης κοντά στην ακτογραμμή. Επιπλέον, η υψηλή αξία της γης των παραθαλάσσιων περιοχών και τα τουριστικά συμφέροντα κατά μήκος των ακτογραμμών, έθεσαν το ζήτημα της ελάχιστης απόστασης από την ακτογραμμή για την χωροθέτηση των Υ.Α.Π..

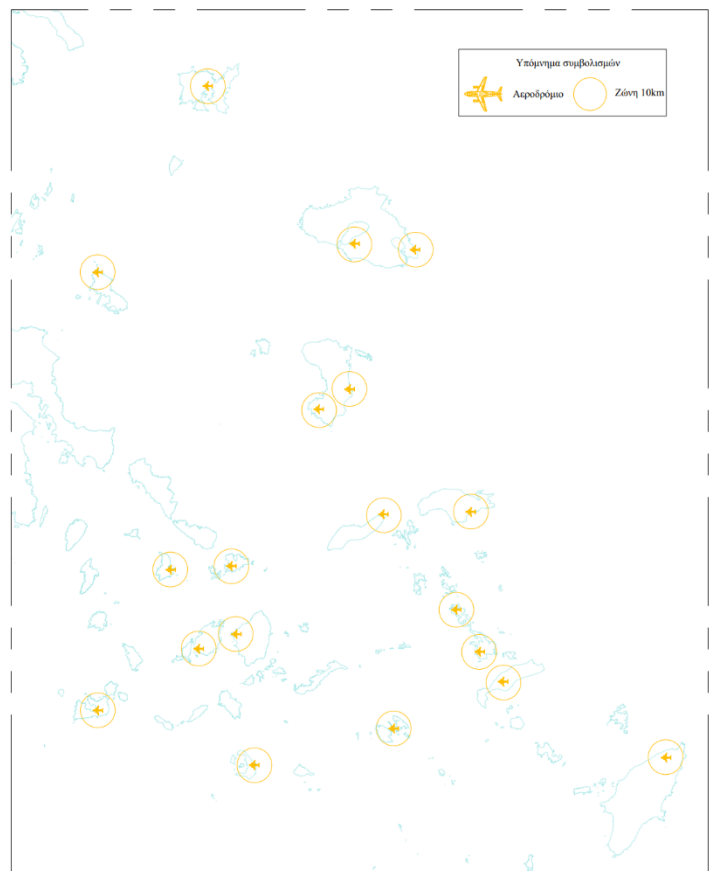
Στο Εθνικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων του ΥΠΕΝ (2015) έγινε η αρχική επιλογή απόστασης του 1,5 χιλιομέτρου από την ακτογραμμή. Η απόσταση αυτή δεν κρίθηκε ικανοποιητική για την προστασία του τοπίου κατά την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε στρατηγικό επίπεδο και επεκτάθηκε στα 3 χιλιόμετρα και σε ορισμένες περιπτώσεις προτάθηκε η περαιτέρω απομάκρυνση των εγκαταστάσεων από την ακτή στα 6 χιλιόμετρα.

Στην παρούσα εργασία έγινε η επιλογή των 3 χιλιομέτρων για τους παρακάτω λόγους:

- Καλύπτονται όλες οι ελάχιστες αποστάσεις όπως ορίζονται από το Ε.Π.Χ.Σ.Α.Α..
- Αποτελεί την πιο τεχνικο-οικονομική λύση.
- Η επιλεγείσα περιοχή δε θα υποβαθμίζει το τουριστικό προϊόν.

4.7 ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΑ

Η απόσταση από τα αεροδρόμια παίζει σημαντικό ρόλο στην ασφάλεια κατά την απογείωση και προσγείωση των αεροσκαφών καθώς και στις παρεμβολές των σημάτων επικοινωνίας αυτών. Σε αυτό το σημείο, έχουν τεθεί διάφορα όρια ελάχιστων αποστάσεων, οι Bili and Vagiona (2018) έθεσαν ως ελάχιστη απόσταση από περιοχές αεροδρομίου τα 2,5 χιλιόμετρα, οι Latinopoulos and Kechagia (2015) τα 3 χιλιόμετρα και οι Effat et al. (2014) τα 25 χιλιόμετρα. Οι ελάχιστες αποστάσεις από τα αεροδρόμια στις προτεινόμενες περιοχές εγκατάστασης Υ.Α.Π., ορίζονται από τους αρμόδιους φορείς και συγκεκριμένα από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας καθώς και από το Γενικό Επιτελείο Εθνικής Άμυνας. Εμπειρικά, στην παρούσα εργασία, τίθεται η ζώνη των 10 χιλιομέτρων.



Χάρτης 10: Χάρτης απεικόνισης αεροδρομίων και ζωνών 10km
(Πηγή δεδομένων: geodata.gov.gr)

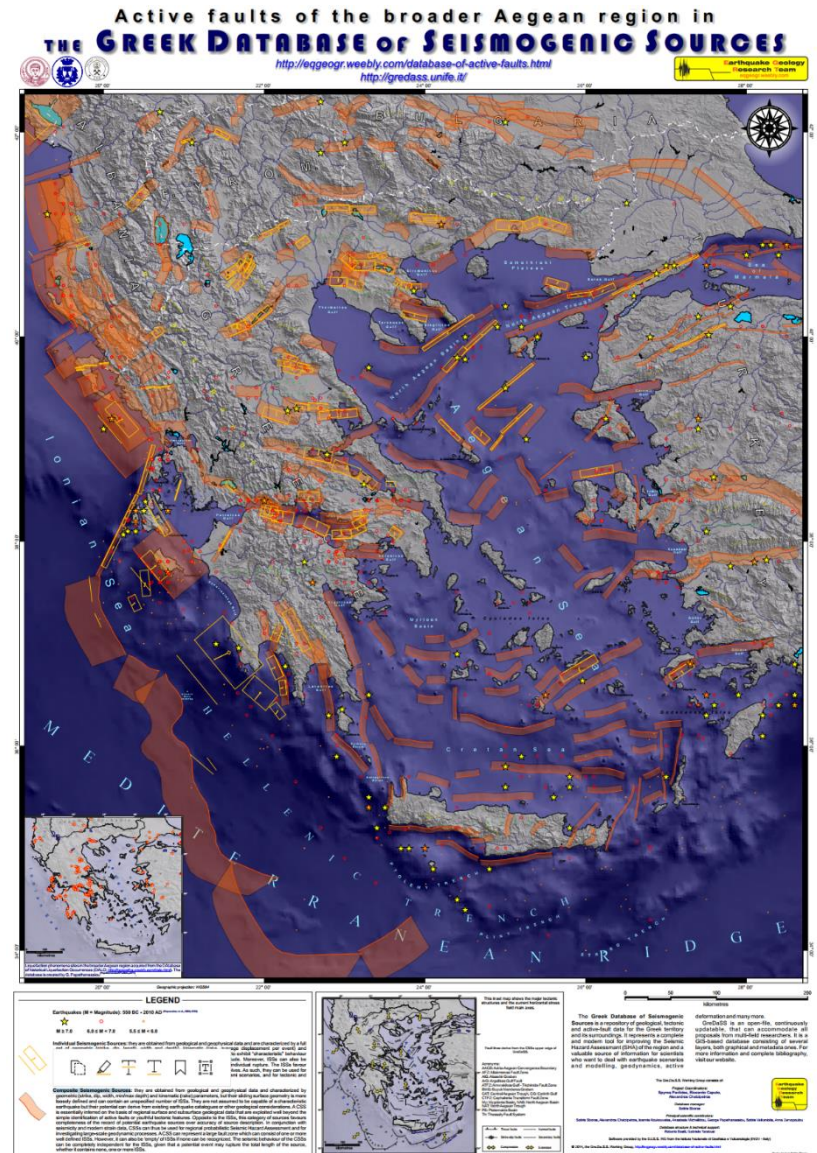
Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

4.8 ΔΙΕΘΝΗ – ΧΩΡΙΚΑ ΥΔΑΤΑ

Τα Χωρικά Ύδατα, ή η Αιγιαλίτιδα Ζώνη, αποτελούν τη ζώνη κυριαρχίας ενός κράτους στη θάλασσα. Η κυριαρχία αυτή, εκτείνεται στη θάλασσα, στο βυθό, στο υπέδαφος, στον υπερκείμενο της θαλάσσης εναέριο χώρο, ο οποίος αποτελεί μία διαφορετική ζώνη κυριαρχίας και ονομάζεται Εθνικός Εναέριος Χώρος. Βάσει των πρώτων άρθρων του νομικού κειμένου για το Δίκαιο της Θάλασσας, η Αιγιαλίτιδα Ζώνη ενός κράτους μπορεί να έχει εύρος μέχρι και 12 ναυτικά μίλια (ν.μ.). Ωστόσο, η Ελλάδα, διαθέτει Αιγιαλίτιδα Ζώνη 6 ν.μ. και εντός αυτών θα γίνει η εγκατάσταση του Υ.Α.Π..

4.9 ΖΩΝΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Η εγκατάσταση ενός Υ.Α.Π. αποτελεί μία υψηλού κόστους επένδυση. Η διασφάλιση αυτής, καθώς και η ασφάλεια του περιβάλλοντος χώρου αποτελεί ένα ακόμα κριτήριο αποκλεισμού. Το Αιγαίο αποτελεί μία ζώνη με έντονη σεισμική δραστηριότητα λόγω των συμπίεστικών δυνάμεων των γειτονικών λιθοσφαιρικών πλακών στη λιθόσφαιρα του Αιγαίου. Τα ενεργά ρήγματα της Ελλάδας, θα εξαιρεθούν από τις δυνητικές θέσεις εγκατάστασης. Στο διπλανό χάρτη απεικονίζονται τα ενεργά ρήγματα της Ελλάδος, όπως αυτά καταγράφηκαν από την ερευνητική ομάδα γεωλογίας των σεισμών του Α.Π.Θ..



Χάρτης 11: Χάρτης απεικόνισης ενεργών ρηγμάτων της Ερευνητικής Ομάδας Γεωλογίας των Σεισμών του Α.Π.Θ.

4.10 ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΛΙΜΕΝΕΣ

Η απόσταση ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου από ένα λιμάνι παρουσιάζει έναν σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει το συνολικό κόστος επένδυσης, αφού έχει άμεσο αντίκτυπο στο κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης. Πιο συγκεκριμένα το συνολικό κόστος επένδυσης μειώνεται όταν η θέση του υπεράκτιου αιολικού πάρκου βρίσκεται πιο κοντά σε ένα υπάρχον λιμάνι, ενώ, επιπλέον, απλοποιεί και τη συνολική διαχείριση του έργου.

ΧΑΡΤΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΛΙΜΕΝΩΝ

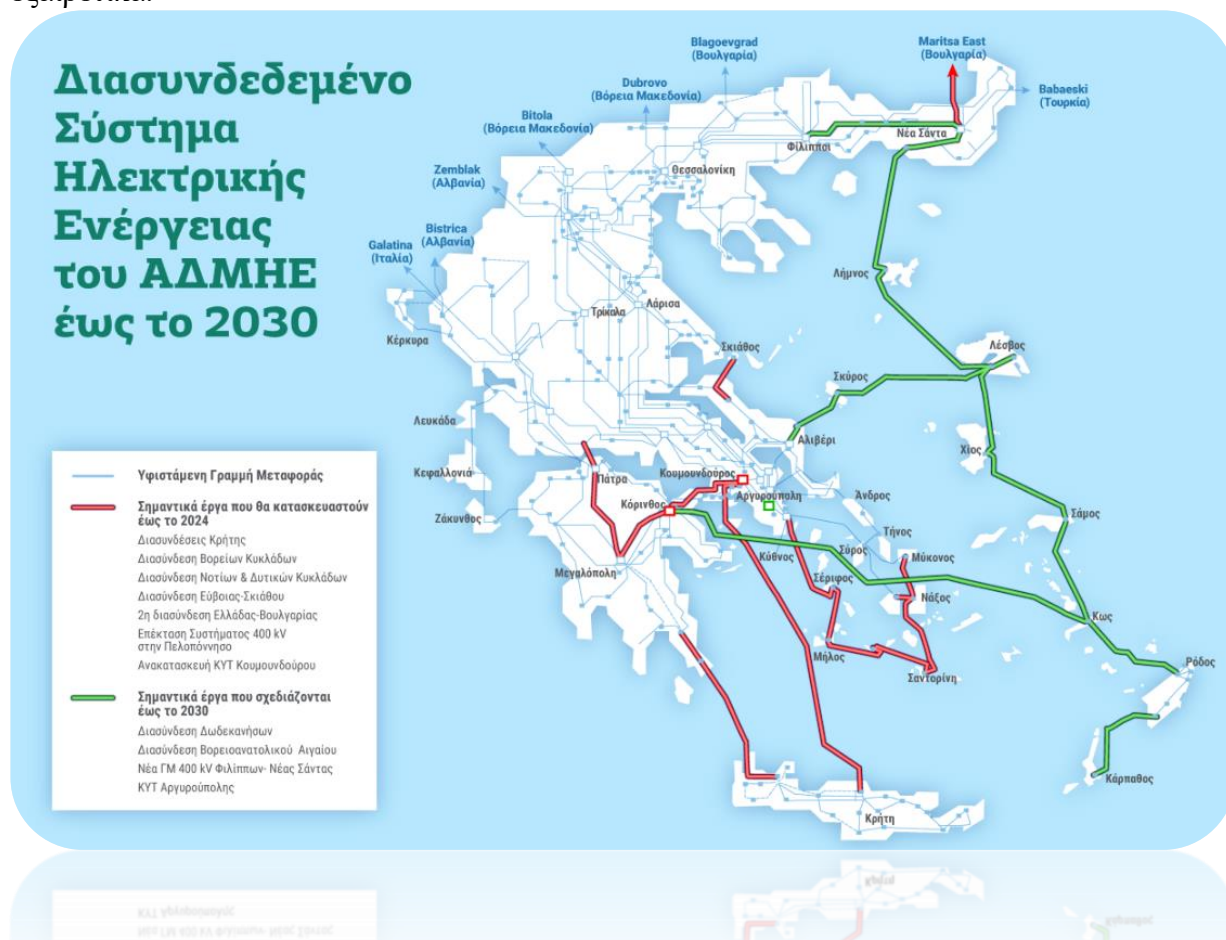


Χάρτης 12: Χάρτης απεικόνισης λιμένων (Πηγή δεδομένων: EMODnet)

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

4.11 ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ

Η διασύνδεση αποτελεί πολύ σημαντικό κριτήριο για τη χωροθέτηση ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου ωστόσο τα περισσότερα νησιά του Αιγαίου δεν είναι διασυνδεδεμένα με το δίκτυο. Σύμφωνα με το πρόγραμμα του ΑΔΜΗΕ για την περίοδο 2021-2030, σχεδιάζεται όλη η διασύνδεση των νησιών της χώρας με υποθαλάσσια καλώδια. Εάν οι διασυνδέσεις γίνουν με τέτοιο τρόπο που να μπορούσαν να συνδεθούν τα πλωτά πάρκα, το κόστος θα μειωνόταν εξαιρετικά.

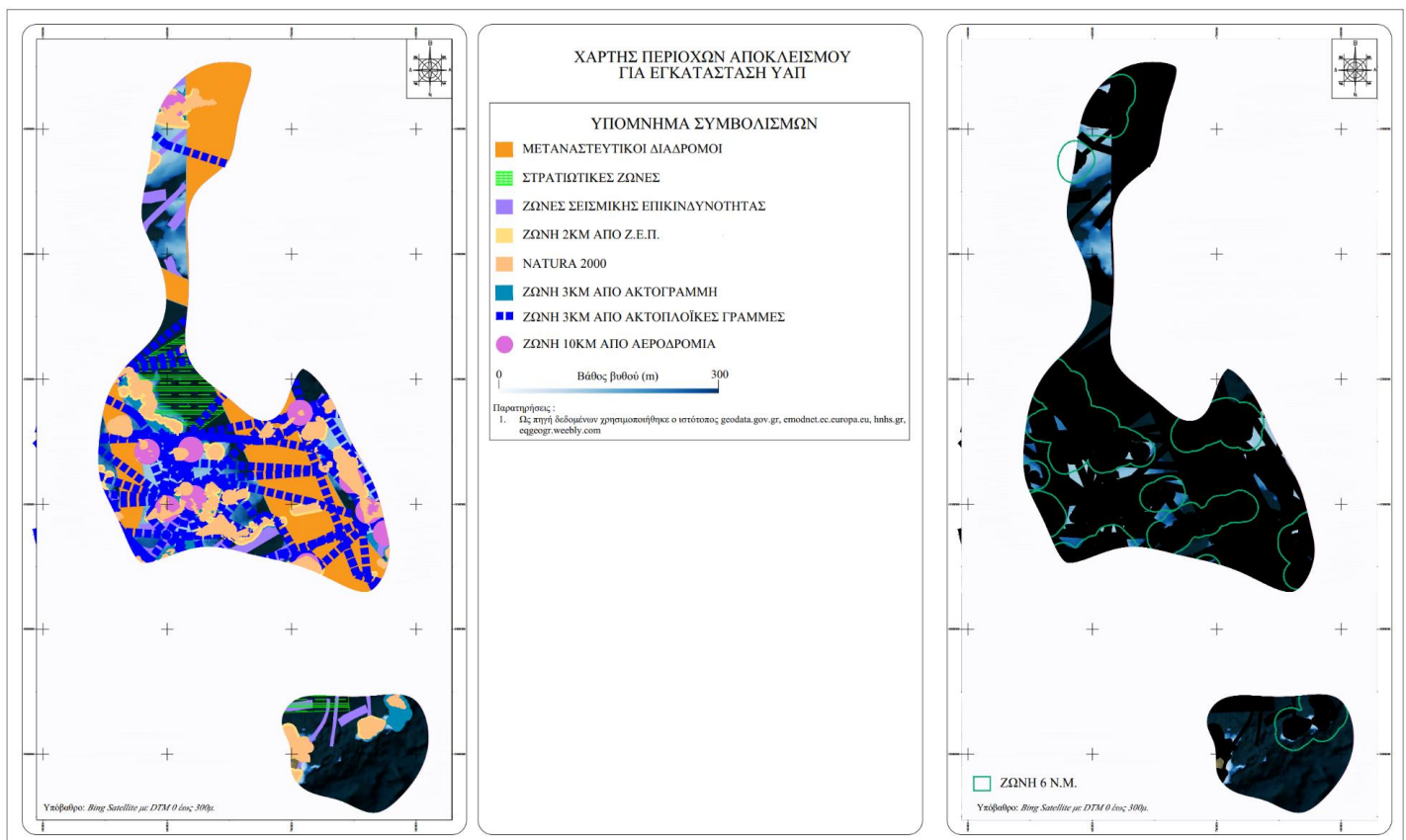


Χάρτης 13: Χάρτης των ηλεκτρικών διασυνδέσεων του ΑΔΜΗΕ έως το 2030 (Πηγή: <https://www.sdam.gr/node/161>)

5. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΥΠΕΡΑΚΤΙΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

Κατόπιν εφαρμογής όλων των παραπάνω κριτηρίων, έγινε η παραγωγή του παρακάτω χάρτη. Στο χάρτη απεικονίζονται μόνο οι περιοχές που εμφάνισαν το υψηλότερο αιολικό δυναμικό σύμφωνα με την ανάλυση του Μυλωνάκη Μανώλη (2023) και οι παράμετροι που εμφανίζονται στην εν λόγω περιοχή σε ξεχωριστά θεματικά επίπεδα.

Σε δεύτερο επίπεδο για να καταστεί δυνατή η επιλογή της περιοχής μελέτης, όλα τα κριτήρια ενσωματώθηκαν σε ένα θεματικό επίπεδο «Ζώνες Αποκλεισμού» με ενιαίο μοτίβο και χρώμα, για να είναι ξεκάθαρες οι εναπομένουσες δυνητικές περιοχές. Από τον παρακάτω χάρτη, προκύπτουν αρκετές κατάλληλες περιοχές που συγκεντρώνονται κατά κύριο λόγο στις Κυκλάδες, στο βόρειο και νότιο τμήμα της Ν. Λήμνου, περιμετρικά της Ν. Αγ. Ευστρατίος και ανατολικά της Ν. Φούρνοι. Αν και η καταλληλότερη τεχνικο-οικονομικά περίπτωση είναι αυτή των Κυκλάδων, σε αυτό το στάδιο δε θα προτιμηθεί, καθώς η τοπική οικονομία εξαρτάται σημαντικά από το τουριστικό προϊόν και η εξοικείωση των τοπικών κοινωνιών με τις επενδύσεις αιολικής ενέργειας είναι σε πρώιμο στάδιο.

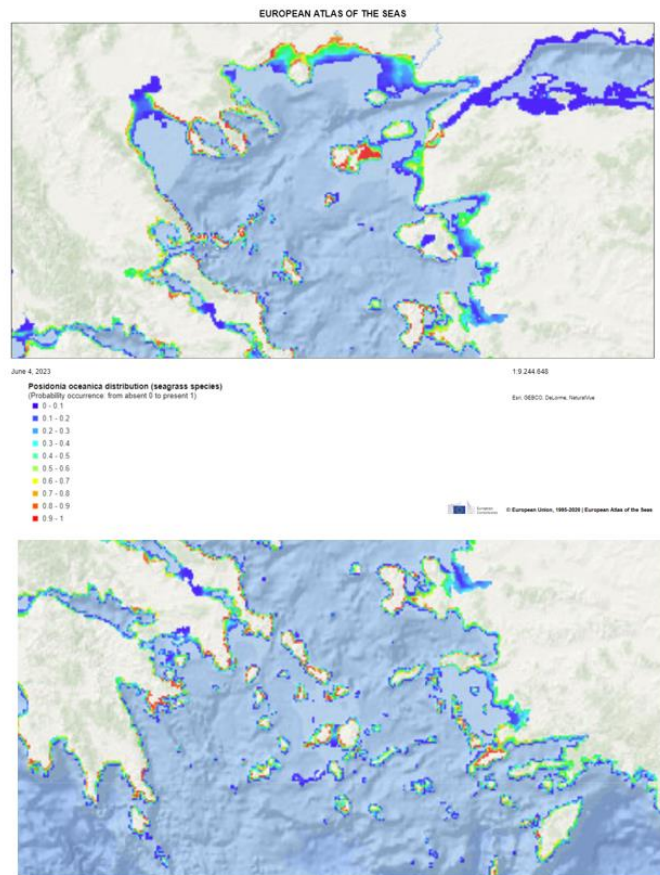


Χάρτης 14: Χάρτης απεικόνισης περιοχών αποκλεισμού

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

Σύμφωνα με το Αρχαιολογικό Κτηματολόγιο , η Ν. Λήμνος στο βόρειο τμήμα της έχει τον ενάλιο χώρο «Αξιά Λήμνου» και σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Δίκτυο Θαλάσσιων Παρατηρήσεων και Δεδομένων έχει μεγαλύτερη κατανομή των λιβαδιών της ποσειδωνίας έναντι της Ν. Άγιος Ευστράτιος και Ν. Φούρνοι.

Τα λιβάδια της ποσειδωνίας , γνώστα και ως πνεύμονες της Μεσογείου παρέχουν πολλαπλά οφέλη στο οικοσύστημα, όπως βελτίωση της ποιότητας του νερού, απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα, μετριασμό της κλιματικής αλλαγής κ.α., που καθιστούν τη διατήρηση και την αποκατάστασή τους σημαντική.



Χάρτης 15: Χάρτης απεικόνισης λιβαδιών ποσειδωνίας
(Πηγή: EMODnet.ec.europa.eu)

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

Η τελική επιλογή της περιοχής μελέτης γίνεται βορειοανατολικά του Αγ. Ευστρατίου, καθώς συνδυάζονται καλύτερα όλα τα κριτήρια χωροθέτησης.



Χάρτης 16: Χάρτης απεικόνισης περιοχής μελέτης

Η θαλάσσια έκταση έχει εμβαδόν ~50 τ.χιλιόμετρα και συντεταγμένες κορυφών όπως εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΡΟΒΟΛΗ ΕΓΣΑ '87		
A/A	X (m)	Y (m)
K1	587042.50	4383911.72
K2	587787.24	4389977.12
K3	589678.19	4389623.92
K4	591712.04	4388685.05
K5	594846.84	4386650.55
K6	596482.54	4385161.58
K7	591560.32	4380952.46
K8	589685.80	4382058.88
K1	587042.50	4383911.72

Πίνακας 7: Πίνακας συντεταγμένων κορυφών περιοχής

6. ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥΣ SENTINEL

Το σημαντικότερο κριτήριο για τη χωροθέτηση ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου είναι το αιολικό δυναμικό στην περιοχή που πρόκειται να εγκατασταθεί. Ο υπολογισμός του αιολικού δυναμικού στην εργασία αυτή έγινε μέσω των τηλεπισκοπικών δεδομένων των δορυφόρων Sentinel-1 και Sentinel-3.

Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα SAR ανακτήθηκαν από τους δορυφόρους Sentinel-1 και Sentinel-3, για μία χρονική περίοδο ενός έτους (Ιούνιος 2022 έως Μάιος 2023). Στη συνέχεια, έγινε στατιστική ανάλυση των δεδομένων που αφορά:

- στον υπολογισμό της μέσης ταχύτητας του ανέμου σε 10m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας από δεδομένα και των δύο δορυφόρων, με μονάδα βάρους 1,3 στα δεδομένα του Sentinel-3, καθώς αυτά έχουν μεγαλύτερη χωρική ανάλυση, 300m κατά μήκος της τροχιάς έναντι 1km² των δεδομένων του δορυφόρου Sentinel-1,
- στον υπολογισμό της μέσης ταχύτητας του ανέμου στο ύψος που αντιστοιχεί στο μέσο ύψος εγκατάστασης μίας σύγχρονης υπεράκτιας ανεμογεννήτριας ($Z = 250m$)
- στην παρουσίαση των συνθηκών του ανέμου, της κατεύθυνσης και του μέτρου του, μέσω ενός πολικού διαγράμματος, γνωστό και ως «ανεμόροδο», με χρήση μόνο των δορυφορικών δεδομένων Sentinel-1, καθώς ο δορυφόρος Sentinel-3 παρέχει δεδομένα μόνο για το μέτρο της ταχύτητας του ανέμου.

6.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΕΜΟΥ ΑΠΟ ΤΟΝ ΔΟΡΥΦΟΡΟ SENTINEL-1

Ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών του ανέμου από το δορυφόρο Sentinel-1, βασίζεται στη μέτρηση της έντασης του ανακλώμενου σήματος ραντάρ. Η ένταση του σήματος οπισθοσκέδασης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας. Ο άνεμος που πνέει στην επιφάνεια της θάλασσας δημιουργεί τραχύτητα λόγω της τριβής των δύο ρευστών. Η τραχύτητα που δημιουργείται έχει την ίδια κατεύθυνση με τον άνεμο και εξαρτάται από την ταχύτητά του. Έτσι, το ανακλώμενο σήμα που επιστρέφει στον αισθητήρα, δίνει πληροφορίες για την επιφάνεια της θάλασσας και μπορεί να συσχετιστεί με την ταχύτητα.

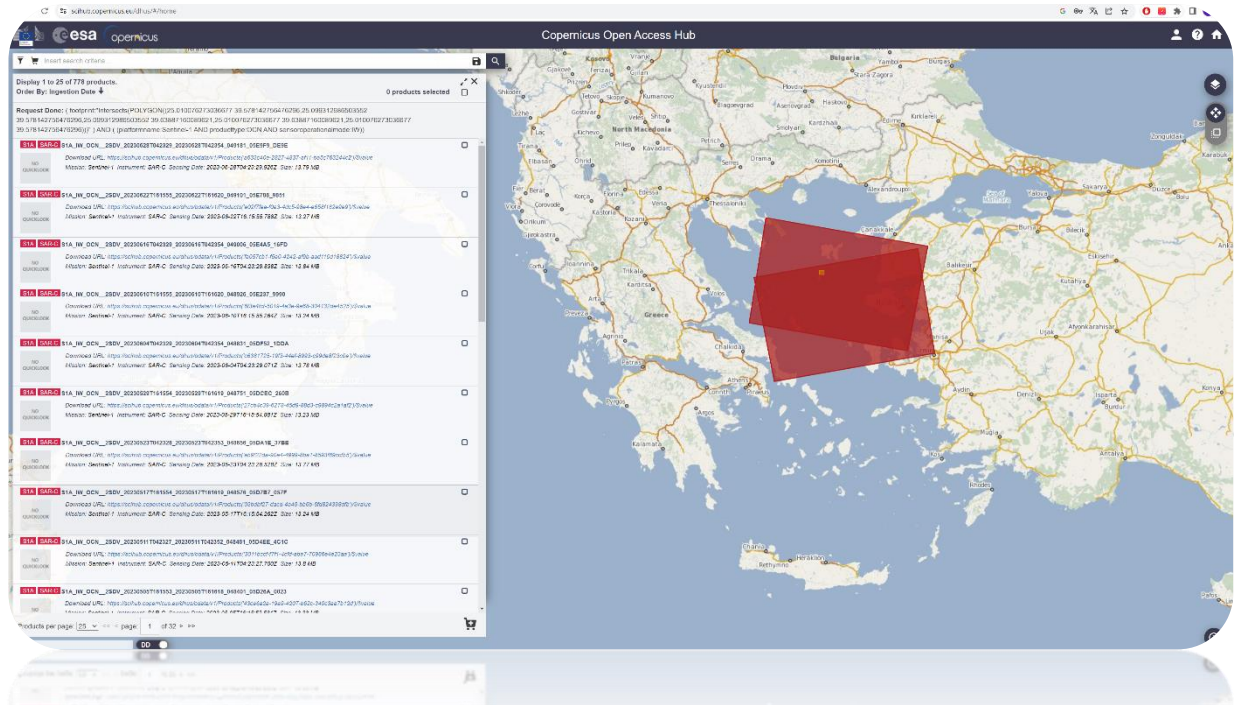
Ο προσδιορισμός της ταχύτητας ανέμου από εικόνες SAR επιτυγχάνεται μέσω γεωφυσικών συναρτησιακών μοντέλων τα οποία αναπαριστούν μαθηματικά τη σύνδεση του οπισθοσκεδασμένου σήματος και της ταχύτητας του ανέμου. Ο αισθητήρας που καταγράφει την τραχύτητα της επιφάνειας λειτουργεί σε μήκη κύματος που δεν εμποδίζονται από την κάλυψη νέφους ή την έλλειψη φωτισμού, συνεπώς η ανάκτηση των δεδομένων έγινε κατά τη διάρκεια της ημέρας ή νύχτας σε όλες τις καιρικές συνθήκες.

Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν είναι εικόνες SAR μόνο από το δορυφόρο Sentinel-1A, καθώς η αποστολή του δορυφόρου Sentinel-1B έληξε το 2022.

Τα δεδομένα Sentinel-1 που χρησιμοποιήθηκαν είναι επιπέδου 2 OCN και περιλαμβάνουν ένα όργανο που ονομάζεται Ocean Wind Fields (OWI), το οποίο προσδιορίζει την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου 10m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η χωρική ανάλυση των προϊόντων είναι 1km*1km σε λειτουργία IW.

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

Για την ανάλυση του αιολικού δυναμικού της περιοχής βόρεια του Αγίου Ευστρατίου συλλέχθηκαν 60 εικόνες Sentinel-1A για την περίοδο μεταξύ 03/06/2022 έως 29/05/2023 μέσω της βάσης δεδομένων του Copernicus. Το Copernicus Services Data Hub, παρέχει αποκλειστική πρόσβαση σε προϊόντα Sentinel.



Εικόνα 15: Περιβάλλον Copernicus Services Data Hub

Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού από το δορυφόρο Sentinel-1A είναι:

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ SENTINEL-1		
Ημέρα απόκτησης	Χρόνος απόκτησης	Προϊόν Sentinel-1
29/05/2023	16:15:54	S1A_IW_OCN__2SDV_20230529T161554_20230529T161619_048751_05DCEC_260B
23/05/2023	04:23:28	S1A_IW_OCN__2SDV_20230523T042328_20230523T042353_048656_05DA1E_37BE
17/05/2023	16:15:54	S1A_IW_OCN__2SDV_20230517T161554_20230517T161619_048576_05D7B7_057F
11/05/2023	04:23:27	S1A_IW_OCN__2SDV_20230511T042327_20230511T042352_048481_05D4EE_4C1C
05/05/2023	16:15:53	S1A_IW_OCN__2SDV_20230505T161553_20230505T161618_048401_05D26A_0023
29/04/2023	04:23:27	S1A_IW_OCN__2SDV_20230429T042327_20230429T042352_048306_05CF35_A74A
23/04/2023	16:15:52	S1A_IW_OCN__2SDV_20230423T161552_20230423T161617_048226_05CC8A_6A84
17/04/2023	04:23:26	S1A_IW_OCN__2SDV_20230417T042326_20230417T042351_048131_05C957_4529
11/04/2023	16:15:52	S1A_IW_OCN__2SDV_20230411T161552_20230411T161617_048051_05C6B4_F9A9

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

05/04//2023	04:23:26	S1A_IW_OCN__2SDV_20230405T042326_20230405T042351_047956_05C36A_D42D
30/03/2023	16:15:52	S1A_IW_OCN__2SDV_20230330T161552_20230330T161617_047876_05C0BE_1D36
24/03/2023	04:23:26	S1A_IW_OCN__2SDV_20230324T042326_20230324T042351_047781_05BD83_D690
18/03/2023	16:15:51	S1A_IW_OCN__2SDV_20230318T161551_20230318T161616_047701_05BAE7_2B14
12/03/2023	04:23:25	S1A_IW_OCN__2SDV_20230312T042325_20230312T042350_047606_05B79D_AA24
06/03/2023	16:15:51	S1A_IW_OCN__2SDV_20230306T161551_20230306T161616_047526_05B4F9_6815
28/02/2023	04:23:26	S1A_IW_OCN__2SDV_20230228T042326_20230228T042351_047431_05B1B4_0EE5
22/02/2023	16:15:51	S1A_IW_OCN__2SDV_20230222T161551_20230222T161616_047351_05AF0F_CE61
16/02/2023	04:23:25	S1A_IW_OCN__2SDV_20230216T042325_20230216T042350_047256_05ABC0_F50F
10/02/2023	16:15:51	S1A_IW_OCN__2SDV_20230210T161551_20230210T161616_047176_05A915_C282
04/02/2023	04:23:26	S1A_IW_OCN__2SDV_20230204T042326_20230204T042351_047081_05A5DC_D115
29/01/2023	16:15:52	S1A_IW_OCN__2SDV_20230129T161552_20230129T161617_047001_05A348_D111
17/01/2023	16:15:52	S1A_IW_OCN__2SDV_20230117T161552_20230117T161617_046826_059D5F_BF5F
11/01/2023	04:23:26	S1A_IW_OCN__2SDV_20230111T042326_20230111T042351_046731_059A1F_2BC5
05/01/2023	16:15:53	S1A_IW_OCN__2SDV_20230105T161553_20230105T161618_046651_059775_B343
30/12/2022	04:23:27	S1A_IW_OCN__2SDV_20221230T042327_20221230T042352_046556_059435_B1B7
24/12/2022	16:15:53	S1A_IW_OCN__2SDV_20221224T161553_20221224T161618_046476_05918D_281A
18/12/2022	04:23:28	S1A_IW_OCN__2SDV_20221218T042328_20221218T042353_046381_058E50_C1B6
12/12/2022	16:15:54	S1A_IW_OCN__2SDV_20221212T161554_20221212T161619_046301_058B91_9D02
06/12/2022	04:23:29	S1A_IW_OCN__2SDV_20221206T042329_20221206T042354_046206_058852_406D
30/11/2022	16:15:55	S1A_IW_OCN__2SDV_20221130T161555_20221130T161620_046126_05859B_A254
24/11/2022	04:23:30	S1A_IW_OCN__2SDV_20221124T042330_20221124T042355_046031_058257_B269
18/11/2022	16:15:55	S1A_IW_OCN__2SDV_20221118T161555_20221118T161620_045951_057FA8_421B
12/11/2022	04:23:29	S1A_IW_OCN__2SDV_20221112T042329_20221112T042354_045856_057C71_9EFF
06/11/2022	16:15:55	S1A_IW_OCN__2SDV_20221106T161555_20221106T161620_045776_0579C3_875E

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

31/10/2022	04:23:30	S1A_IW_OCN__2SDV_20221031T042330_20221031T042355_045681_05768B_AB73
25/10/2022	16:15:56	S1A_IW_OCN__2SDV_20221025T161556_20221025T161621_045601_0573D8_D654
19/10/2022	04:23:29	S1A_IW_OCN__2SDV_20221019T042329_20221019T042354_045506_0570E5_13AD
13/10/2022	16:15:55	S1A_IW_OCN__2SDV_20221013T161555_20221013T161620_045426_056EA6_6AAA
07/10/2022	04:23:30	S1A_IW_OCN__2SDV_20221007T042330_20221007T042355_045331_056B6E_B5C3
01/10/2022	16:15:56	S1A_IW_OCN__2SDV_20221001T161556_20221001T161621_045251_0568C8_71BA
25/09/2022	04:23:29	S1A_IW_OCN__2SDV_20220925T042329_20220925T042354_045156_056595_830B
19/09/2022	16:15:55	S1A_IW_OCN__2SDV_20220919T161555_20220919T161620_045076_0562EC_F000
13/09/2022	04:23:29	S1A_IW_OCN__2SDV_20220913T042329_20220913T042354_044981_055FAC_57FE
07/09/2022	16:15:55	S1A_IW_OCN__2SDV_20220907T161555_20220907T161620_044901_055D03_4B47
01/09/2022	04:23:29	S1A_IW_OCN__2SDV_20220901T042329_20220901T042354_044806_0559CD_0B6C
26/08/2022	16:15:54	S1A_IW_OCN__2SDV_20220826T161554_20220826T161619_044726_055720_8EAF
20/08/2022	04:23:28	S1A_IW_OCN__2SDV_20220820T042328_20220820T042353_044631_0553E6_5030
14/08/2022	16:15:54	S1A_IW_OCN__2SDV_20220814T161554_20220814T161619_044551_05513A_78EC
08/08/2022	4:23:28	S1A_IW_OCN__2SDV_20220808T042328_20220808T042353_044456_054E13_5283
02/08/2022	16:15:53	S1A_IW_OCN__2SDV_20220802T161553_20220802T161618_044376_054BB9_DEC0
27/07/2022	04:23:27	S1A_IW_OCN__2SDV_20220727T042327_20220727T042352_044281_0548F6_4B4A
21/07/2022	16:15:52	S1A_IW_OCN__2SDV_20220721T161552_20220721T161617_044201_05468F_622F
15/07/2022	04:23:26	S1A_IW_OCN__2SDV_20220715T042326_20220715T042351_044106_0543BF_359E
09/07/2022	16:15:52	S1A_IW_OCN__2SDV_20220709T161552_20220709T161617_044026_054153_7F88
03/07/2022	04:23:25	S1A_IW_OCN__2SDV_20220703T042325_20220703T042350_043931_053E86_0EC1
27/06/2022	16:15:51	S1A_IW_OCN__2SDV_20220627T161551_20220627T161616_043851_053C25_75CE
21/06/2022	04:23:25	S1A_IW_OCN__2SDV_20220621T042325_20220621T042350_043756_053953_546F
15/06/2022	16:15:50	S1A_IW_OCN__2SDV_20220615T161550_20220615T161615_043676_0536E7_F4E6
09/06/2022	04:23:24	S1A_IW_OCN__2SDV_20220609T042324_20220609T042349_043581_053415_2618

03/06/2022	16:15:50	S1A_IW_OCN_2SDV_20220603T161550_20220603T161615_043501_0531A9_A958
------------	----------	--

Πίνακας 8: Πίνακας προϊόντων Sentinel-1

Η μέθοδος επεξεργασίας των εικόνων βασίζεται στη χρήση δύο κύριων λογισμικών:

- του λογισμικού Sentinel Application Platform (SNAP) για τη δορυφορική ανάλυση των εικόνων και
- του λογισμικού Q-GIS, για την χαρτογράφηση και εξαγωγή των ανεμολογικών δεδομένων.

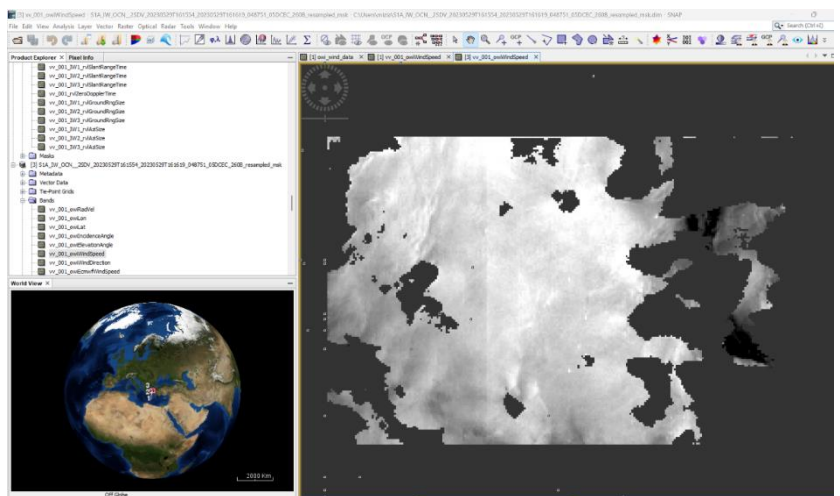
6.1.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ SENTINEL-1 ΜΕΣΩ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ SNAP

Για την ανάλυση των δορυφορικών εικόνων Sentinel-1 χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ESA SNAP. Το λογισμικό SNAP είναι μία δωρεάν και ανοιχτή εργαλειοθήκη που επεξεργάζεται δεδομένα πολυάριθμων δορυφορικών αποστολών (π.χ. Sentinel-1, Sentinel-2 κ.α.).

Η κάθε εικόνα, επεξεργάστηκε ξεχωριστά, αφού εισάχθηκε στο λογισμικό με τη μορφή .zip. και εκτελέστηκαν οι αλγόριθμοι

- Resampling, για την αλλαγή προσανατολισμού και
- Land/Sea Mask έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι η εκτίμηση επικεντρώνεται αποκλειστικά στην επιφάνεια της θάλασσας

κι εξάχθηκαν τα δεδομένα σε μορφή GeoTIFF και Shapefile. Τα δεδομένα του ανέμου, προέκυψαν από πολώσεις VV που οδηγούν σε μεγάλη ακρίβεια.



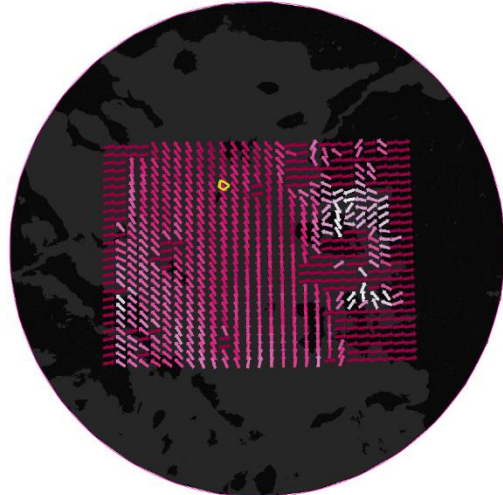
Εικόνα 16: Περιβάλλον Sentinel Application Platform (SNAP)

6.1.2 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΙ ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ SENTINEL-1 ΜΕΣΩ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ Q-GIS

Το δεύτερο στάδιο αποτελείται από την επεξεργασία της δορυφορικής εικόνας, μέσω του λογισμικού Q-GIS, για τη χαρτογράφηση του αιολικού δυναμικού. Το GIS είναι ένα ισχυρό εργαλείο που διευκολύνει τη διαχείριση, ανάλυση, μοντελοποίηση και αναπαράσταση γεωαναφερμένων δεδομένων. Τα δεδομένα για την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου που έχουν επεξεργαστεί στο λογισμικό SNAP, υποβάλλονται σε επιπλέον επεξεργασία, χαρτογραφούνται και εξάγονται από το λογισμικό Q-GIS για στατιστική ανάλυση.

Τα δύο αρχεία που εξήχθησαν από το λογισμικό SNAP είναι σε μορφή vector (shapefile) και raster (geoTIFF). Για τη στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το raster αρχείο της εικόνας, αλλά αξίζει να γίνει αναφορά και στο γεωχωρικό διανυσματικό αρχείο (shapefile). Εισάγοντας το διανυσματικό αρχείο στο περιβάλλον Q-GIS, μαζί με το πολύγωνο της επιλεγείσας περιοχής και με ειδική επεξεργασία, χαρτογραφείται το αιολικό δυναμικό της περιοχής της εικόνας με το κάθε σημείο (βέλος)

- να έχει προσανατολισμό την κατεύθυνση του ανέμου και
- χρωματική διαβάθμιση ανάλογη της έντασης του μέτρου της ταχύτητας.



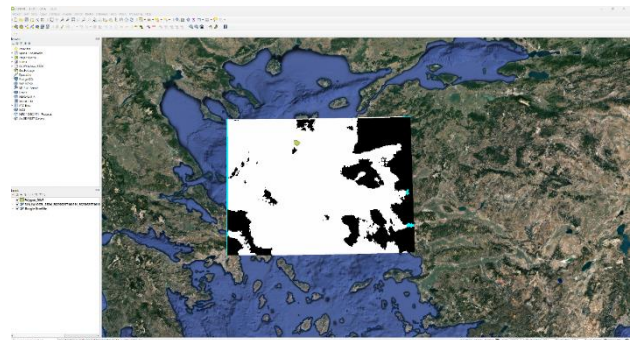
Εικόνα 17: Παράδειγμα προϊόντος Sentinel-1 OCN. Επεξεργασμένος χάρτης ταχύτητας ανέμου και κατεύθυνσης για την εικόνα 29 Μαΐου 2023

Η στατιστική ανάλυση, έγινε μέσω του κανονικοποιημένου (raster) αρχείου.

Η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού, γίνεται για μία προκαθορισμένη περιοχή και γι' αυτό κρίθηκε απαραίτητη η περικοπή της εικόνας στα όρια της περιοχής μελέτης όπως φαίνεται στην Εικόνα 19.



Εικόνα 19: Περικομμένη εικόνα Raster στα όρια της περιοχής μελέτης



Εικόνα 18: Εικόνα Raster του δορυφόρου Sentinel-1 στο λογισμικό Q-GIS

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

Με την περικοπή της εικόνας, τα εικονοστοιχεία στις άκρες της, πήραν μηδενικές τιμές.

Για την σωστή εξαγωγή των τιμών των ανεμολογικών δεδομένων από το ιστόγραμμα της εικόνας, επιλέχθηκε ένα κατώφλι με τιμή «0,01», που απέκλειε τις μηδενικές τιμές.

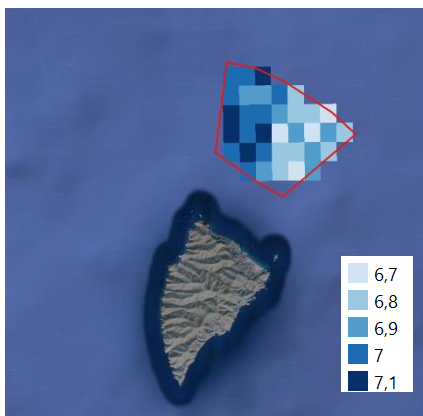
Η λήψη των δεδομένων ανέμου για στατιστική ανάλυση για την κάθε εικόνα χωριστά, έγινε από το ιστόγραμμα της κάθε εικόνας λαμβάνοντας τη χαμηλότερη τιμή του μέτρου της ταχύτητας και την υψηλότερη για την περιοχή μελέτης. Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε και για την κατεύθυνση του ανέμου.



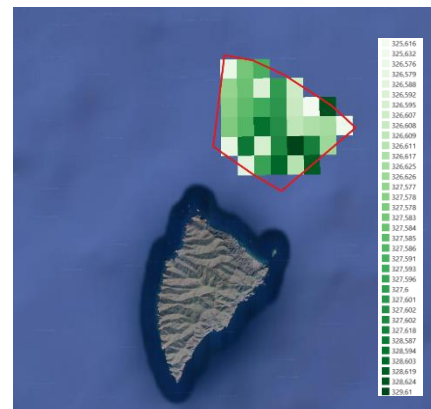
Εικόνα 20: Μηδενικές τιμές των εικονοστοιχείων στα όρια της εικόνας Sentinel-1

Ακολουθεί παράδειγμα, για τη δορυφορική εικόνα 29 Μαΐου 2023. Η περικομμένη εικόνα έχει 50 pixel περίπου, με χωρική ανάλυση 1 km² και από το ιστόγραμμά της λαμβάνεται η χαμηλότερη και η υψηλότερη τιμή του μέτρου της ταχύτητας για την περιοχή μελέτης. Στην προκειμένη, η χαμηλότερη είναι 6,7m/s και η υψηλότερη 7,1 m/s.

Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τη κατεύθυνση του ανέμου.



Εικόνα 22: Παράδειγμα τιμών του μέτρου της ταχύτητας του ανέμου στα όρια της περιοχής μελέτης



Εικόνα 21: Παράδειγμα της κατεύθυνσης του ανέμου στα όρια της περιοχής μελέτης

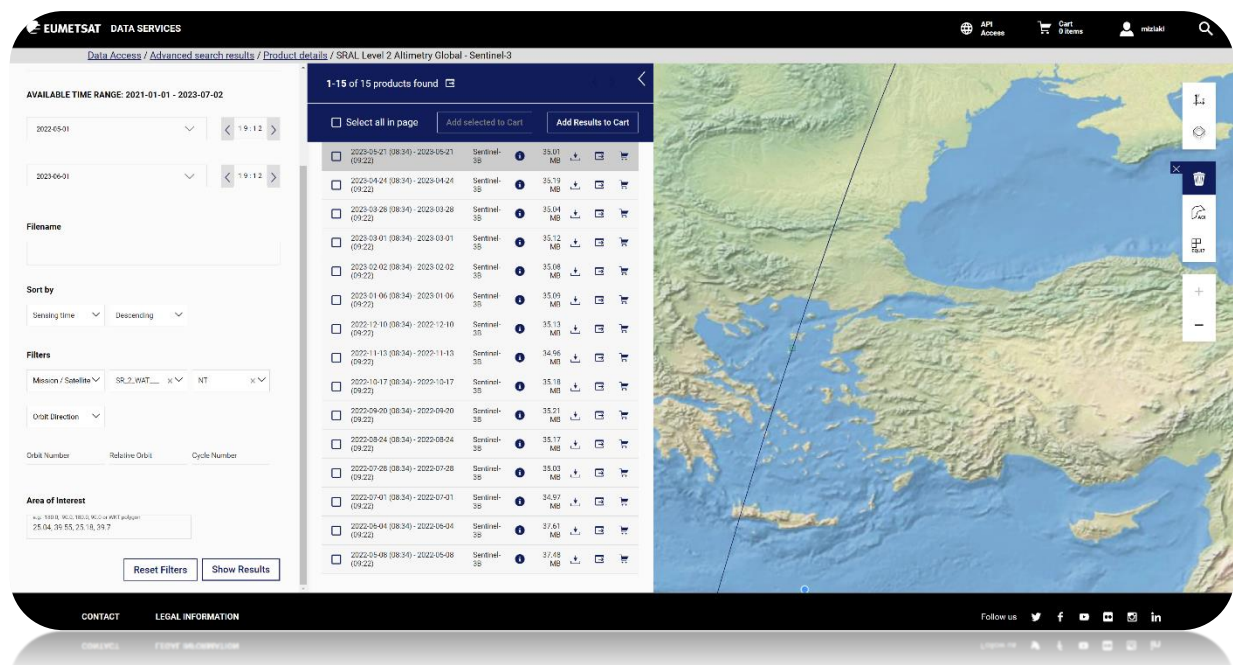
Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

6.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΕΜΟΥ ΑΠΟ ΤΟΝ ΔΟΡΥΦΟΡΟ SENTINEL-3

Ο προσδιορισμός του μέτρου της ταχύτητας ανέμου από τα τηλεπισκοπικά δεδομένα Sentinel-3 επιτυγχάνεται μέσω του οργάνου SRAL. Τα προϊόντα Sentinel-3 Non Time Critical (NTC), είναι διαθέσιμα σε λιγότερο από 30 ημέρες και περιέχουν τυπικές μετρήσεις υψομέτρου, το ύψος της επιφάνειας της θάλασσας, την ταχύτητα του ανέμου, το σημαντικό ύψος κύματος με όλες τις απαιτούμενες γεωφυσικές διορθώσεις.

Τα προϊόντα που χρησιμοποιήθηκαν από το δορυφόρο Sentinel-3, είναι SRAL επιπέδου 2 σε λειτουργία SAR - Non Time Critical (NTC) και το μέτρο της ταχύτητας του ανέμου, αναφέρεται σε 10m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Για την ανάλυση του αιολικού δυναμικού συλλέχθηκαν 14 εικόνες Sentinel-3B για την περίοδο μεταξύ 04/06/2022 έως 21/05/2023 για την περιοχή βόρεια του Αγίου Ευστρατίου μέσω της βάση δεδομένων του EUMESAT μέσω του προγράμματος Copernicus.



Εικόνα 23: Περιβάλλον EUMESAT του Copernicus

Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού από το δορυφόρο Sentinel-3B είναι:

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ SENTINEL-3

Ημέρα απόκτησης	Χρόνος απόκτησης	Προϊόν Sentinel-1
21/05/2023	08:34	S3B_SR_2_WAT____20230521T083442_20230521T092253_20230616T030254_2891_079_335____MAR_O_NT_005.SEN3
24/04/2023	08:34	S3B_SR_2_WAT____20230424T083438_20230424T092249_20230520T030132_2891_078_335____MAR_O_NT_005.SEN3
28/03/2023	08:34	S3B_SR_2_WAT____20230328T083436_20230328T092247_20230423T031626_2891_077_335____MAR_O_NT_005.SEN3
01/03/2023	08:34	S3B_SR_2_WAT____20230301T083437_20230301T092248_20230327T030544_2891_076_335____MAR_O_NT_005.SEN3

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

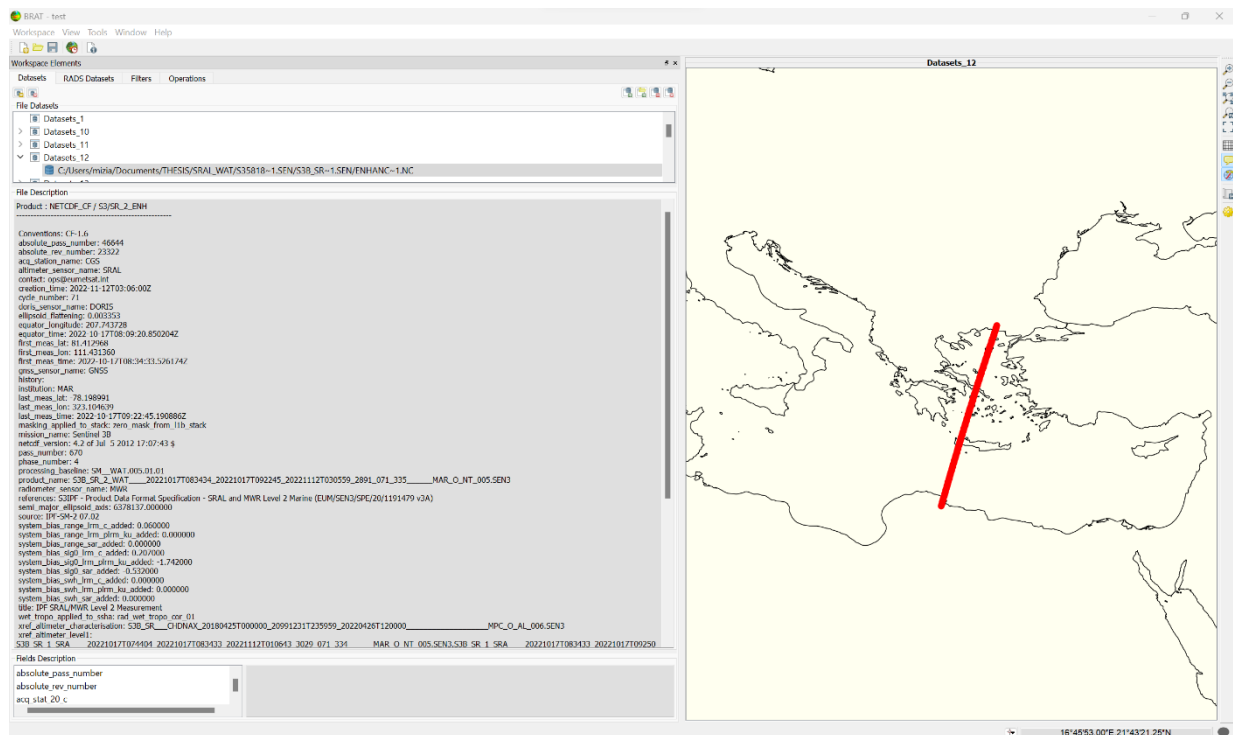
02/02/2023	08:34	S3B_SR_2_WAT____20230202T083436_20230202T092247_20230228T030532_2891_075_335____MAR_O_NT_005.SEN3
06/01/2023	08:34	S3B_SR_2_WAT____20230106T083435_20230106T092246_20230201T030505_2891_074_335____MAR_O_NT_005.SEN3
10/12/2022	08:34	S3B_SR_2_WAT____20221210T083438_20221210T092249_20230105T031115_2891_073_335____MAR_O_NT_005.SEN3
13/11/2022	08:34	S3B_SR_2_WAT____20221113T083438_20221113T092249_20221209T031125_2891_072_335____MAR_O_NT_005.SEN3
17/10/2022	08:34	S3B_SR_2_WAT____20221017T083434_20221017T092245_20221112T030559_2891_071_335____MAR_O_NT_005.SEN3
20/09/2022	08:34	S3B_SR_2_WAT____20220920T083435_20220920T092246_20221016T031103_2891_070_335____MAR_O_NT_005.SEN3
24/08/2022	08:34	S3B_SR_2_WAT____20220824T083438_20220824T092249_20220919T030649_2891_069_335____MAR_O_NT_005.SEN3
28/07/2022	08:34	S3B_SR_2_WAT____20220728T083438_20220728T092249_20220823T032636_2891_068_335____MAR_O_NT_005.SEN3
01/07/2022	08:34	S3B_SR_2_WAT____20220701T083435_20220701T092246_20220727T030521_2891_067_335____MAR_O_NT_005.SEN3
04/06/2022	08:34	S3B_SR_2_WAT____20220604T083434_20220604T092245_20220630T002257_2891_066_335____MAR_O_NT_004.SEN3

Πίνακας 9: Πίνακας προϊόντων Sentinel-3

6.2.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ SENTINEL-3 ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ BRAT

Η ανάλυση των δεδομένων ανέμου από το δορυφόρο Sentinel-3, έγινε μέσω του λογισμικού Broadview Radar Toolbox (BRAT). Το λογισμικό BRAT είναι ένα εργαλείο σχεδιασμένο για ανάγνωση, επεξεργασία και οπτικοποίηση των προϊόντων Sentinel-3.

Σε πρώτο επίπεδο, φορτώθηκε το βελτιωμένο αρχείο δεδομένων enhanced_measurement.nc.

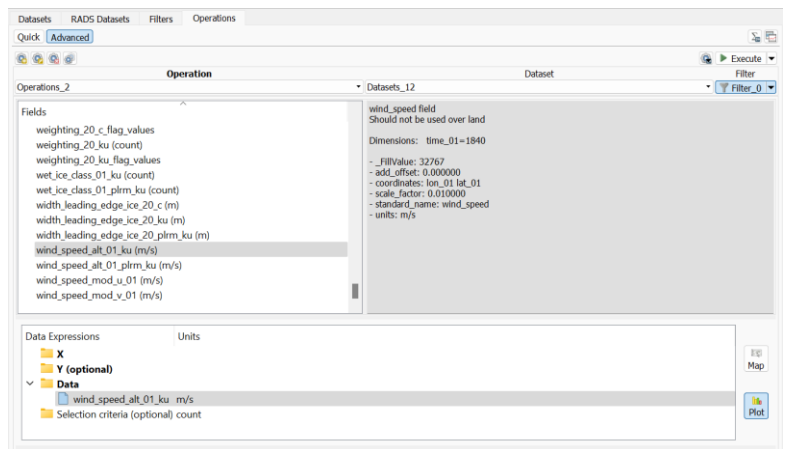


Εικόνα 24: Περιβάλλον Broadview Radar Toolbox (BRAT)

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

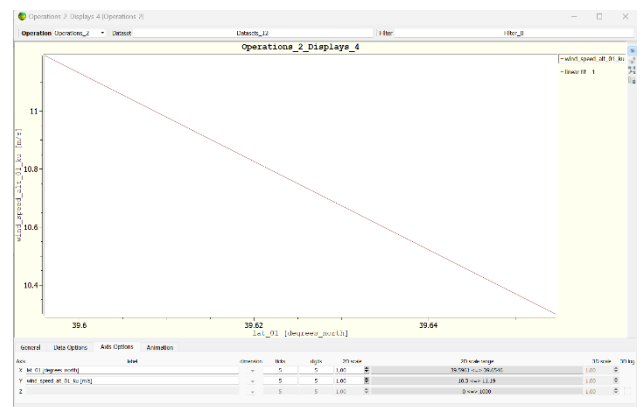
Στο αριστερό παράθυρο, εμφανίζονται όλες οι πληροφορίες της εικόνας.

Η ανάγνωση των δεδομένων της ταχύτητας του ανέμου, έγινε μέσω της δημιουργίας ενός Dataset, το οποίο περιλαμβάνει την εικόνα και τις ρυθμίσεις αυτής. Δημιουργείται ένα «φίλτρο», που περιλαμβάνει το διανυσματικό αρχείο της περιοχής μελέτης σε μορφή .kml. Για το συγκεκριμένο Dataset και «φίλτρο», μπορεί να εκτελεστεί ένας αλγόριθμος που αφορά την ταχύτητα του ανέμου. Για τη στατιστική ανάλυση, επιλέγεται το πεδίο `wind_speed_alt_01_ku` και προκύπτει το διάγραμμα του μέτρου του ανέμου.



Εικόνα 25: Εκτέλεση αλγορίθμου `wind_speed` στο λογισμικό BRAT

Το λογισμικό BRAT, κατά την εκτύπωση του διαγράμματος, κάνει μία γραμμική προσαρμογή, στο αποτέλεσμα. Για τη στατιστική ανάλυση, λαμβάνονται οι οριακές τιμές (Min, Max).



Εικόνα 26: Εκτύπωση διάγραμμα με το μέτρο της ταχύτητας του ανέμου στο λογισμικό BRAT

7. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ SENTINEL

7.1 ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ SENTINEL-1 ΚΑΙ SENTINEL-3

Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των προϊόντων από το δορυφόρο Sentinel-1 παρουσιάζονται στον Πίνακα 10.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ SENTINEL-1 (ΥΨΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 10Μ. ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ)						
Ημερομηνία λήψης	Ελάχιστη τιμή ταχύτητας (m/s)	Μέγιστη τιμή ταχύτητας (m/s)	Μέση τιμή ταχύτητας (m/s)	Κατώτερο γωνιακό άκρο του εύρους κατεύθυνσης ανέμου (deg)	Ανώτερο γωνιακό άκρο του εύρους κατεύθυνσης ανέμου (deg)	Κύρια κατεύθυνση ανέμου (deg)
29/05/2023	6.7	7.1	6.9	325.63	329.61	327.62
23/05/2023	6.6	7.8	7.2	26.22	29.25	27.74
17/05/2023	2.6	3.2	2.9	240.58	259.61	250.10
11/05/2023	9.0	10.0	9.5	33.22	36.23	34.73
05/05/2023	11.5	12.4	12.0	17.58	21.58	19.58
29/04/2023	3.5	4.7	4.1	2.24	11.23	6.74
23/04/2023	6.6	7.3	7.0	347.62	352.60	350.11
17/04/2023	5.1	5.7	5.4	152.24	167.20	159.72
11/04/2023	6.2	7.1	6.7	331.58	334.62	333.10
05/04/2023	5.2	7.0	6.1	56.23	64.22	60.23
30/03/2023	0.5	2.8	1.7	4.60	346.63	348.93
24/03/2023	7.0	8.3	7.7	29.20	38.23	33.72
18/03/2023	11.5	12.9	12.2	4.61	9.62	7.12
12/03/2023	11.7	13.9	12.8	55.21	65.23	60.22
06/03/2023	5.8	6.7	6.3	176.6	183.58	180.09
28/02/2023	7.3	8.7	8.0	160.23	165.21	162.72
22/02/2023	5.6	6.3	6.0	166.6	180.60	173.60
16/02/2023	4.4	5.6	5.0	47.21	53.21	50.21
10/02/2023	8.8	11.0	9.9	27.60	36.58	32.09
04/02/2023	5.5	8.6	7.1	254.22	262.20	258.21
29/01/2023	8.9	10.1	9.5	13.62	18.61	16.12
17/01/2023	12.7	14.6	13.7	202.62	207.6	205.11
11/01/2023	4.7	5.4	5.1	147.20	157.25	152.23

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

05/01/2023	3.9	4.8	4.4	321.59	330.60	326.10
30/12/2022	2.0	3.1	2.6	80.22	99.24	89.73
24/12/2022	0.2	0.3	0.3	94.61	241.58	168.10
18/12/2022	5.5	7.3	6.4	177.23	182.23	179.73
12/12/2022	6.0	7.0	6.5	190.58	195.61	193.10
06/12/2022	5.6	6.3	6.0	27.21	33.24	30.23
30/11/2022	3.4	6.1	4.8	137.58	149.57	143.58
24/11/2022	6.8	7.7	7.3	137.24	147.20	142.22
18/11/2022	6.3	7.9	7.1	193.62	199.60	196.61
12/11/2022	12.3	13.2	12.8	31.20	35.22	33.21
06/11/2022	12.0	13.8	12.9	136.60	144.59	140.60
31/10/2022	5.5	7.0	6.3	24.23	32.24	28.24
25/10/2022	4.3	4.9	4.6	0.58	355.62	355.91
19/10/2022	9.1	10.1	9.6	19.23	22.23	20.73
13/10/2022	8.2	9.5	8.9	342.59	345.62	344.11
07/10/2022	12.8	14.2	13.5	30.21	32.23	31.22
01/10/2022	4.0	6.4	5.2	159.59	167.62	163.61
25/09/2022	4.0	5.1	4.6	32.22	43.20	37.71
19/09/2022	6.1	6.8	6.5	7.62	14.59	11.11
13/09/2022	8.5	9.6	9.1	38.24	47.20	42.72
07/09/2022	9.9	11.1	10.5	356.61	359.61	358.11
01/09/2022	5.3	6.0	5.7	41.23	46.23	43.73
26/08/2022	5.6	6.2	5.9	14.58	310.60	317.89
20/08/2022	4.5	5.4	5.0	42.25	50.20	46.23
14/08/2022	0.3	3.0	1.7	294.58	339.59	317.00
08/08/2022	7.7	9.1	8.4	23.21	25.24	24.23
02/08/2022	7.3	12.1	9.7	322.61	338.62	330.62
27/07/2022	5.4	6.2	5.8	23.23	28.19	25.71
21/07/2022	6.7	7.3	7.0	334.59	338.62	336.61
15/07/2022	8.4	9.7	9.1	19.23	22.23	20.73
09/07/2022	11.9	14.4	13.2	335.58	341.59	338.59
03/07/2022	10.1	11.9	11.0	24.21	27.24	25.73
27/06/2022	6.3	7.1	6.7	332.59	336.59	334.59

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

21/06/2022	0.2	2.0	1.1	186.23	266.24	226.24
15/06/2022	7.2	7.9	7.6	342.58	348.63	345.61
09/06/2022	1.5	2.1	1.8	140.24	155.23	147.74
03/06/2022	8.0	8.8	8.4	352.58	355.62	354.10

Πίνακας 10: Πίνακας αποτελεσμάτων επεξεργασίας προϊόντων του δορυφόρου Sentinel-1 (Ύψος αναφοράς 10m από την επιφάνεια της θάλασσας)

Τα αποτελέσματα, που προκύπτουν από το δορυφόρο Sentinel-3 παρουσιάζονται στον Πίνακα 11:

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ SENTINEL-3 (ΥΨΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 10Μ. ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ)			
Ημερομηνία λήψης	Ελάχιστη τιμή ταχύτητας (m/s)	Μέγιστη τιμή ταχύτητας (m/s)	Μέση τιμή ταχύτητας (m/s)
21/05/2023	7.06	7.75	7.41
24/04/2023	1.42	1.71	1.57
28/03/2023	9.49	10.23	9.86
01/03/2023	7.14	8.21	7.68
02/02/2023	4.91	5.47	5.19
06/01/2023	2.5	3.25	2.88
10/12/2022	11.06	12.5	11.78
13/11/2022	8.45	8.95	8.70
17/10/2022	10.3	11.19	10.75
20/09/2022	5.56	5.81	5.69
24/08/2022	5.13	5.26	5.20
28/07/2022	7.24	8.07	7.66
01/07/2022	3.54	4.04	3.79

Πίνακας 11: Πίνακας αποτελεσμάτων επεξεργασίας προϊόντων του δορυφόρου Sentinel-3 (Ύψος αναφοράς 10m από την επιφάνεια της θάλασσας)

7.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΤΙΜΗΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ 10Μ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

Με βάση τη στιγμιαία ταχύτητα η οποία λήφθηκε από τις δορυφορικές εικόνες Sentinel-1 και Sentinel-3, υπολογίστηκε η μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου.

Η μέση μηνιαία ταχύτητα του ανέμου, υπολογίζεται για κάθε μήνα χωριστά και χρησιμοποιούνται δεδομένα και από τους δύο δορυφόρους, αφού οι εκτιμήσεις από τα δύο σύνολα δεν παρουσιάζουν αποκλίσεις στο βαθμό που να αποτρέπουν τον χρήστη από την ενέργεια αυτή.

Τα δεδομένα του δορυφόρου Sentinel-3 έχουν μεγαλύτερη χωρική ανάλυση (300m κατά μήκος της τροχιάς έναντι 1km²) από τα δεδομένα του δορυφόρου Sentinel-1, συνεπώς στον

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

υπολογισμό της μέσης τιμής θα συμμετέχουν ανισοβαρείς μετρήσεις, με μονάδα βάρους $P=1$ και $P=1,3$ στις μετρήσεις του Sentinel-1 και Sentinel-3 αντίστοιχα.

Ο υπολογισμός της μέσης μηνιαίας τιμής για ανισοβαρείς μετρήσεις δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\bar{x} = \frac{(P1l1 + P2l2 + \dots + Pnl_n)}{P1 + P2 + \dots + Pn}$$

Όπου: P_1, P_2, \dots, P_n , μονάδες βάρους για τις μετρήσεις l_1, l_2, \dots, l_n αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 12, για κάθε μήνα του έτους και η τιμή αναφέρεται 10m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.

ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΤΙΜΗ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ (ΥΨΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 10Μ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ)											
ΙΟΥΝ 2022	ΙΟΥΛ 2022	ΑΥΓ 2022	ΣΕΠ 2022	ΟΚΤ 2022	ΝΟΕΜ 2022	ΔΕΚ 2022	ΙΑΝ 2023	ΦΕΒ 2023	ΜΑΡ 2023	ΑΠΡ 2023	ΜΑΙΟΣ 2023
5.3	8.0	5.9	6.9	8.5	8.9	5.9	6.8	6.8	8.3	5.0	7.6

Πίνακας 12: Μέση μηνιαία τιμή του μέτρου της ταχύτητας του ανέμου (Υψος αναφοράς 10m από την επιφάνεια της θάλασσας)

7.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΤΙΜΗΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΣΤΟ ΥΨΟΣ ΠΛΗΜΝΗΣ ΤΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Τα παραπάνω αποτελέσματα αναφέρονται σε 10m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Για τη σωστή εκτίμηση του αιολικού δυναμικού της περιοχής, είναι απαραίτητη η αναγωγή των παραπάνω δεδομένων στο ύψος πλήμνης της ανεμογεννήτριας. Η ένταση του ανέμου μεταβάλλεται (κατά κανόνα αυξάνεται) με την αύξηση του ύψους. Η κατακόρυφη κατανομή της ταχύτητας του ανέμου ακολουθεί τη συμπεριφορά τυρβώδους οριακού στρώματος και γι' αυτό το λόγο λαμβάνεται υπόψιν η επίδραση της τραχύτητας της επιφάνειας. Η μεταβολή αυτή είναι σημαντική στα πρώτα 100m και εξαρτάται από το πάχος του οριακού ατμοσφαιρικού στρώματος.

Τα αποτελέσματα του Πίνακα 12 αναφέρονται σε τιμές σε ύψος 10m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Το μέσο ύψος του πύργου των σύγχρονων υπεράκτιων ανεμογεννητριών είναι 200m – 280m και δεδομένου αυτού θα υπολογιστεί το μέτρο της ταχύτητας του ανέμου, για ύψος πλήμνης 250m.

Η ταχύτητα μεταβάλλεται ανάλογα με το υψόμετρο σύμφωνα με τον λογαριθμικό νόμο

$$V_2/V_1 = \ln(z_2/z_0) / \ln(z_1/z_0)$$

Όπου: z_0 η παράμετρος τραχύτητας.

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

Οι τυπικές τιμές παραμέτρου τραχύτητας z_0 (cm) για διάφορες φυσικές επιφάνειες δίνονται από τον Πίνακα 1 του Κεφαλαίου 1. Στην προκειμένη, για υδάτινη επιφάνεια οι τιμές κυμαίνονται από 0.01cm έως 0.06cm. Επιλέγεται μία μέση τιμή, $z_0 = 0.03$ cm.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ SENTINEL-1 (ΥΨΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 250Μ. ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ)	
Ημερομηνία λήψης	Μέση τιμή ταχύτητας (m/s)
29/05/2023	9.0
23/05/2023	9.4
17/05/2023	3.8
11/05/2023	12.4
05/05/2023	15.6
29/04/2023	5.4
23/04/2023	9.1
17/04/2023	7.1
11/04/2023	8.7
05/04/2023	8.0
30/03/2023	2.2
24/03/2023	10.0
18/03/2023	16.0
12/03/2023	16.8
06/03/2023	8.2
28/02/2023	10.4
22/02/2023	7.8
16/02/2023	6.5
10/02/2023	13.0
04/02/2023	9.2
29/01/2023	12.4
17/01/2023	17.9
11/01/2023	6.6
05/01/2023	5.7
30/12/2022	3.3
24/12/2022	0.3
18/12/2022	8.4
12/12/2022	8.5

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

06/12/2022	7.8
30/11/2022	6.2
24/11/2022	9.5
18/11/2022	9.3
12/11/2022	16.7
06/11/2022	16.9
31/10/2022	8.2
25/10/2022	6.0
19/10/2022	12.6
13/10/2022	11.6
07/10/2022	17.7
01/10/2022	6.8
25/09/2022	6.0
19/09/2022	8.4
13/09/2022	11.8
07/09/2022	13.7
01/09/2022	7.4
26/08/2022	7.7
20/08/2022	6.5
14/08/2022	2.2
08/08/2022	11.0
02/08/2022	12.7
27/07/2022	7.6
21/07/2022	9.2
15/07/2022	11.8
09/07/2022	17.2
03/07/2022	14.4
27/06/2022	8.8
21/06/2022	1.4
15/06/2022	9.9
09/06/2022	11.0
03/06/2022	9.0

Πίνακας 13: Πίνακας αποτελεσμάτων επεξεργασίας προϊόντων του δορυφόρου Sentinel-1 (Υψός αναφοράς 250m από την επιφάνεια της θάλασσας)

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ SENTINEL-3 (ΥΨΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 250Μ. ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ)	
Ημερομηνία λήψης	Μέση τιμή ταχύτητας (m/s)
21/05/2023	9.7
24/04/2023	2.0
28/03/2023	12.9
01/03/2023	10.0
02/02/2023	6.8
06/01/2023	3.8
10/12/2022	15.4
13/11/2022	11.4
17/10/2022	14.1
20/09/2022	7.4
24/08/2022	6.8
28/07/2022	10.0
01/07/2022	5.0

Πίνακας 14: Πίνακας αποτελεσμάτων επεξεργασίας προϊόντων του δορυφόρου Sentinel-3 (Υψός αναφοράς 250m από την επιφάνεια της θάλασσας)

Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα, για κάθε μήνα του έτους και η τιμή αναφέρεται 250m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.

ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΤΙΜΗ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ (ΥΨΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 250Μ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ)											
ΙΟΥΝ 2022	ΙΟΥΛ 2022	ΑΥΓ 2022	ΣΕΠ 2022	ΟΚΤ 2022	ΝΟΕΜ 2022	ΔΕΚ 2022	ΙΑΝ 2023	ΦΕΒ 2023	ΜΑΡ 2023	ΑΠΡ 2023	ΜΑΙΟΣ 2023
6.9	10.5	7.7	9.0	11.1	11.7	7.7	8.9	8.9	10.8	6.6	10.0

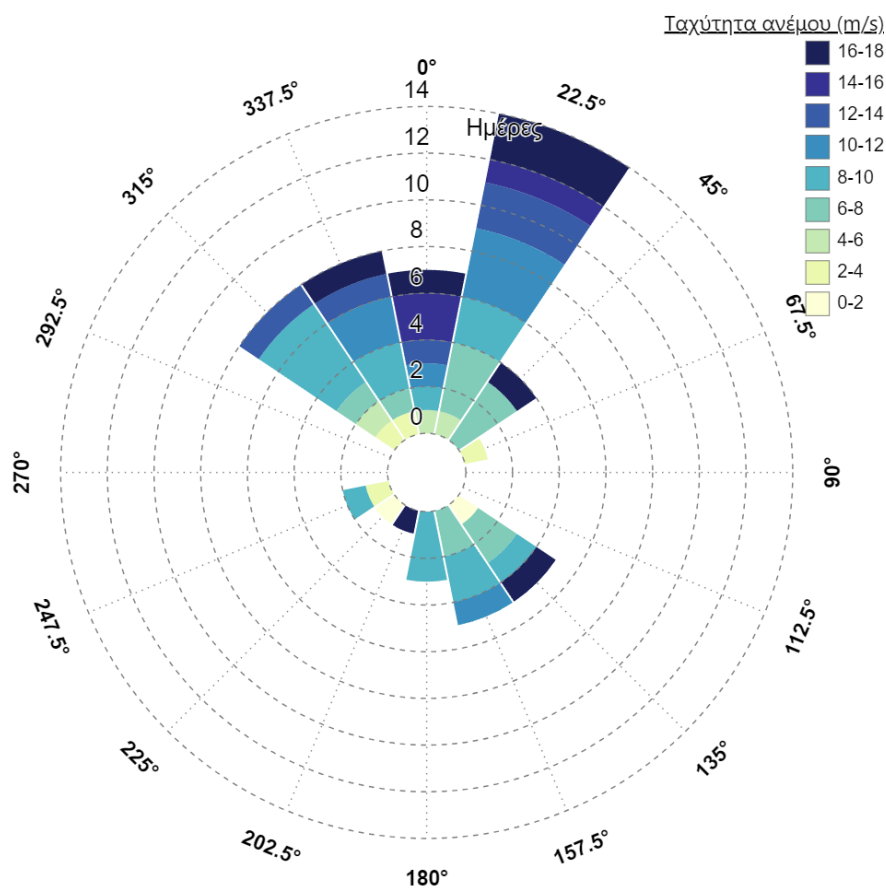
Πίνακας 15: Μέση μηνιαία τιμή του μέτρου της ταχύτητας του ανέμου (Υψος αναφοράς 10m από την επιφάνεια της θάλασσας)

7.4 ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ

Για τη στατιστική ανάλυση της μεταβλητότητας του ανέμου είναι σκόπιμη η κατασκευή του ανεμόροδου (wind rose). Το ανεμόροδο είναι ένα πολικό διάγραμμα παρουσίασης των συνθηκών του ανέμου, της κατεύθυνσης και της ταχύτητάς του, για μία χρονική περίοδο (μία ώρα, μία μέρα, ένας μήνας, ένα έτος κ.ο.κ.) σε μία συγκεκριμένη γεωγραφική θέση.

Στο παρακάτω ανεμόροδο, παρουσιάζονται μόνο τα δεδομένα του δορυφόρου Sentinel-1 καθώς μόνο αυτά περιέχουν στοιχεία για την κατεύθυνση του ανέμου, για χρονική περίοδο 12 μηνών και για ύψος 250m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Τα δεδομένα της κατεύθυνσης του ανέμου ταξινομήθηκαν σε 16 ίσα τμήματα τόξου 22.5°, η ακτίνα καθενός αντιπροσωπεύει τη μέση ταχύτητα κατά την εκάστοτε κατεύθυνση, όπως προκύπτει από τη στιγμιαία ταχύτητα της ημέρας κάθε δορυφορικής εικόνας.

Στο παρακάτω ανεμόροδο, δεν έχουν ληφθεί υπόψιν οι άπνοιες, δηλαδή τα δεδομένα της ημέρας 24/12/2022, επειδή δεν είναι αξιόπιστη η τιμή της κατεύθυνσης.



Σχήμα 13: Ανεμόροδο

Από το παραπάνω ανεμόροδο, συνάγεται το συμπέρασμα, ότι η κύρια κατεύθυνση του ανέμου είναι Βόρεια-Βορειοανατολική. Στις σύγχρονες ανεμογεννήτριες, ο προσανατολισμός παίζει λιγότερο σημαντικό ρόλο, καθώς, διαθέτουν περίπλοκα συστήματα προσανατολισμού της ατράκτου, γνωστά και ως yaw systems, ώστε να παραμένουν κάθετες προς τη διεύθυνση του ανέμου.

8. ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ

Το τελικό στάδιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η χωροθέτηση των ανεμογεννητριών εντός του επιλεγέντος πολυγώνου βόρεια του Αγίου Ευστρατίου και η εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης του αιολικού πάρκου.

8.1 ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Η ανεμογεννήτρια που επιλέχθηκε για τη χωροθέτηση του αιολικού πάρκου είναι η νέα υπεράκτια ανεμογεννήτρια V236-15.0MW, σχεδιασμένη και κατασκευασμένη από τη δανέζικη εταιρία VESTAS, που ανήκει στις μεγαλύτερες κατασκευαστικές εταιρίες ανεμογεννητριών παγκοσμίως.

Η V236 – 15.0 MW, φθάνει σε μέγιστο ύψος 280m, με πρωτότυπες λεπίδες μήκους 115.5m. Η εξέλιξη του μεγέθους και της απόδοσης των υπεράκτιων ανεμογεννητριών, είναι γεγονός κι όχι αποκλειστικότητα της εν λόγω εταιρίας, καθώς κι άλλες κατασκευαστικές θα κυκλοφορήσουν αντίστοιχα μοντέλα το πρώτο εξάμηνο του 2024.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της επιλεγείσας ανεμογεννήτριας φαίνονται παρακάτω (Βλ. αναλυτικά Παράρτημα).

Power regulation	Pitch regulated with variable speed
Operating data	
Rated power	15,000kW
Cut-in wind speed	3m/s
Cut-out wind speed	31m/s
Wind class	IEC S or S,T
Standard operating temperature range from -15°C to +23°C* with a de-rating interval from +23°C to +45°C	
* High ambient temperature variant available	
Sound power	
Maximum	115.3dB(A)
Rotor	
Rotor diameter	236m
Swept area	43,742m ²
Aerodynamic brake	three blades full feathering
Electrical	
Frequency	50/60Hz
Converter	full scale
Gearbox	
Type	medium speed
Tower	
Hub heights	site-specific

Πίνακας 16: Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας V236-15MW

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

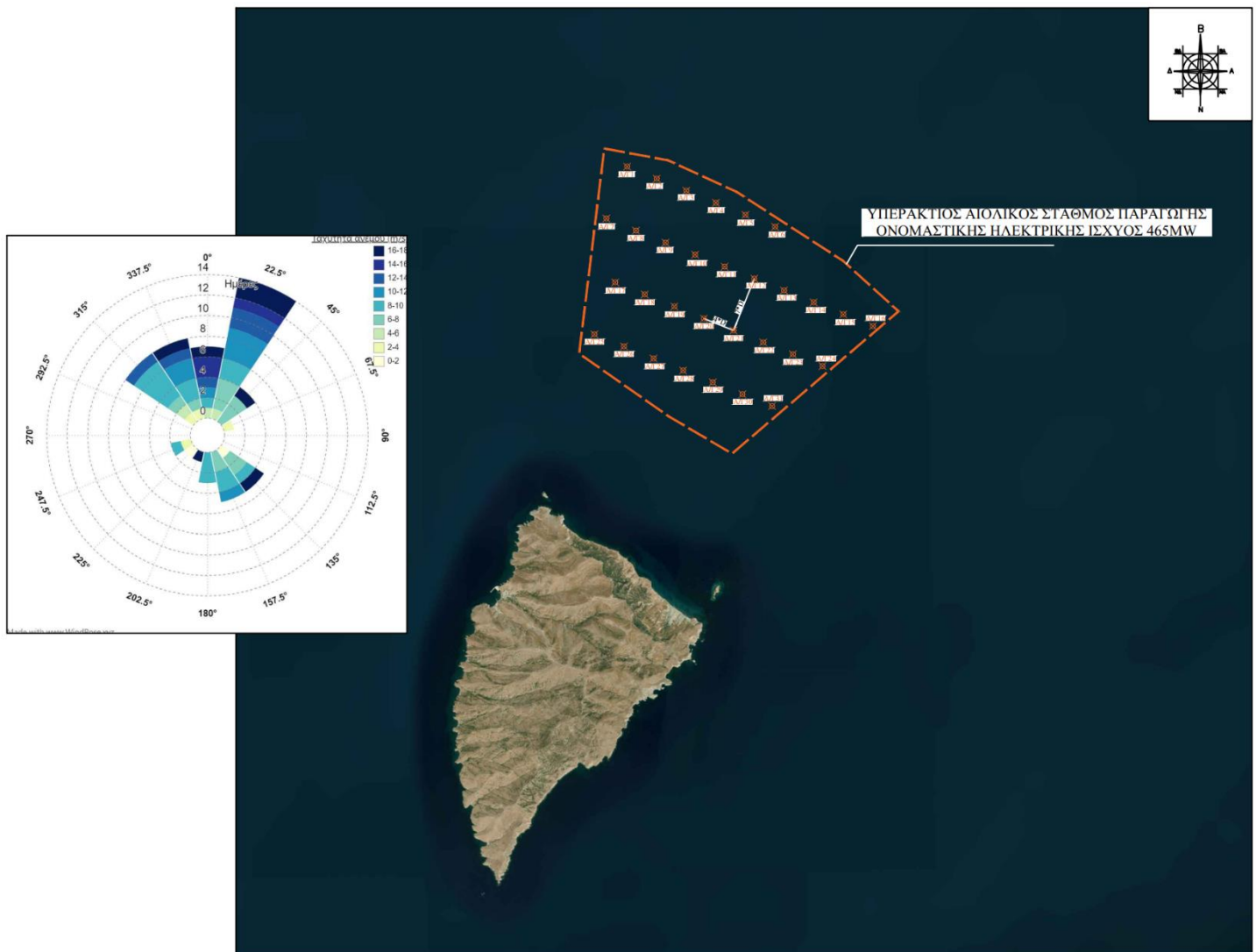
Το ύψος πύλωνα προσαρμόζεται ανάλογα με τις απαιτήσεις της περιοχής με μέγιστο να φθάνει τα 280m, οπότε το ύψος για το οποίο έχουν υπολογιστεί οι μέσες τιμές είναι εντός αποδεκτών ορίων.

Η χωροθέτηση έγινε μέσω του σχεδιαστικού λογισμικού Autocad, λαμβάνοντας υπόψιν

- τη διάμετρο της φτερωτής (236m),
- τις αποστάσεις μεταξύ των ανεμογεννητριών και
- την κύρια κατεύθυνση πνοής του ανέμου και τη συχνότητα με την οποία εμφανίζεται,

σημαντικοί παράμετροι για τις μέγιστες ενεργειακές απολαβές.

Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών ανεμογεννητριών σε άξονα κάθετο με την κύρια κατεύθυνση πνοής του ανέμου είναι τουλάχιστον $3 \cdot D - 5 \cdot D$. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο ανεμογεννητριών χωροθετημένων σε άξονα παράλληλο με την κύρια κατεύθυνση πνοής του ανέμου θα πρέπει να είναι ίση τουλάχιστον με $5 \cdot D - 9 \cdot D$, όπου D η διάμετρος της πτερωτής.



Εικόνα 27: Χωροθέτηση ανεμογεννητριών

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

Από την παραπάνω χωροθέτηση, με αποστάσεις ανεμογεννητριών 4*D και 7*D σε άξονα κάθετο με την κύρια κατεύθυνση πνοής του ανέμου και παράλληλο αντίστοιχα, προκύπτουν 31 ανεμογεννήτριες με ονομαστική ισχύ 15MW έκαστη και συντεταγμένες κορυφών όπως φαίνονται στον Πίνακα 17.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ (ΕΓΣΑ '87)		
A/A	X	Y
A/Γ1	588461.12	4389440.66
A/Γ2	589335.21	4389084.09
A/Γ3	590209.30	4388727.51
A/Γ4	591083.38	4388370.94
A/Γ5	591957.54	4388014.54
A/Γ6	592833.66	4387663.05
A/Γ7	587847.06	4387906.99
A/Γ8	588721.15	4387550.41
A/Γ9	589595.24	4387193.84
A/Γ10	590469.32	4386837.26
A/Γ11	591343.50	4386480.90
A/Γ12	592217.67	4386124.54
A/Γ13	593095.74	4385777.92
A/Γ14	593971.86	4385426.43
A/Γ15	594847.99	4385074.94
A/Γ16	595724.11	4384723.45
A/Γ17	588107.09	4386016.74
A/Γ18	588981.18	4385660.17
A/Γ19	589855.27	4385303.59
A/Γ20	590729.45	4384947.26
A/Γ21	591605.81	4384596.38
A/Γ22	592481.70	4384244.28
A/Γ23	593357.82	4383892.79
A/Γ24	594233.94	4383541.30
A/Γ25	587493.03	4384483.07
A/Γ26	588367.12	4384126.49
A/Γ27	589241.21	4383769.92
A/Γ28	590115.40	4383413.62
A/Γ29	590991.53	4383062.13
A/Γ30	591867.65	4382710.64
A/Γ31	592743.77	4382359.15

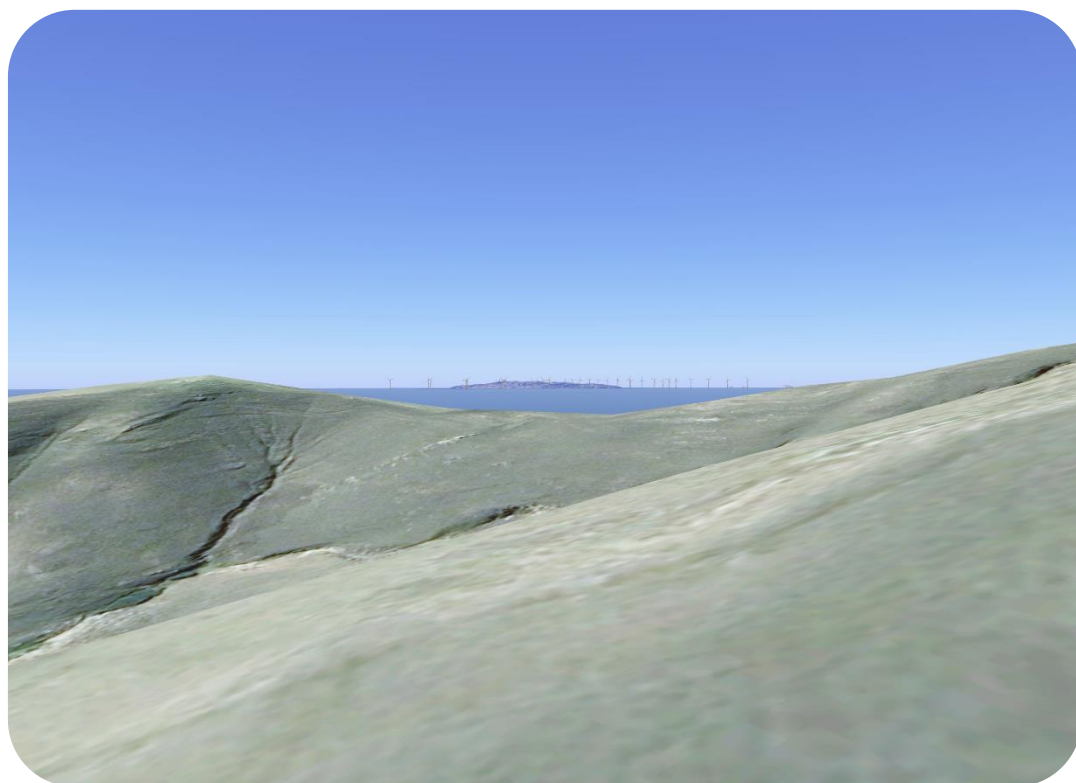
Πίνακας 17: Πίνακας συντεταγμένων κορυφών ανεμογεννητριών (ΕΓΣΑ '87)

Για την παραπάνω χωροθέτηση του υπεράκτιου αιολικού σταθμού παραγωγής ονομαστικής ηλεκτρικής ισχύος 465MW, αποτελούμενος από 31 ανεμογεννήτριες 15MW έκαστη, ακολουθεί η φωτορεαλιστική απεικόνισή, η οποία έγινε με τη βοήθεια των λογισμικών

- Sketch Up, για το σχεδιασμό του τρισδιάστατου μοντέλου της ανεμογεννήτριας με τα χαρακτηριστικά όπως δίνονται από τον κατασκευαστή (διάμετρος πτερωτής 236m, ύψος πύλωνα 250m), προσανατολισμένου στην κύρια κατεύθυνση του ανέμου (22,5°)
- και Google Earth για την οπτικοποίησή του.



Εικόνα 28: Φωτορεαλιστική απεικόνιση υπεράκτιου αιολικού πάρκου βόρεια του Αγ. Ευστατίου



Εικόνα 29: Φωτορεαλιστική απεικόνιση υπεράκτιου αιολικού πάρκου νότια της Ν. Λήμνου



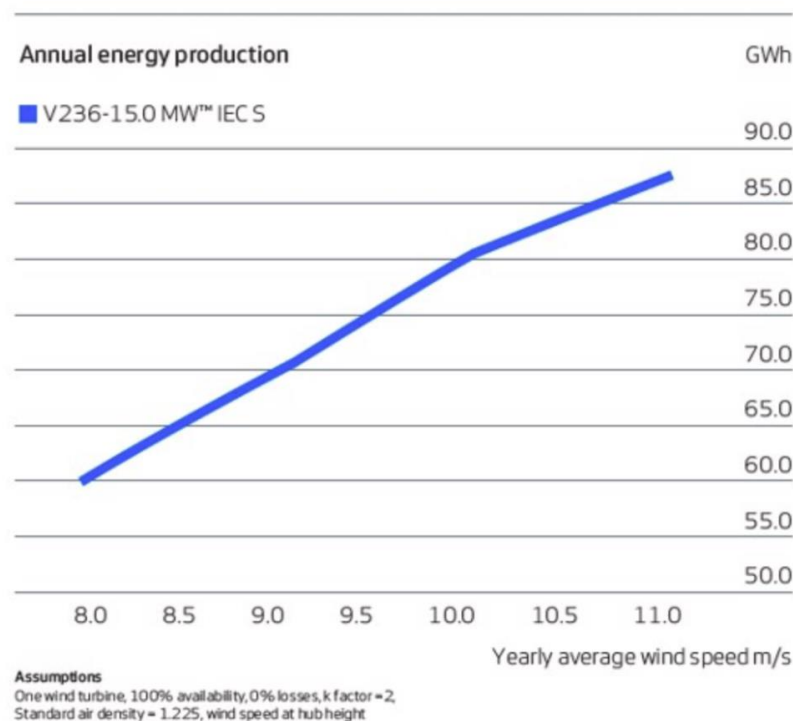
Εικόνα 30: Φωτορεαλιστική απεικόνιση του υπεράκτιου αιολικού πάρκου από τον οικισμό του Αγ. Ευστρατίου

Από την παραπάνω φωτορεαλιστική απεικόνιση, φαίνεται πως στο βορειοανατολικό τμήμα του Αγ. Ευστρατίου υπάρχει μία βραχονησίδα. Οι λόγοι που επιλέχθηκε ο θαλάσσιος χώρος έναντι της συγκεκριμένης χερσαίας έκτασης είναι ότι

- η περιοχή είναι εντός του δικτύου Natura 2000,
- βρίσκεται πολύ κοντά στην ακτογραμμή και
- οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες λόγω μεγέθους δεσμεύουν περισσότερη αιολική ενέργεια.

8.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ ΥΠΕΡΑΚΤΙΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

Για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης του υπεράκτιου αιολικού πάρκου λήφθηκε υπόψιν το διάγραμμα της ετήσιας ενεργειακής απόδοσης της ανεμογεννήτριας από τον κατασκευαστή.



Σχήμα 14: Διάγραμμα ετήσιας ενεργειακής απόδοσης της ανεμογεννήτριας

Το παραπάνω διάγραμμα υποθέτει

- μηδενικές απώλειες ανεμογεννήτριας,
- παράγοντα $k = 2$ και
- πυκνότητα της ατμόσφαιρας σταθερή $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$.

Συνεπώς αυτό είναι το βέλτιστο δυνατό σενάριο και η μέγιστη παραγόμενη ισχύς. Στην πραγματικότητα, οι απώλειες είναι της τάξεως ~10% έως 20% και οφείλονται κυρίως

- στις απώλειες ομόρρου,
- αποκλίσεις της καμπύλης ισχύος από τη θεωρητική και
- ηλεκτρικές απώλειες.

Ο παράγοντας k είναι σημαντικός για την κατανομή Weibull (κατανομή για τον υπολογισμό της μέσης ταχύτητας του ανέμου). Ο παράγοντας k που πλησιάζει το 1 υποδεικνύει πολύ μεταβλητό άνεμο ενώ ένας συντελεστής κοντά στο 3 σημαίνει σταθερός ή κανονικός άνεμος που είναι ιδανικός για την παραγωγή ενέργειας.

Από το Σχήμα 15, προκύπτει ότι για μία μέση ετήσια τιμή του μέτρου της ταχύτητας του ανέμου ~9,2m/s, όσο εκτιμήθηκε από τα δεδομένα Sentinel, παράγονται 70GWh ετησίως από κάθε ανεμογεννήτρια.

Συνολικά, $31 \text{ A/Γ} * 70\text{GWh} = 2.170 \text{ GWh}$ ετησίως.

Το παραπάνω πόρισμα είναι σε προσεγγιστικό επίπεδο και για τον ακριβή προσδιορισμό του απαιτούνται περαιτέρω εξειδικευμένες μετρήσεις.

Ένα μέσο ελληνικό σπίτι καταναλώνει κάθε χρόνο περίπου $3.750\text{kWh} = 0.00375 \text{ GWh}$ ηλεκτρική ενέργεια. Εάν το υπεράκτιο αιολικό πάρκο, παράγει 2.170GWh ετησίως, αυτό συνεπάγεται με κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών 579.000 νοικοκυριών περίπου.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε διττό στόχο. Πρώτον, να επιλέξει την καταλληλότερη περιοχή εγκατάστασης ενός πλωτού υπεράκτιου αιολικού πάρκου βάσει των οριζόμενων του Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Α.Π.Ε. και άλλων κοινωνικών, περιβαλλοντικών, οικονομικών και τεχνικών παραμέτρων χωροθέτησης και δεύτερον, να εκτιμήσει τα χαρακτηριστικά του ανέμου από τα τηλεπισκοπικά δεδομένα των δορυφόρων Sentinel-1 και Sentinel-3.

Από την έρευνα που διενεργήθηκε στα πλαίσια της εργασίας προέκυψαν τα κάτωθι συμπεράσματα:

- Τα προϊόντα Sentinel-1 επιπέδου 2 OCN και Sentinel-3, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προκαταρκτική εκτίμηση του αιολικού δυναμικού και της κατεύθυνσης του ανέμου, για μία θαλάσσια περιοχή. Η προτεινόμενη μεθοδολογία, είναι βασισμένη σε δορυφόρους που παρέχουν ελεύθερα δεδομένα και είναι γρηγορότερη και οικονομικότερη συγκριτικά με τις συμβατικές μεθόδους εκτίμησης αιολικού δυναμικού.
- Υπάρχουν αρκετές περιοχές που μπορούν να φιλοξενήσουν υπεράκτιες αιολικές εγκαταστάσεις στις ελληνικές θάλασσες. Στις περισσότερες από αυτές όμως, είναι εφικτή μόνο η χωροθέτηση πλωτών κατασκευών λόγω της βαθυμετρίας των ελληνικών θαλασσών, γεγονός που αυξάνει πολύ το κόστος της επένδυσης.
- Εκτιμώντας την ενεργειακή απόδοση του υπεράκτιου αιολικού πάρκου, αποδεικνύεται ότι και μόνο ένα υπεράκτιο πάρκο, είναι σε θέση να συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στη μείωση παραγωγής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα και να καλύψει έως και το 15% των ενεργειακών αναγκών των ελληνικών νοικοκυριών.
- Η χωροθέτηση υπεράκτιων αιολικών πάρκων στα ελληνικά ύδατα, αποτελεί μία σύνθετη περίπτωση, καθώς συνδυάζονται πολλά αντικρουόμενα συμφέροντα (π.χ. τουρισμός).

Η παρούσα διπλωματική εργασία, μπορεί να προκαλέσει έναυσμα για περαιτέρω έρευνα. Ενδεικτικές προτάσεις είναι οι παρακάτω:

- Για την αύξηση της αξιοπιστίας των χαρακτηριστικών του ανέμου, να γίνει επεξεργασία μεγαλύτερου αριθμού δορυφορικών εικόνων με ενσωμάτωση αποτελεσμάτων από διαφορετικούς χρόνους και περιοχές λήψης και να αξιολογηθεί πως μεταβάλλεται η μέση μηνιαία τιμή. Με την αύξηση του δείγματος, θα είναι εφικτός ο υπολογισμός των στατιστικών μεγεθών της μεταβλητότητας, της τυπικής απόκλισης κ.α.. Οι μετρήσεις πρέπει να είναι αξιόπιστες, γιατί μικρή απόκλιση στην εκτίμηση του αιολικού δυναμικού, προκαλεί μεγάλη απόκλιση στην εκτίμηση της παραγόμενης ενέργειας.
- Ο δορυφόρος Sentinel-3, μπορεί να υπολογίσει το σημαντικό ύψος κύματος για τη βιωσιμότητα της επένδυσης. Τα κύματα προκαλούν κόπωση στις ανεμογεννήτριες και καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το χρόνο ζωής ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου.
- Μέσω της αναγωγής του ύψους από την επιφάνεια της θάλασσας στο ύψος πλήμνης της ανεμογεννήτριας, οι αβεβαιότητες των παραμέτρων "z0" και 'a' υπεισέρχονται στον υπολογισμό του μέτρου της ταχύτητας. Να ερευνηθεί, πόσο μπορεί να επηρεάσουν αυτά τα σφάλματα, στο τελικό αποτέλεσμα.

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

- Να γίνει έλεγχος συμβατότητας της εν λόγω χωροθέτησης, κατόπιν θεσμοθέτησης ενός νομοθετικού πλαισίου που θα αφορά τα Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα.
- Να εκτιθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του υπεράκτιου αιολικού πάρκου της εργασίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

- Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης (ΦΕΚ 2464/Β/03.12.2008)
- Ν. 4964/2022 (ΦΕΚ 150/Α/30.07.2022)
- Ν.5037/2023 (ΦΕΚ 78/Α/29.03.2023)

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ανανιάδου Ε., Δρυγιαννάκη Ε., 2021. Χωροθέτηση υπεράκτιου αιολικού πάρκου στην περιοχή της Λήμνου με τη χρήση πολυκριτηριακής ανάλυσης και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών.
- ΕΛΙΑΜΕΠ | ALMA ECONOMICS, 2021. Υπεράκτια αιολική ενέργεια στην Ελλάδα: Κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις. Διαθέσιμο στο: https://www.eliamep.gr/wp-content/uploads/2021/09/Social-impact-study_Alma-Economics_GR-1.pdf
- Ζερβός Α., 2018. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Ρευστών.
- Καϊμάρης, Δ., 2014. Τηλεπισκόπηση - Θεωρητική προσέγγιση και εργαστηριακές ασκήσεις.
- Καπουνιάρη Μ., 2018. Το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Copernicus στη μελέτη περιβαλλοντικών θεμάτων. Διαθέσιμο στο: <http://ikee.lib.auth.gr/record/302546/files/GRI-2019-23475.pdf>
- Καραθανάση Β., 2014. Μικροκυματική τηλεπισκόπηση.
- Κάραλης Γ., 2021. Αιολική Ενέργεια (3/3) (Ανεμογεννήτριες και Αιολικά Πάρκα).
- Κάραλης Γ., χ.χ.. Δυναμικό.
- Μαμάσης, Ν., Ευστρατιάδης, Α. (2018). Θαλάσσια ενέργεια. Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος
- Μαμάσης, Ν., Ευστρατιάδης, Α. (2018). Σημειώσεις Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία Αιολική ενέργεια. Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος.
- Μαρνέλος, Γ. (χ.χ.). Κεφάλαιο 1: Αιολική ενέργεια. Ειδικά κεφάλαια παραγωγής ενέργειας. Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας.
- Μυλωνάκης Μ., 2023. Πολυπαραμετρική αξιολόγηση περιοχών των ελληνικών θαλασσών για εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων.
- Πλούταρχος Μ., 2021. Μεθοδολογία χωροθέτησης υπεράκτιου αιολικού πάρκου με χρήση μεθόδων GIS και αξιολόγησή του για κάλυψη ενεργειακών αναγκών της νήσου Ρόδου.
- Παπαθανασίου Σ., χ.χ.. Εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης αιολικών πάρκων.
- Περάκης, Κ., Μουσιάδης, Α., Φαρασλής, Ι., 2015. Η τηλεπισκόπηση σε 13 ενότητες.
- Τσακίρη Δ., 2022. Χωροθέτηση και θεμελίωση υπεράκτιων αιολικών πάρκων στον ελλαδικό χώρο.
- Τσακίρη Χ., Ακαντζιλιώτης Σ., 2010. Σχεδιασμός και κατασκευή ανεμογεννητριών.

Διαθέσιμο στο: <https://docplayer.gr/8464626-Shediasmos-kai-kataskeyi-anemogennitron.html>

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Caligiuri C., Stendardi L. , Renzi M., (2022).
The use of Sentinel-1 OCN products for preliminary deep offshore wind energy potential estimation: A case study on Ionian sea.
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215098622000258>
- Cazzaro D., Bedon G., Pisinger D., 2023. Vertical Axis Wind Turbine Layout Optimization .
Available at: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/6/2697>
- De Montera L., Remmers T., O'Connell R., and Desmond C., (2020). Validation of Sentinel-1 offshore winds and average wind power estimation around Ireland.
Available at: <https://wes.copernicus.org/articles/5/1023/2020/>
- Floyd F. Sabins Jr., James M. Ellis, 2020. Remote Sensing: Principles, Interpretation and Applications.
- Gergel, S.E. and Turner, M.G., eds. 2017. Learning Landscape Ecology :A practical guide to concepts and techniques.
- Green K., Congalton, R.G., Tukman, M., 2017. Imagery and GIS: Best Practices for Extracting Information from Imagery.
- Gogoi, K. and Prashanth, M., 2017. Unit 4 Platforms and Sensors. In: Remote Sensing and Image Interpretation.
- Hanania J., Stenhouse K., Donev J., 2015. Offshore wind turbine.
Available at: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Offshore_wind_turbine
- Imam E., 2019. Remote Sensing Platforms and Sensors.
- Liang S., Wang J., 2020. Advanced Remote Sensing
- Kim T., Park J., & Maeng J. (2016). Offshore wind farm site selection study around Jeju Island, South Korea. In Renewable Energy.
Available at: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.083>
- Majidi Nezhad M., Groppi D., Marzialetti P., Fusilli L., Laneve G., Cumo F., Astiaso Garcia D., (2019). Wind energy potential analysis using Sentinel-1 satellite. A review and a case study on Mediterranean islands
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119302801>
- Mulero-Martinez R., Román – Cascón C. , Mañanes R, Izquierdo A, Bruno M., and Gómez – Enri J., (2022). The Use of Sentinel-3 Altimetry Data to Assess Wind Speed from the Weather Research and Forecasting (WRF) Model: Application over the Gulf of Cadiz.
Available at: <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/16/4036>
- Patra P., 2010. Remote Sensing and Geographical Information System (GIS).
- Spyridonidou S., Vagiona D., Loukogeorgaki E., 2020. Strategic Planning of Offshore Wind Farms in Greece.

- Yang J., Zhang J., Jia Y., Fan C. and Cui W., (2020). Validation of Sentinel-3A/3B and Jason Altimeter Wind Speeds and Significant Wave Heights Using Buoy and ASCAT Data.
Available at: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/13/2079>
- Zi Li, Xiaolei Liu, Saeid Lotfian, 2021. Impacts of water depth increase on offshore floating wind turbine dynamics.
Available at:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0029801821001323?via%3Dihub>
- Zountouridou E.I., Kiokes G.C., Chakalis S., Georgilakis P.S., Hatziaargyriou N.D., 2015. Offshore floating wind parks in the deep waters of Mediterranean Sea.
Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.027>

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

- About Copernicus, n.d..
Available at: <https://www.copernicus.eu/el/liga-logia-gia-copernicus>
- Active faults of the broader Aegean region in the Greek Database Of Seis-mogenic Sources Earthquake Geology Research Team, (2014).
Available at: <https://eqgeogr.weebly.com>
- Copernicus Programme, December 2022
Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Copernicus_Programme
- Data distribution schedule, n.d..
Available at: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/data-distribution-schedule>
- Data products, n.d..
Available at: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/data-products>
- Data products, n.d..
Available at: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3/data-products>
- Geothermal energy, 25 January 2021
Available at: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%B5%CF%89%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%AF%CE%B1>
- Ground Segment, n.d..
Available at: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/ground-segment>
- Ground-segment, n.d..
Available at: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3/ground-segment>
- Infrastructure Overview, n.d..
Available at: <https://www.copernicus.eu/el/liga-logia-gia-copernicus/ypodomi>

- Instrument payload, n.d..
Available at: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/instrument-payload>
- Instrument payload, n.d..
Available at: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3/instrument-payload>
- Mission Objectives, n.d..
Available at: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/mission-objectives>
- Mission objectives, n.d..
Available at: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3/mission-objectives>
- Observation scenario, n.d..
Available at: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/observation-scenario>
- Overview, n.d..
Available at: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3/overview>
- Observation scenario, n.d..
Available at: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3/observation-scenario>
- Production scenario, n.d..
Available at: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/production-scenario>
- Satellite description, n.d..
Available at: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/satellite-description>
- Satellite description, n.d..
Available at: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3/satellite-description>
- Satellite orbits, 15 June 2011.
Available at: https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_GR/SEMAPY4PVFG_0.html
- Sentinel-1 Overview, n.d..
Available at: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/overview>
- Αιολική Ενέργεια στην Ελλάδα: Συνολικής ισχύς, κατανομή και επενδύσεις, 26 Ιανουαρίου 2023.
Διαθέσιμο στο: https://www.huffingtonpost.gr/entry/aiolike-energeia-sten-ellada-senolike-ishes-katanome-kai-ependeseis_gr_63d23d36e4b04d4d18e3f20b
- Γνωρίζοντας τις θαλάσσιες ανεμογεννήτριες μέσα από 12 ερωτήσεις και απαντήσεις, 19 Αυγούστου 2022
Διαθέσιμο στο: <https://energypress.gr/news/gnorizontas-tis-thalassies-anemogennitries-mesa-apo-12-erotiseis-kai-apantiseis>
- ΕΛΕΤΑΕΝ: Η θαλάσσια αιολική ενέργεια, βασικός πυλώνας για την οικονομική ανάπτυξη και ενεργειακή ανεξαρτησία της Ελλάδας, 18 Αυγούστου 2022

Διαθέσιμο στο: <https://energypress.gr/news/eletaen-i-thalassia-aioliki-energeia-vasikos-pylonas-gia-tin-oikonomiki-anaptyxi-kai-energeiaki>

- Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, 2020. Δίκτυο NATURA 2000

Διαθέσιμο στο: <https://ypen.gov.gr/perivallon/viopoikilotita/diktyo-natura-2000/>

- Χάρτης ενεργών ρηγμάτων της Ελλάδας, 22 Μαΐου 2014.

Διαθέσιμο στο: <https://chatzipetros.weebly.com/spectacular-geology/9>

- Χωροθέτηση θαλάσσιων αιολικών πάρκων στον ελληνικό χώρο: Μια προσέγγιση με βάση την τεχνολογία των GIS, 30 Δεκεμβρίου 2019.

Διαθέσιμο στο: <https://energypress.gr/news/horothetisi-thalassion-aiolikon-parkon-ston-elliniko-horo-mia-proseggisi-me-vasi-tin-tehnologia>

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

V236-15.0 MW™



Wind. It means the world to us.™

Vestas

Determined to lead offshore wind forward

We are driven by an ambition to power the clean energy future of our world. Offshore wind is pivotal to hitting that target. So we have been busy innovating, for the future of our industry and the future of our world.

The V236-15.0 MW™ is the culmination of that innovation. World-class technology shaped by industry-leading experience, onshore and offshore. It is built for a ground-breaking world: efficiently designed, globally applicable and engineered for peak performance. It is Vestas powering the future.

A strong foundation

We are battle-hardened. Over 40 years of turbine development expertise and over 25 years delivering projects offshore has given us some hard-earned lessons. Together with our partners, we have installed and maintained turbines in frozen tundras, in tropical trade winds, and in tsunami-stricken waters. From the installment of 500 kW turbines at Tunoe Knob in 1995 to the 9 MW platform turbines in operation today, we have been pushing boundaries offshore for more than 25 years. This experience has enabled us to hand-pick what works. It takes experience to know, and our lessons learned are fused into the core of Vestas' next generation offshore platform.



Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”



Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”



Introducing the V236-15.0 MW™

Advanced platform based on proven system designs

The V236-15.0 MW™ is built on proven, world-class technology. Drawing the best from our En-Ventus and 9 MW platforms, the V236-15.0 MW™ is a continuation of proven results. Advanced system designs, such as our efficient geared drivetrain, our CubePower converter, and our Control System 8000, are integrated and optimised for our next-generation offshore platform. Due to the common technical design principles, V236-15.0 MW™ benefits directly from accumulated experience, development and scale synergies of the onshore and offshore business.

Designed for competitive project development

We are collaborative by nature, working with partners to offer a turbine made for the realities of project development, where every component matters. V236-15.0 MW™ is configured to strike the balance between energy production performance and number of turbines required at park level, while utilising advanced control and damping systems to optimise foundation requirements. The gearbox-based drivetrain offers a balanced, scalable, and efficient technology platform from which to enable the future growth of offshore wind.

Leading energy production at scale

Powered by a swept area of 43,742 m², the V236-15.0 MW™ moves the boundaries of offshore wind energy production forward. A single turbine is capable of producing up to 80GWh/year depending on site-specific conditions. The 115.5m blades drive a capacity factor of

over 60%, ensuring that fewer turbines enable greater annual energy production than ever before. Globally applicable, the turbine is designed for high wind conditions and rated to withstand IEC 1 extreme wind conditions up to 50 m/s and IEC T up to 57 m/s.

Safe and certain throughout project lifetimes

Vestas' rigorous testing standards guides the development of all of our turbines. The V236-15.0 MW™ is subject to the same stringent testing protocol. The V236-15.0 MW™ has a design lifetime of 30 years with the option to extend depending on project specific conditions. Strict quality control and life testing processes identify potential failure modes and mechanisms before they occur. The nacelle is ergonomically designed to make it easier for maintenance crews to gain access, reducing time spent offshore on service while maximising turbine uptime. Our understanding of service needs, including in nascent segments such as floating offshore wind, has informed our design of the V236-15.0 MW™.

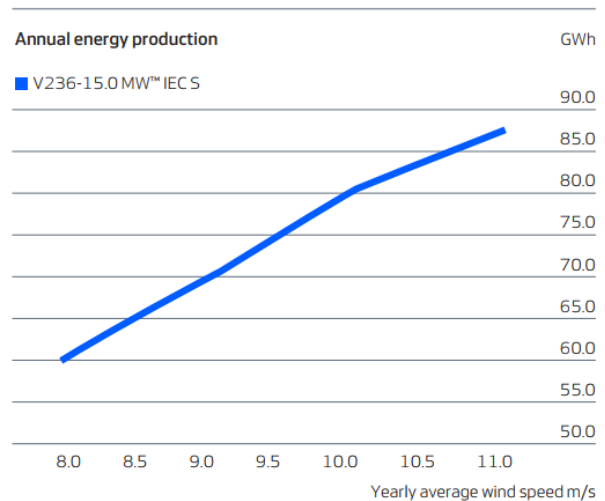
We've
installed
over 8,5 GW
of turbines,
offshore.

Facts & figures

V236-15.0 MW™ IEC S

The V236-15.0 MW™ is built on proven, world-class technology and engineered for efficiency in offshore environments around the world.

Power regulation	Pitch regulated with variable speed
Operating data	
Rated power	15,000kW
Cut-in wind speed	3m/s
Cut-out wind speed	31m/s
Wind class	IEC S or S,T
Standard operating temperature range from -15°C to +23°C* with a de-rating interval from +23°C to +45°C	
*High ambient temperature variant available	
Sound power	
Maximum	115.3dB(A)
Rotor	
Rotor diameter	236m
Swept area	43,742m ²
Aerodynamic brake	three blades full feathering
Electrical	
Frequency	50/60Hz
Converter	full scale
Gearbox	
Type	medium speed
Tower	
Hub heights	site-specific



Assumptions
 One wind turbine, 100% availability, 0% losses, k factor = 2,
 Standard air density = 1.225, wind speed at hub height

Διπλωματική εργασία με τίτλο “Η συμβολή των τηλεπισκοπικών δεδομένων Sentinel στην αξιολόγηση περιοχών για την εγκατάσταση θαλάσσιων αιολικών πάρκων”

Vestas Wind Systems A/S
Hedeager 42 . 8200 Aarhus N . Danmark
Tlf: +45 9730 0000 . Fax: +45 9730 0001
vestas@vestas.com . vestas.com

© 2023 Vestas Wind Systems A/S. All rights reserved.

This document was created by Vestas Wind Systems A/S on behalf of the Vestas Group and contains copyrighted material, trademarks and other proprietary information. This document or parts thereof may not be reproduced, altered or copied in any form or by any means without the prior written permission of Vestas Wind Systems A/S. All specifications are for information only and are subject to change without notice. Vestas Wind Systems A/S does not make any representations or extend any warranties, expressed or implied, as to the adequacy or accuracy of this information. This document may exist in multiple language versions. In case of inconsistencies between language versions the English version shall prevail. Certain technical options, services and wind turbine models may not be available in all locations/countries.

04/2023-EN